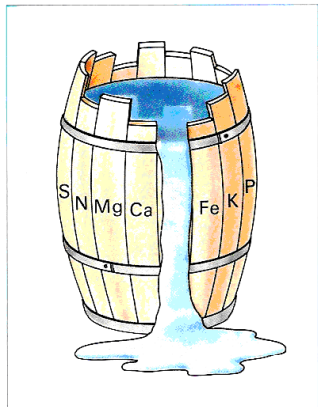




Umwelt – ein Faktorenkomplex

Ökofaktoren wirken offensichtlich nicht unabhängig voneinander auf Lebewesen, sondern beeinflussen sich oft gegenseitig. Dabei kann es zu einer Potenzierung der einzelnen Wirkungen kommen, ähnlich wie bei der gegenseitigen Beeinflussung von Arzneimitteln und Alkohol oder anderen Drogen (*Synergismus*)¹. Aber auch Lebewesen konkurrieren miteinander um Biotopplätze, Licht, Nahrungsquellen und andere Ökofaktoren unter wechselseitiger Einflußnahme.

Minimumfaktoren in der Pflanzenernährung. Den Minimalbedarf bestimmter Pflanzen an Mineralstoffen kann man leicht mit Hilfe von *Hydro-Kultur-Nährlösungen*² testen. Die Versuchspflanzen gedeihen in einem Voll-Nährmedium am besten. Dieses enthält die sieben klassischen „Nährelemente“ der Pflanzen (N, S, P, K, Ca, Mg, Fe) in Form gelöster Mineralsalze. Daneben spielen noch Spurenelemente eine bedeutende Rolle wie Na, Mn, Zn, Cu, Mo, Co, Cl, Bo und andere. Kultiviert man jedoch dieselben Pflanzenarten in *Mangel-Nährlösungen*, in denen jeweils nur eines der genannten Nährelemente fehlt, so reagieren sie mit vermindertem Wachstum oder mit bestimmten Ausfallerscheinungen. Aufgrund dieser Erkenntnisse hat LIEBIG³ schon im Jahre 1862 das *Minimum-Gesetz* formuliert: „Der Ernteertrag wird von dem Nährstoff bestimmt, an dem es dem Ackerboden am meisten mangelt“ (B 196.1.). Seine Forschungen über die Mineraldüngung wurden zur Grundlage der modernen Agrikulturchemie. Sie machten die enormen Ertragssteigerungen durch künstliche Düngung in der heutigen Landwirtschaft erst möglich.



B 196.1. LIEBIGS Faßmodell für das Minimumgesetz. Die kleinste Faßdaube (Minimumfaktor) bestimmt die Höhe des Flüssigkeitsspiegels (Ernteertrag).

Wirkungen von Umweltfaktoren können an entsprechenden Reaktionen der betroffenen Organismen abgelesen werden. Diese reagieren um so heftiger oder leiden um so stärker, je ungünstiger ein Umweltfaktor auf sie wirkt. Man spricht daher heute nicht mehr vom *Minimumgesetz*, sondern vom *Wirkungsgesetz der Umweltfaktoren* oder vom *Prinzip der relativen Effektivität der Umweltfaktoren*:

- Die ökologische Wirksamkeit eines Umweltfaktors wird um so stärker, je weiter seine Intensität von optimalen Werten abweicht.
- Innerhalb eines Faktorenkomplexes wirkt jeweils derjenige Umweltfaktor am stärksten limitierend, dessen Intensität am weitesten von optimalen Werten abweicht (*limitierender*⁴ Faktor).

Ein *limitierender Faktor (Minimumfaktor)* gewinnt das Übergewicht über andere Faktoren durch eine Lage außerhalb seines Optimums, also nahe dem Grenzbereich seiner Toleranzbreite. So verhindert z.B. ein zu geringes Angebot an Phosphor- oder Stickstoffdünger die Ausnutzung der übrigen, reichlich vorhandenen Mineralsalze.

Weitere limitierende Faktoren können z. B. zu niedrige Wintertemperaturen (anhaltender Frost) für Feldmäuse und andere Tiere, oder große Kälte zu gewissen Entwicklungsphasen für Pflanzen sein, z.B. Spätfröste im Frühjahr oder Frühfröste im Spätjahr. Auch Parasitenbefall kann zum Schlüsselfaktor werden, übergeordnet im Gefüge des ganzen Faktorenkomplexes.

