

Erfassung, Skalierung und Interpretation  
von Stoffflüssen im Wald -  
Herausforderung und Schlüssel für das  
Verständnis von Umweltveränderungen

Norbert Kräuchi, WSL

**Umweltbeobachtungskonferenz Bern 2008**

Bilanzen als Instrument für Umweltbeobachtung und  
Ressourcenmanagement





# Waldbilanz

2

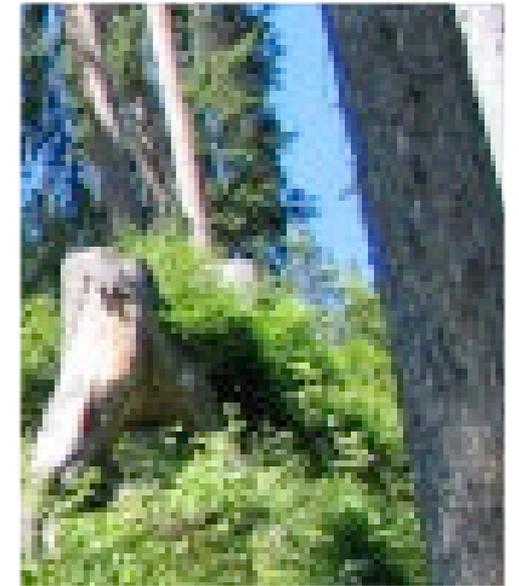


Produktion



C-Speicher

Landschafts-  
element



Erholung



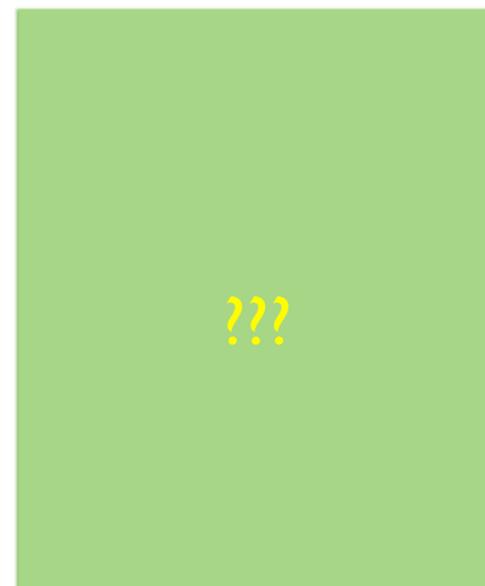
Schutz



Biodiversität



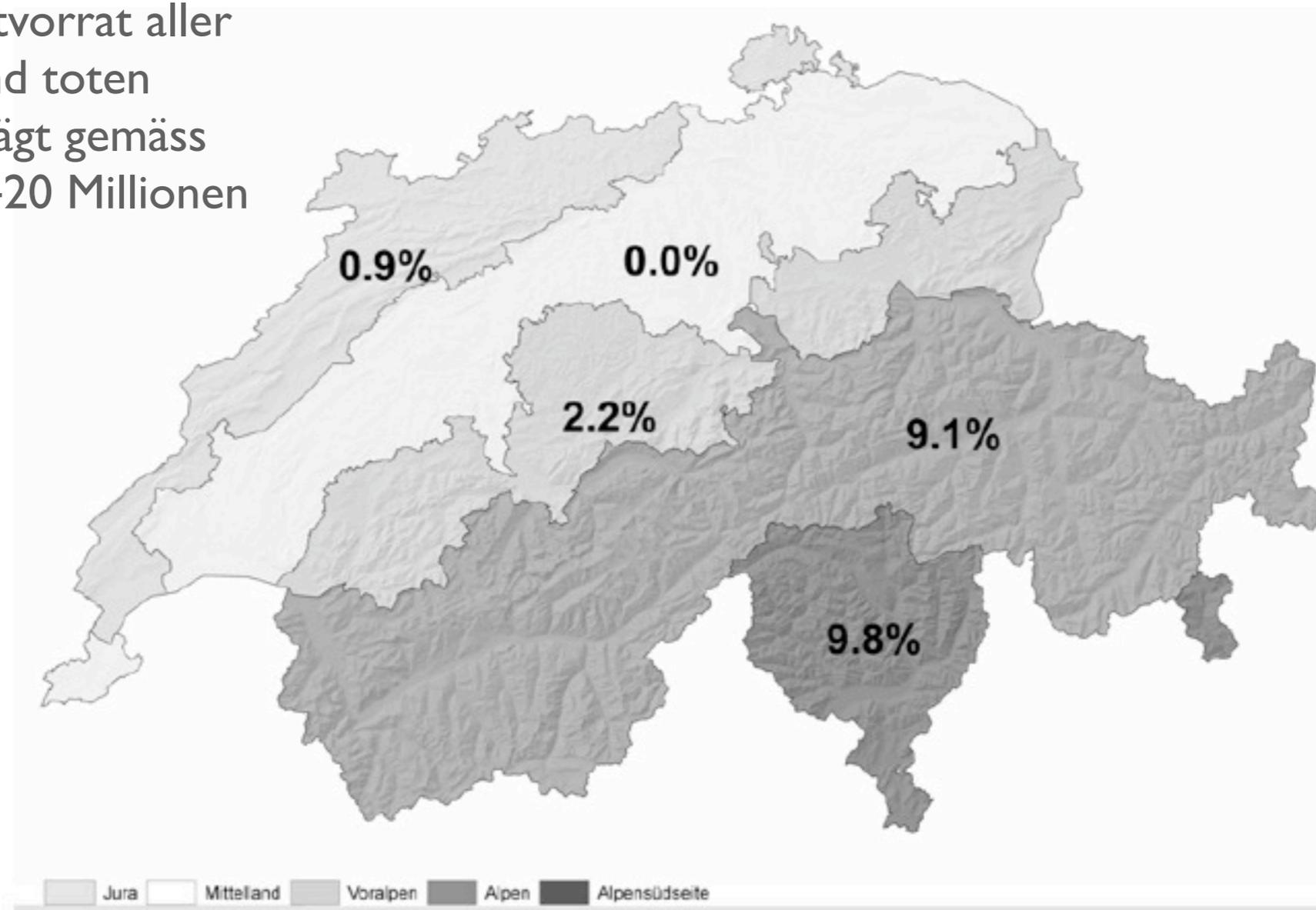
???



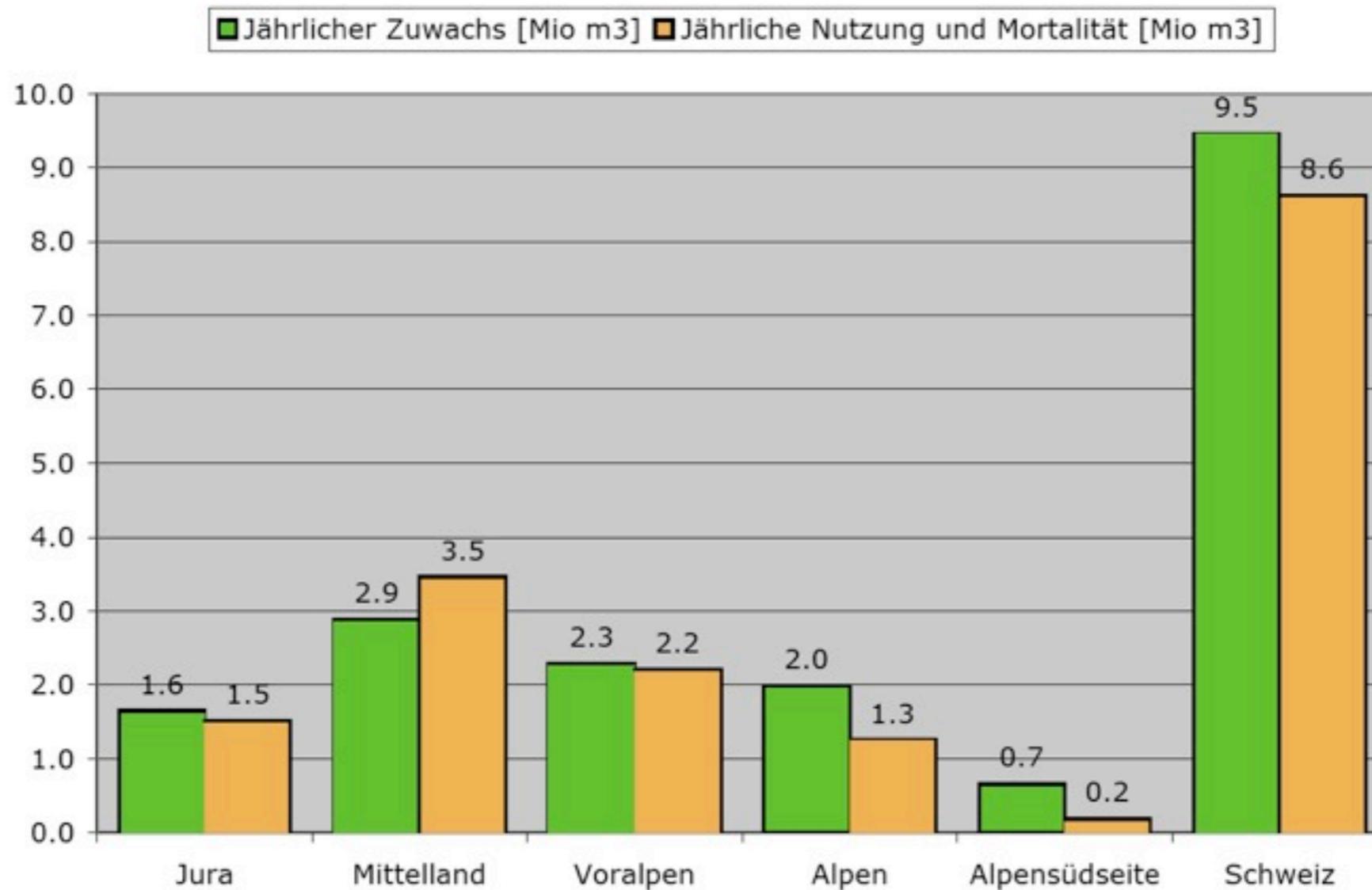
# Veränderung der Waldfläche LFI2-LFI3 in % von LFI2 (Quelle LFI, 2008)

4

Der Gesamtvorrat aller lebenden und toten Bäume beträgt gemäss LFI 3 rund 420 Millionen Kubikmeter.



# Jährlicher Zuwachs sowie Nutzung und Mortalität LFI2-LFI3 nach Produktionsregion (Quelle LFI, 2008)

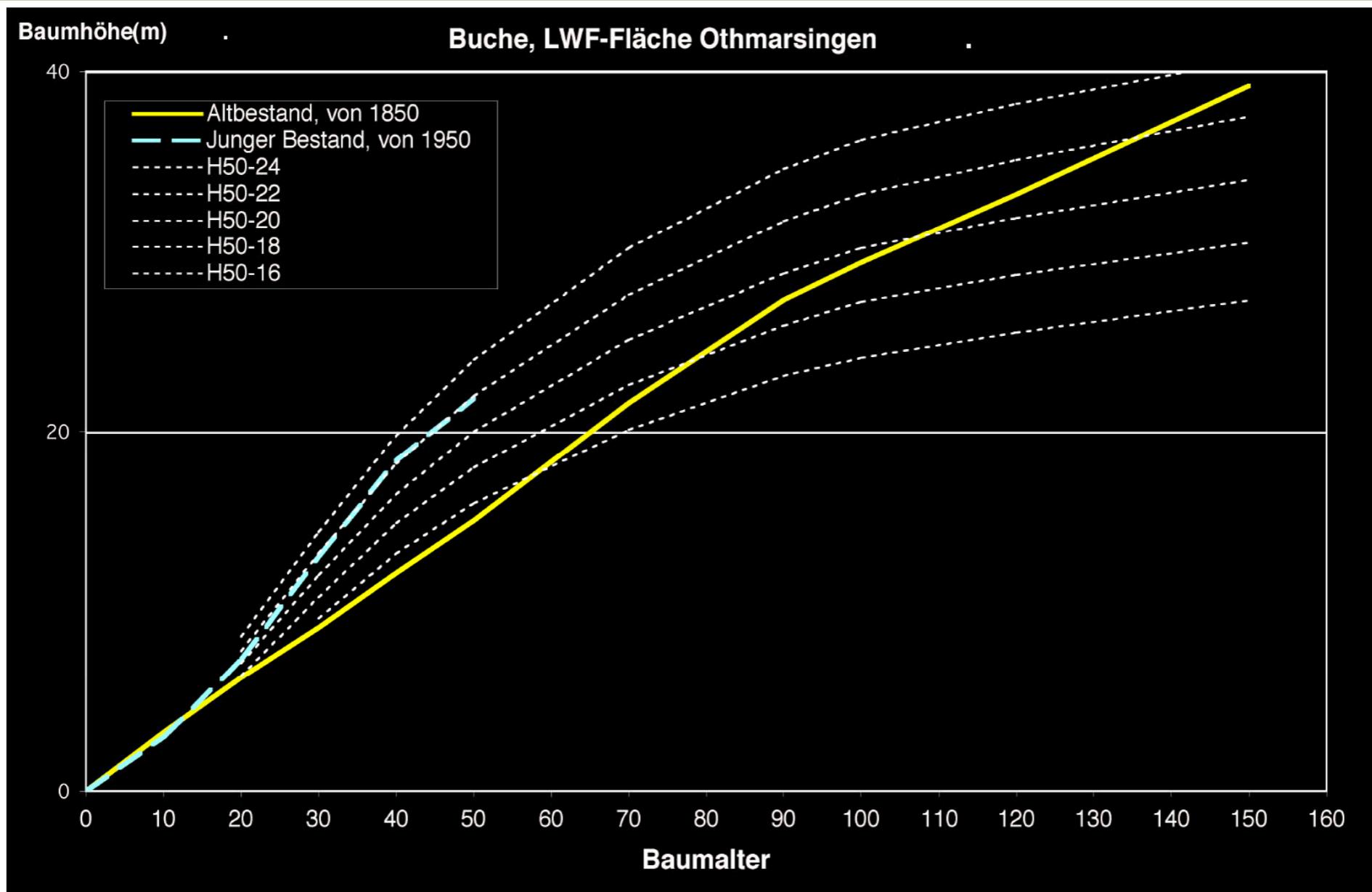


# Senkenleistung (Quelle LFI, 2008)

6

- ▶ Die Zuwachs- und Vorratszahlen des LFI3 geben neue Hinweise auf die CO<sub>2</sub>-Senkenleistung des Waldes seit Mitte der neunziger Jahre. Der Wald nimmt beim Wachstum CO<sub>2</sub> aus der Atmosphäre auf. Dies kann im Rahmen des Kyoto-Protokolls als Kompensation für CO<sub>2</sub>-Emissionen angerechnet werden.
- ▶ In den Jahren zwischen LFI 2 und LFI 3 lag die durchschnittliche Senkenleistung bei einer Grössenordnung von knapp 1 Mio t CO<sub>2</sub> pro Jahr.
- ▶ Die während der Kyoto-Periode (2008 bis 2012) tatsächlich anfallende Senkenleistung des Schweizer Waldes ist von der Holznutzung und allfälligen Waldschäden in dieser Periode abhängig.

# Höhenwachstum von Buchen im Mittelland





Flüsse im Wald

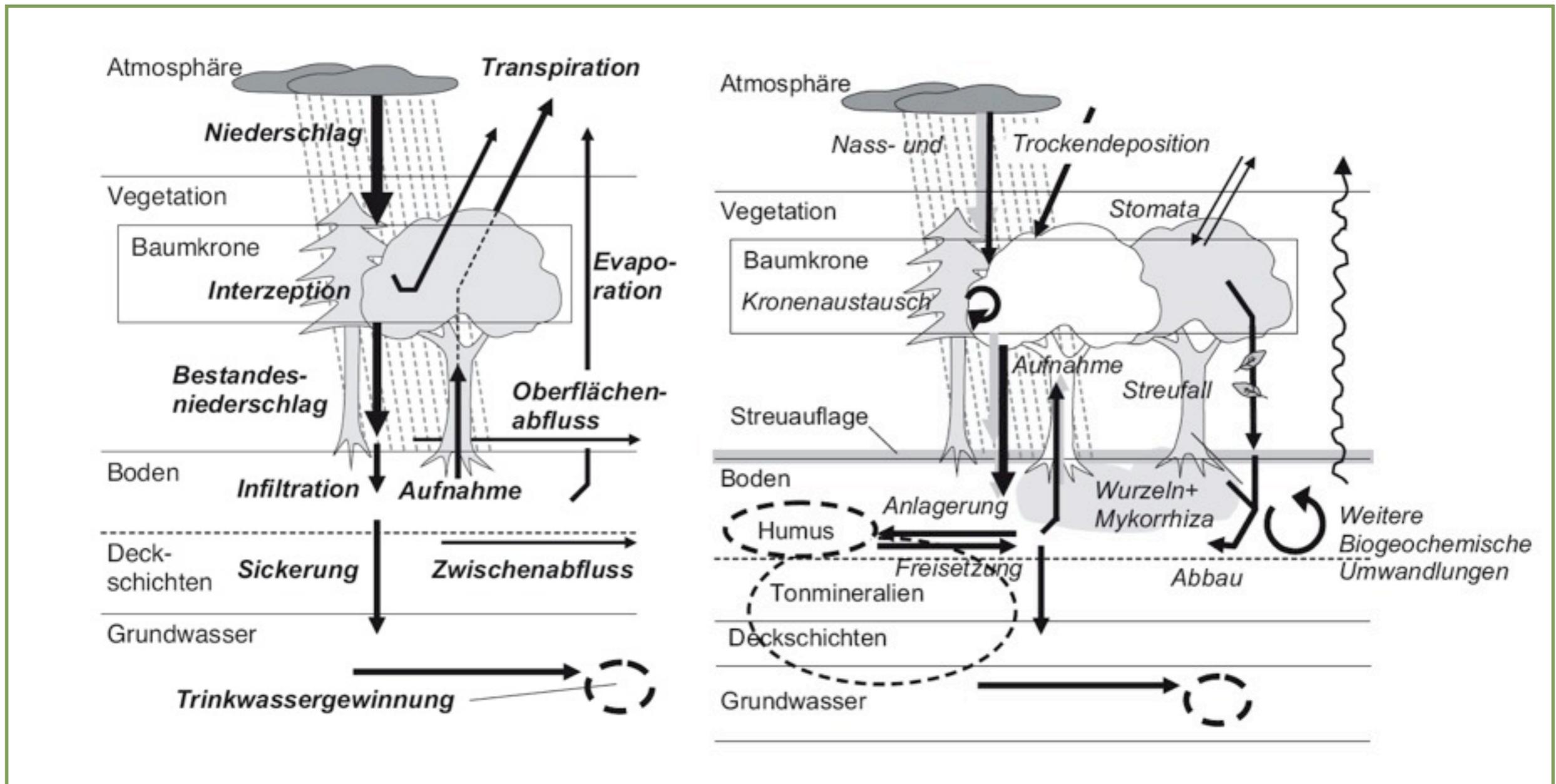
8



# Wasserflüsse & Stoffflüsse

(aus Wald und Trinkwasser; Hegg et al. 2004)

9



# N-Kreislauf: Prozesse und Einflussfaktoren (Hegg et al., 2004)

10

- ▶ Abbau von Biomasse (Mineralisation) und Freisetzung von  $\text{NH}_4^+$  und  $\text{NO}_3^-$ 
  - ▶ *Temperatur, Schattenwurf der Baumkronen*
- ▶ Nitrifikation von  $\text{NH}_4^+$  zu  $\text{NO}_3^-$ 
  - ▶  *$\text{O}_2$ -Gehalt, pH-Wert*
- ▶ Denitrifikation von  $\text{NO}_3^-$  zum gasförmig entweichenden  $\text{N}_2$ 
  - ▶  *$\text{O}_2$ -Gehalt, pH-Wert*

# N-Kreislauf: Prozesse und Einflussfaktoren (Hegg et al., 2004)



- ▶ Deposition von  $\text{NO}_3^-$  und  $\text{NH}_4^+$  aus  $\text{NO}_x^-$  und  $\text{NH}_3$ -Emissionen und natürlichen Quellen:
  - ▶ *Luftbelastungssituation*
  - ▶ *Auskämmwirkung der Blätter und Nadeln in den Baumkronen*
- ▶ Anlagerung von  $\text{NH}_4^+$  an Humus und Tonmineralien (Immobilisation)
  - ▶ *Anteil Tonmineralien und Humus im Boden*
  - ▶ *Stickstoffsättigung im Boden (Indiz C/N-Verhältnis)*
- ▶ Aufnahme von  $\text{NO}_3^-$  und  $\text{NH}_4^+$  durch Wurzeln und Einbau in Biomasse
  - ▶ *Durchwurzelungstiefe, Vegetationsbedeckungsgrad*

# Wald und Wasser

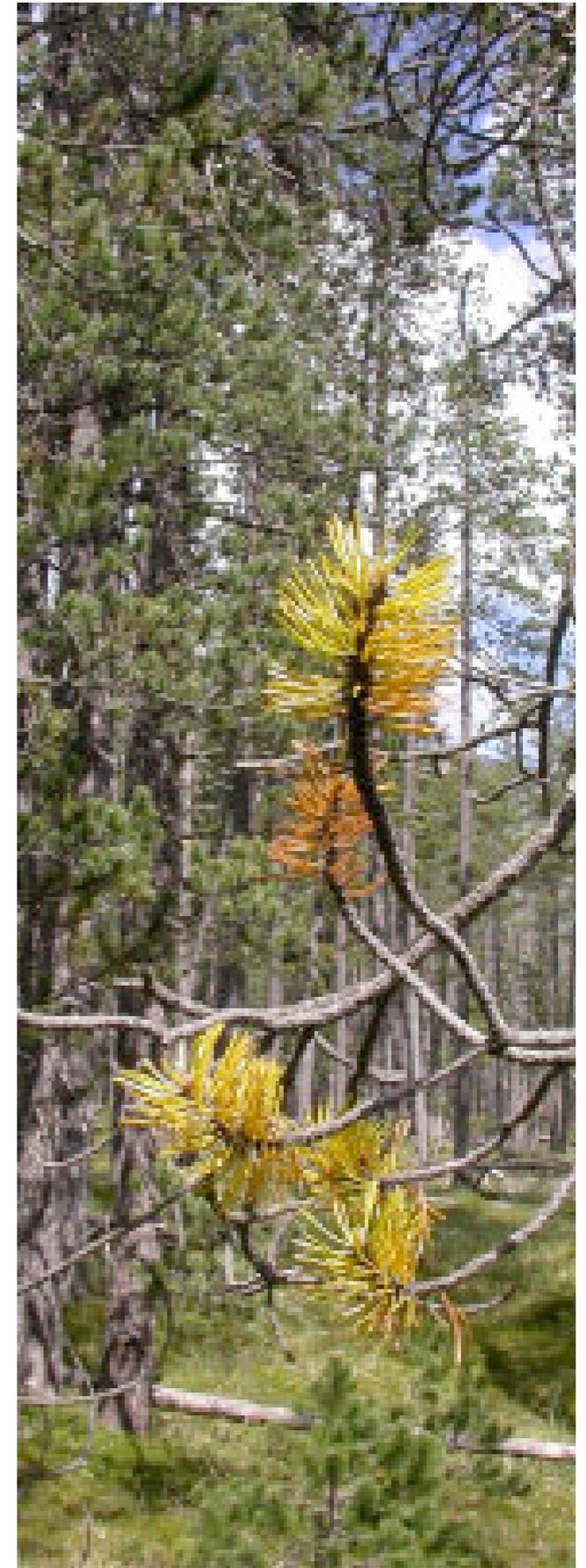
12

- ▶ Die passive Wirkung des Waldes ist durch heutige gesetzliche Rahmenbedingungen gegeben.
- ▶ Die aktive Wirkung des Waldes auf die Wasserqualität resultiert aus der Veränderung von Wasser- und Stoffflüssen.
- ▶ Eine wichtige Rolle spielt dabei die Fähigkeit der Böden, Stoffe abzubauen bzw. aufzunehmen, welche Trinkwasser belasten.
- ▶ Die Fähigkeit Stoffe aufzunehmen ist nicht unbegrenzt. Wälder z.B. nicht in der Lage, Stickstoffeinträge aus der Luft in jenen Mengen aufzunehmen, wie sie in der Schweiz beobachtet werden, ohne dass früher oder später nicht auch die Konzentrationen im Sicker- und auch im Grundwasser ansteigen werden.



