

Teil III: Modelle der Populationsentwicklung

$dN/dt = r \cdot N$ ist eine Differentialgleichung

Sie beschreibt die zeitliche Veränderung der Population

Daraus kann man die Populationsgröße N zu jeder Zeit t berechnen:

$$N(t) = N_0 \cdot e^{rt}$$

(Mathematische Beschreibung des exponentiellen Wachstums einer Population)

Viele einfache Prozesse in der Natur zeigen einen exponentiellen Verlauf: z.B. radioaktiver Zerfall, Zellwachstum in Zellkulturen,

Probleme des exponentiellen Wachstums

Enorme Vereinfachung der Populationsentwicklung

Einige Beispiel-Probleme:

- keine Variabilität in der Zeit („gute Zeiten, schlechte Zeiten“),
- keine Unterschiede bei den Individuen (z.B. Geschlechter-verhältnis)
- Raum wird nicht berücksichtigt (Partner finden sich immer)
- und vor allem: unbeschränktes Wachstum !!!?

Trotzdem: eine mathematisch sehr einfache (aber stark abstrahierende) Form, um bestimmte Entwicklungsphasen (!) in Populationen zu beschreiben. Noch immer häufig benutzt!

Begrenztes Wachstum: Beispiel Hefe und Entenmuschel

Wenn die Ressourcen (Nahrung, Raum etc.) knapp werden, verringert sich das Wachstum der Population - evtl. bis zum Stillstand.

Beispiel: *Saccharomyces cerevisiae*

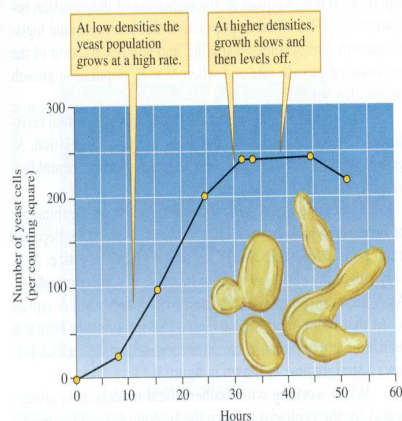


FIGURE 9.8 Sigmoidal growth by a population of the yeast *Saccharomyces cerevisiae* (data from Gause 1934).

Beispiel: *Balanus balanoides*

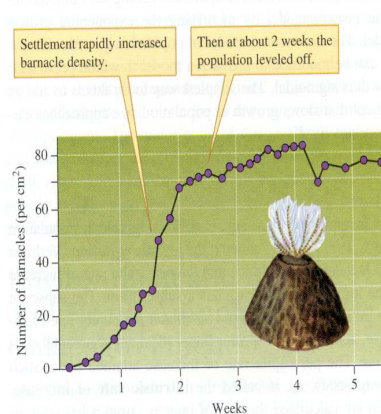
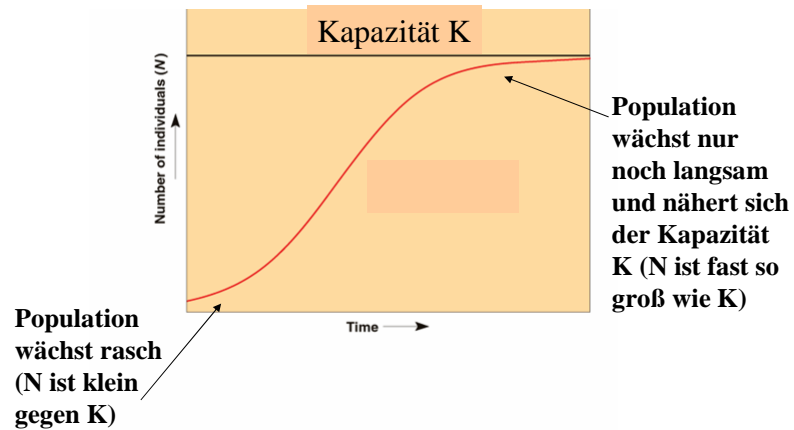


FIGURE 9.10 Settlement by the barnacle *Balanus balanoides* in the intertidal zone (data from Connell 1961).

→ ‚sigmoider‘ Populationsverlauf

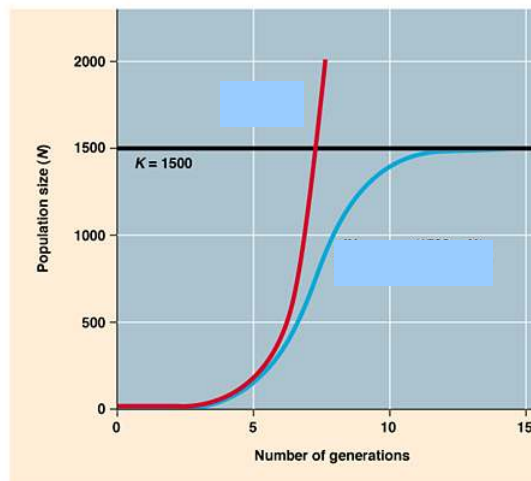
Modell C: Logistisches Wachstum

Sigmoide Wachstumskurve der Population



Saunders College Publishing

Vergleich exponentielles und logistisches Wachstum:



©1999 Addison Wesley Longman, Inc.

Mathematische Beschreibung des logistischen Wachstums

- Einfachste mathematische Form gewählt (Verhulst 1838)
- Wie beim exponent. Wachstum:

$$dN/dt = r \cdot N$$

- Aber es kommt noch ein Term dazu, der zum verringerten Wachstum führt, wenn sich die Individuenzahl N der Kapazität K nähert: $1-N/K$

- Logist. Wachstum

$$dN/dt = r_m \cdot N \cdot (1 - N/K)$$

Neu!

Rate der Populationsänderung

Intrinsische Wachstumsrate

Individuenzahl

Kapazität

$$dN/dt = r_m \cdot (1 - N/K) \cdot N$$

r_m ist die maximale Wachstumsrate der Population (d.h. ohne Konkurrenz). r_m ist konstant.

