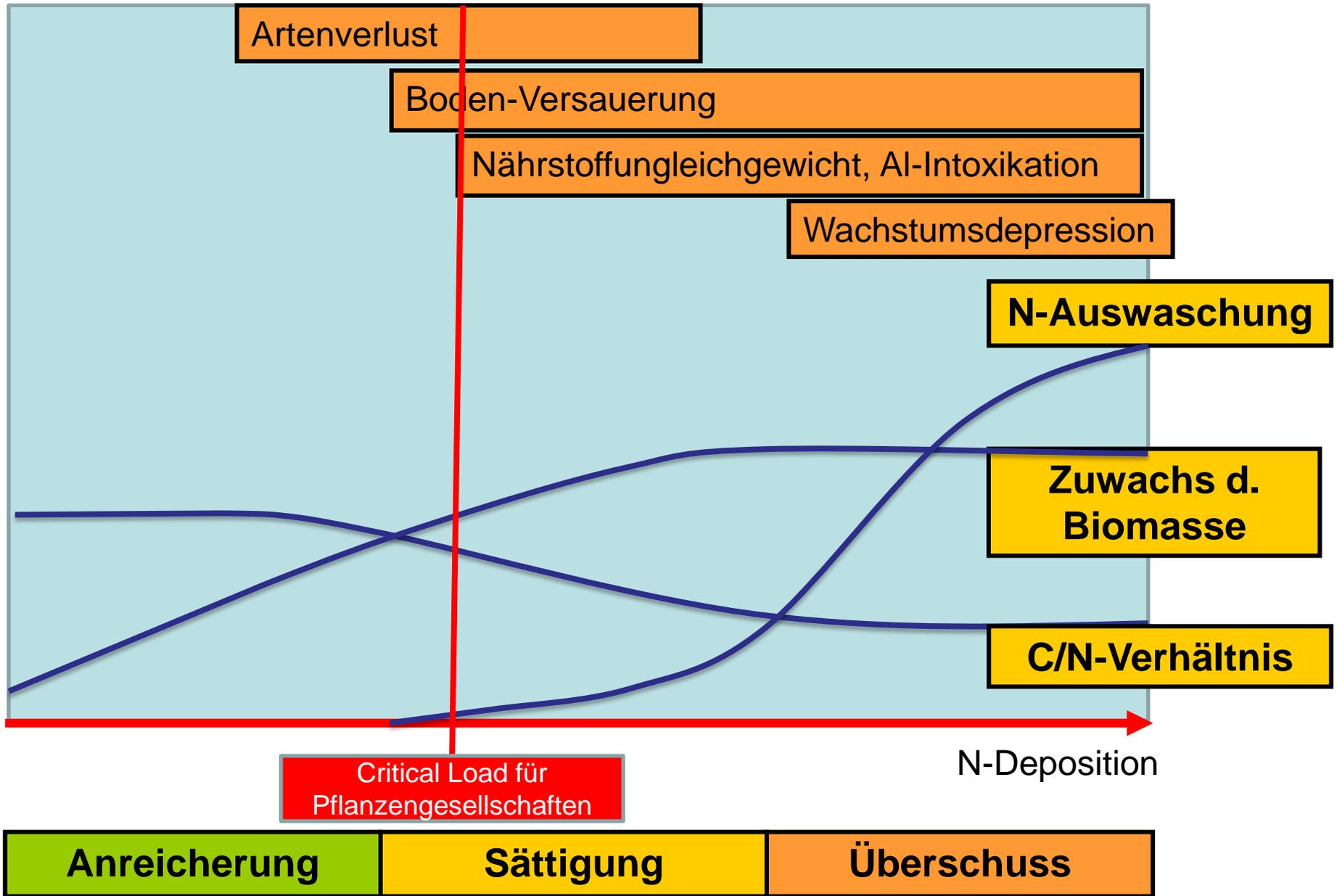


# Modellierung von Critical Loads für die Planungspraxis

1. Empirische Critical Loads („Berner Liste“)
2. Critical Loads nach der Simple Mass Balance-Methode (SMB)
3. CL-Ermittlung mit dem BERN/Decomp-Modell



# Critical Loads für Stickstoffeinträge

1. Empirische Critical Loads („Berner Liste“)
2. Critical Loads nach der Simple Mass Balance-Methode (SMB)
3. CL-Ermittlung mit dem BERN/Decomp-Modell

# Workshop "Review and Revision of Empirical Critical Loads" Noordwijkerhout, 23-25 June 2010

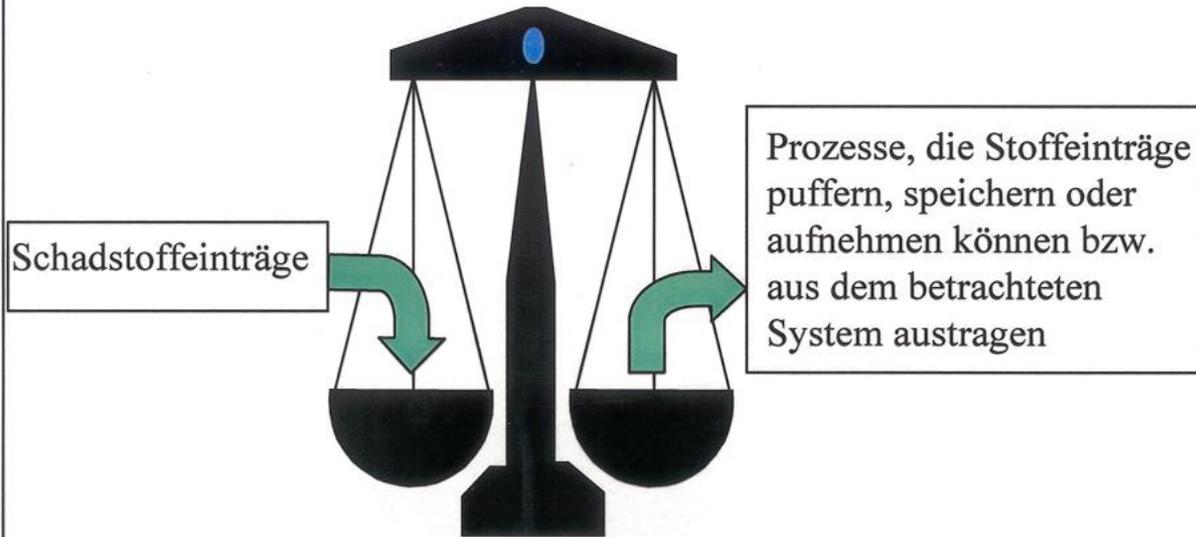
| <b>Ecosystem type</b>                                     | <b>EUNIS-<br/>code</b>  | <b>2003<br/>kg N ha<sup>-1</sup><br/>yr<sup>-1</sup> and<br/>reliability</b> | <b>2010<br/>kg N ha<sup>-1</sup><br/>yr<sup>-1</sup></b> | <b>2010<br/>Reliability</b> | <b>Indication of exceedance</b>   |
|---|-------------------------|--|--|-----------------------------|---|
| <b>Forest habitats (G)</b>                                |                         |  |  |                             |   |
| <i>Fagus</i> woodland                                     | <b>G1.6</b>             |  | <b>10-20</b>   | (#)                         | Changes in ground vegetation and mycorrhiza, nutrient imbalance, changes soil fauns                           |
| Acidophilous<br><i>Quercus</i> -dominated<br>woodland     | <b>G1.8</b>             |  | <b>10-15</b>   | (#)                         | Decrease in mycorrhiza, loss of epiphytic lichens and bryophytes, changes in ground vegetation                |
| Meso- and eutrophic<br><i>Quercus</i> woodland            | <b>G1.A</b>             |  | <b>15-20</b>   | (#)                         | Changes in ground vegetation  |
| Mediterranean<br>evergreen ( <i>Quercus</i> )<br>woodland | <b>G2.1</b>             |  | <b>3-7</b>   | (#)                         | Changes in epiphytic lichens  |
| <i>Abies</i> and <i>Picea</i><br>woodland                 | <b>G3.1</b>             |  | <b>10-15</b>   | (#)                         | Decreased biomass of fine roots, nutrient imbalance, decrease in mycorrhiza, changed soil fauna               |
| <i>Pinus sylvestris</i><br>woodland south of<br>the taiga | <b>G3.4</b>             |  | <b>5-15</b>  | #                           | Changes in ground vegetation and mycorrhiza, nutrient imbalances, increased N <sub>2</sub> O and NO emissions |
| <i>Pinus nigra</i><br>woodland                            | <b>G3.5</b>             |  | <b>15</b>  | (#)                         | Ammonium accumulation   |
| Mediterranean <i>Pinus</i><br>woodland                    | <b>G3.7</b>             |  | <b>3-15</b>  | (#)                         | Reduction in fine root biomass, shift in lichen community   |
| Spruce taiga<br>woodland                                  | G3.A <sup>i</sup>       | 10-20 #  | 5-10   | ##                          | Changes in ground vegetation, decrease in mycorrhiza, increase in free algae                                  |
| Pine taiga woodland                                       | G3.B <sup>i</sup>       | 10-20 #  | 5-10   | #                           | Changes in ground vegetation and in mycorrhiza, increase occurrence of free algae                             |
| Mixed taiga<br>woodland with <i>Betula</i>                | <b>G4.2</b>             |  | <b>5-8</b>   | (#)                         | Increased algal cover   |
| Mixed <i>Abies-Picea</i><br><i>Fagus</i> woodland         | <b>G4.6<sup>j</sup></b> |  | <b>10-20</b>   | (#)                         |   |

| Ecosystem type   | EUNIS-code         | 2003<br>kg N ha <sup>-1</sup><br>yr <sup>-1</sup> and<br>reliability | 2010<br>kg N ha <sup>-1</sup><br>yr <sup>-1</sup> | 2010<br>Reliability | Indication of exceedance  |
|--|--------------------|--|---|---------------------|---|
| <b>Grasslands and tall forb habitats (E)</b>                                 |                    |  |   |                     |   |
| Sub-atlantic semi-dry calcareous grassland                                   | E1.26              | 15-25 ##   | 15-25   | ##                  | Increase in tall grasses, decline in diversity, increased mineralization, N leaching; surface acidification |
| Mediterranean xeric grasslands   | <b>E1.3</b>        |  | <b>15-25</b>                                      | (#)                 | Increased production, dominance by graminoids   |
| Non-Mediterranean dry acid and neutral closed grassland                      | E1.7 <sup>b</sup>  | 10-20 #  | <b>10-15</b>                                      | ##                  | Increase in graminoids, decline of typical species, decrease in total species richness                      |
| Inland dune pioneer grasslands   | E1.94 <sup>b</sup> | 10-20 (#)  | <b>8-15</b>                                       | (#)                 | Decrease in lichens, increase in biomass  |
| Inland dune siliceous grasslands   | E1.95 <sup>b</sup> | 10-20 (#)  | <b>8-15</b>                                       | (#)                 | Decrease in lichens, increase in biomass, increased succession  |
| Low and medium altitude hay meadows  | E2.2               | 20-30 (#)  | 20-30   | (#)                 | Increase in tall grasses, decrease in diversity   |
| Mountain hay meadows   | E2.3               | 10-20 (#)  | 10-20   | (#)                 | Increase in nitrophilous graminoids, changes in diversity   |
| Moist and wet oligotrophic grasslands  |                    |  |   |                     |   |
| • <i>Molinia caerulea</i> meadows  | E3.51              | 15-25 (#)  | 15-25   | (#)                 | Increase in tall graminoids, decreased diversity, decrease of bryophytes                                    |
| • Heath ( <i>Juncus</i> ) meadows and humid ( <i>Nardus stricta</i> ) swards | E3.52              | 10-20 #  | 10-20   | #                   | Increase in tall graminoids, decreased diversity, decrease of bryophytes                                    |
| Moss and lichen dominated mountain summits                                   | E4.2               | 5-10 #   | 5-10  | #                   | Effects upon bryophytes or lichens  |
| Alpine and subalpine acid grasslands   | <b>E4.3</b>        |  | <b>5-10</b>                                       | #                   | Changes in species composition; increase in plant production  |
| Alpine and subalpine calcareous grasslands                                   | <b>E4.4</b>        |  | <b>5-10</b>                                       | #                   | Changes in species composition; increase in plant production  |

# Critical Loads für Stickstoffeinträge

1. Empirische Critical Loads („Berner Liste“)
2. Critical Loads nach der Simple Mass Balance-Methode (SMB)
3. CL-Ermittlung mit dem BERN/Decomp-Modell

# Massenbilanzmethode für die Bestimmung der Belastbarkeitsgrenzen (Critical Loads) für eutrophierende Stickstoffeinträge

