# Nährstoffnachhaltige Waldwirtschaft
# -
# Bindeglied zwischen Ökologie und Ökonomie

FG Waldernährung, TU München

**A. Göttlein**
**Fachgebiet Waldernährung und Wasserhaushalt**
**Wissenschaftszentrum Weihenstephan, TU München**

# die drei Säulen nachhaltiger Waldwirtschaft

Georg Ludwig Hartig (1804):

*„Jede weise Forstdirektion muss daher die Waldungen (...) so hoch als möglich, doch so zu benutzen suchen, dass die Nachkommenschaft wenigstens ebensoviel Vorteil daraus ziehen kann, wie sich die jetzt lebende Generation zueignet.“*

FG Waldernährung, TU München

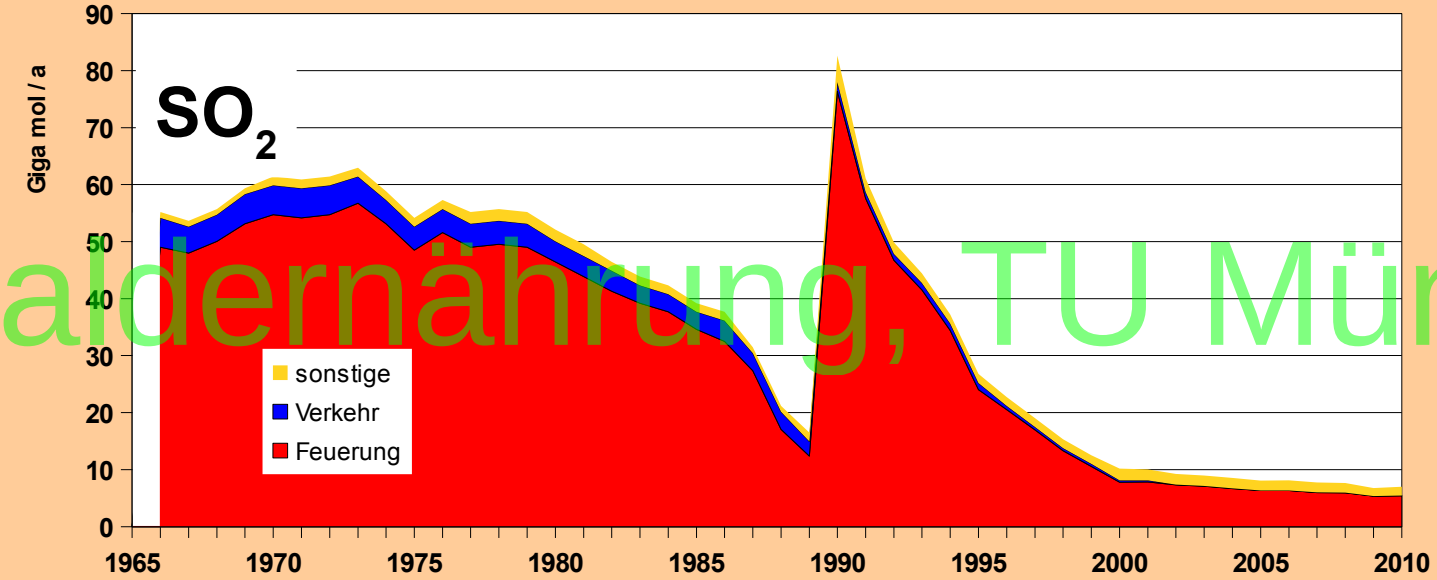
| wirtschaftliche Nachhaltigkeit | ökologische Nachhaltigkeit | soziale Nachhaltigkeit |
|---|---|---|
| langfristige Sicherung einer in Menge und Qualität gleichmäßigen Holzversorgung | langfristige Sicherung der Produktions-grundlage und der biologischen Vielfalt | langfristige Sicherung der Gemeinwohlfunktion (Wassergewinnung, Erholung ...) |

# Waldbewirtschaftung und Stoffhaushalt

- **Randbedingungen**
- **Einwertung der Waldstandorte Deutschlands**
- **Nachhaltigkeit verschiedener Nutzungsintensitäten**
- **von der Ökologie zu Ökonomie**

FG Waldernährung, TU München

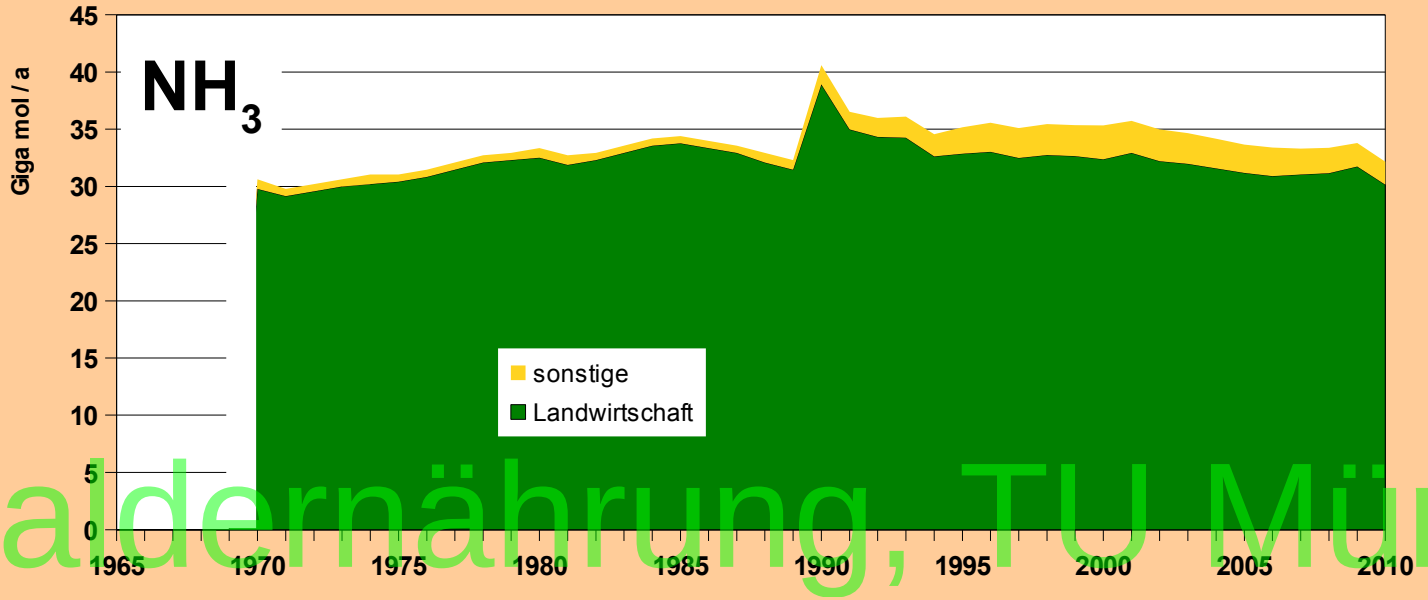
# Entwicklung der Emissionssituation in der BRD
## (bis 1989 alte Bundesländer)



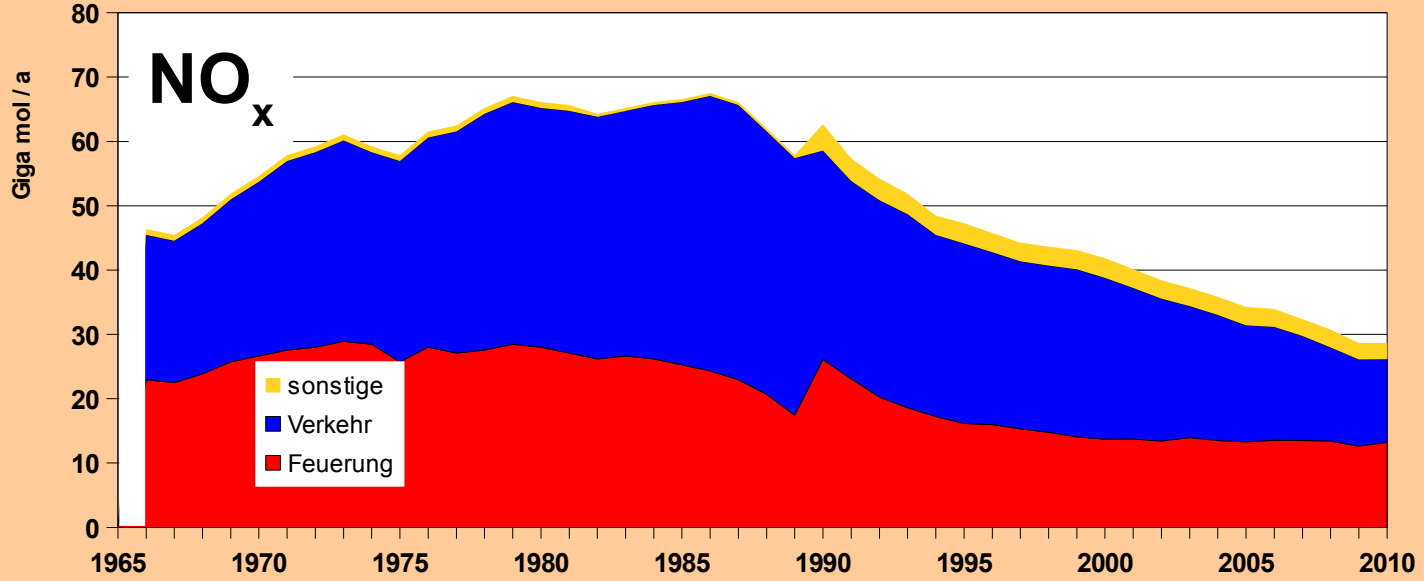

FG Waldernährung, TU München

nach: UBA, Daten zur Umwelt 1992/93, Schmidt Verlag Berlin 1994
sowie www.umweltbundesamt-daten-zur-umwelt.de

