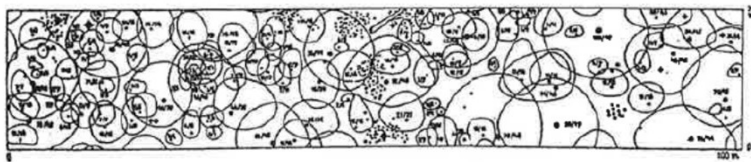
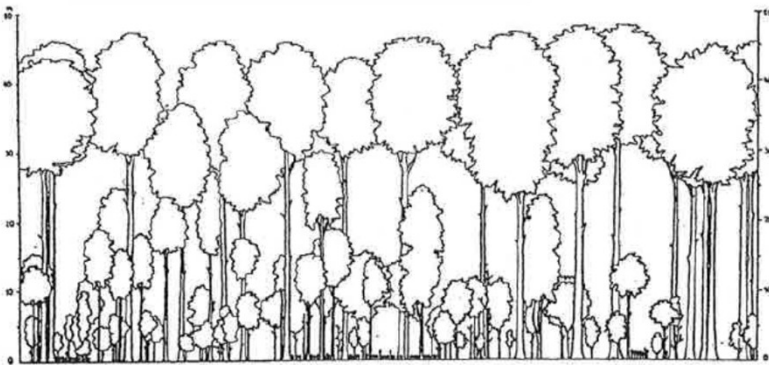


ÖKOSYSTEME UND DEREN ANTHROPOGENE BELASTUNG



ÖKOSYSTEME DER WÄLDER UND FORSTE

SeBBU08201

SS 2026



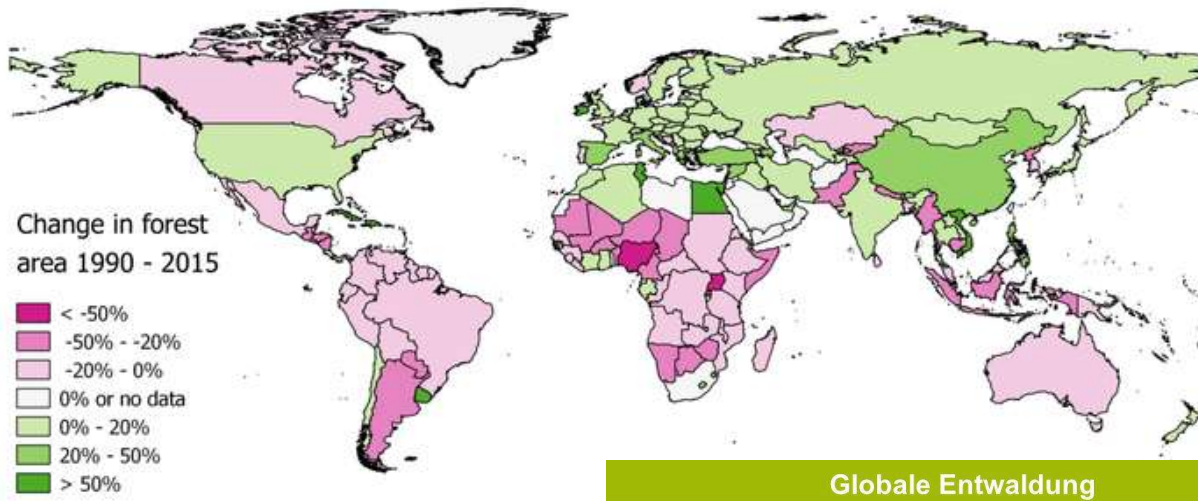
Wald- und Forstökosysteme und deren anthropogene Belastung

Inhalte:

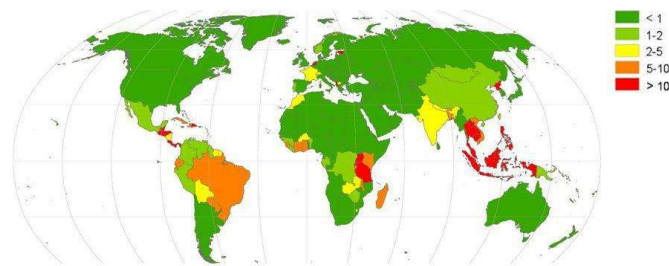
- Begriffe Wald und Forst, Primärwälder, Sekundärwälder; Wälder als Ökosysteme
- Übersicht zu Waldökosystemen der Erde
- Entwicklung der Wälder Mitteleuropas im Lichte der Geschichte der menschlichen Landnutzung
 - Aufweitung und Rodung der Wälder
 - Frühe forstliche Nutzungen der Wälder: Niederforstwirtschaft, Mittelforstwirtschaft
 - Gewerbliche und industrielle Waldnutzungen, Entstehung der modernen Forstwirtschaft
 - Kennzeichen und Probleme moderner Forstwirtschaft
- Aktuelle Belastungen von Wäldern und Forsten
- Alternative Bewirtschaftungsformen: Naturnaher Waldbau und Plenterwirtschaft

Globale Ent- und Bewaldungstendenzen

Waldfläche weltweit	40 Mio. km ²	30%
Davon ungenutzte Primärwälder	14,4 Mio. Km ²	11%



Globale Entwaldung



Verlust an Biomasse (Kohlenstoff) aufgrund von Landnutzungswandel (v.a. Abholzung), Durchschnittswert von 1998-2003 in g C/m² und Jahr

Quelle: Vohland et al. 2008



Ursachen für Entwaldung

	Viehwirtschaft	Industrielle Landwirtschaft	(Klein-) Bäueraliche Landwirtschaft	Nichtnachhaltige Waldwirtschaft	Zellstoff-Plantagen	Feuer	Hozkohle und Feuerholz	Bergbau	Infrastruktur	Wasserkraftanlagen
Amazonas	■	■	■	■		■		■	■	■
Atlantic Forest/ Gran Chaco	■	■		■	■	■	■	■	■	■
Borneo		■		■	■	■		■	■	■
Cerrado	■	■					■	■	■	■
Chocó-Darién	■	■	■	■			■	■	■	
Kongobecken	■	■	■	■			■	■	■	
Ostafrika	■	■	■	■		■	■	■	■	
Ostaustralien	■		■	■				■		
Mekong-Region		■	■	■	■		■		■	■
Neuguinea		■	■	■	■	■				
Sumatra		■	■	■	■	■			■	

Hauptursachen für die Waldzerstörung in den verschiedenen Entwaldungsfronten

■ Hauptursache des Waldverlusts und/oder der Waldzerstörung

■ Wichtige Nebenursache des Waldverlusts und/oder der Waldzerstörung

■ Untergeordnete Ursache des Waldverlusts und/oder der Waldzerstörung

□ Keine Ursache des Waldverlusts und/oder der Waldzerstörung

Quelle: WWF Deutschland 2015

Wald und Forst - Begriffsklärungen

• Wälder

Ungleichaltrig, gestuft und geschichtet; Mischbestand aus verschiedenen Baum- und Gehölzarten; „Naturnahe“ Struktur und Artenausstattung – aber nicht unbedingt „natürlich“ (Stw. „Plenterwald“)!

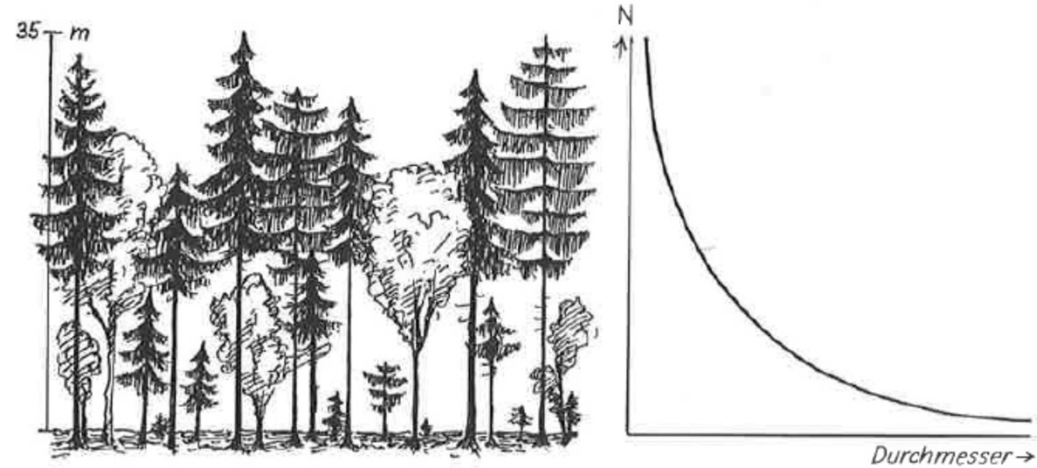
• Forste

Meist gleichartige Baumbestände gleicher Altersklasse; häufig gepflanzt; Bewirtschaftung in Form von Kahlschlagwirtschaft

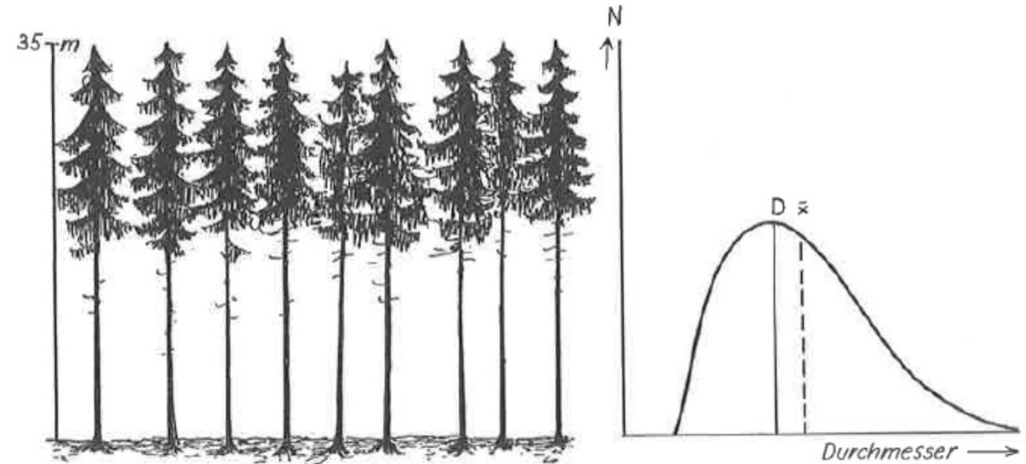
• Primärwälder und Sekundärwälder

Primärwälder beschreiben Urwälder ohne menschliche Eingriffe, Sekundärwälder entstehen in der Folge bzw. nach menschlichen Nutzungen, z.B. durch natürliche Wiederbewaldung