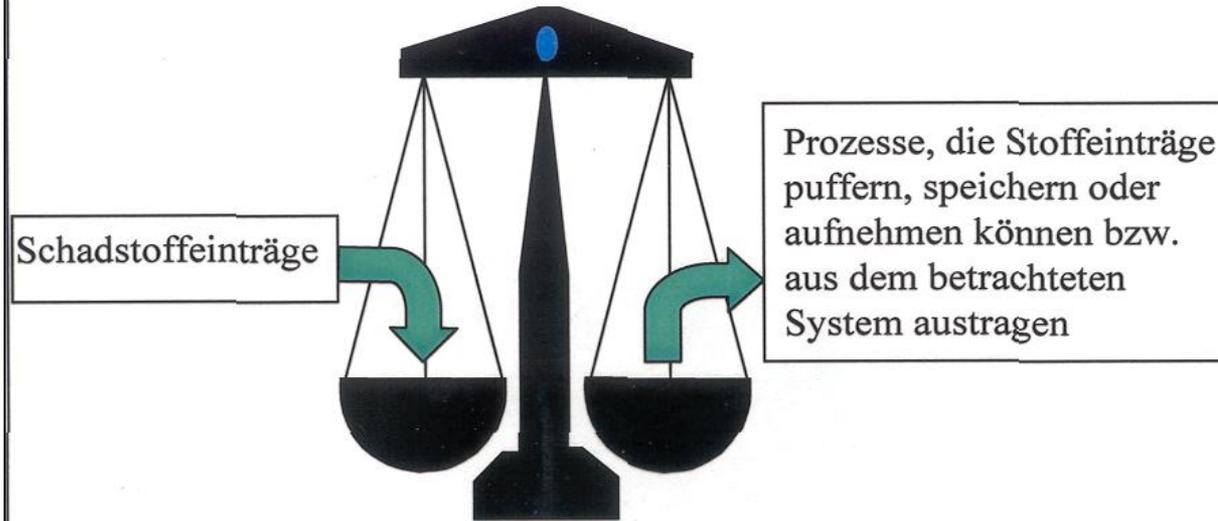


$$CL_{nut}N = N_i + N_u + N_{de} + N_{le(crit)}$$

wobei:

- $CL$  = Critical Load (Belastungsgrenzwert)
- $N$  = Stickstoffverbindungen
- $N_{de}$  = Denitrifikationsrate
- $N_i$  = Stickstoff-Immobilisierungsrate
- $N_u$  = Netto-Stickstoff-Aufnahmerate durch die Vegetation
- $N_{le(crit)}$  = Kritische Austragsrate von Stickstoff mit dem Sickerwasser

# Massenbilanzmethode für die Bestimmung der Belastbarkeitsgrenzen (Critical Loads) für Säure



$$CL_{max}N = BC_{dep} - CI_{dep}^* + BC_w - Bc_u - ANC_{le(crit)} + N_i + N_u$$

wobei:

- $CL$  = Critical Load (Belastungsgrenzwert) [eq ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup>]
- $S$  = Schwefelverbindungen
- $N$  = Stickstoffverbindungen
- $BC_{dep}$  = Deposition basischer Kationen
- $BC_w$  = Freisetzungsrates basischer Kationen durch Verwitterung
- $Bc_u$  = Netto-Aufnahmerate basischer Kationen durch die Vegetation
- $N_i$  = Stickstoff-Immobilisierungsrate
- $N_u$  = Netto-Stickstoff-Aufnahmerate durch die Vegetation
- $ANC_{le(crit)}$  = Kritische Austragsrate der Säureneutralisationskapazität mit dem Sickerwasser

Berechnung der akzeptablen Auswaschungsrate von Säureneutralisationskapazität:

$$ANC_{le(crit)} = - \left( 1,5 \cdot \frac{Bc_w + Bc_{dep} - Bc_u}{(Bc / Al)_{crit}} \right) - PS [H]_{crit}$$

Berechnung der akzeptablen Auswaschung von Stickstoff:

$$N_{le(acc)} = PS * [N]_{crit}$$

# Critical Limits (=Belastbarkeitsschwellen) in der Critical-Loads-Funktion:

- 1. Kritisches Verhältnis von basischen Kationen zu Aluminium-Ionen [ $Bc/Al(crit)$ ] in der Bodenlösung zur Limitierung von Aluminium-Intoxikation**  
Schutzgut: Produktionsfunktion der Hauptbaumarten
- 2. Kritischer pH-Wert zur Limitierung von Boden-Degradation**  
Schutzgut: Regulationsfunktion des Bodens
- 3. Kritische N-Konzentration im Bodenwasser zur Limitierung der Akkumulation von Stickstoff im Stau- bzw. Grundwasser ( $[N]_e(crit)$ )**  
Schutzgut: Grundwasser, Feuchtbiotope
- 4. Limitierung der Immobilisierung und der Mineralisierung**  
Schutzgut: Regulationsfunktion des Bodens
- 5. Limitierung von Nährstoff-Imbalancen [ $(Bc/N)crit$ ]**  
Schutzgut: Vegetationstypen, Schutz empfindlicher Arten der Kraut- und Moosschicht (insb. Moose, Flechten)
- 6. Kritische multiple Belastbarkeitsschwelle (C/N/BS) für die Existenz einer schutzbedürftigen Pflanzengesellschaft im günstigen Erhaltungszustand**  
Schutzgut: standorttypisches charakteristisches Arteninventar, Regenerierungsfähigkeit, ökologische Funktionstüchtigkeit insb. hinsichtlich der Lebensraumfunktion

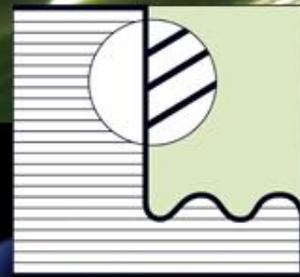
# Critical Loads für Stickstoffeinträge

1. Empirische Critical Loads („Berner Liste“)
2. Critical Loads nach der Simple Mass Balance-Methode (SMB)
3. CL-Ermittlung mit dem BERN/Decomp-Modell
  - 3.1 Modellansatz und Datengrundlagen
  - 3.2 Ermittlung von Critical Limits für die Schutzgüter der FFH-LRT
  - 3.3 Bestimmung des Erhaltungsziels im Einzelfall (EHZ C)
  - 3.4 Ermittlung des Critical Loads
  - 3.5 Validierung und Unsicherheitenanalysen

**BERN**

**ÖKO-DATA**

Gesellschaft für Ökosystemanalyse  
und Umweltdatenmanagement mbH



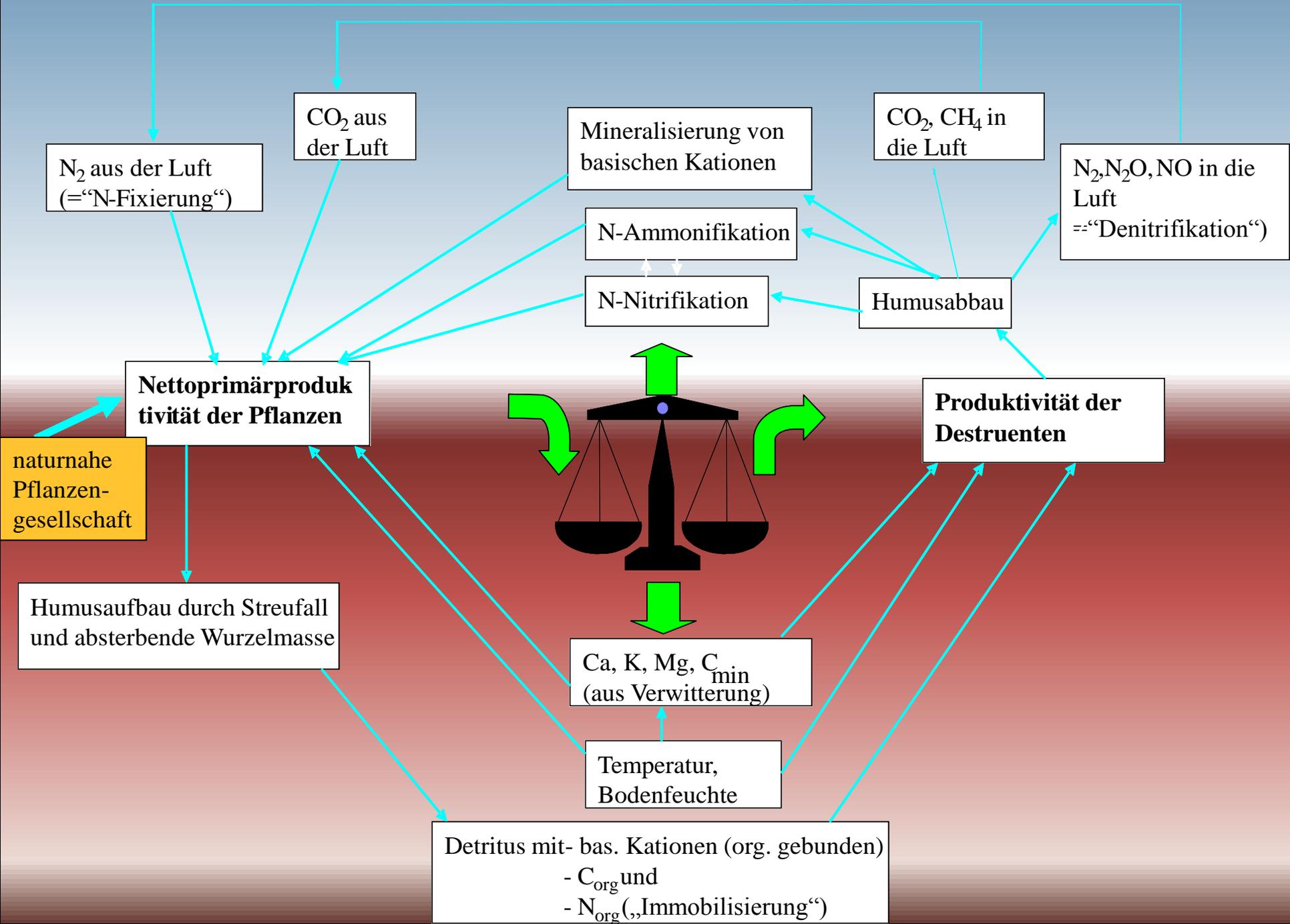
**B**ioindikation zur  
**E**rmittlung von  
**R**egenerierungspotenzialen  
**N**aturnaher Ökosysteme

