

## 9 Feuchte Mittelbreiten

### 9.1 Verbreitung

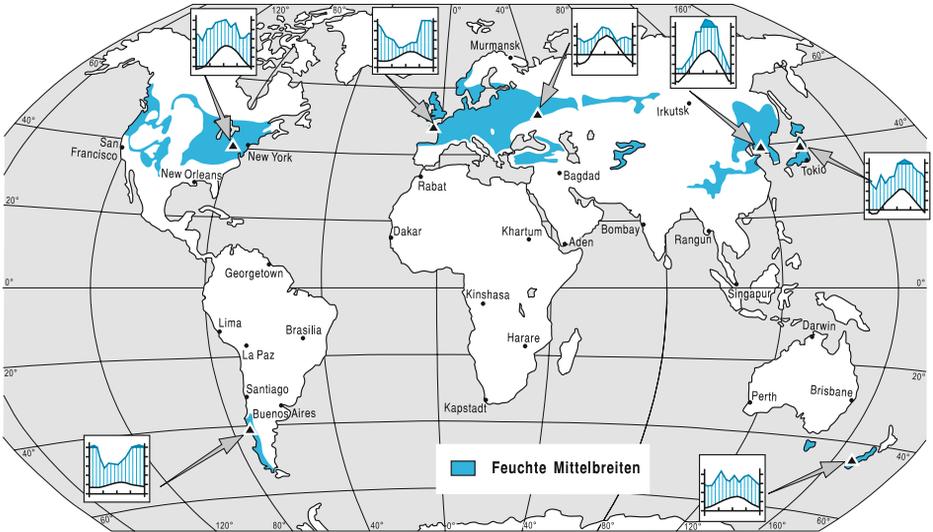
Die Breitenlage der Feuchten Mittelbreiten (von anderen Autoren auch als *nemorale Zone* bezeichnet) hält sich zwischen 35° und 60° (Abb. 9.1). Die größten Vorkommen liegen in der Nordhemisphäre jeweils an den Ost- und Westseiten der nordamerikanischen und eurasischen Landmassen, nur kleinere, aber ebenfalls küstennah, auf der Südhalbkugel in Südamerika (im Wesentlichen Südchile), Australien (SE-Australien und Tasmanien) und Neuseeland (Südinsel) sowie auf den subantarktischen Inseln. Dementsprechend haben alle Teilgebiete ein maritim beeinflusstes **temperates Klima**: Nicht zu heiße Sommer sowie milde Winter.

Alle Teilvorkommen addieren sich auf rund 14,5 Mio. km<sup>2</sup> oder 9,7% der Festlandsfläche der Erde.

Auf der Nordhemisphäre grenzen die Feuchten Mittelbreiten polwärts an die Boreale Zone. Äquatorwärts folgen an den Westseiten der Kontinente die Winterfeuchten, an den Ostseiten die Immerfeuchten Subtropen. In den hochkontinentalen Bereichen der Nordhemisphäre fehlen die Feuchten Mittelbreiten entweder ganz, d.h. auf die borealen Nadelwaldgebiete folgen unmittelbar die winterkalten Steppen, oder sie nehmen nur schmale Übergangssäume zwischen diesen beiden ein.

### 9.2 Klima

Ähnlich wie die beiden vorgenannten Zonen besitzen auch die Feuchten Mittelbreiten noch einen ausgesprochen **saisonal differenzierten Jahresgang der Temperatur**. Die Tiefst- und Höchsttemperaturen halten sich allerdings zwischen den winterlichen Kältegraden und den sommerlichen Hitzegraden, die normalerweise in den polwärts bzw. in den äquatorwärts folgenden Ökozonen erreicht werden. Auch die tageszeitlichen Temperaturschwankungen – größer als in der Polaren/subpolaren und der Borealen Zone, aber kleiner als in den Trockenen Mittelbreiten und den Ökozonen der subtropischen und tropischen Breiten – nehmen eine Art Mittelstellung ein. So ge-



**Abb. 9.1**

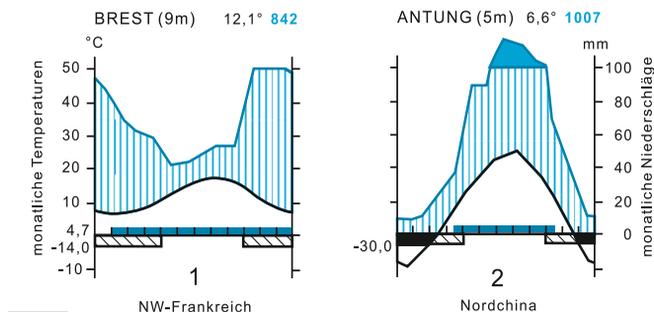
Feuchte Mittelbreiten. Die Verbreitung ist fragmentiert, mit Schwerpunkten auf der Nordhemisphäre.

sehen lassen sich die thermischen Bedingungen der Feuchten Mittelbreiten als *gemäßigt* oder *temperat* einstufen, wie dies beispielsweise mit der geläufigen Klimabezeichnung für diese Zone, nämlich *kühl-gemäßigte Klimate*, oder in Verbindung mit Vegetationsbezeichnungen, z.B. *temperate Regenwälder*, geschieht.

**Abb. 9.2**

Klimadiagramme des ozeanischen (1) und des kontinentalen (2) Klimatyps der Feuchten Mittelbreiten. Unter ozeanischem Einfluss sind die Winter mild (im Extrem: ganzjährige Vegetationsperiode) und die Sommer kühl; die Niederschläge fallen zum größten Teil im Winter. Unter kontinentalem Einfluss werden die Sommer heißer und die Winter kälter (die Vegetationsperiode verkürzt sich bis auf sechs Monate); die Niederschläge fallen zum größten Teil im Sommer.

Die innerhalb der Feuchten Mittelbreiten bestehenden **regionalen Temperaturunterschiede** sind (noch deutlicher als in der Borealen Zone) durch einen west-östlichen Wandel geprägt, der sich aus dem Wechsel ozeanischer und kontinentaler Einflüsse herleitet (Abb. 9.2)<sup>1</sup>. In *hochkontinentalen Lagen* ist die **Vegetationsperiode** nur halbjährig und die winterliche Abkühlung sinkt bis unter  $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ . In den *ozeanisch beeinflussten Klimagebieten* dauert die Vegetationsperiode länger, in einigen küstennahen Lagen ist sie ganzjährig: die Mitteltemperaturen des kältesten Monats halten sich über  $+2\text{ }^{\circ}\text{C}$ , in wenigen Gebieten



<sup>1</sup> Zur klimatischen Abgrenzung der Feuchten Mittelbreiten gegenüber der Borealen Zone siehe auch Kap. 8 Boreale Zone, 8.2 Klima.

sogar über +5 °C. Andererseits bleibt hier die sommerliche Erwärmung mit <15 °C (Mittel des wärmsten Monats) hinter der in kontinentalen Gebieten (höchste Monatsmittel durchweg  $\geq 18$  °C) zurück. Entsprechend ergeben sich regional sehr unterschiedliche *Jahresamplituden* von bis zu 40 K in kontinentalen Räumen gegenüber nur 10 K in ozeanischen (jeweils im Vergleich der Monatsmittel). Die Sommer mancher Küstengebiete bleiben so kühl, dass Getreide nicht mehr ausreifen würde. Unter hochkontinentalen Bedingungen können die Spitzenwerte von  $t_{\text{mon}} \geq 18$  °C dagegen über drei Monate anhalten (ab vier Monaten: Subtropen). Als *Jahresmittel* ergeben sich allerdings überall ähnliche Werte: Sie liegen zumeist zwischen 6 und 12 °C.

Auch in Bezug auf die **Tageslängen** nehmen die Feuchten Mittelbreiten eine Mittelstellung ein: Ihr Winterminimum liegt bei etwa 8 und ihr Sommermaximum bei etwa 16 Stunden. Von der sommerlichen Einstrahlung gelangen etwa 70% direkt (im Winter nur etwa 50%) an die Erdoberfläche. Da der Tagbogen auch im Sommer nicht übermäßig lang ist (bei 50° N maximal 240°), erhalten **Südhänge** deutlich höhere Strahlungsbeträge als nordexponierte Hänge. Ihre relative Temperaturgunst zeigt sich z.B. augenfällig in der einseitigen Rebflächenverbreitung deutscher Weinbaugebiete.

Im Unterschied zum Temperaturverlauf gibt es beim **Niederschlag** keine markanten jahreszeitlichen Abweichungen. Auch die Abweichungen von Jahr zu Jahr halten sich in Grenzen, zumindest was die Jahressummen anbetrifft. Mindestens 10 Monate sind mit  $p$  [mm]  $> 2$  t [°C] humid (vgl. Abb. 2.3). Die landwirtschaftliche Nutzung profitiert also von einem hohen Maß an **Regenverlässlichkeit**. Das schließt aber nicht aus, dass gelegentlich längere Trockenperioden vorkommen und dann eine ergänzende Beregnung der Felder zweckmäßig sein kann.

In den meisten Gebieten liegen die **jährlichen Niederschlagssummen** zwischen 500 und 1000 mm und damit, nach den feuchten Tropen/Subtropen, am zweithöchsten unter allen Ökozonen, wenngleich nur halb so hoch wie dort. Ein kleiner Teil der Niederschläge fällt regelmäßig als **Schnee**. Da die regenbringenden Zyklonen mit zunehmender Distanz von den Ozeanen an Wirksamkeit verlieren, verringern sich in dieser Richtung durchweg auch die Niederschlagsmengen.

Einige **bestandsklimatische Besonderheiten** lassen sich aus der Abb. 9.3 entnehmen. Danach ergibt sich folgendes Bild (vgl. auch Abb. 9.4).

Die Strahlungsabsorption erfolgt im **Sommer** größtenteils an der Oberfläche des Kronendachs (A und B). Hier kommt es dementsprechend tagsüber zu den höchsten Temperaturen und dem stärksten Rückgang der relativen Luftfeuchte (jeweils im Vergleich mit den Werten in der darüber folgenden Luftschicht und der innerhalb des Stammraumes). Andererseits ist das Kronendach auch dasjenige Stratum des Pflanzenbestandes, an dem die nächtlichen Ausstrahlungs-

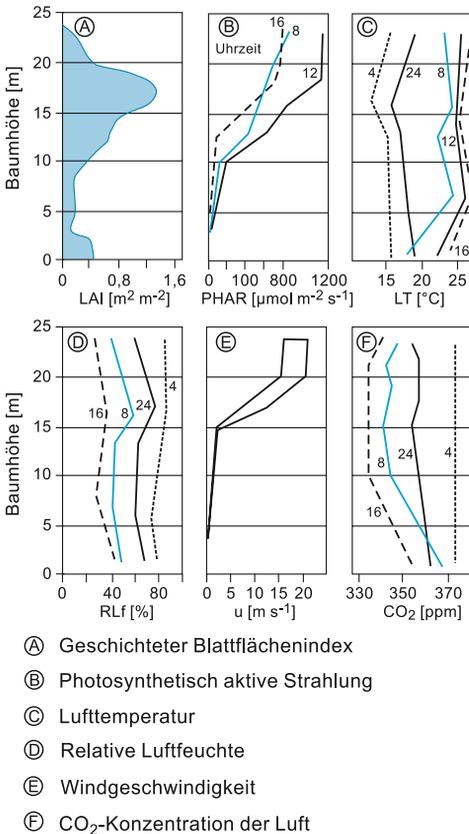


Abb. 9.3

Vertikalprofile klimatischer Parameter in einem mitteleuropäischen Mischwald während des Sommers (ELIÁŠ *et al.* 1989).

### 9.3 Relief und Gewässer

Die Feuchten Mittelbreiten gelten als **Zone gemäßigter morphologischer Aktivität**. Sowohl Verwitterungsprozesse als auch Abtragungsvorgänge laufen vergleichsweise langsam (retardiert) ab. So sind beispielsweise viele der in den pleistozänen Kaltphasen entstandenen glazialen und glaziofluvialen Abtragungs- und Ablagerungsformen und selbst tertiäre Rumpfflächen (in Resten) bis heute erhalten.