Wald und  
Umweltwandel -  
eine vorläufige  
Bilanz

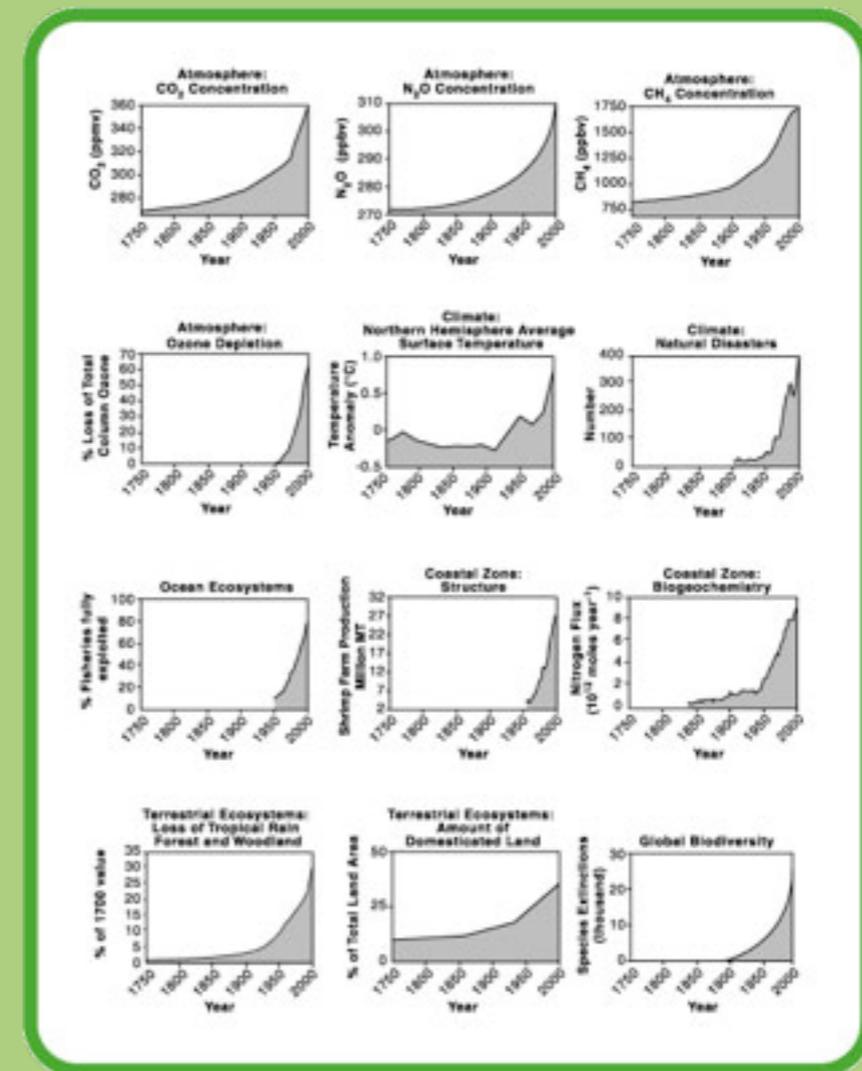
13



# Klimawandel als Teil des Globalen Wandels

14

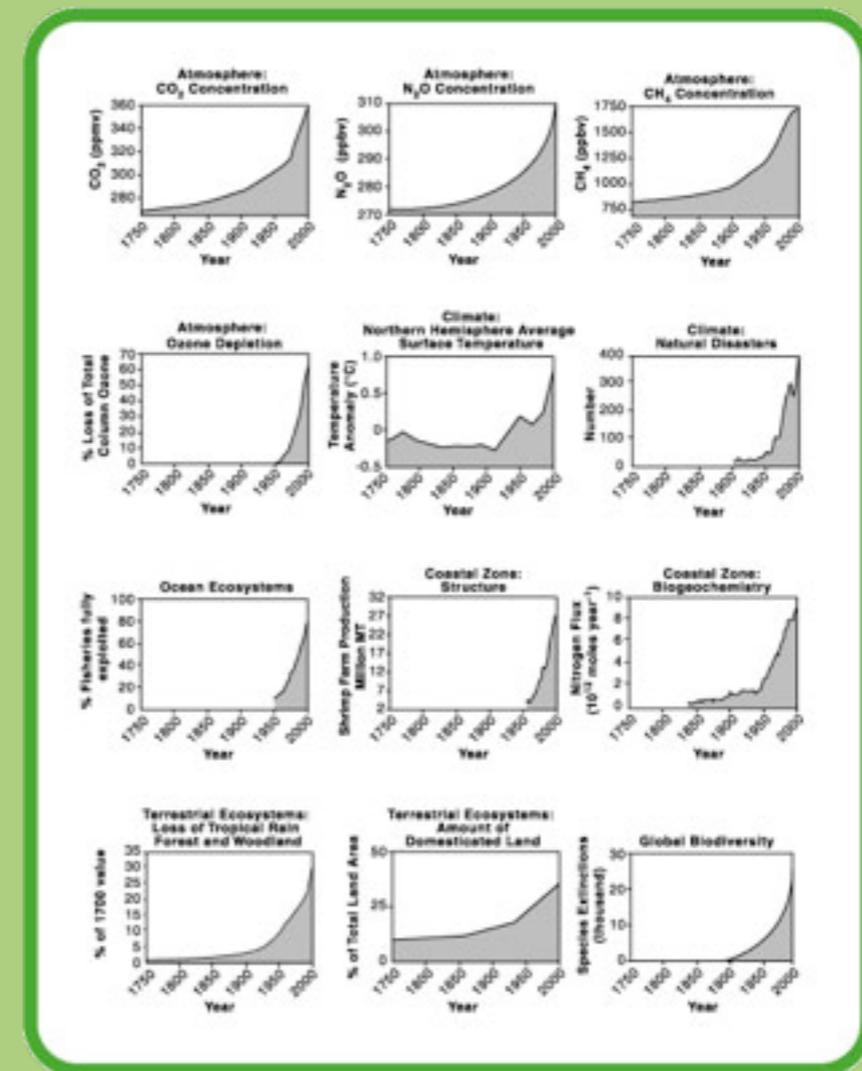
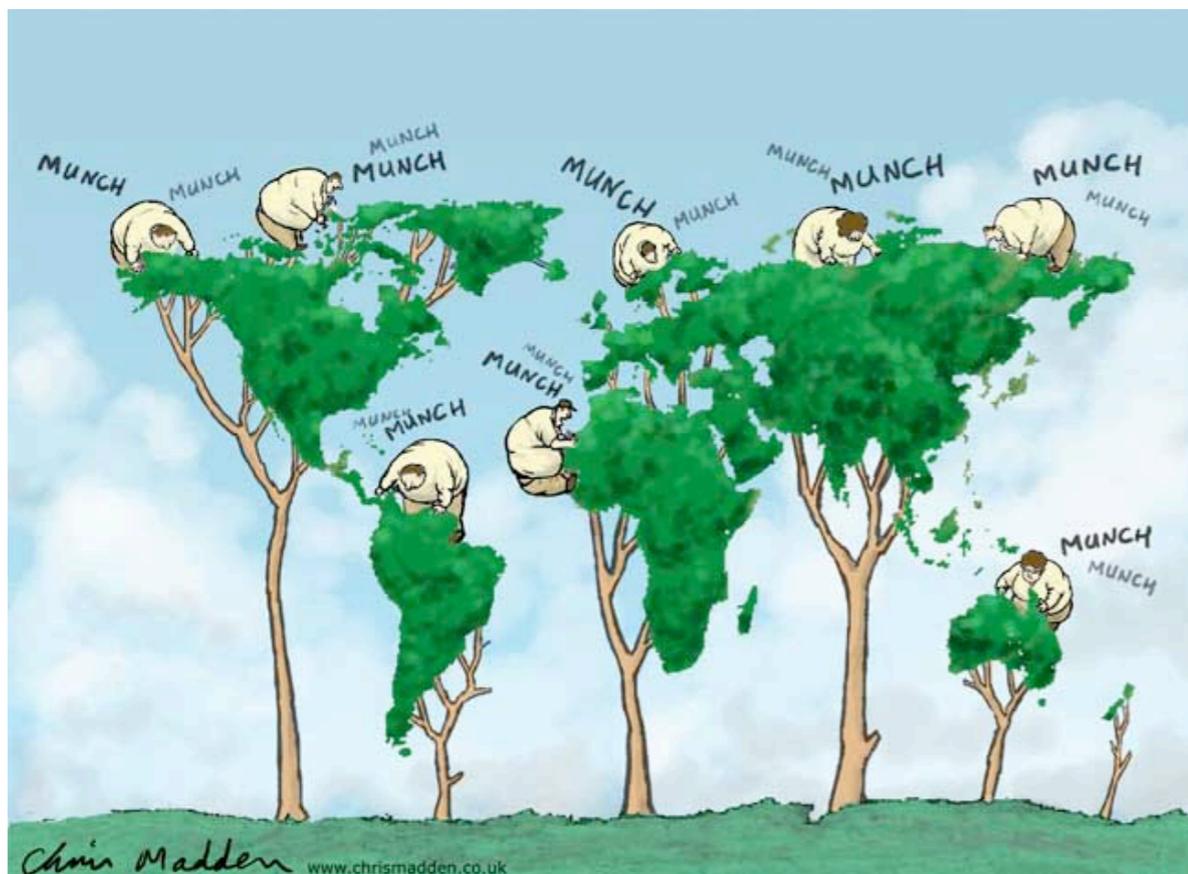
## Experiment ohne Kontrolle