Dr. Angela Schlutow

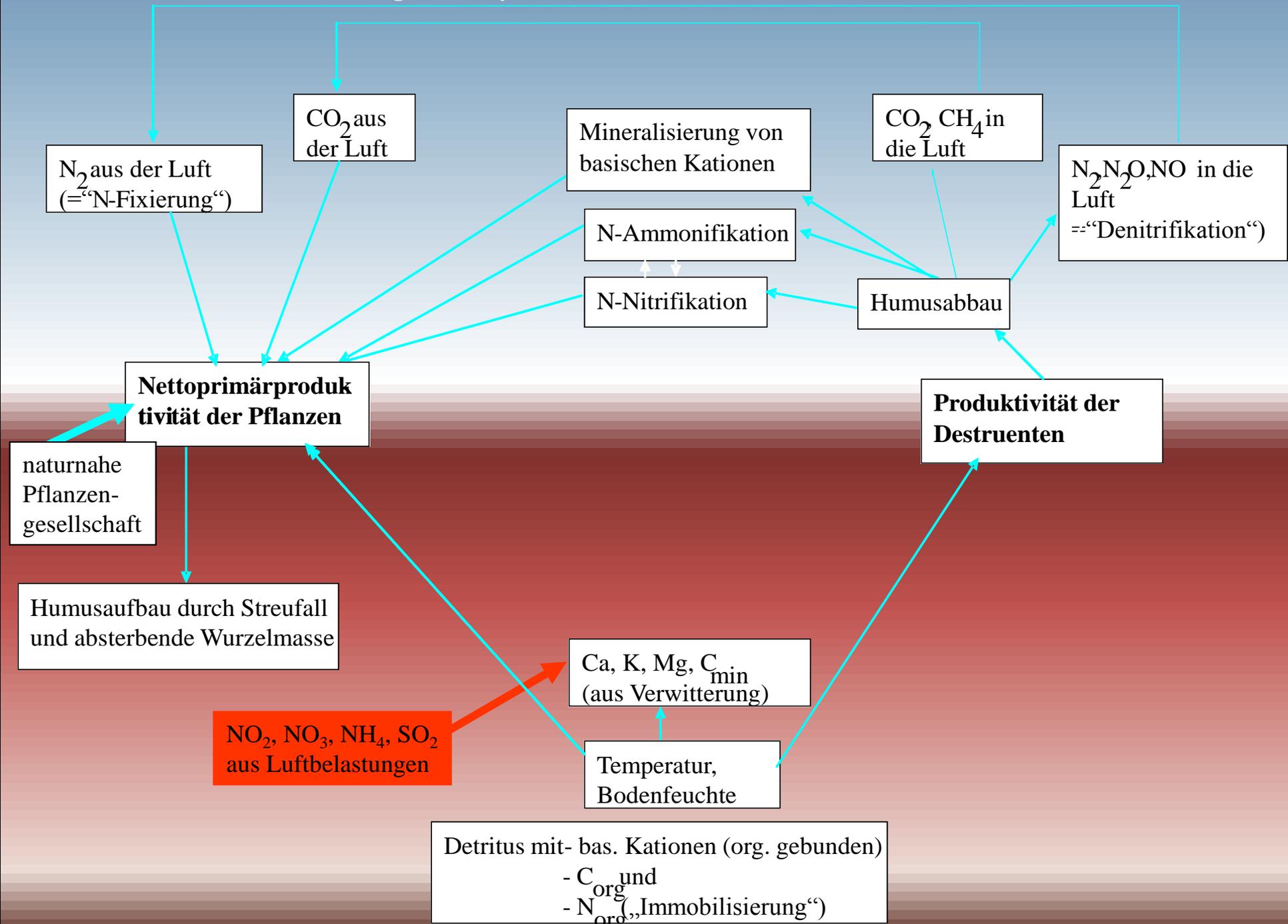
Philipp Kraft

Thomas Scheuschner

# Nährstoffkreislauf eines naturnahen Ökosystems im harmonischen Gleichgewicht



# Nährstoffkreislauf eines beeinträchtigten Ökosystems



# Datenbasis (Vegetation und Standort)

|   |  |
|---|--|
| <p>Vegetationsaufnahmen mit Standortcharakteristik an +/- unbelasteten Referenzstandorten (vor ca. 1960):</p>   | <p>Vegetationsaufnahmen mit Messungen von Standortparametern:</p>  |
| <p>17.593 Aufnahmen aus Deutschland,<br/>19.914 Aufnahmen aus Slowakei, Tschechien,<br/>Ungarn, Österreich, Schweiz, Slowenien, ...</p>   | <p>4.640 Aufnahmen + x</p>   |
| <p>Passarge 1964<br/>Passarge und Hofmann 1967<br/>Oberdorfer 1992<br/>Ellenberg 1996<br/>Schubert 1960,<br/>Mahn 1965<br/>Schubert, Hilbig, Klotz 1995<br/>Preising 1990,<br/>Härtle 1984<br/>Hartmann u. Jahn 1967<br/>Schmidt, Hempel et al. 2002<br/>Willner 2002<br/>Michalko 1986<br/>Neuhäusl u. Neuhäuslova 1976<br/>Jakucs 1961<br/>Borhidi 1965</p> | <p><b>Hartmann u. Jahn 1967</b><br/>Pott 1992<br/>ICP Forest 2004 (Level-II-Monitoring)<br/><b>FSK I</b> u. II (Konopatzky, Kirschner 1997)<br/>BZE II Thüringen (Schlutow et al. 2009)<br/>Schlutow 1965-2011<br/><b>Succow 1988</b><br/>Succow und Hundt 1989<br/>Succow und Joosten 2001<br/>Anders et al. 2002<br/><b>Hofmann 1964-2006</b><br/>Rolecek 2005<br/>Knollová u. Chytrý 2004<br/>Kevey u. Borhidi 2005<br/><b>Klapp 1965</b></p> |

# Formular für die Eingabe der Gesellschaften in die BERN-Datenbank

Gesellschaft
☐ ☐ ☒

ID: 2081    Naturnähe: natürlich    Gefährdung:    Erste Nutzungsart: Wald  
 Zweite Nutzungsart:    Dritte Nutzungsart:

**Asperulo-Fagetum sylvatici (typ. Subass.)**

Quelle: Mayer  
 Jahr: 1964  
 Anzahl\_Aufnahmen: 2526  
 mittl\_Artenzahl: 28  
 Detail: Pass.u.Hofm.(68) Tab.15a/  
 Veg.-Typ: Rotbuche  
 Natura 2000: 9130  
 EUNISCode: G1.63  
 Humusform: mullartiger Moder

soil type (KA5)

- ▶ BB-CF
- BB-DD
- BBn
- BB-RN
- BB-TT
- LFn
- LL-TT
- SS-BB

No. of species: 22    Dominant    Cover

|                         |   |    |
|-------------------------|---|----|
| ▶ Urtica dioica         |   | 1  |
| Festuca gigantea        |   | 1  |
| Brachypodium sylvaticum |   | 1  |
| Melica uniflora         |   | 1  |
| Veronica chamaedrys     |   | 1  |
| Oxalis acetosella       | ✓ | 60 |
| Galium odoratum         | ✓ | 60 |
| Poa nemoralis           | ✓ | 40 |
| Moehringia trinervia    |   | 1  |
| Fagus sylvatica         | ✓ | 80 |
| Quercus robur           |   | 10 |
| Quercus petraea         |   | 10 |
| Ranunculus ficaria      |   | 1  |
| Betula pendula          |   | 10 |
| Milium effusum          | ✓ | 40 |
| Maianthemum bifolium    |   | 1  |
| Anemone nemorosa        | ✓ | 60 |
| Viola reichenbachiana   |   | 1  |
| Cypripedium calceolus   |   | 1  |
| Galanthus nivalis       |   | 1  |
| Vicia sylvatica         |   | 1  |
| *                       |   |    |

Bedeckungsgrad:

|            |     |
|------------|-----|
| B1 Dg min: | 76  |
| B1 Dg max: | 100 |
| B2 Dg min: | 5   |
| B2 Dg max: | 15  |
| S Dg min:  | 10  |
| S Dg max:  | 25  |
| K Dg min:  | 40  |
| K Dg max:  | 60  |
| M Dg min:  | 0   |
| M Dg max:  | 3   |

soil group unit BUK1000

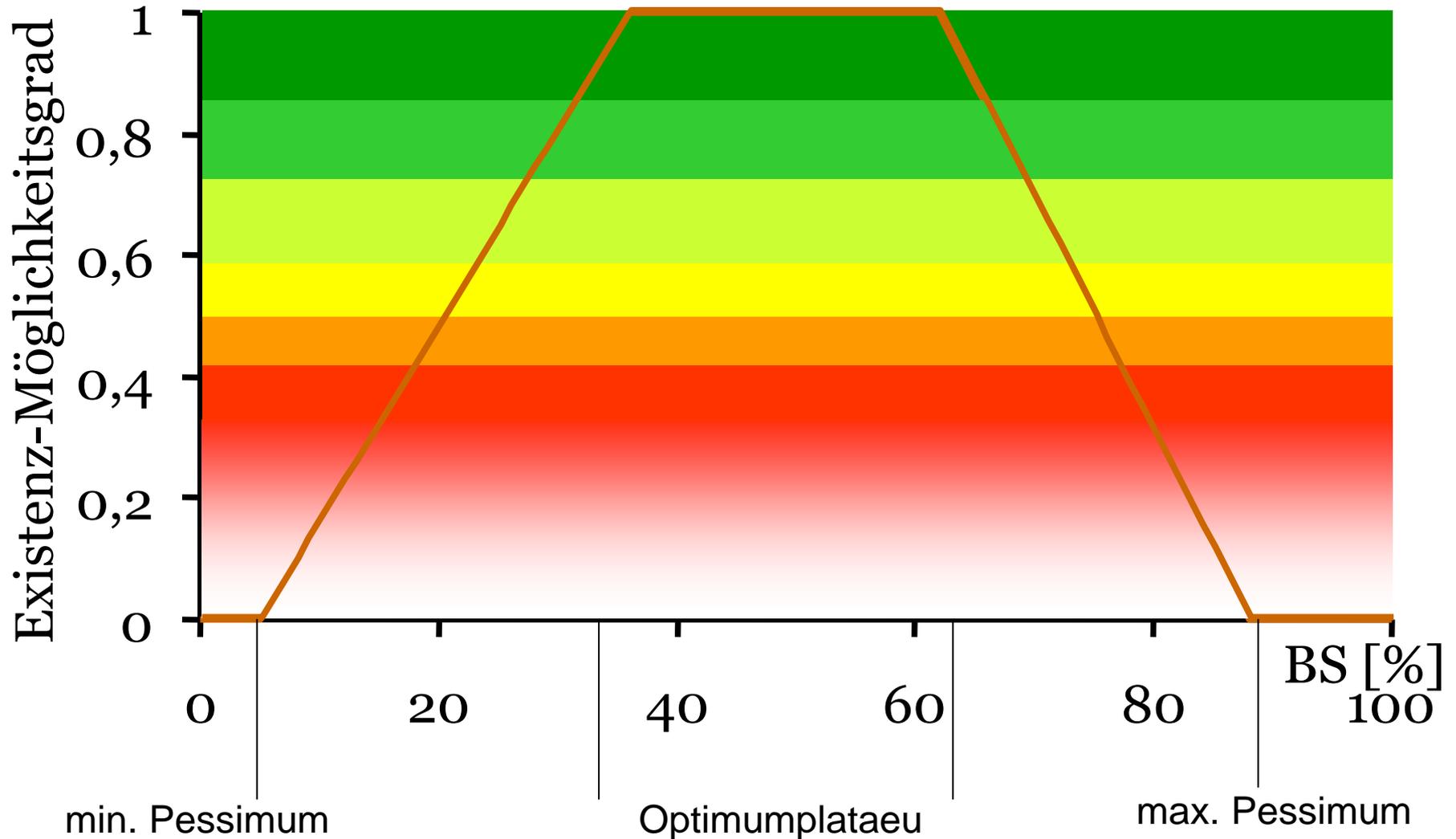
|   |    |
|---|----|
|   | 14 |
|   | 18 |
| ▶ | 19 |
|   | 27 |
|   | 30 |

|      | climate | sun | slope | plane | shade | slope |
|------|---------|-----|-------|-------|-------|-------|
| ▶ Mm | ▼       | ☑   |       | ☑     |       | ☐     |
| Uf   | ▼       | ☑   |       | ☑     |       | ☐     |
| Uff  | ▼       | ☑   |       | ☑     |       | ☐     |
| Uk   | ▼       | ☑   |       | ☑     |       | ☐     |
| Um   | ▼       | ☑   |       | ☑     |       | ☐     |

Gesellschaft auswählen: **Asperulo-Fagetum sylvatici (typ. Subass.)**

Datensatz: 59 von 547    Kein Filter    Suchen

# Möglichkeitenverteilungsfunktion einer Art zu einem Standortfaktor (hier am Beispiel der Basensättigung)



# Steckbrief einer Art in der BERN-Datenbank

Art

ID:

Name:

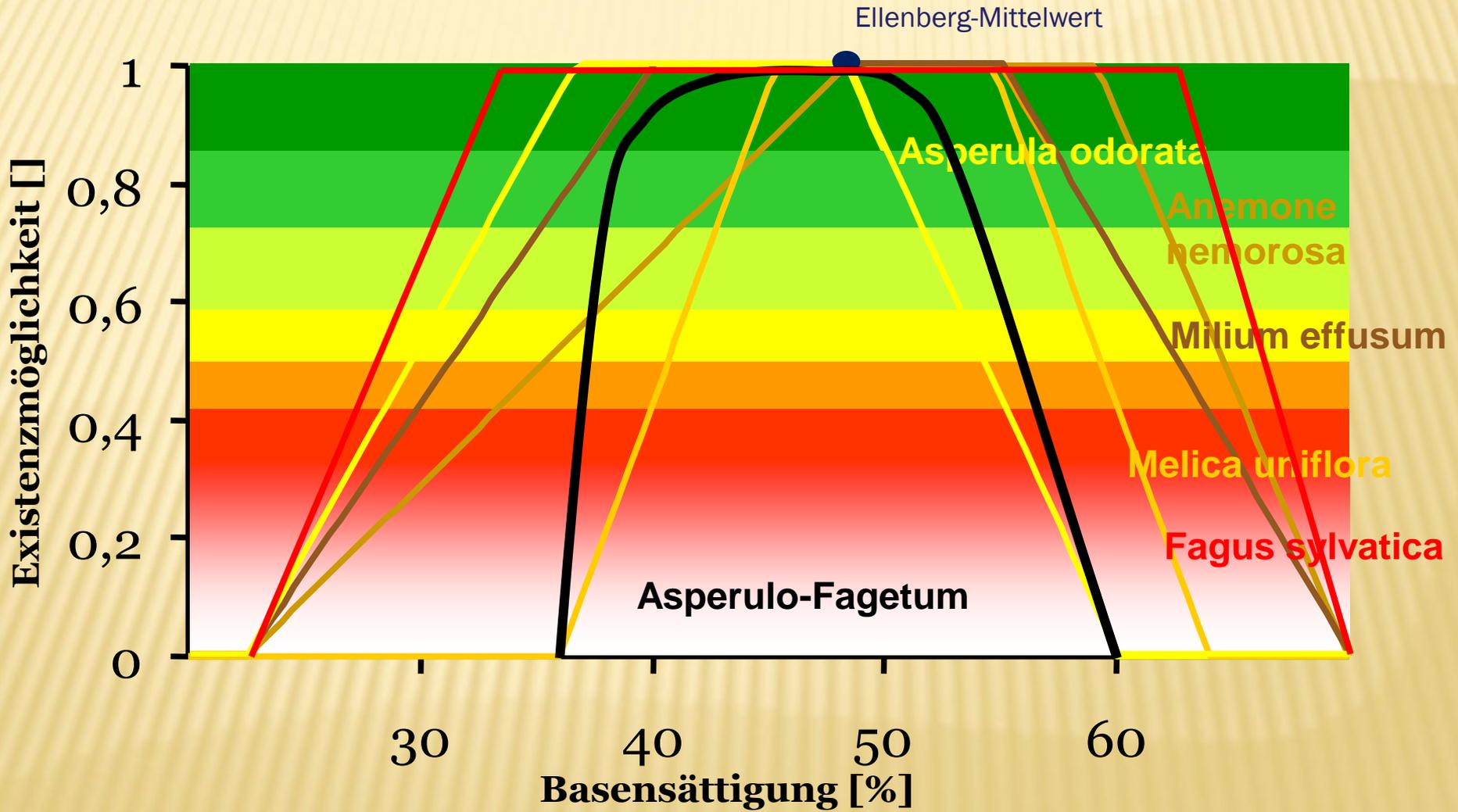
Parameter | Status of protection | Ellenberg values

