

Prozesse und Mechanismen im Boden

Forschungsansätze für die Zukunft



Zusammenstellung der Rappports ins Plenum

Motivation des Workshops

Theorie-Defizit in der Bodenökologie

„soil ecology is short of modelling and evolutionary approaches and has developed too independently from general ecology“

(Barot et al. 2007, PLoS ONE 2(11): e1248)

Mangel an allgemeingültigen Prinzipien

„soil ecology has relatively few fundamental unifying principles that can be used to explain and predict patterns and processes in belowground ecosystems“

(Fierer et al. 2009, Soil Biology & Biochemistry 41: 2249–2256)



„Analyse von Forschungsstrategien in der Bodenökologie“

Lokale und regionale Steuergrößen der Diversität

Sektionsgruppen

- Landschaftsökologie und Bodenfauna
- Mikroorganismen – die letzte Black Box?
- Diversität abiotischer Bodenparameter

Rapporteur

Klemens Ekschmitt

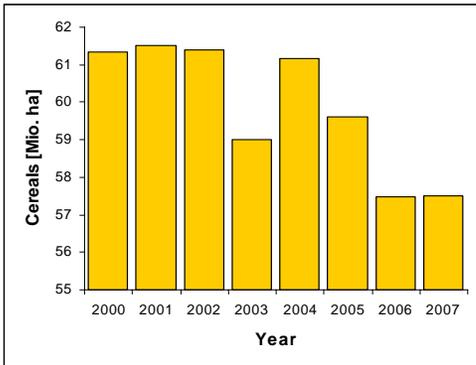
Dirk Krüger

Thomas Wutzler

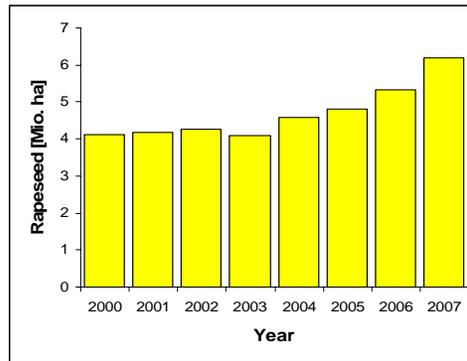
Landschaftsökologie und Bodenfauna: Konzept

Systematische Änderung der Flächennutzung in Europa (EU-27)

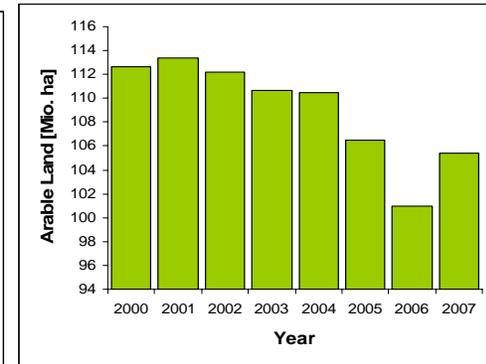
(GAIN Report Number: E49027, 2009)



Getreide



Raps



Agrar-Fläche

Theorie aus der Landschaftsökologie:

Die Landschaftsumgebung („Matrix“) definiert das Besiedlungspotenzial für eine Fläche und damit deren Artenreichtum.

(Dauber et al 2005. Global Ecology and Biogeography 14: 213-221)

Hypothese: Bei endogäischen Bodentieren spielt zusätzlich die lokale Vermehrung eine wichtige Rolle.

(Ettema & Wardle 2002. Trends in Ecology & Evolution 17: 177-183)



Boden-Biodiversität aus Mobilität *und* Reproduktion

Landschaftsökologie und Bodenfauna: Auswertung vorhandener Daten

Landnutzung

aus CORINE-Datenbank (100 x 100m)

Matrix in ca. 1 bis 5 km Radius um die Probenpunkte

Tier-Erfassungen mit GPS-Position

Nematoden: Datensammlung NL, UK

Mikroarthropoden: Biodiversitäts-Exploratorien

.....

GBIF ?

Klassifizierung der Tiere

in Mobilitätsklassen

und Reproduktions-Klassen (Generationsdauer)



Gibt es eine systematische Reaktion der Bodendiversität auf bestimmte Landschafts-Änderungen?

Landschaftsökologie und Bodenfauna: Hypothesen

Die Bodenbiozönose

- ist ein System und sie spiegelt das Biotop wieder
- omnipräsente Generalisten gibt's nicht

Den Raum definieren: Europa

Woraus entstehen die Muster?