#### Verwitterung

Bei der Verwitterung von Mineralen spielt die **Hydratation** (auch Hydratation genannt) eine wichtige Rolle. Hierbei handelt es sich um die Anlagerung von H<sub>2</sub>O-Dipolen an überschüssige Ladungen von Grenzflächenkationen, die von der Randzone des Gesteins nach innen fortschreitet. Die damit verbundene Quellung (= Bildung von Hydrathüllen um die Grenzflächenionen) führt zu einer Sprengwirkung, die das Gesteinsgefüge lockert.

verluste besonders groß sind. Demzufolge ergibt sich nachts eine Umkehr der genannten Vertikalgradienten.

Daraus folgt weiter, dass die Amplituden beider Klimaparameter mit der Höhe im Bestand anwachsen (C und D): Im Bestandsinneren ist das Klima ausgeglichener, feuchter und wärmer und die Frostgefährdung geringer; im Kronendach kann ein erheblicher Dürrestress und ggf. auch Kältestress auftreten. Dies gilt insbesondere für Tage mit hoher Sonneneinstrahlung bzw. hoher nächtlicher Ausstrahlungsverluste.

Auch Wind ändert an diesem Rhythmus nichts, solange dichter Pflanzenstand die turbulenten Luftbewegungen unterbindet, die aerodynamischen Ausgleichsvorgänge vielmehr über Diffusion erfolgen (E). Unter diesen Bedingungen kommt es dann auch – als Folge der Bodenatmung – zu einem nächtlichen Anstieg des CO<sub>2</sub>-Gehaltes in der bodennahen Luftschicht (F). Tagsüber ist dieser Anstieg wieder rückläufig, wenn die Pflanzen erneut CO<sub>2</sub> für die Photosynthese aufnehmen.

Im **Winter**, wenn der Wald entlaubt ist, fehlen die genannten vertikalen Differenzierungen oder sind nur schwach ausgebildet.

Wohl immer gleichzeitig mit der Hydratation erfolgen chemische Umsetzungen durch die **Hydrolyse**. Hierbei treten die durch Dissoziation von Wasser entstandenen  $H^+$ -Ionen mit den Kationen von Gesteinsmineralen in Austausch, was ebenfalls zur Auflockerung und schließlich Zersetzung der Kristallgitter führt. Der Umfang dieser Reaktion wächst mit steigender  $H^+$ -Konzentration, also abnehmendem pH-Wert des Bodens, sowie höheren Temperaturen. Hydratation und Hydrolyse können zu Abschuppungen und zur Vergrusung von festem Gestein führen.

Bei der Verwitterung von Kalkstein und Dolomit steht die **Kohlensäureverwitterung** im Vordergrund. Kohlensäure entsteht im Boden durch Reaktion von  $CO_2$  der Bodenluft (dessen Anteil hier infolge von Wurzelatmung und Respiration des Edaphons höher als in der Atmosphäre liegt) und Wasser. Die Intensität der Lösungsvorgänge wächst mit dem  $CO_2$ -Gehalt des Wassers und wird durch niedrige (!) Temperaturen begünstigt. In festem Gestein führt die Kalkverwitterung zu **Karstformen** (z.B. Karren, Dolinen, Höhlen mit Tropfsteinbildungen), in Lockermaterial (z.B. Moränen, Löss) und Böden (z.B. Chernozemen) zur (von der Oberfläche nach unten fortschreitenden) **Entkalkung**.

Im Gegensatz zur mechanischen Verwitterung kann die chemische Verwitterung (in humiden Klimaten) dank der tiefreichenden Wasserbewegungen im Boden und Gestein auch entsprechend tief unter der Oberfläche wirken. Die Böden der Feuchten Mittelbreiten sind daher durchweg tiefergründiger als die in den beiden vorgenannten Ökozonen. Sie sind andererseits flacher als dort, wo die chemische Verwitterung aufgrund ganzjährig höherer Temperaturen intensiver abläuft, wie – im extremsten Fall – unter tropischem Regenwald (siehe Kap. 15.3.1).

### Abfluss und Abtragung

Etwa ein Drittel des Niederschlages geht in den Abfluss, gegenüber knapp 50% in der Borealen Zone und über 50% in der Tundra. Da aber die Niederschlagsmengen höher als dort sind, ist die absolute Wassermenge, die pro Flächeneinheit abfließt (also die **Abflussspende**), in der Regel dennoch größer (vgl. Tab 3.1 und Abb. 4.3).

Aufgrund der meist relativ groben Bodentexturen und stabilen Bodengefüge (und somit hohen Infiltrationskapazitäten für einsickern-des Regenwasser) sowie der geschlossenen Vegetationsbedeckung<sup>2</sup> erfolgt der Abfluss von den Landflächen (zu den Flüssen) im We-

<sup>2</sup> Im Winter, wenn der Schutz durch die Vegetation weitgehend entfällt, wird die Bodenoberfläche (abgesehen von Feldern) durch eine mehrschichtige Blatt-/Krautstreu geschützt.

sentlichen über Interflow und Grundwasser (Niederschlagsereignisse, deren Intensität die maximal mögliche Infiltrationsrate übersteigen, sind selten). Entsprechend gering ist die Wirkung der Spüldenudation, und regenbedingte Abflussspitzen in den Flüssen folgen gewöhnlich erst mehrere Tage nach den verursachenden Niederschlagsereignissen.

Die **Flussdichte** ist hoch, alle Flüsse sind perennierend; der Abfluss hält auch im Winter, in kontinentalen Gebieten gegebenenfalls unter einer Eisdecke, an. Der **Abflussgang** wird in weit geringerem Maße als in den beiden vorgenannten Ökozonen durch winterlichen Frost und Schneeschmelze im Frühjahr bestimmt. Von größerem Einfluss sind die Niederschlagsverteilung über das Jahr und die relativ hohen sommerlichen Verdunstungsabgaben. Das sommerliche Abflussminimum ist daher meist deutlicher ausgeprägt als das durch Frost und Schnee bedingte winterliche. Die Jahreshöchststände folgen den saisonalen Niederschlagsmaxima, liegen also in ozeanischen Klimaten eher im Frühjahr, in kontinentalen im Herbst. Trotz temporärer Erosionsbelebungen bleibt die **morphologische Wirksamkeit der Flüsse** bescheiden, die lineare Tiefenerosion entsprechend gering.

#### 9.4 Böden

Im Vergleich zu allen anderen Waldklimaten haben die Feuchten Mittelbreiten überwiegend **günstige Bodenentwicklungen**. Dazu gehört, dass ihre *Versauerung geringer* ist. Gegenüber der Borealen Zone treten mit *Mull und Moder* bessere Humusformen auf als der dort vorherrschende Rohhumus. Mit Blick auf die Sommerfeuchten Tropen und Immerfeuchten Tropen/Subtropen fällt insbesondere die *günstige Tonmineralbildung* ins Gewicht. Statt der sorptionschwachen Zweischicht-Tonminerale aus der Kaolinitgruppe, die in den zonalen Böden jener Zonen vorherrschen, kommt es unter den gemäßigt kühlfeuchten Bedingungen dieser Zone zur Bildung von sorptionsstärkeren Drei- und Vierschicht-Tonmineralen aus der Gruppe der Illite und Chlorite, Vermiculite und Smectite, die den Böden weit höhere Kationenaustauschkapazitäten verleihen. Bei einer generell nur schwach sauren Reaktion haben die meisten Böden daher relativ hohe mineralische Nährstoffgehalte, und Düngergaben, die der Landwirt in den Boden bringt, können in größeren Mengen (als beispielsweise in den Feuchten Tropen) adsorbiert und von den Kulturpflanzen nach und nach, ihrem Bedarf entsprechend, eingetauscht werden.

Von allen Bodentypen, die in den Feuchten Mittelbreiten vorkommen, haben Haplic (in Nordamerika auch Albic) *Luvisole* (Lessivés, Parabraunerden) sowie Dystric und Eutric *Cambisole* (Braunerden) die weiteste Verbreitung. Sie treten oftmals in enger Nachbarschaft auf. Dabei überwiegen Luvisole (bei hoher Durchfeuchtungsintensität) auf CaCO<sub>3</sub>-reichem Substrat (kommen aber auch auf CaCO<sub>3</sub>-freiem

Substrat vor). Cambisole finden sich hingegen häufiger auf ärmeren und trockeneren Ausgangsgesteinen in Hanglagen, wo die Abtragung verhindert, dass die Böden ältere Entwicklungsstadien erreichen.

**Cambisole** (lat. *cambiare* = wechseln) haben einen dunklen humosen A-Horizont, der nach unten allmählich in einen meist braunen Bw-Horizont (in situ verwittert, *cambic B-Horizont*) übergeht, auf den, wiederum ohne scharfe Grenze, der C-Horizont (Ausgangsgestein) folgt. A- und B-Horizont können zusammen bis zu anderthalb Meter mächtig werden. Sie haben meist stabile Strukturen mit günstigem Wasser- und Lufthaushalt. Die Verbraunung im Bw geht auf freie Fe-Oxide/Hydroxide (vor allem Goethit) zurück, die aus dem bei der Verwitterung der primären Minerale freiwerdenden Eisen entstehen. Je nach Basensättigung können die fruchtbaren *Eutric Cambisole* (>50% Basensättigung) von den nährstoffärmeren *Dystric Cambisolen* (<50% Basensättigung) unterschieden werden. Die Ersteren entwickeln sich beispielsweise auf Basalt und Geschiebelehm, die Letzteren auf Granit und Sanden. Die weitere Entwicklung kann zu Luvisolen bzw. Podzolen oder Retisolen führen.

Unter den extrem kalten und nassen Bedingungen von Gebirgen können sich auf Silikatgestein über den Bw-Horizonten (oder auch direkt über C-Horizonten) mächtige, dunkelbraune Ah-Horizonte entwickeln, die im Unterschied zu mollic Horizonten sauer reagieren, Basensättigen unter 50% aufweisen und oligotroph sind (= umbric Horizonten). Diese früher auch als Humusbraunerden bezeichneten Böden werden seit 1998 zu einer eigenen Bodeneinheit, den **Umbrisolen** (lat. *umbra* = Schatten), gestellt. Sie treten wie die Cambisole weltweit (auch in tropischen und subtropischen Gebirgen) auf, allerdings mit Schwerpunkten in den Feuchten Mittelbreiten und der Borealen Zone. Ihre hohen Gehalte an organischer Substanz hängen mit ihrer geringen biologischen Aktivität zusammen: Das Edaphon kann sich bei der klimatischen Ungunst (zu kalt, zu nass) und der sauren Bodenreaktion kaum entfalten; entsprechend niedrige fallen die Zersetzungsraten aus.

**Luvisole** (lat. *luere* = auswaschen) sind durch Verlagerungen von Ton (Lessivierung) aus den A- in die B-Horizonte (*argic B-Horizonte*=Bt) charakterisiert. Entsprechend zeigen die Profile die Horizontfolgen Ah-E-Bt-C. Bei den *Haplic (früher Orthic)* Luvisolen sind der an Ton verarmten E-Horizonte etwas heller (bei den *Albic L.* weißlich) als die schwärzlichen, weil humosen Ah-Horizonte und die mit Ton angereicherten tiefbraunen Bt-Horizonte. Ah- und E-Horizonte können zusammen bis zu etwa einem halben Meter, die Bt-Horizonte bis zu mehreren Metern mächtig sein. Als nur mäßig ausgewaschene Böden weisen Luvisole generell mittlere bis hohe Basensättigungen auf (Tendenz zu höherer Sättigung auf trockeneren Standorten): In den Unterböden liegen sie gewöhnlich – bei (fast) neutraler Bodenreaktion – über 50%. Die oft sandreichen Oberböden, in denen Les-

sivierungen zu relativen Zunahmen an größerem Korn geführt haben, sind dagegen leicht sauer, und ihre Basensättigungen liegen durchweg unter 50 %.

