

Pflanzensoziologie und bodenkundliche Aspekte der Grünlandbewirtschaftung

Andreas Bohner

Grundbegriffe

Flora ⇒ die Gesamtheit aller Pflanzenarten eines bestimmten Gebietes

Vegetation ⇒ die Gesamtheit aller Pflanzengesellschaften eines bestimmten Gebietes

Areal ⇒ Verbreitungsgebiet einer Pflanzenart

Standort ⇒ die Gesamtheit aller für die Pflanze an ihrem Wuchsplatz maßgeblichen Umweltfaktoren; ökologischer Begriff

Fundort ⇒ Lokalität des Vorkommens einer Pflanze; geographischer Begriff

Grundbegriffe

- **Biotop** ⇒ charakteristischer Lebensraum einer Lebensgemeinschaft (Biozönose) verschiedener Pflanzen- und Tierarten mit ihren typischen Umweltbedingungen
- **aktuelle Vegetation** ⇒ gegenwärtige, reale Vegetation

Grundbegriffe

potentiell natürliche Vegetation ⇒ Vegetation, die sich spontan ohne menschlichen Einfluss entwickeln würde

ursprüngliche Vegetation ⇒ vor der Jungsteinzeit tatsächlich vorhandene Vegetation

Interspezifische Konkurrenz ⇒ Konkurrenz zwischen Individuen verschiedener Pflanzenarten

Intraspezifische Konkurrenz ⇒ Konkurrenz zwischen Individuen einer Pflanzenart

physiologisches Optimum ⇒ Optimum ohne interspezifische Konkurrenz; Verhalten in Reinkultur

ökologisches Optimum ⇒ Optimum bei interspezifischer Konkurrenz; Verhalten in Mischkultur

Grundbegriffe

Ökologische Valenz ⇒ Amplitude der Lebensbedingungen, innerhalb der eine Pflanzenart zu gedeihen vermag

Konkurrenzkraft ⇒ Verdrängungsvermögen einer Art (konkurrenzkräftige – konkurrenzschwache Arten); die Konkurrenzkraft einer Art ist nicht konstant, sie ändert sich mit dem Standort, der Art der Bewirtschaftung und Intensität der Nutzung

Grundbegriffe

Störung ⇒ Faktoren, die die pflanzliche Biomasse teilweise oder gänzlich zerstören (z.B. Mahd, Beweidung, Tritt, Lawinen); verursacht strukturelle Veränderungen einer Lebensgemeinschaft

Stress ⇒ Belastung durch Umweltfaktoren (Hitzestress, Kältestress, Trockenheitsstress, Säure- und Nährstoffstress, etc.)

Sukzession ⇒ Ablösen einer Pflanzengesellschaft durch eine andere infolge Änderung von abiotischen und biotischen Umweltfaktoren (primär-sekundär)

Fluktuation ⇒ kurzfristige Veränderungen innerhalb einer Pflanzengesellschaft (insb. Veränderung der Dominanzverhältnisse von Arten) (diurnal-saisonal)

Grundbegriffe

Pioniergesellschaft ⇒ Pflanzengesellschaft, die in neue Gebiete oder noch unbesiedeltes Gelände vordringt

Dauergesellschaft ⇒ Pflanzengesellschaft, die sich auf Grund bestimmter Standortfaktoren nicht zur Klimaxgesellschaft weiterentwickelt (azonale Vegetation)

Klimaxgesellschaft ⇒ klimatisch bedingte Schlussgesellschaft der Vegetationsentwicklung (zonale Vegetation)

Ersatzgesellschaft ⇒ durch Bewirtschaftung entstandene Pflanzengesellschaft (Wiese, Weide)

Grundbegriffe

Assoziation ⇒ Pflanzengesellschaft von bestimmter floristischer Zusammensetzung, einheitlichen Standortbedingungen und einheitlicher Physiognomie (lokal-territorial)

Kennarten ⇒ Arten, die eine enge Bindung an eine bestimmte Pflanzengesellschaft aufweisen; sie kommen in einer bestimmten Assoziation schwerpunktmäßig vor und haben eine enge ökologische Amplitude (lokal-territorial)

Differentialarten ⇒ Arten, die innerhalb von Assoziationen Untereinheiten (z.B. Subassoziationen, Varianten) mit gleichartigen ökologischen Zuständen unterscheiden

Grundbegriffe

Begleiter ⇒ allgemein verbreitete, in vielen Pflanzengesellschaften vorkommende Arten mit weiter Standorts-Amplitude

Soziologisch-ökologische Artengruppen ⇒ Arten mit ähnlichem soziologisch-ökologischen Verhalten; dienen vor allem zur Charakterisierung Kennarten-armer Pflanzengesellschaften; geben Aufschluss über die Stärke eines bestimmten Standortfaktors in einer Pflanzengesellschaft

vikariierende Arten ⇒ nahe verwandte Arten, die ökologisch unterschiedliche Standortsansprüche haben und sich gegenseitig vertreten

Stetigkeit ⇒ Häufigkeit einer Art in einer bestimmten Pflanzengesellschaft

Grundbegriffe

Fazies ⇒ Vorherrschen einzelner Arten (Dominanz)

Formation ⇒ physiognomisch-ökologisch einheitliche Pflanzengemeinschaft (Wiese, Weide, Laubwald etc.)

Aspekt ⇒ Aussehen einer Pflanzengemeinschaft zu einer bestimmten Jahreszeit

Deckungsgrad in % ⇒ senkrechte Projektion des Blattwerkes auf die Aufnahme­fläche ausgedrückt in % der Gesamtaufnahme­fläche; dient zur Bestandesbeurteilung

Ertragsanteil in % ⇒ Ertragsanteile aller Arten ausgedrückt in %; dient zur Ertragsbeurteilung

Grundbegriffe

Lückenanteil ⇒ Flächenanteil des offenen Bodens; vermittelt ein Bild von der Geschlossenheit der Grasnarbe

Gruppendeckungsgrad ⇒ Summe der Deckungsgrade der einzelnen Arten einer Gruppe im Verhältnis zur Summe der Deckungsgrade aller Arten der jeweiligen Vegetationsaufnahme

Gesetz der relativen Standortskonstanz ⇒ eine Art entwickelt unter verschiedenen großklimatischen Verhältnissen unterschiedliche Biotoppräferenzen

Grundbegriffe

Grünland ⇒ dauerhafte, von zahlreichen Pflanzenarten gebildete Vegetation mit rel. geschlossener Grasnarbe, die durch mehr oder weniger regelmäßige Mahd und/oder Beweidung gehölzfrei gehalten wird und entweder der Futter- oder Streugewinnung in der Landwirtschaft dient

Extensivgrünland ⇒ einmähdige Wiesen, Streuwiesen, Hutweiden, Almen und Bergmähder

Wirtschaftsgrünland ⇒ mehrmähdige Wiesen und Kulturweiden, Mähweiden

Dauergrünland ⇒ älter als 10 Jahre

Datenerhebungsmethoden im Gelände

1. Direkte Gradientenanalyse

Untersuchungsflächen können entlang eines wahrnehmbaren Umweltgradienten in Form eines Transektes (Probeflächen zusammenhängend) oder Profils (Probeflächen nicht zusammenhängend) angelegt werden.

2. Vergleich von nebeneinander liegenden unterschiedlich bewirtschafteten Flächen (unmittelbarer Nachbarschafts-Vergleich)

3. Vergleich von älteren und jüngeren pflanzensoziologischen Aufnahmen oder Daten auf identischen Flächen

4. Dauerbeobachtungsflächen

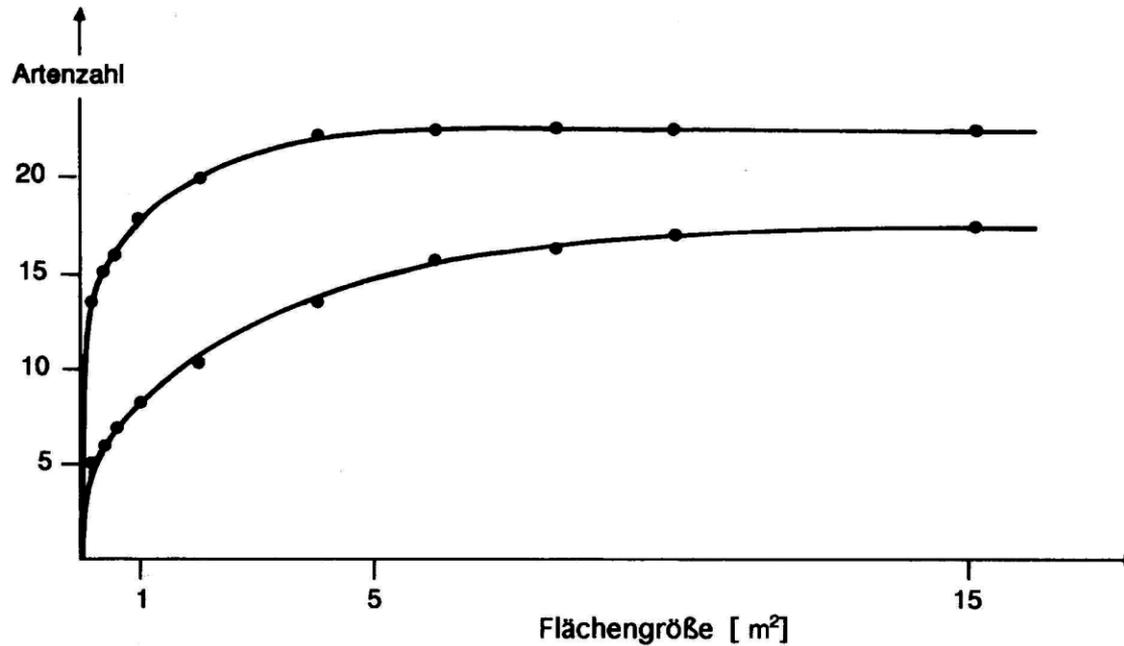
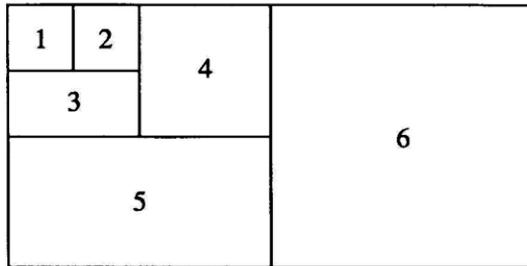
Vegetationsaufnahmen – Aufnahmezeitpunkt

- **unmittelbar vor der ersten Schnitt- oder Weidenutzung**
- **Nachkontrolle (Frühjahrsgeophyten, Herbstblüher, kurzlebige Therophyten)**
- **mehrmalige Aufnahme pro Jahr: wenn man nicht nur alle Arten, sondern auch deren Deckungsgradmaximum erfassen möchte**
- **offener Boden und Moosdeckung: unmittelbar nach dem Schnitt oder nach der Beweidung**
- **insb. bei Dauerbeobachtungsflächen: Aufwuchs, phänologischer Zeitpunkt, Bestandeshöhe**

Vegetationsaufnahmen – Aufnahmefläche

- **quadratische oder rechteckige, homogene Aufnahmefläche (Geologie, Boden, Geländeform, Bewirtschaftung)**
- **Mindestgröße/Minimumareal (50 m² im Wirtschaftsgrünland)**
- **Verortung mittels GPS**
- **Markierung (temporär-dauerhaft) im Gelände (z.B. durch Pflöcke, Metallmarken)**
- **Lageskizze**

Ermittlung des Minimumareals



Quelle: GLAVAC,
1996

Vegetationskundliche Aufnahme

- **möglichst vollständige Artenliste (Gefäßpflanzen, Moose, Flechten)**
- **Sammlung von Herbarbelegen (unbekannte und kritische Arten)**
- **Schätzung des Deckungsgrades (BRAUN-BLANQUET-Skala, Deckungsprozent, Massenprozent)**

Deckungsgrad: senkrechte Projektion des Blattwerkes auf die Aufnahmefläche, ausgedrückt in Prozent der Gesamtaufnahmefläche

Schätzung des Deckungsgrades

BRAUN-BLANQUET-Skala:

r = 1-2 Individuen

+ = 2-5 Individuen

1 = 6-50 Individuen oder Deckung < 5 %

2 = > 50 Individuen oder 5-25 % Deckung

3 = 25-50 % Deckung

4 = 50-75 % Deckung

5 = > 75 % Deckung

Schätzung des Deckungsgrades

- **Schätzung der Deckungsprozentage jeder Pflanzenart (Gesamt-Deckungswerte über 100 % sind möglich)**
- **Schätzung der Massenprozentage jeder Pflanzenart (Ertragsanteils-Schätzung) (Obergrenze: 100 %)**

Allgemeine Standortangaben

- **Datum**
- **Geographische Lage (Bezirk, Gemeinde, Ortschaft, Katastralgemeinde, Parzellenummer)**
- **Geographische Koordinaten (GPS)**
- **Feldbezeichnung**
- **Seehöhe**
- **Hangneigung (in ° oder %)**
- **Exposition**

Allgemeine Standortangaben

- **Mesorelief**
- **Mikrorelief**
- **Geologischer Untergrund, Ausgangsmaterial für die Bodenbildung (Lockersediment, Festgestein)**
- **Bodentyp (Profilgrube, Bohrstock, Spaten)**
- **Bodenart (Fingerprobe)**
- **Humusform**
- **Bodengründigkeit**

Allgemeine Standortsangaben

- **Wasserhaushalt**
- **Art der Bewirtschaftung (Wiese, Weide, Mähweide)**
- **Intensität der Nutzung (Anzahl der Schnitte oder Weidegänge pro Jahr)**
- **Art und Ausmaß der Bewirtschaftungsmaßnahmen (Menge, Häufigkeit, Art und Zeitpunkt der Düngung; Bestandespflege)**

Allgemeine Standortangaben

- **Düngungs- und Nutzungsgeschichte**
- **Klima, Wetter, Witterung**
- **Anmerkungen**

Angaben zur Vegetation

- **Aufnahme-Nummer**
- **Datum**
- **Aufwuchs**
- **phänologischer Zeitpunkt (z.B. Löwenzahnblüte)**
- **mittlere und maximale Bestandeshöhe (cm)**
- **Größe der Aufnahmefläche (m²)**
- **Gesamt-Deckung (%)**

Angaben zur Vegetation

- **offener Boden (%)**
- **Steinanteil (%)**
- **Deckung Streuauflage (%)**
- **Mächtigkeit Streuauflage (cm)**
- **Deckung Moose (%)**
- **Deckung Gehölze (Jungpflanzen, Baumkeimlinge) (%)**
- **Gräser-Kräuter-Leguminosen-Anteil (%)**

Angaben zur Vegetation

- **Nekromasse-Anteil (%)**
- **Schichtung (Ober-, Mittel-, Untergräser) (%)**
- **Vorläufige Gesellschaftsbezeichnung (Vegetationstyp)**
- **Artenzahl**
- **Kontaktvegetation**
- **Foto-Dokumentation**

Hinweise und methodische Probleme

- **Jedes Schätzverfahren ist mehr oder weniger stark subjektiv**
- **Kleine Unterschiede (<5 %) nicht krampfhaft interpretieren (Schätzfehler!)**
- **Kleinere Deckungsgrade lassen sich genauer einschätzen als größere**
- **Randeffekte berücksichtigen**

Hinweise und methodische Probleme

- bei Dauerbeobachtungsflächen: Vegetationsaufnahmen stets zum gleichen Aufwuchs, bei gleicher Bestandeshöhe und zum gleichen phänologischen Zeitpunkt (z.B. Löwenzahnblüte) durchführen
- Zunächst Schätzung des Gräser-Kräuter-Leguminosen-Anteils, danach Schätzung des Deckungsgrades der einzelnen Arten (zuerst Schätzung der Arten mit geringem Deckungsgrad, danach Hauptbestandbildner)

Zeigerwerte von Pflanzen (ELLENBERG et al., 1992)

- **Lichtzahl (1-9)**
- **Temperaturzahl (1-9)**
- **Kontinentalitätszahl (1-9)**
- **Feuchtezahl (1-12)**
- **Reaktionszahl (1-9)**
- **Stickstoffzahl bzw. Nährstoffzahl (1-9)**
- **Salzzahl (0-9)**

Zeigerwerte von Pflanzen - Probleme

- Die Konkurrenzkraft (Zeigerwert) einer Art hängt neben ihrer physiologischen Eigenschaft entscheidend von der Art und Menge an vorhandenen Konkurrenten, von ihrer Verbreitung im Areal (Entfernung zum Arealzentrum), vom Standort sowie von der Art der Bewirtschaftung und Intensität der Nutzung ab
- Zeigerwerte, die von zeitlich auseinanderliegenden Vegetationsaufnahmen stammen, können nur dann Veränderungen des Standorts anzeigen, wenn nach wie vor dieselbe Nutzungsintensität vorliegt (schnittverträglichere Pflanzenarten z.B. besitzen oft niedrigere Feuchtezahlen)

Zeigerwerte von Pflanzen - Probleme

- **Gesetz der relativen Standortskonstanz**
- **Ökotypen**
- **Regionale Überprüfung, Nacheichungen**
- **Zeigerwerte ermöglichen bei richtiger Anwendung eine Groborientierung, sie sind aber kein Ersatz für ökologische Messungen !**

Wiesen, Mähweiden und Weiden

- sind Lebensräume vieler Pflanzen- und Tierarten
- erfüllen vielfältige ökologische Funktionen
- sind alte Kulturlandschaften
- sind Produktionsflächen für die Landwirtschaft
- prägen das Landschaftsbild (Ästhetik)
- bieten Erholungsräume für viele Menschen
- sind Wildäsungsflächen

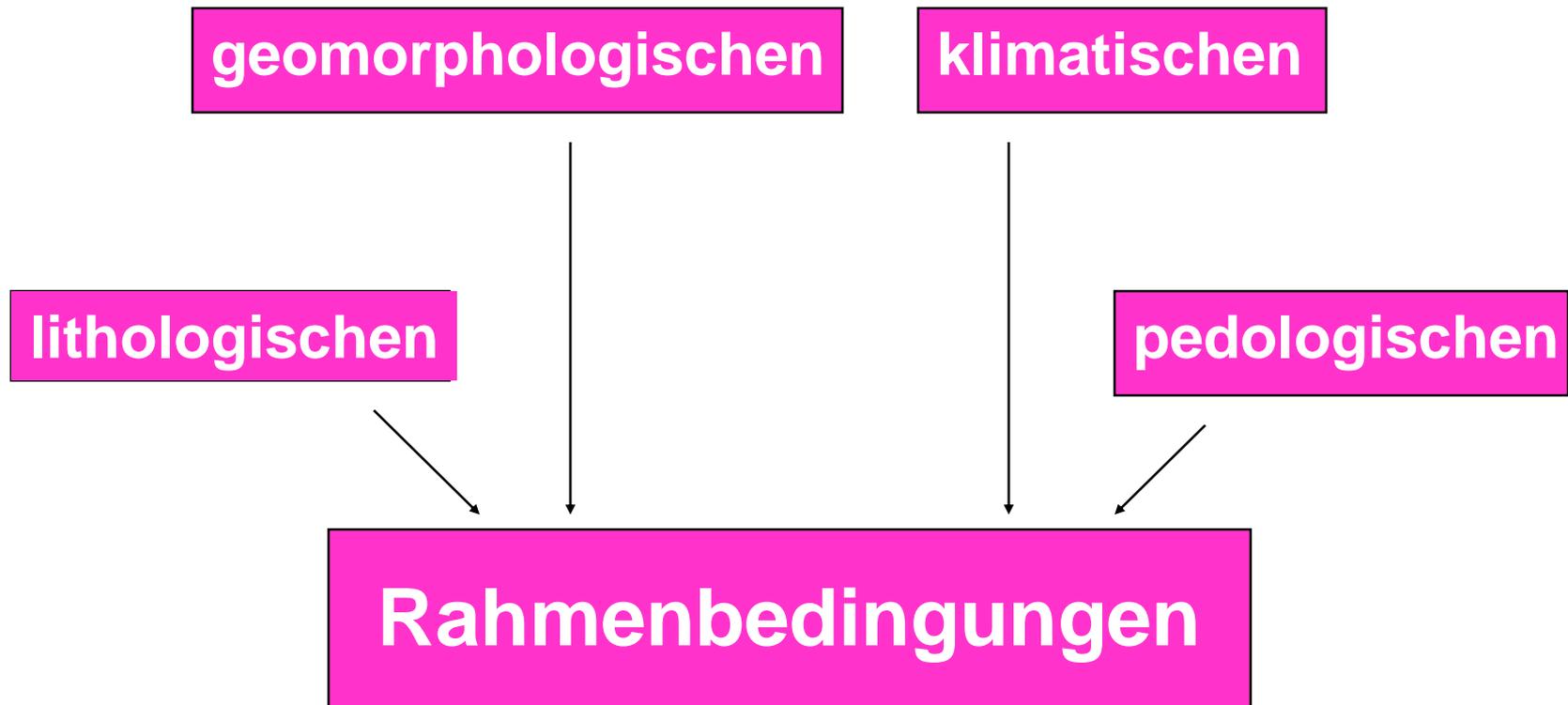
Ökologische Funktionen des Grünlandes

- **Bodenschutz (Schutz vor Erosion)**
- **Grundwasser- und Gewässerschutz (Schutz vor Eutrophierung, Grundwasser-Neubildung)**
- **Klimaschutz (Netto-Senke für Kohlenstoff)**
- **Lebensraum für viele Pflanzen- und Tierarten**
- **Biodiversität (floristische und faunistische Vielfalt, Gesellschaftsvielfalt)**

Grünlandböden - Ackerböden

- höherer C_{tot} -, N_{tot} -, P_{tot} - und S_{tot} -Gehalt
- höhere Aggregatstabilität
- höhere Aktivität der Bodenorganismen (Regenwürmer)
- höhere mikrobielle Biomasse und Enzymaktivitäten
- geringerer Nährstoffeintrag ins Grundwasser und in Oberflächengewässer
- geringere Grundwasserneubildungsrate
- geringere Bodenerosion (Wasser- u. Winderosion)

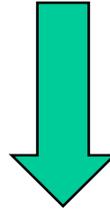
Die natürliche Standortbonität ist eine Funktion von



Ausgangsmaterial der Bodenbildung – Festgesteine oder Lockersedimente

- **Bodentyp**
- **Bodenfarbe**
- **Bodenart, Skelettgehalt (Grobanteil)**
- **Bodenstruktur**
- **Boden-pH-Wert, Carbonate**
- **Nährstoffgehalt, natürliche Hintergrundbelastung**

Wärme-, Wasser-, Gas- und Stoffhaushalt



Vegetation, Futterertrag, Futterqualität



**Art, Intensität und Zeitpunkt der Düngung
und Nutzung, Bestandespflege**

Wachstumsfaktoren

- **Temperatur**
- **Wasser**
- **Pflanzennährstoffe**
- **Sauerstoff**
- **Kohlendioxid**
- **Licht**

WÄRMEHAUSHALT

Der Wärmehaushalt eines Standortes ist abhängig von:

- Makroklima (geographische Breite, Ozeanität/Kontinentalität, Luv-Lee-Lage, Talform, Talrichtung, Horizonteinengung, Massenerhebung, Seehöhe)
- Mesoklima (Mesorelief, Hangneigung, Exposition)
- Mikroklima (Bodeneigenschaften, Pflanzenbewuchs)

Ozeanisches Klima

Charakteristisch sind milde Winter und mäßig warme Sommer. Die Jahrestemperaturschwankung beträgt weniger als 18 °C und die Jahresniederschlagssumme ist größer als 750 mm → optimaler Raygras-Standort

Kontinentales Klima

Charakteristisch sind kalte Winter und warme Sommer. Die Jahrestemperaturschwankung beträgt mehr als 25 °C und die Jahresniederschlagssumme ist kleiner als 750 mm → kein optimaler Raygras-Standort

Luv-Lage

ozeanische Klimazüge

Lee-Lage

kontinentale Klimazüge

Massenerhebung

große Gebirgszüge sind wärmer als isolierte Einzelberge (größere „Heizfläche“) ⇒ Höhenstufen

Reliefenergie bzw. Horizonteinengung (Bergschatten, kürzere Sonnen-scheindauer)

Mesorelief

Kaltluftseen in Geländevertiefungen (Temperaturinversion), wärmebegünstigte Hanglage

S- und SW-Hänge: wärmer, trockener, frühere Schneeschmelze und früherer Vegetationsbeginn, längere Vegetationsperiode, stärkere direkte Sonneneinstrahlung und erhöhte Verdunstung, höhere Austrocknungsgefahr (geringere Ertragssicherheit), krautreicher, bei ausreichender Wasserversorgung der Pflanzen ertragreicher, Wärme- und Trockenheitszeiger, längere Weidedauer und geringere Trittempfindlichkeit, leichtere Futterwerbung

N-Hänge: kühler, feuchter, Schneeschmelze und Vegetationsbeginn sind verzögert, kürzere Vegetationszeit, geringere direkte Sonneneinstrahlung und herabgesetzte Verdunstung, grasreicher, bei N-Mangel im Boden moosreich, Kühle- und Feuchtigkeitszeiger, kürzere Weidedauer und höhere Trittempfindlichkeit, erschwerte Futterwerbung

W-Hänge: günstiger als O-Hänge

Stephan-Boltzmann'sches Gesetz

$$J = \sigma \times T^4$$

J = gesamter abgegebener Strahlungsstrom

σ = Naturkonstante

T = absolute Temperatur der strahlenden Oberfläche

Die Ausstrahlung eines Körpers wächst mit der 4. Potenz seiner Oberflächentemperatur.

Stephan-Boltzmann'sches Gesetz

Nährstoffarme Standorte \Rightarrow höherer Kontinentalitätsgrad als vergleichbare nährstoffreiche Standorte

Düngung \Rightarrow Ertragssteigerung \Rightarrow feuchteres und kühleres Mikroklima in Bodennähe \Rightarrow begünstigt beispielsweise Geißfuß

Lambert'sches Gesetz

$$J = \sin \beta \times J_0$$

J = Strahlungsstrom

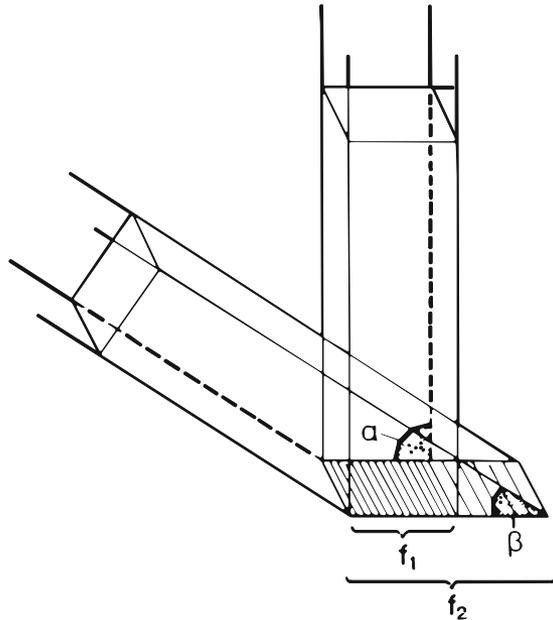
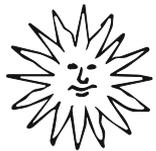
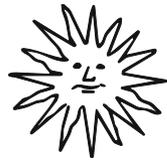
β = Einfallswinkel

J_0 = Strahlungsstrom bei senkrechtem Einfall

Je steiler die Sonnenstrahlen einfallen, umso größer ist die zugeführte Energiemenge pro Flächeneinheit.

