Dieses Dokument wurde mit IP-Adresse 141.201.32.213 aus dem Netz der USEB UB Salzburg am 03.11.2018 um 14:17 Uhr heruntergeladen. Das Weitergeben und Kopieren dieses Dokuments ist nicht zulässig.

13 Tropisch/subtropische Trockengebiete

13.1 Verbreitung und subzonale Differenzierung

Die Tropisch/subtropischen Trockengebiete umfassen, ähnlich wie die Trockenen Mittelbreiten, neben Wüsten und Halbwüsten auch semi¬aride Übergangsräume (Ökotone) zu den regenreicheren Nachbarzonen: hier die **sommerfeuchten Dornsavannen** und **sommerfeuchten Dornsteppen** im Übergangsbereich zu den Sommerfeuchten Tropen bzw. den Immerfeuchten Subtropen und die **winterfeuchten Gras- und Strauchsteppen** im Übergangsbereich zu den Winterfeuchten Subtropen (Abb. 13.1); für die beiden ersteren, sommerfeuchten Ökotone wird auch die aus Westafrika entlehnte Bezeichnung *Sahel* (oder Sahelzone) verwendet. Für alle diese Übergangsräume sind lichte, höchstens wenige Meter hohe Gehölze (Waldland und Gebüsche) charakteristisch.

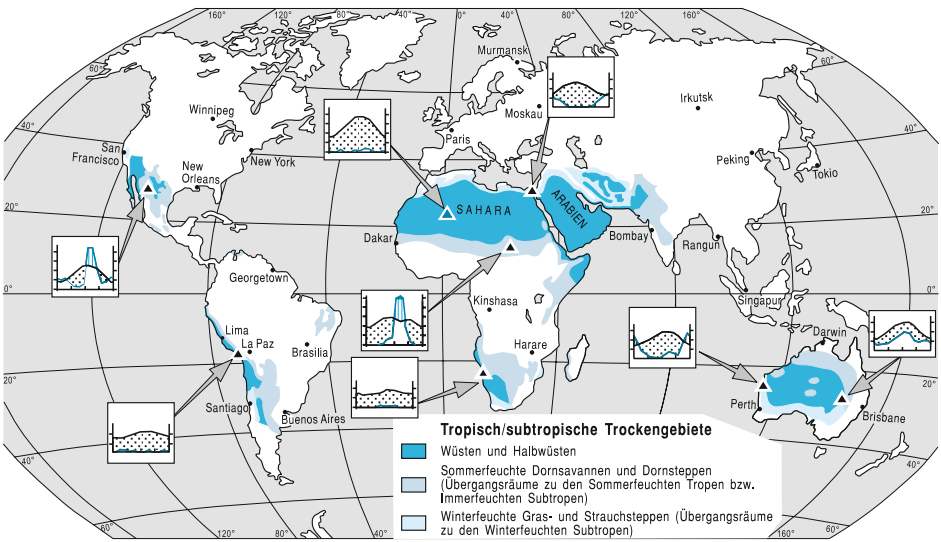


Abb. 13.1
Tropisch/subtropische Trockengebiete.

Tab. 13.1. Die äußeren Grenzen und Unterteilungen der Tropisch/subtropischen Trockengebiete in Abhängigkeit von den Jahresniederschlägen (zu den Lagebeziehungen vgl. Abb. 13.5).

	Grenze zwischen	entspricht einem Jahresniederschlag (mm) von etwa
Äquatorwärts	Wüste – Halbwüste	125
	Halbwüste – Dornsavanne	250
	Dornsavanne – Trockensavanne *(Sommerfeuchte Tropen)*	500
Polwärts	Wüste – Halbwüste	100
	Halbwüste – Winterfeuchte Steppen	200
	Winterfeuchte Steppen – Hartlaub-Strauchformationen *(Winterfeuchte Subtropen)*	300

Einen Sonderfall der besonderen Art bilden die sog. **Nebelwüsten**. Es handelt sich dabei um extrem regenarme Landstreifen an den Westküsten der südamerikanischen Atacama und der südafrikanischen Namib, in denen ein Nebelniederschlag eine spärliche Vegetation zulässt. Der Nebel entsteht dort fast täglich, ausgelöst durch kalte Meeresströmungen aus antarktischen Gewässern (Humboldtstrom in S-Amerika und Benguelastrom in S-Afrika), über denen sich die Luft so weit abkühlt, dass ihr Wasserdampf kondensiert. Davon profitieren insbesondere solche (meist Niederen) Pflanzenarten, die zur Wasseraufnahme direkt über ihre Sprosse befähigt sind.