Sprünge in den Artengemeinschaften

Was beeinflusst die Bodenfauna?

Bodenbearbeitung, Düngung, Pestizide

Was sind wesentliche Eigenschaften der Tiere für die Verbindung zwischen Landschaft und Fauna?

Mobilität:	epigäisch/endogäisch (Collis, Lumbris)
Reproduktion:	r/K Strategie c/p-Klassen (Nemas)
Invasions-Szenarioa:	Seed rain + Etablierung
Arten-Reservoir:	historisches/räumliches
Rückkopplung:	keystone species

Landschaftsökologie und Bodenfauna: Auswertungs-Methoden

Modell-Definition	Eigenschaft
Artenzahl, sel. Ähnlichkeit , Abundanz	Zielgrößen (Diversität und „Funktion“)
Acker, Grünland, Wald in der Matrix	Stetige Prädiktoren
Alter, Nutzungsgeschichte	Arten-Reservoir
Migrations und Reproduktions-Klassen	Kategorische Prädiktoren
Interaktion Nutzung x MR-Klasse	Haupt-Hypothese
<i>(Bodenparameter)</i>	<i>(Störgrößen)</i>

Auswertungs-Methode	Besonderheit
Meta-Analyse Methoden (klassisch)	Gewichtung nach Güte
Distanz-Matrix Methode (rel. neu)	Ähnlichkeit von Gemeinschaften
Distanz-Korrektur (ganz neu, 2010)	Rel. Skalen-Unabhängigkeit



Theorie-getriebener Auswertungs-Ansatz quer durch die Böden

Mikroorganismen – die letzte Black Box ?

Sind Mikroorganismen wirklich eine Blackbox?

- Erfassen wir mit Hochdurchsatzmethoden überhaupt die Funktionen?
- In aquatischen Systemen ist Manipulation einfacher als im Boden – wir brauchen ein besseres System zum experimentieren.
- Bessere Integration in Modelle – Mikroben sind schwer fassbar für Ökologen.
- Verschneidung Mikrobiologie – höhere Organismen schwierig.
- Universitätsstrukturen müßten anders sein

Mikroorganismen – die letzte Black Box ?

Was brauchen wir ?

- einen Schritt zurück:
 - Grundmechanismen aus dem Labor
 - Genome (zumindest bei Pilzen)
 - Modellorganismen
- oder Grossversuche mit Ausschluß von Komponenten
- Experimente, die bestimmte Mikroorganismen fördern – dann ist es nicht so wichtig dass nicht alle kultivierbar sind
- genetischer Abstand als bedeutendes Mass der Diversität
- nicht treiben lassen von neuen Methoden
- in der Mikrobiologie suchen wir zu gezielt – kaum zufällige Treffer

Mikroorganismen – die letzte Black Box ?

Fazit

- Entwicklung von Methoden die verlinken (z.B. 16S mit funktionellen Genen)
- Reduktionistischer Ansatz = kontrollierte Mikrosysteme: Modellgruppen für experimentelle Untersuchungen und dort innovative Hochdurchsatzmethoden ansetzen
- ökologische Grundhypothesen untersuchen
- Vorteil der HTP-Methoden nutzen: viele Ansätze – Mehrwert – Statistik wird besser werden

Variabilität abiotischer Bodenparameter

Welche Parameter sind wichtig?

- Grundgrößen von Modellen, Stoffumsätzen und Artenverteilungen
- Bestimmen die Randbedingungen von Prozessen
- Messung abiotische Parameter: auch alte Größen (Lagerungsdichten, Sättigungskurve, Bodenwasserdynamik, Temperaturdynamik)
- Vorstellung der zeitlichen und räumlichen Variabilität
- => Finanzierung von Personal

Variabilität abiotischer Bodenparameter

Hypothesen

- Plotskala (10'y):
 - abiotische Prozesse => Abundanzen & Aktivitäten => Prozesse
 - saisonale Dynamik
- Lebensraumskala:
 - Arten verändern die abiotischen Parameter

Forschungsansätze

- kausale statt empirische Zusammenhänge
- Zusammenhänge noch valid unter geänderten abiotischen Bedingungen, z.B. Klima ?
 - Bsp: Temperatursensivität des Streuabbaus, Exponential (T)
langfristige Erwärmung => Änderung der Bodenbiologie =>
andere langfristige Funktionen

Neue Methoden – alte Hypothesen ?