Einfallswinkel der Strahlung: abhängig von gg. Breite, Jahreszeit, Tageszeit, Exposition, Hangneigung, Relief

Energiezufuhr in Abhängigkeit vom Einfallswinkel der Strahlung



Lambert'sches Gesetz

$$J = \sin \beta \times J_0$$

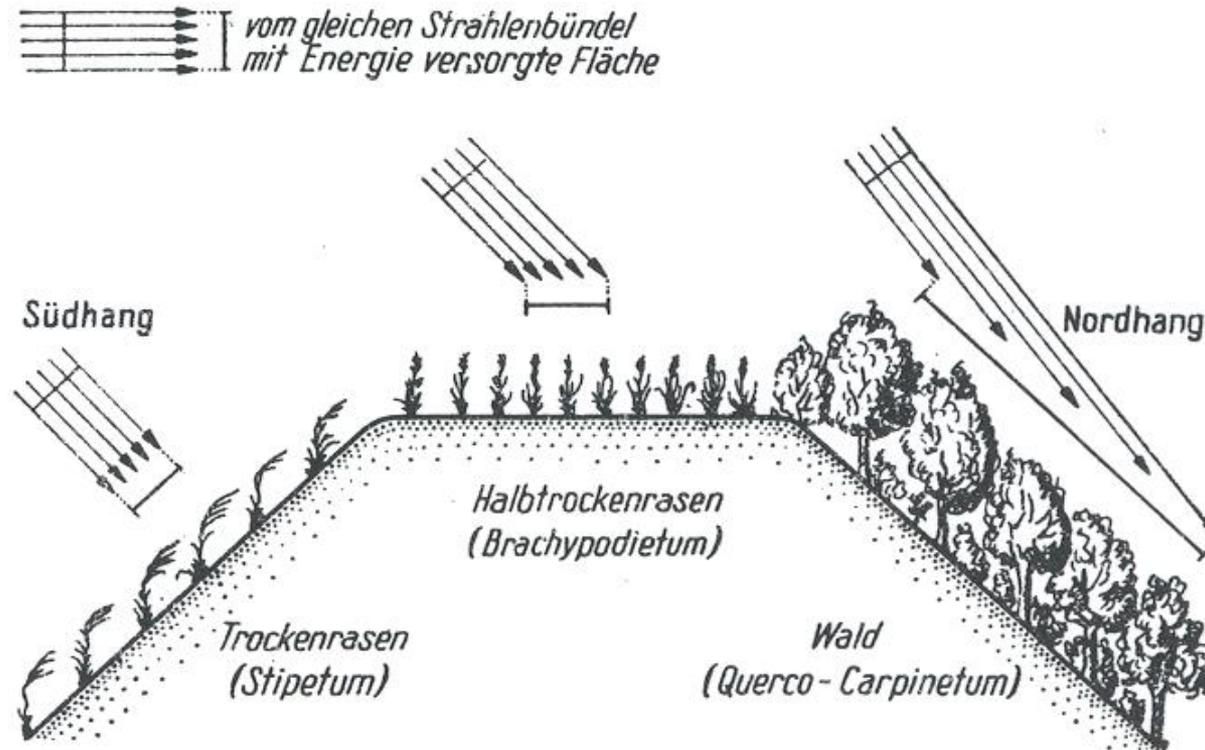
J = Strahlungsstrom

β = Einfallswinkel

J_0 = Strahlungsstrom bei senkrechtem Einfall

Quelle: HÄCKEL, 1985

Einfluss des Reliefs auf die Vegetation



Quelle: LERCH, 1991

Entscheidende klimatische Umweltfaktoren

- Temperatur
- Niederschlagsart, -menge und -intensität
- Niederschlagsverteilung

Für die Vegetation, Futterertrag und Futterqualität ist

günstig: hohe Wärme während der Vegetationszeit verbunden mit einer ausreichenden und gleichmäßigen Niederschlagsverteilung; hohe Tageswärme und tiefe Nachttemperaturen (begünstigt Photosynthese und hemmt Atmung)

ungünstig: häufiger und/oder langanhaltende Trockenperioden; kühles niederschlag-, schnee- und wolkenreiches Jahr; Starkniederschläge

Temperatur

beeinflusst

- **generell alle Stoffwechselfvorgänge in der Pflanze**
- **alle chemischen, biologischen und viele physikalische Prozesse im Boden**
- **Geschwindigkeit der Stoffkreisläufe im Grünland-ökosystem**
- **Nährstoffverfügbarkeit im Boden**
- **Photosynthese, Atmung, Transpiration**
- **Wasser- und Stoffaufnahme der Pflanzenwurzeln**

Temperatur

beeinflusst

- **Mobilisierung von Reserve- und Speicherstoffen**
- **Pflanzenwachstum**
- **Wurzeltiefgang**
- **Samenkeimung, Blütenbildung, Reife**
- **Dauer der Vegetationszeit**
- **Länge der Weideperiode**

Temperatur

beeinflusst

- **Eintrittstermin pflanzenphänologischer Phasen**
- **Nutzungsempfindlichkeit der Grünlandpflanzen**
- **Artenzusammensetzung der Vegetation → Futterertrag, Futterqualität**

Van 't Hoff'sche Regel

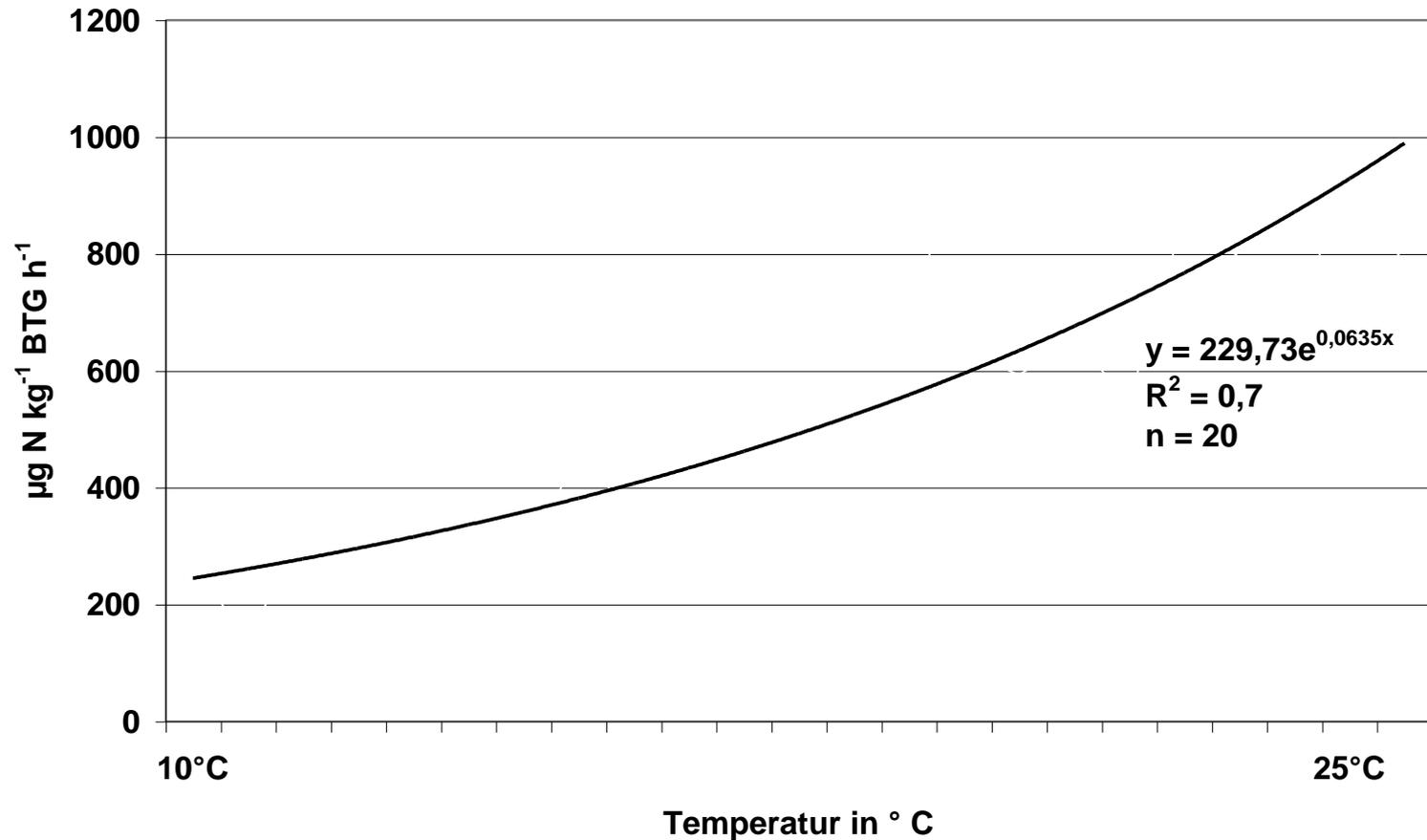
Innerhalb physiologischer Grenzen bewirkt eine Steigerung der Temperatur um jeweils 10 °C, dass die Reaktionsgeschwindigkeit der Stoffwechselprozesse eine Beschleunigung um das 2- bis 3fache erfahren.

Temperatur

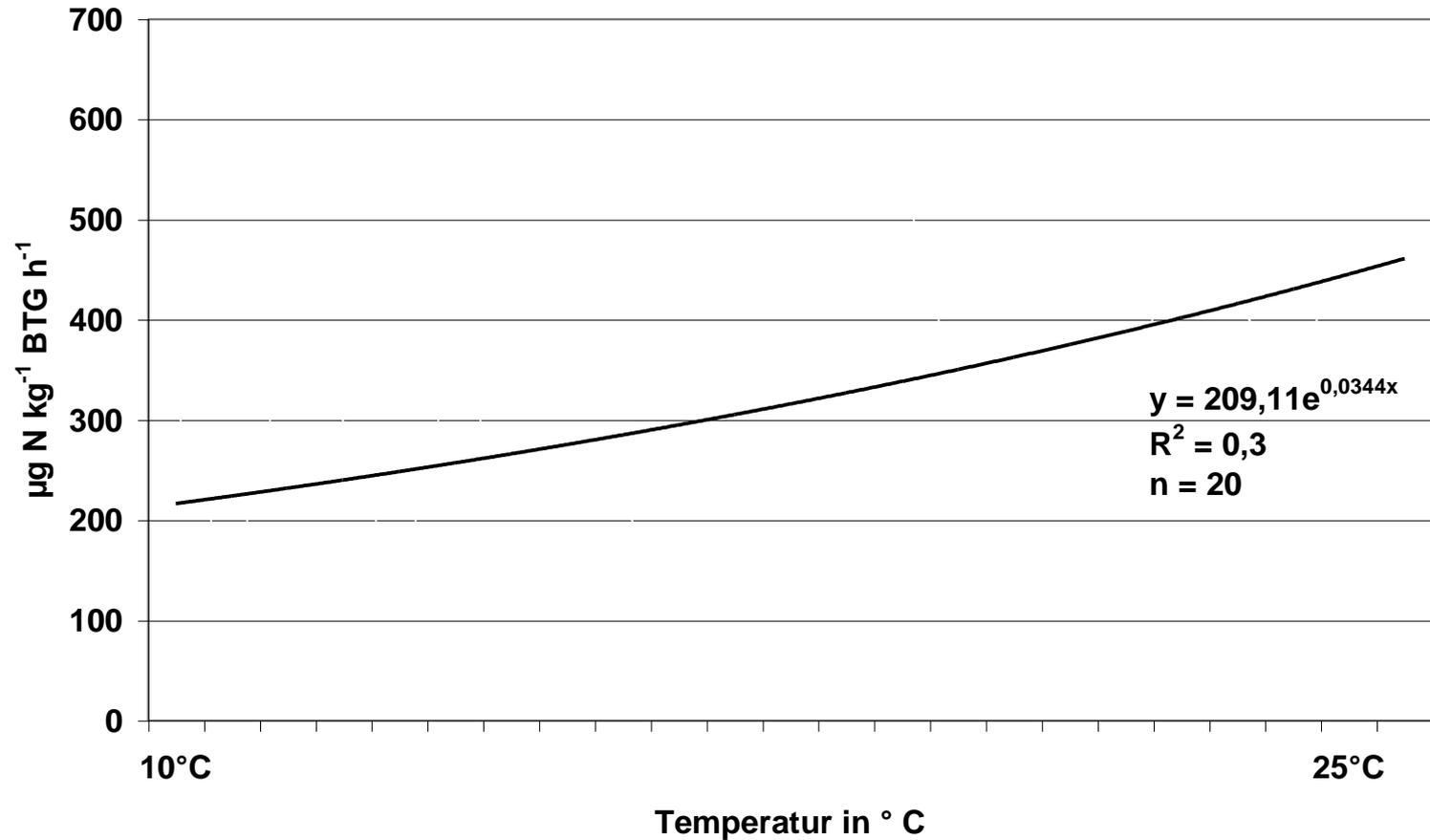
- **Günstige Assimilationstemperatur für Pflanzen: rd. 20 °C**
- **Temperaturoptimum der meisten Bodenorganismen: 10-35 °C**
- **Optimale Temperatur für N-Mineralisation: rd. 25 °C**

Wachstumsperiode: Zeit, während der die Tages-Mitteltemperatur 5 °C übersteigt (mind. 100 Tage)

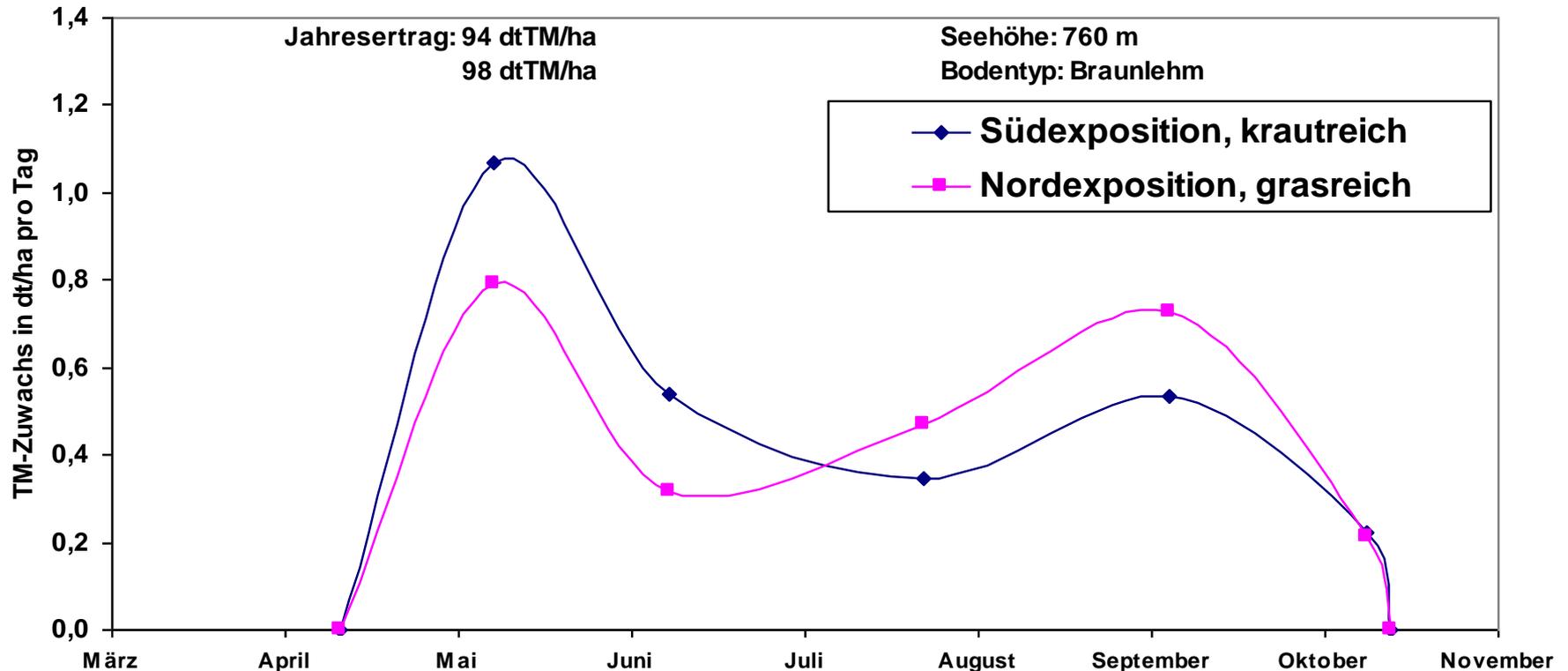
Brutto-Nitrifikationsrate im Boden in Abhängigkeit von der Temperatur



Denitrifikationsrate im Boden in Abhängigkeit von der Temperatur



Tägliche TM-Produktion von Kulturweiden in Abhängigkeit von der Exposition



Andreas Bohner
Abteilung für Umweltökologie

HBLFA
Raumberg-Gumpenstein
Landwirtschaft

Altidudinale Änderung der klimatischen Umweltbedingungen

Mit der Seehöhe nehmen

zu

- Ein-, Ausstrahlung, UV-Strahlung
- Frostwechseltage
- Niederschlagsmenge
- Mächtigkeit der Schneedecke und Dauer der Schneebedeckung
- Häufigkeit und Stärke der Winde

ab

- Luftdruck
- CO₂- und O₂-Partialdruck
- Lufttemperatur (rd. 0.55°C pro 100 m)
- absolute Luftfeuchtigkeit
- Länge der Vegetationsperiode (rd. 6-7 Tage pro 100 m)

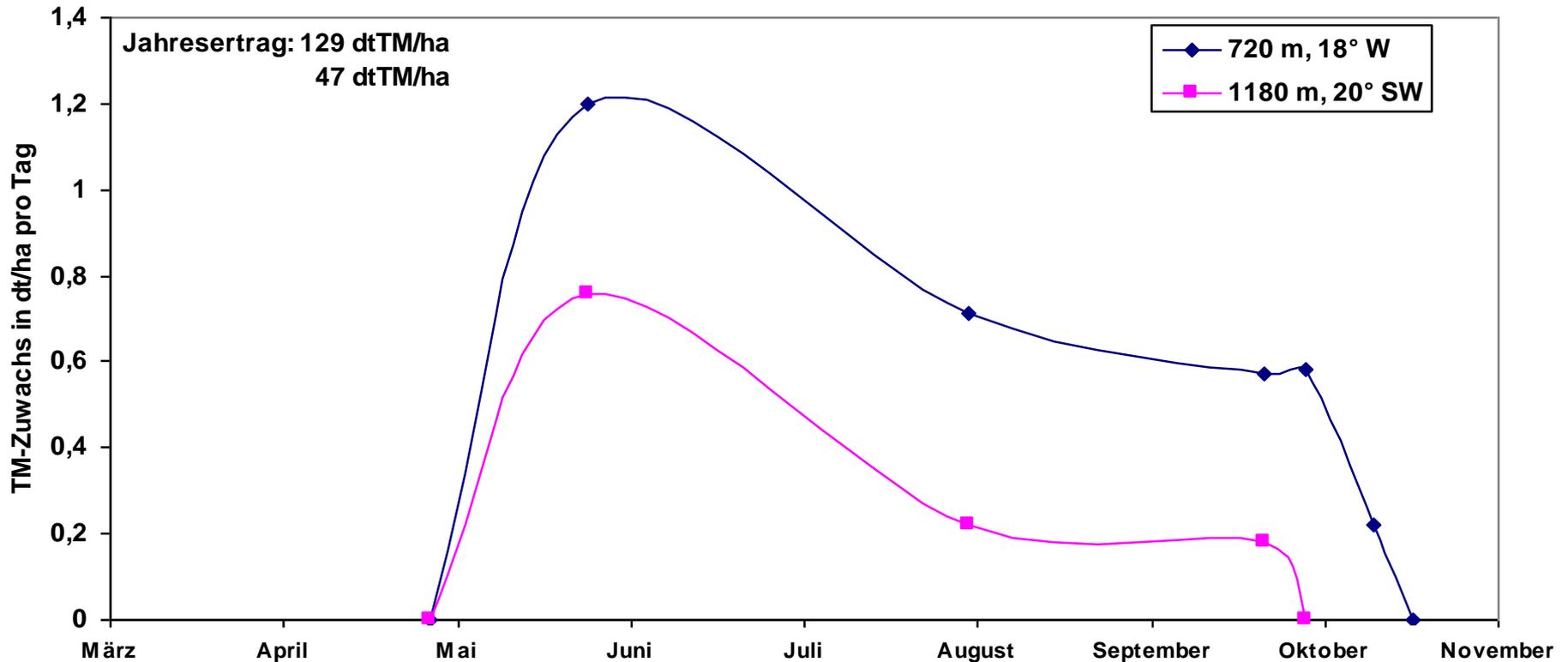
Altitudinale Änderung der klimatischen Umweltbedingungen bewirkt:

- ⇒ Änderung der Vegetation (Höhenstufen)**
- ⇒ Verminderung des Wurzeltiefganges**
- ⇒ Erhöhte Gefahr der Nährstoffauswaschung**
- ⇒ Verkürzung der Mineralisierungszeit im Boden**
- ⇒ verstärkte Expositions- und Reliefunterschiede**
- ⇒ Verkürzung der Weidedauer und der Vegetationsperiode**
- ⇒ Ertragsrückgang (200-400 kg TM pro 100 m)**
- ⇒ Verspätung pflanzenphänologischer Frühjahrsphasen**

Allerdings:

- ⇒ der durchschnittliche Futterzuwachs pro Wachstumstag bleibt annähernd gleich**
- ⇒ weidereifes Futter (15 dt/ha TM) wird mit zunehmender Seehöhe früher erreicht**

Tägliche TM-Produktion von Kulturweiden in Abhängigkeit von der Seehöhe auf Braunerde



Andreas Bohner
Abteilung für Umweltökologie

HBLFA
Raumberg-Gumpenstein
Landwirtschaft

Höhenstufen

Collin: Eichen-Hainbuchenwälder, Eichenwälder; panonische Gebiet (bis 250/400 m)

Submontan: Eichen-Hainbuchenwälder; in den Innentalen: Stieleichenwälder, Rotföhrenwälder (250/400-350/500 m)

Untermontan: in den Randalpen: Buchenwälder; in den Innentalen: Fichtenwälder (350/500-600/800 m)

Obermontan: in den Randalpen: Fichten-Tannen-Buchen-Wälder; in den Innentalen: Fichten-, Fichten-Lärchen-Wälder (600/800-1500/2000 m)

Quelle: ADLER/OSWALD/FISCHER, 1994

Höhenstufen

Subalpin: zwischen Baum- und Waldgrenze; Latschen-, Grünerlengebüsch; Lärchen-Zirben-Wälder; Lärchen-Fichten-Wälder (1500/2000-1800/2100 m)

Unteralpin: Zwergstrauchheiden (1800/2100-1900/2300 m)

Oberalpin: geschlossene Rasengesellschaften (1900/2300-2500/2800 m)

Subnival: zwischen Obergrenze geschlossener Vegetation und klimatischer Schneegrenze (2500/2800-2800/3100 m)

Nival: oberhalb der klimatischen Schneegrenze (2800-3100 m)

Quelle: ADLER/OSWALD/FISCHER, 1994

Frostrocknis

Durch cuticuläre und stomatäre Transpiration verlieren die über eine Schneedecke hinausragenden Pflanzenteile mehr Wasser, als aus dem kalten oder gefrorenen (nicht mit Schnee bedeckten) Boden nachgeschafft und aus Wasserreserven ersetzt werden kann.

Frost bedeutet für die Pflanze somit nicht nur **Kältestress**, sondern unter Umständen auch **Wassermangel**.

Zeigerwert

Pflanzen, Pflanzengesellschaften, Tiere und Böden sind hervorragende Klimazeiger

Kühlezeiger: z.B. Schlangen-Knöterich, Faden-Simse, Weißer Krokus, Hohe Schlüsselblume, Weißer Germer am Talboden der Enns (650 m NN)

Trockenheits- und Wärmezeiger: z.B. Wiesen-Salbei, Echte Schlüsselblume im Ennstal

Hochmoore: nur in humiden Klimaten bei hohen Niederschlägen, geringer Verdunstung und relativ kühlem Klima

Haftnässe-Pseudogley: z.B. am Talboden bei Zell am See

LICHT

- **energetische Voraussetzung für die CO₂-Assimilation der grünen Pflanzen (Photosynthese)**
- **beeinflusst Keimung (Licht-, Dunkelkeimer)**
- **beeinflusst Richtung und Geschwindigkeit des Pflanzenwachstums**
- **beeinflusst Artenzusammensetzung der Vegetation
→ Futterertrag, Futterqualität**
- **beeinflusst das Biomasse: Nekromasse-Verhältnis**
- **Pflanzenartenvielfalt**

Lambert-Beer'sche Extinktionsgesetz

$$I_z = I_0 \times e^{-k \cdot \text{BFI}}$$

I_z = Intensität der Strahlung in einem bestimmten Abstand

I_0 = Strahlung im Freien

k = für diese Pflanzenges. gültiger Abschwächungskoeffizient

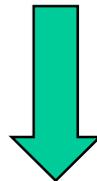
BFI = kumulativer Blattflächenindex

Mit Annäherung an die Bodenoberfläche nimmt die Intensität der Strahlung exponentiell ab; entscheidend sind

- BFI (Gesamtsumme der Blattflächen/Bodenfläche)
- Anordnung der Blätter (Blattstellwinkel)

Hoher BFI und breitblättrige Pflanzen mit Blattstellwinkel um $90^\circ \Rightarrow$ Lichtmangel in der untersten Bestandesschicht (z.B. Alpen-Ampferflur)

Pflanzen, deren Blätter in den meisten Tagesstunden weniger als das Kompensationslicht für den photosynthetischen Gaswechsel empfangen, sterben ab. Lichtmangel in der untersten Bestandesschicht bewirkt, dass tief inserierte Blattspreiten infolge negativer CO₂-Bilanz absterben



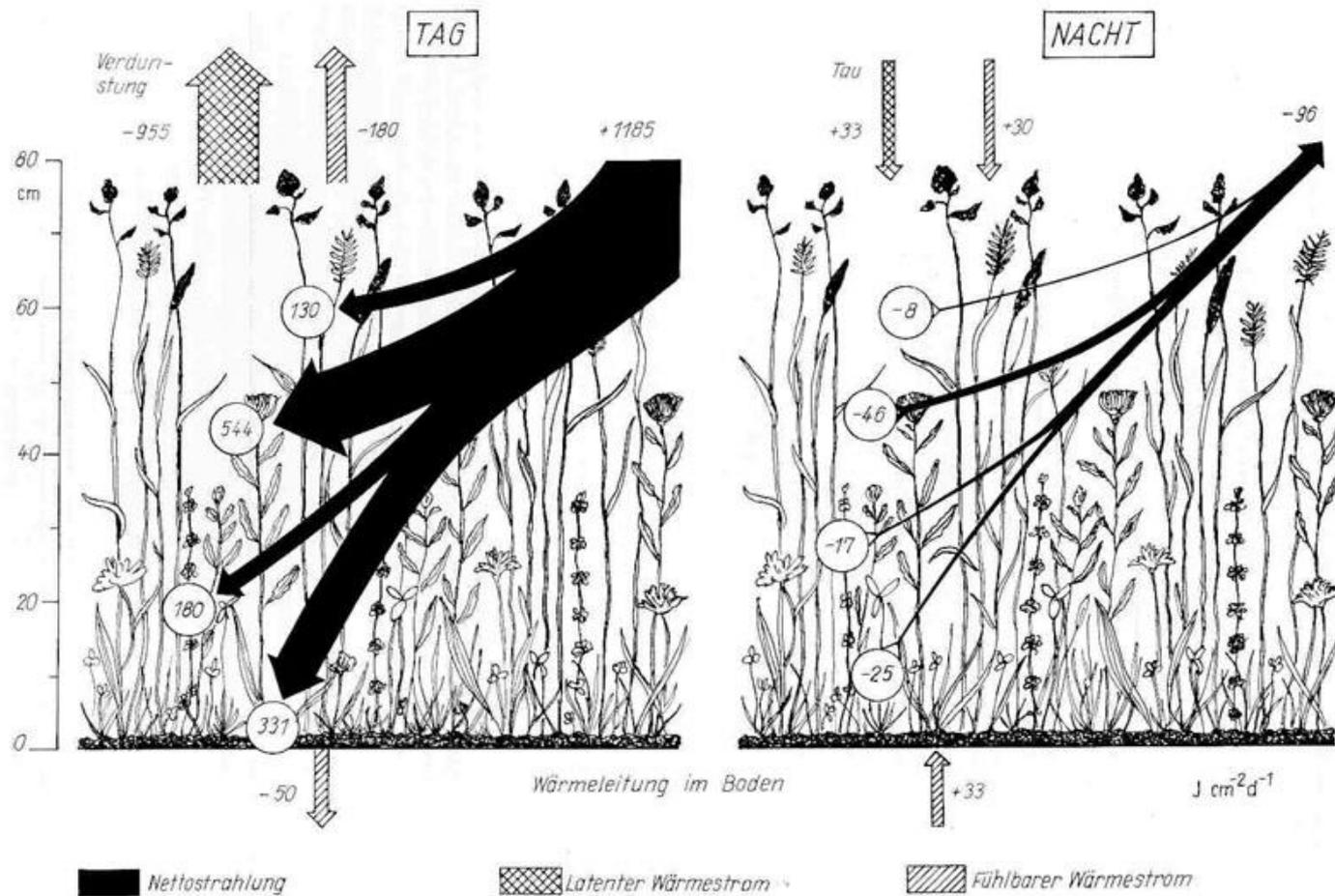
viel Nekromasse in hochwüchsigen, spät gemähten oder nicht mehr gemähten Pflanzenbeständen; gehemmte Bestockung und Lückenbildung

Lichtkompensationspunkt: Beleuchtungsstärke, bei der die CO_2 -Assimilation (Photosynthese) gleich der Atmung ist

Schattenpflanzen: haben niedrigen Kompensationspunkt; kommen mit weniger Licht aus (z.B. Wald-Sauerklee)

Lichtpflanzen: haben hohen Kompensationspunkt; benötigen viel Licht (z.B. Weißklee)

Strahlungsbilanz in einer Wiese



Quelle: LERCH, 1991

Andreas Bohner
Abteilung für Umweltökologie

HBLFA
Raumberg-Gumpenstein
Landwirtschaft

Strategien der Pflanzen zur Maximierung des Lichtgewinns

Zeitliche Strategie: genutzt wird jene Zeit, in der der Pflanzenbestand niedrig und somit die Lichtverfügbarkeit hoch ist (Herbstzeitlose, Krokus, Narzisse etc.)

Räumliche Strategie: Beschattung im Pflanzenbestand fördert bei zahlreichen Pflanzenarten das Streckungswachstum in den Sprossachsen (Apikaldominanz); sie wachsen zur besseren Lichtausnützung in die Höhe (Lichtmangel wird durch verstärktes Längenwachstum ausgeglichen)

Bodenwasserhaushalt

beeinflusst

- **Artenzusammensetzung der Vegetation → Futterertrag, Futterqualität**
- **über die Tragfähigkeit des Bodens und über das Ertragspotential die Art der Bewirtschaftung und Intensität der Nutzung (Befahrbarkeit, Trittempfindlichkeit)**
- **mechanischen Eindringwiderstand für Pflanzenwurzeln, Durchwurzelungsintensität und -tiefe**
- **Humusgehalt, Humusmenge, Humusform**
- **Bodendurchlüftung, Redoxpotential**
- **Verfügbarkeit, Mobilität und Verlagerung von Nähr- und Schadstoffen**
- **Bodentemperatur**

Wasser

- Die Pflanzen decken ihren Wasserbedarf zu 95 % durch die Wurzeln aus dem Bodenwasservorrat
- Osmotische Saugkräfte der Pflanzen: meist zwischen 2-5 bar
- Wassergehalt der lebenden Gewebe einer Pflanze: 60-90 %
- Zur Produktion von 1 kg TM werden 300-800 l Wasser benötigt
- Der mittlere Tagesverbrauch an Wasser liegt in der Vegetationsperiode für Grünland zwischen 2 und 3 mm
- Optimaler Wassergehalt für die meisten Bodenmikroorganismen: 66-80 % der maximalen Wasserspeicherkapazität
- Wasser ⇒ wichtigstes Transportmittel für den Stofftransport durch terrestrische Ökosysteme

Der **Wasserhaushalt** eines Standortes hängt ab von:

- **Temperatur, Niederschlagsart, -menge, -verteilung, -intensität, Wind**
- **Speichervermögen des Bodens für pflanzenverfügbares Wasser (Porenvolumen, Porengrößenverteilung, Bodenart, Humusmenge, Skelettgehalt, Bodenständigkeit)**
- **Wasserführung des Bodens (Bodenart, Bodenstruktur, Skelettgehalt, Porenvolumen, Porengrößenverteilung, Tiefe des Staukörpers)**
- **Einfluss von Grund-, Stau-, Hang- oder Überflutungswasser**
- **Relief, Hangneigung, Exposition**

Kennwerte des Bodenwasserhaushaltes

Feldkapazität: Maß für das Wasserhaltevermögen eines Bodens (Wasser, das nicht oder nur langsam versickert)

Sie ist abhängig von:

- Bodenart
- Humusmenge
- Porenvolumen, Porengrößenverteilung

Nutzbare Feldkapazität (nFK): Wassergehalt des Bodens zwischen pF 1.8 und 4.2

Permanenter Welkepunkt: Saugspannungsgrenzwert, jenseits dessen die Pflanze dem Boden kein Wasser entziehen kann und damit verwelken muß (pF 4.2 = 15 bar)

Menge an pflanzenverfügbarem Wasser: nFK x Durchwurzelungstiefe

Kennwerte des Bodenwasserhaushaltes

Böden mit hoher Feldkapazität \Rightarrow hohe Wasserspeicherkapazität und geringe Sickerwassermengen \Rightarrow geringe potentielle Nährstoffaustragsgefährdung

$pF = \log \text{ cm Wassersäule (WS)}$

$pF 3 = 10^3 \text{ cm WS} = 1 \text{ bar}$

Staunässegrad

Menge an Stauwasser im Boden, die während der Nassphase auftritt

- **Dichte des Staukörpers (gesättigte Wasserleitfähigkeit, kf-Wert)**
- **Lage im Boden (cm unter Flur)**
- **Sickerwassermenge (Klima, Relief)**

Lage des Staukörpers im Boden

flach: 0-30 cm unter Flur

mittel: 30-60 cm unter Flur

tief: > 60 cm unter Flur

Grundwasser

- **Dauer und Zeitpunkt von Hoch-, Mittel- und Tiefstand des Grundwasserspiegels**
- **Schwankungsamplitude des Grundwasserspiegels**
- **Fließgeschwindigkeit**
- **Gehalt des Grundwassers an gelöstem Sauerstoff, organischen Verbindungen und Salzen**

Wassermangel bedeutet:

- **teilweiser oder völliger Spaltenschluss (Transpiration, Photosynthese, Kühlung der Pflanze)**
- **niedrige Transportrate der Nährstoffe zu den Pflanzenwurzeln (Massenfluss, Diffusion)**
- **gehemmte Nährstoffmineralisation im Boden infolge geringerer mikrobieller Aktivität**
- **Verkleinerung der transpirierenden Oberfläche**
- **Erweiterung des Wurzel-Spross-Verhältnisses**
- **gehemmtes Pflanzenwachstum, geringerer landwirtschaftlich nutzbarer Ertrag**

Wasserüberschuss bedeutet:

- langsamere und geringere Bodenerwärmung, verspäteter Vegetationsbeginn
- niedrigere Bodentemperatur (dealpine Arten, Kühlezeiger)
- Sauerstoffmangel (gehemmte Atmung und Nährstoffaufnahme bei den meisten Futterpflanzen)
- Anreicherung von CO_2 , H_2S , CH_4 , NH_3 , C_2H_4 und volatile Fettsäuren in phytotoxischen Konzentrationen
- geringe Durchwurzelungstiefe auf nassen Standorten (verminderte Nährstoffausnützung)
- Humusanreicherung (Anmoor-Humus, Torf) und gehemmte Nährstoffmineralisation im Boden infolge reduzierter biologischer Aktivität