# Entwicklung der Emissionssituation in der BRD
## (bis 1989 alte Bundesländer)



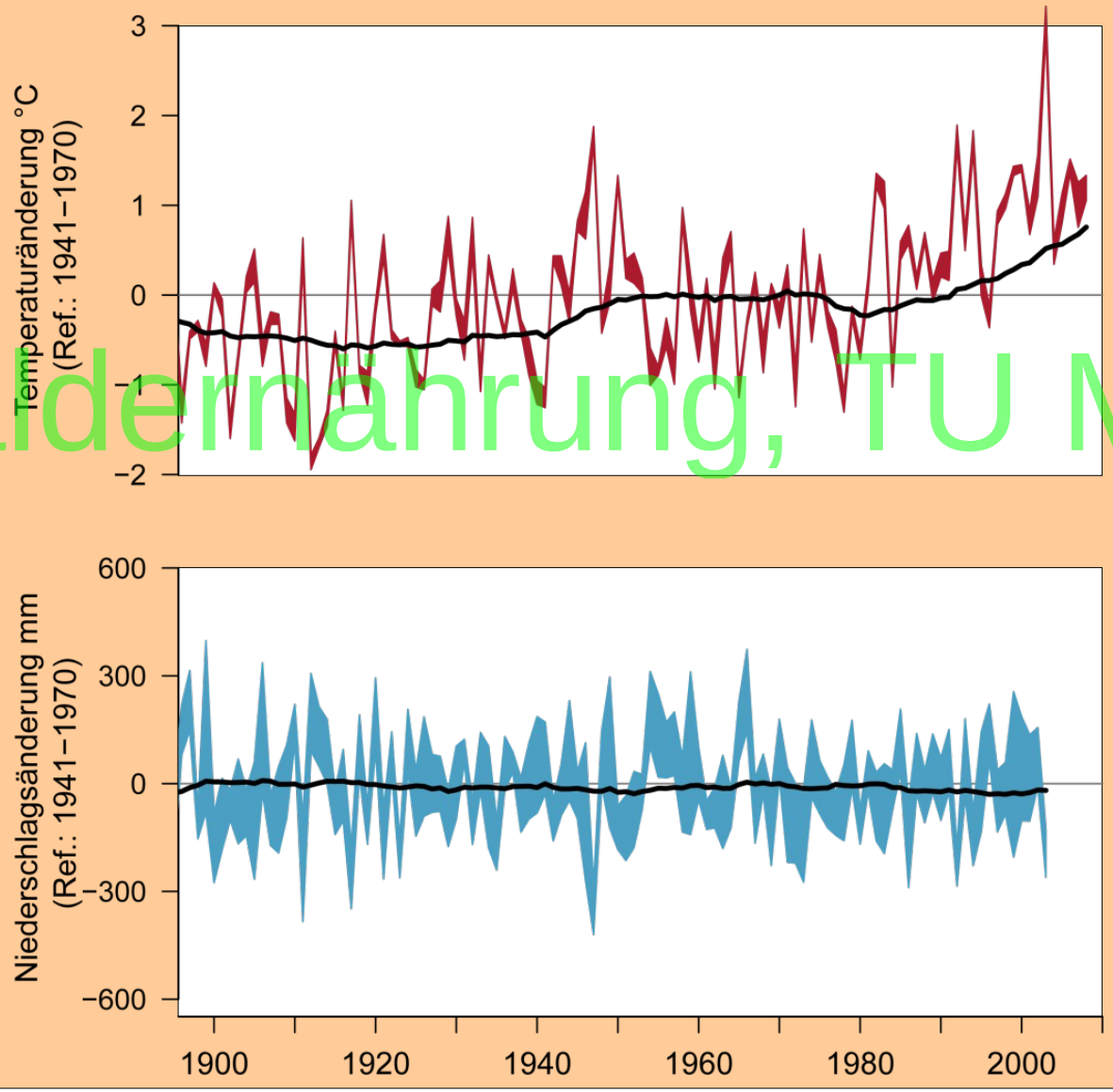

FG Waldernährung, TU München




nach: UBA, Daten zur Umwelt 1992/93, Schmidt Verlag Berlin 1994 sowie www.umweltbundesamt-daten-zur-umwelt.de

# Bandbreite der Temperatur- und Niederschlagsänderung am nördlichen Alpenrand (Datengrundlage: HISTALP)

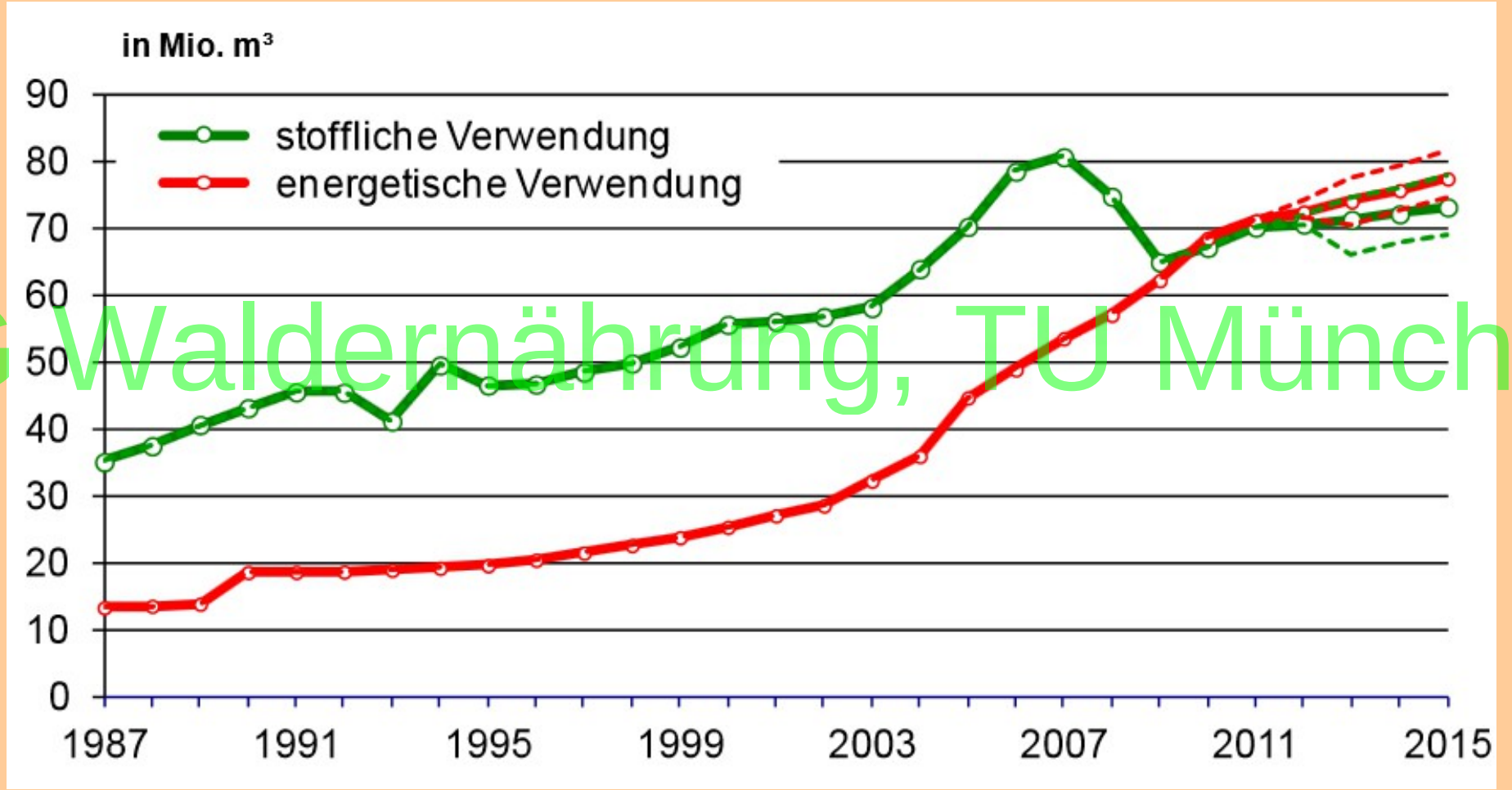
aus: Hartl-Meier (2013): Zuwachsreaktion kalkalpiner Bergwälder auf Klimaänderungen. Abschlussbericht zum Forschungsprojekt Standortsicherung im Kalkalpin – SICALP (INTERREG BY/Ö J00183), Teilprojekt der Hochschule Weihenstephan-Triesdorf




FG Waldernährung, TU München

# Entwicklung und Prognose der Holzverwendung in Deutschland

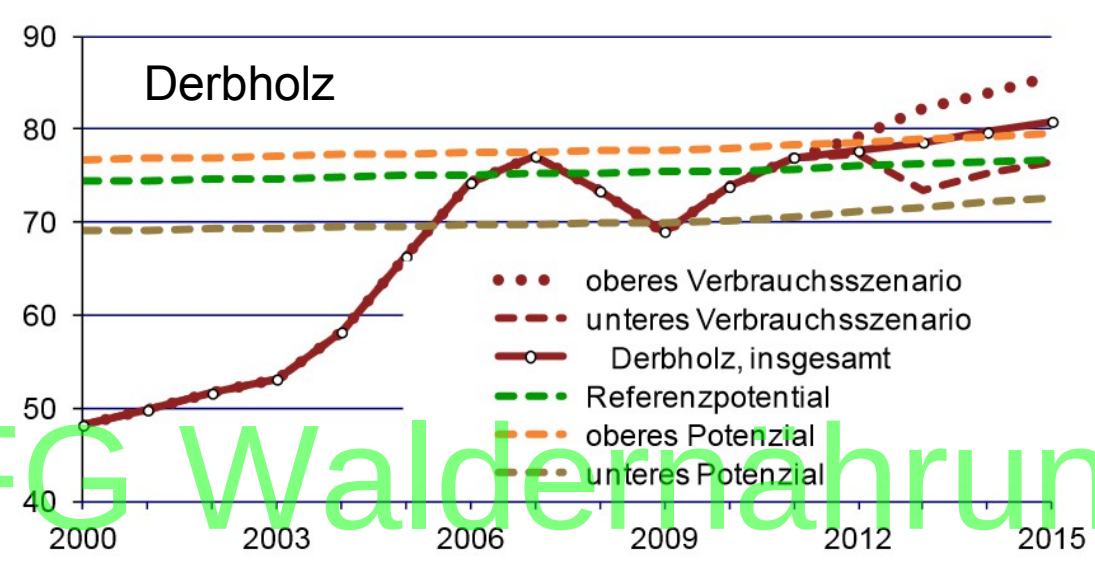
aus Mantau (2012): Holzrohstoffbilanz Deutschland. Zentrum Holzwirtschaft, Universität Hamburg




FG Waldernährung, TU München

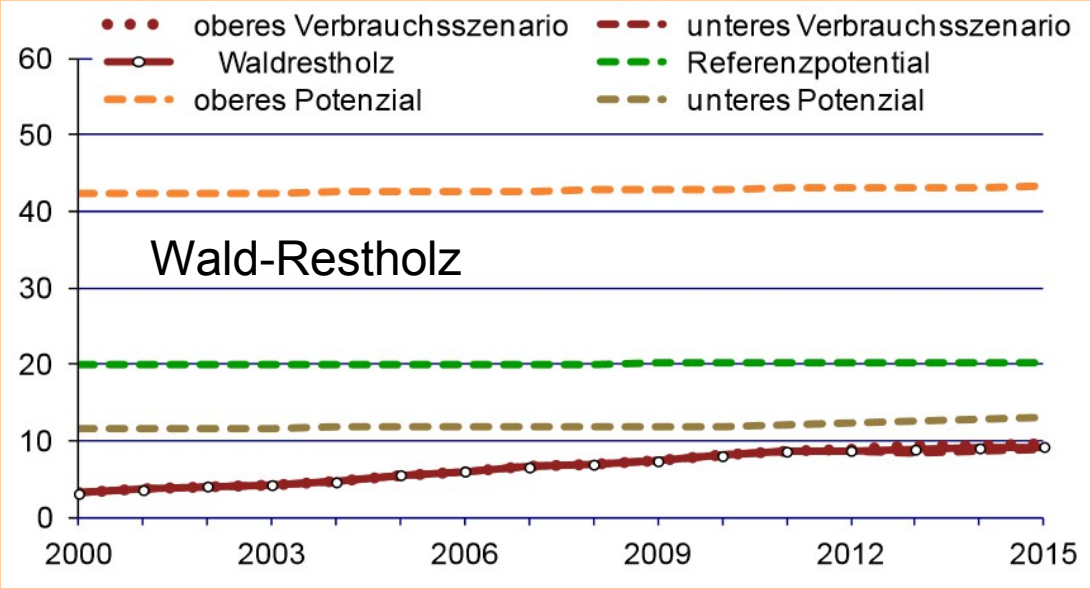
# Vergleich von Holzverwendung und Holzpotenzial in Deutschland

aus Mantau (2012): Holzrohstoffbilanz Deutschland. Zentrum Holzwirtschaft, Universität Hamburg




beim Nadelholz übersteigt die Nutzung bereits zeitweise das Potenzial, bei Laubholz ist noch etwas „Luft“

