

Zeitschrift: Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen = Swiss forestry journal = Journal forestier suisse
Herausgeber: Schweizerischer Forstverein
Band: 119 (1968)
Heft: 4-5

Artikel: Wald und Umwelt : die Rolle des Waldes für die Landschaftsökologie
Autor: Klötzli, F.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-765565>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 20.02.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Wald und Umwelt

Die Rolle des Waldes für die Landschaftsökologie

Von F. Klötzli, Zürich *

Oxf. 907

A. Einführung

Probleme um die Rolle des Waldes für die Landschaftsökologie sind so vielfältig und verwickelt und die Lösung verschiedener Fragen so widersprüchlich, daß mit den vorliegenden Ausführungen kaum auch nur eine Übersicht über den Stand der Forschungen gegeben werden kann. Eine ausführliche Behandlung ist Stoff für ein Lehrbuch der Waldökologie.

Im folgenden wird versucht, offene Fragen aufzudecken und feste Tatsachen knapp darzulegen. Dabei können die einzelnen Kapitel als Bibliographien für die verschiedenen Problemkreise dienen. Zur Entlastung des Textes werden die wichtigsten Literaturhinweise nur in Form von Nummern gegeben.

Der Wald ist ein schwer überschaubares Ökosystem (160, 161), das in einem extrem komplexen Gleichgewicht mit Klima, Boden und Fauna steht (vgl. Tabelle 1 im Anhang; z. B. 123). Seine Grenze findet der Wald dort, wo in der Vegetationsperiode ein lebenswichtiger Standortsfaktor unter das Minimum sinkt oder über das Maximum steigt; wir sprechen von Nässe-, Trockenheits- oder «Kälte»-Grenze des Waldes. Die Kältengrenze ist freilich nur in wenigen Fällen eine echte Kältengrenze. Die polaren Waldgrenzen werden vielmehr durch das Zusammenwirken von sommerlichen und winterlichen Bedingungen gebildet. Ist die Vegetationsperiode zu kurz, dann reifen die Knospen nicht aus; an wärmeren Wintertagen besteht die Gefahr der Frosttrocknis, wenn die Pflanze bei gefrorenem Boden zu transpirieren beginnt (68, 74).

Die alpine Waldgrenze stellt sich dort ein, wo die Sommerwärme nicht genügt, um Substanzverluste (durch Atmung) des Winters wettzumachen (245; 66: S. 507).

Zur Übersicht sind die charakteristischen Eigenschaften der hier besprochenen Waldformationen in Tabelle 2 (s. Tabellen 2a bis c im Anhang) zusammengestellt (223; 261: z. B. S. 245; 18: z. B. S. 485; 69; 214b. Verbreitungskarte der wichtigsten Formationen s. z. B. 123, 223, 261; vgl. auch den Querschnitt durch den idealisierten Kontinent bei 234).

Am Anfang der Ausführungen stehen die wichtigsten Zusammenhänge von Licht und Wärme in ihrer Wirkung auf Wald und Freiland und die Beeinflussung dieser Faktoren durch Pflanzenbestände. Denn nur mit diesen Grundlagen können Stoffproduktion, Wasserhaushalt und Nährstoffzyklus des Waldes und damit die Rolle des Waldes im Landschaftshaushalt ver-

* Geobotan. Institut, ETH, Stiftung Rübel.

standen werden.¹ (Die Einteilung der Abschnitte erhellt sich aus Tabelle 1 in Anlehnung an 251.)

B. Energetische Faktoren: Strahlung in der Landschaft

Jedes Jahr gelangen $9 \cdot 10^9$ kcal solare Energie auf den Hektar Erdoberfläche. Von dieser Energiemenge werden in Mitteleuropa durchschnittlich 74% in Wärme umgewandelt (z. B. Verlust durch Transpiration), 10% werden reflektiert (vgl. Tabelle 3 im Anhang), 15% werden für die Boden- und Bestandeserwärmung verwendet und nur 1% (s. Abschnitt B. 2.) werden in der Photosynthese aufgebraucht (58). Von der am Tag erfolgten Einstrahlung werden 3% für die Erwärmung der Pflanzen, 0,5% für die Erwärmung der Luft im Bestandesraum, 31% für diejenige oberhalb des Bestandesraumes und 63% für Evaporation aufgewendet (2,5% allgemeine Erwärmung; s. 12; 220: S. 123; Beispiel: Fichtenstangenholz bei München). Die Abstrahlung während der Nacht beträgt nur etwa $\frac{1}{20}$ der Einstrahlung, wobei $\frac{1}{3}$ durch den Boden, rund $\frac{2}{3}$ durch den Bestand und nur etwa $\frac{1}{30}$ durch die Luft abgestrahlt werden. Durch Taufall werden wieder $\frac{1}{4}$ dieses nächtlichen Strahlungsumsatzes gewonnen.

1. Licht in Pflanzenbeständen

Die vom Bestand absorbierte Globalstrahlung (meist kurzwellige Strahlung) löst eine intensive Emission von Temperaturstrahlung aus (s. 220: S. 93; 12; 140). Gegenüber dem Freiland entsteht in Wäldern ein Mehrbetrag an Infrarotstrahlung, weil die Intensität der zum Boden gerichteten Temperaturstrahlung der Pflanzen die aus dem oberen Bestandesraum kommende Gegenstrahlung übertrifft («Transformation der Wellenlängen»).

Beim Eindringen in den Bestand wird das sichtbare Licht spektral verändert, namentlich durch die Laubhölzer. Die Intensität des Grün- und vor allem des Infrarotbereichs (um $1,0 \mu$) nimmt weniger stark ab als die kurzwelligen Bereiche einerseits und des Bereiches um $0,6 \mu$ andererseits («Grün-IR-Schatten»; vgl. 220; 53: S. 208, 223). Das Nebenmaximum im Grün tritt allerdings lediglich bei wolkenlosem Himmel deutlich hervor. Unmittelbar nach dem Laubaustrieb prägt sich das Maximum im Bereiche $> 0,7 \mu$ aus. Ganz allgemein hängt der Jahresgang der Lichtintensität in den verschiedenen Bereichen vom Blattzustand ab (59; 53: S. 217, 241; vgl. auch 219, Laubbaum-Föhren-Mischbestand, Max. bei $0,8 \mu$; Verflachung der Intensitätsabweichungen bei Fichte und Tanne; 220: S. 99). Ein absolutes Intensitätsmaximum wird in Laubwäldern von März bis Mai erreicht (3). Die Abhängigkeit des Bestandeslichts von der Jahreszeit zeigt Tabelle 4 (s. Anhang).

In tropischen Regenwäldern Nigerias wurde beobachtet, daß die spektralen Anteile des durchfallenden Lichts im Bereich $> 0,6 \mu$ 45,3%, zwischen $0,47$ und $0,59 \mu$ 22,4%

¹ Zusammenfassende Darstellung für die Schweiz s. u. a. 81, 104, 123.

und bei 0,32 bis 0,47 μ nur 7,6% betragen; also besteht auch in dieser Formation ein Nebenmaximum im Grün (73 a; 208: S. 178). Freilich kann der Grünschatten fast ganz verschwinden, weil das Licht an Ästen und toten Stämmen reflektiert wird (28 b).

Neben der direkten Strahlung besteht ein Großteil des Bestandeslichts aus diffuser Zustrahlung. Diese stammt aus dem durch den Bestand modifizierten kurzwelligen Anteil (53: S. 212, 241), der namentlich in tropischen Regenwäldern vielfach an glänzenden Blättern reflektiert wird.

Schon der obere Kronenraum der Laubhölzer absorbiert viel Licht, und zwar in Abhängigkeit von Baumart, Bestandescharakter und Alter (80: S. 313 f.; Tabelle 5, 6 im Anhang). Bei den spitzkronigen Nadelhölzern ist das Lichtgefälle bis zur halben Baumhöhe nur gering (220: S. 106; 52; 53: S. 232). Die Intensität nimmt dann je nach Bestandaufbau kontinuierlich ab bis zur Krautschicht. Auch in den relativ lichten Föhrenbeständen ist die Strahlungsdurchlässigkeit recht gering, weil der Kronenraum stark gestaffelt ist; eine gute Korrelation zeigt sich zwischen Stammdichte und Einstrahlung im Bestand (140).

Tabelle 5 (s. Anhang) gibt Auskunft über die von verschiedenen Autoren gefundenen durchschnittlichen relativen Helligkeiten im Stammraum ausgewachsener Bestände. In unsern Laub- und Nadelwäldern dürfen wir mit Werten von 2 bis 5% der Freilandhelligkeit rechnen, Werten, die für die Entwicklung einer dichten Krautschicht meist ausreichen (s. u.).

Wie sich aus Tabelle 7 (s. Anhang) ergibt, ist die Lichtintensität gegenüber dem Freiland bald bei bedecktem, bald bei blauem Himmel relativ größer gemessen worden, was zum Teil wohl auf meßtechnische Schwierigkeiten zurückzuführen ist. Auf jeden Fall ist an sonnigen Tagen ein geringerer Relativwert für die diffuse Zustrahlung anzunehmen. Bei schönem Wetter gelangt mehr kurzwellige Strahlung auf das Kronendach. Diese Strahlung wird stärker absorbiert und damit ist die Helligkeit im Bestand relativ geringer als bei bedecktem Himmel (144 a).

Die Krautschicht eines Waldbestandes ist in ihrer Artenkombination und Individuenzahl sowie in der Massenentwicklung (Gewicht) auf die jeweilige durchschnittliche Bestandeshelligkeit eingestellt, gibt also ein getreues Abbild der Lichtverhältnisse im untersten Stammraum (64, 188, 253). Je mehr Licht, desto üppiger ist in der Regel die Krautschicht (vgl. auch 66: S. 74 f.). Lichtgrenzen des Vorkommens bestimmter Kräuter zeigt Tabelle 8 (s. Anhang). Dabei ist zu berücksichtigen, daß die Lichtgenußminima von der Wasserversorgung und vom pH-Wert abhängig sind. So braucht *Stellaria holostea* auf saurem Boden etwa zehnmal mehr Licht als auf neutralem (64; 66: S. 80; vgl. ferner 117 c: S. 15).

Verjüngungsfragen in Abhängigkeit von der Bestandeshelligkeit wurden schon um die Jahrhundertwende ausführlich beschrieben (43). Wie stark und wie unterschiedlich das Wachstum der Schatten- und Lichtbaumarten vom Lichtklima abhängig ist, ist zu bekannt, als daß hier näher darauf eingegangen werden müßte (vgl. z. B. 118, 126). Neuerdings wurden zum Beispiel die Grenzen der Ansamungsfähigkeit der Fichte untersucht, und zwar in Abhängigkeit von Standort und Lichtverhältnissen in Baum- und Krautschicht (137).

Die Auswirkungen von Strahlung, Temperatur, Boden und Wind auf die Hauptbaumarten an der Waldgrenze sind sehr verwickelt und können in einem Wind-Schnee-Ökogramm dargestellt werden (6).

Ganz ausgeprägt lichte Verhältnisse herrschen meist in den stark durch Feuer beeinflussten Waldbeständen, so in den meisten nordamerikanischen *Pinus*-Beständen, in Eukalyptuswäldern und vielen andern Hartlaubwäldern der Erde. Die üppig entwickelte Krautschicht wurde meist stark beweidet und brannte regelmäßig ab (vgl. Abschnitt F. 1.).

Grundlegend verändert wurde das Lichtklima eines Großteils der europäischen Tieflandwälder durch die Nieder- und Mittelwaldwirtschaft. Durch diese Bewirtschaftungsart wurden die sommergrünen Laubmischwälder frischer bis trockener Standorte in ihrer Artenzusammensetzung in der Baumschicht und durch Änderung des Lichtklimas in der Krautschicht umgewandelt (66: S. 42 f., 212 f.). So entstanden aus Buchen-Laubmischwäldern frischer Standorte (*Melico-Fagetum*, bzw. *Pulmonario-Fagetum*, auf Kalk) Eichen-Hagebuchen-Wälder, die physiognomisch vom echten *Quercus-Carpinetum* kaum abweichen. Aus Sauerhumus-Buchenwäldern (*Luzulo-Fagetum*) entwickelten sich Eichenwälder (z. B. *Fago-Quercetum*). In feuchten Laubmischwäldern wurde nur die Baumschicht umgewandelt (229).

Die Auswirkung von Beschattung und Streufall auf die mikrobielle Tätigkeit und den Humusgehalt, damit die Fruchtbarkeit der Waldböden, wird in Abschnitt D. 2 c behandelt.

2. Energieumsatz

In Wäldern Mitteleuropas wird durchschnittlich 1 % der auffallenden Energiemenge für die Photosynthese verwertet (s. Abschnitt B.; 58, 101, 232). Zwar gibt es von diesem Wert in Abhängigkeit von Zone und Höhenlage größere und kleinere Abweichungen, wie Tabelle 9 (s. Anhang) zeigt, aber bei Berücksichtigung der Länge der Vegetationsperiode sind die Abweichungen durchschnittlich sehr gering. Wird das für die Assimilation tatsächlich wirksame Licht (λ von $\sim 0,36$ bis $0,7 \mu$) berücksichtigt, so erhöht sich der Wert auf 3 bis 4 % (160, 161). Während der produktivsten Monate wird so bis knapp über 10 % umgesetzt (detaillierte Berechnungen s. 22 a).

Im allgemeinen sind die Nadelbäume photosynthetisch wirksamer als die Laubbäume, obwohl auch die Laubbäume außerhalb der Vegetationsperiode reduziert assimilieren können (74, 185).

Tropische Sonnenpflanzen assimilieren in der Regel erst unter wesentlich höheren Beleuchtungsstärken als Pflanzen Mitteleuropas, wobei unsere Schattenpflanzen bei noch geringeren Werten schon voll assimilieren. Der «halbe maximale Assimilationswert», also der Grenzwert, bei dem die Pflanze gerade die Hälfte der maximal möglichen Menge assimiliert, beträgt für Sonnenpflanzen 11 000 Lux und für unsere Sonnen- bzw. Schattenpflanzen 400 bis 1000 bzw. 150 bis 275 Lux. Viele unserer Waldbodenpflanzen kümmern nach dem Laubaustrieb; die Lichtverhältnisse liegen unter dem Kompensationspunkt, die Pflanze kann also nicht mehr assimilieren und ihre Stoffbilanz wird negativ (vgl. Einziehen der Frühlingsgeophyten; z. B. 220: S. 217 f.; 66: 25, 120 f., 219 ff.).² Sehr günstige Verhältnisse zeigen im Frühling die Hartlaubwälder der Winterregengebiete. An den

² Allerdings ist hier nicht nur der Lichtfaktor entscheidend, sondern auch die Bodentemperatur. Denn verschiedene Frühlingsgeophyten verlangen für ihr Gedeihen niedrigere Temperaturen.

warmen Tagen können sie ausgiebig assimilieren und erleiden in den kühlen Nächten nur geringe Atmungsverluste.

Größtenteils wandern die Energiegewinne der Waldökosysteme ins Holz. Freilich sind die Verluste durch Atmung (Durchschnitt Mitteleuropa 45 %, Tabelle 15 im Anhang) und Tierfraß beträchtlich, so daß die Energieakkumulation in der ganzen Holzmasse nur ungefähr 30 %, im Stammholz 20 % der durch Photosynthese umgesetzten Energie beträgt. Weitere Verluste entstehen durch Laubfall (16 %), Bildung von Früchten (1 %), Absterben von Wurzeln (3 %) und Rinde (3 %) usw. (s. 58). Eine maximale Energieumwandlung wird dazu noch gehemmt durch die Baumhöhe, die starke Überlappung der Kronen und die oft ungünstige Blattstellung zum Lichteinfall (185; Einzelheiten über die Energieverteilung in natürlichen Laubmischwäldern bzw. Föhrenkulturen s. 58, bzw. 182, maximale Nutzung der Strahlung zwischen 17 und 35 Jahren). Wir dürfen indessen festhalten: Im Vergleich mit landwirtschaftlichen Kulturen und andern Ökosystemen ist der Wald *ein wirksames photosynthetisches System* (Tabellen 9, 14 im Anhang).

3. Produktivität

Die jährliche Produktivität³ der Pflanzenformationen wird bestimmt durch die photosynthetisch aufgenommene Energie und hängt also in hohem Maße vom Lichtgenuß und von der assimilierenden Blattfläche (Tabelle 10 im Anhang) sowie von der Wasserversorgung ab. Immergrüne Wälder sind im allgemeinen produktiver, aber tropische Regenwälder sind höchstens zweieinhalbmal produktiver als Wälder der gemäßigten Zone; denn ihr Blattwerk wird schon wenig unterhalb des Wipfels so stark beschattet, daß nur geringe Mengen Assimilate in der Zeiteinheit aufgebaut werden können (vgl. Tabellen 11 bis 15, 18, 19 im Anhang). Zudem wird der Lichtgenuß in der äquatorialen Zone durch die starke Bewölkung eingeschränkt und liegt unter demjenigen sonnigerer Gebiete Mitteleuropas (28 c).

Größtenteils werden die Assimilate im Holzkörper oder in Reservestoffen angelegt. Es darf angenommen werden, daß die Trockensubstanzproduktion am Ende der Vegetationsperiode mit der totalen CO₂-Aufnahme korreliert ist (vgl. 106).

³ Produktivität: Maß für die Produktion an Biomasse.

Biomasse: Menge der Organismen im Ökosystem im Untersuchungszeitpunkt.

Primäre Produktivität: Maß für die Umwandlung der solaren Energie in organische Pflanzenmasse.

Brutto-I-Produktivität: Produkte der totalen Assimilation ohne Abzug der Atmungsverluste.

Netto-I-Produktivität: Faßbare Produkte der Photosynthese. Maß für Anhäufung organischer Substanz unter Abzug der Atmungsverluste.

Sekundäre Produktivität: Biomasse der durch die primären Produkte Ernährten + Biomasse der die primären Produkte Zersetzenden (58).

Methoden s. 156, 273, 276.

Die Atmungsverluste liegen in der gemäßigten Zone normalerweise um (25–) 50% (58, 199; Waldgrenze, Mitteleuropa 40%, nach 245), in tropischen und subtropischen Wäldern um 70% und sind ziemlich stark vom Alter des Bestandes abhängig (vgl. 147: max. Netto-Produktivität der Buche zwischen 20 und 40 Jahren; zusammengefaßte Aussagen bei 267, 107, 110). Das Verhältnis von Netto- zu Brutto-Produktivität beträgt mithin 1:1 bis 1:3 (128, 129). In Prozenten des oberirdischen Holztrockengewichts ausgedrückt, liegen die Atmungsverluste zwischen rund 4 und 13% pro Jahr und sind generell bei Laubbäumen höher (179).

Zwischen Brutto-Produktivität, Blattflächenindex und Länge der Vegetationsperiode besteht eine gute Korrelation (107), während die Alter/Laubmasse-Beziehungen parallel zur Brutto-Produktivität verlaufen (267).

Die erforderliche Laub- oder Nadelmenge zur Erzeugung von 1 m³ Holz hängt von Standort, Baumart und Bestandesaufbau ab.^{3a} So erzeugen die Nadeln des Plenterwaldes pro Gewichtseinheit weniger Zuwachs als die des gleichaltrigen Hochwaldes (32; Wirkung der Durchforstung s. auch z. B. bei 146; 117 c: S. 75 f., 86 f.). Die Wirksamkeit der Lichtabsorption durch Blätter ist nach der Formel von Beer-Lambert auf der ganzen Erde ungefähr gleich hoch (Licht-Extinktionskoeffizient $K \sim 0,4$). Somit hängt die Produktivität in erster Linie von der Summe des Lichtgenusses aller Blätter und von der Temperatur ab (110), mithin kann auch mit niederem Blattflächenindex bei guter Wasserversorgung eine recht hohe Produktivität erreicht werden (Tabelle 10).

Auf den Holzzuwachs fällt lediglich etwa $\frac{2}{3}$ der Netto-Produktivität (vgl. 145). Das Verhältnis von Blattmasse zu Holzmasse beträgt in unsern Breiten etwa 1:10–15, in wärmeren Gegenden etwa 1:40 (vgl. 162), das Verhältnis von Laub- und totaler Netto-Produktivität um 1:3,3 (24; vgl. auch Beziehungen zwischen Kronen- und Dickenwachstum der Föhre bei 7).

Weitere Verluste erfolgen durch den Fall toter Pflanzenteile, namentlich durch den Blattfall (vgl. 24, 145 und Tabelle 16 im Anhang), ferner durch den Verlust an Saugwurzeln, der bis 5% der totalen Netto-Produktivität ausmachen kann (164). Die Umsätze von pflanzlicher Substanz sind in tropischen Regenwäldern meist größer als in Wäldern der gemäßigten Zone. Zwar ist das Pflanzenvolumen nur eineinhalb- bis zweimal größer, aber die Laubproduktion ist zwei- bis achtmal (5 bis 20 t/ha), der Streufall durchschnittlich dreimal höher (6 bis 12 t/ha), während die Zersetzung der Streue fünf- bis zehnmal schneller erfolgt. Erstaunlicherweise ist die stehende pflanzliche Substanz nur etwa fünfmal so groß wie die jährlich wieder absterbende Menge. (Über Akkumulation von Rohhumus s. Abschnitt D. 2 II.)

In stabilen Waldgesellschaften scheint ein dynamisches Gleichgewicht zu herrschen zwischen der Zunahme an organischer Substanz und dem totalen

^{3a} Einfluß der Baumartenmischung auf die Stoffproduktion s. z. B. 117 c: S. 117 (Lit.), Wurzelkonkurrenz, S. 92 f.

Streuanfall, so daß keine effektive Zunahme an organischer Substanz erfolgt (121, 110, ferner 163).

Die größte stehende Biomasse (Tabelle 17 im Anhang) zeigen nicht die tropischen Regenwälder, sondern Nadelwälder der kühl-temperierten Zone: In *Tsuga dumosa*-Wäldern Ostnepals wurden zum Beispiel 400 t/ha gemessen (266 a; vgl. tropischer Regenwald in Siam nach 109, 110: 125 t/ha; *Eucalyptus marginata*-Bestände in Südostaustralien [215]: 400 m³/ha; 20jährige Plantagen von *Picea omorika* und *Sequoia sempervirens* in England [185, 97 c]: 200 bzw. 260 t/ha). Überhaupt sind die Erträge von Nadelwaldbeständen in der humiden gemäßigten Zone allgemein hoch, jedenfalls immer höher als die Erträge von Laubwäldern (173). Diese Tatsache ist unter anderem möglicherweise der tiefen Staffelung des Kronenraumes und der niedrigeren Albedo (Tabelle 3), verbunden mit dem dunkleren Grün der Nadeln sowie der Ausnützung der winterlichen Einstrahlung (74) zuzuschreiben (155 a).

Die Produktivität der Krautschicht hängt stark vom Lichtgenuß ab, deshalb auch vom Alter des Bestandes und kann zwischen 0 und 7 t/ha pro Jahr betragen (vgl. Tabelle 37 im Anhang), unter 20jährigen Föhren zum Beispiel 0,1 t, unter 55jährigen 2,7 t/ha/Jahr (172, 175, vgl. auch 146).

Wie ein Blick auf die Zusammenstellung in den Tabellen 18, 19 (s. Anhang) zeigt, sind die Wälder im allgemeinen produktiver als sogar gedüngte landwirtschaftliche Kulturen (vgl. 172; allerdings nicht in der tropischen Zone: Immergrüne Gräser haben vergleichsweise weniger Gewebe, das nicht assimiliert, als Baumarten. Ihre Atmungsverluste sind deshalb geringer und ihre Netto-Produktivität höher als bei Bäumen). Im Vergleich mit natürlichen terrestrischen Pflanzengesellschaften stehen sie weit an der Spitze (Tabellen 11, 13, 14). So ergab zum Beispiel die Aufforstung einer englischen Heide mit Weißerlen bzw. Douglasien eine Erhöhung der Trockengewichtsproduktion von 8,5 t bzw. 23,7 t/ha; landwirtschaftliche Kulturen erreichten auf demselben Standort 5 t/ha (172, 181).

Eine Übersicht über die Produktivität der Vegetationszonen der Erde vermitteln Tabellen 11 bis 14 (nach 58, 128, 129^{3b}). In derselben Zone ist der Chlorophyllgehalt je Quadratmeter in Wald, Wiese oder See ungefähr gleich groß (82).

4. Temperaturverhältnisse in Wäldern und andere bestandesklimatische Faktoren

(33, 180 zusammenfassende Angaben; vgl. Tabellen 20, 21 im Anhang.)

Gegenüber dem Freiland wird der Temperaturgang in Wäldern ohne Ausnahme gemäßig, das heißt die mittleren Tagesschwankungen unterhalb des Kronenraumes sind in Abhängigkeit von Baumart und Bestandes-

^{3b} S. auch 117 c: S. 214, vor allem für Weiden und trop. Grasländer.

aufbau geringer als im Freiland (vgl. auch 80: S. 384; 151). Wie langfristige Messungen in sommergrünen Laubwäldern (33) und tropischen Regenwäldern (36, 37) ergaben, ist es im ganzjährigen Mittel im Wald etwas kühler als im Freiland (vgl. auch 200: S. 82). Andererseits wirkt der Wald in schneebedeckten Gebirgen als Wärmequelle (33, 140).

Auch die Luftzirkulation ist in Wäldern reduziert. Damit wird bei gleichzeitig etwas höherer Luftfeuchtigkeit die Evaporation stark herabgesetzt (vgl. Abschnitt E. 1).

Der tägliche Temperaturgang zeigt im Vergleich zum Freiland einige Besonderheiten (80: S. 331; 12). Erst um die Mittagszeit gelangt der Wärmeaustausch zwischen dichtgewachsenem Bestand und Freiland in ein Gleichgewicht. Dann besteht auch der größte Temperaturunterschied zwischen oberem Kronenraum und Waldboden. Dieser Temperaturgradient nimmt am Nachmittag kontinuierlich ab, und um Mitternacht ist der geringste Unterschied festzustellen (z. B. sonniger Tag: Mittag $\Delta t = 6^\circ\text{C}$, Mitternacht $\Delta t = 1^\circ\text{C}$). In lichten Beständen, die rasch erwärmt, aber auch wieder abgekühlt werden, kann freilich eine Temperatur-Inversion auftreten, die 1 bis 5°C betragen kann. In sehr lichten Beständen (z. B. mit *Pinus*-Arten und bei höherem Alter des Bestandes) treten örtlich sehr große Temperaturdifferenzen und -schwankungen der bodenbenachbarten Luftschichten auf (vgl. z. B. 140). Parallel dazu verlaufen starke Schwankungen von Luftfeuchtigkeit und Beleuchtungsstärke, wie übrigens ganz allgemein in vergleichsweise kleinen Sonnenflecken (66: S. 75). Abweichungen finden sich auch in dichten tropischen Regenwäldern. Dort wird die kühlere Nachtluft meist durch die Bestandesstruktur am Einfließen gehindert (208: S. 164).

Mit waldbaulichen Maßnahmen können mithin die Temperaturgänge beeinflusst werden (vgl. z. B. 165). Namentlich in Lochhieben herrschen ganz abweichende Wärmeverhältnisse: Günstig erwies sich zum Beispiel in Fichtenforsten ein Lochhieb von 1:1 (Durchmesser: Baumhöhe), der einen noch ausgeglicheneren Temperaturgang als der benachbarte geschlossene Bestand zeigte (222; Einzelheiten bei 80: S. 367 f.).

Selbstverständlich bedingt das ausgeglichene Bestandesklima einen entsprechend ruhigen Verlauf der Bodentemperaturschwankungen. Obwohl der Boden lichter Bestände sich örtlich stark erwärmen kann, so schwanken doch im Bestandesdurchschnitt die Bodentemperaturen weniger stark als im Freiland. Damit wird der Boden im Winter weniger tief abgekühlt, gefriert weniger rasch und nur oberflächlich (33; 200: S. 32; 66; 117 c: S. 16, 20).

Fraglos sind die während der Vegetationsperiode nur wenig schwankenden Bodentemperaturen und die höhere Bodenfeuchte förderlich für die mikrobiellen Vorgänge in Waldböden (vgl. Abschnitt D. 2 c).

C. Wasserhaushalt der Landschaft

Verschiedene Einwirkungen des Waldes auf den Wasserhaushalt einer Landschaft sind heute noch nicht eindeutig geklärt (vgl. 105: S. 398). Die förderliche Rolle des Waldes variiert je nach Klima und Situation im Gelände (158). Eine Tatsache ist sicher: Kahlschlag in Gebieten mit hygrischen Jahreszeiten hatte Erosion und Austrocknung zur Folge.

Im folgenden wird versucht, eine Übersicht über den Wasserhaushalt

wichtiger Landschaften unserer Erde zu geben (Tabelle 29 im Anhang), wobei Transpiration, Evaporation, Interzeption, Infiltration und Abfluß in bewaldetem und unbewaldetem Gelände sowie die Rolle des Waldes als Schneespeicher, Nebel- und Taufänger im einzelnen besprochen wird.

1. Wasserverbrauch durch Transpiration und Evaporation

Die Transpiration einer Pflanze ist, wie die Evaporation von irgendeiner festen oder flüssigen Oberfläche, abhängig von Temperatur, Luftfeuchtigkeit, Luftzirkulation, dazu von der «Hydratur» (Wasserzustand, osmotische Verhältnisse) der Zellen (vgl. 258 a), aber auch von der Bodenfeuchte. Zum selben Zeitpunkt kann die Pflanze auf feuchtem (durch Grundwasser beeinflusstem) Boden bis über dreimal stärker transpirieren als die Pflanze normal drainierter Standorte (s. 141 a, 233). Umgekehrt kann in Trockengebieten bei höheren Bodentemperaturen der permanente Welkepunkt der Pflanzen geringfügig hinaufgesetzt werden (48). (Bei höheren Temperaturen nimmt die Boden-Wasser-Beweglichkeit zu [120 a].) In *Picea engelmanni-Abies lasiocarpa*-Wäldern der trockenen Rocky Mountains bewirkt eine einprozentige sommerliche Erhöhung des PWP eine Einsparung von 8 mm Niederschlag. Wie groß diese Einsparung ist, erhellt sich daraus, daß die mittleren Sommerniederschläge der zwei trockensten Monate dieses Trockengebietes nur 12 mm pro Monat betragen. Eine weitere Einsparung erfolgt durch tiefe Frühlingstemperaturen, so daß normalerweise keine Trockenheitsschäden in diesen Wäldern auftreten. Mithin ist das Holz dieser Wälder die einzige ohne Bewässerung mögliche Ernte in diesem Gebiet.

Tabelle 22 (s. Anhang) gibt einen Begriff über die Höhe der Transpiration von Einzelarten und Waldbeständen. Die Transpirationskoeffizienten sind ein Maß für die Wassermenge, die zur Erzeugung von 1 g Trockensubstanz verwendet wird (198, 105, 249, 18). Gräser und Grasähnliche haben meist etwas niedrigere Koeffizienten (vgl. auch 101: S. 90). Im allgemeinen transpirieren die Wälder in humidem Klima etwas stärker als Grünlandgesellschaften. In trockeneren Gebieten auch der gemäßigten Zone scheint das jedoch nicht der Fall zu sein (vgl. 200: S. 51 ff., 81 ff., 167).