Die aktuelle (realisierte) Wachstumsrate $r_m (1-N/K)$ beschreibt, wie sich das Wachstum der Population mit zunehmender Individuenzahl verringert

Beispiel Büffelpopulation

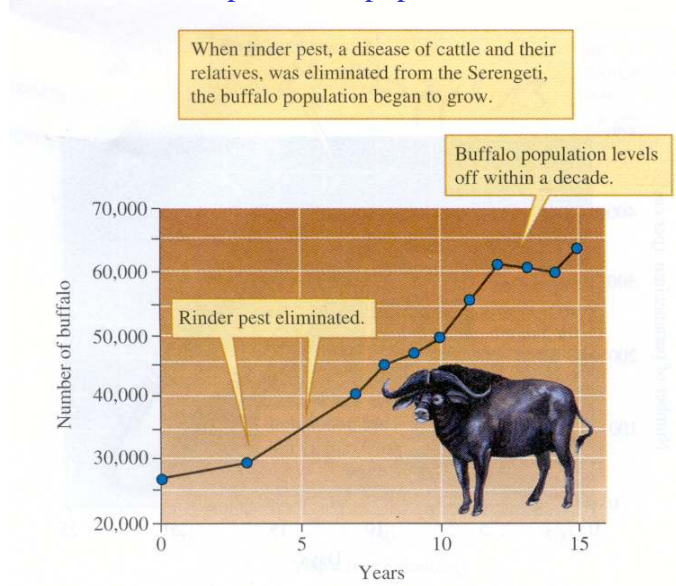
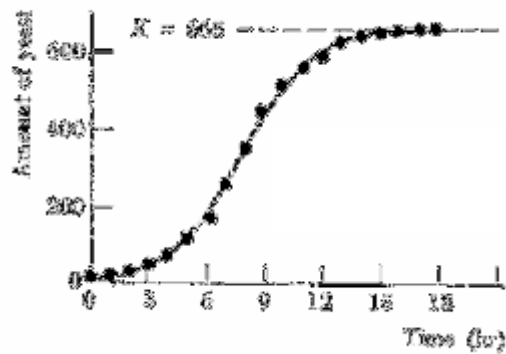
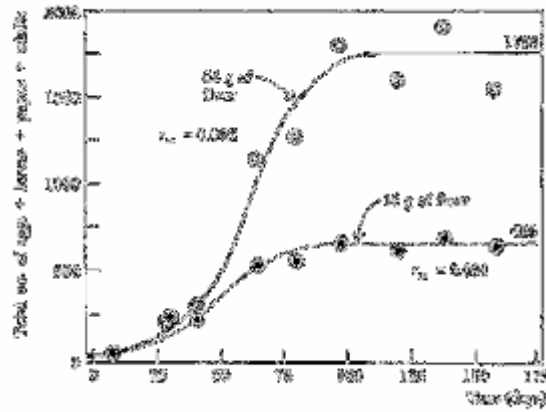


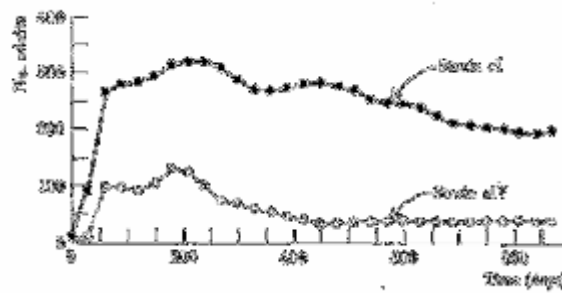
FIGURE 9.11 Sigmoidal population growth by African buffalo, *Syncerus caffer*, on the Serengeti Plain (data from Sinclair 1977).



Beispiel Hefezellen (data from T. Carlson (1931))



Beispiel Mehlwürmer (after Gause (1931))



Nochmal Mehlwürmer: Über längere Zeiten zeigen die Experimente einen Populationsabfall und Variabilität statt eines Gleichgewichts. (nach Park, Leslie, and Mertz (1964))

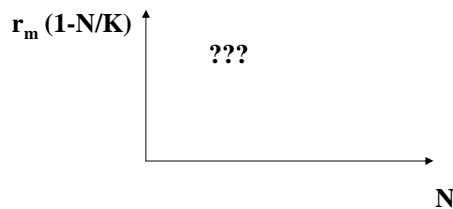
Also nochmal:

$$dN/dt = r_m \cdot (1 - N/K) \cdot N$$

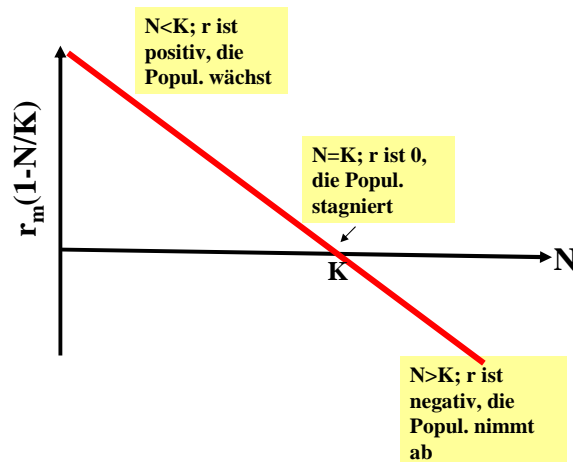
$r_m = \text{const}$; maximale Wachstumsrate der Population
(d.h. ohne Konkurrenz)

$r_m (1 - N/K) \Rightarrow$ hängt von der aktuellen
Individuenzahl N ab

Frage: Wie sieht dann der Graph dazu aus?



Die aktuelle Wachstumsrate $r = r_m (1 - N/K)$ hängt von der aktuellen Populationsgröße N ab. Bei Erreichen der Kapazität K wird das Wachstum 0, bei Populationsgrößen oberhalb K wird es negativ, d.h. die Population nimmt ab.



Beispiel

Experimente
mit Daphnien:

Wo liegt etwa
die Kapazität
K??

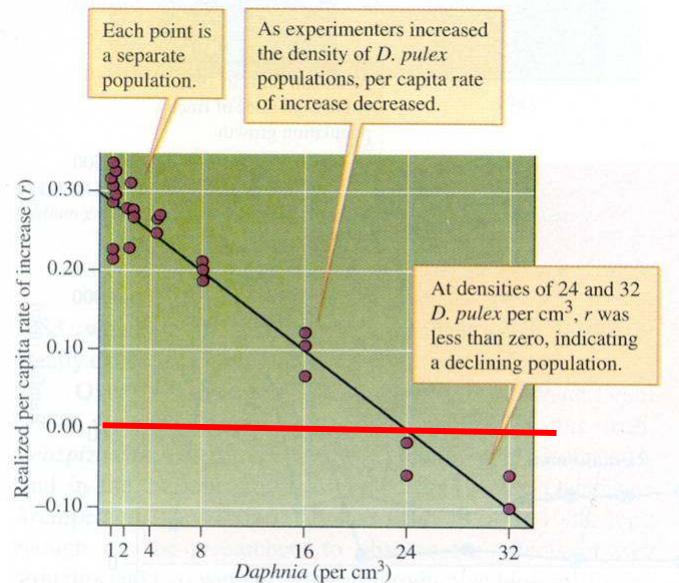


FIGURE 9.14 Relationship of density to per capita rate of increase in populations of *Daphnia pulex* (data from Frank, Boll, and Kelly 1957).