# Klimawandel als Teil des Globalen Wandels

14

## Experiment ohne Kontrolle



# Zukünftiges Potentialgebiet: Buche

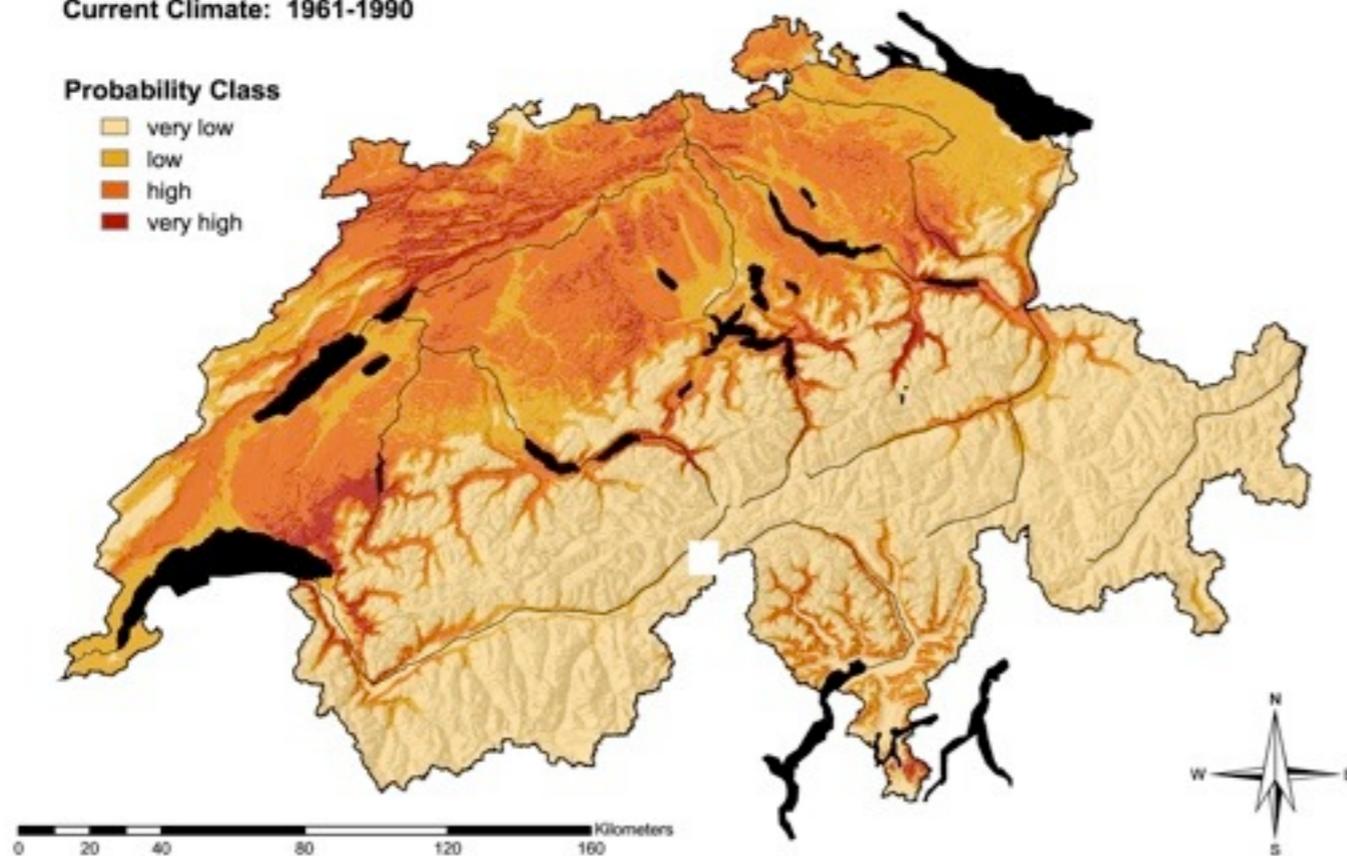
15

## *Fagus sylvatica*

Current Climate: 1961-1990

### Probability Class

- very low
- low
- high
- very high



B2: ~+3.3°C  
A1: ~+6.0°C

N. Zimmermann, Forum für Wissen 2006

# Zukünftiges Potentialgebiet: Buche

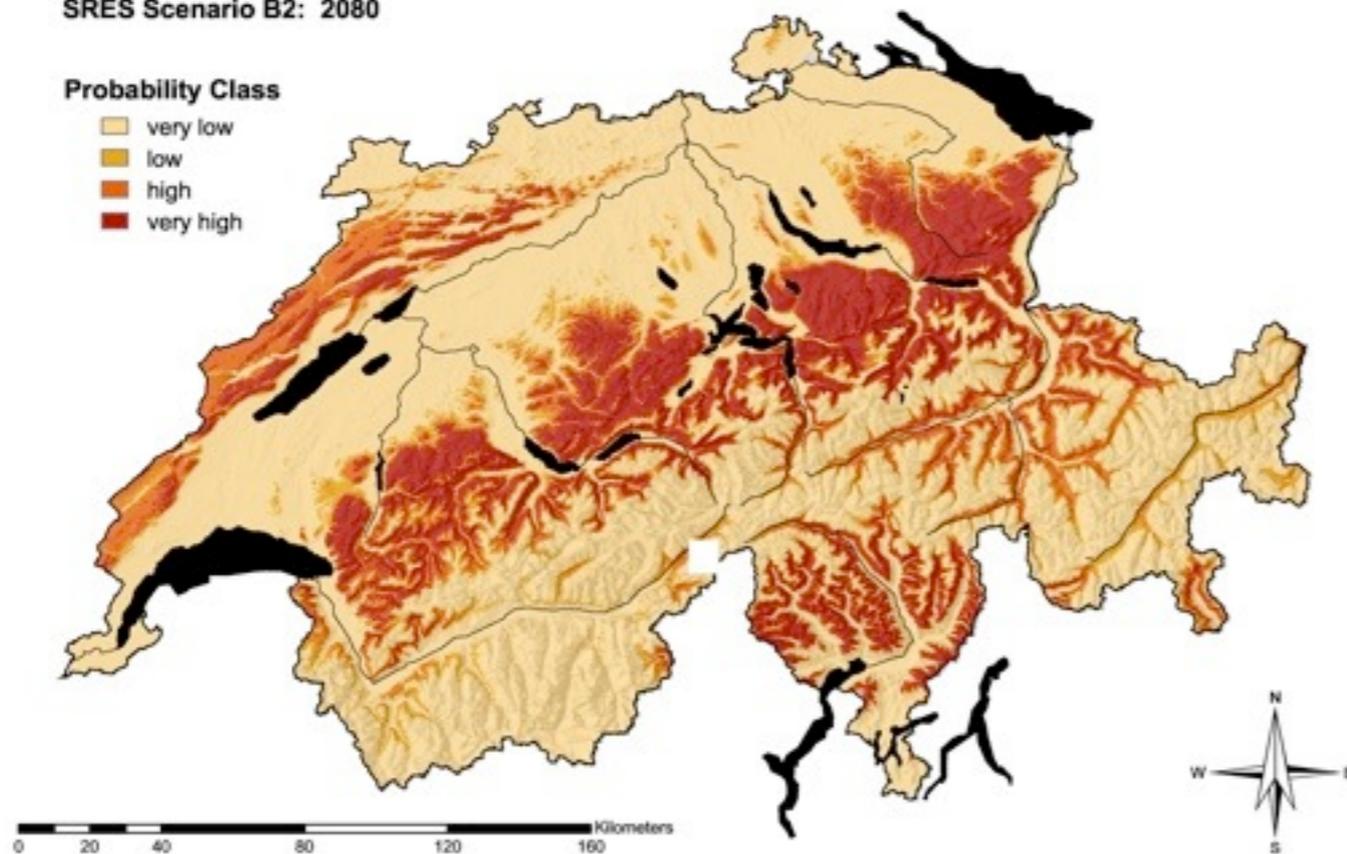
15

## *Fagus sylvatica*

SRES Scenario B2: 2080

### Probability Class

- very low
- low
- high
- very high



B2:  $\sim +3.3^{\circ}\text{C}$   
A1:  $\sim +6.0^{\circ}\text{C}$

N. Zimmermann, Forum für Wissen 2006

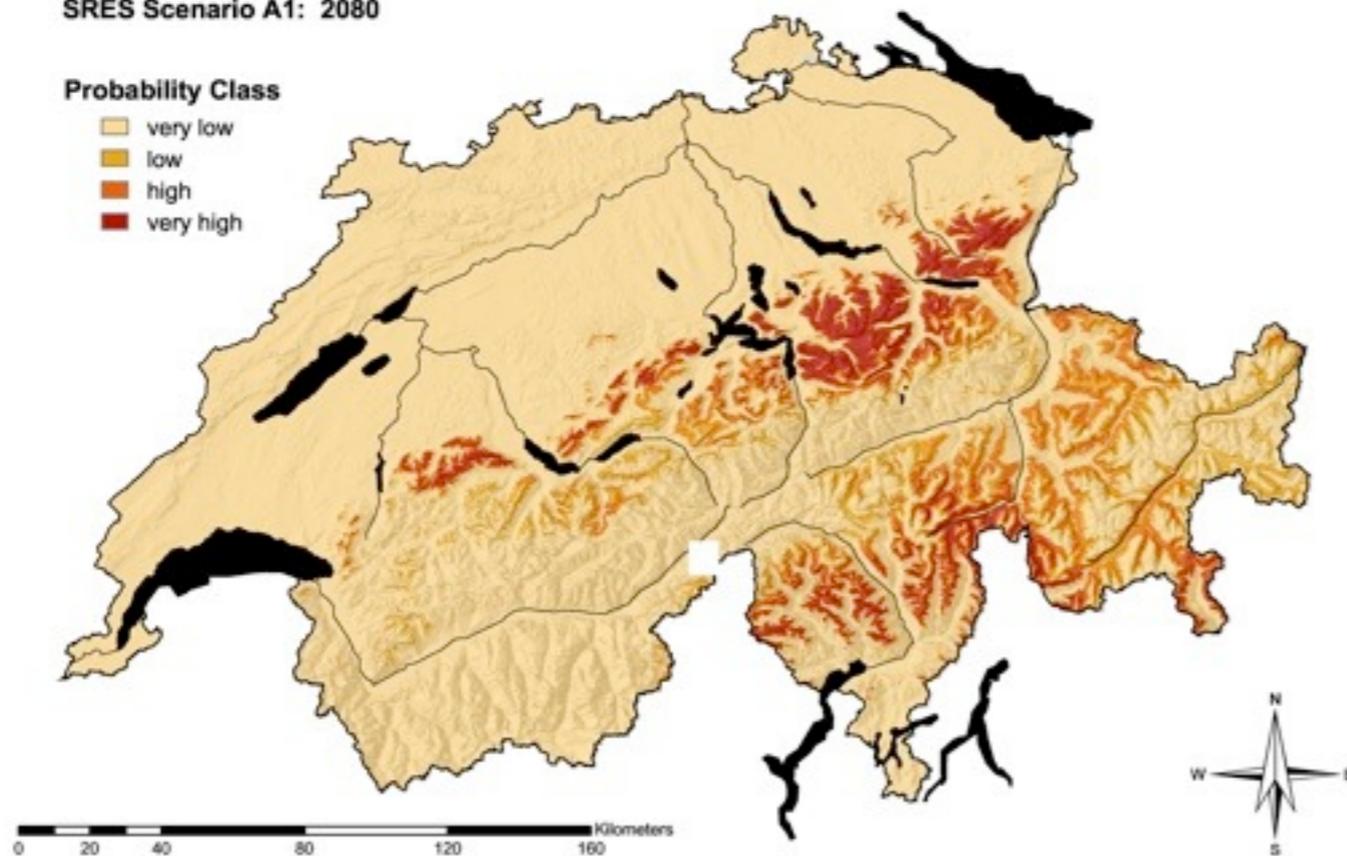
# Zukünftiges Potentialgebiet: Buche

15

## **Fagus sylvatica** SRES Scenario A1: 2080

### Probability Class

- very low
- low
- high
- very high

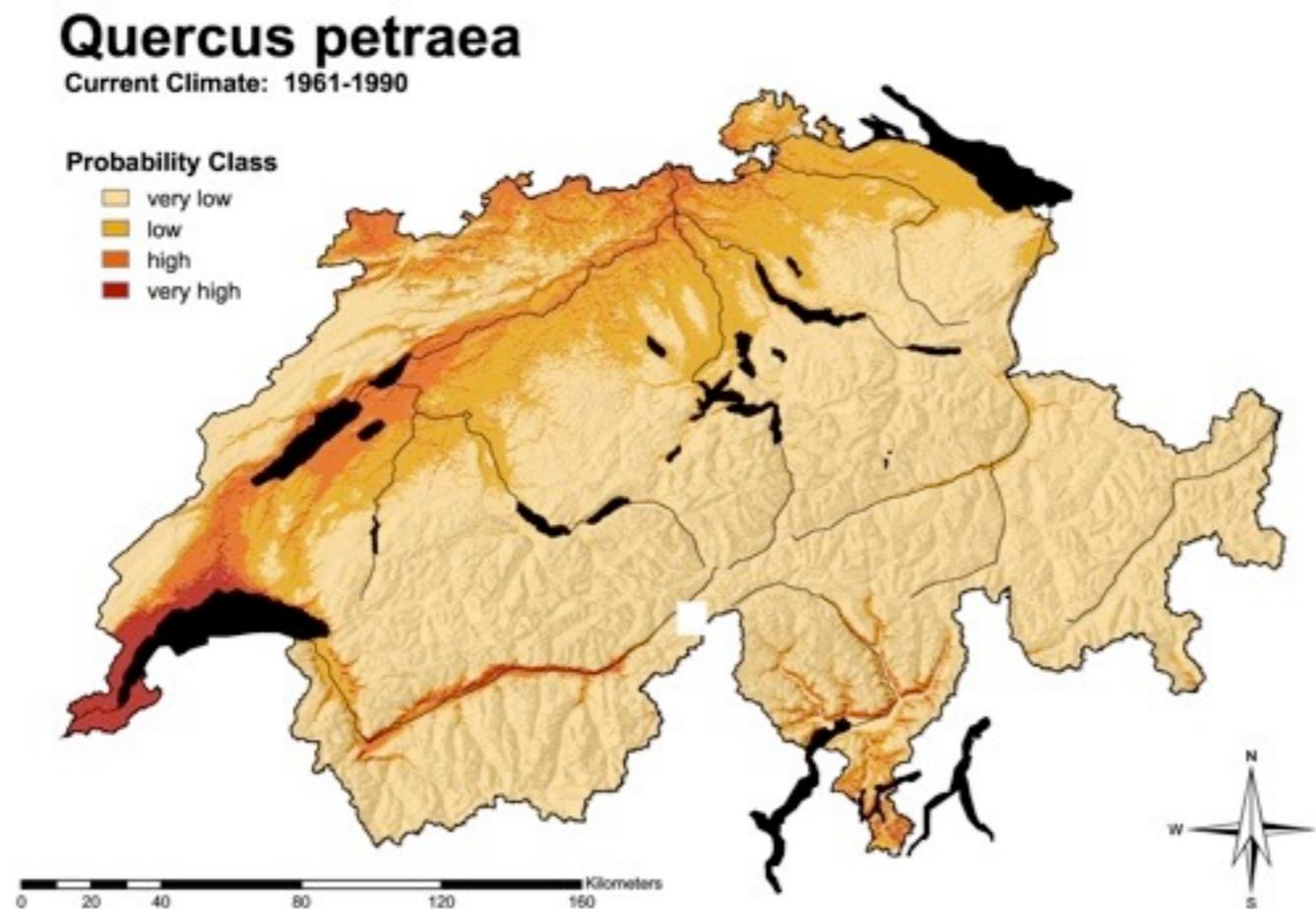


B2:  $\sim +3.3^{\circ}\text{C}$   
A1:  $\sim +6.0^{\circ}\text{C}$

N. Zimmermann, Forum für Wissen 2006

# Zukünftiges Potentialgebiet: Traubeneiche

16



B2:  $\sim +3.3^{\circ}\text{C}$   
A1:  $\sim +6.0^{\circ}\text{C}$

N. Zimmermann, Forum für Wissen 2006

# Zukünftiges Potentialgebiet: Traubeneiche

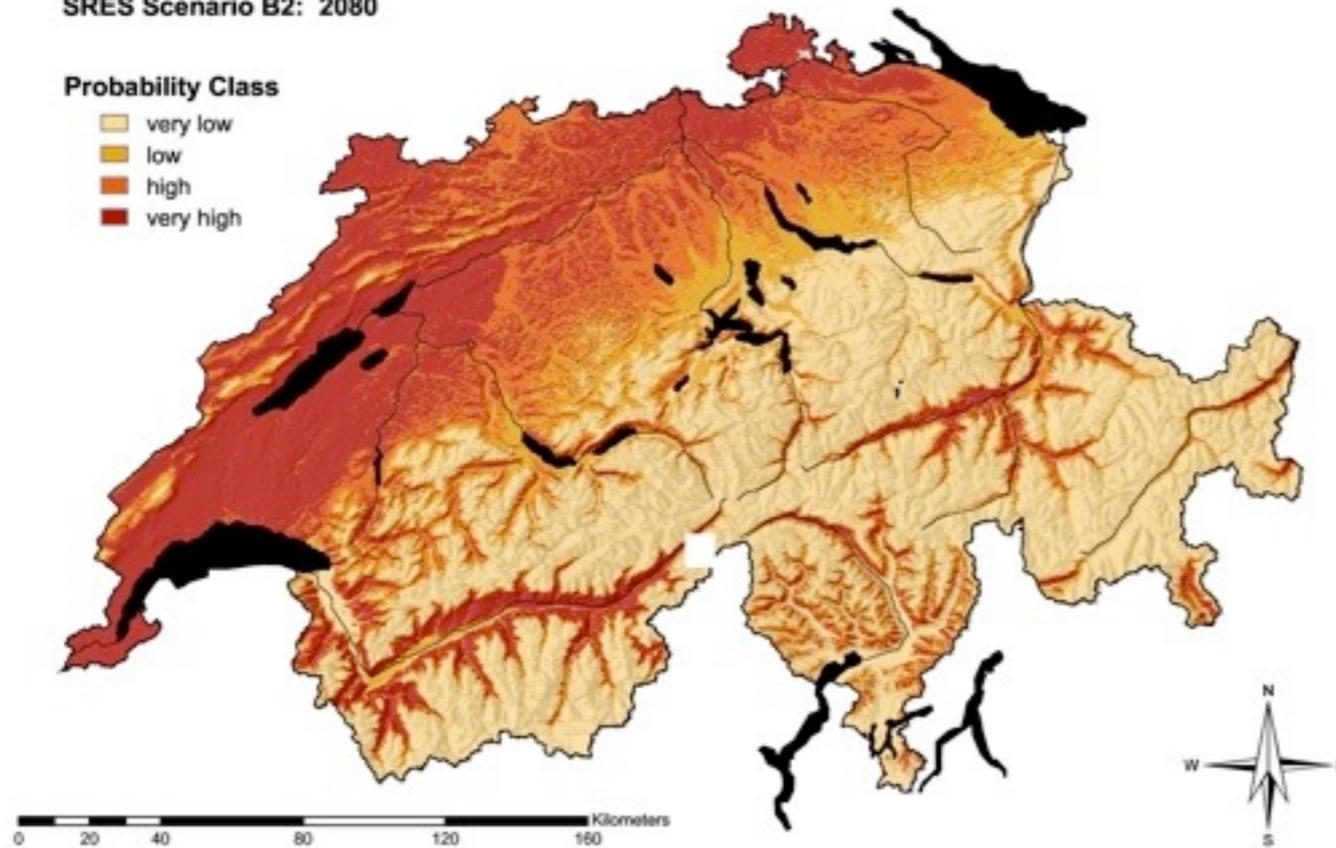
16

## Quercus petraea

SRES Scenario B2: 2080

Probability Class

- very low
- low
- high
- very high



B2:  $\sim +3.3^{\circ}\text{C}$   
A1:  $\sim +6.0^{\circ}\text{C}$

N. Zimmermann, Forum für Wissen 2006

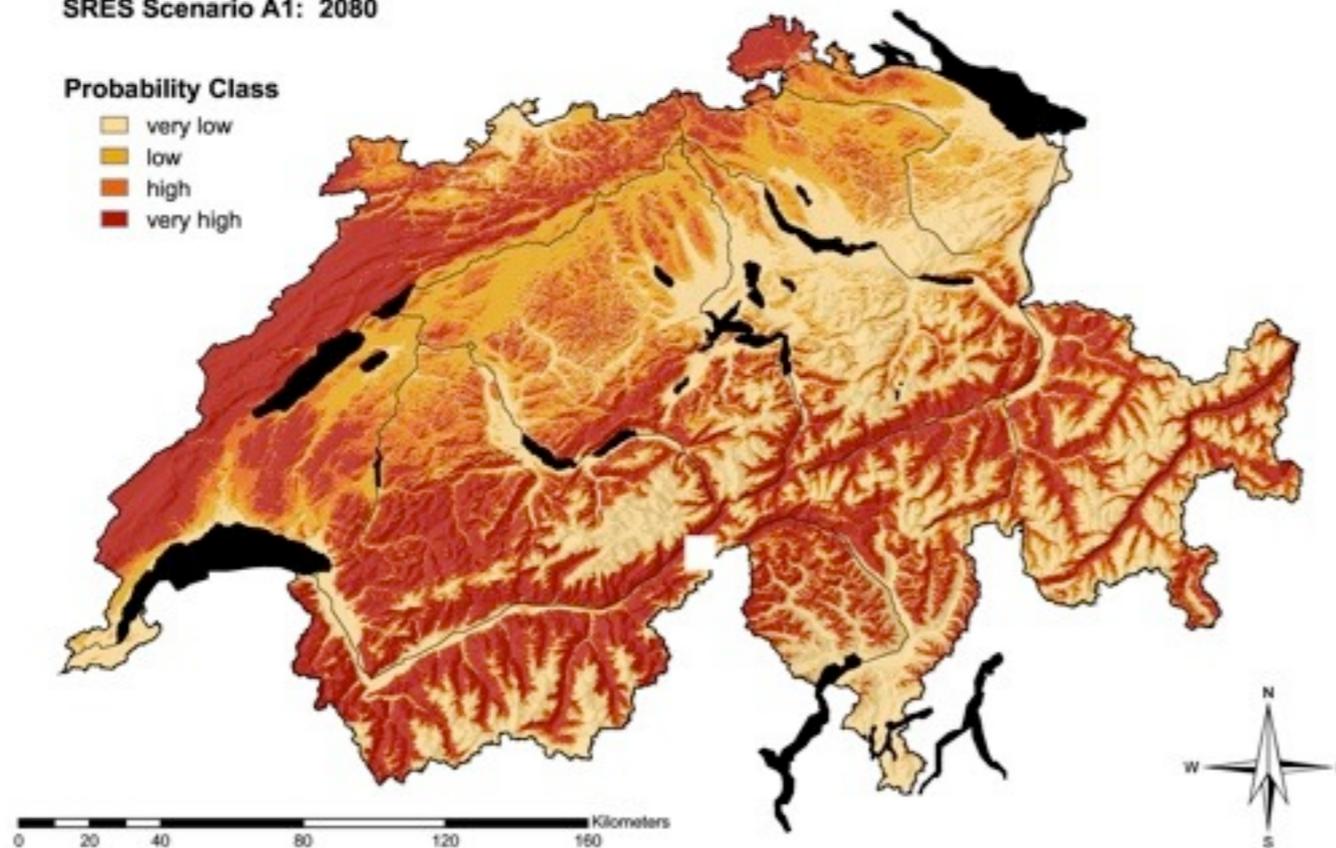
# Zukünftiges Potentialgebiet: Traubeneiche

16

## Quercus petraea SRES Scenario A1: 2080

Probability Class

- very low
- low
- high
- very high



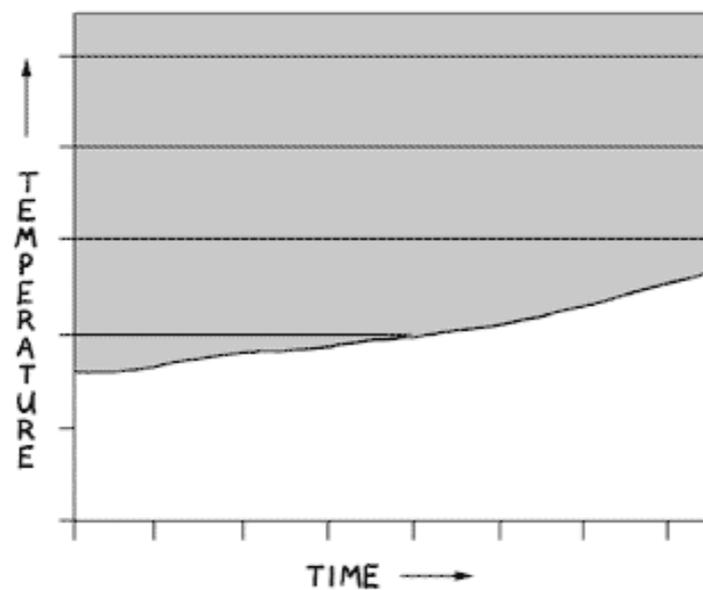
B2:  $\sim +3.3^{\circ}\text{C}$   
A1:  $\sim +6.0^{\circ}\text{C}$

N. Zimmermann, Forum für Wissen 2006

# Klimaerwärmung

17

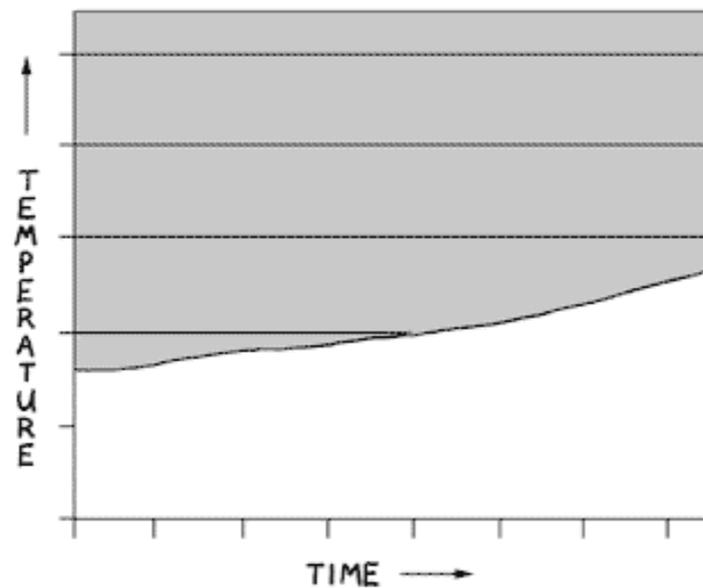
THE GRAPH OF  
**GLOBAL WARMING**  
MAY START  
UNEVENTFULLY...



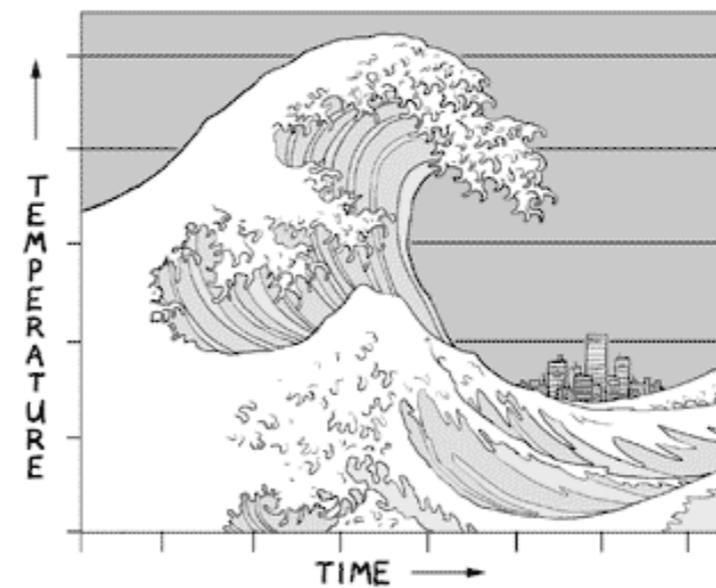
# Klimaerwärmung

17

THE GRAPH OF  
**GLOBAL WARMING**  
MAY START  
UNEVENTFULLY...