Die Gesamtfläche der Tropisch/subtropischen Trockengebiete einschließlich der ökotonalen Übergangsräume beläuft sich auf 31 Mio. km² oder 20,8% der Festlandsfläche der Erde.

Die äußeren Grenzen[1] und die Unterteilungen im Inneren folgen in etwa den in der Tab. 13.1 genannten **Jahresniederschlägen**. Die niedrigeren Schwellenwerte in den polwärtigen Grenzgebieten erklären sich aus den dort geringeren Lufttemperaturen und dementsprechend niedrigeren Transpirationsbelastungen für die Pflanzen.

13.2 Klima

Im Unterschied zu den Trockenen Mittelbreiten erklärt sich die Verbreitung der meisten tropischen und subtropischen Trockengebiete unmittelbar aus der planetarischen Luftzirkulation: Fast alle heißen Trockengebiete liegen zumindest mit ihren Kerngebieten innerhalb eines beiderseits des nördlichen und südlichen Wendekreises um die Erde verlaufenden, also **subtropisch-randtropischen Hochdruckzellengürtels**.

Für die Hochdruckzellen ist ein beständiges und kräftiges Absinken von Luft charakteristisch. Demzufolge ist die Luft warm und trocken und die Schichtung der Atmosphäre bis in große Höhen stabil. Thermische Konvektionen führen daher nur selten zur Wolkenbildung oder gar zu Niederschlägen. Entsprechend liegt der mittlere jährliche Bewölkungsgrad weithin mit weniger als 30%, stellenweise sogar weniger als 20% außerordentlich niedrig, und die Jahressummen der Sonneneinstrahlung (Globalstrahlung) sind höher, als sie sonst in

[1] Zur Abgrenzung der Tropisch/subtropischen Trockengebiete gegenüber den Trockenen Mittelbreiten und den Sommerfeuchten Tropen vgl. auch Kap. 10.1 und Kap. 14.1.

Dieses Dokument wurde mit IP-Adresse 141.201.32.213 aus dem Netz der USEB UB Salzburg am 03.11.2018 um 14:17 Uhr heruntergeladen. Das Weitergeben und Kopieren dieses Dokuments ist nicht zulässig.

gleicher Breite oder selbst in den äquatornäheren Ökozonen der Sommerfeuchten und der Immerfeuchten Tropen auftreten.

Ein großer Teil der am Boden auftreffenden Sonnenstrahlung wird allerdings unmittelbar reflektiert: Trockengebiete haben durchweg höhere **Albedos** als humide Gebiete, wenn auch im Einzelnen, je nach Bodenfarbe, -textur und -feuchte sowie nach Vegetationsbedeckung, beträchtliche Unterschiede auftreten können. In den Wüsten liegt die Albedo gewöhnlich zwischen 25 und 30 %. Dementsprechend sind die Energieeinnahmen – gemessen an der hohen Globalstrahlung – relativ gering.

Wenn es tagsüber trotzdem zu einer **außerordentlich starken Erhitzung der Landoberfläche** (von Boden, Gestein und Pflanzen) kommt, so liegt das daran, dass bei dem gegebenen trockenen Substrat

(a) die absorbierte Strahlungsenergie nahezu vollständig in fühlbare Wärme umgewandelt wird (kaum latenter Wärmefluss wie sonst bei der Verdunstung aus feuchten Substraten; Abb. 13.2) und
(b) die Wärmeleitfähigkeit und -kapazität der Böden (viele isolierende, da luftgefüllte Hohlräume) gering sind, sich die Energieeinnahmen daher auf die obersten Zentimeter konzentrieren.

Mit hohen Oberflächentemperaturen steigt andererseits auch die Ausstrahlung (*Wärmeabstrahlung*) und erhitzt die bodennahen Luftschichten in einem einzigartigen (‚unerträglichen') Ausmaß.