Allgemein:

Einschränkende Faktoren des Populationswachstums

- Nahrungsmangel
- Mangel an 'Zufluchtsorten',
- Habitatlimitierungen
- Mangel an anderen Ressourcen
- ungünstige Umweltbedingungen (z.B. zu hohe oder zu niedrige Niederschläge)
- Störungen, Katastrophen
- Krankheiten
- Konkurrenzdruck
- Räuberdruck
- ...

Was ist wichtiger: biotische oder abiotische Faktoren?

Antwort: Je nachdem.....

Oft unterschieden:

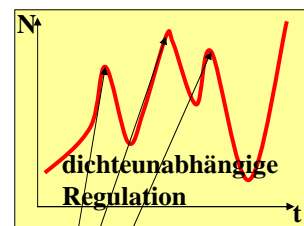
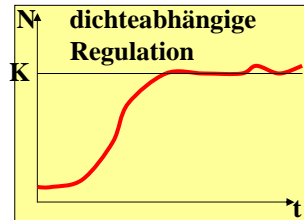
(i) **Dichte-abhängige Faktoren** (meist biotisch): z.B. intraspez. Konkurrenz, Krankheiten, Prädation, ..

(- führen meist zu sigmoidem Kurvenverlauf bei steigender Dichte => logistisches Wachstum!)

(ii) **Dichteunabhängige Faktoren** (meist abiotisch)

z.B. Störungen, Fluten, Extremtemperaturen, ...

- Beide Faktorengruppen können entscheidend sein
 - Beide Faktorengruppen wirken letztlich über veränderte Geburts- und Sterberaten
- Beispiel: Galapagos Finken (*Geospiza fortis*)



Populationseinbrüche durch Störungen etc.

Beispiel Galapagosfinken

Vegetation bei hohen Niederschlägen



und geringen Niederschlägen



FIGURE 9.15 The abundant rains of 1983 (a) greatly increased plant growth on the Galápagos Islands compared to (b) periods of lower rainfall.

Populationsentwicklung Finkenpopulation auf einer Galapagosinsel

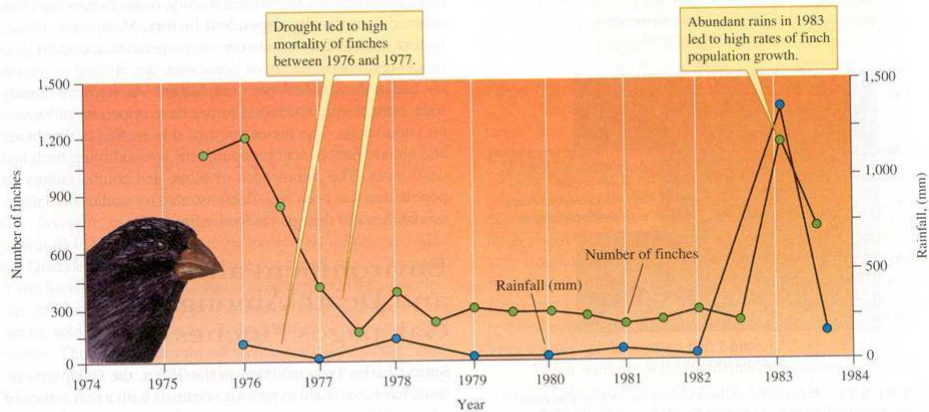


FIGURE 9.16 Rainfall and the medium ground finch, *Geospiza fortis*, population of Daphne Major Island (data from Gibbs and Grant 1987).

Finken –
Nahrungsproduktion/
Reproduktion

Niederschläge wirken
direkt auf
Nahrungsverfügbarkeit –
hier: Raupen

und damit auf die Zahl
der Nachkommen

Niederschläge
gering hoch

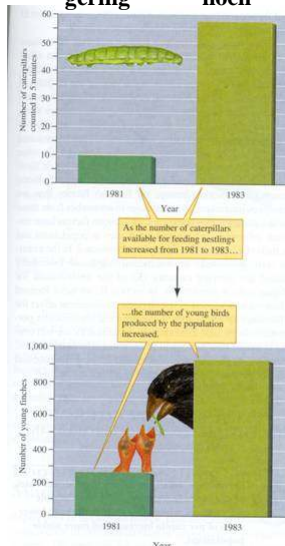


FIGURE 9.17 Availability of caterpillars and fledging of young medium ground finches on Daphne Major (data from Gibbs and Grant 1987).

Ähnlich: Großer
Kaktusfink

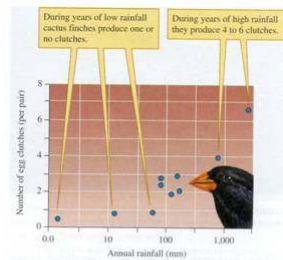


FIGURE 9.18 Relationship between annual rainfall and the number of egg clutches produced by large cactus finches, *Geospiza conirostris*, on Genovesa Island (data from Grant and Grant 1989).

Gelegezahl/größe
hängt von jährlichem
Niederschlag ab

Am Rande: Ökologische Konsequenzen des Finkenanstiegs.....

Kaktusblüten werden durch Finken teilweise zerstört (Pollensuche). El Niño Jahr 1983 führte zu weiteren Schäden (zu feucht..)



FIGURE 9.19 High rainfall during the El Niño of 1983 caused increased mortality of the cactus *Opuntia helleri* on Genovesa Island.

Als Konsequenz: Rückgang von Opuntia + starke Schäden durch Finken

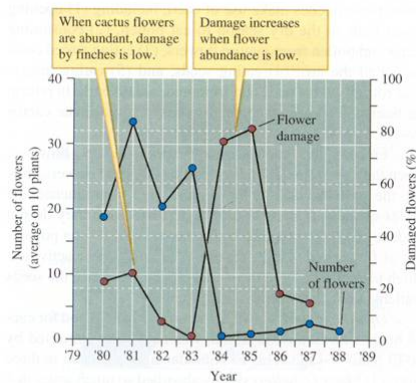


FIGURE 9.20 Cactus flower abundance on Genovesa Island and extent of flower damage by large cactus finches (data from Grant and Grant 1989).

Zwischenzusammenfassung:

- ohne Konkurrenz und andere dichteregulierende Faktoren könnten Populationen exponentiell anwachsen. Beschreibbar durch exponentielles Wachstumsmodell.
- bei nicht-überlappenden Generationen: geometrisches statt exponentielles Wachstumsmodell
- Intraspezifische Konkurrenz (zwischen Individuen einer Art) führt zu Dichteregulation
- mathematisches, einfaches Modell: logistisches Wachstum – führt zu sigmoidem Populationsverlauf
- Kapazität reguliert maximale Populationsgröße
- oft dichtetabhängige Regulation der Populationsgröße gekoppelt mit dichteunabhängiger Regulation (Witterung, Katastrophen,...)