Die Bodenfeuchte wird ungefähr bis zur Wurzeltiefe⁴ nachhaltig beeinflusst (z. B. 101, 200). Trotzdem wird die Bodenfeuchte besser erhalten als im Freiland: Der Schutz des Waldbodens vor größerer Evaporation durch die Kronen ist im Durchschnitt stärker als die etwas ausgeprägtere Waldtranspiration.

Wo der Wald der gemäßigten Zone seine Trockenheitsgrenze findet, ist der Übergang zur Steppe von Natur aus ziemlich scharf. In der tropischen Zone zeigt sich indessen zwischen Wald und Grasland ein breiterer Übergangsgürtel; dort treten baumförmige Gewächse, namentlich «Schirmakazien», mit den Gräsern in Wettbewerb und bilden vielfach lockere Savannenwälder oder dann offene Dornsavannen (vgl. 68; Einfluß des Feuers s. Abschnitt F. 1).

⁴ *Larix* bis 3 m, *Acer* bis 2,5 m, *Pinus* und *Fraxinus* bis 2 m (78); *Quercus* bis 10 m (200).

In diesen semi-ariden Gebieten sind Grasland und Gehölz Gegenspieler: Die Gräser transpirieren während der Vegetationsperiode sehr stark und werden in der Trockenzeit schnell dürr; die Blattscheiden schützen den Vegetationskegel vor völliger Austrocknung. Im Gegensatz dazu können die Holzpflanzen ihre Transpiration feiner regulieren. Selbst dann noch verlieren sie zum Beispiel in der Trockenzeit Südwestafrikas 5 bis 8% ihres Frischgewichtes pro Tag an Wasser, sind also darauf angewiesen, Wasservorräte des Untergrundes mit ihrem extensiven Wurzelsystem zu nutzen und können im Konkurrenzkampf mit den intensiv, aber oberflächlich wurzelnden Gramineen vom Restwasser zehren. Holz-erzeugende Vegetation stellt sich in den (sub-)tropischen Trockengebieten deswegen nur auf den steinigen Böden der Winterregengebiete oder auf feinerkörnigen erst ab 250 mm, Wälder ab 500 mm Jahresniederschlag ein (261: S. 284 ff.). Zusammengefaßt zeigen die Formationen semi-arider, regelmäßig beregneter Gebiete die auf Tabelle 23 festgehaltenen Ansprüche an Niederschlag und Boden (vgl. auch 117 c: S. 194 ff.).

Verschiedene Akazienarten der Trockenwälder können auch bei Niederschlägen unter 500 mm wachsen, verlangen dann entsprechend gröberkörnige Böden (vgl. ihre Rolle als Bodenfestiger in Abschnitt E. 5).

Tabelle 23

Ansprüche an Boden und Niederschlag der Vegetation (sub-)tropischer semi-arider Gebiete
(nach 261: S. 287)

<i>Vegetation</i>	<i>Jahreszeit des Niederschlags</i>	<i>Bodenart</i>	<i>Niederschlagsmenge</i>
Sklerophylle Gehölze	Winter	meist steinig	
Gehölze mit wenig Gräsern	Sommer	steinig	
Grasland	Sommer	feinkörnig	100—250 mm
(Gras-)Dornsavanne	Sommer	feinkörnig	250—500 mm
Trockenwald	Sommer	feinkörnig	> 500 mm

Aus den in Abschnitt B. 4 besprochenen Gründen ist die *Evaporation* in Waldbeständen geringer als im Freiland, nämlich nur rund $\frac{1}{2}$ bis $\frac{1}{3}$ der offenen Wasserfläche. In tropischen Regenwäldern kann zeitweise fast keine Evaporation festgestellt werden, weil das Sättigungsdefizit in der Nähe des Bodens oft um 0 liegt, vor allem nachts (208: S. 166; 36, 37). Ob eine Streuschicht die Evaporation an der Bodenoberfläche zusätzlich vermindert, hängt von der Feuchtigkeit des Standorts ab (200: S. 82); in Trockengebieten ist eher das Gegenteil der Fall: In Eukalyptuswäldern Südostaustraliens verdunstet sehr viel Wasser wieder direkt aus der Streuschicht (215: S. 171).

Die *Evapotranspiration*^{4a} des gesamten Ökosystems Wald ist dagegen gleich oder sogar ein wenig größer als diejenige der Ackerflächen, Weiden oder offenen Böden (200: S. 13, 84). Selbst der nackte Boden im Chaparral-Gebiet Kaliforniens verdunstet nicht mehr als der vegetationsbedeckte

^{4a} Theorie und Messung vgl. 272.

Standort durch Transpiration und Evaporation verliert (101: S. 90; Details s. 274). In heißen Gebieten können bis 84 % des Niederschlags direkt verdunsten (Niederschlag: 800 mm, Evapotranspiration: 675 mm; 19 b).

Auch im humiden Klima ist jedoch normalerweise die Evapotranspiration der Wälder eher etwas größer als diejenige der Weiden und Wiesen, so ist sie zum Beispiel im stark bewaldeten Sperbelgraben rund 10 % größer (34, 41). Mit abnehmender Niederschlagshäufigkeit nehmen innerhalb derselben Zone auch die Unterschiede zwischen offenem und waldbedecktem Land und die absoluten Werte ab (vgl. 200; 158; für Großbritannien s. 127 b).

Aus der subtropischen Zone Australiens liegen freilich gegenteilige Angaben vor: Oberhalb 1250 mm Jahresniederschlag wird aus dichten Eukalyptuswäldern 80 % Evapotranspiration gemeldet, unterhalb 1250 mm dagegen 90 % (215: S. 170). Ebenso gegenteilig sind die Angaben auf Tabelle 24. Die meßtechnische Erfassung der Evapotranspiration ist schwierig und wird namentlich in 200 und 272 ausführlich diskutiert. Verschiedenartige Methoden führen zu gegenteiligen Ergebnissen.

Tabelle 24

Evapotranspiration: Wald und Freiland desselben Standorts
(vgl. Tabelle 29; ausführlicher Vergleich bei 274)

<i>Klima</i>	<i>Bestand Wald</i>	<i>Freiland</i>	<i>Autor</i>
atlantisch	Schwarzföhre 70 % Fichte 72 %	Weide 46 %	nach 157
	Föhrenkultur + 15 bis 36 % (18jährig)	Grasland	217
subkontinental	Laub-Nadel-Mischwald 53 % Laubwald 56 %		nach 157
	Aspenwald, Utah, 468 mm/J. do., Bäume gefällt, 370 mm/J.	nackter Boden, 280 mm/J.	47 ⁵
mediterran	Chaparral, Kalifornien, 408 mm/J. (Niederschlag um 800 mm)	Grasland, 210 mm/J.	214

Durchschnittswert des Unterschieds zwischen Wald und Freiland: Niederschlag (NS) zwischen 800—1000 mm: 120 mm; Mindestwerte, NS 500—800 mm: 60 mm, NS 970—1400 mm: 100 mm (n. 274).

An der Waldgrenze (Tirol, 2000 m) ist trotz stärkeren Winden die Evapotranspiration im Sommer nur unbedeutend stärker als in tieferen Lagen. Zwar sind die Höhenlagen weniger feucht, zeigen aber eine niederere Temperatur. Die Wasserbilanz einzelner Bäume kann indessen durch Transpirationsverluste rasch kritisch werden (244).

⁵ Vgl. auch 101 d.

Wie sich aus Messungen der Evaporation in verschiedenen durchforsteten Beständen ergab, vermittelt die Durchforstung einen stärkeren Anreiz zur Transpiration (z. B. Erhöhung der Evaporation von 49 auf 54‰; 144 b). Stärkere Lichtschläge vermögen jedoch, vor allem unter humiden Klimaverhältnissen, die totale Evapotranspiration zu reduzieren und somit den Abfluß zu fördern (s. Abschnitt C. 3).

2. *Interzeption und Stammabfluß*

Unter Interzeption versteht man den Niederschlag, der vom Kronendach zurückgehalten wird und von dort verdunstet.

Die Interzeption ist abhängig von der Baumart (Tabelle 25 im Anhang), vom Bestandesaufbau und Alter (Tabelle 26 im Anhang; vgl. auch Interzeption und Standfläche des Bestandes in Quadratmetern bei 264 a) sowie von der Niederschlagsintensität und Dauer (80: S. 348 f.; 49, 144 a, 157, 33, 85, 237, 916, 94, 63, 265, 233, 275, Bestimmung in verschiedener Höhe und im Boden, 141; 168, 256 a, 264 b). Sie ist proportional dem Volumen der Vegetation (101: S. 82) und dem Niederschlag nach $I = b + cN$; b ist der Kronenbenetzungswert (80: S. 344), das heißt die Menge Niederschlag, die vom Kronendach aufgenommen wird, ohne daß Niederschlag (N) durchtropft, und beträgt 0,3 bis 4 mm.

Tabelle 25 gibt eine zusammenfassende Darstellung der Interzeption ausgewachsener, dicht geschlossener Bestände.

Die Regendichte (Menge in der Zeiteinheit) im Bestand ist eine Funktion der Freiland-Regendichte. Wenn die Regendichte der fünf Minuten größter Dichte⁶ in Abhängigkeit von der Interzeption dargestellt wird, so fällt auf, daß die belaubten Kronen nur eine mildernde Wirkung bis 1 mm/5 Min. zeigen. Bei stärkerem Regen beugen sich die Blätter und der Regen «schlüpft» durch. Im Winter ist unerwarteterweise die Wirkung der Kronen besser, weil die Niederschläge direkt durch Äste und Zweige abgefangen werden (247). Beim Durchfallen der Niederschläge durch das Blattwerk des Bestandes verändert sich die durchschnittliche Tropfengröße; die größten Tropfen, nämlich von bis 6 mm Durchmesser, wurden unter Roteichen gemessen. Diese Tropfengröße kann auf leicht erodierbaren Böden von schädlicher Wirkung sein (168, 170; vgl. Abschnitt E. 5).

In Stammnähe nimmt der durchfallende Niederschlag ab (13). Dort ist der *Stammabfluß* von größerer Bedeutung, der wiederum von der Baumart abhängig ist (Tabelle 25). Unter Laubhölzern ist die Interzeption im allgemeinen geringer und der Stammabfluß größer, so daß also in Laubwäldern beträchtlich mehr Niederschlag auf den Boden gelangt (vgl. 80: S. 350; 63). Der mittlere Stammabfluß pro Quadratmeter kann beträchtliche Ausmaße annehmen, nämlich vier- bis zwanzigmal die Intensität des Niederschlags auf der Krone (203).

Eine weitere Wirkung der Interzeption liegt in der Reduktion der Transpiration (vgl. 203; 200: S. 93), was auch für Gräser gilt (35 a).

⁶ ≥ 5 mm/5 Min. = Platzregen.

In Wassermangelgebieten kann die Senkung der Interzeption von Bedeutung sein, zum Beispiel durch Lochhiebe oder/und Wahl geeigneter wenig interzeptierender (und transpirierender) Baumarten, um mehr Wasser in Speicherbecken aufzufangen (vgl. Abschnitt C. 3).

Die Verluste durch Schnee-Interzeption (vgl. auch Abschnitt C. 6, E. 4) können in Trockengebieten größere Beträge erreichen als durch sommerliche Evapotranspiration (57).

3. Versickerung und Abfluß

Im heutigen Zeitpunkt ist es kaum möglich, eine allgemeingültige und eindeutige Aussage zu machen über den Abfluß aus Wald- im Vergleich zu Grünlandgebieten (105: S. 406). Die Ansichten stehen sich oft diametral gegenüber, und zwar je nach den klimatischen Verhältnissen der bearbeiteten Gebiete (vgl. vor allem 34, 71 a mit 196 a, ferner 200).

Namentlich aus sommertrockenen Räumen liegen Ergebnisse vor, die zeigen, daß stark bewaldete Gebiete nicht (wesentlich) mehr verdunsten (vgl. Abschnitt C. 1) als waldlose, nur landwirtschaftlich genutzte, also nicht kahle, vegetationslose Gebiete (200: S. 167). Von verschiedener Seite wird auf die Schwierigkeit hingewiesen, den *unterirdischen* Abfluß genau zu ermitteln (105: S. 416; 200: S. 135), vor allem in zu kleinen Untersuchungsgebieten, und zufließendes Fremdwasser zu erfassen (154). Unter anderem wird beigelegt, daß eine Entwaldung den nicht meßbaren unterirdischen Abfluß vermindere — weil der Boden seinen lockeren Aufbau verliert — und den meßbaren oberirdischen Abfluß erhöhe. Als weitere Fehlerquelle werden geringfügige Temperaturdifferenzen angeführt, die größere Unterschiede in der Evaporation zur Folge haben können (Osteuropa: $\Delta t = 1^\circ$ [der Jahresmitteltemperatur], Evaporationsunterschied ~ 25 bis 30 mm; ausgedehnte Untersuchungen in der UdSSR).

Sicher sind die Wälder der humiden gemäßigten Zone, aber ebenso die Trockenwälder der semi-ariden (sub-)tropischen Gebiete etwas stärkere Wasserverbraucher als landwirtschaftlich genutzte Flächen bzw. Naturgrasland s. Abschnitt C. 1; vgl. v. a. 274).

In den sommertrockenen Gebieten der gemäßigten Zone jedoch darf wohl angenommen werden, daß die Wälder als natürliche Vegetation sich besser auf die trockenen Bedingungen der Hochsommermonate einstellen können als vom Menschen geschaffenes Grün- oder Ackerland (200; vgl. Abschnitt C. 1 Reduktion der Transpiration, Erhöhung des PWP). Mithin erlaubt der Waldanteil eine gewisse Aussage über die Wasserbilanz einer Landschaft.

Im Gegensatz zur noch umstrittenen Rolle des Waldes als relativ sparsamer Wasserverbraucher oder gar Förderer des unterirdischen Abflusses ist die Aussage über die förderliche Rolle des Waldes bei der Schwächung der Abflußgeschwindigkeit, die Brechung der Hochwasserspitzen und damit die Hemmung der Erosion unbestritten (vgl. Abschnitt E. 5 und zusammenfassende Aussagen in 34; 71 a; 41; 26; 50; 80: S. 380 f.; 123; 200: S. 167; 215: S. 165, 180). Beides geht auf die Fähigkeit des Waldbodens zurück, Wasser schnell aufzunehmen und nur langsam wieder abzugeben; deshalb ist auch

in Trockenzeiten die Abflußspende aus bewaldeten Gebieten relativ gering, aber nachhaltig. Eine negative Beeinflussung des Abflusses läßt sich nur dann beobachten, wenn im Frühjahr ausgeprägtes Tauwetter den im Wald gespeicherten Schnee schnell zum Schmelzen bringt (50). In der Regel ist der Einfluß jedoch günstig: Die Schmelzrate im Wald beträgt nur $\frac{3}{4}$ derjenigen des Freilandes (140; 34).

a) *Versickerung*

Der Grad der Versickerungsgeschwindigkeit und Fähigkeit des Wassers auf einem bestimmten Boden ist maßgebend für die Anteile an ober- und unterirdischem Abfluß. Die Versickerung (Infiltration i. e. S. = Speicherung in den oberen Bodenhorizonten; Perkolation = Durchlauf) ist abhängig vom Wassergehalt und Benetzungswiderstand des Bodens, von der Art und Intensität der Niederschläge, von der Verdunstung, vom Neigungswinkel des Standorts und von der Vegetation (vgl. 154; 200 b). Tabelle 28 (s. Anhang) veranschaulicht Oberflächenabfluß und Versickerungszeit auf verschieden bearbeiteten Böden. Je dichter ein Boden wird, zum Beispiel durch Viehtritt oder durch Einschlämmung von Feinerde in die Grobporen, desto weniger Wasser kann in der Zeiteinheit versickern (vgl. auch 215: S. 165). In Waldböden, auch solchen, über die regelmäßig Feuer hinweggehen, ist die Versickerung ein Vielfaches besser als in Freilandböden (vgl. z. B. 50, 254 a).

Eine durchlaufende Versickerung findet auch statt, wenn die Feldkapazität nicht erreicht ist: Wasser kann in mehr oder weniger feuchten, sandigen Waldböden rinnenförmig, zum Beispiel längs alten Wurzelkanälen, versickern (200: S. 68; 61).

b) *Abfluß*

Doppelstationen zur Ermittlung des Abflusses aus bewaldeten und benachbarten unbewaldeten oder nur spärlich mit Wald bestandenen Gebieten wurden erstmals in der Schweiz eingerichtet (71 a, 34). In der Folge wurden solche Meßstellen namentlich in den USA, der UdSSR, Japan, Südafrika und Deutschland eröffnet. Ergebnisse dieser vergleichenden Messungen sind in Tabelle 29 (s. Anhang) zusammengestellt. Zusammenfassend kann ausgesagt werden, daß, je nach Situation und Klima, der *Abfluß* im Vergleich zum schwächer bewaldeten Gebiet um 0 bis 40 %, bei uns um 10 bis 15 % (vgl. 34, 41, 180 b) geringer ist, daß die Hochwasserstände im Verhältnis 1:2–5 herabgesetzt werden und daß die Schwebstoffe im abfließenden Wasser drei- bis fünfzigmal geringer sind.

Der Wasserertrag aus forst- oder landwirtschaftlich bebauten Einzugsgebieten ist also bei uns nicht stark verschieden. In den Grünlandgebieten besteht aber immer die Gefahr der Überbeweidung, welche Verdichtung des Oberbodens und damit rascheren oberirdischen Abfluß und stärkere Erosion zur Folge hat. (Ähnliche Ergebnisse ausgedehnter Untersuchungen in Südaustralien s. 215: S. 170.)

Zu ganz anderen Ergebnissen ist man in der europäischen UdSSR gelangt (200: S. 144). Demnach wäre der Abfluß aus Gebieten mit borealem Nadelwald und Laubmischwäldern etwa 15 bis 30 % höher als aus landwirtschaftlichen Flächen im gleichen Gebiet, in Waldsteppengebieten dagegen nur 10 bis 18 %. Die Werte nehmen also gegen Süden ab.

In klimatischer Hinsicht wurden durch die Doppelstationen nicht die Gegensätze Wald- und Freilandklima erfaßt, sondern nur der klimatische Gegensatz unter oder über einer Vegetationsdecke (80: S. 385 f.).

Aufschlußreich sind in diesem Zusammenhang auch die Wasserbilanzen ganzer Kontinenteile, so der Vergleich zwischen den unterschiedlich bewaldeten Ländern UdSSR (europäischer Teil), Deutschland und Kongo (Tabelle 30 im Anhang).

c) *Wald und Grundwasser*

Wie bei der Regulierung der Abflußmenge ist auch der Einfluß des Waldes auf den Grundwasserstand noch nicht in allen Zügen geklärt.

Sicher wirkt der Wald bei hohen Grundwasserständen als Pumpe und vermag je nach Klima- und Bodenverhältnissen den mittleren Grundwasserstand um einige Dezimeter zu senken. Denn auf diesen Grundwasserböden oder auch auf stärker staunassen Böden transpirieren die Pflanzen stärker als auf trockenen Böden und etwas stärker als das Grünland (vgl. 233; 198). In wärmeren Gegenden dienen Eukalyptus- oder *Acacia mollissima*-Plantagen zur biologischen Drainage nasserer Standorte (101 a; 117 c: S. 20). In unsern Breiten sind die Versumpfungerscheinungen auf Kahlschlagflächen oder nur schon in Bestandeslücken eine bekannte Erscheinung; auf den Standorten der feuchten Buchenmischwälder breiten sich auf lichterem Stellen Nässezeiger wie *Cirsium palustre*, *Juncus effusus* usw. (vgl. auch Versumpfungerscheinungen in borealen Nadelwäldern bei 200: S. 63 ff.).

Dagegen besteht auf normal drainierten Böden mit Grundwasserständen, die den Hauptwurzelhorizont also nicht mehr direkt beeinflussen, keine Wirkung des Waldes auf den Grundwasserstand. Wie ausgedehnte vergleichende Messungen in Mittelrußland ergaben, ist die Grundwasseroberfläche nur abhängig von der lokalen Grundwasserverteilung und nicht von der Evapotranspiration des Bestandes. Bestünde eine solche Beeinflussung, dann müßten im Winter bei reduzierter Transpiration unter Wäldern relativ höhere Grundwasserstände zu erwarten sein (200: S. 19 ff., 63 ff.).

Wälder nehmen in unseren kultivierten Tälern vielfach Standorte ein, die für die Landwirtschaft ungünstig sind, zum Beispiel sandigere Böden oder stärker geneigte Lagen (detaillierte Angaben z. B. bei 66; 92) (bei uns z. B. die Hänge der Niederterrasse). In beiden Fällen liegt der Grundwasserstand (h) lokal unter den Kulturen höher, weil nach dem Gesetz von Darcy, $q = K \cdot h \cdot I$, a) bei konstanter mittlerer Fließgeschwindigkeit (I) und der gleichen Schüttung (q), aber feinerkörniger Bodenart der K-Wert (Wasserdurchlässigkeit) erniedrigt wird und somit h steigt und b) bei konstantem K-Wert und gleicher Schüttung, aber kleinerer Fließgeschwindigkeit der Grundwasserspiegel h ebenfalls steigt.

Es wird angenommen, daß der Wald, meist indirekt, die Grundwasserneubildung günstig beeinflusst: Entweder durch nachhaltigen, langsamen Zufluß aus bewaldeten Einzugsgebieten (Einzelheiten vgl. 104) oder durch

langsameres Abschmelzen der in Wäldern — namentlich der kiesigen Alluvialböden — länger zurückgehaltenen Schneemengen (249; vgl. auch Abschnitt C. 6).

Diese Überlegungen sind insofern etwas kritisch zu betrachten, als daß die Grundwasserbecken ja auch ohne bewaldetes Einzugsgebiet gespiesen würden und — einmal aufgefüllt durch Infiltration aus der Umgebung — in ihnen das Wasser nur noch langsam fließt, und zwar unabhängig von irgendwelchem oberirdischen schnelleren Zu- oder Abfluß.

Doch selbst, wenn irgendein Einfluß des Waldes auf die Grundwasser-Neubildung zu verwerfen wäre, so ist die Filterwirkung der Waldhumusschicht von Bedeutung. Im Grundwasser stark bewaldeter Gebiete ist zum Beispiel der Nitratgehalt rund fünf- bis zehnmal geringer als in solchem intensiv landwirtschaftlich genutzter Gebiete (142).

4. *Wald und Taueinfang*

(Über Tau als ökologischer Faktor s. z. B. 235.)

Tau wird in Wäldern zum größten Teil erst gegen den untern Kronenraum eingefangen, das heißt unterhalb der Zone größter negativer Strahlungsbilanz (s. 80: S. 341), im Freiland dagegen um 1 bis 2 m über dem Boden. Nadelhölzer erhalten durchschnittlich 8% mehr Tau und Reif als Laubhölzer im belaubten, und 25% mehr als im unbelaubten Zustand (158).

Die Mittelwerte des Freilandtaufalls können zehnfach übertroffen werden und in Wäldern der gemäßigten Zone bis zu 1 mm Niederschlag pro Nacht betragen, in Regenwäldern natürlich wesentlich mehr. Namentlich aber in kontinentalen Trockengebieten mit kühlen Nächten ist der Tau ein wichtiger ökologischer Faktor (z. B. mittlere USA), kann er doch nach vorsichtigen Schätzungen bis 200 mm/Jahr betragen.

In (semi-)ariden Gebieten ist der Taufall korreliert mit der Bodenfeuchte und der Absorptionsfähigkeit der immergrünen Gehölze (vgl. 258). Die gewaltigen *Sequoia*-Wälder verdanken ihr Gedeihen recht eigentlich dem starken Taufall und der Nebelhäufigkeit ihrer sonst trockenen Umwelt (*S. sempervirens*, neblige kalifornische Küste; *S. washingtoniana*, neblige Hänge der Sierras im südlicheren Inland Kaliforniens; vgl. Abschnitt C. 1; 95).

Eine ähnliche Rolle spielt der Reif, der in Bergwäldern 0,5 bis 10 mm Regen pro Wintermonat ersetzen und damit in relativ trockenen Gebieten gut 5% des jährlichen Niederschlags erreichen kann (vgl. 158; 200: S. 111; mechanische Wirkung des Reifs s. 80: S. 367).

5. *Wald und Nebelinfang*

Eine weit bedeutendere Rolle im Wasserhaushalt von Landschaft und Wald spielt der Nebel. Die Nebelhäufigkeit ist zum Beispiel entscheidend für die Ausbildung der montanen Regenwälder und Nebelwälder der Tro-

pen und Subtropen (z. B. Anden, Kilimandscharo, Kapland; 90; 105: S. 399). Der Nebel verringert zudem die Interzeption und vergrößert damit den pflanzenverfügbaren Niederschlag (63).

In Gebieten mit großer Nebelhäufigkeit werden beträchtliche Mengen an den Bäumen abgeschieden: Die pazifischen Seenebel scheiden an den Nadelwäldern der Küste von Hokkaido (43° NB) sechs- bis zehnmal größere⁷ Mengen Wasser ab als auf Wiesen, nämlich rund 0,5 mm/h, und damit bis 39% des Jahresniederschlags (100).

Auch in europäischen Bergländern kann der Nebelniederschlag 20% (35 bis 50% n. 200: S. 112) des Jahresniederschlags ausmachen, in trockeneren Klimaten gar 25 bis 30%. Dabei können die luvseitigen Waldränder bis zwanzigmal soviel Nebelniederschlag erhalten wie die leeseitigen (91; 80: S. 366). Bei Messungen in deutschen Mittelgebirgen wurden am Waldrand im Mittel Überschüsse von 57%, im Bestand von 23% gemessen (130). In Eukalyptusbeständen (bei Melbourne, 44%), *Picea-Tsuga*-Wäldern (Oregon, 58%) und Fichtenwäldern (Harz, 57%) wurden ebenfalls bedeutende Anteile des Nebelniederschlags gemessen (158; vgl. ferner 117c: S. 17, Lit.).

6. Wald und Schneespeicherung

Größere Schneemengen können an bewaldeten isolierten Massiven eingefangen und somit gespeichert werden (vgl. 215: S. 169). Ganz allgemein wird ja Schnee in Wäldern nurmehr wenig verfrachtet und bleibt, auch bei wärmerem Wetter, länger liegen. Vielfach ermöglicht dieser Wasserrückhalt eine verzögerte Frühjahrs-Schneesmelze, wegen der in Wäldern geringeren Schmelzrate, und eine ruhigere Frühjahrs-Wasserlieferung (vgl. Abschnitt C. 3, Ausnahme: starkes Tauwetter; 80: S. 353; 35; Wirkung des Schnees an der Waldgrenze s. 6).

Die Schneespeicherung auf dem Waldboden wird im Winter noch erhöht durch die geringere Interzeption, die vermindert wird durch reduzierte Evaporation und Abrutschen von Schneemassen aus dem Kronenraum.

Im Harz gelangen zum Beispiel 60% des Sommerniederschlags, aber 67% des Winterniederschlags auf den Waldboden (50). Nach andern Messungen in Laubmischwäldern Ostdeutschlands ist das Verhältnis der durchfallenden Niederschläge in Freiland und Wald im Sommer 100:73, im Winter 100:90 (227). In Laubwäldern fällt durchschnittlich 60 bis 90% des Winterniederschlags auf den Waldboden, in Tannen-Fichten-Wäldern 25 bis 55% (212; vgl. Tabelle 25).

Auch die Evaporation von der Schneeoberfläche ist im Wald geringer als im Freiland (0,3 bis 0,5 mm/Tag zu 1 bis 1,5 mm/Tag; 200: S. 84).

Umfassende Messungen der Schneespeicherung in Wäldern liegen aus

⁷ Messungen auf den Kanarischen Inseln (Wolkenstufe): dreimal größer (80: S. 365). Weitere Angaben s. 158.

dem europäischen Rußland vor (200: 119f.). Tabelle 31 zeigt deutlich die Wirkung der Baumarten:

Tabelle 31
Schneespeicherung in Wäldern der europäischen UdSSR (n. 200)

<i>Bestand (mittlere Dichte)</i>	<i>Schneedecke höher als Freiland⁸</i>
Laubwälder, Laub-Nadel-Wälder	15—20 ‰
Föhrenwälder	20—30 ‰
Fichtenwälder	5—10 ‰

Für die Praxis ergibt sich die Möglichkeit, durch gezielte Durchforstungen die Schneespeicherfähigkeit des Waldes und damit den mittleren Gebietsabfluß in den Frühjahrsmonaten nachhaltig zu erhöhen (249).

Zusammenfassend darf somit als sicher angenommen werden, daß der Wald

1. den *Taufall* erhöht,
2. den *Nebel* auskämmt und deshalb lokal den Niederschlag verstärkt,
3. den *Schnee* speichert und in der Folge im Frühjahr den lokalen Gebietsabfluß erhöht.

7. Wald als Förderer des Niederschlags?

Die umstrittenste Frage betrifft die Rolle des Waldes als lokaler Förderer des Regens (vgl. schon 151).

Teilweise beruhen Messungen, die diese förderliche Rolle bejahen würden, auf einer falschen Deutung: Steigungsregen an bewaldeten Berghängen sind zu einem Teil auf das Konto des Waldes gebucht worden, obwohl eine Bergkuppe von genügender Höhe an sich schon mehr Niederschlag empfängt (orographischer Niederschlag vgl. 200: S. 100). Umgekehrt wurde eine Verminderung des Niederschlags auf einer exponierten Bergkuppe im Hunsrück (30) auf den kürzlich erfolgten Kahlschlag zurückgeführt. Eine ganz lokale, durch den Wald bedingte Niederschlagserhöhung auf einer solchen Kuppe mag ihre Berechtigung haben, denn das unruhige Kronendach bremst die Windgeschwindigkeit und mithin kann sich mehr Niederschlag auf die Kuppe ergießen (vgl. Schneespeicherung bei Blizzards auf exponierten Bergrücken, 215: S. 169; vgl. auch 117c: S. 16).

Durch Verwirblung des Niederschlags — durch Windhemmung und anschließenden Aufstieg des Windes und Wirbelbildung — wurden tatsächlich lokal größere Regenmengen in Waldgebieten gemessen (z. B. bei Nancy, Forêt de Haie, 18 ‰; in Tennessee 7 bis 16 ‰, in Rußland 8 bis 20 ‰). Nor-

⁸ Verluste im Freiland durch Verfrachtung und stärkere Evaporation überwiegen in diesem Untersuchungsgebiet die Schnee-Interzeption des Waldes. Gegensätzliche Ergebnisse unter andern orographischen Bedingungen, s. Tabelle 20.

malerweise beträgt die Erhöhung nur 1 % pro 10 m Baumhöhe. Der Wald wirkt hier lokal als Regenfalle (vgl. 123: S. 132; 158).

Eine ganz andere Frage ist, ob *größere Gebiete* in Abhängigkeit von ihrem Bewaldungsprozent mehr Niederschlag empfangen oder nicht.

Eine beschränkte Wirkung durch Förderung der Kondensation könnte vorliegen, wenn das Sättigungsdefizit der Luft sehr klein ist und solche Luftpakete in Waldgebiete getragen werden, über denen die Luft im humiden Klima stets etwas kühler ist als über dem Freiland (freilich nur bis wenige Meter über den Kronen, s. 12 a). Allerdings ist in trockenen Klimaten, zum Beispiel über den mediterranen Hartlaubwäldern, das Umgekehrte anzunehmen. Denn die Luft über diesen Beständen kann wärmer sein als über unbewaldeten Gebieten.

