

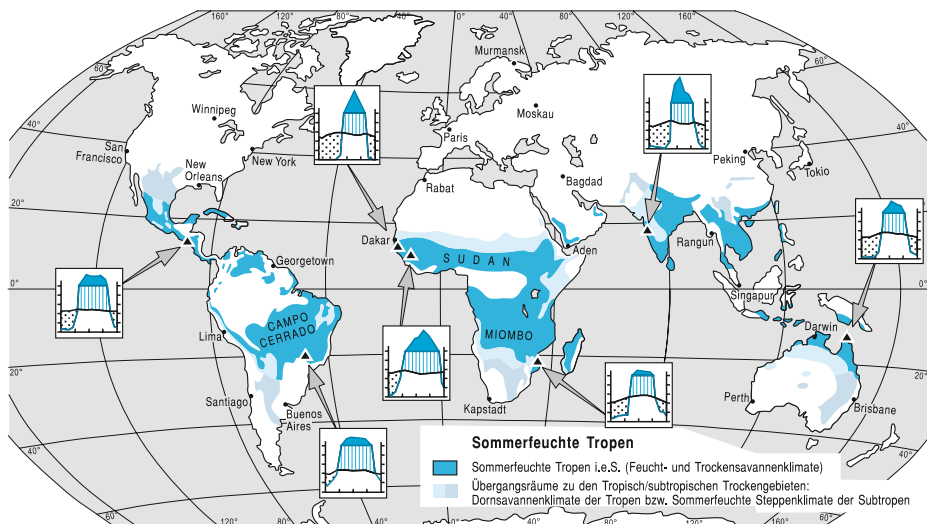
## 14 Sommerfeuchte Tropen

### 14.1 Verbreitung und subzonale Differenzierung

Die Sommerfeuchten Tropen erstrecken sich zwischen den Regenwäldern am Äquator und den Tropisch/subtropischen Trockengebieten an den Wendekreisen. Bezüglich der Abgrenzung zu den Ersteren (also den Immerfeuchten Tropen) besteht in den einschlägigen Arbeiten weitgehende Übereinstimmung (siehe Kap. 15.1). Uneinheitlich wird dagegen bei der Grenzziehung gegenüber den Trockengebieten verfahren (Abb. 14.1). Die im vorliegenden Buch getroffene Entscheidung folgt primär hygrischen Kriterien: Sie schließt alle solchen Räume aus, die durch trockengebiets-typische Merkmalskombinationen (siehe Seite 204) gekennzeichnet sind. Dies ist in vielen Gegenden ab Jahresniederschlägen unterhalb von 500 mm und weniger als 5 humiden Monaten der Fall (Abb. 14.2). Dornsavannen fallen damit

Abb. 14.1

*Sommerfeuchte Tropen. Ihre Verbreitung schließt auf beiden Hemisphären an die äquatorialen Regenwälder an. Die äquatorferne Abgrenzung, also (meist) gegenüber den Tropisch/subtropischen Trockengebieten, kann nach verschiedenen hygrischen und thermischen Kriterien vorgenommen werden. Die Karte zeigt einige der daraus resultierenden Abgrenzungsmöglichkeiten.*



heraus, und als Gesamtfläche errechnen sich rund 25 Mio. km<sup>2</sup> oder gut 16% der Festlandsfläche der Erde.

Die verschiedenen Pflanzenformationen der Sommerfeuchten Tropen (oder – in allgemeinerer Bedeutung – der wechselfeuchten Tropen) werden meist unter dem Oberbegriff **Savanne**, gelegentlich mit einem spezifizierenden Zusatz wie z.B. Baumsavanne, Strauchsavanne oder Grassavanne, zusammengefasst. Entsprechend hat sich der Terminus **Savannenzone** (oder Savannengürtel, Savannenklimate) als Synonym für diesen Erdraum allgemein durchgesetzt.

Gewöhnlich wird die Savannenzone nach den Merkmalen *Dauer* und *Ergiebigkeit der Regenperioden*, die im Jahresmittel zu erwarten sind, in **Trockensavannen** (-zonen) und **Feuchtsavannen** (-zonen) unterteilt (siehe Abb. A im Anhang sowie Abb. 14.2).

Diese Unterteilung wird durch kongruente Differenzierungen der Vegetation, Böden und Landnutzung unterstützt. So ist beispielsweise der Graswuchs in den Trockensavannen deutlich niedriger als in den Feuchtsavannen (siehe Kap. 14.5); entsprechend können die Termini *Kurzgras-* und *Hochgrassavannen* anstelle von Trocken- und Feuchtsavannen verwendet werden. Bei geschlossenem Baumbestand sind die entsprechenden Begriffe *Trocken-* und *Feuchtwälder*.

Hinsichtlich der Merkmale Bodenfruchtbarkeit und – daran gekoppelt – Landnutzung drückt sich die Differenzierung darin aus, dass die Böden der *Trockensavannen* meistens höhere Austauschkapazitäten und Basensättigungen aufweisen und humusreicher sind, die Einflüsse von Ausgangsgestein und Relief sich noch deutlicher erhalten haben (eigene Reliefcatenen für verschiedene Gesteine) und eine Tendenz zum permanenten Feldbau besteht. Die Produktionsleistungen von Kulturland und Vegetation werden jeweils – ähnlich wie in Trockengebieten (vgl. Kap. 10.5.4 und 13.5.4) – durch das knappe Wasserangebot begrenzt.

Die meisten Böden der *Feuchtsavannen* sind hingegen infolge tiefgründigerer Verwitterung des anstehenden Gesteins, höherer Zersetzungsraten der organischen Abfälle und fortgeschrittenerer Auslau-

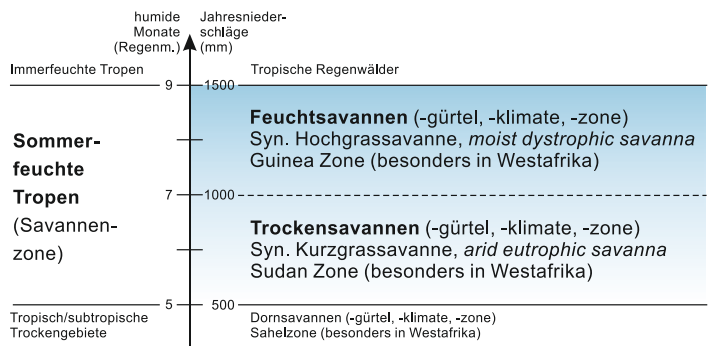


Abb. 14.2

Sub-ökozonale Differenzierung der Sommerfeuchten Tropen.

Dieses Dokument wurde mit IP-Adresse 141.201.32.213 aus dem Netz der USEB UB Salzburg am 03.11.2018 um 14:18 Uhr heruntergeladen. Das Weitergeben und Kopieren dieses Dokuments ist nicht zulässig.

gung ärmer an Nährstoffen und (trotz größerer  $PP_N$ ) an Humus, und beim Feldbau besteht eine Tendenz zur Einschaltung von Bracheperioden oder sogar zum Wanderfeldbau. Nicht mehr das Wasser-, sondern das knappe Nährstoffangebot ist vorrangig limitierend für die agraren Ertragsleistungen.

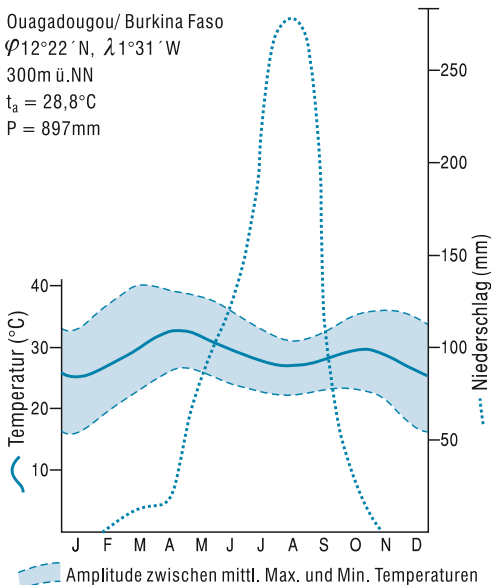
Die im englischsprachigen Raum verbreiteten Termini für die beiden Savanntentypen, *Arid Eutrophic Savannas* bzw. *Moist Dystrophic Savannas* beziehen sich auf diese Unterschiede in der Bodenfruchtbarkeit.

## 14.2 Klima

Aus der ganzjährig positiven Strahlungsbilanz und dem mäßig kühlenden Effekt während der sommerlichen Regenzeit resultiert ein ziemlich ausgeglichener **Temperaturgang** mit jahreszeitlichen Abweichungen der Monatsmittel, die zumeist geringer sind als die tageszeitlichen. Alle Monatsmittel liegen über  $+18\text{ °C}$ ; die höchsten Werte werden unmittelbar vor Beginn der Regenzeit erreicht. Die mittleren Monatsmaxima können dann  $+40\text{ °C}$  überschreiten. Am niedrigsten liegen die Monatswerte und auch die Tagesminima um die Mitte der Trockenzeit (Abb. 14.3). Frost fehlt zumindest während der Regenzeit, kann aber trockenzeitlich in (etwas) höhergelegenen (und dort insbesondere in äquatorferneren) Regionen vereinzelt auftreten (der Temperaturabfall mit der Höhe liegt gewöhnlich um  $0,6$  bis  $0,65\text{ °C}$  pro  $100\text{ m}$ ).

**Abb. 14.3**

*Der für die Sommerfeuchten Tropen typische Jahresgang der Lufttemperaturen, am Beispiel einer Trockensavanne bei Ouagadougou (Klimadaten aus MÜLLER 1996). Die sommerliche Delle geht auf den kühlenden Einfluss der Regenzeit zurück. Sie flacht sich polwärts in dem Maße ab, in dem die Regenzeiten kürzer werden und verschwindet schließlich in den Tropisch/subtropischen Trockengebieten ganz, wenn der Wechsel von sommerlicher Regenzeit und winterlicher Trockenzeit aufhört. Die Amplitude zwischen den mittleren Maxima und Minima ist während der regenzeitlichen Monate deutlich kleiner als während der trockenzeitlichen während (im gezeigten Beispiel fällt sie regenzeitlich auf  $9\text{ K}$  und steigt trockenzeitlich – im Wesentlichen aufgrund höherer Einstrahlungsgewinne über Tag und größerer nächtlicher Ausstrahlungsverluste – auf  $18\text{ K}$ ).*



Die winterliche Trockenzeit dauert mindestens 2,5 und höchstens 7,5 Monate. In den Regenmonaten fallen im Jahresmittel zwischen 500 und 1500 mm.

Abb. 14.4

Die Entstehung von Plinthiten auf abflussbehinderten (stauunassen) oder grundwasserbeeinflussten Flächen sowie deren irreversible Verhärtung zu Ironstone (Laterit, Petroplinthit), die nach wiederholtem Austrocknen beispielsweise als Folge eines Klimawechsels (von immerfeucht zu wechselfeucht) oder einer Tiefenerlegung der Erosionsbasis auftreten mag (aus SPAARGAREN u. DECKERS 1998). Ähnliche Effekte können von Waldrodungen ausgehen: Die Bodenoberfläche wird danach uneingeschränkt der Sonneneinstrahlung (Erhitzung) ausgesetzt; durch Abspülung des Oberbodens kann die Austrocknung des plinthitischen Horizont weiter forciert werden.

## 14.3 Relief und Gewässer

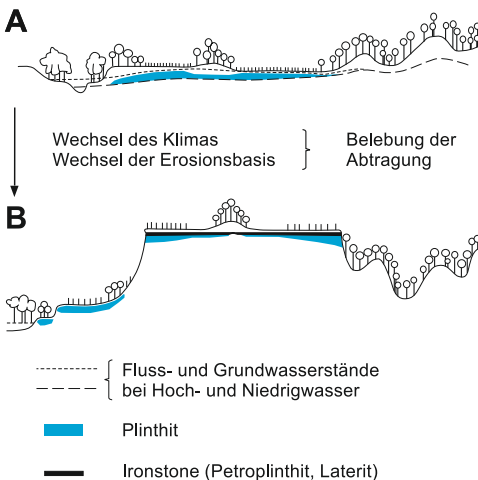
### 14.3.1 Rumpfflächen und Inselberge

Das Relief der Sommerfeuchten Tropen ist – sicherlich mehr als in jeder anderen Ökozone – durch weite, fast ebene Landflächen gekennzeichnet, die durch Abtragung (Einrumpfung) entstanden sind und sich gleitend über Gesteinsunterschiede und geologische Strukturen des Anstehenden hinwegsetzen. Sie werden als *Rumpfflächen* (Fastebenen, *penepains*) bezeichnet. Talhänge haben auf ihnen meist derart geringe Neigungen, dass sie mit bloßem Auge kaum noch zu bemerken sind.

Die Wasserscheiden zwischen diesen *Flachmuldentälern* sind als weiträumige *Flächenspülscheiden* ausgebildet, für die zahllose kleine (im Höchstfall einige km<sup>2</sup> umfassende) flachmuldenförmige Senken charakteristisch sind: Sie stellen häufig die Anfänge oder Erweiterungen von Tälern dar und neigen regenzeitlich zu Staunässe oder kurzfristiger Überflutung. In den Trockensavannen sind ihre Böden Vertisole (s.u.), in den Feuchtsavannen Gleysole; ihre Vegetation ist in beiden Fällen ein (meist) baumfreies Grasland. In Sambia werden diese Hohlformen als **Dambos**, in Tansania als **Mbugas** bezeichnet.