Bisher kennengelernte Modelle:

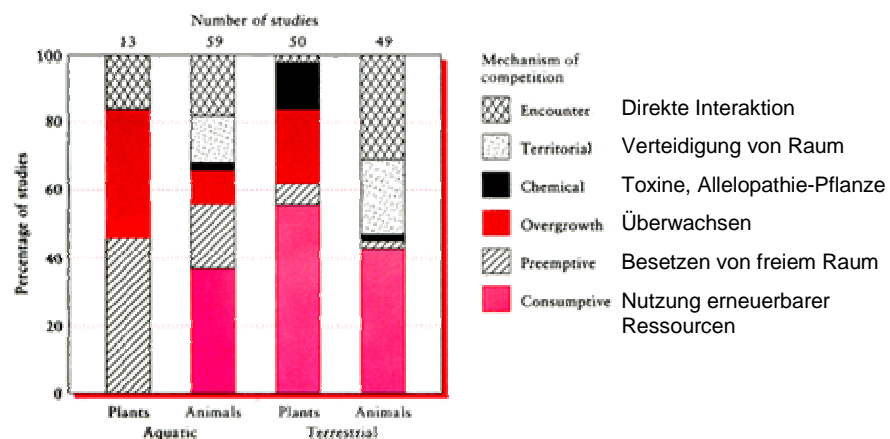
A. Geometrisches Wachstum (bei nicht-überlappenden Generationen; ohne Wachstumsbegrenzung)

B. Exponentielles Wachstum (überlappende Generationen; ohne Wachstumsbegrenzung)

C. Logistisches Wachstum (überlappende Generationen; mit Dichteregulation durch intraspezifische Konkurrenz, d.h. Konkurrenz innerhalb einer Art)

Häufig viel wichtiger: Konkurrenz zwischen verschiedenen Arten!

Mechanismen der Konkurrenz: Häufigkeit des Vorkommens



D. Modelle zu interspezifische Konkurrenz

- Dichteabhängige Regulation meist durch intraspezifische Konkurrenz
- D.h. Individuen einer Art konkurrieren um eine gemeinsame Ressource
- Natürlich können auch verschiedene Arten um die gleiche Ressource konkurrieren
 - ➔ Interspezifische Konkurrenz
- Dabei ist der Effekt auf die jeweils andere Art meist unterschiedlich groß
- z.B. bei herbivoren Insekten und Megaherbivoren

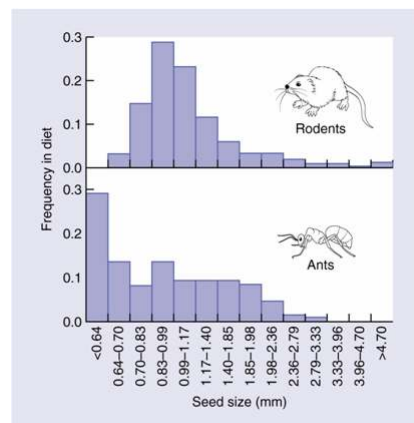


Konkurrenz kann auch zwischen sehr unterschiedlichen Arten auftreten!

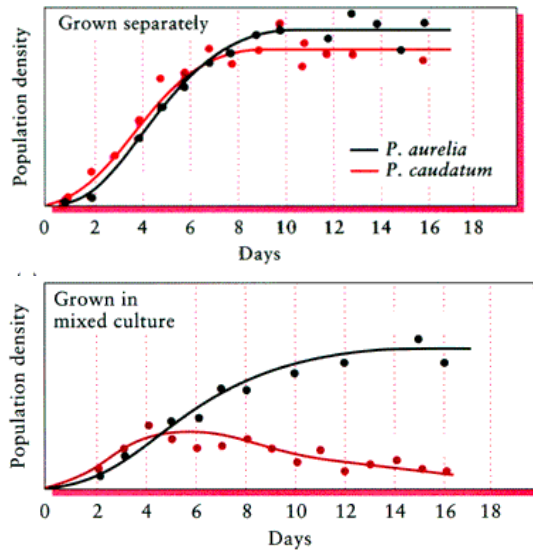
Wüstennagetiere und Ameisen



Kolibris und Nektar verzehrende Milben



Laborexperimente Gause (1937): Konkurrenzausschluss bei 2 Paramecium- Arten (Pantoffeltierchen)

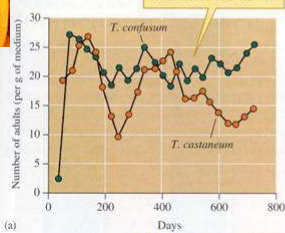


Beispiel: *Tribolium confusum* und *T. castaneum* – Populationen getrennt und gemeinsam

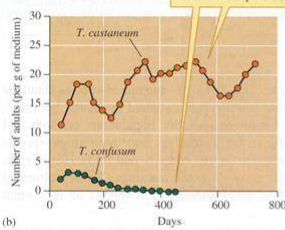


T. confusum
Amerik. Reis-
mehlkäfer

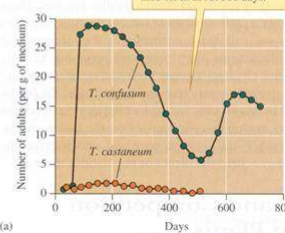
getrennt 1



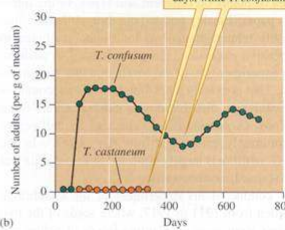
gemeinsam 1



getrennt 2



gemeinsam 2



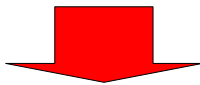
T. castaneum

FIGURE 10.16 Populations of *Tribolium confusum* and *T. castaneum* grown separately (a) and together (b) at 34°C and 70% relative humidity (data from Park 1954).

FIGURE 10.17 Populations of *Tribolium confusum* and *T. castaneum* grown separately (a) and together (b) at 24°C and 30% relative humidity (data from Park 1954).

Also: *Tribolium confusum* und *Tribolium castaneum* konkurrieren um die gleiche Ressource (z.B. Mehl). Je nach Umweltbedingungen ‚gewinnt‘ mal die eine mal die andere Art.

- (i) Kann man vorhersagen, welche Art die andere ‚herauskonkurriert‘?
- (ii) Können beide Arten koexistieren? Wenn ja, unter welchen Bedingungen?