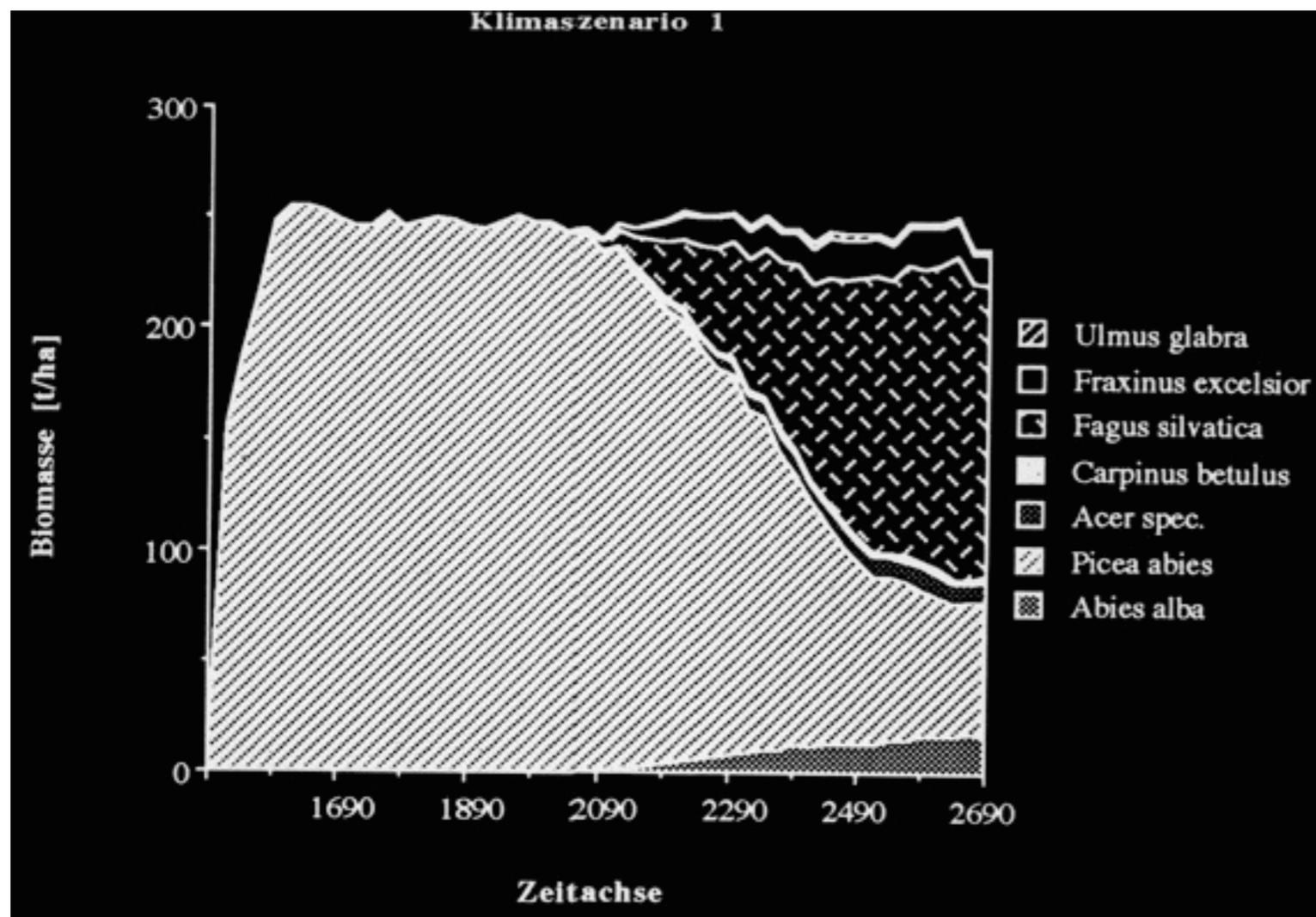


BUT ...



# Perzeption im Wandel eine persönliche Bilanz

18



Verdoppelung des CO<sub>2</sub>-  
Anteils: Temperatur + 3 °C  
bis 2050 (FORECE)

Ob Untervaz (1350 m ü.M.)

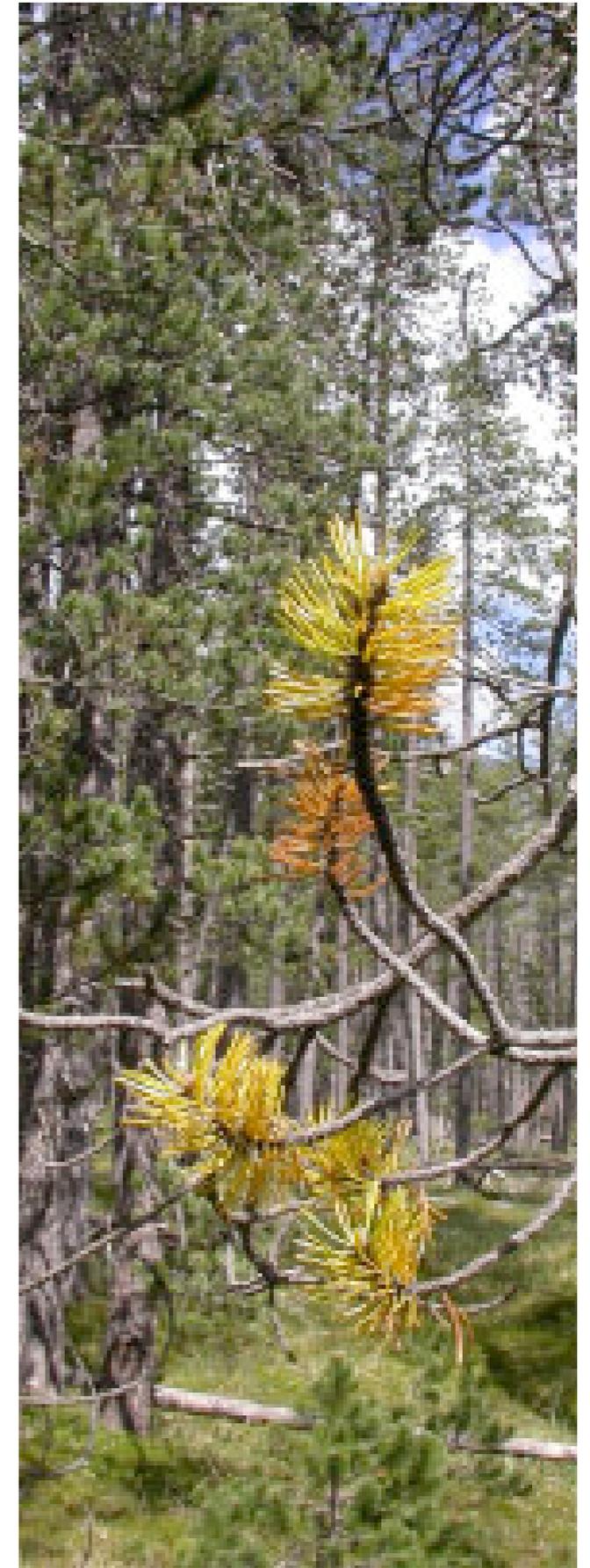
Kräuchi (1992) Ber. Norddeutsche Naturschutzakademie 5.



# Bilanzen im Wald erfassen

Langfristige  
Waldökosystem-  
Forschung LWF

19



## ● Level 1 (Sanasilva)

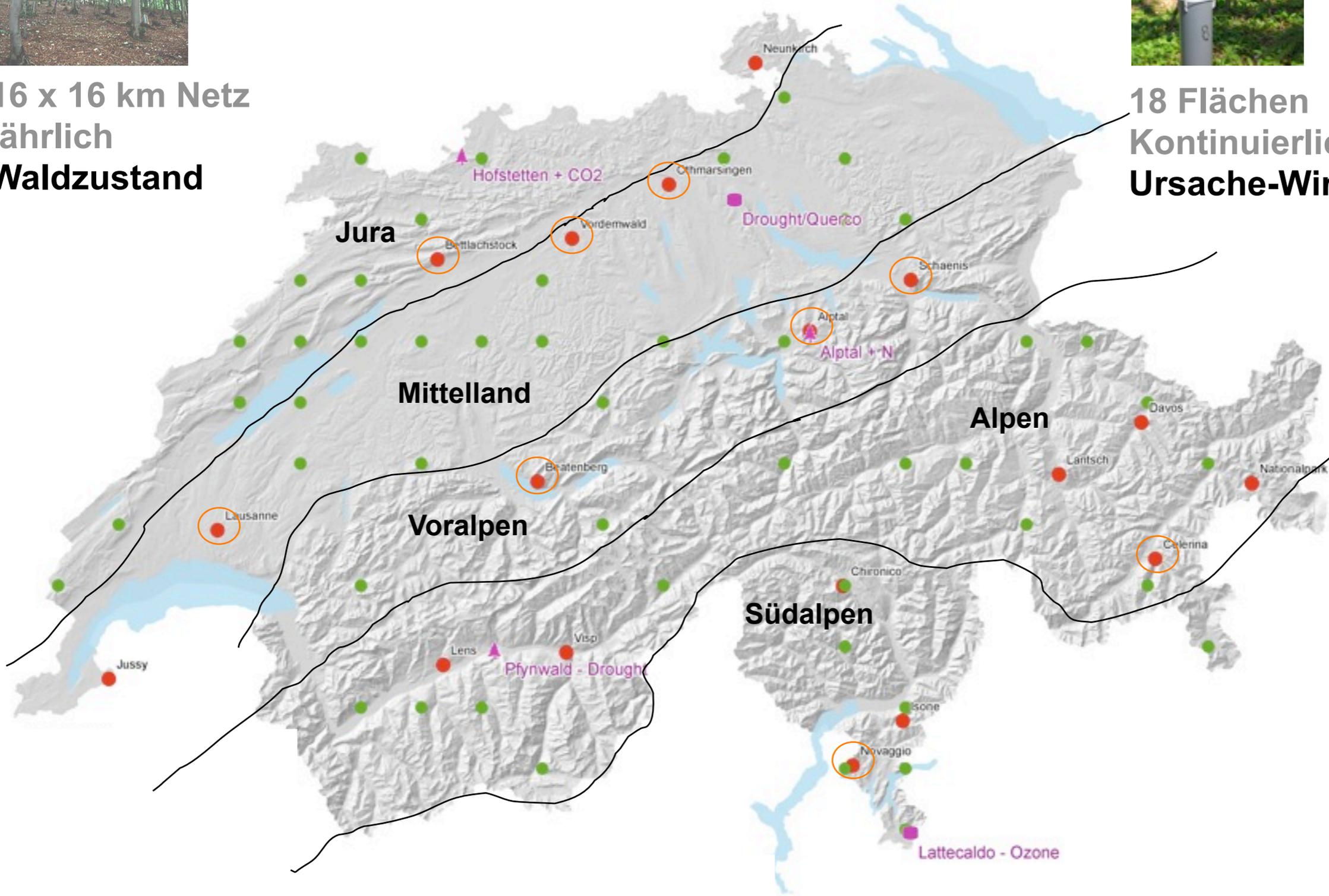


16 x 16 km Netz  
jährlich  
Waldzustand

## ● Level 2 (LWF)



18 Flächen  
Kontinuierlich  
Ursache-Wirkung



20

● **Level 1 (Sanasilva)**



16 x 16 km Netz  
jährlich  
**Waldzustand**



**Kronenzustand**



**Baumwachstum**

● **Level 2 (LWF)**



18 Flächen  
Kontinuierlich  
**Ursache-Wirkung**



**Bodenchemie**



**Bodenlösung**



**Saugspannung**



**Vegetation**



**Bestandes-NS**



**Meteo**



**Blattchemie**



**Streufall**



**Blatflächenindex**



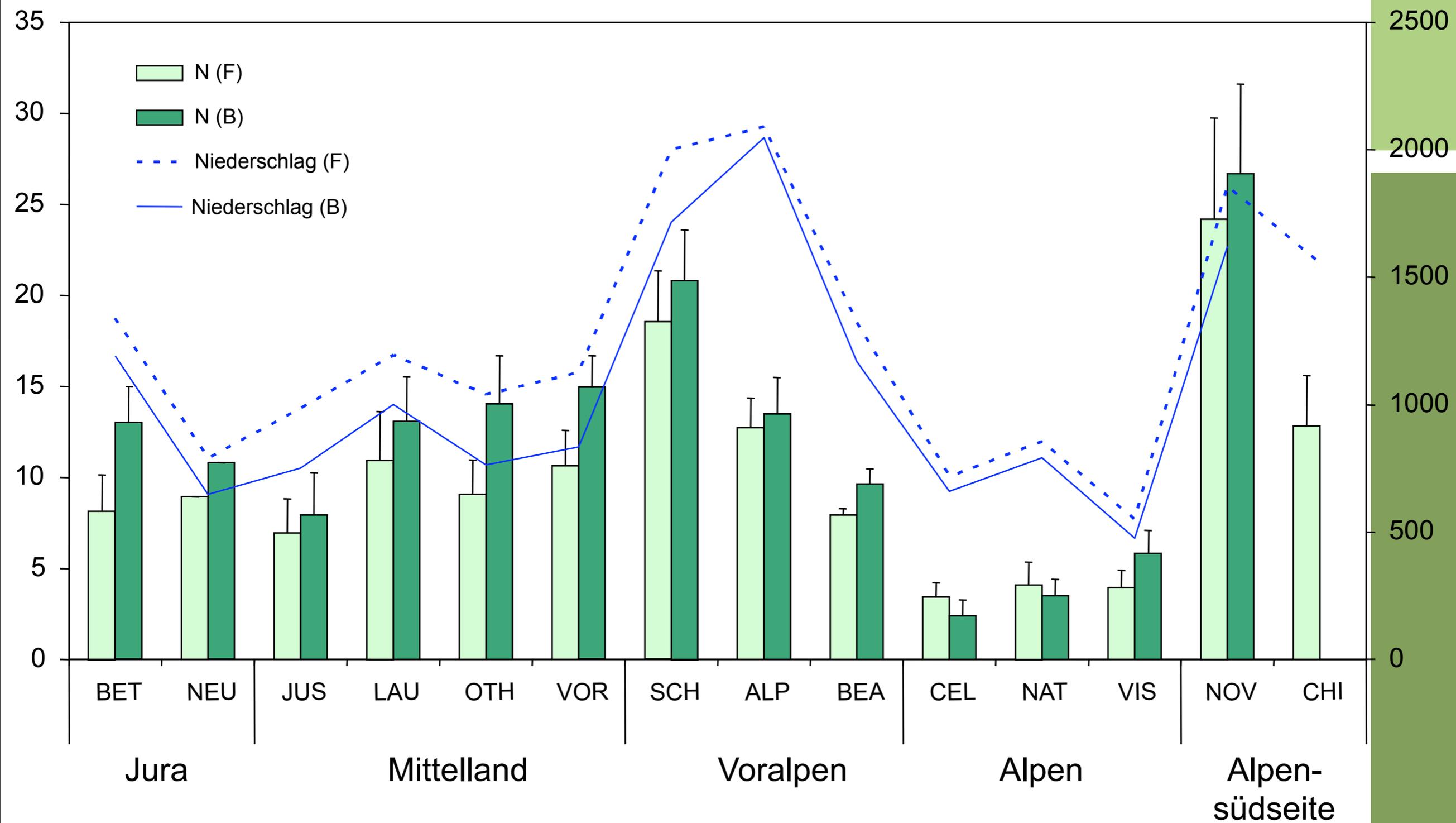
**Passivsammler**



**Blattsymptome**

N-Deposition  
[kg ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup>]

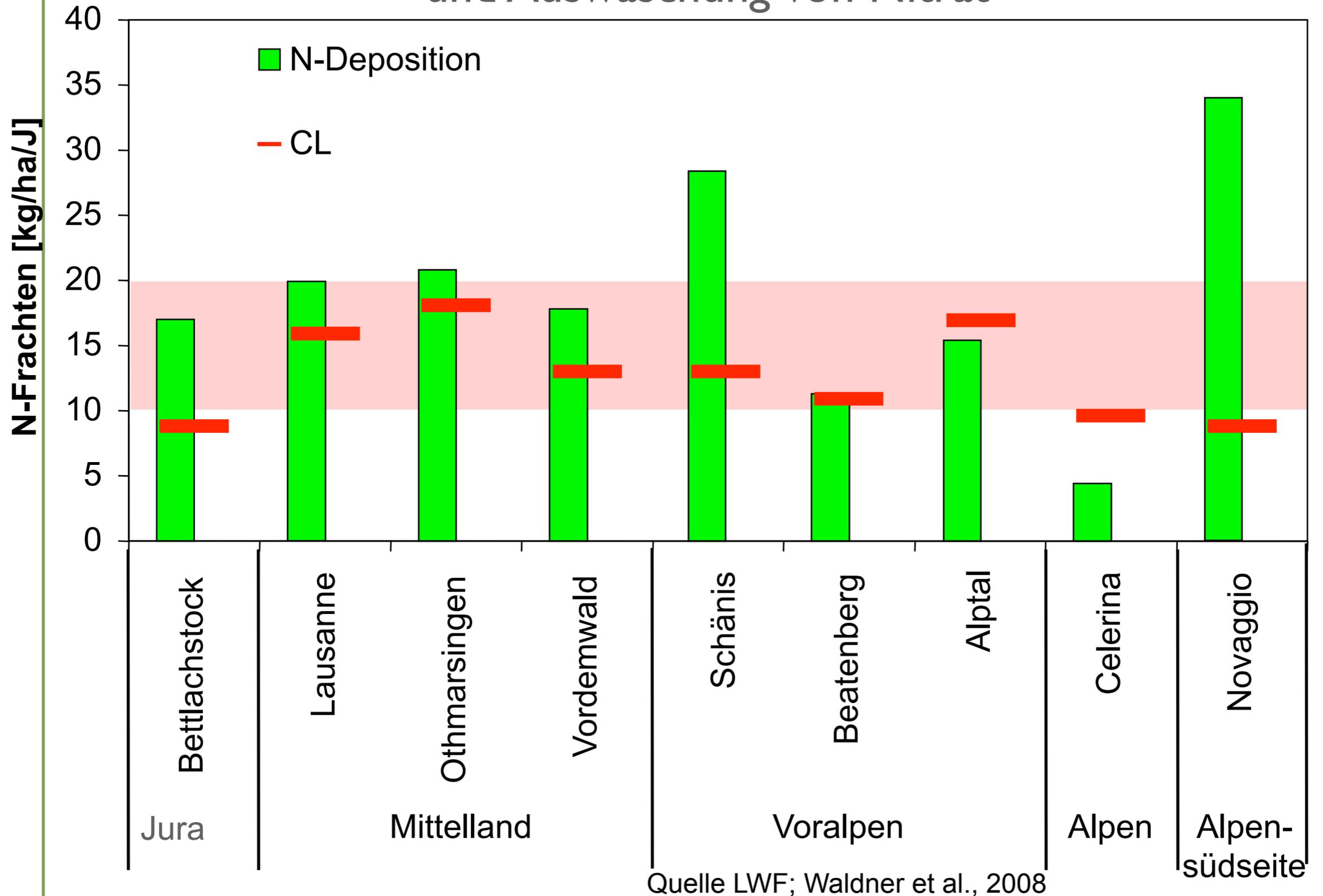
Niederschlag  
[mm]