Sowohl in den Flachmuldentälern als auch auf den Flächenspülscheiden können **Laterite** auftreten. Es handelt sich bei ihnen um irreversibel verhärtete Bodenhorizonte aus eisenreichem Substrat (Plinthit) an oder knapp unterhalb der Bodenoberfläche. In der Mehrzahl sind diese Duricrusts (ferricretes) wohl erst durch nachträgliche Abspülung des Oberbodens relativ aufgestiegen (Abb. 14.4; siehe auch Kap. 15.4). Sie können Spülflächen ‚zementieren‘ und Stufenbildner an Rumpftreppen, Berghängen und Flussterrassen sein (Abb. 14.5).

Der dominierende Abtragungsprozess auf den Rumpfflächen ist die flächenhaft wirkende **Spüldenudation** (Flächenspülung) während der Regenzeiten. Diese ist in den wechselfeuchten Tropen deshalb so wirksam, weil dort (auch nach absoluten Mengen) erhebliche Anteile des Regenwassers nicht in den Boden einsickern, sondern – selbst bei flachen Hangneigungen – oberflächlich als **Starkregenfluten** (*overland flows*) abfließen. Dies hat im We-



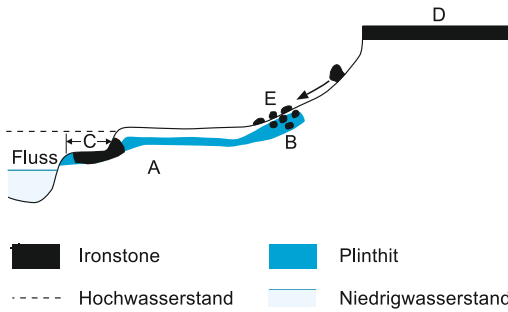


Abb. 14.5

Vorkommen von Plinthiten und Petroplinthiten (Ironstone) unter feuchtropischen Bedingungen in Abhängigkeit vom Relief (aus DRIESSEN u. DUDAL 1991). 'Weiche' Plinthite (siehe auch Kap. 15.4) bilden und erhalten sich in ständig feuchten Unterböden von Flussterrassen und Überschwemmungsebenen (A) sowie im Einflussbereich von Quellaustritten am Fuß von Bergen und Stufen (B). Wo diese Plinthite der zeitweiligen Austrocknung unterliegen, wie an Flussterrassenstufen (C) oder auf Spülflächen höherer Geländeteile (D), kommt es zur irreversiblen Verhärtung, d.h. zur in situ-Entstehung von Petroplinthiten. In den kolluvialen Fußzonen von Bergen/Stufen kann sich ironstone-reiches Schuttmaterial ansammeln (E).

sentlichen zwei miteinander verknüpfte Gründe: die in den Tropen relativ große Häufigkeit von Starkregen (in einigen küstennahen Gebieten auch in Verbindung mit tropischen Zyklonen) und die im Verhältnis dazu unzureichenden Fähigkeiten der meist feinkörnigen Böden, Regenwasser aufzunehmen.

Die Overland Flows erfolgen bei geringem Gefälle und wenigen Unebenheiten in Form von **Schichtfluten** (*sheet flow*), bei stärkeren Hangneigungen und Oberflächenrauigkeit (z.B. durch Steine, Sträucher, büschelwüchsige Stauden) in Form von **Rillenspülung**. In beiden Fällen führt sie im Laufe eines längeren Zeitraumes zu einer relativ stetigen *flächenhaften Tieferlegung der Regolithdecke*.

Die *Tieferlegung und Flächenbildung des darunter gelegenen anstehenden Gesteins*, also die eigentliche Rumpfflächenbildung, erfolgt über eine chemische Verwitterung, die im Zuge der Abtragung an der Landoberfläche immer tiefer greifen kann und damit neues Regolithmaterial aus dem Anstehenden produziert. Gefördert wird dieser Vorgang dadurch, dass die Regolithdecke das einsickernde Regenwasser auf längere Zeit in Kontakt mit dem festen Gestein speichert und so ermöglicht, dass die chemische Verwitterung auch zwischen den einzelnen Niederschlagsereignissen und bis in die Trockenzeit hinein anhalten kann.

Beide Vorgänge der Tieferlegung werden zusammen als **doppelte Einebnung** bezeichnet. Zwischen ihnen bildet sich ein *dynamisches Gleichgewicht* heraus, sobald die Abspülungsprozesse die Landoberfläche mit der gleichen Rate tiefer legen, wie die Verwitterung der darunter liegenden Oberfläche des Anstehenden fortschreitet. Bei welcher Regolithmächtigkeit dies jeweils der Fall ist, ist auch eine Funktion der Abtragung. Die in den Sommerfeuchten und (erst recht) Immerfeuchten Tropen vielerorts mächtigen Regolithdecken weisen also nicht nur auf hohe Verwitterungsintensitäten hin, sondern auch darauf, dass die Verwitterung über lange Zeit der Abtragung vorausgeeilt sein muss.

Die freiliegenden Felsflächen, die mancherorts in den Tropen (wenn auch mit insgesamt geringen Flächenanteilen) auftreten, zei-

gen andererseits, dass auch der umgekehrte Fall auftritt: Bei ihnen „ist das Potential der Abtragung, Material wegzuführen, deutlich größer als die Fähigkeit der Verwitterung, Material zu liefern“ (AHNERT 2003, Seite 97). Dies gilt beispielsweise für die stärker geneigten Hänge von Inselbergen, Pedimenten und Rumpfstufen.

Mit dem Begriff **Inselberg** oder Inselberggruppe (Inselgebirge) bezeichnet man Einzelberge bzw. mehrgipfelige Berggruppen (Gebirge), die auf vielen Rumpfflächen in isolierter Lage inmitten weiter Ebenheiten vorkommen. Sie erheben sich meist abrupt (mit deutlichem Gefälleknick) und steil aus dem Umland, auch wenn sie an ihrem Fuß gewöhnlich von etwas flacher geböschten Pedimenten mehr oder weniger breit umsäumt sind.

Die **Entstehung von Inselbergen** kann verschiedene, nicht immer zu klärende Ursachen oder Ursachenkomplexe haben. Beispielsweise können sie auf tektonisch gebildete (evtl. fluvial in Einzelberge zerlegte) Erhebungen, härtere Gesteinspartien in weniger widerständigem Umfeld (Härtlinge), relativ große Entfernung zu Fließgewässern (Wasserscheidenlage, Fernlinge) oder auf *aufwachsende Tiefenverwitterungsgrundhöcker* zurückgehen. Letzterer Deutung liegt die Beobachtung zugrunde,

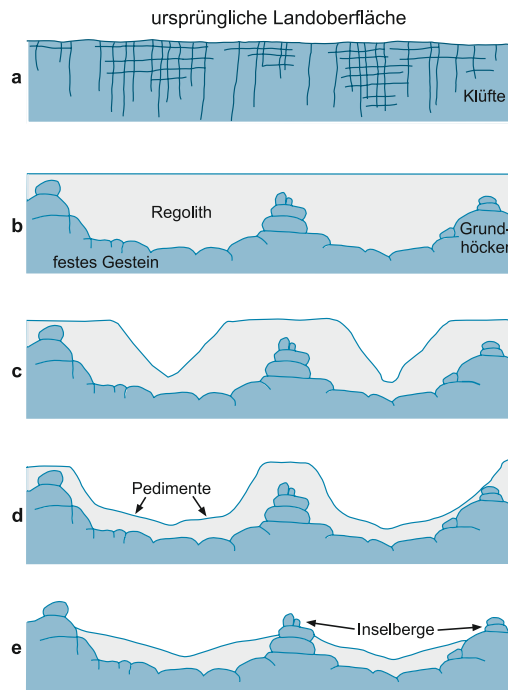
dass einmal entblößter Fels weniger stark abgetragen wird als das vom Regolith bedeckte Gestein (s.o.). Felshöcker (Grundhöcker), die ursprünglich unter der Bodendecke im Anstehenden (möglicherweise infolge relativ geringer Klüftung) herauswitterten, müssen daher, sobald sie (infolge allgemeiner Tiefenerlegung des Niveaus) an die Oberfläche gekommen sind, mit weiterer allgemeiner Flächenabtragung relativ an Höhe gewinnen („aufwachsen“) (Abb. 14.6).

### 14.3.2 Fließgewässer

Die mittleren und kleinen Fließgewässer führen nur regenzeitlich Wasser. Nach Beginn der Trockenzeit fallen die meisten Flussbetten bald trocken. Der mit den ersten Regenfällen der nachfolgenden Regenzeit erneut einsetzende Abfluss ist zunächst an Oberflächenzuflüssen aus einzelnen Niederschlagsereignissen geknüpft. Dementsprechend ist er durch extreme Spitzen und kurzfristige Unterbrechungen gekennzeichnet.

Abb. 14.6

Entstehung von Inselbergen aus Grundhöckern (OLLIER 1984).



net (entspricht also dem *episodischen Abfluss* in Trockengebieten). Erst mit Fortgang der Regenzeit kommt es auch zu Grundwasserzuflüssen, die die Flüsse beständiger mit Wasser versorgen. Damit setzt ein anhaltender Abfluss ein, der verhältnismäßig ausgeglichen ist und erst nach Ende der Regenzeit wieder aufhört (= *periodischer Abfluss*).

## 14.4 Böden

### 14.4.1 Die Böden der Sommer- und Immerfeuchten Tropen und Subtropen – allgemein

Die Grenze zwischen den Tropisch/subtropischen Trockengebieten und den Sommerfeuchten Tropen bildet zugleich die äquatorseitige Verbreitungsgrenze der *Pedocalen* (siehe Seite 170): Ab Niederschlagssummen von 500 bis 600 mm pro Jahr setzen sich erneut (deszendente) Auswaschungsprozesse gegenüber (aszendenten) Anreicherungsprozessen und damit Böden der Gruppe der **Pedalfere** durch, d.h. die meisten Böden (auf frei drainierenden Standorten) sind an austauschbaren Nährionen verarmt; freie Carbonate und Salze fehlen; Tonverlagerungen vom Oberboden in den Unterboden sind verbreitet. Die meisten Böden zeigen eine saure Reaktion.

Gegenüber den pedalferen Böden der höheren Breiten besitzen jene der Tropen – im Wesentlichen als Folge feuchtheißeerer Klimabedingungen und damit intensiverer chemischer Verwitterungsprozesse – die folgenden **Besonderheiten**:

- **Tief reichende Pedogenese:** Vielerorts erreicht sie mehrere Dekameter
- **Kaolinitisierung:** Zweischicht (1:1-)Tonminerale (meist Kaolinit, aber auch Halloysit) treten an die Stelle von Dreischicht (2:1-)Mineralen (z.B. Illit).
- **Fe- und Al-Oxidbildung:** Sesquioxide sind durchweg häufiger vertreten. Ihre Anteile wachsen im Allgemeinen mit der Intensität und Dauer feuchtheißeer Bedingungen und erreichen ihr Maximum dort, wo das bei der Verwitterung freigesetzte Silicium abgeführt wird (Desilifizierung).
- **Rubefizierung:** Bei der Oxidation des (in vielen Gesteinsmineralen enthaltenen) Eisens entsteht insbesondere roter Hämatit anstelle von gelbbraunem Goethit; dies verleiht den Böden rote Farbtöne.
- **Ferrallitisierung und Desilifizierung:** Verwitterbare primäre Minerale sind nicht oder kaum mehr vorhanden; Nährstoff-Kationen und das bei der Verwitterung freigesetzte Silicium werden ausgewaschen; im Extremfall erfolgt die Nachlieferung von mineralischen Nährstoffen fast vollständig durch Zersetzung pflanzlicher Abfälle und atmosphärische Einträge, konzentriert sich also zum allergrößten Teil auf die oberste Bodenschicht.



- **Bioturbation durch Termiten:** Termitenarten, die oberirdische Bauten anlegen, holen das dafür benötigte Bodenmaterial aus bis zu 150 cm Tiefe. Vorzugsweise werden kleine Korngrößen, meist Tone und Feinsande (maximal bis etwa 2 bis 3 mm Korngröße) nach oben transportiert (auf tonarmen Substraten gibt es keine Hügel bildenden Termiten).

**Termitenbauten** zeichnen sich daher durch feinere Texturen aus als ihre Umgebung. Auch haben sie durchweg höhere Kationenaustauschkapazitäten, Sättigungsgrade (insbesondere hohe Ca-Anteile) sowie Humus- und Stickstoffgehalte. Diese Merkmale bleiben nach dem Verfall der Bauten für einige Zeit bestehen, d.h. es bildet sich eine an bewohnte und vormalige Termitenbauten geknüpfte kleinräumige edaphische Differenzierung heraus. Diese zeigt sich in einer entsprechenden physiognomischen und floristischen Gliederung der Vegetation. Wo diese in den Sommerfeuchten Tropen besonders auffällig ist, spricht man von *Termitensavanne*. Das Ausmaß der Bodenbewegung durch Termiten kann sich im Laufe längerer Zeiträume auf beträchtliche Mengen addieren. So ergaben Berechnungen im Kongo und in West-Nigeria, dass die Einebnung aller Hügel die Bodenoberfläche mit einer 12 bis 20 cm bzw. 30 cm dicken Schicht bedecken würde. Nach anderen Untersuchungen (vgl. die Zusammenstellung bei LAL 1987) ist das während 100 bis 800 Jahren von Termiten an die Oberfläche beförderte Material äquivalent zu einer Bodenschicht von 1 cm.