¹ von *syn* (griech.) =zusammen und *ergon* (griech.) =Arbeit
² Gefäße, Granulat und Nährlösungen gibt es in Blumengeschäften.
³ JUSTUS VON LIEBIG (1803 bis 1873), deutscher Chemiker
⁴ von *limes* (lat.) =Grenze

Konkurrenzversuch mit Pflanzen. Der experimentelle Beweis für die wechselseitige Beeinflussung konkurrierender Pflanzenarten konnte im klassischen *Hohenheimer Grundwasserversuch*¹ erbracht werden (B 197.1.).

In 10 m langen Saatbeeten mit kontinuierlich sich ändernder Grundwassertiefe wurden drei unserer häufigsten Wiesengräser, **Glatthafer** (*Arrhenatherum elatius*) aus der Fettwiese, **Aufrechte Trespe** (*Bromus erectus*) aus der Trockenwiese und **Wiesenfuchsschwanz** (*Alopecurus pratensis*) aus der Feuchtwiese, angesät.

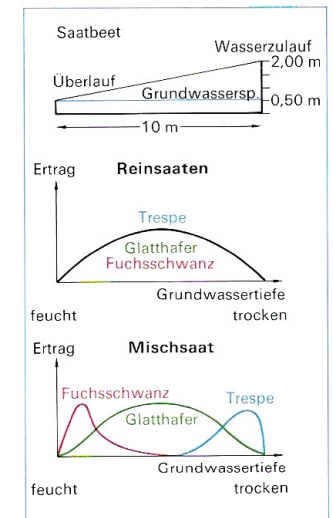
In **Reinsaat** wuchsen alle drei Wiesengräser bei einer mittleren Grundwassertiefe am besten. Die Grundwassertoleranz ist in allen drei Fällen sehr breit. In **Mischsaat** dagegen trat eine starke ökologische Differenzierung auf. Der Glatthafer erwies sich als konkurrenzfähigste Art. Er nahm in allen Fällen die günstigsten Standorte in der Beetmitte für sich in Anspruch und lieferte dort höchste Erträge. Fuchsschwanz und Trespe dagegen wurden jeweils in diejenigen Grundwasserbereiche abgedrängt, die auch an natürlichen Standorten für sie charakteristisch sind. Dort befinden sich offenbar ihre *ökologischen Optima unter Konkurrenzbedingungen*. Der Fuchsschwanz wächst im feuchten, die Trespe im trockenen Teil der Versuchsanlage am besten, obwohl ihre Grundwasseroptima im Reinsaattest identisch sind.

Der Begriff Optimum muß also aufgegliedert werden in ein *autökologisches* oder *physiologisches* und ein *synökologisches Optimum*:

- Das **autökologische Optimum** ist die günstigste Stelle im Wirkungsspektrum eines Ökofaktors. Eine derartige Stelle kann in der freien Natur dann von einer Art besiedelt werden, wenn sie nicht durch andere Arten daran gehindert wird.
- Das **synökologische Optimum** ist die günstigste Stelle im Wirkungsspektrum des betreffenden Faktors, welche die Art unter Konkurrenzbedingungen einnehmen kann. Es ist für das natürliche Vorkommen einer Art innerhalb ihres Verbreitungsgebietes verantwortlich.

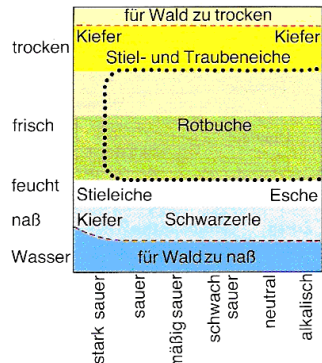
Die **Waldkiefer** (*Pinus silvestris*) ist z.B. auf ärmsten Sandböden des Nürnberger Reichswaldes² oder der Märkischen Heide weit verbreitet, obwohl sie am besten auf tiefgründigen, frischen³, schwach sauren, sandigen Lehm Böden gedeiht. Diese Faktorenkonstellation beschreibt das *autökologische Umweltoptimum* der Waldkiefer. Zahlreiche andere Waldbäume stellen jedoch die gleichen Umweltansprüche. Infolgedessen entsteht Konkurrenz. Ein weiterer Umweltfaktor wird bedeutsam, das Licht. Als Lichtholzart wird die Kiefer von Schattenholzarten verdrängt, z. B. von der Rotbuche. Die größten natürlichen Kiefernbestände findet man deshalb an Extremstandorten, weil sie dort ihren Konkurrenten an Genügsamkeit überlegen ist. Sie hat keineswegs eine Vorliebe für arme, trockene und saure Sandböden, wie es aufgrund ihrer Verbreitung den Anschein hat. Sie besitzt nur eine *größere Umwettoleranz* als ihre Konkurrenten, ist also stärker eurypotent.