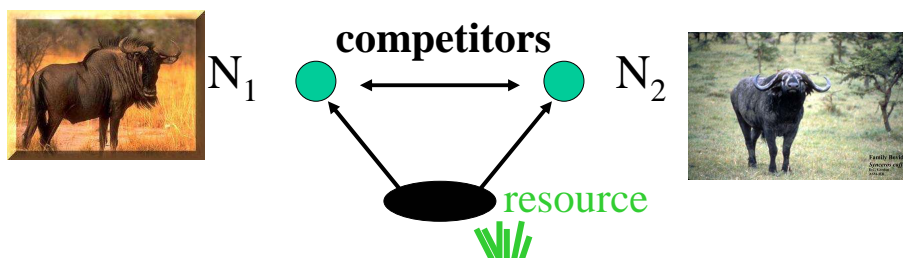
allgemeines Modell –

das Lotka Volterra Konkurrenzmodell (A. Lotka und V. Volterra (1926/32)):

Idee: Interspezif. Konkurrenz im logistischen Wachstumsmodell berücksichtigen

Idee:

Ressourcennutzung durch Individuen einer Art reduziert Verfügbarkeit für andere Art



dN_1/dt (Wachstum der Art 1) nimmt ab wenn N_2 zunimmt
Das gleiche gilt für dN_2/dt und N_1

Modell D: Lotka-Volterra Konkurrenzmodell

- Exp. Wachstum:

$$dN/dt = r_m \cdot N$$

Intraspezifische Konkurrenz

- Log. Wachstum:

$$dN/dt = r_m \cdot N \cdot (1 - N/K)$$

Interspezifische Konkurrenz

- LV-Konkurrenzmodell für Art 1:

$$dN_1/dt = r_{m1} \cdot N_1 \cdot (1 - N_1/K_1 - \alpha_{12} N_2/K_1)$$

α_{12} heißt Konkurrenzkoeffizient der Art 2 auf Art 1

Hinweis: Wenn man die Indizes 1 und 2 vertauscht erhält man die analoge Gleichung für die Art 2

$$dN_2/dt = r_{m2} \cdot N_2 \cdot (1 - N_2/K_2 - \alpha_{21} N_1/K_2)$$

Modell D: Lotka-Volterra Konkurrenzmodell

- Reduktion des Populationswachstums durch die eigene und die fremde Art
- Konkurrenzeffekte von Individuen der Art 2 werden in ihrer Wirkung auf die Kapazität K_1 mit dem Konkurrenzkoeffizient α_{12} gewichtet

Beispiel: Zwei Ameisenarten konkurrieren um gleiche Nahrung. Art 1 ist doppelt so schwer wie Art 2. Dann wäre $\alpha_{12} = 0.5$, d.h. jedes Individuum der Art 2 zählt nur ‚halb so viel‘ wie ein Individuum der Art 1.

Frage: Was bedeutet: $\alpha_{12} > 1$??

Antwort: Es bedeutet, dass der Konkurrenzeffekt eines Individuums der Art 2 auf ein Individuum der Art 1 größer ist als der Konkurrenzeffekt von Individuen der Art 1 untereinander!

Oder anders ausgedrückt:

Interspezifische Konkurrenz für Art 1 größer als intraspezifische Konkurrenz!

Konkurrenz ist nicht immer symmetrisch! Beispiel:

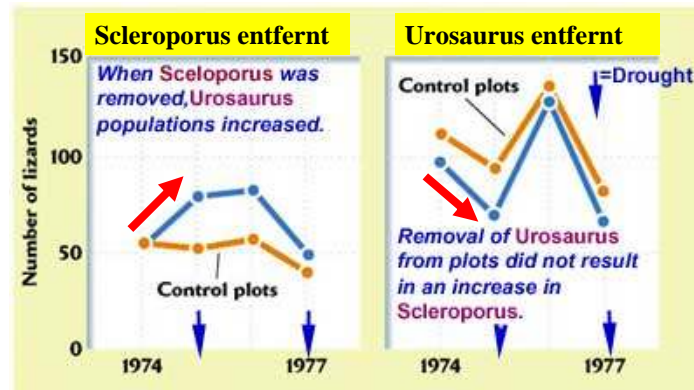
2 Eidechsen Arten in Texas (Dunham 1980): *Sceloporus* und *Urosaurus*

- Jeweils 1 Art wurde entfernt

- Dürre in 1975 und 1977

(1): Konkurrenz offenbar einseitig (*Urosaurus* steigt an)

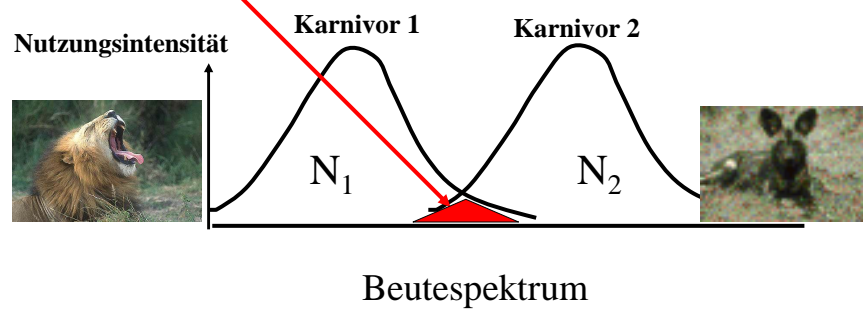
(2): Für eine Art (*Sceloporus*) Umweltstress wichtiger als Konkurrenz



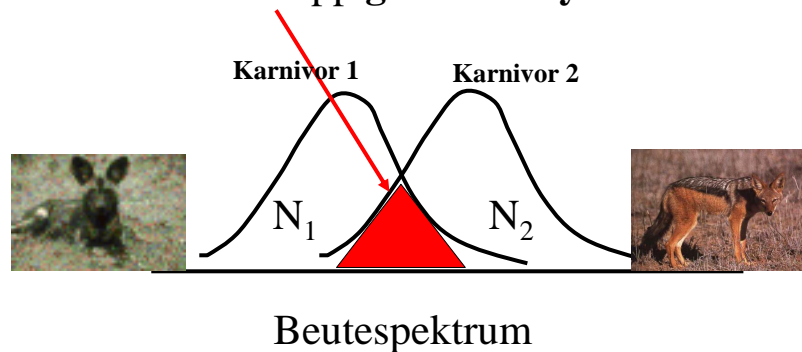
Was bestimmt die α Werte?