Plenterwald

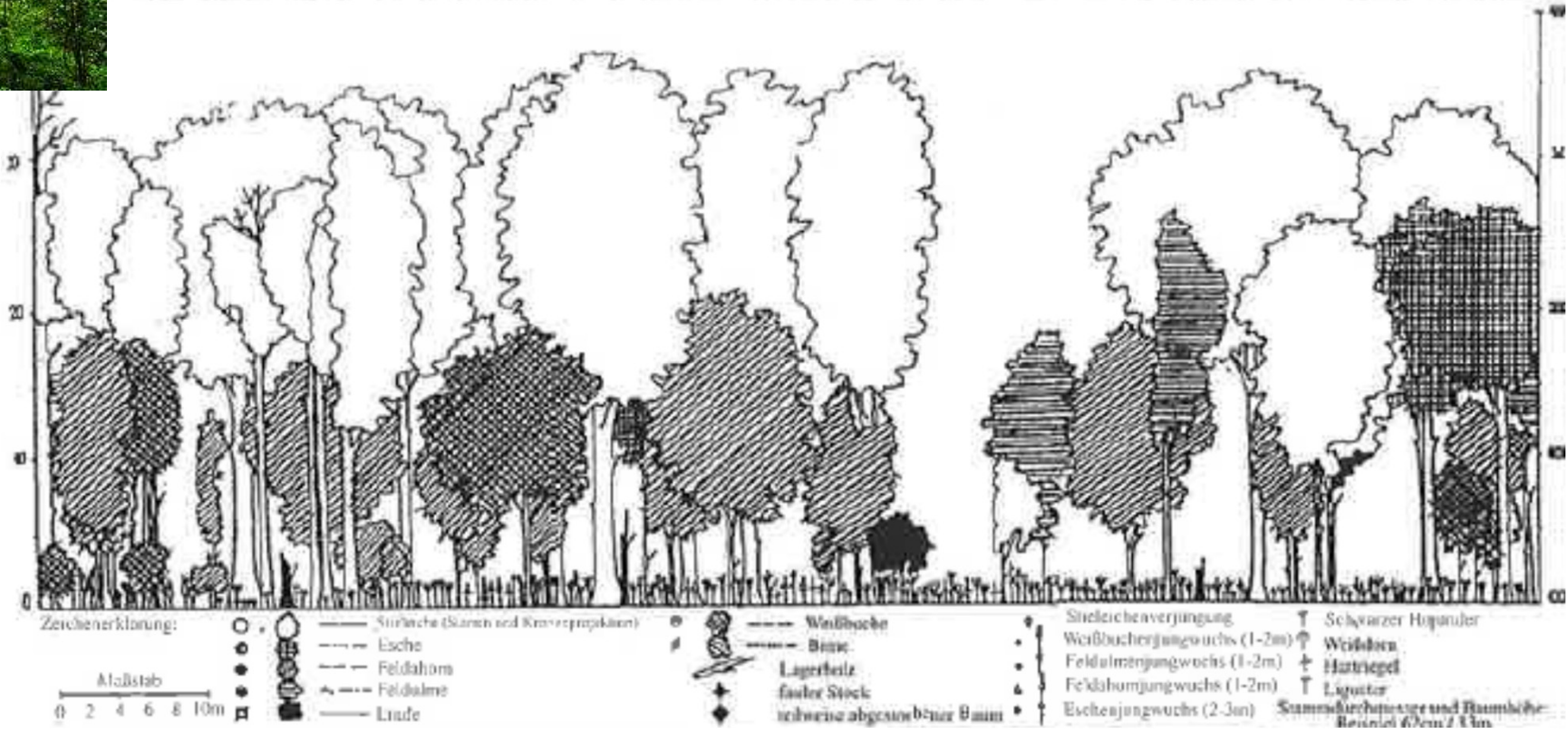


Altersklassenforst



Quelle: Burschel & Huss 1997

Beispiel Auen-Stieleichenwald

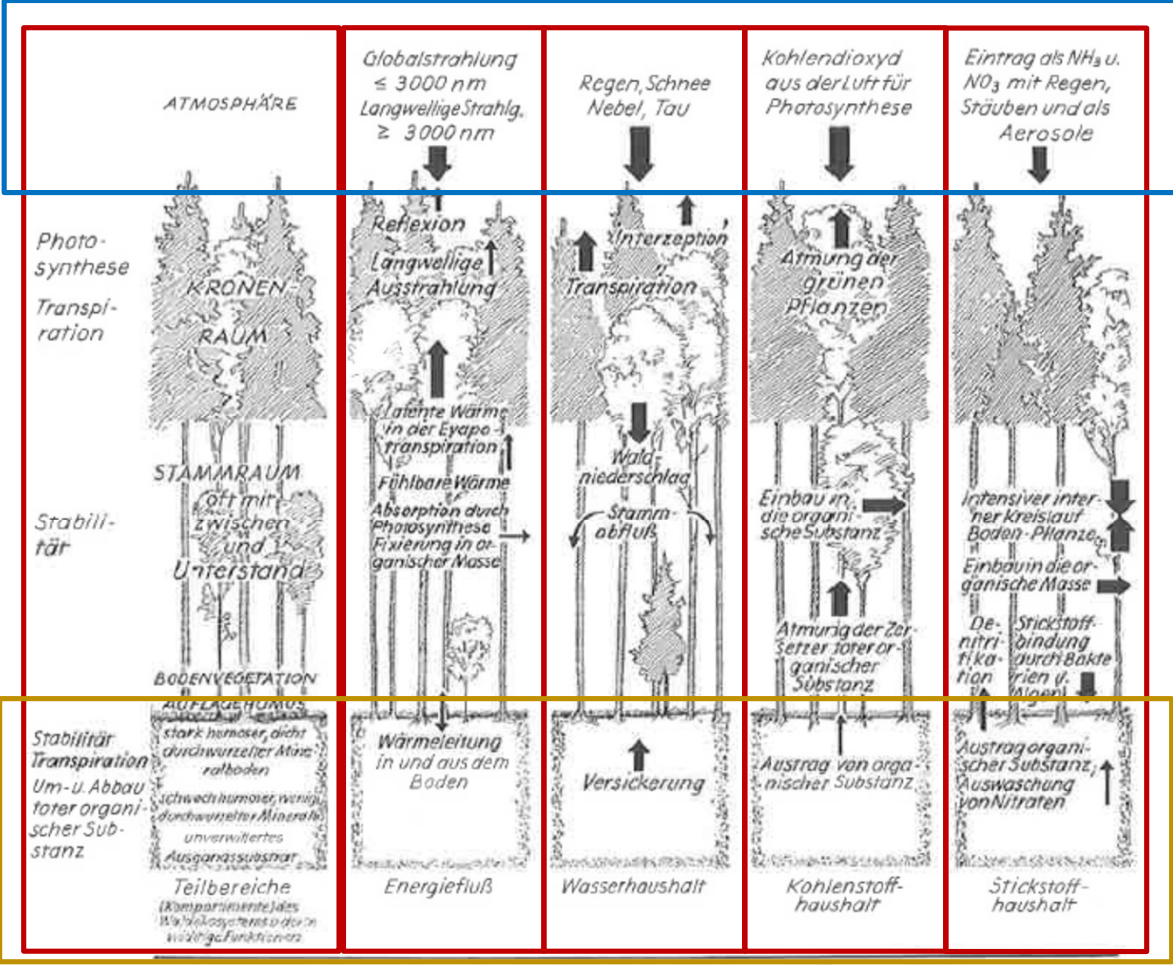


Quelle: Reinger 2006

Wälder als Ökosysteme

- Stockwerksbau, Schichten; Wechselbeziehungen zwischen Schichten (Baumschichten, Strauchschichten, Kraut- und Mooschichten)
- Mikroklima und Strahlungshaushalt (Atmosphäre – Vegetation – Boden)
- Wasserhaushalt (Evaporation, Transpiration, Stammabfluss, Versickerung)
- Kohlenstoffhaushalt: Wald als Kohlenstoffspeicher/-senke
- Stickstoffhaushalt; Wechselbeziehungen zwischen Produzenten, Konsumenten und Destruenten

Darstellung eines Waldökosystems mit Teilsystemen und darin ablaufenden Prozessen



ZEICHENERKLÄRUNG: Eintrag in das System ↓ Austrag ↑ Verbleib →

Quelle: Burschel & Huss 1997

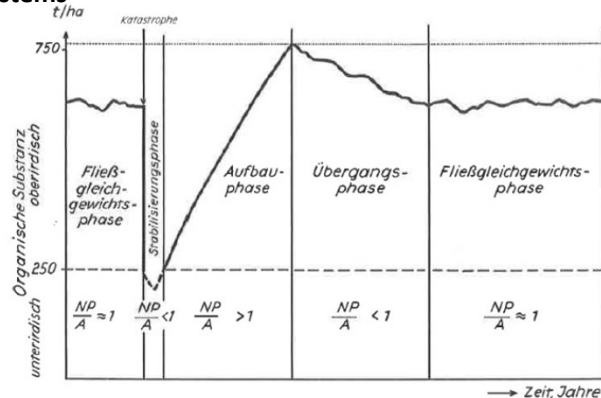
Dynamiken in Waldökosystemen

Waldgesellschaften bilden die potentiell natürliche Endvegetation in weiten Teilen der Erde. Doch stehen auch natürliche Wald-Ökosysteme nicht in einem stabilen Klimax-Zustand, sondern unterliegen Dynamiken.

Gemäß der **Mosaik-Zyklus-Theorie** durchlaufen Waldökosystem Zyklen, in denen Jugend-, Optimal-, Alterungs- und Zerfalls-/Verjüngungsphasen einander abwechseln und in Mosaiken nebeneinander bestehen.

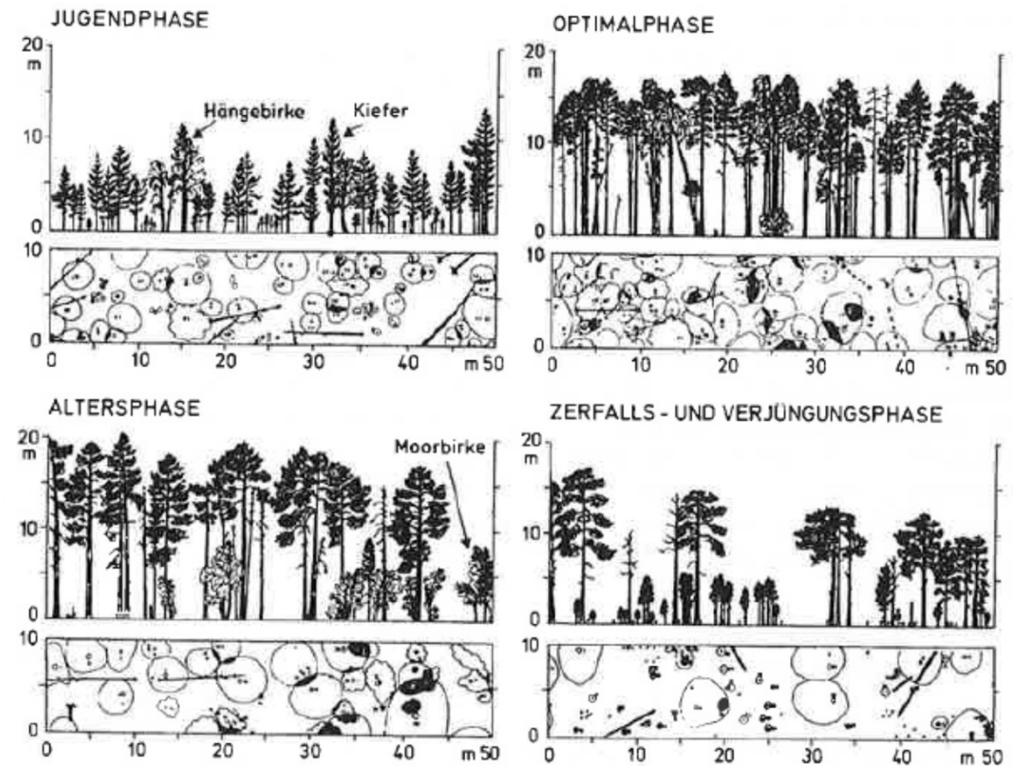
Katastrophen (Sturm, Brand, Schneebruch, Schädlingskalamitäten) bilden Ausgangspunkte für die Verjüngung von Beständen.