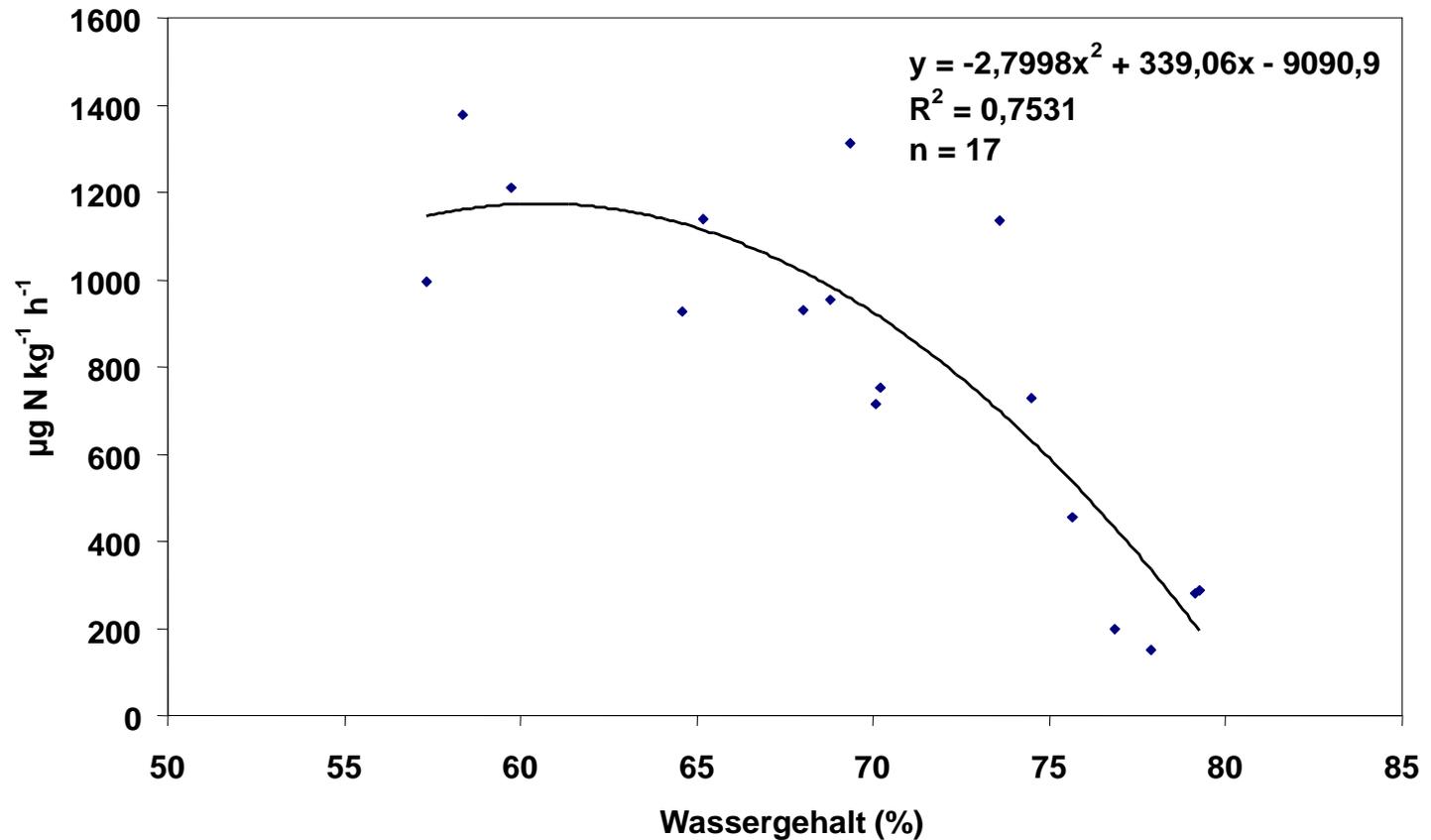
Wasserüberschuss bedeutet:

- gasförmige N-Verluste durch Denitrifikation
- vorwiegende NH_4 -Ernährung der Pflanzen infolge geringer Nitratbildung
- hohe Mn-, Fe- und P-Aktivität in der Bodenlösung insb. in sauren Grünlandböden
- hohe Transportrate der Nährstoffe zu den Pflanzenwurzeln
- mangelhafte Trittfestigkeit und Tragfähigkeit des Bodens (Narbenschäden, Verunkrautung, Verbinsung)
- erschwerte Futterwerbung

Wasserüberschuss bedeutet:

- vermehrtes Auftreten von Giftpflanzen und Arten mit geringem Futterwert
- Parasitengefahr
- schlechtes Pflanzenwachstum und somit geringerer Futterertrag

Brutto-Nitrifikationsrate im Boden in Abhängigkeit vom Bodenwassergehalt



Die Standortbonität hydromorpher Böden ist abhängig von:

- **Tiefe und Durchlässigkeit des Staukörpers, Dauer und Zeitpunkt der Nass- und Trockenphase**
- **Dauer und Zeitpunkt des Hoch-, Mittel- und Tiefstandes des Grundwasserspiegels (Mächtigkeit des staufreien Raumes)**
- **Schwankungsamplitude des Grundwasserspiegels**
- **Gehalt des Grundwassers an Gasen und gelösten Stoffen**
- **Fließgeschwindigkeit des Grund- und Hangzugwassers**
- **Art und Beschaffenheit der abgelagerten Sedimente**
- **Bodenart, Skelettgehalt, Humusgehalt**
- **Klima, Witterung**
- **Relief, Hangneigung, Exposition**

Wasserstufen im Grünland

NASS

ständiger Wasserüberschuss im Boden; starker Grundwassereinfluss; hoher Humusgehalt im Boden wegen nässebedingter gehemmter Zersetzung der organischen Substanz; Humusform: Torf, Anmoor-Humus; Bodentyp: Niedermoor, Hochmoor, Anmoor, Naßgley; Nässezeiger dominieren im Pflanzenbestand; Vegetation: z.B. Großseggen- oder Kleinseggenbestände, Röhrichte

FEUCHT

zeitweiliger Wasserüberschuss im Boden; deutlicher Einfluss von Grund- oder Hangwasser; Humusform: Anmoor-Humus, Feucht-Mull; Bodentyp: meist Gley, Augley; Feuchtezeiger dominieren im Pflanzenbestand; Vegetation: z.B. Pfeifengras-, Kohldistel-, Schlangenknoterich- oder Fuchsschwanzwiese

Wasserstufen im Grünland

FRISCH (AUSGEGLICHEN)

Boden gut mit Wasser versorgt; kein nennenswerter Einfluss von Grund-, Stau-, Hang- oder Überflutungswasser; kaum länger andauernde Trockenperioden während der Vegetationszeit; Humusform: Mull; häufigster Bodentyp: tiefgründige Braunerde; keine typischen Nässe- oder Trockenheitszeiger im Pflanzenbestand; Vegetation: z.B. typische Glatthafer- oder Goldhaferwiese

Wasserstufen im Grünland

HALBTROCKEN

zeitweiliger Wassermangel im Boden; i.d.R. seichtgründige, wenig Wasser speichernde Böden vor allem in niederschlagsarmen Gebieten oder auf wärmebegünstigten Hanglagen; vor allem in kühleren, niederschlagsreicheren Gebieten meist auf südlich exponierten Hanglagen; Humusform: Mull; häufigste Bodentypen: Rendzinen, Kalklehm-Rendzinen, Pararendzinen, Ranker; Trocken- und Halbtrockenheitszeiger dominieren im Pflanzenbestand; Vegetation: z.B. Trespens-Halbtrockenrasen

Wasserstufen im Grünland

TROCKEN

länger andauernder Wassermangel im Boden; auf den Pannonischen Raum beschränkt; Humusform: Mull; Bodentyp: meist Tschernosem; Trockenheitszeiger dominieren im Pflanzenbestand; Vegetation: z.B. Pfriemgras-Trockenrasen

WECHSELFEUCHT

ausgeprägter Wechsel von Nass- und Trockenphasen im Boden; deutlicher Einfluss von Stau- oder Überflutungswasser; Humusform: Mull, Feucht-Mull; Bodentyp: meist Pseudogley; zahlreiche Wechselfeuchtezeiger im Pflanzenbestand; Vegetation: z.B. Rasenschmielenbestand

Wasserstufen im Grünland

KRUMENWECHSELFEUCHT

Staunässe nur in der Krume (A-Horizont); Humusform: Feucht-Mull; Bodentyp: z.B. krumpseudovergleyte Braunerde; Wechselfeuchte- oder Bodenverdichtungszeiger im Pflanzenbestand; Vegetation: z.B. Kriechrasen auf stark verdichtetem Oberboden

**Grünland: umfasst alle Wasserstufen (trocken – nass)
Ackerland: trocken – mäßig feucht**

Ertragspotenzial

Ertragspotenzial: nachhaltige, durchschnittliche Ertragsvermögen eines Standortes bei optimaler Bewirtschaftungsweise; beeinflusst Nutzungsintensität

frische und (mäßig) feuchte Standorte

optimale Nährstoff-Anlieferung zu den Pflanzenwurzeln wegen gleichmäßiger Wasserversorgung im Boden; hohes Ertragspotenzial, hohe Ertragssicherheit und gute Futterqualität der einzelnen Aufwüchse; bei ausgewogener Düngung und ausreichender Wärme nachhaltig am intensivsten nutzbar; jederzeit befahr- und beweidbar; leichte Futterwerbung; Vorrangfläche für eine relativ intensive Grünlandbewirtschaftung

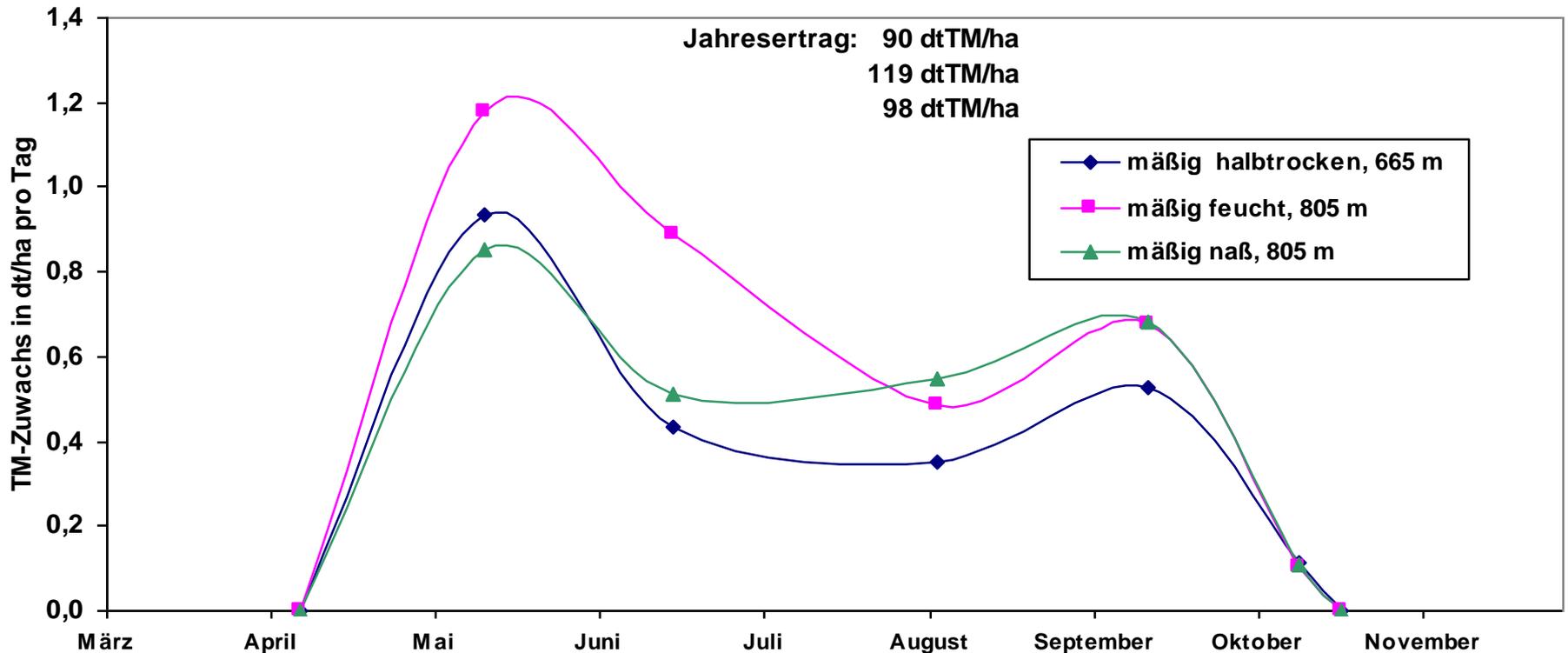
trockene, halbtrockene Standorte

zeitweise trockenheitsbedingte gehemmte Nährstoff-Mineralisation im Boden und geringe Nährstoff-Anlieferung zu den Pflanzenwurzeln; Ertragspotenzial und Ertragssicherheit geringer als auf frischen Standorten; extensivere Nutzung ist notwendig, weil intensiv nutzbare Futtergräser keine optimalen Standortbedingungen vorfinden (nicht oder nur mäßig intensivierungsfähige Standorte); jederzeit befahr- und beweidbar; leichte Futterwerbung; Vorrangflächen für eine extensive bis mäßig intensive Grünlandbewirtschaftung

nasse Standorte

geringere Nährstoff-Mineralisation im Boden aufgrund nässebedingter reduzierter biologischer Aktivität; langsamere und geringere Bodenerwärmung verzögert Pflanzenwachstum im Frühjahr; Pflanzenwurzeln der meisten hochwertigen Grünlandpflanzen leiden häufig unter Sauerstoffmangel; gehemmte Wurzelatmung bedingt geringere Nährstoff-Aufnahme; niedrigeres Ertragspotenzial als auf frischen Standorten, da viele ertragreiche, raschwüchsige, hochwertige Grünlandpflanzen Nässe und Sauerstoffmangel im Boden nicht ertragen; geringere Futterqualität i. Vgl. zu frischen Standorten, da im Pflanzenbestand häufig Giftpflanzen und Arten mit niedrigem Futterwert auftreten; bei Düngung hohe Verunkrautungsgefahr und erhöhtes Risiko gasförmiger N-Verluste durch Denitrifikation; geringe mechanische Belastbarkeit des Bodens und hohe Verunkrautungsgefahr erfordern extensivere Nutzung; zeitweise schlecht befahrbar; erschwerte Futterwerbung (oft keine zeitgerechte Nutzung); Parasitengefahr; Vorrangflächen für eine extensive Grünlandbewirtschaftung

Tägliche TM-Produktion von Mähweiden in Abhängigkeit vom Wasserhaushalt

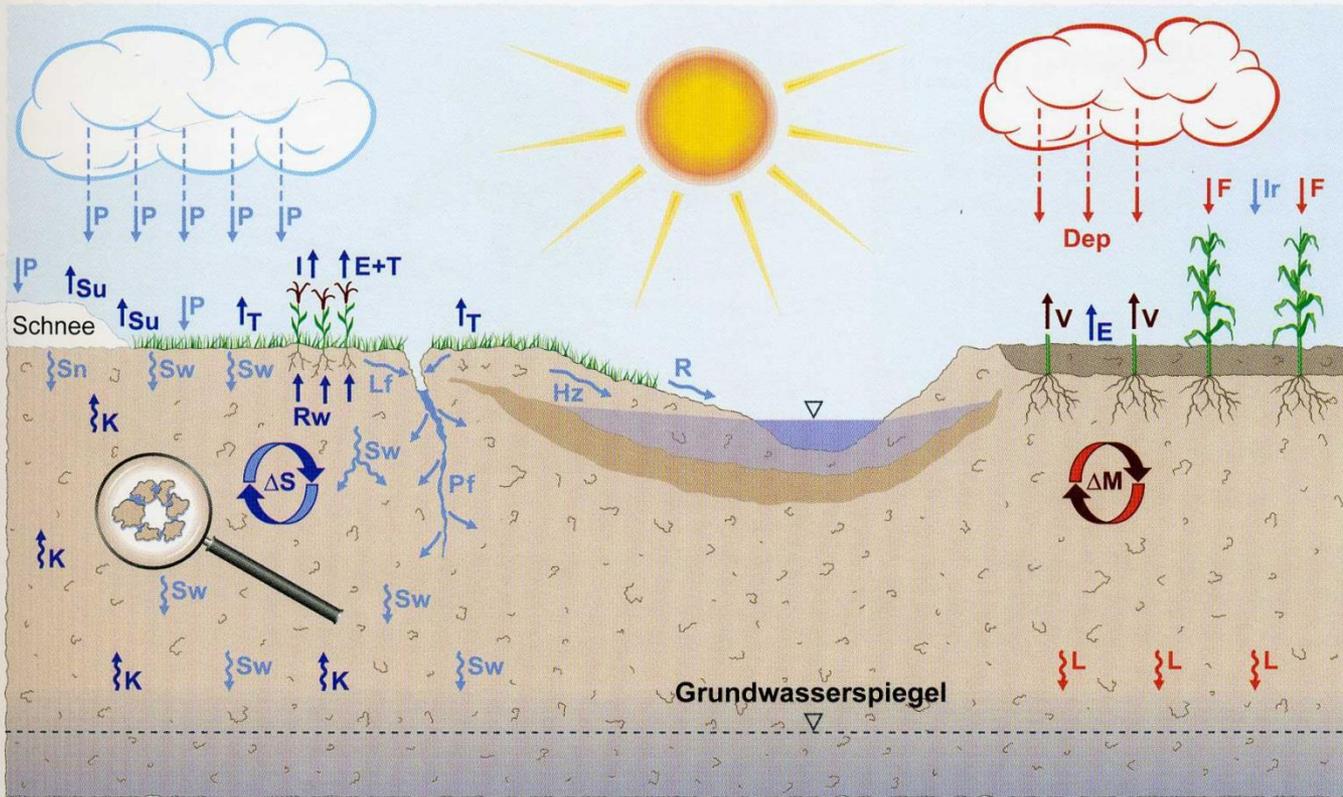


Andreas Bohner
Abteilung für Umweltökologie

HBLFA
Raumberg-Gumpenstein
Landwirtschaft

Ungünstige Wärme- und/oder Bodenwasserverhältnisse verhindern hohe Grünlanderträge und gute Futterqualitäten. Ein hoher Nährstoffgehalt im Boden nützt wenig, wenn ungünstige abiotische Zustandsbedingungen (Wasserüberschuss, Sauerstoffmangel, Trockenheit, Flachgründigkeit) am Grünlandstandort herrschen.

Wasser- und Stoffbilanzen



ΔS = Wassergehaltsänderung

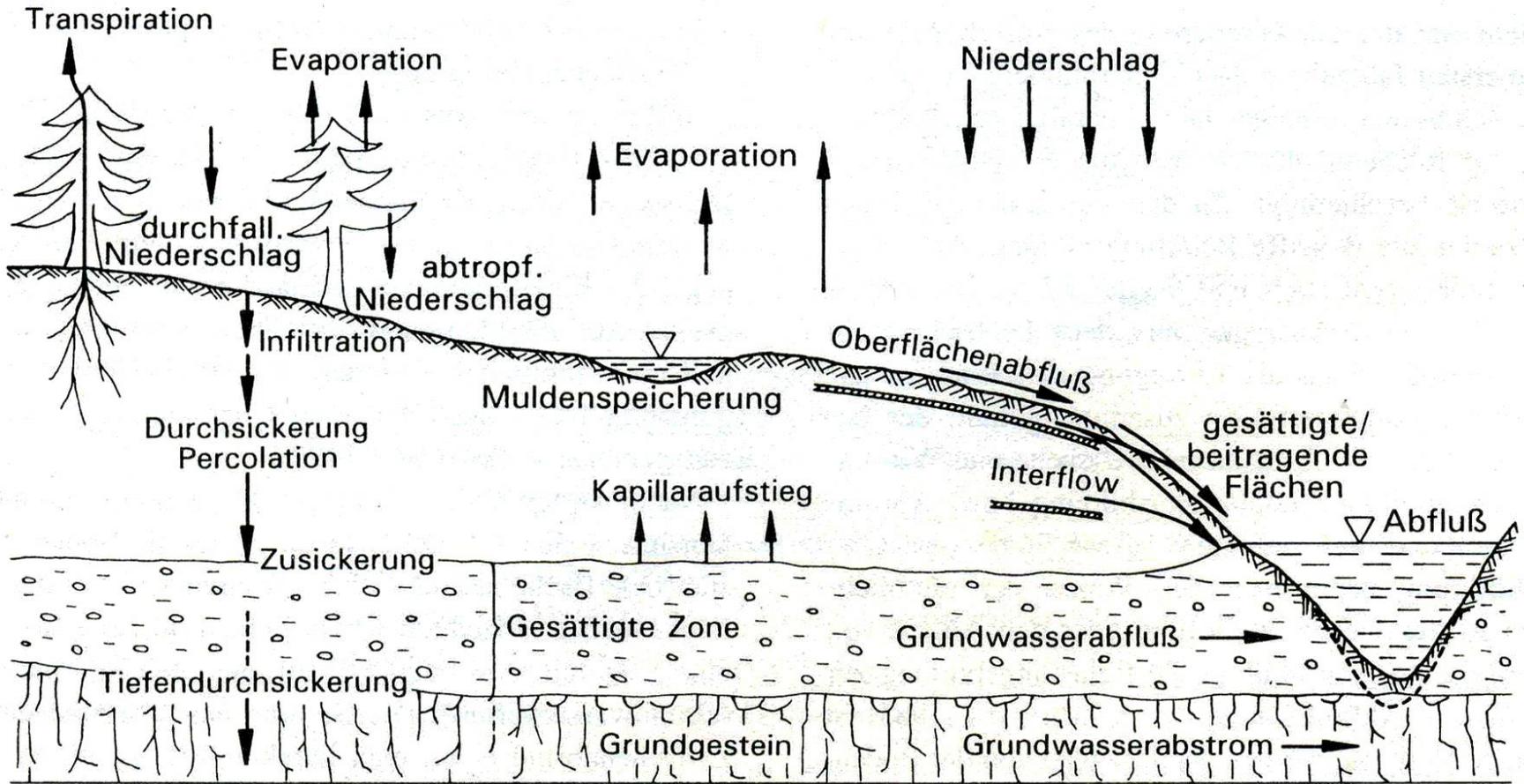
- Hz Hangzugwasser
- Lf Lateraler Fluss
- Ir Bewässerung
- P Niederschlag (gesamt)
- Pf Präferenzierter Fluss
- R Oberflächenabfluss
- Sn Schmelzwasser
- Sw Sickerwasser
- E Evaporation
- I Interzeption
- K Kapilarwasser
- Rw Wurzelwasser-aufnahme
- Su Sublimation
- T Transpiration

ΔM = Masseänderung

- Dep Deposition (atmos.)
- F Dünger
- L Auswaschung
- V Vegetationsentzug

Formel zur Wasserbilanz: $(P + Ir) - (I + ET + Sw) = \Delta S$

Formel zur Stoffbilanz: $Dep + F - V - L = \Delta M$



Sickerwassermenge im Grünlandboden

- **Klima (Menge, Verteilung und Intensität der Niederschläge; Schneeschmelze; Verdunstung)**
- **Boden (Humusmenge; Bodenart; Bodenskelettgehalt; Bodenstruktur; Volumen, Größenverteilung und Kontinuität der Bodenporen)**
- **Vegetation (Ackerland > Grünland)**
- **Reliefposition (Mulde > Ebene > Hang)**

Nährstoffauswaschung im Grünland

- **Sickerwassermenge**
- **Düngung (Art, Zeitpunkt, Menge)**
- **Nährstoffentzug mit der Ernte**
- **Bodengründigkeit**
- **leicht mobilisierbarer Nährstoffvorrat im Boden**
- **Mobilisierungs-, Transformations- und Speichervermögen des Bodens**
- **Vertikal orientierte, kontinuierliche Makroporen**

Nährstoffauswaschung im Grünland

- **Artenzusammensetzung der Vegetation (temporäre Nährstoffspeicherung in der Biomasse)**
- **Durchwurzelung des Bodens (Größe der aufnahmeaktiven Wurzeloberfläche, Durchwurzelungstiefe)**
- **Aktivität der Bodenorganismen**
- **Vegetationsdeckungsgrad, Dichte der Grasnarbe (Lückenanteil)**
- **Tiefe des Grundwasserspiegels**

Abschwemmung

Transport von nicht an Bodenpartikel gebundene Nährstoffe mit dem auf der Bodenoberfläche abfließendem Wasser (mit dem Oberflächenwasser transportierte gelöste Nährstoffe)

- **Menge an Oberflächenwasser (Niederschlag, Schneeschmelze)**
- **Relief (Hangneigung, Hanglänge)**
- **Boden (Oberbodenverdichtung, Wasserspeicherkapazität)**
- **Vegetationsdeckungsgrad (Lücken)**
- **Bodenmaterial auf der Grasnarbe (Regenwurmlosung)**
- **Düngung (Art, Menge, Zeitpunkt)**

Schnee ⇒ **Schutz** und **Gefahr** für Pflanzen

Schutz vor Frosttrocknis,
tiefen Temperaturen

verspäteter Vegetations-
beginn, Lichtentzug

Verdunstungsschutz

Überfeuchtung und
verzögerte Erwärmung des
Bodens im Frühjahr

bessere Wasserversorgung
im Frühjahr (Winterfeuchte)

Mechanische Schäden
(Lawinen, Schneegleiten,
Schneeschliff, -bruch)

Schneesimmel

Relief

beeinflusst

- **Wärme-, Wasser- und Stoffhaushalt**
- **Bodengründigkeit, Horizontmächtigkeit, Bodentyp**
- **Erosions- und Abschwemmungsgefahr**
- **Vegetation, Futterertrag, Futterqualität**
- **Art der Bewirtschaftung und Intensität der Nutzung**

Reliefenergie: max. Höhenunterschied in m pro km²

Reliefpositionen: Ober-, Mittel-, Unterhang, Mulde, Graben, Hangversteilung, Hangverflachung, Kuppe, Rücken, Hangfuß, Ebene, Verebnung, Talboden, Terrasse, konkave bzw. konvexe Lage etc.

Unterhänge und konkave Mulden oder Gräben: höhere Bodenfeuchtigkeit und Nährstoffgehalte sowie größere Bodengründigkeit (Kolluvisol) als Oberhänge und konvexe Rücken oder Kuppen ⇒ höhere Neigung zur Verunkrautung (z.B. Stumpfblättriger Ampfer), geringerer Düngerbedarf

Erosion: insb. auf steilen Hängen und Trittwegen

Abschwemmung: insb. auf Hängen mit verdichtetem Oberboden

Hangneigung

bis 40 %: für Kühe noch geeignet

40-60 %: für Jungvieh noch geeignet

60-80 %: nur für Schafe und Ziegen geeignet

Quelle: Dietl, 1987

Der Boden als Pflanzenstandort

Die Futterpflanzen stellen an den Boden folgende Ansprüche:

- Durchwurzelbarkeit, ausreichende Bodengründigkeit und entsprechender Feinbodenanteil
- Versorgung mit Wasser
- Versorgung mit Sauerstoff
- Versorgung mit Pflanzennährstoffen
- ausreichende Bodenwärme
- Schutz vor phytotoxischen Stoffen

Bodenfruchtbarkeit

- Natürliche, nachhaltige Fähigkeit eines Bodens, den Pflanzen als Standort zu dienen
- wird am Ertrag und an der Qualität der Ernte sowie an deren Schwankungen gemessen (Ertrags-sicherheit)

Begrenzende Faktoren:

Wärme-, Wasser-, Sauerstoffmangel; Wasserüberschuss; ungünstige Stoffkomposition; Schadstoffe; hoher mechanischer Eindringwiderstand; geringe Bodenmächtigkeit; geringer Feinbodenanteil; geringer Humusgehalt

Bodenfruchtbarkeit

- **Klima** (Temperatur, Niederschlagsmenge, -verteilung, -intensität, Länge der Vegetationsperiode, Sonnenscheindauer)
- **Boden** (Bodengründigkeit; Bodenskelettgehalt; Ausgangsmaterial der Bodenbildung; Durchwurzelbarkeit; Bodenart und -struktur; Lagerungsdichte; Wärme-, Wasser-, Lufthaushalt; Humusform, Humusmenge und Humusqualität; Menge, Verfügbarkeit und Nachlieferungsgeschwindigkeit von Nähr- und Schadstoffen im Ober- und Unterboden; Aktivität der Bodenorganismen; pH-Wert; Speicher-, Puffer- und Transformationsvermögen)
- **Bewirtschaftung** (Düngung, Bestandespflege, Nutzungsintensität)

Grenzertragsstandorte

- **starke Hangneigung**
- **hoher Steingehalt im oder auf dem Boden**
- **geringmächtiger Wurzelraum**
- **Grund-, Stau-, Hang- oder Überflutungswasser**

Humus

beeinflusst Bonität und Ertragspotential eines Standortes durch seine spezifischen Eigenschaften:

- **Nahrungs- und Energiequelle für heterotrophe Bodenorganismen**
- **Nährstoffträger (insb. N- und S-Speicher)**
- **Wasser- und Stoffspeicher (Sorbent mit pH-abhängiger Oberflächenladung), Energiespeicher**
- **Elektronendonator, Komplexbildner, Puffersubstanz (Säure- und Basenneutralisationskapazität)**
- **trägt zur Ausbildung einer günstigen Bodenstruktur bei (Krümelstruktur)**

Humus

- **erhöht biologische Aktivität im Boden**
- **erhöht insb. bei sandigen Böden die Austauschkapazität, Aggregatstabilität, das Porenvolumen und die Wasserspeicherkapazität und verbessert bei tonreichen Böden den Gashaushalt (Luftkapazität)**
- **schützt vor Al- und Schwermetall-Toxizität durch metallorganische Komplexbildung und erhöht die Belastbarkeit der Böden mit pot. Schadstoffen**
- **vermindert die Lagerungsdichte und erhöht die Porosität eines Bodens (bessere Luft- und Wasserdurchlässigkeit)**
- **vermindert Verdichtungsempfindlichkeit (höhere mechanische Belastbarkeit)**

Organische Primärsubstanz

- Kohlenstoff ist im bodenbildenden Festgestein und Lockersediment nicht oder nur geringfügig enthalten und wird daher durch Verwitterung kaum angereichert
- Der Kohlenstoffeintrag mit dem Niederschlag ist relativ gering



Eine Kohlenstoffanreicherung erfolgt im regelmäßig bewirtschafteten Grünlandboden vor allem durch Zersetzung von abgestorbenen Wurzeln und Wurzelteilen sowie durch Zufuhr von Wirtschaftsdünger (Mist, Kompost)

Humus

Humusgehalt, -menge und -form sind abhängig von:

- **Seehöhe**
- **Relief**
- **Klima (Temperatur, Niederschlag)**
- **Bodenwasserhaushalt**
- **Bodenart, -typ, -skelettgehalt (Grobanteil), Gründigkeit**
- **Vegetation (Art und Menge der ober- und unterirdischen Bestandteile, räumliche Verteilung der Wurzelmasse im Boden)**
- **Art, Dauer und Intensität der historischen sowie gegenwärtigen Nutzung**
- **Düngung (Art, Menge)**

Humusform

Hinweis für biologischen Bodenzustand

Rohhumus: ungünstige Zersetzungsbedingungen; langsame Stoffkreisläufe; Anhäufung wenig zersetzter Pflanzenreste; unter Wald und Zwergsträuchern