Mit Fortschreiten der deszendenden Verlagerungsvorgänge unter kühleren und feuchten Bedingungen kommt es zu einer starken Ausbleichung des E-Horizonts. Damit entstehen **Retisole** (lat. *rete* = Netz; Fahlerden; früher als Podzoluvisole bezeichnet, in FAO 2006 noch als Albeluvisole bezeichnet). Häufig ist dies in den Übergangsbereichen zur Borealen Zone der Fall, wo neben Podzolen insbesondere Eutric Retisole (von lat. *eluere* = auswaschen) (siehe Kap. 8.4) große Flächen einnehmen. Deren auffälliges Merkmal ist das „albeluvisol tonguing“, das zungenförmige Vordringen des hellen eluvialen Horizontes (E) in den darunter anschließenden dunkleren tonreichen argic B-Horizont (Bt). Der Ah-Horizont ist eher humusarm, gewöhnlich unter Moder, die Bodenreaktion sauer, die natürliche Fruchtbarkeit gering.

Am unteren Ende von Reliefsequenzen folgen, ähnlich wie in vielen anderen Ökozonen, Böden, die unter dem Einfluss von Stau- oder Grundwasser stehen. Die Tab 9.1 gibt eine Übersicht dieser hydromorphen Böden und der Umstände ihrer Entstehung. Histosole (siehe Kap. 8.4) finden sich so gut wie nur in den mittleren und höheren Breiten, Gleysole (siehe Kap. 7.4) und Fluvisole vornehmliche in allen humiden Ökozonen; Planosole kommen auch in allen wechselfeuchten und ariden Ökozonen vor.

Die **Fluvisole** (lat. *fluvius* = Fluss) sind junge Böden (nur A-C-Profil) in Flusssauen und Marschen, an Seeufern und unter Mangroven. Ihre Eigenschaften werden wesentlich von der Art des bei jeder Überflutung neu (und zwar in Schichten) abgelagerten Sedimentationsmaterials bestimmt und variieren entsprechend stark. In den Auenböden (von Flusstälern) fehlen - im Unterschied zu den Gleysolen - redoximorphe Merkmale. Rostfleckige Bg-Horizonte können höchstens in größerer Tiefe auftreten.

Bei den **Planosolen** (lat. *planus* = flach), zu denen die Pseudogleye der deutschen DBG-Bodensystematik gehören, handelt es sich um temporär stauwasserbeeinflusste Böden auf tonigen Sedimenten in durchweg flachem Gelände, in deren Profilen auf einen gebleichten E-Horizont ein dunklerer, tonreicherer (durch Lessivierung), wasserstauender B-Horizont folgt. Diagnostisch ist der abrupte Bodenartenwechsel zwischen diesen beiden Horizonten.

## 9.5 Vegetation und Tierwelt

Nach den klimatischen Gegebenheiten sind die Feuchten Mittelbreiten insgesamt **natürliche Waldstandorte („Zone der sommergrünen Laubwälder“)**. In den nordhemisphärischen Vorkommen wurden die Naturwälder allerdings durch Holzeinschlag, Brandrodungen, Waldweide etc. nahezu vollständig zerstört und gewöhnlich nur dort, wo keine landwirtschaftlichen oder anderen Interessen bestanden, durch Wirtschaftswälder ersetzt. Die Feuchten Mittelbreiten sind heute – im Vergleich zu früher und zu den anderen Waldklimaten (abgesehen von den Immerfeuchten Subtropen) – waldarm.

Während die nordhemisphärischen Vorkommen einem gemeinsamen Florenreich, nämlich der **Holarktis** angehören, liegen die drei kleinen südhemisphärischen alle im Florenreich der **Antarktis** oder jedenfalls in dessen Randbereich. Das bedeutet, dass die nördlichen und südlichen Vorkommen im Vergleich zueinander weitestgehend eigenständige Floren (und Faunen) aufweisen, jedoch untereinander – trotz der jeweils beträchtlichen (west-östlichen) Abstände – floristisch (und faunistisch) ähnlich sind.

Nach den **vorherrschenden Lebensformen der Baumschicht** handelt(e) es sich bei den heutigen (bzw. früheren) Naturwäldern zumeist um *sommergrüne Laubwälder* oder



um *Mischwälder* aus sommergrünen Laubbäumen und immergrünen Nadelhölzern; seltener um reine *Nadelwälder* (wie in der pazifischen Nordwestregion Nordamerikas) oder um *Regenwälder* aus immergrünen Laubhölzern (wie in den meisten südhemisphärischen Teilgebieten sowie früher auch in einigen küstennahen Teilgebieten von Westeuropa). Davon haben die sommergrünen Laub- und Mischwälder als die eigentliche (potentielle) zonale Pflanzenformation der Feuchten Mittelbreiten zu gelten; sie stehen dementsprechend im Vordergrund bei den Darstellungen zur Vegetation. Typisch für diese etwa 10-20 m hohen Wälder ist, dass sie mehrschichtig sind, wobei insbesondere die im zeitigen Frühling arten- und blumenreiche Feldschicht aus Kräutern (Hemikrypto- und Geophyten) und/oder Zwergsträuchern (Chamaephyten) ins Auge sticht und die relativ kurzlebigen Blätter der Laubbäume makrophylle Formen aufweisen. Nur in besonders wintermilden Klimaten überdauern sie die Zeitspanne von 6 Monaten. Die Winterknospen werden durch Schuppen vor Wasserentzug und Frost geschützt. Epiphyten und Lianen fehlen – mit Ausnahme von Efeu (*Hedera helix*) und Waldrebe (*Clematis spp.*) – so gut wie ganz.

### 9.5.1 Saisonalität sommergrüner Wälder

Die an den Jahresgang der Temperatur geknüpfte klimatische Saisonalität drückt sich in **auffälligen Aspektwechseln** der Vegetation aus. Grundsätzlich finden sich solche Aspektwechsel auf der Erde überall dort, wo deutlich (hygrisch oder thermisch) unterschiedliche Jahreszeiten miteinander abwechseln; d.h. in allen Ökozonen außer den Immerfeuchten Tropen, Immerfeuchten Subtropen und den extremen Hitzewüsten der Tropisch/subtropischen Trockengebiete. Allerdings sind die saisonalen Aspektwechsel dort relativ unauffällig, wo die Floren hohe Anteile von immergrünen Arten enthalten, also in den Winterfeuchten Subtropen, der Borealen Zone und den Tundren der Polaren/subpolaren Zone, oder wo die Vegetation infolge arider Bedingungen zurücktritt, wie in allen Wüsten und Halbwüsten. Damit werden sie, trotz ihrer weiten Verbreitung, zu einem eher zonenspezifischen Merkmal, charakteristisch für die Mittelbreiten (hier insbesondere die Feuchten Mittelbreiten) und die Sommerfeuchten Tropen. In den Mittelbreiten lassen sich die folgenden vier Jahreszeiten unterscheiden.

#### Frühjahr

Das Frühjahr ist die Zeit, in der

- die Samen aus dem vorausgegangenem Jahr keimen,
- Bäume und Sträucher neue Triebe, Blätter und Blüten bilden,
- Stauden ihre Sprosse austreiben,
- Tiere aus dem Winterschlaf (Winterstarre) erwachen, aus Überwinterungsstadien schlüpfen (bei vielen Insekten), geschützte Winterquartiere (häufig im Boden) verlassen und zu einem aktiven Leben

in den Stammraum und das Kronendach wechseln,

- Zugvögel aus wärmeren Erdzonen zurückkehren,
- der Gesang vieler Singvogelarten besonders vielfältig erklingt und
- für die meisten Tierarten Paarung und Jungenaufzucht erfolgen.

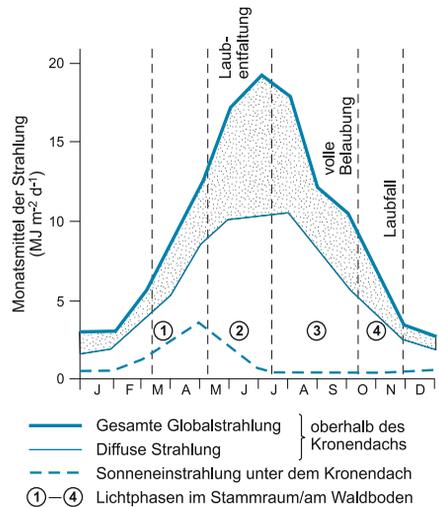
Das **Wiedererwachen des Lebens beginnt am Waldboden**. Aufgrund des um diese Zeit (vor dem Blattaustrieb der Holzpflanzen) noch kaum behinderten Lichteinfall es in der Laubstreu und obersten Bodenschicht zu einer viel rascheren Erwärmung als in den Strauch- und Baumkronenschichten. Auffallendster Hinweis für diesen anfänglichen Vorteil sind die zahlreichen *krautigen Frühlingsblüher*, die aus intakten Wurzelsystemen von der Bodenoberfläche (bei den Hemikryptophyten) oder aus Überdauerungsorganen wie Knollen, Zwiebeln oder Wurzelstöcken im Boden (Geophyten mit geringer Wurzeltiefe) austreiben. Im weiteren Verlauf verlagert sich die strahlungsabsorbierende Schicht immer mehr nach oben, über die Blattformfaltung der Sträucher und des Jungwuchses bis zur (wiederum etwas späteren) Laubbildung der Baumkronen.

### Sommer

Der Sommer ist die Zeit voller Belaubung, in der das Dickenwachstum von Stamm- und Astholz stattfindet und die Frucht- und Samenreife erfolgen. In Wäldern mit engem Kronenschluss gelangt in dieser Zeit so wenig Licht in den Stammraum und auf den Waldboden (im Extrem nur etwa 10% des Außenlichtes), dass dort nur noch Schattenpflanzen mit geringer Primärproduktion zu gedeihen vermögen.

### Herbst

Im Herbst kommt es – meist innerhalb weniger Wochen – durch das Ablösen von Laub, Samen und Früchten bei den Holzpflanzen und das Absterben der oberirdischen Triebe von Krautpflanzen zu einer **Rückführung des größten Teils der sommerlichen Produktion** in/auf den Boden. Vor dem Entlauben erfolgt ein Abbau von organischen Substanzen und eine teilweise *Resorption* (Retranslokation) der Elemente N, Fe, P und K in die Zweige und den Stamm (s.u.). Damit geht eine Entfärbung (grün zu fahlgelb, wie z.B. bei Erlen, Eschen und Weiden) oder aber eine kräftige Verfärbung (zu roten bis gelben Farbtönen, wie z.B. bei Ahornen und Birken) einher, die den herbstlichen Wäldern ein einzigartig farbenprächtiges Aussehen (bunte



**Abb. 9.4**

Jahresgang des Strahlungsangebotes und der Beleuchtungsintensität in einem Laubwald bei Cambridge/England in Abhängigkeit vom Belaubungszustand (aus LARCHER 1994). Die folgenden Lichtphasen lassen sich für den Stammraum und den Waldboden unterscheiden (WALTER u. BRECKLE 1983): 1 Frühlingslichtphase (vor der Belaubung), 2 Übergangsphase (vom Öffnen der Knospen bis zum Beginn der vollen Belaubung), 3 Sommer-Schattenphase, 4 Helle Herbstphase nach dem Laubfall. In den immergrünen Nadelwäldern der Borealen Zone fehlen die verschiedenen Lichtphasen am Waldboden.

**Herbstverfärbung**, in Nordamerika als „Indian Summer“ bezeichnet) verleihen kann.

Bereits im Frühherbst (teilweise schon im Spätsommer) – also lange vor dem Laubfall und dem ‚Einziehen‘ der krautigen Vegetation – ziehen die meisten der insektenfressenden Zugvögel fort. Andererseits treffen zahlreiche Brutvogelarten aus höheren Breiten als Durchzügler oder Wintergäste ein.

### Winter

Während der Wintermonate wird die Photosynthese eingestellt, verlangsamen sich die biologisch-chemischen Bodenprozesse, halten viele Säuger Winterruhe (Dachs, Eichhörnchen) oder Winterschlaf (Igel, Siebenschläfer). Fast alle oberirdisch lebenden wechselwarmen Tiere wie Amphibien, Schnecken, Insekten und Spinnen, verfallen in eine Kältestarre oder – so bei den meisten Insekten und Spinnen – die Imagines sterben ab, und nur Eier, Larven oder Puppen überdauern beispielsweise unter der Rinde von Bäumen oder im Boden.