Entwicklungsphasen eines natürlichen Waldökosystems



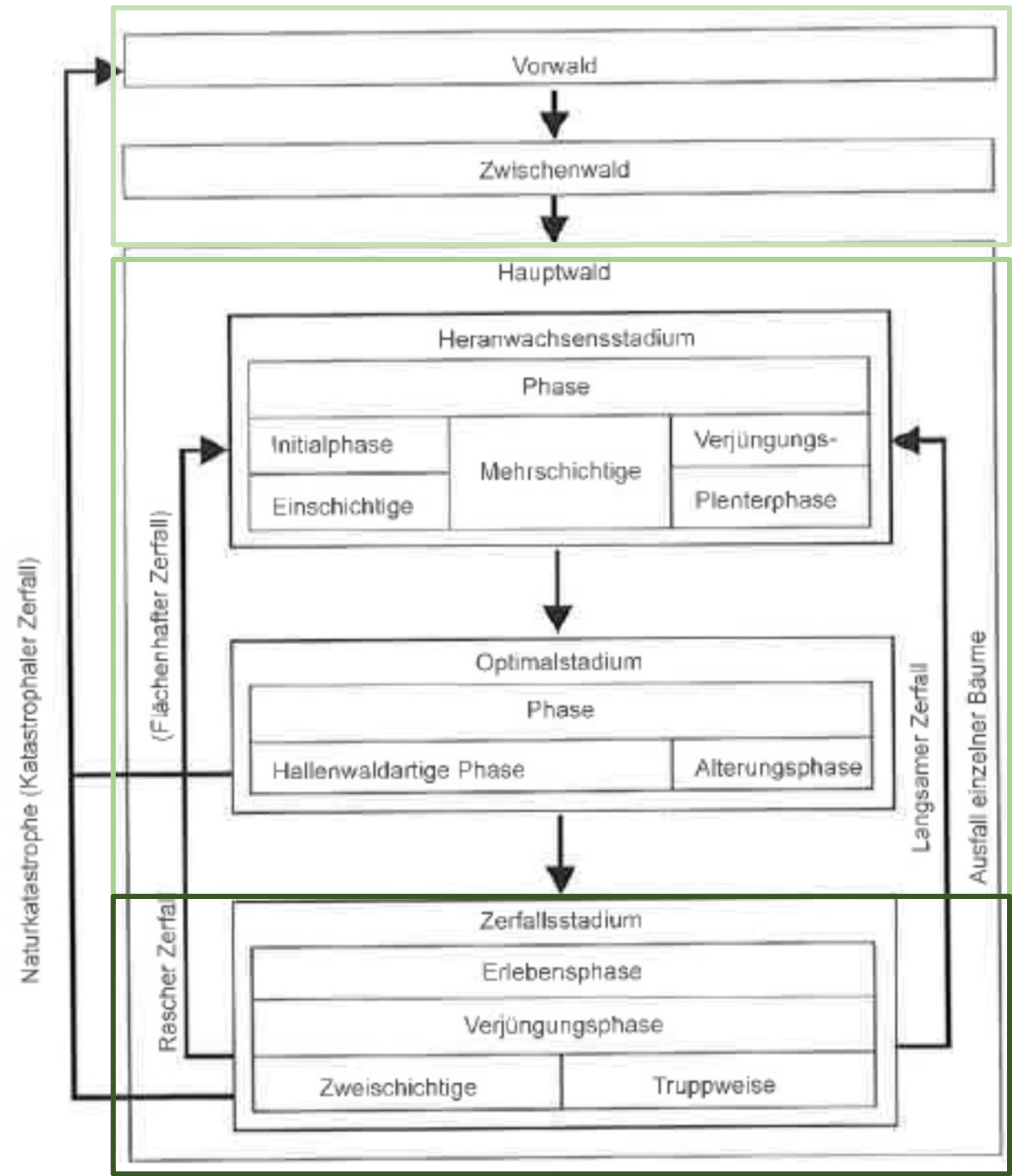
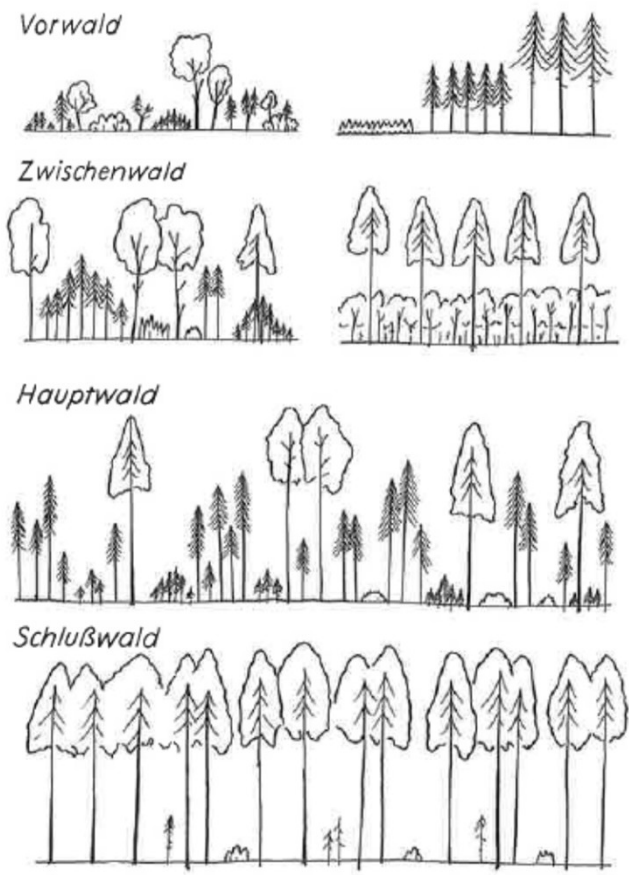
Quelle: Burschel & Huss 1997

Entwicklungsphasen eines Kiefern-Urwaldes auf Sandboden in Schweden



Quelle: Ellenberg & Leuschner 2010, nach Huse 1965

Dynamiken in Waldökosystemen



Quelle: Burschel & Huss 1997

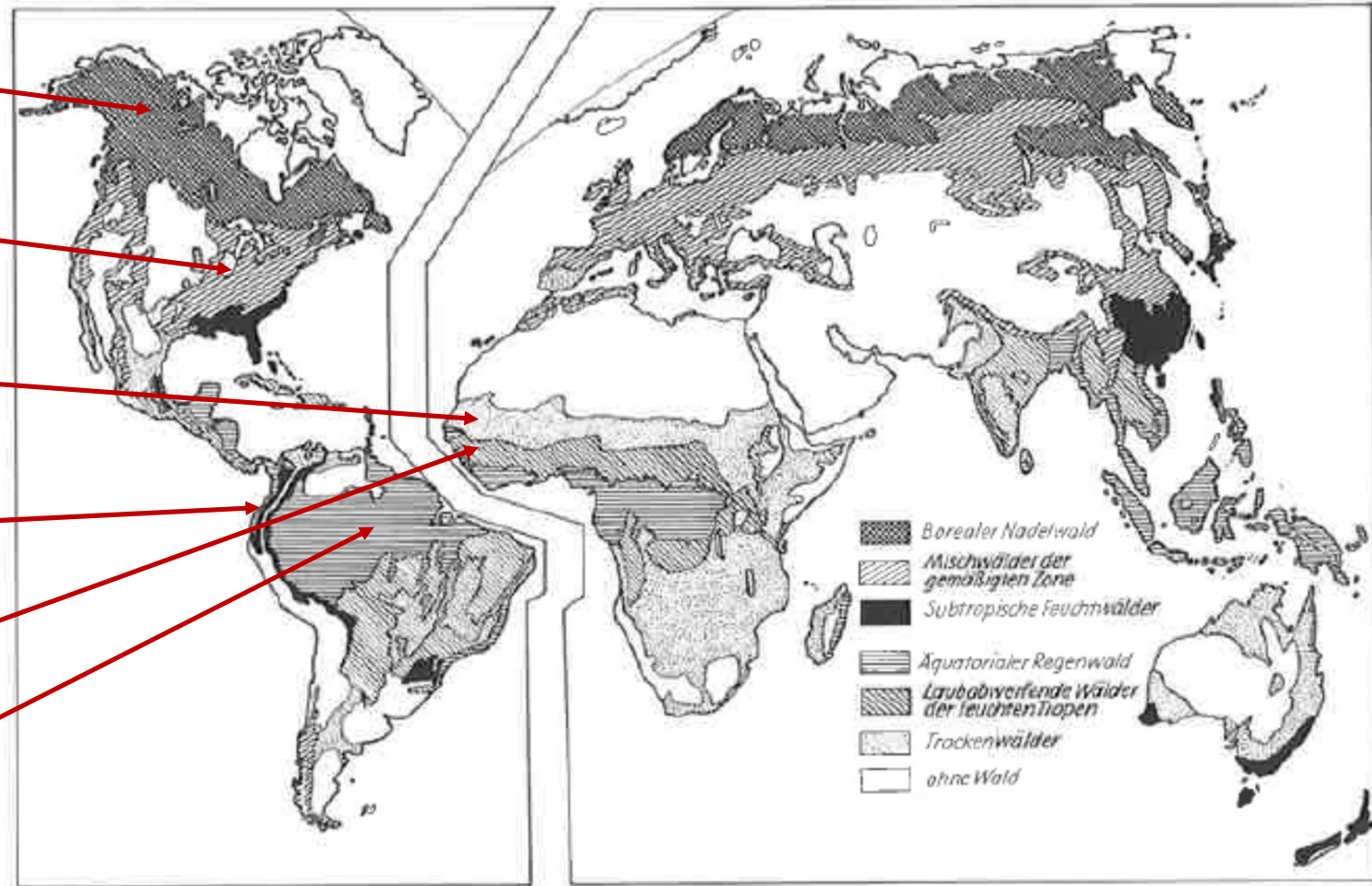
Schema zur Entwicklung zentraleuropäischer Urwälder

Quelle: Korpel 1995

Waldökosysteme der Erde

Stark vereinfachte Darstellung der wichtigsten Waldtypen der Erde und deren Verteilung

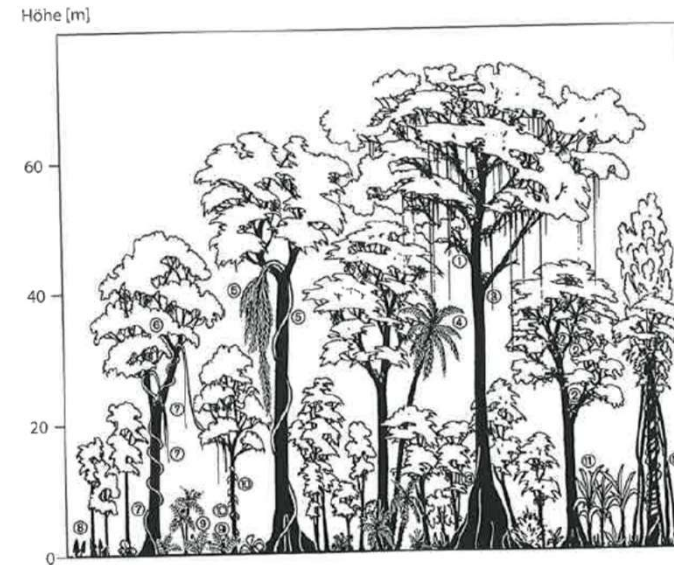
- **Boreale Nadelwälder** (immer- und sommergrüne, inkl. Gebirgsnadelwälder)
- **Mischwälder der gemäßigten Zone** (Sommergrüne Laubwälder, Hartlaubwälder der Winterregengebiete)
- **Trockenwälder** (regengrüne Monsoonwälder, Übergänge zu Savannen)
- **Subtropische Feuchtwälder** (Lorbeerwälder, Temperate Regenwälder)
- **Laubabwerfende Wälder der feuchten Tropen** (halbimmergrüne Regenwälder)
- **Immergrüne äquatoriale Regenwälder** (inkl. Tropische Bergregenwälder und Mangroven)