Moder: mäßige Zersetzungsbedingungen; unter Wald und Zwergsträuchern

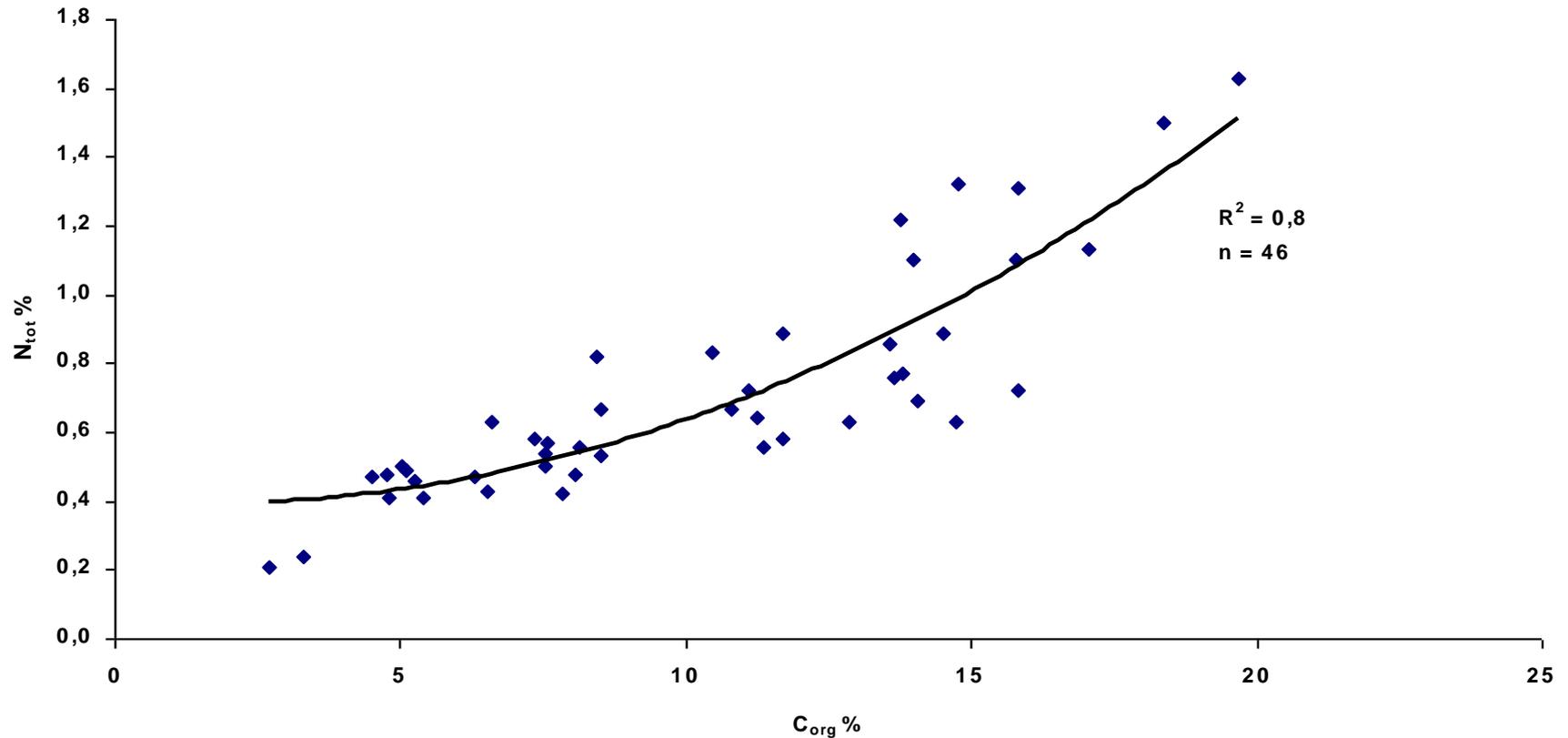
Mull: günstige Zersetzungsbedingungen; rasche Stoffkreisläufe; beste Humusform; unter Grünland und Acker

Humusform

Anmoor-Humus: das Grundwasser reicht zeitweilig bis in den Humushorizont; 10-30 % organische Substanz; mehr als 30 cm mächtig; feuchte bis mäßig nasse Standorte

Torf: entsteht unter starkem Einfluss von Grundwasser; weder plastisch noch klebend; mehr als 30 % organische Substanz; mehr als 30 cm mächtig; nasse Standorte

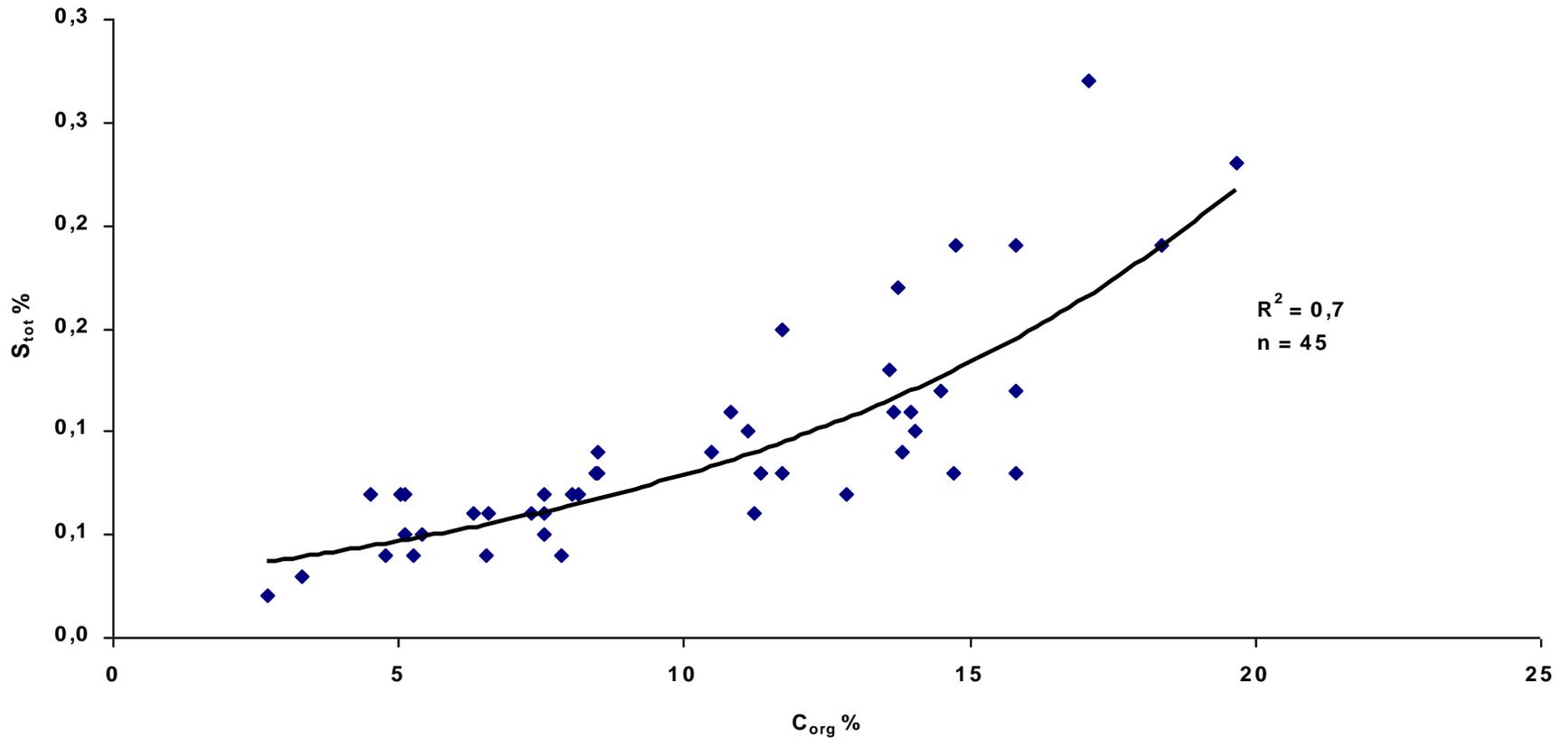
Beziehung C_{org} - N_{tot}



Andreas Bohner
Abteilung für Umweltökologie

HBLFA
Raumberg-Gumpenstein
Landwirtschaft

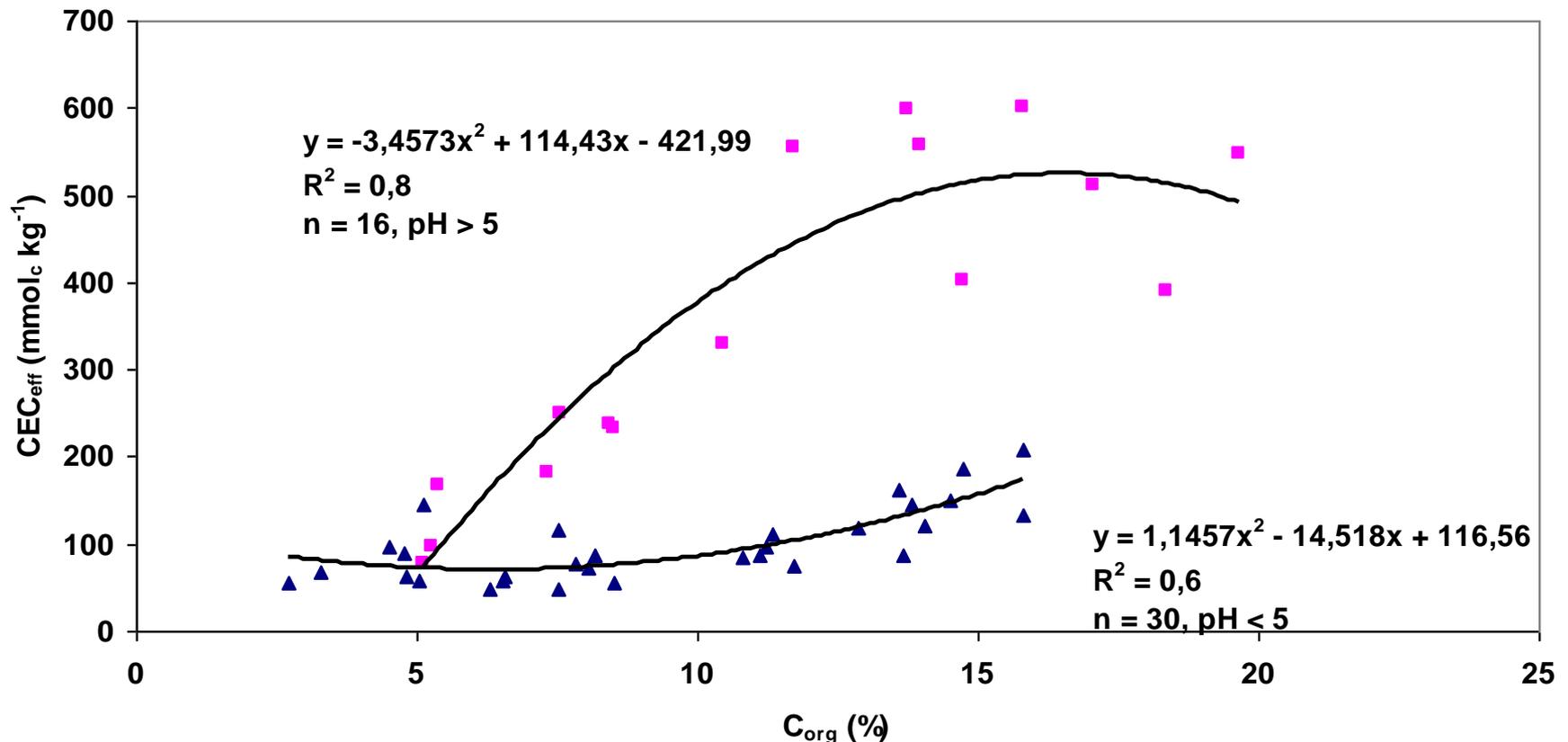
Beziehung C_{org} - S_{tot}



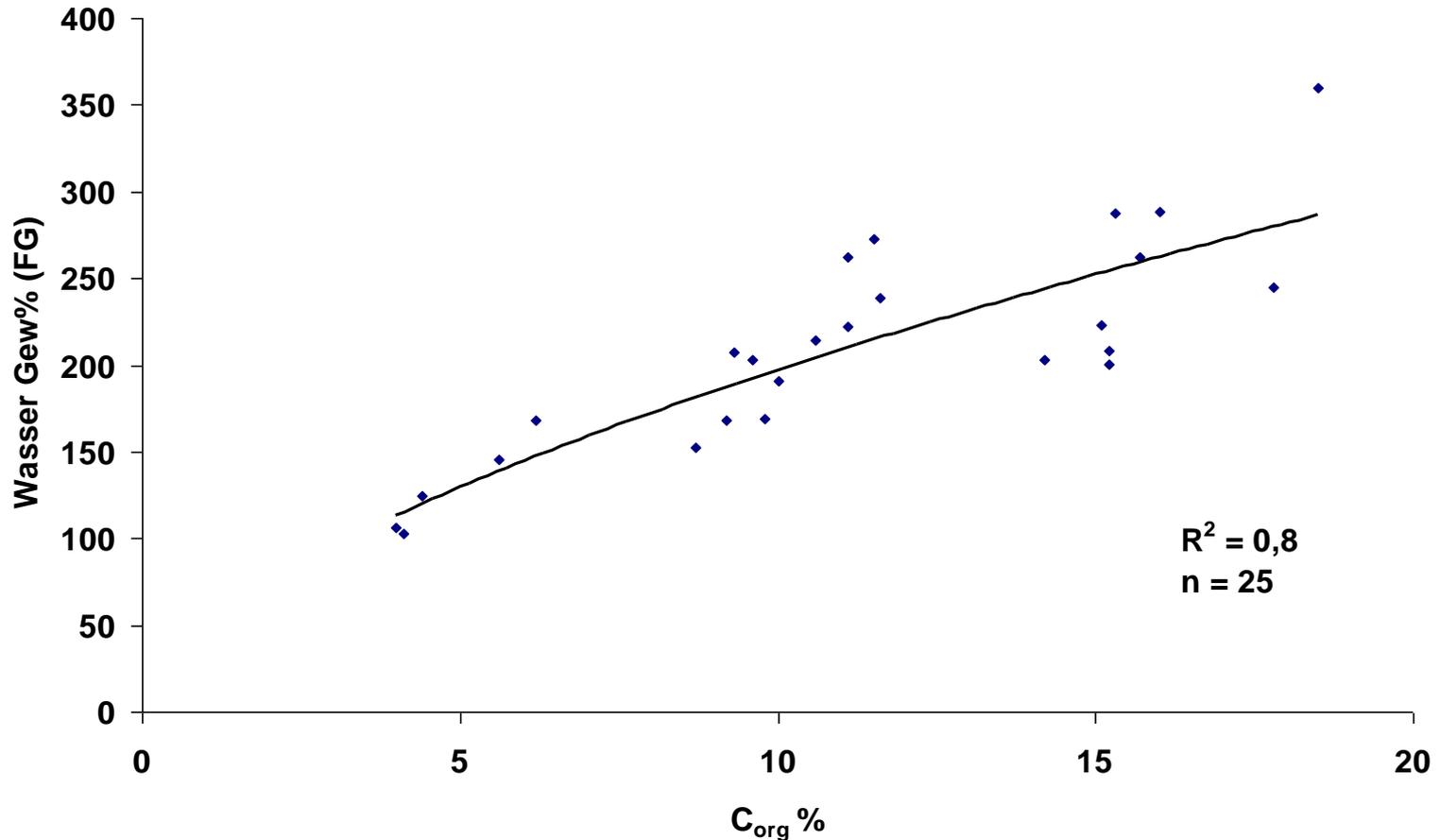
Andreas Bohner
Abteilung für Umweltökologie

HBLFA
Raumberg-Gumpenstein
Landwirtschaft

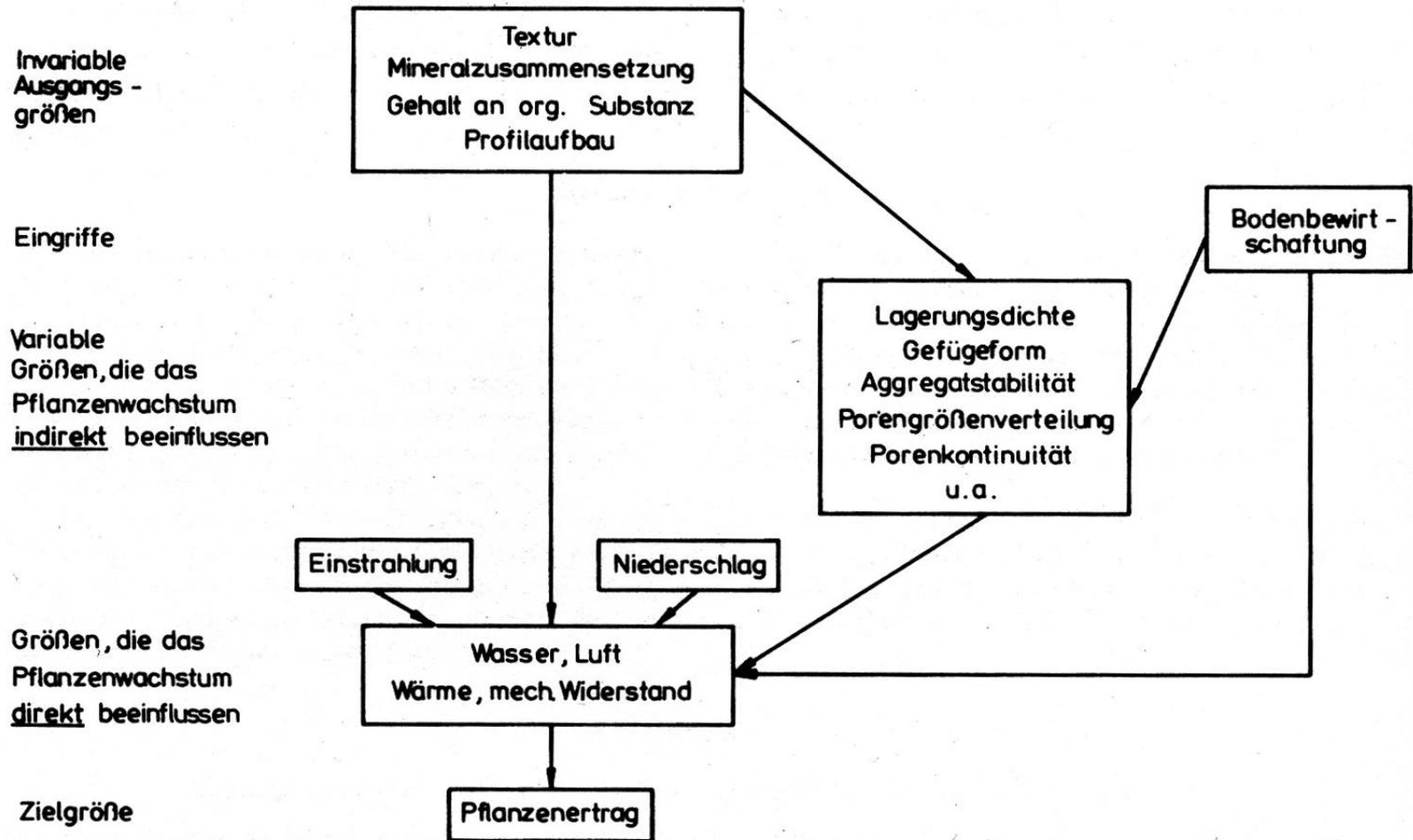
Beziehung zwischen C_{org} und effektiver Kationenaustauschkapazität



Beziehung zwischen C_{org} und Wasserspeicherkapazität des Bodens



Zusammenhang zwischen bodenphysikalischen Faktoren und Pflanzenertrag (Quelle: Sommer/Hartge, 1991)



Bodenstruktur (Bodengefüge)

beeinflusst

- **Wärme-, Wasser- und Lufthaushalt des Bodens**
- **Lagerungsdichte, Porenvolumen, Porengrößenverteilung und Porenkontinuität**
- **Aufnahme, Speicherung und Versickerung von Niederschlags- und Schneeschmelzwasser**
- **Durchwurzelbarkeit**
- **Wasser- und Nährstoffverfügbarkeit für Pflanzen und Bodenorganismen**

Bodenstruktur (Bodengefüge)

beeinflusst

- **Aktivität der Bodenorganismen**
- **Pflanzenartenzusammensetzung, Futterertrag, Futterqualität**
- **Erodierbarkeit, Abschwemmungsgefahr, Grundwasserneubildung**

Bodenstruktur

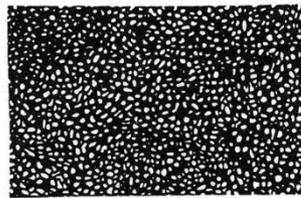
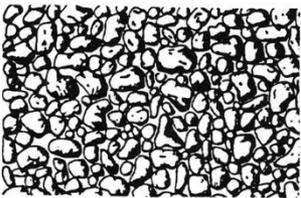
Indikator für die Nutzungsintensität im Grünland

Krümelung des Oberbodens: zentraler Beurteilungsfaktor

Einzelkornstruktur

Kohärenzstruktur

Grundformen
der
Bodenstruktur



a

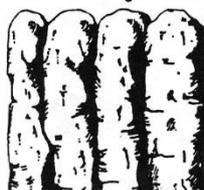
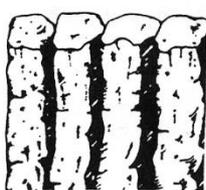
b

Aggregatstruktur

plattig

prismatisch-scharfkantig

prismatisch-kantengerundet



c

d

e

Dicke 1 - 50 mm

∅ 30 - 300 mm

∅ 30 - 300 mm

blockig-scharfkantig

blockig-kantengerundet

körnig



f

g

h

∅ 2 - 50 mm

∅ 5 - 30 mm

längster ∅ < 5 mm

Bodenfragmente

krümelig

Brückerl

Klumpen



i

k

l

∅ 1 - 10 mm

∅ < 50 mm

∅ > 50 mm

Strukturformen (Quelle: Bodenzustandsinventur, 1996)

Strukturformen

Günstig:

- poröse, lockere, feinaggregierte Krümelstruktur
- körnige (feinpolyedrische) Struktur in tonreichen Oberböden

Ungünstig:

- dichte, grobe Plattenstruktur

Generell gilt: Die Bodenstruktur ist umso ungünstiger zu beurteilen, je größer und dichter die Aggregate sind!

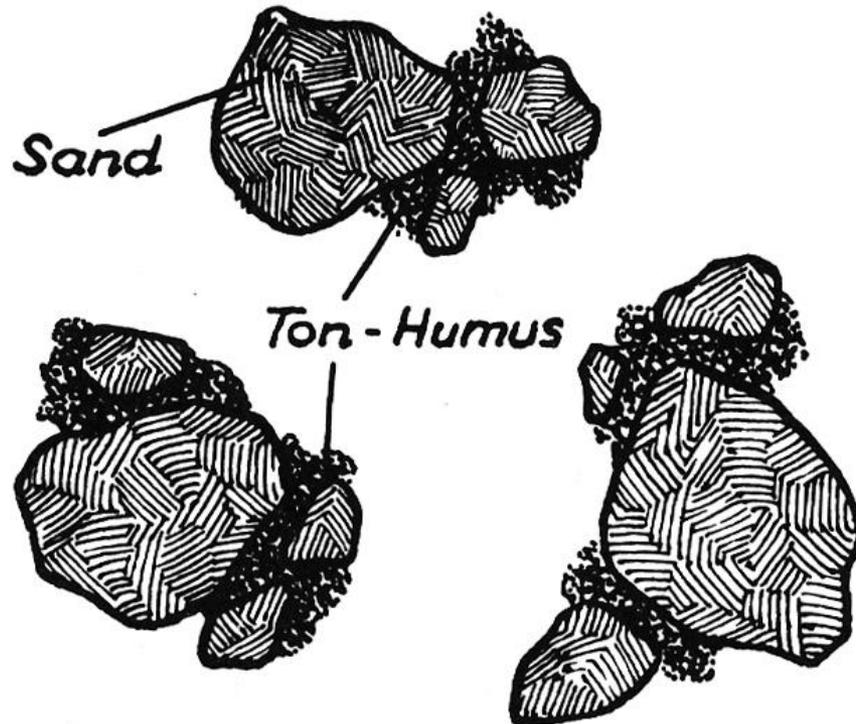
Bodengare: Lebendverbauung der Krümelstruktur durch die Bodenorganismen; optimaler Strukturzustand; erfordert intensives Bodenleben

Die Strukturstabilität (Widerstand gegen plastische Verformung, Beständigkeit von Bodenaggregaten) wird beeinflusst bzw. gefördert durch:

- **Organische Substanz (insb. Vegetationsrückstände, organische Dünger; Polysaccharide)**
- **Kationenbelag der Sorbenten und Kationenzusammensetzung der Bodenlösung (Wertigkeit, effektiver Ionenradius)**
- **Salzkonzentration in der Bodenlösung (eL)**
- **Kalk, Kieselsäure, Al- und Fe-Oxide, Tonminerale**
- **Pflanzenwurzeln, Wurzelhaare, Pilzmycele, Bakterienkolonien (Lebendverbauung)**
- **Entwässerung**

Bauplan der Krümelstruktur (Quelle: Sekera, 1984)

Aggregate 1. Ordnung



Aggregat 2. Ordnung



Strukturschäden in Grünlandböden

- häufiges Befahren mit schweren landwirtschaftlichen Maschinen
- Befahren mit landwirtschaftlichen Maschinen zum falschen Zeitpunkt (nasse, unzureichend tragfähige Böden)
- zu frühe, zu häufige und zu lange Beweidung
- Beweidung steiler Hanglagen sowie feuchter und nasser Standorte (insb. mit Rindern)
- generell: bei nicht an den Standort angepasster Bewirtschaftung
- Verlust an Gefügestabilisatoren

Bodenart

beeinflusst

⇒ **Wärmehaushalt**

⇒ **Wasserhaushalt**

⇒ **Gashaushalt**

⇒ **Stoffhaushalt**

⇒ **Durchwurzelbarkeit**

⇒ **Lagerungsdichte, Porenvolumen, Porengrößenverteilung**

⇒ **Verdichtungsempfindlichkeit, Trittfestigkeit, Befahrbarkeit**

Sandboden

geringes Speichervermögen für pflanzenverfügbares Wasser; gute Wasserführung; geringer Kapillarhub; rel. geringes Gesamt-PV; hoher Anteil an Grobporen; günstiger Gashaushalt; rasche und starke Erwärmung im Oberboden; hohe Neigung zur Oberbodentrockenheit; rel. hohe Mineralisierungsintensität und relativ niedriger Humusgehalt; niedrige Nährstoffreserven und geringes Stoffbindungsvermögen; aufgrund rascher und starker Erwärmung sowie guter Durchlüftung intensiver Stoffumsatz mit geringer Neigung zur Verunkrautung; gut geeignet für Weide- und Mähweidenutzung aufgrund rel. geringer Trittempfindlichkeit; längere Weideperiode vor allem durch früheren Auftrieb; gute Durchwurzelbarkeit

Tonboden

hohe Wasserspeicherkapazität; schlechte Wasserführung; höherer Anteil an nicht pflanzenverfügbarem Wasser; hohes Gesamt-PV; geringer Anteil an Grobporen; zeitweise ungünstiger Gashaushalt; ausgeprägte Neigung zur Wechselfeuchtigkeit; intensives Quellen und Schrumpfen; aufgrund hoher Wasserspeicherkapazität rel. langsame und geringe Erwärmung im Oberboden; infolge relativ geringer Mineralisierungsintensität höherer Humusgehalt; i.a. hohe Nährstoffreserven und hohes Stoffbindungsvermögen; potentiell hohes K-Fixierungsvermögen; aufgrund langsamer und geringerer Erwärmung sowie zeitweise schlechter Durchlüftung gehemmter Stoffumsatz mit hoher Neigung zur Verunkrautung; schlecht geeignet für Weide- und Mähweidenutzung aufgrund zeitweise hoher Trittempfindlichkeit; kürzere Weideperiode vor allem durch verspäteten Auftrieb

Schluffboden

hohe Neigung zur Dichtlagerung, Verschlämmung und zum Wasserstau; hohe kapillare Wasserleitfähigkeit; hohe Speicherkapazität für pflanzenverfügbares Wasser infolge hohem Anteil an Mittelporen; ungünstiger Gashaushalt; leichte Erodierbarkeit (anfällig gegen Wasser- und Winderosion); häufige Eislinsenbildung infolge hoher Wasserleitfähigkeit; potentiell hohes K-Fixierungsvermögen; schlecht geeignet für Weide- und Mähweidenutzung aufgrund hoher Neigung zur Dichtlagerung und Krumpseudovergleyung

Allgemein gilt: je einseitiger die Bodenart zusammengesetzt ist, desto ungünstiger (günstig: sL)

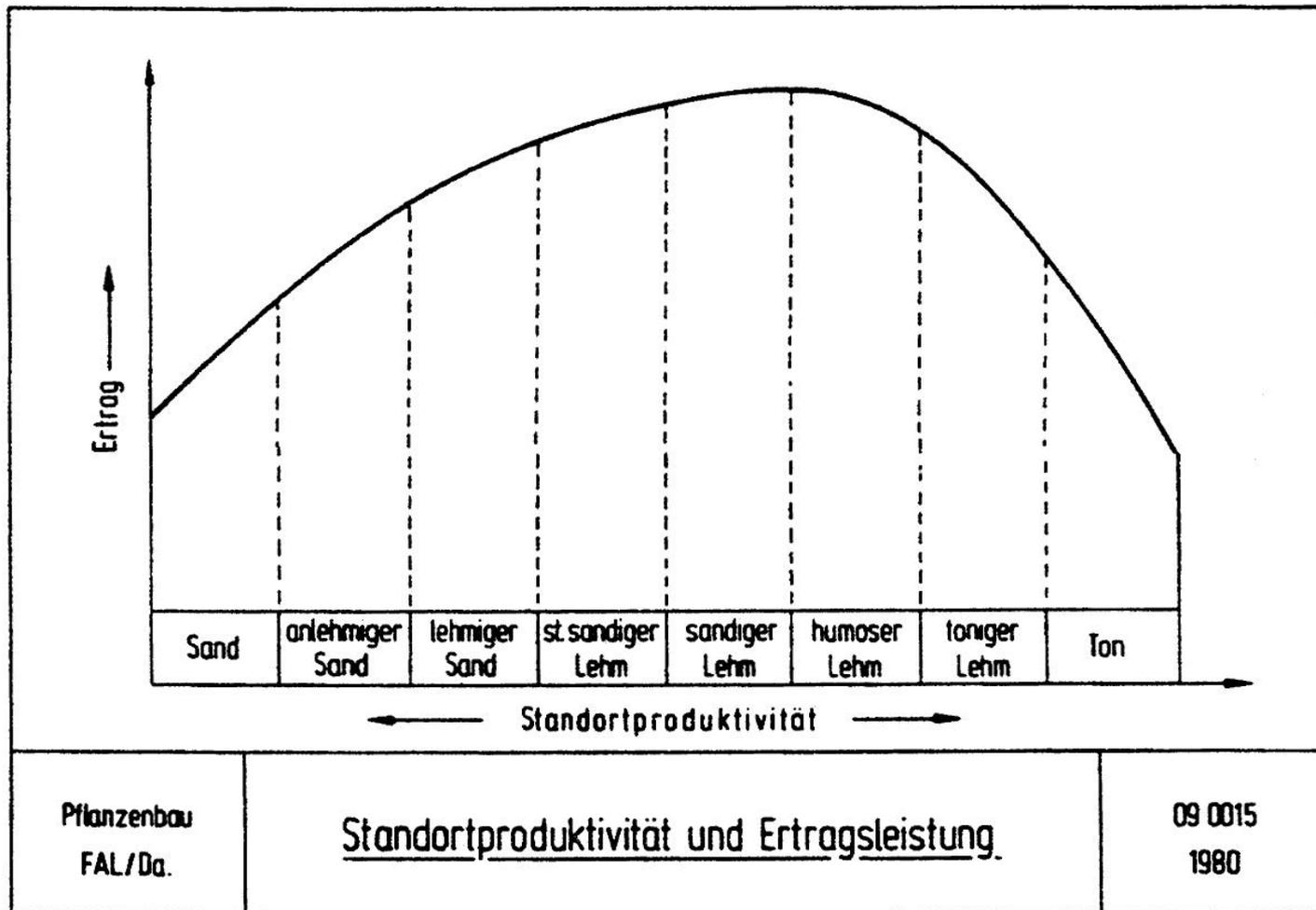
Bodenskelett

Bodenskelettgehalt (Grobanteil des Bodens, > 2 mm) und effektive Bodentiefe (Gesamtvolumen des Bodens das durchwurzelt werden kann) bestimmen neben der Bodenart und Humusmenge die Speicherkapazität des Bodens für Wasser und Nährstoffe in pflanzenverfügbare Form.