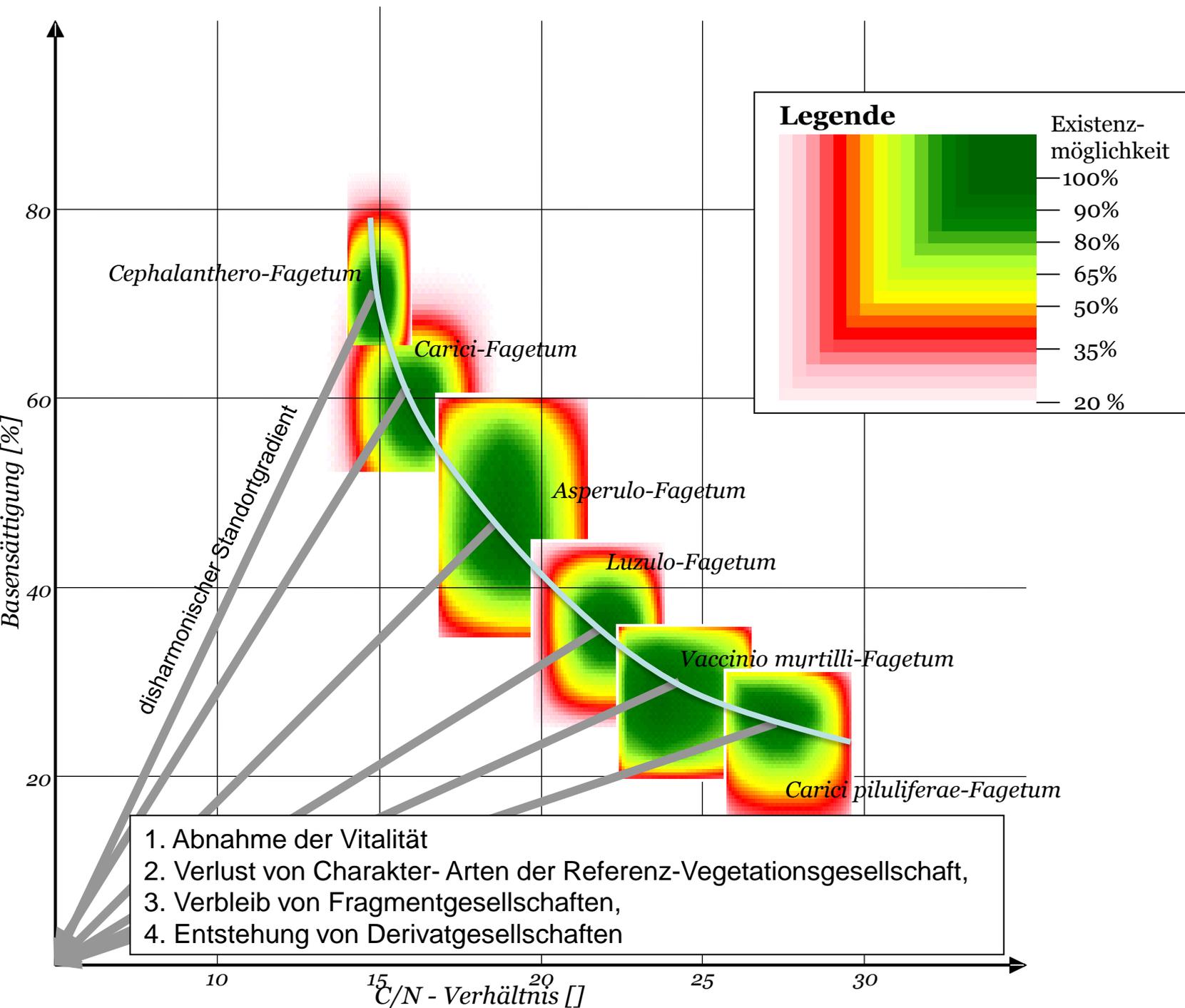
|                       | Optimum |        |         |       |                                   |
|-----------------------|---------|--------|---------|-------|-----------------------------------|
|                       | Minimum |        | Maximum |       |                                   |
| soil water content    | 0,040   | 0,22   | 0,32    | 0,500 | [m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> ] |
| base saturation       | 15      | 36,667 | 63,333  | 100   | [%]                               |
| C/N-ratio             | 11      | 20,667 | 30,333  | 40    | [ ]                               |
| climat. water balance | -20,2   | 7,3    | 63,8    | 69,4  | [mm/veg.month]                    |
| vegetation period     | 110     | 145    | 175     | 190   | [days>10°C/year]                  |
| solar radiation       | 316     | 480    | 644     | 808   | [kWh/m <sup>2</sup> y]            |
| temperature           | -20,6   | 9      | 23      | 53    | [°C]                              |

Art suchen:

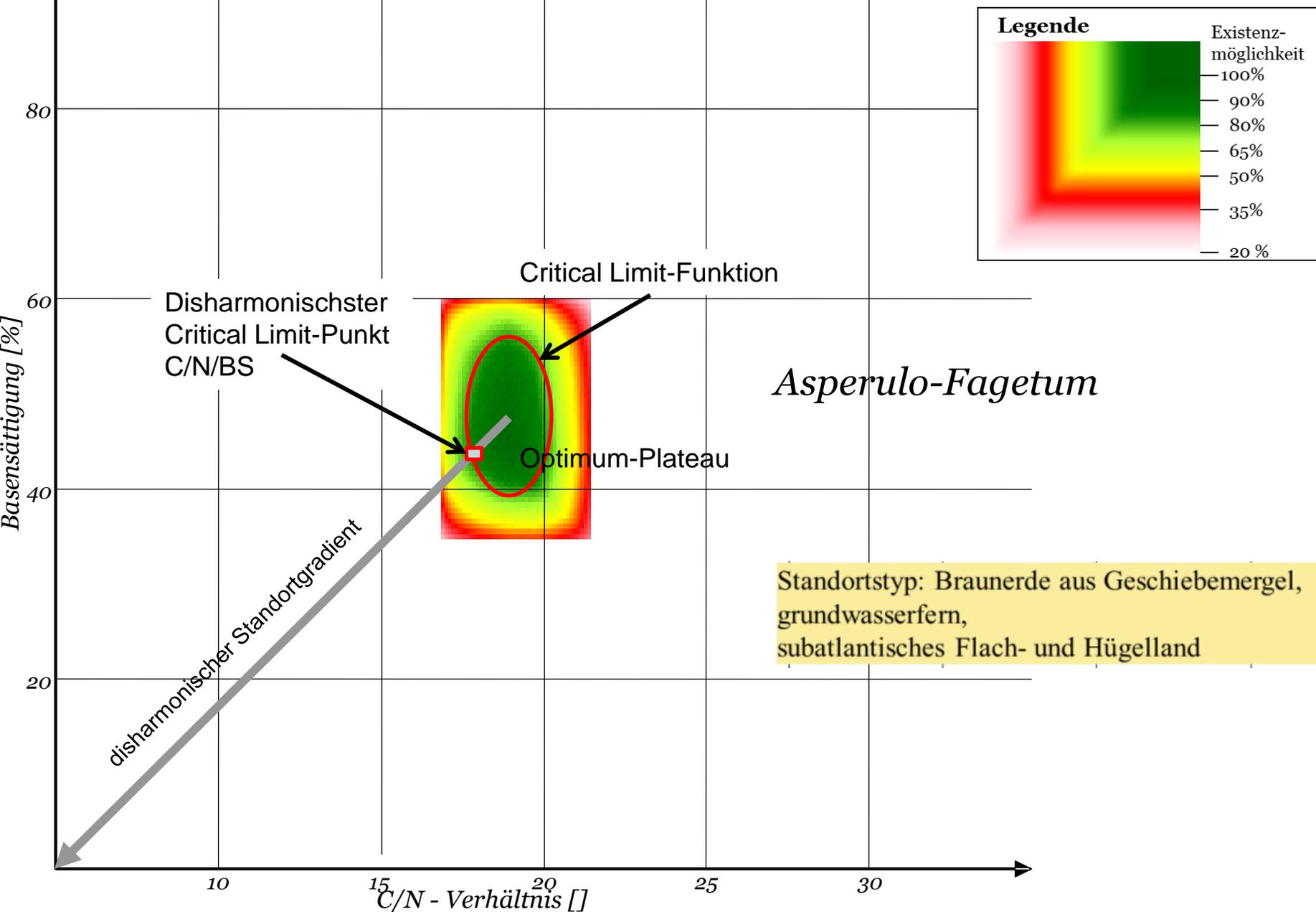
Datensatz: 123 von 1602 | Ungefiltert | Suchen