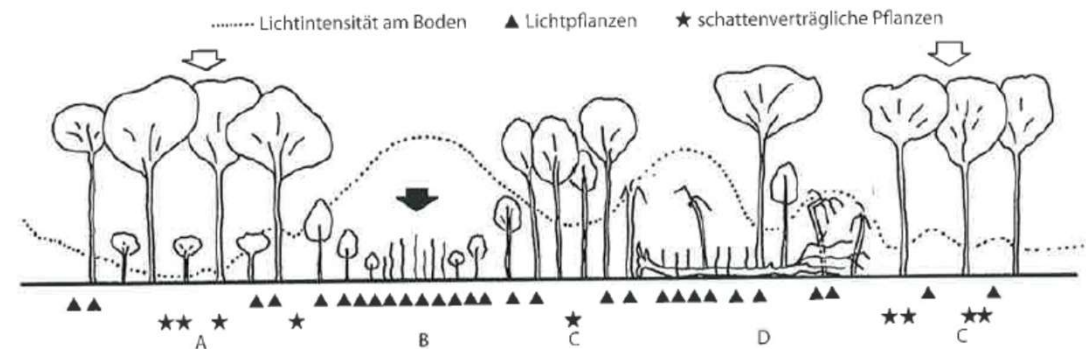
Quelle: Burschel & Huss 1997

Tropische Tieflandregenwälder, tropische Bergwälder und Mangroven

- In allen drei Landgebieten zwischen den Wendekreisen, die Hälfte davon in Mittel- und Südamerika (Amazonas, Orinoco)
- Zentren mit der höchsten Gefäßpflanzen-Diversität >5.000/10.000 km²) mit mehr als der Hälfte aller weltweit vorkommenden Pflanzen- und Tierarten auf potenziell nur 7% des Festlandes
- Gleichbleibend hohe Temperaturen und absolute Frostfreiheit, jeder Monat >100mm Niederschlag
- Hohe NPP: 22t/ha/J, Phytomasse 450-800t/ha, rasche Umsetzung
- Mehrere Kronenstockwerke; Reichtum an Epiphyten (z.B. *Lycopodium*- und *Selaginella*-Arten), Lianen, Baumwürgern, Riesenstauden; Nebeneinander von Altersklassen und Entwicklungsstufen > Vielfalt an Lebensräumen und Nischen
- Brett- und Stelzwurzeln, Kauliflorie (Stammblütigkeit)
- Reduktion durch Wanderfeldbau (Shifting cultivation), Brandrodung, Anlage von Weideland, Tee-, Kakao- und Ölpalmenplantagen, Holzeinschlag

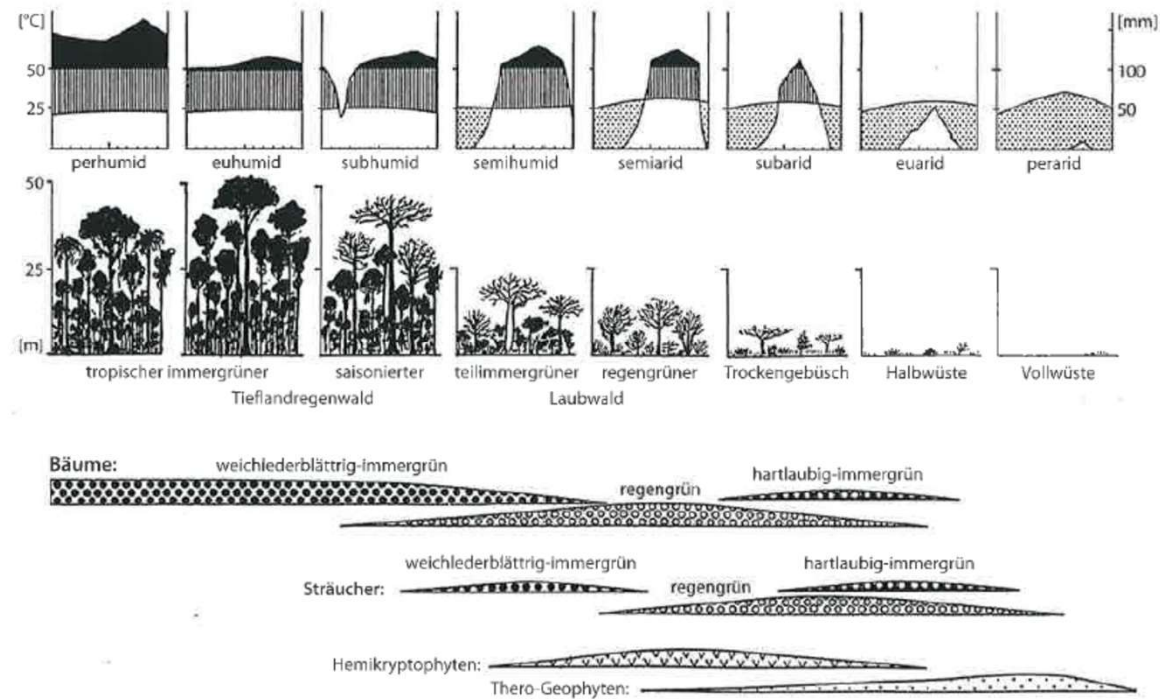


Profil durch einen tropischen Tiefland-Regenwald mit drei Kronenschichten (oben); Waldentwicklungsphasen in einem Tiefland-Regenwald (unten) (aus: Pfadenhauer & Klötzli 2014)



Halbimmergrüne Regenwälder und regengrüne tropische Monsunwälder

- Bei Jahresniederschlägen unter 2.000 mm und kurzen Trockenperioden entstehen halbimmergrüne Regenwälder, bei regelmäßigen Trockenzeiten über mehrere Monate bzw. im Monsunklima Ausbildung von Monsun- oder Trockenwäldern
- Bilden zusammen über 40% der tropischen Waldfläche
- Aufgrund von Holzeinschlag (z.B. Teak, *Tectona grandis*) Brandrodung und Beweidung weitgehend verschwunden und hochgradig gefährdet.
- Große Flächen des Monsunwaldes heute Kulturland, Dornsavanne oder anthropogen bedingte Halbwüsten.



Vegetationsentwicklung entlang eines tropischen Klimagradienten von perhumid zu arid (aus: Pfadenhauer und Klötzli 2014)

Subtropische Lorbeerwälder und mediterrane Hartlaubwälder

- **Lorbeerwälder** kommen in **immerfeuchten** subtropischen Regionen vor, **Hartlaubwälder** in den **winterfeuchten** Gebieten, z.B. des Mittelmeerraumes
- Aufgrund fruchtbarer Böden und günstigen klimatischen Bedingungen frühzeitige Umwandlung in Kulturland (im Mittelmeerraum waren zur Zeit des Imperium Romanum bereits 30-60% der Waldfläche vernichtet bzw. durch Degradationsstadien ersetzt.
- Macchie (ital. Maccia = Gebüsch), dominiert von Stein-Eiche (*Quercus illex*); Gar(r)igue (Garriga = Heide, Kermes-Eichenwald) in Spanien, Phrygana in Griechenland, mit immergrünen Sträuchern und Büschen (*Cistus*, *Rosmarinus*, *Lavendula*, *Thymus*)
- Weitere Degradation zu mediterranen Felsheiden



Garrigue, Macchie und mediterrane Felsheiden als Degradationsstadien von Hartlaubwäldern (aus: Pfadenhauer & Klötzli 2014) 13

Temperate Regenwälder

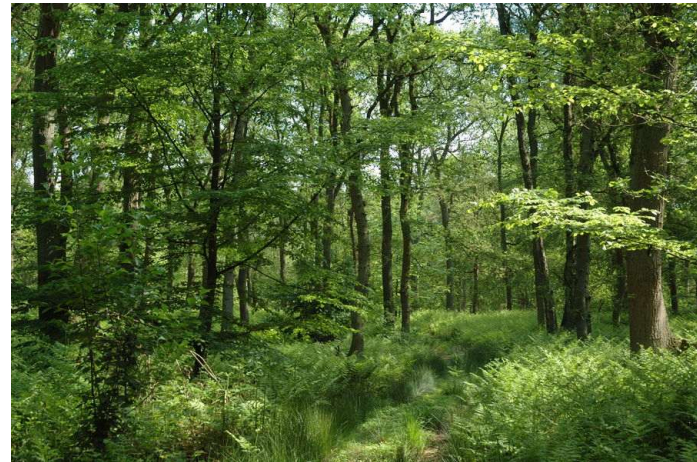
- Vielfältige, gefährdete Ökosysteme, die **Relikte aus dem Tertiär** darstellen und zahlreiche **Paläoendemiten** enthalten.
- In Meeresnähe vor großen Gebirgssystemen an den Westküsten der Kontinente zwischen 32. und 60. Breitengrad (Chile, Neuseeland, Tasmanien; Schwarzes Meer und Kaspimeer); **perhumides Klima mit 2.000-6.400 mm Jahresniederschlag.**
- Hohe Biomasseproduktion, hoher Totholzanteil („**nurse logs**“) bildet Substrat für das Wachstum junger Bäume; dicke Humusschichten, hohe Anteile an Epiphyten, Moosen und Flechten.



Verschiedene Typen temperater Regenwälder (aus: Pfadenhauer & Klötzli 2014)

Sommergrüne nemorale Laubwälder

- Fast ausschließlich auf der Nordhemisphäre (nicht durchgehender, dreigeteilter Laubwaldgürtel der nördlichen Halbkugel)
- Relativ lange Vegetationsperiode ohne ausgeprägte Trockenperioden, mäßig kalte Winter; Laubabwurf als Anpassung an Winterkälte
- In Mitteleuropa „Buchenregion“ mit „Buchenklima“
- Heute durch Jahrtausende langen Einfluss des Menschen in Europa und Ostasien weitgehend verändert oder gänzlich beseitigt. In Nordamerika begann die Vernichtung mit Einwanderung der Europäer, bereits im 19. Jahrhundert waren 80% der Waldfläche gerodet.

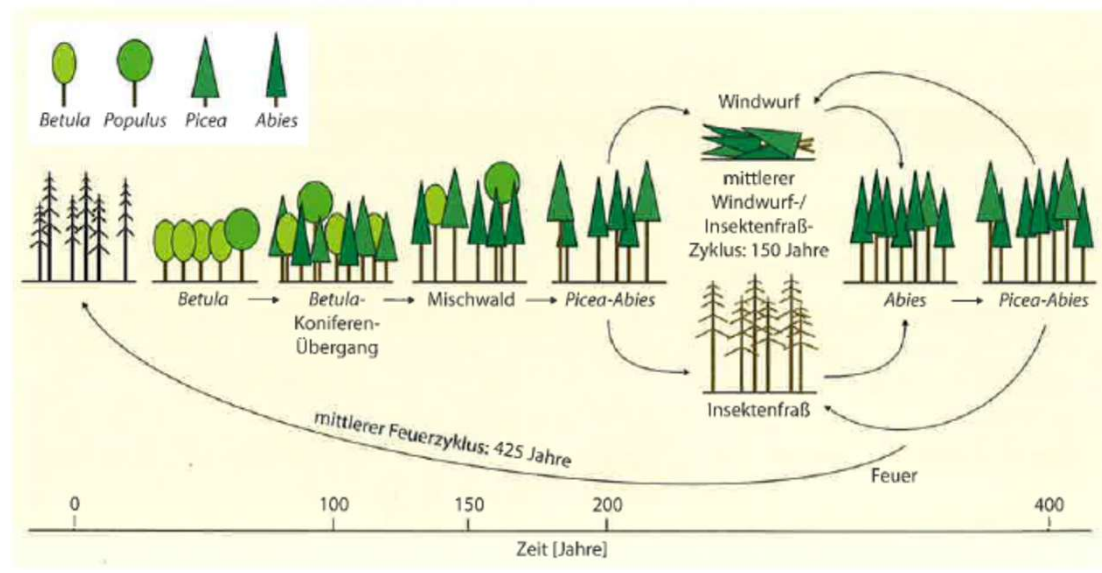


Boreale Nadelwälder

- Ausgedehnte immer- bzw. sommergrüne Nadelwaldgürtel der kalt-gemäßigten Zone der Nordhemisphäre (kalte Jahreszeit >6 Monate)
- Geringe Diversität (200-1.000 Arten/10.000km²); NPP 8t/ha/J, Phytomasse 200t/ha)
- Taiga Sibiriens ist das größte zusammenhängende Waldgebiet der Erde
- Wirtschaftlich hohe Bedeutung (40% des gesamten Papierholzes der Erde wird in den borealen Nadelwäldern Nordamerikas geschlagen!)