Die überwinternden Vogelarten (Stand- und Strichvögel) und Wintergäste (Zugvögel) bilden ein dichteres Gefieder, die aktiv bleibenden Rehe, Hirsche, Wildschweine, Füchse, Wiesel etc. legen sich ein dichteres Winterfell zu.

### 9.5.2 Wasserbilanz von Wäldern

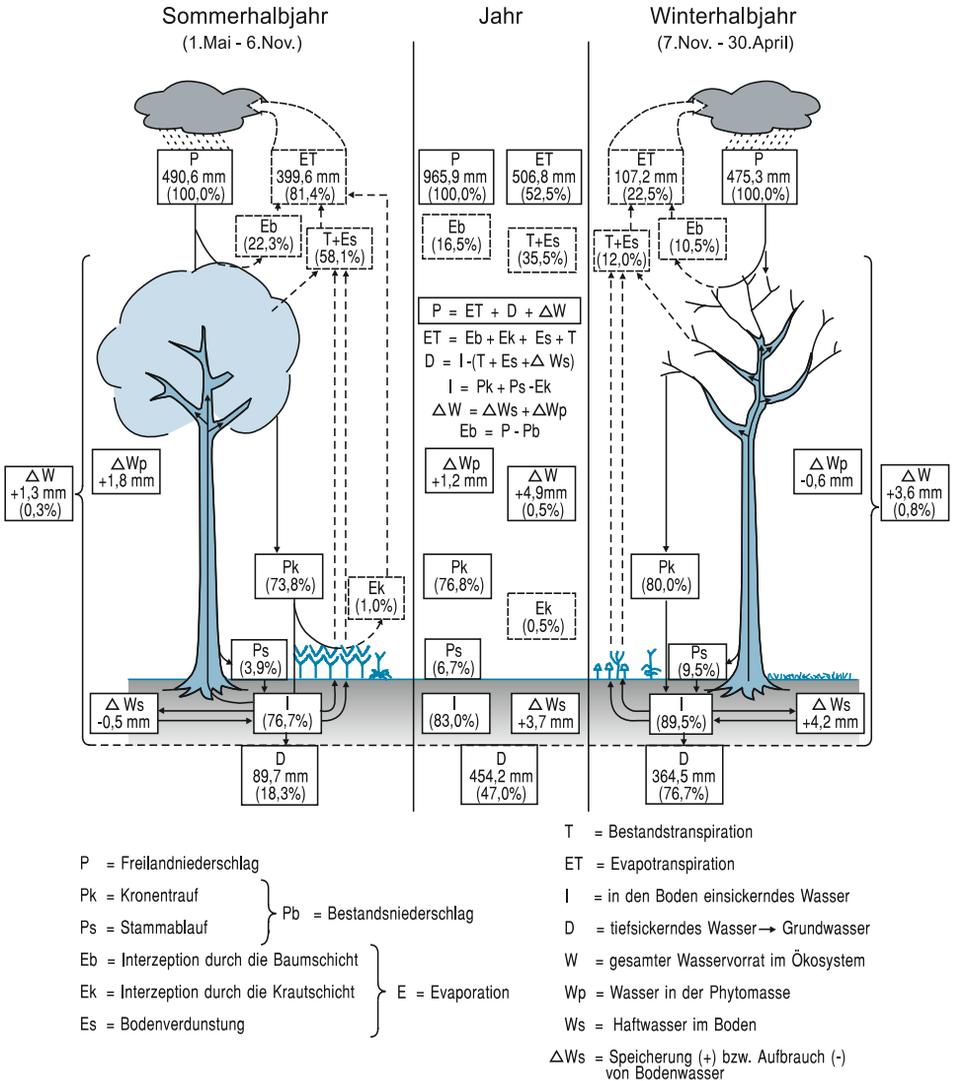
Auch die Wasserbilanz von **sommergrünen Waldgebieten** weist einen **auffälligen jahreszeitlichen Wechsel** auf: Winterlichen Überschüssen, die die Rücklagen im Boden bis zur Wassersättigung erhöhen und einen wachsenden Grundwasserabfluss speisen (Tiefensickerung), steht ein sommerlicher Aufbrauch gegenüber, der zu mehr oder weniger großen Wasserdefiziten führen kann (Abb. 9.5). Während des Frühjahrs ist der Bodenwasserhaushalt in den meisten Jahren ausgeglichen ( $\Delta W_s = 0$ ), d.h. der Boden bleibt für diese Zeit wassergesättigt.

Von den in der Abb. 9.5 veranschaulichten Verhältnissen weichen **immergrüne Nadelwälder** in mehrfacher Hinsicht ab. So ist der *Stammablauf* bei Kiefern viel geringer, bei Fichten praktisch gleich Null, da die hängenden Äste das Wasser vom Stamm wegführen. Auch ist die *Interzeption* in der Fichtenkrone während des Sommers und – da immergrün – erst recht während des Winters größer als bei sommergrünen Laubbäumen. Bei den im Rahmen des Solling-Projektes (ELLENBERG et al. 1986) untersuchten Fichten betrug sie im Jahresdurchschnitt 27,2% des Freilandniederschlages, mehr als das Anderthalbfache des bei den Buchen gefundenen Wertes von 17,1%. Letzterer Wert stimmt gut mit den in der Abb. 9.5 genannten Anteilen überein.

Beim Vergleich der Transpirationsverluste während der Vegetationsperiode in Bezug auf die während dieser Zeit erzeugten Pflanzensubstanzen ergab sich als weiterer Unterschied, dass die Fichten 220 Liter Wasser pro kg TS, die Buchen aber nur 180 Liter für dieselbe Menge brauchten, also eine deutlich höhere Wassernutzungseffizienz (einen geringeren *Transpirationskoeffizienten*) aufwiesen (zum Vergleich: krautige Pflanzen brauchen etwa 300 bis 400 Liter pro kg erzeugter Trockensubstanz).

### 9.5.3 Phytomasse und Primärproduktion, Zuwachs und Streufall

Die **Phytomasse** wächst zunächst über viele Jahrzehnte – wie in anderen Wäldern auch – mit dem Bestandsalter. Das Maximum wird – je nach Lebensdauer der beteiligten Baumarten – nach etwa 100 bis 200 Jahren erreicht. In den meisten Fällen liegt es dann zwischen

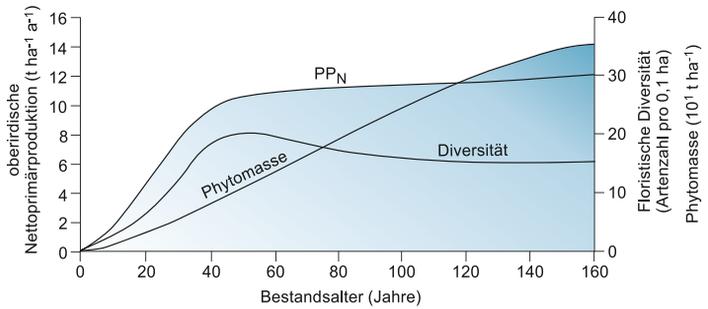


**Abb. 9.5**

Wasserbilanz eines belaubten Eichenwaldes im Sommerhalbjahr und im Winterhalbjahr (SCHNOCK 1971, geringfügig verändert). Im Jahresdurchschnitt (1964 bis 1968) fallen 965,9-mm Niederschlag. Davon verdunsten 506,8 mm (52,5%), 454,2 mm (47,0%) gehen in den Abfluss und 4,9 mm (0,5%) werden in der Biomasse gespeichert. Sommer- und Winterhalbjahr erhalten etwa gleich viel Niederschläge. Ihre Wasserbilanzen unterscheiden sich dennoch grundlegend: Im Laubwald sind die sommerlichen Interzeptionsverluste und Wasserabgaben durch Transpiration etwa viermal so hoch wie im Winterhalbjahr (399,6 mm gegenüber 107,2 mm). Dementsprechend sickert im Winter sehr viel mehr Wasser in den Boden (364,5 mm gegenüber 89,7 mm). Die Abflussspende ist dann entsprechend höher. Die Bodenverdunstung ist infolge der isolierenden Streuauflage (im Sommer auch der Beschattung) zu jeder Jahreszeit gering.

**Abb. 9.6**

Änderungen der Primärproduktion, Phytomasse und Artenvielfalt in einem Eichen-Kiefernwald in den östlichen USA, in Abhängigkeit vom Bestandsalter (WHITTAKER 1970).



200 und  $400\ t\ ha^{-1}$ , wovon etwa 20% zur Wurzelmasse gehören. Die Primärproduktion steigt zunächst stetig an und erreicht dann einen etwa konstanten Scheitelwert – im gezeigten Beispiel nach 40 bis 55 Jahren mit etwa  $11\ t\ ha^{-1}\ a^{-1}$  (Abb. 9.6). Um diese Zeit ist auch die Vielfalt an Gefäßpflanzen am größten, da noch Arten aus den jüngeren Entwicklungsphasen anwesend sind.

Die Aufteilung der Primärproduktion in **Zuwachs** und **Streufall** (oder gesamten Abfall) ist ebenfalls altersabhängig (vgl. auch Kap. 5.2 und Abb. 5.3). Anfänglich dominiert eindeutig der Zuwachs, später gewinnt der Abfall relativ an Bedeutung, bleibt aber bis zum Erreichen der Zerfallsphase mengenmäßig hinter dem Zuwachs zurück. Solange keine Bäume umstürzen, also im Wesentlichen nur Feinstreu anfällt, stellen Blätter mit  $2\ bis\ 4\ t\ ha^{-1}\ a^{-1}$  zwischen 60 und 80% des Streufalles. Der Rest verteilt sich auf Knospenschuppen, Blüten, Früchte, Rinde und Zweige.

#### 9.5.4 Mineralstoffhaushalt – im Vergleich mit borealen Nadelwäldern

Die im Folgenden genannten und für die Abb. 9.7a und Abb. 9.7b verwendeten Zahlen zu Mineralstoffvorräten und -umsätzen beruhen auf einer Mittelbildung der entsprechenden Einzelwerte von 14 sommergrünen Wäldern aus Europa und Nordamerika, die im Rahmen des International Biological Programme untersucht wurden. Die hier ausgewerteten Zahlen stammen im Wesentlichen aus den tabellarischen Einzelübersichten, die COLE u. RAPP (1981) und DE ANGELIS et al. (1981) für die 14 Waldstandorte bringen. Aus der ersteren Quelle stammen auch die Vergleichswerte für boreale Wälder, die aus drei Erhebungen in fichtenreichen Beständen in Alaska gemittelt wurden.

##### Mineralstoffvorräte in der Phytomasse

Die mittleren Mineralstoffgehalte (-konzentrationen) der Baumschicht liegen sowohl in borealen Nadelwäldern als auch in sommergrünen Laubwäldern bei knapp 1%. Die sommergrünen Laubwälder enthalten jedoch absolut höhere Mineralstoffmengen, da ihre Phytomassen größer sind. Beide Wälder stimmen darin überein, dass

Calcium am häufigsten vertreten ist und sich die Mengenanteile der übrigen (der erfassten) Nährelemente in der folgenden Reihenfolge anordnen:  $N > K > Mg > P$ .

Hinter den Mittelwerten verbergen sich allerdings erhebliche Unterschiede. Generell haben Blätter weit höhere, Rinden etwas höhere und Holz deutlich geringere Mineralstoffgehalte. Nach den in der Abb. 9.7 genannten Zahlen liegen sie für Laubblätter bei 4,3%, für Stammholz dagegen nur bei 0,6% (jeweils bezogen auf die Trockenmassen).

Die Mineralstoffkonzentrationen von Blättern nehmen (abgesehen von Ca) im Laufe des Sommers aufgrund von Auswaschungsverlusten und Retranslokation ab. Doch bleibt die vorgenannte Konzentrationsabfolge bis zum herbstlichen Blattabwurf bestehen.