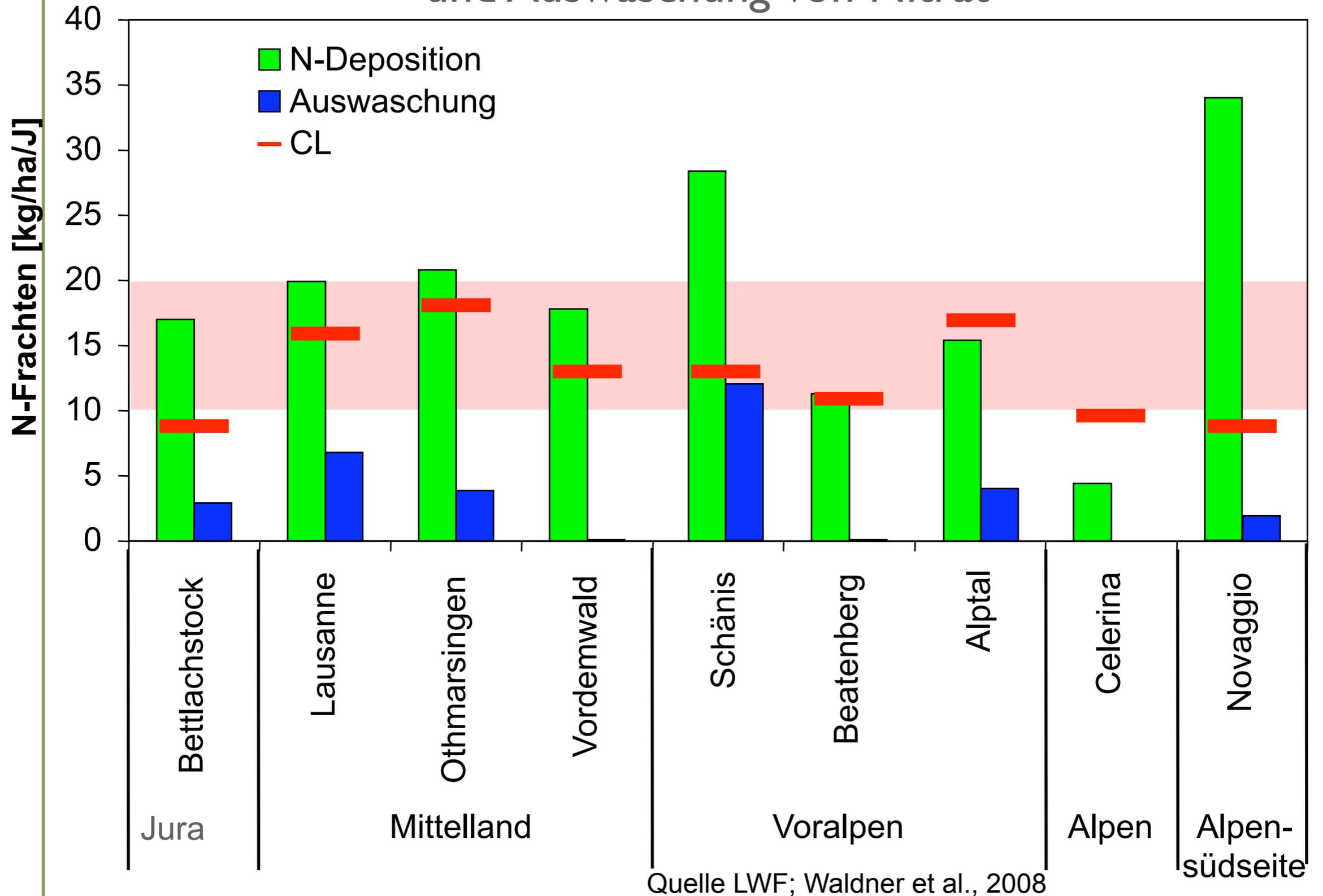
Quelle LWF; Waldner et al., 2008



# Stickstoffdeposition, Critical Loads (CL) und Auswaschung von Nitrat



# Stickstoffdeposition, Critical Loads (CL) und Auswaschung von Nitrat

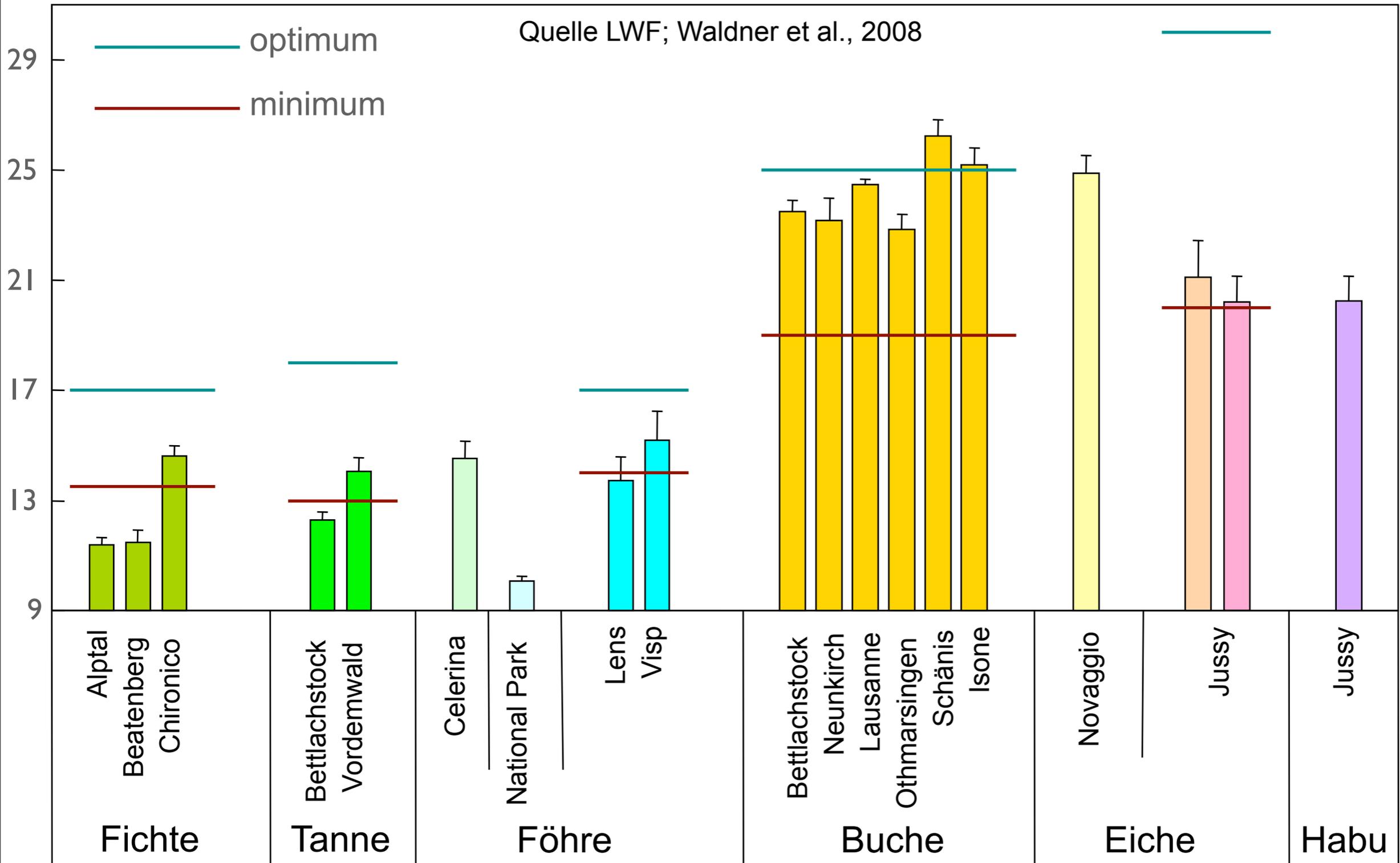


Quelle LWF; Waldner et al., 2008

# Stickstoffkonzentration in den Blättern Indikator für die Nährstoffversorgung

N-Konzentration  
in Blättern [mg/g]

Quelle LWF; Waldner et al., 2008



N. Kräuchi @ 4. Nationale Umweltbeobachtungstagung 2008

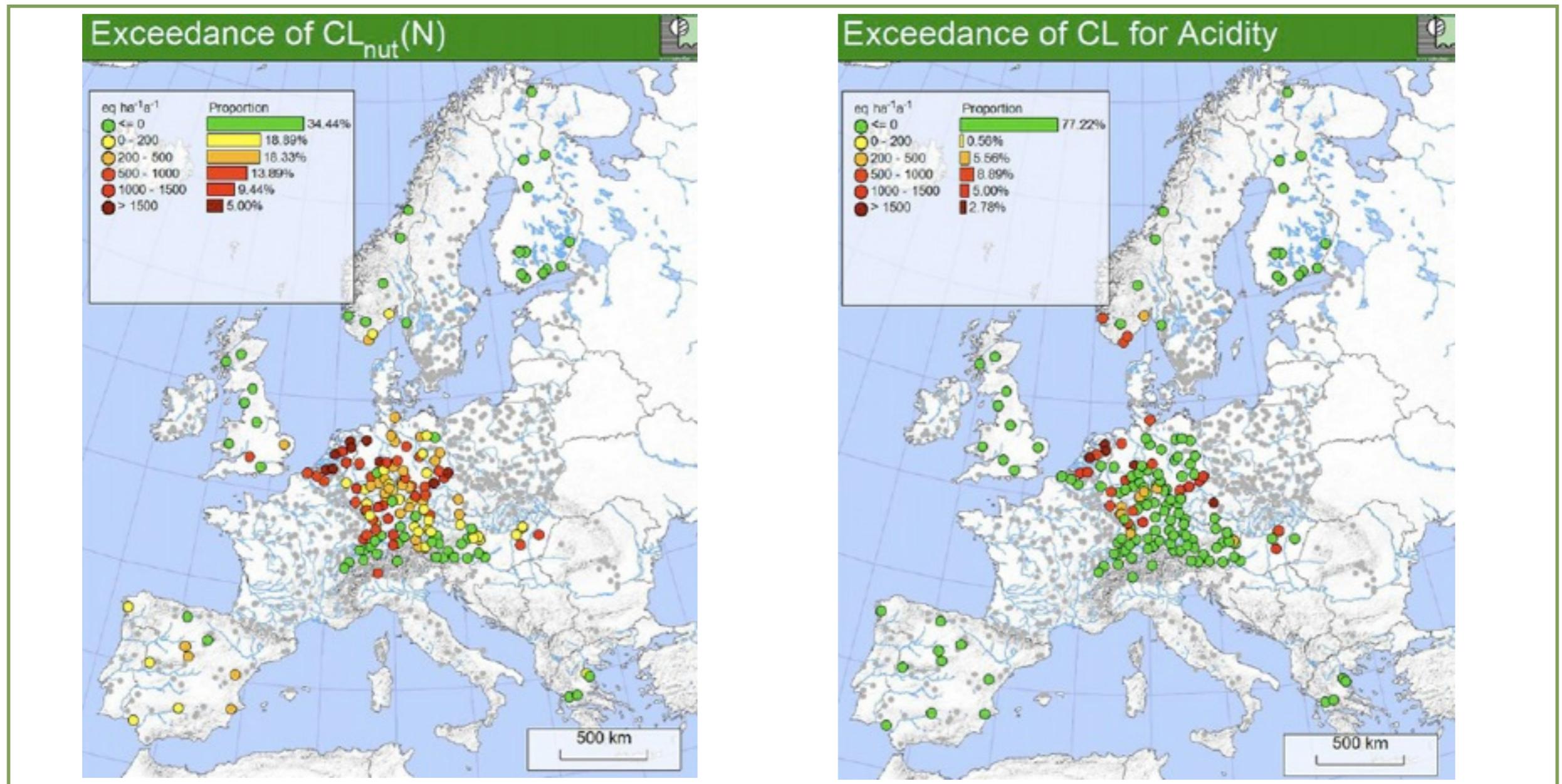
- ▶ Stickstoff ist in der Regel ein begrenzender Faktor.
- ▶ Vor allem in den Voralpen und im Tessin überschreiten die Stickstoff-Depositionen aus der Atmosphäre die berechneten Critical Loads.
- ▶ Bei Schänis und anderen Flächen mit einer Überschreitung der Critical Loads wird eine Auswaschung von Stickstoff aus der Fläche mit dem Bodenwasser festgestellt, was auf eine Stickstoffsättigung hinweist.
- ▶ In Novaggio hingegen, wird trotz grosser Überschreitung eine geringe Auswaschung festgestellt. Das C/N-Verhältnis im Boden bestätigt, dass die Fläche (noch) nicht stickstoffgesättigt ist.
- ▶ Die Blattspiegelwerte widerspiegeln teilweise die Stickstoffverfügbarkeit und Stickstoffsättigung der LWF-Flächen.
- ▶ Das LWF kann die Berechnungen der Critical Loads für Stickstoff bestätigen und zu deren Verbesserung beitragen.

(Waldner et al., Environ Monit Assess 2007)

# Critical loads and their exceedances at intensive forest monitoring sites in Europe

(Lorenz et al, Env. Pollution, in press)