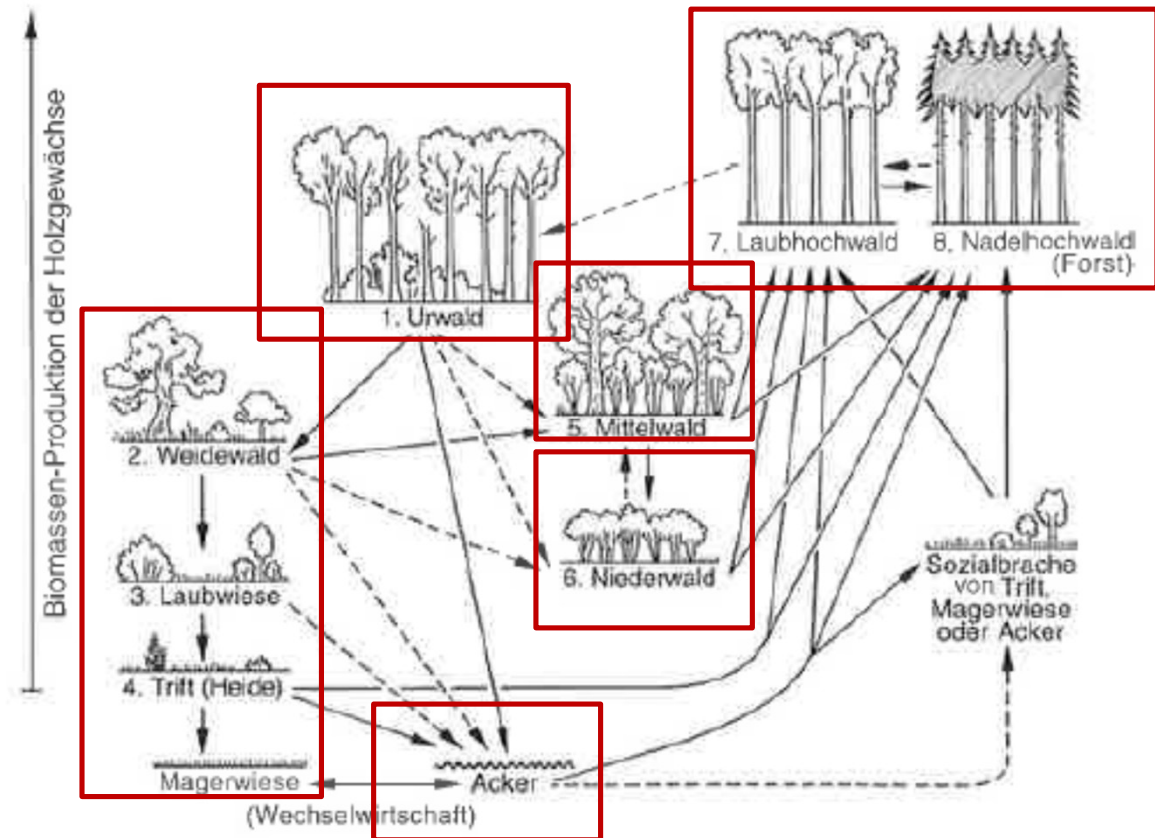


Kiefern-Altbestand mit Totholz (oben);
Entwicklungszyklus eines borealen Nadelwaldes der Dunklen Taiga (unten)
(Quelle: Pfadenhauer & Klötzli 2014)

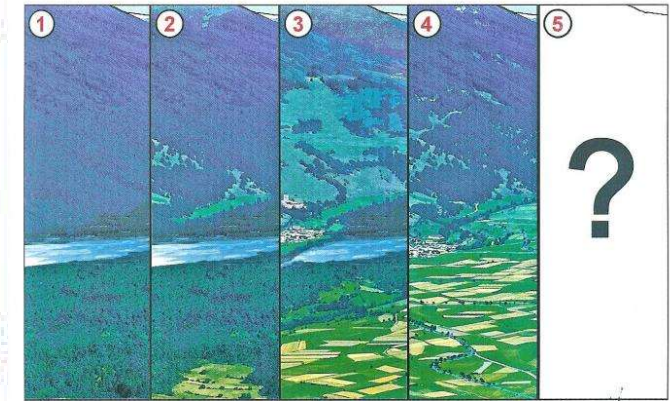
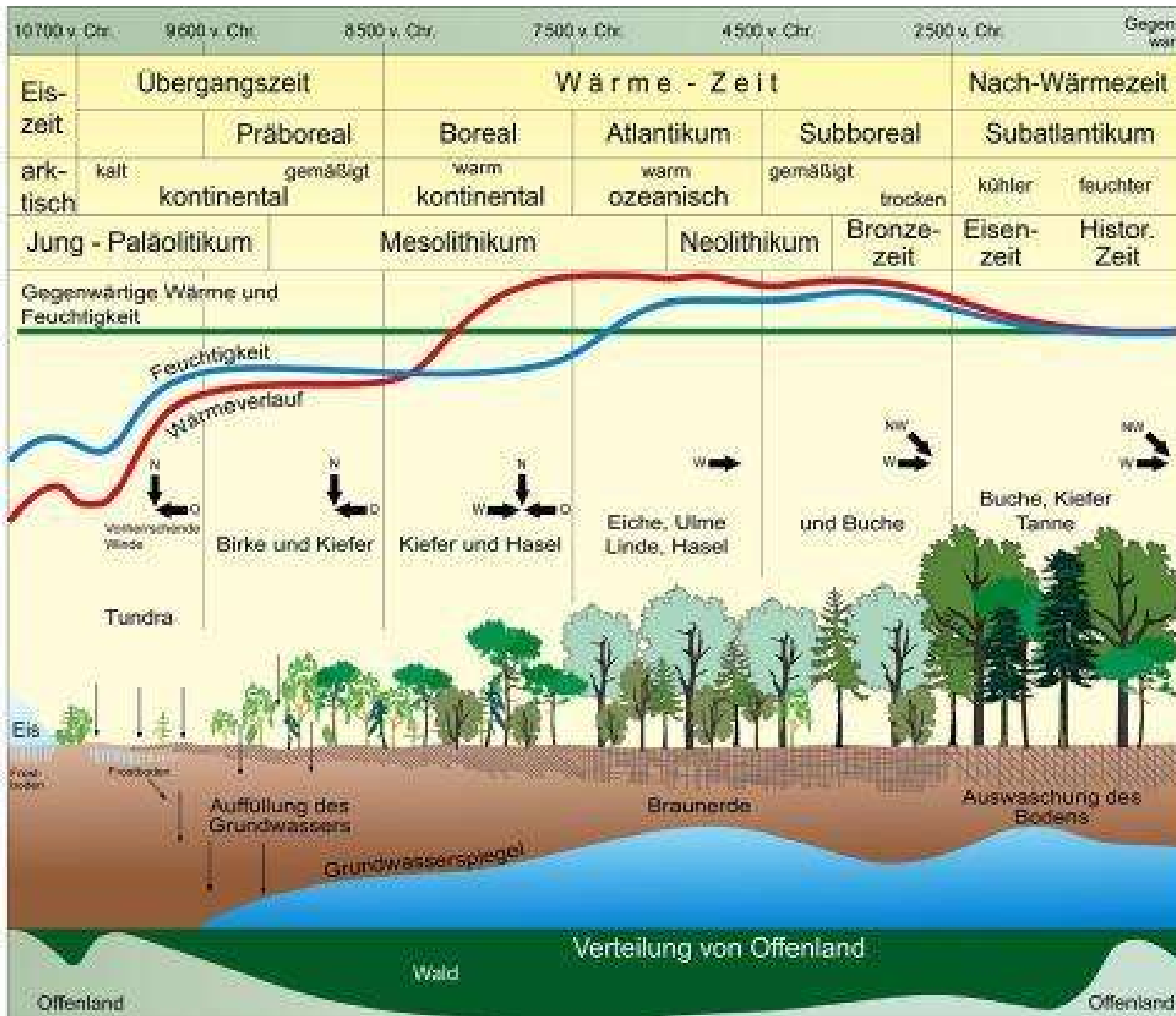


Entwicklung europäischer Waldökosysteme unter dem Einfluss menschlicher Nutzungen

- Aufweitung und Rodung der Wälder
 - Waldweide, Holzeinschlag
 - Umwandlung in Kulturland
 - Entstehung von Weiden, Nährstoffentzug – Triften, Heiden
- Mittelforstwirtschaft
- Niederforstwirtschaft – Stockausschlagbetrieb
- Hochforstbetrieb



Veränderungsstadien eines Kalk-Buchengewaldes durch menschliche Eingriffe (aus: Ellenberg & Leuschner 2010)



- Phase 1 (Eiszeit bis Mitte der Jungsteinzeit)**
- 🌲 Dichte Laub- und Nadelwälder prägen das Bild der Alpen.
 - 👤 Der Mensch streift nur sporadisch als Jäger und Sammler durch die Alpentäler.
- Phase 2 (Bronze- und Eisenzeit)**
- 🌲 Noch immer dominieren Wälder das Landschaftsbild. Erste, künstlich geschaffene Waldlichtungen sind entstanden.
 - 👤 Der Mensch ist im Alpenraum sesshaft: Es entstehen Siedlungen mit kleinflächigen Acker- und Weidflächen auf Hügeln und entlang der Talhänge. Durch Brandrodung werden zudem weitläufige Almweiden angelegt.
- Phase 3 (Römerzeit bis Spätmittelalter)**
- 🌲 Der großflächige Wandel von der Natur- zur Kulturlandschaft tritt ein: Schmale Waldbänder zwischen den Almen und den Talwiesen, sowie ausgedehnte Auwälder im Tal bilden die Reste der ehemaligen Waldlandschaft.
 - 👤 Der Alpenraum ist nun wichtiger Siedlungs- und Wirtschaftsraum. Das starke Bevölkerungswachstum bringt eine Besiedelung aller Seitentäler und Hochlagen, sowie eine beginnende Entwässerung der Talauen mit sich.
- Phase 4 (Neuzeit bis heute)**
- 🌲 Die land- und forstwirtschaftlichen Gunstlagen entwickeln sich zu Monokulturen. Die Landschaft verarmt dort zunehmend. Im Gegenzug dazu werden steile, unwirtschaftliche Flächen vermehrt aufgelassen. Eine Wiederbewaldung tritt ein.
 - 👤 Der wirtschaftliche Wandel führt generell zu einer Verarmung und Abwanderung der ländlichen Bevölkerung. Gleichzeitig führen neue technische Errungenschaften zu einer Kultivierung und Intensivierung der Talflächen. In jüngerer Zeit entstehen zudem neue Nutzungsformen (z.B. Tourismus, Energiegewinnung).
- Phase 5 (Zukunft)**

Entwicklung europäischer Waldökosysteme unter dem Einfluss menschlicher Nutzungen

Hainbuchen-Niederforst
(Küster 1995)

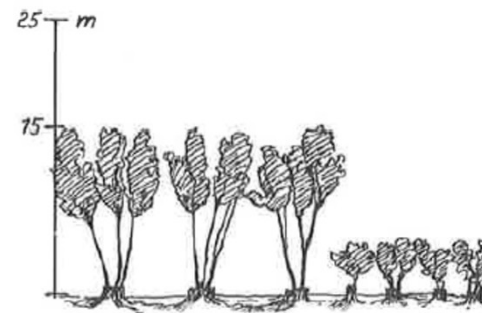


Niederforstwirtschaft

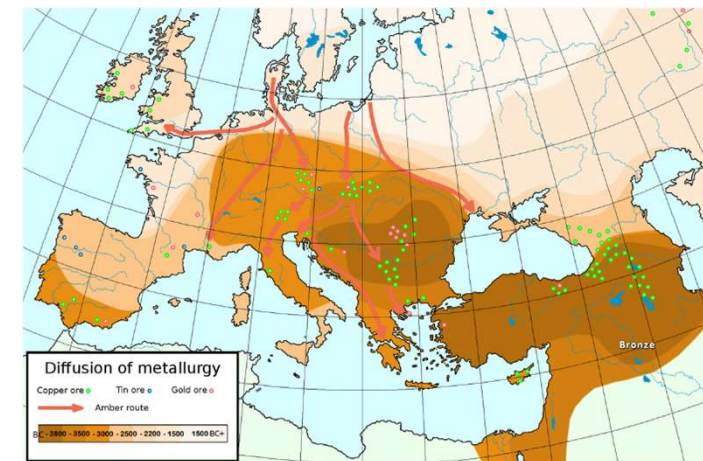
- Niederforst = Stockausschlagforst
- Im Umtrieb von 15-25 Jahren Stocksetzung für Brenn- und Werkholz
- Seit der Steinzeit, flächige Ausbreitung in der Bronze- und Eisenzeit (Metallerzeugung, Holzkohle zur Versorgung von Glas- und Erzhöfen)
- Förderung von ausschlagkräftigen Arten: Hain-Buche, Linde, Ahorn, Esche, Erlen, Hasel und Weiden
- Zurückdrängen von Rot-Buche, Eichen, Ulmen, Birken und Nadelhölzern
- Auswirkungen: Nährstoffentzug aus den Ökosystemen: Ca, K, Mg aus Biomasse und Boden; Bodenversauerung (Ausbreitung von säurezeigenden Bodenpflanzen: Borstgras, Draht-Schmiele, Heidekraut...)