### Mineralstoffaufnahme und Mineralstoffbedarf für die Primärproduktion

Für die  $PP_{N-Baumschicht}$  der **sommergrünen Laubwälder** errechnet sich ein Mittelwert von  $10 \text{ t TS ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ . Bemerkenswerterweise gehen davon rund 40% in die *Blattproduktion* (obwohl die Blattmasse nur auf einen Anteil von 1–2% an der Phytomasse der Wälder kommen), dienen also nur der Bereitstellung von saisonalen Assimilationsorganen, nicht dem längerfristigen Bestandszuwachs. Die hierfür **erforderlichen Mineralstoffmengen** umfassen wegen der hohen Mineralstoffgehalte der Blätter sogar 80% des Gesamtbedarfs für die Primärproduktion in der Baumschicht.

Bei den **immergrünen Nadelbäumen** (mit durchweg niedrigen Nadelumsatzraten) wird dagegen vorwiegend mineralstoffarmes Holz gebildet: Nur rund ein Viertel der  $PP_{N-Baumschicht}$  und knapp 50% der dafür benötigten Mineralstoffe gehen in die *Nadelproduktion*.

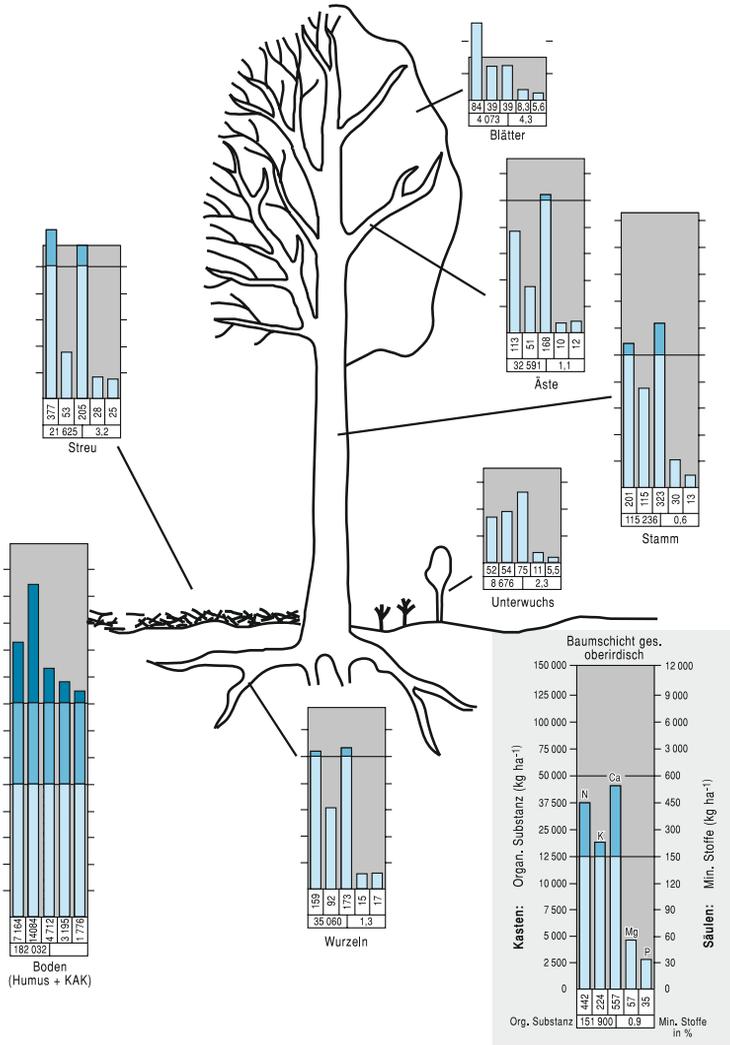
Die  $PP_N$  der temperaten Laubbäume braucht daher pro Produktionseinheit wesentlich mehr Mineralstoffe (außer bei P) als die der borealen Nadelbäume. So produzieren die sommergrünen Laubwälder im Schnitt nur 103 kg organische Substanz pro 1 kg N, die borealen Nadelwälder hingegen eher das Doppelte. Nadelwälder haben also eine deutlich höhere **Mineralstoff-Nutzungseffizienz** (und insbesondere eine höhere Stickstoff-Nutzungseffizienz).<sup>3</sup>

Da die Laubbäume außerdem eine höhere  $PP_N$  aufweisen, fallen die flächenbezogenen Unterschiede im Mineralstoffbedarf noch größer aus: Bei Annahme einer gegenüber den borealen Wäldern doppelt so hohen  $PP_N$  ergeben sich knapp vierfach höhere Bedarfsmengen.

Die **sommergrünen Laubwälder stellen damit weit höhere Ansprüche an die Bodenfruchtbarkeit** (Versorgungszustand des Bodens mit Pflanzennährstoffen). Pro Hektar benötigen sie bei einer

<sup>3</sup> Die Kehrseite hoher Stickstoff-Nutzungseffizienz liegt darin, dass das entstehende (stickstoffarme) Pflanzengewebe nach dem Absterben schwer zersetzbar ist und sich damit der Stickstoffkreislauf im Ökosystem verlangsamt.

### Bestandesvorräte

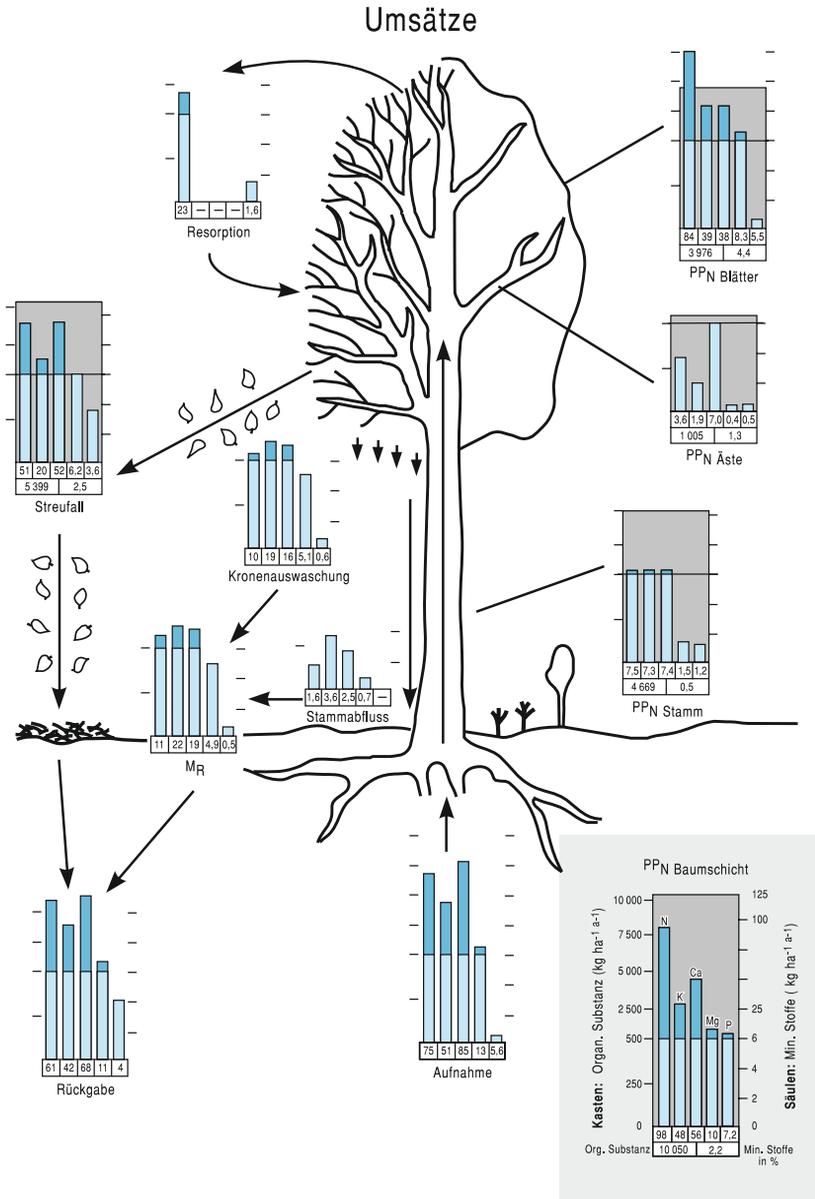


**Abb. 9.7a**

Stoffvorräte und -umsätze in sommergrünen Wäldern der Feuchten Mittelbreiten (Mittelwerte aus bis zu 14 Einzelbeständen in Europa und Nordamerika, berechnet und zusammengestellt aus Zahlen in COLE u. RAPP 1981). Die organischen Substanzen werden durch Kästen, die Mineralstoffe (N, K, Ca, Mg und P, jeweils in dieser Reihenfolge von links nach rechts) durch einzelne Säulen dargestellt. Die Maßstäbe verkleinern sich ab 150 kg (Mineralstoffe) und 12.500 kg (org. Substanzen) auf 1:5 und ab 600 kg und 50.000 kg auf 1:10. Die Bestandesvorräte der Baumschicht sind nicht gleich der Summe der Einzelvorräte, da für Äste und Stämme nur 12 Werte zur Mittelbildung verfügbar waren. Die Mineralstoffangaben zum Boden (Humus + KAK) beziehen sich auf Werte, die COLE u. RAPP in ihrer Arbeit jeweils für die soil-rooting zone nennen. Es ist unsicher, ob diese Werte tatsächlich in allen Fällen die Mineralstoffe sowohl der organischen Bodensubstanz als auch der austauschbaren Fraktion meinen.

Dieses Dokument wurde mit IP-Adresse 141.201.32.213 aus dem Netz der USEB UB Salzburg am 03.11.2018 um 14:09 Uhr heruntergeladen. Das Weitergeben und Kopieren dieses Dokuments ist nicht zulässig.

Dieses Dokument wurde mit IP-Adresse 141.201.32.213 aus dem Netz der USEB UB Salzburg am 03.11.2018 um 14:09 Uhr heruntergeladen. Das Weitergeben und Kopieren dieses Dokuments ist nicht zulässig.



**Abb. 9.7b**

Die Maßstäbe verkleinern sich ab 6 kg (Mineralstoffe) und 500 kg (org. Substanzen) auf 1:12,5. Mittelbildungen aus ungleichen Anzahlen von Einzelwerten (je nach Verfügbarkeit in den berücksichtigten Untersuchungen) erklären die (kleineren) Differenzen zwischen den Werten für  $PPN_{Baumschicht}$  und Rückgabe gegenüber den Summen, die sich aus den jeweiligen Einzelwerten ergeben.

jährlichen Primärproduktion von 8 bis 12 t etwa 80 bis 120 kg N (davon 60 bis 90 kg aus dem Boden, Rest aus den Blättern vor deren herbstlichem Abwurf) – gegenüber nur 20 bis 40 kg N von borealen Wäldern bei einer Produktion von 4 bis 8 t. Letztere vermögen daher selbst auf marginalen Standorten noch zu gedeihen.

### Mineralstoffrückführung

Sehr große Differenzen ergeben sich auch für die Mineralstoffrückführung. In den **sommergrünen Wäldern** haben, wie erwähnt, mineralreiche Blätter hohe Anteile am Streufall. Entsprechend hoch sind die Mengen der auf diesem Weg jährlich rückgeführten Mineralstoffe. Im Mittel der 14 Wälder umfassen die gesamten oberirdischen Abfälle (also einschließlich holziger Anteile)  $5,4 \text{ t ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$  mit einem mittleren Mineralstoffgehalt von 2,5%. Das heißt, allein durch **Streufall** werden jährlich pro Hektar 135 kg Mineralstoffe rückgeführt. Das sind gut 10% der oberirdischen Bestandesvorräte.

Zu den organischen Abfällen kommen nennenswerte Abgaben in mineralischer Form über **Kronenauswaschung**. Überschlüssig sind dies (bezogen auf die jeweiligen Aufnahmen) 10 bis 20% von Stickstoff und Phosphor, 30% von Calcium, 40% von Magnesium und sogar 60% von Kalium. Die Gesamtmenge beläuft sich auf rund 50 kg oder ein Viertel der gesamten Mineralstoffrückführung.

Dies erklärt, dass jährlich über 80% der aufgenommenen Nährstoffe rückgeführt werden, obwohl der Streufall während dieser Zeitspanne nur 54% der  $\text{PP}_{\text{N-Baumschicht}}$  ausmacht.

