

# ÖKOSYSTEME UND DEREN ANTHROPOGENE BELASTUNG

## AGRARÖKOSYSTEME

SeBBU08201  
SS 2025



# Übersicht zu den Inhalten der Lehrveranstaltung

- **Kennzeichen von Agrarökosystemen: Stoffkreisläufe, Biomasse und Produktivität**
- **Entstehungszentren, Entwicklung und Ausbreitung der Landwirtschaft,**
- **Einteilung und Charakteristika von Agrarökosystemen**
- **Belastungen in „traditionellen“ und „modernen“ Agrarökosystemen:**
  - **Wasserhaushalt**
  - **Stoffhaushalt**

# Agrarökosysteme, Forstökosysteme, Siedlungsökosysteme

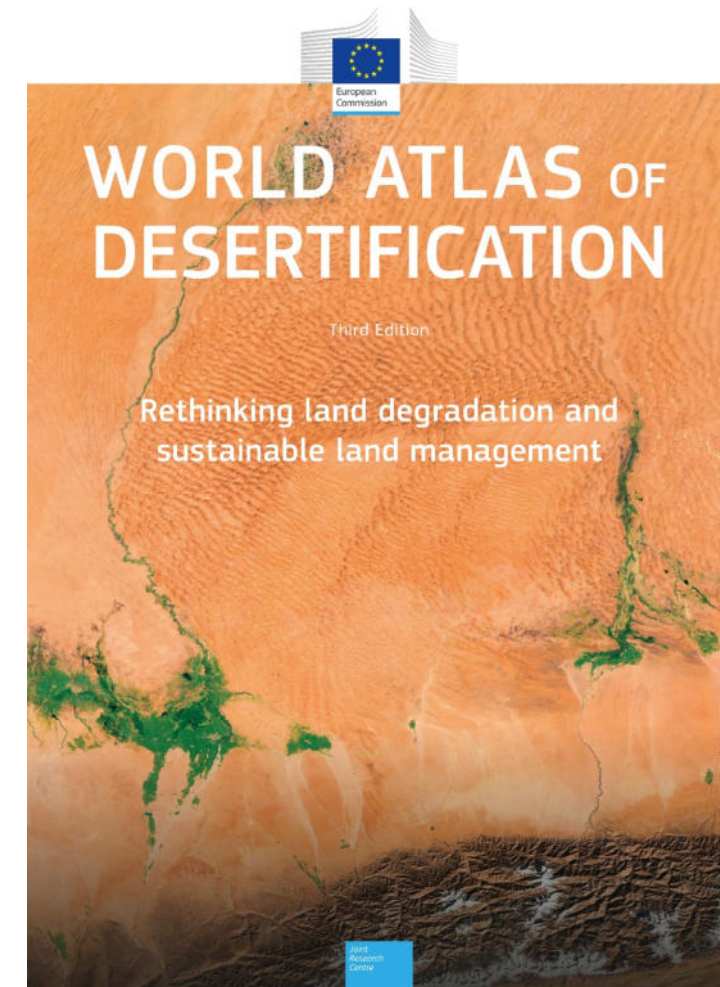
- In Österreich: knapp 80% der Fläche Agrar- und Forstökosysteme (davon rund 40% Landwirtschaft, 60% Forstwirtschaft)

- Weltweit:

Eisfreie Landfläche (=terrestrische Ökosysteme): 134 Mio. km<sup>2</sup>

Davon:

|                                             |                           |      |
|---------------------------------------------|---------------------------|------|
| • landw. Nutzfläche (Äcker, Wiesen, Weiden) | 50 Mio. km <sup>2</sup>   | 37%  |
| • Waldfläche                                | 40 Mio. km <sup>2</sup>   | 30%  |
| • Davon ungenutzte Primärwälder             | 14,4 Mio. Km <sup>2</sup> | 11%  |
| • Siedlungsfläche                           | 3 Mio. Km <sup>2</sup>    | 2,5% |
| • Wüstengebiete                             | 40 Mio. Km <sup>2</sup>   | 30%  |





## Übersicht 1. Hauptökosystem-Typen der Erde (nach Haber 1984)

**Bio-Ökosysteme**  
(ausschließlich geo-  
hydro- und biolo-  
gisch bestimmt)

Überwiegend aus natürlichen Bestandteilen  
zusammengesetzte und durch biologische  
Vorgänge gekennzeichnete Ökosysteme

### 1. Natürliche Ökosysteme

Vom Menschen nicht oder kaum beeinflusst.  
Selbstregulationsfähig.

### 2. Naturnahe Ökosysteme

Vom Menschen zwar beeinflusst, aber den  
natürlichen Ökosystemen sehr ähnlich, ändern  
sich bei Beendigung des menschlichen Einflus-  
ses kaum. Selbstregulationsfähig.

### 3. Halbnatürliche Ökosysteme

Durch menschliche Nutzungen aus den natürli-  
chen oder den naturnahen Ökosystemen her-  
vorgegangen, aber nicht bewußt geschaffen;  
ändern sich bei Beendigung der Nutzung. Be-  
grenzt selbstregulationsfähig.

Grenze zwischen  
naturbetonten und  
anthropogenen Öko-  
systemen

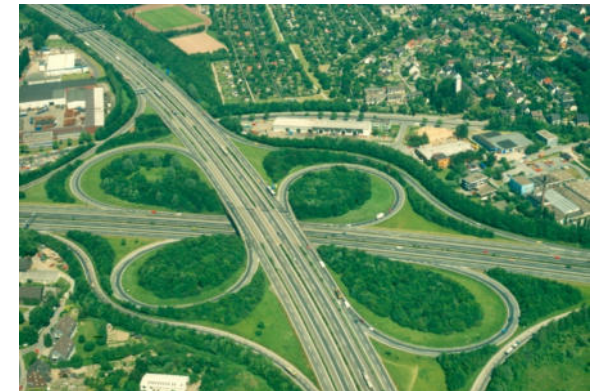
### 4. Agrar- und Forst-Ökosysteme (= Nutz-Ökosysteme)

Vom Menschen bewußt geschaffen und völlig  
von ihm abhängig. Selbstregelung uner-  
wünscht. Beeinflussung (Steuerung) von au-  
ßerhalb, innerhalb erfolgt gezielte Regelung  
durch den Land- oder Forstwirt.

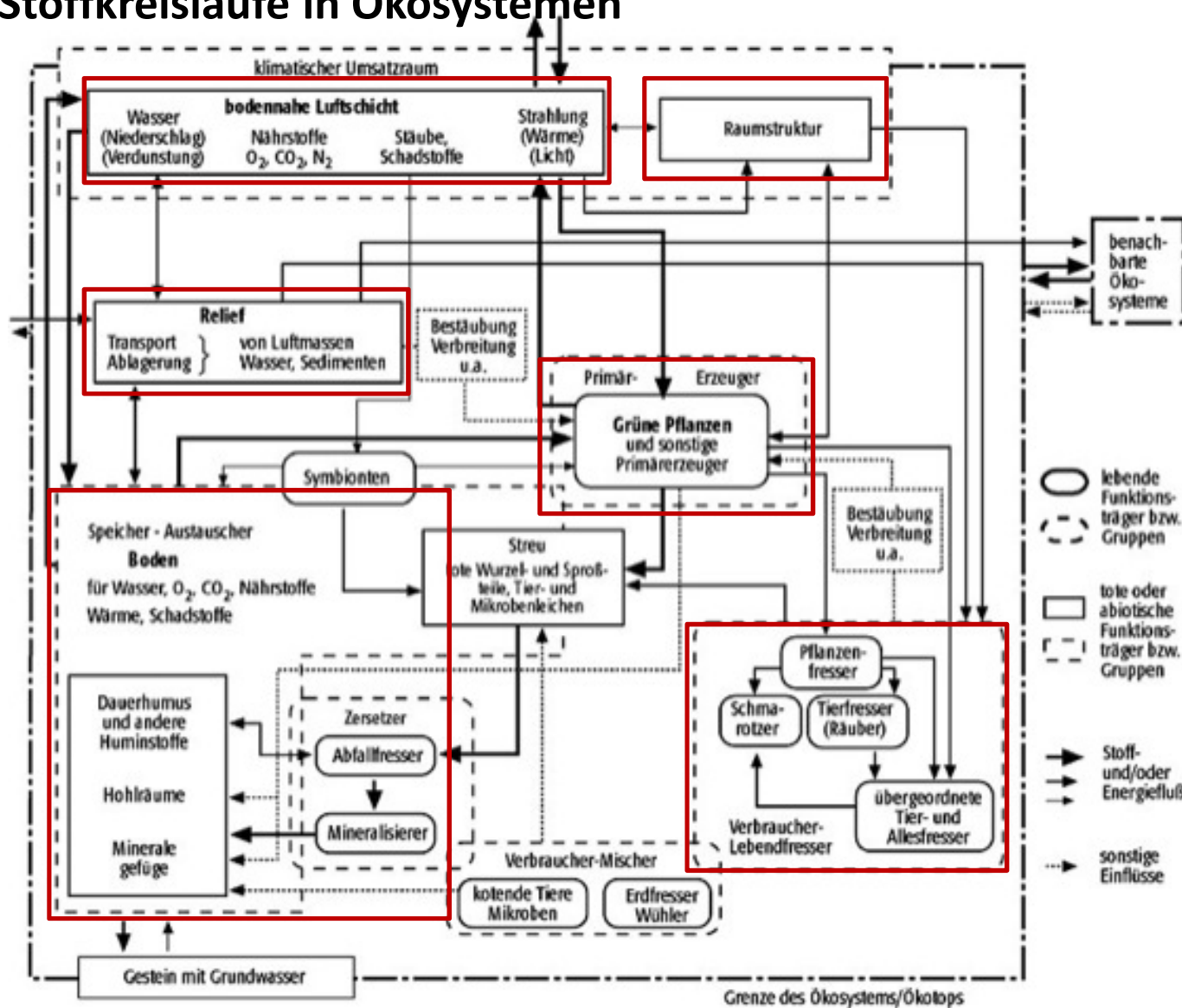
**Techno-Ökosysteme**  
(technisch bestimmt)

Überwiegend aus technischen Bestandteilen  
zusammengesetzte und durch technische Vor-  
gänge gekennzeichnete Ökosysteme.

Vom Menschen bewußt für kulturell-zivilisato-  
risch-technische Aktivitäten geschaffen. Nicht  
selbstregelungsfähig, sondern von Außensteue-  
rung (mit hoher Energiezufuhr) und von umge-  
benden und sie durchdringenden Bio-Ökoso-  
systemen abhängig. Hierher gehören u. a. **Dorf-  
und Stadt-Ökosysteme** sowie **Industrie-Öko-  
systeme**



# Stoffkreisläufe in Ökosystemen



- Biotische und abiotische Komponenten
  - Pflanzen, Tiere, Bakterien
  - Gestein mit Grundwasser
  - Raumstruktur
  - Bodennahe Luftschicht
- Input- und Outputfaktoren:
  - Temperatur, Strahlung
  - Gase
  - Wasser
  - Mineralische Stoffe
- Stoff- und Energieumsetzungen im Zuge von Auf-, Um- und Abbauprozessen:
  - Produzenten
  - Konsumenten
  - Destruenten

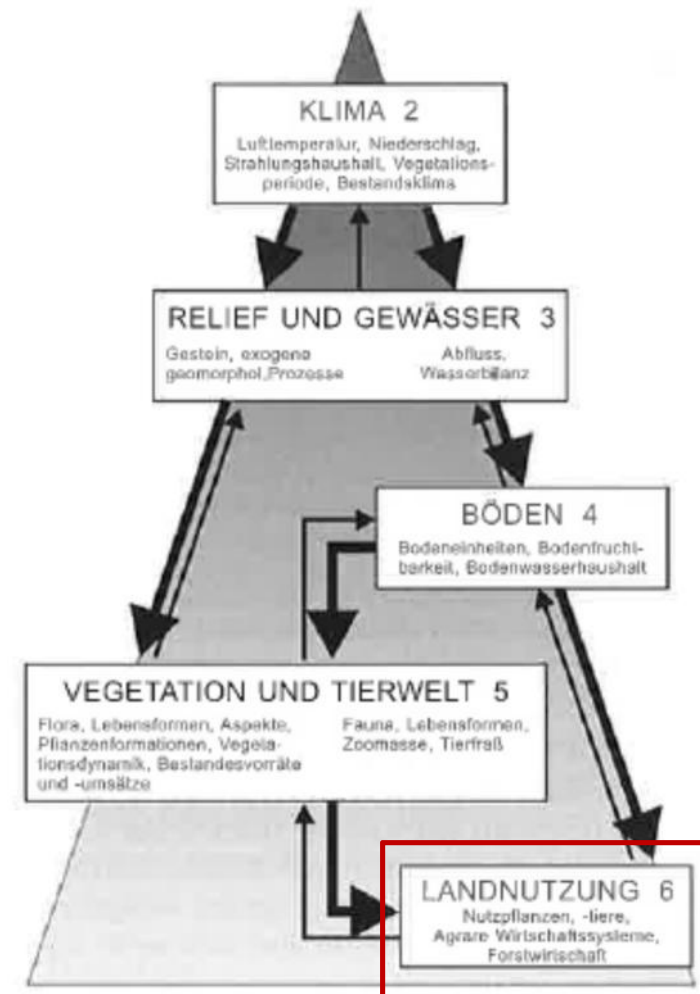
# Agrarökosysteme

- Vom Menschen gestaltet und von diesem durch **regelmäßige Eingriffe** in ihren Organismenbestand und in ihre Funktion gesteuert
- Ziel: Produktion von Kulturpflanzen. Dazu erfolgen regelmäßige Bewirtschaftungsmaßnahmen wie Aussaat, Ernte, Bodenbearbeitung und Melioration (Be- und Entwässerung, Düngung usw.).

Die produzierten **Kulturpflanzen** können nach deren Nutzung eingeteilt werden in:

- **Nahrungspflanzen** (z.B. Getreide, Knollen und Wurzelfrüchte, Hülsenfrüchte, Ölfrüchte, Gemüse- und Obstpflanzen)
- **Genuss-, Heil- und Gewürzpflanzen** (z.B. Kaffee, Tee, Lavendel, Pfeffer usw.)
- **Futterpflanzen** für Nutztiere (z.B. Gräser, Kräuter, Klee und andere Leguminosen, Getreide usw.)
- **Rohstoffpflanzen** (z.B. Faserpflanzen wie Baumwolle, Hanf, Lein; Energiepflanzen wie Raps für Biodiesel usw.)

Den Rahmen für die Ausgestaltung von Agrarökosystemen bilden die Klima- und Vegetationszonen der Erde.

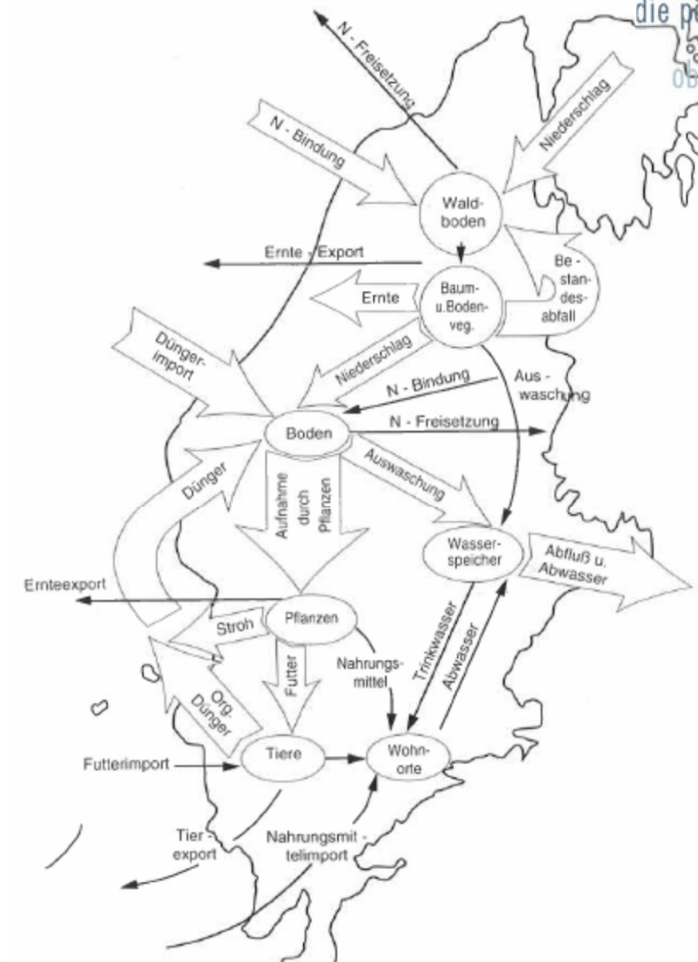


Hauptkomponenten von Ökosystemen (aus Schultz 2000)

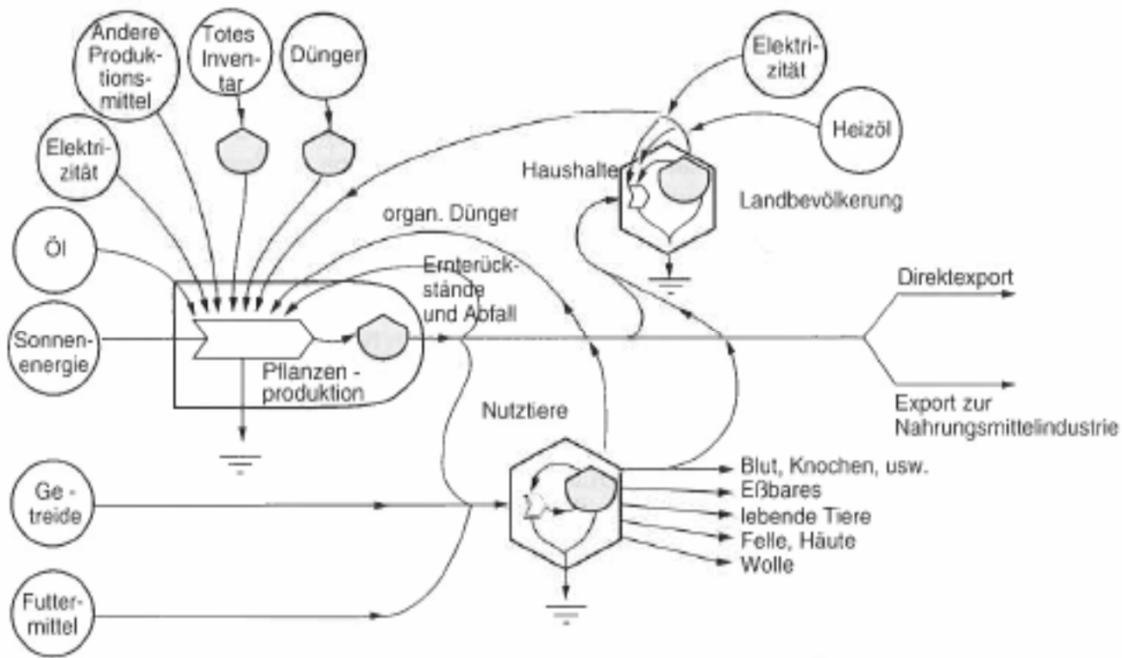
# Parameter zur Beschreibung von Agrarökosystemen

**Stoff- und Energieflüsse** innerhalb von Agrarökosystemen: Konzept des **sozio-ökonomischen Metabolismus** (= Stoffwechsel; vgl. Fischer-Kowalski 1997; Haberl et al. 2001; Krausmann 2003; Sieferle et al. 2007):

- Menschliche Kolonisierung von terrestrischen Ökosystemen unter
  - **Input von Materialien** (Dünger, Pestizide, Wasser, Geräte und Maschinen usw.) sowie **Energie** (menschliche und tierische Arbeitskraft, elektrische und thermische Energie usw.), bei
  - **Output von Agrarprodukten und Nebenprodukten** (Abfall, Emissionen usw.).
- Auswirkungen des sozio-ökonomischen Metabolismus zeigen sich in den **Prozessen innerhalb der Ökosysteme** (Flächenausstattung und Flächennutzung, Bodenqualität, Pflanzen- und Tierarten und deren Diversität).