Völlig anders liegen die nächtlichen Bedingungen: Da die atmosphärische *Wärmerückstrahlung* infolge geringer Feuchtegehalte der Luft außerordentlich klein bleibt (Wasserdampf ist das mit Abstand wichtigste Treibhausgas der Atmosphäre; ist auch die *Netto-Ausstrahlung* (effektive Ausstrahlung) sehr hoch. Dies führt dann zu extrem negativen

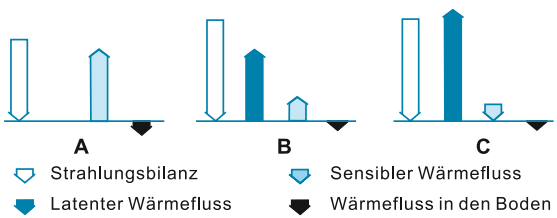


Abb. 13.2
*Strahlungs- und Energiehaushalt in einer Wüste (A), einem humiden Gebiet (B) und einer Oase (C), jeweils zur Mittagszeit (*Rouse *1981). Die abwärts gerichteten Pfeile stehen für Energieeinnahmen, die aufwärtsgerichteten für Energieabgaben. Der Energiehaushalt der Wüste bildet insofern eine Besonderheit, als die* **Abgabe latenter Wärme** *im Maße abnehmender Feuchtigkeit gegen Null gehen kann, während in humiden Klimaten und Oasen gerade diese Energietransfers meist die wichtigsten Abgabeposten stellen. Dementsprechend ist der Anteil der absorbierten Strahlung, der in Wüsten zur Erwärmung führt (Transfer* **sensibler** *Wärme), relativ - und bei durchweg deutlich positiver Strahlungsbilanz - auch absolut sehr hoch (vgl. auch Kasten 1, Seite 32).*
Beim Vergleich von Oasen und humiden Gebieten fällt auf, dass die latenten Wärmeabgaben in den Ersteren noch höher liegen und sogar die Menge der an Ort und Stelle empfangenen Strahlungsenergie übersteigen können. Dies erklärt sich daraus, dass hier heiße, trockene Luftströmungen aus der Umgebung (sensible) Wärme zuführen (advektive Energiezufuhr) und somit zusätzliche Energie für die Verdunstung und Erwärmung (Pfeil für sensiblen Wärmefluss nach unten gerichtet) verfügbar wird. Dieser **Oaseneffekt** *(der sich ebenso in den schmalen Feuchtezonen von Fremdlingsflüssen bemerkbar macht) bedeutet auch, dass die Wasserverluste von Wasserreservoiren und Bewässerungsprojekten viel größer sein können, als sich allein aus den Strahlungseinnahmen an diesen Orten errechnen.*

Dieses Dokument wurde mit IP-Adresse 141.201.32.213 aus dem Netz der USEB UB Salzburg am 03.11.2018 um 14:17 Uhr heruntergeladen. Das Weitergeben und Kopieren dieses Dokuments ist nicht zulässig.

Strahlungsbilanzen (siehe Kasten 1, Seite 32), in deren Gefolge dann die Temperaturen rapide absinken. Die **täglichen Temperaturamplituden sind daher hoch**. Dementsprechend spielt zum Beispiel die Temperaturverwitterung (Insolationsverwitterung) eine vergleichsweise große Rolle.

Eine weitere Konsequenz geringer Bewölkung und Luftfeuchte ist, dass der Anteil, den die **direkte Einstrahlung** an der Globalstrahlung hat, im Jahresmittel den außerordentlich hohen Wert von rund 75% und mehr erreicht. Damit erhalten geneigte Landoberflächen je nach ihrer Exposition einzigartig unterschiedliche Strahlungseinnahmen. Entsprechend deutlich unterscheiden sich hier Erwärmung und Verdunstung. Die regionalen Verbreitungsmuster der Vegetationsbedeckung und des Verwitterungsschuttes (insbesondere der Insolationsverwitterung) sind zumeist augenfällige Zeugen für diese Unterschiede.

Für die Verteilung der **Niederschläge** über das Jahr und den Raum sowie für die sich im Laufe eines Jahres daraus für jedes einzelne Teilgebiet ergebenden Regensummen gilt ein Höchstmaß an **Variabilität**, d.h. an Unsicherheit und Stress für Pflanzen und Tiere und damit letztlich auch für viele der dort lebenden Menschen. Trockenheiße Ökosysteme gelten daher als primär feuchteabhängige Systeme. Alle übrigen Umweltparameter wie z.B. Lufttemperatur, Sonneneinstrahlung und – abseits von Gebirgen und Dünengebieten – vielfach auch das mineralische Nährstoffangebot der Böden sind weithin und über das ganze Jahr günstig (oder zumindest nicht limitierend).