FG Waldernährung, TU München



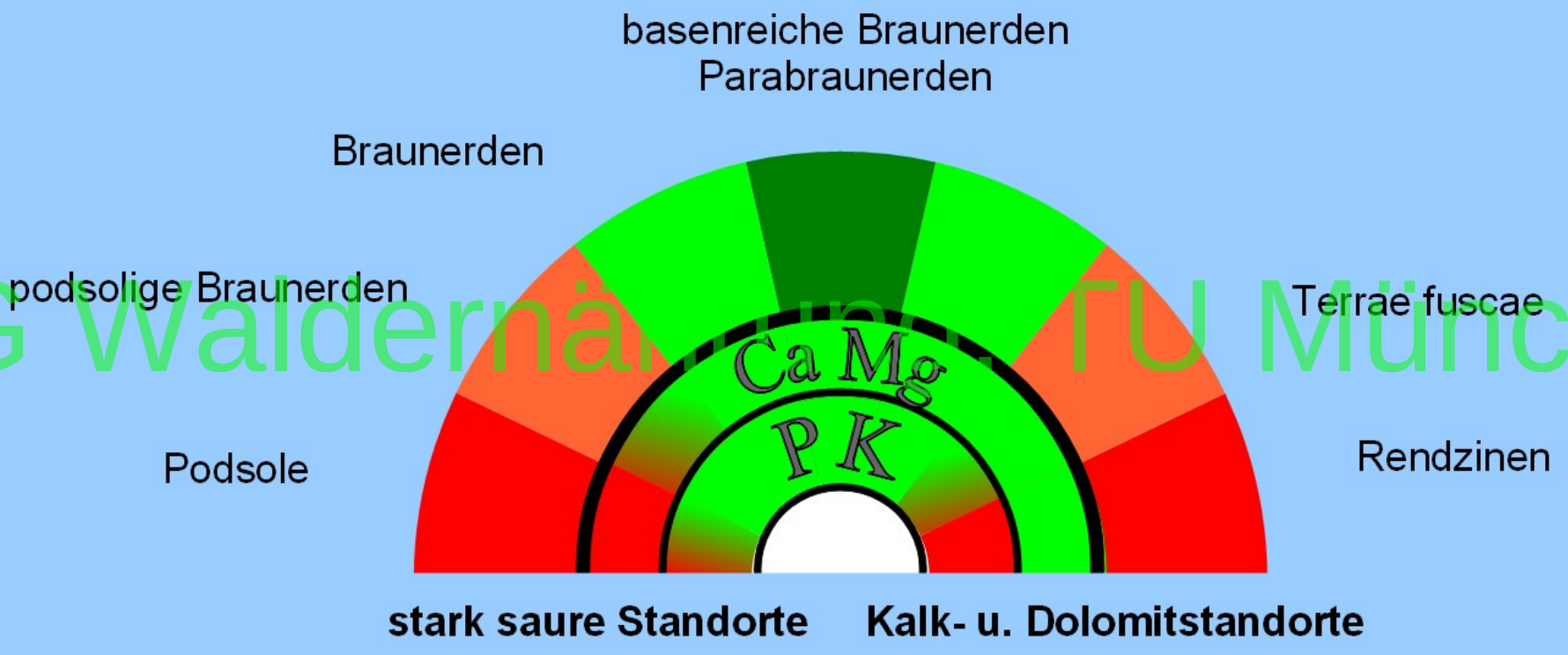
# Waldbewirtschaftung und Stoffhaushalt

- Randbedingungen
- Einwertung der Waldstandorte Deutschlands
- Nachhaltigkeit verschiedener Nutzungsintensitäten
- von der Ökologie zu Ökonomie

FG Waldernährung, TU München

# Nährelementverfügbarkeit in Abhängigkeit der Bodenreaktion

aus: Kolb, Göttlein 2012: Regionale Bewertung erntebedingter Nährstoffentzüge. AFZ-DerWald 15/2012, 4-6.

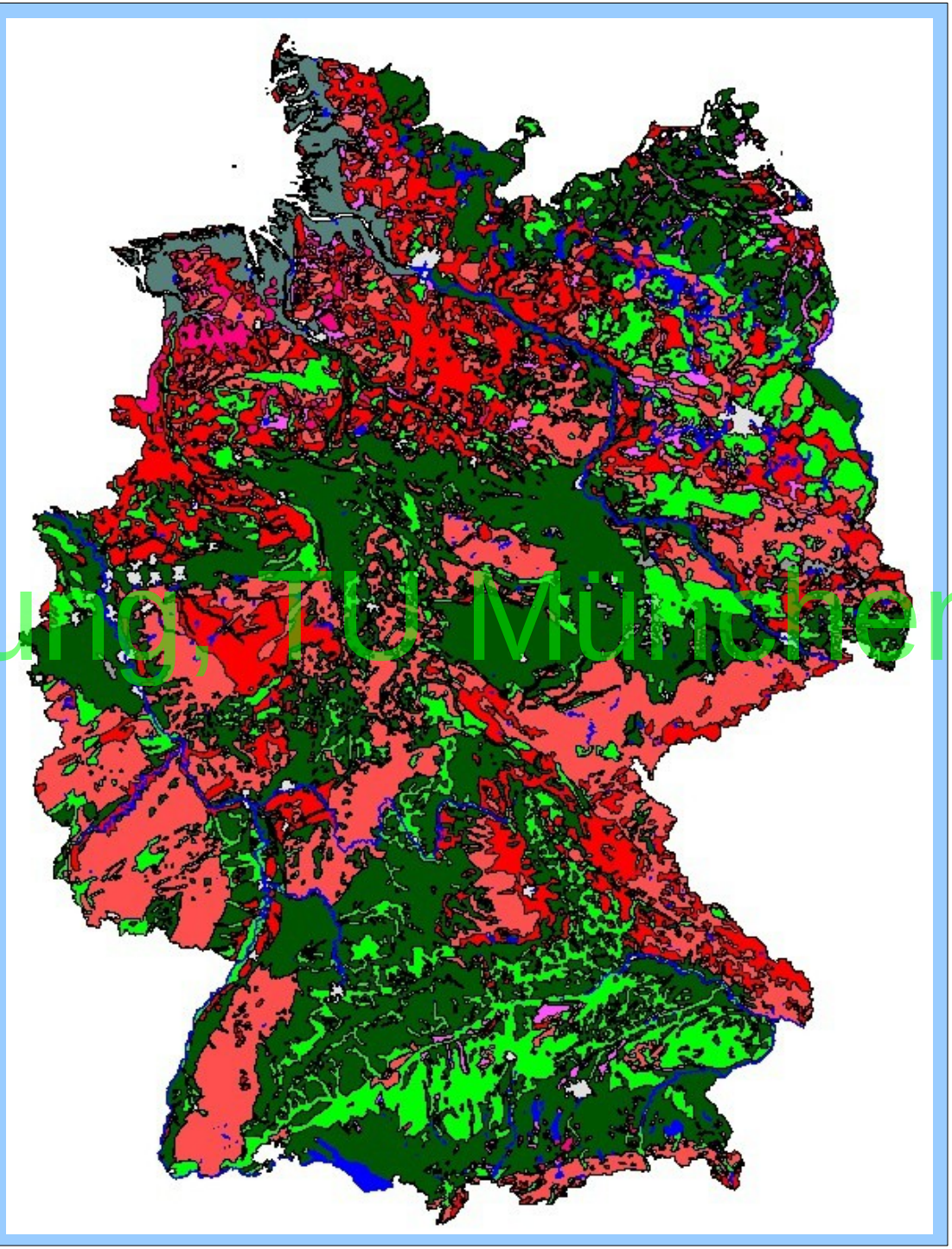



FG Waldernährung, TU München

# Nährelementausstattung deutscher Böden

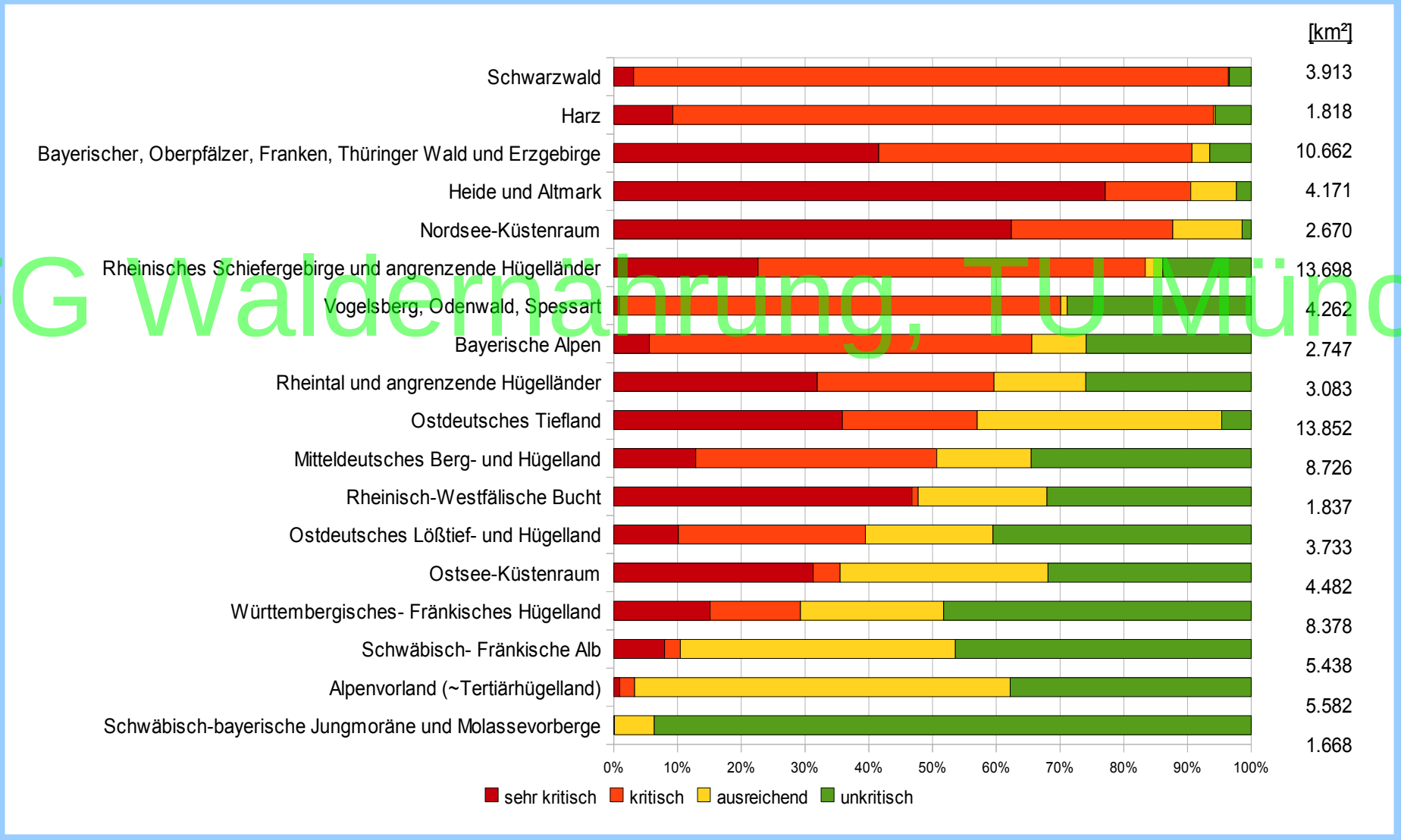
aus: Kolb, Göttlein 2012: Regionale Bewertung erntebedingter Nährstoffentzüge. AFZ-DerWald 15/2012, 4-6.