Die **Zusammensetzung der Tonfraktion** ist von großer Bedeutung für die Bodenfruchtbarkeit: 1:1-Tonminerale und Sesquioxide sind außerordentlich **sorptionsschwach**. Böden, in denen derartige Tonminerale vorherrschen, werden als **LAC (= Low Activity Clay)-Böden** (KAK <24 cmol(+) kg<sup>-1</sup> Ton, bei pH 7) zusammengefasst (die übrigen dann als HAC [High Activity Clay]-Böden bezeichnet). Zu den LAC-Böden gehören alle wichtigen zonalen Böden der feuchten Tropen und Subtropen, also insbesondere die Ferralsole, Plinthosole, Acrisole, Alisole und Lixisole; Nitisole bilden einen Grenzfall (Tab. 14.1).

Tone niedriger Aktivität (LACs) haben in deutlich stärkerem Maße **pH-abhängige Ladungseigenschaften** als Tone hoher Aktivität (HACs). So wachsen bei den kaolinitischen Tonmineralen die negativen Ladungsüberschüsse mit steigendem pH, d.h. die KAK nimmt zu; gegenläufig hierzu wachsen die positiven Ladungsüberschüsse bei den Sesquioxiden mit fallendem pH, d.h. in diesem Falle nimmt die AAK (Anionenaustauschkapazität) zu (Abb. 14.7). Aus diesen *Zusammenhängen von AK und pH ergeben sich einige wichtige Konsequenzen:*

- Als Folge der in sesquioxidreichen sauren Böden (insbesondere den Acrisolen und Ferralsolen) hohen AAK kann die Adsorption des als PO<sub>4</sub><sup>2-</sup>-Anion im Boden vorkommenden Phosphors irreversi-



**Tab. 14.1. Einige Bodentypen der Sommer- und Immerfeuchten Tropen und Subtropen im Vergleich (siehe auch Tab. 15.1).**

	KAK (cmol(+) kg <sup>-1</sup> Ton)	Basensättigung (%)	Tonverlagerung (B-Horizont)	Besonderheiten (siehe hierzu auch Kasten 2)
Lixisole	< 24	≥ 50	ja (argic Hor.)	instabiles Bodengefüge
Acrisole	< 24	< 50	ja (argic Hor.)	instabiles Bodengefüge
Alisole	≥ 24	< 50	ja (argic Hor.)	hohe Al-Anteile an Austauschern
Nitisolle	< 24	± 50	teilw. (nitic Hor.)	sehr stabiles Bodengefüge
Ferralsole	≤ 16	< 50	nein (ferralic Hor.)	Pseudosand, „-schluss, stabiles Gefüge“
Plinthosole	< 16	< 50	nein (plinthic Hor.)	B-Horizont besonders eisen- reich, Gefahr der Lateritbildung

bel werden, d.h. es kommt zur (von den Landwirten) gefürchteten **Phosphatfixierung** (als Fe-Phosphate und Al- Phosphate).

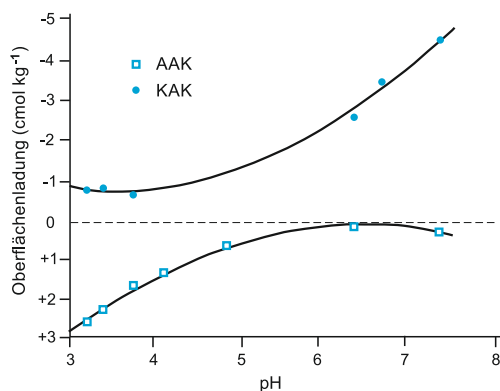
- Bei steigender Bodenacidität (etwa ab pH 5) unterliegen Al-Verbindungen verstärkt der Lösung (Aluminiumdynamik). Damit kann die Al-Konzentration in der Bodenlösung auf ein für viele Pflanzen toxisch wirkendes Niveau ansteigen, also zum Problem der **Aluminiumtoxizität** führen (definitionsgemäß ab einer Al-Sättigung von >60% der KAK). Von den in den Tropen weit verbreiteten Knollenfrüchten ist Yam hiervon am stärksten betroffen, während sich Cassava als ziemlich robust erweist. Süßkartoffeln nehmen eine Mittelstellung ein (Abb. 14.8).
- Eine **Anhebung des pH-Wertes**, z.B. durch Kalkung, führt zu einer kräftigen (bis zu 50%igen) Erhöhung der KAK. Damit treten die Nachteile aus Phosphatfixierung und Aluminiumtoxizität zurück oder verschwinden ganz, und die Wirksamkeit von Düngergaben verbessert sich.

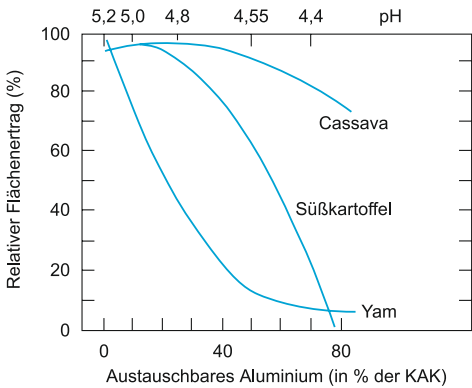
#### 14.4.2 Die wichtigsten Bodentypen der Sommerfeuchten Tropen

Von den in Tab. 14.1 aufgeführten Bodeneinheiten kommen in den Sommerfeuchten Tropen insbesondere *Lixisole* und *Nitisolle* mit relativ hohen Flächen-

**Abb. 14.7**

Die pH-Abhängigkeit der Ladungseigenschaften (Anionen- und Kationen-Austauschkapazitäten) in LAC-Böden, am Beispiel eines ferralic B-Horizontes (Ferralsol) (aus VAN WAMBEKE 1992).





**Abb. 14.8**

Beziehung zwischen austauschbarem Aluminium, Boden-pH und Flächenerträgen von drei tropischen Knollenfrüchten (NORMAN et al. 1995, MARSCHNER 1990).

anteilen vor. Nur diese beiden werden hier vorgestellt. Außerdem finden *Vertisole*, die häufig die Endglieder von Bodenkateneinheiten stellen, ausführliche Erwähnung. Acrisole und Alisole wurden bereits im Bodenkapitel der Immerfeuchten Subtropen beschrieben (Kap. 12.4); Ferralsole und Plinthosole, deren Vorkommen hauptsächlich in den Immerfeuchten Tropen liegen, folgen im Bodenkapitel zu jener Ökozone (Kap. 15.4).

### Lixisole

Neu geschaffene Bodeneinheit der zweiten FAO-Klassifikation (1988), die aus der früheren (weiter gefassten) Gruppe der Luvisole ausgegrenzt wurde (lat. *lixius* = ausgelaugt). Sie umfasst solche (durchweg tropischen) Luvisole der ersten Klassifikation, die eine niedrige (im B-Horizont wenigstens teilweise  $<24 \text{ cmol}(+) \text{ kg}^{-1} \text{ Ton}$ ) Kationenaustauschkapazität aufweisen. Gemeinsam mit den HAC-Luvisolen der Außertropen ist ihnen die Ausbildung eines argic B-Horizontes und eine hohe Basensättigung (definitionsgemäß mindestens 50%). Dementsprechend liegen die pH-Werte und Mengen an austauschbaren Nährionen höher als bei Acrisolen und Ferralsole. Die Bodenfarbe ist dagegen meist ähnlich rot bis braunrot. Das Ertragspotential ist, trotz geringer Humusgehalte und vorherrschend kaolinitischer Tone, als mäßig hoch einzustufen. Andererseits besteht eine Anfälligkeit für Bodenerosion. Bei Regenfällen kommt es leicht zu Verschlammungen der Bodenoberfläche, nach dem Abtrocknen zu Verkrustungen. Bei einer Inkulturnahme von Lixisolen ist daher besonders darauf zu achten, dass Störungen der instabilen Bodenstrukturen (beispielsweise durch Einsatz schwerer Maschinen oder Pflügen) gering gehalten werden.

### Nitisole (vormals Nitosole)

Rote bis tiefbraune Böden, die sich auf silikatreichem (= basischem) Gestein (z.B. Basalt, Glimmerschiefer) entwickelt haben und nach Dauer ihrer Bodengenese gegenüber den Lixisolen eher als jünger einzustufen sind. Zwar unterlagen die primären (Gesteins-)Minerale auch bei ihnen einer starken Verwitterung, und als Ergebnis der Tonbildung entstanden hauptsächlich Kaolinite und Sesquioxide, doch sind stets noch Reste an verwitterbaren Mineralen in Schluff- und Sandgröße übrig.

Diagnostischer Bodenhorizont ist der **nitic Horizont**. Dessen Bodengefüge ist durch stabile, eckig-blockige Aggregate gekennzeichnet, deren glänzende Oberflächen namensgebend waren (lat. *nitidus* = glänzend). Die physikalischen Eigenschaften gelten insgesamt – trotz des beachtlichen Tonreichtums – als günstig: Die Porosität ist so

beschaffen, dass eine rasche Infiltration des Regenwassers, die Speicherung einer großen Haftwassermenge und eine gute Durchlüftung gewährleistet sind. Dementsprechend ist die Erosionsanfälligkeit gering und die nutzbare Feldkapazität hoch. Die Nitisole gehören damit zu den **produktionsökologisch besten Böden der Tropen/Subtropen** und lassen sich auch im traditionellen Feldbau permanent, also ohne die sonst so verbreitete mehrjährige Brache, nutzen.

Die Flächenanteile der Nitisole stehen allerdings weit hinter denen anderer tropisch/subtropischer Böden zurück. Meist handelt es sich um kleinere isolierte Vorkommen innerhalb der vorwiegend von Acrisolen und Lixisolen eingenommenen Gebiete, die höchstens ein Fünftel von jenen beiden Böden umfassen.

### Vertisole

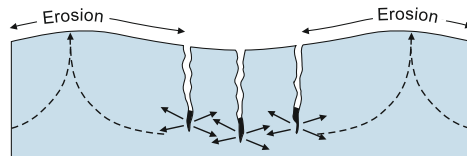
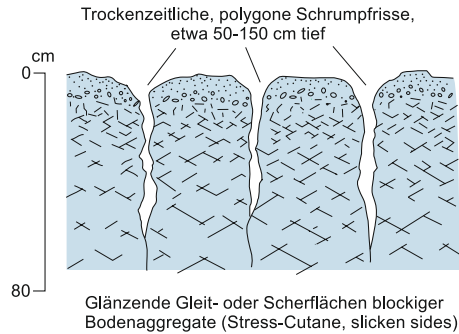
Dunkelgraue bis schwarze (bei *Chromic* Vertisolen: braune), tonreiche (wenigstens 30%, häufig >50% Ton) Böden der wechselfeuchten Tropen und Subtropen (drei bis neun Trockenmonate, mindestens 200 bis 300 mm Jahresniederschlag). Sie nehmen dort (ursprünglich meist) grasbedeckte, ebene bis sanft geschwungene Landoberflächen und abflussbehinderte Senken aus tonreichen (überwiegend  $\text{CaCO}_3$ -haltigen) Verwitterungsprodukten oder Sedimenten ein.




Regenzeitlich haben Vertisole eine dichte (porenarme), zähplastische Konsistenz, trockenzeitlich verhärteten sie, und es entstehen von der Oberfläche her Schrumpfrisse und -spalten, die mindestens 1 cm (häufig über 10 cm) breit bis in 150 cm Tiefe reichen und die Bodenmasse in Polyeder zerlegen.

Diese Spalten können sich durch nachfallendes, eingewehtes, von Tieren eingetretenes oder von den ersten Regenfällen nach der Trockenzeit eingespültes Bodenmaterial verfüllen. Die **Quellungsvorgänge** während der folgenden Durchfeuchtungsphase setzen dann bei einem erhöhten Trockenvolumen an. Mit zunehmender Wasseraufnahme kommt es dementsprechend (zumindest im Unterboden) örtlich zu Quellungsdrücken. Als Folge hiervon entstehen Bewegungsvorgänge (**Hydroturbation**, Peloturbation), die zu einer tiefreichenden Umschichtung und Homogenisierung des Bodenmaterials und damit zur Bildung eines mächtigen (oft über 1 m) Ah-Horizontes führen.

Es sind diese Bewegungsvorgänge, auf die sich der Name Vertisol des FAO-Systems gründet (lat. *vertere* = wenden). Ältere/andere Namen sind Regur, Black Cotton Soil und Tirs. Die Bewegungsvorgänge zeigen sich im Bodengefüge an glänzenden Gleit- und Scherflächen auf den Bodenaggregaten (parallel eingeregeltete Tonminerale = *slickensides*, Stress-Cutane) und an der Bodenoberfläche durch ein Kleinrelief aus Kuppen und Dellen (Gilgai). Letzteres verstärkt die Hydroturbation, da es durch Umverteilung des Niederschlagswassers an der Bodenoberfläche zu einer kleinräumig wechselnden Bodendurchfeuchtung beiträgt (Abb. 14.9).