Überlapp in der gemeinsame Nutzung von Ressourcen

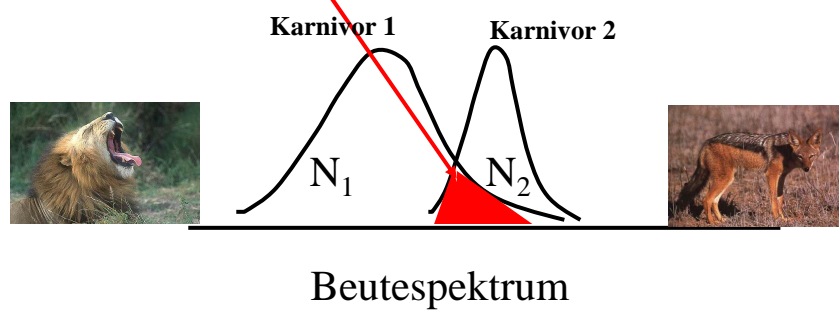
Hier ist der Überlapp gering und symmetrisch



Hier ist der Überlapp groß und symmetrisch



Hier ist der Überlapp **groß und asymmetrisch**:
 Effekt von N_1 auf N_2 ist größer als umgekehrt



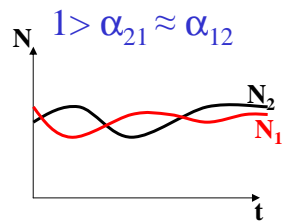
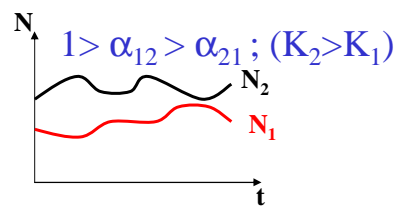
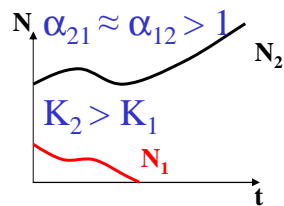
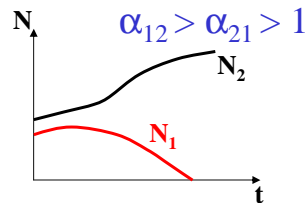
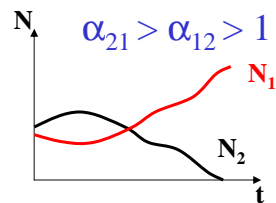
Frage: wie sähe das Lotka Volterra Konkurrenzmodell für 3 Arten aus???

Antwort:

- LV-Konkurrenzmodell für Art 1 im 3-Arten-Modell:

$$dN_1/dt = r_{m1} \cdot N_1 \cdot (1 - N_1/K_1 - \alpha_{12} N_2/K_1 - \alpha_{13} N_3/K_1)$$

Wie wirken sich nun verschiedene Konkurrenzstärken und Kapazitäten im Lotka-Volterra Konkurrenzmodell (für 2 Arten) aus?



Einige Beispiele für
Populationsentwicklungen
konkurrierender Arten nach
dem LV-Konkurrenzmodell

Wichtigste Ergebnisse des LV -Konkurrenz Modells

- Konkurrenz kann entweder zu **Koexistenz** oder zum **Konkurrenzausschluß** (= 1 Art wird verdrängt) führen
- Bei **starker Konkurrenz** findet **Ausschluß** statt
 - **Koexistenz** nur wenn die **interspezifische Konkurrenz klein** ist ($\alpha_{12} \cdot \alpha_{21} < 1$)
 - Mit kleinen Einschränkungen gilt sogar:
Koexistenz, wenn interspezifische Konkurrenz für beide Arten kleiner als die intraspezifische Konkurrenz (**Einnischung**)

- Arten mit höherer Toleranz gegenüber hohen Dichten (= größerer Kapazität K) und Konkurrenzeinfluss (α) werden 'gewinnen'
- Bei starker **symmetrischer Konkurrenz** ist Ausschluß zu erwarten, aber beide Arten können gewinnen. Symmetrisch heißt: $K_1 \approx K_2$ und $\alpha_{12} \approx \alpha_{21}$

Koexistenz (=> Artenvielfalt) in der Natur legt nahe, dass Konkurrenz im Labor viel stärker wirkt als in natürlichen Artengemeinschaften

Warum?

Evolution:

Konkurrenzeffekte werden reduziert oder vermieden, z.B. durch Aufteilung von Ressourcen und Habitaten (im Labor nicht möglich)

Faktoren, die Konkurrenz vermindern können

z.B.:

- a. Ausweichmöglichkeit bei Nahrungsressourcen (z.B. prey switching)**
- b. unterschiedliche zeitliche Ressourcennutzung (z.B. Frühjahrskeimer und Herbstkeimer)**
- c. Störungen (Wetter, Katastrophen, etc.) verhindern, dass eine Art überhand nimmt.**
- d. ‚Räuber vermittelte Koexistenz‘: konkurrierende Beutetiere koexistieren, da dominante Art durch Prädatoren reduziert wird (Räuber oft ‚keystone species‘)**
- e. räumliche Ausbreitung, um Konkurrenz zu entgehen**

usw.

Koexistenzvermittelnde Faktoren wichtiges Forschungsgebiet der Ökologie

Baumfalllücken (=gaps) in Wäldern erhöhen lokal massiv den Lichteinfall – einsetzende Lichtkonkurrenz der gap kolonisierenden Pflanzen.

Gaps erlauben (licht)konkurrenzschwächeren Arten zu koexistieren: Wichtiger Biodiversitätsfaktor in tropischen Regenwäldern!



Untersuchungen zur Konkurrenz im Auengrünland (der Unteren Havel)

Artenreiches Auengrünland der Unteren Havel

- Bedeutung für den Naturschutz -

- 49 Rote Liste – Arten (Brdbg.)
- artenreiches Auengrünland von besonderem Naturschutzwert, da gefährdet (FFH- Biototyp)

Verständnis der Koexistenzmechanismen als Basis für Artenschutz!

Koexistenz bei Pflanzen

- Lotka-Volterra-Konkurrenzmodell: Koexistenz von Arten ist möglich, wenn jede Art stärker selbst- als fremdlimitiert ist
 - d.h., die Individuen innerhalb einer Art konkurrieren stärker um limitierte Ressourcen als Individuen jeweils verschiedener Arten
- Heißt das, daß die Ansprüche von koexistierenden Arten kaum überlappen?
 - für Pflanzenarten des Auengrünlandes schwer vorstellbar, da alle die gleichen Ressourcen benötigen (Licht, CO₂, Wasser, mineral. Nährstoffe, (Raum))

Koexistenz bei Pflanzen

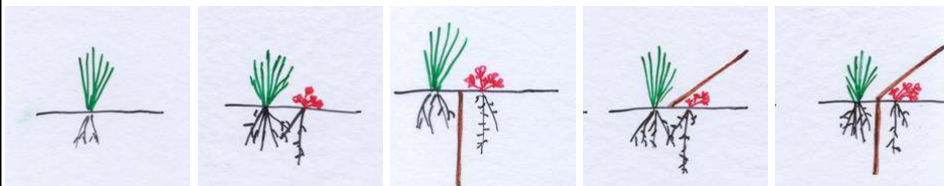
Idee/ Ansatz:

Unterschiedliche Konkurrenzkraft für die Ausnutzung der verschiedenen gemeinsam beanspruchten Ressourcen