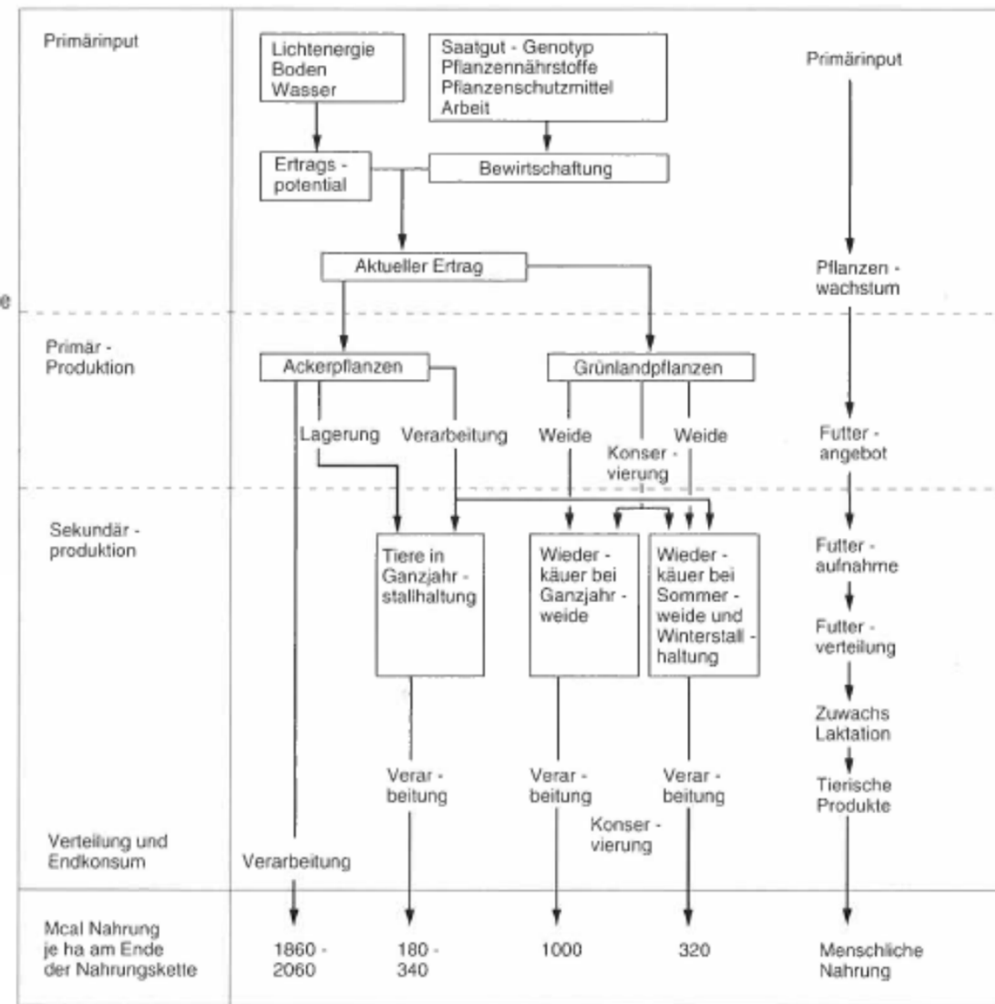


**Stickstoffbewegungen** in einem Agrarökosystem: Beispiel Gotland (nach Jansson und Zucchetto 1978, aus: Knauer 1993)



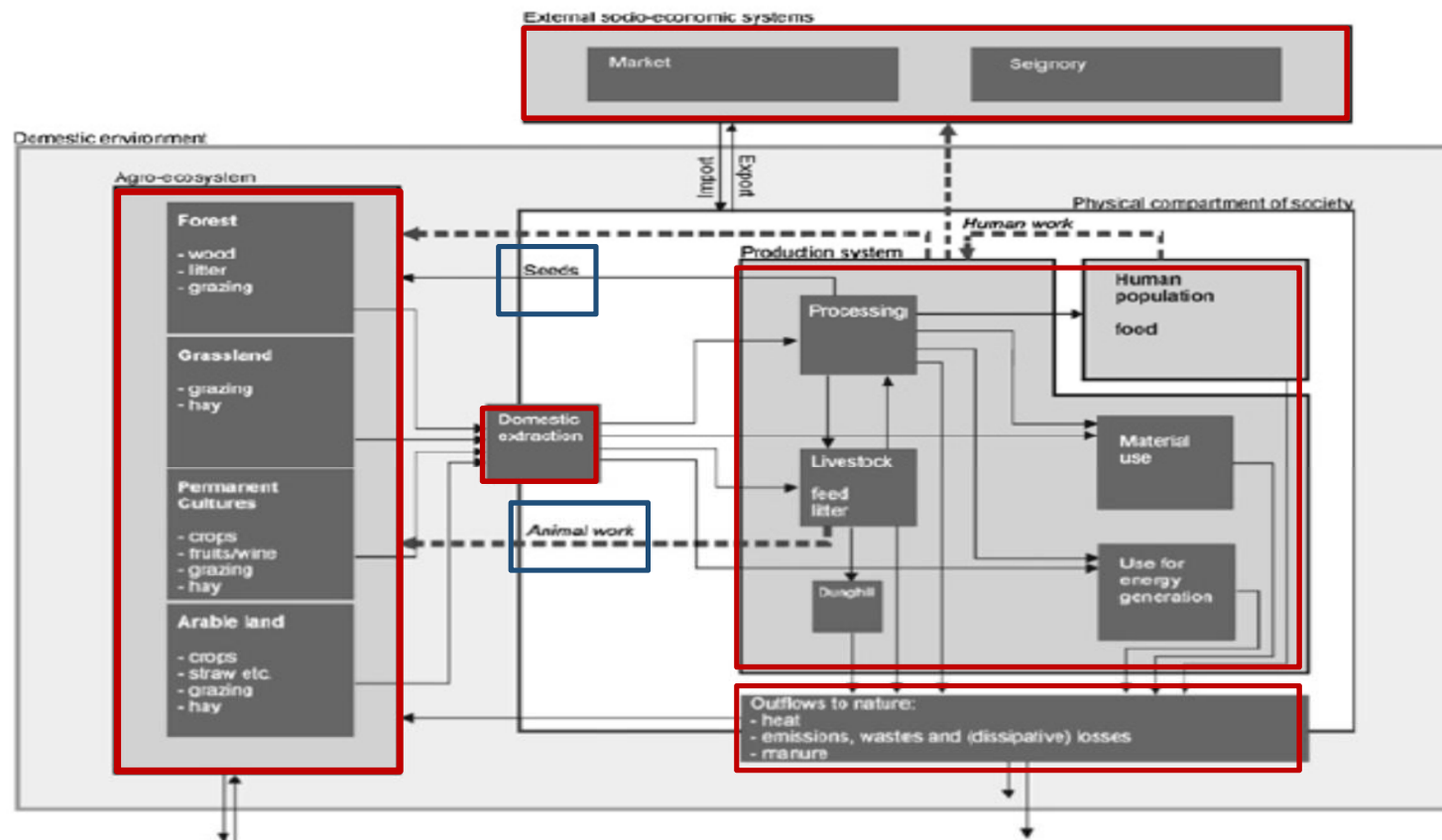
**Stoff- und Energieströme** in Agrarökosystemen  
(nach Jansson und Zucchetto 1978, aus: Knauer 1993)

Vereinfachte **Nahrungsketten** in Agrarökosystemen  
(nach Knauer 1993)



# Theorie vom gesellschaftlichen Stoffwechsel der Industrialisierung:

Agrarökosysteme werden geprägt vom Wandel von **solarbasierten Systemen** hin zu Systemen, die auf der **Verwertung fossiler Rohstoffe** beruhen.



**Fig. 1.** Conceptual model for material and energy flows in local agricultural production systems, preindustrial specification. Source: Krausmann (2003), slightly modified.

Solarenergie –  
Pflanzenproduktion –  
Tierhaltung – Energie- und  
Ressourcenerzeugung

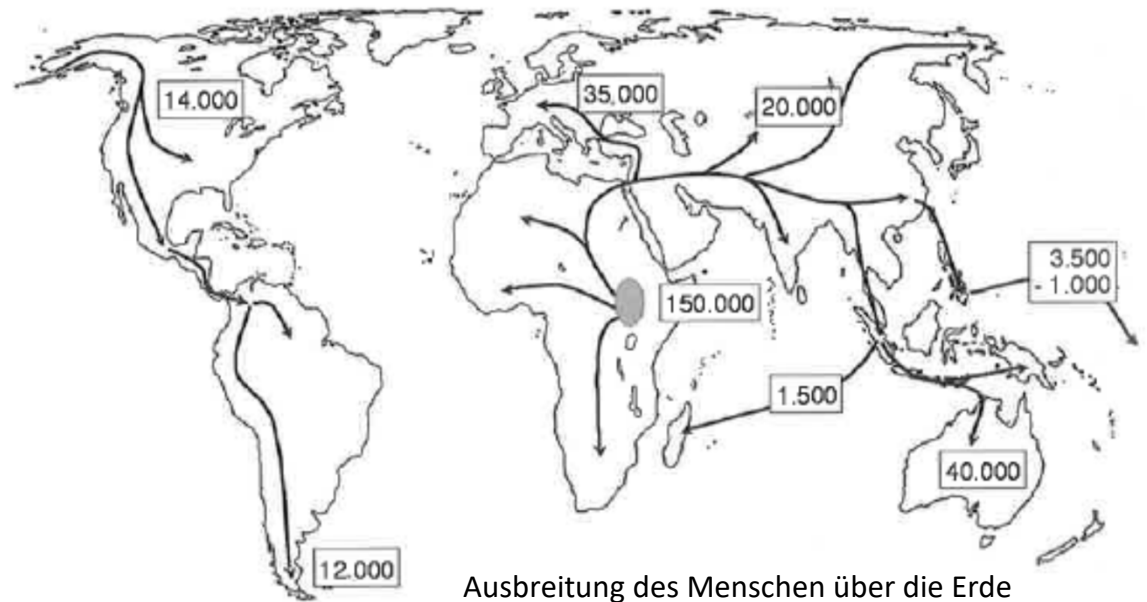


**Fossile Energie –**  
**Mechanisierung –**  
**Chemisierung** (synthetische  
Düngemittel, Pflanzenschutzmittel,  
Medikamente) – **Biotechnisierung**  
(Sorten und Züchtungen)  
**Spezialisierung –**  
**Flächenkonzentration –**  
**Beschleunigung des Energie-,**  
**Nährstoff-, Wasserum- und**  
**durchsatzes**

Beispiel für ein vorindustrielles Agrarökosystem  
(aus Krausmann 2003)

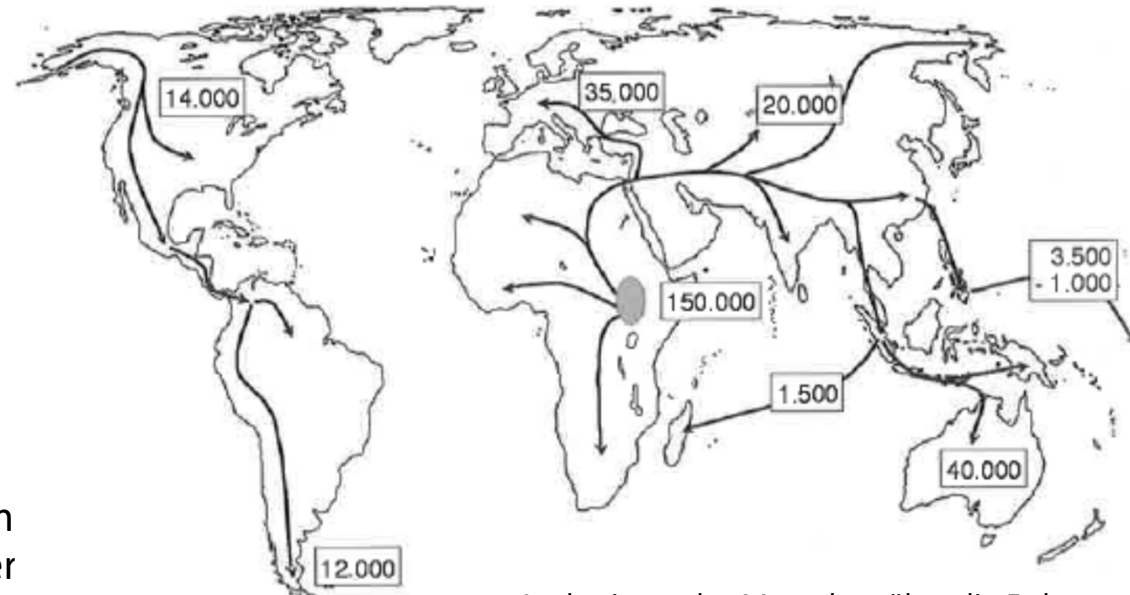
# Entstehung der Landwirtschaft (I)

- Die Menschheit stammt aus den Savannengebieten Afrikas.
- Über die Ernährung der ursprünglichen Menschen ist wenig bekannt, vermutlich nutzten sie aber bereits ein breites Nahrungsspektrum aus pflanzlichen Produkten (Wurzeln, Samen, Früchte), kleinen und größeren Tieren (z.B. Kleinsäuger, Reptilien, Insekten), Eiern und Wildhonig sowie auch Resten der Kadaver von Großtieren.
- Vor 30.000-50.000 (70.000) Jahren verließen Gruppen des Modernen Menschen (*Homo sapiens*) in mehreren Wellen ihre afrikanische Heimat.
- Im eiszeitlichen Europa und Nordamerika lebten die Menschen in erster Linie als Jäger von Großtieren (Mammut, Wollnashorn, Pferd, Riesenhirsch, Wisent). Die Nutzung von Pflanzen dürfte aufgrund der Vegetationsverhältnisse zunächst eine untergeordnete Rolle gespielt haben.



## Entstehung der Landwirtschaft (II)

- Ende der letzten Eiszeit vor rund 11.000 Jahren: grundlegende Veränderungen der klimatischen Bedingungen in vielen Regionen der Erde.
- In Europa: Umwandlung der baumfreien Tundren und Kältesteppen in Wälder; **Aussterben bzw. Zurückweichen der meisten Großtierarten, bedingt durch Klimawandel und menschliche Bejagung.**
- Zwei Thesen zur Entstehung der Landwirtschaft:
  - **Landwirtschaft als Innovation**, die eine gesicherte Nahrungsquelle schuf und die Basis zur sesshaften Lebensweise bildete. Jäger und Sammler übernahmen diese Lebensweise sukzessive.
  - **Landwirtschaft als Reaktion auf Verknappung** der Nahrungsressourcen (Großwild) und Anstieg der Bevölkerungsdichte. Keine Vorteile gegenüber Jägern und Sammlern, sondern arbeits- und zeitaufwändiger und mit höheren Risiken verbunden.

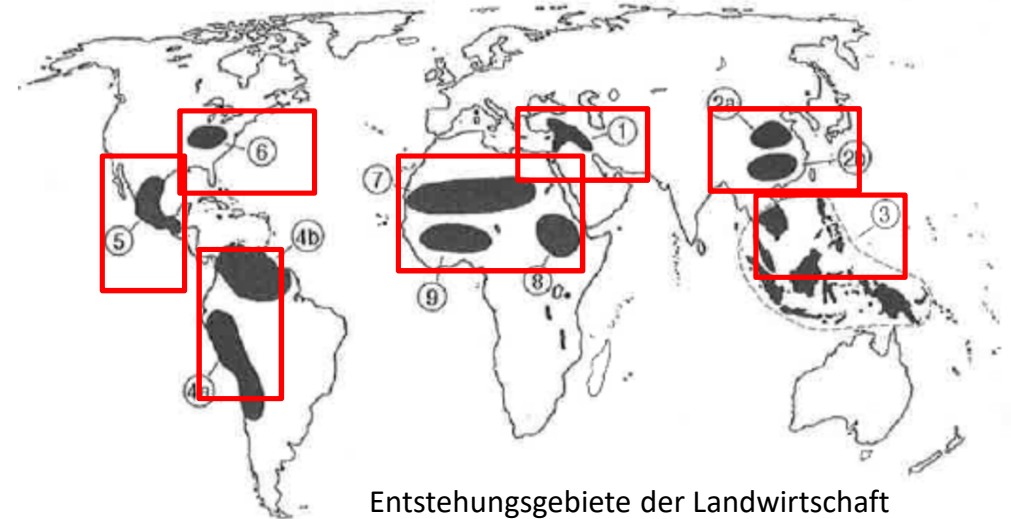


Ausbreitung des Menschen über die Erde

# Entstehungszentren der Landwirtschaft

- Weltweit werden mehrere Regionen als Entstehungszentren der Landwirtschaft angenommen, in denen unabhängig voneinander einheimische Pflanzenarten angebaut und Tierarten domestiziert wurden:
  1. **Vorderasiatisches Zentrum** („Fruchtbarer Halbmond“: Jordanien, Syrien, östliche Türkei, Mesopotamien): Vor 11.000 Jahren Beginn der Domestizierung der Weizenarten **Emmer** (*Triticum dicoccum*) und **Einkorn** (*Triticum monococcum*), Gerste (*Hordeum vulgare*), **Erbse** (*Pisum sativum*), **Linse** (*Lens esculenta*) und **Flachs** (*Linum usitatissimum*) sowie bei den Tieren **Schaf** (*Ovis ammon*) und **Ziege** (*Capra hircus*), später **Schwein** (*Sus scrofa*) und **Rind** (*Bos taurus*).
  2. **Nördliches und südliches China**: Vor 10.000 Jahren wurden im subtropischen südlichen China der **Reis** (*Oryza sativa*) und das **Haushuhn** (*Gallus gallus*) sowie das **Schwein** domestiziert. Im kühleren und trockeneren Norden kultivierte man **Kolbenhirse** (*Setaria italica*) und die **Sojabohne** (*Glycine max*).
  3. **Südostasien**: Im Hochland von Papua-Neuguinea entstanden vor 10.000 Jahren landwirtschaftliche Kulturen mit **Zuckerrohr** (*Saccharum officinarum*), **Taro** (*Colocasia esculenta*), asiatischem **Yam** (*Dioscorea spec.*) und **Bananen** (*Musa spec.*).
  4. **Tropisches Südamerika**: Vor mindestens 10.000 Jahren begann die Domestikation von **Kürbisgewächsen** (*Cucurbita spec.*), **Kartoffel** (*Solanum tuberosum*, Hochlagen der Anden Perus und Boliviens), in den Mittellagen **Erdnuss** (*Arachis hypogaea*) und **Gartenbohne** (*Phaseolus vulgaris*) und im tropischen Tiefland **Paprika** und **Chili** (*Capsicum spec.*), **Ananas** (*Ananas comosus*), **Süßkartoffel** (*Ipomoea batatas*), **Maniok** (*Manihot esculenta*), **Avocado** (*Persea americana*) und der **Baumwollart** *Gossypium barbadense*. Tierarten: **Lama** (*Lamaguanicoe*) und **Meerschwein** (*Cavia aeperea*).