Eine ökologische Beurteilung von Niederschlagsdaten hat neben der Variabilität auch die **Effektivität** von Niederschlagsereignissen zu beachten: Pflanzen können in der Regel nur dann Nutzen aus Regenfällen ziehen, wenn (etwa) mindestens 10 mm an einem Stück fallen. Andernfalls zehrt die Evaporation das Regenwasser auf, bevor es von den Wurzeln aufgenommen werden kann oder diese vom einsickernden Wasser überhaupt erreicht werden.

13.3 Relief und Gewässer

In den Wüsten und Halbwüsten aller Trockengebiete führen Wind und Wasser zu erheblichen Umlagerungen von Boden- und Gesteinsmaterial, da eine schützende (festigende) Vegetationsbedeckung fehlt oder höchstens lückenhaft ausgebildet ist.

13.3.1 Verwitterungsprozesse, Hartkrusten und Verwitterungsrinden

Chemische Verwitterungsprozesse sind, worauf schon der Salzgehalt vieler Verwitterungsprodukte und Böden hinweist, auch in Trockengebieten durchaus vorhanden. Sie stehen in *Ebenen und auf Talsohlen*, wo mangels Abtragung Regolithdecken entstehen konnten, gegenüber mechanischen Verwitterungsprozessen sogar im Vordergrund, bleiben aber nach ihrer absoluten Größenordnung aufgrund des fast immer und überall bestehenden Feuchtemangels von geringer und – auf den Gesamtraum bezogen – nachgeordneter Bedeutung.

Andererseits sind ihre Produkte weit stärker als anderswo vertreten: Denn da sie kaum weggeführt (ausgewaschen) werden, können sie sich, eventuell unterstützt durch aszendierende Bodenwasserbewegungen, örtlich in oberflächennahen Bodenschichten anreichern und dort gegebenenfalls verhärten oder zu Verhärtungen führen. Neben Anreicherungshorizonten aus leichtlöslichen Salzen (hauptsächlich Natriumchloriden) entstehen

Dieses Dokument wurde mit IP-Adresse 141.201.32.213 aus dem Netz der USEB UB Salzburg am 03.11.2018 um 14:17 Uhr heruntergeladen. Das Weitergeben und Kopieren dieses Dokuments ist nicht zulässig.

so beispielsweise auch harte **Krusten** *(duricrusts)* aus $CaCO_3$-reichem (Calcrete), $CaSO_4$-reichem (Gypcrete) oder SiO_2-reichem Material (Silcrete).

Mechanische Verwitterungsprozesse wie Salz- und Temperaturverwitterung, dominieren auf *geneigten Flächen*, wo die Abtragung das anstehende Gestein immer wieder freilegt. Die **Salzverwitterung** (Salzsprengung) beginnt damit, dass Regen- oder Tauwasser über Poren und Haarrisse in das Gestein einsickert und dort zuvor (über hydrolytische Verwitterungsprozesse) gebildete Salze und andere Stoffe löst. Mit dem in Trockenphasen kapillar aufsteigenden Porenwasser werden diese Salze dann in die äußere Gesteinsschicht geleitet, wo sie bei fortschreitendem Wasserverlust oder Temperaturerniedrigung auskristallisieren. Der dabei entstehende Kristallisationsdruck bewirkt beispielsweise körnigen Zerfall von Sandstein. Er wird noch verstärkt, wenn die wachsenden Salzkristalle hydratisiert werden.

Durch kapillaren Aufstieg von Lösungen aus dem Gesteinsinneren können unter bestimmten Umständen auch (metallisch schwarze bis rotbraune) **Hartrinden** (*Wüstenlack*) aus Eisen- und Manganoxiden entstehen.