# Ökologische Nische der Arten und der Artenkombination

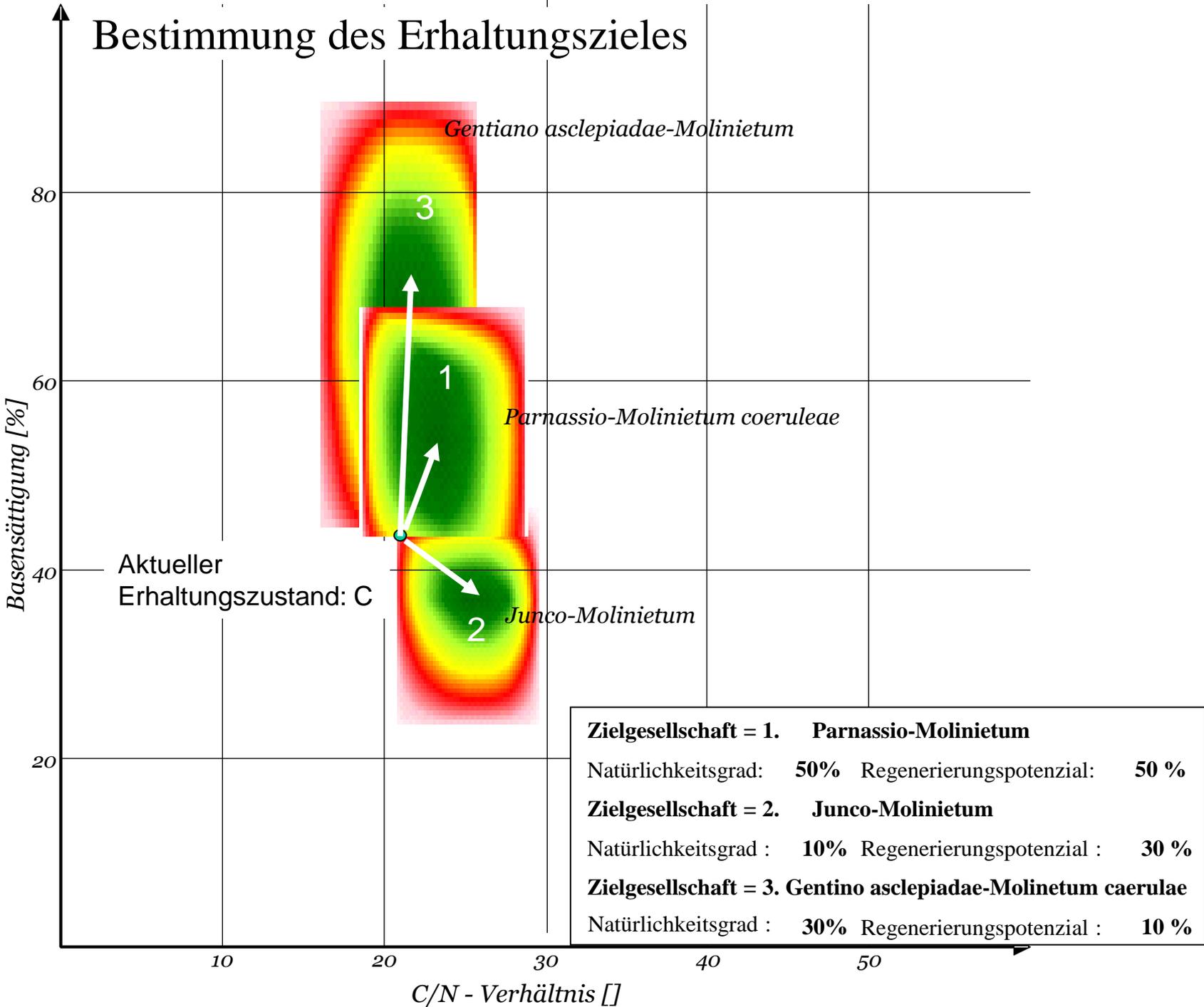




# Prinzip der Bestimmung des multiplen Critical Limits mit dem BERN-Modell



# Bestimmung des Erhaltungszieles



# Erhaltungsziel unter dynamischer Veränderung des Standorts

| <b>unveränderliche Parameter:</b> |                               |                                  |                                       |  |
|-----------------------------------|-------------------------------|----------------------------------|---------------------------------------|--|
| Bodenform                         | MMK, BÜK 200, BK 25, 50       |                                  |                                       |  |
| <b>veränderliche Parameter:</b>   |                               |                                  |                                       |  |
| Klima:                            | wie 1960-2000                 | PS, T 1960-2000<br>(DWD 2001)    | Klima-Szenarien<br>(PIK 2008)         | 1. worst case<br>2. middle case              |
| Deposition:                       | modelliert<br>(VSD),(MAKEDEP) | Erheb.1990-2007<br>(GAUGER 2011) | Depositions-Szenarien<br>(IIASA 2007) | 1. CLE<br>2. beste Technik (MFR)             |
| Nutzung:                          | modelliert<br>(PreSAFE)       | Zustandserhebung                 | Pflege-Szenarien                      | 1. extensive Nutzung<br>2. intensive Nutzung |

Timeline: 1880 (dashed line), 1960, 2000, 2030, 2050. A red box highlights the period from 2000 onwards.

**Bezeichnung**  
 Name **LRT9130 BB-RZc Merc.-Fag.**

**Critical Limit**  
 CLnutM 0  
 CNcrit **18**

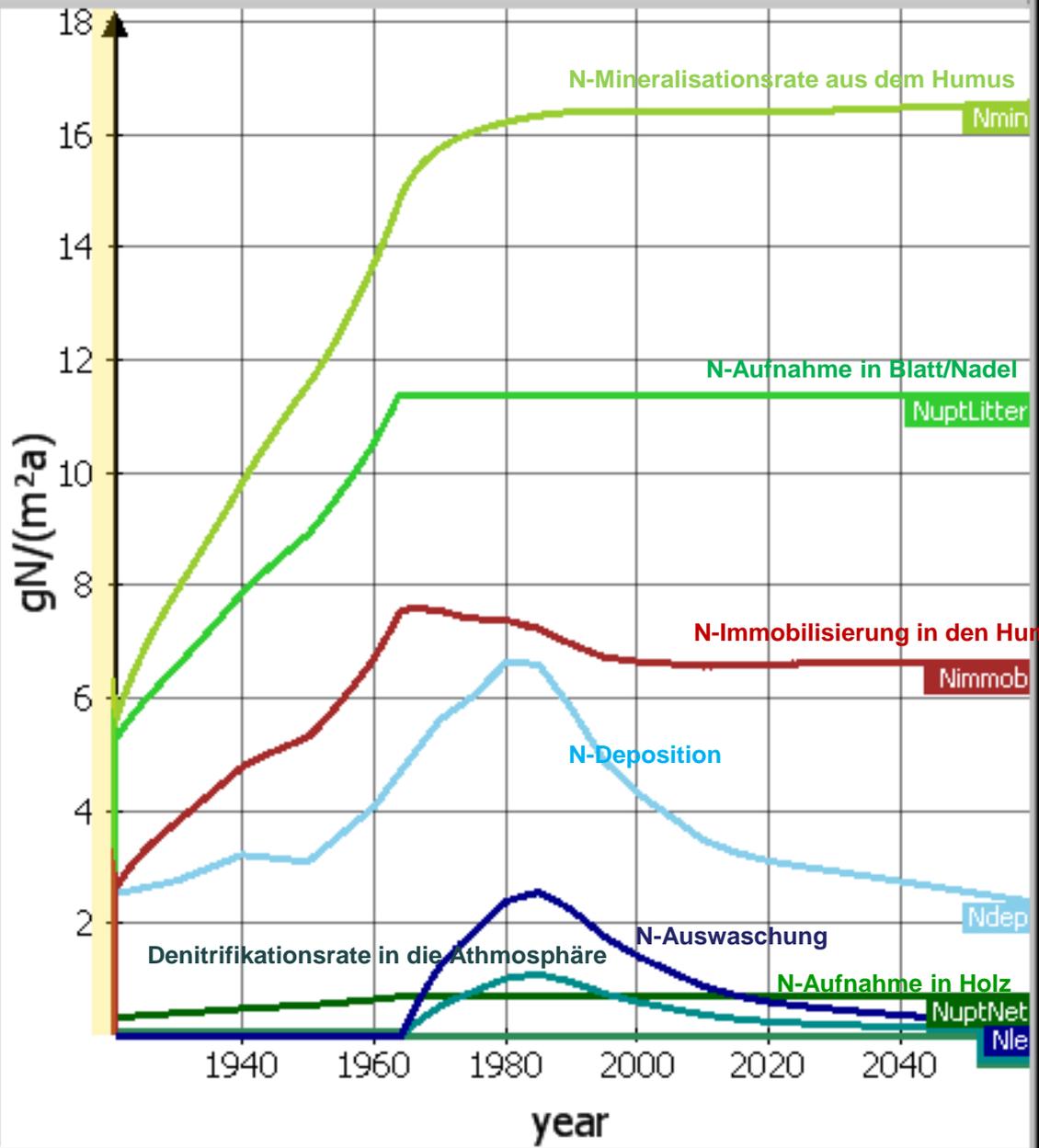
**Misc**  
 Art **Rotbuche**  
 Date **01.09.1920**  
 Ndep\_ 2,5227939084337483  
 pH\_ac 6,2  
 Scenar Reduction\_beyond\_Gothenburg

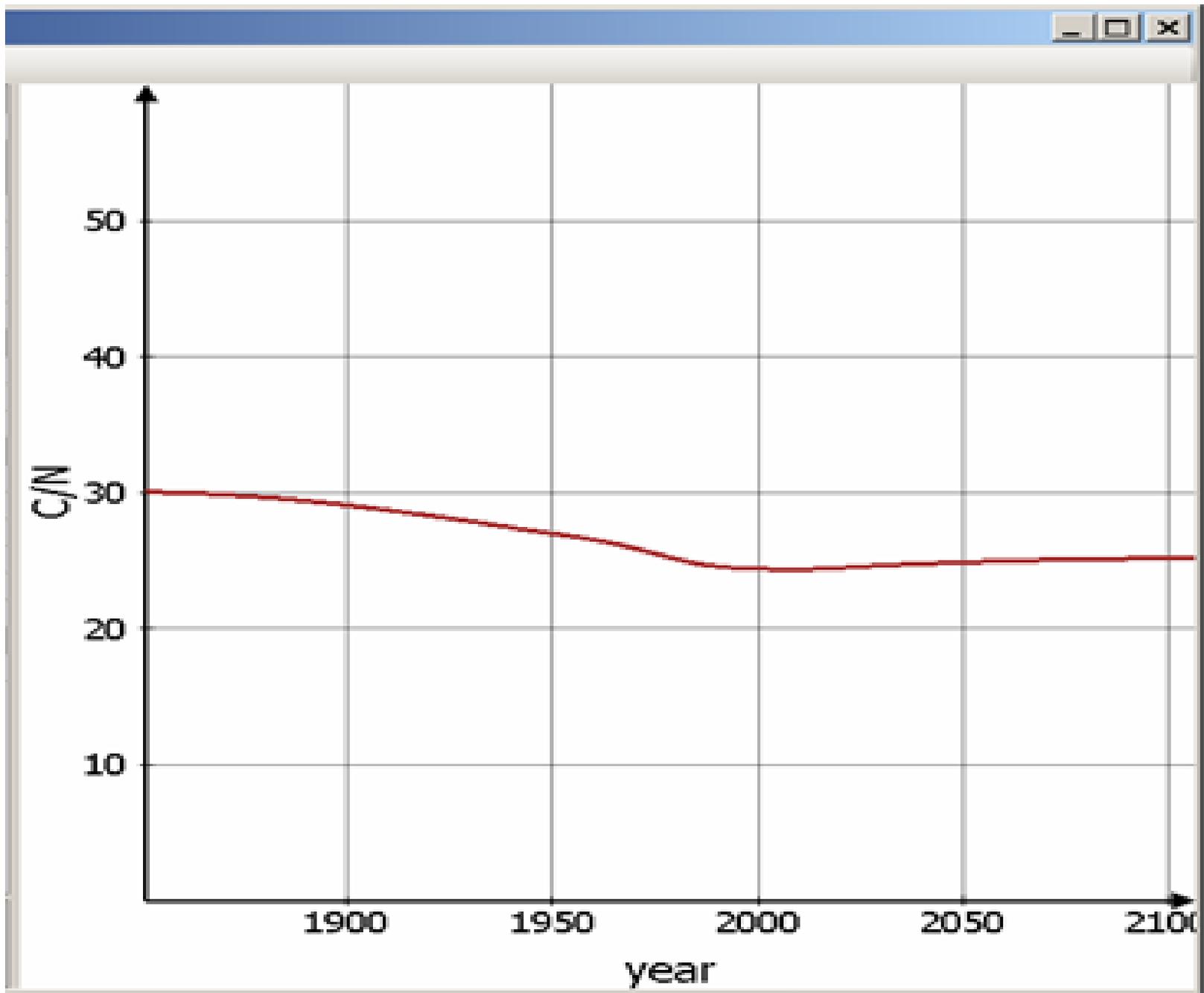
**N-sources\_sinks**  
 Ndep **0,140067000000000003**  
 Nfix\_pc **0,1**  
 Nupt\_s **0,7**

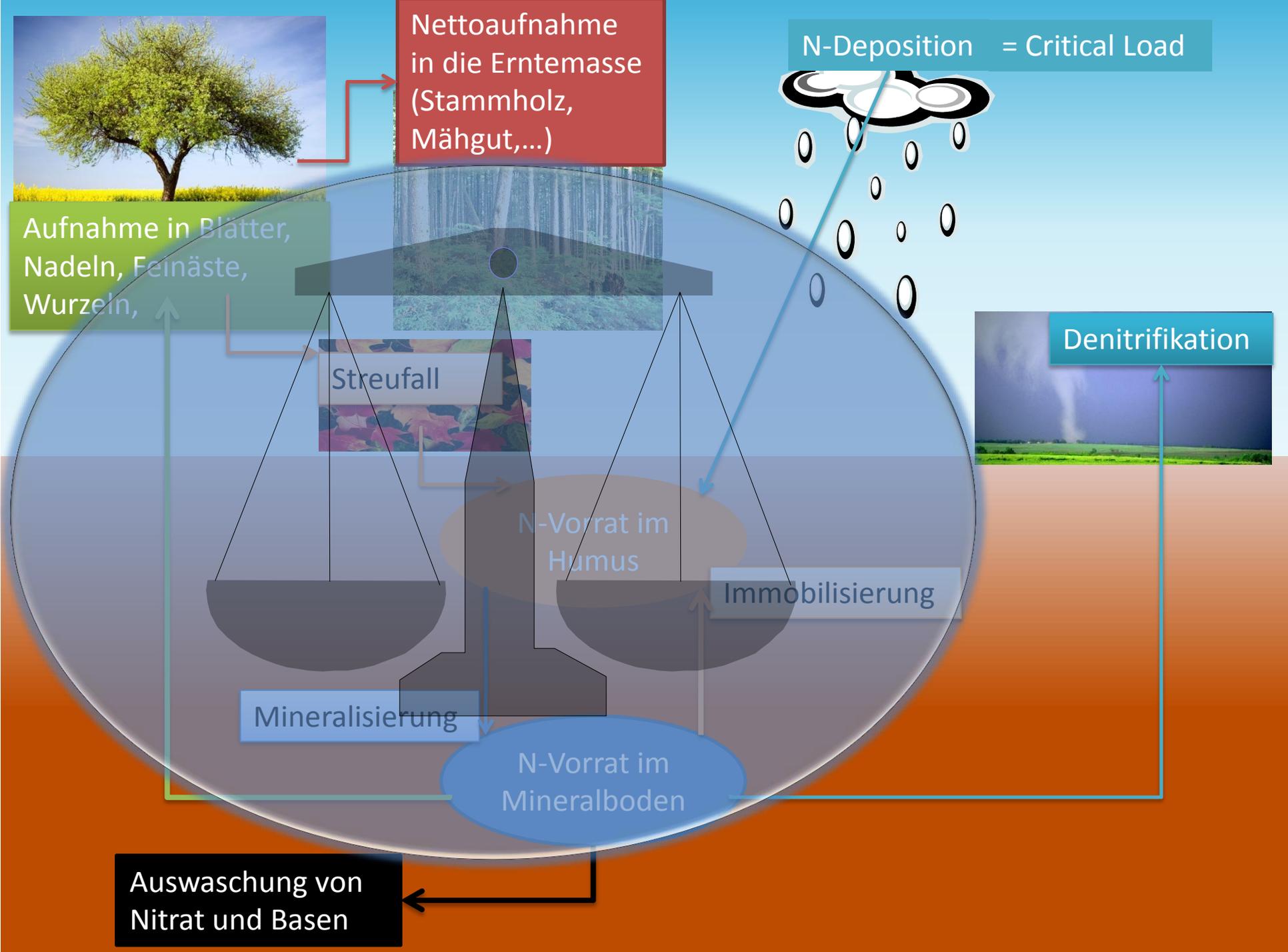
**Site Properties**  
 CNmax **25**  
 CNmin **15**  
 fde **0,3**  
 pH **6,2**  
 T **7,9**  
 Theta **0,32**

**Soil Properties**  
 Humus SoilOrganicMatter

Date







Nettoaufnahme  
in die Erntemasse  
(Stammholz,  
Mähgut,...)