### Streuzersetzung und Freisetzung von Mineralstoffen

Der hohe Streufall führt in den sommergrünen Laubwäldern zu einer geschlossenen **Streuauflage** (deren Masse im Beispiel  $21,6 \text{ t ha}^{-1}$  beträgt), doch bleibt diese geringmächtig (nur wenige Zentimeter), da die **anfallende Streu** innerhalb weniger Jahre zersetzt wird. Genau umgekehrt zeigt sich das Ökosystem des borealen Nadelwaldes: Der dort sehr viel geringeren Streuanlieferung stehen, da Zersetzungs Vorgänge deutlich langsamer ablaufen, mehrfach höhere Streuaufgaben gegenüber. Die in den Streuschichten jeweils enthaltenen Mineralstoffmengen verhalten sich allerdings weniger gegensätzlich, da die laubreiche Streu in den Feuchten Mittelbreiten viel mineralhaltiger ist (3,2% gegenüber gut 1% der Nadelstreu) und damit das Defizit an Menge ausgleicht.

Unter der Annahme eines dynamischen Gleichgewichtes (es wird ebensoviel Streu zersetzt wie anfällt) errechnet sich für die Streu der Laubwälder eine mittlere **Umsatzdauer** von 4 Jahren, für die der Nadelwälder von rund 350 Jahren. Im Einzelfall ergeben sich allerdings erheblich hiervon abweichende Zersetzungszeiten, je nachdem wie groß die toten Bestandteile sind, welche stoffliche Zusammensetzung sie aufweisen (d.h. auch von welcher Pflanzenart sie herrühren) und

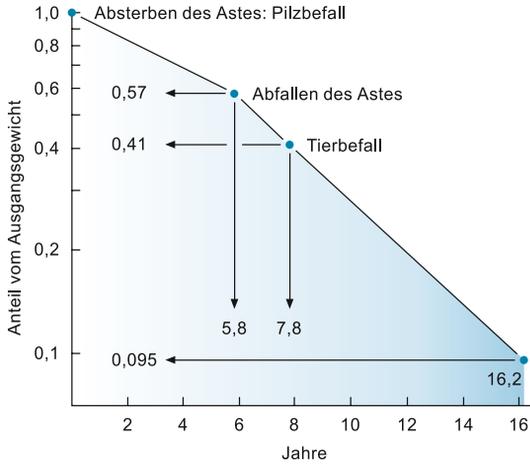


Abb. 9.8

Zersetzungsdauer von Astholz (>2 cm Durchmesser). Nach den Untersuchungen von SWIFT et al. (1976) in einem englischen sommergrünen Wald (Meathop Wood) aus Eichen, Eschen, Birken und Haselsträuchern dauert der Abbau von Astholz 16 Jahre. In den knapp sechs Jahren, die zwischen Absterben eines Astes und seinem Abfallen vergehen, werden bereits 40% der Holzmasse durch Pilze abgebaut. Dies entspricht einer jährlichen Verlustrate von 8,4%. Auf dem Waldboden beschleunigt sich dann die Zersetzung auf 17,1%  $a^{-1}$ , woran vermehrt holzbohrende Insekten beteiligt sind.

wo sie sich befinden (an der Bodenoberfläche oder  $\pm$  tief im Boden). So dauert die Zersetzung von *Grobstreu* verständlicherweise länger als die von *Feinstreu* (Abb. 9.8).

Für die **Zersetzung von Laubblättern** sind, je nach Baumart, nur anderthalb bis drei Jahre anzusetzen. In Mitteleuropa steigt die Zersetzungsdauer in der folgenden Reihenfolge an: Erle, Ulme < Hainbuche < Linde < Ahorn < Esche, Birke < Buche, Eiche.

An der **Zersetzung** der organischen Bodensubstanzen (Streu und A-Horizont) haben Pilze und Bakterien den weitaus größten Anteil. Gemessen an ihrem Beitrag zum Atmungskohlendioxid des Edaphons erreicht dieser mehr als 90%. Nur unwesentlich niedriger ist ihr Anteil an der Biomasse des Edaphons. Die verbleibenden knapp 10% der Bodenatmung verteilen sich etwa hälftig auf Regenwürmer und übrige.

## Zusammenfassung

Aus dem Gesagten ergibt sich als **Ergebnis** (Abb. 9.9):

- Die Laubwälder der Feuchten Mittelbreiten haben einen kurzen, aber umsatzstarken Mineralstoffkreislauf: Die Nährstoffaufnahme im Frühling und Sommer ist hoch, der größte Teil davon wird bereits im nachfolgenden Herbst mit dem Blattfall zum Boden rückgeführt und aus der Streu (im Mittel einschließlich holziger Bestandteile) innerhalb von vier Jahren freigesetzt.
- Die Nadelwälder der Borealen Zone haben hingegen einen langen Mineralstoffkreislauf auf niedrigem Niveau: Der Bedarf für die  $PP_N$  ist gering, da die (relativ zum Holz) mineralstoffreichen Nadeln vieljährig und die jährlichen Mineralstoffverluste demzufolge klein sind; andererseits braucht die Freisetzung der Mineralstoffe aus den organischen Substanzen wesentlich länger; Engpässe in

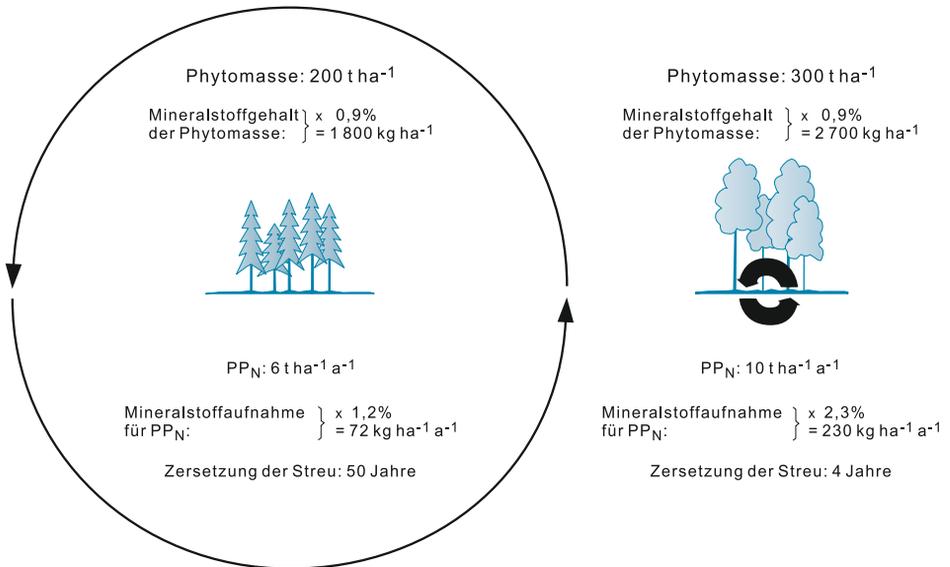


Abb. 9.9

Schema der Mineralstoffkreisläufe in sommergrünen Laubwäldern der Feuchten Mittelbreiten und in Nadelwäldern der Borealen Zone. Die Mineralstoffgehalte der Phytomassen sind in beiden Waldformationen prozentual ähnlich, jedoch absolut in den Laubwäldern aufgrund der bei ihnen höheren Phytomassen größer. Auffälligerer Unterschied ist, dass in den sommergrünen Laubwäldern Aufnahme, Bedarf und Rückgabe von Mineralstoffen wesentlich höher und die Zersetzung der Streu viel kürzer als in den borealen Nadelwäldern sind. In der Abbildung wurde ein dynamisches Gleichgewicht angenommen, bei dem mengenmäßig die PP<sub>N</sub> gleich den Abfällen und die Mineralstoffaufnahme gleich der Mineralstoffabgabe ist.

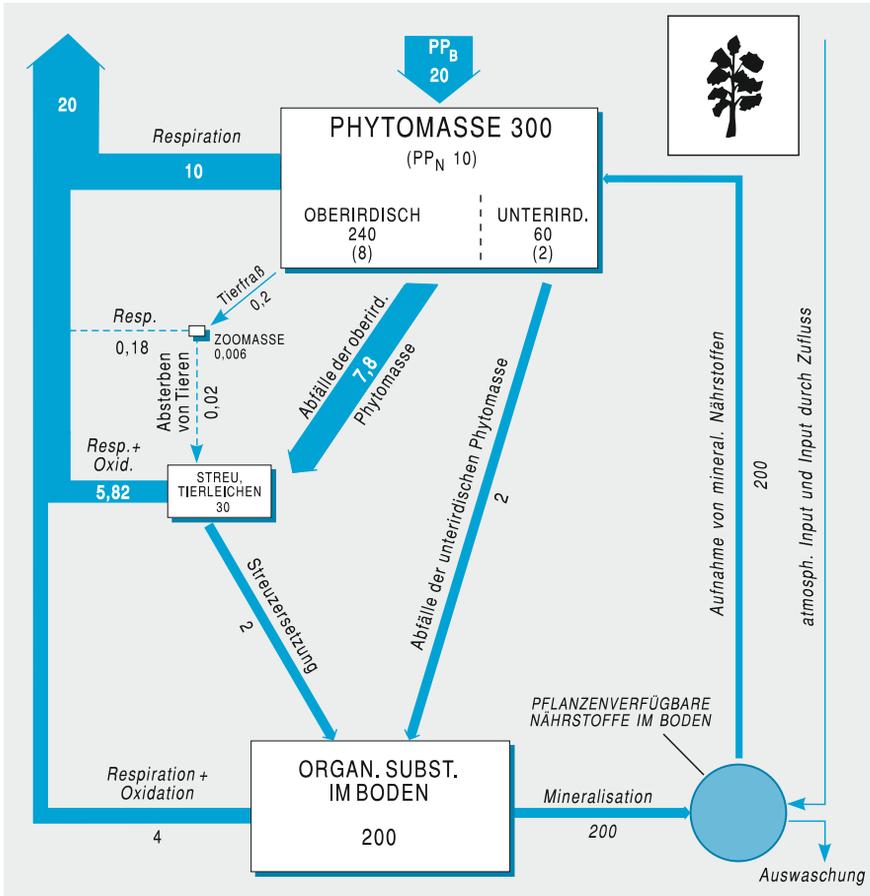
der Nährstoffversorgung treten daher eher in der Borealen Zone auf als unter den anspruchsvolleren Laubbäumen der Feuchten Mittelbreiten.

### 9.5.5 Ökosystem-Modell eines sommergrünen Laubwaldes

Das Ökosystem-Modell der Abb. 9.10 beschreibt die für einen sommergrünen Laubwald der Feuchten Mittelbreiten (unter steady-state-Bedingungen) charakteristischen Bestandesvorräte und -umsätze nach dem Schema, das bereits für die beiden vorstehend beschriebenen Ökozonen verwendet worden ist.

Im Vergleich mit dem Ökosystem der borealen Wälder fällt auf, dass

- die Streuauflagen sehr viel geringer sind (es fehlen die für jene typischen mächtigen Rohhumusauflagen),
- der Humusgehalt der Böden aber erheblich höher liegt (und außerdem von weit besserer Qualität ist); und
- die Phytomasse deutlich mehr als die Hälfte der gesamten organischen Substanz des Systems ausmacht (in borealen Wäldern überwiegt die tote organische Substanz).



**Abb. 9.10**  
 Vereinfachtes Ökosystem-Modell eines sommergrünen Laubwaldes der Feuchten Mittelbreiten (zusammengestellt nach Zahlenangaben von DUVIGNEAUD 1971, ELLENBERG et al. 1986, JAKUCS 1985, REICHLÉ 1970). Zum Modellschema siehe Kap. 5.2.

### 9.6 Landnutzung

In den Feuchten Mittelbreiten leben weit mehr Menschen, als deren Flächenanteil entspricht: Von den großen **Dichtezentren der Menschheit**, nämlich (1) Europa, (2) östliche USA sowie (3) Südost- und Ostasien liegen die beiden ersteren weitgehend, das dritte mit größeren Teilgebieten Japans, Koreas und Chinas innerhalb ihrer Verbreitungsgrenzen.