FG Waldernährung, TU München



# Einstufung der Waldstandorte bezüglich deren Empfindlichkeit gegenüber Nährstoffexporten in den Wuchsregionen Deutschlands

aus: Kolb, Göttlein 2012: Regionale Bewertung erntebedingter Nährstoffentzüge. AFZ-DerWald 15/2012, 4-6.



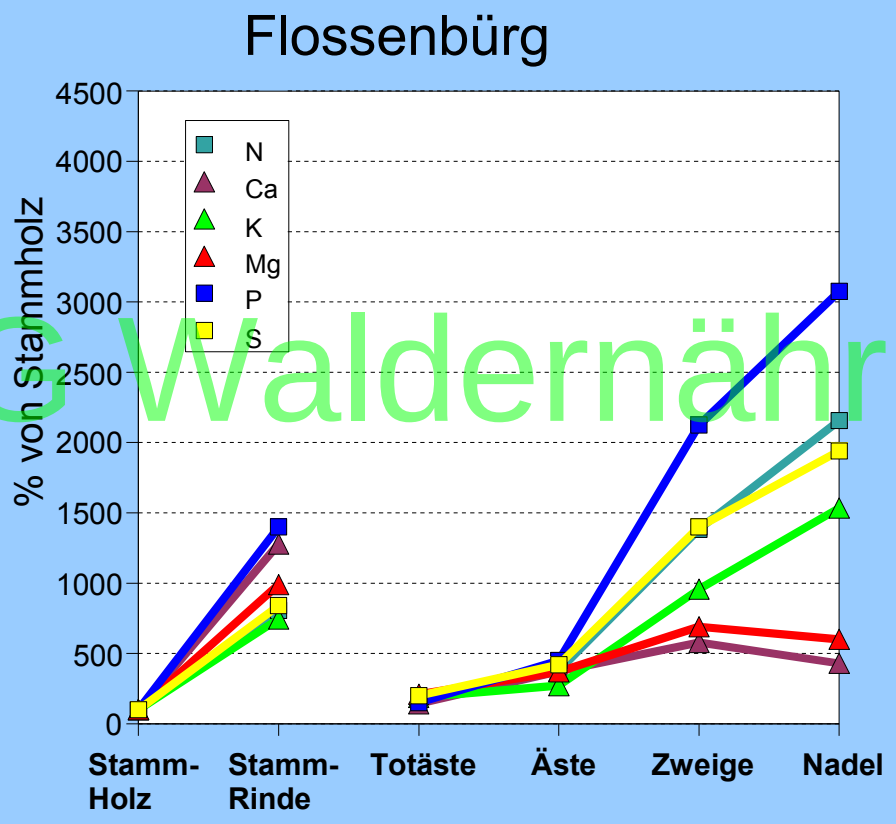

FG Waldernährung, TU München

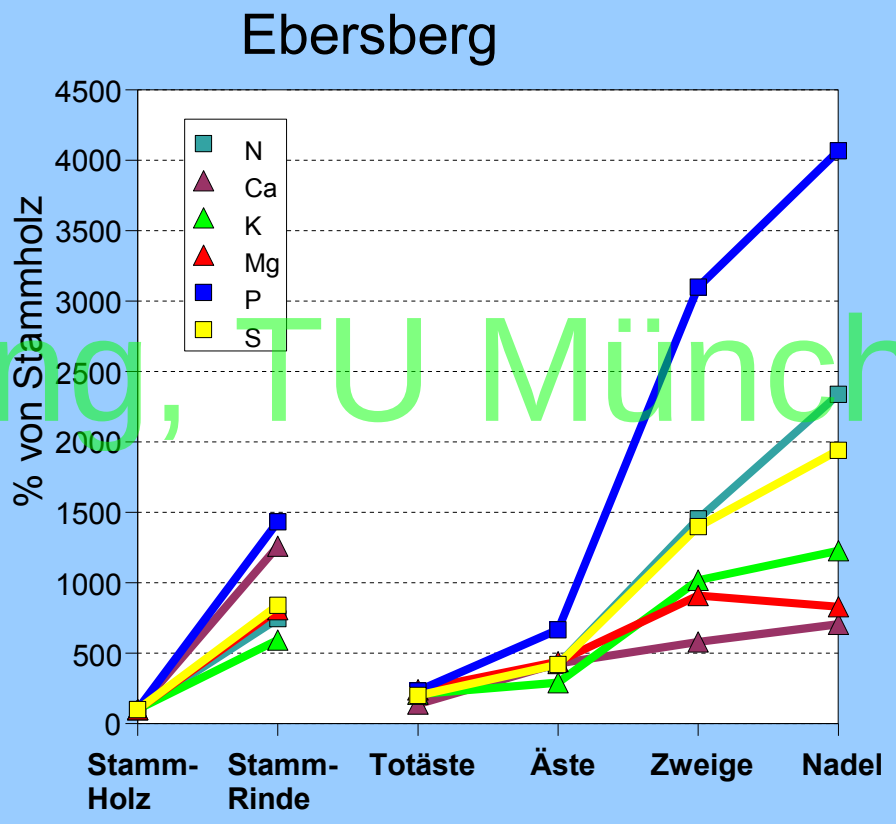
# Waldbewirtschaftung und Stoffhaushalt

- Randbedingungen
- Einwertung der Waldstandorte Deutschlands
- Nachhaltigkeit verschiedener Nutzungsintensitäten
- von der Ökologie zu Ökonomie

FG Waldernährung, TU München

# Nährelement-Verteilung in verschiedenen Baumkompartimenten von Fichte (Makro-Nährelemente)




FG Waldernährung, TU München

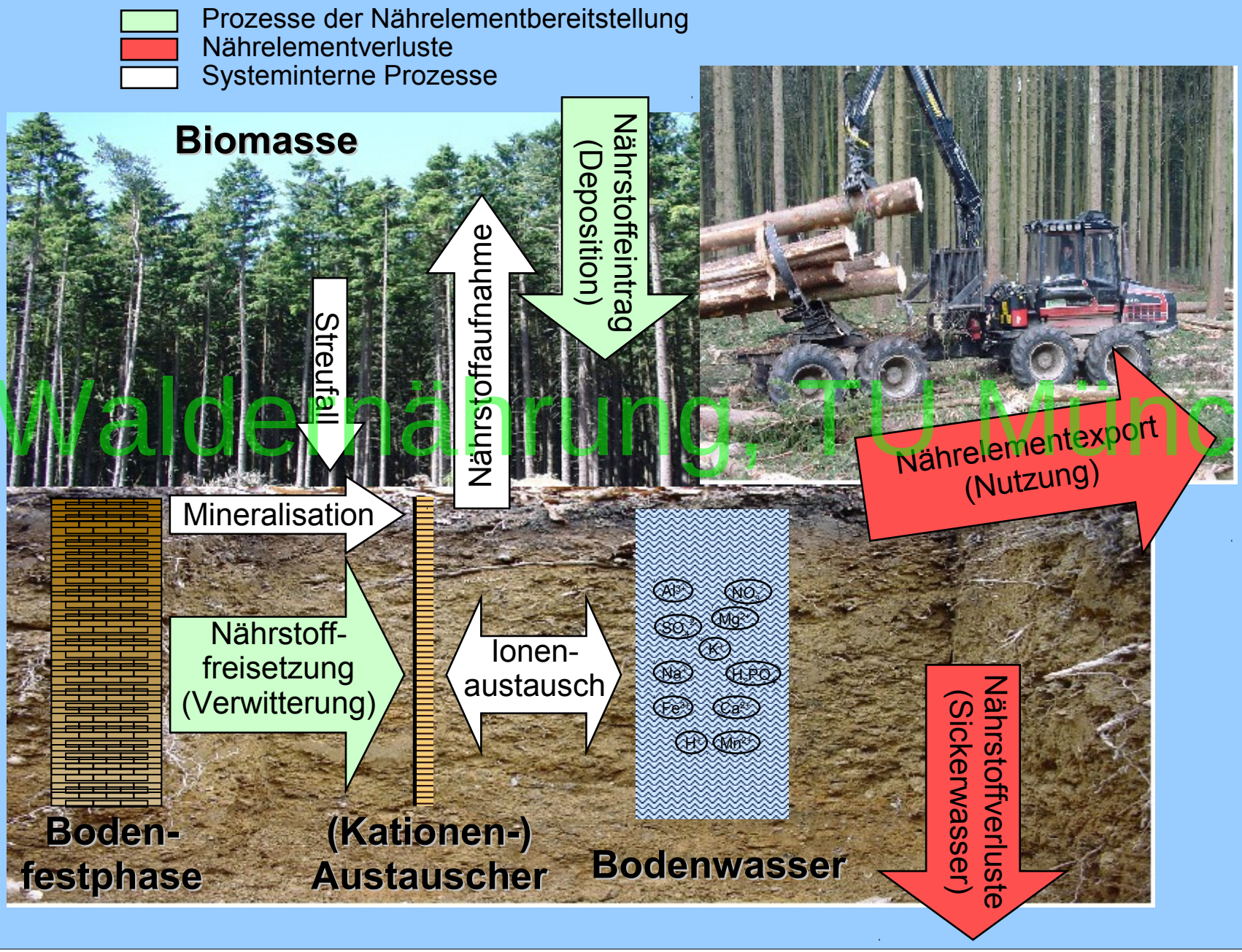
# Nährelement-Entzüge bei verschiedenen Nutzungsintensitäten von Fichte am Standort Flossenbürg

| | Stammholz ohne Rinde | Stammholz mit Rinde | | Vollbaum | |
|---|---|---|---|---|---|
| | kg/ha | kg/ha | % | kg/ha | % |
| N | **110,6** | 178,9 | **163** | 486,9 | **440** |
| S | **10,6** | 16,8 | **158** | 40,5 | **382** |
| P | **6,8** | 14,2 | **209** | 41,3 | **607** |
| K | **61,2** | 95,7 | **156** | 215,8 | **353** |
| Ca | **105,4** | 208,5 | **198** | 309,9 | **294** |
| Mg | **17,8** | 30,8 | **173** | 51,1 | **287** |

| | t/ha | t/ha | % | t/ha | % |
|---|---|---|---|---|---|
| Biomasse | **174** | 187,2 | **108** | 228,3 | **131** |