Auf jeden Fall scheinen schwedische vergleichende Untersuchungen in bewaldeten und unbewaldeten Gebieten eine Niederschlagserhöhung um wenige Prozente (2 %) zu bestätigen. Kritisch zu beleuchten sind die russischen Untersuchungen in drei großen ebenen und unterschiedlich bewaldeten, aber sonst homogenen Regionen (Moskau, Kirow, Kuibyschew), die 5 bis 10 mm mehr Niederschlag pro 10 % mehr Wald und 10 bis 12 % mehr als im baumlosen Gelände ergaben (200: S. 106).

Wenn überhaupt, so dürfte in Abhängigkeit von Klima und orographischer Lage der Zusatzniederschlag in bewaldeten Gebieten in Übereinstimmung mit den schwedischen Untersuchungen einige Prozent ausmachen. Endgültige und umfassende Ermittlungen sind wünschenswert, aber in unserer Kulturlandschaft schwierig durchzuführen.

D. Chemische Faktoren:

Mineralstoffhaushalt der Landschaft und Bodendurchlüftung

1. Durchlüftung von Wald- und Freilandboden

Waldböden zeichnen sich gegenüber Freilandböden durch eine größere Zahl von Hohlräumen aus, und zwar vor allem im Oberboden (Tabelle 32 im Anhang). Deshalb sind sie durchlässiger (Tabelle 28) und ihre Luftkapazität ist wegen des höhern Grobporenanteils höher (31). Die Bodenlockerung durch Baumwurzeln kann bis in größere Tiefen festgestellt werden, zum Beispiel unter Föhren bis 4,5 m, unter Eichen bis 10 m Tiefe (200: S. 32, 66). Würmer sind in Waldböden bis in Tiefen von 7 m, Nager bis 4 m nachgewiesen worden (vgl. ferner 117 c: S. 21, Lit.).

Normalerweise ist das Porenvolumen des Oberbodens unter Laubhölzern größer; bei stärkerer Krautschicht ist der Unterschied zwischen Laub- und Nadelhölzern allerdings klein (170). Porenvolumen (Porosität) und Permeabilität der Waldböden bestimmen die Abflußverhältnisse (vgl. Abschnitt C. 3). Die bessere Durchlüftung gewährleistet schnelleres Wachstum, mithin höhere Produktivität der Waldpflanzen.

Aufforstungen lockern verdichtete Böden (31; 166), Kahlschlag, starkes Betreten von Waldböden und meist auch landwirtschaftliche Zwischennutzungen haben die gegenteilige

Folge, ja sogar bei Durchforstungen können gleichartige Schäden auftreten (31). Namentlich die Böden tropischer Regenwälder sind sehr empfindlich, wenn sie durch Kahlschlag freigelegt und als Acker genutzt werden: Ihr Hohlraumreichtum und Nährstoffhaushalt ist nur unter Wald stabil (83; vgl. Abschnitt D. 2 c).

In der Umgebung Zürichs konnte beobachtet werden, daß Waldböden, die früher einmal landwirtschaftlich genutzt worden sind, sich stark von seit Jahrhunderten mit Wald bestandenen Böden unterscheiden. Sie zeigen einen höhern Grobporenanteil (!) und größere Umtauschkapazität, ihre Krümelstabilität ist indessen schlechter, ihr Nährstoffgehalt geringer und ihr Rammwiderstand (Maß für Verdichtung) größer (29). (Landwirtschaftliche Untersuchungen in Klee graswiesen ergaben eine Verbesserung der Krümelstabilität und Bodenstruktur bei höherm Grasanteil [264].) Daraus erhellt, daß landwirtschaftliche Kulturen in der gemäßigten Zone nicht notwendigerweise einen *nachhaltigen* und durchweg schlechten Einfluß auf die physikalischen Eigenschaften der Böden haben müssen.

2. Nähr- und Mineralstoffhaushalt der Landschaft

a) pH-Verhältnisse

Der pH-Wert an sich spielt als Standortsfaktor keine ausschlaggebende Rolle (65; 66: S. 80), ja er kann heute nicht einmal mehr als «Symptom für die Bodenfruchtbarkeit» gelten (vgl. Abschnitt D. 2 c).

Im Oberboden kann der pH-Wert während eines Jahres auf demselben Standort stark variieren (ausführlich bei 65; 66: S. 222 f.; 130 a). Die pH-Schwankung ist zum Teil vom Niederschlag und von der mikrobiellen Aktivität abhängig (u. u.), namentlich auf Grundwasserböden (vgl. auch 180; 9). Zu einem gewissen Grade bestimmt der pH-Wert die Aufnahme und den Umsatz von Nähr- und Mineralstoffen, sein Mittelwert hängt jedoch seinerseits von einem Schwarm von Faktoren ab (s. 65; 117 c: S. 21).

Aufforstungen verändern den pH-Wert des Oberbodens nicht direkt, sondern erst über die Streuschicht. Deren pH-Wert ist nicht in allen Fällen vom pH-Wert der Blätter abhängig: So sind Birkenblätter wenig sauer, und doch versauert der Oberboden unter Birken ziemlich schnell (167).

Im allgemeinen ist das *Blatt-pH* abhängig vom *pH des Standorts*, vor allem des Unterbodens, somit bestehen auch zwischen Blatt-pH und dem *pH der oberen Bodenhorizonte* (A_{00} , A_0 , A_1) normalerweise direkte Beziehungen (189; 55; 56; 167), die zum Teil noch von der Fähigkeit der Baumarten abhängig sind, die untern Bodenhorizonte aufzuschließen.

Auf sauren Standorten haben die Blätter jeder Baumart ihr typisches pH, auf basischen Standorten sind die Unterschiede zwischen den Baumarten geringer.

Standort und Baumart prägen also zusammen die pH-Verhältnisse, und zwar namentlich der obersten Bodenhorizonte (170; 119; 218), was sich im Aufbau der Krautschicht äußert (Einzelheiten über die Standortszeiger-Eigenschaften von Waldkräutern s. 66: S. 223 f., S. 80 usw.; 224 bis 226; 195, 196). Nadelhölzer erniedrigen auf allen Standorten den pH-Wert stärker als die Laubhölzer (s. Tabelle 33 im Anhang).

Sukzessionen verlaufen in der Regel parallel mit pH-Änderungen, so zum Beispiel in der Verlandungszone (Zunahme der Azidität; 86), auf Moränen (Zunahme der Azidität durch Auswaschung der Basen; 131; 46; 172), auf Schutt (ausführlich bei 137 a, Literatur) und auf verbuschendem Grasland (meist Zunahme).

Auch die Bewirtschaftungsform beeinflusst den pH-Wert der obersten Bodenhorizonte. Mit Ausnahme der Hochwälder auf Rendzinen ist der Oberboden eines Hochwalds auf relativ basenreichem Muttergestein (z. B. kalkhaltigem Schotter und Sandstein) saurer als unter Niederwald, wo eine geringere Humusanreicherung erfolgt (218).

Gekoppelt mit diesen Standortveränderungen durch den Wald verläuft eine differenzierte Änderung der Nähr- und Mineralstoffverhältnisse.

b) Nähr- und Mineralstoffverhältnisse

I. Unterschiede zwischen Wald- und Freilandboden

Waldvegetation, namentlich Holzpflanzen, weniger Kräuter und Moose, ist meist nährstoffreicher als die Vegetation ungedüngten Freilands (Heiden, Magerrasen, Streuwiesen). Diese Eigenschaft ist zu einem guten Teil auf die tiefere Durchwurzelung nährstoffreicherer Bodenhorizonte zurückzuführen. Entsprechend sind Waldböden in der Regel nährstoff-, aber auch kohlenstoffreicher als Freilandböden (vgl. 172).

Waldböden enthalten vor allem im Oberboden bedeutend mehr Stickstoff und zeigen, namentlich unter Nadelhölzern, jedoch ein recht hohes C/N-Verhältnis. Relativ hohe Anteile von C und N sind in der Streuschicht vorübergehend fixiert; im Vergleich zur Anreicherung in der Biomasse sind die absoluten Werte indessen gering (171). Die Verteilung des im gesamten Ökosystem vorhandenen C, also auch die Menge in der Streuschicht, ist von der Temperatursumme während der Vegetationsperiode, also weitgehend von Breitengrad und Höhenlage abhängig (231).

Die Aufforstung ehemaligen Freilandes kurbelt den Nährstoffkreislauf an; gegenüber einer Heidefläche wird er bis zehnfach erhöht (180). Damit tritt eine tiefgreifende *Umschichtung von Nährstoffen* ein: $\text{PO}_4^{'''}$ -, K^- -, Na^- -, Ca^{++} -Ionen gelangen aus dem Untergrund über die Baumkronen zur Anreicherung in der Humusschicht (170), wobei auf kalkreicheren Böden namentlich Ca^{++} in den Baumkronen von Laub- und Nadelhölzern in unterschiedlicher Menge angereichert wird (Beispiel Fichte/Stieleiche: Ca^{++} 4:1, Na^- 6:1, K^- 1,5:1, $\text{PO}_4^{'''}$ 3:1; C 4:1, N 2,5:1; 175). Die Differenz im Ca^{++} -Gehalt der Oberböden von Freiland und Wald entspricht ungefähr dem Ca^{++} -Gehalt der Baumkronen (179).

Überhaupt gelangen in Wäldern große Mengen von Nährstoffen in die Biomasse. (Stickstoff wird dagegen in größerer Menge in der Streuschicht angereichert.) Dieser Umsatz geht ohne feststellbare Verarmung der Waldböden vor sich, weil eine rasche Nährstoffzufuhr aus dem Unterboden durch Verwitterung gewährleistet ist (73; 71; 256, Bilanz für Finnland; 171; 191; vgl. dagegen Nährstoffaufnahme durch Torfzersetzung bei 240, 191).

Tabelle 34 (s. Anhang) verdeutlicht die viel stärkere Nährstoffentnahme von landwirtschaftlichen Kulturen im Vergleich mit Wäldern auf ähnlichen Standorten und Tabelle 18 die N-, P-, Ca-, Mg- und K-Aufnahme in Wäldern der Nordhalbkugel.

II. Einfluß der Baumarten auf den Standort

Auf die Bodenbildung und die Bodeneigenschaften hat die Umschichtung der Nährstoffe natürlich großen Einfluß (201; 202; 56): Viele Eigenschaften des Oberbodens, weniger des Unterbodens, werden durch die Baumarten und in Abhängigkeit von ihrem Alter modifiziert (192), so zum Beispiel Glühverlust des A₀- und A₁-Horizonts, C-, N- und Wassergehalt, aber auch der Gehalt an Mineralstoffen (vgl. z. B. 54).

Dieser Einfluß der Baumarten äußert sich deutlich in der Krautschicht, die auf die Eigenschaften des Oberbodens anspricht und deshalb von der Baumart mitgeprägt wird⁹ (171, 176). Die Unterschiede im Artenaufbau der Krautschicht gehen also nicht nur auf die veränderten Lichtverhältnisse und Produktivitätsunterschiede der Baumarten zurück (vgl. Abschnitt B. 1, 3). Ihre chemische Zusammensetzung und die Intensität ihrer Nährstoffaufnahme ist abhängig von Standort und Baumart, nicht so sehr vom Lichtgenuß (172; vgl. Abschnitt B. 1; Tabelle 38 im Anhang; vgl. auch 117 c: S. 159 f., 96 f.).

Der Einfluß des Bestandesalters auf die Krautschicht wurde in mehreren Monokulturen verschiedenster Baumarten, besonders in England, untersucht. Während eine 23jährige Schwarzföhrenkultur nur eine schütterere Krautschicht enthielt, wurde eine viel reichere und besser entwickelte unter 55jährigem Bestande gefunden, die 7 t/ha (Trockengewicht) wog und zum Beispiel viermal größer war als unter Eichen auf demselben Standort (Wettbewerb um Bodenfeuchte s. z. B. 172).

Namentlich unter Nadelhölzern ist, im Vergleich mit den Verhältnissen unter Laubhölzern, oft eine stark abweichende Zusammensetzung der Krautschicht festzustellen (vgl. Veränderung wichtiger Standortsfaktoren durch Nadelholzkulturen bei 66: S. 630). Denn die Nähr- und Mineralstoffverhältnisse sind zum Teil gegensätzlich: Im Oberboden nimmt austauschbares Na und P zu und K ab, und zwar in quantitativ sehr unterschiedlicher Art. Der Oberboden einer *Tsuga canadensis*-Kultur enthält zum Beispiel dreimal soviel austauschbares Na und P als unter Eichen auf demselben Standort (176).

Wie die Nährstoffverhältnisse von Oberboden und Krautschicht, so hängt auch der *Humustyp*, insbesondere auf saurem Muttergestein, von der Baumart ab, weil die chemische Zusammensetzung der Blätter die Zusammensetzung der *Streuschicht* (A₀₀) bestimmt (170, 176). Das kann so weit gehen, daß auf verschiedenen Standorten ähnliche Humustypen unter derselben Baumart entstehen (168 a). Unter Nadelhölzern ist in der Regel der pH-Wert tiefer (außer unter *Picea sitchensis*), der Glühverlust größer und die C- und N-Gehalte absolut größer als unter Laubhölzern.

Die nährstoffreichen Streudecken unter Nadelhölzern, die meist in Rohhumus umgewandelt werden, zersetzen sich langsamer, wirken also als Nährstoffreservoir (vgl. Nährstoffgehalt frischer Nadelstreu bei 42). In 55jährigen

⁹ Zeigerpflanzengruppen s. bei 66: S. 82 f; 224–226.

Föhrenkulturen Englands wurde der Nährstoffgehalt der A_0 - und A_{00} -Schicht als sechsmal dem jährlichen Nadelfall entsprechend bestimmt (178, vgl. auch 179; Anreicherung von Ca und Mg im A_0 ; vgl. Tabelle 35 im Anhang). Akkumulation und Zersetzung der Streue sind zudem abhängig vom Laubfall und der Abbaugeschwindigkeit der organischen Substanz, die wiederum wie die C-Verteilung im Ökosystem von Breitengrad, Höhenlage, Baumart und Bodenfeuchte geprägt wird (250; 123: S. 108; 124; 170; 221; Tabelle 36 im Anhang). Tabelle 37 (s. Anhang) weist auf die Unterschiede in der Streuzersetzung und A_1 -Humus-Mineralisierung zweier gegensätzlicher Pflanzenformationen hin. (Wirkung der Streuschicht auf Keimung s. 117 c: S. 38, 60.)

In diesem Zusammenhang ist auch die Tatsache bemerkenswert, daß Bachwasser aus dem Bereich von Nadelholz-Monokulturen relativ «steril» ist, das heißt wenig Plankton enthält und deshalb wenig von Fischen besucht wird (158).

Wie erwähnt, hängt die Bodenvegetation in erster Linie von den allgemeinen Standortbedingungen, aber zu einem guten Teil auch von der Baumart ab und zeigt somit auch die modifizierten Standortbedingungen (Licht, Nährstoffe) an oder Phasen in der Entwicklung eines Waldbestandes (vgl. auch 263, 169). Die Bodenvegetation beeinflusst den Standort aber auch selber, so zum Beispiel durch die Bildung von Auflagehumus wie bei Adlerfarn und Brombeere auf sauren Standorten (169, 176, 211).

Auch für die Ansamung sind die in Mischbeständen überall vorhandenen, zum Teil geringen Unterschiede in den Nährstoffverhältnissen entscheidend (123: S. 129; Einzelheiten s. 126 und 117 c: S. 158). Die Chlorophyllmenge von Nadelholzsämlingen ist vom Nährstoffgehalt des Bodens und vom Stickstoffgehalt der Nadeln abhängig (106).

III. Nähr- und Mineralstoffkreislauf

Der schnelle *Nährstoffkreislauf* der Wälder, insbesondere der tropischen Regenwälder, äußert sich deutlich in der prozentualen Menge der beteiligten Nährstoffe: 60 bis 85 % der von Bäumen aufgenommenen Nährstoffe sind in ständigem Kreislauf (123: S. 102; vgl. auch 209; 110; 180 und Tabelle 18). Ein vollständiger Kreislauf erfolgt in Laubwäldern durchschnittlich alle zwei Jahre, in Nadelwäldern alle drei bis vier (bis sechs und mehr) Jahre, wobei freilich der Umsatz in stark wachsenden Nadelwäldern größer als in Laubwäldern sein kann. Wie Versuche mit radioaktiv markierten Elementen zeigten, brauchen die Nährstoffe nur wenige Stunden von den Wurzeln zur Krone (178, 179; vgl. auch 163).

Bei Kahlschlägen ergeben sich schwerwiegende Störungen im Nährstoffkreislauf, wenn auch das Reisig verwertet wird. Denn ausgedehnte Untersuchungen (z. B. 32; 175; 178 bis 180) bestätigen die Nährstoffanreicherung im Reisig. Nun aber werden die Nährstoffreserven der A_{00} - und A_0 -Horizonte bei diesem Eingriff plötzlich freigesetzt und können ausgewaschen werden, so daß der Standort auf die langsame Nährstoffzufuhr aus dem Reisig angewiesen ist (176).

Noch viel stärker wirken sich solche Maßnahmen in tropischen Regenwäldern aus, wie die folgende Zusammenstellung (Tabelle 38 a) zeigt (nach 208: S. 402; vgl. auch 67; 15; 4):

Tabelle 38a

Eingriff	Auswirkung
A Kahlschlag	1. Reduktion der organischen Substanzen und Abnahme von N und des C/N-Verhältnisses (–60 cm). 2. Freisetzung von Mineralstoffen aus dem A ₀₀ und Auswaschung.
B Kahlschlag und Brand	1. und 2 gleichartig, aber noch stärkere Abnahme bis 30 cm u. F.
C Kahlschlag, Brand und Kultur	1. und 2. gleichartig, aber Eliminierung der organischen Substanzen, keine Erholung wie unter B und A.

Lokale Kreislaufunterbrüche, die sich günstig auswirken, entstehen zum Beispiel auf Windwurfflächen. Die dann sich einstellende ganz anders geartete Bodenvegetation weist nicht nur auf die feuchteren Standortbedingungen (vgl. Abschnitt C.1, 3), sondern auch auf die besseren Nährstoffverhältnisse hin.

IV. Mineralstoffzufuhr und -abfuhr

Niederschläge können den Nährstoffzyklus der Wälder in zweifacher Hinsicht beeinflussen: Einesteils durch direkte Zufuhr von Nährstoffen (72) und durch Auswaschung des Laubs, andernteils durch Auswaschung von Nährstoffen aus den oberen Bodenhorizonten (vgl. z. B. 117c: S. 33, 35).

Die direkte Zufuhr ist von der Region abhängig (vgl. 72; 73; 256; 123: S. 90), die Auswaschung aus den Blättern in erster Linie von der Baumart (239; ferner 172; 39), wobei der Nährstoffgehalt der Krautschicht und Moosschicht mit dem Nährstoffgehalt der Blätter bzw. der Niederschläge korreliert sein kann (172). So ist die Trockengewichtsproduktion/Jahr und der N-, P-, K-Gehalt von zum Beispiel *Hylocomium splendens* (Stockwerkmoss) abhängig von den Lichtverhältnissen und dem Abstand vom Stamm: Je weiter weg das Moos wächst, um so geringer wird seine Vitalität (238).

Tabelle 39 (s. Anhang) gibt eine vergleichende Übersicht über die Nährstoffgehalte im Niederschlag unter dem Kronenraum und im Freiland und zeigt, daß die Konzentration an Ca, K und Na im Bestandesniederschlag zwei- bis dreizehnmal höher sein kann.

Freilich können die Nähr- und Mineralstoffe nicht nur ausgewaschen, sondern auch durch die Blätter aufgenommen werden (139; 243). Auch radioaktive Beimengungen des Niederschlags werden vom Kronendach absorbiert und wandern von dort nur wenig in den Holzkörper der Bäume (187). Die Konzentration von Strontium 90 (Sr 90) im Kronendach eines Eichenwaldes (Minnesota) betrug 48,2 µg/ha, während ein Typha-Röhricht nur 4,4, ein Maisfeld nur 2,8 µg/ha aufwies.

Etwas schwierig zu erfassen sind die durch die Wurzelhorizonte durchgelaufenen Wassermengen und ihr Nährstoffgehalt. Lysimeter-Untersuchungen ergaben zum Beispiel, daß NO₃'- und NH₄-Ionen dem Ökosystem auf diese Weise kaum verlorengehen (vgl. auch Tabelle 34; 114; 117c: S. 31).

Eine weitere Nährstoffzufuhr erfolgt durch Staub irgendwelcher Art. Der Wald wirkt als Aerosolfilter (s. Abschnitt E. 2; 73). In der heutigen Kulturlandschaft werden zudem einer Straße benachbarte Waldstreifen bis 20 m Breite durch Staub gedüngt (vgl. 241).

Die totale Nährstoffzufuhr (einschließlich Düngung, die hier nicht behandelt wird) äußert sich in der Produktivität und prägt sich qualitativ und quantitativ stark in der chemischen Zusammensetzung der Blätter aus (vgl. z. B. 255, 240). Entscheidend für die örtliche Wuchsleistung des Waldes sind insbesondere die Stickstoffreserven (vgl. 153: S. 102; 67), deren Aufnahme durch die pflanzenverfügbaren Phosphatreserven beeinflußt werden können (101: S. 65). Die hervorragende Rolle des Stickstoffs im Nährstoffkreislauf (s. 58: S. 5) wird im folgenden an einem Teilprozeß, nämlich der mikrobiellen Stickstoffmineralisation, etwas näher beleuchtet.

c) *Stickstoffmineralisation und Akkumulation*

Pflanzenverfügbarer Stickstoff (NO_3^- und NH_4^+) bildet sich größtenteils durch mikrobiellen Abbau der Eiweißstoffe (Einzelheiten s. 67). Die Menge mineralisierten Stickstoffs hängt von der Temperatur und von den Feuchtigkeitsverhältnissen ab (optimal bei rund 25 bis 30 °C und mittlerer Feuchte).¹⁰

Bei niederem pH-Wert ($\text{pH} < 4,5$) wird vorzüglich NH_4^+ (Ammonifikation); bei höheren pH-Werten und ausreichender Sauerstoffversorgung geht die Reaktion weiter bis zur Bildung von NO_3^- (Nitrifikation); bei Sauerstoffmangel (z. B. überoptimale Feuchtigkeit) wird NH_4^+ rückgebildet (Denitrifikation). Die stärkste Nitrifikation erfolgt in basenreichen Böden bei $\sim 25^\circ\text{C}$ und einem Wassergehalt von 60 % der Feldkapazität (149).

In von Gräsern beherrschten Pflanzengesellschaften (Streu- und Magerwiesen, Grassavannen) wird nahezu kein Stickstoff mineralisiert oder angereichert. In solchen Beständen herrscht ein pflanzeninterner Stickstoffkreislauf: Bis zum Erreichen des strohigen Zustands sind fast alle Nährstoffe in unterirdischen Speicherorganen zurückgezogen worden. Verbuschen diese Freiflächen, dann laufen die Stickstoff-Mineralisierungsvorgänge im Boden wieder an, bedingt durch den erneuten Streuanfall.

Es ist anzunehmen, daß diese mikrobiellen Vorgänge durch Beschattung indirekt gefördert — gleichmäßigere Temperatur und Feuchtigkeit! — und durch starke Belichtung gehemmt werden. Vorteilhaft wirkt sich zudem die bessere Durchlüftung waldbestandener Böden aus (vgl. ferner 117 c: S. 24). Nach Untersuchungen in tropischen Regenwäldern verändert sich die Humusstruktur schlagartig und die Stickstoffmineralisation wird sofort reduziert, wenn die Bäume gefällt werden.

Waldböden sind also im allgemeinen viel stickstoffreicher als Freilandböden auf vergleichbaren Standorten (Tabelle 40 im Anhang).

Ausgereifte Böden mitteleuropäischer Laubmischwälder enthalten etwa 10 bis 16 t N/ha, Böden kolumbianischer Regenwälder etwa 35 t N/ha, was etwa zehnmal dem Betrag

¹⁰ Analysenmethoden s. 269; 270; ferner 84; 127.

der oberirdischen Vegetation entspricht. Der Gehalt der Böden an Gesamtstickstoff nimmt mit steigendem Niederschlag und abnehmender Temperatur in der Regel zu (271; dort Überblick über Anhäufung und Umsatz von Stickstoff). Die Stickstoffauswaschung beträgt etwa 2 bis 4 t/ha/Jahr.

Aufschlußbereich für die Verhältnisse in der humiden, gemäßigten Zone sind Angaben über den Stickstoffumlauf in einem homogenen *Abies grandis*-Bestand (England) im Vergleich mit den Verlusten durch die Ernte landwirtschaftlicher Kulturen:

Aufnahme in Stamm, Krone	76 kg N/ha/Jahr (nach 174)
aus N-Mineralisation	~ 70 kg N/ha/Jahr
Zufuhr aus Niederschlag ~ Verlust durch Auswaschung	~ 4 kg N/ha/Jahr
Zum Vergleich:	
Landwirtschaftliche Kultur, Verlust	~ 9 kg N/ha/Jahr (nach 216)
Landwirtschaftliche Kultur,	
Akkumulation + aus Niederschlag	23 kg N/ha/Jahr (nach 266)
Verlust durch Ernte	36 kg N/ha/Jahr

Die Stickstoffproduktion ist im Durchschnitt geringer als in einem Leguminosenfeld und entspricht ungefähr derjenigen von Getreidekulturen. Die bei der Zersetzung der Streue freiwerdenden Stickstoffverbindungen werden in mehr oder weniger gleicher Menge durch die Bäume aufgenommen und entsprechen ungefähr dem Stickstoffgehalt der lebenden Blätter.

E. Mechanische Faktoren:

Schutz- und Filterwirkungen des Waldes

1. Wald als Windbremse

Wälder beeinflussen die auf sie auftreffenden Winde auf zweifache Weise: Sie wirken als «rauhe Oberfläche» (80) und verwirbeln die Luftmassen, gleichzeitig bremsen sie damit die Winde. Der Einfluß ist einestils abhängig von der Belaubung und deren Dichte, somit von Baumart und Kronenschluß, andernteils von der Windgeschwindigkeit (vgl. 33). Die Wirkung von Kahlschlag und Durchforstung veranschaulicht Tabelle 41 (s. Anhang). Die Windgeschwindigkeit wird im Kronenraum unserer Laubmischwälder und Forsten also durchschnittlich auf $\frac{3}{4}$ bis $\frac{1}{3}$ reduziert und entsprechend stärker in der Nähe des Bodens (144).

Eine viel kräftigere Reduktion erfährt die Windgeschwindigkeit in tropischen Regenwäldern, wo die mittlere jährliche Windgeschwindigkeit meist unter 5 km/h liegt und selten über 12 km/h steigt (208: S. 147). Nach Messungen in südbrasilianischen Regenwäldern wurde ein Wind von 8,3 km/h schon 100 m innerhalb des Waldes (senkrecht auf den Waldrand) auf den fünften Teil reduziert (77: S. 302).

Umgekehrt kann sich ein Wind in offenen Stammräumen auch ungehindert entfalten: Nächtliche Hangabwinde werden durch das Kronendach vor Störungen durch andere Winde geschützt (251).

Die Wälder passen sich in der Regel an die herrschenden Windverhältnisse an (vgl. 123: S. 86). In häufig von Hurricane-Winden heimgesuchten Gebieten stellen sich ganz spezielle Baumartenkombinationen ein (z. B. Antilleninsel St. Vincent n. 14). Deutlich sichtbar ist diese Anpassung ja auch an der alpinen Wald- und Baumgrenze, wo die durchschnittliche Windgeschwindigkeit in einem speziellen Fall um 40 % (Wald-) bzw. 70 % (Baumgrenze) höher ist als im 300 m tiefer unten gelegenen Talgrund (244).

Waldbestände schützen auch vor *Winderosion* (123). Schon im 18. Jahrhundert wurden die Sanddünen der Gascogne durch Ing. Bremontier mit *Pinus maritima* aufgeforstet. Ähnliche Verhältnisse herrschen in vielen intensiv kultivierten sandigen Ebenen (z. B. Norddeutschland, Dust-Belt der USA, UdSSR). Auf den ziemlich sandigen Böden der west- und südrussischen Ebenen (z. B. Ukraine) kann der Wind beträchtliche Mengen Feinerde entfernen (6 bis 25 cm/Tag Abtrag).

Frühzeitig wurden in diesen Gebieten, namentlich im eigentlichen (Wald-) Steppengebiet Südrußlands Windschutzstreifen angelegt, die als Windbremsen und Staubbänger wirken. In den so geschützten landwirtschaftlichen Kulturen wurden beträchtliche Mehrerträge erhalten, die in Normaljahren 40 bis 110 %, in Trockenjahren 150 bis 190 % erreichen (Kamennaya-Steppe, vgl. 123: S. 135 f.; 200: S. 39 f., 71 f.).

In der Rhoneebene bremste ein 90 cm breiter Waldstreifen den Wind auf 20 %, ein 44-cm-Streifen auf 40 % der Freiland-Geschwindigkeit ab (Versuche mit Windschutzstreifen s. 155).

In extrem bisenausgesetzten Muldenlagen ist es freilich von Vorteil, die Kaltluft zu verwirbeln anstatt sie zu stauen.

2. Wald als Staubfilter

Wie stark die Wälder als Staubfilter wirken, zeigt am besten Tabelle 42 (s. Anhang) (210; s. auch 80: S. 385 f.; 8). In Wäldern beträgt der Staubgehalt der Luft also etwa die Hälfte der Werte von Feldern, die dem Wald vorgelagert sind.

Der Staubrückhalt ist von der Baumart abhängig: Fichten vermögen 30 t/ha, Föhren 35 t/ha und Buchen 68 t/ha aufzufangen (8; vgl. auch 73 und Abschnitt D. 2 b IV.).

Die Filterwirkung äußert sich auch im Auffangen von radioaktivem Staub. Die radioaktive Konzentration auf der Luvseite eines Waldrandes war zweiunddreißigmal stärker als auf der Leeseite. Laubhölzer erwiesen sich als fangwirksamer (96).

3. Wald als Schalldämpfer

In Abhängigkeit vom Auftreffwinkel auf den Waldrand werden Schallwellen beträchtlich gedämpft: In dichten Beständen verliert der Schall, der parallel zum Waldrand verläuft, 0,01 bis 0,1 db/m, senkrecht zum Waldrand 0,1 bis 0,4 db/m (8).

4. Schneedruck auf Waldbeständen

Der Wald wirkt einerseits als Schneespeicher (vgl. Abschnitt C. 6), muß aber andererseits, vor allem in Höhenlagen zwischen 700 und 1300 m, die

Last beträchtlicher Naßschneemengen aushalten (Tabelle 43 im Anhang; vgl. die Wirkung des Naßschneefalls vom 1. Januar 1962 in den Schweizer Wäldern). Aber auch bei Hochlagenaufforstungen spielt der Schneedruck eine ausschlaggebende Rolle (Einzelheiten vgl. 6; 204). Die Kenntnis dieses mechanischen Faktors ist von großer praktischer Bedeutung, spielt doch der Wald vor allem in diesen Lagen eine wichtige Rolle als Schutzwald (Lawinen, Steinschlag, Erosionsschutz; vgl. Beitrag von de Quervain in dieser Nummer).