**Abb. 14.9**  
*Selbstmulchung und  
 Gilgai-Reliefbildung bei  
 Vertisolen (DRIESSEN u.  
 DUDAL 1991).*



-  Teilweise mit Material aus dem Oberboden verfüllte Schrumpfrisse
-  Regenzeitliche Quellschläge
-  Druckentlastung durch lokale Anhebung der Bodenoberfläche (kuppiges Gilgai-Relief)

Die ausgeprägten Quellungs-/Schrumpfungerscheinungen hängen mit dem generell hohen Anteil quellfähiger Tonminerale, vor allem von Smectiten zusammen. Diese Tonminerale haben eine hohe Kationenaustauschkapazität. Entsprechend ist auch die des Bodens mit etwa 40 bis 80  $\text{cmol}(+) \text{kg}^{-1}$  sehr hoch. Die Reaktion ist neutral bis alkalisch. Carbonatausscheidungen (teilweise -konkretionen) im Profil können vorkommen. Trotz dunkler Bodenfarbe beträgt der Humusgehalt weniger als 3%. Die Humusstoffe liegen in stabilen Ton-Humus-Komplexen vor, das C/N-Verhältnis hält sich um 15.

Aufgrund ihres beträchtlichen Nährstoffgehaltes haben Vertisole ein sehr **hohes Produktionspotential**. Der hohe Tonanteil bringt andererseits einige Probleme mit sich. Dazu gehört, dass

- die große Wassermenge, die im Boden gespeichert werden kann, nur zu einem kleinen Teil für die Pflanzen nutzbar ist (hoher permanenter Welkepunkt),
- relativ hohe Evaporationsverluste infolge kapillaren Wasseraufstiegs entstehen (vgl. Abb. 13.6),
- eine Anfälligkeit für Wasserstau besteht,
- die Bearbeitbarkeit sowohl im feuchten (zähklebrigen) als auch trockenen („steinharten“) Zustand schwierig ist,

- die Wurzelsysteme der Pflanzen durch hydroturbate Bewegungen beeinträchtigt werden können und
- eine Erosionsgefahr bestehen mag.

Viele Vertisolvorkommen werden daher als (natürliches oder naturnahes) Weideland genutzt. Für den Ackerbau sind u.a. Baumwolle, Zuckerrohr, Weizen und Sorghum geeignet. In der Regel muss ergänzend bewässert werden.

## 14.5 Vegetation und Tierwelt

### 14.5.1 Physiognomisch-ökologische Merkmale und Saisonalität

Für alle Savannen gilt als gemeinsames Merkmal für alle offenen Erscheinungsformen (von reinen Grasfluren bis zu solchen mit mehr oder weniger Lichtem, parkartigem Baumbestand), dass die **Grasdecke (aus C<sub>4</sub>-Pflanzen) geschlossen** ist. Dagegen wechseln die Deckungsgrade der Bäume in weiten Grenzen (bis hin zum geschlossenen Wald, in dem sich die Baumkronen überschneiden), was in den meisten Fällen auf Brandlegungen, Beweidung, Holznutzung u.a. zurückzuführen ist, also in keiner eindeutigen Beziehung zu abiotischen Standortfaktoren steht. Längerfristige Beobachtungen auf Probeflächen, die vor menschlichen Einwirkungen geschützt wurden, haben überwiegend gezeigt, dass der Baumbestand mit Dauer des Schutzes an Dichte, Höhe und Artenzahl zunimmt (u. a. TRAPNELL 1959, LOUPPE et al 1995, JELTSCH et al 2000, MOREIRA 2000, WOJNARSKI et al 2004, HIGGINS et al 2007). Insbesondere für das Verbreitungsgebiet der Feuchtsavanne ist wahrscheinlich, dass lichte, teilweise auch geschlossene Waldformationen ursprünglich viel höhere Flächenanteile besaßen und sich das Grasland mit lockerem Baumbestand, das hier heute weithin dominiert, erst im Zuge einer sekundären **Savannifikation** ausbreitete.<sup>1</sup>

Als vage Regel kann allenfalls gelten, dass **Dichte und Höhe von Baumbeständen** in trockeneren Gebieten mit nährstoffreicheren Böden (*arid eutrophic savannas*) durchschnittlich geringer sind als in feuchteren und nährstoffärmeren (*moist dystrophic savannas*) (HUNTLEY u. WALKER 1982, COLE 1986). In Ersteren herrschen dann kleinwüchsige Baum- und Strauchsavannen, in Letzteren höherwüchsige Savannen- oder Feuchtwälder vor.

Einen deutlicheren Klimabezug zeigt die **Höhe des Graswuchses**. So haben die in den Feuchtsavannen vorherrschenden Grasarten einen höheren (meist >1 m, teilweise >2 m) Wuchs als die der Trocken- oder gar Dornsavannen, wo die Grashöhe gewöhnlich unter

<sup>1</sup> An der Frage nach der Natürlichkeit des sog. Gras-Baum-Antagonismus hat sich seit Jahrzehnten ein reicher fachlicher Disput entzündet (u. a. KLÖTZLI 1980, SCHOLLES und ARCHER 1997, SANKARAN et al 2004, BOND 2008, LEHMANN et al 2011). Eine Antwort, die allgemeine Zustimmung erfährt, steht bis heute dennoch aus.

80 cm liegt (aber immer noch höher als in den meisten Steppen bleibt). Dementsprechend werden die Ersteren auch als **Hochgrassavannen**, die Letzteren als **Kurzgrassavannen** zusammengefasst.

Die drei bis sieben Monate andauernde **Trockenzeit** bildet den wichtigsten limitierenden Faktor für den Pflanzenwuchs. Viele *Bäume* reagieren auf die Trockenheitsbelastung mit Blattabwurf, die *perennen Gräser und Kräuter* mit Absterben ihrer oberirdischen Spross- teile (die später als Streu die Vegetationspunkte an der Bodenoberfläche schützen, aus denen zu Anfang der folgenden Vegetationsperiode das neue Wachstum beginnt).

Damit stellt sich ein **Aspektwechsel** ein, der in seinem Ausmaß dem vergleichbar ist, wie er winterzeitlich, wenn auch aus anderen Gründen, für die Feuchten Mittelbreiten charakteristisch ist. Und in beiden Fällen ist er – trocken- bzw. winterzeitlich – mit einer Absenkung der pflanzlichen Photosyntheseleistung auf den Nullpunkt oder ein zumindest extrem niedriges Niveau verbunden.

Ob und wann die Bäume ihr Laub verlieren und wie lange sie trockenkahl bleiben, hängt von ihrer artspezifischen Konstitution und den äußeren Umständen ab. In der Regel erfolgt der Laubabwurf mehrere Wochen später als das Verdorren der krautigen Pflanzen. Bleibt in einzelnen Jahren der Bodenwasservorrat im (gewöhnlich tiefer reichenden) Wurzelbereich der Bäume über die ganze Trockenzeit ausreichend hoch,<sup>2</sup> so behalten viele der ansonsten wechselgrünen Bäume ihre Blätter. Der Laubabwurf ist bei ihnen also fakultativ. Dem Laubfall geht häufig eine (im Vergleich zu unseren sommergrünen Tropicophyten freilich nur mäßige) Verfärbung voraus. Auffällig viele Gehölzarten blühen im Monat vor Beginn der Regenzeit.

### 14.5.2 Tierwelt

Charakteristisch (wenn auch nicht unbedingt auffällig) ist die reichhaltige **Insekten- und Spinnenfauna**. Die häufigsten Insekten gehören zu den Orthoptera (Heuschrecken, Schaben, Grillen u.a.), Hemiptera (Schnabelkerfe, Wanzen u.a.), Coleoptera (Käfer), Diptera (Fliegen, Mücken), Lepidoptera (Schmetterlinge), Hymenoptera (Bienen, Wespen, Ameisen u.a.) und Isoptera (Termiten).

Letztere errichten zumeist oberirdische Bauten für ihre Nester. Diese können von wenigen Dezimetern bis zu fünf oder sechs Meter hoch sein, eine schlanke (säulige) oder breite (hügelige) Gestalt haben und vereinzelt oder in dichter Scharung (bis zu etwa 5% der Bodenfläche einnehmend) auftreten. Fast immer bilden sie auffallende Merkmale des Landschaftsbildes, teils unmittelbar, teils weil sie eine vom Umland abweichende, häufig dichtere Strauch- und Baumvegetation tragen und auch ihre Kraut-/Grasflora von der Umgebung abweicht („Termitensavanne“).

Von den **Vertebraten** sind Reptilien, Vögel und Säuger arten-, teilweise auch individuenreich vertreten. Bei den **Reptilien** gilt dies für alle vier Hauptgruppen, also Schlangen, Eidechsen, Schildkröten und Krokodile. Davon ernähren sich alle, bis auf die Schildkröten, als Carnivore. Bei den **Vögeln** sind insbesondere die Laufvögel (z.B. Strauße, Nandus, Emus), Trappen, Hühnervögel (in Afrika z.B. Perlhühner, Francoline) und Greifvögel häu-

<sup>2</sup> Die Speicherung an nutzbarem Wasser kann in den meist lehmigen Böden etwa 15 bis 20% des Bodenvolumens erreichen, also 15 bis 20 mm (oder 15 bis 20 Liter m<sup>-2</sup>) je dm Tiefe. Ob und bis zu welcher Bodentiefe es zu dieser Speicherung kommt, hängt wiederum von der Ergiebigkeit (dem Wasserüberschuss:  $P > ET_{pot}$ ) der vorausgehenden Regenzeit ab. War diese hoch, so verlängert sich die Vegetationsperiode entsprechend weit in die (klimatisch definierte) Trockenzeit hinein.

fig. bei den **Säugetern** die Nager (Rodentia) sowie Kaninchen und Hasen (Lagomorpha).

Abgesehen von diesen Gemeinsamkeiten hat sich die Tierwelt **auf den einzelnen Kontinenten sehr verschieden entwickelt**. Nicht nur die jeweils vertretenen Sippenbestände unterscheiden sich grundlegend (was nicht überraschen kann, da die Savannengebiete mehreren Tierreichen angehören), sondern auch die Tierzahlen (Größen der Zoomasse) und die jeweils vertretenen Lebensformen (einschließlich deren Funktionen im Savannenökosystem). Einzigartig wildreich sind viele der afrikanischen Savannen.

### 14.5.3 Savannenbrände

Savannen haben im Vergleich zu allen anderen Vegetationszonen die mit Abstand höchste Feuerfrequenz (MOUILLOT und FIELD 2005). Im Verlauf von mehreren Jahren bleibt wohl kaum ein Savannenareal von Bränden verschont (die in der Mehrzahl von Menschen gelegt werden).

Ihre Auswirkungen sind dann besonders heftig, wenn sich die Zeitspanne zum vorausgehenden Brand über mehrere Jahre erstreckt: Unter diesen Umständen reichert sich schwer zersetzbares, abgestorbenes Sprossmaterial von Gehölzen und Gräsern am Boden in Form einer immer dickeren, leicht entflammaren sowie für ein längeres Feuer reichenden Streuschicht an.<sup>3</sup> Dessen Intensität bleibt dennoch gering, so lange es sich um reine Grasfeuer handelt: Diese gehen schnell durch, erhitzen den Boden weniger tief und haben auch in der Luftschicht unmittelbar über dem Boden niedrigere Temperaturen, als wenn Totholz verbrennt.

Gewöhnlich treten die Feuer während der Trockenzeit auf. Sie verstärken damit die primär klimatisch begründete Saisonalität des Savannenökosystems (siehe Kap. 14.5.1).

Unter den Bedingungen einer ständigen Feuergefahr können in Savannen daher auf Dauer nur solche Gehölze überleben, die z. B. die Fähigkeit besitzen, aus unterirdischen Teilen über die Bildung von Adventivknospen zu regenerieren oder deren Stämme und Äste durch eine dicke Borke geschützt sind (so bei vielen Savannenbäumen außerhalb geschlossener Wälder). Gräser leiden bei Feuerdurchgängen weniger, da mindestens 70 %, wenn nicht 90 % ihrer Phytomassen auf die unterirdischen Teile entfallen und damit von der zerstörerischen Hitze der Flammen über dem Boden verschont bleiben (bei den Gehölzen überwiegen meisten die oberirdischen Anteile: Ihre Wurzel-/Sprossverhältnisse liegen eher bei 1 : 2).

Die **Wirkungen der Brände sind vielfältig und weitreichend, vorteilhaft oder zerstörerisch**. In den unmittelbar betroffenen Savannengebieten sind die Feuer wichtige Selektionsfaktoren für die Flora und Fauna, bestimmen weithin die Vegetationsstrukturen (beispielsweise Deckungsgrade der Bäume), beeinflussen den Wärme- und Wasserhaushalt von Boden, Pflanzendecke und bodennaher Luftschicht und verändern die stofflichen und energetischen Vorräte und Umsätze im System (beispielsweise Größe von oberirdischer Phytomasse und Streu, Umsätze durch Herbivorie und Saprovorie, Recycling von Mineralstoffen).