5. **Mittelamerika**: In Mexiko Domestikation des **Mais** (*Zea mays*), sowie von **Gartenkürbis** (*Cucurbita pepo*), **Gartenbohne** und **Paprika**, **Avocado** und **Baumwolle** vor 10.000 Jahren, unabhängig von Südamerika.
6. **Östliches Nordamerika**: vor 4.000 Jahren, mit einer heute unbedeutenden **Gänsefuß**-Art (*Chenopodium berlandieri*) sowie der **Sonnenblume** (*Helianthus annuus*) als Ölpflanze.
7. **Afrika**: Mit drei klimatisch unterschiedlichen Regionen:
  - **Hochland von Äthiopien**: Vor 6.000 Jahren **Kaffee** (*Coffea arabica*), **Fingerhirse** (*Eleusine coracana*) und **Teff** (*Eragrostis tef*).
  - **Trockensavanne des nördlichen Afrika**: **Sorghum** (*Sorghum bicolor*), **Perlhirse** (*Pennisetum glaucum*), **Afrikanischer Reis** (*Oryza glaberrima*).
  - **Feuchtsavanne Westafrikas**: **Ölpalme** (*Elaeis guineensis*), **Kuhbohne** (*Vigna unguiculata*) und afrikanischer **Yam**.



Entstehungsgebiete der Landwirtschaft

# Ausbreitung der Landwirtschaft

- Ausbreitung der in Vorderasien domestizierten Pflanzen und Tierarten in das Niltal (8.000-9.000 Jahre) und später in das Indusdal (Pakistan).
- Vor 7.000 Jahren waren die meisten vorderasiatischen Kulturpflanzen in Mitteleuropa bekannt, bis vor 5.500 Jahren erfolgte der Anbau in Nordeuropa, den Küstenregionen der Nord- und Ostsee sowie im Alpenraum. Aus anderen Regionen wurden die Rispenhirse (*Panicum miliaceum*) und die Ackerbohne (*Vicia faba*) eingeführt. Es entstanden auch neue Kulturarten wie Hafer (*Avena sativa*) Feldsalat (*Valerianella locusta*) und Zichorie (*Cichorium intybus*).
- Erst relativ spät entstanden landwirtschaftlich genutzte Gehölzpflanzen wie Weinrebe (*Vitis vinifera*), Ölbaum (*Olea europaea*), Feige (*Ficus carica*), Mandel (*Prunus dulcis*), Orange (*Citrus sinensis*), Pfirsich (*Prunus persica*), Marille (*Prunus armeniaca*) sowie Apfel (*Malus spec.*) und Birne (*Pyrus spec.*).
- Nach der Wiederentdeckung Amerikas 1492 begann der transkontinentale Austausch von Kulturpflanzen und Haustieren.



Ausbreitung der neolithischen Kultur in Europa zwischen 7.000 und 3.500 BCE

# Entwicklungen in Landwirtschaft und in Agrarökosystemen

Veränderungen der Produktionsmethoden zur Steigerung der Erträge:

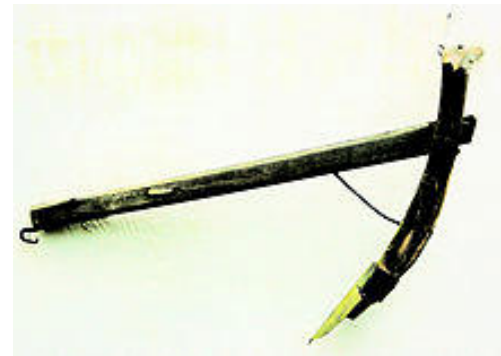
- Erhöhung der Nahrungsproduktion über die Selbstversorgung hinaus als Basis zur Steigerung der Bevölkerungsdichte.
- Verringerung der Zahl der in der Landwirtschaft tätigen Menschen.
- Fortschritte in Technik und Wissenschaft:

## **Mechanisierung**

- erste Pflüge vor 5.000 Jahren,
- seit der Bronzezeit vor 4.200-2.800 Jahren tiergezozene Pflüge,
- ab der Eisenzeit mit Eisen verstärkte Pflugscharen, Mähwerkzeuge
- Industrielle Revolution (ab Mitte 18. Jhdt.): moderne Agrartechnik mit Maschinen für Aussaat, Ernte, Dreschen; Dampfpflüge.



Neolithischer Ritzpflug



Mittelalterlicher Hakenpflug



Vierschar-Volldrehpflug

# Entwicklungen in Landwirtschaft und in Agrarökosystemen

## Künstliche Bewässerung (und Entwässerung)

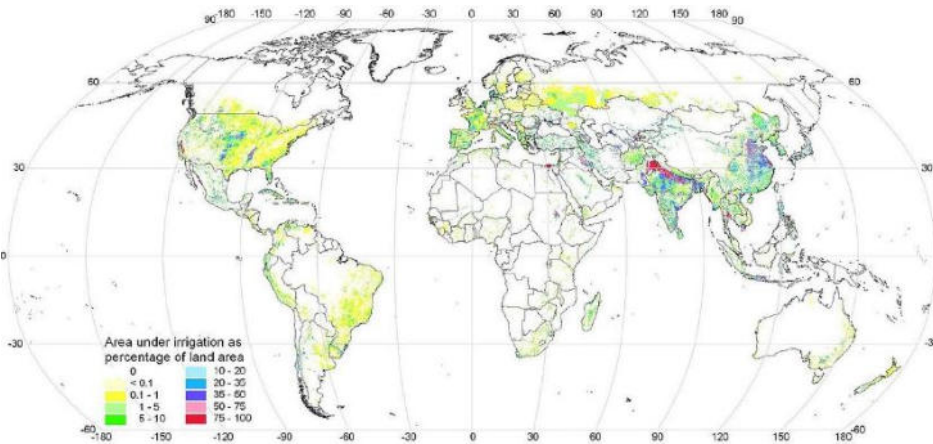
- In vielen Gebieten der Tropen und Subtropen fehlende oder unregelmäßige Wasserversorgung. Künstliche Bewässerungssysteme, oft in Verbindung mit Terrassierungen der Landschaft (z.B. vor 7.000 Jahren in Ägypten, vor 5.000 Jahren in Mesopotamien) sorgten für Innovationsschub in der Landwirtschaft.

## Dünger- und Pflanzenschutzmittel

- Ersatz der über die Ernten entzogenen Nährstoffe kann durch längere Brachephasen oder durch Düngung erreicht werden. Bei den Düngern ist zu unterscheiden zwischen organischen (Fäkalien, Kompost, Ernterückstände) und mineralischen Düngern (natürlich aus Gesteinslagern, z.B.: P, K oder synthetisch: N – Ammoniak aus dem Haber-Bosch-Verfahren 1910).
- Seit Mitte des 20. Jahrhunderts: synthetische Pflanzenschutzmittel (1939: Insektizid DDT; nach dem 2. WK: Pestizide).

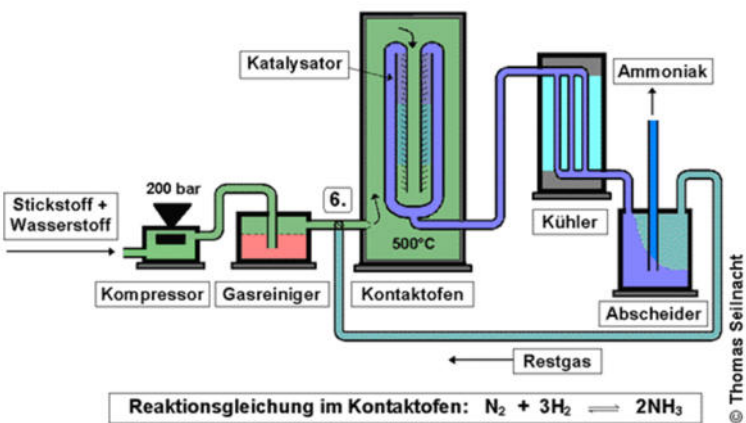
## Pflanzen- und Tierzüchtung

- Seit Beginn des 20. Jahrhunderts: Kreuzungs- und Kombinationszüchtung, später Hybridzüchtung. Ab den 1980er Jahren durch Einbringen fremder DNA Herstellung transgener Pflanzen (Sojabohne, Mais, Baumwolle, Raps mit Resistenzen gegenüber Herbiziden oder gewissen phytophagen Insekten).



Bewässerte Flächen weltweit in % der landwirtschaftlichen Fläche (nach Siebert 2002)

Die Ammoniaksynthese nach dem Haber-Bosch-Verfahren



# Typen von Agrarökosystemen

Aufgrund naturräumlicher Unterschiede, technischer und ökonomischer Voraussetzungen bestehen eine Vielzahl verschiedener Typen von Agrarökosystemen, die sich in der **Bewirtschaftungsintensität** unterscheiden. Sie lassen sich untergliedern nach:

1. Anteilen an ein- und mehrjährigen Arten und deren zeitlicher Abfolge (Fruchtfolge)
2. Einsatz von Betriebsmitteln (Dünger, Maschinen, Pflanzenschutzmittel)
3. Dauer der Landnutzung (Wechsel von Nutzungs- und Brachephasen)



Unter den Agrarsystemen werden unterschieden:

## 1. Wechselsysteme:

Feldwaldwirtschaft, Feldbuschwirtschaft, Feldgraswirtschaft

## 2. Dauersysteme:

Dauerackerbau als Fruchtwechselwirtschaft, Monokultur oder Mischkultur

Dauerkulturen aus mehrjährigen Kulturen (z.B. Plantagensystem)

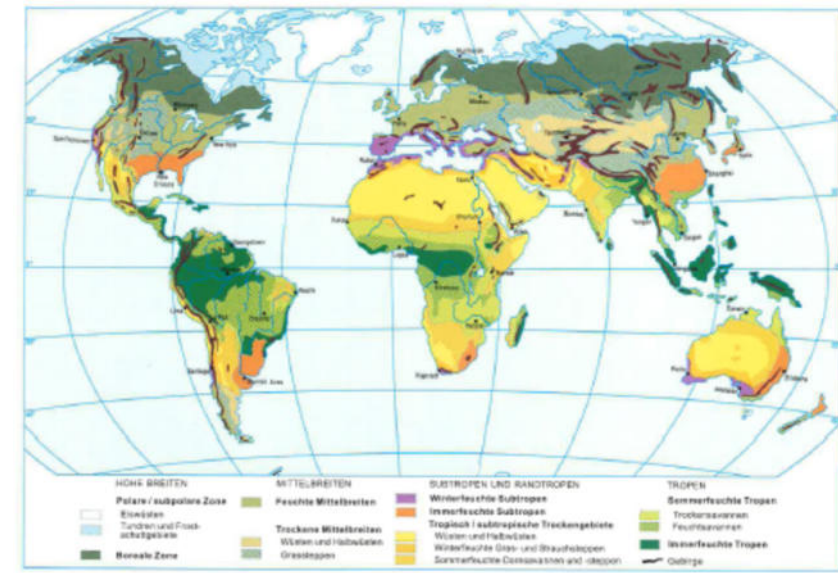
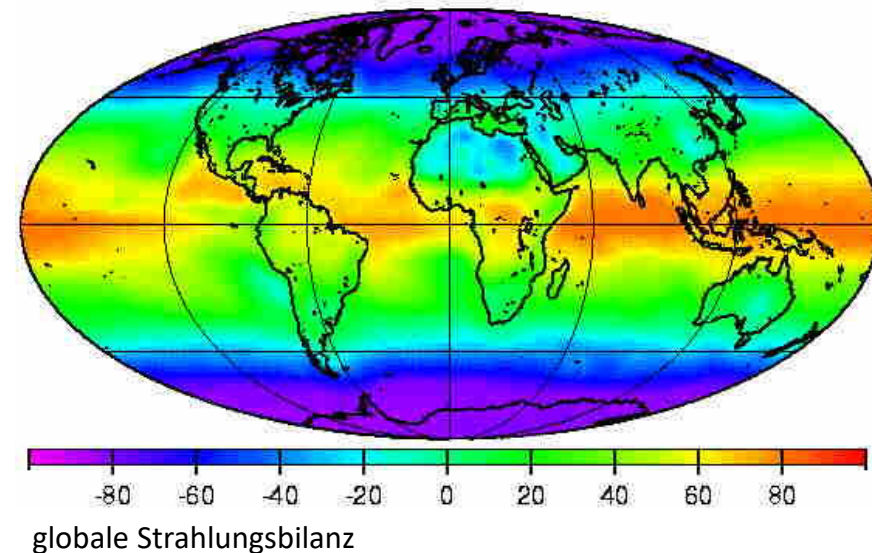
Agroforstsysteme, Waldgärten, agrosilvopastorale Systeme

| Feldwaldwirtschaft                  | Feldbuschwirtschaft                  | klassische Feldgraswirtschaft       | moderne Feldgraswirtschaft          | Dreifelderwirtschaft                  | Fruchtwechselwirtschaft                                     |
|-------------------------------------|--------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|---------------------------------------|-------------------------------------------------------------|
| Wald<br>15-30 Jahre                 | Busch<br>10-20 Jahre                 | Gras<br>10-15 Jahre                 | Klee-Gras<br>2-3 Jahre              | Wintergetreide<br>1 Jahr              | permanenter Ackerbau mit Fruchtfolge als Gestaltungselement |
|                                     |                                      |                                     |                                     | Sommergetreide<br>1 Jahr              |                                                             |
| Acker<br>2-4 Jahre                  | Acker<br>2-4 Jahre                   | Acker<br>3-5 Jahre                  | Acker<br>6-9 Jahre                  | Brache<br>1 Jahr                      |                                                             |
| 1 : 9<br>Verhältnis<br>Feld zu Wald | 1 : 5<br>Verhältnis<br>Feld zu Busch | 1 : 3<br>Verhältnis<br>Feld zu Gras | 3 : 1<br>Verhältnis<br>Feld zu Gras | 2 : 1<br>Verhältnis<br>Feld zu Brache |                                                             |

Landwirtschaftliche Wechsel- und Dauersysteme im Überblick  
(aus: Martin & Sauerborn 2006)

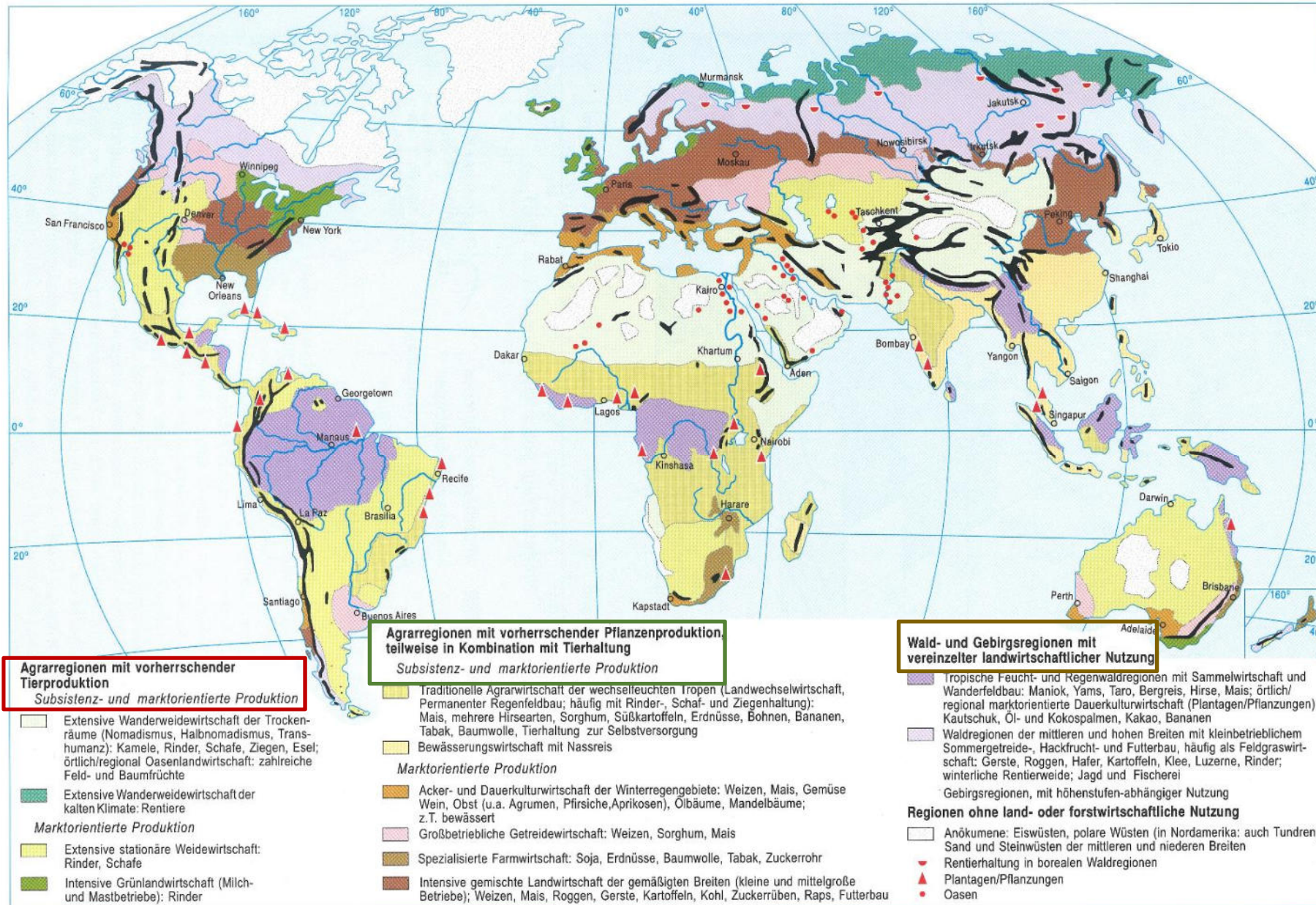
# Agrarökosysteme und Klima- und Vegetationszonen

- Rahmenbedingung für die Entwicklung unterschiedlicher Agrarökosysteme sind die klimatischen Verhältnisse, die durch Unterschiede in Strahlungs- und Wasserhaushalt gekennzeichnet sind.
- **Globale Strahlungsbilanz:** zwischen Äquator und 40° nördlicher und südlicher Breite positiv, zwischen den 40. Breitengraden und den Polen negativ. Über diese Unterschiede werden ein erdumfassender Luftmassenaustausch und globale atmosphärische Zirkulation angetrieben.
- **Klimazonen:** großräumige Gebiete mit relativ einheitlichem Klima (Temperatur- und Niederschlagsverhältnisse und deren zeitlicher Verlauf), diesen können entsprechende **Vegetationszonen** (Wuchs- und Lebensformen, Bestandsstruktur der natürlich ausgebildeten Pflanzendecke) zugeordnet werden. Schultz (2000) fasst diese zu **Ökozonen** zusammen.
- Ausgehend von den klimatischen und vegetationsökologischen Verhältnissen bilden **Ackerbau** und **Weidewirtschaft bzw. Viehhaltung** neben **Forstwirtschaft** die bestimmenden agrarischen Landnutzungsformen auf der Erde.