N-Deposition = Critical Load

Aufnahme in Blätter,  
Nadeln, Feinäste,  
Wurzeln,

Streufall

Denitrifikation

N-Vorrat im  
Humus

Immobilisierung

Mineralisierung

N-Vorrat im  
Mineralboden

Auswaschung von  
Nitrat und Basen

# Berechnung des CL(N) mit dem DECOMP-Modell

Um die Änderungsrate des N-Gehaltes in der organischen Substanz des Oberbodens (SOM) zu ermitteln, muss folgende Gleichung bei schrittweiser Erhöhung von  $N_{dep}$  gelöst werden:

$$\frac{d[N]_{SOM}}{dt} = N_{litterfall} - r_{min} [N]_{SOM} + r_{imm} (r_{min} [N]_{SOM} + N_{dep} - N_{upt,tot}) - N_{le} - N_{de}$$

wobei:

$N_{dep}$  = N-Depositionsrate

$r_{min}$  = Mineralisationsrate

$r_{imm}$  = Immobilisationsrate

$N_{litterfall}$  = totaler N-Gehalt in der Streu

$N_{upt,tot}$  = totale Aufnahme in die oberirdische pflanzliche Biomasse

$N_{le(acc)}$  = akzeptable Auswaschungsrate von N mit dem Sickerwasser

$N_{de}$  = Denitrifikationsrate

Wenn sich bei weiterer Erhöhung von  $N_{dep}$  gegenüber dem Ergebnis des letzten Schrittes keine Zunahme von  $[N]_{SOM}$  mehr ergibt und **alle Critical Limits eingehalten werden**, ist die Sättigung des Systems im harmonischen Gleichgewicht erreicht.



CL(N)

Fläche 5

**Bezeichnung**  
Name Fläche 5

**Critical Limit**  
BScrit 25  
CNcrit 18

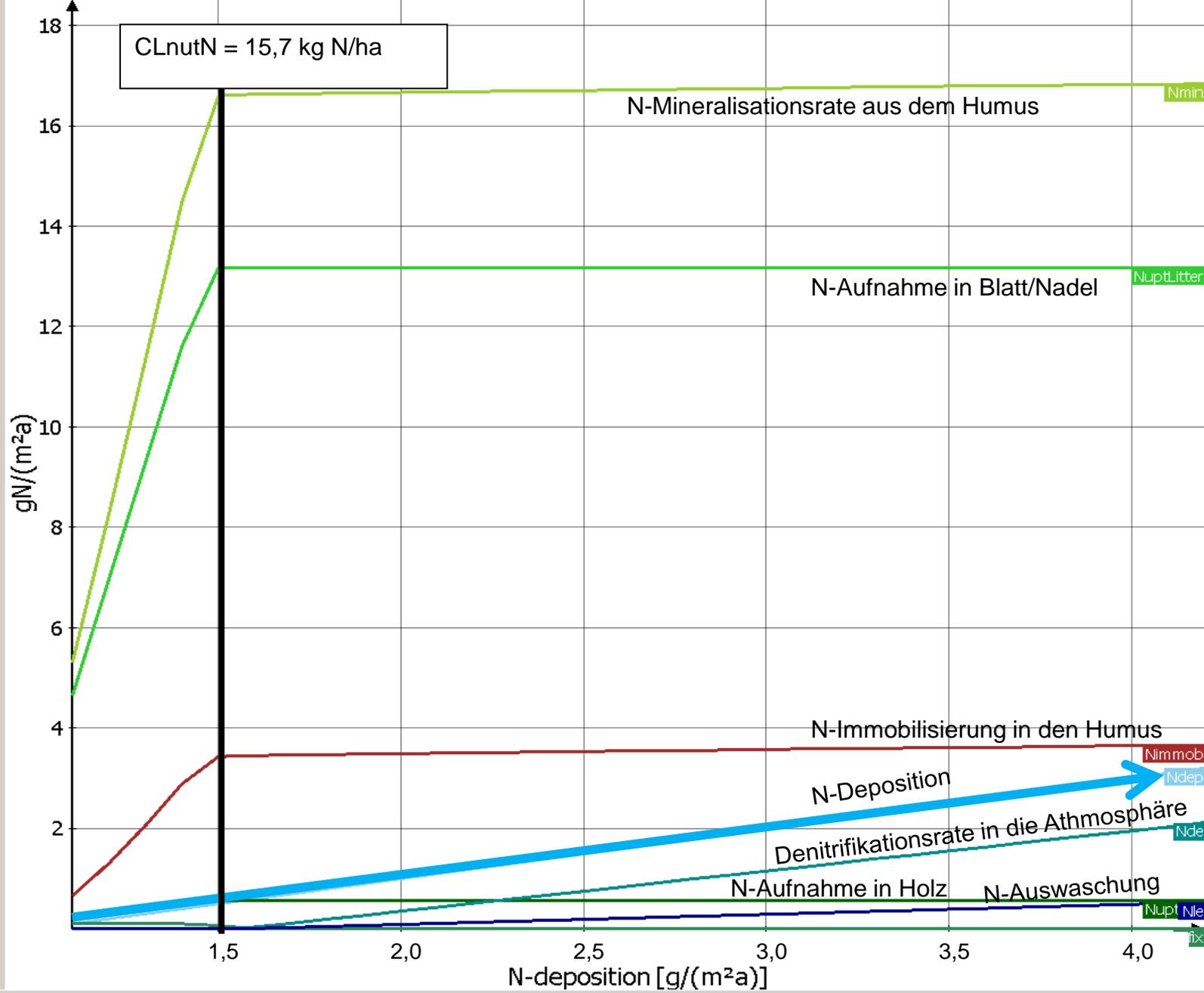
**Misc**  
Art Traubeneiche  
Date 01.02.1965  
Ndep 1,362518873000  
pH ac 3,6  
Scene Variable\_Ndep

**N-sources\_sinks**  
Bc/N 0,7  
[N]crit 0,003  
Nupt 0,5594465350

**Site Properties**  
CNma 35  
CNmir 19  
fde 0,8  
pH 3,6  
T 8  
Theta 0,36

**Soil Properties**  
Humu

Theta





Aufnahme in Blätter,  
Nadeln, Feinäste,  
Wurzeln,

Nettoaufnahme  
in die Erntemasse  
(Stammholz,  
Mähgut,...)



Deposition = CLN



Streufall



Denitrifikation

$f(C/N)_{crit(phyto)}$   
 $f(BC/N)_{crit(phyto)}$   
 $f(BC/Al)_{crit(phyto)}$   
 $f(T)_{climate}$   
 $f(nFK)_{geo}$   
 $f(BS)_{geo}$