Schwarzerlen-Bruchwald (Vahle 2007)



Quelle: Burschel & Huss 1997



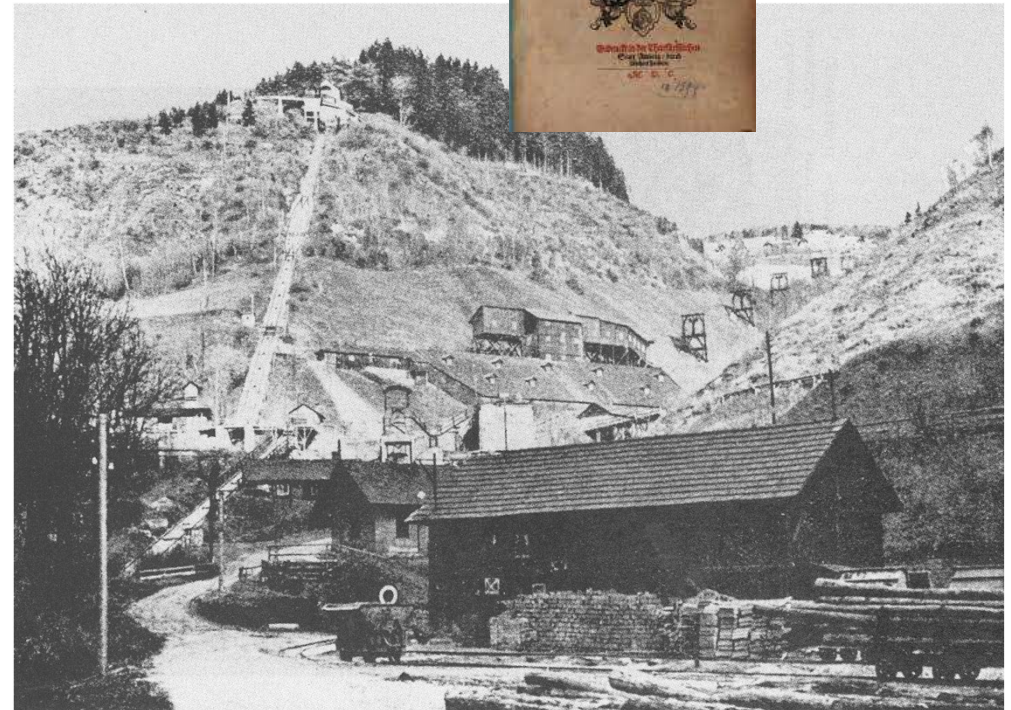
Entwicklung europäischer Waldökosysteme unter dem Einfluss menschlicher Nutzungen

Holz als Rohstoff gewerblicher und industrieller Nutzungen:

- Grubenholz und Holzkohle für Bergbau, Verhüttung und –verarbeitung von Metallen
- Bauholz für Salzbergbau und Brennholz für Salinen
- Pottasche und Brennholz zur Glaserzeugung
- Brenn- und Bauholz für Siedlungen und Städte

Holzverbrauch, zunehmende Entwaldung und Energiekrise vom 15. zum 18. Jahrhundert

- Erstellung von Waldordnungen, die Holz- und andere Waldnutzungen (Streu, Weide) reglementieren.

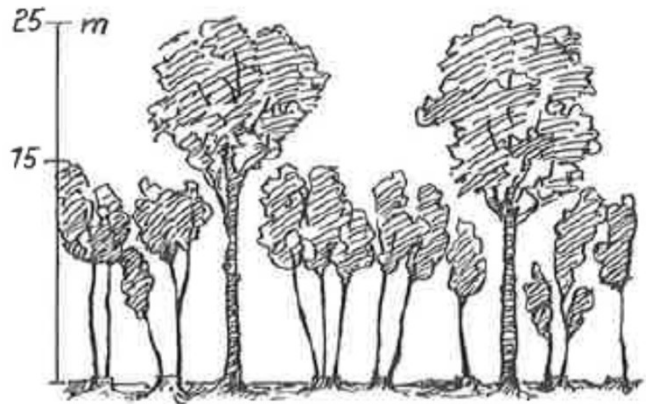


Entwaldungen im Zuge bergbaulicher Nutzungen
(Quelle: Bildarchiv der Ö.A.M.G. Hüttenberg)

Entwicklung europäischer Waldökosysteme unter dem Einfluss menschlicher Nutzungen

Mittelforstwirtschaft

- In Niederforsten durch Belassen von sog. „Überhältern“, v.a. aus Eichen
- Herstellung von Bauholz, Fachwerk
- Eicheln zur Schweinemast



Quelle: Burschel & Huss 1997

Entwicklung europäischer Waldökosysteme unter dem Einfluss menschlicher Nutzungen

Nachhaltigkeitsidee und Entstehung der modernen Forstwirtschaft

- Seit dem 17. Jahrhundert Überlegungen zu einer planmäßigen, vorsorgeorientierten Nutzung der Holzreserven (Hans Carl von Carlowitz 1645-1714)
- Forstgesetze des 19. Jahrhunderts: Aufforstungsverpflichtung, Bestandsumwandlung

Bsp: Reichs-Forstgesetz 1852

- Grundsatz der Walderhaltung („Was Wald ist, muss Wald bleiben“)
- Wieder-Aufforstungspflicht (nach längstens 5 Jahren)
- Prinzipielles Rodungsverbot
- Planmäßige Forstwirtschaft unter staatlicher Aufsicht und durch ausgebildete und befähigte Wirtschaftsführer

Die Wälder sollten nicht nur wie bisher der Holzversorgung dienen, sondern auch Ziele der Klimaverbesserung, dem Schutz vor Katastrophen und Naturgewalten dienen („**Funktionalkonzept**“: **Nutz-, Schutz-, Wohlfahrts- und Erholungsfunktion**). Mannigfaltige Folgen hatte das Reichs-Forstgesetz für die bäuerlichen Waldnutzungen in Servitutswäldern



Quelle: Mandl 1993

Entwicklung europäischer Waldökosysteme unter dem Einfluss menschlicher Nutzungen

Hochforst und Altersklassenwirtschaft

- Umtriebszeiten 80-100 Jahre
- Aufforstung durch Pflanzung
- Häufig Monokulturen aus Fichte oder Kiefer, aber auch Rot-Buche und Eiche.

Probleme bei Nadelholz-Monokulturen (besonders auf natürlichen Laubwaldstandorten)

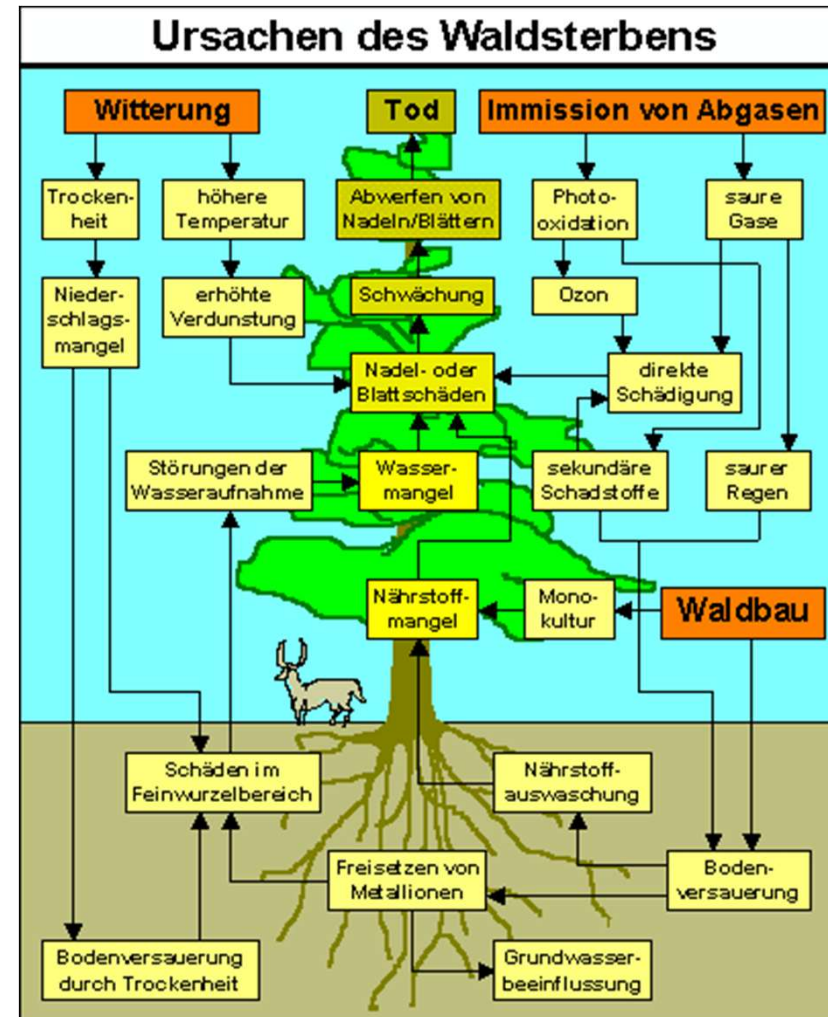
- Erhöhte Sturmwurf- und Brandgefahr
- Erhöhte Gefahr von Schädlingsbefall (z.B. Pilze)
- Unter Fichten verstärkte Austrocknung des Oberbodens (aufgrund von Flachwurzeln und erhöhter Interzeption)
- Absenkung des pH, Rückgang der Basensättigung; Steigerung der Al-, Schwermetall- und Gerbstoffgehalte des Bodens, Versauerung, Absinken der Ca-, Mg- und P-Konzentration im Boden (Verlust von Kationen)
- Geschwächter Humusabbau und Bioturbation, Bildung von saurem Auflagehumus und Degradation des Oberbodens
- Auf durchlässigen Böden Podsolierung
- Bei Kahlschlag/Freistellung starke Stickstoffmineralisation, Humusabbau und verstärkter Oberflächenabfluss.



Neuere Belastungen in Forst- und Waldökosystemen: „Waldsterben“

Emissionen und saurer Regen

- Seit der industriellen Revolution weltweit rd. 100.000 Chemikalien in Gebrauch, >600 Pestizide
- Versauerung durch Schwefelverbindungen, Ozon: in den letzten Dekaden Abnahme des Boden-pH um 0,5-1 Einheiten; Zugleich Verlust von basischen Kationen
- Eutrophierung durch eingebrachte Stickstoffverbindungen
- Schwermetalleinträge
- NaCl, F



Komplex an Einflüssen, die das sog. „Waldsterben“ verursachen

Neuere Belastungen in Forst- und Waldökosystemen

- **SO₂**: entsteht beim Verbrennen schwefelhaltiger Substanzen (Holz, Kohle, Torf, Erdöl)
 - „Versauerung des Regens“: $\text{SO}_2 > \text{H}_2\text{SO}_3 > \text{H}_2\text{SO}_4$
 - $\text{SO}_3^{2-} + \text{H}_2\text{SO}_3^-$ (**Sulfit-Anion**): **Zellgift!** – Radikal-Kettenreaktionen führen zu Membranschäden und Hemmung der Photosynthese
 - **Auswaschungsverluste basischer Kationen** (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+ , Zn^{2+}), Ersatz durch Al^{3+} , H^+ , Fe^{2+} , Fe^{3+} , Mn^{2+} , die im sauren pH puffern > weiterer Austrag basischer Kationen.
 - **Mg-Mangel** entsteht, v.a. wenn basische Kationen fehlen (basenarme Böden); **Ionen-Antagonismus**: Al^{3+} , Mn^{2+} , NH_4^+ können die Mg-Aufnahme hemmen.