5. Wald als Erosionsschutz

Entwaldungen haben namentlich in Gebieten mit hygrischen Monaten zur Erosion ausgedehnter Flächen geführt (80: S. 379; z. B. subtropische inkl. mediterrane semi-aride Gebiete). Die bekanntesten Beispiele kennen wir aus unserm Mediterrangebiet, aus den Trockengebieten der USA, aus dem winderodierten «Mallee-Country» (*Eucalyptus eremophila*/*E. erythrocorys*) und dem Dorrig-Plateau Australiens (215: S. 171 f.). Indessen sind auch in humideren Klimaten weite Flächen nach der Waldentblößung, verstärkt durch Brand, erodiert worden (vgl. Mittelchina; Südchile, Südneuseeland, durch Kahlschlag von *Nothofagus*-Wäldern [215: S. 173; 260]; verschiedene tropische Hügellandschaften in Zentralafrika, Indien, Südamerika). (Für Mitteleuropa s. 66: S. 38 f., 55 f.).

Auf die kahlen Böden treffen die Regentropfen mit unverminderter Wucht auf und schwemmen die Feinerde in die Grobporen. Damit wird die Versickerung reduziert, der Boden oberflächlich verdichtet und, verstärkt durch die geringere Evapotranspiration, der oberflächliche Abfluß beträchtlich erhöht (vgl. 70; 104).

Durch Viehtritt oder auch durch starke Wildtierherden wird der Boden noch stärker verdichtet, die Grasnarbe teilweise zerstört und entsprechend die Erosion erhöht (Tabelle 44; vgl. auch Tabelle 29 und 117 c: S. 23, 29, 171).

Tabelle 44

Einfluß der Begrasung auf die Erosion

(Nach 101: S. 82 f.; Südarizona; gemessene Erosion nach einem Regen von 15 cm in 50 Std.)

Begrasung	Abfluß %	Erosion tons/sq. mile	%
gut	7,7	44	4
mittel	17	188	16,5
schwach	17	1114	100

Die kritischen Winkel, bei denen eine verstärkte Erosion einsetzt, sind abhängig von der Vegetationsbedeckung und Durchwurzelung; sie betragen für Felder 1 bis 7° (Wege 5 bis 10°), Wälder 20 bis 30° (228).

In ariden Gebieten ist eine Verstärkung der Erosion durch die dort regelmäßig auftretenden, meist leichten Brände nicht von vornherein anzunehmen, vorausgesetzt, daß die Vegetation wieder ausschlägt und die abgebrannten Flächen bedeckt. Infiltration und Abfluß werden dann nicht verändert (254 a; vgl. Abschnitt C. 3). Dichte, buschige Wälder sind entgegen der landläufigen Meinung in ariden Gebieten schlechtere Bodenfestiger als aufgelockerte, grasreiche Bestände (vgl. 101: S. 80; *Pinus edulis*-Buschwälder mit und ohne *Juniperus*-Unterwuchs, Südarizona).

Für die Stärke der Erosion ist nicht nur der unmittelbare Oberflächenabfluß maßgeblich, sondern ebenso das Umgelände der Bäche. Vom Uferwald geschützte Bäche erodieren nur Bruchteile von solchen mit ungeschützten Läufen (11; 120).

Gerade auch in ariden Gebieten, wo maximaler Wasserertrag für die Speicherbecken von großer wirtschaftlicher Bedeutung ist, muß wohl immer zugunsten der etwas stärker transpirierenden Wälder, sei es im Quellgebiet oder längs der Bäche, entschieden und der Erosionsgefahr vorgebeugt werden (vgl. Abschnitt E. 5; 215; S. 171 f.).

F. Biotische Faktoren:

Beeinflussung des Waldes durch Mensch und Tier

1. Die Wirkung des Feuers in der Landschaft

Obwohl nicht ausschließlich durch den Menschen bedingt, soll die Wirkung des Feuers doch in diesem Hauptabschnitt beschrieben werden. Denn heute sind nicht durch den Menschen verursachte Brände eher selten. Entgegen fast allgemein vertretenen Ansichten ist Feuer für Landschaft und Wald nicht durchweg schädlich und in vielen arideren Gebieten unserer Erde ein sicher auch natürlicher «mechano-chemischer» Faktor. Dort wirkt es als «Abbaufaktor», setzt Nährstoffe aus der Streu frei (161) und prägt die Physiognomie ganzer Landschaften (Einzelheiten und Literatur bei 101).

Regelmäßige Brände stellen ein Gleichgewicht zwischen Holzpflanzen und Gramineen her. Das berühmteste Beispiel einer regelmäßig vom Feuer beeinflussten Landschaft ist sicher die tropische Savanne (tropische «Steppen», Llanos; vgl. Tabelle 2). Sie kann als «Feuerklimax» (Pyroklimax) bezeichnet werden, denn derselbe Standort könnte je nach Feuchtigkeit regengrünen Trockenwald oder halbimmergrünen Saisonwald tragen (68; 197; 101: S. 148 bis 165; 257). Die ausgedehnten Grasflächen bilden jedoch die Nahrungsgrundlage riesiger Wildherden, die sich in stärker baumbestandenem Gelände kaum halten könnten (161).

Weitere typische pyrophytische Buschwälder sind die aus Hartlaubwäldern entstandene Macchie des Mediterrangebietes (22: S. 260, 477, 653; 136) und der Chaparral der Südwest-USA, namentlich Kaliforniens (230; s. auch 117 c: S. 155).

Unter regelmäßigen, aber relativ schwachen Bränden leidet die Baumschicht recht wenig. Es sammeln sich auf diesen Standorten keine großen Streu- und Totholzmassen an; erst bei unregelmäßigen Feuern wird die Intensität stärker und greift in die Kronen über (215: S. 171; 45). Fortgesetzte stärkere Savannenbrände setzen auch den ziemlich feuerharten Savannen-

bäumen zu: Brände am Ende der Trockenzeit reduzierten in fünf Jahren den Baumbestand einer nigerianischen Savanne um 32% (98).

Werden die früher regelmäßigen Brände ganz allgemein verhindert, dann verbuschen die lichten Bestände, was insbesondere in extensiv beweidetem, landwirtschaftlich unproduktivem Land von Nachteil ist.

Die typischen feuerbeeinflussten Waldgesellschaften sind alle sehr grasreich¹¹ und werden vielfach als Weidewälder genutzt: In Nordamerika zum Beispiel die *Pinus palustris*-Wälder im Südosten und Süden, die *Pinus ponderosa*-Wälder im Nordwesten und Westen, die Steppenwälder (z. B. mit *Quercus macrocarpa*) und Übergänge zu Hartlaubwäldern mit *Q. emoryi*, *Q. arizonica* und *Q. oblongifolia* (214b: S. 87) sowie *Pinus edulis*-Buschwälder Arizonas (127a; 102). — In Südostaustralien wurden die offenen Eukalyptuswälder zur Gewinnung von Weideland gebrannt, weil sie mit *Casuarina*-Büschen bestanden und daher relativ grasarm waren. Leider wurden die Bestände lange Zeit unsachgemäß zur Stammgewinnung genutzt, wobei Reisig und anderer Abfall liegengelassen wurde, was wiederum Anlaß zu intensiveren Feuern und vollständiger Umwandlung des Bestandes gab. Heute sind die Wälder verbuscht, und eine dichte hohe Krautschicht verhindert Beweidung und Verjüngung (215: S. 167).

Auch unsere Waldformationen der humideren Gebiete werden nach Bränden grasreicher, was gleichzeitig erosionshemmend wirkt: In Sauerhumus-Buchenwäldern (*Luzulo-Fagion*) breitet sich die Drahtschmide (*Deschampsia flexuosa*) aus, in Braunerde-Buchenwäldern (*Melico-Fagetum*) das Gemeine und das Rote Straußgras (*Agrostis tenuis*, *A. alba*) und in Lärchen-Arven-Wäldern (*Larici-Cembretum*) das Glänzende Reitgras (*Calamagrostis villosa*) (vgl. z. B. 132).

Der Einfluß der Brände auf die Bodeneigenschaften ist umstritten, scheint aber gering zu sein (97; 242). Vorteilhaft wirkt sich in einigen Gebieten die bessere Qualität des Weidegrases nach Bränden aus, da der Eiweißgehalt zwei- bis dreimal höher ist (87).

Die Wirkung des Blitzes auf die Vegetation humider Klimate wurde nur wenig untersucht. Durch Blitzschlag werden zum Beispiel die *Shorea albida*-Wälder in Sarawak aufgelockert, so daß ständig 0,5 bis 2,6% Bestandeslücken vorhanden sind. Diese bewalden sich wieder sehr rasch, zumal die Strauchschicht zu 50% überlebt (27).

2. Tritt und Beweidung (sofern nicht unter Abschnitt C. 3, D. 1)

Tritt, zum Beispiel durch Beweidung, verdichtet die obersten Bodenschichten (vgl. Abschnitt C. 3, D. 1). Die Folgen sind nicht nur stärkerer Oberflächenabfluß, sondern auch ausgeprägtere Bodentemperatur-Unterschiede (vgl. 101: S. 211). Jede Reduktion des Grobporenanteils reduziert die Niederschlags-Aufnahmefähigkeit und schafft deshalb aridere Bedingungen.

In den tropischen Savannen führen Stand- und Umtriebsweide je nach Intensität zur Begünstigung einiger Gramineen oder dann bei extrem starker Nutzung zur Verbuschung (261; 257; Sukzessionstendenzen bei Waldweide und Übergang von Wäldern in tritt- und verbißfeste Rasen s. bei 117c: S. 172 ff., 29).

¹¹ Die Verjüngung hat in diesen Beständen zusätzlich zum Feuer infolge der Konkurrenz des Altholzes unter Wassermangel zu leiden (vgl. vor allem 117c: S. 59, 89).

3. Verbiß durch Wildtiere

Normalerweise wird die Äsung in der Naturlandschaft von den einzelnen Wildtieren verschieden genutzt, so daß ein «Menu-Jig-Saw-Puzzle» entsteht, das die gesamte Pflanzendecke gleichmäßig belastet.

Ein Beispiel aus dem westlichen Nordamerika vom Rande der Waldsteppen möge diese Tatsache beleuchten (nach 101: S. 130 f.): Der Wapiti äst im Sommer mehrheitlich Gräser und nur wenig Kräuter (152); die Wedelhirsche (*Odocoileus*) nehmen vor allem Holzäsung, viel Kräuter und wenig Gras (248; vergleichbar dem Rehwild), obwohl sie früher häufiger in den Prärien gesehen wurden; bei der Gabelantilope schließlich besteht die Äsung zu $\frac{2}{3}$ aus Kräutern, nur zu 30 % aus Holzpflanzen und zu etwa 4 % aus Gräsern (28). Vergleichbar mit unserm Rehwild (115) werden die Nadelhölzer von den Wedelhirschen meist nur im Winter angenommen (*Thuja occidentalis* durch White-tailed deer [1], *Pinus edulis* durch Mule deer [38], *Pinus edulis* und *Juniperus osteosperma* durch Black-tailed deer [102]; zum Vergleich: *Picea excelsa* durch Rehwild).

Der Einfluß der Wildäsung auf die Waldgesellschaften hängt ganz allgemein vom Äsungsangebot eines Landschaftskomplexes, von der Wildddichte und von der Populationsstruktur ab. Bei großer Wildddichte werden einzelne Arten derart selektiv verbissen, daß sie nahezu aussterben. Besonders stark ist dieser Einfluß in den «Äsungszentren», Zentren höchster Fraßaktivität. So werden zum Beispiel in den *Thuja occidentalis*-Sumpfwäldern im nördlichen Wisconsin, beliebten Wintereinständen von *Odocoileus virginianus*, sogar die Bodeneigenschaften durch Tritt verändert (93).

In der Kulturlandschaft Mitteleuropas werden nahezu alle Waldgesellschaften durch Wild ziemlich nachhaltig beeinflusst, und zwar vor allem durch starken Verbiß an den Jungwüchsen (beim Rehwild am stärksten Weißtanne, Eibe, Esche).

Namentlich bei der Tanne werden so ganze Altersklassen der Jungwüchse vernichtet oder in ihrer Vitalität reduziert, wobei die Verbißstärke von allgemeinem Äsungsangebot, Alter und Höhe der Jungpflanzen bestimmt wird (268; 115; ferner 260). Aber auch verschiedene Arten der Krautschicht und einzelne Sträucher werden in ihrer Vermehrung beeinträchtigt, so durch Rehwild zum Beispiel einige Orchideen, *Lilium martagon*, *Aconitum lycoctonum* und *Prenanthes*, ferner *Vaccinium myrtillus*, *Evonymus europaeus*, *Rosa arvensis* und *Ligustrum vulgare* (vgl. ferner 103; 62).

Die Bestandesentwicklung wird auch in unsern Hochlagenwäldern beeinflusst, zum Beispiel durch Verbiß der Pionierbaumarten, die eine wichtige Rolle für das Aufwachsen der Fichten-Jungwüchse spielen (vgl. 21).

Entsprechend stärker noch ist der Einfluß des Rotwildes. In Bialowies wurde aus jagdlichen Gründen das Raubwild fast ausgerottet, so daß sich das Rotwild stark vermehren konnte. Sein Einfluß auf die Jungwüchse war derart groß, daß eine Verschiebung in der Baumartenzusammensetzung auftrat (122). Auch in Neuseeland haben die Bestände des im 19. Jahrhundert eingeführten Rothirsches stark zugenommen. Namentlich in *Nothofagus*-Wäldern wird der Jungwuchs heute weitgehend vernichtet. Damit besteht in Bestandeslücken dieser Wälder, die sehr steile und niederschlagsreiche Gebiete besiedeln, verstärkt durch den Tritt, erhöhte Erosionsgefahr.

Katastrophale Ausmaße nahm die Vegetationsverwüstung auf dem Kaibab-Plateau Nordarizonas an. Nach der Ausrottung der Raubtiere vermehrte sich *Odocoileus hemionus* derart, daß schließlich nur noch 10 % der ursprünglichen Produktivität der Vegetation zu beobachten war (135).

In der Naturlandschaft sind dagegen solche Fälle fast unmöglich wegen der natürlichen Regulierung der Wilddichte. Die tierische Biomasse und der von Tieren gefressene Anteil in natürlichen Pflanzenformationen ist geringfügig (vgl. z. B. Tundra, 20), das Gleichgewicht zwischen Vegetation, Pflanzenfressern und Raubtieren gewährleistet. Tabelle 45 (s. Anhang) gibt einen Begriff über den Anteil der tierischen Biomasse in einem naturnahen Waldbestand der Ardennen.

In den Savannen wird die Pflanzendecke von den großen Wildherden wohl intensiv genutzt, aber produktiver und umfassender als durch Viehherden (257; vgl. auch 117 c: S. 28, dort auch Wirkung von Nagern).

Das Waldland unserer Kulturlandschaft ist in der Regel vielseitiger und reicher an Nahrung als unser Kulturgrünland. Der Wald spielt daher bei uns eine bedeutende Rolle als Nahrungsgrundlage unseres Wildes. Für beides haben wir zu sorgen: Für gesunden Wald und gesundes Wild. Beides läßt sich nur durch Verbesserung der Äsungsverhältnisse erreichen (vgl. z. B. 125, 103, 116).

Es würde viel zu weit führen, an dieser Stelle auch den Einfluß der Pilzkrankheiten und tierischen Schädlinge auf den Wald zu beleuchten, zumal im Naturwald und naturnahen Wald ihre Wirkung von eher untergeordneter Bedeutung ist.

G. Der Wald als Teil unserer Landschaft

Abschließend können wir die folgenden zusammenfassenden Feststellungen machen:

1. *Der Wald ist ein wirksames Ökosystem:*

Er entwickelt eine hohe *Produktivität* auch auf Standorten, die für die Landwirtschaft ungünstig sind (Tabelle 18, 19) und dient gleichzeitig als Nahrungsgrundlage für das Wild. Zudem trägt er nicht zur Bodenverarmung bei, weil der Mineralstoffaustausch schnell verläuft (vgl. 184). Diese gute Ausnützung und dynamische Stabilität der Wälder macht es verständlich, daß, mit Ausnahme allzu trockener, nasser oder kalter Gebiete mit kurzer Vegetationsperiode, die meisten Festland-Pflanzengesellschaften von Bäumen beherrscht werden.

2. *Der Wald trägt bei zur Stabilität einer Landschaft:*

Mit seinem rationellen *Nährstoffhaushalt*, seiner günstigen Wirkung auf die *Bodeneigenschaften*, seinem «gebremsten» *Wasserhaushalt* und Wasserrückhalt und der *Förderung der mikrobiellen Bodenvorgänge* sowie seiner raschen Regeneration nach mechanischen oder biologischen Katastrophen hält der Wald die Landschaft in einem dynamischen Gleichgewicht (Tabellen 34, 32, 28, 40, 22, 29).

Auch unsere bewaldeten Kulturlandschaften sind ökologisch stabil: Ihr neues Gleichgewicht, unter gleichbleibenden menschlichen und klimatischen Einflüssen, wird durch den Wald gewährleistet (180).

Freilich kamen frühere traditionelle Nutzungsformen des Menschen sogar ohne intensive Düngung aus; ihr Extensiv-Grünland ergab recht gute Erträge und wurde durch die darin stehenden Busch- und Baumgruppen gedüngt (Laubwiesen, schwedische Ängar-Wirtschaft).

Unstabil sind viele der weitgehend entwaldeten Gebirge semi-arider Gebiete. Ihr Wasserkreislauf wurde gestört: Hochwasserwellen und starke Erosion degradieren die einstmals fruchtbare Landschaft (215: S. 171).

Aber auch in semi-ariden Gebieten ist nachhaltige Landnutzung möglich. Die beste und rationellste Lösung ist hier ein offener, grasreicher Weidewald (vgl. die *Pinus ponderosa*- und *Eucalyptus*-Wälder), der gleichzeitig als Ausgleicher der hydrologischen Verhältnisse, Erosionsschutz, Holzproduzent und Nahrungsgrundlage für Wild- und Weidetiere dient (184). Stellenweise kann sogar nur die ausreichende und stabile Wasserversorgung als wichtigste Waldernte dienen («Water is the main forest crop», 215: S. 165).

In unsern humiden Gebieten ist die scharfe Trennung von Wald, Weide und den übrigen landwirtschaftlichen Gebieten rationeller. Maximale Landausnutzung ist nur möglich durch detaillierte Boden- und Vegetationskartierung (76).

3. *Der Wald bildet eine wichtige Nahrungsgrundlage für unser Wild:*

Wälder liefern im Durchschnitt eine gesündere und vielseitigere Äsung sowie ungestörtere Lebensbedingungen als das Freiland.

In natürlichen Wäldern ist die tierische Biomasse gering und steht mit der vorhandenen Äsung im Gleichgewicht. Auch in unserer Kulturlandschaft sollte dafür gesorgt werden, daß die Wilddichte einigermaßen dem Äsungsangebot angepaßt wird.

4. *Der Wald verhilft zu einer gesünderen Umwelt:*

Der Wald ist nicht nur ein ausreichender *Staubfilter*, *Schalldämpfer* und *Windbremsen*, sondern vermag, was wissenschaftlich schwerer faßbar ist, dem Menschen ein Stück seiner Stamm-Umwelt zu seiner Erholung zurückzugeben (Tabelle 41, 42).

Auch an uns wird später die Entscheidung herantreten, ob wir eine Landschaft für eine maximale Zahl von Personen schaffen oder ob wir eine gesunde Umwelt für eine kleinere Bevölkerung mit höherem Lebensstandard erhalten wollen (180).

Schließlich finde ich, daß die Wälder *allein* schon durch ihren Wert als Erholungsgebiet unsere Ehrfurcht verdienen. Denn mit diesem Beitrag leisten sie am meisten für unser aller Wohlergehen.

Die kommende wissenschaftliche Erforschung des Waldes wird in zunehmendem Maße die Wohlfahrtswirkungen zu erfassen suchen.

Tabelle 46
Allgemeiner Vergleich Wald : Waldfreies Gebiet

	Borealer Nadelwald		Sommer- grüner Laubwald		Hartlaub- wald		Trocken- wald		Regen- wald	
	Wald	wald- frei	Wald	wald- frei	Wald	wald- frei	Wald	wald- frei	Wald	wald- frei
Energet. Faktoren Lichtgenuß Bodenschicht	△	□	○	□	○	□	△/○	□		□
Produktivität	○	○	△	△	△	○	△	△	□	□
Wasserhaushalt Evapotranspiration (Vegetationsperiode)	○	○	△	△	△	○	△	○	□	□
Abfluß	□	□	△	△	△	□	△	□	○	○
Chem. Faktoren Durchlüftung (Oberboden)	△	△/○*	□	△/○	□	○	△*	○	□	△/○
N-Akkumulation **	△/○		△		○*		○/△		□	
Nährstoffumsatz **	○	○	△	△/○	△	○*	□	△	□	□
Mechan. Faktoren Windbremsung	△		□		△		△		□	
Erosionsschutz	□	△	□	△	□	○	□	○	□	△
Nahrungsgrundlage	□	△	□	△	△	△/○	△	□	△	□

Legende:

□ hoch △ mittel ○ gering ohne sehr gering
bzw. sehr gut bzw. gut bzw. mäßig Zeichen bzw. schlecht

* unsichere Angabe

** Kolonne «waldfrei»: in ungedüngtem Grünland

Résumé

Forêt et milieu environnant

1. La forêt est un *écosystème efficace* :

Comparativement à d'autres écosystèmes (tabl. 11, 14, 18, 19), l'énergie lumineuse à disposition y est relativement bien utilisée. La forêt développe une *haute productivité*, même sur des stations inaptées à l'agriculture (paragr. B. 1—3). D'autre part elle ne contribue pas à l'appauvrissement du sol, car l'échange des substances nutritives entre sol et végétation s'effectue rapidement (paragr. D. 2).

2. La forêt contribue à assurer la *stabilité d'un paysage* :

Par son régime nutritier raisonnable (tabl. 34), par son action favorable sur les propriétés du sol (tabl. 28, 32), parce qu'elle freine l'érosion, tempère en moyenne légèrement le régime hydrique d'une région (tabl. 29; 22, 25; paragr. C.) et favorise l'activité microbienne dans le sol (tabl. 40; paragr. D. 2), grâce enfin à sa prompte régénération après les catastrophes mécaniques ou biologiques (cf. p. ex. paragr. F. 1), la forêt maintient le paysage en un *équilibre dynamique*. Sur des stations correspondantes, la consommation d'eau de la forêt est toutefois légèrement supérieure à celle des prairies ou des champs, phénomène allant s'accroissant à mesure qu'on approche de l'équateur.

3. La forêt est une importante *base nourricière* pour le gibier (paragr. F. 3).

4. La forêt assure des *conditions d'environnement saines* :

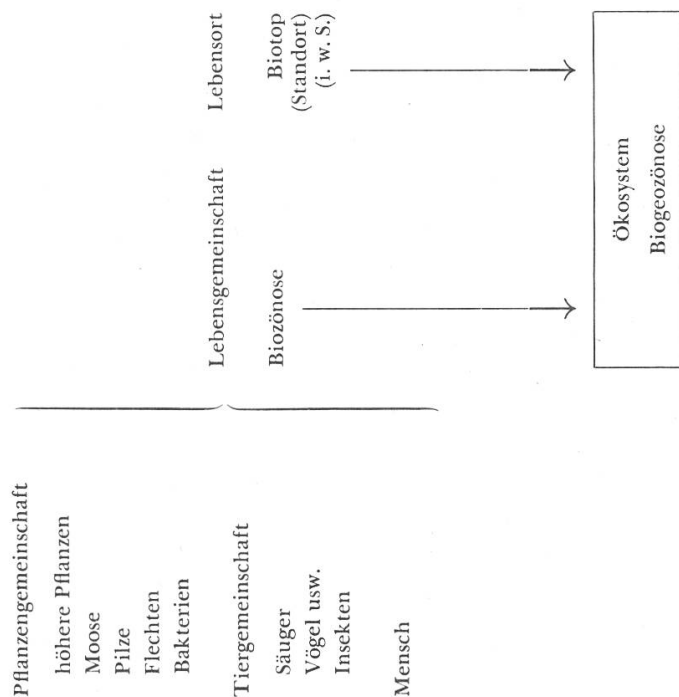
La forêt non seulement filtre suffisamment les poussières (tabl. 42; paragr. E. 2), modère les bruits (paragr. E. 3) et les vents (tabl. 41, 20; paragr. E. 1), mais elle est à même, ce qu'il est difficile de saisir scientifiquement, de redonner à l'homme pour son délassement un peu de son milieu originel (voir aussi paragr. B. 4).

Sa valeur en tant que site de délassement commande à elle seule notre respect, car c'est par cette contribution qu'elle participe le plus à l'amélioration de notre bien-être.

Traduction : J.-F. Matter

Tabelle 1

Lebensgemeinschaft und Lebensort



Umwelt (A) (= Standort i. e. S.)		Lebensort	
Energiequellen (B)		Lebensgemeinschaft	
Licht Wärme		Biotop (Standort) (i. w. S.)	
Wasser (C)		Lebensort	
Chemische Faktoren (D)		Biotop (Standort) (i. w. S.)	
Kohlendioxid und Sauerstoff der Luft und des Bodens Nährstoffe Mineralstoffe, inkl. Spurenelemente Säuregrad Gifstoffe Mechanische Faktoren		Lebensort	
(E)		Biotop (Standort) (i. w. S.)	
Wind Schneedruck Hagelschlag Erdbewegungen Verbiß * Brand * Mahd *		Lebensort	
Die Umweltfaktoren wirken <i>direkt</i> auf die Pflanze.		Biotop (Standort) (i. w. S.)	
Standort = Gesamtheit der am Wuchsort wirkenden Umweltfaktoren.		Lebensort	

- A. Einführung**
Wald als Ökosystem
Grenzen des Waldes
- B. Strahlung in der Landschaft**
1. Licht in Pflanzenbeständen
2. Energieumsatz
3. Produktivität
4. Temperaturverhältnisse in Wäldern
- C. Wasserhaushalt der Landschaft**
1. Wasserverbrauch durch Transpiration und Evaporation
2. Interzeption und Stammablauf
3. Versickerung und Abfluß
4. Wald und Taueinfang
5. Wald und Nebelnefing
6. Wald und Schneespeicherung
7. Wald als Förderer des Niederschlags?
- D. Mineralstoffhaushalt der Landschaft und Bodendurchlüftung**
1. Durchlüftung von Wald- und Freilandboden
2. Mineralstoffhaushalt der Landschaft
- E. Schutz- und Filterwirkungen des Waldes**
1. Wald als Windbremse
2. Wald als Staubfilter
3. Wald als Schalldämpfer
4. Schneedruck auf Waldbeständen
5. Wald als Erosionsschutz
- F. Beeinflussung des Waldes durch Mensch und Tier**
1. Die Wirkung des Feuers in der Landschaft
2. Tritt und Beweidung
3. Verbiß durch Wildtiere
- G. Der Wald als Teil unserer Landschaft**

Tabelle 2a

Schema der Klimaxformationen in tropischen Niederrungslagen nach Ellenberg (1959) und Walter (1964) mit ergänzenden Angaben nach Smithhüsen (1959), Wälder und waldähnliche Formationen im Vergleich mit Wüsten										
	1	2	3	4	5	6	7	1 a	1 b	
Formation ¹	immergrüner Regenwald	immergrüner Saisonwald	halbimmergrüner Saisonwald ²	regengrüner ³ Trockenwald	regengrüner ⁴ Trockenbusch	Strauch- bzw. Sukkulente-Halbwüste vgl. 4	Wüste	montaner Regenwald ab 800 m ü. NN.	Nebelwald ab 2000 m ü. NN.	
Ersatzformation bei regelmäßigem Brand (und z. T. Weide) Kulturen			Hochgras- (Feucht-) Savanne ⁵	Hochgras- (Trocken-) Savanne ⁶	Niedergras-Savanne ⁷				Wolkenstufe	
Trockenmonate ⁸			do., mit Bewäss.	Naßjahr-Kulturen		Weide				
Niederschläge			Regenzeit-K.							
Höhe der Baum-schicht			1-3	6-8 500-1100	8-10 200-700	10-11 (50-) 100-200	12 < 50	Mitteltemp. 20 0	16 0	
Charakteristische Pflanzen	(40-) 50 (-60)	30-35 (-40)	25 (-40)	(8-) 15	5 (-12)	2		(20-) 40	-20	
	Krautstämme (z. B. Banane), Palmen, wenig Sträucher, Lianen (wenig) ¹⁰ , Epiphyten, Epiphyllen, Würger, Krautschicht: Farne, Selaginella, Saprophyten	weniger Palmen als in 1, Flaschenbäume, oft Bambus, Lianen, Epiphyten, z. T. Parasiten, Krautschicht: Gräser, Farne	Flaschenbäume ¹¹ Akazien ¹² , Mimosen, Kakteen, Euphorbien, Schopfbäume ¹³ , wenig Lianen, meist keine Epiph. (z. T. Kakt.), Agaven, Aloe, z. T. Bambus. Krautschicht: Gräser, Farne	Schirmbäume ¹⁴ , Sukkulente, dichtes Unterholz aus Dornsträuchern, z. B. Akazien, dünnstämmige Holz-lanen und krautige Schling-pflanzen, z. T. sukkulente Epiphyten (z. B. Tillandsien), Krautschicht: wie 4, Kakteen	Akazien u. a. Dornsträucher, Sukkulente ¹⁵ , Zweig- und Halbsträucher (mit tief- und weitreichendem Wurzelsystem). Krautschicht: kleine Büschel-gräser, Sukku-lenten, z. T. Annuelle		episodischer Graswuchs und z. T. Annuelle	Baumfarne, Lianen, mehr als in Form. 1 Epiphyten, vor allem Orchideen und Bromeliac. Krautschicht: Selaginella	Baumfarne ²⁰ , Lianen, oft Bambusdickichte, Epiphyten, v. a. Farne, Bärlappe, Hymenophyllac. Krautschicht: Selaginella	
Charakteristische Merkmale	Artenreichtum (40-) 60-100 Baumarten/ha; meist 3 Baumschichten, gerade, schlanke Stämme, kleine Krone; große, ledrige Blätter, unregelmäßige Erneuerung (Saisonwald: obere Baumschicht mit laubwerfenden Arten). Schüttellaub, Trüfelpitze; Wasserkehlchen; dünne, glatte Rinde; Brettwurzeln, Kauliflorie	30-50 Baumarten/ha, z. T. Bestände einer Art; z. T. dickere Borke; ± ohne Brettwurzeln; bis 30 % der Bäume der oberen Schicht mit Laubfall, diese mit weichen Blättern, 2-4 Monate ohne Laub	artenärmer; dicke Borke, tiefe Wurzeln; Blätter meist hart, xeromorph, geschützte Knospen; grober, kurzer Stamm ¹⁶	Schirmkrone, Sukkulenz, kleine immergrüne, harte, z. T. filzige Blätter, Rutensträucher ¹⁷	Xeromorphie, tiefe und weitreichende Wurzelsysteme	40-60 Baumarten/ha; 1-2 Baum-schichten, ohne Brettwurzeln, ohne Kauliflorie, ohne Trüfelpitze, kleineres Laub			total nur 100-150 Baumarten ¹⁹ ; Bartflechten-behang	
Verbreitung (Schwerpunkt)	10 ° SB bis 10 ° NB (äquatoriale Z.)					SW-USA um die Ross-breiten, z. B. Sahara, Arabien, S-Amerika (Küstenwüsten), S-USA				