Bodenskelett vermindert bei hohen Mengen im Boden den durchwurzelbaren Bodenraum, reduziert das Wasser- und Nährstoffangebot, verbessert die Bodenerwärmung, begünstigt die Lockerung des Bodens.

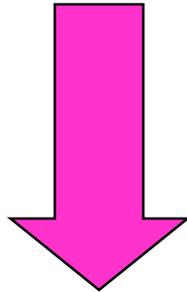
hoher Bodenskelettgehalt ⇒ weniger nachteilig in feintexturierten Böden als in sandigen Böden

Ertrag in Abhängigkeit von der Bodenart



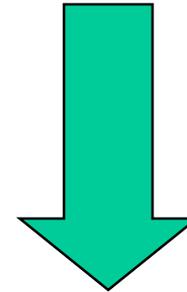
Generell gilt für das Grünland:

**warme, trockene
Gebiete**



günstig: tonreicher Boden

**kühle, niederschlags-
reiche Gebiete**



**günstig: sandiger,
skelettreicher Boden**

Tritt

- **direkte mechanische Schädigung der Pflanzen**
- **Narbenschäden (Lücken)**
- **Oberbodenverdichtung und Staunässe**

Die Tragfähigkeit bzw. Trittfestigkeit der Böden (Trittschäden) hängt ab von:

- **Bodenart**
- **Bodenfeuchtigkeit, Grundwasserstand**
- **Ausmaß der Vorbelastung des Bodens**
- **Hangneigung**
- **Art und Intensität der Beweidung**

Kritische Zeiten: Frühjahr, Herbst, langanhaltende Regenperioden

Besonders empfindlich: Anmoor- und Moorböden

Bodenverdichtung

- **Art der Belastung (Tritt, Befahrung)**
- **Zeitliche Dauer und Häufigkeit der Belastung**
- **Radlast, Gewicht der Weidetiere**
- **Verdichtungsempfindlichkeit des Bodens**

Bodenverdichtung durch Befahrung

- **entscheidend ist Radlast**
- **Breitreifen reduzieren nicht die Radlast, sondern sie verteilen die Last auf ein größeres Bodenvolumen**
- **Die Tiefenwirkung des Raddrucks hängt von der Last und von der Häufigkeit der Druckeinwirkung ab (bei niedriger Radlast → Verdichtung des Oberbodens; bei hoher Radlast → auch Verdichtung des Unterbodens)**

Bodenverdichtung

Normalverdichtung:

Böden, die nie einer höheren Last ausgesetzt waren als ihrem Eigengewicht; lockere Böden

Überverdichtung:

Böden, die vorübergehend einer höheren Last als dem Eigengewicht ausgesetzt waren; häufig befahrene oder stärker betretene bzw. beweidete Böden

Bodenverdichtung

Merkmale und Wirkungen:

- **Erhöhung der Lagerungsdichte, Abnahme des Gesamtporenvolumens und des Anteils der luftführenden Grobporen, Unterbrechung der Porenkontinuität**
- **Verminderung der Infiltrationsrate von Regen- und Schneeschmelzwasser, Verschlechterung der Bodendurchlüftung (Sauerstoffmangel), erhöhte gasförmige Stickstoffverluste (Denitrifikation)**
- **in Hanglagen → Zunahme des Oberflächenabflusses (Erosion, Abschwemmung)**

Bodenverdichtung

Merkmale und Wirkungen:

- **Änderung der Bodenstruktur (plattige Struktur)**
- **u.U. Staunässebildung (Krumenpseudovergleyung)**
- **erhöhter mechanischer Eindringwiderstand für Pflanzenwurzeln (insb. bei abnehmender Bodenfeuchte)**
- **ungleichmäßige Durchwurzelung, geringere Durchwurzelungstiefe, gehemmtes Wurzelwachstum
→ verminderte Ausnützung von pot. pflanzenverfügbaren Wasser- und Nährstoffvorräten**

Bodenverdichtung

Merkmale und Wirkungen:

- **Hemmung der mikrobiellen Aktivität (Sauerstoffmangel, zu wenig Hohlräume)**
- **negative Veränderungen im Pflanzenbestand (Bodenverdichtungszeiger)**
- **bei Schadverdichtung: Abnahme der Erträge**

Bodenverdichtung

Regeneration (Bildung sekundärer Grobporen) kann erfolgen durch:

- Quellen und Schrumpfen \Rightarrow insb. in tonreichen Böden
- Bodenfrost (Eissprengung, Kammeis- und Eislinsenbildung) \Rightarrow insb. in wassergesättigten Böden
- grabende Bodentiere (insb. Regenwürmer)
- Pflanzenwurzeln
- anthropogene Bodenlockerung

(Hydro-, Kryo-, Bio- und Technoturbation)

Bodenverdichtung

Die Verdichtungsempfindlichkeit der Böden hängt vor allem ab von:

- Mineralzusammensetzung (sehr hoch bei Glimmer-reichem Muttergestein)
- Bodenart (sehr hoch bei schluffreichem Boden, gering bei tonreichem Boden)
- Humusgehalt (sehr hoch bei humusarmem Boden)
- Kationenbelag der Sorbenten (hoch bei hoher Alkali-Sättigung)
- Bodenwassergehalt (terrestrische Böden sind verdichtungsempfindlicher aber tragfähiger als hydromorphe Böden)

Bodenverdichtung

- **Ausmaß der Vorbelastung (gelockerte Böden sind verdichtungsempfindlicher und weniger tragfähig als verdichtete Böden)**
- **Vegetation, Bewurzelung (günstig: dichte, geschlossene Grasnarbe; Wurzelfilz)**

Bodenverdichtung

ist

besonders ungünstig:

in kühlen, niederschlagreichen Gebieten oder nassen Jahren; bei „feuchter“ topographischer Lage

durchaus günstig (wenn keine Schadverdichtung):

während Trockenperioden infolge höherer ungesättigter Wasserleitfähigkeit (bessere Wasserversorgung der Futterpflanzen)

Porosität

Poren: Hohlräume in und zwischen den einzelnen Aggregaten

Makroporen: Regenwurmröhren, abgestorbene Wurzelgänge, Schrumpfrisse (hauptsächlich in tonreichen Böden)

Regenwurmröhren:

- rasche Versickerung von Niederschlags- und Schneeschmelzwasser (Verminderung des Erosionsrisikos)
- Durchlüftung des Bodens
- Leitbahnen für Pflanzenwurzeln

Makroporen: bes. wichtig in kühlen, niederschlagreichen Gebieten

Kennzeichnung der Lagerungsdichte (d_B) von Mineralböden

d_B (g cm ⁻³)	Bewertung
< 0,8	sehr gering
0,8 - 1,25	gering
1,25 - 1,50	mittel
1,50 - 1,75	hoch
> 1,75	sehr hoch

Quelle: Schlichting/Blume/Stahr, 1995

Schwankungsbereiche von Lagerungsdichte (d_B), Porenvolumen (PV) und Porenziffer (PZ) in Mineralböden (C-Gehalt bis 2 %)

	d_B (g cm ⁻³)	PV (%)	PZ
Sande	1,16 - 1,70	56 - 36	1,27 - 0,56
Schluffe	1,17 - 1,63	56 - 38	1,27 - 0,62
Lehme	1,20 - 2,00	55 - 30	1,22 - 0,43
Tone	0,93 - 1,72	65 - 35	1,85 - 0,54

Quelle: Scheffer/Schachtschabel, 1998

Je höher der Tongehalt, desto niedriger sollte die Lagerungsdichte sein!

Gashaushalt des Bodens

beeinflusst

- **Wurzel- und Sprosswachstum der Pflanzen**
- **Zusammensetzung und Aktivität des Edaphons**
- **Humusmenge und Nährstoffkreislauf**
- **Nitrifikation und Denitrifikation**
- **Redoxreaktionen**
- **Stoffkomposition etc.**

Gashaushalt des Bodens

Die Menge und Zusammensetzung der Bodenluft ist abhängig von

- Porenvolumen, -größenverteilung, -kontinuität
- Wassergehalt des Bodens
- Bodentemperatur, Druck in der Gasphase
- Atmung der Pflanzenwurzeln, Lebenstätigkeit des Edaphons
- chemische Reaktionen im Boden
- Bodentiefe

Gashaushalt des Bodens

Luftvolumen: Gesamt-Porenvolumen – Wasservolumen

Luftkapazität: Luftvolumen bei Feldkapazität

Optimum der Luftkapazität des Bodens für das Pflanzenwachstum: 8-12 Vol% Porenvolumen

Optimaler O₂-Gehalt der Bodenluft: ca. 10 %

Optimaler CO₂-Gehalt der Bodenluft: 1-2 %

Gashaushalt des Bodens

Indikatoren für Sauerstoffmangel (schlechte Durchlüftung) im Boden:

- **grauer Reduktionshorizont, Verfahlung und Ausbleichung**
- **Rost- und Reduktionsflecken, Roströhren, Konkretionen**
- **üble Gerüche (insb. durch H_2S)**
- **dichte, grobe, plattige Struktur**
- **Krusten**

- **ungleichmäßige Durchwurzelung (wurzelfreie Zonen)**
- **horizontal verlaufende oder sogar aufwärtswachsende Wurzeln**
- **unverrottete organische Reste**

Diagnostische Merkmale für gute Bodendurchlüftung:

- Regenwurmröhren
- Wurzelgänge
- Risse und Spalten
- gleichmäßige Durchwurzelung
- poröse, lockere, feinaggregierte, krümelige Struktur
- Erdgeruch

Bodentemperatur

beeinflusst

- **alle chemischen, biologischen und viele physikalische Prozesse im Boden**
- **Geschwindigkeit der Stoffkreisläufe (Stofffreisetzung)**
- **Nährstoffverfügbarkeit**
- **Wasser- und Nährstoffaufnahme der Pflanzenwurzeln**
- **Wurzeltiefgang**
- **Keimung der Samen (Frostkeimung, Stratifikation)**

Bodentemperatur

beeinflusst

- **Wachstum der Pflanzen**
- **Mikroorganismen- und Enzymaktivität im Boden**
- **Beginn und Länge der Vegetationsperiode**
- **Beginn und Länge der Weideperiode**

Spezifische Wärmekapazität: Wärmemenge, die benötigt wird, um 1 Volumeneinheit Boden um 1 Wärmeinheit zu erwärmen; sehr stark vom Wassergehalt des Bodens abhängig (Wasser > Luft)

Wärmeleitfähigkeit: Wärmemenge, die durch einen Querschnitt von 1 cm² unter einem Gradienten von 1 K cm⁻¹ in einer Sekunde fließt

abhängig von Bodenart (Ton > Sand > Torf), Wassergehalt des Bodens (feuchte Böden leiten besser als trockene), Luftgehalt des Bodens (verdichtete Böden sind gute, lockere Böden schlechte Wärmeleiter)

Bodenwärmestrom: entsteht bei einem Temperaturgradienten im Boden und ausreichender Wärmeleitfähigkeit

Bodentemperatur

ist abhängig von

- **Sonneneinstrahlung (geogr. Breite, Seehöhe, Jahres-, Tageszeit, Witterung, Exposition, Hangneigung)**
- **Bodenfarbe**
- **Bodenwassergehalt**
- **Bodenart**
- **Porenvolumen und Porengrößenverteilung**
- **Vegetation**
- **Schneedecke**

Dunkle Böden - helle Böden

Dunkle Böden erwärmen sich stärker als helle Böden (größere Strahlungsabsorption, geringere Albedo)

Feuchte Böden - trockene Böden

Feuchte Böden erwärmen sich tagsüber an der Oberfläche langsamer und weniger stark als trockene Böden; sie kühlen nachts weniger stark ab. Feuchte Böden leiten die Wärme besser in die Tiefe, sie verbrauchen mehr Wärme für die Verdunstung, sie haben ein größeres Wärmespeichervermögen, geringere Bodentemperaturamplituden sowie ein verzögertes Wachstum im Frühjahr und einen verspäteten Vegetations- und Weidebeginn.

Leichte Böden - schwere Böden

Leichte Böden erwärmen sich an der Oberfläche rascher und stärker als schwere Böden (geringere Wärmeleitung und Verdunstungskälte); sie kühlen in der Nacht stärker aus und haben größere Bodentemperaturamplituden. Leichte Böden beginnen bei gleichem Wassergehalt früher zu gefrieren als schwere Böden.

Lockere Böden - verdichtete Böden

Lockere Böden erwärmen sich an der Oberfläche rascher und stärker als verdichtete Böden (geringere Wärmeleitung und Verdunstungskälte); sie kühlen in der Nacht stärker aus und haben größere Bodentemperaturamplituden. Verdichtete, krumenwechselfeuchte Böden verbrauchen während der Nassphase viel Wärme für die Verdunstung.

Mit Pflanzen bewachsene Böden-vegetationslose Böden

Mit Pflanzen bewachsene Böden erwärmen sich am Tag langsamer und weniger stark als vegetationslose Böden, weil die oberirdische Phytomasse Strahlungsenergie absorbiert und vergleichsweise weniger Strahlungsenergie bis zur Bodenoberfläche gelangt; sie kühlen in der Nacht langsamer und weniger stark aus (ausgleichende Wirkung einer Pflanzendecke, geringere Bodentemperaturamplituden)

Schneedecke

Schnee ist ein schlechter Wärmeleiter; der Boden unter einer ausreichend hohen Schneedecke weist Temperaturen um oder wenig unter 0 °C auf

Nasse Moorböden

Die relativ hohe spezifische Wärmekapazität und die Verdunstungskälte haben im Frühjahr eine langsame Erwärmung und einen verspäteten Vegetationsbeginn zur Folge.

Trockene Moorböden

Die relativ geringe spezifische Wärmekapazität und die relativ geringe Wärmeleitfähigkeit bewirken am Tag eine starke Erwärmung der Bodenoberfläche; die Nacht- und Spätfrostgefahr ist groß.

Mulchdecke, Strohecke

gute Wärmeisolierung; geringere Tages- und Jahreschwankungen der Bodentemperatur, weil nachts die Wärmeverluste durch Ausstrahlung und tagsüber der Wärmegewinn durch Strahlungsabsorption geringer sind; sowohl die Erwärmung im Frühjahr als auch die Abkühlung im Herbst ist verzögert; die Bodenfeuchte bleibt höher

Mineralische Pflanzennährelemente

Makronährelemente: N, P, S, K, Ca, Mg

Mikronährelemente: Fe, Mn, Zn, Cu, B, Mo, Cl, Ni

Nützliche Elemente: Na, Si, Co

⇒ **Lebensnotwendige Elemente**

⇒ **Nützliche Elemente**

⇒ **Entbehrliche Elemente**

- Menge, Zusammensetzung, Verfügbarkeit

Nährstoffverfügbarkeit

Intensitätsfaktor: Stoffkonzentration in der Bodenlösung

Kapazitätsfaktor: Mobilisierbare Nährstoffreserven im durchwurzelten Boden

Quantitätsfaktor: Gesamtmenge eines Nährstoffs im Boden

Kinetikfaktor: Rate, mit der die Bodenlösung durch die Bodenfestphase wieder aufgefüllt wird (Desorption, Lösung, Mineralisation)

Massenfluss- und Diffusionsfaktor: Rate, mit der die Nährstoffe in der Bodenlösung zur aufnahmeaktiven Wurzel gelangen

Nährstoffverfügbarkeit

Pflanzenverfügbarkeit der Nährelemente im Grünlandboden und Nährstoffaufnahme der Pflanzen

- **Nährstoffkonzentration in der Bodenlösung**
- **Bodenwassergehalt (Transportrate der Nährelemente zu den Pflanzenwurzeln)**
- **Kapazität des Bodens zur Nährstoffnachlieferung (mobilisierbarer Nährstoffvorrat im durchwurzelten Boden, Freisetzungsgeschwindigkeit der Nährelemente aus dem verfügbaren Vorrat)**

Nährstofftransport zur Pflanzenwurzel

Massenfluss: $F_M = C_l \times v$

F_M = Massenfluss

C_l = Konzentration der Bodenlösung

v = Wasserflussrate zur Wurzel

Diffusion: $F_D = - D_l \times \theta \times f \times dC_l/dx + F_E$

F_D = Gesamtfluss durch Diffusion pro cm^2 Querschnitt des Bodens

D_l = Diffusionskoeffizient im Wasser

θ = volumetrischer Wassergehalt

f = Widerstandsfaktor

dC_l/dx = Konzentrationsgradient in der flüssigen Phase

F_E = Diffusionsfluss entlang der festen Phase

Der Nährstofftransport zur Pflanzenwurzel hängt vor allem von der Konzentration bzw. vom Konzentrationsgradient in der Bodenlösung, vom Bodenwassergehalt und von der Transpirationsrate der Pflanze ab.

Ein Boden hat dann eine ausreichende Verfügbarkeit eines Stoffes, wenn die Flussrate aus dem Boden zur Wurzel mindestens so groß ist wie die notwendige Aufnahmerate dieser Wurzel.

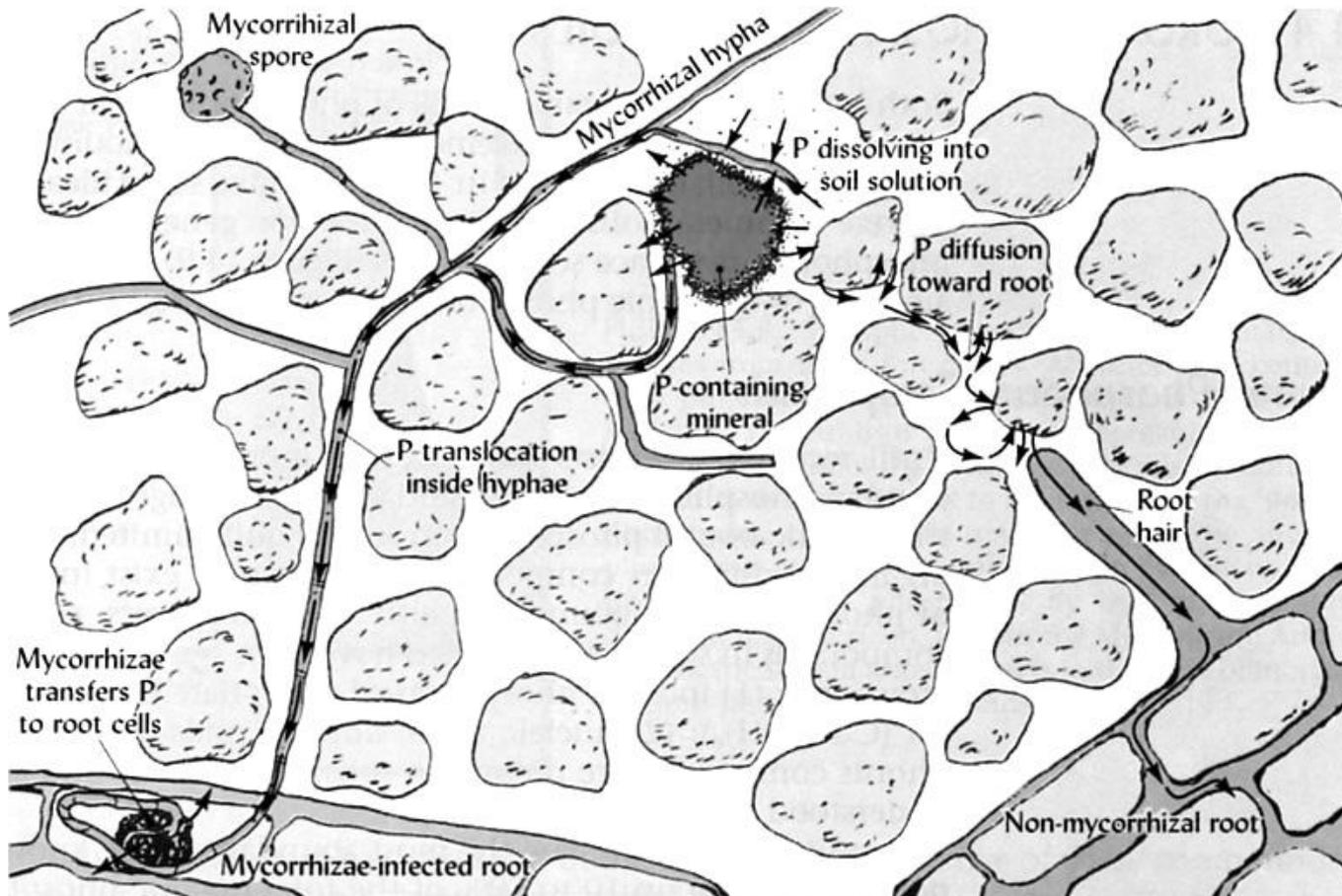
Nährstoffverfügbarkeit

Pflanzenfaktoren:

Wurzel-Spross-Verhältnis, Wurzellänge, Wurzelwachstumsrate, Größe der aufnahmeaktiven Wurzeloberfläche, Aufnahme rate pro Einheit Wurzellänge, Dauer der Aufnahmeaktivität der Einzelwurzel, Länge und Dichte der Wurzelhaare, Veränderung des Stoffzustandes in der Rhizosphäre durch lebende Pflanzenwurzeln (Versauerung der Rhizosphäre durch Abgabe von H^+ oder org. Säuren, Abgabe niedermolekularer org. Verbindungen mit komplexierenden und/oder reduzierenden Eigenschaften, selektive Stoffaufnahme), Symbiose der Wurzeln mit Pilzen

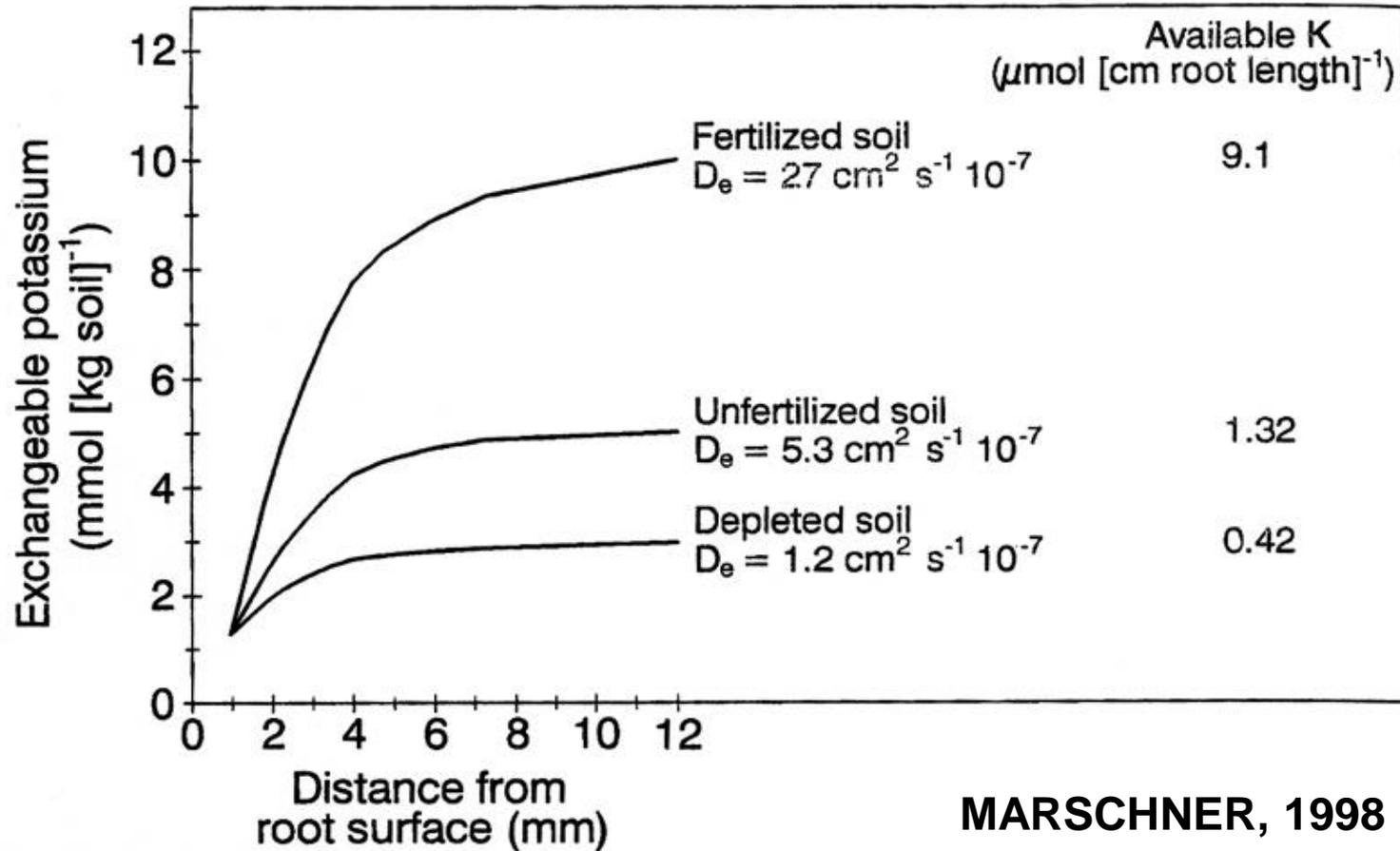
Wurzelinterzeption: gerichtetes Wurzelwachstum in Richtung der Bodenressourcen

Räumliche Nährstoffverfügbarkeit im Boden



Quelle: Brady & Weil,
1999

Nährstoffverfügbarkeit



Ionenkonkurrenz (Antagonismus)

- **Konzentration eines Nährelements in der Bodenlösung versus Aufnehmbarkeit dieses Nährelements durch die Pflanzen**
- **Auch das Verhältnis zwischen den verschiedenen Nähr- und Schadelementen ist für die Nährstoffaufnahme von Bedeutung**
- **Verringerte Aufnahme von Magnesium durch einen Überschuss an Kalzium oder Kalium**

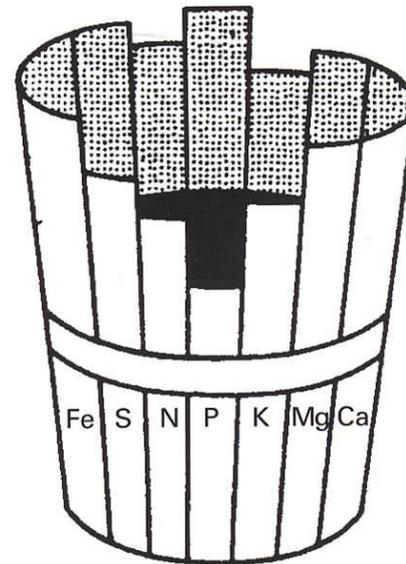
Gesetz des Minimums

Das Ertragspotenzial eines Standortes wird nur dann voll ausgeschöpft, wenn im Boden

- **alle lebensnotwendigen Nährelemente in ausreichenden Mengen und**
- **in einem harmonischen Verhältnis pflanzenverfügbar sind**

Gesetz des Minimums

Ein hoher Kalium-Gehalt im Grünlandboden führt zu keinem hohen Ertrag, wenn den Pflanzen gleichzeitig zu wenig aufnehmbare Stickstoff zur Verfügung steht.



maximale Füllhöhe
≙ Höhe des Ertrages

Quelle: Finck, 2007

Stoffzusammensetzung im Boden

Für die floristische Zusammensetzung des Pflanzenbestandes, den Futterertrag, die Futterqualität und die Effizienz der Düngung hat die Stoffzusammensetzung im Boden eine große Bedeutung. Ungünstige Stoffrelationen am Sorptionskomplex und in der Bodenlösung beeinträchtigen die Nährstoffaufnahme der Pflanzen und die Bodenstruktur.

Für das Pflanzenwachstum ist wichtig, dass der Boden alle erforderlichen Nährstoffe in einem ausgewogenen Verhältnis enthält (wichtig: Stoffgehalte und -relationen).

Stoffrelationen

Günstig:

Ca-Sättigung: 60-90 %

Mg-Sättigung: 5-15 %

K+Na-Sättigung: < 5 %

Al+Fe+Mn-Sättigung: < 10 % wobei Al-Sättigung: 0 %

Faktoren der Nährstoffverfügbarkeit im Grünlandboden

Entscheidende Faktoren sind:

- **Mobilisierbare Nährstoffmenge im durchwurzelten Boden (Humus- und Tongehalt, Mineralbestand, Eintrag, Austrag)**
- **Bodentemperatur und Bodenwasserhaushalt (Witterung)**
- **Mikroorganismen- und Enzymaktivität**
- **Kationen- und Anionenaustauschkapazität im Boden**

Faktoren der Nährstoffverfügbarkeit im Grünlandboden

Entscheidende Faktoren sind:

- **Boden-pH-Wert**
- **Bodenstruktur und Durchwurzelbarkeit des Bodens (mechanischer Eindringwiderstand, Durchlüftung, Bodenfruchtbarkeit)**
- **Pflanzenwurzeln**

pH-Wert

Maß für den Säuregrad des Bodens, Indikator für die Bodenfruchtbarkeit

pH-Wert beeinflusst

- **Löslichkeit der mineralischen Düngemittel**
- **Intensität der chemischen Verwitterung**
- **Löslichkeit und Bioverfügbarkeit von Nähr- und Schadstoffen**
- **Speicherung und Auswaschung von Nähr- und Schadstoffen**
- **indirekt die Bodenstruktur**

- **Bodenorganismen und mikrobielle Aktivität im Boden**
- **Nitratbildung im Boden**
- **gasförmige Stickstoff-Verluste durch Verflüchtigung von Ammoniak**
- **N₂-Fixierung durch Leguminosen**
- **indirekt das Pflanzenwachstum und die Artenzusammensetzung der Grünlandvegetation**

pH-Wert

$$\text{pH} = -\lg [\text{H}_3\text{O}^+]$$

pH	mol l ⁻¹		
	[H ₃ O ⁺]	[OH ⁻]	
8	10 ⁻⁸	10 ⁻⁶	alkalisch
7	10 ⁻⁷	10 ⁻⁷	neutral
6	10 ⁻⁶	10 ⁻⁸	sauer
5	10 ⁻⁵	10 ⁻⁹	sauer
4	10 ⁻⁴	10 ⁻¹⁰	sauer

Eine pH-Wert-Erniedrigung um eine Einheit bedeutet eine Verzehnfachung von [H₃O⁺]. pH 3 ist nicht doppelt so sauer wie pH 6, sondern tausendmal!

Säuren

Bodenversauerung \Rightarrow natürlicher Prozess; durch hohe Niederschläge und basenarme Gesteine/Böden begünstigt

Externe Säurequellen:

- **Zufuhr von physiologisch sauer wirkenden Düngemitteln**
- **Säureeintrag über den Niederschlag (reines Regenwasser: pH-Wert 5.6)**

Ökosysteminterne Säurequellen:

- **Atmung der Bodenorganismen und Pflanzenwurzeln ⇒ Kohlensäure**
- **Mikrobieller Abbau der organischen Substanz ⇒ Salpetersäure, Schwefelsäure, organische Säuren**
- **Kationen-Überschuss bei der pflanzlichen Nährstoffaufnahme**
- **Leguminosen (N_2 -Fixierung)**
- **Biomasse-Export (Ernte)**
- **Humusanreicherung**
- **Oxidationsprozesse im Boden**

Eine Säurebelastung entsteht vor allem dann, wenn die Rate der Nitrifikation im Boden (Salpetersäurebildung) die Rate der Nitrataufnahme der Pflanzen deutlich übersteigt (Bodenversauerung durch überhöhte N-Düngung).