Neuere Belastungen in Forst- und Waldökosystemen

• Symptome:

- Nekrosen an Nadeln und Blättern
- Kümmerern und Absterben von Einzelbäumen
- Verschwinden epiphytischer Flechten
- Al-Anstieg (unter pH 4,2) führt zu Wurzelschädigungen
- Nadelbäume sind empfindlicher als Laubbäume; Tanne stärker als Fichte („Tannensterben“ in den 1980er Jahren), allerdings ist die Tanne als Tiefwurzler relativ regenerationsfähig!



Neuere Belastungen in Forst- und Waldökosystemen

• Ozon (O_3)

- Troposphärische Entstehung durch Autoabgase (v.a. NO_2)
- Starkes Oxidationsmittel, für Pflanzen und Tiere toxisch
- Belastung im Sommer höher als im Winter, im Hochgebirge mehr als in der Ebene

Wirkungen:

- Schäden an Membranen und Enzymen
- Abbau von Chlorophyll, Senkung der Photosyntheseleistung

Symptome:

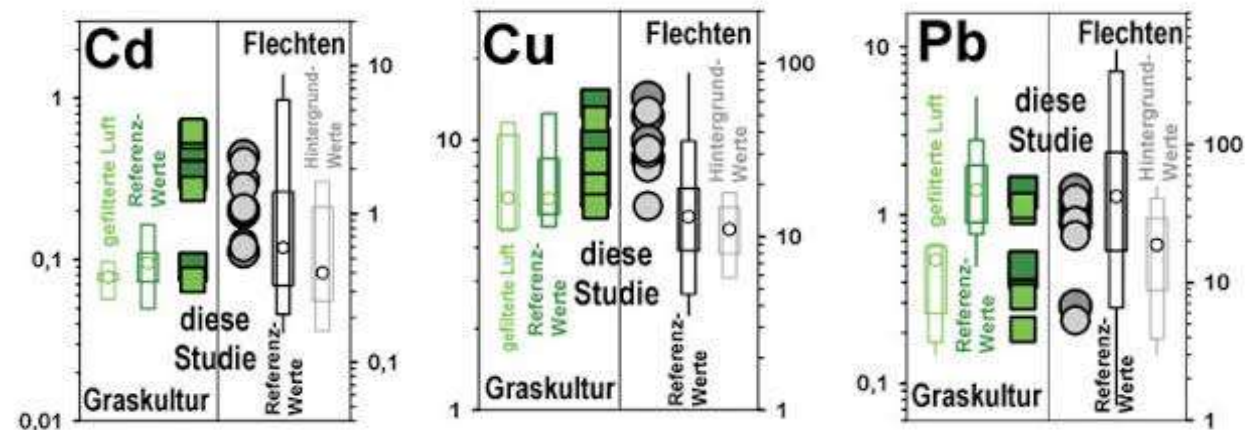
- Punktförmige Blattnekrosen
- Schädigungen der Kutikula, Eintrittspforten für Schadstoffe, Pilze, Schadinsekten
- Besonders empfindlich sind Lärche, Vogelbeere, Buche



Neuere Belastungen in Forst- und Waldökosystemen

• Schwermetalle

- Pb, Cu, Cd, Zn, Ni, Cr, Co
- Quellen: Abgase (z.B. bis in die 1980er Jahre aus verbleitem Benzin); Cu aus Cu-Sulfat als Fungizid z.B. im Weinbau
- Anreicherung in Ökosystemen; besonders empfindlich sind Großpilze sowie Moose und Flechten
- Reaktionen mit Enzymen führen zu Fehlsteuerungen und Wachstumshemmung, z.B. in Wurzeln



https://www.bast.de/BASt_2017/DE/Verkehrstechnik/Publikationen/Veranstaltungen/V3-Luftqualitaet-2008/luftqualit%C3%A4t-poster-nuerungen.pdf?__blob=publicationFile&v=1

Neuere Belastungen in Forst- und Waldökosystemen

- **Stickstoff** ($\text{NH}_3 + \text{NO}_x$): 10-100kg/ha/a in Mitteleuropa, mit Spitzenwerten bis 200kg/ha/a

- **Quellen:**

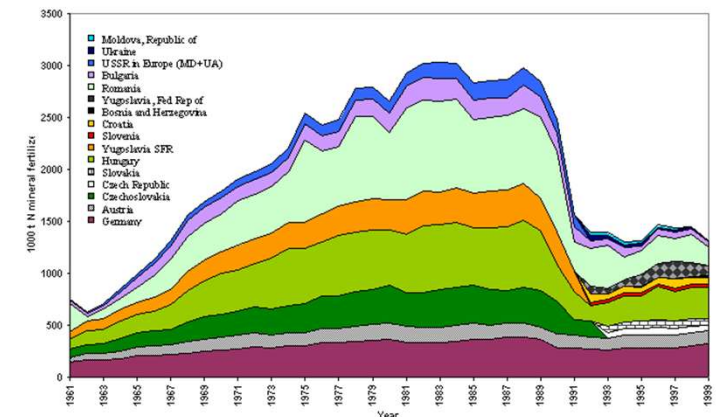
Landwirtschaftliche Düngung, NH_3 aus Tierhaltung, Stickoxide aus Verbrennungsprozessen

- **Auswirkungen:**

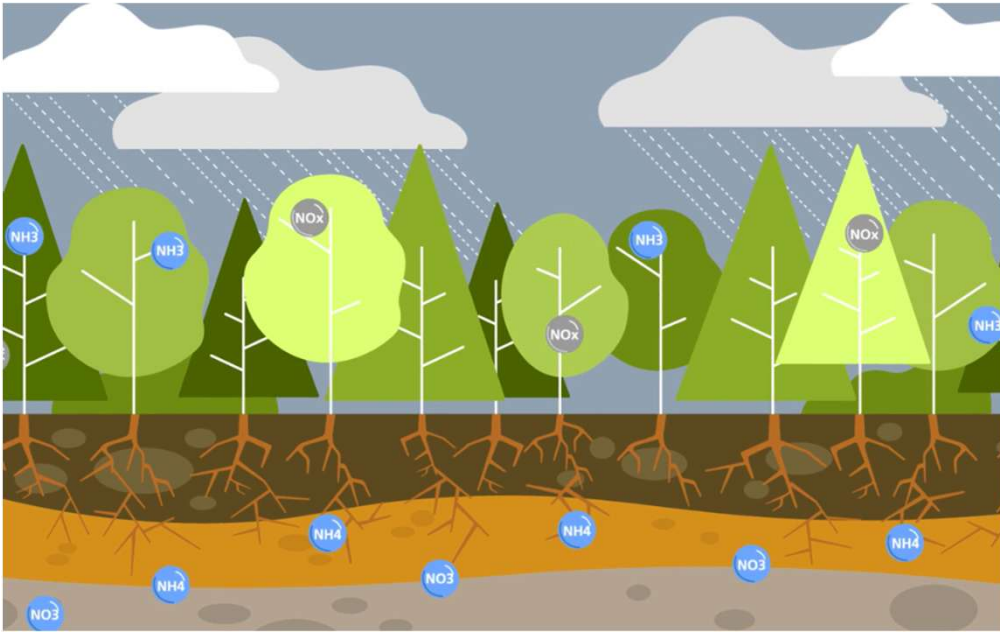
- Schädigung der Nadeln (z.B. NH_3 bei Kiefern)
- Schwächung der Kationenaufnahme der Wurzeln (flachere Wurzel, weniger Feinwurzeln) und der Mykorrhiza
- Mehr Blattmasse, dünnere Blätter und erhöhte Assimilation durch erhöhte N-Verfügbarkeit – **erhöhte Trocken-, Frost- und Pathogenempfindlichkeit** (Pilze)
- Mehr N-Aufnahme = mehr Wachstum = erhöhter Entzug von P, Ca, Mg, K aus den Böden: **Versauerung der Böden**
- Bei N-Sättigung Nitrataustrag aus Böden in das Grundwasser



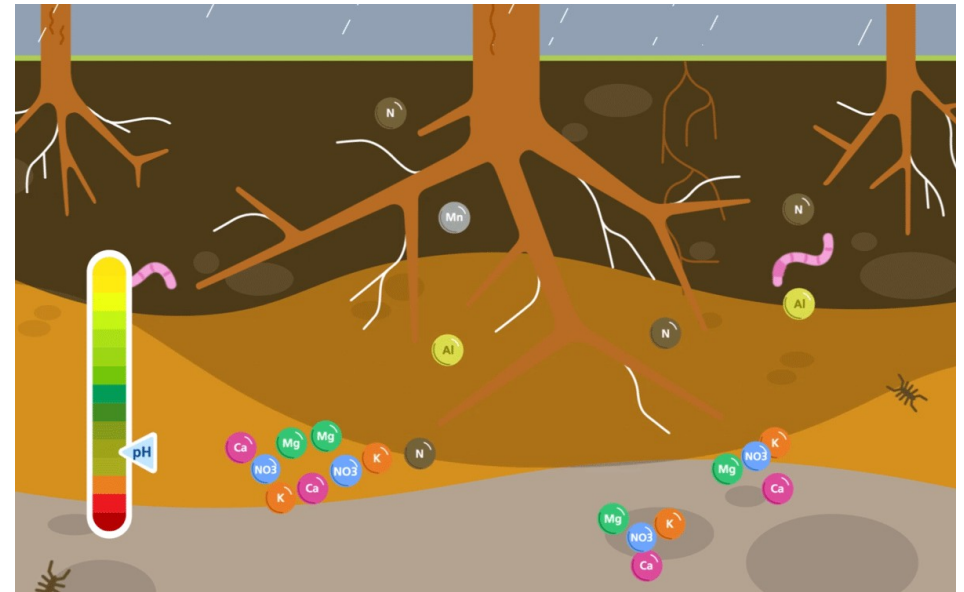
© IAP Simon Tresch



Stickstoffeinträge aus landwirtschaftlicher Düngung
(Quelle: TUWien.ac.at)



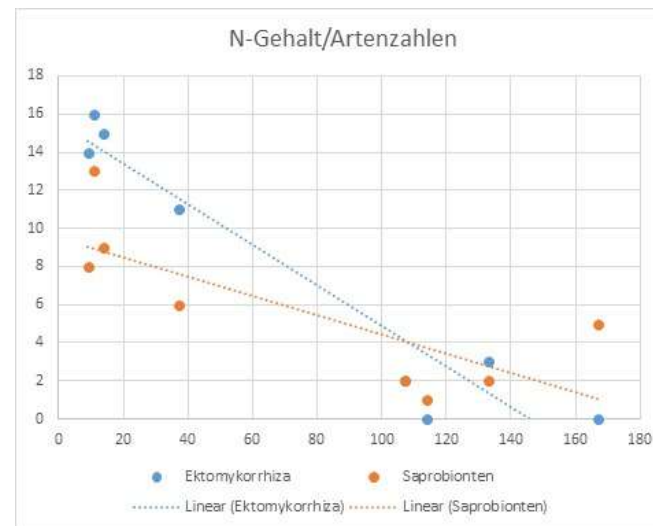
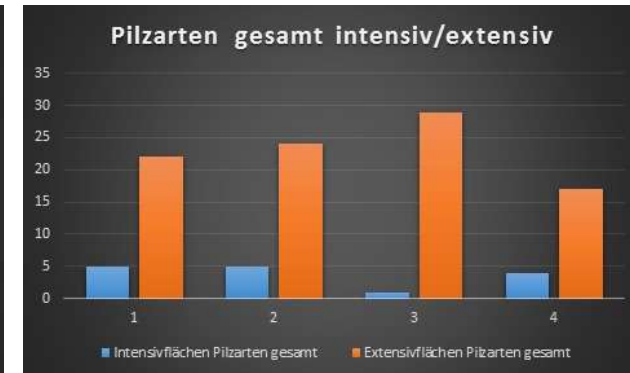
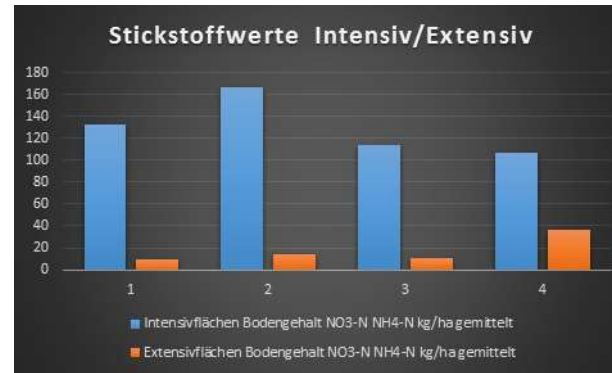
<https://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/wald/dossiers/stickstoff-wald.html>