Dies macht verständlich, dass die Umgestaltung der Natur hier tiefgreifender und umfassender erfolgt ist als in den meisten anderen Ökozonen. So wurden die Moore und Talauen zum größten Teil trockengelegt und in Grün- oder Ackerland überführt. Und die noch erhaltenen Waldflächen sind gewöhnlich an ungünstige Bodenverhältnisse oder steile Hangneigungen geknüpft und zu Nutz-

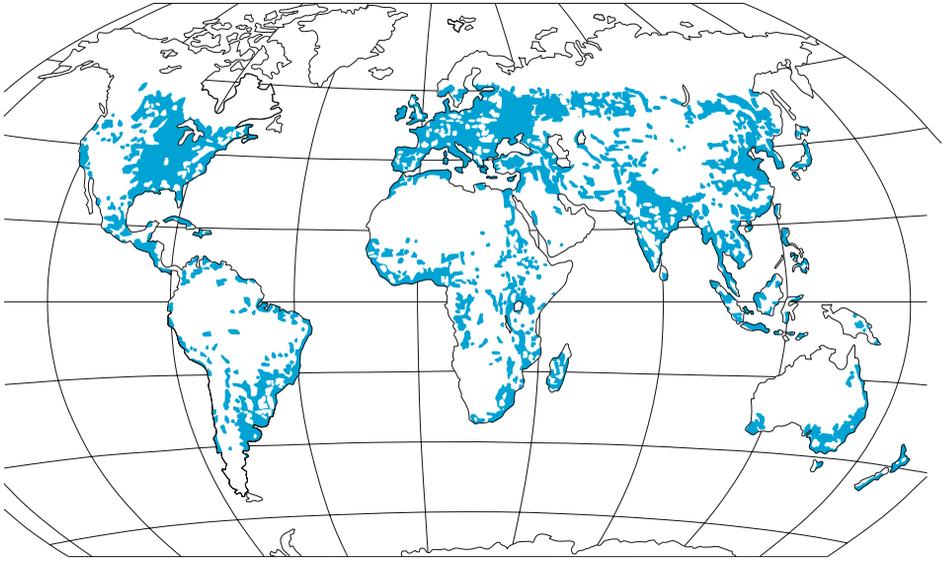
forsten umgestaltet worden. Die scharfen, gradlinig gezogenen Abgrenzungen zwischen offenen Kulturlflächen und Wäldern sowie die zumeist rechtwinkligen, häufig engmaschigen Fluraufteilungen gehören heute zu den auffälligsten Merkmalen dieser Zone – wie bei jedem längeren Flug, der eine vergleichende Betrachtung mehrerer Ökozonen erlaubt, leicht zu erkennen ist.

Die Feuchten Mittelbreiten umfassen nicht nur die bevölkerungsreichsten, sondern auch die **wirtschaftlich höchst entwickelten Erdräume**. Dies zeigt sich u.a. im weit über dem Weltdurchschnitt liegenden hohen Lebensstandard, Verstädterungsgrad, Erwerbstätigenanteil im Dienstleistungssektor, industriellen Entwicklungsstand und Verflechtungsgrad mit dem Welthandel.

Dem hohen Entwicklungsstand entspricht, dass Anthrosole und Technosole weit häufiger an die Stelle der natürlichen Böden treten als in jeder der anderen Ökozonen. Eine weitere (ökologische) Kehrseite liegt im (in Relation zum Bevölkerungsanteil) überproportional hohen Rohstoff- und Energieverbrauch sowie im übergroßen Anfall von Abfallstoffen. Die daraus für die Zukunft erwachsenden Probleme und Gefahren sind inzwischen ins Bewusstsein breiter Bevölkerungsschichten der betroffenen Industriestaaten gerückt und dort zum Thema engagierter politisch-gesellschaftlicher Diskussionen und Aktionen geworden. Die dabei vorrangig ins Auge gefassten/verfolgten Abwehrstrategien richten sich auf das Recycling von Abfallprodukten, die Absenkung des Energieeinsatzes (jedenfalls im Verhältnis zum Wirtschaftswachstum), Luftreinhaltung und die Verminderung von CO<sub>2</sub>-Emissionen.

Die **agrare Nutzung** wird begünstigt durch vorteilhafte Wärmebedingungen und Regenverlässlichkeit während einer ausreichend langen Vegetationsperiode sowie durch vergleichsweise fruchtbare Böden, oder wenigstens solche, deren Ertragsfähigkeit sich durch Düngergaben erheblich steigern lässt (bei Umbrisolen durch Kalkung). Das natürliche Potential für eine agrare Nutzung kann dementsprechend als hoch eingestuft werden. Entsprechend hoch liegen die Flächenanteile, die einer pflanzenbaulichen Nutzung zugeführt worden sind (Abb. 9.11). Diese wird meist in Form einer *intensiven gemischten Landwirtschaft* oder einer *intensiven Grünlandwirtschaft* betrieben.

**Intensive gemischte Landwirtschaft.** Die Bewirtschaftung erfolgt in den meisten Gebieten durch kleine oder mittelgroße (häufig Familien-)Betriebe mit hoher Arbeits- und Kapitalintensität sowie hoher Flächenproduktivität. Vorherrschend sind Getreide-, Hackfrucht- und Futterbau in Kombination mit Viehhaltung. Ackerbau und Viehhaltung sind betrieblich eng integriert (so dient der Anbau beispielsweise auch zur Futtererzeugung für das betriebseigene Vieh). Die Zahl der genutzten Tier- und Pflanzenarten ist, jedenfalls in Bezug auf den Gesamttraum, groß.

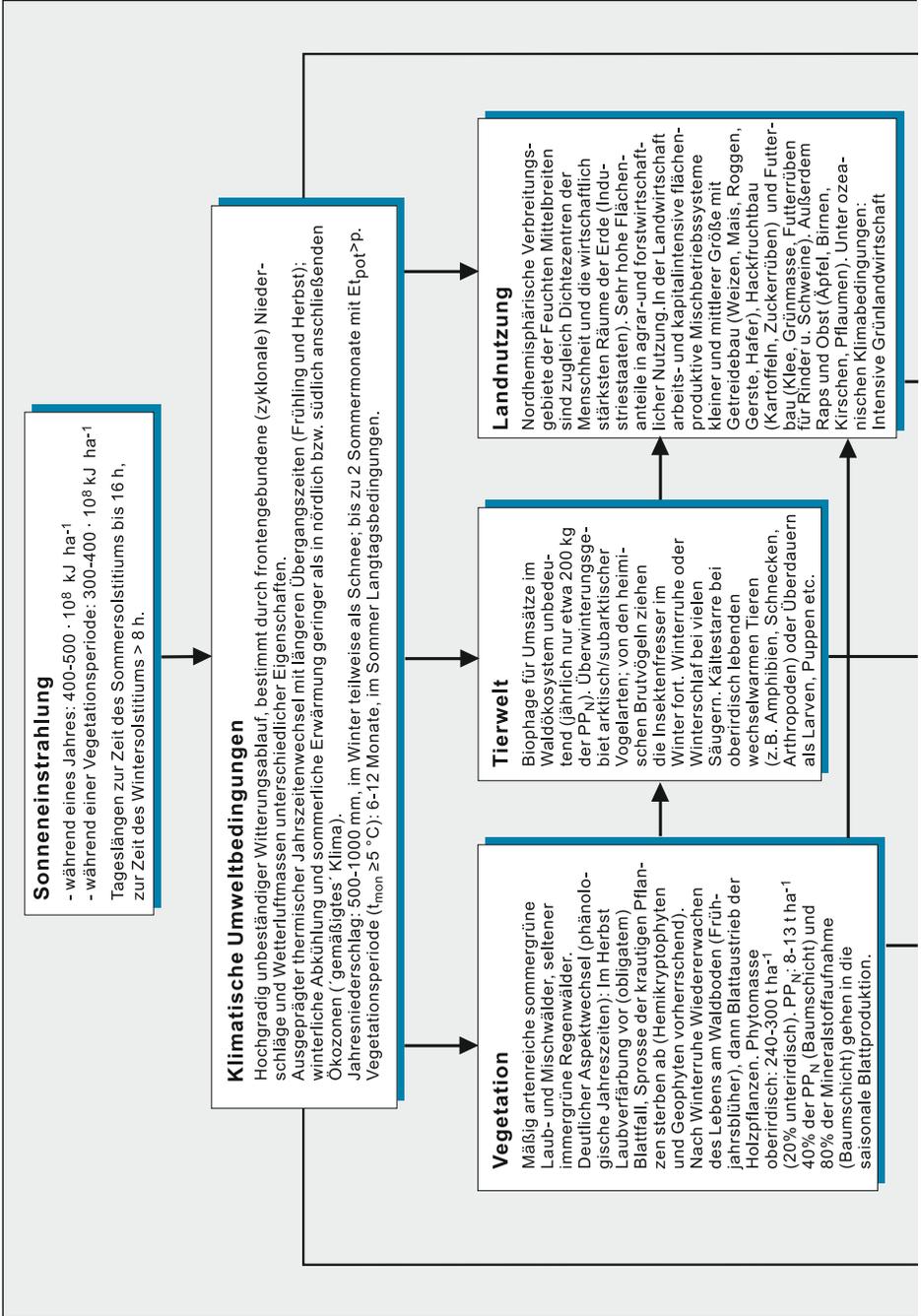
**Abb. 9.11**

*Globale Verbreitung von pflanzenbaulich genutzten Flächen (Feld- und Dauerkulturen, Grünland) (CRAMER u. SOLOMON 1993). Die Verbreitung konzentriert sich auf relativ kleine Anteile des Festlandes. Diese umfassen fast die gesamten Feuchten Mittelbreiten, Immerfeuchten Subtropen und Steppen der Trockenen Mittelbreiten. Weitere Schwerpunkte finden sich in einigen Teilgebieten der beiden tropischen Ökozonen, beispielsweise in SE-Asien (dort meist Bewässerungsreisbau).*

Die häufigsten *Getreidearten* sind Weizen, Roggen, Gerste, Hafer und – seit wenigen Jahrzehnten – auch Körnermais. Zu den häufigen *Hackfrüchten* gehören Kartoffel, Feldgemüse, Zuckerrübe und Futterrübe. Weit verbreitet ist auch Raps. Der *Futterbau* umfasst Klee, Luzerne und Grünmasse. Dauerkulturen treten im Unterschied zur Borealen Zone zwar auf, sind aber im Vergleich zu den äquatorwärts benachbarten Winterfeuchten und Immerfeuchten Subtropen von untergeordneter Bedeutung. An *Obstsorten* haben Äpfel, Kirschen, Birnen und Pflaumen, an Beerenfrüchten Erdbeeren und Himbeeren eine gewisse Verbreitung. In wärmeren Regionen besteht Weinbau.

Moderne Veränderungen haben vielerorts zu größeren Betriebs-einheiten und einer Spezialisierung der Betriebszweige geführt. Damit kommt es zu einer Annäherung an die *spezialisierte großbetriebliche Ackerwirtschaft*, wie sie weithin für die Immerfeuchten Subtropen und einige Gebiete in den Sommerfeuchten Tropen charakteristisch ist. Als auffälliger Unterschied verbleibt freilich, dass im ersten Fall temperate, im zweiten Fall aber tropisch/subtropische Nutzpflanzen angebaut werden. Lediglich der Maisanbau ist zonenübergreifend.

**Intensive Grünlandwirtschaft** findet sich in Küstengebieten und Höhenstufen einiger Bergländer, wo kühlfeuchte Klimabedingungen den Graswuchs begünstigen. Meist handelt es sich um Milchviehhaltung oder Rindermast (seltener um Schafhaltung) auf der Grundfutterbasis von Dauergrünland. Durch intensive Bewirtschaftung (u.a. Düngung, Einsatz wertvoller Futtergräser und Kleearten, Drainage) wird die Menge und Güte des Futterertrages meist so weit gesteigert, dass Tragfähigkeiten von 2 bis 3 GVE ha<sup>-1</sup> erreicht



Dieses Dokument wurde mit IP-Adresse 141.201.32.213 aus dem Netz der USEB UB Salzburg am 03.11.2018 um 14:09 Uhr heruntergeladen. Das Weitergeben und Kopieren dieses Dokuments ist nicht zulässig.