26





# Welchen Wald wollen wir?

# Wie bekommen wir den Wald, den wir wollen? 28



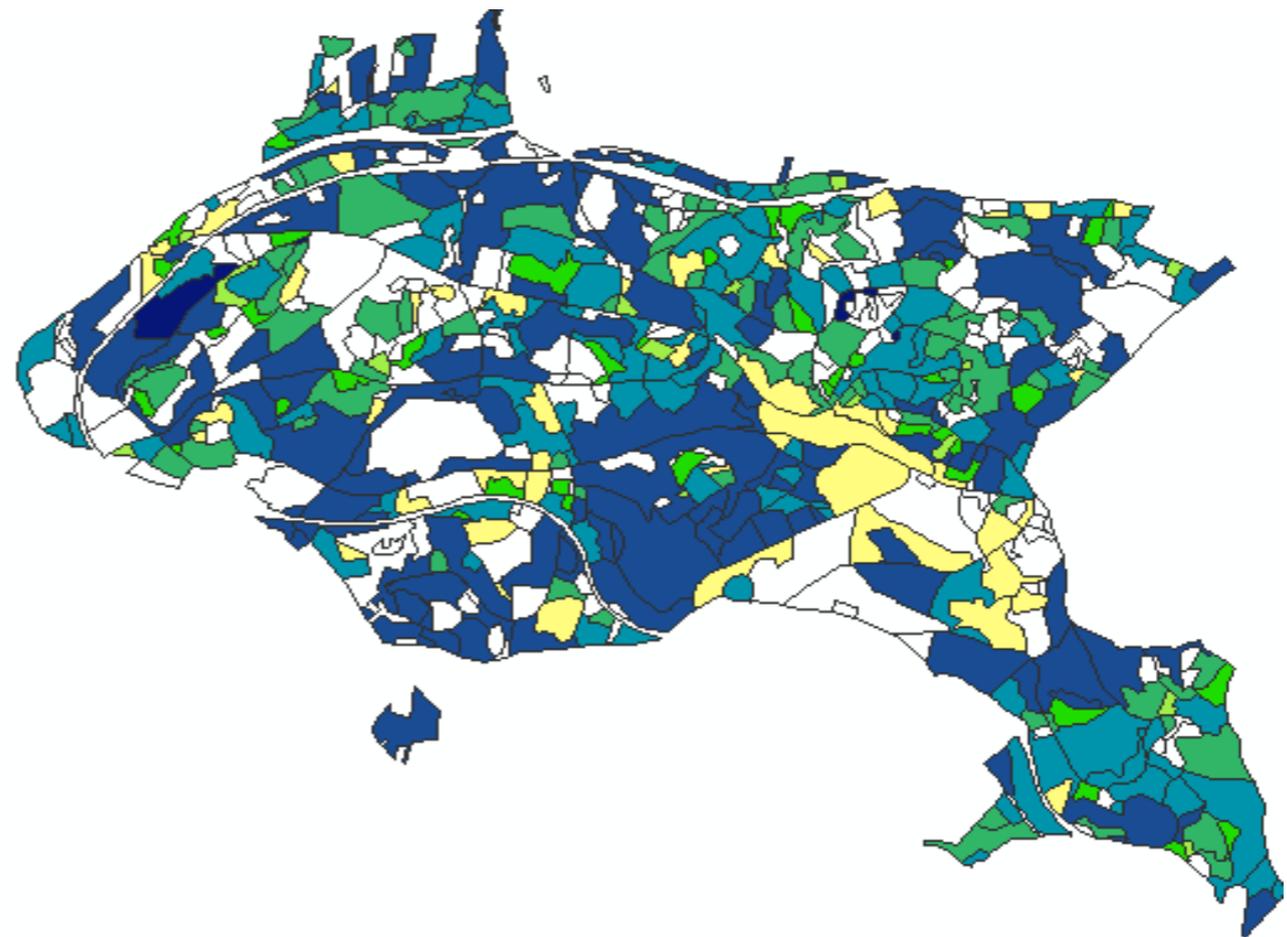


# Herausforderung Nachhaltigkeit

# Wissen umsetzen, bilanzieren: Dynamische Waldenergieholzkarte

30

## Aushieb - Energi Holzmenge

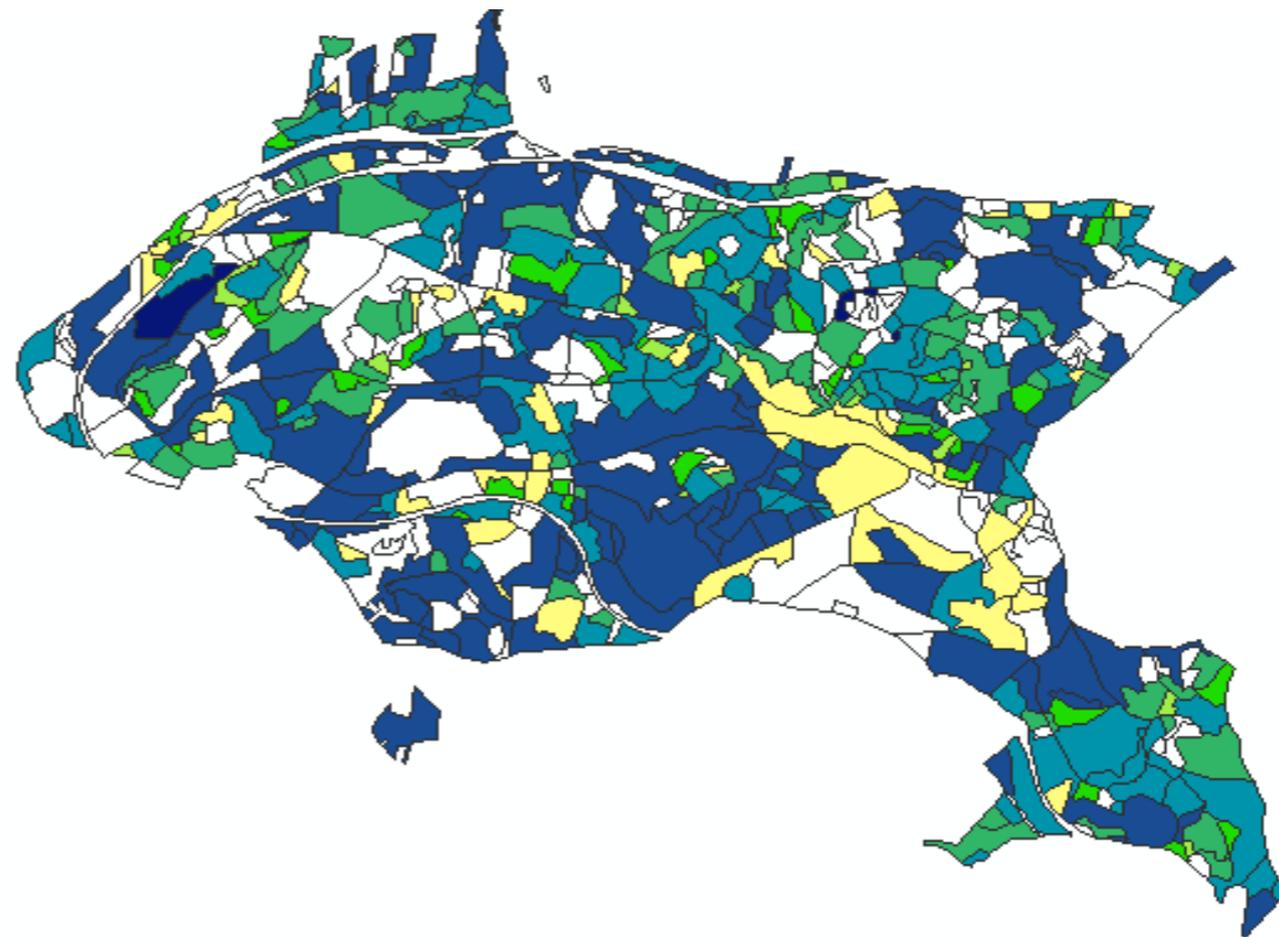


Quelle: Forschungsprogramm Management Waldnutzung O.Thees et al. 2007

# Wissen umsetzen, bilanzieren: Dynamische Waldenergieholzkarte

30

## Aushieb - Energi Holzmenge

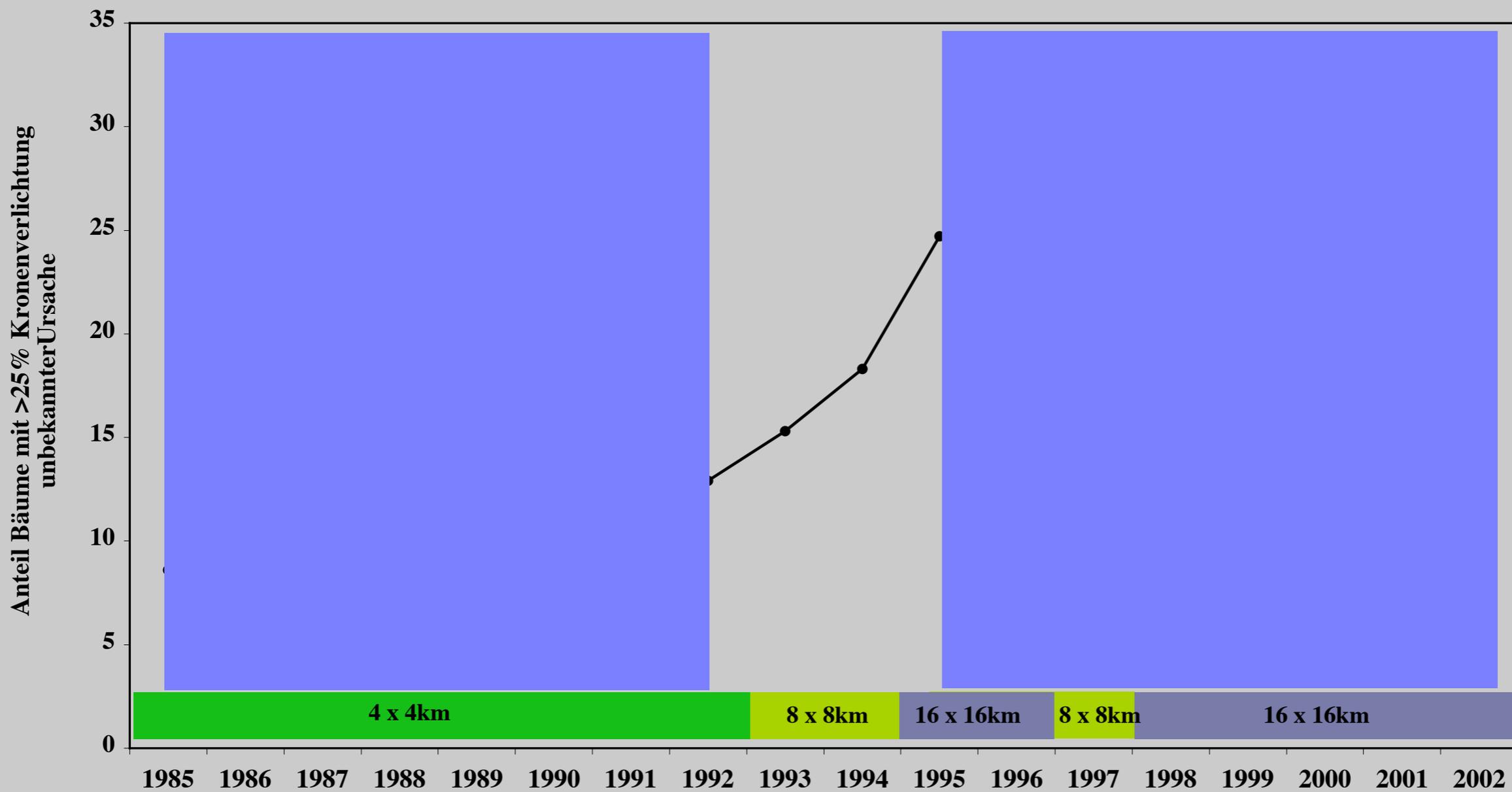


Nährstoffflüsse

Quelle: Forschungsprogramm Management Waldnutzung O.Thees et al. 2007

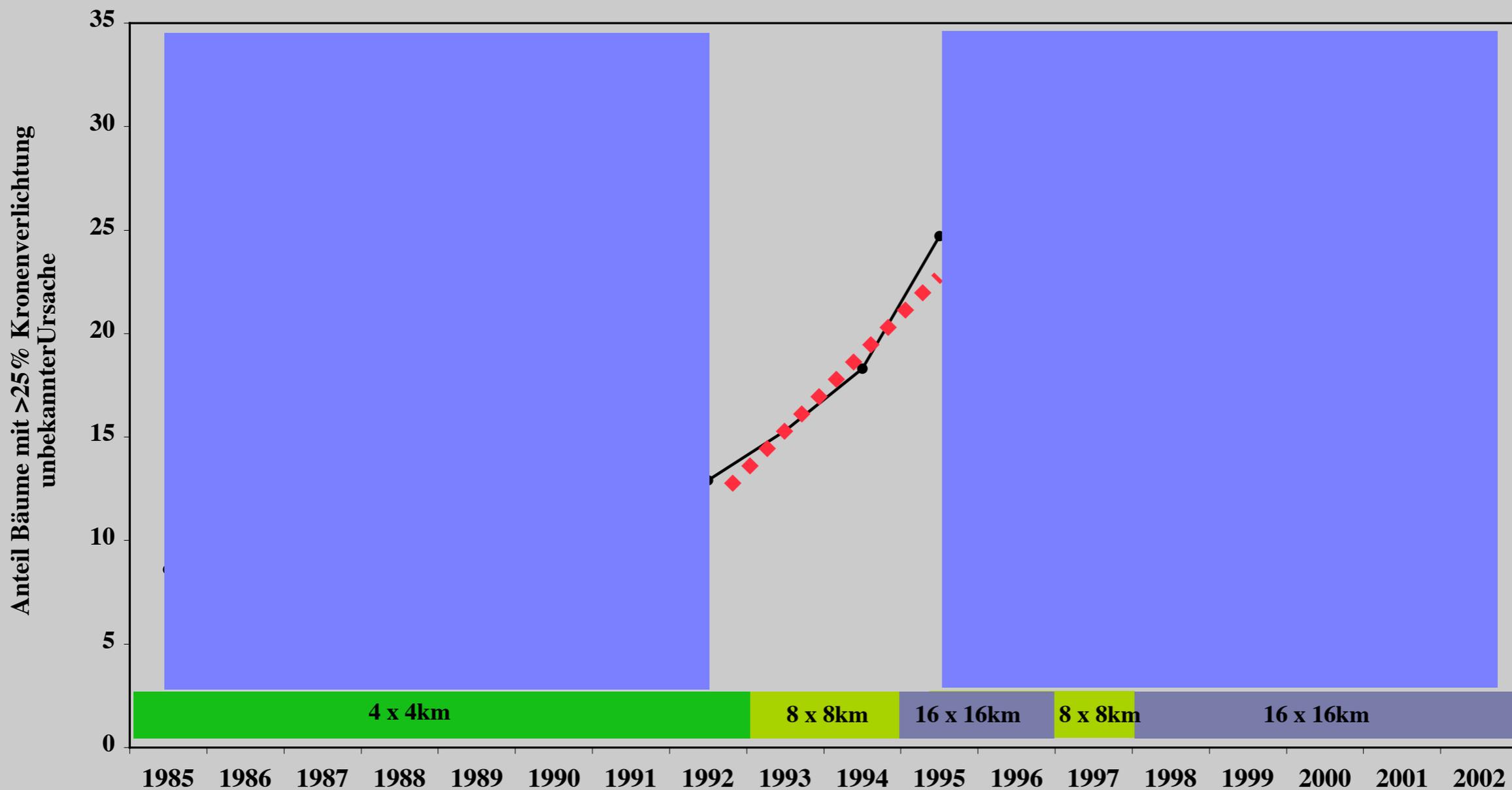
# Problem der unsichtbaren Gegenwart

31



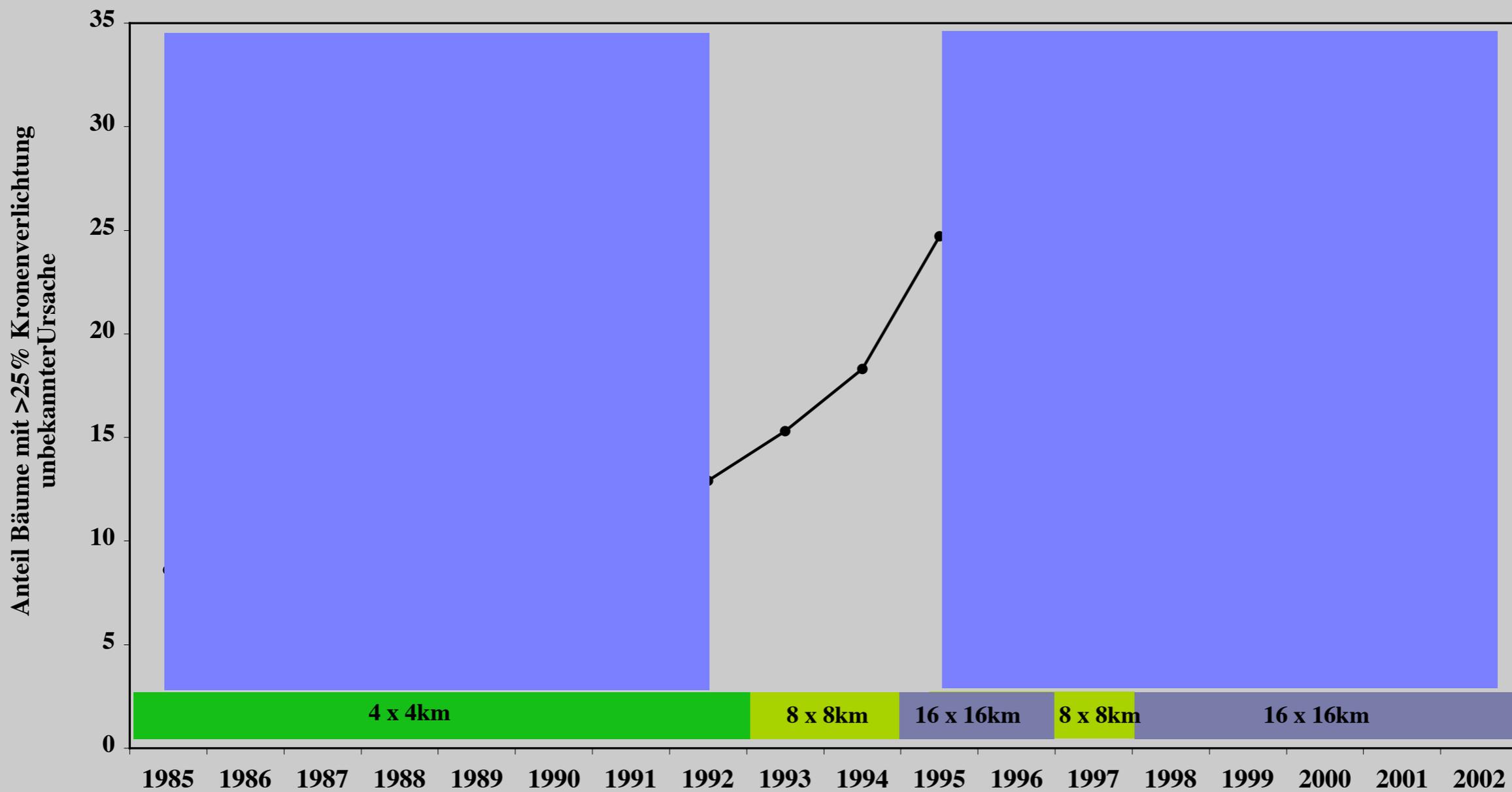
# Problem der unsichtbaren Gegenwart

31

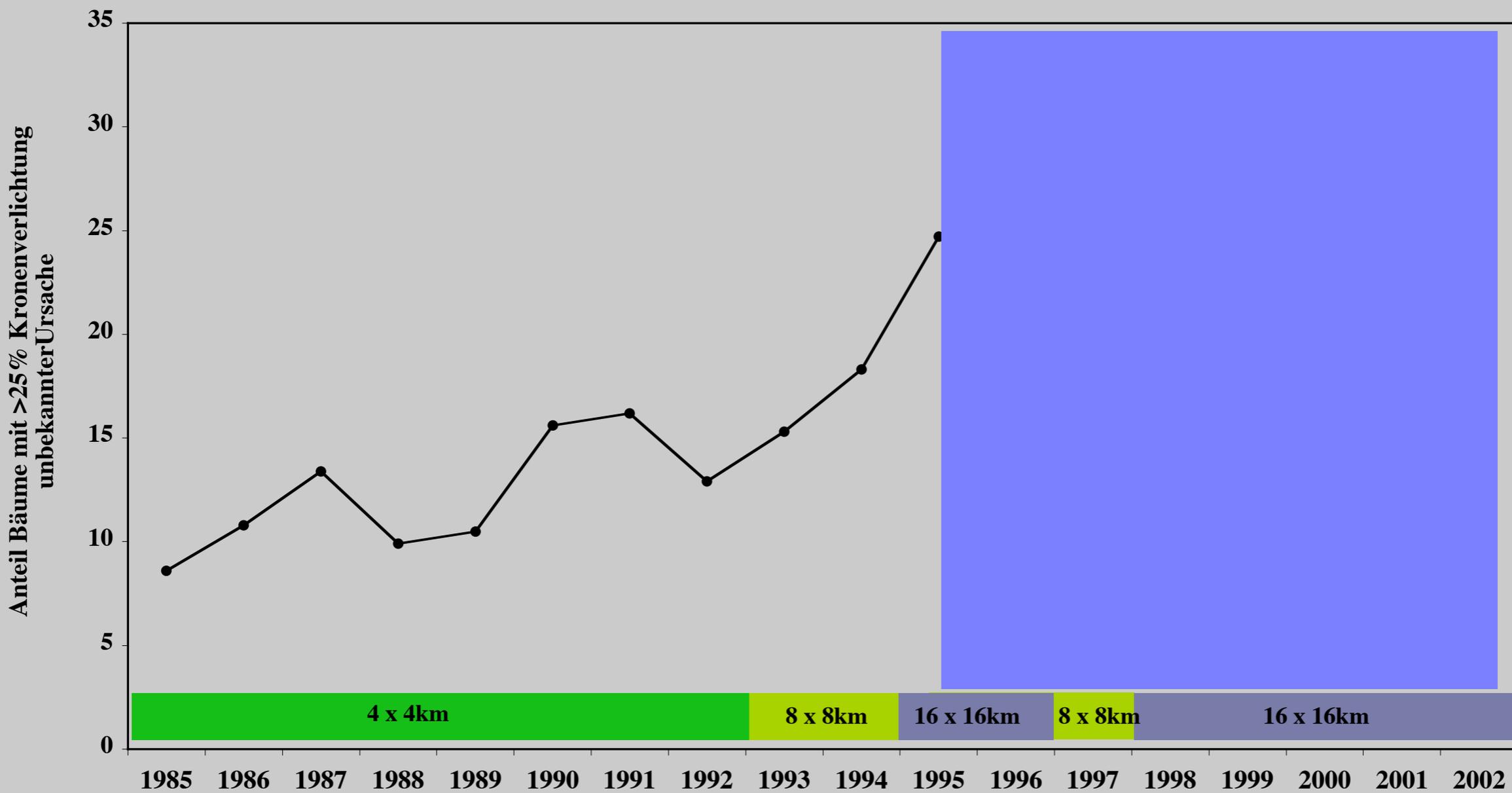


# Problem der unsichtbaren Gegenwart

31

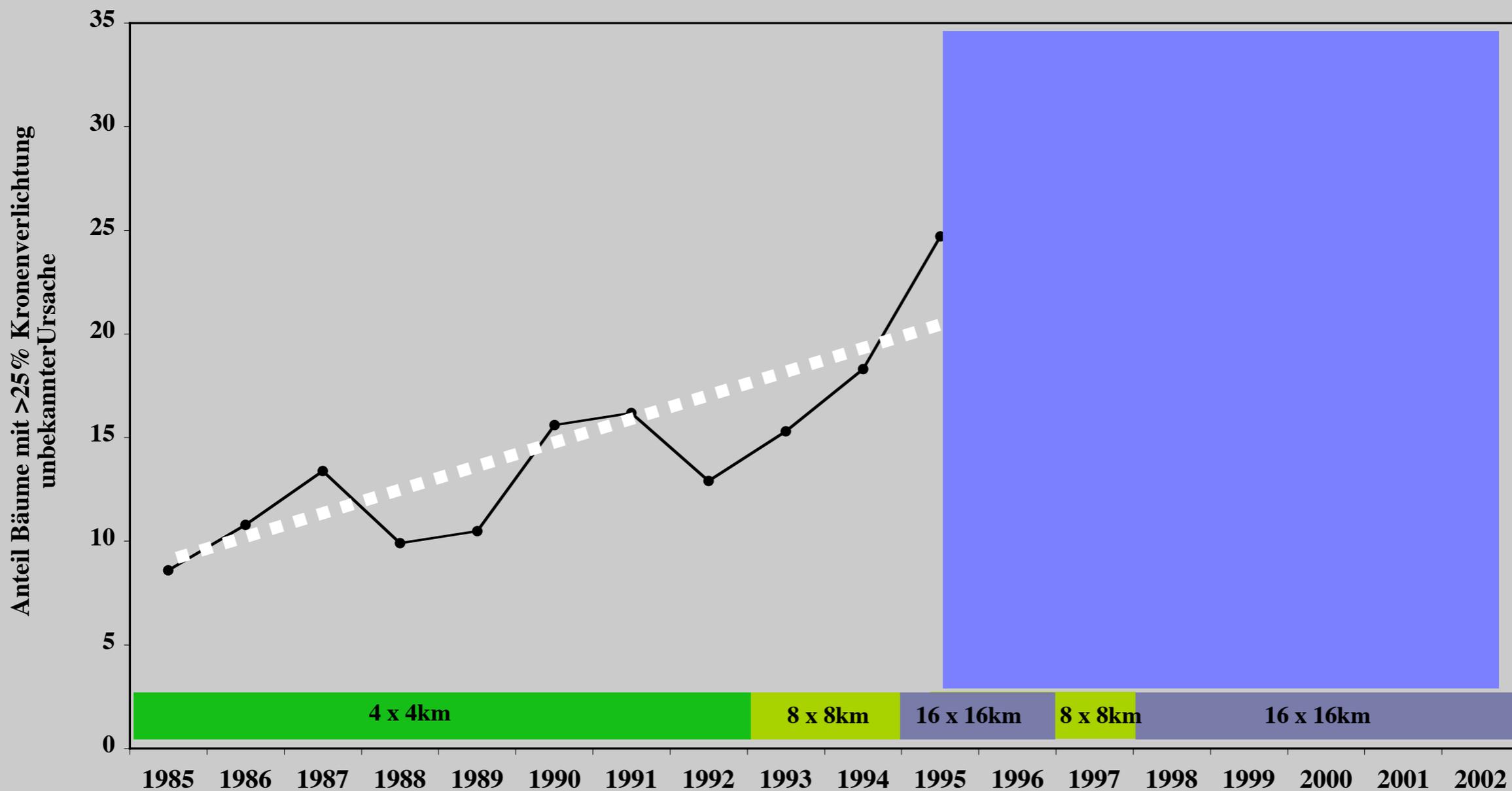