Säurepufferungssystem

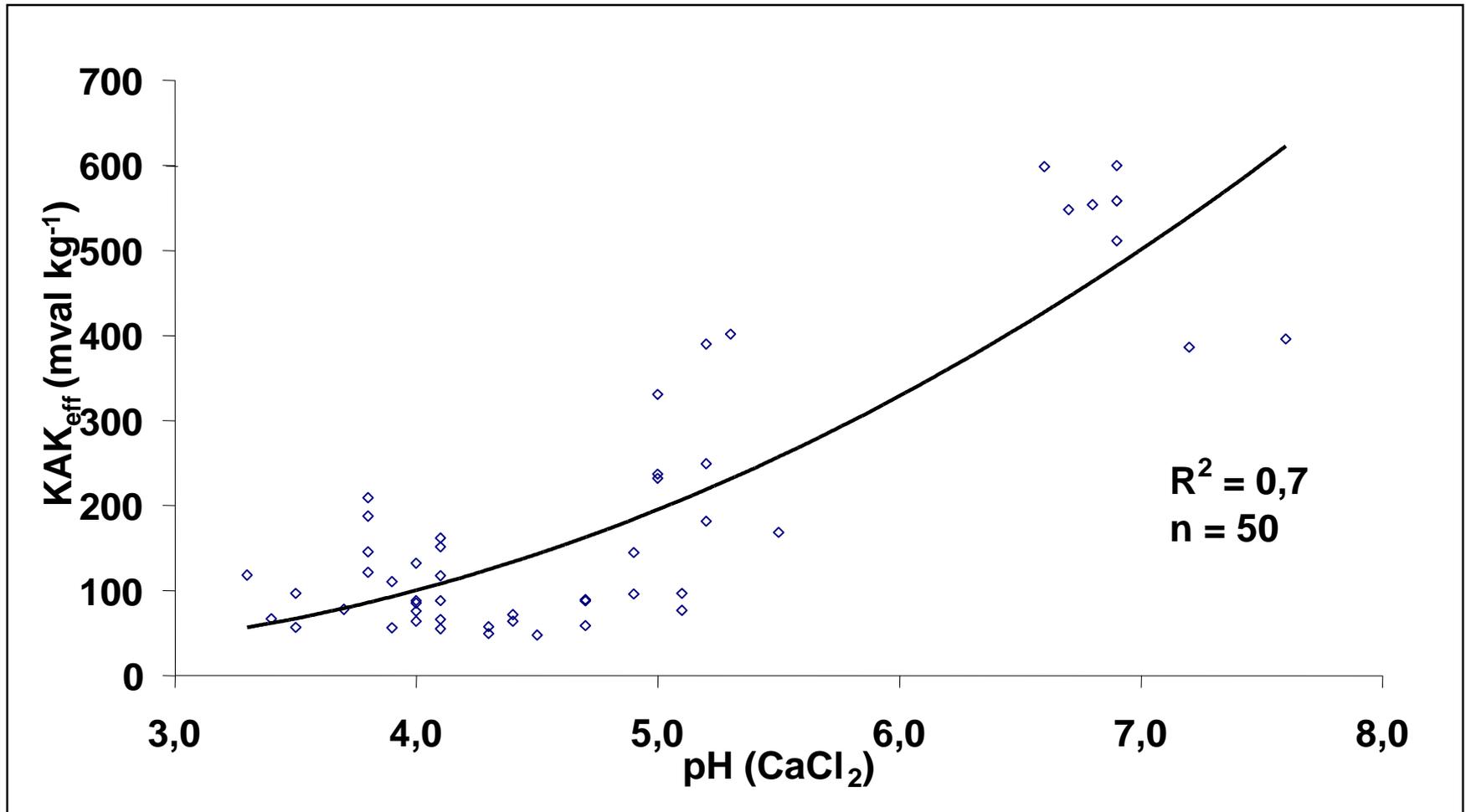
Unter einem Säurepufferungssystem versteht man ein chemisches System, das trotz Zufuhr von Säuren ihren pH-Wert in Grenzen konstant halten kann.

Ausmaß und Geschwindigkeit der Bodenversauerung hängen von der Rate der externen und ökosysteminternen Säurebelastung und von der aktuellen Pufferrate (Säureneutralisationskapazität) im Boden ab. Wenn die Rate der Säurebelastung größer wird als die aktuelle Pufferrate im Boden, kommt es zu einer pH-Abnahme. Bei gleicher Säurezufuhr nimmt der pH-Wert um so langsamer ab, je besser der Boden gepuffert ist.

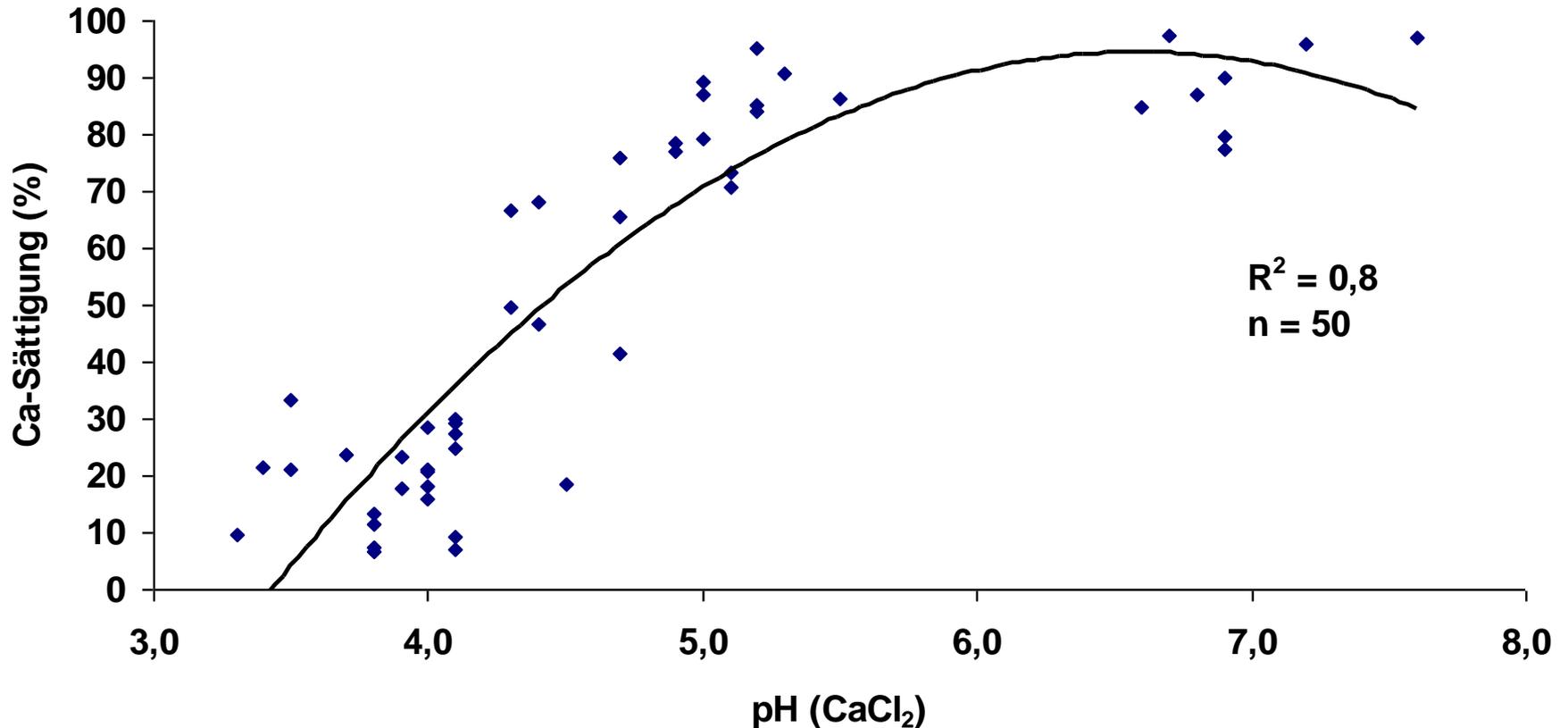
Säurepufferung durch

- **Mineralauflösung (Carbonate, Silikate, Oxide, Hydroxide)**
- **Kationenaustauschreaktionen (Huminstoffe; Tonminerale; Oxide, Hydroxide und Oxihydroxide des Al, Fe und Mn)**
- **Protonierung gelöster Protonenakzeptoren (anorganische und organische Anionen in der Bodenlösung)**

Beziehung pH-Wert - KAK_{eff}



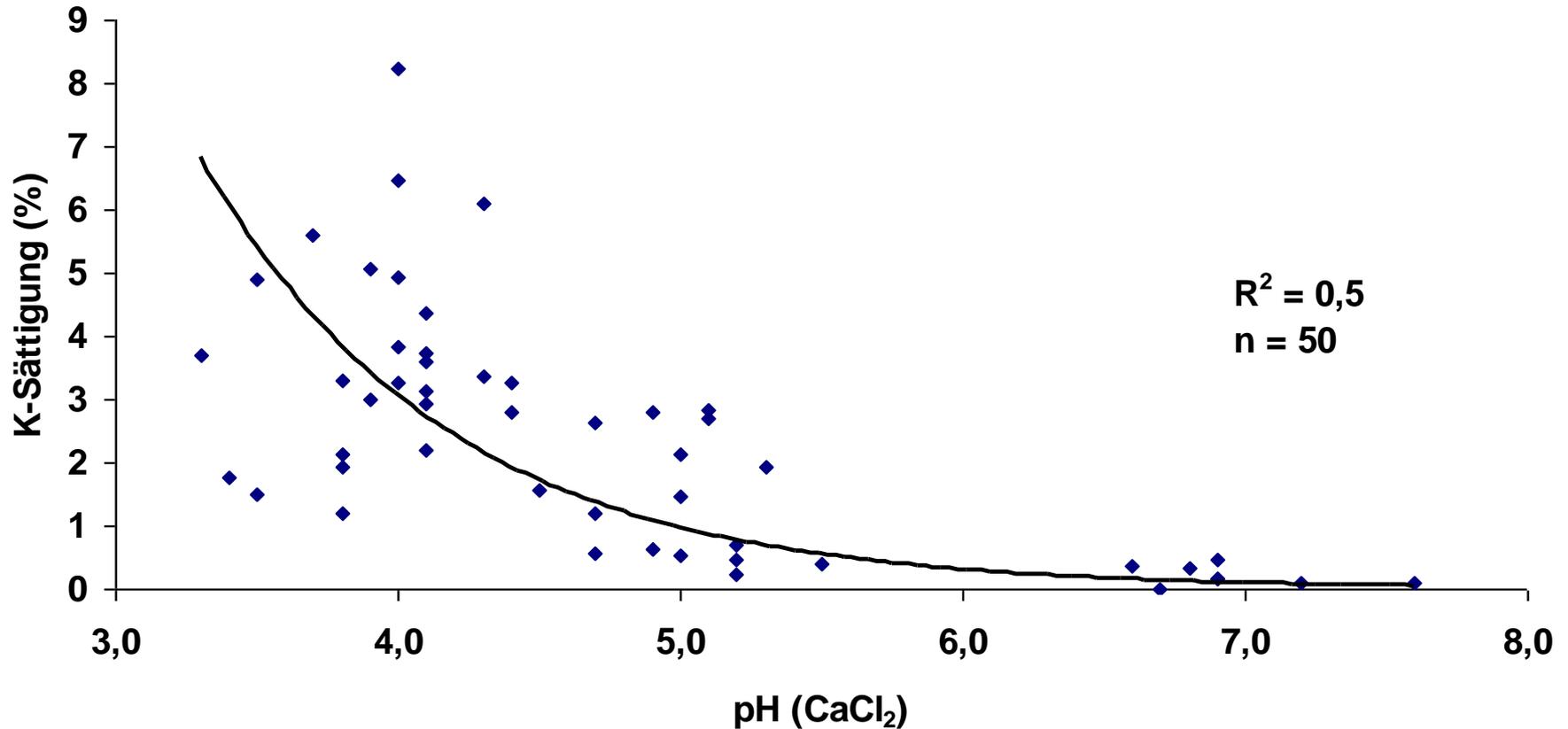
Beziehung pH-Wert - Ca-Sättigung



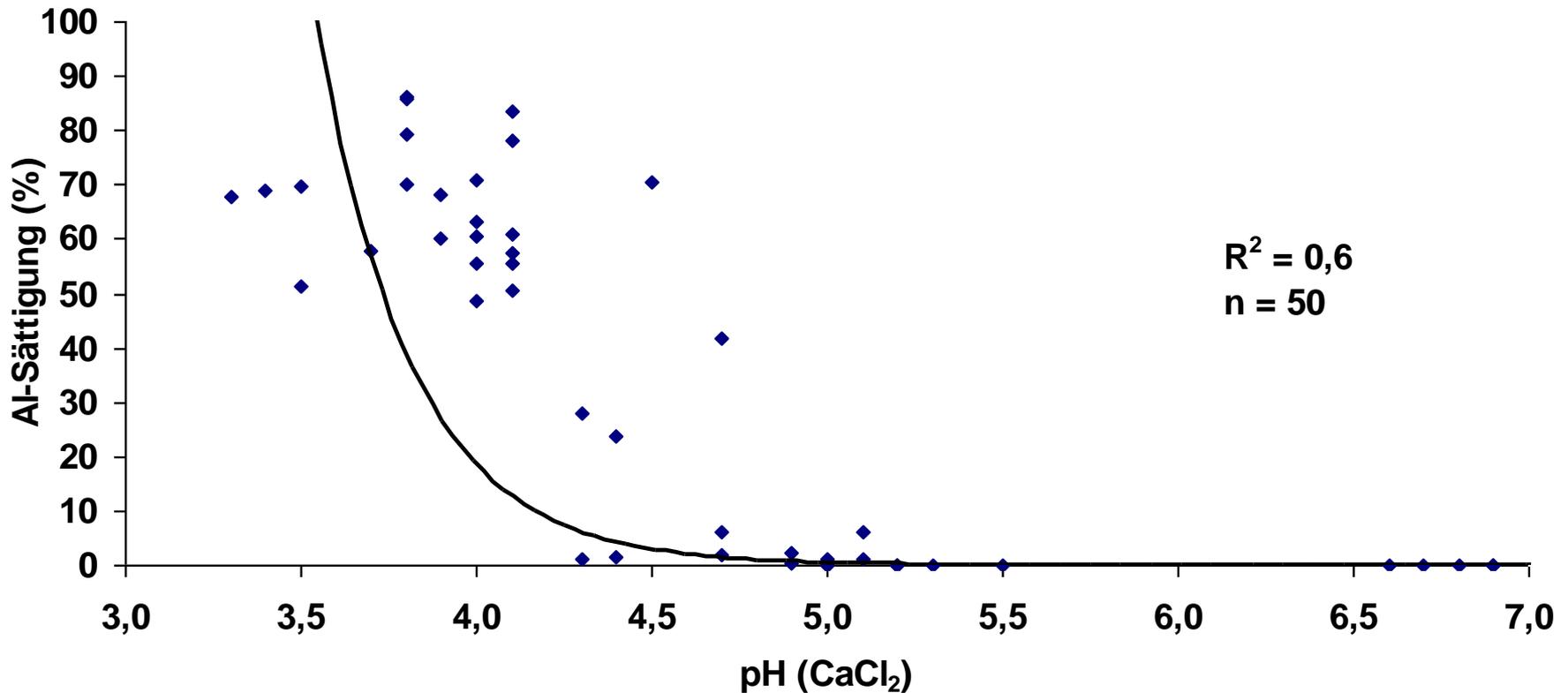
Andreas Bohner
Abteilung für Umweltökologie

HBLFA
Raumberg-Gumpenstein
Landwirtschaft

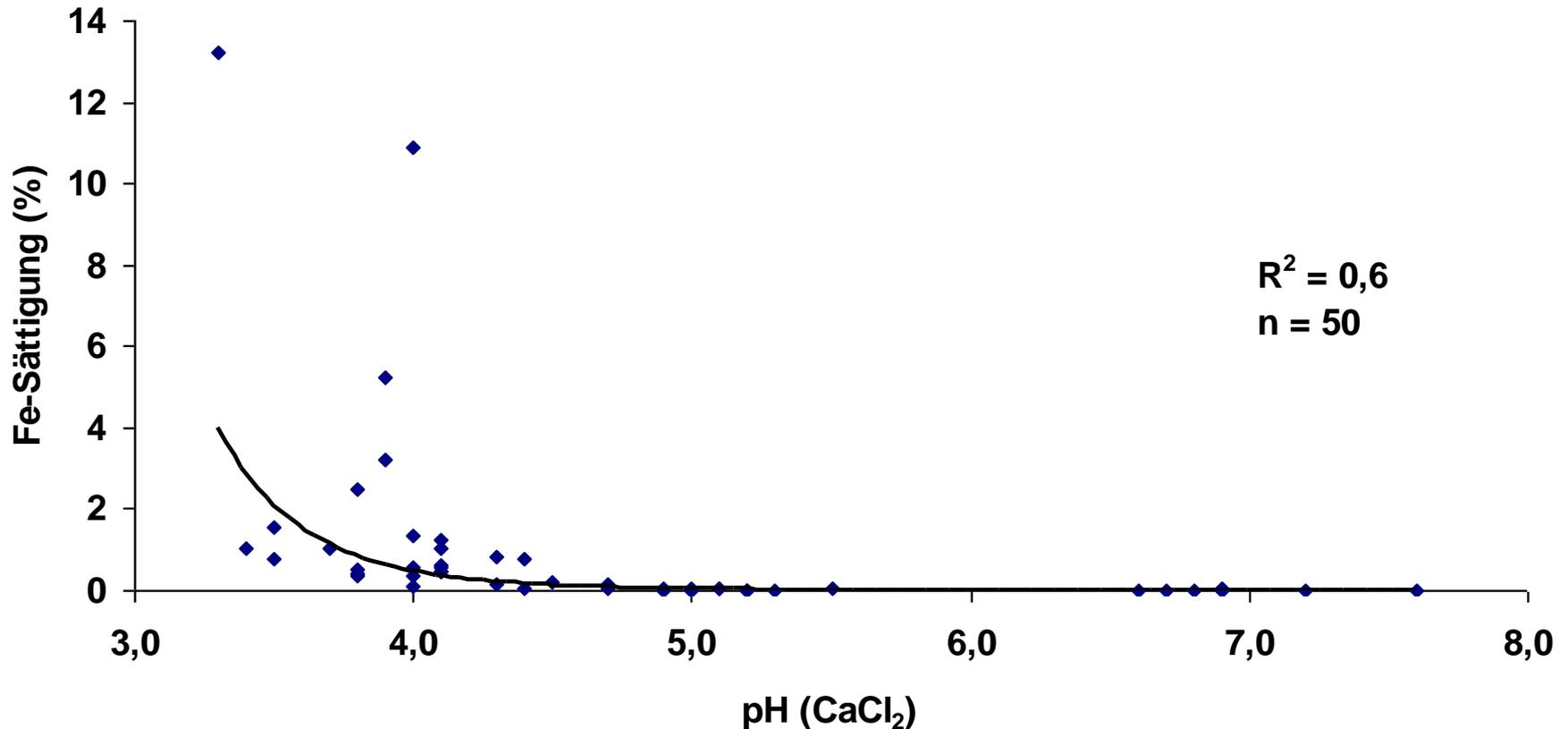
Beziehung pH-Wert - K-Sättigung



Beziehung pH-Wert - Al-Sättigung



Beziehung pH-Wert - Fe-Sättigung



pH-Pufferbereiche nach ULRICH, 1981

- ➔ **Karbonat-Pufferbereich (pH 6.2-8.3)**
- ➔ **Silikat-Pufferbereich (pH 6.2-5.0)**
- ➔ **Austauscher-Pufferbereich (pH 5.0-4.2)**
- ➔ **Aluminium- und Aluminium/Eisen-Pufferbereich (pH < 4.2)**

Karbonat-Pufferbereich (pH 6.2-8.3)

Im Boden sind Erdalkalicarbonate fein verteilt; i.a. dominiert Ca^{2+} am Sorptionskomplex und in der Bodenlösung; Al-Ionen treten in der Bodenlösung in messbaren Konzentrationen nicht oder nur in Form von Al-organischen Komplexen auf; i.a. niedrige P-Konzentration in der Bodenlösung; HCO_3^- ist das vorherrschende Anion in der Bodenlösung; die Salzkonzentration in der Bodenlösung ist hoch (i.a. hohe eL und Gefügestabilität); i.a. hohe SNK und vor allem bei humusreichen Böden hohe effektive KAK; ungünstig ist absoluter und relativer Ca^{2+} -Überschuss in der Bodenlösung und am Sorptionskomplex (starke individuelle Stoffdiskriminierung, Ionen-Antagonismus); im Pflanzenbestand dominieren basiphile Pflanzenarten.

Silikat-Pufferbereich (pH 6.2-5.0)

Die Stoffzusammensetzung in der Bodenlösung und am Sorptionskomplex ist ausgewogen (keine Stoffdisharmonien); calcifuge und basiphile Pflanzenarten können koexistieren; eine hohe floristische Artenvielfalt ist möglich; günstige Mineralstoffzusammensetzung im Futter; generell günstiger ökochemischer Stoffzustand.

Sollzustand der Grünlandböden im Hauptwurzelraum!

Austauscher-Pufferbereich (pH 5.0-4.2)

Die Stoffzusammensetzung in der Bodenlösung und am Sorptionskomplex ist noch relativ ausgewogen; mit Annäherung an den Al-Pufferbereich treten allerdings verstärkt potentiell phytotoxische Elemente, wie beispielsweise Al auf; vor allem im oberen Teil des Austauscher-Pufferbereichs können calcifuge und basiphile Pflanzenarten noch koexistieren.

Eine Kalkdüngung oder die Zufuhr basenreicher Gesteinsmehle ist bereits zu empfehlen!

Aluminium- und Aluminium/Eisen-Pufferbereich (pH < 4.2)

Geringe Ca²⁺- und Basen-Sättigung; i.a. hohe BNK und niedrige effektive KAK; hohe Al- bzw. Fe-Sättigung; Gefahr der H⁺-, Al- und Schwermetalltoxizität; relativer Alkali- und Sesquioxidüberschuss sowie komplementärer relativer Erdalkalimangel; Nährstoffstress für die Pflanzenwurzel aufgrund disharmonischer Stoffzusammensetzung im Boden; calcifuge Pflanzenarten dominieren im Pflanzenbestand; die Pflanzenartenvielfalt ist gering; Leguminosen fehlen weitgehend; i.a. rel. hohe Mn-, Zn-, Ni-Konzentrationen im Futter.

Funktionen der Pflanzenwurzel

- **Verankerung der Pflanze im Boden**
- **Aufnahme, Leitung und Speicherung von Wasser, Nähr- und Schadstoffen**
- **Speicherung und Bereitstellung von Assimilaten**
- **Symbiose mit Pilzen (Mykorrhiza)**
- **Symbiose mit Bakterien zur Bindung von Luftstickstoff (Leguminosen-Knöllchenbakterien)**
- **Bildung und Stabilisierung von Bodenkrümeln (Lebendverbauung)**
- **Lockerung des Bodens, Bildung von Sekundärporen**
- **Ergänzung des Humusvorrates (Humusbildung)**

Funktionen der Pflanzenwurzel

- Abgabe organischer Stoffe (Exsudate, Sekrete, partikulares Material)
- Stoff- und Energiespeicher, Nährstofflieferant
- Nahrungs- und Energiequelle für heterotrophe Bodenorganismen
- Bereitstellung von Pflanzennährstoffen (Nährstofffreisetzung bei der Wurzelzersetzung)
- Förderung des Bodenlebens (Schaffung von Lebensraum und Nährstoffquelle für Bodenorganismen)
- Erhöhung der mikrobiellen Aktivität, Förderung der Mikroorganismen

Durchwurzelbarkeit des Bodens:

- **Grad der Ausnützung der Wasser- und Nährstoffvorräte im Boden \Rightarrow Vegetation, Ertrag, Futterqualität, Stoffauswaschung**
- **Je größer die Wurzeldichte (Anzahl von Feinwurzeln pro m^2 Boden) im Grünlandboden ist, desto mehr Wasser und Nährstoffe können aus dem Boden aufgenommen werden.**
- **Erodierbarkeit der Ackerböden**

Pflanzenwurzeln

Die Pflanzenarten unterscheiden sich sowohl in der Wurzelmasse als auch im Wurzeltiefgang.

- Gräser haben i.A. eine größere Wurzelmasse als Leguminosen und die Mehrzahl der Kräuter
- Wurzelmasse und Wurzeltiefgang sind bei Untergräsern i.d.R. geringer als bei Obergräsern

Auf Grund dieser artspezifischen Unterschiede

- die einzelnen Vegetationstypen weisen grundsätzlich verschiedene Wurzelmassen und Tiefen der Durchwurzelung auf.

Die Durchwurzelbarkeit des Bodens und der Wurzeltiefgang werden beeinflusst von:

- **Bodengründigkeit (anstehendes Festgestein)**
- **mechanischer Eindringwiderstand (insb. bei abnehmender Bodenfeuchte)**
- **Gasaustausch (Verdichtungen, Vernässungen, O₂-Konzentration)**
- **phytotoxische Stoffe (pH-Wert, Redoxpotential)**
- **Nährstoffgehalt**
- **Licht**
- **Bodentemperatur**
- **Bodenwasserhaushalt**
- **Nutzungsintensität**

Durchwurzelungstiefe

- **80-90 % der Wurzelmasse befinden sich in den obersten 10 cm des Bodens**
- **Trockenheit und Wärme fördern das Tiefenwachstum der Wurzeln**
- **Nässe, Kälte und eine starke Bodenversauerung hemmen das Tiefenwachstum der Wurzeln**
- **In wärmeren Gebieten erreichen die Wurzeln der Gräser auf frischen Standorten Tiefen bis über 1 m, einige Kräuter sogar bis über 2 m**
- **In kühleren Gebieten dringen die Graswurzeln kaum noch tiefer als 50 cm in den Boden ein und die Kräuter erreichen selten eine Wurzeltiefe von über 1 m**

Intensität der Grünlandbewirtschaftung

- **Je häufiger eine Nutzung durch Mahd oder Beweidung erfolgt, desto geringer werden Wurzelmasse und Wurzeltiefgang**
- **Düngung vermindert die Wurzelmasse in erster Linie durch Änderungen in der Artenzusammensetzung im Grünlandbestand**
- **Wurzelmasse, Wurzellänge und Wurzeloberfläche werden i.d.R. durch Bodenverdichtung reduziert**

- **Ein verdichteter, nährstoffreicher Boden fördert flach-wurzelnde Pflanzenarten mit geringer Wurzelmasse**
- **Eine Intensivierung der Grünlandbewirtschaftung bewirkt vor allem durch Änderungen in der Arten-zusammensetzung des Pflanzenbestandes eine Verminderung der unterirdischen Phytomasse und gleichzeitig auch eine relativ stärkere Anreicherung in der Tiefenstufe 0-5 cm**
- **Hohes Wurzel:Spross-Verhältnis: charakteristisch für nährstoffarme Standorte**
- **Gehemmtetes Wurzelwachstum: Symptom für intensive Nutzung oder phytotoxische Bodenverhältnisse**

Vesikulär-Arbuskuläre Mykorrhiza (VAM)

Mykorrhiza: Symbiose von Pilzen mit Wurzeln höherer Pflanzen

Vesikeln: geschwollene Hyphen; dienen der Nährstoffspeicherung

Arbuskeln: bäumchenartig verzweigte Hyphenenden; dienen dem Stoffaustausch zwischen Pilz und Wirtspflanze

Vorteil für die Wirtspflanze: verbesserte Nährstoffversorgung (insb. P) auf nährstoffarmen (P-armen) Böden

Vorteil für den Pilz: Kohlenhydrate von der Wirtspflanze

Vesikulär-Arbuskuläre Mykorrhiza (VAM)

VAM-Infektion der Wurzeln: im gesamten pH-Bereich der Böden; durch hohe Nährstoffverfügbarkeit im Boden (hohe N- und P-Düngung) gehemmt

Bedeutung der VAM: wichtig für die Pflanzenernährung in Böden mit schwer verfügbaren Nährstoffen. Je besser die Nährstoffversorgung im Boden, desto geringer wird die Bedeutung der VAM für die Pflanzenernährung.

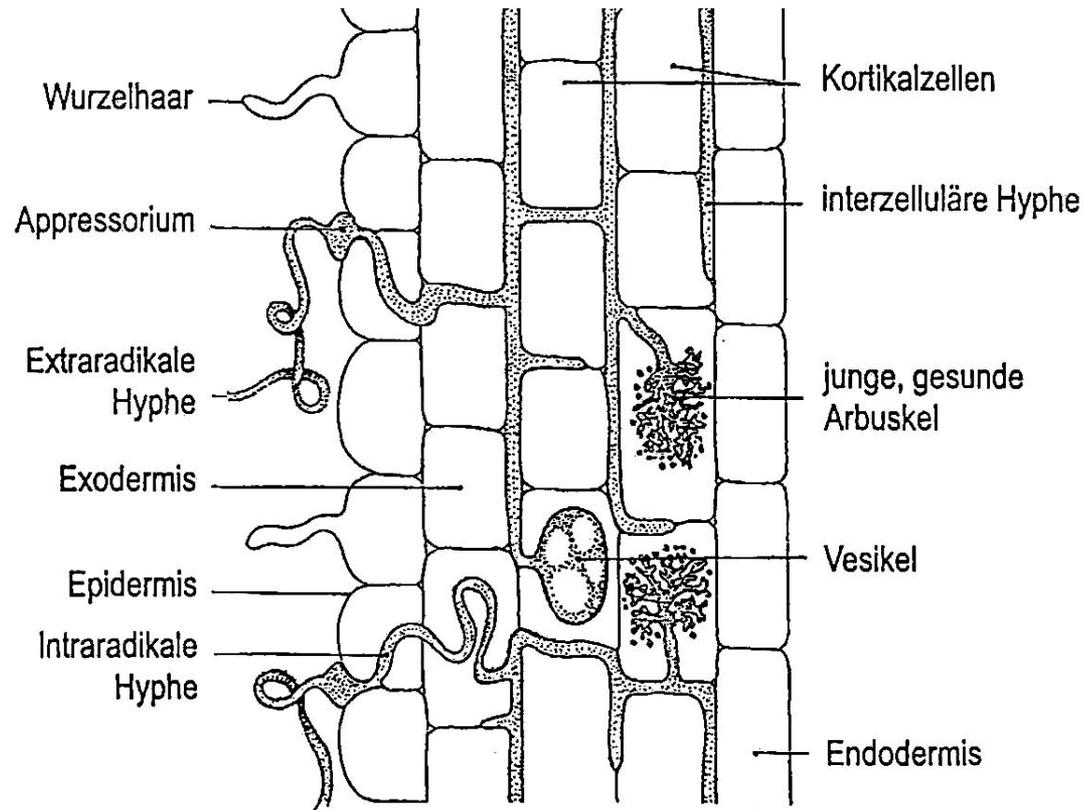


Abb. 1 Arbuskuläre Mykorrhiza. Bei der arbuskulären Mykorrhiza dringen die Pilzhyphe in die Wurzelrindenzellen der Wirtspflanze ein und bilden bäumchenförmige Arbuskeln und Vesikel. Während die Arbuskeln dem intensiven Stoffaustausch zwischen Pilz und Pflanze dienen, werden in den Vesikeln Nährstoffe gespeichert. Die Hyphen bilden im Boden ein extensives Myzel, welches vielfach mehrere cm in den Boden eindringt. Diese Hyphen bilden Sporen aus. Einzelne Pilzarten können aber auch innerhalb der Wurzel Sporen ausbilden (nach Brundrett et al. 1994).

N₂-Fixierung durch symbiontische Bakterien

Symbiose zwischen den Wurzeln der Leguminosen und den Knöllchen bildenden, N₂-fixierenden Bakterien der Gattung Rhizobium.