FG Waldernährung, TU München

# Beurteilung der Nachhaltigkeit durch Stoffbilanzen

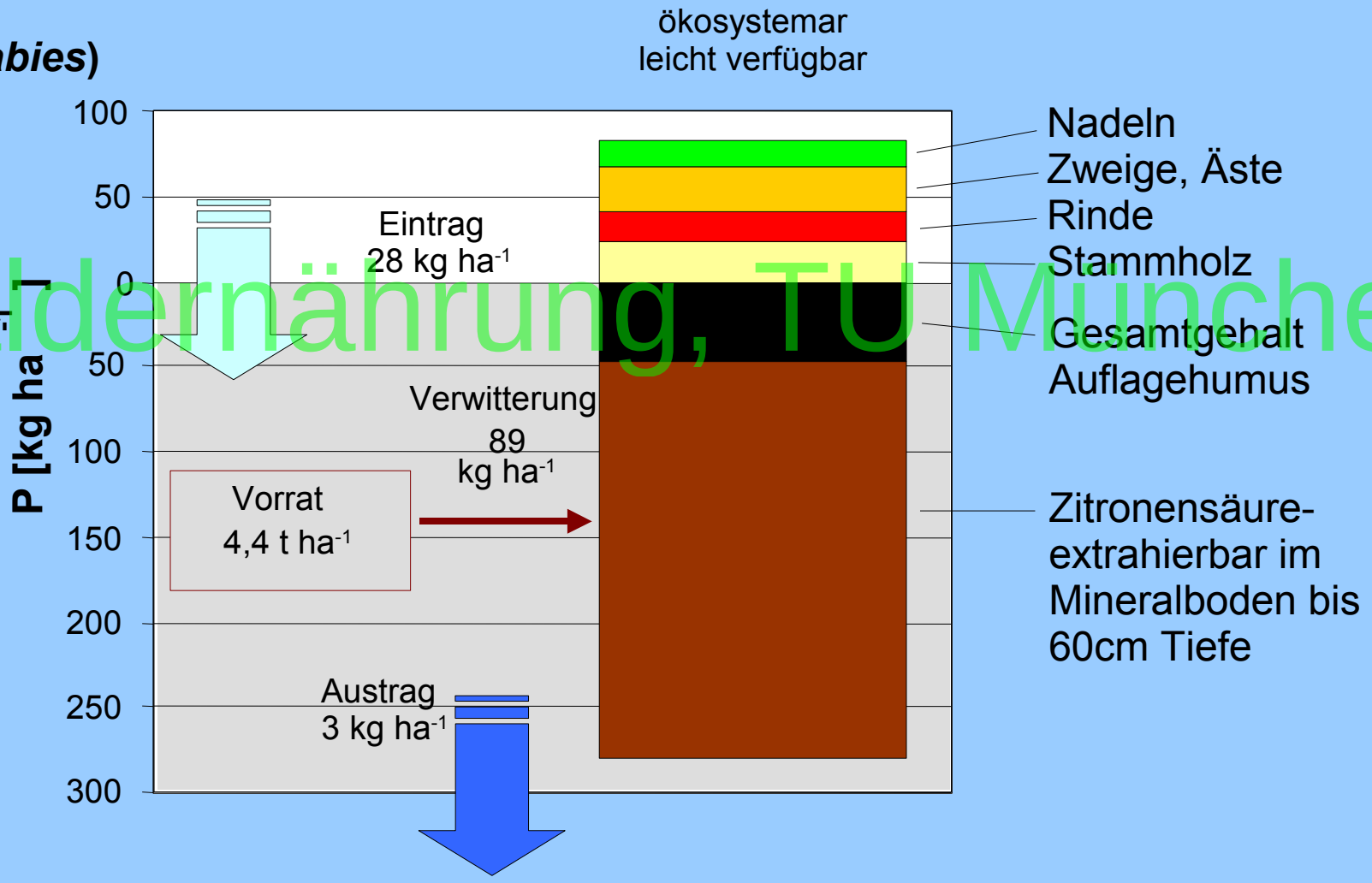



FG Waldernährung, TU München

# Nährelement-Verteilung und -Flüsse von zwei Fichtenstandorten berechnet zum Ende einer hundertjährigen Umtriebszeit

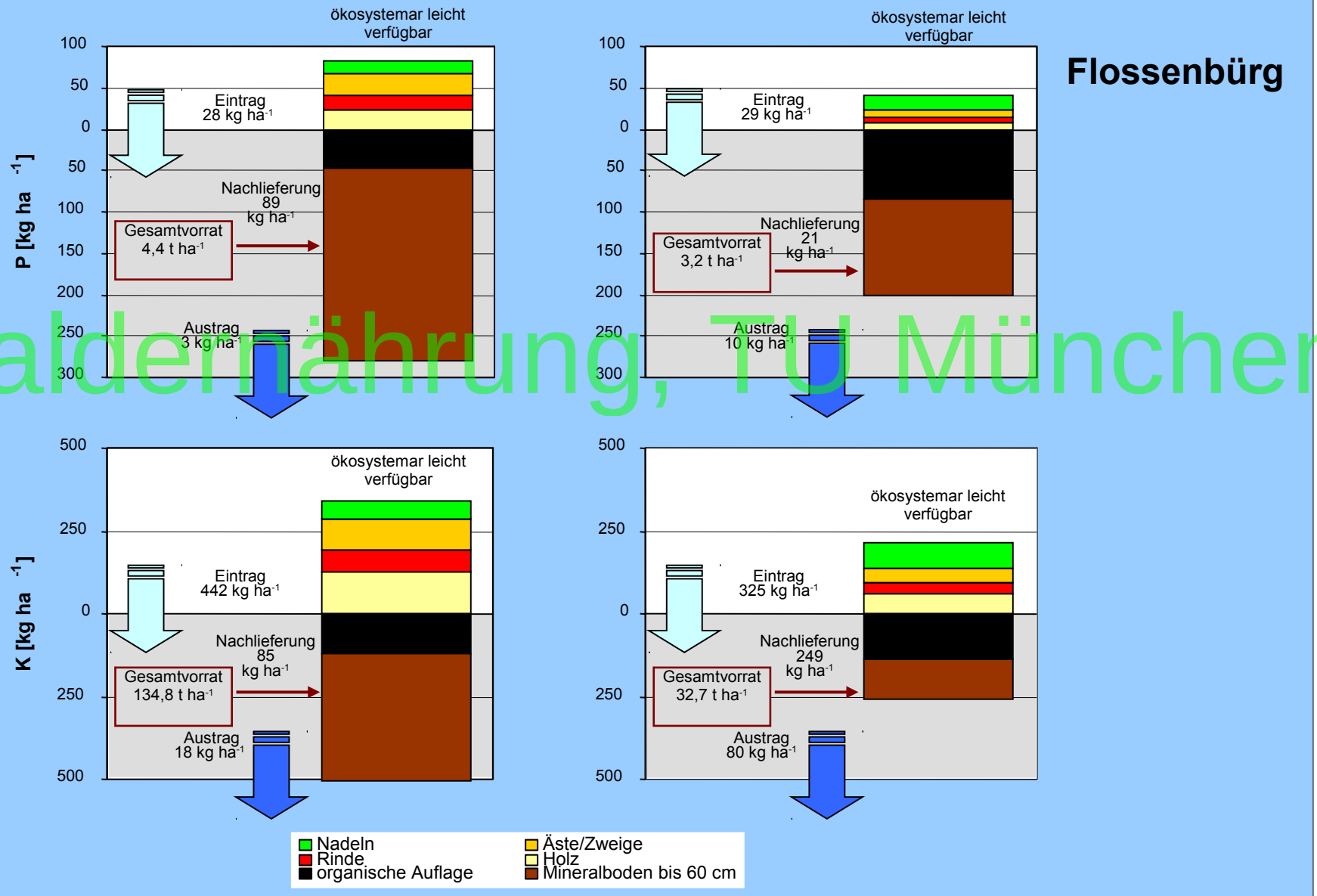
aus: Ettl, Weis, Göttlein 2007: Holz verbrennt, Asche bleibt – Konsequenzen für die stoffliche Nachhaltigkeit in Bayern. AFZ-DerWald 2/2007, 74-77

**Fichte (*Picea abies*)**
**Höglwald**




FG Waldernährung, TU München

# Nährelement-Verteilung und -Flüsse von zwei Fichtenstandorten berechnet zum Ende einer hundertjährigen Umtriebszeit




FG Waldernährung, TU München

# Stoffliche Nachhaltigkeit verschiedener Nutzungsintensitäten im Bezug zu den aktuell verfügbaren Vorräten

Nährstoffentzug in % des verfügbaren Vorrates (Bestand + Boden)
Entzüge größer 25% sind grau hinterlegt

FG Waldernährung, TU München

| | **Höglwald** | | | **Flossenbürg** | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | *Derbholz* | *Derbholz + Rinde* | *Vollbaum* | *Derbholz* | *Derbholz + Rinde* | *Vollbaum* |
| *P* | 6 | 11 | 23 | 3 | 6 | 17 |
| *K* | 15 | 23 | 40 | 13 | 20 | 46 |
| *Mg* | 13 | 23 | 35 | 10 | 17 | 28 |
| *Ca* | 22 | 53 | 72 | 22 | 43 | 63 |

aus: Ettl, Weis, Göttlein 2007: Holz verbrennt, Asche bleibt – Konsequenzen für die stoffliche Nachhaltigkeit in Bayern. AFZ-DerWald 2/2007, 74-77

# Stoffliche Nachhaltigkeit verschiedener Nutzungsintensitäten im Bezug zur Nachlieferung

berechnet für eine hundertjährige Umtriebszeit als
(Eintrag+Nachlieferung-Austrag)/(Endnutzung+Zwischennutzung)
Entzüge die durch die Nachlieferung nicht gedeckt werden sind grau hinterlegt

FG Waldernährung, TU München

| | **Höglwald** | | | **Flossenbürg** | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | *Derbholz* | *Derbholz + Rinde* | *Vollbaum* | *Derbholz* | *Derbholz + Rinde* | *Vollbaum* |
| *P* | 2,48 | 1,42 | 0,64 | 2,87 | 1,44 | 0,53 |
| *K* | 2,08 | 1,35 | 0,69 | 2,47 | 1,59 | 0,71 |
| *Mg* | 2,72 | 2,02 | 1,94 | 2,28 | 1,34 | 0,91 |
| *Ca* | 3 | 1,34 | 1,18 | 2,28 | 1,13 | 0,77 |

aus: Ettl, Weis, Göttlein 2007: Holz verbrennt, Asche bleibt – Konsequenzen für die stoffliche Nachhaltigkeit in Bayern. AFZ-DerWald 2/2007, 74-77