# Problem der unsichtbaren Gegenwart



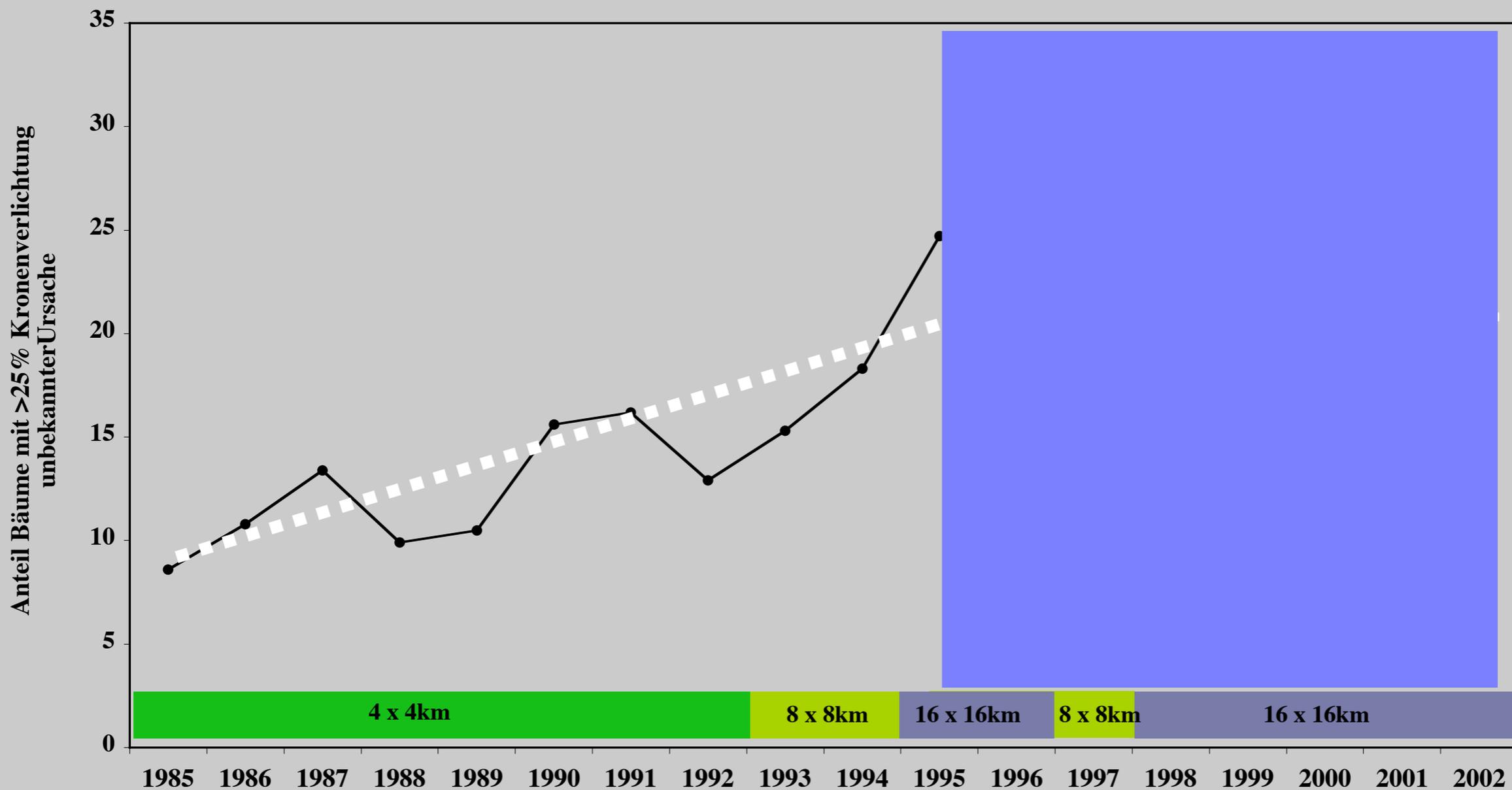
# Problem der unsichtbaren Gegenwart

31



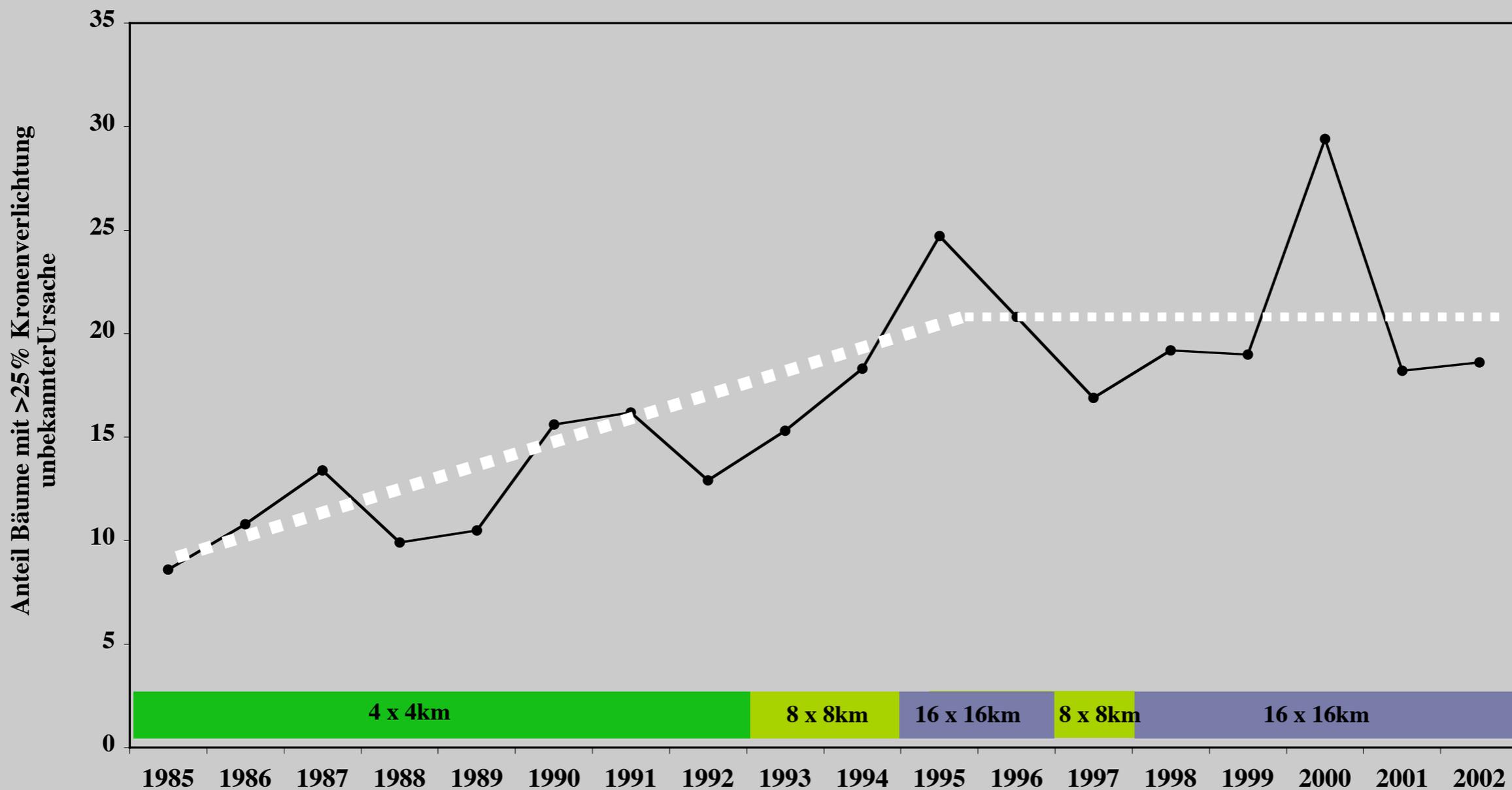
# Problem der unsichtbaren Gegenwart

31

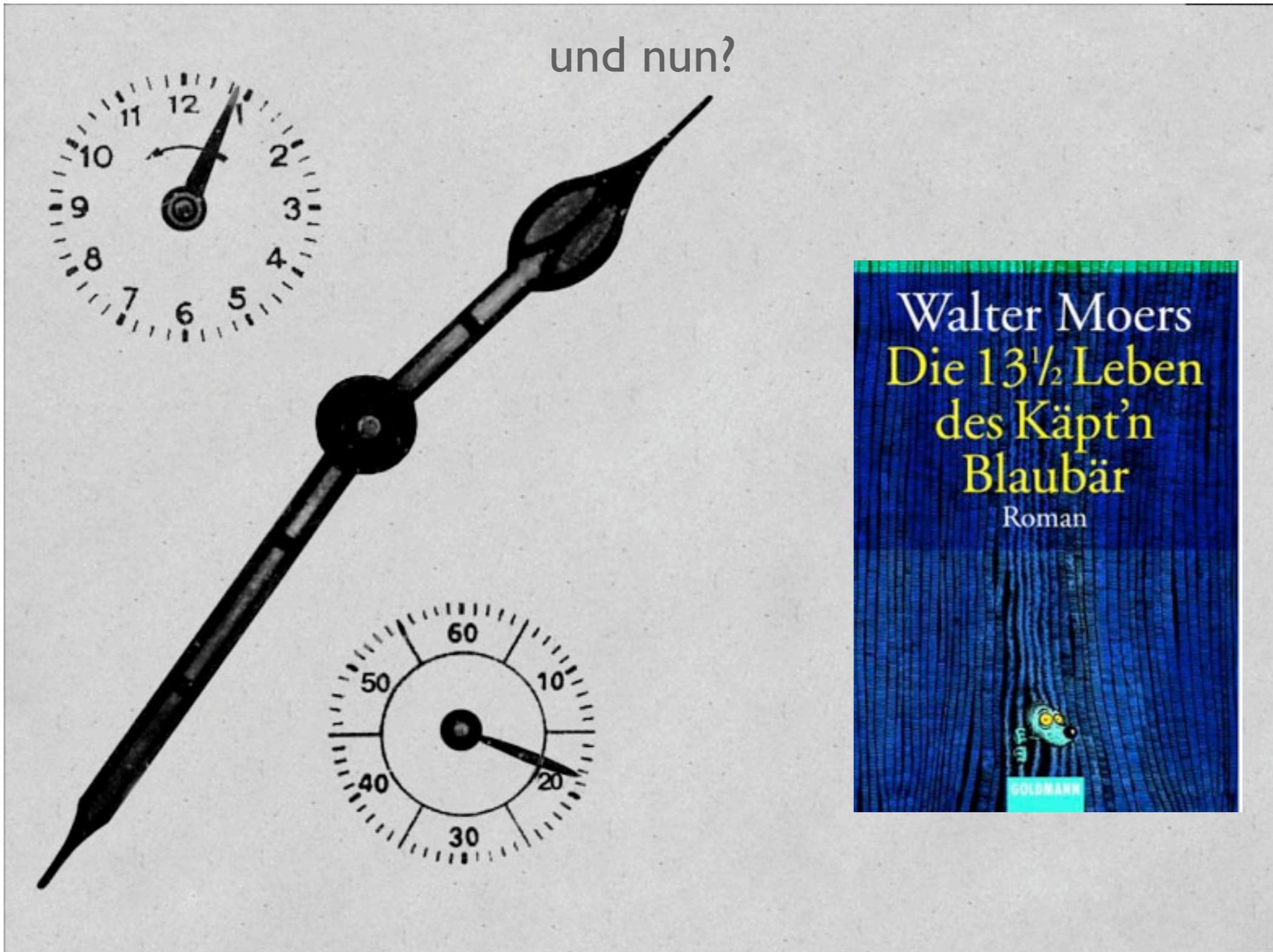


# Problem der unsichtbaren Gegenwart

31

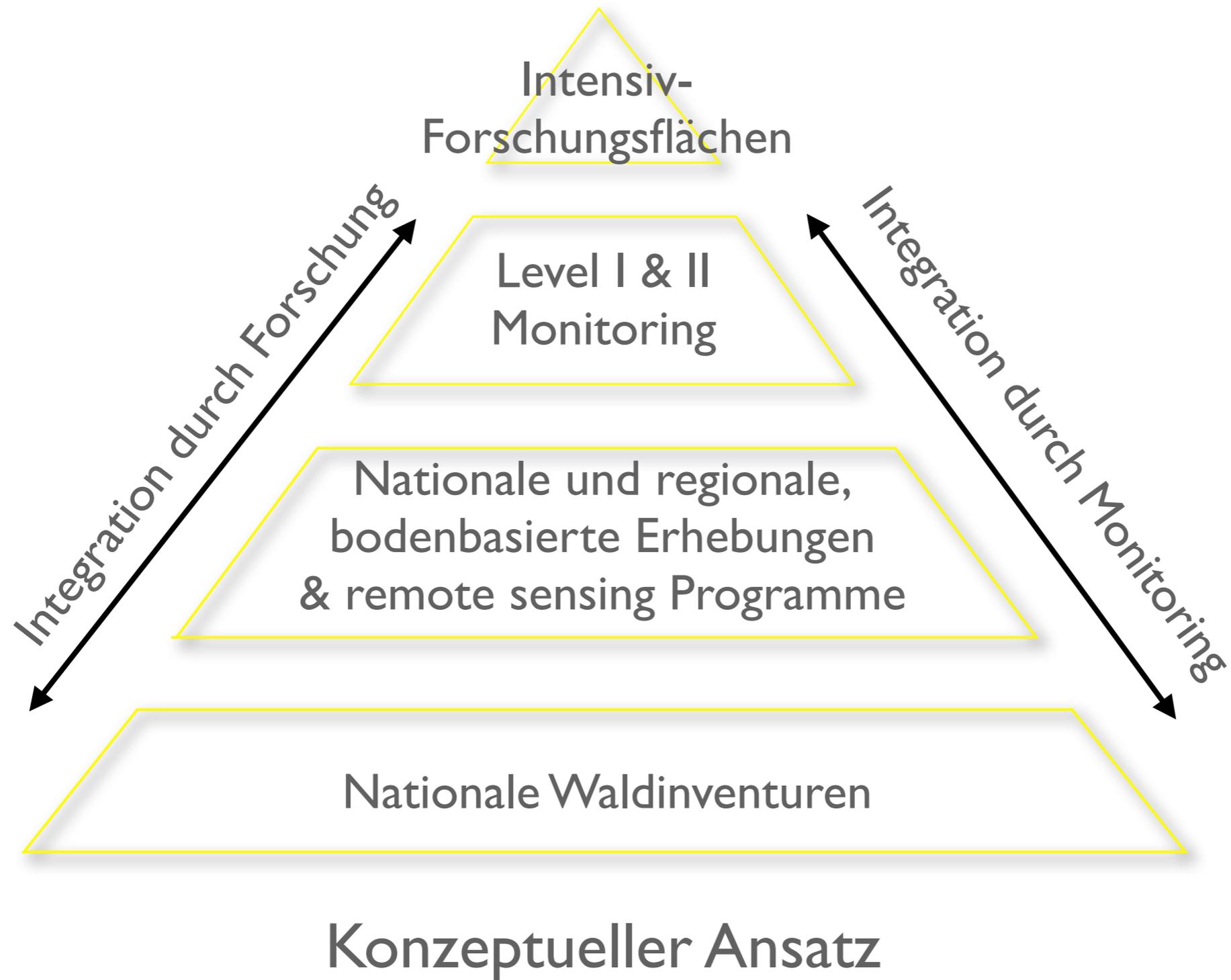


und nun?





---> vermehrt disziplinenübergreifend beobachten, forschen und interpretieren!



# Umweltbeobachtung mit Experimenten ergänzen

## Feldexperimente

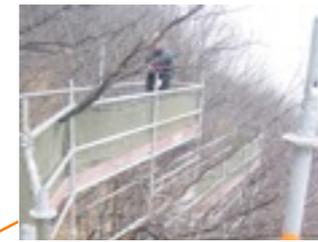
Face (+CO<sub>2</sub>)



Hofstetten

## Focus Sites

Fluorometrie  
Ozонаufnahme



Novaggio

Physiologie,  
Eddy Tower



Davos

Regendach  
(+Trockenheit; + Tb)



Leuk

Bewässerung  
(-Trockenheit)



Pfynwald

N-Zugabe  
(+N)



Alptal

## Kammer-Experimente

Filter  
(-Ozon)

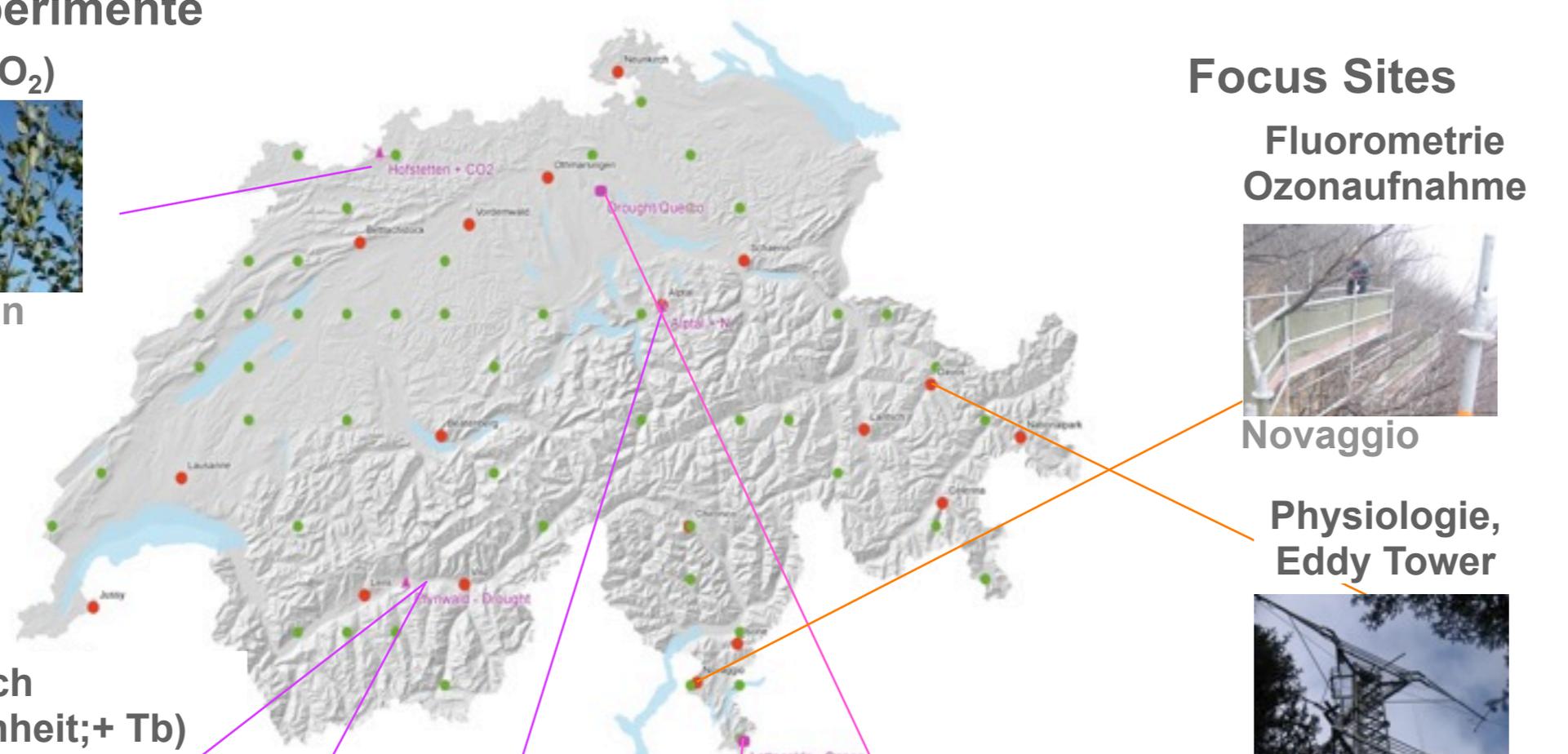


Lattecaldo

Querco  
(+Trockenheit, +T<sub>A</sub>)