Sektionsgruppen

- Große Skalen & viele Daten
= neue Perspektiven
- Synthese methodischer Fortschritte

Rapporteur

Juliane Palm

Robert Koller

Große Skalen, viele Daten ... neue Perspektiven???

Problematik der Daten:

- Inwieweit sind vorhandene Daten für „upscaling“ nutzbar?
 - unterschiedliche Methoden und fehlende Parameter machen Datenzusammenführung schwierig!
 - Auswertungsmethoden, die mit fehlenden Daten umgehen können
- Hohe Varianzen im Datensatz, welche nicht über Parameter erklärt werden:
 - viele Daten werden benötigt
 - Datenerhebung: gerichteter Transekt oder mehr Daten
 - Datenvernetzung von Bodenökodaten, Dauerbeobachtungsflächen, auch auf europäischer Ebene, wesentliche Parameter erfassen

Große Skalen, viele Daten ... neue Perspektiven???

- **Große Skala: globale Ebene**
 - Hochskalierung ... andere Zusammenhänge, andere Muster als auf kleiner Skala
- **Bespiel Biodiversität:**
 - Leitbilder entwickeln - gibt es funktionelle Gruppen die Biodiversität beschreiben ?
 - Vegetationstypen, Bodentypen - gibt es Leittypen / Referenzgemeinschaften
 - Entwicklung von Traits

⇒ **Charakterisierung von Bodengemeinschaften:
stabile versus instabile Traits**

Synthese methodischer Fortschritte

Methoden zum Vergleich von Mikro, Meso, Makrofauna „durch verschiedene Böden“

Makrofauna:

1. Bildgebungsverfahren: Populationsdynamiken (von Collembola)
 - Bestimmung von Prädation, Bodenstruktur
2. Darminhaltsanalysen (Regenwürmer, Carabiden)
 - für Beute von Topprädatoren
 - MO können nicht erfasst werden
3. Räumliche Auswertungsverfahren (gelten auch für Mesofauna)
 - Punktmusterverfahren
 - Geostatistik

Synthese methodischer Fortschritte

Methoden zum Vergleich von Mikro, Meso, Makrofauna „durch verschiedene Böden“

Mesofauna:

1. Automatische Erkennung/Erfassung/Auswertung
 - Problem „Sauberkeit“?
 - Offene Frage: Aber ist es nötig auf Art zu bestimmen?
 2. Operational taxonomic units = DNA Barcodes
 - Großgruppen von Tieren z.B. Nematoden, Enchys, Milben, Collembolen
 3. Stabile Isotope
 4. Fettsäuren
- Insgesamt problematische „Gruppe“

Synthese methodischer Fortschritte

Methoden zum Vergleich von Mikro, Meso, Makrofauna „durch verschiedene Böden“

Mikrofauna:

1. Stabile Isotope
2. Fettsäuren
3. BarCodes
4. „Raman“ Mikroskopie (Spektrum ^{13}C)
5. weitere Methoden siehe Vortrag Alex Jousset

➔ **Stabile Isotope & Fettsäuren verknüpfen verschiedene Ebenen + hoher Durchsatz und günstig**

Synthese methodischer Fortschritte

Methoden zum Vergleich von Mikroorganismen „durch verschiedene Böden“

1. Pyrosequenzierung (= 454)
2. Funktionelle Gene - Kopplung von 1 und 2
3. qPCR : quantitativ

Methoden die Mikroben und höheren Gruppen verbinden

- Interaktion über: Nahrung, Gift, attractant / repellent
- Ansatz z.B. über chemische Rezeptoren
- Beispiele:
 - Regenwürmern (mm Skala)
 - „swarming effekt“ bei Collembolen
 - Nahrungssuche von Collembolen

>>> Gap: „chemische Ökologie im Boden“

Synthese methodischer Fortschritte

Fazit:

„Funktionelle Methoden“ fehlen

→ Mikrokosmen Ansatz immer noch aktuell

→ „Mutanten“ fehlen

Ziele: Wo soll es hingehen?

- Bildanalyse sollte verbessert werden
- Chemische Interaktionen im Boden *in situ*
- „Upscaling“ von Mechanismen

Bodenprozesse – mehr Gemeinsamkeiten als Unterschiede?