N₂-Fixierung bedeutet:

- N-Zufuhr zum Boden (pro % Leguminosenanteil etwa 1-5 kg N/ha/Jahr)
- pH-Abnahme in der Rhizosphäre von Leguminosen

Ungünstig für N₂-Fixierung:

hoher N-Gehalt des Bodens (N-Düngung); niedriger pH-Wert (pH < 5.0); wenig Ca, P, K, Mo, Ni im Boden; niedrige Temperaturen (< 10 °C); starke Austrocknung; Überflutung; Staunässe; Bodenverdichtung; hohe Nutzungsfrequenz; geringe Photosyntheserate der Wirtspflanze

Pflanzenarten nährstoffarmer Standorte

- **rel. niedrige Wachstumsraten (langsam wachsende Arten \Rightarrow weniger Ertrag)**
- **z.T. verholzte oder immergrüne Arten**
- **i.a. sehr lichtbedürftig und kleinwüchsig**
- **hohes Wurzel-Spross-Verhältnis**
- **meist kleine, schmale, derbe, ligninreiche, z.T. borstenförmige Blätter**
- **Konzentration der Blattmasse in Bodennähe**
- **langlebige Blätter und Wurzeln**
- **effektives Nährstoffaneignungsvermögen**

Pflanzenarten nährstoffarmer Standorte

- langsame und späte Reservestoffspeicherung
- i.a. hohe Kohlenhydratgehalte
- i.a. niedriges Nährstoffaufnahmevermögen
- effektivere Nährstoffretranslokation
- rel. geringer Nährstoffbedarf
- i.a. niedrige Nährstoffgehalte im Gewebe (i.a. geringer Aschengehalt)
- produzieren rel. viel org. Substanz pro Einheit aufgenommener mineralischer Nährstoffe
- Carnivorie
- rel. geringe Reaktion auf Nährstoffzufuhr hinsichtlich oberirdischem Biomassezuwachs

Pflanzenarten, die nährstoffarme Standorte besiedeln, können mit den geringen Mengen an verfügbaren Nährstoffen besonders effizient umgehen. Wichtige Strategien sind:

- **Absorptionseffizienz:** Verbesserung der Nährstoffaufnahme z.B. durch stärkeres Wurzelwachstum oder durch Bildung zahlreicher langer Wurzelhaare
- **Mobilisierungseffizienz:** Verbesserung der Nährstoffverfügbarkeit in der Rhizosphäre z. B. durch Abgabe von H^+ , org. Säuren oder organischen Verbindungen mit komplexierenden und/oder reduzierenden Eigenschaften
- **Gebrauchseffizienz:** pflanzeninterne Nährstoffverlagerung; Retranslokation

Pflanzenarten nährstoffreicher Standorte

- hoher Nährstoffbedarf
- rel. hohe Wachstumsraten (raschwüchsige Arten)
- i.a. hohes Nährstoffaufnahmevermögen
- i.a. geringes Wurzel-Spross-Verhältnis
- meist große, weiche, saftige Blätter
- Blätter vom Boden abgehoben
- rascher Abbau der abgestorbenen Blätter und Wurzeln (rascher Nährstoffkreislauf)
- meist frühzeitige und starke Reservestoffspeicherung
- i.a. hohe Nährstoffgehalte im Gewebe
- i.a. niedrige Kohlenhydratgehalte
- hohe Eiweißsynthese und hohe Nitratreduktaseaktivität
- reagieren stärker auf Nährstoffmangel

Pflanzen-Anpassung an die Trockenheit

- **niedriger Wuchs**
- **kleine oder sukkulente Blätter**
- **manche Gräser bilden schmale und oft eingerollte, steife Blattspreiten**
- **dichte Behaarung oder Wachsüberzüge (Verdunstungsschutz)**
- **größere Wurzelmasse und Durchwurzelungstiefe**

Futterqualität (Mineral- und Inhaltsstoffe)

- **Standort (Klima, Boden)**
- **Floristische Zusammensetzung des Pflanzenbestandes**
- **Bewirtschaftung (Mahd, Beweidung, Düngung, Bestandespflege)**
- **Pflanzenalter zum Nutzungszeitpunkt (Entwicklungsstadium)**
- **Blatt-Stängel-Verhältnis**
- **Jahreszeit und Witterung**

Wert einer Futterpflanze

- **Gehalt an Mineral-, Inhalts- und Wirkstoffen**
- **Gehalt an wertmindernden Stoffen (z.B. Oxalsäure)**
- **Verdaulichkeit und Schmackhaftigkeit**
- **Geschwindigkeit, mit der sich die Mineral- und Inhaltsstoffe während der Pflanzenentwicklung verändern (Nutzungselastizität)**
- **Eignung für Futterwerbung und -konservierung**
- **Verdrängungsvermögen, Ertragsfähigkeit**
- **biologische Stickstoff-Fixierung**

Boden – Mineralstoffgehalte in Pflanzen

- **pH-Wert**
- **Redoxpotential**
- **Mobilisierbarer Vorrat**
- **Humus- und Tongehalt, KAK, AAK**
- **Gelöste organische Substanz (DOC), Wurzel-exsudate**
- **Ionenantagonismus**

Praktische Bedeutung der Pflanzengesellschaften und der Pflanzensoziologie

- **Standortbeurteilung (Standortbonität, Nutzungseignung, Ertragspotential)**
- **Einschätzung von Ertrag und Futterqualität sowie der Nutzungsintensität**
- **Feststellung von Standortsveränderungen, Standortsmängel, Düngungs- und Bewirtschaftungsfehlern sowie Ableitung von Verbesserungsmöglichkeiten**
- **Erfolgskontrolle hinsichtlich Düngungs- und Pflegemaßnahmen**
- **Feststellung des Naturschutzwertes und der Schutzbedürftigkeit**

Syntaxonomische Einheiten

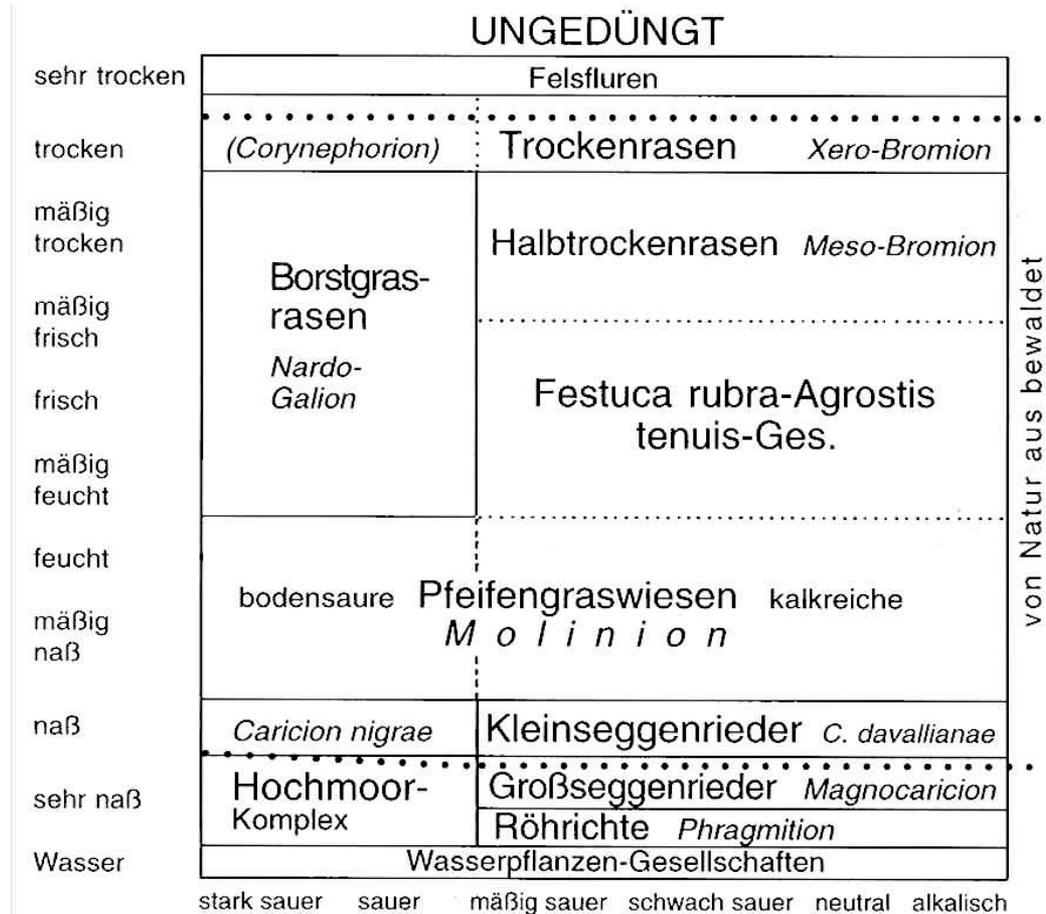
Assoziation ⇒ Verband ⇒ Ordnung ⇒ Klasse
Assoziation ⇒ Subassoziation ⇒ Variante ⇒
Ausbildung

Subassoziation: feine Unterschiede im Wasserhaushalt

Variante: feine Unterschiede im Nährstoffhaushalt

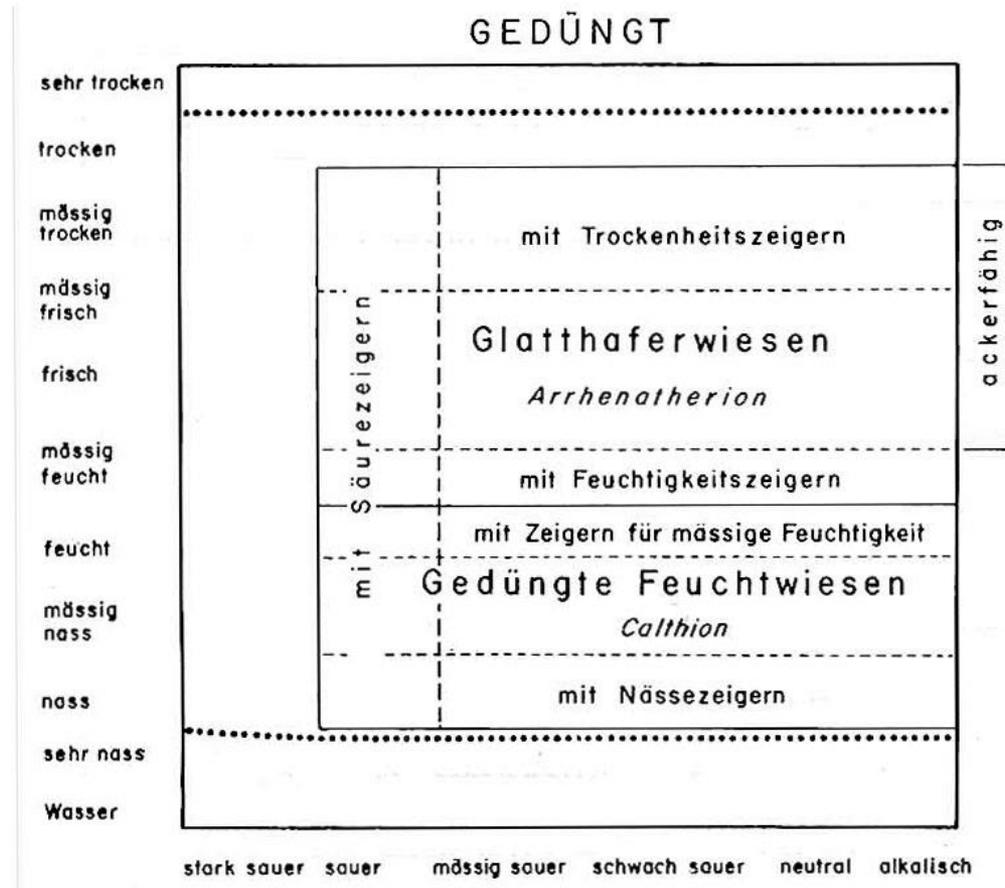
Ausbildung: floristische und ökologische Besonderheiten

Ungedüngtes Grünland



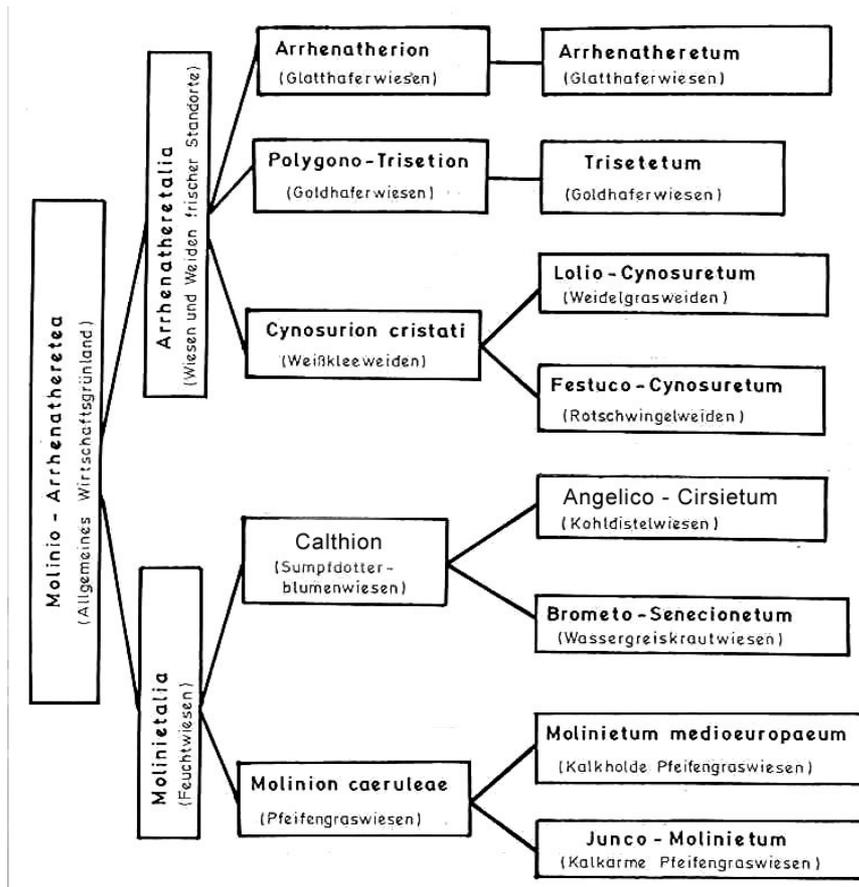
Quelle: GLAVAC, 1996

Gedüngte Wirtschaftswiesen



Quelle: ELLENBERG, 1986

Syntaxonomie des Wirtschaftsgrünlandes



Quelle: OPITZ v.
BOBERFELD, 1994

Schlankseggen-Ried

Caricetum gracilis

Nutzung: meist 1 Herbstmahd; meist ungedüngt

Typische Arten: Schlank-Segge (dom.), Sumpf-Segge, Kriech-Hahnenfuß, Pfennigkraut, Acker-Minze, Glieder-Simse

Standort: meist basenreiche, mäßig nährstoffreiche Gleye, Augleye, Naßgleye, Anmoore und Niedermoore im Karbonat- oder Silikat-Pufferbereich in Mulden, auf ebenen Flächen und schwach geneigten Hanglagen; mäßig nass - nass; im Frühjahr häufig überflutet

Bedeutung: rel. artenarme Streuwiese

Rohrglanzgrasröhricht

Phalaridetum arundinaceae

Nutzung: 1-2 Schnitte/Jahr; gelegentlich schwach gedüngt

Typische Arten: Rohr-Glanzgras (dom.), Kriech-Hahnenfuß, Echter Beinwell, Pfennigkraut, Gewöhnliches Rispengras

Standort: meist basenreiche, mäßig nährstoffreiche vergleyte Graue Auböden, Augleye und Anmoore im Karbonat- oder Silikat-Pufferbereich auf ebenen Flächen; mäßig nass; im Frühjahr fallweise oder regelmäßig kurzfristig überflutet

Bedeutung: rel. artenarme, ertragreiche Nasswiese

Fadenbinsen-Wiese

Juncetum filiformis

Nutzung: meist 2 Schnitte/Jahr; regelmäßig schwach gedüngt

Typische Arten: Faden-Simse (dom.), Schlangenknöterich, Sumpf-Vergißmeinnicht, Kuckuckslichtnelke, Moor-Labkraut, Braun-Segge, Sumpf-Veilchen, Wasser-Greiskraut, Scharfer Hahnenfuß

Standort: meist mäßig nährstoffreiche Niedermoore und Anmoore im Silikat- oder Austausch-Pufferbereich auf ebenen Flächen und schwach geneigten Hanglagen; nass; in kühlen Lagen

Bedeutung: rel. arten- und ertragarme Nasswiese

Kohldistelwiese

Angelico sylvestris - Cirsietum oleracei

Nutzung: meist 2 Schnitte/Jahr; regelmäßig gedüngt

Typische Arten: Kohldistel, Sumpf-Vergißmeinnicht, Wild-Engelwurz, Sumpfdotterblume, Wald-Simse, Echtes Mädesüß, Rasenschmiele, Kuckuckslichtnelke, Schweden-Klee, Wiesen-Schaumkraut

Standort: meist nährstoff- und basenreiche Gleye, Augleye, Hanggleye und Anmoore im Karbonat- oder Silikat-Pufferbereich auf ebenen Flächen und schwach geneigten Hanglagen; in wärmeren Gebieten; überwiegend feucht (mäßig feucht - mäßig nass)

Bedeutung: ertrag- u. krautreiche Feuchtwiesengesellschaft; Futterreserve in Trockenjahren

Knickfuchsschwanz-Gesellschaft

Ranunculo repentis-Alopecuretum geniculati

Nutzung: meist 2 Schnitte/Jahr; regelmäßig gedüngt

Typische Arten: Knick-Fuchsschwanz (dom.), Kriech-Hahnenfuß, Glieder-Simse, Kriech-Straußgras, Falt-Schwaden, Gewöhnliches Rispengras

Standort: meist nährstoff- und basenreiche Gleye, Augleye und Anmoore im Karbonat- oder Silikat-Pufferbereich in periodisch überfluteten Mulden; mäßig nass - nass

Bedeutung: arten- und ertragarmer Kriechrasen

Fuchsschwanzwiese

Ranunculo repentis - Alopecuretum pratensis

Nutzung: meist 3-5 Schnitte/Jahr; regelmäßig gedüngt

Typische Arten: Wiesen-Fuchsschwanz (dom.), Kriech-Hahnenfuß, Weißklee, Gewöhnliches Rispengras, Wiesen-Schwingel, Scharfer Hahnenfuß

Standort: meist nährstoff- und basenreiche vergleyte Braune Auböden, vergleyte Graue Auböden, Gleye, Augleye und Anmoore im Karbonat- oder Silikat-Pufferbereich auf ebenen Flächen; mäßig feucht - feucht

Bedeutung: ertragreichste Feuchtwiesengesellschaft; relativ artenarm; Futterreserve in Trockenjahren

Glatthaferwiese

Arrhenatheretum elatioris

Nutzung: 2-3 Schnitte/Jahr; regelmäßig gedüngt

Typische Arten: Glatthafer (dom.), Wiesen-Pippau, Groß-Bibernelle, Wiesen-Glockenblume, Wiesen-Storchschnabel, Wiesen-Labkraut, Wiesen-Witwenblume, Wiesen-Bocksbart, Pastinak

Standort: meist nährstoff- und basenreiche Mineralböden im Karbonat-, Silikat- oder Austauscher-Pufferbereich auf ebenen Flächen bis steilen Hanglagen; überwiegend frisch (halbtrocken - mäßig feucht); planar - montan

Bedeutung: ertragreiche, qualitativ hochwertige Dauerwiesengesellschaft in tieferen, wärmeren Lagen

Goldhaferwiese

Trisetetum flavescens

Nutzung: meist 2 Schnitte/Jahr; regelmäßig gedüngt

Typische Arten: Goldhafer (dom.), Rote Lichtnelke, Bergwiesen-Frauenmantel, Wimper-Kälberkropf, Wald-Vergißmeinnicht, Wald-Storchnabel, Hohe Schlüsselblume, Weißer Krokus, Große Sterndolde, Kriech-Schaumkresse, Gewöhnliche Perücken-Flockenblume

Standort: meist nährstoff- und basenreiche Mineralböden im Karbonat-, Silikat- oder Austauscher-Pufferbereich auf ebenen Flächen bis steilen Hanglagen; überwiegend frisch (mäßig halbtrocken - mäßig feucht); montan - subalpin

Bedeutung: ertragreiche, qualitativ hochwertige Dauerwiesengesellschaft in höheren Lagen

Rotschwengel-Straußgraswiese

Festuca rubra-Agrostis capillaris-Ges.

Nutzung: 1-2 Schnitte/Jahr; ungedüngt bis schwach gedüngt

Typische Arten: Rotschwengel (dom.), Rot-Straußgras (dom.), Kriech-Schaumkresse, Gewöhnliches Ruchgras, Flecken-Johanniskraut, Wiesen-Margerite, Gras-Sternmiere, Weiches Honiggras, Rauher Löwenzahn

Standort: vorwiegend nährstoff- und basenärmere Braunerde im Silikat- oder Austausch-Pufferbereich in steiler, nordseitiger Hanglage; überwiegend frisch – krumenwechselfeucht

Bedeutung: meist abgelegene, schwer erreichbare, spät gemähte, grasreiche, ertragärmere Frischwiese

Mähweiden (und Vielschnittwiesen) (*Trifolium repens* - *Poa trivialis*-Ges.)

Nutzung: meist 1-2 Schnitte und 2-3 Weidegänge/Jahr;
regelmäßig gedüngt

Typische Arten: Weißklee, Gew. Rispengras, Wiesen-
Rispengras, Englisches Raygras, Wiesen-Löwenzahn,
Stumpfblatt-Ampfer, Acker-Quecke, Kriech-Hahnenfuß

Standort: meist nährstoff- und basenreiche, krumen-
pseudovergleyte Mineralböden im Karbonat- oder Silikat-
Pufferbereich auf ebenen Flächen und mäßig geneigten
Hanglagen; überwiegend krumenwechselfeucht (halb-
trocken - mäßig feucht)

Bedeutung: intensiv genutzt; sehr ertragreich; hohe
Futterqualität; rel. artenarm

Rotschwingerl-Kammgrasweide

Festuco commutatae-Cynosuretum

Nutzung: mäßig intensive Beweidung; meist schwach gedüngt

Typische Arten: Rotschwingerl (dom.), Rot-Straußgras, Wiesen-Kammgras, Herbst-Löwenzahn, Weißklee, Gewöhnliches Ruchgras, Rauher Löwenzahn, Wiesen-Margerite, Gewöhnliche Brunelle, Gew. Ferkelkraut

Standort: meist nährstoff- und basenärmere, krumpfenpseudovergleyte Braunerde im Silikat- oder Austauscher-Pufferbereich auf mäßig geneigten bis steilen Hanglagen; überwiegend krumpfenwechselfeucht (frisch - mäßig feucht)

Bedeutung: Hutweide und mäßig intensiv genutzte Kulturweide; mäßig ertragreich

Weißkleeweiden

Cynosurion cristati

Nutzung: meist 4-5 Weidegänge/Jahr; regelmäßig gedüngt

Typische Arten: Englisches Raygras, Weißklee, Gänseblümchen, Quendel-Ehrenpreis, Wiesen-Lieschgras, Herbst-Löwenzahn, Kriech-Straußgras, Kriech-Hahnenfuß, Gewöhnliches Rispengras, Wiesen-Rispengras, Breitwegerich

Standort: meist nährstoff- und basenreiche, krumen-pseudovergleyte Mineralböden im Karbonat- oder Silikat-Pufferbereich auf ebenen Flächen und mäßig geneigten Hanglagen; überwiegend krumenwechselfeucht (halbtrocken - mäßig feucht); planar - montan

Bedeutung: intensiv genutzte Kulturweide; sehr ertragreich; hohe Futterqualität; rel. artenarm

Trittrasen

Matricario matricarioides-Polygonion arenastri

Nutzung: intensive Beweidung, hohe Trittbelastung

Typische Arten: Englisches Raygras, Strahlenlose Kamille, Einjahrs-Rispengras, Gleichblättriger Vogel-Knöterich, Breitwegerich, Liegendes Mastkraut, Kriech-Straußgras, Herbst-Löwenzahn, Kriech-Hahnenfuß, Weißklee

Standort: meist nährstoff- und basenreiche, überverdichtete, krumenpseudovergleyte Mineralböden im Karbonat- oder Silikat-Pufferbereich auf ebenen Flächen; überwiegend krumenwechselfeucht

Bedeutung: arten- und ertragarme, lückige Pflanzengesellschaft

Trespen-Halbtrockenrasen

Mesobrometum erecti

Nutzung: meist 1 Schnitt/Jahr; ungedüngt

Typische Arten: Aufrechte Trespe (dom.), Sichel-Schneckenklee, Skabiosen-Flockenblume, Flaumhafer, Silberdistel, Tauben-Skabiose, Wundklee, Fieder-Zwenke, Wiesen-Kammschmiele, Karthäuser-Nelke, Wiesen-Salbei, Echte Schlüsselblume

Standort: meist nährstoffarme, basenreiche Rendzinen und Pararendzinen im Karbonat-Pufferbereich auf süd-exponierten, wärmebegünstigten Hanglagen; halbtrocken

Bedeutung: artenreicher, ertragarmer, meist kräuterreicher Halbtrockenrasen

Pfeifengraswiesen

Molinion caeruleae

Nutzung: 1 Herbstmahd; ungedüngt

Typische Arten: Blaues Pfeifengras (dom.), Sibirien-Schwertlilie, Färber-Scharte, Silge, Großer Wiesenknopf, Schatten-Segge, Glanz-Wiesenraute, Echte Betonie, Teufelsabbiß, Nordisches Labkraut, Weiden-Alant, Lungen-Enzian, Flatter-Simse

Standort: meist nährstoffarme, carbonathaltige oder carbonatfreie Niedermoore; feucht bis mäßig nass

Bedeutung: meist artenreiche, rel. ertragreiche und vom Pfeifengras dominierte Streuwiese

Kalk-Flachmoore

Caricion davallianae

Nutzung: gelegentlich Herbstmahd; ungedüngt

Typische Arten: Davall-Segge (dom.), Hirse-Segge, Breitblatt-Wollgras, Herzblatt, Saum-Segge, Sumpf-Kreuzblume, Mehl-Primel, Große Gelb-Segge, Gewöhnliches Fettkraut, Sumpf-Stendelwurz, Mücken-Händelwurz, Gewöhnliche Simsenlilie, Braune Knopfbirse (dom.)

Standort: nährstoffarme, basenreiche Niedermoore im Karbonat- oder Silikat-Pufferbereich; meist auf ebenen Flächen bis schwach geneigten Hanglagen; nass

Bedeutung: meist artenreiche, ertragarme, von Seggen dominierte Streuwiese (niedrigwüchsiges, moosreiches Kleinseggenried)

Bodensaure Flachmoore

Caricion fuscae

Nutzung: gelegentlich Herbstmahd; ungedüngt

Typische Arten: Braun-Segge (dom.), Igel-Segge, Grau-Segge, Sumpf-Veilchen, Schmalblatt-Wollgras, Brenn-Hahnenfuß, Faden-Simse, Sumpf-Kratzdistel, Sumpf-Straußgras, Fieberklee, Blutaugen, Sumpf-Schachtelhalm

Standort: nährstoff- und basenarme, saure Niedermoore; meist auf ebenen Flächen bis schwach geneigten Hanglagen; nass

Bedeutung: ertragarme, von Seggen dominierte Streuwiese (niedrigwüchsiges, moosreiches Kleinseggenried)

Alpen-Rispengras - Alpen-Lieschgraswiese (*Poa alpina* - *Phleum rhaeticum*-Gesellschaft)

Nutzung: meist 1 Schnitt/Jahr; regelmäßig gedüngt

Typische Arten: Alpen-Rispengras, Alpen-Lieschgras, Gold-Pippau, Weißklee, Weißer Krokus, Berg-Hahnenfuß, Rot-Straußgras, Rotschwengel, Rauher Löwenzahn, Alpen-Vergißmeinnicht, Berg-Sauerampfer, Bergwiesen-Frauenmantel, Gewöhnliches Rispengras

Standort: vorwiegend auf nährstoff- und basenreichen Braunerden im Silikat- oder Austausch-Pufferbereich; meist auf ebenen bis schwach geneigten Hanglagen; überwiegend frisch; obermontan bis unteralpin

Bedeutung: aus landwirtschaftlicher Sicht wertvollste Wiesenges. in der obermontanen bis unteralpinen Stufe

Goldpippau-Kammgrasweide

Crepido aureae - Cynosuretum cristati

Nutzung: rel. intensive Almbeweidung; meist gedüngt

Typische Arten: Gold-Pippau, Wiesen-Kammgras, Wiesen-Kümmel, Läger-Rispengras, Breit-Wegerich, Weißklee, Herbst-Löwenzahn, Wiesen-Schwingel, Rauher Löwenzahn

Standort: vorwiegend auf nährstoff- und basenreichen, krumenpseudovergleyten Braunerden im Silikat- oder Austauscher-Pufferbereich; meist auf ebenen bis schwach geneigten Hanglagen; häufig krumenwechsel-feucht; obermontan

Bedeutung: aus landwirtschaftlicher Sicht wertvollste Weidegesellschaft in der obermontanen Stufe

Milchkrautweide

Crepido aureae - Festucetum commutatae

Nutzung: rel. intensive Almbeweidung; meist gedüngt

Typische Arten: Alpen-Rispengras, Alpen-Lieschgras, Braun-Klee, Gold-Pippau, Alpen-Mastkraut, Läger-Rispengras, Alpen-Mutterwurz, Rauher Löwenzahn, Weißklee

Standort: vorwiegend auf nährstoff- und basenreichen, krumpseudovergleyten Braunerden im Silikat- oder Austauscher-Pufferbereich; meist auf ebenen bis schwach geneigten Hanglagen; häufig krumpseudwechselfeucht; subalpin und unteralpin

Bedeutung: aus landwirtsch. Sicht wertvollste Weideges. in der subalpinen und unteralpinen Stufe; rel. krautreich

Bürstlingsrasen

Nardion

Nutzung: meist extensive Beweidung; ungedüngt

Typische Arten: Bürstling (dom.), Wiesen-Kreuzblume, Hunds-Veilchen, Heide-Nelke, Arnika, Pillen-Segge, Drahtschmiele, Berg-Nelkenwurz, Bart-Glockenblume, Silikat-Glocken-Enzian, Gold-Fingerkraut, Schweizer Löwenzahn, Höswurz, Bunthafer, Pyramiden-Günsel

Standort: vorwiegend auf nährstoff- und basenarmen Braunerden im Austausch- oder Al-Pufferbereich; meist frisch bis krumenwechselfeucht

Bedeutung: ertragarmer Silikat-Magerrasen vorwiegend in der montanen, subalpinen und unteralpinen Stufe

Blaugras-Horstseggenrasen

Seslerio variae - Caricetum sempervirentis

Nutzung: extensive Almbeweidung; ungedüngt

Typische Arten: Kalk-Blaugras (dom.), Horst-Segge, Steinraute, Kalk-Glocken-Enzian, Zottiges Habichtskraut, Herzblatt-Kugelblume, Alpen-Wundklee, Salzburger Augentrost, Alpen-Aster, Hufeisenklee

Standort: auf flachgründigen, nährstoffarmen, basenreichen Rendzinen und Pararendzinen im Karbonat- oder Silikat-Pufferbereich; auf südexponierten, sommerwarmen, früh schneeaperen, steilen Hanglagen; frisch

Bedeutung: rel. artenreicher, bunter, ertragarmer Kalk-Magerrasen in der subalpinen und unteralpinen Stufe

Polsterseggenrasen

Caricetum firmae

Nutzung: sehr extensive Almbeweidung; ungedüngt

Typische Arten: Polster-Segge (dom.), Zwergstendel, Niedriger Schwingel, Rosarotes Läusekraut, Blaugrüner Steinbrech, Sieber-Teufelskralle, Aurikel, Silberwurz, Kalk-Polsternelke, Wimper-Mannsschild, Clusius-Primel

Standort: auf flachgründigen, nährstoffarmen, basenreichen Pech-Rendzinen und Polster-Rendzinen im Karbonat- oder Silikat-Pufferbereich; meist auf windexponierten, früh schneeaperen Gipfeln, Kuppen, Rücken oder Grate; frisch

Bedeutung: rel. arten- und ertragarme Klimaxgesellschaft der oberalpinen Stufe

Krummseggenrasen

Caricetum curvulae

Nutzung: sehr extensive Almbeweidung; ungedüngt

Typische Arten: Gewöhnliche Krumm-Segge (dom.), Kopfgras, Zwerg-Primel, Krainer Greiskraut, Haariges Habichtskraut, Grasblatt-Teufelskralle, Zwerg-Seifenkraut, Bunthafer, Gänseblümchen-Ehrenpreis, Alpen-Margerite, Zwerg-Augentrost

Standort: vorwiegend auf nährstoff- und basenarmen Alpinen Pseudogleyen und Braunerden im Austausch- oder Al-Pufferbereich; vorwiegend in konvexer Lage; meist nivigen-krumenwechselfeucht

Bedeutung: rel. arten- und ertragarme Klimaxgesellschaft der oberalpinen Stufe

Lebensformen

Phanerophyten: meist hoch- und höherwüchsige Gehölze (Bäume, Sträucher), Überdauerungsknospen meist höher als etwa 30 cm über dem Boden

Chamaephyten: Pflanzen mit Überdauerungsknospen mind. etwa 5-10 cm über der Bodenoberfläche, aber nicht höher als etwa 50 cm (Halbsträucher, Zwergsträucher, Teppichsträucher, Polsterstauden, bodennahe Sukkulente)

Hemikryptophyten: Pflanzen mit Überdauerungsknospen in unmittelbarer Nähe der Bodenoberfläche

Geophyten: Pflanzen mit verdickten Überdauerungsorganen und –knospen im Boden (Zwiebel-, Knollen-, Rhizom-, Wurzel-Geophyten)

Lebensformen

Therophyten: Pflanzen, deren Lebenszyklus nicht länger als ein Jahr dauert und die deshalb keinerlei Überdauerungsorgane ausbilden (Einjährige); erneuern sich durch Aussamung (generative Vermehrung); meist Ackerunkräuter und Ruderalpflanzen; benötigen offenen Boden (im Grünland Lückenbüßer)

Wirtschaftsgrünland

- **Hemikryptophyten dominieren**
- **Hohe Anteile an Therophyten ⇒ Zeichen für**
 - **lückige Pflanzenbestände**
 - **Übernutzung**
 - **zu späte Mahd oder Beweidung**
 - **generell falsche Bewirtschaftung**

Lücken

- **Arten der Samenbank können keimen und sich etablieren**
- **anemochore Arten finden nach dem Einfliegen konkurrenzarme Etablierungsplätze**
- **Keimung und Etablierung von eingeschleppten Samen**
- **Einwanderung von Arten aus der unmittelbaren Umgebung**

Ursachen einer lückigen Grasnarbe

- **Überdüngung (zu hohe oder schlecht verteilte Düngergaben)**
- **Übernutzung (zu frühe erste, zu häufige und zu späte letzte Nutzung)**
- **Unternutzung (zu späte Nutzung)**
- **Fahr- und Trittschäden, zu tief eingestellte Erntemaschinen**
- **Urinbrandstellen, Kotgeilstellen, Futterreste**
- **selektive Unkrautregulierung ohne Übersaat**
- **Schädlinge (Mäuse, Engerlinge), Krankheiten (Pilzbefall), Maulwürfe**
- **Witterung (Trockenheit, Nässe, Überflutung, Frost, Schneereichtum)**

Verunkrautung

Art und Ausmaß sind abhängig von

- natürlichen Standortverhältnissen
- Art, Zeitpunkt und Häufigkeit der Nutzung

Ursache der Verunkrautung

- kühle und feuchte Standorte
- schattige und schneereiche Lagen
- konkave Lagen, Mulden, Unterhänge, Hangfußlagen (natürliche Nährstoffanreicherungsstandorte)
- tonreiche Böden

Unkräuter sind Arten, die gesundheitsschädlich für Tiere sind, keinen oder nur geringen Futterwert besitzen und den wertvollen Futterpflanzen viel Platz wegnehmen.