Wechselbeziehungen zwischen Lebewesen und Umwelt



B 197.1. Das Wachstum von drei Wiesengräsern unter Konkurrenzbedingungen. In Saatbeeten mit schräg abfallender Oberfläche (oben) wuchsen Trespe, Glatthafer und Fuchsschwanz bei verschiedenen Grundwassertiefen. In Reinsaat (Mitte) wuchsen alle drei Arten bei mittlerer Grundwassertiefe am besten, in Mischsaat (unten) nahm jede Art ihr bekanntes synökologisches Optimum ein.

¹ ausgeführt an der Technischen Hochschule Stuttgart-Hohenheim
² Die Kiefernwälder des Reichswaldes verdanken ihre Entstehung ferner den Eingriffen des Menschen, der durch Raubbau und Kahlschläge bei früheren Rodungen zur Bodenverschlechterung (Bodendegradierung) beigetragen hat.
³ Frische Böden sind immer gut durchfeuchtet und besitzen einen steten Grundwasserdurchzug.



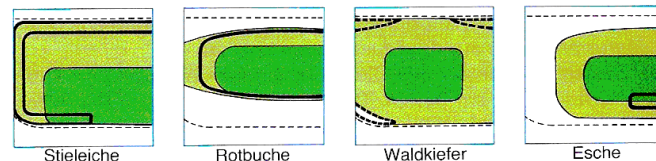
B 198.2. Ökogramm für das gemeinsame Vorkommen wichtiger Baumarten¹. Die punktierte Linie gibt den Bereich der vorherrschenden Rotbuche an. Weniger konkurrenzstarke Baumarten werden in ungünstigere Bereiche verdrängt.



B 198.3. Freistehende Rotbuche

¹ Die Fichte ist zwar ein häufiger Baum unserer Region, gehört aber nicht in die (submontane) Höhenstufe von ca. 700 m bis 1400 m NN. Sie wird nur forstlich auch in der submontanen Stufe angepflanzt. Aus diesem Grund ist sie in B 198.1. und B 198.2. nicht aufgeführt.

Bei vielen Tieren wird das synökologische Optimum weitgehend durch *biotische Ökofaktoren* bestimmt, d.h. durch die Anwesenheit anderer Arten im Biotop, z.B. durch das Vorhandensein von *Nahrungspflanzen* bzw. *Beutetieren* oder das Vorkommen von *Konkurrenten*, *Freißfeinden* und gefährlichen *Parasiten*.



B 198.1. Darstellung der Lebensbereiche waldbildender Baumarten im mitteleurop. Klima und ca. 500 m Meereshöhe
 Rechtsachse: pH-Wert (Kalkgehalt) des Bodens; Hochachse: Wassergehalt des Bodens
 --- Existenzgrenze des Waldes — Existenzgrenze der Baumart
 ■ optimaler Lebensbereich ◌ Bereich der Vorherrschaft
 ■ nichtoptimaler Lebensbereich unter autökologischen (physiologischen) Bedingungen
 ◌ Bereich der Mitherrschaft unter synökologischen Bedingungen (Konkurrenz)

Aufgaben

- A1** Der Wettbewerb unter verschiedenen Arten mit ähnlichen ökologischen Bedürfnissen ist bei ortsgebundenen Organismen am größten. Suchen Sie Beispiele für Ortsbindung bei Pflanzen und Tieren. Versuchen Sie zu zeigen, daß „ortsgebunden“ nicht gleichzeitig „fest-sitzend“ sein muß!
- A2** Versuchen Sie zu erklären, weshalb lange und strenge Frostperioden Feldmäusen und ihren Freißfeinden schaden. Suchen Sie Beispiele für die verheerenden Wirkungen von Früh- und Spätfrösten auf Pflanzen.

Nischen im Ökosystem

Scharfe Nahrungskonkurrenz in Biozönosen führt im Laufe der stammesgeschichtlichen Entwicklung zur ökologischen Sonderung. Es entstehen *Fraßspezialisten*, die nur eine bestimmte, oftmals sogar giftige Nahrungspflanze bevorzugen oder *Jagdspezialisten* mit eng an das Verhalten der Beute angepaßten Jagdmethoden. Nahrungsspezialisten entgehen der allgemeinen Konkurrenz; sie besetzen **ökologische Nischen** im Ökosystem, in diesem Fall Nahrungs-mischen. Je größer die Anzahl konkurrierender Arten in einer Biozönose ist, desto mehr *Nischenplätze* (*Planstellen im Biotop*) wird das betreffende Ökosystem aufweisen. Die Existenz ökologischer Nischen ist ein Gradmesser für den Artenreichtum und die Vielgestaltigkeit sowie für ein ausgeprägtes Wechselwirkungsgefüge in einem Ökosystem.