Sektionsgruppen

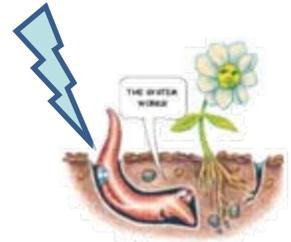
- Energiekanäle
- SOM Dynamik und Bodenfauna

Rapporteur

Martin Schädler

Martin Potthoff

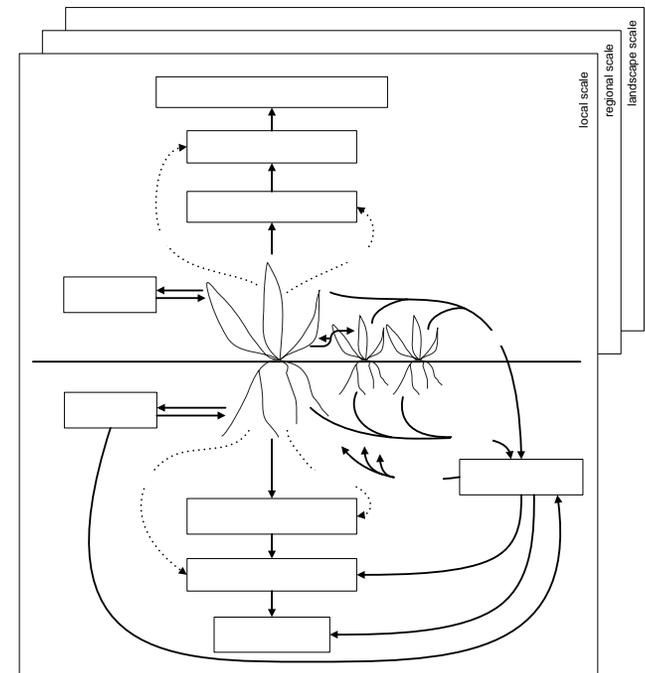
Energiekanäle



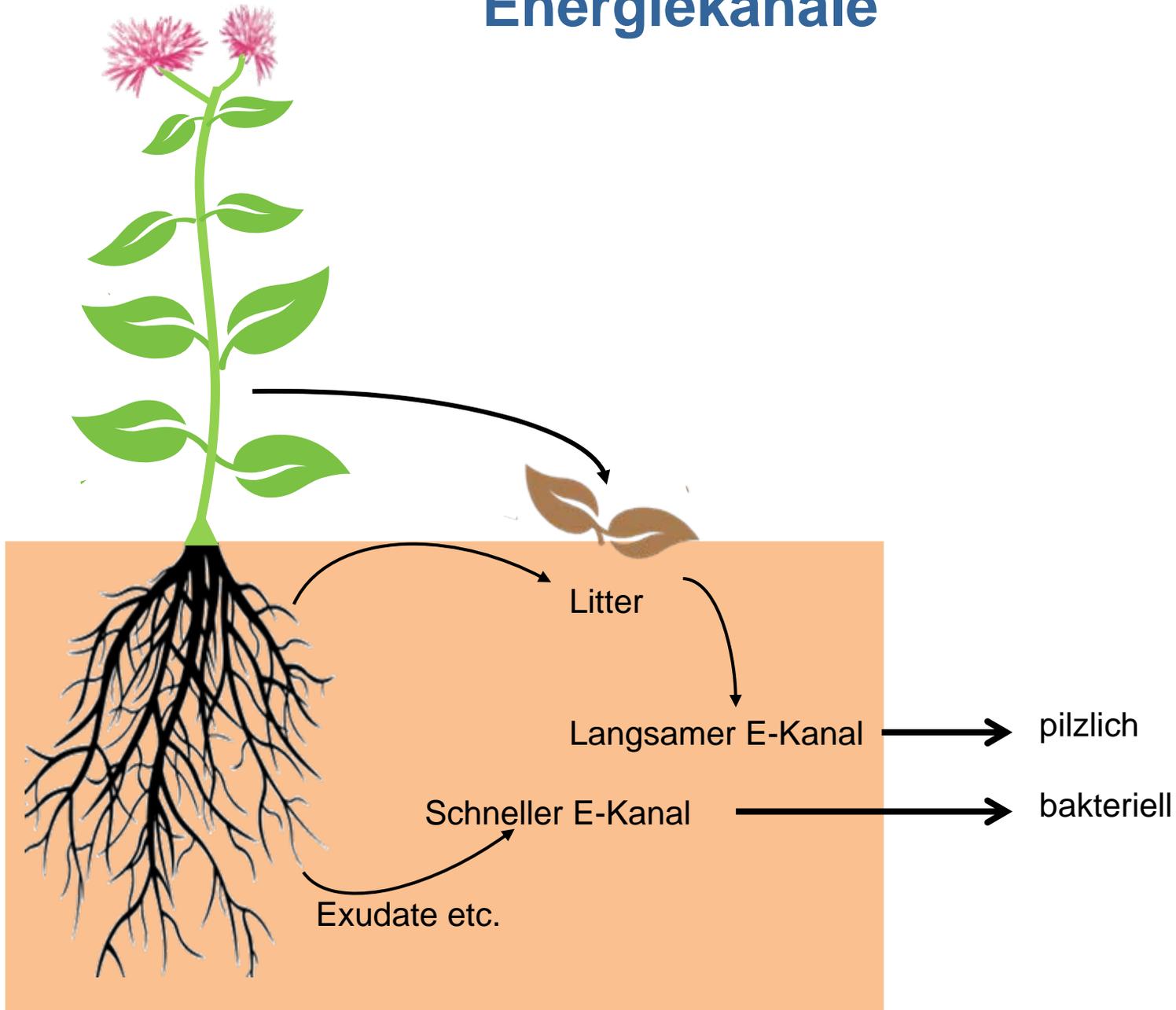
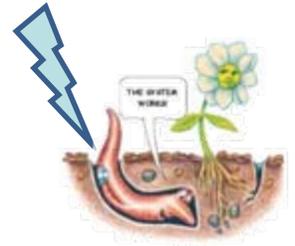
- Ausgangsbasis für Energiefluss: Pflanze
- Klassische Modelle v.a. DOM-orientiert – 2 pools: Detritus/Wurzel