Absolute Unkräuter:

- **Giftpflanzen** (z.B. Scharfer Hahnenfuß, Herbstzeitlose, Sumpf-Schachtelhalm, Adlerfarn)
- **Platz- und Nährstoffräuber** (z.B. Stumpfblättriger Ampfer, Schlangen-Knöterich, Disteln)
- **Halb- und Vollparasiten** (z.B. Klappertopf-Arten, Augentrost-Arten, Sommerwurz-Arten, Kleeseide)

Fakultative Unkräuter:

- **Pflanzenarten, die vor allem bei hohem Ertragsanteil zum Problem werden (z.B. Wiesen-Kümmel)**
- **Pflanzenarten, deren Schmackhaftigkeit, Gehalt an Mineral-, Inhalts- und Wirkstoffen sowie Konservierbarkeit sich mit der Art und dem Zeitpunkt der Nutzung stark ändern (z.B. Wiesen-Kerbel, Wiesen-Bärenklau)**

Kräuter

Vorteile

- hohe Nutzungselastizität
- hohe Mineralstoffgehalte
- hohe Schmackhaftigkeit
- diätetische Wirkung, Gewürz- und Heilpflanzen
- hohe Blütenpracht (Landschaftsästhetik)
- Nahrungsgrundlage für Insekten, Eiablageplatz z.B. f. Heuschrecken

Nachteile

- hohe Bröckelverluste
- längere Trocknungszeiten
- schlechter Narbenschluss
- geringer landwirtschaftlich nutzbarer Ertrag (insb. wenn Rosettenpflanzen und kriechende, niedrigwüchsige Arten dominieren)

Maßnahmen der Unkrautregulierung

- **Mechanische, biologische, thermische, chemische Unkrautregulierung**
- **standortangepasste Beweidung, Pflegeweidegang im Frühling**
- **Förderung der Versamung der Gräser (Selbstaussaat) durch späteren Schnitt**
- **Nach- oder Übersaat, standortgerechte Wahl der Saatgutmischung**
- **Wirtschaftsdüngeraufbereitung**
- **Umbruch und Neuansaat**
- **Art, Häufigkeit und Zeitpunkt der Düngung und Nutzung an den Standort anpassen**

Gräser

- Familie der Süßgräser (Poaceae)
- Familie der Riedgräser (Cyperaceae)
- Familie der Simsen- oder Binsengewächse (Juncaceae)

- Horstgräser (z.B. Knaulgras)
- Rasengräser (z.B. Wiesen-Rispengras)

- Obergräser (z.B. Glatthafer)
- Mittelgräser (z.B. Goldhafer)
- Untergräser (z.B. Wiesen-Rispengras)

Futtergräser

Vorteile

- hoher landwirtschaftlich nutzbarer Ertrag
- hohe Ertragssicherheit
- guter Narbenschluss
- geringe Ernteverluste
- gute Konservierbarkeit

Nachteile

- niedrige Mineralstoffgehalte
- geringe Nutzungselastizität

Leguminosen

- **insb. Rotklee, Weißklee, Luzerne**
- **rankende Grünlandleguminosen: Vogel-Wicke, Zaun-Wicke, Wiesen-Platterbse**

Leguminosen

Vorteile

- **biologische N-Bindung (N₂-Fixierung)**
- **hoher Eiweißgehalt**
- **hohe Mineralstoffgehalte**
- **hohe Schmackhaftigkeit**
- **hohe Blütenpracht (Landschaftsästhetik)**

Nachteil

- **schlechte Konservierbarkeit**

Artengruppenverhältnis in Dauerwiesen

Ideal

- **50-70 % hochwertige Futtergräser**
- **10-20 % Leguminosen**
- **10-30 % Kräuter**

Mahdverträglichkeit und Nutzungsempfindlichkeit der Arten

- Höhe und Zeitpunkt der Reservestoffspeicherung in unterirdischen oder bodennahen Organen
- Restassimilationsfläche, Wuchsform, Blütezeit
- Vegetative Vermehrung und Bestockungsvermögen
- Schnitthäufigkeit, Schnittzeitpunkt, Schnitthöhe
- Art, Zeitpunkt und Intensität der Beweidung

Die Mahdverträglichkeit und Nutzungsempfindlichkeit einer Art sind nicht konstant, sie ändern sich mit dem Standort.

Nutzungsintensivierung

- **Vermehrung der Nutzungshäufigkeit (Anzahl der Schnitte oder Weidegänge pro Jahr)**
- **Vorverlegung der ersten Nutzung (Schnitt, Weidegang)**
- **Steigerung der Beweidungsintensität (Erhöhung der Besatzdichte)**
- **Erhöhung der jährlich ausgebrachten Düngermenge**

Nutzungsintensivierung

Zunahme bzw. Einwanderung von

- Zeigerpflanzen für Oberbodenverdichtung (Krumenwechsel-feuchtigkeitszeiger, Tritt- und Flutrasenarten) (z.B. Kriechender Hahnenfuß, Kriech-Straußgras, Einjähriges Rispengras)
- Rosettenpflanzen (z.B. Gänseblümchen, Breitwegerich) und Pflanzen mit oberirdischen Ausläufern (z.B. Weißklee, Kriech-Fingerkraut)
- nährstoffliebenden Ackerunkräutern und Ruderalpflanzen (Therophyten) (z.B. Gewöhnliches Hirtentäschel, Vogelmiere)
- Überdüngungszeigern (z.B. Wiesen-Kerbel, Gew. Bärenklau, Stumpfblättriger Ampfer, Acker-Quecke)
- Arten, die früh blühen und aussamen (z.B. Wiesen-Löwenzahn)

Nutzungsintensivierung

- Rückgang oder Verlust zahlreicher Wiesen-Kennarten (z.B. Wiesen-Glockenblume, Wiesen-Witwenblume), rankender Grünland-Leguminosen (Wiesen-Platterbse, Zaun-Wicke, Vogel-Wicke), Magerkeitszeiger, vielschnitt- und trittempfindlicher sowie spätblühender Arten
- Strukturveränderung durch Erhöhung des Untergrasanteiles (insb. Gew. Rispengras) und Verringerung des Obergrasanteiles (insb. Glatthafer)
- fehlende vertikale Strukturierung des Pflanzenbestandes
- Verminderung der Pflanzenartenvielfalt (artenarme Dominanzbestände), Rückgang bzw. Verlust an seltenen oder gefährdeten Arten (Rote Liste-Arten)

Nutzungsintensivierung

- Verminderung der Zahl an Grünland-Pflanzengesellschaften
- Verhinderung der Blütenbildung und Samenreife (Selbstaussaat) bei vielen Arten (insb. spätblühende Arten) → der Samenvorrat im Boden wird allmählich erschöpft
- Verminderung der Blütenvielfalt und Aspektfolge
- Verlust an Bioindikatoren (Zeigerpflanzen)
- Abnahme der Wurzelmasse und des Wurzeltiefganges (Konzentration auf oberflächennahe Bodenschichten)
- Ertragssteigerung, Verbesserung der Futterqualität und Nährstoffanreicherung im Boden

Nutzungsintensivierung

- **erhöhte Auswaschung von Nährstoffen und Abschwemmung von Düngemitteln → Gefährdung angrenzender schutzwürdiger Biotope, Belastung von Gewässern und Grundwasser**
- **gasförmige N-Verluste (insb. Ammoniak und Lachgas) → Belastung der Luft, Eutrophierung benachbarter oligotropher Ökosysteme, Geruchsbelästigung**

Bewirtschaftungsaufgabe (Grünlandbrachen)

- **Veränderung der Artenzusammensetzung der Vegetation**
- **Versaumung, Vergrasung, Verkrautung**
- **Gehölzansiedlung, Verbuschung, Wiederbewaldung**
- **Herdenbildung, Dominanzbildung**
- **Verminderung der Vielfalt an Gefäßpflanzenarten**
- **Veränderung der Physiognomie**
- **Streubildung, Nekromasse**

Bewirtschaftungsaufgabe (Grünlandbrachen)

- **Humusanreicherung, Erweiterung des C:N-Verhältnisses im Oberboden**
- **Bodenversauerung**
- **Auteutrophierung**

Bewirtschaftungsaufgabe (Grünlandbrachen)

Ausmaß und Geschwindigkeit der Veränderungen hängen sehr wesentlich ab von:

- **Standort (insb. Nährstoff- und Wasserhaushalt)**
- **Artenzusammensetzung der Vegetation zum Zeitpunkt der Bewirtschaftungsaufgabe**
- **Wuchsform der dominierenden Arten**
- **Kontaktvegetation**

Extensivgrünland

- **meist hohe Pflanzenartenvielfalt**
- **großes und vielfältiges Blütenangebot**
- **gehäuftes Vorkommen seltener bzw. gefährdeter Pflanzenarten**
- **Schutz der abiotischen Ressourcen Boden, Wasser, Luft**
- **Landschaftsästhetik**

Extensivgrünland

- **Ergänzungsfutter (Strukturfutter)**
- **Tiergesundheit („Medizinalheu“)**
- **Nutzungselastizität**
- **Imagepflege für die Landwirtschaft**

Zeigerpflanzen im Wirtschaftsgrünland

Zeigerpflanzen sind Bioindikatoren, mit deren Hilfe

- **die Standortsbonität rasch und flächenhaft beurteilt**
- **kleinräumige Standortsunterschiede festgestellt**
- **Standortsveränderungen, Düngungs- und Bewirtschaftungsfehler frühzeitig erkannt**
- **die Notwendigkeit von standortspezifischen Düngungs- und Pflegemaßnahmen abgeleitet**
- **der Erfolg von Düngungs- und Pflegemaßnahmen sowie kulturtechnischer Maßnahmen kontrolliert und**
- **standortspezifische Intensivierungsgrenzen festgestellt werden können.**

Nährstoffzeiger

Stumpfblättriger Ampfer, Wiesen-Bärenklau, Wiesen-Kerbel, Kälberkropf, Geißfuß, Große Brennnessel, Weiße Taubnessel, Acker-Quecke

Lückenbüßer

Wiesen-Löwenzahn, Gewöhnliches Hirtentäschel, Vogelmiere, Scharbockskraut, Stumpfblättriger Ampfer, Behaartes Schaumkraut, Kriechender Hahnenfuß, Kriechendes Fingerkraut, Vogelknöterich, Fadenförmiger Ehrenpreis, Feld-Ehrenpreis, Bunter Hohlzahn, Zottiger Klappertopf, Mastkraut, Weiche Trespe, Jähriges Rispengras, Läger-Rispengras, Gemeines Rispengras, Behaarte Segge, Ausläufer-Straußgras

Bodenverdichtungs- und Übernutzungszeiger

**Kriechender Hahnenfuß, Breit-Wegerich, Vogelknöterich,
Herbstlöwenzahn, Knopf-Kamille, Jähriges Rispengras,
Läger-Rispengras, Ausläufer-Straußgras, Gänse-
blümchen, Gänse-Fingerkraut, Mittlerer Wegerich,
Stumpfblättriger Ampfer, Gemeines Rispengras**

Magerkeitszeiger

**Rot-Schwingerl, Rot-Straußgras, Wiesen-Ruchgras,
Wiesen-Hainsimse, Flaumhafer, Zittergras, Bürstling,
Mittlerer Wegerich, Rauher Löwenzahn, Gewöhnliches
Leimkraut, Blutwurz, Wiesen-Augentrost, Wiesen-
Thymian, Kleines Habichtskraut, Ferkelkraut, Wiesen-
Margerite**

Unternutzungszeiger

verschiedene Distel- und Klappertopf-Arten, diverse Sträucher und verholzte Zwergsträucher, stachelige bzw. dornige Arten, verschiedene Farne (insb. Adlerfarn)

Moose

- insb. in Magerwiesen und Magerweiden, vor allem in lückigen Halbtrockenrasen, Feucht- und Nasswiesen (Moore)
- schattige Standorte

Moose sind im Wirtschaftsgrünland Bioindikatoren für

- lückenhafte Pflanzenbestände
- geringe N-Verfügbarkeit im Boden

Biodiversität

Vielfalt des Lebens auf der Erde

- Vielfalt innerhalb der Arten (genetische Ebene)
- Vielfalt an Arten (organische Ebene)
- Vielfalt an Lebensgemeinschaften (ökosystemare Ebene)

Pflanzenartenvielfalt → Teilaspekt der Biodiversität

Biodiversität

- **Bewertungskriterium für den Naturschutz (hohe Biodiversität → Indiz für hohe naturschutzfachliche Wertigkeit)**
- **Maß für die ökologische Nachhaltigkeit der Grünlandbewirtschaftung**
- **weitere wichtige Bewertungskriterien für den Naturschutz: Seltenheit, Natürlichkeitsgrad (Hemerobie), Repräsentanz, Vorkommen seltener und/oder gefährdeter Pflanzenarten (Rote Liste-Arten)**

Pflanzenartenvielfalt (Phytodiversität)

α - Diversität:

Artenzahl pro Flächeneinheit oder Lebensgemeinschaft

β - Diversität:

Veränderung der Artenzusammensetzung einer Lebensgemeinschaft entlang eines Gradienten

γ -Diversität:

Gesamtartenzahl eines Naturraumes

Pflanzenartenvielfalt

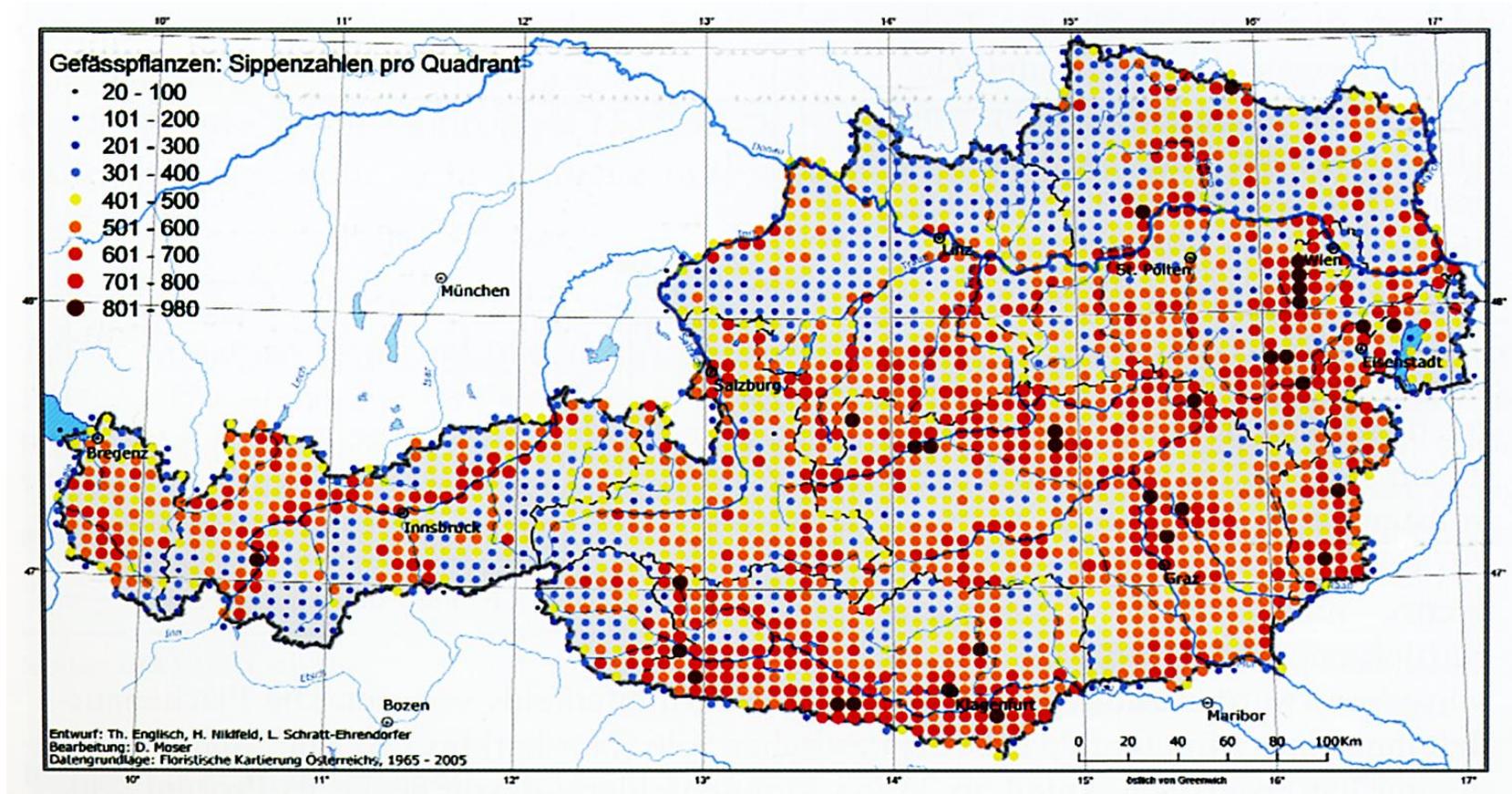
- **Regionaler Artenpool**
- **Stress und Störung am Standort (Intensität der derzeitigen und ehemaligen Nutzung)**
- **Standortsheterogenität (Nischenvielfalt)**
- **Wuchsform der dominierenden Art**
- **Produktivität (oberirdische Phytomasseproduktion)**
- **Nährstoffverfügbarkeit im Boden**
- **Zeitraum, seit dem die Fläche als Grünland genutzt wird**

Artenpoolgröße: Anzahl an Arten, die pot. in einem Habitat vorkommen können

Evenness: Maß für die Gleichverteilung von Arten innerhalb einer Pflanzengesellschaft

Biotopvielfalt: Anzahl verschiedener Biotop-typen pro Flächeneinheit

Pflanzenartenvielfalt

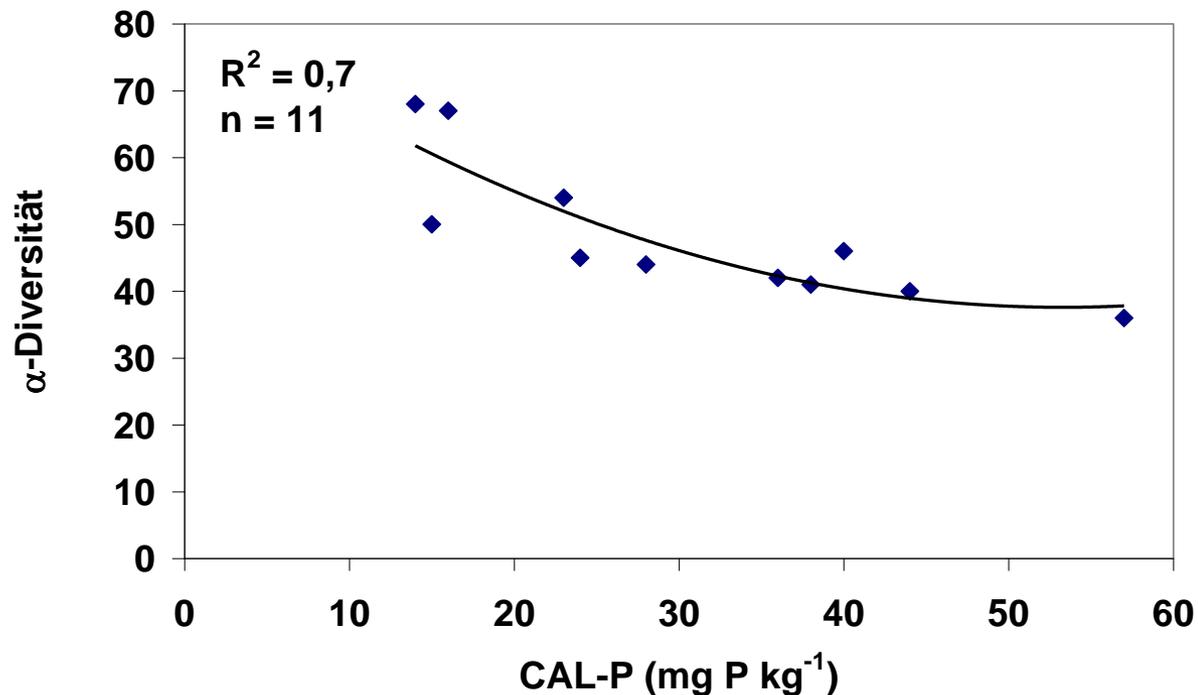


Quelle: Niklfeld et al. 2008

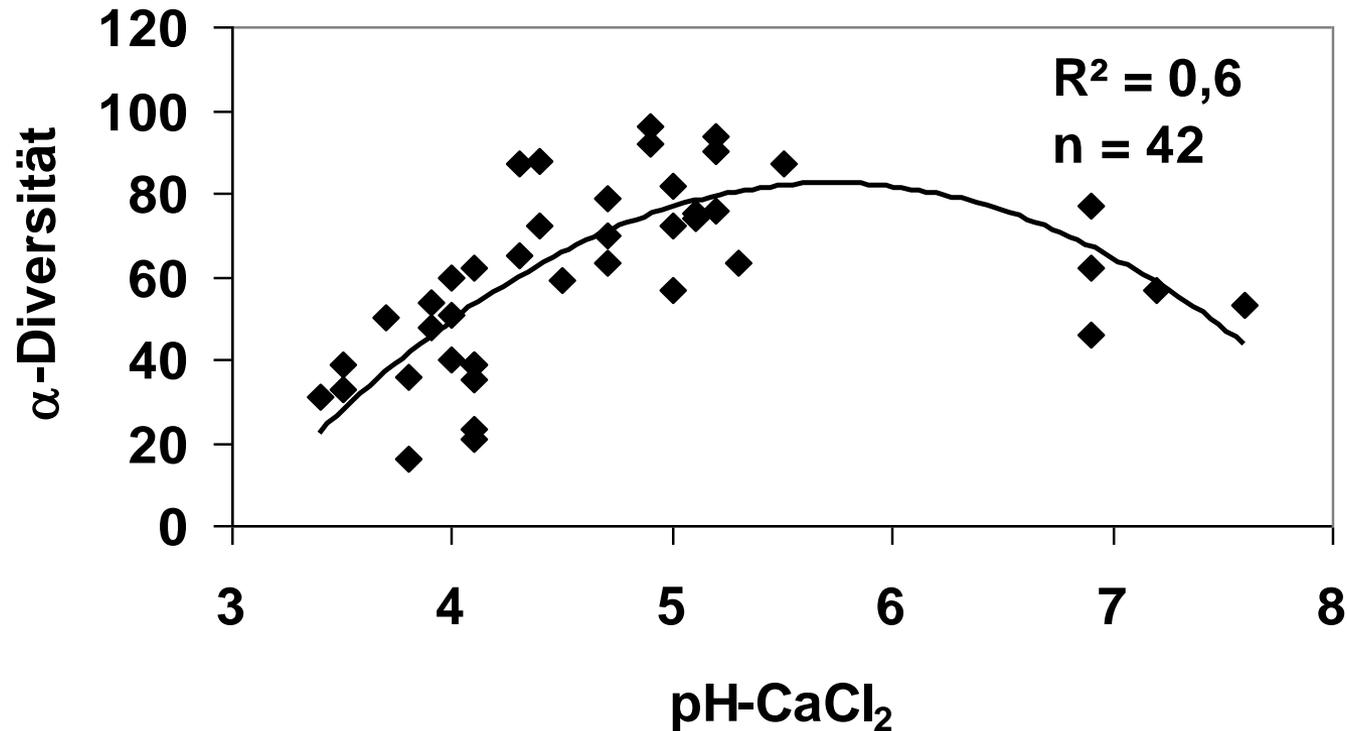
Andreas Bohner
Abteilung für Umweltökologie

HBLFA
Raumberg-Gumpenstein
Landwirtschaft

Beziehung zwischen Pflanzenartenvielfalt (Gefäßpflanzen) und CAL-löslichem P-Gehalt im Oberboden (0-10 cm Bodentiefe)



Beziehung zwischen Pflanzenartenvielfalt (Gefäßpflanzen) und pH-Wert im Oberboden (0-10 cm Bodentiefe)



Pflanzenartenvielfalt ausgewählter Pflanzengesellschaften des Wirtschafts- und Extensivgrünlandes in der Obersteiermark

	NI	MA
Narzissen-Wiese	1-2, eB	70
Trespen-Halbtrockenrasen	1-2, eB	68
Rotschwengel-Kammgras-Weide	eB	54
Iris-Wiese (Streuwiese)	1	50
Rotschwengel-Straußgras-Wiese	1-2, eB	45
Kohldistel-Schlangen-Knöterich-Wiese	2	44
Kalk-Flachmoor	1, eB, nb	44
Goldhafer-Wiese	2-3	43
Frauenmantel-Glatthafer-Wiese	2-3	42
Mähweiden	4-5	40
Kulturweiden	4-5	36
Trittpflanzengesellschaften	iT	20

NI = Nutzungsintensität (Anzahl der Schnitte oder Weidegänge pro Jahr; eB = extensive Beweidung; nb = nicht bewirtschaftet; iT = intensiver Tritteinfluss); MA = mittlere Artenanzahl (Farn- und Blütenpflanzen) pro Pflanzengesellschaft; Stand: Mai 2010

Biozönotische Grundprinzipien (A. THIENEMANN)

Erstes biozönotisches Grundprinzip:

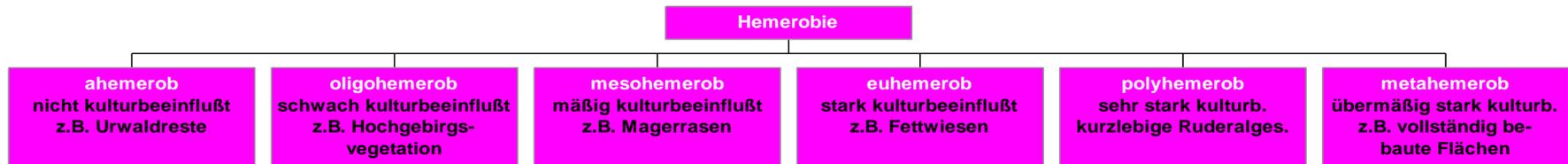
Je variabler die Lebensbedingungen einer Lebensstätte, umso größer die Artenzahl der zugehörigen Lebensgemeinschaft.

Zweites biozönotisches Grundprinzip:

Je mehr sich die Lebensbedingungen eines Biotops vom Normalen und für die meisten Organismen vom Optimalen entfernen, umso artenärmer wird die Biozönose, umso charakteristischer wird sie, in umso größerem Individuenreichtum treten die einzelnen Arten auf.

Hemerobie-Stufen

Hemerobie: Grad der menschlichen Beeinflussung von Lebensgemeinschaften \Rightarrow Einschätzung der Naturnähe oder -ferne einer Landschaft



Im allgemeinen nimmt die Naturschutzwürdigkeit der Ökosysteme mit ansteigender Hemerobiestufe allmählich ab; der Anteil an Therophyten im Artenbestand nimmt zu. Intensivierung führt zu naturferneren Ökosystemen (Anstieg der Hemerobiestufe)

Rote Listen gefährdeter Pflanzen Österreichs (Niklfeld et al., 1999)

- **Daten über die Gefährdung der einzelnen Arten (Bundesländer, Großlandschaften)**
- **Gründe für die Einstufung einer Art zu einer Gefährdungsstufe: Seltenheit, Bindung an bedrohte Standortstypen, negative Arealentwicklung (Rückgang der Bestände)**

Eine nachhaltige, erfolgreiche Grünlandbewirtschaftung ist nur möglich, wenn die naturräumlichen Standortfaktoren berücksichtigt werden. Die Art und Intensität der Nutzung und Düngung sowie die Beurteilung des Nährstoffzustandes im Boden haben sich immer an der naturräumlichen Standortbonität zu orientieren; geschieht dies nicht, ist mit einer stärkeren Verunkrautung der Wiesen und Weiden zu rechnen. Bei geringerem naturräumlichen Standortpotential sollte daher die Düngungs- und Nutzungsintensität niedriger sein.

BOHNER & SOBOTIK, 2000