- Konkurrenzeffekte nach Ressourcen getrennt betrachten
- Einzelbetrachtung von ober- und unterirdischer Konkurrenz

Das experimentelle Design

Experimentelle Untersuchung von Konkurrenz



Kontrolle

Volle
Konkurrenz

Nur
oberirdische
Konkurrenz

Nur
unterirdische
Konkurrenz

Apparate-
Effekt

- alle möglichen intra- und interspezifischen Paarungen aus drei Arten des Auengrünlandes
- 7 Wiederholungen

Im Experiment verwendete Arten des Auengrünlands

Trifolium repens
(Weiß-Klee)

- oberirdische Stolone
- wächst 10 bis 30 cm hoch



Deschampsia cespitosa
(Rasen-Schmiele)

- dichte Horste
- wächst 20-150 (200) cm hoch

Im Experiment verwendete Arten des Auengrünlands

Elytrigia repens (**Gemeine Quecke**)

- unterirdische Rhizome
- wächst 30-120 cm hoch



Das Experiment



Nur oberirdische Konkurrenz



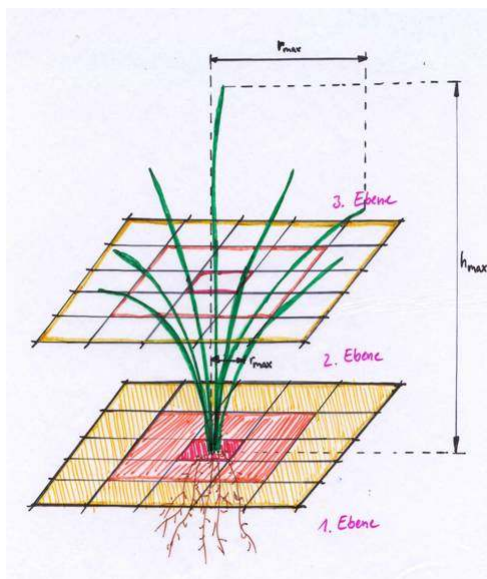
Nur unterirdische Konkurrenz



Apparate-Effekt

Das Experiment

Gemessene Parameter



Zu verschiedenen Zeitpunkten während des Experimentes:

- h_{max} , r_{max}
- Deckungsschätzungen auf verschiedenen vertikalen und lateralen Ebenen
- Anzahl der Blütenstände

Am Ende des Experimentes:

- Ober- und unterirdische Biomasse

Ein methodischer Versuch

Beobachtung von unterirdischer Konkurrenz über die Zeit



- 50x30 cm „Wurzelfenster“
- Plots mit Kontrolle und voller Konkurrenz (intra- and interspezifisch)
- 7 Wiederholungen

Ein methodischer Versuch

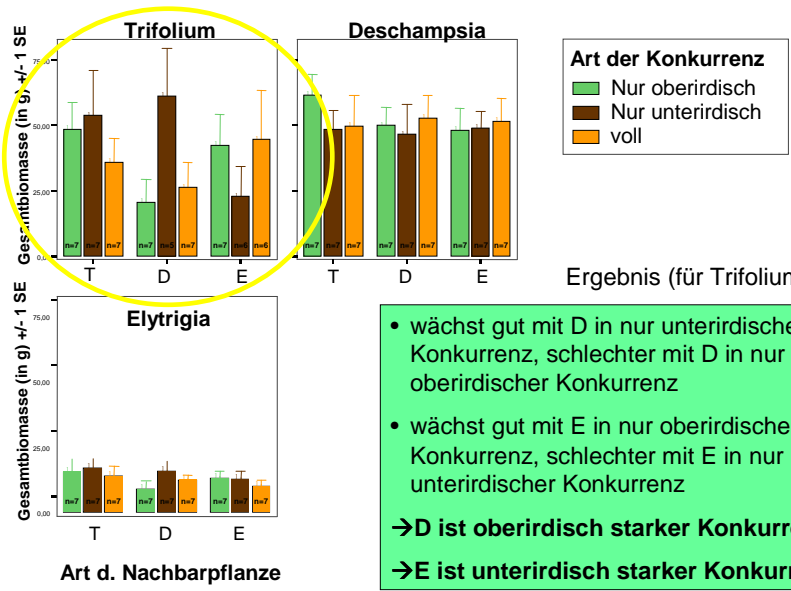
Messung unterirdischer Parameter:

- Nachzeichnen der sichtbaren Wurzeln zu verschiedenen Zeitpunkten auf Folien
- Automatische Vermessung der Wurzellängen mit Software WinRhizo



Ergebnisse

Unterscheiden sich ober- und unterirdische Konkurrenz?



Ergebnisse

- Allgemein: Geringe Konkurrenz nachweisbar
- Konkurrenzvermeidung überwiegt – durch ober- und unterirdisch plastisches Wachstum der Einzelpflanze

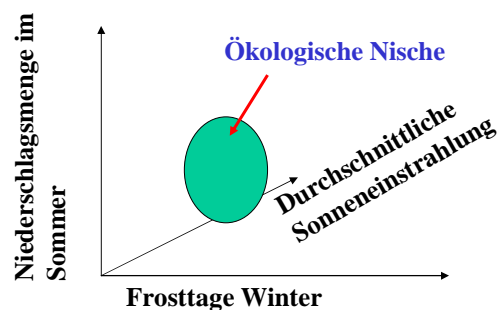
Ökologische Nische

viele Definitionsversuche:

- Grinnell (1917): ..‘ all the sites where organisms of a species can live (where conditions are suitable for life)‘. (Habitatorientiert)
- Elton (1927): ‘ .. function performed by the species in the community of which it is a member‘. (Funktionsorientiert)
- Hutchinson (1957) ‘ .. a region (n-dimensional hypervolume) in a multi-dimensional space of environmental factors that affect the welfare of a species‘ (d.h. n-dimensionaler Raum mit Achsen = Habitat- oder Ressourcenfaktoren). (an Umweltbedingungen orientiert)

Ökologische Nische: am häufigsten wird die Definition von Hutchinson benutzt

Beispiel: Pflanzenart



Ökologische Nische - man unterscheidet zwischen:

Fundamentale Nische = Bereich der Bedingungen in dem die Art potentiell überleben kann.

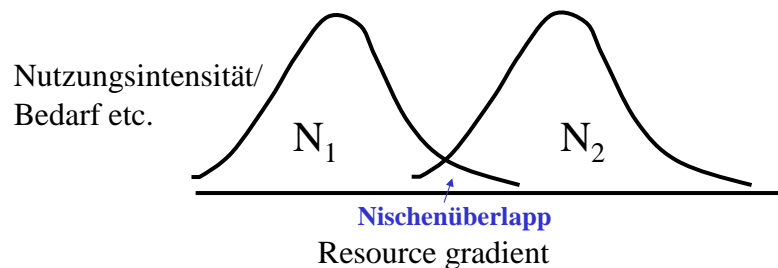
Realisierte Nische = Der tatsächlich besetzte Bereich der Bedingungen.