# Stoffliche Nachhaltigkeit verschiedener Nutzungsintensitäten im Bezug zum verfügbaren Gesamtvorrat

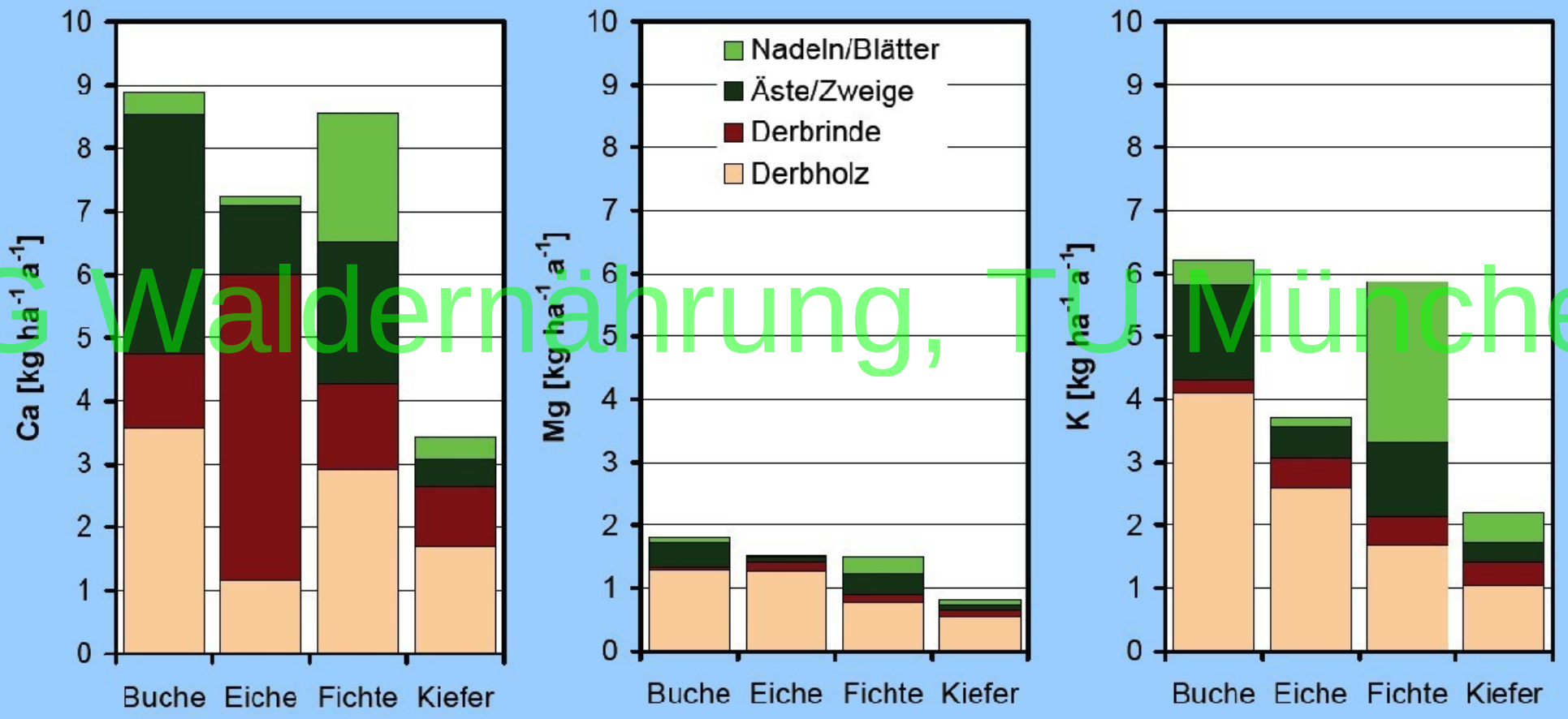
Berechnung der hypothetisch möglichen Umtriebszeiten unter Berücksichtigung der Ein- und Austräge; Vorräte die nach 10 Umtriebszeiten aufgezehrt wären sind grau hinterlegt

FG Waldernährung, TU München

| | **Höglwald** | | | **Flossenbürg** | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | *Derbholz* | *Derbholz + Rinde* | *Vollbaum* | *Derbholz* | *Derbholz + Rinde* | *Vollbaum* |
| *P* | > 100 | 50 bis 100 | 25 bis 50 | > 100 | > 100 | 25 bis 50 |
| *K* | > 100 | > 100 | > 100 | > 100 | > 100 | > 100 |
| *Mg* | 50 bis 100 | 50 bis 100 | 50 bis 100 | > 100 | > 100 | > 100 |
| *Ca* | ≤ 10 | ≤ 10 | ≤ 10 | 25 bis 50 | ≤ 10 | ≤ 10 |

aus: Ettl, Weis, Göttlein 2007: Holz verbrennt, Asche bleibt – Konsequenzen für die stoffliche Nachhaltigkeit in Bayern. AFZ-DerWald 2/2007, 74-77

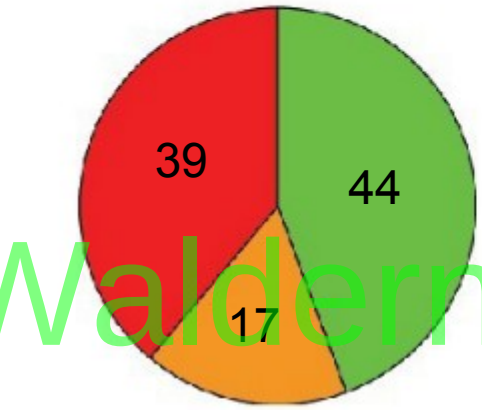
# Mittlere Nährelementverteilung der Hauptbaumarten

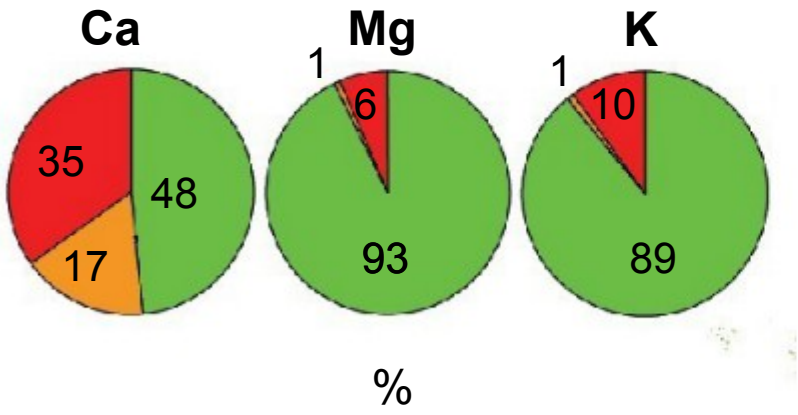



FG Waldernährung, TU München

# Beispielhafte Berechnung bezüglich möglicher Einschränkungen der Holznutzung für Buche (Vollbaum)

Bilanz = Eintrag + Verwitterung – Ernte - Sickerwasseraustrag




Ausschnitt aus der Staatswaldfläche Bayerns

Achtung:
das Element P ist noch nicht berücksichtigt

FG Waldernährung, TU München

**Bilanz > 0**
**keine Nutzungseinschränkungen**

**Bilanz < 0; <10% Entzug pro Umtriebszeit**
**Nutzungseinschränkungen empfohlen**

**Bilanz < 0; >10% Entzug pro Umtriebszeit**
**Nutungseinschränkungen notwendig**

# Alternativen für stofflich nachhaltiges Wirtschaften:

- Nutzung der „nachschaffenden“ Kraft des Standorts anpassen
- Einstieg in eine Nährstoffkreislauf-Wirtschaft

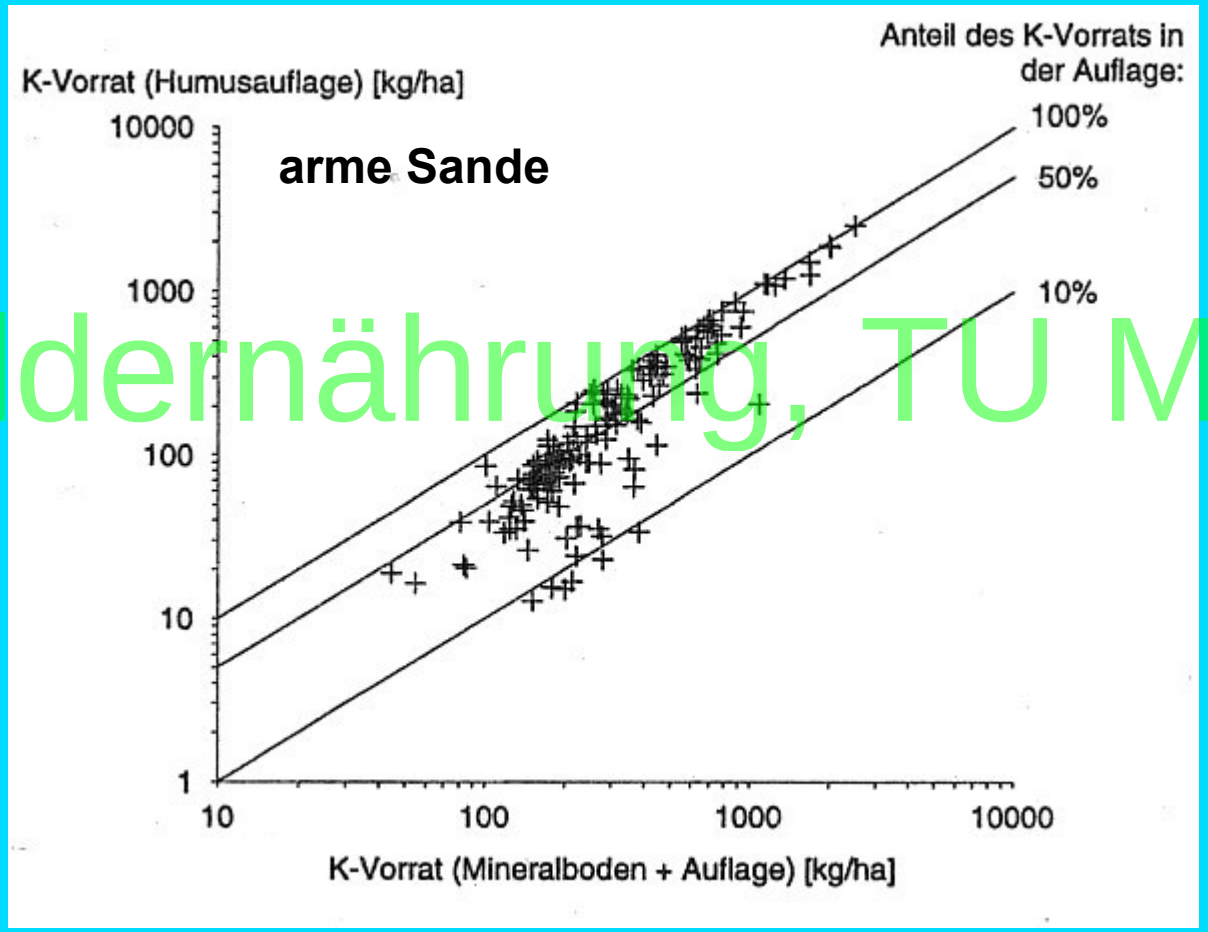
ökologisch verträgliches Ascherecycling wäre eine interessante Option