Anmerkungen zum Schema der Klimaxformationen in tropischen Niederungslagen

- 1 Formation = Gruppe von Pflanzen mit bestimmter Physiognomie, die sich überall auf der Erde unter vergleichbaren ökologischen Bedingungen einstellt. — Klimaxformation = Formation, die sich auf mittleren Standorten der betreffenden Zone einstellt, also auf Flächen, die nicht extrem sind hinsichtlich Wasser- und Nährstoffgehalt des Bodens, die nicht an Steilhängen liegen usw.
- 2 Synonym: Feuchte Monsunwälder. Der «feuchte regengrüne Wald» steht zwischen 3 und 4, dazu gehört z. B. der Teakwald Ostasiens. Ebenso ist der sekundäre «Cerradao» Zentralbrasi-liens dazuzurechnen (10–15 m hohe Baumschicht).
- 3 Synonym: Trockener Monsunwald (Indien), Caatinga (NE-Brasili-en), Savannenwald oder Miombo (mit *Burkea africana* und *Erythrina*-Arten) sowie Mopanwald (E- und SW-Afrika). Eine Sonderstellung nimmt der Campo cerrado Brasiliens ein, dessen Boden ab 2 m Tiefe ganzjährig feucht ist (Niederschläge 1300 mm, Temp. 21 °C). — Weitere typische Formationen im Bereich von (1–) 2–4: *Palmen-Grasland* (Überschwemmungs-savanne) auf stark tonigem Boden bei einem Niederschlag von 1000–2000 mm. Überschwemmung und nachfolgende Austrock-nung verhindert das Aufkommen der Wälder außer Palmen-beständen, z. B. in Afrika aus *Hyphaene* und *Borassus* (in S-Amerika: *Mauritius-Palmensümpfe*). Typisch in dieser For-mation sind Waldinseln, die meist auf zerfallenen, 20–50 cm höheren Termitenbauten hochkommen. — In Winterregen-gebieten finden sich an dieser Stelle Hartlaubwälder.
- 4 Synonym: Dornbuschsavanne. *Savanne* = natürliche, homogene zonale Vegetation der tropischen Sommerregengebiete mit ge-schlossener Grasschicht und darin gleichmäßig verteilten Holz-pflanzen. Sträucher halten sich neben Gräsern nur dort, wo während Dürrezeit mehr Wasser im Boden verbleibt als Gräser verbrauchen. — Regengrüner Trockenbusch bei von Jahr zu Jahr stark wechselnden Niederschlägen. Sukkulenterbusch bei alljährlich wechselnden, aber geringen Niederschlägen oder zwei Niederschlagsperioden. — Formation 4/5 auch möglich bei höheren Niederschlägen auf durchlässigem Korallenfels.
- 5 1,5–3 m hohe Grashalme.
- 6 1–2 m hohe Gräser.
- 7 $1\frac{1}{3}$ – $1\frac{1}{2}$ m hohe Gräser.
- 8 Temperatur während Dürrezeit deutlich niedriger. Wieder-belaubung mit Anstieg der Temperatur vor Regenzeit.
- 9 Niederschlag = 2250 mm/J. bei einer Dürrezeit von 2 Monaten, = 3500 mm/J. bei 4 Monaten.
- 10 Verschiedene Typen, z. B. Spreizklimmer (Haften durch sper-rige Sprosse, z. B. *Bambus*), Wurzelkletterer (z. B. Efeu), Winde-pflanzen (z. B. Zaunwinde), Rankenpflanzen (z. B. Jungfernebe).
- 11 Z. B. Bombax-Arten sowie Baobab (*Adansonia digitata*), ferner bekannte Hartholzbäume (Möbelindustrie): Teak (Asien), Mahagoni (S- und Mittelamerika), Palisander (Asien), Ebenholz (Asien), Rosenholz (S-Amerika), Okoumé (Afrika).
- 12 Z. B. *Acacia seyal*.
- 13 Palmen und Cycadeen.
- 14 In Afrika z. B. *Acacia mellifera* auf Tonböden, *A. senegal* auf Sandböden.
- 15 Anden-E-Fuß. Zentralbrasilien. Venezuela, Ränder der Llanos. Guayana. Java. Afrika beidseits des Äquatärs weit verbreitet.
- 16 Südliches Afrika. Vorderindien. Brasilien.
- 17 Mexiko. NE-Brasilien. Gran Chaco. Senegal. E-Afrika. Australien usw.
- 18 Nicht nur Kakteen und Euphorbien, sondern in E-Afrika auch stammsukkulente Bäume, z. B. *Adenium*-Arten. In E-Afrika (zwischen Pare- und Usumbura-Gebirge) erscheint diese Forma-tion sogar in der äquatorialen Zone, bedingt durch den Regen-schatten der Gebirge. Verbreitetste Akazienart dieser Formation in Afrika: *Acacia tortilis*.
- 19 U. a. folgende Gattungen: *Prunus*, *Juglans*, *Ilex*, *Aesculus* sowie *Podocarpus*. — In der subalp. Stufe ist das Laub noch xero-morpher.
- 20 Z. Vgl. Kilimanjaro: Nebelwald mit *Olea chrysophylla*, *Ilex mitis*, *Juniperus procera*, *Podocarpus milanjianus*, *Hagenia abyssinica*, in oberen Lagen mit *Hypericum*- und *Crotalaria*-Arten.

Tabelle 2 b

Wichtige Klimaxformationen der Niederungen der Erde außerhalb der Tropen. — Wälder (nach Schmithüsen, 1959, u. a.)

Formation	8	9	10	11	12	13
Subtropischer, immergrüner Regenwald	Temperierter, immergrüner Regenwald ¹	Hartlaubwald	Lorbeerwald	Sommergrüner Laubwald	Borealer Nadelwald («Taiga») (nach S und W Übergänge zu Form. 12)	
Ersatzformation (wichtige und verbreitete)			Macchie-Garrigue	Höhensavanne	Wiese-Weide	
Klimatische Angaben	vor allem E-Seiten der Kontinente mit Passat-Steigungsregen. Niederschlag meist über 2000 mm	20–30 (–50) m; höhere Breite: 5–20 m	im Bereich der Winter- (seltener Sommer-) Regen; W-Seite der Kontinente, z. T. in (sub-)trop. Gebirgen	im Bereich der Sommer-Regen; E-Seite der Kontinente und Nebellagen (sub-)trop. Gebirge	wie 12, aber Niederschlag oft in einer Jahreszeit häufiger (meist Sommer); kontinental-winterkalt ³ , Niederschlag: 250–750 mm, Dauerfrostboden in $\frac{2}{3}$ des Areal	
Höhe der Baumschicht	20–35 (–50) m	20–30 (–50) m; höhere Breite: 5–20 m	15–20 m (Karriwald in SW-Austral. –50 m)	10–30 m	10–40 m sehr unterschiedlich:	
Charakteristische Pflanzen	oft Nadelhölzer ⁴ , Baumfarne, wenig Lianen, Epiphyten! besser entwickelte Krautschicht als in 1	z. T. Nadelhölzer; z. T. viel Holzlianen; Bambus, wenig Blütenpflanzen, Epiphyten, aber: Moose, Flechten, Farne; viele (Zwerg-)sträucher. Krautschicht gut entwickelt	Hartlaubbäume ⁵ , xerophyt. Schopfbäume ⁶ , Nadelhölzer mit pinoider Belaubung; Hartlaubsträucher, z. T. ericoides Laub; spärliche Holzlianen, krautige Schlingpflanzen; Zwergsträucher, Knollenpflanzen	s. wenig Holzlianen, Epiphyten, nur Moose, Flechten, Farne. Krautschicht: Farne!	immergrüne Nadelhölzer, oft bestandesbildende Arten ⁷ , Strauchs.: z. T. sommergrüne Laubbölzer, Krauts.: Zwergsträucher, Stauden m. Ausläufern, z. T. Gräser, Farne, Bodenflechten, Torfmoose, Laubmoose, Saprophyten	
Charakteristische Merkmale	weniger Baumarten als in Form. 1, z. T. bestandesbildend, 2–3 Baumschichten; oft Brett- und Stützwurzeln; keine Kauliflorie, mittelgr. Blätter, Träufelspitze (in 9 keine!)	wenige Baumarten, z. T. bestandesbildend ⁸ , 2–1 Baumschicht; schmale Krone (höhere Breiten: breite Kronen), Brettwurzeln, vereinzelt; Blätter: Lorbeer- bis Magnolientyp	1 (–2) Baumschicht; z. T. hochstämmig, z. T. lichte Gehölz, knorrige Krone, dicke Borke (Kork!); meist kleine, steifledrige Blätter, Wachs- bzw. Haarüberzüge, relativ frosthart	wenige Baumarten ⁹ ; Sträucher, ähnl. Form 10 ¹⁰ , 1–2 Baumschichten; physiognomisch zwischen Form 9/10, z. gr. steifledrige Blätter, nicht frosthart!	meist Mischung v. 10–25 Baumarten, oft bestandesbildende Arten ¹¹ , 1–2 Baumschichten; schlanker Stamm, reich verzweigte Krone; zartes Laub, ausgepr. jahreszeitl. Periodizität, Laubfall; Kräuter s. ¹²	
Verbreitung	s. Anmerkung ¹³	s. Anmerkung ¹⁴	um 35° S und N ¹⁵	um 35° S u. N ¹⁶	zirkumpolar ¹⁸ s. Anmerkung ¹⁷	

Anmerkungen zu den Klimaxformationen der Niederungen der Erde außerhalb der Tropen

- 1 In Berglagen ähnlich Nebel- oder Lorbeerwäldern.
 - 2 Extremste Temperaturgegensätze in E-Nordamerika und E-Asien, wärmste Monate bis 26 °C, kälteste unter -5 °C. — Wichtigster Boden dieser Zone: Braunerde.
 - 3 Große Temperatur-Amplitude: mittlere Januar-Temperaturen -10 bis -50 °C; kurze, warme Sommer mit Mitteltemperaturen des wärmsten Monats zwischen 10 und 20 °C. — Wichtige Böden dieser Zone: podsolierte Braunerden, Podsole, Gleye, Moorböden.
 - 4 Z. B. *Podocarpus*-Arten (bestandesbildend), *Agathis australis* (do.) = Kauri-Fichte.
 - 5 Hartlaubebäume: Europa: z. B. *Quercus ilex* (Grüneiche), *Olea europaea* (Ölbaum); Kalifornien: z. B. verschiedene Eichenarten; Australien: Eukalypten zusammen mit Casuarinen (letztere Nadelholz mit rutenförmigen Zweigen und reduzierten Nadeln).
 - 6 Chilenische Palme (*Jubaea spectabilis*).
 - 7 Nadelbäume dieser Formation: Eurasien: Fichten, Föhre, Lärchen (laubwerfend!), Sibir. Tanne, Arve. Nordamerika: zusätzlich Tsuga-, Pseudotsuga- und Thuja-Arten, keine Arve. — Sträucher: Arten der Gattungen Birke, Weide, Pappel, Erle, z. T. Vogelbeerbaum. — Auf Moorböden in Eurasien vorherrschende Föhren, in N-Amerika *Picea mariana*. Sumpf-Taiga mit Laubhölzern, in Eurasien z. B. Moorbirke.
 - 8 Z. B. *Nothofagus*-Arten, bestandesbildend *N. dombeyi*.
 - 9 Eurasien u. Kanar. Inseln z. B. mit Eichen, Föhren, Lorbeerbaum, Wacholder-Arten, *Arbutus unedo*. In S-Amerika mit Araukarien.
 - 10 Typische Sträucher dieser Formation sind die Rhododendron-Arten, die z. T. in unsern Parks kultiviert werden.
 - 11 Typische Baumarten dieser Formation: Europa: Buche, Eichen, Ahorne, Esche, Hagebuche, Ulmen, Linden, Birken, Erlen, dazu Weißtanne. Nordamerika und Ostasien: viel artenreicher! Zusätzlich z. B. Nußbaumarten, Hickory, Tulpenbaum, Kastanienarten.
 - 12 Typische Kräuter: Frühlingsblüher (meist mit Zwiebeln, Knollen oder Rhizomen), Schattenpflanzen (z. B. Waldmeister), immergrüne Arten (do. und z. B. Immergrün, Taubnessel usw.).
- Anmerkungen zu den Schwerpunkten der Verbreitung:*
- 13 SW-Südamerika, z. B. bei Tucuman bis 1200 m ü. NN. — SE-Australien.
 - 14 Vor allem im südhemisphärischen W-Windgürtel: S-Chile (-40 ° SB), S-Neuseeland, Tasmanien, mittleres China, Kanar. Inseln. — Im ozeanischen W-Nordamerika herrscht ein von Nadelhölzern aufgebauter Regenwald mit z. B. *Pseudotsuga menziesii*.
 - 15 Mediterrangebiet (Maquis), Kalifornien (Chaparral), SW- und SE-Australien. In extremer subtropischen Gebirgen oft in Höhenlagen von 600 bis 1100 m. — In den Tropen oberhalb 3000 m ü. NN.
 - 16 Nebellagen subtropischer Gebirge, z. B. im Himalaya, S-China, Japan, Kanar. Inseln, Chile (auch in Florida, E-Australien, S-Afrika, S-Brasilien) (oft zwischen 3000 bis 4000 m ü. NN. in den Tropen). Ferner als Höhenwald in tropischen Sommerregengebieten, z. B. in Madagaskar, E-Afrika, Venezuela.
 - 17 W-Teil der Kontinente zwischen 45 ° und 55 ° NB, im E-Teil südlich von 45 ° NB. Optimal in ozeanischem Klima. Größte Flächen in Mitteleuropa, Nordamerika, Ostasien; im mittleren S-Chile mit immergrünen Arten.
 - 18 35 % des Waldes der Erde = rund 15 Mill. km². In Sibirien mittlere Breitenausdehnung von 1500 km!

Wichtige Klimaxformationen der Niederungen der Erde und teilweise der Hochgebirge. — Tundren, Heiden, Steppen, Rasen
(nach Schmithüsen, 1959, u. a.)

	14	15	16	17	18
Formation	Prärie- oder Schwarzerde-Steppe ¹ ,	Trockensteppe ²	Halbwüste der gemäßigten Zone	Zwergstrauch-Tundra ⁵	Supolarer Rasen
Klimatische Angaben	kalt, semihumid, Niederschlag > 500 mm/J. (Spitze im Sommer)	wie bei 14, aber Niederschlag < 500 mm/J. meist um 250 mm/J.	Niederschläge < 50 mm/., sonst wie bei 14	Niederschlag 200–300 mm, oft Frostwechsel und große Temperatursprünge ⁶	gut ausgebildet im ozean. Bereich (Island)
Charakteristische Pflanzen	Artenreichtum! Gräser (z. B. <i>Stipa</i>), Stauden, Knollenpflanzen, Annuelle	harte Büschelgräser, Halbsträucher (z. B. <i>Artemisia</i>), Stauden, Knollenpflanzen ³	winterkahle Zwerg- und Halbsträucher, regengrüne Büschelgräser ⁴ , Wacholderarten	teppich-, spalt- und polsterbildende Zwergsträucher, Flechten und Moose	ausdauernde hohe sowie rosettenbildende Stauden, Knollenpflanzen und Annuelle
Charakteristische Merkmale	0,5–2 m hoch; tiefwurzelnde Horstgräser, z. T. «Steppenläufer» (Gräser mit sparrigen, oberird. Teilen); jahreszeitl. abgestufte Blühfolge	bis 0,5 m hohe, lückige Bestände	ohne Stammsukkulenten, oft Salzpflanzen	Zwergsträucher und Kräuter mit kleinen, harten Blättern, meist flachwurzeln; Zwergwuchs der Sträucher	0,1–0,2 m hoch, ähnlich unsern alpinen Rasen
Verbreitung (Schwerpunkt)	N-Amerika, Ukraine, W-Sibirien, ungar. Puszta (ähnlich auch in E-Patagonien) Fläche von 14 fast ganz kultiviert!	(echte Wüsten nur: in der Gobi, Tarim, Turkestan, Iran)		zirkumpolar um den Polarkreis, vor allem Arktis	Aläuten, nordatlant. Inseln (vgl. alpine Rasen!)

¹ Im Grenzbereich zu den feuchteren Zonen: Übergänge zu sommergrünen Laubwäldern mit Waldinseln = «Waldsteppe».

² Oft Übergänge zu 16.

³ Beispiele verbreiteter Steppenpflanzengattungen: *Iris* (Schwertlilie), *Ranunculus* (Hahnenfuß), *Dianthus* (Nelke), *Orchis*, *Astragalus* (Tragant).

⁴ Oasen ohne Palmen, sondern mit Weiden und Pappeln.

⁵ Im Grenzbereich zu wärmeren Zonen: Übergänge zu borealen

Nadelwäldern = «Waldtundra». Nördlichster Wald bei 72° NB (Chatanga-Mündung im mittleren N-Sibirien); z. Vgl. südlichster Wald bei 53° SB (Auckland-Inseln). Grenze abhängig von der Sommerwärme, Dauer der Vegetationsperiode, Wind; diese wirken auf die Verjüngungsfähigkeit. — Weitere Übergänge in N-Skandinavien und N-Island: Moorbirkenwälder. Physiognomisch ähnlich sind die subantarktischen sommergrünen Laubwälder Feuerlands.

⁶ Kältester Monat –8 bis –20 °C; Vegetationsperiode 2–3 Monate.

Tab. 3 Albedo in Wiesen und Wäldern
(n. KRINOV 1947 zit.n. 52: S. 132; * n. 23)

	Global	Licht
Nadelwald 1)	10-14	3-7
Laubwald	12-20	4-8
Eichenwald *		2
Wiesen, trocken	15-35	5-12
Feld, aufgelassen *		5,3

Tab. 4 Lichtintensität
im Bestand in Abhängigkeit vom Laubaustrieb (n. 153)

	Laub- wald	Laub- Nadel- Mischwald	Nadel- wald
Ende April	51	22	8
Ende Mai	23	14	7
Ende September	5	4	4

- 1) Nach 220: S.96
wird in der Vegetationsperiode nur 5 %
Infrarot, im Herbst etwas mehr, reflektiert.

Tab. 5 Helligkeit über der Krautschicht

Bestand	% der Freiland- Helligkeit	Autor
Sommergrüne Laubwälder	1-5	} 53 : S. 232 220 : S. 106
Buche	1,5 1)	
Hagebuche, Bergahorn	1,8	
Eiche	4,0	
Pappel	10,0	
Lärche	20,0	
Nadelwaldforste	0,5 - 6,7	144
Farn-Buchenwald	7,5	64 ; 66 : S. 173
Tropische Regenwälder		
Nigeria	0,5 - 1	208
N-Sumatra	0,1	28a
	0,2 - 1	232
	0,2 2)	2
	0,7 3)	138

- 1) in Sonnenflecken: 2-3 %; ohne Laub 30 - 80 %
2) im oberen Kronenraum: 5,6 %
3) in Sonnenflecken: 12 %; nach 40: 10,4 - 72 % (Flächenanteil am Mittag : 0,5 - 2,5 %)

Tab. 6 Lichtintensität in Abhängigkeit vom Alter des Bestandes

	Picea abies (nach 143)						Pinus resinosa (nach 232)			
Alter	20	40	60	80	100	140	25-35	55-65	90-110	>200
% von Frei- land-In- tensität	8	12	17	21	25	34	7	11	16	>44

Tab. 7 Lichtintensität im Bestand in Abhängigkeit von der Besonnung

	n. 153		n. 246		n. 219	
	Laub-Nadel- mischwald, geschlossen	grössere Lücke	Buchenwald in 26,4 m Höhe	in 0,2 m Höhe	Altbestände	
bedeckt	4	9	48	3,9	1,1-29	% der Freiland- Intensität
sonnig	2,5	7,3	20,5	1,7	1,2-12,6	

Tab. 8 Lichtgrenzen *) für das Gedeihen einiger Kräuter

Bestand	Gebiet	Art	Licht-Intensität	Autor
Laubmischwald (Quercus-Carpinetum)	NW-Deutschland	ohne Kräuter	< 1 %	64
	"	Sauerklee (Schwerpunkt zwischen 1-2%)	> 1 %	64
Eichen-Birkenwald (Quercus-Betuletum)	"	Adlerfarn, Faulbaum	> 10 %	64
Trop. Regenwald	N-Sumatra	Selaginella	> 0,2 %	28a
	"	Begonien, Zingiberaceen	> 2,5 %	28a
		Rubiaceen		

* Abhängig von Wasserversorgung, pH usw; z.B. braucht *Stellaria holostea* mehr als 10 mal soviel Licht auf saurem Boden wie auf neutralem (64; 66: S. 80)

Tab. 9 Energieumsatz in Pflanzenformationen

Formation, Bestand	Energieumsatz %	Autor
Tundra	0,036-0,091 ¹⁾	20
Temperierte Zone		
Mittelwert	~ 1	129
Föhrenforst	2,5 ²⁾	129
Picea omorica-Forst	2,7	185
Eichenwald (Minnesota)	0,26	23
Eichenwaldsteppe	0,16	23
Prärie	0,11	23
Typha latifolia	0,46	23
aquat. Gesellschaften	0,1 - 1,2	23
Beta vulgaris-Acker	5 - 6 ³⁾	77a
Feld-Kulturen, Nieder- lande	1 - 2	262
Tropische Zone		
Mittelwert	2	129
Trop.Regenwald	4	16

1) berechnet auf 3 Monate (Vegetationsperiode) : 0,97.

2) Douglasie und Schwarzföhre : 2-3 mal höher

3) produktivste 2 Monate : 7-9.

Tab. 10

Blattflächenindices der wichtigsten Formationen im Vergleich mit Einzelarten
und Grünland (einfache Oberfläche).
nach 148, 111, 32, 220, 200, 64, 254, 82a.

	Index
Trop. Regenwald	>10
Venezuela: montaner Regenwald 1000 m	1
1600 m	6
2600 m	8
Nebelwald 3000 m	8
Subtrop. Regenwald	8
Lorbeerwald	8
Sommergrüne Laubwälder	
Japan: Fagus crenata-Wald	6
Europa: Buchenmischwald	6-9
Eichen-Birkenwald	6
URSS: Durchschnittswert	8-10
Durchschnittswerte einzelner Arten:	
Weymouthsföhre 8 Buche 8	
Douglasie 9-13 Eiche >3	
Fichte 5-14 Birke >2 (-5)	
Föhre 3	
Tanne 8	
Wiese (Mitteleuropa)	10
Gräser	10-25
Klee	5 -13
Luzerne	>40
Glatthafer und Kohldistelwiesen	5-16

Tab. 11 CVP-Index ¹⁾ und Holzproduktion (nach 194 und 129)

Hauptverbrei- tungszone	Subpolar	gemäßigte Zone				Aequatorial
CVP	0 - 25	25 - 100	100 - 300	300 - 1000	1000 - 5000	>5000
m ³ /ha.2 Jahr	0	0 - 3	3 - 6	6 - 9	9 - 12	>12
g/m ² gebundener C	0 - 100	100 - 200	200 - 400	400 - 600	600 - 800	800 - ~1000
Formation	Tundra	Taiga Trockenwald (bzw. Busch)	Laubmischwald Trockenwald Trockensavanne	Laubmischwald Lorbeerwald Monsunwald Feuchtsavanne	Saisonwald (halbimmer grün) Feuchtsavanne	Tropischer Regenwald

1) CVP-Index abhängig von \bar{t} = mittl. Temperatur wärmster Monat, °C

$$CVP = \frac{\bar{t} \cdot N \cdot V \cdot E}{\Delta t \cdot 12 \cdot 100}$$

N = Niederschlag pro Jahr in mm

V = Vegetationsperiode in Monaten

E = "Evapotranspirationsreduzent", abhängig von Einstrahlung

Δt = Temperaturdifferenz zwischen wärmstem und kältestem Monat

CVP = climatic vegetationformation productivity

2) durchschnittlicher Zuwachs

Tab. 12

Jährliche organische C-Bindung auf der Erde und deren Verteilung auf die verschiedenen Vegetationsformationen und Zonen (nach 129). Vgl. Tab. 18

Vegetationsformation vgl. Tab.2	Fläche in Mio km ²	Nettopro- duktion t/ha.Jahr C	Gesamtpro- duktion in Mio t/Jahr C ³⁾
Wälder	43,6		14,7
Borealer Nadelwald	10,0	1,5	1,5
Sommergrüner Laubwald	4,9	3	1,5
Trop.und subtrop.Wälder ¹⁾	14,7	7,5	10,3
Uebergangswälder	14,0	1	1,4
Grasland	25,7	0,6	1,6
Kulturflächen	14,0	3	4,2
Wüsten	52,0	0,1	0,5
Polarzonen	12,7	0	0
Total	148		21

1) inkl. Trockenwald; Produktivität von Trockenwald + Savanne ungefähr gleich

2) Uebergänge zu Strauchformationen usw.

3) 40g C \cong 100 g Trockensubstanz

Tab. 13 Weltproduktion an Pflanzenmasse (nach 58)

Nettoproduktion/Jahr von	Fläche 10 ⁶ km ²	Wirkungs- grad %	Organ.Sub- stanz, C fixiert t/ha.Jahr	Total: Organ.Substanz	
				Welt 10 ⁹ t	10 ¹⁶ Kcal
Wälder	40,7 = 28 %	0,33	5	20,4	8,2
Kulturen	14,0 = 10 %	0,25	4	5,6	2,3
Steppen, Natur- und Kulturweiden	25,7 = 17 %	0,1	1,5	3,8	1,5
Wüsten,natürl.und künstl.Halbwüsten	54,9 } 45 %	0,01	0,2	1,1	0,5
Antarktis u.a.Schnee- flächen	12,7 }	~ 0	~ 0	~ 0	—
			TOTAL	30,9	

Tab. 14 Weltverteilung der Primärproduktion (58; 161: S.59)

	Wüsten	Steppen, Sa- vannen, Wäl- der, tiefe Seen landw.Kulturen	frische Wiesen und Wälder flache Seen landw.Dauer- kulturen	Aestuale Korallenriffe Alluvialebenen Intensiv-Kul- turen	Litoral- zonen	Hochsee
Trocken- substanz						
gr/m ² .Tag	< 0,5	0,5 - 3,0	3 - 10	10 - 25	0,5 - 3,0	< 1,0

Tab. 15 Vergleich der Produktivität von Trop. Regenwald und Buchenwald , nach 110 u.147

Zahlen in t/ha. Jahr	Regenwald Siam	Buchenwald Dänemark	Tropen
Biomasse-Zuwachs 1)	6,6 (=4/5)	~10	
Gesamt-Streuanfall	23,3 (=4/5)		~3 x grösser
Tote Bäume	1,2		
Netto-Produktivität	28,6	16,2	~1,5-2 x produktiver
Brutto-Produktivität	123,2	23,5	
Atmungsverlust	77 %	31 %	
Blattflächenindex	11,2	~8	
Totale Biomasse	365	~150	~2- 2,5 x grösser

1) Sehr geringer Netto-Zuwachs (unter Abzug der toten Bäume):
dynamisches Gleichgewicht.

Tab. 16 Laubfall wichtiger Formationen

	t/ha. Jahr	Autor
Trop. Regenwald, Siam	~12	111
Kongo	12 - 15	121
Ghana	10,5	159
Trop. halbbimmergrüner Saisonwald, Nigeria	31,4	99
Trop. feuchter regengrüner Wald, Nigeria	20,3	99
Lorbeerwald Japan	5 - 11	236 + 18
Sommergrüne Laubwälder	2 - 4	133
Nadelwälder	3,5 - 6,5	200 + 108

Tab. 17 Biomasse wichtiger Formationen

	t/ha.	Autor
Trop. Regenwald Siam (Côte d'Ivoire)	365 (240)	110 (150)
Trockener Monsunwald, Siam	291	162
Savannenwald Siam	157	162
Sommergrüne Laubwälder, Dänemark (Minnesota)	~150 (183)	147
Hartlaubwald, E-Nepal	280	266a
Tsuga dumosa-Wald, E-Nepal	400	266a

Tab. 18 Produktion und Mineralstoffumsatz der wichtigsten Formationen der Nordhalbkugel der Alten Welt.
nach 209, s. auch 18: S.158.

	Taiga, nördliche	Taiga, mittlere	Taiga südliche	Buchen- mischwälder	Eichen- Mischwälder	subtrop. Wälder laubwerfend	trockene Savannen	Savannen	tropische Feuchtwälder
Biomasse t/ha 1)	100	260	330	370	400	410	26,8	66,6	500
Nettoprod. t/ha.Jahr 2)	8	6	5	1	1	3	11	12	8
Streuanfall t/ha.Jahr	4,5	7	8,5	13	9	24,5	7,3	12	32,5
Laubfall t/ha.Jahr	3,5	5	5,5	9	6,5	21	7,2	11,5	25
Zuwachs t/ha.Jahr	1,5	2,5	3	3) 4,5	3,5	12	2,9	8,3	16 4)
	1,0	2,0	3	4	3,5	3,5	0,1	0,5	7,5
Nettoprod. t/ha.Jahr						immergrün			
Streuanfall (n.111)			10-15	5-15		15-20			25-30
Mineralstoffe und N			3,5-4,9 (subalpin)			6			23
in der Biomasse kg/ha	970	3350	2700	4196	5800	5283	978	727	11081
Mineralstoffumsatz 5) kg/ha	118	177	155	492	340	993	319	unbekannt	2029
Mineralstoffgehalt 5) im Streuanfall kg/ha	100	145	120	352	255	795	312	-	1540
do. nur im Laubfall kg/ha	83	120	110	285	245	701	179	152	1484
Mineralstoffe 5) in der Streue kg/ha	1300	1200	1300	1000	800	600	unbekannt	16	178
Wichtigste chem. Elemente im totalen Streuanfall	N > Ca > K (Si)			Ca < N > Si (Al)		N > Ca > K (Si, Al, Fe)		-	Si > N > Ca (Al, Fe, S, Mn)

1) nach japan. Angaben überschätzt (-20 %)

3) 2-4 (133)

2) Gesamtzuwachs

4) 10,5 (159); 12,3 - 15,3 (121)

5) inkl. N ; Umsatz = bleibender Entzug für Wachstum und Blattaufbau.

Tab. 19

Stoffproduktionsdaten. Vergleich: Wald - Grünland usw.