Aus aktuellen Erkenntnissen resultierende Hypothese:
Unterirdische C-Quellen für Bodennahrungsnetze zumindest häufig bedeutsamer

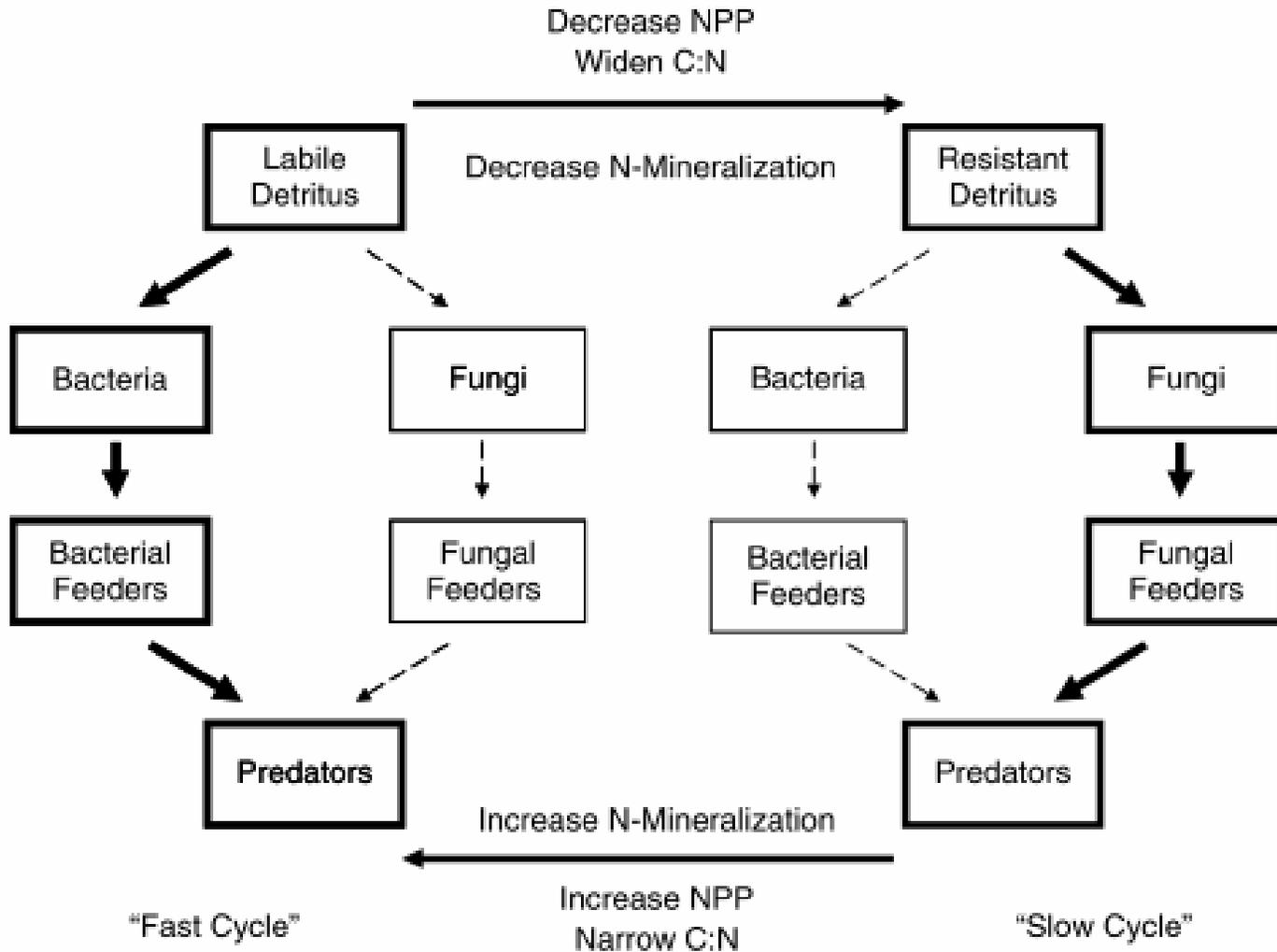
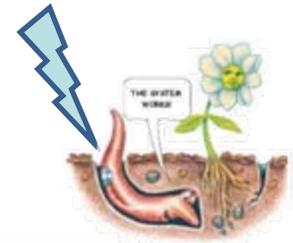
Klassische Sichtweise ohne Fokus auf Mikroflora und Mikrobivore bildet Energiekanäle ungenügend ab:



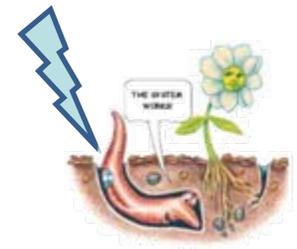
Energiekanäle



Energiekanäle



Energiekanäle



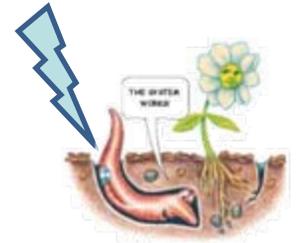
- C-Flüsse in bakteriellen vs. pilzlichen Kanälen nur konzeptionell getrennt?
- Wieviel Energie zirkuliert zwischen Mikroben und Mikrofauna und geht nicht in höhere trophische Stufen über?
- Bisher nicht möglich: quantitative Abschätzung der Intensität von Fraßbeziehungen („expert-guessing“)

Ableitbare Hypothesen:

1. Schlüsselfunktion mikrobivorer Organismen für Energiefluss
2. Prädatoren regulieren Mikrobivore und stabilisieren dadurch mikrobielle Aktivität und Energiefluss
3. Kopplung des bakteriellen und pilzlichen Kanals durch „top“-Prädatoren stabilisiert System

Verschneidung mikrobielles und tierisches Nahrungsnetz unklar. Sollte methodisch kein großes Problem sein (Isotope). Erste Studien und (Vor)Versuche sind vorhanden.

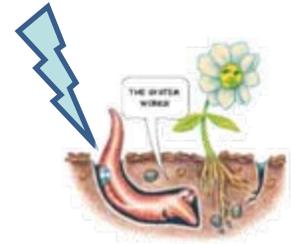
Energiekanäle



Trophische Beziehungen Mikroorganismen \Leftrightarrow Fauna

- Bilden im Labor untersuchte Interaktionen natürlich Beziehungen hinreichend ab? Art-Art-Beziehungen sinnvoller Proxy für Nahrungsnetze?
- Spezifische Marker für funktionelle Gruppen bei Bakterien/Pilze sind notwendig.
- Vorschlag: Nutzung repräsentativer, gut charakterisierter Vertreter funktioneller Gruppen (= Modellorganismen) \rightarrow Präferenzversuche
- Präferenzversuche aber problematisch, einziges 100% verlässliches Ergebnis: Nichtfressen
- Cut content-Analysen? Quantifizierung wünschenswert für Nahrungsnetzmodellierung

Energiekanäle



Fazit:

Artifizielle Modellsysteme als mechanistische Erklärungsansätze für gefundene Muster in natürlichen Systemen.