Die realisierte hängt ab von Interaktionen zwischen Arten, Ausbreitungslimitierungen etc. (vgl. climate envelope models, VL 1)

Intensität von Konkurrenz ist proportional zum Nischenüberlapp.

- Aber Vorsicht:

- (1) Messen des Nischen-Volumens ist subjektiv,
- (2) einige wichtige Nischendimensionen könnten unbekannt sein,
- (3) Nischenansprüche verändern sich im Lebenszyklus und damit in der Zeit,
- (4) Nischen (und -ansprüche) können sich von einer geografischen Region zur anderen verändern.



Interspez. Konkurrenz - Nischenüberlapp

Beispiel: Granivorenkonkurrenz

Luftbild
24 Untersuchungsflächen
(Plots – 50m x 50m)
Zur Granivorenkonkurrenz
in der
Chihuahua-Wüste (Arizona)

Ausschluss großer
Granivoren-

Effekt auf kleine
Granivoren und
Insektivoren?

Konkurrenz um was?
(Samen, Raum, andere
Ressourcen, aktive
,Vertreibung', ...)



FIGURE 10.22 Aerial photo showing the placement of 24 study plots, each 50 m by 50 m, in the Chihuahuan Desert near Portal, Arizona (courtesy of J. H. Brown).

Konkurrenten: Känguruh-Ratte und Taschenmaus in der Chihuahua-Wüste



(a)

großer Granivore



(b)

kleiner Granivore

FIGURE 10.23 Two species of granivorous rodents living in the Chihuahuan Desert: (a) the kangaroo rat, *Dipodomys* sp., a large granivore; (b) a pocket mouse, *Perognathus* sp., a small granivore.

Ausschluß großer Granivoren: Antwort kleiner Granivoren bzw. Insektivoren

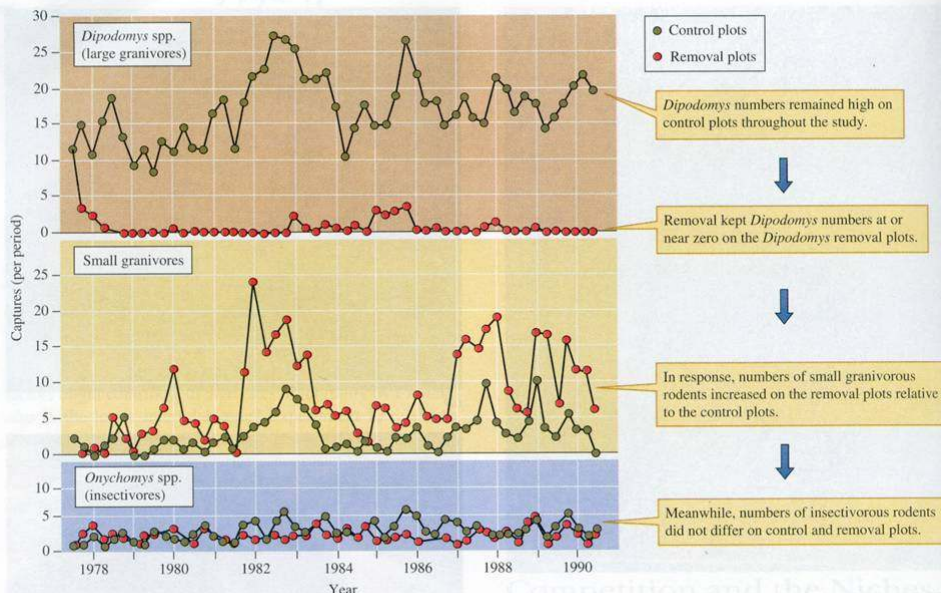


FIGURE 10.24 Responses by small granivorous and insectivorous rodents to removal of large granivorous *Dipodomys* species (data from Heske, Brown, and Mistry 1994).

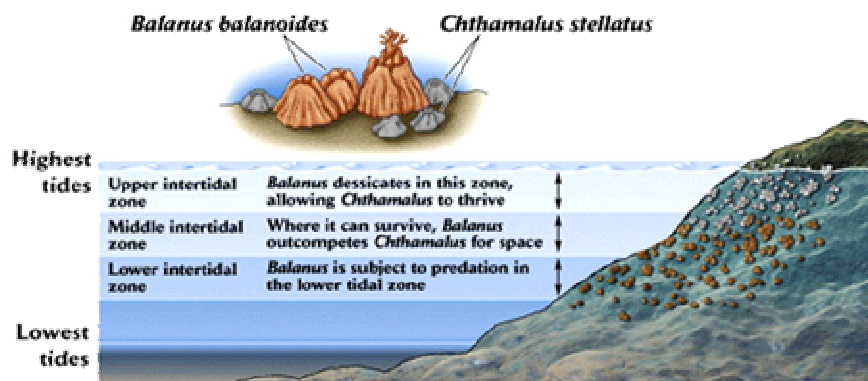
Beispiel Granivorenkonkurrenz

- Untersuchungen zeigen, dass die großen Granivoren starken Konkurrenzdruck auf die kleineren Granivorenarten ausüben, d.h. großer Nischenüberlapp
- Insektivore Arten sind nicht beeinflusst, der Nischenüberlapp ist also gering

Konkurrenz beeinflusst auch räumliche Verteilungen (im Zusammenwirken mit physiologischer Toleranz!)

Connell (1961): Zonierung von Seepocken (*Chthamalus* und *Balanus*) im Landungsbereich von Küstenzone

Physiologische Toleranz bestimmt potentiell Vorkommen, Konkurrenz bestimmt tatsächliches Vorkommen in überlappenden Zonen



Kurzzusammenfassung:

- **Interspezifische Konkurrenz** zwischen unterschiedlichen Arten
- einfaches mathematisches Modell: **Lotka-Volterra Konkurrenzmodell**
- **Hauptaussage: Koexistenz möglich** wenn intraspezifische Konkurrenz für beide Arten größer als interspezifische Konkurrenz => Nischenseparation
- **Konkurrenzvermeidung entscheidend für Koexistenz und damit Biodiversität**
- **Konkurrenz muss nicht symmetrisch sein** (z.B. A leidet unter Konkurrenz von B aber nicht umgekehrt)
- **Konkurrenz kann räumliche Verteilungen bestimmen**
- **Konkurrenz kann durch ‚aktive‘ und ‚passive‘ Wechselwirkungen entstehen**
- **Nachweis der Konkurrenz(-stärke) oft erst durch Entfernen eines der beteiligten Organismen** möglich