	Wald			Grünland usw.		
	Formation Bestand usw.	Netto-Prod. Trockensub- stanz t/ha.J	Autor	Formation Bestand usw.	Netto-Prod. Trockensubstanz t/ha. Jahr	Autor
Arktis				arktische Tundra	0,6 - 1,9	20
Subarktis				alpine Tundra	0,4 - 1,3	20
alpine				Calamagrostis purpurea-Ges.	2,3	128
Lagen	Birkenwald	4,6	128*	Carex-Eriophorum-Moor	0,6	128
	Salix-Gebüsch, Cornwallis-Isld.	0,03	261a	Nardus-Weide (alpin)	0,5 - 1,0	128
				Alpweiden	0,9 - 4,1	128
				Juncus-Zwergstrauch-Wiesen	0,8 - 1,1	128
Gemässigte	Nadelwald- N-Finnland	0,8 - 1,6	101b	Rüben ⁴⁾	2,4 - 5,8	128
Zone	Nadelwald, S-Finnland	2 - 3,5	101b	Weizen	5,0 - 8,2	128
humide	Laubmischwald, URSS, DS	4 - 4,5	200	Mais (max.-28)	7,5 - 14,0	128
Gebiete	Laubwälder, Grossbritannien+	4,2	193	Lolium perenne-Weide	2,4 - 5,8	128
	Birkenmoorwald "	8	191	Grünland, Grossbritannien, DS	4,3 - 4,8	193
(aridere	Weisserlen-Aufforstung "+	6,3	173	Kulturen, URSS, DS	3,5 - 4,5	200
Gebiete,	Eichen-Aufforstung "+	2	173			
s.unter	Eichen-Bestand, DS +	5,2	128	Phragmites communis	2,2 - 25	128
Steppen,	Buchen- Bestand, DS +	5,4	128	Typha latifolia u. augustifolia	13,6 - 17,3	128
Trocken-	Fichten-Bestand, DS +	5,3	128	Carex lasiocarpa	4,8	128
rasen)	Douglasien-Bestand DS +	6,8	128	Phalaris arundinacea	8,7	128
	Föhren-Bestand, DS +	3,7	128	Schoenus nigricans	6,4	128
	Föhren-Aufforstung, Grossbrit.+	8 - 13(-22) ¹⁾	193			
	Douglasien-Aufforstung " +	8,7 2)	193	Stipa spartea-Prärie	3,5	128
	Lärchen-Aufforstung, Grossbrit.+	6,2	193	Stipa-Bouteloua-Prärie	0,6	128
	Abies grandis- " ,Grossbrit.+	18 3)	173	Gentiano-Koelerietum	0,8 - 2,4	128
	Thuja plicata- " ,Grossbrit.+	3	173	Prärie, Minnesota	0,9	186
	Nadelwald, inkl. Krautsch., Schwed.	2,1	128	Trockenprärie	0,7	128
	Nadelwald, inkl. Krautsch. Schweiz	8,2	128	Halbwüste, Nevada	0,4	128
	Buchenwald, Gesamtprod., Schweiz	7,6 - 8,8	128			
	Fichtenwald auf Buchenstandort	11,3 - 14,5	128	* Uebersicht ! 1) Maximalwert. 2). Vgl. Versuchs- fläche EAVF, Lausanne, 50-j. Bestand, ds laufender Zuwachs $\approx 25 \text{ m}^3$ Gesamtmasse /ha. Jahr. 3) Vgl. do. 47-j. Bestand, 26 m^3 /ha. Jahr (62a). 4) nur oberirdische Teile !		
humid	Eichenwald, Minnesota	8,2 - (6,3)	186	+ Derbholzproduktion		
	Steppenwald, Minnesota	5,3 - (4,4)	186			
	Nadelwald (Abies szechalin.) Hokkaido	-28,5	111			
Tropen	Lorbeerwald, Kyushu	9	18			
und Sub-	do. (L. Bm. Distylium racemosum)	15-20(-21) ⁵⁾	161a			
tropen	Pinus pinaster, P. ellioti	~ 10	215			
	P. taeda, Kulturen, S-Austral.	> 18	215			
	Pinus radiata, " Austral.	14	128			
	Pinus patula	12	128			
	Agathis loranthifolia	8,2	128	Zuckerrohr (Hawai max. 72)	34,3 - 67	35b, 128
	Teak (Tectona grandis)	11,9	128	Arundo donax, Siam	52	161a
	Wattle (Acacia mollissima)	11,1	128	Themeda-Grasland, Siam	38,5	161a
	Balsa (Ochroma bicolor)	16,6	128	Panicum maximum, Nigeria	23	193b
	Palisander (Dalbergia latifolia)	23,4	128	Pennisetum purpureum	34	193b
	Eucalyptus deglupta	19,5	200b			
	Oelpalmen-Kultur, Ghana	28,5	110			
	Trop. Regenwald, Siam	7,8 - 8,0	161a			
	Dipterocarpus-Sav. W.	18,9	161a			
	Temper. i'grüner Wald	9,0	150			
	Trop. Regenwald, Côte d'Ivoire					

Tab. 20 Vergleich von Wald- und Freiland-Klima (Brandiswald, 33)

	Freiland	Plenterwald
Niederschlag 1174 mm	100 %	53 %
Schneehöhe	1	43
Luft-Temperatur 1)	7°	6,3°
—, Schwankung	55,3°	47,9°
mittl. Tagestemperatur	8,3°	7,1°
mittl. Nachttemperatur	5,6°	5,4°
Luft-Feuchtigkeit	77 %	84 %
Evaporation, V-IX	276 mm = 100 %	111 mm = 40 %
—, Jahr	100 %	15 %
Windgeschwindigkeit (mittl.)	100 %	32 %

1) Δt Freiland/Plenterwald: Winter 0,1°
Frühling 0,9°, Sommer 1,1°, Herbst 0,7°.

Tab. 22 Transpiration von Bäumen und Beständen i. Vgl. zu Grünland und Ackerkulturen nach 198, 1. Zahl, 199, 2. Zahl, 105: S. 431

	mittl. Transpiration Blatt, g H ₂ O/g FG	Transpiration/Tag Bestand, mm	Wasserverbrauch pro Jahr, mm	Transpirations- Koeffizient 1) n. HORTON (1923)
Birke	8. / 9,5	4,2 / 4,7	340	849
Buche	2,8 / 4,8	2,2 / 3,8	250	1043
Eiche				616
Lärche	3,8 / 3,2	5,3 / 4,7	340	1165
Föhre	2,0 / 1,9	2,5 / 2,4	300	110
Fichte	1,4 / 1,4	4,4 / 4,3	350	
Douglasie	1,3	5,3		
Trespenrasen			200	
Glatthaferwiese			325	
Getreide				~ 250-750
Kartoffeln				200-575
Zuckerrüben				280-500
Klee				250-700

1) Wassermenge, die zur Erzeugung von 1 g Trockensubstanz
notwendig ist.

Tab. 27 Interzeption im trop. Regenwald (n. 77: S. 303)

Niederschlag im Bestand	33 %	
Interzeption	20 %	
Stammabfluss	46 %	→
	Evaporation ab Rinde	9,2 %
	Absorption durch Rinde	9,2 %
	echter Stammabfluss	27,6 %
		↓
	Aufnahme durch Wurzeln	20,7 %
	Versickerung	6,9 %

Tab. 21 Bestandesklima eines tropischen Regenwaldes (36, 37) an der Elfenbeinküste

	Monat	Kronenraum 46 m ² ü. Boden °C	Bestandesraum 1 m ü. Boden °C
Temperatur			
Mittleres Maximum (Wochenmittel ¹⁾)	VIII-IX	25,8	
Mittleres Minimum (Wochenmittel)	II VIII	32,3 18,5	bis 4,1° weniger
Mittlere Tagesschwankung (Wochenmittel)	II XII	23,6 10,8	
Stärkste Tagesschwankung	VI	4	
schwächste Tagesschwankung	I	14,5	5,9
Schwankungsbereich, Mittel	VI	1,5	0,7
Temperaturdifferenz, 1-46 m, max.		4,8 ± 1,6 - 10 ± 2	2,1 ± 0,9 - 5,1 ± 1,3
Temperaturdifferenz, 1-46 m, min.			3-6 0,3-0,8
Evaporation		mm	mm
maximale Evaporation (Wochenmittel)	IV	17,8	4,3
minimale Evaporation (Wochenmittel)	VII	2,1	0,4
Niederschlag, maximal pro Woche	VII	350	175-335 Interzeption 50-95%
Rel. Luftfeuchtigkeit		%	%
mittleres Maximum (Wochenmittel)	I-XII	meist ≥ 95	
mittleres Minimum (Wochenmittel)	IV VII	57 73	69 94
f < 95 %, Std./Woche	IV VII	Std. 76-69 50-3	Std.
Luftfeuchtigkeits-Minimum trockene Tage ³⁾		% 50-70	% 60-80
Regentage		60-80	90-100
f < 95 %, Std./Tag		Std.	Std.
Trockene Tage		10-14	10-12
Regentage		8-12	0-2
Einstrahlung		geal/cm ² .Tag (50-)200-500(-700)	11m:15-75
maximal, innerhalb Min. (Stundenmittel)		1,35	
Beleuchtungsstärke		Lux ≥ 100 000	Lux < 250 Sonnen flecken -5000
% der möglichen Einstrahlung ⁴⁾		%	
(Wochenmittel)	VII XI	7,4 55,9	
Durchschnitt		31,7	

1) = "temperature maximale moyenne hebdomadaire".

2) Schnelle Abnahme der Temperatur unterhalb 11 m, regelmässige Abnahme der Evaporation.

3) Schwankungen zwischen Regen- und Trockenzeit-Bedingungen ganzjährig jederzeit möglich.

4) Direktes: diffuses Licht = 2 : 1,6.

Tab. 25 Interzeption, Mittelwerte
Stammabfluss, Mittelwerte (n. 144, 200, 101, 157 usw.)

Baumart, Bestand	Interzeption	Stammabfluss	Autor
Pinus, div. spec.	20-25	1	144, 200
Abies, div. spec.	20	2,5	144
Picea, div. spec.	35-40	1	144, 200, 157
Tsuga, div. spec.	35-40	< 0,1	144
Pseudotsuga menz.	40	0,2	144
Fagus, div. spec.	25	15	144, 200, 157
Quercus, div. spec.	20	0,3	144
Querco-Betuletum	~ 30		157
Populus tremul.	~ 16		101, 47
Chaparral	5-10	8	101, 214a
Mais	22		101
Alfalfa	21		101
Klee	18		101

Tab. 26 Abhängigkeit der Interzeption und des Stammabflufs vom Bestandesalter

Art	JW	D	St	Altbestände	Autor
Picea abies I.	12/10	20/22	30/26	39/32	50; 1.Zahl:Sommer, 2.Zahl Winter
SA.	0,6		1,2	0,8	
Pinus ponderosa I.	12	24	29	37	
SA.			3	0,8	213
				50 J. 60 J. 90 J.	
Fagus silvatica				27 23 17	158
				44 J. 77 J.	
Pinus pinea				38 28	158

Tab. 28 Infiltration und Oberflächenabfluss ¹⁾ (n.34, 154)

Standort	Infiltration	Oberflächen- Abfluss
Stark verdichteter Weideboden	3 Std.	51-78 %
Weideboden	2 Std.	3-15 %
lückiger Wald, bzw.Buchen-Niederwald	20 Min.	10 %
Plenterwald	2 Min.	+ 0 %
Fichten-Weidewald, wenig beweidet		31 %

1) Abhängigkeit der Infiltration von der Vegetationsbedeckung s. auch 200a
(Weiden in Wyoming).

Tab. 29 Abfluss aus stark bewaldeten (st) und schwächer bewaldeten bis entwaldeten Gebieten (sw).

Autor Gebiet	34	154	50	112a,c	252	252a (101:S.87)	zit.n.215	zit.n.158	47	79	zit.n.101
Vegetation	Emmental	Schwarzsee	Harz	Ruhr	Coweeta	Wasatch-Plat.	Südafrika	Sudan	Utah ⁴⁾	Illinois	S-Arizona ⁵⁾
	st sw	st sw	st sw	st sw	N-Carolina nach Kahl-schlag	Utah Grasland Deckung 40 %	Auffor- stung ²⁾	Trocken- wald kultur	Aspen- wald	sw beweidet	st sw Grasnarbe
Abfluss %	44 54	85	57	39,5-48	+12 -65	bis 400	bis+25	47	0,16	4	7,7
Evapotranspiration %	56 46	47 15	43	meist 1	+ 36 (Mittel)	4-5			5,45	30	17,6 ³⁾
Hochwasserwellen, Verhältnis	1 1,5-2	1	3	2-4		1		2			
Schwebstoffe	50 160	5-10 bis 550	mg/l			1		t/km ² Jahr			

- 1) vgl. auch 10, Colorado, nach Kahlschlag : + 6 % Abfluss
- 2) mit Pinus radiata; vgl. auch Pumpwirkung von Eucalyptus- und Acacia mollissima ("Wattle")-Plantagen
- 3) nach 15 cm Regen in 50 Std.
- 4) vgl. auch 10ld, Abflusserhöhung nach Ausräumen einer Strauchschicht.
- 5) vgl. auch 200a.

Tab. 33 Veränderung des Oberboden- pH-Werts nach Aufforstungen (n.170)

Boden- tiefe	Δ pH	Baumarten	Δ pH	Baumarten
0-15 cm	- 0,2 (- 0,15)	Föhre, Lärche, Schwarz- föhre, Fichte	+0,35 (-+0,15)	Buche, Douglasie, Trauben- eiche, Stieleiche, Kastanie
15-30 cm	- 0,1 (- 0)	Schwarzföhre, Fichte, Föhre	+0,1 (- 0)	Kastanie, Buche, Stieleiche
	Aziditätszunahme → (Reihenfolge der Baumarten z.B. Fichte am stärksten von 0-15 cm.)		Aziditätsabnahme ← (Reihenfolge der Baumarten, z.B. Buche am stärksten von 0-15 cm.)	

Tab. 30 Wasserhaushalt einiger Länder und Landschaften (in mm)

Gebiet	Vegetation	Interzeption	Transpiration	Boden Evaporation	Abfluss	Autor
S-Karolina	Quercus, Carya, Pinus, Acer	375	400	125	1100	*
Moskau	Fichten-Laubmischwald	165	170	71	72	*
Moskau	Eichenwald	67	280	93	82	*
Taiga	Fichtenwald	130	290	80		*
		Evapotranspiration				
Deutschland	Waldfläche $\approx 25\%$		402		367	**
Kongo	60 % Savanne, 40 % Regenwald		1173		337	**

* nach verschiedenen Autoren in 18: S. 166

** nach 43a, bzw. 16 in 58 : S. 7f.

Tab. 32 Grobporenvolumina von Wald- und von Grünlandböden

Standort		Boden- tiefe cm	Grobporen- Volumen $\varnothing > 8 \mu$ %	Autor
Wald	Eichenwald auf Rissmoräneboden	5-10	31	205
	DS inkl.	15-25	32	
	Fichtenwald auf Rissmoräneboden	5-15	29	205
	DS inkl.	30-40	20	
	Tannenwald auf Rissmoräneboden	10-20	28	205
	DS inkl.	25-35	21	
	Eichen-Eschen-Mischwald auf Lösslehm	0-10	28	206
	DS inkl.	30-40	18	
	Anenwaldboden	0-10	19	206
	DS inkl.	20-30	23	
Grünland	Pappelböden, 5 verschiedene, DS	2-12	22	207
	DS inkl.	25-35	19	
	Durchschnitt (DS)	$\sim 2-12$ $\sim 2-35$	26 22	
	Futterwiese auf tonigem Lehm	5-35	~ 16	75*
	Futterwiese auf Schlufflehm	5-35	~ 14	
	Trespenhalbtrockenrasen auf Braunerde	2-11	12	84
	DS inkl.	11-20	12	
	Trespenhalbtrockenrasen auf Rendzina	0-10	8	84
	Durchschnitt	1-11 $\sim 3-30$	~ 10 ~ 14	

* nach Abb. 15

Tab. 34 Nährstoffentzug in Wäldern und landwirtschaftlichen Kulturen

a.) Vergleich der laufenden Nährstoffaufnahme (Entzug) in älteren Waldbeständen des europäischen Russland für 100 jährigen Utrieb in kg/ha. nach 201 u. 60.						
Bestand	Alter	N	P	Ca	Mg	K
Freisselbeer-Föhrenwald	45 - 95	57 - 13	5 - 1,5	36 - 13,5	7,5 - 2,5	20 - 4,5
Linden-Föhrenwald	57	47	5,5	42,5		18,5
Rotstengel-Fichtenwald	60 - 93	40 - 27,5	6,5 - 3,5	33,5 - 28,5	6,5 - 3,5	19 - 9
Seggen-Geissfuss-Eichenwald	48 - 93	40 - 36	12 - 11	75 - 67	11 - 10	19 - 7
Durchschnitt * = mittlere Weizenernte		25 - 45*	3 - 6	20 - 40(-65)	3 - 6	11 - 33
b.) Nährstoffkreislauf in Föhren; kg/ha						
Bedarf		450	50	290		70
Entzug		100	10	100		20
Umlauf		350	40	190		50
Nährstoffkreislauf in Buchen:						
Bedarf		500	130	960		150
Entzug		100	30	140		50
Umlauf		400	100	820		100
(.51)						
c.) Nährstoffentnahme:						
Wälder (Abbotswood, GB)			0,2 - 0,8	20	3	1,1 - 4,2
Landwirts.Kulturen (n.190, 178, 216)			6 - 26	(7,4-)33,1(-59,2)	(4,8-)11,6(-28,7)	27 - 280
Zufuhr aus Niederschlag (n.87) ; kg/ha			0,09	11	4	2,3
d.) Nährstoffumsatz (Entzug) in						
Trockensub- stanzprodukt. t/ha	Durchlaufender Niederschlag l/m ²	P ₂ O ₅	Ca O	Mg O	K ₂ O	
Buchenwald auf Granit. 8,5	328	13,1 (1,0)	47,8 (37,8)	7,7 (89,8)	5,7 (1,7)	
Buchenwald auf Diorit 14	495	22,1 (1,4)	95,2 (71,2)	16,3 (134,1)	10,3 (2,9)	
in () Auswaschung (n.114) aus 0 - 40 cm (Lysimeter) kg/ha						
Zum Vergleich:						
e.) Umsatz in 100 J						
Föhrenwald			38	424		168
Nadelwald (Fichte)			74	890		466
Laubwald (Buche)			106	1930		483
Durchschnittswerte (n.202 ; vgl. 192)						
Acker-Kultur : kg/ha			1060	2420		7400
f.) Mineralstoffgehalt in Eichen-Birkenwald (bei Bruxelles, nach 58)						
Trocken- substanz						
Total kg/ha	74000	303		313		157
Birke (ein Baum) g/ha	39000	163		176		66
Stieleiche (ein Baum) g/ha	194000	908		924		438
Buche (ein Baum) g/ha	183000	588		599		285
Krautschicht kg/ha	1000	15,3		1,7		11,3
42 t Humus kg/ha	6000	130 tot		27 ab		3 ab
ab = austauschbar						
tot = totaler N-Gehalt						

Tab. 36 Zersetzung der Laubstreu (n.221)

Dauer	1	1 1/2	2	3	4	5	Jahre
Ulme	Robinie	Bergahorn	Eiche	Föhre	Lärche		
Schwarzerle	Traubenkirsche	Linde	Birke	Douglasie			
Esche	Hagebuche		Aspe				
			Roteiche				
			Buche				
			Fichte				

zum Vergleich:

prozentuale Abnahme im ersten Jahr (n. 108, 250, 111, 99, 101c)

Pinus ponderosa-Quercus, 1500 m, Kalifornien ~ 3 % (28-60 Jahre !)

Nadelwald, 2200 m 25 % (kann rund 25 Jahre dauern)

Laubmischwald (Fagus crenata), 900 m 35 %

Lorbeerwald, 200 m 43 %

Regenwald. trop. 100 % (2,5-5 - 7,2 Monate)

Tab. 37 Vergleich der Zersetzungsgeschwindigkeit (in Jahren) der Laubstreu und der A₁-Humus-Mineralisierung in zwei gegensätzlichen Formationen (n.16)

	Zersetzung der Streu	Humus-Mineralisierung
Trop. Regenwald	0,26	12,6
subalp.Fichtenwald	23,3	155

Tab. 35 Gewicht und Nährstoffgehalt von Humusdecken *) (n. 60)

Gebiet	Bestand	Humusdecke Dicke cm	Gewicht t/ha	Glühverl. t/ha	N kg/ha	P kg/ha	Ca kg/ha	K kg/ha	Autor
Deutschland									
Esgegebirge	Fichten	8,5	127,5	102	2100				SÜCHTING und
Bredelar	Fichten	8,5-10 (15)1)	97 - 145	87	1400				VOLKERT (1934)
Lüneburger Heide	Föhrenforst		85,5		888	82	140	207	ALBERT (1912)
Grossbritannien, Glouc.	Fichtenforst		25 - 26		360 - 436				OVINGTON (1954)
	Föhrenforst		12,7		192				
	Buchenforst		10,7		180				
	Douglasienforst		8,3		119				
	Stieleichenwald		3,7		71				SMIRNOVA (1955, 1956)
UdSSR, Moskau	Rotstengel-Fichtenw. 70 J.	3	24,4 - 37,1		330 - 500	22-25	240-267	54-70	
	Birkenw. krautreich, 45 J.		13,1 - 37,1		240 - 530	13-41	156-257	35-91	
UdSSR, Woronesh	Seggen-Eichenwald		9,8 ²⁾	8,5		11	300		MINA (1951)
	Geissfuss-Eichenwald		19,3 ²⁾	16,4		19	550		
USA, Minnesota	Acer sacch.-Mischwald		28 - 51	18-35	500 - 1000	65			ALWAY u. HARNER (1927)
	Abies balsamea + Thuja occidentalis		52 - 216	40-133	810 - 3190	150			
	Populus tremuloides und Betula papyrifera						1160		ALWAY u. KITTRIDGE (1933)
	Pinus strobus		9 - 48	4 - 28	110 - 550				ALWAY, METHLEY u. YOUNG (1932)
			78	46	834		690		ALWAY u. METHLEY (1934)
USA, Washington	Acer sacch.-Tilia glabra		67	40	1080		770		ISAAC u. HOPKINS (1937)
	Pseudotsuga menziesii		81	71	665	85	625	135	LUNT (1932) (Lit.zit.n.60)
	Tsuga heterophylla								
USA, Connecticut	Laubmischwald	3,5	66		695		165		
	Eichenwald	6	73,5		1050		535		
	Pinus resinosa	4,8	48		545	68	180		
				% vom Trockengewicht					
				Asche	N	P	Ca	K	
			10 - 15 t/ha Jahr						
zum Vergleich: Zusammensetzung der Streudecke in trop. Regenwä- lder (vgl. Tab. 18)				5,2-8,0	1,5-2,1	~0,1	0,8-1,6	0,5-1,0	17
					2,1	0,1	1,0	2,0	159
					1,5	0,06	0,5	2,0	88
					1,8	0,06	0,4	0,9	121

* = oder > Nährstoffgehalt in Althölzern. Streuanfall entspricht ungefähr den Ernterückständen auf demselben Standort hinsichtlich Nährstoffgehalt (ausser Ca-Gehalt, vgl. Tab. 34.)
1) einschliesslich Moosschicht 2) Lufttrocken

Nutzung von Reisig, Stock und Holz entspricht doppelter Holznutzung;
Nutzung von Streuschicht dazu entspricht einem halben bis vollen Nährstoffentzug einer mittleren Roggenernte.

Tab. 38 Trockensubstanz und Nährstoffe in der Bodenflora (n.60)

Gebiet	Bestand	Boden	Krautschicht wichtigste Arten	Trocken- substanz kg/ha.Jahr	N kg/ha	P	Ca	K	Autor
Ostdeutschland	Föhren	Sand	Himbeere, Gräser	2,6	25,5		5,5		WITTICH (1933)
Schweden	Föhren/Fichten	Moränensand	Heidelbeere	1,5	17,3				ANDRÉ (1947)
N-Schweden	Fichten	-	Heidelbeere, Moose	1,1	13,7	2,2	6,6	8,2	ROMMELL (1939)
Norwegen			"Calluna-Typ"	2,6		2,8	12,8	14,1	MORK (1946)
Norwegen			"Vaccinium-Typ"	0,8		1,2	7,3	7,4	MORK (1946)
UdSSR	Fichten, strauchreich	Lehm	Adlerfarn, Gräser, Kräut.	1,3	27		16	33	SMIRNOVA (1951)
UdSSR	Eichen-Waldsteppe	d' grauer Wald- Boden	Wimpersegge, Geissfuss	0,2 - 0,4	3,5 - 6,3	0,5	2-6	8-15	MINA (1955) (Lit.zit.n.60)

Tab. 39 Auswaschung von Mineralstoffen aus dem Kronenraum

	Umgebung von Stockholm n.239 1)			England n. 134		England n. 39	
	offenes Feld	Lichtung	unter Fichten	unter Föhren	Freiland Wald	Freiland Wald	Gehalt in Regen und Streufall
% von Freiland- Niederschlag	100	86-100	>63-71	75-116			
Ca kg/ha	0,4	0,5	>2,2	2,5	11	24	17,18
K kg/ha	0,2	0,3	>2,4	2,7	3	24	28,14
Na kg/ha	0,6	0,5	>3,7	3,2	19	33	55,55
Mg kg/ha					<4	10	9,36
P kg/ha					<0,4	Spur	13,23
N kg/ha					<0,4	Spur	1,31
							8,82

1) nur von 19.10. - 30.11.1950

Tab. 40

Pflanzenverfügbare Stickstoff in verschiedenen Formationen

Formation	total pflanzenverfügbare N		N-Akkumulation pro Jahr und Liter Boden	Autor
	Frishprobe	n.6 Wochen Feuchtkammer		
Trop.Zone	mg/100g Boden	mg/100g Boden	gr.	
Trop.Regenwald	1-2	20	0,2-0,5	51a
Saisonwald	~0	5(-15)	0,05-0,1	51a
offene Savanne	0	~0	~0	51a
Gemässigte Zone				
Laubmischwälder 5)	≤1(-3)	5	0,1	67
Bruchwälder 5)	2-5	10-25	0,05-0,1 ⁶⁾	117a
Halbtrockenrasen	0	0,5 ¹⁾	~ 0,02	84
Pfeifengraswiesen	~ 0	~ 0,5 ²⁾	~ 0,02-0,04	127
Quellsümpfe	0	~ 0	~ 0	127
Schilfröhricht	1-3	~ 3-5 ³⁾ (-19)	0,1-0,2 ⁴⁾	117b

- 1) Mai bis Juli 2) Mai-Sept. 3) März und Okt. 4) 3 Monate; auf Jahr umgerechnet : 0,4 - 0,8 g 5) Berechnung von April bis Oktober
 6) Oberboden. In 50 cm Tiefe noch 0,03.

Tab. 41

Vergleich der Windgeschwindigkeit in Beständen und im Freiland (n.144)

a.			b.			
Douglasie Durchforstung		Kahlschlag (Messhöhe 2m ü.F.)	Douglasie Durchforstung		Föhren-Laub-Mischwald	
stark	schwach		stark	schwach		
0,72	0,66	1,02 m/sec.	m/sec.	0,91	Messhöhe	1,39
71	64	100 %	%	58	18 m = oberer	64
(%-Werte beziehen sich auf 3 unabhängige Mess-Serien)			m/sec.	0,57	13 m = unterer	1,14
			%	32	Kronenraum	53
					2 m ü.F.	1,03 48
					Boden Kahlfläche	2,16 100

Tab. 42 Wirkung des Waldes als Staubfilter (n. 210 und 8)

	Staubteilchen/l Luft	g/m ³ .Monat	2 unabhängige Mess-Serien
Luft über Industrieort	9000	30	
offenes Feld	4000	6	(nach 1 Km)
Wald	2000	3-2,7	(nach 1 Km)
jenseits Wald	3-4000		Waldrand.

Tab. 43 Schneedruck (t/ha) in Abhängigkeit von Baumart und Bestandesalter (n.123:S.85)

Alter Jahre	15-20	40-60	70-90
Fichte	855	635	630
Buche	495	465	390

Tab. 45 Totale Biomasse eines 120-jährigen Waldbestandes in den Ardennen in kg/ha (n.58).

		Blattflächenindex 4,5.	
Biomasse:		Zuwachs:	
Stämme	240 000	}	5 000
Zweige	30 000		
Blätter	4 000		4 000
Kräuter	1 000		1 000
Humus	1 - 70 000	Wurzeln	2 000
		Atmungs-	12 000
		verlust	
Hirsche	1,2		
Rehe	0,3		
Wildschweine	0,7		
Vögel	1,3		
Mäuse usw.	5		
Pedofauna	- 1000		

A

- (1) *Aldous, S. E.*, 1941: Deer management suggestions for northern white cedar types. *J. Wildlife Mgmt.* 5, 90–94. — (2) *Allee, W. C.*, 1926: Measurement of environmental factors in the tropical rain forest of Panama. *Ecol.* 7, 273–302. — (3) *Anderson, M. C.*, 1964*: Studies of the woodland light climate. I. The photographic computation of light conditions. II. Seasonal variations in the light climate. *J. Ecol.* 52, 27–41, 643–663. — (4) *Andreae, B.*, 1965*: Die Bodenfruchtbarkeit in den Tropen. Hamburg u. Berlin (Parey), 124 S. — (5) *Arend, J. L.*, 1950: Influence of fire and soil on distribution of eastern red cedar in the Ozarks. *J. For.* 48, 129–130. — (6) *Aulitzky, H.*, 1963*: Bioklima und Hochlagenaufforstung in der subalpinen Stufe der Inneralpen. Schweiz. Z. Forstwes. 114, 1–25.