Zur Frage, ob sich aus den feuerbedingten Emissionen von Stickoxiden (NO<sub>x</sub>), Ammoniak (NH<sub>3</sub>) und Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>) globale Belastungen ergeben könnten, ist anzumerken, dass diese Emissionen in der Regel unterhalb der Mengen bleiben, die im selben Jahr (oder in der unmittelbar vorausgegangenen Vegetationsperiode) über photosynthetische

<sup>3</sup> Als Mindestmenge für ein Grasfeuer gelten 1-2 t ha<sup>-1</sup> (GOVENDER et al 2006).



und nitrifizierende Prozesse aus der Atmosphäre in der Biomasse festgelegt wurden. Überschüsse ergeben sich in baumreichen Savannen nur dann, wenn auch größere Anteile der Holzmasse verbrennen und die Regeneration der Holzpflanzen ausbleibt.

Urheber der Savannenbrände ist in fast allen Fällen der Mensch. Je nach Häufigkeit, mit der einzelne Flächen abgebrannt werden, den Zeitpunkten, zu denen dies geschieht (ob früher oder später in den Trockenzeiten), und den Zeitspannen, die seit den letzten Bränden verstrichen sind, finden sich unterschiedliche (primär feuergeprägte) *Degradations-* oder *Sukzessionsstadien*. Diese fügen sich zu einem Vegetationsmosaik zusammen, dessen Teilstücke im Laufe der Zeit zwar vertauscht werden, dessen komplexes Gefüge aber in ähnlicher Weise langfristig erhalten bleibt. Es kann daher als **Feuerklimaxformation** angesehen werden. Änderungen treten erst auf, wenn die Savannenbrände unterbunden werden. Was ganz konkret heißt, dass der Mensch aufhört Feuer zu legen. An die Stelle von Grasfluren und parkähnlichen Erscheinungsformen würden dann wahrscheinlich in vielen Gebieten geschlossene Wälder treten (s. Kap. 14.5.1).

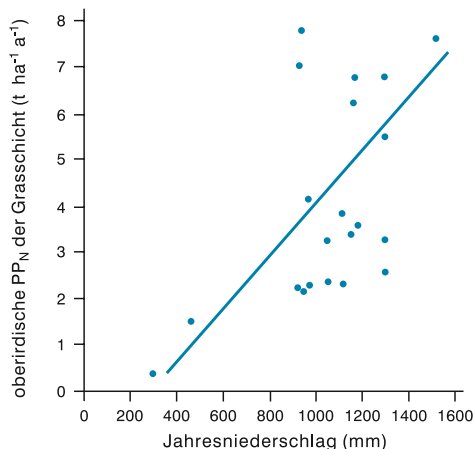
#### 14.5.4 Phytomasse und Primärproduktion

Die Größe der Phytomasse ergibt sich in erster Linie aus der Dichte und Höhe des Baumbestands. Da dieser, wie beschrieben, in den meisten Savannen eher anthropo- als naturbedingt variiert, sagen Angaben zur gesamten Phytomasse ökologisch wenig aus.

Die **Grasmasse** (Sprossmasse) ist – ähnlich wie in den Steppen – durch außerordentlich **hohe saisonale Unterschiede** gekennzeichnet. Wo das Gras während der Trockenzeit abbrennt, reicht die Spanne im Extrem von Null (unmittelbar nach Durchgang des Feuers) bis (theoretisch) zur Höhe der  $PP_N$ . Im Allgemeinen bleiben die Unterschiede jedoch innerhalb dieser Spanne, da bei den Bränden nicht alles Gras verbrennt und ein Teil des Zuwachses bereits während der Vegetationsperiode abstirbt und abfällt oder an Herbivore geht. Das Maximum der oberirdischen Krautmasse wird daher auch nicht zum Ende der Vegetationsperiode erreicht, sondern früher.

Neben den saisonalen Unterschieden treten **beträchtliche Fluktuationen von Jahr zu Jahr** auf, da (jedenfalls in Trockensavannen) die Erzeugung von Grasmasse in niederschlagsreichen Regenzeiten viel höher ist als in niederschlagsarmen.

**Abb. 14.10**  
*Jahresproduktion der Grasschicht zentral- und westafrikanischer Savannen in Abhängigkeit von den mittleren jährlichen Regenfällen (OHIAGU u. WOOD 1979). Die breite Streuung der Einzelwerte um die Regressionsgerade erklärt sich aus edaphischen Abweichungen oder unterschiedlichen Gehölzdichten an den einzelnen Standorten.*



Entsprechend gibt es **auch im regionalen Vergleich** – mit Bezug auf langjährige Mittelwerte – **ziemlich enge Abhängigkeitsbeziehungen zwischen der oberirdischen  $PP_N$  und den Jahresniederschlägen (P)**, die zunächst, ähnlich wie in den Trockengebieten der mittleren und der tropisch/subtropischen Breiten (siehe Kap. 10.5.4 [Abb. 10.5] und Kap. 13.5.4 [Abb. 13.12]), linear verlaufen. Die Abb. 14.10 zeigt dies am Beispiel von West- und Zentralafrika. Unter Einbeziehung lateinamerikanischer Savannen errechnen McNAUGHTON et al. (1993) eine mittlere Spanne von 5 bis 7,5-kg TS- $ha^{-1} a^{-1}$  pro Millimeter Jahresniederschlag, d.h. eine etwas höhere *Regennutzungseffizienz* (RUE), als sie für aride und semi-aride Regionen genannt wird (dort nur 4, siehe Kap. 13.5.4).

**Bei höheren Niederschlägen wird die Abhängigkeitsbeziehung zwischen  $PP_N$  und P allerdings unschärfer**, d.h. je mehr der Wasserfaktor seine produktionslimitierende Rolle einbüßt und Regenüberschüsse ungenutzt abfließen. Für *Feuchtsavannen* gilt die Abhängigkeitsbeziehung daher nur noch sehr eingeschränkt oder überhaupt nicht mehr. So liegt die  $PP_N$  in Moist Dystrophic Savannas häufig nur in Höhe derjenigen von Arid Eutrophic Savannas, da deren geringere Bodenfruchtbarkeit den Feuchtevorteil aufhebt (WERNER 1991). Ist andererseits die Fruchtbarkeit größer, so nimmt auch die  $PP_N$  mit steigendem P weiter zu – und entsprechend auch die RUE.

#### 14.5.5 Zoomasse und Tierfraß

Die zumeist gräserreichen Savannen bieten Herbivoren reiche und leicht verfügbare Nahrung. Im Unterschied zu vielen anderen terrestrischen Ökosystemen, in denen die Herbivorie nur 5 bis 10% der  $PP_N$  oder weniger erfasst, werden in manchen Savannen (und anderen grasreichen Formationen; siehe Kap. 10.5.3) in einzelnen Jahren mehr als die Hälfte der oberirdischen Produktion und bis zu einem Viertel der unterirdischen Produktion von Tieren gefressen.

Daran haben **Invertebraten** (Wirbellose) in der Regel größere Anteile als Vertebraten (Wirbeltiere). Wichtigste Primärkonsumenten sind fast überall Heuschrecken (auch Wanderheuschrecken) und – regenzeitlich – Schmetterlingsraupen, des Weiteren die auch Totsubstanz fressenden Schaben und Grillen. Unter den Sekundärkonsumenten nehmen Spinnen und (meist omnivore) Ameisen dominierende Positionen ein, bei den Detrivoren Termiten, Regenwürmer, Tausendfüßler und Käferlarven (Kap. 14.5.6).

**Herbivore Großsäuger** erreichen in einigen Feuchtsavannen Ostafrikas außerordentlich hohe Zoomassen von 0,1 bis 0,3 t  $ha^{-1}$  (meist Elefanten und Flusspferde) und in einigen Trockensavannen immer noch beachtliche 0,06 bis 0,1 t  $ha^{-1}$ . Neben Gräsern (für „grazers“) bilden Sträucher und Bäume als **Buschweide** wichtige Nahrungsquellen (für „browsers“).

**Erhebliche Stressbedingungen entstehen für Herbivore trockenzeitlich**, wenn die krautigen Pflanzen und Blätter von Holzpflanzen verdorren und sich damit deren Nahrungsqualität mindert. Die Mangelsituation kann sich zusätzlich verschärfen, wenn das trockene Pflanzenmaterial durch Feuer vernichtet wird. Die Art und Menge des dann noch verbleibenden Futters bestimmt wesentlich, welche Tierarten in welcher Dichte vorkommen können.

Zahlreiche Tierarten reagieren auf den saisonalen Wasser- und Nahrungsmangel mit **Migration**: Sie ziehen zu den trockenzeitlich verbleibenden Wasserstellen, in grundwasserbegünstigte Talauen oder ‚mit dem Regen‘ in möglicherweise weit entfernte Gebiete. Das letztere Verhalten zeigen insbesondere viele Vogelarten, aber auch Säuger, wie z.B. Gnus und Elefanten in Ostafrika.

Die von Tieren gefressene Phytomasse (Konsum = C) wird nur teilweise in eigene Körpersubstanz überführt oder zur Energiegewinnung genutzt (Assimilation = A); der übrige Anteil geht mit dem Kot in häufig nur wenig veränderter Form wieder aus dem Tierkörper hinaus (Defäkation) und steht dann den Detritivoren zur weiteren Aufschließung zur Verfügung (vgl. Kasten 4, Seite 76). Der assimilierte Anteil, also die **Verdauungs- oder Assimilationseffizienz (A/C)**, ist insbesondere bei den pflanzenfressenden Tierarten mit Werten zwischen etwa 30 und 60% sehr unterschiedlich und kann auch bei den einzelnen Individuen derselben Art je nach Nahrungsangebot und Alter erheblich schwanken. Bei Säugern liegt sie eher im oberen Bereich der genannten Spanne, teilweise auch darüber, ist damit aber immer noch deutlich niedriger als bei den meisten Carnivoren, jedoch viel höher als bei Detritivoren (Tab. 14.2).

Von der assimilierten Energie gehen bei den herbivoren Säugern 1 bis 5% in die Produktion (P), also in den Zuwachs oder die Reproduktion (Vermehrung). Eine deutlich höhere **Nettoproduktionseffizienz (P/A)** hat die Mehrzahl der wechselwarmen Tiere. Bei ihnen werden meist über 10%, seltener über 50% der assimilierten Energie für die eigene Produktion verwendet.

Aus der Assimilations- und der Nettoproduktionseffizienz lässt sich die **Bruttoproduktionseffizienz (P/C)**, die gelegentlich auch als *ökologische Effizienz* bezeichnet wird, ermitteln. Bei den in der Tab. 14.2 genannten Savanntentieren schwankt diese zwischen 0,5% bei Elefanten und 50% bei einer Spinnenart, d.h. bei Elefanten geht nur 0,5% der aufgenommenen Nahrung in die Produktion (einschl. Reproduktion), bei der Spinnenart dagegen die Hälfte. Bei der Mehrzahl der Tiere liegen die P/C-Werte zwischen 1 und 10%, bei den warmblütigen Tieren deutlich im unteren Bereich hiervon. Im Vergleich zu Impalas und Hausrindern benötigen Elefanten viermal größere Futtermengen für die Erzeugung gleich großer Zuwächse.

Viele Untersuchungen haben bestätigt, dass die Beweidung der Savannen, durch Wildtiere oder Vieh, also die Entnahme lebender Phytomasse aus dem System, der Primärproduktion der Grasschicht keinesfalls schadet, vielmehr zu einer erhöhten Produktionsleistung, zumindest der Grassprosse, anregt. Voraussetzung ist allerdings, dass sich der Tierfraß in Grenzen hält, d.h. sich über die Vegetationsperiode verteilt und die Pflanzen nicht übermäßig schwächt (als **tolerierbare Futterentnahme** gelten gemeinhin 30 bis 45% der  $PP_N$ ).

Auf den ersten Blick erscheint dieses Produktionsverhalten der Grasschicht unverständlich, muss doch zunächst davon ausgegangen werden, dass die Entnahme von assimilierenden Sprosstteilen durch Beweidung grundsätzlich zu einer Schmälerung der Wachstumsleistung führt. Der Widerspruch schwächt sich ab, wenn man beachtet, dass der Tierfraß

- das Pflanzenmaterial in eine leichter zersetzbare Form überführt und somit (in gewisser Weise ähnlich wie Feuer) den Rückfluss der darin enthaltenen Mineralstoffe beschleunigt, also den Nachwuchs begünstigt,
- die Beschattung innerhalb des Grasbestands reduziert und damit (falls Lichtkonkurrenz der Blätter wachstumsbegrenzender Faktor war) günstigere Lichtverhältnisse in den unteren Blattstockwerken schafft.