Bei der **Temperaturverwitterung** (Temperatursprengung, Thermoklastik) führen Volumenänderungen infolge von Temperaturänderungen (*thermische Expansion und Kontraktion*) zu Spannungen im Gestein, die sich wohl zumeist im Zusammenwirken mit chemischen und weiteren physikalischen Prozessen[2] in *feinkörnigem Zerfall* (Abgrusen), *Feinabschuppung* (thermische Exfoliation, Desquamation), *schaligem Abplatzen* (Grobabschuppung: Ablösung von einigen Dezimetern bis zu wenigen Metern dicken Platten) oder *Blockzerfall* (Kernsprüngen) entladen können.

Durch die mechanischen Verwitterungsprozesse entsteht ein **scharfkantiger Schutt** in Block- bis Sandgröße. Da das abfließende Niederschlagswasser für den Abtransport (durch Spüldenudation und Erosion) häufig nicht ausreicht, bleiben mehr oder weniger mächtige residuale Blockschuttdecken auf den Gebirgen und Bergländern sowie **Blockhalden** an deren Fuß erhalten. In Felswüsten (Hamadas) können diese Schuttmengen so stark anwachsen, dass die Gebirge darin zu ‚ertrinken' drohen.

[2] Mit der nächtlichen Abkühlung werden Wassermoleküle in feinen Haarrissen des Gesteins an den Grenzflächen von Silikaten adsorbiert. Die so entstehenden, vielleicht nur wenige Hundert Picometer (1 pm = 10^{-12} Meter) dünnen Wasserschichten haben einen Spreizungsdruck von mehreren 100 MPa (Zepp 2003, S 203). Tagsüber wird das Wasser wider desorbiert.

Dieses Dokument wurde mit IP-Adresse 141.201.32.213 aus dem Netz der USEB UB Salzburg am 03.11.2018 um 14:17 Uhr heruntergeladen. Das Weitergeben und Kopieren dieses Dokuments ist nicht zulässig.

13.3.2 Äolische Prozesse

Trockenheit und Vegetationsarmut begünstigen **äolische Prozesse**. Die hierdurch geschaffenen Formen gehören zu den auffallendsten, wenn auch keinesfalls häufigsten Erscheinungen der Wüsten und Halbwüsten (sind aber andererseits nirgends häufiger als dort). Sie treten gewöhnlich in den Vordergrund, wenn die geomorphologische Wirksamkeit von fließendem Wasser gering ist.

Windtransport

Der Wind bewegt **Sandkörner** entweder direkt, indem er sie vom Boden abhebt und in einer (selten mehr als einen Meter hohen) flach gestreckten Kurvenbahn etappenweise (springend) mitführt (**Saltation**) oder indirekt dadurch, dass er sie über die Aufprallwirkung der springenden Sandkörner millimeterweise vorwärts schiebt; bei häufiger Wiederholung entsteht dann eine Art Kriechbewegung (**Reptation**) (Abb. 13.3). Die Anteile von Saltation und Reptation an der Sandbewegung liegen bei etwa 3 : 1.

Im Unterschied zum Sand wird **Staub** (etwa bis Schluffgröße) „als echte Schwebfracht durch die Turbulenz der Luft in *Suspension* gehalten und in große Höhen und über große Entfernungen verfrachtet." (Ahnert 2003, Seite 161).

Äolische Abtragungs- und Akkumulationsprozesse

Die geomorphologische Wirkung des Windes lässt sich in drei Teilvorgänge gliedern, die jeweils ihre eigenen Formen erzeugen: Deflation, Windschliff und Windablagerung.

Die **Deflation**, also Ausblasung (Auswehung) von Lockermaterial, steht am Anfang von jeder Windtätigkeit. Bei großflächigem Abtrag kann sie – durch selektive Auswehung des Feinmaterials aus

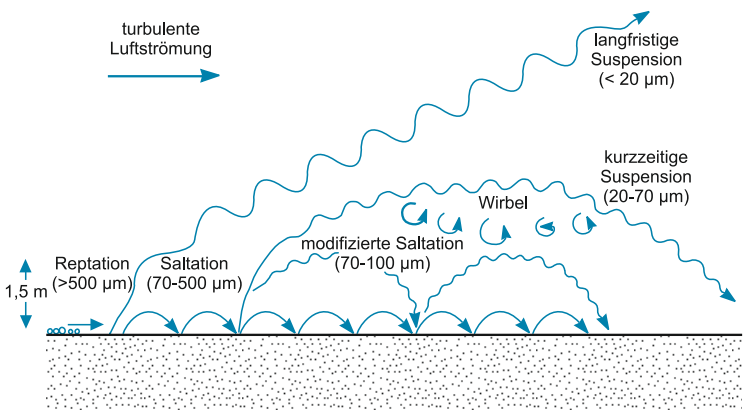


Abb. 13.3
Die Arten des Windtransports (Pye 1987). Die Größenangaben beziehen sich auf die Durchmesser der jeweils bewegten Teilchen.