N-Vorrat im  
Humus

Immobilisierung

$f(T)_{climate}$   
 $f(nFK)_{geo}$   
 $f(pH, C/N)_{geo}$

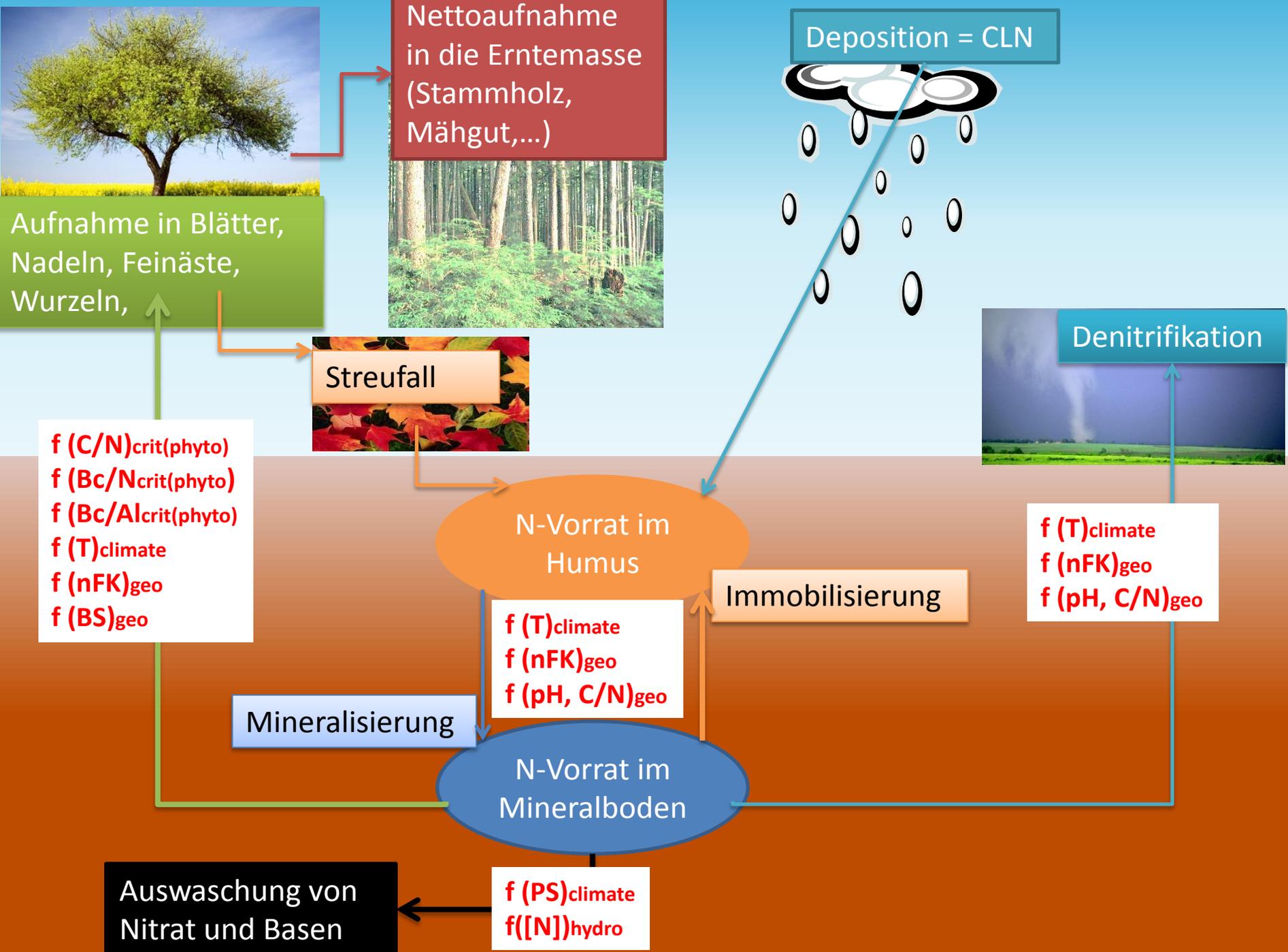
Mineralisierung

$f(T)_{climate}$   
 $f(nFK)_{geo}$   
 $f(pH, C/N)_{geo}$

N-Vorrat im  
Mineralboden

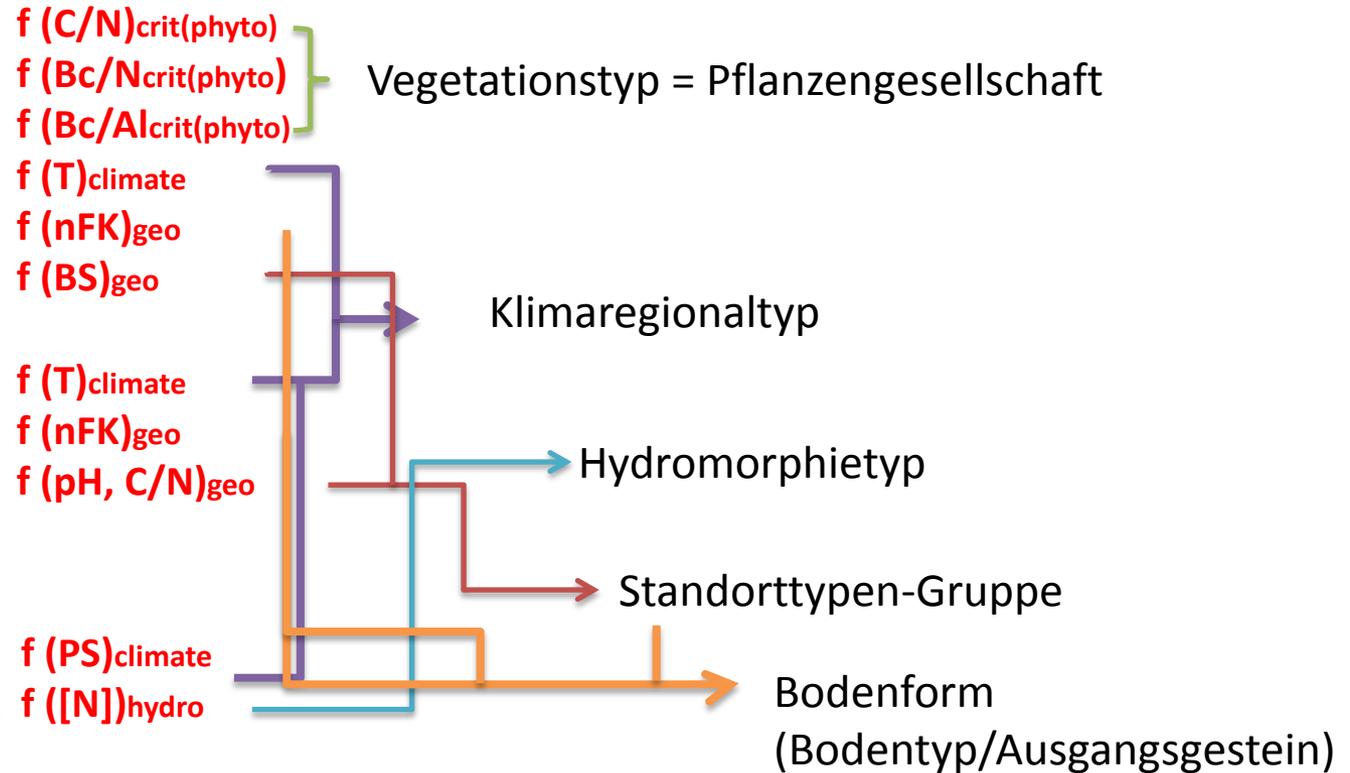
Auswaschung von  
Nitrat und Basen

$f(PS)_{climate}$   
 $f([N])_{hydro}$



# Aufbau einer Liste von CL(N)

CL(N) =



## Critical Loads für Stickstoff

# 1970 Datensätze

- **Übersicht**
  - [LRT](#)
  - [LRT/Klima](#)
  - [LRT/Klima/Bodentypen](#)
  - [LRT/Klima/Bodeneigenschaft](#)
  - [LRT/Klima/Bodentypen/Gesellschaft](#)
  - [FFH Arten](#)

| LRT  | Name  | Klimazone | Bodentyp  | Ausgangsgestein                       | Gesellschaft  | CL(N) |
|------|---|-----------|---|---------------------------------------|---|-------|
| 2110 | Primärdünen   | Küste     | Regosol/Lockersyrosem aus trockenen kalkhaltigen Sanden | Sande und mächtige Sand-Deckschichten | Elymo-Agropyretum juncei BR.-BL. & DE LEEUW 36 em. TX. 57         | 10.9  |
| 2110 | Primärdünen   | Küste     | Regosol/Lockersyrosem aus trockenen kalkhaltigen Sanden | Sande und mächtige Sand-Deckschichten | Potentillo-Elymetum arenariae TX. 66                              | 13.7  |
| 2120 | Weißdünen mit Strandhafer (Ammophila arenaria)                | Küste     | Regosol/Lockersyrosem aus trockenen kalkhaltigen Sanden | Sande und mächtige Sand-Deckschichten | Elymo-Ammophiletum arenariae BR.-BL. & DE LEEUW 36                | 13.7  |
| 2120 | Weißdünen mit Strandhafer (Ammophila arenaria)                | Küste     | Regosol/Lockersyrosem aus trockenen kalkhaltigen Sanden | Sande und mächtige Sand-Deckschichten | Elymo-Ammophiletum festucetosum arenariae                         | 13.7  |
| 2120 | Weißdünen mit Strandhafer (Ammophila arenaria)                | Küste     | Regosol/Lockersyrosem aus trockenen kalkhaltigen Sanden | Sande und mächtige Sand-Deckschichten | Elymo-Ammophiletum typicum  | 13.7  |
| 2130 | Festliegende Küstendünen mit krautiger Vegetation (Graudünen) | Küste     | Braunerde   | Sande und mächtige Sand-Deckschichten | Agrostis tenuis-Gesellschaft                                      | 14.3  |
| 2130 | Festliegende Küstendünen mit krautiger Vegetation (Graudünen) | Küste     | Braunerde-Podsol  | Sande und mächtige Sand-Deckschichten | Airetum praecocis (SCHWICK. 1944) KRAUSCH 1968                    | 11.9  |
| 2130 | Festliegende Küstendünen mit krautiger Vegetation (Graudünen) | Küste     | Braunerde-Podsol  | Sande und mächtige Sand-Deckschichten | Campylopus introflexus-Gesellschaft                               | 4.7   |
| 2130 | Festliegende Küstendünen mit krautiger Vegetation (Graudünen) | Küste     | Braunerde-Podsol  | Sande und mächtige Sand-Deckschichten | Polygalo-Nardetum (PRSG. 53) OBERD. 57                            | 13.3  |
| 2130 | Festliegende Küstendünen mit krautiger Vegetation (Graudünen) | Küste     | Braunerde-Podsol  | Sande und mächtige Sand-Deckschichten | Violo caninae-Corynephorum canescentis WESTH. in WESTH. Et al. 46 | 4.7   |
| 2130 | Festliegende Küstendünen mit krautiger Vegetation (Graudünen) | Küste     | Podsol-Regosol  | Sande und mächtige Sand-Deckschichten | Agrostio-Poetum humilis R.TX. & PRSG. 51                          | 11.9  |
| 2130 | Festliegende Küstendünen mit krautiger Vegetation (Graudünen) | Küste     | Podsol-Regosol  | Sande und mächtige Sand-Deckschichten | Polygalo-Nardetum (PRSG. 53) OBERD. 57                            | 13.3  |
| 2130 | Festliegende Küstendünen mit krautiger Vegetation (Graudünen) | Küste     | Regosol/Lockersyrosem                                   | Sande und mächtige Sand-Deckschichten | Festuco-Galietum veri BR.-BL. Et DE LEEUW 36                      | 11.7  |
| 2130 | Festliegende Küstendünen mit krautiger Vegetation (Graudünen) | Küste     | Regosol/Lockersyrosem                                   | Sande und mächtige Sand-Deckschichten | Polygalo-Nardetum (PRSG. 53) OBERD. 57                            | 13.2  |
| 2130 | Festliegende Küstendünen mit krautiger Vegetation (Graudünen) | Küste     | Regosol/Lockersyrosem                                   | Sande und mächtige Sand-Deckschichten | Violo caninae-Corynephorum canescentis WESTH. in WESTH. Et al. 46 | 4.5   |

# Critical Loads für Stickstoff

# 586 Datensätze

- **Übersicht**
- **LRT**
- **LRT/Klima**
- **LRT/Klima /Bodentypen**
- **LRT/Klima /Bodeneigense**
- **LRT/Klima /Bodentypen /Gesellschaft**
- **FFH Arten**

| LRT  | Name  | Klimazone                          | Trophietyp | Saure/Basenstatus | Hydromorphietyp | CL(N)min | CL(N)max |
|------|---|------------------------------------|------------|-------------------|-----------------|----------|----------|
| 2110 | Primärdünen   | Küste                              | mesotroph  | basenreich        | anhydromorph    | 10.9     | 13.7     |
| 2120 | Weißdünen mit Strandhafer (Ammophila arenaria)                        | Küste                              | mesotroph  | basenreich        | anhydromorph    | 13.7     | 13.7     |
| 2130 | Festliegende Küstendünen mit krautiger Vegetation (Graudünen)         | Küste                              | mesotroph  | basenreich        | anhydromorph    | 12.8     | 13.7     |
| 2130 | Festliegende Küstendünen mit krautiger Vegetation (Graudünen)         | Küste                              | mesotroph  | mittelbasisch     | anhydromorph    | 14.3     | 14.3     |
| 2130 | Festliegende Küstendünen mit krautiger Vegetation (Graudünen)         | Küste                              | oligotroph | basenarm          | anhydromorph    | 4.5      | 13.3     |
| 2140 | Entkalkte Dünen mit Empetrum nigrum                                   | Küste                              | oligotroph | basenarm          | anhydromorph    | 5.8      | 5.9      |
| 2150 | Festliegende entkalkte Dünen der atlantischen Zone (Calluno-Ulicetea) | Küste                              | oligotroph | basenarm          | anhydromorph    | 5.9      | 5.9      |
| 2160 | Dünen mit Hippophaë rhamnoides  | Küste                              | mesotroph  | basenreich        | anhydromorph    | 11.1     | 11.1     |
| 2160 | Dünen mit Hippophaë rhamnoides  | Küste                              | mesotroph  | basenreich        | hydromorph      | 18.3     | 18.3     |
| 2160 | Dünen mit Hippophaë rhamnoides  | Küste                              | mesotroph  | mittelbasisch     | anhydromorph    | 11.2     | 11.2     |
| 2170 | Dünen mit Salix repens ssp. argentea (Salicion arenariae)             | Küste                              | eutroph    | basenreich        | anhydromorph    | 9.3      | 9.3      |
| 2170 | Dünen mit Salix repens ssp. argentea (Salicion arenariae)             | Küste                              | mesotroph  | basenreich        | hydromorph      | 8.7      | 8.7      |
| 2170 | Dünen mit Salix repens ssp. argentea (Salicion arenariae)             | Küste                              | mesotroph  | mittelbasisch     | anhydromorph    | 11.2     | 11.2     |
| 2180 | Bewaldete Dünen der atlantischen, kontinentalen und borealen Region   | Küste                              | mesotroph  | mittelbasisch     | hydromorph      | 10.1     | 10.1     |
| 2180 | Bewaldete Dünen der atlantischen, kontinentalen und borealen Region   | Küste                              | oligotroph | basenarm          | anhydromorph    | 3.2      | 9.6      |
| 2180 | Bewaldete Dünen der atlantischen, kontinentalen und borealen Region   | Küste                              | oligotroph | basenarm          | hydromorph      | 2.8      | 2.8      |
| 2310 | Trockene Sandheiden mit Calluna und Genista                           | intermediäres Bergland             | eutroph    | mittelbasisch     | anhydromorph    | 16.1     | 16.1     |
| 2310 | Trockene Sandheiden mit Calluna und Genista                           | intermediäres Bergland             | mesotroph  | mittelbasisch     | anhydromorph    | 13.1     | 13.1     |
| 2310 | Trockene Sandheiden mit Calluna und Genista                           | intermediäres Bergland             | oligotroph | basenarm          | anhydromorph    | 10.4     | 10.5     |
| 2310 | Trockene Sandheiden mit Calluna und Genista                           | intermediäres Flach- und Hügelland | eutroph    | mittelbasisch     | anhydromorph    | 11.1     | 11.1     |
| 2310 | Trockene Sandheiden mit Calluna und Genista                           | intermediäres Flach- und Hügelland | mesotroph  | mittelbasisch     | anhydromorph    | 8.4      | 8.4      |
| 2310 | Trockene Sandheiden mit Calluna und Genista                           | intermediäres Flach- und Hügelland | oligotroph | basenarm          | anhydromorph    | 6.1      | 6.2      |
| 2310 | Trockene Sandheiden mit Calluna und Genista                           | subatlantisches Bergland           | eutroph    | mittelbasisch     | anhydromorph    | 19.1     | 19.1     |
| 2310 | Trockene Sandheiden mit Calluna und Genista                           | subatlantisches Bergland           | mesotroph  | mittelbasisch     | anhydromorph    | 15.6     | 15.6     |
| 2310 | Trockene Sandheiden mit Calluna und Genista                           | subatlantisches Bergland           | oligotroph | basenarm          | anhydromorph    | 11.7     | 11.8     |
| 2310 | Trockene Sandheiden mit Calluna und Genista                           | subatlantisches Flach-             | eutroph    | mittelbasisch     | anhydromorph    | 12.4     | 12.4     |