Birmensdorf



# Von der sektoriellen zur integralen Umweltbeobachtung/-bilanzierung

35

# Von der sektoriellen zur integralen Umweltbeobachtung/-bilanzierung

## Landnutzung



Landwirtschaft



Forstwirtschaft



Naturschutz



Transport  
Infrastruktur



Energie



Tourismus

# Von der sektoriellen zur integralen Umweltbeobachtung/-bilanzierung

## Landnutzung



Landwirtschaft

Forstwirtschaft

Naturschutz

Transport  
Infrastruktur

Energie

Tourismus

35

Produktion

Land-basierte  
Produktion

Umwelt

z.B. Wasser-, Luft-,  
Bodenqualität & -  
quantität,  
Biodiversität, Habitate

Ökonomie

z.B. Verfügbarkeit  
Infrastruktur,  
Wohnraum, Industrie  
& Dienstleistung

Soziales

z.B.  
Beschäftigung,  
Erholung

Kultur

z.B. kulturelles  
Erbe

Ökologie

z.B. Resilienz,  
Elastizität  
Komplexität,  
Robustheit

### Landnutzungsfunktionen

# Landnutzung



Landwirtschaft

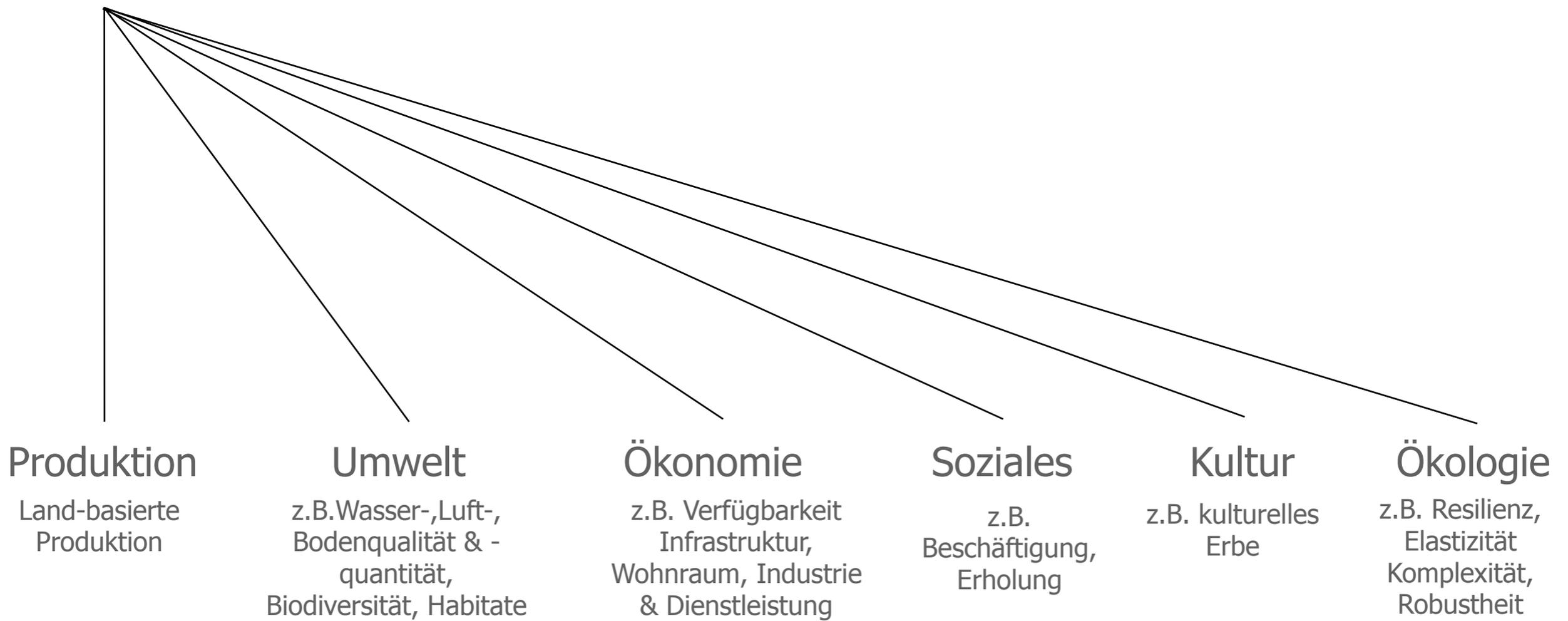
Forstwirtschaft

Naturschutz

Transport  
Infrastruktur

Energie

Tourismus



**Produktion**

Land-basierte  
Produktion

**Umwelt**

z.B. Wasser-,Luft-,  
Bodenqualität & -  
quantität,  
Biodiversität, Habitate

**Ökonomie**

z.B. Verfügbarkeit  
Infrastruktur,  
Wohnraum, Industrie  
& Dienstleistung

**Soziales**

z.B.  
Beschäftigung,  
Erholung

**Kultur**

z.B. kulturelles  
Erbe

**Ökologie**

z.B. Resilienz,  
Elastizität  
Komplexität,  
Robustheit

## Landnutzungsfunktionen

# Landnutzung



Landwirtschaft

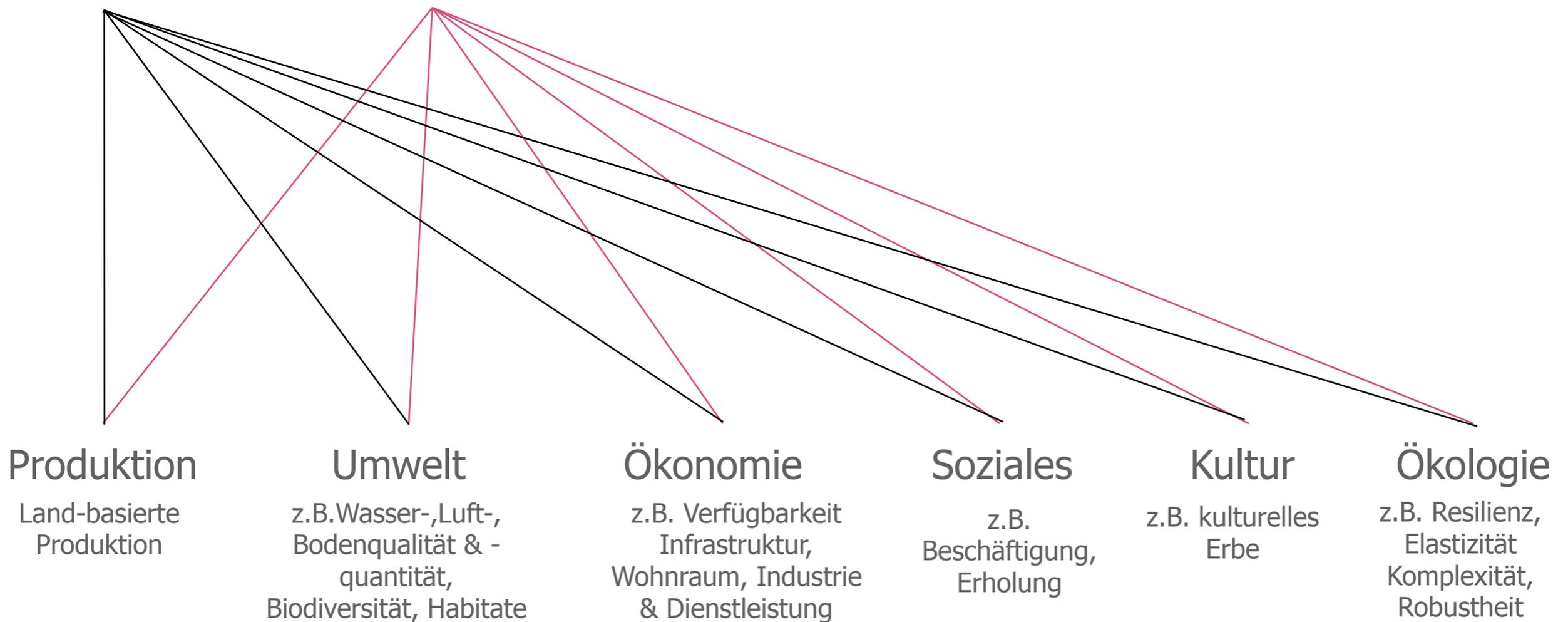
Forstwirtschaft

Naturschutz

Transport  
Infrastruktur

Energie

Tourismus



## Landnutzungsfunktionen

# Landnutzung



Landwirtschaft

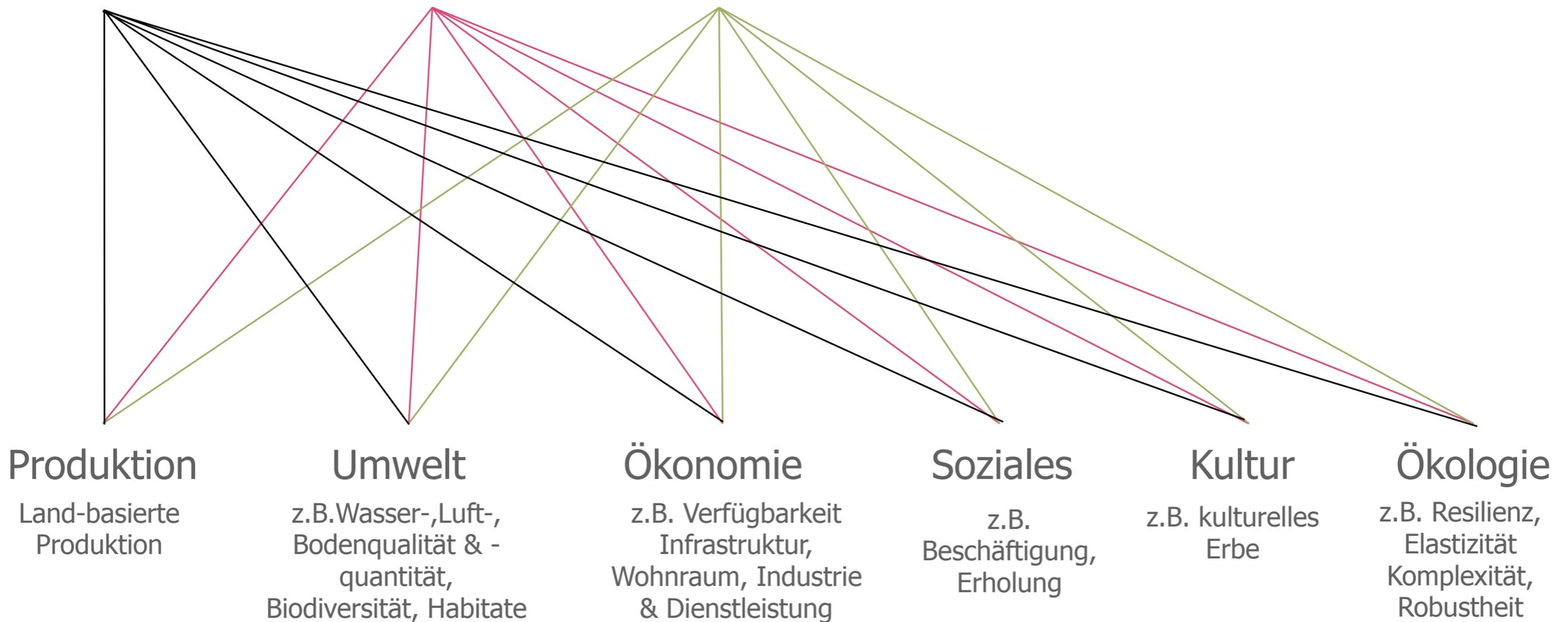
Forstwirtschaft

Naturschutz

Transport  
Infrastruktur

Energie

Tourismus



## Landnutzungsfunktionen

# Landnutzung



Landwirtschaft

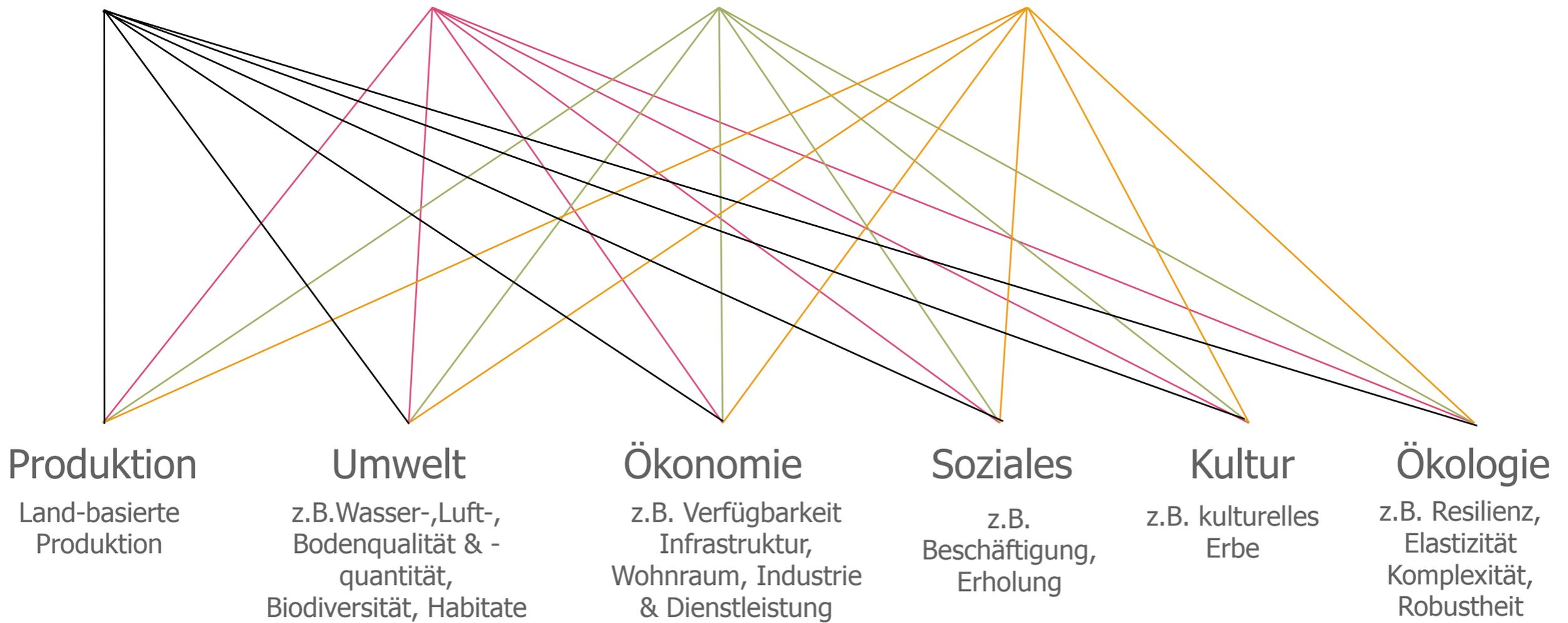
Forstwirtschaft

Naturschutz

Transport  
Infrastruktur

Energie

Tourismus



## Landnutzungsfunktionen

# Landnutzung



Landwirtschaft

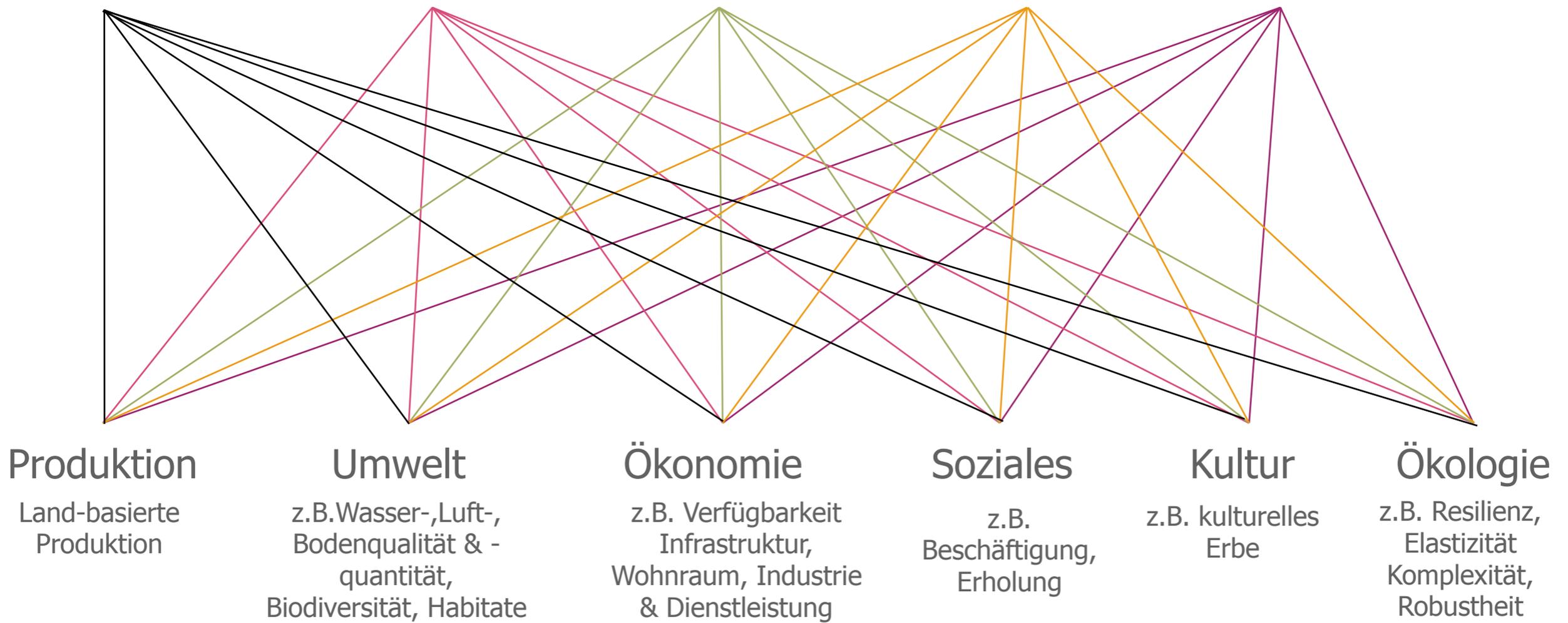
Forstwirtschaft

Naturschutz

Transport  
Infrastruktur

Energie

Tourismus



## Landnutzungsfunktionen

# Landnutzung



Landwirtschaft

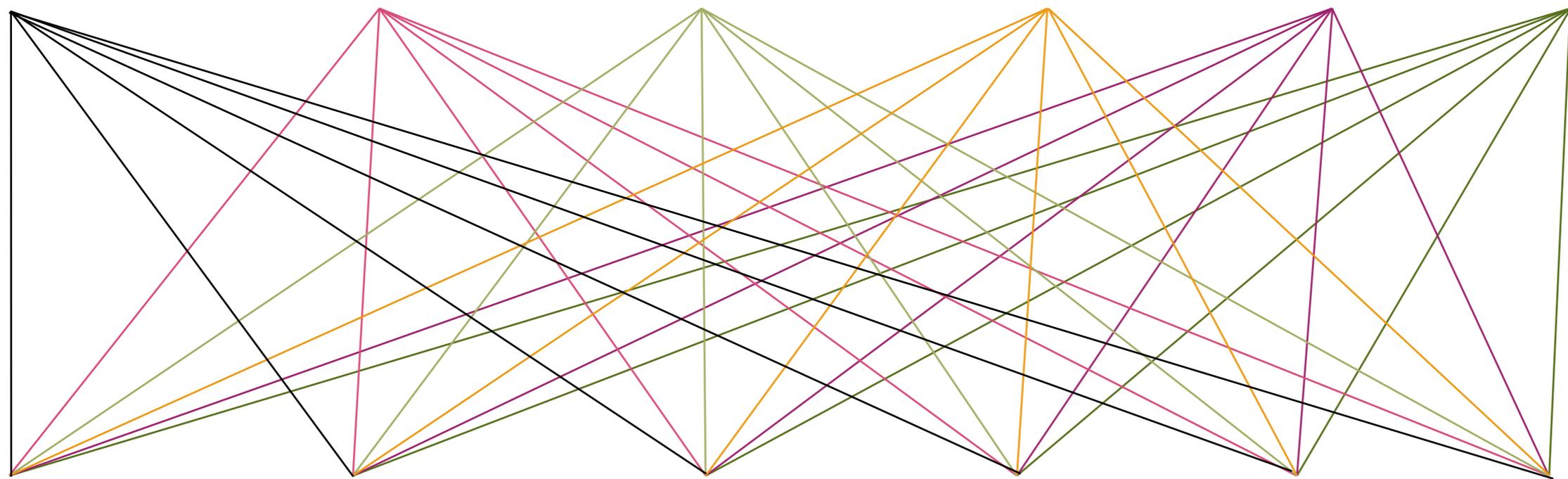
Forstwirtschaft

Naturschutz

Transport  
Infrastruktur

Energie

Tourismus



**Produktion**

Land-basierte  
Produktion

**Umwelt**

z.B. Wasser-, Luft-,  
Bodenqualität & -  
quantität,  
Biodiversität, Habitate

**Ökonomie**

z.B. Verfügbarkeit  
Infrastruktur,  
Wohnraum, Industrie  
& Dienstleistung

**Soziales**

z.B.  
Beschäftigung,  
Erholung

**Kultur**

z.B. kulturelles  
Erbe

**Ökologie**

z.B. Resilienz,  
Elastizität  
Komplexität,  
Robustheit

## Landnutzungsfunktionen

# Landnutzung



Landwirtschaft

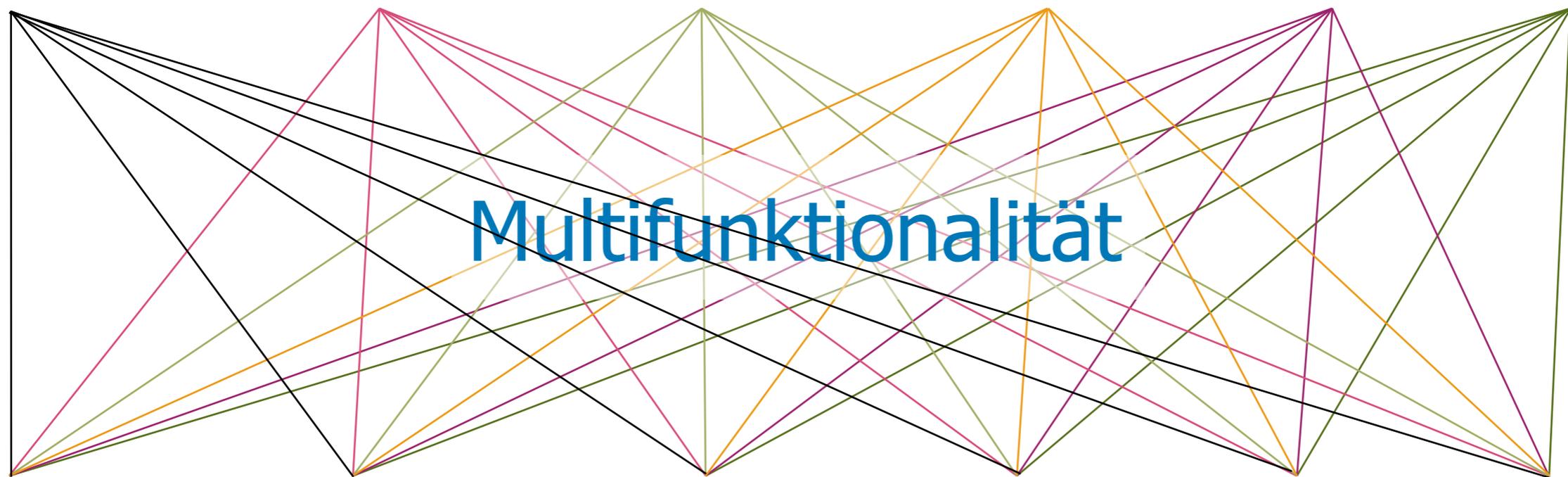
Forstwirtschaft

Naturschutz

Transport  
Infrastruktur

Energie

Tourismus



Multifunktionalität

Produktion

Land-basierte  
Produktion

Umwelt

z.B. Wasser-, Luft-,  
Bodenqualität & -  
quantität,  
Biodiversität, Habitate

Ökonomie

z.B. Verfügbarkeit  
Infrastruktur,  
Wohnraum, Industrie  
& Dienstleistung

Soziales

z.B.  
Beschäftigung,  
Erholung

Kultur

z.B. kulturelles  
Erbe

Ökologie

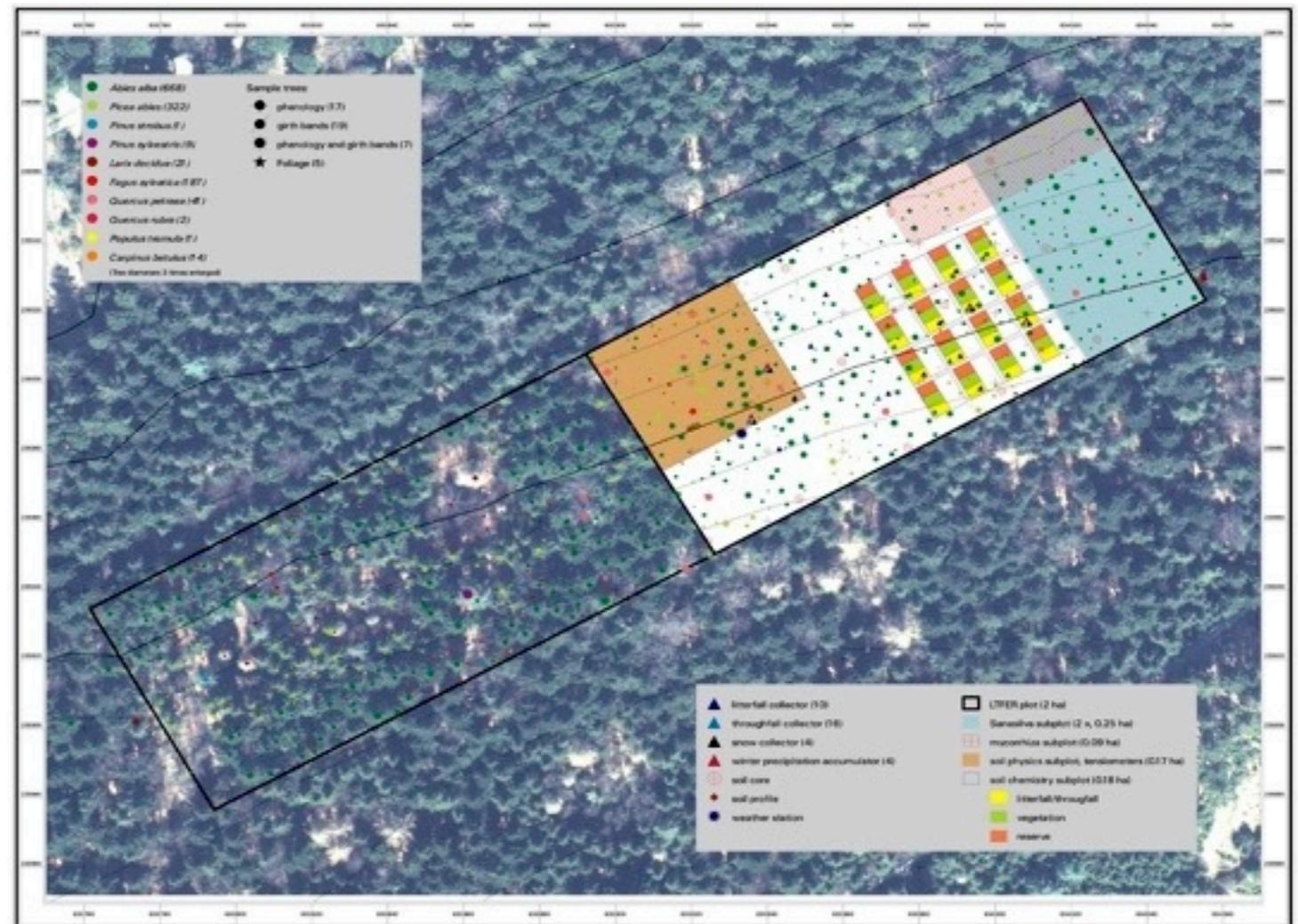
z.B. Resilienz,  
Elastizität  
Komplexität,  
Robustheit

## Landnutzungsfunktionen

Es braucht Experimente im Massstab 1:1  
(flächenrepräsentative Studien fürs adaptive  
Management)

36

- LWF-Flächen: Umbau Buchenwälder in Eichenwälder
- Energieholzplantagen
- ökologische Relevanz
- gesellschaftliche Akzeptanz
- ökonomische Bilanz





Nationale & internationale Förderagenturen müssen vermehrt bereit sein, ihre Mittel in umweltrelevante, langfristige und experimentelle Forschung, sowie Umweltbeobachtung zu investieren!