Nischen im Nadelwald. Viele Vogelarten können z. B. in einem Fichtenwald ohne nennenswerte Nahrungskonkurrenz nebeneinander existieren. Dies ist nur möglich, weil die Fichte ihnen in Form ihrer Nadeln, Zapfen und Kleinbewohner (meist Insekten) reichlich Nahrung bietet, und weil jede Art eine andere *Nahrungsnische* einnimmt (B 199.1.).

Fliegenschnäpper starten von den höchsten Astspitzen zum Insektenfang im Luftraum. *Kreuzschnäbel* schlitzten Zapfenschuppen auf, um Samen herauszuholen. Die nur fünf Gramm schweren *Goldhähnchen* suchen an den äußersten Zweigen nach Beute. *Spechte* hämmern im Holz der Stämme nach Larven. *Baumläufer* fahnden in Rindenspalten nach Korbtieren. *Meisen* picken Insekten von Ästen und Zweigen. Das große, schwere *Auerhuhn* ernährt sich von jungen Fichtennadeln. *Amseln* und *Wacholderdrosseln* hacken Gliederfüßler und Würmer aus der Nadelstreu auf dem Boden.

Neben der Niscentrennung im Hinblick auf die Nahrung gibt es weitere ökologische Sonderungen, z.B. in den Nistgewohnheiten (*Nistplatznischen*). Die Nistplätze von *Kreuzschnabel* und *Goldhähnchen* z.B. befinden sich im Wipfelgeäst. *Fliegenschnäpper*, *Baumläufer* und *Meisen* sind Höhlenbrüter und bauen ihre Nester in Astlöcher oder leere Spechthöhlen. *Spechte* zimmern selbst ihre Nisthöhlen, *Auerhuhn* und *Drosseln* brüten am Boden oder in Bodennähe.

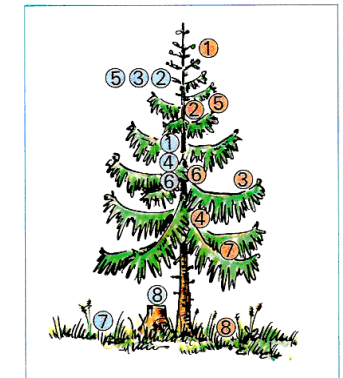
Euryöke Arten mit ausgesprochen anpassungsfähigem Verhalten können in verschieden strukturierten Ökosystemen sogar *unterschiedliche* ökologische *Nischen* besetzen. *Kolkraben*, *Polarfüchse* und *Hyänen* z. B. treten je nach Nahrungsangebot und Konkurrenzdruck als Räuber oder als Aasfresser auf.

Die größte Nischenvielfalt trifft man in Wäldern an, vor allem in tropischen Regenwäldern. Dort wird die von Pflanzen erzeugte organische Substanz alsbald von Blattverzehrern und -minierern, von Knospen-, Samen- und Fruchtfressern aufgebraucht. Pflanzenfresser fallen wiederum Räubern aller Art zum Opfer. Kot-, Aas-, Holz-, Pilz- und Bakterienfresser sowie Mikroorganismen verarbeiten rasch alle pflanzlichen und tierischen Überreste. Darüber hinaus beherbergt fast jede Art ihr eigene Parasiten. Den Artenbestand aller Tiere der Erde schätzt man, neueren Untersuchungen (vor allem in Regenwäldern) zufolge, auf 20 Millionen bis 80 Millionen Arten.

Aufgaben

- A1** Ordnen Sie Eichhörnchen und Waldkauz in das Nischengefüge des Fichtenwaldes (B 199.1.) ein.
- A2** Kolkraben schlagen Kleinsäuger oder nehmen Aas. Welche Nische wird diese Art in bzw. außer Konkurrenz mit Steinadlern/Aasgeiern in Mitteleuropa/Nordafrika einnehmen?
- A3** Unterscheiden Sie die speziellen Jagdmethoden von Hunden und Katzen, Rad- und Springspinnen, Falken und Bussarden, Schwalben und Fledermäusen und beschreiben Sie die entsprechenden Nischenplätze.

Wechselbeziehungen zwischen Lebewesen und Umwelt



B 199.1. Ökologische Nischen im Nadelwald. Links: Nistplatznischen. Rechts: Nahrungsnischen folgender Gattungen bzw. Arten:
 ① = Fliegenschnäpper,
 ② = Kreuzschnabel,
 ③ = Goldhähnchen,
 ④ = Specht und Baumläufer,
 ⑤ = Eichhörnchen,
 ⑥ = Meise,
 ⑦ = Auerhuhn,
 ⑧ = Amsel und Wacholderdrossel.