Neuere Belastungen in Forst- und Waldökosystemen

• Stickstoff und Mykorrhiza

- Buche bildet Symbiosen mit mindestens 100 verschiedenen Pilzarten
- Viele Großpilze reagieren empfindlich auf Stickstoffeintrag: durch Eutrophierung wird zunächst Fruchtkörperbildung behindert, aber auch die Bildung und Ausbreitung von Hyphen
- Auffälliger Rückgang von Ektomykorrhiza seit den 1960er Jahren
- Eindeutige **Korrelationen** z.B. **zwischen Nitratkonzentration im Boden und Mykorrhizabesatz** z.B. bei Kiefernensämlingen



LÜDERITZ M (2015) Wirkung von Stickstoffeinträgen auf terrestrische Ökosysteme am Beispiel der Pilze.

<https://www.dgfm-ev.de/naturschutz-und-kartierung/rote-liste/pilze-und-guelleduengung?reattachment=ff547c682c4e1cf835a2991a5be1592b>

Aktuelle Belastungen in Forst- und Waldökosystemen

Wildschäden

- Zunahme der Wildbestände in Mitteleuropa während der letzten 100 Jahre: z.B. Reh- und Rotwild auf das 3x; Schwarzwild auf das 40x
- Fraßdruck durch Schalenwild: v.a. Eichen, Weiden, Hain-Buchen, Tannen, Ebereschen, Eschen, Espen
- Weniger betroffen sind Birke, Kiefer, Feld-Ahorn, Rot-Buche, Fichte, die dadurch Konkurrenzvorteile erfahren



Belastungen in Auwaldökosystemen

- Auwaldökosysteme sorgen für den Rückhalt und die Speicherung von Wasser in der Landschaft:
 - Abdämpfen des Wasserabflusses bei Hochwasserereignissen
 - Erhalt von (Grund-)wasservorräten für Trockenperioden
 - Ausgleich von regionalen Klimaextremen
- Ersatz von vielen Auwäldern durch Feuchtwiesen erfolgte bereits frühzeitig.
 - Im 20. Jahrhundert, v.a. nach 1950: Umwandlung in Ackerland (z.B. Mais): Erosion
 - Grundwasserabsenkung
 - N-Ein- und Austrag im Zuge der Bewirtschaftung



Klimaveränderungen und deren Wirkungen auf Forst- und Waldökosysteme

- 40% der CO₂-Emissionen der letzten 200 Jahre, die zum atmosphärischen Anstieg beitragen, sind auf Veränderungen in der Vegetation – v.a. Waldrodungen – zurückzuführen
- Unmittelbare Wirkungen von Klimaänderungen sind
 - Veränderung der Phänologie (Verlängerung der Vegetationsperiode von 5-9 Tagen in den letzten 50 Jahren)
 - Zunahme der Sturmschäden
 - Ansteigen der Höhenstufen der Vegetation
- Bei Fichtenkulturen in tieferen Lagen (<700m) führt die Klimaveränderung zu vermehrtem Trockenstress und erhöhter Anfälligkeit gegenüber Schädlingen (Borkenkäfer)



Buchdrucker oder
Großer Achtzähliger Fichtenborkenkäfer (*Ips typographus*)

Forst- und Waldökosysteme und das Konzept der Resilienz

- Forstökosysteme sind besonders anfällig gegenüber den Auswirkungen klimatischer Veränderungen
- Ziel der Forstwirtschaft: Verbesserung der Resilienz (Widerstandsfähigkeit, Regenerationsfähigkeit) in Forstökosystemen
 - Mischung der Baumarten, Altersstufen
 - Standortangepasste Gehölze
 - Förderung der Naturverjüngung
 - Humusaufbau durch Belassen von Totholz
 - Verzicht auf großflächige Kahlschläge, Einzelstamm- oder gruppenweise Nutzung



Alternative Formen der Wald- und Forstnutzung als Anpassungen an Belastungen

Naturnahe Waldbaumethoden – Prinzipien der Plenterung

- Entnahme von Einzelbäumen im erntefähigen Alter: Nutzungsziel Qualitätsholz
- Kontinuierliche Verjüngung des Bestandes durch Entwicklung des Baumnachwuchses als Naturverjüngung in Lücken
- Nutzung als Mittel zur Pflege: Immerwährende Selektion über die Ernte



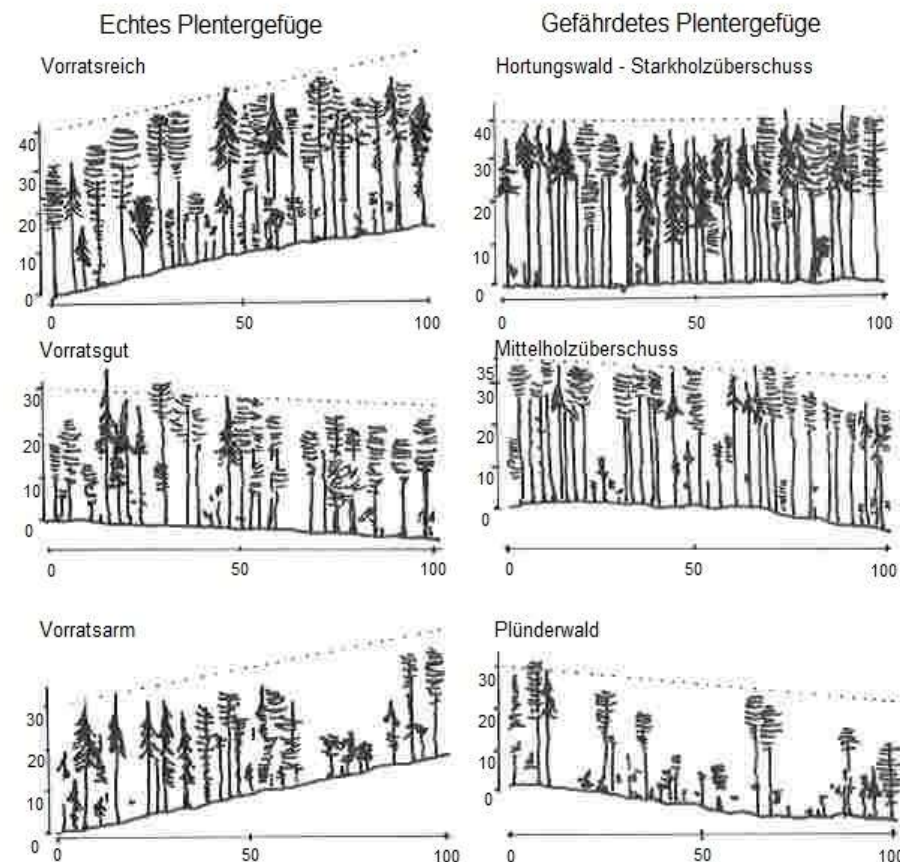
<https://www.waldwissen.net>

Alternative Formen der Wald- und Forstnutzung als Anpassungen an Belastungen

Plenterförmiger Waldaufbau

Je nach Intensität der Nutzung können Plenterwälder in unterschiedlichen Entwicklungszuständen ausgebildet sein: Übergänge zum Hochforst, Mittelforst und Niederforst.

Entwicklungszustände in Plenterwäldern

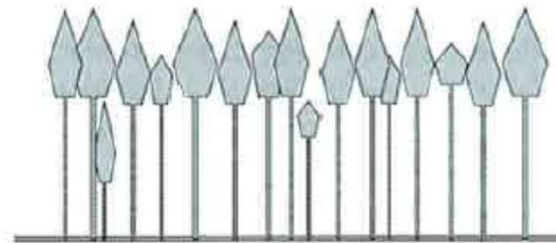


nach: Köstler 1956

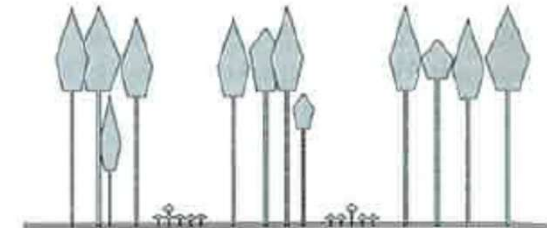
Alternative Formen der Wald- und Forstnutzung als Anpassungen an Belastungen

Plenterförmiger Waldumbau

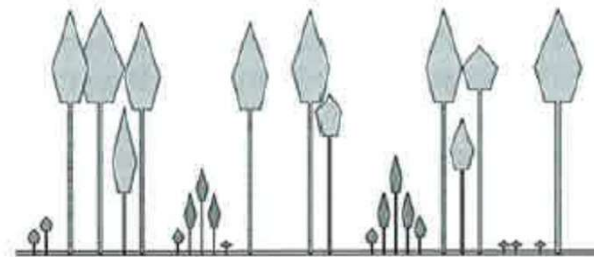
Schrittweise Überführung vom Altersklassenforst in einen ungleichaltrigen, gestuften Aufbau durch punktuelle Stammementnahme, Auflichtung und Förderung der aufkommenden Jungbäume.



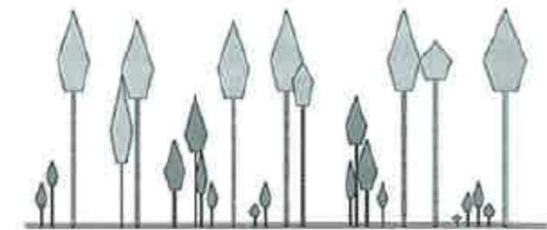
Phase der Differenzierung bzw. Stabilisierung



Phase der Nachwuchsförderung



Phase der Strukturierung



Phase der Verfeinerung der Plenterverfassung



Quelle: Schütz 2001

Literatur

Burschel & Huss (1992): Grundriss des Waldbaus. Verlag Paul Parey.

Ellenberg & Leuschner (2010): Vegetation Mitteleuropas mit den Alpen. Verlag E. Ulmer

Frey & Lössch (1998): Lehrbuch der Geobotanik. Pflanze und Vegetation in Raum und Zeit. G. Fischer Verlag

Küster (1998): Geschichte des Waldes. Von der Urzeit bis zur Gegenwart. Verlag C.H. Beck

LÜDERITZ M (2015) Wirkung von Stickstoffeinträgen auf terrestrische Ökosysteme am Beispiel der Pilze. Vortrag zum BNUR-Seminar „Stickstoff- und Phosphoreinträge in Ökosysteme“ am 24.02.2015 in Flintbek (Kiel), 18 S.

Pfadenhauer & Klötzli (2014): Vegetation der Erde. Grundlagen, Ökologie, Verbreitung. Springer Spektrum Verlag

Reininger (2006): Das Plenterprinzip. Leopold Stocker Verlag.

Schütz (2001): Der Plenterwald und weitere Formen strukturierter und gemischter Wälder. Verlag Paul Parey