B

- (7) *Badoux, E.*, 1946: Relations entre le développement de la cime et l'accroissement chez le pin sylvestre. *Mitt. Schweiz. Anst. forstl. Vers.wes.* 24, 405–516. — (8) *Bättig, K.*, 1961: Die hygienische Bedeutung des Waldes für die Volksgesundheit. Schweiz. Z. Forstwes. 112, 652–666. — (9) *Baker, H.*, und *Clapham, A. R.*, 1939: Seasonal variations in the acidity of some woodland soils. *J. Ecol.* 27, 114–125. — (10) *Bates, C. G.*, und *Henry, A. J.*, 1928: Forest and streamflow experiment at Wagon Wheel Gap, Colorado. *MW Rev. Suppl. Nr. 30* (Zit. n. *Geiger*, 1961). — (11) *Bauer, L.*, *Hiekel, W.*, und *Niemann, E.*, 1964*: Ausbauzustand und Ufergehölz der Fließgewässer im Thüringer Gebirge (Thüringer Wald und westliches Schiefergebirge). Ein Beitrag zur Landschaftspflege an Gewässern. In: *Meusel, H.*, und *Schubert, R.*, Vegetationskundliche Untersuchungen als Beiträge zur Lösung von Aufgaben der Landeskultur und Wasserwirtschaft. *Wiss. Z. Univ. Halle-Wittenberg, Sh.*, 171–185. — (12a) *Baumgartner, A.*, 1956*: Untersuchungen über den Wärme- und Wasserhaushalt eines jungen Waldes. *Ber. Dtsch. Wetterdienst, Kissingen*, 28, 53 S. — (12b) *Baumgartner, A.*, 1957: Beobachtungswerte und weitere Studien zum Wärme- und Wasserhaushalt eines jungen Waldes. *Wiss. Mitt. Meteorol. Inst. Univ. München* 4, 59 S. — (13) *Beall, H. W.*, 1934: The penetration of rainfall through hardwood and softwood forest canopy. *Ecol.* 15, 412–415. — (14) *Beard, J. S.*, 1945: The progress of plant succession on the Soupière of St. Vincent. *J. Ecol.* 33, 1–9. — (15) *Beirnaert, A.*, 1941: La technique culturale sous l'équateur. I. Influence de la culture sur les réserves en humus et en azote des terres équatoriales. *Public. Inst. Nat. Etudes Agron., Congo Belge, sér. techn.* 26, 86 S. — (16) *Bernard, E.*, 1945: Climat écologique de la Cuvette centrale congolaise. *Publ. I. N. E. A. C.*, Bruxelles, 240 S. — (17) *Bernhard, F.*, 1966: Problèmes posés par la structure de la végétation et la production de litière dans la forêt du Banco (basse Côte de l'Ivoire). *Mskr. ORSTOM, Centre d'Adiopodoumé Off. Rech. Scient. Techn. Outre-Mer. Côte d'Ivoire.* 54 S. — (18) *Biro, P.*, 1965: Formations végétales du globe. Paris (Sedes), 508 S. — (19) *Blackman, G. E.*, und *Rutter, A. J.*, 1946: Physiological and ecological studies in the analysis of plant environment. I. The light factor and the distribution of the bluebell (*Scilla non-scripta*) in woodland communities. *Ann. Bot., London, NS* 10, 361–390. — 1947: II. The interaction between light intensity and mineral nutrient supply in the growth and development of the bluebell (*Scilla non-scripta*). *ibid.* 11, 126–158. — 1948: III. The interaction between light intensity and mineral nutrient supply in leaf development and in the net assimilation rate of the bluebell (*Scilla non-scripta*). *ibid.* 12, 1–26. — 1949: IV. The interaction between light intensity and mineral nutrient supply on the uptake of nutrients by the bluebell (*Scilla non-scripta*). *ibid.* 13, 453–489. — 1950: V. An assessment of factors controlling the distribution of the bluebell (*Scilla non-scripta*) in different communities. *ibid.* 14, 487–520. — (19a) *Blackman, G. E.*, und *Black, J. N.*, 1959: Physiological and ecological studies in the analysis of plant environment. XII. The role of the light factor in limiting growth. *Ann. Bot., London, NS* 23, 131–145. — (19b) *Blaney, H. F.*, *Taylor, C. A.*, und *Young, A. A.*, 1930: Rainfall

penetration and consumptive use of water in the Santa Ana River Valley and Coastal Plain. Calif. Dept. Public Works, Div. Water Research Bull 33, 162 S. (zit. n. *Humphrey*, 1962). — (20) *Bliss, L. C.*, 1962: Net primary production of tundra ecosystems. In: *Lieth, H.*, Die Stoffproduktion der Pflanzendecke. Stuttgart (Fischer), 35–46. — (21) *Bodenmann, A., Eiberle, K.*, 1967: Über die Auswirkungen des Verbisses der Gemse im Aletschwald. Schweiz. Z. Forstwes. 118, 461–470. — (22) *Braun-Blanquet, J.*, 1964*: Pflanzensoziologie. Grundzüge der Vegetationskunde (1. Aufl. 1928). 3. Aufl. Wien, New York (Springer), 865 S. — (22a) *Bray, J. R.*, 1961: An estimate of a minimum quantum yield of photosynthesis based on ecologic data. Plant Physiol. 36, 371–373. — (23) *Bray, J. R.*, 1962: The primary production of vegetation in central Minnesota, USA, and its relationship to chlorophyll content and albedo. In: *Lieth, H.*, Die Stoffproduktion der Pflanzendecke. Stuttgart (Fischer), 102–108. — (24) *Bray, J. R., und Gorham, E.*, 1964: Litter production in forests of the world. Adv. Ecol. Res. 2, 101–157. — (25) *Bray, J. R., Lawrence, D. B., und Pearson, L. C.*, 1959: Primary production in some Minnesota terrestrial communities for 1957. Oikos 10, 38–49. — (26) *Brook, C. E. P.*, 1928: The influence of forests on rainfall and run-off. Quart. J. Roy. Meteor. Soc. 54 (225), 17 S. — (26a) *Brougham, R. W.*, 1959: The effects of season and weather on the growth rate of a ryegrass and clover pasture. N. Z. J. agric. Res. 2, 283–296. — (27) *Brünig, E. F.*, 1964: A study of damage attributed to lightning in two areas of Shorea albida forests in Sarawak. Comm. For. Rev. 43, 134–144. — (28) *Buechner, H. K.*, 1950: Life history, ecology, and range use of the pronghorn antelope in Trans-Pecos, Texas. Am. Midld. Naturalist 43, 257–354. — (28a) *Bünning, E.*, 1939: Die Physiologie des Wachstums und der Bewegungen. Berlin. Lehrb. Pfl.phys. 2, Berlin (Springer), 267 S. — (28b) *Bünning, E.*, 1947: In den Wäldern Nordsumatras. Bonn (zit. n. *Geiger*, 1961). — (28c) *Bünning, E.*, 1948*: Entwicklungs- und Bewegungsphysiologie der Pflanze. Lehrb. Pfl.physiol. 2, 3. Berlin, Göttingen, Heidelberg (Springer), 464 S. — (29) *Bütler, L.*, 1962: Bodeneigenschaften in einem Laubholz-Mischbestand und in einem gleichaltrigen Fichtenbestand nach landwirtschaftlicher Zwischennutzung im Lehrwald der ETH. Mskr. Dipl.Arb. Inst. Waldbau ETH, 52 S. — (30) *Burckhardt, H.*, 1952: Lokale Klimaänderungen auf einem Berggipfel durch Kahlhieb. Angew. Met. 1, 150–154. — (31) *Burger, H.*, 1924*: 1. Physikalische Eigenschaften der Wald- und Freilandböden. Mitt. Schweiz. Anst. forstl. Vers.wes. 13, 3–221. — 1927: 2. Einfluß der Durchforstungsart auf die physikalischen Eigenschaften der Waldböden. Ebenda 14, 201–250. — 1929: 3. Aufforstungen, Eigenschaften der Böden und Hochwasser. Ebenda 15, 51–104. — 1932: 4. Ferienlager und Waldboden. Ebenda 17, 299–322. — 1937: 5. Entwässerungen und Aufforstungen. Ebenda 20, 5–100. — (32) *Burger, H.*, 1929*: Holz, Blattmenge und Zuwachs. 1. Die Weymouthföhre. Mitt. Schweiz. Anst. forstl. Vers.wes. 15, 243–292. — 1936: 2. Die Douglasie. Ebenda 19, 21–72. — 1937: 3. Nadelmenge und Zuwachs bei Föhren und Fichten verschiedener Herkunft. Ebenda 20, 101–114. — 1939: 4. Ein 80jähriger Buchenbestand. Ebenda 21, 307–348. — 1941: 5. Fichten und Föhren verschiedener Herkunft auf verschiedenen Kulturorten. Ebenda 22, 10–62. — 1942: 6. Ein Plenterwald mittlerer Standortsgüte. Ebenda 22, 377–445. — 1945: 7. Die Lärche. Ebenda 24, 7–103. — 1947: 8. Die Eiche. Ebenda 25, 211–279. — 1948: 9. Die Föhre. Ebenda 25, 435–493. — 1950: 10. Die Buche. Ebenda 26, 419–468. — 1951: 11. Die Tanne. Ebenda 27, 247–286. — 1952: 12. Fichten im Plenterwald. Ebenda 28, 109–156. — 1953: 13. Fichten im gleichalterigen Hochwald. Ebenda 29, 38–130. — (33) *Burger, H.*, 1931*: Waldklimafragen. I. Meteorologische Beobachtungen im Freien und in einem Buchenbestand. Mitt. Schweiz. Anst. forstl. Vers.wes. 17, 92–149. — 1933: II. Meteorologische Beobachtungen im Freien, in einem Buchen- und in einem Fichtenbestand. Ebenda 18, 7–54. — 1933: III. Meteorologische Beobachtungen im Freien, in einem gleichaltrigen Fichtenbestand und im Tannen-Fichten-Plenterwald bei Oppligen. Ebenda 18, 153–192. — 1951: IV. Meteorologische Beobachtungen im Brandiswald. Ebenda 27, 19–75. — (34) *Burger, H.*, 1934*: Einfluß des Waldes auf den Stand der Gewässer. II. Der Wasserhaushalt im Sperbel- und Rappengraben von 1915/16–1926/27. Mitt. Schweiz. Anst. forstl. Vers.wes. 18, 311–416. — 1943: do. III. Der Wasserhaushalt im Sperbel- und Rappengraben von

1927/28—1941/42. Ebenda 23, 167—222. — 1945: IV. Der Wasserhaushalt in der Valle di Melera von 1934/35—1943/44. Ebenda 24, 133—218. — 1954: V. Der Wasserhaushalt im Sperbel- und Rappengraben von 1942/43—1951/52. Ebenda 31, 9—58. — 1955: VI. Der Wasserhaushalt in der Valle di Melera von 1944/45—1953/54. Ebenda 31, 493—555. — (35) *Burgher H.*, 1948: Einfluß des Waldes auf die Höhe der Schneedecke. Schweiz. Z. Forstwes. 99, 225—231. — (35 a) *Burghy, R. H.*, und *Pomeroy, C. R.*, 1958: Interception losses in grassy vegetation. Trans. Amer. Geophys. Un. 39, 1095—1100. — (35 b) *Burr, J. O.*, et al., 1957: Ann. Rev. Plant Physiol. 8, 275 (zit. n. *Newbould*, 1963).

C

- (36) *Cachan, P.*, 1966: Signification écologique des variations microclimatiques verticales dans la forêt sempervirente de Basse Côte d'Ivoire. Ann. Fac. Sc. Univ. Dakar 8, 89—155. — (37) *Cachan, P.*, und *Duval, J.*, 1966: Variations microclimatiques verticales et saisonnières dans la forêt sempervirente de Basse Côte d'Ivoire. Ann. Fac. Sc. Univ. Dakar 8, 5—88. — (38) *Carhart, A. H.*, 1944: What deer eat: by species, by range, and by preference. Am. For. 50, 383—385. — (39) *Carlisle, A.*, *Brown, A. H. F.*, *White, E. J.*, 1966*: The organic matter and nutrient elements in the precipitation beneath a sessile oak (*Quercus petraea*) canopy. J. Ecol. 54, 87—98. — (40) *Carter, G. S.*, 1934: Reports of the Cambridge Expedition to British Guiana, 1933. Illumination in the rain forest at ground level. J. Linn. Soc. (Zool.) 38, 579—589. — (41) *Casparis, E.*, 1959*: 30 Jahre Wassermessstationen im Emmental. Mitt. Schweiz. Anst. forstl. Vers.wes. 35, 179—224. — (42) *Chandler, R. F., jr.*, 1943: Amount and mineral nutrient content of freshly fallen needle litter of some northeastern conifers. Soil Sc. Soc. Amer. Proc. 8, 409—411. — (43) *Cieslar, A.*, 1904: Einiges über die Rolle des Lichtes im Walde. Mitt. forstl. Vers.wes. Österr. 30, 1—105. — (43 a) *Clodius und Keller*, 1951: Zit. n. *Duvigneaud*, 1962. — (44) *Coldwell, B. B.*, und *DeLong, W. A.*, 1960: Studies of the decomposition of deciduous forest tree leaves before and after partial decomposition. Sci. Agr. 30, 456—466. — (45) *Cooper, C. F.*, 1960: Changes in vegetation, structure, and growth of southwestern pine forests since white settlement. Ecol. Monogr. 30, 129—164. — (46) *Crocker, R. L.*, und *Mayor, R.*, 1955: Soil development in relation to vegetation and surface age at Glacier Bay, Alaska. J. Ecol. 43, 427—448. — (47) *Croft, A. R.*, und *Monninger, L. V.*, 1953: Evapotranspiration and other water losses on some aspen forest types in relation to water available for stream flow. Trans. Am. Geophys. Union 34, 563—574.

D

- (48) *Daubenmire, R. F.*, 1957: Influence of temperature upon soil moisture constants and its possible ecological significance. Ecol. 38, 320—324. — (49) *Delfs, J.*, 1955*: Die Niederschlagszurückhaltung im Walde (Interception). Mitt. Arb.kr. «Wald und Wasser» 2, 7—54. Koblenz. — (50) *Delfs, J.*, *Friedrich, W.*, *Kiesekamp, H.*, und *Wagenhoff, A.*, 1958*: Der Einfluß des Waldes und des Kahlschlages auf den Abflußvorgang, den Wasserhaushalt und den Bodenabtrag. Mitt. Niedersächs. Landesforstverw. 3, Minist. Ernährg., Landwirtsch. und Forste, Hannover. — (51) *Dengler, A.*, 1944*: Waldbau auf ökologischer Grundlage. 3. Aufl. Berlin (Springer), 596 S. — (51 a) *De Rham, P.*, n. p.: Studien über den Stickstoff-Haushalt tropischer Savannen- und Waldstandorte an der Elfenbeinküste. — (52) *Dirmhirn, I.*, 1961: Light intensity at different levels. Trans. Roy. Ent. Soc. London 113, 270—275. — (53) *Dirmhirn, I.*, 1964*: Das Strahlungsfeld im Lebensraum. Frankfurt a. M. (Akad. Verlagsges.), 426 S. — (54) *Duchaufour, Ph.*, 1954: Modifications apportées au sol par le reboisement à l'aide d'espèces étrangères à la station. (Proc. Congr. Int. Union For. Res. Organ. Rome, Sect. 21, no 4.) Rev. for. franç. 6, 73—84. — (55) *Duchaufour, Ph.*, 1958: L'action des divers types d'humus sur le processus d'entraînement dans le sol forestier. La Forêt 11, 79—85. — (56) *Duchaufour, Ph.*, 1960*: Précis de Pédologie. Paris (Masson), 438 S. — (57) *Dunford, E. G.*, und *Niederhof, C. H.*, 1944: Influence of aspen, young lodgepole pine, and aspen grassland types upon factors affecting water yield. J. For. 42, 673—677. — (58) *Duvigneaud, P.* (Red.), 1962: L'écologie. Science moderne de synthèse. 2: Écosystèmes et biosphère. In: Documentation 23. Bruxelles (Minist. Educ. Nat. Cult.), 130 S.

E

- (59) *Egle, K.*, 1937: Zur Kenntnis des Lichtfeldes der Pflanze und der Blattfarbstoffe. *Planta* 26, 546–583. — (60) *Ehwald, E.*, 1957*: Über den Nährstoffkreislauf des Waldes. *Sitz. Ber. Dtsch. Akad. Landw. Berlin* 6 (1), 1–56. — (61) *Ehwald, E.*, *Vetterlein, E.*, und *Buchholz, F.*, 1961: Das Eindringen von Niederschlägen und Wasserbewegung in sandigen Waldböden. *Z. Pfl. Ernährg., Düng. u. Bodenkde* 93 (138), 202–209. — (62) *Eiberle, K.*, 1966: Wildddichte — Lebensraum des Wildes — Wildschäden. *Hespa-Mitt.* 16 (3), 1–32. — (63) *Eidmann, F. E.*, 1959: Die Interception in Buchen- und Fichtenbeständen. *UGGI, Sympos. Hann. Münden I*, 5–25 (zit. n. *Geiger*, 1961). — (64) *Ellenberg, H.*, 1939: Über die Zusammensetzung, Standort und Stoffproduktion bodenfeuchter Eichen- und Buchenmischwald-Gesellschaften Nordwestdeutschlands. *Mitt. florist.-soziol. Arb.gem. Niedersachsen* 5, 3–135. — (65) *Ellenberg, H.*, 1958*: Bodenreaktion (einschließlich Kalkfrage). *Hb. Pfl. Physiol.* 4, 638–708. — (66) *Ellenberg, H.*, 1963*: Vegetation Mitteleuropas mit den Alpen in kausaler, dynamischer und historischer Sicht. In: *Walter, H.*, Einführung in die Phytologie IV/2. Stuttgart (Ulmer), 943 S. — (67) *Ellenberg, H.*, 1964*: Stickstoff als Standortsfaktor. *Ber. dtsch. bot. Ges.* 77, 82–92. — (68) *Ellenberg, H.*, 1966: Leben und Kampf an den Baumgrenzen der Erde. *Naturw. Rundschau* 19, 133–139. — (69) *Ellenberg, H.*, und *Mueller-Dombois, D.*, 1967: Tentative physiognomic-ecological classification of plant formations of the earth. *Ber. geobot. Inst. ETH, Stiftg. Rübel, Zürich* 37, 21–55. — (70 a) *Ellison, W. D.*, 1947: Soil erosion studies. *Agr. Eng.* 28, 145–146, 197–201, 245–248, 297–300, 349–351. — (70 b) *Ellison, W. D.*, und *Ellison, O. T.*, 1947: do. Ebenda 28, 402–408, 442–450. — (71) *Emanuelsson, A.*, *Eriksson, E.*, und *Egnér, H.*, 1954: Composition of atmospheric precipitation in Sweden. *Tellus* 6, 261–267. — (71 a) *Engler, A.*, 1919: Untersuchungen über den Einfluß des Waldes auf den Stand der Gewässer. *Mitt. Schweiz. Anst. forstl. Vers.wes.* 12, 1–626. — (72) *Eriksson, E.*, 1952: Composition of atmospheric precipitation. *Tellus* 4, 215–232, 280–303. — (73) *Eriksson, E.*, 1955: Air borne salts and the chemical composition of river waters. *Tellus* 7, 243–250. — (73 a) *Evans, G. L.*, 1939: Ecological studies on the rain-forest of Southern Nigeria. II. The atmospheric environmental conditions. *J. Ecol.* 27, 436–482.

F

- (74) *Freeland, R. O.*, 1944: Apparent photosynthesis in some conifers during winter. *Plant Physiol.* 19, 179–185. — (75) *Frei, E.*, und *Juhász, P.*, 1963: Beitrag zur Methodik der Bodenkartierung und der Auswertung von Bodenkarten unter schweizerischen Verhältnissen. *Schweiz. landw. Forsch.* 2, 249–307. — (76) *Frei, E.*, *Juhász, P.*, 1965: Geographische Verbreitung und Nutzung der Braunerden und Gleyböden in der Gemeinde Hüntwangen ZH. *Schweiz. landw. Forsch.* 4, 215–250. — (77) *Freise, F.*, 1936: Das Binnenklima von Urwäldern im subtropischen Brasilien. *Petersmann Mitt.* 82, 301–304, 346–348.

G

- (77 a) *Gaastra, P.*, 1958: Light energy conversion in field crops in comparison with the photosynthetic efficiency under laboratory conditions. *Meded. Landb. hoges. Wageningen* 58, 1–12. — (78) *Gaertner, E. E.*, 1963*: Water relations of forest trees. In: *Rutter, A. I.*, und *Whitehead, F. H.* (Edit.), The water relations of plants. *Brit. Ecol. Soc. Sympos.* 3, 366–378. Oxford (Blackwell Scient. Publ.), 394 S. — (79) *Gard, L. E.*, *Fuelleman, R. F.*, *van Doren, C. A.*, und *Kammlade, W. G.*, 1943: Runoff from pasture land as affected by soil treatment and grazing management and its relation to botanical and chemical composition and sheep production. *J. Am. Soc. Agron.* 35, 332–347. — (80) *Geiger, R.*, 1961*: Das Klima der bodennahen Luftschicht. Ein Lehrbuch der Mikroklimatologie. In: *Die Wissenschaft* 78. Braunschweig (Vieweg), 646 S. — (81) *Gemperli, L.*, *Nüesch, J.*, *Schoch, O.*, *Vogel, P.*, *Zeltner, J.*, 1966: Der Wald. *Hespa-Mitt.* 16 (1), 17–81. — (82) *Gessner, F.*, 1949: Der Chlorophyllgehalt im See und seine photosynthetische Valenz als geophysikalisches Problem. *Schweiz. Z. Hydrol.* 11, 378–410. — (82 a) *Geyger, E.*, 1964: Methodische Unter-

suchungen zur Erfassung der assimilierenden Gesamtoberfläche von Wiesen. Ber. geobot. Inst. ETH, Stiftg. Rübel, Zürich 35, 41–112. — (83) Geyger, E., und Beckmann, W., 1967: Untersuchungen zur Struktur eines Braunlehms unter montanem immergrünem Regenwald in Peru. Zeiss-Mitt. 4, 185–207. — (84) Gigon, A., im Druck: Stickstoff- und Wasserversorgung von Trespen-Halbtrockenrasen (*Mesobromion*) im Jura bei Basel. Ber. geobot. Inst. ETH, Stiftg. Rübel, Zürich 38. — (85) Godske, C. L., und Schieldrup Paulsen, H., 1949: The forest precipitation. Univ. Bergen Årbok 1949, nat. R. 8, 37 S. — (86) Godwin, H., und Turner, J. S., 1933: Soil acidity in relation to vegetational succession in Calthorpe Broad, Norfolk. J. Ecol. 21, 235–262. — (87) Gorham, E., 1955: On the acidity and salinity of rain. Geochim. et cosmochim. Acta 7, 231 (zit. n. Ovington, J. D., und Madgwick, H. A. I., 1958). — (88) Greenland, D. J., und Kowal, J. M. L., 1960: Nutrient content of the moist tropical forest of Ghana. Plant & Soil 12, 154–174. — (89) Van Groenewoud, H., 1965: Ordination and classification of Swiss and Canadian coniferous forests by various biometric and other methods. Ber. geobot. Inst. ETH, Stiftg. Rübel, Zürich 36, 28–102. — (90) Grubb, P. J., und Whitmore, T. C., 1966*: A comparison of montane and lowland rain forest in Ecuador. II. The climate and its effects on the distribution and physiognomy of the forests. J. Ecol. 54, 303–333. — 1967: III. The light reaching the ground vegetation. J. Ecol. 55, 33–58. — (91 a) Grunow, J., 1952: Nebelniederschlag. Ber. DWD-US-Zone 7, Nr. 42, 30–34 (zit. n. Geiger, 1961). — (91 b) Grunow, J., 1955*: Der Niederschlag im Bergwald. Forstw. Cbl. 74, 21–36.

H

(92) Haass, M., 1964: Die Vegetations- und Standortverhältnisse im Bereich der Gemarkung Poris-Lengefeld bei Gera. In: Meusel, H., und Schubert, R., Vegetationskundliche Untersuchungen als Beiträge zur Lösung von Aufgaben der Landeskultur und Wasserwirtschaft. Wiss. Z. Univ. Halle-Wittenberg, Sh., 109–148. — (93) Habeck, J. R., 1960: Winter deer activity in the White-Cedar swamps of Northern Wisconsin. Ecol. 41, 327–333. — (94) Hamilton, E. L., und Rowe, P. B., 1949: Rainfall interception by chaparral in California. Calif. For. and Range Experim. Station. US For. Serv. (zit. n. Trüeb, E., 1961). — (95) Harlow, W. M., und Harrar, E. S., 1941: A Textbook of Dendrology. New York (Mc Graw Hill), 542 S. — (96) Herbst, W., 1961: Der Einfluß des Waldes auf die Feinverteilung radioaktiver atmosphärischer Beimengungen. Schweiz. Z. Forstwes. 112, 709–723. — (97 a) Heyward, F., 1937: The effect of frequent fires on profile development of longleaf pine forest soils. J. For. 35, 23–27. — (97 b) Heyward, F., 1939: Some moisture relationships of soils from burned and unburned longleaf pine forests. Soil Sci. 47, 313–327. — (97 c) Hiley, W. E., und Lehtpere, R., 1954: Redwood (*Sequoia sempervirens* Endl.) at Dartington. Quart. J. For. 48, 204–205. — (98) Hopkins, B., 1965*: Forest and savanna. An introduction to tropical plant ecology with special reference to West-Africa. Ibadan u. London (Heinemann), 100 S. — (99) Hopkins, B., 1966: Vegetation of the Olokemeji Forest Reserve, Nigeria. IV. The litter and soil with special reference to their seasonal changes. J. Ecol. 54, 687–703. — (100) Hori, T., 1953: Studies on fog. Tanne Trading Co. Sapporo, Hokkaido, Japan, 399 S. (zit. n. Geiger, 1961). — (101) Humphrey, R. R., 1962*: Range ecology. New York 10 (Ronald Press Co.), 234 S. — (101 a) Hursh, C. R., 1959: Forest influences in world wide application. Mitt. Schweiz. Anst. forstl. Vers.wes. 35, 31–36.

I

(101 b) Ilvessalo, Y., 1960: Suomen metsät kartakkeiden valossa. (Die Wälder Finnlands im Licht von Karten.) Comm. Inst. forest. Fenn. 52, 2, 70 S.

J

(101 c) Jenny, H., Gessel, S. P., und Bingham, F. T., 1949: Comparative study of decomposition rates of organic matter in temperate and tropical regions. Soil Sci. 68, 419–432. — (101 d) Johnson, E. A., und Kovner, J. L., 1956: Effect on stream flow of cutting a forest understory. For. Sci. 2, 82–91. — (102) Julander, O., 1955: Deer and cattle range relations

in Utah. For. Sci. 1, 130–139. — (103) Juon, P., 1963: Über neuere Erkenntnisse zur Frage der Rehwildernährung. Schweiz. Z. Forstwes. 114, 98–117.

K

(104) Keller, H., 1964: Wald und Wasserwirtschaft. Hesperia-Mitt. 14 (3), 1–23. — (105) Keller, R., 1961*: Gewässer und Wasserhaushalt des Festlandes. Eine Einführung in die Hydrogeographie. Berlin (Haude u. Spener), 520 S. — (106) Keller, Th., Wehrmann, J., 1963: CO₂-Assimilation, Wurzelatmung und Ertrag von Fichten- und Kiefernssämlingen bei unterschiedlicher Mineralstoffernährung. Mitt. Schweiz. Anst. forstl. Vers.wes. 39, 211–242. — (107) Kimura, M., 1960: Primary production of the warm temperate laurel forest in the southern part of Csumi Peninsula, Kyūshū, Japan. Misc. Rep. Res. Inst. Nat. Resources, 52/3, 36–47. — (108) Kimura, M., 1963: Dynamics of vegetation in relation to soil development in northern Yatsugatake Mountains. Jap. J. Bot. 18, 255–287. — (109) Kira, T., Ogawa, H., Yoda, K., Ogino, K., 1967*: Comparative ecological studies on three main types of forest vegetation in Thailand. IV. Dry matter production, with special reference to the Khao Chong rain forest. Nature & Life SE-Asia 5, 149–174. — (110) Kira, T., und Shidei, T., 1967*: Primary production and turnover of organic matter in different forest ecosystems of the western Pacific. Jap. J. Ecol. 17, 70–87.¹² — (112a) Kirwald, E., 1950: Forstlicher Wasserhaushalt und Forstschutz gegen Wasserschäden (einschließlich Wildbachverbauung). Stuttgart, z. Zt. Ludwigsburg (Ulmer), 160 S. — (112b) Kirwald, E., 1955*: Waldwirtschaft an Gewässern. Neuwied/Rh. (Wirtschaft- und Forstverlag), 147 S. — (112c) Kirwald, E., 1955: Über Wald und Wasserhaushalt im Ruhrgebiet. Eigenverlag Ruhrtalsperrenverein, Essen (zit. n. Trüeb, E., 1961). — (113) Kittredge, J., 1948*: Forest Influences. The effect of woody vegetation on climate, water and soil with application to the conservation of water and the control of floods and erosion. New York, Toronto, London (Mc Graw-Hill), 394 S. — (114) Klausung, O., 1956: Untersuchungen über den Mineralumsatz in Buchenwäldern auf Granit und Diorit. Forstwiss. Cbl. 75, 18–32. — (115) Klötzli, F., 1965*: Qualität und Quantität der Rehäusung in Wald- und Grünlandgesellschaften des nördlichen Schweizer Mittellandes. Veröff. geobot. Inst. ETH, Zürich 38, 1–186. — (116) Klötzli, F., 1967*: Zusammenfassende Schau über die Praxis der Wildschadenverhütung beim Rehwild. Schweiz. Z. Forstwes. 118, 65–84. — (117a) Klötzli, F., n. p.: Über den Mineralstoffhaushalt der Bruchwälder. — (117b) Klötzli, F., n. p.: Zur biogenen Beeinflussung des Schilfröhrichts. — (117c) Knapp, R., 1967: Experimentelle Soziologie und gegenseitige Beeinflussung der Pflanzen. Einführung in die Pflanzensoziologie, Zusatzband (1. Aufl. 1954), 2. Aufl. Stuttgart (Ulmer), 266 S. — (118) Köstler, J. N., 1950: Waldbau. Berlin, Hamburg (Parey), 418 S. — (119) Kosłowska, A., 1934*: Influence of plants on the concentration of hydrogen ions in the medium. J. Ecol. 22, 396–419. — (120) Kotoulas, D., 1966: Untersuchungen über Erosions- und Rutschungsprobleme im Lehrwald der ETH. Schweiz. Z. Forstwes. 117, 186–193. — (120a) Kramer, P. J., 1949: Plant and soil water relationships. New York, Toronto, London (Mc Graw-Hill), 347 S.

L

(121) Landelout, H., und Meyer, J., 1954: Les cycles d'éléments minéraux et de matière organique en forêt équatoriale congolaise. 5ème Congr. Sci. Sol. Léopoldville. 2, 267–272. — (122) Leibundgut, H., mdl. — (123) Leibundgut, H., 1951: Der Wald eine Lebensgemeinschaft. In: Forschung und Leben. Zürich (Büchergilde Gutenberg), 223 S. — (124) Leibundgut, H., 1953: Beobachtungen über den Streueabbau einiger Baumarten im Lehrwald der ETH. Schweiz. Z. Forstwes. 104, 1–14. — (125) Leibundgut, H., 1961: Wald, Wild und Landschaft als Einheit. Allg. Forstztg. 72, 259–262. — (126) Leibundgut, H., 1966: Die Waldpflege. Bern (Haupt), 192 S. — (127) León, R. J. C., im Druck: L'écologie des prairies non fertilisées à *Molinia*, spécialement le facteur azote, aux alentours de Zurich. Erscheint als: Veröff. geobot. Inst. ETH, Stifftg. Rübel. — (127a) Leopold, A., 1924: Grass, brush,

¹² 111, 173, 177 wurden bei Kürzung des Artikels weggelassen.

timber and fire in southern Arizona. J. For. 22 (6), 2–10. — (127b) Leyton, L., und Carlisle, A., 1959: Afforestation and water supplies in Britain. Mitt. Schweiz. Anst. forstl. Vers.wes. 35, 51–56. — (128) Hieth, H., 1962*: Stoffproduktionsdaten. In: Die Stoffproduktion der Pflanzendecke. Vorträge und Diskussionsergebnisse des internationalen ökologischen Symposiums in Stuttgart-Hohenheim vom 4.–7. Mai 1960. Stuttgart (Fischer), 156 S. — (129) Lieth, H., 1964: Versuch einer kartographischen Darstellung der Produktivität der Pflanzendecke auf der Erde. In: Geograph. Taschenbuch. Wiesbaden (F. Steiner), 72–80. — (130) Linke, F., 1916–21: Niederschlagsmessung unter Bäumen. Met. Z. 33, 140–141, 38, 277. — (130a) Lötschert, W., 1964: Neuere Untersuchungen zur Frage jahreszeitlicher pH-Schwankungen. Angew. Bot. 38, 255–268. — (131) Lüdi, W., 1934: Beitrag zur Kenntnis der Beziehungen zwischen Vegetation und Boden im östlichen Aarmassiv. Ber. geobot. Forsch. Inst. Rübel 1933, Zürich 1934, 41–54. — (132) Lüdi, W., 1946: Der Waldbrand vom Jahre 1944 im Aletschwald bei Brig (Wallis). Ber. geobot. Forsch. Inst. Rübel 1945, Zürich 1946, 98–106. — (133) Lutz, H. J., und Chandler, R. F., 1949: Forest soils. 4. Aufl. New York (Wiley & Sons), 514 S.