Ökozonen der Erde  
(aus: Schultz 2000)

Landwirtschaftliche  
Produktionsgebiete der Erde  
(aus: Schultz 2000)

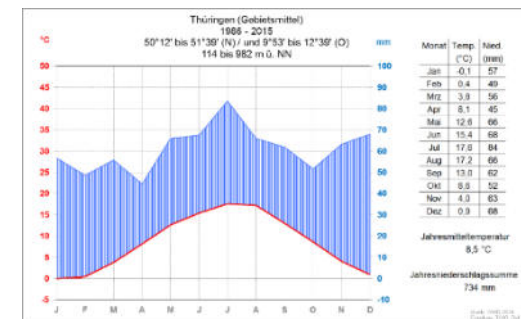
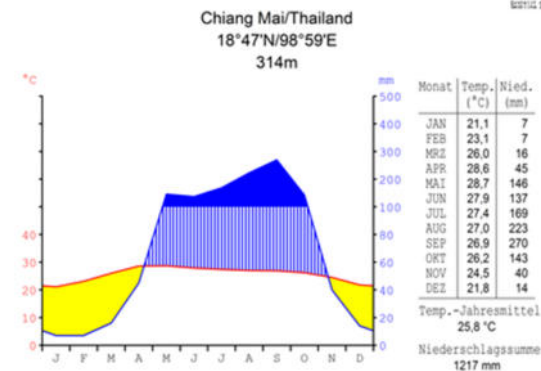
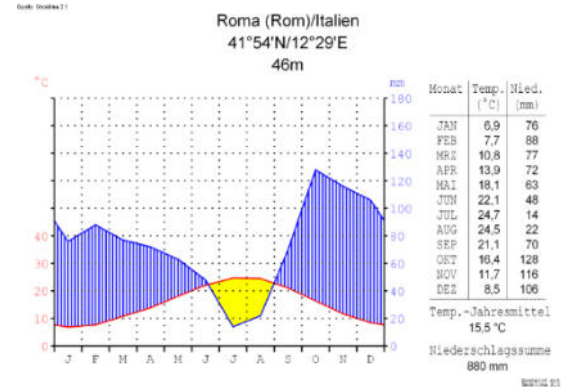


# Agrarökosysteme und Klima- und Vegetationszonen

- Ein wesentlicher Faktor für die Landbewirtschaftung ist die **Länge der Vegetationsperiode**, d.h. die Zeitspanne im Jahr, innerhalb derer Pflanzenwachstum möglich ist. Sie wird nach Schultz (2002) gekennzeichnet durch:

- Thermischer Schwellenwert:** Oberhalb einer mittleren Monatstemperatur von 5° ist produktives Pflanzenwachstum möglich, wobei die Schwellenwerte bei vielen Pflanzenarten deutlich höher liegen (viele tropische Pflanzen benötigen mittlere Monatstemperaturen von 10°C, Mais 12°C und Reis 18°C – mit sortenspezifischen Unterschieden).
- Hygrischer Schwellenwert:** Beschreibt Niederschlagsmengen (in mm), die den doppelten Wert der mittleren Monatstemperatur (in °C) überschreiten (=humide Monate).

Thermischer und hygrischer Schwellenwert definieren die Zeitspanne der **hygrothermischen Vegetationsperiode**. Diese umfasst in den immerfeuchten Tropen 12 Monate. Die klimatische Grenze des Ackerbaus liegt bei einer Vegetationsperiode von 3-4 Monaten. Für viele Kulturarten sind jedoch auch noch andere Parameter, wie **Tageslänge** und **Sonnenscheindauer** von Bedeutung.



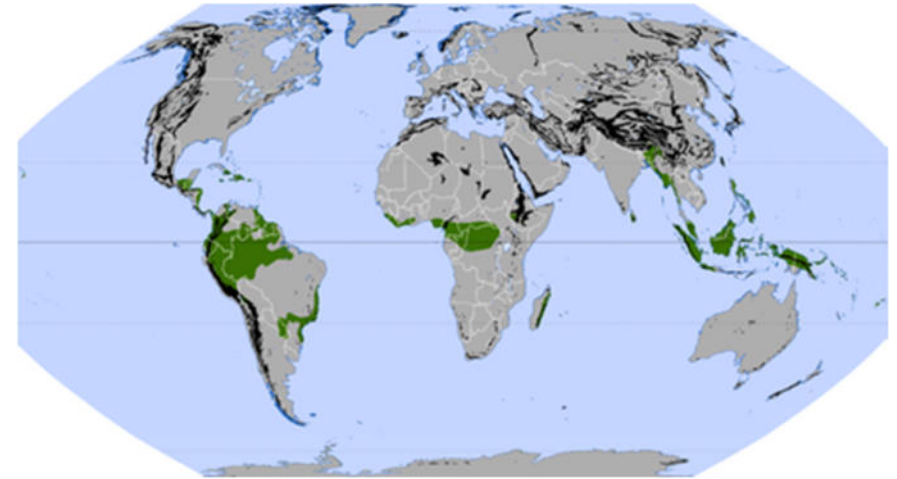
# Agrarökosysteme der immerfeuchten Tropen

## • Klima und Vegetation

- Fehlende Jahreszeiten, ganzjährig konstante Monatsmitteltemperaturen (26-28°C im Tiefland), tageszeitliche Temperaturunterschiede (Tageszeitenklima). 2.000-3.000 mm Jahresniederschläge.
- Natürliche Vegetation: Immergrüner tropischer Regenwald, Stockwerksaufbau mit 50-70 m Höhe, Lichtmangel in Bodennähe, daher spärlich ausgebildete Baum- und Strauchschicht; viele Epiphyten (Orchideen, Bromeliaceen, Farne) und Lianen

## • Landoberflächen und Böden

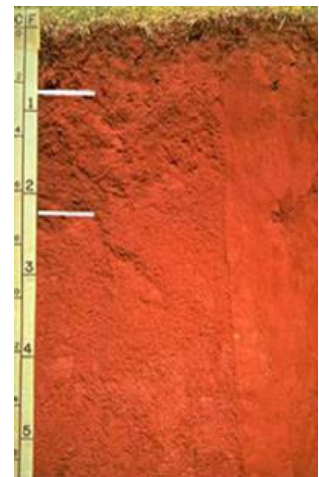
- Ständig hohe Temperaturen und Niederschläge sorgen für rasche und intensive chemische Verwitterung der Ausgangsgesteine; tiefgründige,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ - und  $\text{Al}_2\text{O}_3$ -reiche, aber nährstoffarme und pH-saure Böden (Ferralsol).
- Mächtige Humusaufgaben aufgrund kontinuierlichem Pflanzenwachstum und einer 5-10-fach höheren Abbaurate gegenüber den feucht-gemäßigten Breiten.
- Pflanzen mit vielen Feinwurzeln und Mykorrhiza zum Erschließen der rasch aus der Streu frei gesetzten Nährstoffe.



Verbreitung der immerfeuchten Tropen in Südamerika (v.a. Amazonasbecken), Afrika (v.a. Kongobecken) und auf den Inseln Südostasiens.



Ferralsol



# Agrarökosysteme der immerfeuchten Tropen

## • Landnutzung und Kulturpflanzen

- **Traditionell Feldwaldwirtschaft mit Brandrodungsfeldbau** (Nährstofffreisetzung und -zufuhr und Erhöhung des pH-Wertes über die Asche – 2-jährige Anbauphase für Kulturpflanzen bei rund 20 Jahren Brache). Kulturarten Trockenreis, Maniok, Yam, in Berglagen Süßkartoffel, Gemüse.
- Permanenter Ackerbau in Form von **Regenfeldbau** auf fruchtbareren Böden, v.a. Reis.
- **Plantagensysteme** mit mehrjährigen Pflanzenkulturen,
  - einerseits in Form von kleinbäuerlichen Waldgärten und **Agroforstsystemen** (Mischung aus Obstbäumen, z.B. Jackfrucht (*Artocarpus heterophyllus*), Stauden, z.B. Banane und Rankengewächsen, z.B. Pfeffer (*Piper nigrum*)).
  - Andererseits kommerzielle **Plantagenwirtschaft** (z.B. Kaffee, Ölpalme).
- Kommerzielle **Holznutzung** (Tropenhölzer): große Teile des weltweiten Nutzholzbedarfs wird aus tropischen Hölzern gedeckt; wichtiger Wirtschaftsfaktor, der dazu geführt hat, dass in vielen Ländern nur noch ein Bruchteil der ursprünglichen Waldfläche vorhanden ist (Philippinen: 10%). Die Rodung dient nicht nur der Holznutzung, sondern auch der Schaffung von landwirtschaftlichen Nutzflächen. 2002 stammten 84% der weltweiten Palmölproduktion aus den Ländern der immerfeuchten Tropen.



Regenfeldbau in den immerfeuchten Tropen



Palmölplantage



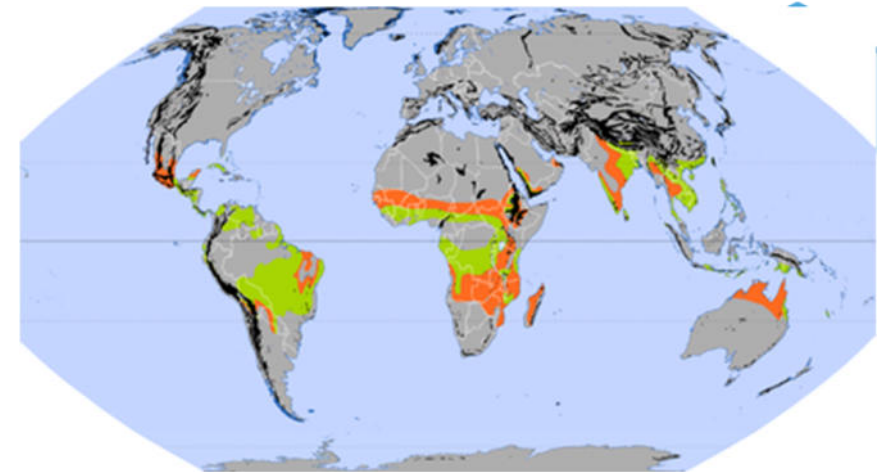
# Agrarökosysteme der wechselfeuchten Tropen

## • Klima und Vegetation

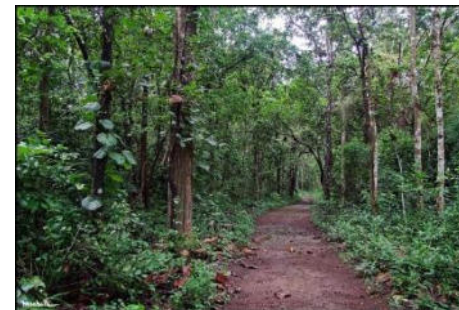
- Jahresmitteltemperaturen zwischen 24 und 30°C; Auftreten ausgeprägter Regen- und Trockenzeiten.
- Dauer der Perioden variiert mit zunehmender Entfernung vom Äquator und sorgt für einen Klimagradienten innerhalb der Zone:
  - 1.500-2.000 mm Jahresniederschlag und 2-5 Monate Trockenzeit: laubabwerfender, regengrüner Tropenwald (Monsunwald).
  - 1.000-1.500 mm Jahresniederschlag und 3-6 Monate Trockenzeit: Baum- oder Feuchtsavanne.
  - 500-1.000 mm Jahresniederschlag und 6-9 Monate Trockenzeit: Strauch- oder Trockensavanne.
  - 200-500 mm Jahresniederschlag, > 9 Monate Trockenzeit: Dornsavanne.

## • Landoberflächen und Böden

- Typisch sind flache Hügel und Senken, die durch Abtragung und Sedimentation während der Regenzeiten entstehen und kleinräumige Bodenunterschiede begründen.
- **Lateritkrusten** entstehen durch den Wechsel von Regen- und Trockenzeit und bilden Stauhorizonte im Boden, die für Baumbewuchs ungünstig sind.



Verbreitung der wechselfeuchten Tropen



Monsunwald



Baumsavanne



Strauchsavanne

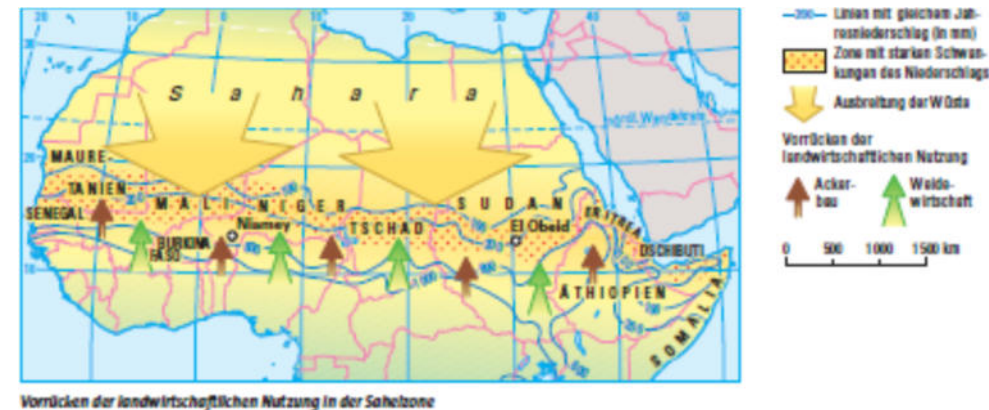


Dornsavanne

# Agrarökosysteme der wechselfeuchten Tropen

## • Landnutzung und Kulturpflanzen

- In **Feuchtsavannen** kleinbäuerliche Landwirtschaft (Regenfeldbau) mit Mais, Sorghum, Perlhirse, Reis sowie Bohnenarten. Kommerzieller Anbau von Sojabohne in den Cerrados in Brasilien. Weiters Baumwolle und Sisal.
- In Trockensavannen gewinnt Weidewirtschaft an Bedeutung: traditionelle agro-pastorale Systeme (Brachewechselwirtschaft mit Perlhirse, Sorghum, Augenbohne). **Heute Konkurrenz zwischen (nomadischen) Viehhaltungssystemen und bäuerlichem Ackerbau** infolge erhöhter Bevölkerungsdichte.
- Teile der Feuchtsavannen sind anthropogen, durch Zurückdrängen (Rodung, Abbrennen) laubabwerfender Wälder entstanden.
- Erhöhung des Weidedrucks in Trockensavannen führt zum Zurückdrängen von Gräsern, einerseits zu Verbuschung, andererseits zu Wüstenbildung (**Degradation und Desertifikation**):
  - Zerstörung der Vegetation durch Holznutzung und Überweidung, Erhöhung der Erosionsanfälligkeit
  - Beeinflussung des Wasserhaushaltes durch Absenkung des Grundwasserspiegels und Versalzung der Böden
  - Degradation von Böden durch Erosion und Nährstoffverarmung



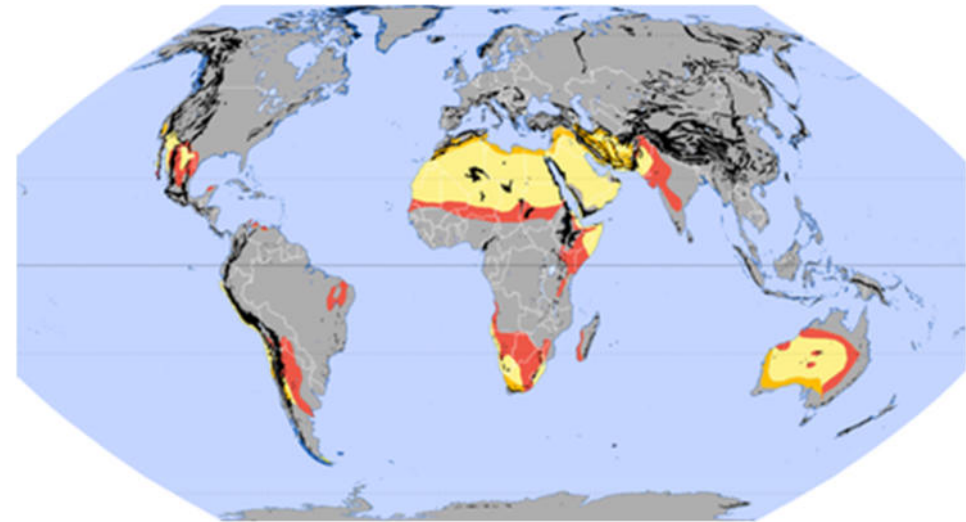
# Agrarökosysteme der trockenen Subtropen

## • Klima und Vegetation

- Mittlere Jahrestemperaturen zwischen 20 und 25°C, weniger als 200 mm Jahresniederschlag bei einer potenziellen Verdunstung von 2.000 mm („heiße Wüsten“).
- In niederschlagsreicheren Regionen („Halbwüsten“) diffuse, d.h. relativ gleichmäßig verteilte Vegetation aus niedrigwüchsigen Sträuchern und Gräsern; in niederschlagsärmeren Gebieten „kontrahierte“, d.h. punktuell verteilte Vegetation aus Xerophyten und regenephemeren Pflanzen.
- Landoberflächen und Böden können in Stein- und Felswüsten, Kieswüsten, Sandwüsten unterschieden werden.

## • Landnutzung

- In erster Linie extensive **Wanderweidewirtschaft** (in feuchteren Bereichen mit Rindern, sonst, Ziegen, Schafe, Kamele) mit hohem Flächenbedarf.