**Tab. 14.2. Umsatzeffizienzen und Umsatzraten (in %) bei einigen Savannentieren (aus LAMOTTE U. BOULIÈRE 1983). Erläuterungen siehe Text.**

	Assimilations-effizienz A/C	Netto-produktions-effizienz P/A	Brutto-produktions-effizienz P/C	Umsatz-rate P/B
<b>Herbivore</b>				
Heuschrecken				
– <i>Burkea Savanne</i> , versch. spp.	32	19	6	
– <i>Acacia Savanne</i> , versch. spp.	32	21	7	
– <i>Orthochtha brachycnemis</i>	20	42	9	9,6
Raupen				
– <i>Cirina forda</i>	43	15	6	
Herbivore/saprovore Termiten				
– <i>Trinervitermes geminatus</i>			9	10,4
– <i>Ancistotermes cavithorax</i> (pilzzüchtend)			2	9,7
– <i>Hodotermes mossambicus</i>	61			
Ungulaten				
– Wasserbock ( <i>Kobus kob</i> )	84	1	1	0,27
– Impala ( <i>Aepyceros melampus</i> )	59	4	2	
– Hausrind ( <i>Bos taurus</i> ), Transvaal	57	5	2	
– Afrikanischer Elefant ( <i>Loxodonta africana</i> )	30	2	0,5	
<b>Carnivore</b>				
Spinnen				
– <i>Orinocosa celerierae</i>	95	53	50	
<b>Detrivore</b>				
Regenwürmer				
– <i>Millsonia anomala</i>	9	4	0,6	2

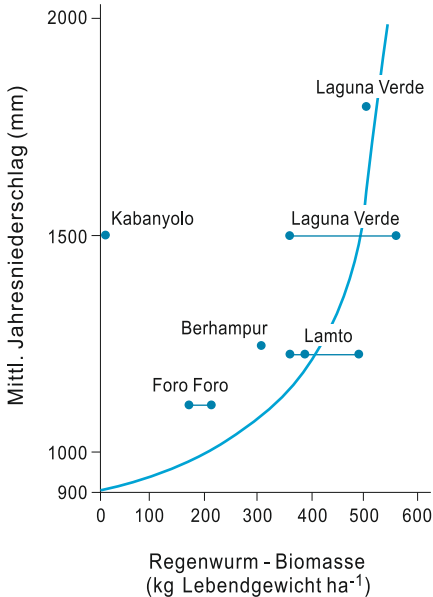


Abb. 14.11

Die Beziehung zwischen der Größe von Regenwurmpopulationen und der Höhe von Jahresniederschlägen (aus LAL 1987). Da Regenwürmer nur unter feuchten Bedingungen aktiv sein können, finden sie in Gebieten mit höheren Niederschlägen (und dann zumeist auch längeren Regenzeiten) günstigere Lebensbedingungen. Dementsprechend sind dort auch ihre Beiträge zur Bioturbation größer. Die größte Abundanz wird regenzeitlich und dann in den oberen 10 cm des Bodens erreicht. Trockenzeitlich nehmen die Regenwurmpopulationen ab und der Lebensraum verlagert sich in tiefere Bodenschichten.

### 14.5.6 Streuzersetzung

Die Zersetzung organischer Abfälle erfolgt rasch: falls nicht durch Feuer, dann (im ersten Schritt) insbesondere durch **Termiten**. Deren Dichte ist überall groß, am größten aber in Afrika und Australien.

Die Termitendichte steigt mit der Menge an toter organischer Substanz, die jeweils über Abfälle verfügbar wird. Sie ist also in regenreicheren und damit produktionsstärkeren Savannen größer als in trockeneren: Während in den Ersteren über 100 Mio. Termiten pro Hektar (mit einer Zoomasse [Lebendgewicht] von bis zu 0,1 t ha<sup>-1</sup>) vorkommen können, sind es in den Letzteren ‚nur‘ einige Millionen. Entsprechend wächst die von ihnen konsumierte Abfallmenge mit der Höhe der jährlichen Niederschläge. Dabei bleibt das Verhältnis von konsumierter zu jeweils anfallender Abfallmenge größenordnungsmäßig in etwa gleich: Sofern nicht Feuer einen großen Teil der Zersetzung übernimmt, ist damit zu rechnen, dass wenigstens ein Fünftel, wenn nicht über die Hälfte aller Abfälle ihren Weg durch den Darmtrakt von Termiten nehmen.

Zu den nächstwichtigen Zersetzern aus der **Makro-Bodenfauna** gehören die (in Feuchtsavannen nach ihrem Zoomassenanteil gewöhnlich sogar führenden) **Regenwürmer** (Abb. 14.11) sowie **Blattschneideameisen** (in Südamerika), saprophage **Myriapoden** (Tausendfüßler) und **Käferlarven** (besonders in Mittelamerika).

Den letzten Zersetzungsschritt besorgen dann, wie auch sonst üblich, Pilze, Actinomyceten und Bakterien. Sie sind die eigentlichen Mineralisierer des Systems, d.h. erst durch ihre Tätigkeit werden die meisten der organisch eingebundenen Mineralstoffe zu einfacher anorganischer Form rückgeführt und damit erneut pflanzenverfügbar. Im Mittel ist das Recycling (**Zersetzungsdauer von Abfällen**), da auch trockenzeitlich in gewissem Umfang anhaltend, bereits nach weniger als einem Jahr abgeschlossen. Da Humifizierungsprozesse relativ unbedeutend sind, bedeutet dies, dass die Humusgehalte der Savannenböden durchweg gering sind. Entsprechend sind auch die Vorräte an Stickstoff und Phosphor durchweg klein, nicht selten unzureichend und dann limitierend für die Produktion.

Den letzten Zersetzungsschritt besorgen dann, wie auch sonst üblich, Pilze, Actinomyceten und Bakterien. Sie sind die eigentlichen Mineralisierer des Systems, d.h. erst durch ihre Tätigkeit werden die meisten der organisch eingebundenen Mineralstoffe zu einfacher anorganischer Form rückgeführt und damit erneut pflanzenverfügbar. Im Mittel ist das Recycling (**Zersetzungsdauer von Abfällen**), da auch trockenzeitlich in gewissem Umfang anhaltend, bereits nach weniger als einem Jahr abgeschlossen. Da Humifizierungsprozesse relativ unbedeutend sind, bedeutet dies, dass die Humusgehalte der Savannenböden durchweg gering sind. Entsprechend sind auch die Vorräte an Stickstoff und Phosphor durchweg klein, nicht selten unzureichend und dann limitierend für die Produktion.

### 14.5.7 Mineralstoffvorräte und -umsätze

Der **Versorgungszustand der Böden mit Pflanzennährstoffen** ist generell ungünstig (Kap. 14.4.1); besonders schlecht ist er in den Feuchtsavannen. Entsprechend wichtig ist, dass die vorhandenen

Nährstoffbestände erhalten bzw. die Verluste ausgeglichen werden. Ersteres geschieht bei den Gräsern durch Ausbildung hoher Wurzel/Spross-Verhältnisse, dichte („intensive“) Wurzelsysteme sowie deren mehr oder weniger enge Verbindung mit  $N_2$ -fixierenden *Azospirillum* spp. und Mykorrhiza. Bei Bäumen sind ähnliche Verbindungen mit stickstoffbindenden Knöllchenbakterien (*Rhizobium*, bei Leguminosen [Hülsenfrüchtler], wie z.B. Akazien), sowie ebenfalls Mykorrhiza weit verbreitet.

Die **biologische  $N_2$ -Fixierung** und die **Einträge mit dem Regenwasser** liegen längerfristig in Höhe der Verluste, die durch Nitrat- auswaschung aus dem Boden und – insbesondere – durch Verflüchtigung beim Verbrennen organischer Substanzen entstehen (Tab. 14.3). Bei den teilweise ebenfalls flüchtigen Phosphaten werden die Verluste gewöhnlich durch Einträge aus der Atmosphäre ausgeglichen.

Trockenwälder verbrauchen pro Produktionseinheit weniger Mineralstoffe als Grassavannen, haben also eine höhere **Nährstoff-Nutzungseffizienz** (NUE) als jene. Andererseits dauern ihre Mineralstoffkreisläufe länger und dementsprechend sind weit höhere Mineralstoffmengen in ihrer Phytomasse eingebunden. Dadurch wird der scheinbare Vorteil, der aus ihrer höheren NUE entsteht, wieder aufgehoben: Bei Grasfluren auf vergleichbaren Standorten sind die Ansprüche an die Bodenfruchtbarkeit zwar höher, doch sind bei ihnen auch die Vorräte im Boden größer (jedenfalls anteilig an den Gesamtvorräten im Ökosystem).

## 14.6 Landnutzung

Die Sommerfeuchten Tropen sind die am dichtesten besiedelten und agrarisch genutzten Räume der Tropen (abgesehen von SE-Asien, wo

**Tab. 14.3. Stickstoffbilanzen (in  $kg\ ha^{-1}\ a^{-1}$ ) in zwei Feuchtsavannen (aus MEDINA 1987).**

	Lamto (Elfenbeinküste)	Venezuela (Trachypogon Sav.)
Einträge durch Regenwasser	19 (davon 4,5 anorg.)	2,6
Biologische $N_2$ -Fixierung		
– Blaualgen	–	0,7
– Mikroorganismen in Wurzelumgebung (Rhizosphäre)	9–12	6,7
Verluste durch Feuer	17–23	8,5
Auswaschung	5,6	0,5
<b>Bilanz</b>	<b>+3,9</b>	<b>+1</b>

auch einige der vormalig regenwaldbedeckten Gebiete hohe Bevölkerungsdichten aufweisen). Gegenüber den äquatorwärts folgenden Immerfeuchten Tropen liegt ihre **Überlegenheit** darin, dass

- die Bodenfruchtbarkeit zumindest in den trockeneren Teilregionen (Trockensavannen) und insbesondere der Nitisole besser ist (s. Kap. 14.1 sowie 14.4.1 und 14.4.2),
- die ‚winterliche‘ Trockenheit das Roden durch Feuer erleichtert, sofern überhaupt ein dichter Baumwuchs vorhanden ist,
- die überall geschlossene Grasdecke die Viehhaltung begünstigt,
- die Sonneneinstrahlung zum Ende der Regenzeit höhere Intensitäten erreicht, wovon beispielsweise Mais, Zuckerrohr und Baumwolle profitieren; für sie ist ein wechselfeuchtes Klima günstiger als ein immerfeuchtes.

Die Überlegenheit der Sommerfeuchten Tropen gegenüber den zu den Wendekreisen folgenden Tropisch/subtropischen Trockengebieten bedarf keiner weiteren Erklärung. Sie fehlt lediglich dort, wo in den Trockengebieten künstlich bewässert werden kann.

Länge und Ergiebigkeit der Regenzeit reichen überall in den Sommerfeuchten Tropen (wenn auch nicht in allen Jahren) für einen **Regenfeldbau** zahlreicher Nutzpflanzenarten aus, so z.B. für Mais, Sorghum, mehrere kleinkörnige Hirsearten (millets), Baumwolle, Erdnüsse, Reis, diverse Bohnenarten und Süßkartoffeln (Bataten). Die Tatsache, dass in jedem Jahr saisonale Trockenzeiten von mindestens dreimonatiger Dauer auftreten, bedeutet andererseits, dass nur *annuelle* Arten angebaut werden können, soweit nicht ergänzend bewässert wird (wie durchweg beim Zuckerrohr) oder relativ trockenresistente Arten verwendet werden (z.B. Cassava [Maniok] und Sisal). Dauerkulturen von feuchteanspruchsvolleren Nutzpflanzen, z.B. Kaffee und Tee, gedeihen nur in Höhegebieten, die von orographisch bedingten Steigungsregen oder der hohen Luftfeuchtigkeit bei Nebelbildungen während der Trockenzeiten profitieren.

Kleine Betriebe mit hoher Anbauvielfalt und Tierhaltung herrschen im Allgemeinen vor, wobei die Integration von Pflanzenbau und Vieh traditionell schwach ist und sich erst neuerdings mit der zunehmenden Verwendung tierischer Zugkraft für das Pflügen und des Dungs zur Bodenverbesserung auf den Feldern verbessert hat. Ein Futterbau fehlt noch weithin. Doch nutzt das Vieh gewöhnlich die Ernterückstände und die Bracheflächen als Weide (*Bracheweiden*). Ansonsten werden die Rinder, Schafe und Ziegen in pflanzenbaulich ungenutzte und dann jedermann zur Weidenutzung verfügbare Savannenareale (*Naturweiden*) getrieben.

Der Ackerbau wird weithin noch heute in der traditionellen Form einer **Landwechselwirtschaft** (Shifting Cultivation i.w.S.) betrieben. Hierbei werden die Felder nach mehrjähriger Nutzung für eine mehr oder weniger lange Zeit aufgelassen (*Naturbrache-Systeme*) oder in einer mehr oder weniger geregelten Weise als Viehweide genutzt



(*Wechselweidewirtschaft, ley farming*), damit sich die Bodenfruchtbarkeit regenerieren kann.

Das zeitliche Verhältnis zwischen Anbaujahren und Brachedauer kann entweder in Form eines Anbaufaktors oder durch den Kennbuchstaben ‚R‘ ausgedrückt werden.

Beim **Anbaufaktor** wird die gesamte Umlaufdauer der Rotation, d.h. die Zahl der Anbaujahre plus Zahl der nachfolgenden Brachejahre bis zum erneuten Anbau, durch die Zahl der Anbaujahre geteilt. Das Ergebnis gibt an, wie viele Anbauareale zur Aufrechterhaltung einer bestimmten Rotation nötig sind. Folgen z.B. bei einer Landwechselwirtschaft auf eine 5-jährige Anbauperiode 5 Jahre Brache, dann ist der Anbaufaktor 2, d.h. der Bauer braucht zwei Areale in der Größe (und in der Güte) seines gerade genutzten Ackerlandes; jeweils eines davon befindet sich zu jeder Zeit in der regenerativen Phase.