- Bedeutung von Humus und Totholz nicht unterschätzen

FG Waldernährung, TU München

# Bedeutung der Humusauflage für die Speicherung von Nährstoffen am Beispiel Kalium

aus: Deutscher Waldbodenbericht 1996. Bd.1, BMELF Bonn



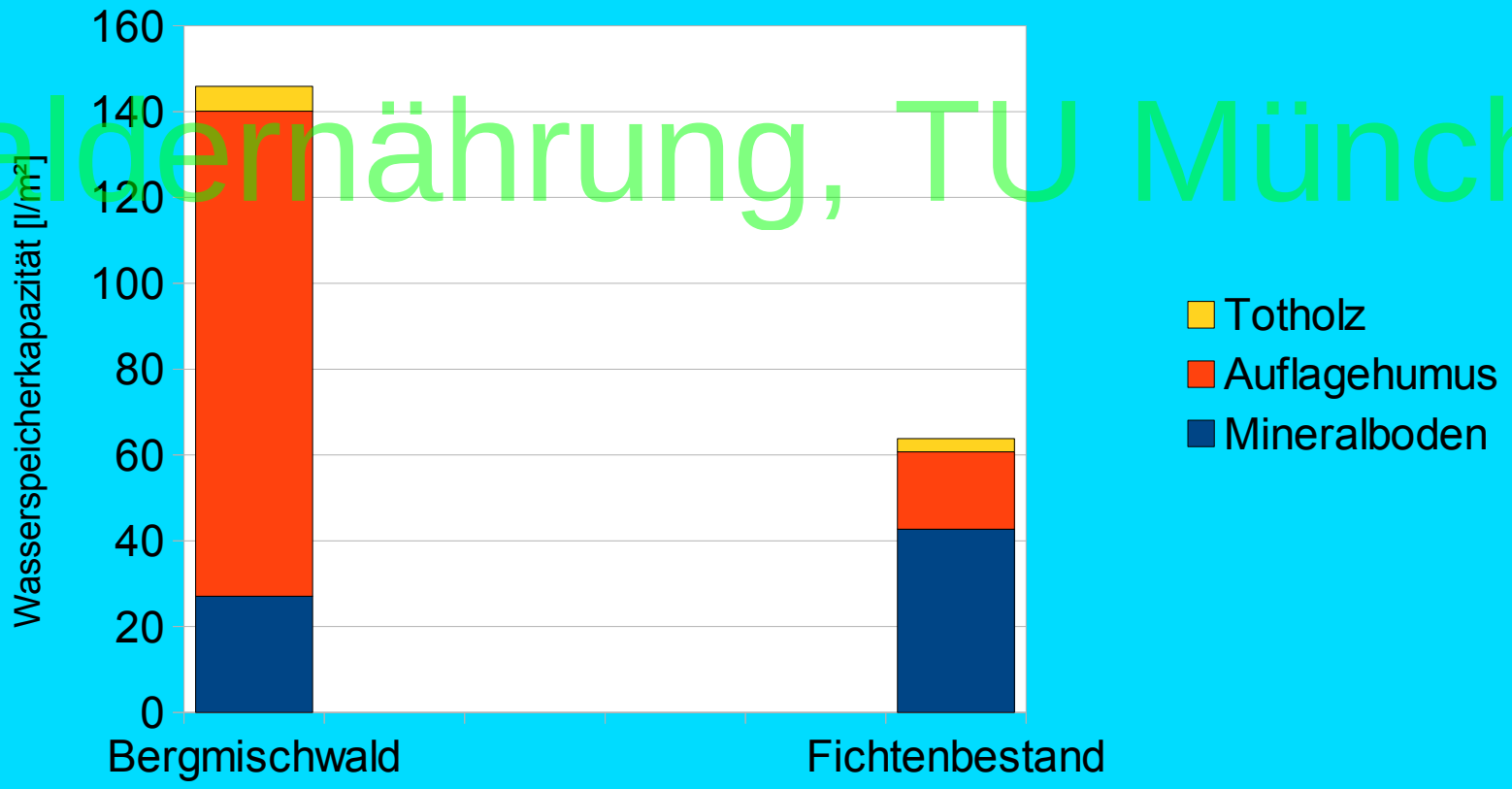

FG Waldernährung, TU München

# Bedeutung von Kohlenstoff in naturnahen Ökosystemen

aus: Wilnhammer: Ausmaß der Standortsveränderung im Hauptdolomitgebiet der Bayerischen Kalkalpen. Diplomarbeit FG Waldernährung 2006

## Wasserspeicherkapazität im kalkalpinen Bergwald

**intakter Bergmischwald** **degradierter Fichtenbestand**

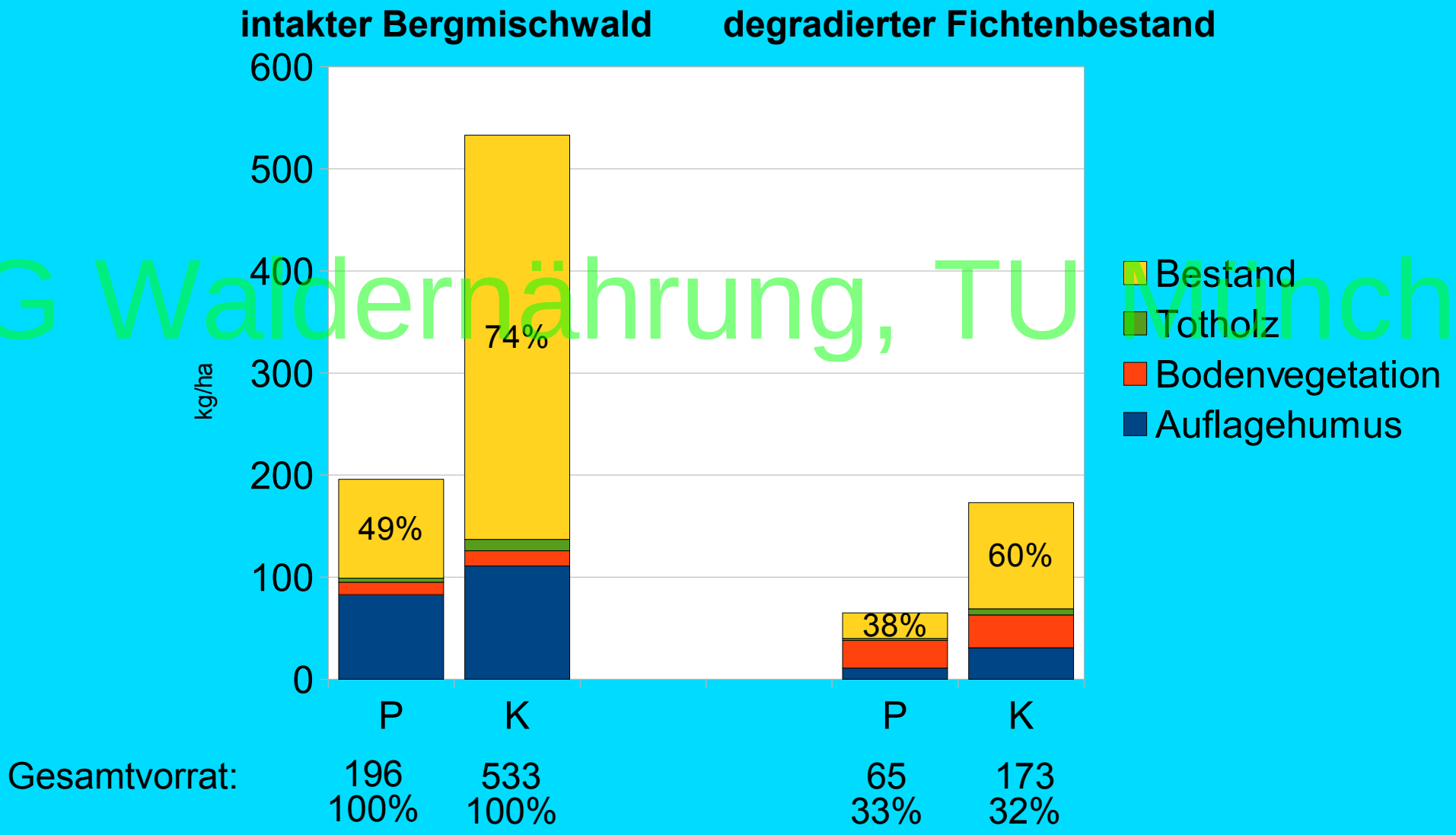



FG Waldernährung, TU München

# Bedeutung von Kohlenstoff in naturnahen Ökosystemen

aus: Wilnhammer: Ausmaß der Standortsveränderung im Hauptdolomitgebiet der Bayerischen Kalkalpen. Diplomarbeit FG Waldernährung 2006

## Nährelementvorräte im kalkalpinen Bergwald



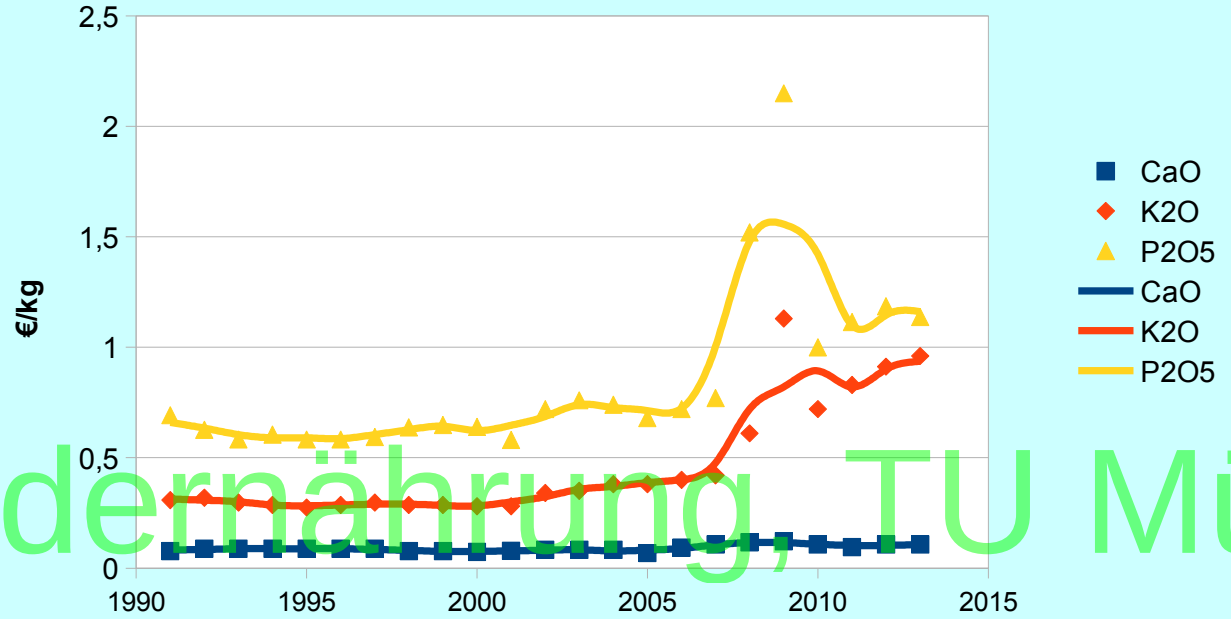

FG Waldernährung, TU München

# Waldbewirtschaftung und Stoffhaushalt

- Randbedingungen
- Einwertung der Waldstandorte Deutschlands
- Nachhaltigkeit verschiedener Nutzungsintensitäten
- von der Ökologie zu Ökonomie

FG Waldernährung, TU München

# Entwicklung der Nährstoff-Preise




FG Waldernährung, TU München

* Datenquelle: www.lfl.bayern.de

Nährstoffkosten für 2012/13
nach gleitendem Mittel

| | €/kg (incl. MWSt) |
|---|---|
| P * | 2,66 |
| S | 0,30 |
| K* | 1,13 |
| Ca* | 0,15 |
| Mg | 0,28 |