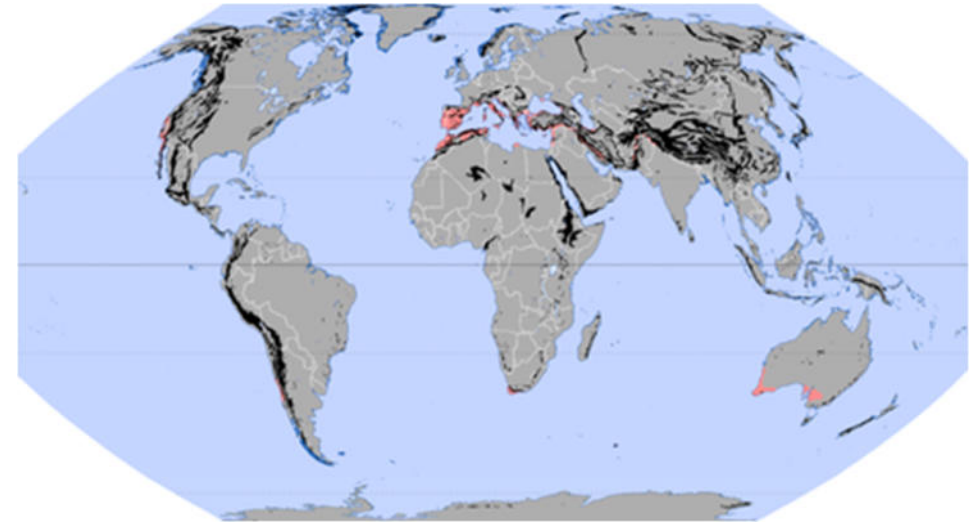
# Agrarökosysteme der winterfeuchten Subtropen („mediterrane Klimazone“)

## • Klima und Vegetation

- Trockene, heiße Sommer und milde, regenreiche Winter, Jahresmitteltemperaturen zwischen 15 und 18°C (Sommer 24—27°C, Winter 7-10°C); Niederschläge 300-900 mm.
- Immergrüne Hartlaubvegetation mit dicken, harten und ledigen (sklerophyllen) Blättern; im Mittelmeerraum v.a. aus verschiedenen Eichen-Arten (*Quercus spec.*).

## • Landoberflächen und Böden

- Zahlreiche rot- bis braun gefärbte Böden („chromic luvisols“, z.B. Terra rossa auf Karbonat). Häufig gering mächtiger Bodenaufbau, anfällig für Wind- und Wassererosion.



Weinkultur auf Terra rossa

# Agrarökosysteme der winterfeuchten Subtropen („Mediterrane Klimazone“)

## • Landnutzung und Kulturpflanzen

- Lange Nutzungsgeschichte mit vielfältiger Landwirtschaft und zahlreichen Kulturpflanzen.
- **Ackerbau:** In niederschlagsreicheren Gebieten Getreideanbau: Winterkulturen wie Gerste, Weizen, Leguminosen (Ackerbohne, Erbse, Kichererbse, Linse); Sommerkulturen wie Mais, Baumwolle, Reis, Zuckerrübe, Tabak, Gemüse- und Obst.
- **Dauerkulturen:** Weinrebe, Ölbaum, Feige, Korkeiche (*Quercus suber*), Pistazie (*Pistacia vera*), Esskastanie (*Castanea sativa*), Citrus-Arten sowie verschiedene Steinobstkulturen.



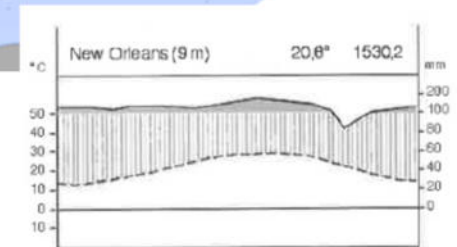
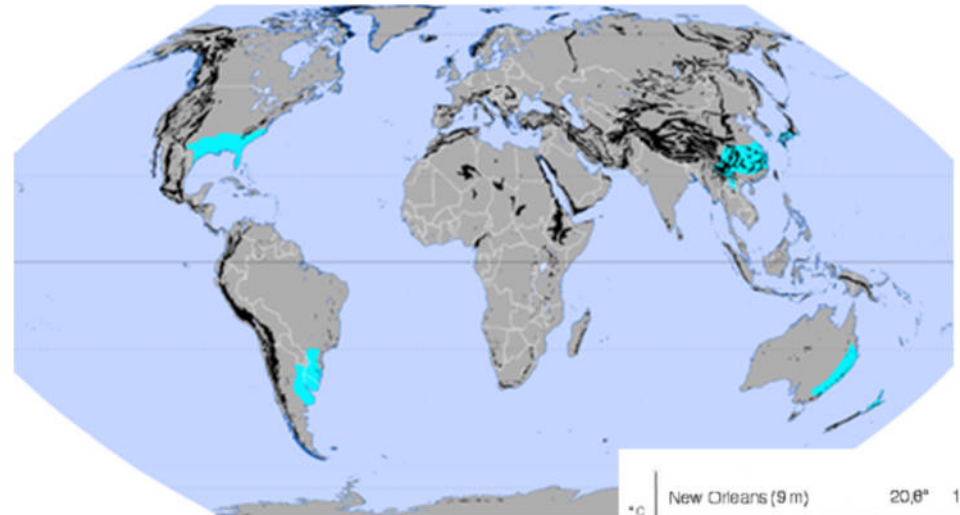
Korkeiche  
(*Quercus suber*)



26  
Pistazie (*Pistacia vera*)

# Agrarökosysteme der immerfeuchten Subtropen

- Fünf Teilgebiete an den Ostseiten der jeweiligen Kontinente.
- Niederschläge während des ganzen Jahres, 1.000-1.500 mm/Jahr; Jahresdurchschnittstemperaturen 15-20°C, im Winter vereinzelt Fröste.
- Immergrüne Wälder aus Nadel- und Laubholzarten.
- Regenfeldbau mit Erdnuss, Süßkartoffel, Zuckerrohr, Tabak, Mais, Baumwolle, Sojabohne, Reis.
- Dauerkulturen mit *Citrus*-Arten und Tee.



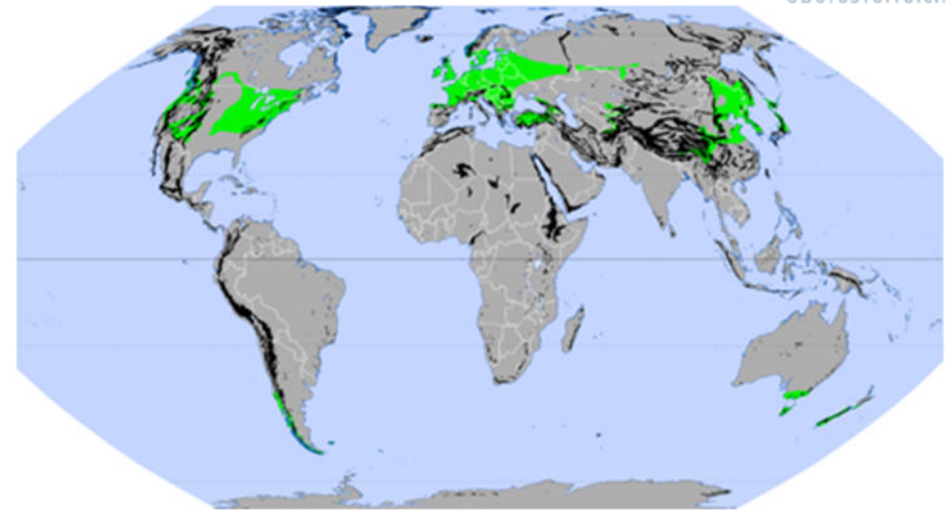
# Agrarökosysteme der feucht-gemäßigten Breiten

## • Klima und Vegetation

- Deutliche jahreszeitliche Unterschiede der mittleren Monatstemperaturen bei relativ gleichmäßig verteilten Jahresniederschlägen (500-800 mm). Unterschiede zwischen ozeanisch und kontinental geprägten Regionen.
- Natürliche Vegetation ist winterkahler Laubwald, in Europa ursprünglich aus Buche (*Fagus sylvatica*) und Eichen (z.B. *Quercus robur*); heute weitgehend menschlich überprägte Forste mit Nadelbaumarten (Fichte *Picea abies*, Wald-Kiefer *Pinus sylvestris*).

## • Böden

- Großteils junge, nach der letzten Eiszeit entstandene Böden mit geringen Profilen und guter mineralischer Versorgung (Parabraunerden und Braunerden).



# Agrarökosysteme der feucht-gemäßigten Breiten

## • Landnutzung und Kulturpflanzen

- Günstige Bodeneigenschaften und ausreichend Wasserversorgung bieten günstige Voraussetzungen für landwirtschaftliche Nutzung.
- Hohe Bevölkerungsdichte und hoher Industrialisierungsgrad haben zur Entwicklung einer intensiven, hoch technisierten Landwirtschaft geführt.
- Ackerbauliche Kulturpflanzen sind die Getreidearten Weizen, Roggen, Gerste, Hafer, Mais sowie die Hackfrüchte Kartoffel und Zuckerrübe sowie Raps und Sojabohne.
- Meist intensive Grünlandwirtschaft, v.a. in Küstengebieten und Bergregionen.
- Forstwirtschaft (regional zwischen 1/3 und 2/3 der Gesamtfläche).



# Agrarökosysteme der trocken-gemäßigten Breiten

## • Klima und Vegetation

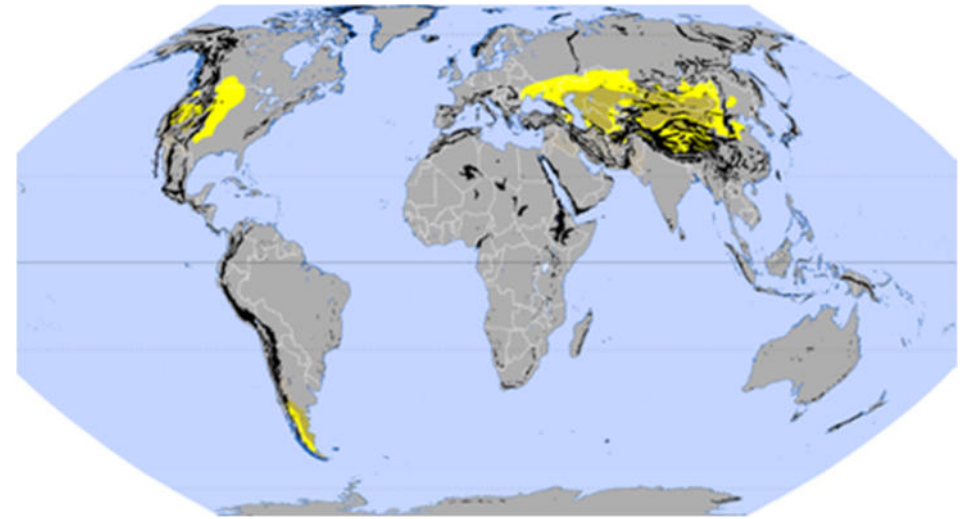
- Kontinental geprägte Gebiete mit kalten Wintern mit Monats-Mitteltemperaturen unter 5°C, Jahresniederschlägen 300-500 mm. Kurze aride Phasen während der Sommermonate.
- Steppen (Prärie, Pampa) mit Grasländern und Wüstensteppen mit Jahresniederschlägen von 100-200 mm. Kontinentalste Bereiche mit Wüsten (z.B. Gobi, Mojave, Atacama).

## • Böden

- Typische Böden sind die Schwarzerden (Tschernoseme) mit mächtigen Humushorizonten, die gute Mineralversorgung und Wasserspeicherkapazität zeigen.

## • Landnutzung und Kulturpflanzen

- Wichtigste Ackerbauggebiete der Erde (**Weizenanbau**), weiters Sonnenblume, Sorghum, **Mais, Gerste, Sojabohne**.
- Durch intensive Nutzung kommt es zu Humusabbau, bei Niederschlagsmengen unter 300 mm wird Bewässerung notwendig (Gefahr der Versalzung der Böden).
- In den trockensten Gebieten extensive Weidewirtschaft (Rinder, Schafe).



# Agrarökosysteme der Borealen Klimazone

## • Klima und Vegetation

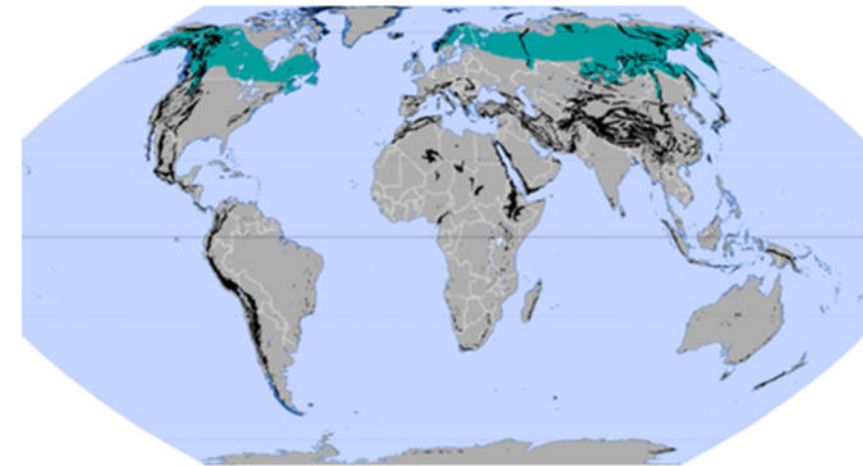
- Mittlere Jahrestemperaturen häufig unter 0°C, mittlere Temperaturen des kältesten Monats oft unter -20°C, wärmste Monate 15-18°C, wobei starke Unterschiede zwischen ozeanisch und kontinental geprägten Gebieten bestehen. Niederschläge zu allen Jahreszeiten, 300-600 mm/Jahr. Kurze Vegetationsperioden von 3-4 Monaten.
- Natürliche Vegetation aus Nadelwäldern (Taiga) mit Fichten, Kiefern und Lärchen (*Larix spec.*), im ozeanisch geprägten Bereich auch Birken (*Betula spec.*).

## • Böden

- Charakteristische Böden sind die Podsole, aufgrund geringer Mineralisierungsraten mit mächtigen Rohhumusanreicherungen und Tendenzen zur Versauerung.

## • Landnutzung und Kulturpflanzen

- Ackerbau aufgrund der kurzen Vegetationsperiode von stark untergeordneter Bedeutung: **Gerste, Hafer, Roggen, Kartoffel** bis zum **Polarkreis** (66. Breitengrad).
- Weidewirtschaft, kommerziell ist die Zone v.a. für Holznutzung bedeutsam.



# Agrarökosysteme der polaren und subpolaren Klimazone

- **Klima und Vegetation**

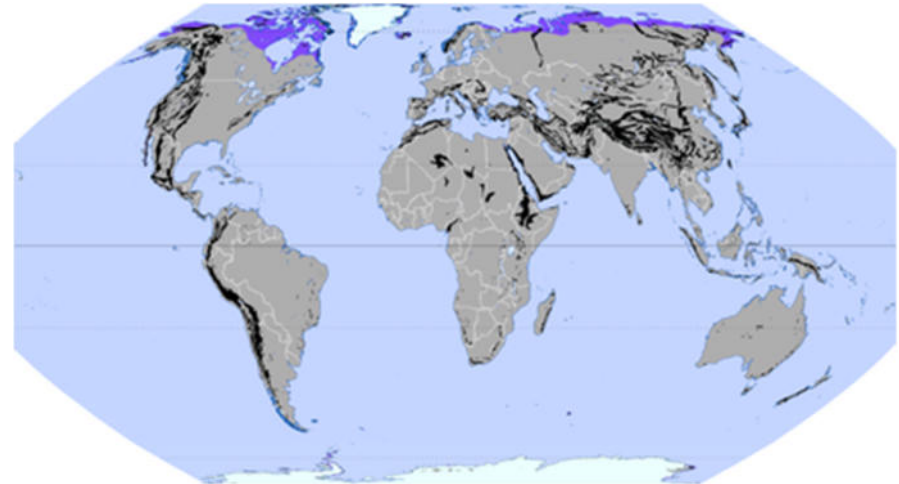
- Jahresmitteltemperaturen von höchstens  $-10^{\circ}\text{C}$ , Niederschläge unter 300 mm.
- Baumfreie arktische Tundra (Zwergsträucher, Gräser, Seggen, polare Eiswüsten)

- **Böden**

- Permafrost und Auftauböden.

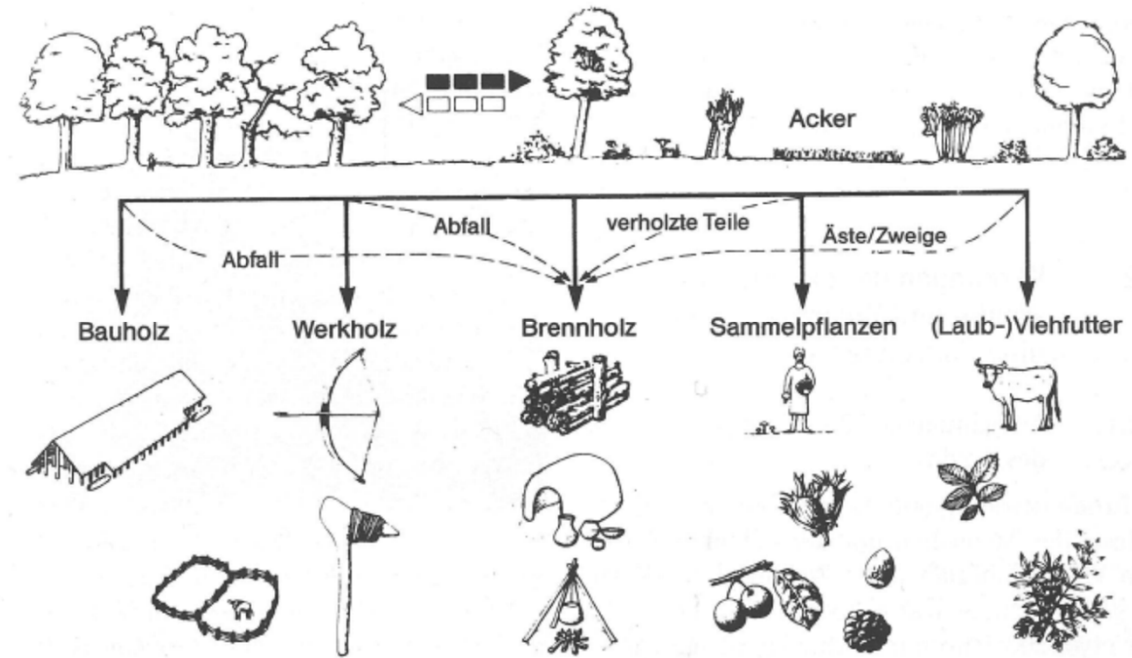
- **Landnutzung und Kulturpflanzen**

- Teilweise traditionell nomadische Haltung von Rentieren (*Rangifer tarandus*). Jagd, in Küstenregionen Fischfang und Jagd auf Meeressäuger (Wale, Robben).