M

(134) Madgwick, H. A. I., und Ovington, J. D., 1959: Chemical composition of precipitation in adjacent forest and open plots. Forestry 32, 14–22. — (135) Mann, W. G., 1932: Kaibab game management. Ariz. Wildlife 3 (4), 4, 9–11 (zit. n. Humphrey, 1962). — (136) Marres, P., 1955: Phénomènes actuels de surface et l'équilibre du tapis végétale dans la région méditerranéenne. In: CNRS, Les divisions écologiques du monde. Moyens d'expression, nomenclature, cartographie. Coll. Intern. Centre Nat. Recherches Scient. 59, Paris 1954. S. 361–367. S. auch: Ann. Biol. 31, 117–123. — (137) Matter, J. F., 1966: Étude de l'ensemencement de l'Épicéa en diverses stations de l'Albisriederberg (ZH). Mskr. Dipl. Arb. Inst. Waldbau ETH, 42 S. — (137a) Mayer, H., Schlesinger, B., und Thiele, K., 1967*: Dynamik der Waldentstehung und Waldzerstörung auf den Dolomitschuttfächen im Wimbachgries (Berchtesgadener Alpen). Jb. Ver. Schutz Alpenpfl. -tiere 32, 132–160. — (138) Mc Lean, R. C., 1919: Studies in the ecology of tropical rain forest: with special reference to the forests of South Brazil. J. Ecol. 7, 5–54, 121–172. — (139) Mes, M. G., 1954: Excretion (recretion) of phosphorus and other mineral elements by leaves under the influence of rain. S. Afr. J. Sci. 1, 167–172. — (140) Miller, D. H., 1959*: Transmission of insolation through pine forest canopy, as it affects the melting of snow. Mitt. Schweiz. Anst. forstl. Vers.wes. 35, 59–79. — (141) Millet 1944, zit. n. Noirfalise, 1966. — (141a) Minckler 1936–39, zit. n. Noirfalise, 1966. — (142) Minder, L., 1960: Eisen-Mangan-Grundwässer. Schweiz. Z. Hydrol. 22, 228–241. — (143) Mitscherlich, G., 1940: Das Forstamt Dietzhausen. Z. Forst- u. Jagdwesen 72, 149–188. — (144) Mitscherlich, G., Moll, W., Künstle, E., und Maurer, P., 1965–66*: Ertragskundlich-ökologische Untersuchungen im Rein- und Mischbestand. Allg. Forst- u. Jagdztg. 136, 225–238, 249–257, 274–283; 137, 1–13, 25–33, 72–91, 101–115. — (145) Möller, C. M., 1945: Untersuchungen über Laubmenge, Stoffverlust und Stoffproduktion des Waldes. Forstl. Fors. väs. Danm. 17, 1–287. — (146) Möller, C. M., 1947: The effect of thinning, age and site on foliage, increment and loss of dry matter. J. For. 45, 393–404. — (147) Möller, C. M., Müller, D., und Nielsen, J., 1954*: The dry matter production of european beech. Forstl. Fors.väs. Danm. 21, 253–335. — (147a) Möller, C. M., Müller, D., und Nielsen, J., 1954: Ein Diagramm der Stoffproduktion im Buchenwald. Ber. Schweiz. bot. Ges. 64, 487–494. — (148) Monsi, M., und Saeki, T., 1953: Über den Lichtfaktor in den Pflanzengesellschaften und seine Bedeutung für die Stoffproduktion. Jap. J. Bot. 14, 22–52. — (149) Moravec, J., 1963: Standortsbedingungen der Nitrifikationsfähigkeit der Böden einiger Wiesengesellschaften. Rostl. výroba (Praha) 36, 852–859 (vgl. Preslia 36, 55–63). — (150) Müller, D., und Nielsen, J., 1965*: Production brute, pertes par respiration et production nette dans la forêt ombrophile tropicale. Forstl. Fors. väs. Danm. 29, 69–160. — (151) Müttrich, A., 1890: Über den Einfluß des Waldes auf die periodischen Veränderungen der Lufttemperatur. Z. Forst- u. Jagdwes. 22, 385–400, 449–458, 513–526. — 1903: Bericht über die Unter-

suchung der Einwirkung des Waldes auf die Menge der Niederschläge. Neudamm (Neumann). — (152) *Murie, O. J.*, 1951: The elk of North America. Harrisburg (Stackpole Co.), 376 S.

N

(153) *Nägeli, W.*, 1940: Lichtmessungen im Freiland und in geschlossenen Altholzbeständen. Mitt. Schweiz. Anst. forstl. Vers.wes. 21, 250—306. — (154) *Nägeli, W.*, 1959: Die Wassermessstation im Flyschgebiet bei Schwarzsee, Kt. Freiburg. Mitt. Schweiz. Anst. forstl. Vers.wes. 35, 225—241. — (155) *Nägeli, W.*, 1965: Über die Windverhältnisse im Bereich gestaffelter Windschutzstreifen. Mitt. Schweiz. Anst. forstl. Vers.wes. 41, 219—300. — (155 a) *Newbould, P. J.*, 1963: Production ecology. Sci. Progress 51, 91—104 (Bibliographie). — (156) *Newbould, P. J.*, 1967*: Methods for estimating the primary production of forests. IBP Handbook 2, Oxford & Edinburgh (Blackwell Scient. Public.), 62 S. — (157) *Noirfalise, A.*, 1959: Sur l'interception de la pluie par le couvert dans quelques forêts belges. Bull. Soc. Roy. Forest. Belgique 66, 433—439. — (158) *Noirfalise, A.*, 1966: L'eau, la forêt et la sylviculture. In: Le livre de l'eau. 2. Aufl. 121—134, Liège (CEBE-Doc). — (159) *Nye, P. H.*, 1961: Organic matter and nutrient cycles under moist tropical forest. Plant & Soil 13, 333—346.

O

(160) *Odum, E. P.*, 1959: Fundamentals of ecology. Philadelphia u. London (W. B. Saunders Co.), 546 S. — (161) *Odum, E. P.*, 1967: Ökologie. In: Mod. Biol. (aus dem Amerikan.). München, Basel, Wien (BLV), 161 S. — (161 a) *Ogawa, H., Yoda, K., und Kira, T.*, 1961: A preliminary survey on the vegetation of Thailand. Nature & Life SE-Asia 1, 21—157. — (162) *Ogawa, H., Yoda, K., Ogino, K., und Kira, T.*, 1965: Comparative ecological studies on three main types of forest vegetation in Thailand. II. Plant biomass. Nature & Life SE-Asia 4, 49—80. — (163) *Olson, J. S.*, 1963: Energy storage and the balance of producers and decomposers in ecological systems. Ecol. 44, 322—331. — (164) *Orlov, A. J.*, 1955: The role of feeding roots of forest vegetation in enriching soils with organic matter. Pochvovedenie 1955 (6), 14. Soil and Fertilizer Abstr. 19, No. 76, 24 (zit. n. *Ovington*, 1957 b). — (165) *Ott, E.*, 1966*: Über den Einfluß der Durchforstung auf ökologische Faktoren. Bh. ZZ. Schweiz. Forstver. 40, 1—96. — (166) *Ovington, J. D.*, 1951: The afforestation of Tentsmuir Sands. J. Ecol. 39, 363—375. — (167) *Ovington, J. D.*, 1953: Studies of the development of woodland conditions under different trees. I. Soils pH. J. Ecol. 41, 13—34. — (168) *Ovington, J. D.*, 1954 a: A comparison of rainfall in different woodlands. Forestry 27, 41—53. — (168 a) *Ovington, J. D.*, 1954 b*: Studies of the development of woodland conditions under different trees. II. The forest floor. J. Ecol. 42, 71—80. — (169) *Ovington, J. D.*, 1955 a: Studies of the development of woodland conditions under different trees. III. The ground flora. J. Ecol. 43, 1—21. — (170) *Ovington, J. D.*, 1955 b: The ecological conditions of different woodland types. Proc. Linn. Soc. London Sess. 165, 1952—53, Pt. 2, 103—105. — (171) *Ovington, J. D.*, 1956 a*: Studies of the development of woodland conditions under different trees. IV. The ignition loss, water, carbon and nitrogen content of the mineral soil. V. The mineral composition of the ground flora. J. Ecol. 44, 171—179, 597—604. — (172) *Ovington, J. D.*, 1956 b*: The form, weights and productivity of tree species grown in close stands. New Phytol. 55, 289—304. — (174) *Ovington, J. D.*, 1957 a: The volatile matter, organic carbon and nitrogen contents of tree species grown in close stands. New Phytol. 56, 1—11. — (175) *Ovington, J. D.*, 1957 b: Dry-matter production by *Pinus silvestris* L. Ann. Bot. NS 21, 287—314. — (176) *Ovington, J. D.*, 1958 a: Studies of the development of woodland conditions under different trees. VI. Soil sodium, potassium and phosphorous. VII. Soil calcium and magnesium. J. Ecol. 46, 127—142, 391—405. — (178) *Ovington, J. D.*, 1959 a: Mineral content of plantations of *Pinus silvestris* L. Ann. Bot. NS 23, 75—88. — (179) *Ovington, J. D.*, 1959 b: The calcium and magnesium contents of tree species grown in close stands. New Phytol. 58, 164—175. — (180) *Ovington, J. D.*, 1959 c: The circulation of minerals in plantations of *Pinus silvestris* L. Ann. Bot. NS 23, 229—239. — (180 a) *Ovington, J. D.*, 1959 d: Ecology and landscape planning.

Athens Proc. IUCN Techn. Meet. 1959, 2, 383—386. — (180 b) *Ovington, J. D.*, 1959 c: Some ecological considerations of forest influences. Mitt. Schweiz. Anst. forstl. Vers.wes. 35, 91—97. — (181) *Ovington, J. D.*, 1960: The ecosystem concept as an aid to forest classification. Silva fenn. 105, 72—76. — (182) *Ovington, J. D.*, 1961: Some aspects of energy flow in plantations of *Pinus silvestris* L. Ann. Bot. NS 25, 12-20. — (183) *Ovington, J. D.*, 1964: Prairie, savanna and oakwood ecosystems at Cedar Creek. In: Grazing in terrestrial and marine environments. pp. 43—53. Oxford, Edinburgh (Blackwells Scient. Publ.). — (184) *Ovington, J. D.*, 1965: The role of forestry. The Austr. Nat. Univ. Canberra. 14 S. — (185) *Ovington, J. D.*, und *Heitkamp, D.*, 1960: The accumulation of energy in forest plantations in Britain. J. Ecol. 48, 639—646. — (186) *Ovington, J. D.*, *Heitkamp, D.*, und *Lawrence, D. B.*, 1963: Comparative studies of prairie, savanna, oakwood and maize field ecosystems in central Minnesota. 1. Plant biomass and productivity. Ecol. 44, 52—63. — (187) *Ovington, J. D.*, und *Lawrence, D. B.*, 1964: Strontium 90 in maize field, cattail marsh and oakwood ecosystems. J. appl. Ecol. 1, 175—181. — (188) *Ovington, J. D.*, und *Madgwick, H. A. I.*, 1955*: A comparison of light in different woodlands. Forestry 28, 141—146. — (189) *Ovington, J. D.*, und *Madgwick, H. A. I.*, 1957: Afforestation and soil reaction. J. Soil Sci. 8, 141—149. — (190) *Ovington, J. D.*, und *Madgwick, H. A. I.*, 1958: The sodium, potassium and phosphorous contents of tree species grown in close stands. New Phytol. 57, 273—284. — (191) *Ovington, J. D.*, und *Madgwick, H. A. I.*, 1959a: The growth and composition of natural stands of birch. 1. Dry matter production. 2. The uptake of mineral nutrients. Plant and Soil 10, 273—283, 389—400. — (192) *Ovington, J. D.*, und *Madgwick, H. A. I.*, 1959b: Distribution of organic matter and plant nutrients in a plantation of Scots pine. For. Sci. 5, 344—355. — (193) *Ovington, J. D.*, und *Pearsall, W. H.*, 1956: Production ecology. II. Estimates of average production by trees. Oikos 7, 202—205. — (193 a) *Oyenuga, V. A.*, 1959: Effect of frequency of cutting on the yield and composition of some fodder grasses in Nigeria (*Pennisetum purpureum* Schum.). J. Agric. Sci. 53, 25—33. — (193 b) *Oyenuga, V. A.*, 1960: Effect of stage of growth and frequency of cutting on the yield and chemical composition of some Nigerian fodder grasses. *Panicum maximum* Jacq. J. Agric. Sci. 55, 339—350.

P

(194) *Paterson, S. S.*, 1962: Der CVP-Index als Ausdruck für forstliche Produktionspotentiale. In: *Lieth, H.*, Die Stoffproduktion der Pflanzendecke. Stuttgart (Fischer), 14—25. — (195) *Pearsall, W. H.*, 1938: The soil complex in relation to plant communities. I. Oxidation-reduction potentials in Soils. J. Ecol. 26, 180—193. II. Characteristic woodland soils. J. Ecol. 26, 194—205. — (196) *Pearsall, W. H.*, 1952: The pH of natural soils and its ecological significance. J. Soil Sci. 3, 41—51. — (196a) *Penman, H. L.*, 1959: Notes on the water balance of the Sperbelgraben and Rappengraben. Mitt. Schweiz. Anst. forstl. Vers.wes. 35, 99—109. — (197) *Philipps, J. F. V.*, 1930: Fire: Its influence on biotic communities and physical factors in South and East Africa. S. Afric. J. Sci. 27, 352—367. — (198) *Pisek, A.*, 1955: L'utilisation de l'eau par la végétation dans un climat tempéré. In: CNRS, Les divisions écologiques du monde. Moyens d'expression, nomenclature, cartographie. Coll. Intern. Centre Nat. Recherches Scient. 59, Paris 1954. 285—294. S. auch: Ann. Biol. 31, 41—50. — (199) *Polster, H.*, 1950*: Die physiologischen Grundlagen der Stofferzeugung im Walde. München (BLV), 96 S.

R

(200) *Rakhmanov, V. V.*, 1966*: The role of forests in water conservation. (Aus dem Russischen: Vodookhrannaya rol'lesov. Moskau, 1962.) Israel Program Scient. Transl. Jerusalem 1966, 192 S. — (200 a) *Rauzi, F.*, 1960: Plant cover increases water intake rate on rangeland soils. Crops & Soils 12, 30 (zit. n. *Humphrey*, 1962). — (200b) *Rees, A. R.*, 1962: Dry-matter production by evergreen perennials. Nature, London, 195, 1118—1119. — (201) *Remezov, N. P.*, 1956: The role of the biological circulation of the elements in soils formation under the forests. 6ème Congr. Sci. Sol, Paris 1956, E, 269. — (202 a) *Rennie, P. J.*, 1955: The uptake of nutrients by mature forest growth. Plant and Soil 7, 49—95. — (202 b) *Rennie, P.*, 1957:

Les prélèvements des éléments nutritifs des forêts exploitées et leur importance sur les sols pauvres pour la production de bois. Rev. for. franç. 1957, 529–545. — (203) Reynolds, E. R. C., und Leyton, L., 1963: Measurement and significance of throughfall in forest stand. In: Rutter, A. I., und Whitehead, F. H. (Edit.), The water relations of plants. Brit. Ecol. Soc. Sympos. 3, 127–141. Oxford (Blackwell Scient. Publ.), 394 S. — (204) Ribordy, N., 1967: Appréciation des résultats de l'afforestation expérimentelle Fopp à Davos. Mskr. Dipl. Arb. Inst. Waldbau ETH, 91 S. — (205) Richard, F., 1953: Physikalische Bodeneigenschaften natürlich gelagerter Reißmoräneböden unter verschiedener Bestockung. Schweiz. Z. Forstwes. 104, 154–173. — (206) Richard, F., und Beda, J., 1953: Methoden zur Bestimmung der Wasserbindung und der Porengrößen in natürlich gelagerten Waldböden. Mitt. Schweiz. Anst. forstl. Vers.wes. 29, 293–314. — (207) Richard, F., und Fehr, R., 1954: Physikalische Bodeneigenschaften einiger Pappelstandorte im schweizerischen Mittelland. Mitt. Schweiz. Anst. forstl. Vers.wes. 31, 58–101. — (208) Richards, P. W., 1952*: The tropical rain forest. An ecological study. Cambridge (University Press), 450 S. — (209) Rodin, L. E., und Basilewitsch, N. I., 1964: Biologische Produktivität der wichtigsten Vegetationstypen der nördlichen Hemisphäre der Alten Welt. Dokl. Akad. Nauk SSSR 157, 215–218. — (210) Röttschke, M., 1937: Untersuchungen über die Meteorologie der Staubatmosphäre. Veröff. Geophys. Inst. Leipzig 11, 1–78 (zit. n. Geiger, 1961). — (211) Rommell, L. G., 1935: Ecological problems of the humus layer in the forest. Mem. Cornell Agric. Exp. Stat. 270 (zit. n. Ovington, 1955 a). — (212) Rosenfeld, W., 1944: Erforschung der Bruchkatastrophen in den ostschlesischen Beskiden in der Zeit von 1875–1942. Forstwiss. Cbl. 1944 (= 63), 1–31. — (213) Rowe, P. B., und Hendrix, T. M., 1951: Interception of rain and snow by second-growth ponderosa pine. Trans. Amer. Geophys. Union 32, 903–908. — (214) Rowe, P. B., und Reimann, L. F., 1961: Water use by brush, grass and grassforb vegetation. J. For. 59, 175–181. — (214 a) Rowe, P. B., Storey, H. C., und Hamilton, E. L., 1951: Some results of hydrologic research. In: Some aspects of watershed management in southern California, 19–20. Calif. For. & Range Expt. Stat. Misc. Paper 1, 29 S. (zit. n. Humphrey, 1962). — (214 b) Rübel, E., 1930: Pflanzengesellschaften der Erde. Bern u. Berlin (Huber), 464 S. — (215) Rule, A., 1967: Forests of Australia. Sydney, Melbourne, London (Angus and Robertson), 213 S. — (216) Russell, E. J., 1936: Soil conditions and plant growth. London (Longmans). Boden und Pflanze. 2. Aufl. (nach der 6. Aufl. aus dem Engl.). Dresden, Leipzig (Th. Steinkopf), 446 S. — (217) Rutter, A. J., 1959: Evaporation from a plantation of *Pinus silvestris* in relation to meteorological and soil conditions. Int. Ass. Sci. Hydrol. Publ. 48, 101 (zit. n. Stälfelt, 1963). — (217 a) Rutter, A. J., 1957: Studies in the growth of young plants of *Pinus silvestris* L. I. The annual cycle of assimilation and growth. Ann. Bot. NS 21, 399–426.

S

(218) Salisbury, E. J., 1922: Stratification and hydrogen - ion concentration of the soil in relation to leaching and plant succession with special reference to woodlands. J. Ecol. 9, 220–240. — (219) Sauberer, F., 1937: Messungen des Strahlungshaushalts horizontaler Flächen bei heiterem Wetter. Meteorol. Z. 54, 213 (zit. n. Dirmhirn, 1964). — (220) Sauberer, F., und Härtel, O., 1959*: Pflanze und Strahlung. In: Probleme der Bioklimatologie 5. Leipzig (Akad. Verl.ges. Geest und Portig K.-G.), 268 S. — (221) Scheffer, F., und Ulrich, B., 1960*: Lehrbuch der Agrikulturchemie und Bodenkunde. III. Humus und Humusdüngung. 1. Morphologie, Biologie, Chemie und Dynamik des Humus. 2. Aufl. Stuttgart, 266 S. — (222) Schlüter, H., 1966: Licht- und Temperaturmessungen an den Vegetationszonen einer Lichtung («Lochhieb») im Fichtenforst. Flora B, 156, 133–154. — (223) Schmidthüsen, J., 1959*: Allgemeine Vegetationsgeographie. In: Lehrbuch der Allgemeinen Geographie IV. Berlin (Gruyter), 261 S. — (224) Schönhar, S., 1952: Untersuchungen über die Korrelation zwischen der floristischen Zusammensetzung der Bodenvegetation und der Bodenazidität sowie andern chemischen Bodenfaktoren. Mitt. Ver. forstl. Standortskartierg. 2, 1–23. — (225) Schönhar, S., 1953: Die ökologischen Artengruppen. Mitt. Ver. forstl. Standortskartierg. 3, 26–28. — (226) Schönhar, S., 1955: Untersuchungen über das mengenmäßige Auftreten von

Nitrat- und Ammoniakstickstoff in Böden verschiedener Waldstandorte. Forstwiss. Cbl. 74, 129–192. — (227) *Schubert, J.*, 1917: Niederschlag, Verdunstung, Bodenfeuchtigkeit, Schneedecke in Waldbeständen und im Freien. Met. Z. 34, 145–153. — (228) *Schultze, J. H.*, 1953: Neuere theoretische und praktische Ergebnisse der Bodenerosionsforschung in Deutschland. Forsch. u. Fortschr. 27, 12–18. — (229) *Seibert, P.*, 1966: Der Einfluß der Niederwaldwirtschaft auf die Vegetation. In: *Tüxen, R.* (Herausg.), Ber. Intern. Sympos. Stolzenau/W., 1961 336–342 (–346), Den Haag (Dr. W. Junk). — (230) *Shantz, H. L.*, 1947: The use of fire as a tool in the management of the brush ranges of California. Calif. State Board Forestry, 156 S. — (231) *Shidei, T.*, und *Tsutsumi, T.*, 1962: On some relations between the climate and the organic matter accumulation in forest soil and its decomposition rate. J. Jap. For. Soc. 44, 297–303. — (232) *Shirley, H. L.*, 1945: Light as an ecological factor and its measurement. Bot. Rev. 11, 497–532. — (233) *Stålfelt, M. G.*, 1963: On the distribution of the precipitation in a spruce stand. In: *Rutter, A. I.*, und *Whitehead, F. H.* (Edit.), The water relations of plants. Brit. Ecol. Soc. Sympos. 3, 115–126. Oxford (Blackwell Scient. Publ.), 394 S. — (234) *Stocker, O.*, 1963: Das dreidimensionale Schema der Vegetationsverteilung auf der Erde. Ber. dtsh. bot. Ges. 76, 168–178. — (235) *Stone, E. C.*, 1957*: Dew as an ecological factor. I. A review of the literature. Ecol. 38, 407–413.

T

(236) *Tadaki, Y.*, 1965: Studies on productive structure of forests. VII. The primary production of a young stand of *Castanopsis cuspidata*. Jap. J. Ecol. 15, 142–147. — (237) *Takeda, K.*, 1951: Rainfall in forest. J. Met. Soc. Japan 29, 199–212. — (238) *Tamm, C. O.*, 1950: Growth and plant nutrient concentration in *Hylocomium proliferum* (L.) Lindb. in relation to tree canopy. Oikos 2, 60–64. — (239) *Tamm, C. O.*, 1951: Removal of plant nutrients from tree crowns by rain. Phys. plant. 4, 184–188. — (240) *Tamm, C. O.*, 1956*: Studies on forest nutrition. III. The effects of supply of plant nutrients to a forest stand on a poor site. IV. The effects of supply of potassium and phosphorous to a poor stand on drained peat. Medd. Stat. Skogsforskn. Inst. 46, 3, 84 S.; 7, 27 S. — (241) *Tamm, C. O.*, und *Troedsson, T.*, 1955: An example of the amounts of plant nutrients supplied to the ground in road dust. Oikos 6, 61–70. — (242) *Tarrant, R. F.*, 1956a: Changes in some physical soil properties after a prescribed burn in young Ponderosa pine. J. For. 54, 439–441. — 1956b: Effect of slash burning on some physical soil properties. For. Sci. 2, 18–22. — (243) *Thorne, G. H.*, 1955: Nutrient uptake from leaf sprays by crops. Field Crop Abstr. 8, 147–152. — (244) *Tranquillini, W.*, 1963: Climate and water relations of plants in the subalpine region. In: *Rutter, A. I.*, und *Whitehead, F. H.*, (Edit.), The water relations of plants. Brit. Ecol. Soc. Sympos. 3, 153–167. Oxford (Blackwell Scient. Publ.), 394 S. — (245) *Tranquillini, W.*, 1964: Photosynthesis and dry matter production of trees at high altitudes. In: Formation of wood in forest trees. New York (Acad. Press), 505–518. — (246) *Trapp, E.*, 1938: Untersuchungen über die Verteilung der Helligkeit in einem Buchenbestand. Bioklim. Beibl. Meteor. Z. 5, 153–158. — (247) *Trimble, G. R.*, und *Weitzman, S.*, 1954: Effect of a hardwood forest canopy on rainfall intensities. Trans. Amer. Geophys. Union 35, 226–234. — (248) *Trippensee, R. E.*, 1948: Wildlife management. 1, Upland game and general principles. New York (Mc Graw-Hill), 479 S. — (249) *Trüeb, E.*, 1961*: Wald und Wasser. Schweiz. Z. Forstwes. 112, 632–651. — (250) *Tsutsumi, T.*, *Okabayashi, T.*, und *Shidei, T.*, 1961: On the decomposition of forest litter II. Bull. Kyoto Univ. For. 33, 187–198.

U

(251) *Ungeheuer, H.*, 1934: Mikroklima in einem Buchenhochwald am Hang. Bioklim. Beibl. Meteor. Z. 1, 75–88. — (252) *US For. Serv.*, 1948: Watershed management research Coweeta Experimental Forest. US Dept. Agric. SE-Forest Exp. Stat. Ashville, N-Carolina (zit. n. *Geiger*, 1961). — (253) *US For. Serv.*, 1950: Watershed management with particular reference to forest and range lands. US Dept. Agric. Mimeograph 7082 (zit. n. *Humphrey*, 1962).

V

(254) *Vareschi, V.*, 1951: Zur Frage der Oberflächenentwicklung von Pflanzengesellschaften der Alpen und Subtropen. *Planta* 40, 1–35. — (254 a) *Veihmeyer, F. J.*, 1950: Soil moisture, runoff, erosion. *Calif. Agr.* 4, 8, 9, 13 (zit. n. *Humphrey*, 1962). — (255) *Viro, P. J.*, 1950: Fertilization trials on forest soil. *Comm. Inst. Forest. Fenn.* 37 (7), 1–23. — (256) *Viro, P. J.*, 1953: Loss of nutrients and the natural nutrient balance of the soil in Finland. *Comm. Inst. For. Fenn.* 42 (1), 1–50. — (256 a) *Voigt, G. K.*, 1960: Distribution of rainfall under forest stands. *For. Sci.* 6, 2–10. — (257) *Volk, O. H.*, 1966: Einfluß von Mensch und Tier auf die natürliche Vegetation im tropischen Südwest-Afrika. *Beitr. Landespl.* 2, 108–131.

W

(257 a) *Wahlenberg, W. G.*, *Greene, S. W.*, und *Reed, H. R.*, 1939: Effects of fire and cattle grazing on longleaf pine lands as studied at McNeill, Miss. US Dept. Agr. Techn. Bull. 683, 52 S. (zit. n. *Humphrey*, 1962). — (258) *Waisel, Y.*, 1958: Dew absorption by plants of arid zones. *Bull. Res. Council, Israel, Sect. D*, 180–186 (zit. n. *Gaertner*, 1963). — (258 a) *Walter, H.*, 1931: Die Hydratur der Pflanze und ihre physiologisch-ökologische Bedeutung (Untersuchungen über den osmotischen Wert). Jena (Fischer), 174 S. — (259) *Walter, H.*, 1951: Grundlagen der Pflanzenverbreitung. 1. Standortslehre. In: Einführung in die Phytologie III. Stuttgart (Ulmer), 525 S. — (260) *Walter, H.*, 1961: Über die Bedeutung des Großwildes für die Ausbildung der Pflanzendecke. *Stuttg. Beitr. Naturkde.* 1961, Nr. 69, 1–6. — (261) *Walter, H.*, 1964*: Die Vegetation der Erde in öko-physiologischer Betrachtung. I. Die tropischen und subtropischen Zonen. 2. erweit. Aufl. Stuttgart (Fischer), 592 S. — (261 a) *Warren Wilson, J.*, 1960: Observations on net assimilation rates in arctic environments. *Ann. Bot., London*, NS 24, 372–381. — (262) *Wassink, E. C.*, 1959: Efficiency of light energy conversion in plant growth. *Plant. Physiol.* 34, 356–361. — (263) *Watt, A. S.*, 1934: The vegetation of the Chiltern Hills, with special reference to the beechwoods and their seral relationships. *J. Ecol.* 22, 230–270, 445–507. — (264) *Wehrli, A.*, 1961: Untersuchungen über den Einfluß der Klee graswiese auf die Bodenstruktur. *Die Grüne* 1961, 845–850. — (264 a) *Wilm, H. G.*, und *Dunford, E. G.*, 1948, zit. n. *Noirfalise*, 1966. — (264 b) *Wilm, H. G.*, und *Niederhof, C. H.*, 1941: Interception of rainfall by mature Lodgepole pine. *Trans. Amer. Geophys. Un.* 22, 660–665. — (265) *Wood, D. M.*, 1937: The interception of precipitation of an oak-pine forest. *Ecol.* 18, 251–254. — (266) *Woodruff, C. M.*, 1949: Estimating the nitrogen delivery of soil from the organic matter determination as reflected by Sanborn Field. *Proc. Soil Sci. Soc. Amer.* 14, 208.

Y

(266 a) *Yoda, K.*, 1964/65, zit. n. *Kira u. Shidei*, 1967. — (267) *Yoda, K.*, 1967: Comparative ecological studies on three main types of forest vegetation in Thailand. III. Community respiration. *Nature & Life, SE-Asia*, 5, 83–148.

Z

(268) *Zai, L. E.*, 1964*: Untersuchungen über Methoden zur Beurteilung von Rehwildverbiß in Waldbeständen. *Vjschr. natf. Ges. Zürich* 109, 197–265. — (269) *Zöttl, H.*, 1958*: Die Bestimmung der Stickstoffmineralisierung im Waldhumus durch den Brutversuch. *Z. Pfl. Ernährg. Düng. u. Bodenkd.* 81 (126), 35–50. — (270) *Zöttl, H.*, 1960*: Methodische Untersuchungen zur Bestimmung der Mineralstickstoff-Nachlieferung des Waldbodens. *Forstw. Cbl.* 79, 72–90. — (271) *Zöttl, H.*, 1965*: Anhäufung und Umsetzung von Stickstoff im Waldboden. *Ber. dtsh. bot. Ges.* 78, 167–180.

Vgl. ferner: *Eckardt, F. E.* (Herausg.), 1965: Methodology of plant eco-physiology. *Proceed. Montpellier Sympos. Paris (UNESCO, Arid Zone research 25)*: (272) *Bernard, E. A.*: Théorie et mesure de l'évapotranspiration. 431–441. — (273) *Lieth, H.*: Indirect measurements of dry matter production. 513–518. — (274) *Shachory, A. Y.*, und *Michaeli, A.*: Water yields of forest, maquis and grass covers in semi-arid regions; a literature review. 467–477. — (275) *Slavik, B.*: Rain interception in deciduous forests. 193–199. — (276) *Woodwell, G. M.*, und *Bourdeau, P. F.*: Measurement of dry matter production of the plant cover. 519–527.