- Funktioniert bei oberirdischen Nahrungsnetzuntersuchungen ganz gut!
- Herausforderung: Übertrag Labor / reales Ökosystem

Post-hoc-Fazit:

Verschneidung von Mikrobiologen und Zoologen

SOM-Dynamik und Bodenfauna

Funktionen der Bodenfauna die SOM aufbauen/abbauen:

- Makrofauna = Poren = Aktivitätsräume
- Vertikalverteilung
- Bioturbation
- Gut assoziiated prozesses
- innige Mischung von Organics und Minerals
- Humusprofile ändern sich (Beispiel Mull/Moder)
- Mensch als Akteur mit einbeziehen
(Bodenbearbeitung)

SOM-Dynamik und Bodenfauna

Externe Treiber

- Klimawandel, Aktivitätszeiten, Abbauraten etc. (Extremereignisse)
- Entkoppelung von Abbau und Aufbau Biomasse
- Bodenbearbeitung
- Nutzungswechsel (Energiefruchtfolgen)
- Bodenrestauration mit Bodenfauna (Beispiel Termiten)

SOM-Dynamik und Bodenfauna

Aggregatbildung und Stabilisierung

- Stabilisierung vs. Dynamik
- Bilanzansatz ist relevant
- Ökosystemmanager in Richtung CO₂ Emissionsreduktion??
- Bodengenese und Aufbau sehr stark abhängig von der Wurzelverteilung

SOM-Dynamik und Bodenfauna

Fazit / Auftrag

- Boden funktioniert auf bestimmten SOM-Leveln (Management-Ansatz)
- Substrat vs. Boden (Organismen machen Substrat zu Boden)
- Dynamik und Flussraten zwischen den Pools schafft die Senke durch Photosynthese
- Forschungsbedarf in Hinblick auf Klimawandel etc.

⇒ Unifying principle ist die Synchronisation und Vermittlung von Auf und Abbau.

Synthese: Prozesse und Mechanismen im Boden – Forschungsansätze für die Zukunft

Theorie-getriebene Analyse der Bodenfauna „quer durch die Böden“

- Bodenfauna + Landschaft
- Referenzgemeinschaften
- Entwicklung von Traits

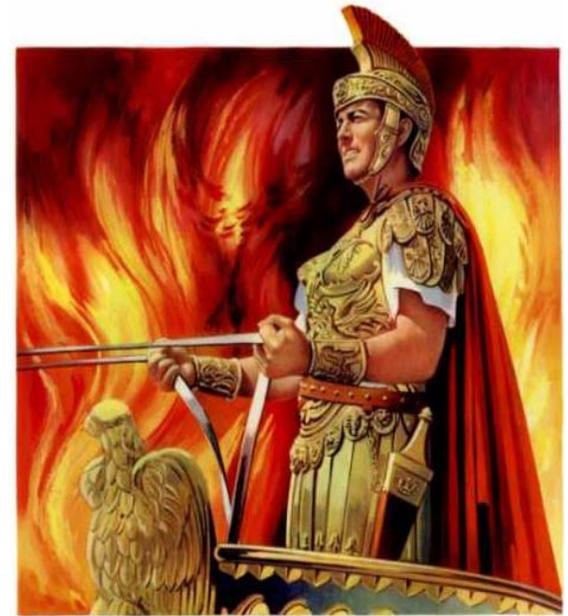
Lebensraumskala

- gleiche Skalen für abiotische und biotische Parameter
- Verschnitt mikroorganismische und faunistische Welten
- artifizielle Modellsysteme als mechanistische Erklärungsansätze für gefundene Muster in natürlichen Systemen
- Synchronisation und Vermittlung von Auf und Abbau der SOM

Synthese: Prozesse und Mechanismen im Boden – Forschungsansätze für die Zukunft

**Internationaler wissenschaftlicher Workshop
„Microbial and faunal intercatations shaping soil“
(Working title)**

- 2011 in Berlin
- Symposien auf Basis der erarbeiteten Themen
- potentielles Ziel: Bildung eines Netzwerks



QUO VADIS
Wissenschaftskommunikation?