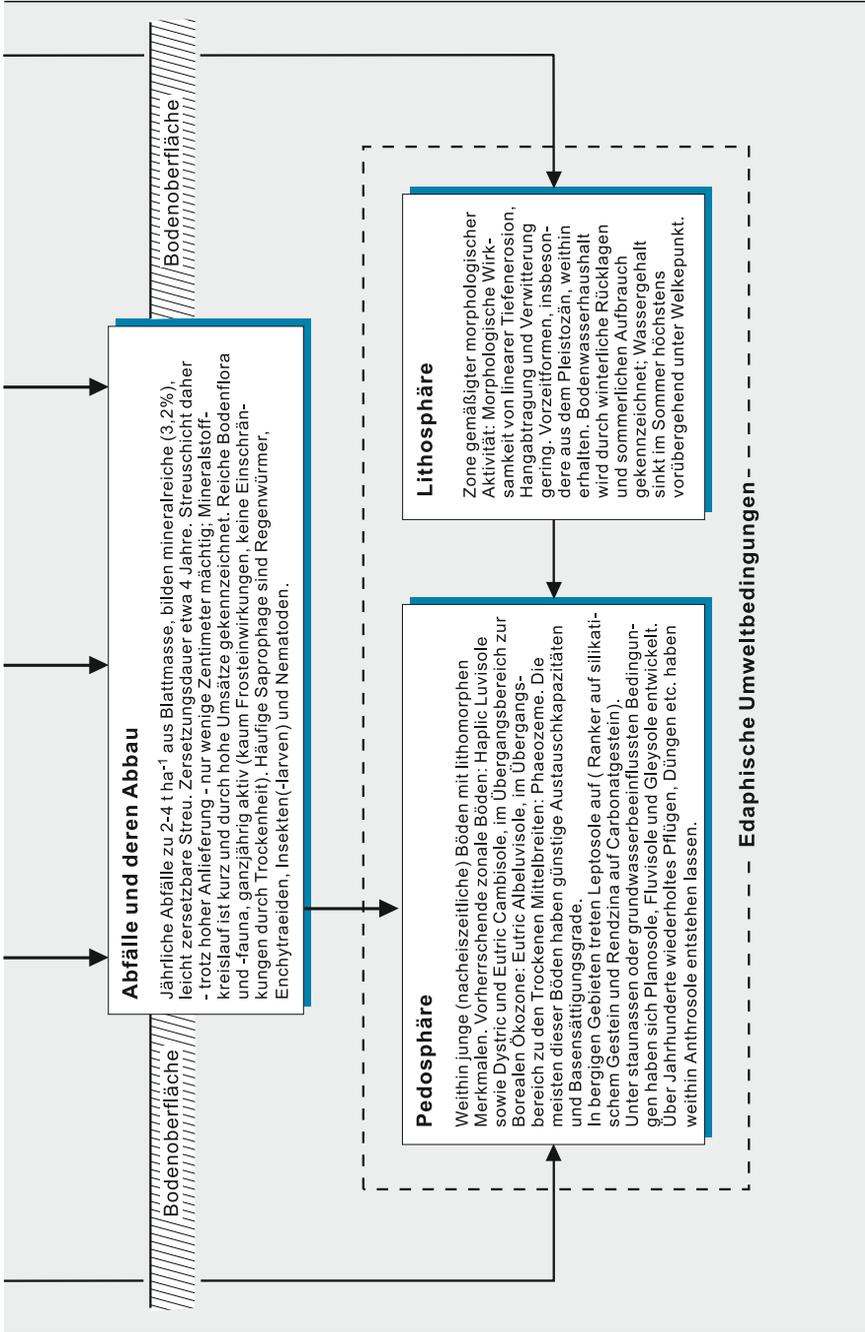


Abb. 9.12 Zusammenfassendes Schaubild der Feuchten Mittelbreiten.

werden. Die Nutzung erfolgt entweder als Weide oder als Wiese (zur Heugewinnung bei Stallhaltung).

Eine ähnlich intensive Viehwirtschaft hat sich gebietsweise auch außerhalb der genannten graswüchsigen Klimate auf der Basis von silagefähigen Futterpflanzen entwickelt (z.B. Mais-Milchvieh-Gürtel in Nordamerika).

### Literatur zu Kap. 9

- ANDERSSON, F. A. (ed.) (2006): s. Lit. zu Kap. 8.
- COLE und RAPP (1981), s. Lit. zu Kap. 5.
- CRAMER, W. P. und SOLOMON, A. M. (1993): Climatic classification and future global redistribution of agricultural land. *Climate Research* 3, 97–110.
- DE ANGELIS et al. (1981), s. Lit. zu Kap. 5.
- DUVIGNEAUD (1971), s. Lit. zu Kap. 5.
- ELIÁŠ, P., KRATOCHVÍLOVÁ, I., JANOUŠ, D., MAREK, M. und MASAROVIČOVÁ, E. (1989): Stand microclimate and physiological activity of tree leaves in an oak-hornbeam forest. *Trees* 4, 227–233.
- ELLENBERG, H., MAYER, R. und SCHAUERMANN, J. (eds.) (1986): Ökosystemforschung. Ergebnisse des Sollingprojekts 1966–1986. Ulmer, Stuttgart, 507 S.
- FALINSKI, J. B. (1986): Vegetation dynamics in temperate lowland primeval forests. Ecological studies in Bialowieza forest. *Geobotany* 8. Dr. W. Junk, Dordrecht, 537 S.
- FRÄNZLE, O., KAPPEN, L., BLUME, H.-P. und DIERSSEN, K. (eds.) (2008): Ecosystem organization of a complex landscape. Long-term research in the Bornhöved Lake District, Germany. *Ecol. Studies* 202. Springer, Berlin, 392 S.
- GILLIAM, F. S. (2007): The ecological significance of the herbaceous layer in forest ecosystems. *BioScience* 57, 845–858.
- HOFMEISTER, B. (1985): Die gemäßigten Breiten. *Geographisches Seminar Zonal*. Westermann, Braunschweig, 216 S.
- JACOB, M., LEUSCHNER, C. und THOMAS, F. M. (2010): Productivity of temperate broad-leaved forest stands differing in tree species diversity. *Annals of Forest Science* 67, 503 (9pp).
- JAKUCS, P. (ed.) (1985): Ecology of an oak forest in Hungary. Akademiai Kiadó, Budapest, 545 S.
- LARCHER (1994, 2001), s. Lit. zu Kap. 5.
- LIKENS, G. E. und BORMANN, F. H. (1995): Biogeochemistry of a forested ecosystem. Springer, New York, 159 S.
- MORIN, X., FAHSE, L., SCHERER-LORENZEN, M. and BUGMANN, H. (2007): Tree species richness promotes productivity in temperate forests through strong complementarity between species. *Ecology Letters* 14, 1211–1219.
- NAKASHIZUKA, T. und MATSUMOTO, Y. (eds.) (2002): Diversity and interaction in a temperate forest community. Ogawa Forest Reserve of

- Japan. *Ecol. Studies* 158. Springer, Berlin, 319 S.
- VON OHEIMB, G., WESTPHAL, C., TEMPEL, H., HÄRDTLE, W. (2005): Structural pattern of a near-natural beech forest (*Fagus sylvatica*) (Serbahn, north-east Germany). *Forest Ecology and Management* 212, S 253–263.
- PRETZSCH, H. (2005): Diversity and Productivity in Forests: Evidence from Long-Term Experimental Plots. In Scherer-Lorenzen, M., Körner, C. and Schulze, E.-D. (eds), *Forest Diversity and Function: Temperate and Boreal Systems*, *Ecological Studies* 176, 41–64.
- REICHLÉ, D. E. (1970): Temperate forest ecosystems. *Ecol. Studies* 1. Springer, Berlin, 304 S.
- RÖHRIG, E. und ULRICH, B. (eds.) (1991): Temperate deciduous forests. *Ecosystems of the World* 7. Elsevier, Amsterdam, 635 S.
- SCHERER-LORENZEN, M. et al. (2005): s. Lit zu Kap. 8.
- SCHNOCK, G. (1971): Le bilan de l'eau dans l'écosystème forêt. Application à une chênaie mélangée de haute Belgique. In: DUVIGNEAUD, 41–47, s. Lit. zu Kap. 5.
- SCHULZE, E.-D. (ed.) (2000): Carbon and nitrogen cycling in European forest ecosystems. *Ecol. Studies* 142. Springer, Berlin, 500 S.
- SWIFT, M. J., HEALEY, I. N., HIBBERD, J. K., SYKES, J. M., BAMPOE, V. und NESBITT, M. E. (1976): The decomposition of branch-wood in the canopy and floor of a mixed deciduous woodland. *Oecologia* 26, 139–149.
- TENHUNEN, J. D., LENZ, R. und HANTSCHHEL, R. (eds.) (2001): Ecosystem approaches to landscape management in Central Europe. A contribution to the IGBP. *Ecol. Studies* 147. Springer, Berlin, 652 S.
- VALENTINI, R. (ed.) (2003): Fluxes of carbon, water and energy of European forests. *Ecol. Studies* 163. Springer, Berlin, 270 S.
- WALTER und BRECKLE (1983), s. Lit. zu Kap. Allg. Teil.
- WHITTAKER, R. H. (1970): *Communities and ecosystems*. Macmillan, London, 162 S.
- ZHANG, Y., CHEN, N. Y. H. UND REICH, P. B. (2012): Forest productivity increases with evenness, species richness and trait variation: a global meta-analysis. *Journal of Ecology* 100, 742–749.

## 10 Trockene Mittelbreiten

### 10.1 Verbreitung und subzonale Differenzierung, allgemeine Merkmale von Trockengebieten

Die Trockengebiete der Erde umfassen insgesamt knapp ein Drittel des Festlandes. Davon liegen weit über die Hälfte in den warmen Klimazonen (überwiegend zwischen 15 und 35° auf beiden Hemisphären), gehören also zu den *Tropisch/subtropischen Trockengebieten* (Kap. 13).

Die *Trockenen Mittelbreiten*, die in einigen Gebieten unmittelbar an die Tropisch/subtropischen Trockengebiete anschließen, reichen polwärts bis etwa 55°. Ihre größten Vorkommen liegen im kontinentalen Eurasien und Mittleren Westen von Nordamerika. Die Gesamtfläche aller Vorkommen beläuft sich auf 16,5 Mio. km<sup>2</sup> oder 11,1 % des Festlandes der Erde (Abb. 10.1).

Die **Abgrenzung zu den Nachbarzonen kann über klimatische Richtwerte** beschrieben werden. So wird die Grenze zu den außertropischen Nachbarzonen – also zu den Feuchten Mittelbreiten und zur Borealen Zone – dort erreicht, wo in der für das Pflanzenwachstum ausreichend warmen Jahreszeit (alle Monate mit  $t_{\text{mon}} \geq 5 \text{ °C}$ ) über 200 mm Regen fallen und mehr als 4 Monate humid sind. Thermische Grenzkriterien gelten dort, wo unmittelbar Tropisch/subtropische Trockengebiete anschließen, wie zwischen Turan und Iran, zwischen dem Mittleren Westen der USA und Mexiko sowie zwischen Ostpatagonien und der Pampa: Die Tropisch/subtropischen Trockengebiete beginnen jeweils dort, wo (a) die winterliche Abkühlung so gering wird, dass thermische Restriktionen für den Pflanzenwuchs entfallen, d.h. wo die Mitteltemperatur des kältesten Monats nicht mehr unter +5 °C absinkt (in den Trockenen Mittelbreiten wenigstens 1 Monat mit  $t_{\text{mon}} < 5 \text{ °C}$ ) und (b) die sommerliche Erwärmung im Mittel in mindestens 5 Monaten +18 °C überschreitet.

Im Inneren gliedern sich die Trockenen Mittelbreiten nach den Ariditätsgraden, den daran angepassten Pflanzenformationen, den Böden sowie den agraren Nutzungsformen und Nutzungspotentialen in mehrere **auffällige unterschiedliche Teilräume**: Fallen während der *Vegetationsperiode* mindestens 100 mm Niederschlag und sind dann 2 bis 4 Monate humid, so kommen (oder kamen ursprünglich) **Step-**