# Klimaregionalform

| Bezeichnung der Klimaregionalform     | Beschreibung der Kontinentalität | Beschreibung der Höhenstufe | Jahresmitteltemperatur_Min (°C) | Jahresmitteltemperatur_Max (°C) | Temperatur_Amplitude_Mitte (K) | Jahresniederschlag_Min (mm/a) | Jahresniederschlag_Max (mm/a) | Kontinentalitäts-Index_nach deMartonne Min | Kontinentalitäts-Index_nach deMartonne Max | sche_Wasserbilanz_MMin (mm/VegMonat) | Klimatische_Wasserbilanz_Max (mm/VegMonat) | VegLaenge_Min (d/a >10°C TMT) | VegLaenge_Max (d/a >10°C TMT) | Januar-Tiefsttemperatur (°C) | Juli-Höchsttemperatur (°C) |
|---------------------------------------|----------------------------------|-----------------------------|---------------------------------|---------------------------------|--------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|--|--|--------------------------------------|--|-------------------------------|-------------------------------|------------------------------|----------------------------|
| Küste                                 | subozeanisch                     | planar                      | 8,5                             | 11,1                            | 16,2                           | 745                           | 1111                          | 14   | 18   | -8                                   | 11   | 165                           | 190                           | -14,9                        | 21                         |
| subkontinentales Flach- und Hügelland | subkontinental                   | planar bis collin           | 8,1                             | 10,7                            | 17,7                           | 389                           | 569                           | 8  | 11   | -42                                  | -23  | 140                           | 190                           | -17,7                        | 20,1                       |
| intermediäres Flach- und Hügelland    | intermediär                      | planar bis collin           | 7,2                             | 11,1                            | 17,9                           | 534                           | 814                           | 11   | 14   | -23                                  | 2  | 140                           | 190                           | -17,7                        | 20,9                       |
| subatlantisches Flach- und Hügelland  | subozeanisch                     | planar bis collin           | 6,8                             | 11,1                            | 16,2                           | 1040                          | 1106                          | 14   | 30   | -8                                   | 69   | 140                           | 190                           | -17,7                        | 21                         |
| subkontinentales Submediterraneum     | subkontinental                   | submediterran               | 10,5                            | 12                              | 17,9                           | 553                           | 632                           | 7,5  | 10,5                                       | -47                                  | -23  | 190                           | 220                           | -12,3                        | 19,6                       |
| intermediäres Submediterraneum        | intermediär                      | submediterran               | 10,1                            | 11,8                            | 17,2                           | 614                           | 864                           | 11   | 14   | -23                                  | -8   | 190                           | 220                           | -14,9                        | 20,3                       |

## Hydromorphieformtypen nach Bodenkundlicher Kartieranleitung KA5 (AG Boden 2005)

| <b>Bezeichnung der Hydromorphieform</b> | <b>Vernässungsgrad für Grund-, Stau- und Haftnässeböden</b><br>(nach KA 5) | <b>Wassergehalt bei <math>pF &lt; 0,5</math></b><br><b>[m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>]</b> |
|---|--|--|
| anhydromorph                            | nicht vernässt   | <0,39  |
|   | sehr schwach vernässt  | 0,40 – 0,44  |
| hydromorph                              | schwach vernässt   | >0,44  |
|   | mittel vernässt  |  |
|   | stark vernässt   |  |
|   | sehr stark vernässt  |  |

## Trophiestufen nach Bodenkundlicher Kartieranleitung KA5 (AG Boden 2005)

| <b>Bezeichnung der Trophiestufe</b> | <b>C/N min</b> | <b>C/N max</b> |
|-------------------------------------|----------------|----------------|
| eutroph                             | 10             | 17             |
| mesotroph                           | >17            | 24             |
| oligotroph                          | >24            |                |

## Säure-Basen-Stufen nach Bodenkundlicher Kartieranleitung KA5 (AG Boden 2005)

| <b>Bezeichnung</b> | <b>pH (CaCl<sub>2</sub>) Min</b> | <b>pH(CaCl<sub>2</sub>) Max</b> | <b>Basensättigung [%] Min</b> | <b>Basensättigung [%] Max</b> |
|--------------------|----------------------------------|---------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| basenarm           | 3,2                              | <3,8                            | 5                             | <25                           |
| mittelbasisch      | 3,8                              | <4,8                            | 20                            | <55                           |
| basenreich         | 4,8                              | <6                              | 50                            | <80                           |
| kalkreich          | 6                                | >6                              | 75                            | 100                           |

# 58 Datensätze

- **Übersicht**
- **LRT**
- **LRT/Klima**
- **LRT/Klima /Bodentypen**
- **LRT/Klima /Bodeneigensc**
- **LRT/Klima /Bodentypen /Gesellschaft**
- **FFH Arten**

## Critical Loads für Stickstoff

| LRT  | Name  | CL(N)min | CL(N)max |
|------|---|----------|----------|
| 2110 | Primärdünen   | 10.9     | 13.7     |
| 2120 | Weißdünen mit Strandhafer (Ammophila arenaria)  | 13.7     | 13.7     |
| 2130 | Festliegende Küstendünen mit krautiger Vegetation (Graudünen)   | 4.5      | 14.3     |
| 2140 | Entkalkte Dünen mit Empetrum nigrum   | 5.8      | 5.9      |
| 2150 | Festliegende entkalkte Dünen der atlantischen Zone (Calluno-Ulicetea)   | 5.9      | 5.9      |
| 2160 | Dünen mit Hippophthalmoiden   | 11.1     | 18.3     |
| 2170 | Dünen mit Salix repens ssp. orientalis (Salicion arenariae)   | 8.7      | 11.2     |
| 2180 | Bewaldete Dünen der atlantischen, kontinentalen und borealen Region   | 2.8      | 10.1     |
| 2310 | Trockene Sandheiden mit Calluna und Empetrum nigrum   | 5.4      | 19.1     |
| 2320 | Trockene Sandheiden mit Calluna und Empetrum nigrum   | 7.6      | 8.4      |
| 2330 | Dünen mit offenen Grasflächen mit Corynephorus und Agrostis   | 4        | 32.3     |
| 4010 | Feuchte Heiden des nordatlantischen Raumes mit Ericaceae  | 1.9      | 14.4     |
| 4030 | Trockene europäische Heiden   | 5.5      | 14.4     |
| 4060 | Alpine und boreale Heiden   | 16.8     | 19       |
| 4070 | Buschvegetation mit Pinus mugo und Rhododendron hirsutum (Mugo-Rhododendretum hirsuti)  | 19       | 31       |
| 5110 | Stabile xerothermophile Formationen von Buxus sempervirens an felsabhängigen (Berberidion p.p.)                                     | 15.3     | 20.7     |
| 5130 | Formationen von Juniperus communis auf Kalkheiden und -rasen  | 5.8      | 23.5     |
| 6110 | Lückige basophile oder Kalk-Pionierrasen (Alyso-Sedion albi)  | 6.8      | 25       |
| 6120 | Trockene, kalkreiche Sandrasen  | 9.3      | 18.1     |
| 6210 | Naturnahe Kalk-Trockenrasen und deren Verbuschungsstadien (Festuco-Brometalia) (* besondere Bestände mit bemerkenswerten Orchideen) | 14.6     | 24.5     |
| 6212 | Naturnahe Kalk-Trockenrasen und deren Verbuschungsstadien (Festuco-Brometalia) (* besondere Bestände mit bemerkenswerten Orchideen) | 14.6     | 24.5     |
| 6213 | Naturnahe Kalk-Trockenrasen und deren Verbuschungsstadien (Festuco-Brometalia) (* besondere Bestände mit bemerkenswerten Orchideen) | 13       | 23.8     |
| 6214 | Naturnahe Kalk-Trockenrasen und deren Verbuschungsstadien (Festuco-Brometalia) (* besondere Bestände mit bemerkenswerten Orchideen) | 11.2     | 29.9     |
| 6230 | Artenreiche montane Borstgrasrasen (und submontan auf dem europäischen Festland) auf Silikatböden                                   | 11.2     | 26.9     |
| 6240 | Subpannonische Steppen-Trockenrasen   | 10.9     | 23       |
| 6410 | Pfeifengraswiesen auf kalkreichem Boden, torfigen und tonig-schluffigen Böden (Molinion caeruleae)                                  | 1.7      | 29.1     |
| 6510 | Magere Flachland-Mähwiesen (Alopecurus pratensis, Sanguisorba officinalis)  | 9.5      | 44.7     |
| 6520 | Berg-Mähwiesen  | 11.4     | 41.3     |
| 7110 | Lebende Hochmoore   | 1.7      | 12.7     |
| 7120 | Noch renaturierungsfähige degradierte Hochmoore   | 1.7      | 12.7     |
| 7140 | Übergangs- und Schwingrasenmoore  | 4.9      | 43.5     |
| 8110 | Silikatschutthalden der montanen bis nivalen Stufe (Androsacetalia alpinae und Galeopsietalia ladani)                               | 10.8     | 37.6     |



# Vergleich empirischer mit modellierten CL

721 Standort-Vegetationstypen lassen sich nicht zu emp CL-Spannen zuordnen das entspricht 36%

1239 Standort-Vegetationstypen lassen sich zu emp CL-Spannen zuordnen (über EUNIS-Code), das entspricht 64%

davon liegen 80% der modellierten CL innerhalb der empCL-Spannen

131 BERN-CL liegen über empCL-Spanne

## Gründe für eine Überschreitung der empCL2010-Spanne

sehr hohe Auswaschungsrate aufgrund hoher Niederschläge - Grundwasser ist kein Schutzgut; hohe Immobilisierungsrate aufgrund niedriger Temperatur; Nährstoffungleichgewicht nicht zu befürchten aufgrund ausreichender Basennachlieferung aus dem Substrat; keine empfindliche hochstete Art

mittlere Auswaschungsrate; Grundwasser ist kein Schutzgut; Nährstoffungleichgewicht nicht zu befürchten aufgrund ausreichender Basennachlieferung aus dem Substrat; keine empfindliche hochstete Art

hohe Denitrifikationsrate aufgrund hoher Niederschläge

135 BERN-CL liegen unter empCL-Spanne

## Gründe für eine Unterschreitung der empCL2010-Spanne

geringere Biomasseentnahme möglich aufgrund geringerer Bodenfruchtbarkeit wegen sehr geringer Niederschläge

sehr geringe Immobilisierungsrate aufgrund hoher Temperatur

geringe Denitrifikationsrate aufgrund geringer Niederschläge

geringe Denitrifikationsrate aufgrund zeitweiliger Austrocknung

Heide (*Calluna*) ist hochstete Art und besonders empfindlich

Flechte (*Cladina*, *Cladonia*) ist hochstete Art und besonders empfindlich

Torfmoos (*Sphagnum*) ist hochstete Art und besonders empfindlich

# Unsicherheiten-Analyse I

| Variation der Eingangsdaten | Niederschlag                  | Biomasseaufwuchs  | relative Änderung des CLN |
|-----------------------------|-------------------------------|---|---------------------------|
| CLN Mitte                   | Mitte der Klimazonen-Spanne   | boden- und klimabedingte Differenzierung der pflanzenartsspezifischen Biomasseertragsspanne | 0                         |
| CLN Minimum                 | Minimum der Klimazonen-Spanne | Minimum der pflanzenartsspezifischen Biomasseertragsspanne                                  | - 29,80%                  |
| CLN Maximum                 | Maximum der Klimazonen-Spanne | Maximum der pflanzenartsspezifischen Biomasseertragsspanne                                  | + 30,7%                   |

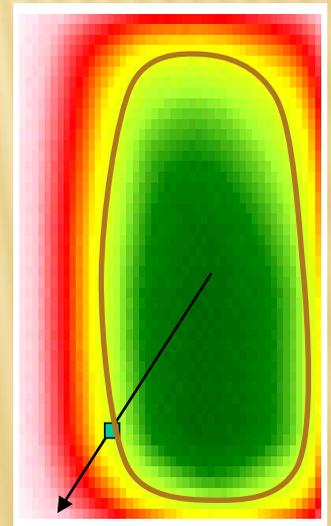
# Unsicherheiten-Analyse II

## CL-Berechnung

mit den Critical Limits für BS, CN, pH und [N]crit, die sich ergeben bei **50% Existenzmöglichkeit** der Gesellschaften:

Die Abweichung zum 100%-CL beträgt

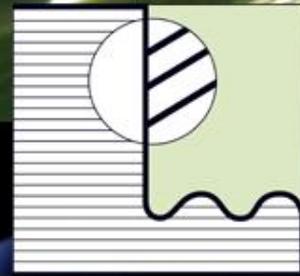
- im Minimum 2,74%,
- im 5er-Perzentil 3,05 %,
- im Maximum 12,96%
- und im 95er Perzentil 7,6 %.





**ÖKO-DATA**

Gesellschaft für Ökosystemanalyse  
und Umweltdatenmanagement mbH



**Vielen Dank für  
Ihre Aufmerksamkeit**