# Abschätzung des monetären Wertes der durch die energetische Nutzung entzogenen Nährelemente in Bayern für das Jahr 2008

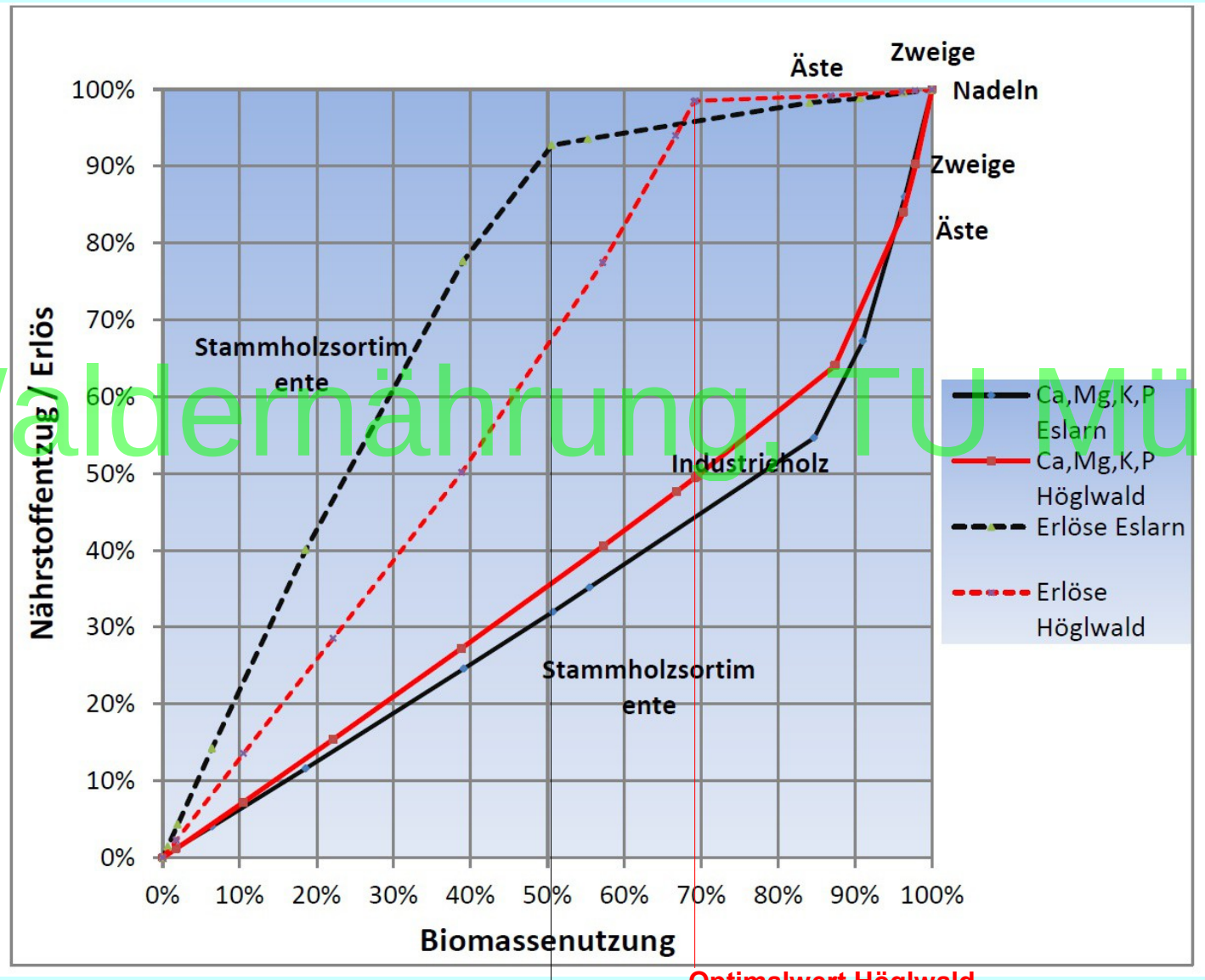
| | Nährelement-Wert pro Tonne Asche | Gesamt-Nährelementwert | Nährelementwert Rostasche Hackschnitzel-analgen |
|---|---|---|---|
| Ca | 50,20 €/t | 956.300 €/a | 266.500 €/a |
| Mg | 12,61 €/t | 240.200 €/a | 67.000 €/a |
| K | 47,81 €/t | 910.900 €/a | 253.800 €/a |
| P | 35,32 €/t | 672.900 €/a | 187.500 €/a |
| gesamt | 145,95 €/t | 2.78 Mio. €/a | 0,77 Mio. €/a |

FG Waldernährung, TU München

**Kosten für Nährelementrückführung:** Wert d. Nährelemente + 35 €/ha
➔ bei 10-jähriger Rotation müßten in Bayern 250.000ha abgearbeitet werden, mit Gesamtkosten von ca. **11,53 Mio.€ pro Jahr**

# Entwicklung von Erlös und Nährstoffentzug in Abhängigkeit von der Ernteintensität

aus: Fritsch: Biomasse- und Nährelementexport in zwei Fichtenbeständen unterschiedlicher Nährstoffausstattung – Einfluß der Nutzungsintensität auf ökologische und ökonomische Kenngrößen. Masterarbeit FG Waldernährung 2012




FG Waldernährung, TU München

# Auswirkung von Biomasseentzügen auf das Wachstum nach dem Durchforstungseingriff

nach: Helmisaari et al. 2011: Logging residue removal after thinning in Nordic boreal forests: Long-term impact on tree growth. Forest Ecology a. Managem. 261, 1919-1927

mittlerer Volumenzuwachs der Vollbaumvariante im Bezug zur konventionellen Holzernte

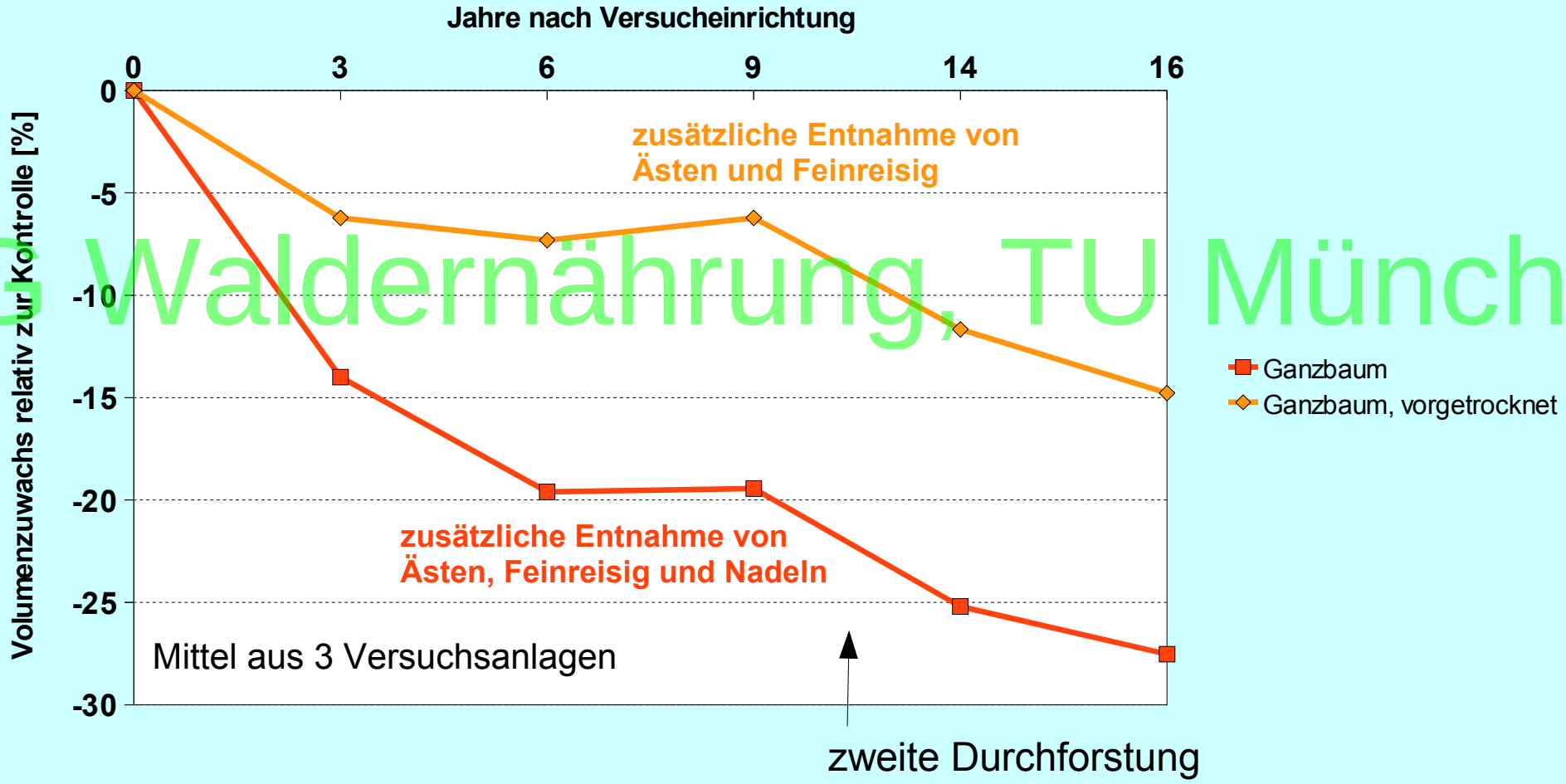
| Zeit nach Versuchseinrichtung | Fichte | Kiefer |
|---|---|---|
| 0-10 Jahre | - 5% | - 4% |
| 10-20 Jahre | - 13% | - 8% |

zweite Durchforstungsmaßnahme nach 10 Jahren bei 6 Fichtenbeständen und 4 Kiefernbeständen

FG Waldernährung, TU München

# Auswirkung von Biomasseentzügen auf das Wachstum nach Durchforstung, Fallstudie Österreich

nach: Sterba, H. (2003): Growth after biomass removal during precommercial thinning. In: Limbeck-Lilineau, B., Steinmüller, Th., Stampfer, K.: Austro2003: High Tech Forest Operations for Mountainous Terrain, Schlägl, Austria;




FG Waldernährung, TU München

# Fazit:

- auf einem Großteil der Waldstandorte führt die Nutzung zu einem merklichen Eingriff in den Nährstoffhaushalt
- die Nutzung von Kronenmaterial ist in der Regel ökologisch und ökonomisch unsinnig
- die Mißachtung der Nährstoffnachhaltigkeit ist eine wirtschaftliche Hypothek auf die Zukunft

FG Waldernährung, TU München

„... Wie nämlich der gute Arzt nicht verhindern kann, daß Menschen sterben, weil dies der Lauf der Natur ist, so kann auch der beste Forstwirt nicht verhindern, daß die noch aus der Vorzeit abstammenden Wälder jetzt, wo man sie benutzt geringer werden als sonst, wo man sie nicht benutzte...“

FG Waldernährung, TU München

Johann Heinrich Cotta, 1816
Vorwort zu seinem Buch „Anweisung zum Waldbau“