# Entwicklung der landwirtschaftlichen Produktionsweisen und Wirkungen in Agrarökosystemen: Das Beispiel der feucht-gemäßigten Breiten

- Ackerbau der feucht-gemäßigten Breiten Europas ist mehr als 7.000 Jahre alt und hat sich in Verbindung mit der Viehwirtschaft entwickelt.
- Voraussetzung war die Klimaerwärmung nach der letzten Eiszeit (Beginn der postglazialen Wärmezeit vor 11.000 Jahren; Ackerbau nach Ende des Boreals)
- Äcker wurden auf ehemaligem Waldboden angelegt, wobei anfangs die **Brandfeld-Wirtschaft** („**shifting cultivation**“) eine bedeutende Rolle spielte.
- Bereits in der Bronzezeit gab es dauerhaft bewirtschaftete Äcker (Willerding 1978); dennoch spielte die **Brachephase** in den Agrarökosystemen eine zentrale Rolle für Viehhaltung und Regeneration der Bodenfruchtbarkeit.



Entwicklung der bäuerlichen Wirtschaftssysteme aus dem Wald (aus Behre und Jacomet 1991).

# Anthropogene Belastungen in Agrarökosystemen: Eingriffe in den Wasserhaushalt

## • Veränderungen der Flusstallandschaften (I): Rodung und Entwaldung

Große Flusstäler gehören zu den ältesten von Menschen besiedelten Räumen :

- Beweidung und Auflichtung des Auwaldes beschleunigten den Abfluss der Niederschläge und sorgten für verstärkte Erosion. Schätzungen zufolge hatte sich der **Landschaftsabfluss im Zuge der großen Rodungen des Mittelalters in Deutschland um 60% erhöht** (Bork 2001).
- **Wasserführung** der Flüsse wurde **ungleichmäßiger**, weil die Schneeschmelze im offenen Gelände rascher erfolgt und Starkregen auf dem verdichteten Boden rascher abfließt als unter Wald.
- Zwischenzeitliches **Ansteigen** der **Grundwasserstände**, weil die Verdunstung der Wälder wegfiel. Später kommt es zum Absinken der Grundwasserstände.
- Witterungsextreme mit Überschwemmungen führten seit dem Mittelalter zu Boden- und Reliefveränderungen.

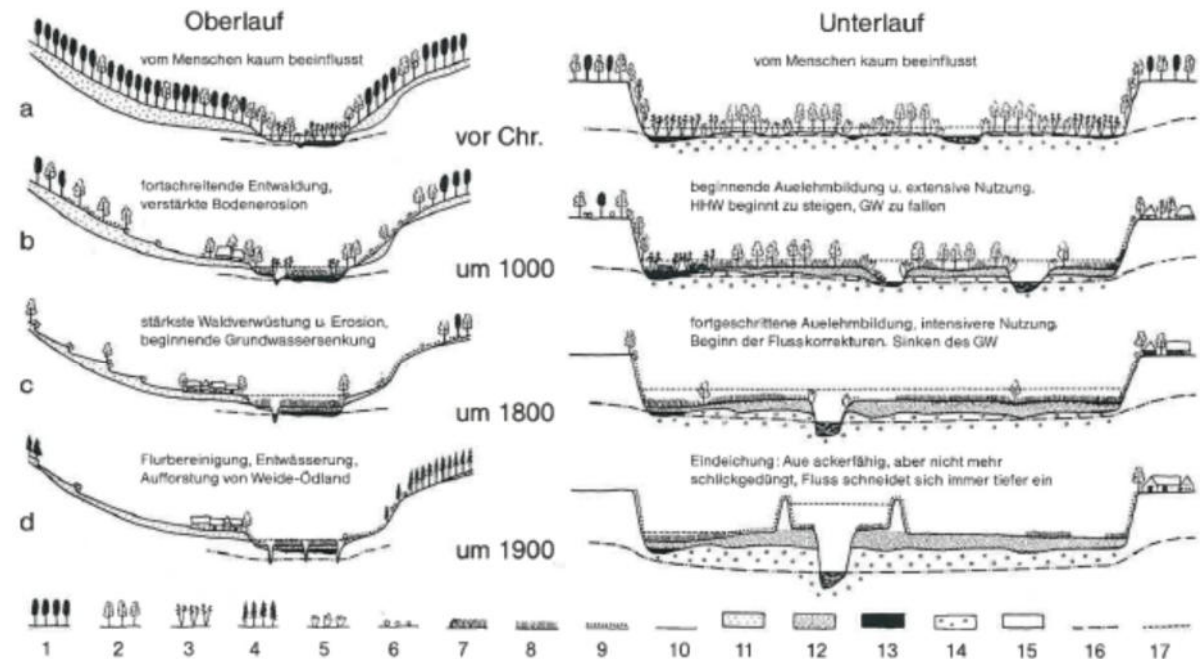


Abb. 3–26 Entwicklung einer mitteleuropäischen Flusstal-Landschaft im Ober- (bzw. Mittel-) und Unterlauf bei zunehmender Entwaldung, Entwässerung, Erosion und Auelehmung. Schematisch, nach Eilenberg (1954), etwas verändert.  
1 = Buchenwald, 2 = Eichen- u. a. Laubmischwälder, 3 = Erlenbruch, 4 = Nadelholz-Aufforstungen, 5 = Weidengebüsch, 6 = sonstige Gebüsche, 7 = Nasswiesen, 8 = Frischwiesen, 9 = Trockenwiesen, 10 = Äcker, 11 = Lösslehm, 12 = Auelehm, 13 = Moor, 14 = Kies, 15 = andere Bodenarten, 16 = mittlerer Grundwasserstand (GW), 17 = höchste Hochwasserhöhe (HNW). Die Signaturen 1 bis 9 sind nicht maßstabsgerecht, die Bodenprofile 11 bis 14 stark überhöht.

# Anthropogene Belastungen in Agrarökosystemen: Eingriffe in den Wasserhaushalt

## • Veränderungen der Flusstallandschaften (II): Regulierung

Seit dem 18. Jahrhundert wurden an den Flüssen umfangreiche Begradigungen und Verbauungen der Flussufer vorgenommen, die weitere Auswirkungen auf den Wasserhaushalt bedeuteten:

- **Begradigung** sorgt für eine **Erhöhung der Fließgeschwindigkeit** durch **Verkürzung des Flusslaufes** und Steigerung des Gefälles. Dadurch steigert sich die Transportkraft des Wassers, es kommt zur **Eintiefung des Flussbettes** und zur Absenkung des Grundwasserspiegels im Talbereich.
- Auen wurden dadurch immer trockener und frühere Auwaldstandorte, die als Feuchtwiesen genutzt worden waren, konnten auch als Äcker bewirtschaftet werden. Die regelmäßigen Überschwemmungen nach der Schneeschmelze erreichen diese Standorte nicht mehr: Fehlende Düngung mit Schlickmaterial, aber auch **keine Ausbreitung von Diasporen**, die über das Wasser herantransportiert werden.
- Katastrophenhochwässer sorgen auf den neu geschaffenen Ackerstandorten für Erosionsereignisse.

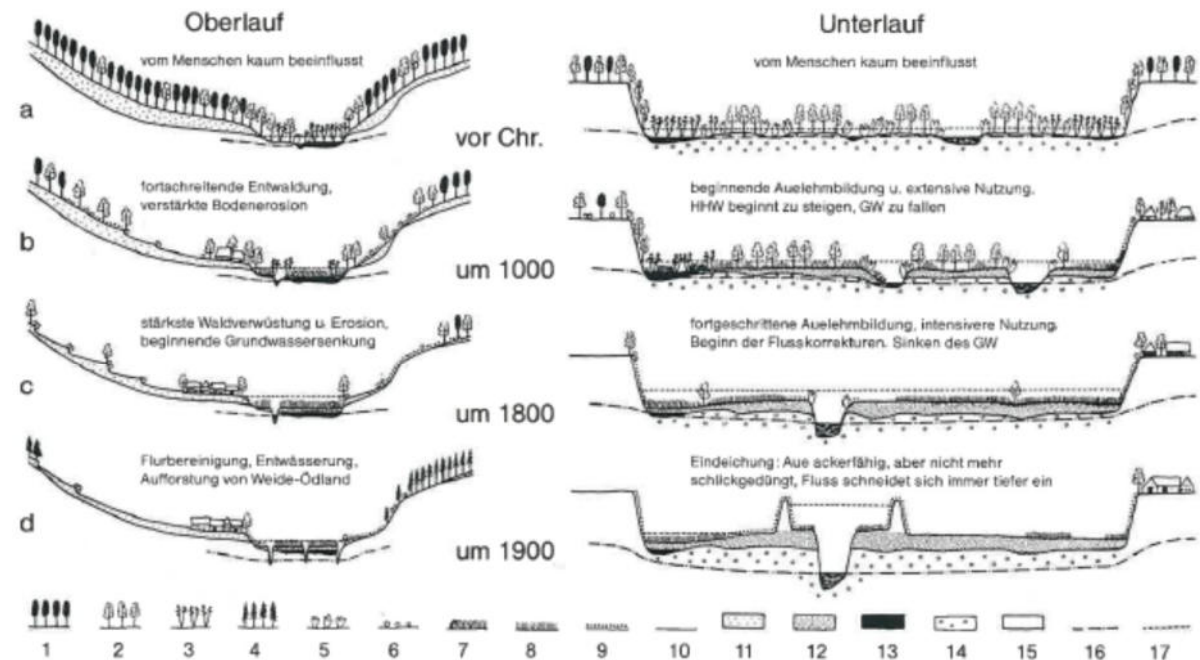


Abb. 3–26 Entwicklung einer mitteleuropäischen Flusstal-Landschaft im Ober- (bzw. Mittel-) und Unterlauf bei zunehmender Entwaldung, Entwässerung, Erosion und Auelehmung. Schematisch, nach Eilenberg (1954), etwas verändert.  
1 = Buchenwald, 2 = Eichen- u. a. Laubmischwälder, 3 = Erlenbruch, 4 = Nadelholz-Aufforstungen, 5 = Weidengebüsch, 6 = sonstige Gebüsche, 7 = Nasswiesen, 8 = Frischwiesen, 9 = Trockenwiesen, 10 = Äcker, 11 = Lösslehm, 12 = Auelehm, 13 = Moor, 14 = Kies, 15 = andere Bodenarten, 16 = mittlerer Grundwasserstand (GW), 17 = höchste Hochwasserhöhe (HHW). Die Signaturen 1 bis 9 sind nicht maßstabsgerecht, die Bodenprofile 11 bis 14 stark überhöht.

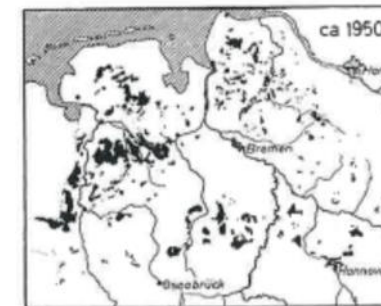
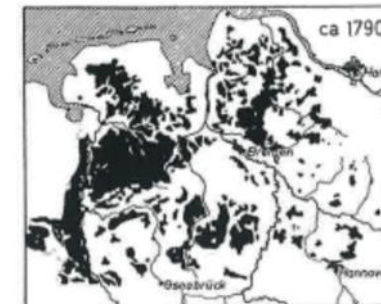
# Anthropogene Belastungen in Agrarökosystemen: Eingriffe in den Wasserhaushalt

- **Entwässerung von Feuchtwiesen und Mooren**

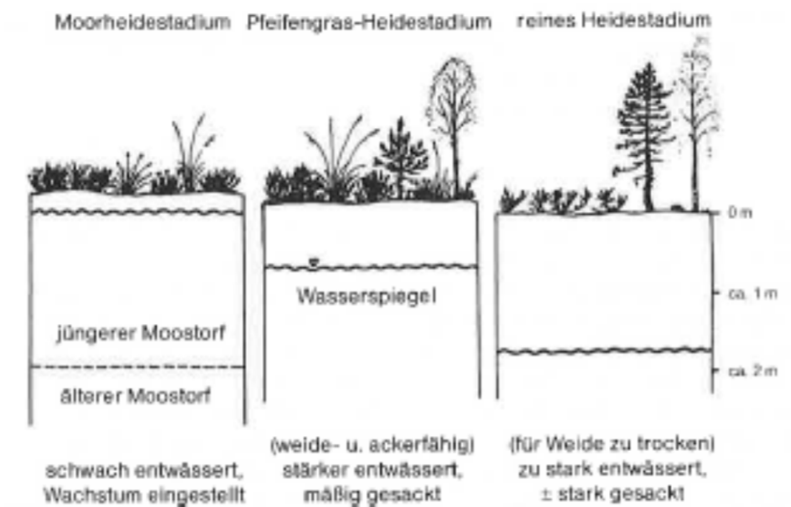
Feuchtwiesen und Moore bilden Wasserspeicher in den Landschaften.

Plaggen und Abtorfen von Mooren bereits in der Bronzezeit. Umfangreiche Moorkultivierungen mit Entwässerung erfolgten in den vergangenen 250 Jahren.

➤ Inzwischen fielen viele Moorkulturen wieder brach, weil die landwirtschaftlichen Erträge verhältnismäßig niedrig sind. An manchen Stellen hat man daher versucht, Moore zu renaturieren, indem man die Flächen wieder vernässt hat. Allerdings lassen sich die früheren Ökosysteme mit Toorfmoosen aufgrund der erfolgten Düngung und Eutrophierung kaum mehr wiederherstellen.



Rückgang der Moorflächen  
in Nordwestdeutschland





# Anthropogene Belastungen in Agrarökosystemen: Eingriffe in den Wasserhaushalt

- Agrarökosysteme Mitteleuropas sind durch Entwässerungen und Flussregulierungen, Moorkultivierungen, Verringerung der Waldbedeckung und Ausweitung des Ackerbaus **sukzessive trockener (und trockenheitsempfindlicher)** geworden.
- Außergewöhnlich trockene Sommer zeigen stärkere Wirkung, weil der Grundwasserstand und der Wasserrückhalt in der Fläche geringer geworden ist. Zudem benötigt die moderne, intensive Landwirtschaft hohe Wassermengen:
  - Seit den 1950er Jahren wird aufgrund veränderter Technik immer **tiefer gepflügt**, die durchwuzelte Ackerkrume ist heute fast doppelt so mächtig, wodurch der Wasserentzug aus dem Boden erhöht wird.
  - **Gut mit Stickstoff versorgte Pflanzen bilden größere Blätter und assimilieren mehr, transpirieren aber auch stärker.** Während unter günstigen Witterungsbedingungen Eutrophierung die Konkurrenzkraft „guter“ Stickstoffverwerter erhöht, sind diese (oft modernen Zuchtsorten) bei Dürre **entsprechend anfälliger** und gefährdet gegenüber Vertrocknung.



Agrarsteppen



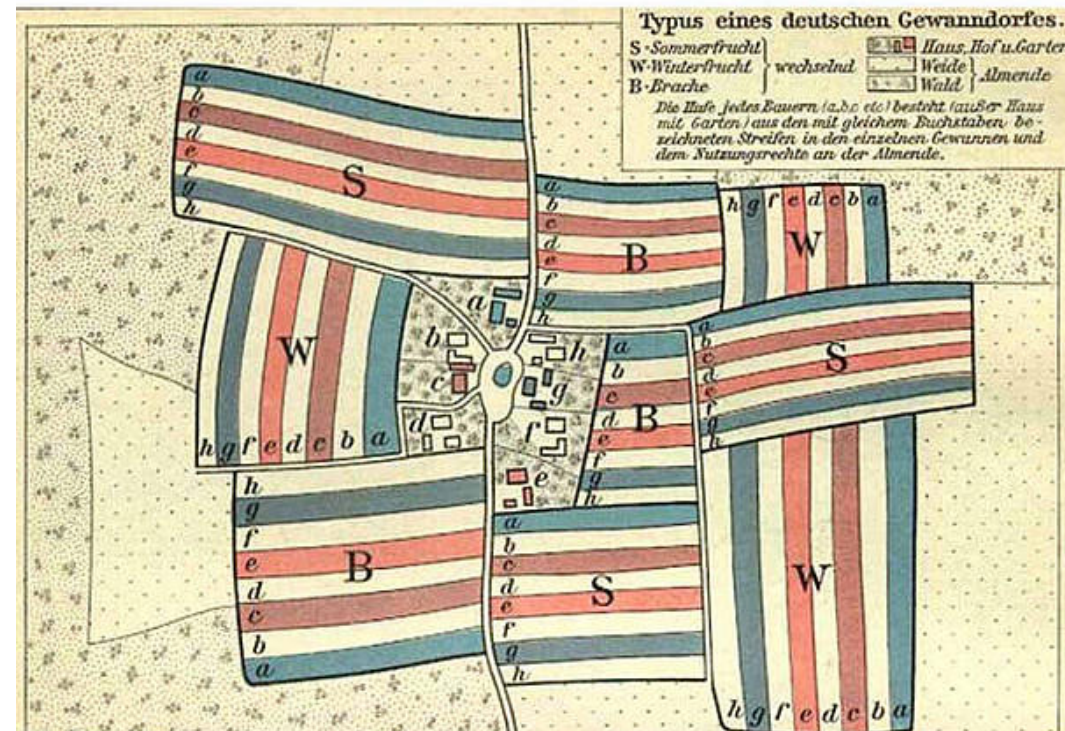
Bewässerung und Bodenversalzung in semiariden und ariden Regionen

# Anthropogene Belastungen in Agrarökosystemen: Eingriffe in den Nährstoffhaushalt

## Begrenzender Faktor in „traditionellen“ Agrarökosystemen war der Nährstoffhaushalt

- Während des Mittelalters breitete sich die **Dreifelderwirtschaft** über weite Teile Mitteleuropas aus, in der Wintergetreide, Sommergetreide und Brachland/Weide einander in dreijährigem Turnus abwechselten.
- Systeme von Innenflur und Außenflur sorgten für **Transfer von Nährstoffen von Wald und Weide (Außenflur) auf die Äcker und Gärten (Innenflur) über das Weidevieh**.
- Basis dieses **Rotations- und Umverteilungssystems** war der **Flurzwang** mit den Zelgen bzw. Lüssen, auf denen im festgelegten Fruchtfolge­turnus Ackerbau betrieben wurde sowie gemeinschaftlich genutzten, allmendhaften Teilen des Landes.

## Innovation agrarischer Systeme im Mittelalter: Dreifelderwirtschaft und Gliederung in Innen- und Außenflur



# Anthropogene Belastungen in „traditionellen“ Agrarökosystemen: Nährstoffmangel

## • Weidewirtschaft

- Die flächenmäßig am stärksten wirkende Belastung in den „traditionellen“ Agrarökosystemen ist die extensive Weidewirtschaft und die damit verbundene **Umverteilung von Nährstoffen** aus den Weideflächen auf die Äcker über den Viehdung.
- Beweidung von Wäldern und damit verbundene **Zurückdrängung des Waldes**, selektive Verdrängung einzelner Baumarten (z.B. Weiß-Tanne *Abies alba*).
- **Bodenverschlechterung**: Aushagerung, Versauerung mit Humusverarmung, Tonzerstörung und Basenverarmung bis hin zur Bildung von Podsolen.
- Verarmung der floristischen Zusammensetzung durch Förderung Hagerkeit ertragender Arten: Heiden und Borstgrasrasen.