Beim **Kennbuchstaben ‚R‘** wird – reziprok zum Anbaufaktor – die Zahl der Anbaujahre ins Verhältnis zur gesamten Rotationsperiode gesetzt, das Ergebnis häufig auf Hundert bezogen. Der Vorteil dieser Berechnungsart liegt darin, dass unmittelbar der Anteil genannt wird, den die jeweils bebaute Ackerfläche an der gesamten landwirtschaftlichen Nutzfläche (LN) eines Betriebes hat. So errechnet sich ‚R‘ für das obige Beispiel auf 0,5; der Anteil des gerade bestellten Landes beläuft sich also auf 50% der LN, die übrigen 50% liegen vorübergehend brach.

Von einer Landwechselwirtschaft spricht man, wenn  $0,3 \leq R \leq 0,7$  ist. Der Flächenbedarf eines Subsistenzbetriebes ist dann  $1\frac{1}{2}$ - bis 3mal so groß wie der eines entsprechenden Betriebes mit permanentem Feldbau. Er steigt noch höher, wenn extrem ungünstige Bodenverhältnisse die jeweils mögliche Nutzungsdauer weiter verkürzen und längere Brachezeiten die Auffüllung der Mineralstoffvorräte erzwingen. Dies ist in vielen Feuchtsavannengebieten und erst recht in den Immerfeuchten Tropen der Fall (siehe Kap. 15.6, Brandrodungs-Wanderfeldbau). Welche Brachezeit jeweils eingehalten (im Interesse *hoher Bodenproduktivität* aber auch nicht überschritten) werden sollte, verdeutlicht die Abb. 14.12.

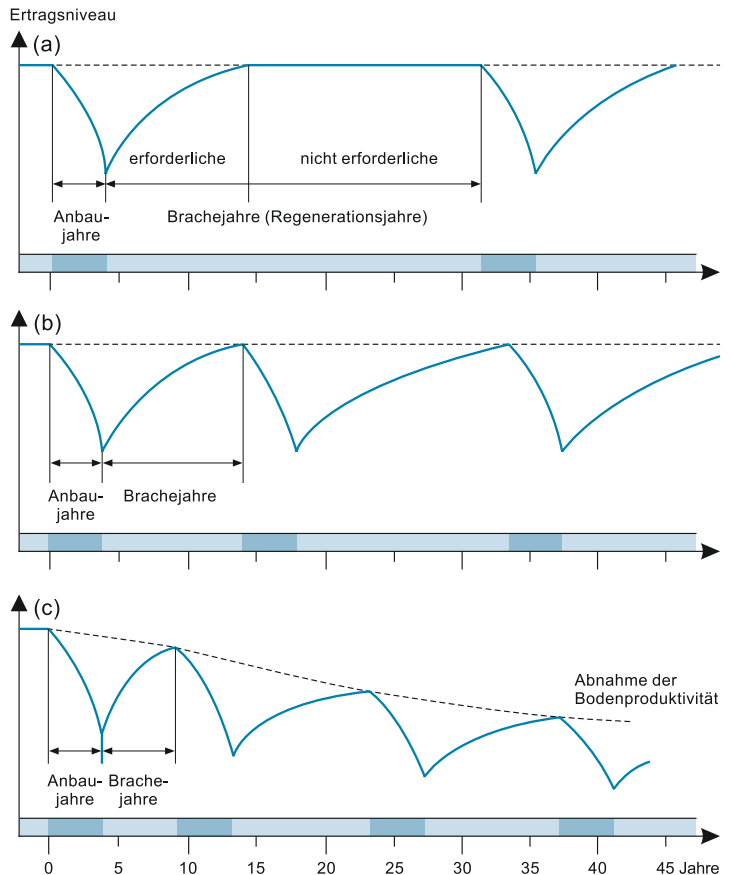
Die Produktion der traditionellen Landwechsel-Mischbetriebe dient auch oder sogar überwiegend der Eigenversorgung. Der Einsatz einfacher Arbeitsgeräte, z.B. Hacke und Ochsenpflug, ist noch immer weit verbreitet, die Arbeitsproduktivität entsprechend gering. Und ebenso niedrig liegt meist auch – abgesehen von Bewässerungskulturen – die Flächenproduktivität.

In neuerer Zeit sind mit der raschen Bevölkerungsvermehrung und damit Landverknappung – aber auch als Folge allgemein fort-

schrittlicher Entwicklung – zunehmend **permanente Feldbausysteme** entstanden. Möglich wurde dies durch vermehrten Einsatz von Mineraldünger. Agroförmliche Nutzungssysteme haben sich in Hinblick auf Erosionsschutz und Erhaltung/Verbesserung der wichtigen organischen Bodensubstanz als vorteilhaft erwiesen.

In auffälligem Gegensatz zu den vorstehend beschriebenen mehr oder weniger flächenextensiven Nutzungssystemen hat die traditionelle Landwirtschaft von SE-Asien mit dem **Bewässerungsreisbau** ein außerordentlich **flächenintensives Nutzungssystem** entwickelt. Die Dominanz dieses Systems reicht weit über die Sommerfeuchten Tropen hinaus, und zwar sowohl in die Immerfeuchten Tropen als auch in die Immerfeuchten Subtropen hinein (vgl. Abb. 6.2).

Innerhalb der traditionell durch Regen- oder Bewässerungsfeldbau genutzten Savannengebiete sind vielerorts – meist inselhaft oder entlang moderner Verkehrswege – kommerzialisierte Betriebe entstan-



den, die sich als *spezialisierte Acker- oder Dauerkulturwirtschaften* dem relativ großflächigen Anbau jeweils einer einzelnen (oder von wenigen) Nutzpflanze(n) (z.B. Mais, Sorghum, Tabak, Erdnüsse, Baumwolle, Weizen, Kaffee, Tee, Sisal) oder einer  $\pm$  *intensiven Mast- oder Milchrinderwirtschaft* (**Spezialisierte Farmwirtschaft**) widmen. In solchen Savannengebieten, in denen große unbesiedelte Räume verfügbar waren, wie z.B. in Nordaustralien, mehreren lateinamerikanischen Ländern (Brasilien, Paraguay, Venezuela, Kolumbien, Mexiko) und Afrika (Kenia, Angola) konnten sich extensive Weidesysteme in Form des **Ranching** (siehe Kap. 10.6.2) mit Rindern etablieren. In einigen Savannengebieten gibt es Versuche mit einer **Wildbewirtschaftung**, z.B. in Afrika mit Elenantilopen (Eland), in Australien mit Kängurus und in Südamerika mit Capybaras.

▷ **Abb. 14.12**

*Die Beziehung zwischen Brachedauer und Bodenfruchtbarkeit beim Shifting Cultivation (aus RUTHENBERG 1980). Beim Fall (b) deckt die Bracheperiode genau den Zeitraum ab, der zur Regeneration der Bodenfruchtbarkeit nötig ist. Beim Fall (a) ist sie länger als erforderlich, beim Fall (c) reicht sie für die Erhaltung der Bodenfruchtbarkeit nicht aus, so dass das Ertragsniveau (gestrichelte Linie) absinkt.*

*Zu beachten ist, dass die Grafik lediglich zeigt, bei welcher Rotation (nach welcher Brachedauer) höchste Flächenerträge pro Ernte erzielt werden. Anders sieht die Beurteilung aus, wenn sich das Produktionsziel auf die längerfristig im Mittel aller (also auch der Brache-) Jahre pro Fläche erzielbaren Höchstserträge richtet. Hier schneidet eine kürzere Rotation meist besser ab: Zwar werden dann die vormaligen Flächenerträge in keinem Anbaujahr mehr erreicht, doch können sich die über die Zeit zahlreicheren Ernten am Ende auf höhere Ertragssummen addieren; so jedenfalls bei einer maßvollen Rotationsverkürzung.*

Dieses Dokument wurde mit IP-Adresse 141.201.32.213 aus dem Netz der USEB UB Salzburg am 03.11.2018 um 14:18 Uhr heruntergeladen. Das Weitergeben und Kopieren dieses Dokuments ist nicht zulässig.

**Sonneneinstrahlung**

- während eines Jahres:  $650-700 \cdot 10^8 \text{ kJ ha}^{-1}$   
 - während einer Vegetationsperiode:  $350-550 \cdot 10^8 \text{ kJ ha}^{-1}$

**Klimatische Umweltbedingungen**

Die Tageslängen weichen im Laufe eines Jahres lediglich um bis zu einer Stunde vom 12-Stunden-Tag ab. Der Strahlungshaushalt ist ganzjährig positiv; alle Monate mit  $t_{\text{mon}} > 18^\circ\text{C}$ ; Winter deutlich kühler als Sommer, gebietsweise vereinzelt leichte Fröste. Strenge Saisonalität der Feuchteverhältnisse: Niederschläge fallen innerhalb von  $4^{1/2}-9^{1/2}$  Monaten (<7 Regenmonate; Trockensavanne; Feuchtsavanne); Trockenzeit im Winterhalbjahr. Jahresniederschlag: 500-1000 mm in der Trocken- und 1000-1500 mm in der Feuchtsavanne. Vegetationsperiode: in der Trockensavanne weitgehend identisch mit der Regenzeit, in der Feuchtsavanne (aufgrund von höheren Niederschlagsüberschüssen während der Regenzeit) für Gehölze 1-2 Monate länger.

**Vegetation**

Geschlossene Grasdecke (aus  $C_4$ -Pflanzen) und unzusammenhängende Baum-/ Strauchschicht. Wuchshöhe von Bäumen und Gräsern ist in regenreicheren Savannen größer als in trockeneren, entsprechend Unterscheidung in Feuchtwälder/Hochgras-savannen und Trockenwälder/Kurzgras-savannen. Dichte des Baumbestandes dagegen nicht klimaabhängig, sondern anthropogen oder edaphisch bedingt: offenes Grasland herrscht auf tonreichen, dichterer Baumbestand auf sandigen Böden vor. In der Trockenzeit verdorrt das Gras und viele Holzpflanzen verlieren ihr Laub (regengrüne Tropophyten). Trockenzeitliche Gras- und Buschfeuer häufig, Vegetationsmosaik aus verschiedenen alten Degradations- und Sukzessionsstadien kann als Feuerklimaxformation gelten. Maximale Sprossmasse der Grasschicht liegt etwa zwischen  $3t \text{ ha}^{-1}$  in Trockensavannen und  $7t \text{ ha}^{-1}$  in Feuchtsavannen. Wurzelmasse der Grasschicht in Trockensavannen meist größer, in Feuchtsavannen dagegen kleiner als Sprossmasse. PPN  $10 \cdot 10^3 \text{ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$  steigt mit den Niederschlägen und der Bodenfruchtbarkeit.

**Tierwelt**

Reichhaltige Insekten- und Spinnenfauna. Hohe Artenzahlen auch bei Reptilien, Vögeln und – in Afrika – bei Großsäugern. Ein vergleichsweise großer Anteil (zeitweise über 50%) der Primatproduktion geht an Herbivore. Wichtigste Primärkonsumenten sind Heuschrecken und Raupen, in afrikanischen Savannen auch Ungulaten, die dort vielfach in großen Herden auftreten. Neben Gräsern bilden auch Holzpflanzen wichtige Futterpflanzen (Buschweide), Maisvolle Beweidung der Savannen, durch Wildtiere oder Vieh, erhöht die Produktionsleistung der Vegetation.

**Landnutzung**

Natürliches Agrarpotential größer als in den polwärts und äquatorwärts benachbarten Ökozonen. Dem entspricht, dass die Bevölkerungsdichte größer als in allen übrigen tropischen Räumen ist (Ausnahme: SE-Asien). Agrare Nutzung profitiert von relativ hohen Niederschlägen (im Vergleich zu den Tropisch/subtropischen Trockengebieten) sowie fruchtbareren Böden und höherer Sonnenscheindauer (gegenüber Immerfeuchtländern). Traditionell kleinbetrieblicher Immerfeuchtlbau in der extensiven Form einer Landwechselwirtschaft (mit Naturbrachen) und mit hohen Produktionsanteilen zur Eigenversorgung. Neuerdings zunehmend permanenter Anbau bei nach wie vor geringer Arbeitsproduktivität. Wichtige Anbaufrüchte sind Mais, diverse Hirsearten und – besonders häufig in den Feuchtsavannen – Cassava. Bewässerungslandbau in besonders dicht besiedelten Räumen (weithin in SE-Asien, mit Nassreis). Viehhaltung (vorwiegend Rinder) in Verbindung mit Ackerbau (agro-pastorale Systeme) weit verbreitet (z.B. in Form von Wechselweidewirtschaften). Erhebliche Futterverknappung während der Trockenzeit. Als moderne agrare Nutzungsformen finden sich die spezialisierte Farmwirtschaft (z.B. Mais, Sorghum, Tabak, Erdnüsse, Baumwolle, Weizen) und das Ranching, gelegentlich in Verbindung mit Wildtierbewirtschaftung.

Dieses Dokument wurde mit IP-Adresse 141.201.32.213 aus dem Netz der USEB UB Salzburg am 03.11.2018 um 14:18 Uhr heruntergeladen. Das Weitergeben und Kopieren dieses Dokuments ist nicht zulässig.

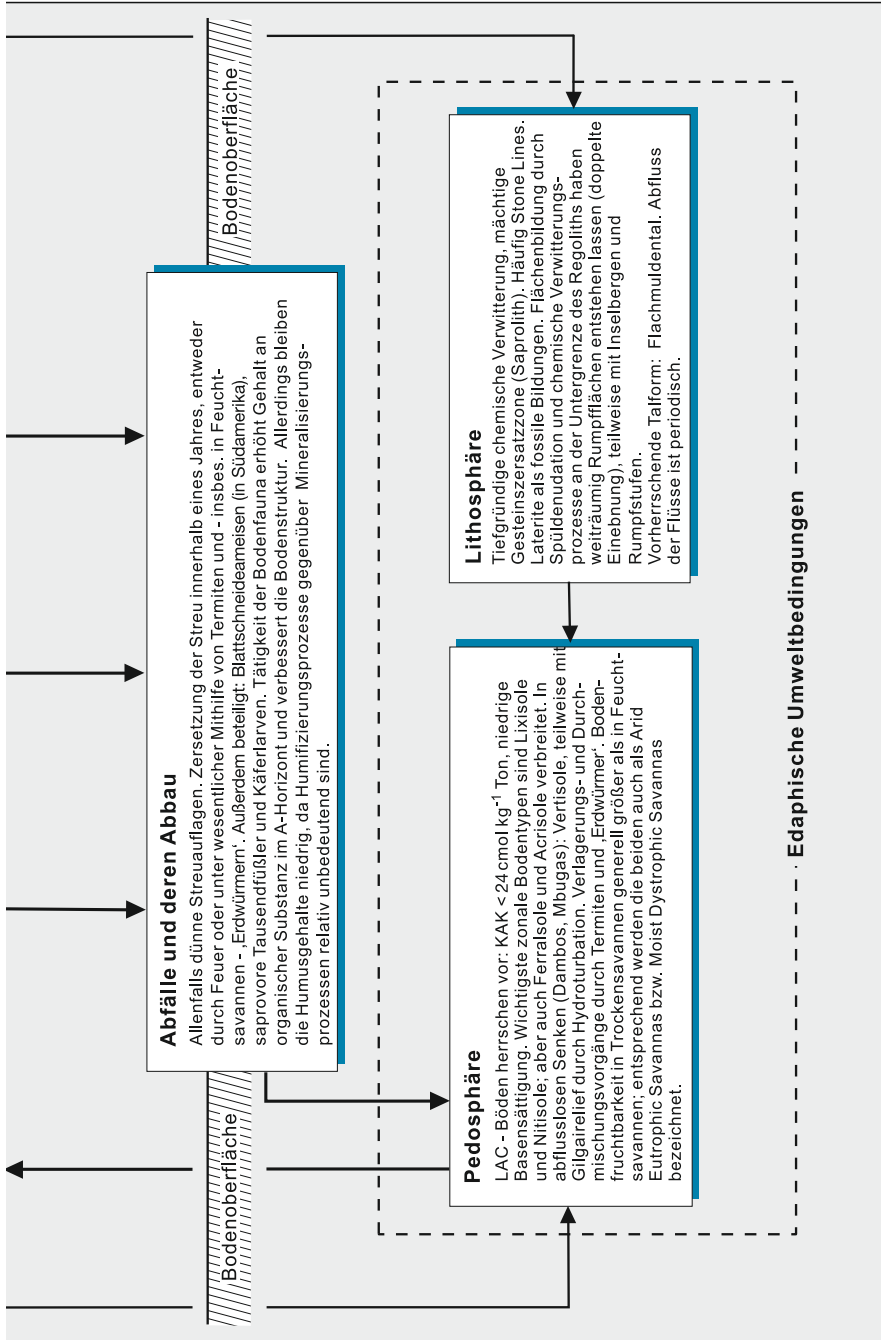


Abb. 14.13 Zusammenfassendes Schaubild der Sommerfeuchten Tropen.

**Literatur zu Kap. 14**

- ABBADIE, L., GIGNOUX, J., LE ROUX, X. und LEPAGE, M. (eds.) (2006): Lamto - Structure, functioning and dynamics of a savanna ecosystem. *Ecol. Studies* 179. Springer, Berlin, 415 S.
- AHNERT, F. (2003), s. Lit. zu Kap. 3.
- ANDERSEN, A. N., COOK, G. D. und WILLIAMS, R. J. (eds.) (2003): Fire in tropical savannas. The Kapalga experiment. *Ecol. Studies* 169. Springer, Berlin, 195 S.
- AUGUSTINE, D. J. & McNAUGHTON, S. J. (2004): Regulation of shrub dynamics by native browsing ungulates on East African rangeland. *Journal of Applied Ecology* 41, 45–58.
- BOND, W. J. (2008): What limits trees in C4-grasslands and savannas? *Annual review of Ecology, Evolution and Systematics* 39, 641–659.
- BOOYSEN, P. de V. und TANTON, N. M. (eds.) (1984): Ecological effects of fire in South African ecosystems. *Ecol. Studies* 48. Springer, Berlin, 426 S.
- BOURLIÈRE, F. (ed.) (1983): Tropical savannas. *Ecosystems of the World* 13. Elsevier, Amsterdam, 730 S.
- BULLOCK, S. H., MOONEY, H. A. und MEDINA, E. (eds.) (1995): Seasonally dry tropical forests. Cambridge Univ. Press, Cambridge, 450-S.
- COETSEE, C., BOND, W. J. & FEBRUAEY, E. C. (2010): Frequent fire affects soil nitrogen and carbon in an African Savanna by changing woody cover. *Oecologia* 162, 1027–1034.
- COLE, M. M. (1986): The savannas; biogeography and geobotany. Academic Press, London, 438 S.
- DRIESSEN und DUDAL (1991), s. Lit. zu Kap. 4.
- FEBRUAEY, E. C. & HIGGINS, S. I. (2010): The distribution of tree and grass roots in savannas in relation to soil nitrogen and water. *South African Journal of Botany* 76, 517–523.
- GIGNOUX, J., MORDELET, P. & MENAUT, J. C. (2005): Biomass cycle and primary production. In Abbadie, L., Gignoux, J., Le Roux, X. & Lepage, M. (eds), Lamto: Structure, Functioning and Dynamics of a Savanna Ecosystem. *Ecological Studies* 179, 115–137.
- GOWENDER, N., TROLLOPE, W. S. W. & VAN WILGEN, B. W. (2006): The effect of fire season, fire frequency, rainfall and management on fire intensity in savanna vegetation in South Africa. *Journal of Applied Ecology* 43, 748–758.
- HIGGINS, S. J., BOND, W. J., FEBRUAEY, E. C. et al. (2007): Effects of four decades of fire manipulation on woody vegetation structure in savanna. *Ecology* 88, 1119–1125.
- HORNETZ, B. und JÄTZOLD, R. (2003): s. Lit. zu Allg. Teil.
- HUNTLEY, B. J. und WALKER, B. H. (eds.) (1982): Ecology of tropical savannas. *Ecol. Studies* 42. Springer, Berlin, 669 S.
- JELTSCH, F., WEBER, G. E. & GRIMM, V. (2000): Ecological buffering mechanisms in savannas: A unifying theory of long-term tree-grass coexistence. *Plant Ecology* 151, 161–171.
- LAL, R. (1987): Tropical ecology and physical edaphology. John Wiley and Sons, Chichester, 732 S.
- LAMOTTE, M. und BOURLIÈRE, F. (1983): Energy flow and nutrient cycling in tropical savannas. In: BOURLIÈRE, 583–603.
- LEHMANN, C. E. R., ARCHIBALD, S. A., HOFFMANN, W. A. & BOND, W. J. (2011): Deciphering the distribution of the savanna biome. *New Phytologist* 191, 197–209.
- LOUPPE, D., OUATTARA, N. & COULIBALY, A. (1995): The effect of brush fires on vegetation: the Aubreville fire plots after 60 years. *Commonwealth Forest Review* 74, 288–292.
- MARSCHNER (1990), s. Lit. zu Kap. 5.
- McNAUGHTON, S. J., SALA, O. E. und OESTERHELD, M. (1993): Comparative ecology of African and South American arid to subhumid ecosystems. In: GOLDBLATT, P. (ed.): Biological relationships between Africa and South America. Yale Univ. Press, New Haven, 548–567.

- MEDINA, E. (1987): Requirements, conservation and cycles of nutrients in the herbaceous layer. In: WALKER, 39–65.
- MOE, S. R., MOBAEK, R. & NARMO, A. K. (2009): Mound building termites contribute to savanna vegetation heterogeneity. *Plant Ecology* 202, 31–40.
- MOREIRA A, A. G. (2010): Effects of Fire Protection on Savanna Structure in Central Brazil. *Journal of Biogeography* 27, 1021–1029.
- MOUILLOT, F. und FIELD, C. B. (2005): Fire history and the global carbon budget: a 1x1 fire history reconstruction for the 20<sup>th</sup> century. *Global Change Biology* 11, 398–420.
- MÜLLER (1996), s. Lit. zu Kap. 2.
- NORMAN, M. J. T., PEARSON, C. J. und SEARLE, P. G. E. (1995): The ecology of tropical food crops. Cambridge Univ. Press, Cambridge (2. Aufl.), 430 S.
- OHIAGU, C. E. und WOOD, T. G. (1979): Grass production and decomposition in southern Guinea savanna, Nigeria. *Oecologia* 40, 155–165.
- OLLIER (1984), s. Lit. zu Kap. 3.
- RUTHENBERG (1980), s. Lit. zu Kap. 6.
- SILESHI, G. W., ARSHAD, M. A., KONATÉ, S. & NKUNIKA, P. O. Y. (2010): Termite-induced heterogeneity in African savanna vegetation: mechanisms and patterns. *Journal of Vegetation Science* 21, 923–937.
- SANKARAN, M., RATNAM, J. & HANAN, N. P. (2004): Tree-grass coexistence in savannas revisited – insights from an examination of assumptions and mechanisms invoked in existing models. *Ecology Letters* 7, 480–490.
- SARMIENTO, G. (1984): The ecology of neotropical savannas. Harvard Univ. Press, Cambridge (Mass.), 235 S.
- SCHOLES, R. J. und WALKER, B. H. (1993): An African savanna; synthesis of the Nylsvley study. Cambridge Univ. Press, Cambridge, 306 S.
- SCHOLES, R. J. & ARCHER, S. R. (1997): Tree-grass interactions in savannas. *Annual Review of Ecology and Systematics* 28, 517–544
- SOLBRIG, O. T., MEDINA, E. und SILVA, J. F. (eds.) (1996): Biodiversity and savanna ecosystem processes; a global perspective. *Ecol. Studies* 121. Springer, Berlin, 233 S.
- SPAARGAREN, O. C. und DECKERS, J. (1998): The world reference base for soil resources. An introduction with special reference to soils of tropical forest ecosystems. In: SCHULTE und RUHIYAT, 21–28, s. Lit. zu Kap. 15.
- TOTHILL, J. C. und MOTT, J. J. (eds.) (1985): Ecology and management of the world's savannas. Austr. Acad. Sci., Canberra, 384 S.
- TRAPNELL, C. G. (1959): Ecological results of woodland burning experiments in Northern Rhodesia. *Journal of Ecology* 47, 129–168.
- VAN DE VIJVER, C. A. D. M., POOT, P. & PRINS, H. H. T. (1999): Causes of increased nutrient concentrations in post-fire regrowth in an East African savanna. *Plant and Soil* 214, 173–185.
- VAN WAMBEKE, A. (1992): Soils of the tropics. Properties and appraisal. McGraw-Hill, New York, 343 S.
- WERNER, P. A. (ed.) (1991): Savanna ecology and management. Australian perspectives and intercontinental comparisons. Blackwell, Oxford, 221 S.
- WOJNARSKI, J. C. Z., RISLER, J. & KEAN, L. (2004): Response of vegetation and vertebrate fauna to 23 years of fire exclusion in a tropical eucalyptus open forest, Northern Territory, Australia. *Austral Ecology* 29, 156–176.
- YOUNG, M. D. und SOLBRIG, O. T. (eds.) (1993): The world's savannas – economic driving forces, ecological constraints and policy options for sustainable land use. *Man and the Biosphere Ser.* 12. UNESCO, Paris, 350 S.



## 15 Immerfeuchte Tropen

### 15.1 Verbreitung

Die Verbreitung ist äquatorial, reicht aber dort, wo winterliche Pasatregen oder monsunale Niederschläge (beide häufig orographisch unterstützt) in Ergänzung zu den sommerlichen Zenitalregen fallen, weiter polwärts, im Extrem sogar über 20° N und 20° S hinaus (Abb. 15.1). Die Gesamtfläche aller Vorkommen beträgt 12,5 Mio. km<sup>2</sup>, d.i. ein Festlandsanteil von 8,4%.

Die Grenze zu den Nachbarzonen ist entweder thermisch (zu den Immerfeuchten Subtropen) oder hygrisch (zu den Sommerfeuchten Tropen) begründet: Sie folgt hier in etwa der 18 °C-Isotherme des kältesten Monats bzw. der 9 bis 9½-Isohygromene.

Die im wechselfeuchten Bereich anschließende Feuchtsavannenzone der Sommerfeuchten Tropen hat mit den Immerfeuchten Tropen einige gemeinsame Merkmale, so bei den Böden, der Reliefbil-

**Abb. 15.1**

*Immerfeuchte Tropen. Die meisten Vorkommen der Immerfeuchten Tropen liegen innerhalb von 10° N und 10° S.*