# Anthropogene Belastungen in „traditionellen“ Agrarökosystemen: Nährstoffmangel

## • Streurechen und Plaggen

- Entnahme von Streu und den oberen, humusreichen Bodenbestandteilen („Plaggenhauen“) in Wäldern und Mooren zur Einstreu in die Ställe und in weiterer Folge zur Düngung der Äcker.
- Entzug von Biomasse, Humus und Nährstoffen (Stickstoff, Phosphor, basische Kationen), mit dem Basenentzug verbundene Versauerung der Böden.
- Schädigung der Mykorrhiza der Bäume und damit der Bäume selbst.

➤ Einen **Höhepunkt** erreichten Streunutzung und Plaggenhieb **im 19. Jahrhundert**, als der Streubedarf durch Verbreitung der Kartoffel, Rückgang des Getreideanbaus und Einführung der ganzjährigen Stallviehhaltung anstieg.



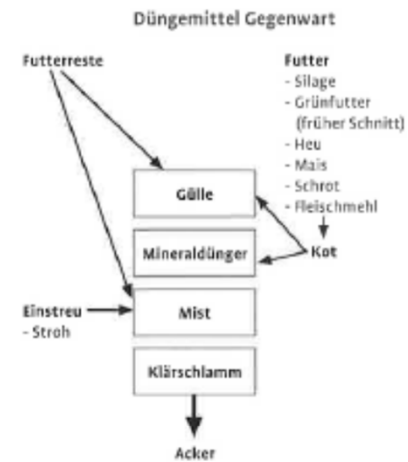
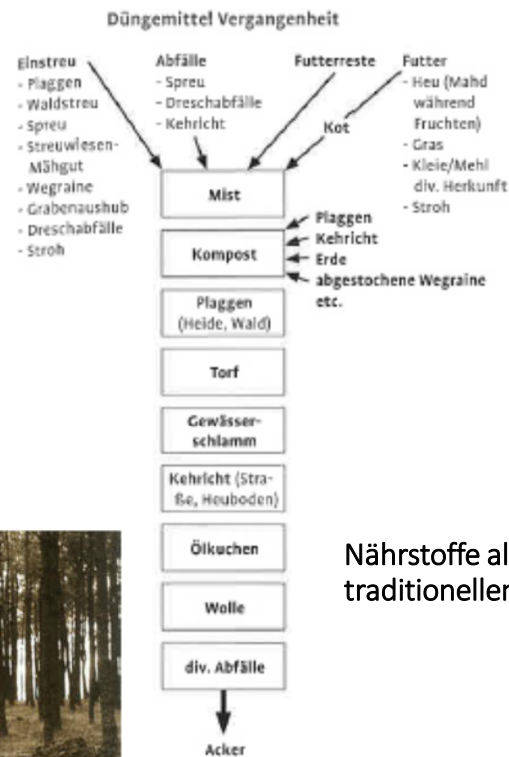
Plaggen in der Lüneburger Heide (Foto: Backhaus)

|    | Jährliche Entnahme | Entnahme alle 6 Jahre |
|----|--------------------|-----------------------|
| N  | 1100–1700          | 850–1200              |
| P  | ca. 200            | ca. 100–150           |
| Ca | 800–1100           | 500–700               |
| Mg | ca. 200            | 100–150               |

Nährelemententzug durch Streunutzung bei 50-100-jährigen Kiefern (in kg/ha) (aus: Ellenberg & Leuschner 2010)



## Nährstoffökonomie als Grundlage für den Formenschatz in den Agrarökosystemen bäuerlicher Agrarlandschaften



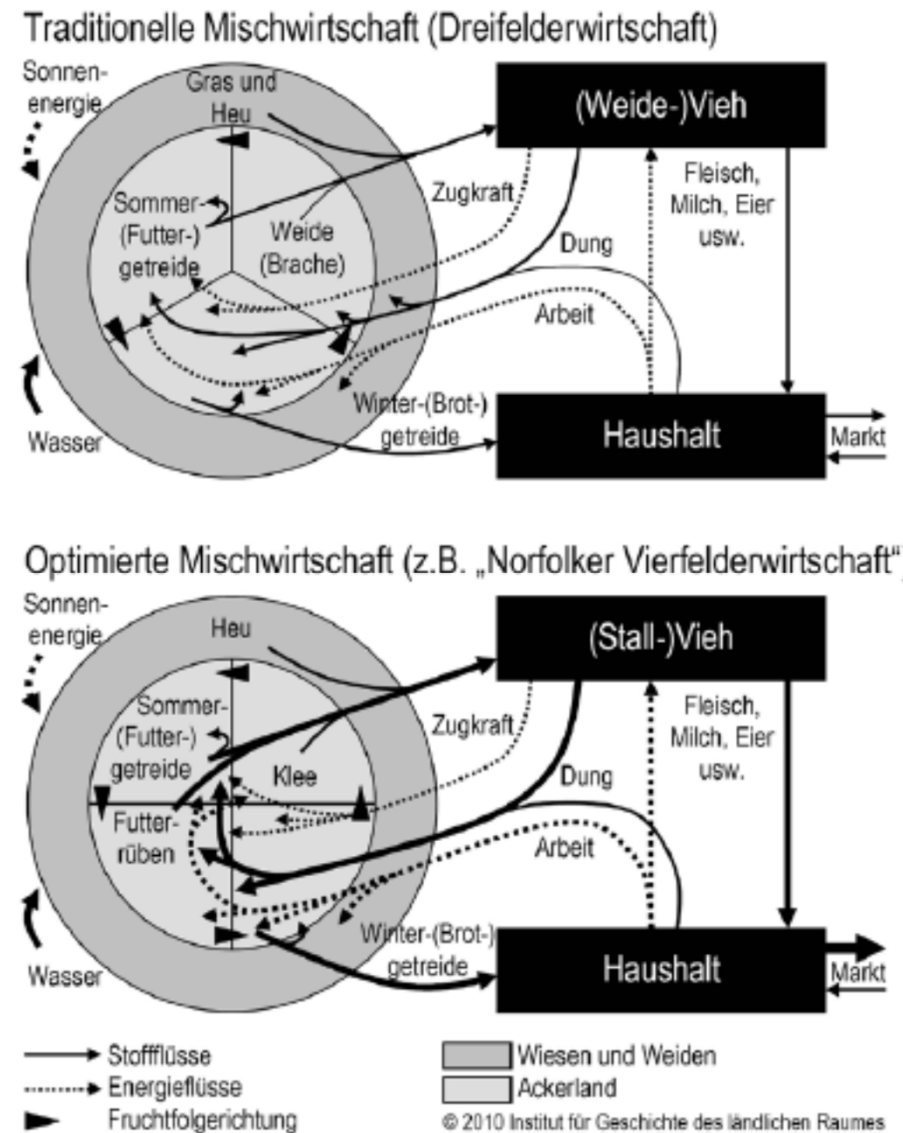
Nährstoffe als limitierender Faktor in den traditionellen Agrarökosystemen

Abb. 125 Düngemittel in der historischen und heutigen Kulturlandschaft.<sup>177</sup> Während mit historischen Düngern auf einen Hektar bis über zehn Millionen Samen ausgebreitet werden konnten, enthalten heutige Dünger weniger als ein Prozent oder sogar gar keine Samen (Mineraldünger).<sup>177</sup>

(Poschlod 2015)

# Innovation agrarischer Systeme in der frühen Neuzeit

- **Einbindung von Stickstoff bindenden Leguminosen** an Stelle der Brache und von Hackfrüchten (Rüben, Kartoffel) in die Fruchtfolge.
  - **Erhöhung der Futterbasis** für das Vieh über Leguminosenanbau.
  - **Umstellung der Weidewirtschaft auf Stallviehhaltung**, dadurch Optimierung der Düngewirtschaft.
  - **Kultivierung ehemaligen Allmend (-weide-) landes.**
  - Steigerung der Erträge durch Beschleunigung der Stoff- (Dünger-) und Energieflüsse (Erhöhung des Arbeitseinsatzes).
- **Verdoppelung der Agrarerträge vom 16. bis zum 19. Jahrhundert!**



Stoff- und Energieflüsse der traditionellen und der optimierten Mischwirtschaft (aus: Langthaler 2012)

# Die zweite Revolution agrarischer Systeme seit dem 19. Jahrhundert

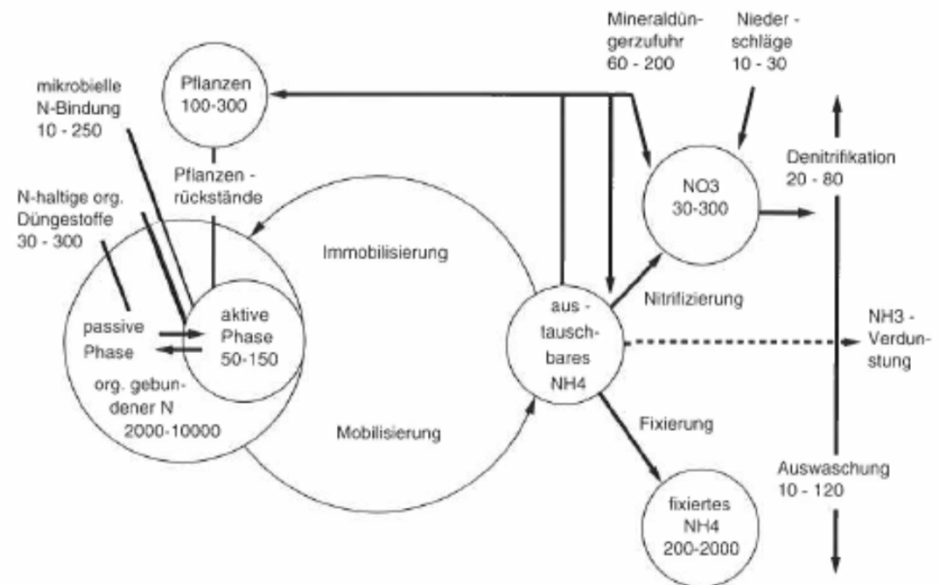
- **Mechanisierung** der Arbeitsgänge ab dem beginnenden 19. Jahrhundert (mechanische Pflüge, Saat-, Ernte- und Dreschmaschinen, Eggen; Dampfmaschine).
- Sukzessiver **Ersatz der Zugtiere** durch motorisierte Hilfsmittel (Traktorisierung).
- Beginnender Einsatz **synthetischer Düngemittel** zu Beginn des 20. Jahrhunderts ( $N$ ;  $P_2O_5$ ;  $K_2O$ ) und dessen Explosion nach dem Zweiten Weltkrieg.
- Zucht und Einsatz von **leistungsstarken Pflanzensorten und Tierrassen** („Sorten- und Züchtungsintensivierung“).
- Chemische **Pflanzenschutzmaßnahmen** und medikamentöse Unterstützung in der Tierhaltung und Tierzucht.
- **Spezialisierung** in Ackerbau- und Viehzuchtgebiete, fortschreitende Arbeitsteiligkeit:
  - Zwischen Landwirtschaft und vor- und nachgelagerten Industrien
  - Innerhalb der Landwirtschaft, z.B. in Aufzucht-, Milch- und Mastviehhaltung
- Konzentrations- und Wachstumsprozesse bei den landwirtschaftlichen Betrieben

© Getty Images

# Anthropogene Belastungen in modernen Agrarökosystemen: Nährstoffeinträge in Böden und Gewässer

- **Eutrophierung** beschreibt den Eintrag von reduzierten ( $\text{NH}_3$ ) und oxidierten ( $\text{NO}_x$ ) Stickstoffverbindungen in die Ökosysteme. Stickstoff ist limitierender Faktor für die Produktivität vieler Ökosysteme und daher wesentlich für deren Artenzusammensetzung.
- Seit Beginn des 20. Jahrhunderts über das Verfahren der Ammoniaksynthese industriell hergestellter Stickstoff in den Agrarökosystemen als Dünger eingebracht.
- Heute bringt der Mensch durch Düngung mehr synthetisch hergestellte Stickstoffverbindungen in Ökosysteme als Mikroorganismen durch  $\text{N}_2$ -Fixierung zu gewinnen vermögen (in D **150 kg/ha/Jahr auf Ackerflächen**).
- Da Pflanzen nur einen Teil davon nutzen können, werden **Überschüsse in Form von Nitraten in Grundwasser und Gewässer ausgewaschen**.
- In Tierhaltungsgebieten gelangt heute Ammoniak vor allem aus den Tierexkrementen (Gülleausbringung) in die Kreisläufe.
- Große Teile des ausgebrachten  $\text{NH}_3$  wird in der **Atmosphäre in  $\text{NH}_4^+$  übergeführt und mit der atmosphärischen Deposition in Ökosysteme eingetragen**.

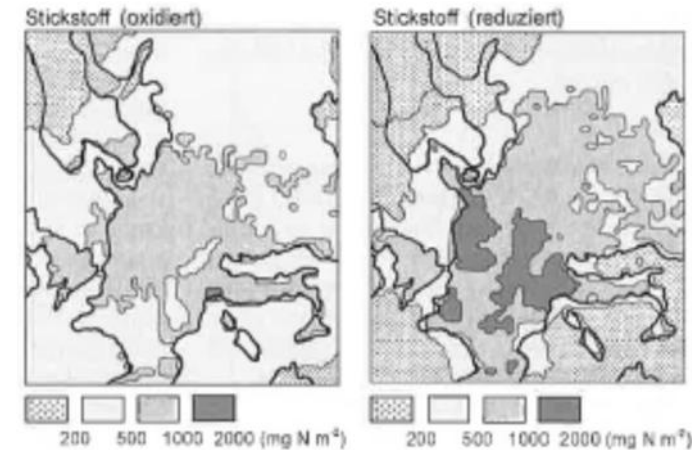
Gülleflora



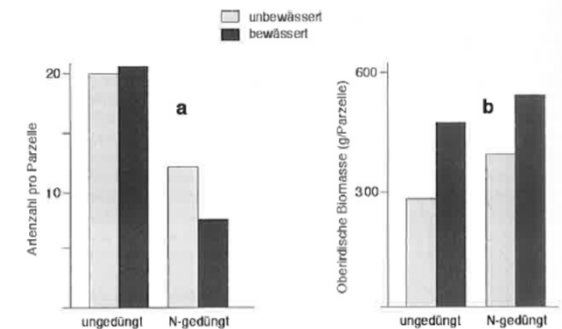
Stickstoffkreislauf im landwirtschaftlichen Pflanzenproduktionssystem  
(nach Sauerbeck 1985)

# Anthropogene Belastungen in modernen Agrarökosystemen: Nährstoffeinträge in Böden und Gewässer

- Die Gesamt-Stickstoffdeposition liegt in Mitteleuropa bei 10-100 kg N/ha/Jahr (Höchstwerte in Nordwestdeutschland, den Niederland, Bayern, Böhmen und Teilen Niederösterreichs).
- Eintrag in den Boden umso höher, desto höher der Bestand und größer die Blattfläche ist (Deposition in Nadelwäldern um 20% höher als in Laubwäldern).
- Folge der Stickstoffeinträge sind fortschreitende Veränderungen der Artenzusammensetzung und Verringerung der Artenvielfalt in fast allen Ökosystemen Mitteleuropas. Die meisten vom Aussterben bedrohten Pflanzenarten in Mitteleuropa sind Zeiger für N-Mangel (Ellenberg jr. 1985).
- Wirkungen von N auf die Vegetation:
  - **Schädigung** von Pflanzen bei Überschreiten von Schwellenwerten (Blattschäden, Einschränkung der Mykorrhiza-Tätigkeit, toxische Wirkung auf div. **Mikroorganismen und Blaualgen-Flechten**).
  - **Verdrängungseffekte** von stickstoffaffinen gegenüber an nährstoffarme Substrate angepasste Pflanzen (z.B. in Heiden, Magerrasen, Mooren, Wäldern).
  - N-Eintrag kann zur **Versauerung** von Böden und Gewässern führen, v.a. wenn diese geringes Puffervermögen aufweisen (erhöhte Assimilation sorgt für Entnahme von pufferwirksamen Kationen durch die Pflanzen).
  - Gesteigerte N-Verfügbarkeit erhöht bei vielen Pflanzen Empfindlichkeit gegenüber Pathogenen, Trockenheit und Frost.



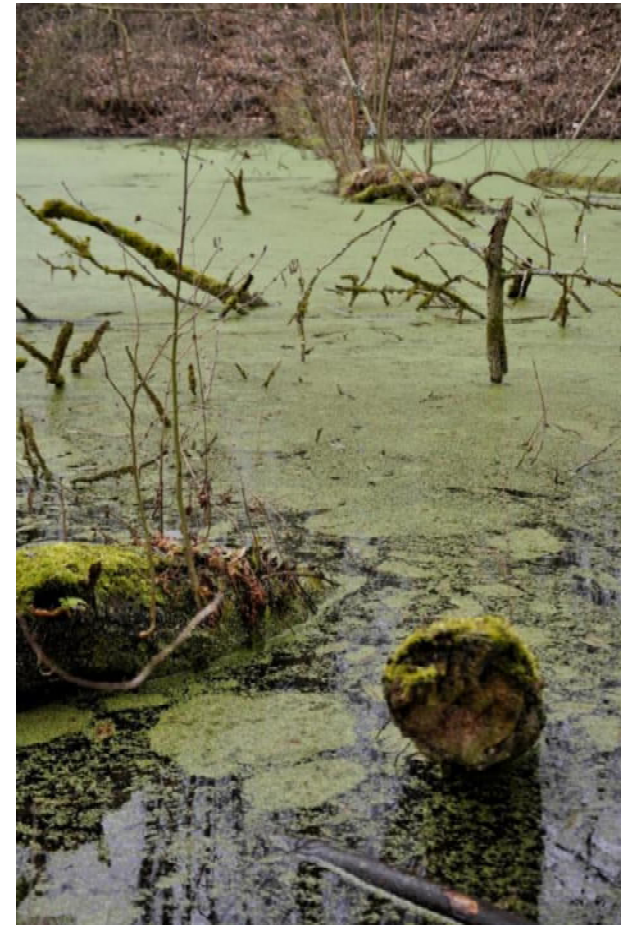
Deposition von Stickstoffverbindungen in Mitteleuropa  
(aus Ellenberg & Leuschner 2010)



Einfluss von Stickstoffdüngung auf (a) die Artenzahl und (b) die oberirdische Biomasse in bewässerten und unbewässerten Parzellen einer einjährigen Ackerbrache in Michigan, USA  
(aus: Martin & Sauerborn 2006)

# Anthropogene Belastungen in modernen Agrarökosystemen: Nährstoffeinträge in Böden und Gewässer

- Neben Stickstoff finden Phosphor und Phosphorverbindungen in der Düngung landwirtschaftlicher Flächen eine verbreitete Anwendung.
- Wie Nitrate reichern sich auch Phosphate in Gewässern an und seit Mitte des 20. Jahrhunderts hat sich die Phosphatkonzentration in den Still- und Fließgewässern Mitteleuropas, aber auch in der Nord- und Ostsee vervielfacht.
- Seit den 1980er Jahren sinkt die Phosphatbelastung, v.a. weil der Einsatz von Phosphaten in Textilwaschmitteln stark reduziert wurde. Der Nitratgehalt ist in vielen Gewässern der Agrarlandschaften nach wie vor sehr hoch.
- Über die Eutrophierung von Gewässern:
  - verändern sich die Primärproduzenten-Gemeinschaften
  - Kommt es zu **Sauerstoff-Entzug bis zur Anoxie im Sediment**, wenn die tote organische Substanz abgebaut wird.



Wasserlinsen (*Lemna*) als Zeiger für Phosphateintrag

# Anthropogene Belastungen in modernen Agrarökosystemen: Reduktion der Biodiversität

Die moderne, industrielle Landwirtschaft gehört zu den Hauptursachen für den Rückgang der Biodiversität.

Dabei werden verschiedene Mechanismen wirksam:

- Intensivierung der Bewirtschaftung und damit verbundene **Nivellierung standörtlicher Unterschiede** durch
    - Eutrophierung
    - Mechanisierung und Rationalisierung
    - Beseitigen von (Sonder-)standorten (z.B. Entwässerung, Entfernung von Landschaftselementen)
  - Kontamination mit Pflanzenschutzmitteln
  - Saatgutreinigung
- Neben der Intensivierung können aber auch Extensivierung und Nutzungsaufgabe – als Kehrseite der Intensivierung – nivellierende Effekte auf Agrarökosysteme mit sich bringen!



Abb. 3: Ursachen des Artenrückgangs der Farn- und Blütenpflanzen in der Bundesrepublik Deutschland, geordnet nach der Zahl der betroffenen Pflanzenarten der Roten Liste. Die Summe liegt infolge Mehrfachnennung von Gefährdungsfaktoren höher als die Gesamtzahl der 711 untersuchten Arten (aus KORNECK & SUKOPP 1988).

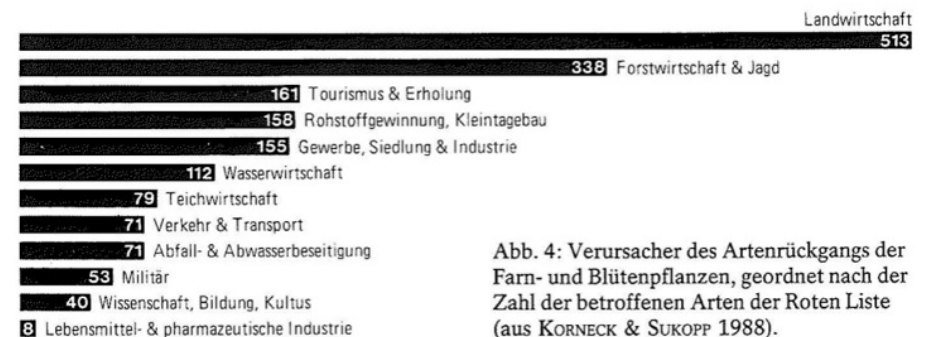
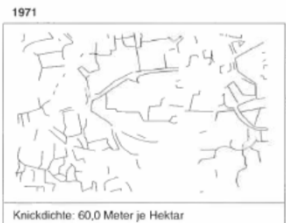
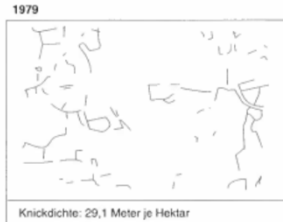
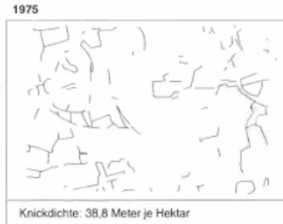
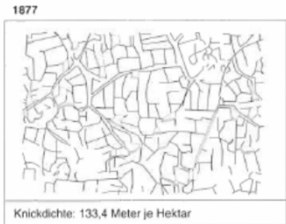


Abb. 4: Verursacher des Artenrückgangs der Farn- und Blütenpflanzen, geordnet nach der Zahl der betroffenen Arten der Roten Liste (aus KORNECK & SUKOPP 1988).

Ursachen und Verursacher für Artenrückgang (Korneck & Sukopp 1988)

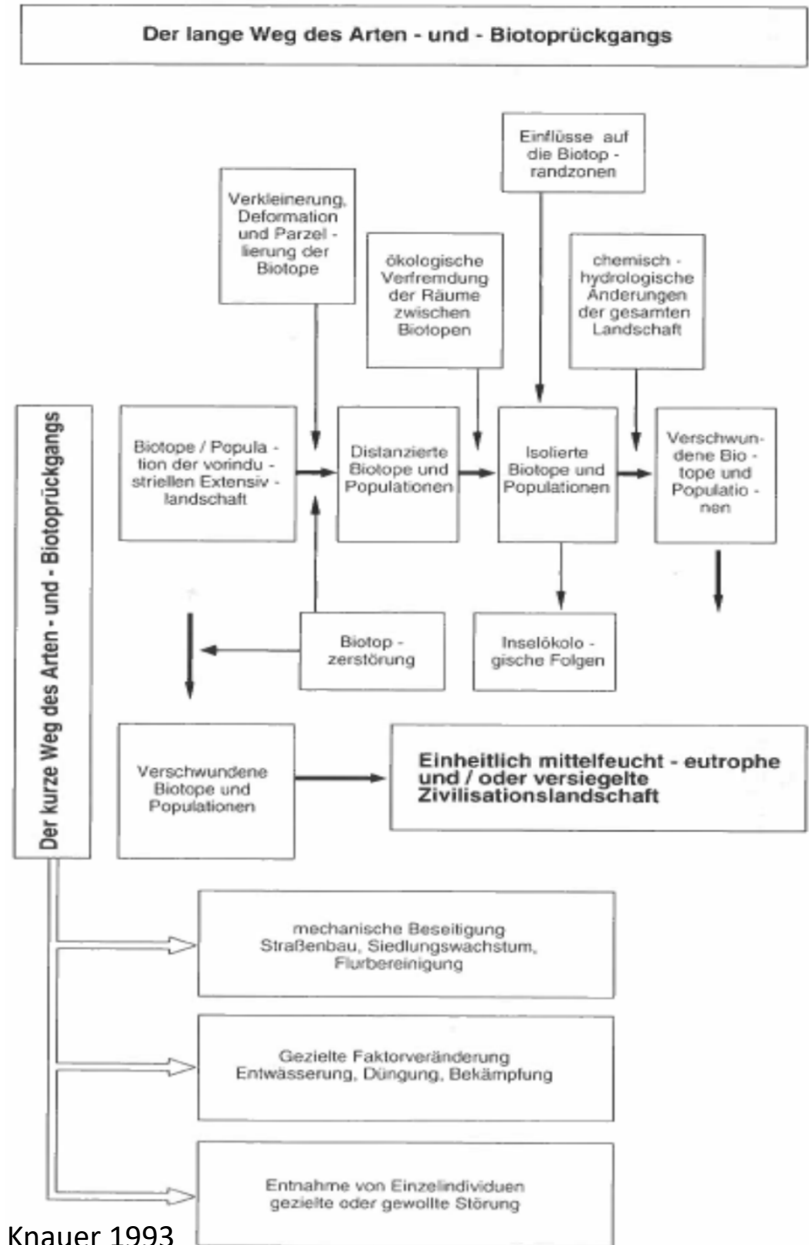
# Mechanismen des Arten- und Biotoprückganges in Agrarökosystemen



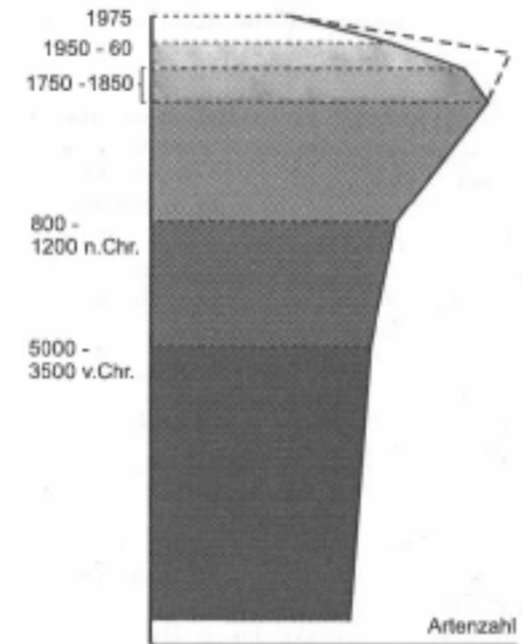
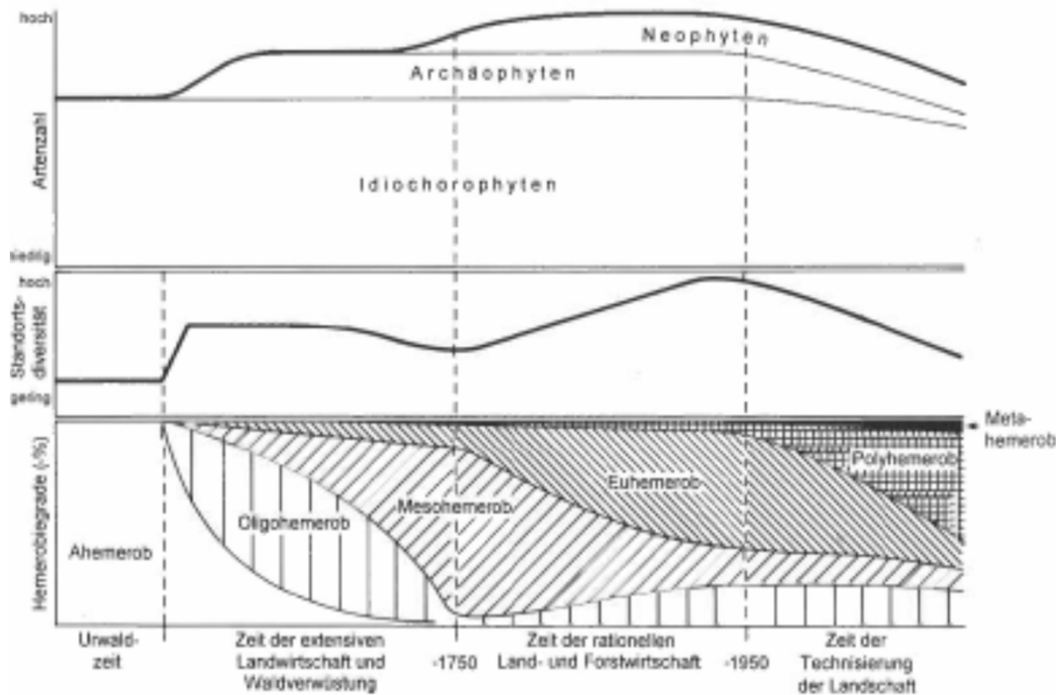
Rückgang von Hecken in einer Landschaft Norddeutschlands zwischen 1877 und 1971 infolge von Flurbereinigungen (Ellenberg & Leuschner 2010)



Von Feldvögeln genutzte Heckenbereiche (Glück & Kreisel 1986)



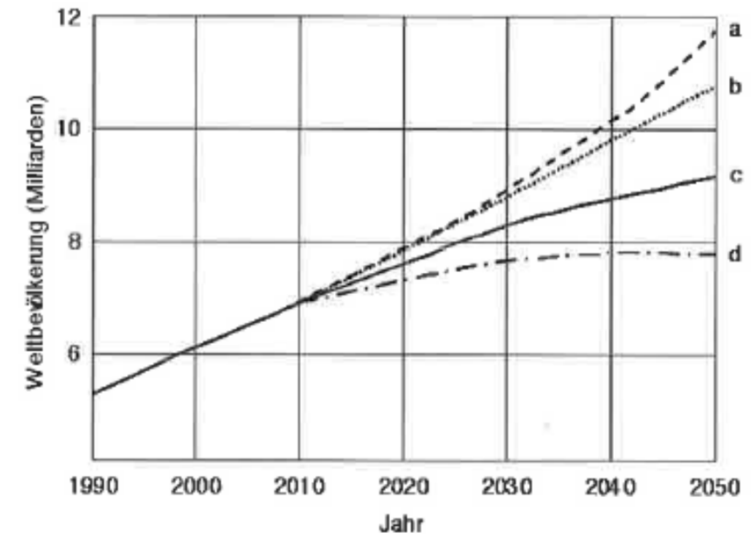
# Diversität der Kulturlandschaft und der „ökologische Bruch“ der Industrialisierung



Quellen: Ellenberg & Leuschner 2010  
Bonn & Poschlod 1998

# Agrarökosysteme und globaler Wandel

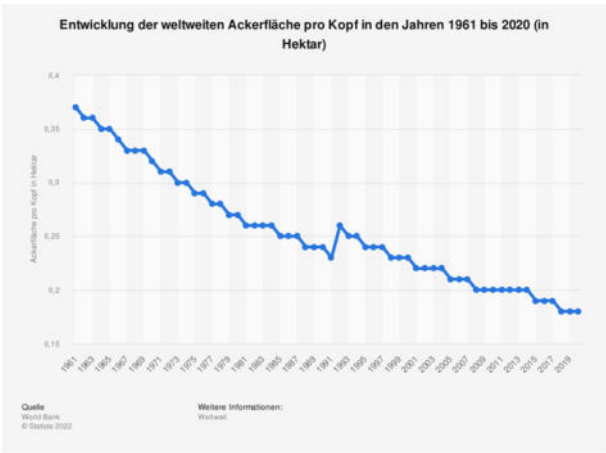
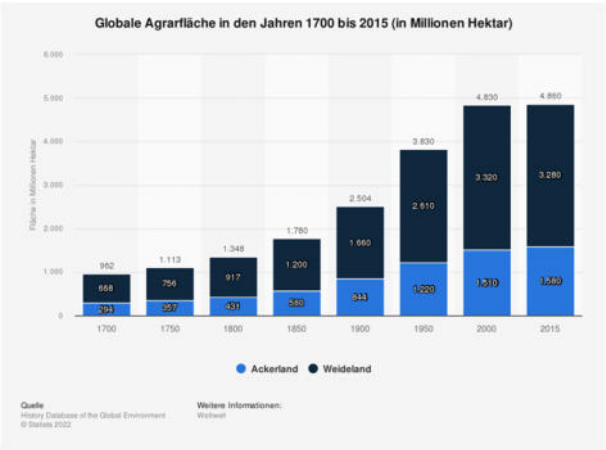
- Mit ansteigender Bevölkerungsdichte erhöhen sich die Bedarfe an Nahrungsmitteln, aber auch anderen Ressourcen wie Brennstoffen, Wasser
- Vier Kulturpflanzen – Weizen, Reis, Mais, Kartoffel – liefern 60% der Nahrungsenergie für die Weltbevölkerung
- Global gesehen konnte die Nahrungsmittelproduktion mit dem Bevölkerungswachstum mithalten, was jedoch nicht bedeutet, dass alle Menschen weltweit ausreichend mit Nahrung versorgt sind. Zusammen mit anderen Faktoren sozialer und politischer Ungleichheit und Naturkatastrophen ist die Situation heute so, dass rund 800 Millionen Menschen von Unter- und Mangelernährung betroffen sind.
- Laut Berechnungen der FAO muss die Weltgetreideproduktion von **2000-2030 um 50%**, die **Ölproduktion um 108%** gesteigert werden, um den erwarteten Bedarf zu decken. Die **Fleischproduktion** wird im gleichen Zeitraum **um etwa 73% steigen**, wobei die gesteigerte Nachfrage zu 80% aus sog. Entwicklungsländern kommen wird.



Voraussichtliche Entwicklung der Weltbevölkerung bis zum Jahr 2050 bei  
(a) hoher (b) konstanter (c) mittlerer und (d) niedriger Fortpflanzungsrate  
(nach den vereinten Nationen 2005)  
(aus: Martin & Sauerborn 2006)

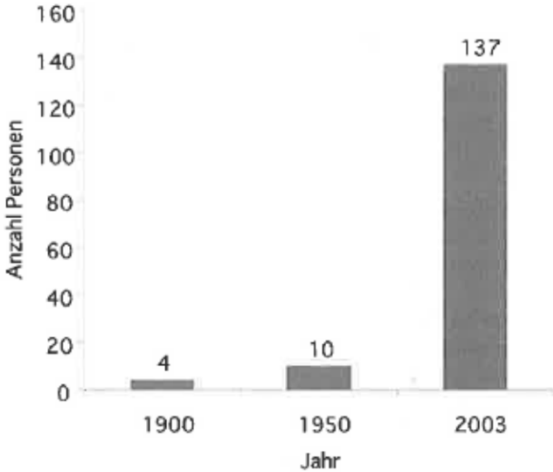
# Entwicklung der landwirtschaftlichen Produktion

- Ausweitung der Anbauflächen** (z.B. in Afrika südlich der Sahara, Südamerika) – Konflikt mit Wald, Schutzgebieten (>50% der in Frage kommenden Flächen)
- Intensivierung des Anbaus** (Züchtungsfortschritte – Entwicklung von Hochertragsorten, z.B. Weizen, Reis) – Konflikt: negative Effekte auf Ökosysteme: Wasserbedarf, Düngemiteleinsatz, Pflanzenschutzmittel...)



**Tabelle 2.1: Weltweite Anbauflächen der wichtigsten Kulturpflanzenarten mit kommerziell genutzten transgenen Sorten (nach JAMES 2003)**

|           | gesamt<br>(Mio ha) | weltweite Anbaufläche<br>transgen<br>(Mio ha) | transgen<br>(%) |
|-----------|--------------------|-----------------------------------------------|-----------------|
| Sojabohne | 76                 | 41,4                                          | 55              |
| Mais      | 140                | 15,5                                          | 11              |
| Baumwolle | 34                 | 7,2                                           | 21              |
| Raps      | 22                 | 3,6                                           | 16              |
| Gesamt    | 272                | 67,7                                          | 25              |



Anzahl der von einem Landwirt in Deutschland mit Nahrung versorgten Personen (aus: Martin & Sauerborn 2006)

Entwicklung der Weltackerfläche und der Ackerfläche/Kopf

## Literatur (Auswahl)

Ellenberg, H. & Leuschner, C. (2010): Vegetation Mitteleuropas mit den Alpen. UTB Verlag Eugen Ulmer.

Klötzli, F. (1989): Ökosysteme. UTB Gustav Fischer Verlag

Knauer, N. (1993): Ökologie und Landwirtschaft. Situation – Konflikte – Lösungen. Verlag Eugen Ulmer

Martin, K. & Sauerborn, J. (2006): Agrarökologie. UTB Verlag Eugen Ulmer.

Mazoyer, M. & Roudart, L. (2006): A history of world agriculture from the neolithic age to the current crisis. Earthscan.

Schultz, J. (2000): Handbuch der Ökozonen. Verlag E. Ulmer

Sieferle et al. (2006): Das Ende der Fläche. De Gruyter Verlag.