Dieses Dokument wurde mit IP-Adresse 141.201.32.213 aus dem Netz der USEB UB Salzburg am 03.11.2018 um 14:17 Uhr heruntergeladen. Das Weitergeben und Kopieren dieses Dokuments ist nicht zulässig.

einem ursprünglich unsortierten Regolith – zur Entstehung von ausgedehnten *Wüstenpflastern* (Steinbedeckung [Steinpflaster] der Landoberfläche) oder – in tiefgründig feinkörnigem Substrat – von *Deflationswannen* (flache, meist langgestreckte Hohlformen) führen. Lokal verursacht sie *Windrisse* (anfänglich enge Einschnitte in Dünen). Manche der sog. Kieswüsten (Serir, Reg) gehen auf Deflation, zumindest auf deren Mithilfe zurück.

Der vom Wind transportierte Sand übt eine schleifende Wirkung (vergleichbar einem Sandstrahlgebläse) auf Felsen und Steine aus. Dieser als **Windschliff** (Windkorrasion, Windabrasion) bezeichnete Teilprozess des Windtransports beschränkt sich naturgemäß auf den Höhenbereich der Saltation, reicht also bei den meisten Sandstürmen nur wenige Dezimeter (höchstens etwa zwei Meter) hoch und wirkt demzufolge ausschließlich auf den Sockelbereich von Felsen. Hier allerdings vermag er tiefe *Hohlkehlen* zu erzeugen, die zur Ausbildung von sog. *Pilzfelsen* führen, wenn sie bei wechselnden Windrichtungen allseitig an einzeln stehenden Felsen angelegt werden. Herrscht eine bestimmte Windrichtung vor, so können im anstehenden Fels *Yardangs* entstehen, d.s. stromlinienförmige Korrasionsrücken, die durch schmale Windgassen voneinander getrennt sind. Facettenartig zugeschliffene Einzelsteine an der Bodenoberfläche werden als *Windkanter* bezeichnet.

Durch **Windablagerung von Sand** entstehen z.B. *Dünen*, die sich in der Regel zu größeren Komplexen zusammenschließen. Diese *Sandwüsten* (Ergs) nehmen mancherorts Flächen von über tausend Quadratkilometern ein, haben aber dennoch selten mehr als ein paar Prozent (und höchstens ein paar Zehnerprozent) Flächenanteil an den Wüsten, in denen sie vorkommen.

13.3.3 Flussarbeit und Spüldenudation

Trotz der Seltenheit und höchstens kurzen Dauer von Abflussereignissen[3] sind Umlagerungen durch fließendes Wasser selbst in den trockensten Gebieten meist bedeutsamer als äolische. Dies hängt damit zusammen, dass kurzfristig gewöhnlich hohe Fließgeschwindigkeiten erreicht und dann beträchtliche Sand- und Geröllmengen bewegt werden. So sind in den von Blockdecken eingehüllten (Insel-) Bergländern stets auch tiefe *Kerb- und Sohlenkerbtäler* eingeschnitten und im Vorland durch (flächenhaft wirkende) Spüldenudation und Seitenerosion sanft geneigte *Bergfußflächen (Felsfußflächen, Pedimente)* eingeebnet worden, auf die weiter unterhalb flach eingetiefte Tal-

[3] Für den Abfluss in Trockengebieten ist, abgesehen von Fremdlingsflüssen, typisch, dass er episodisch verläuft, d.h. im Wesentlichen von oberflächlich (oder oberflächennah) den Flüssen zufließendem Regenwasser gespeist wird, also an bestimmte Niederschlagsereignisse geknüpft ist und nach deren Ende bald wieder aufhört (aber unterirdisch länger anhalten mag).

Dieses Dokument wurde mit IP-Adresse 141.201.32.213 aus dem Netz der USEB UB Salzburg am 03.11.2018 um 14:17 Uhr heruntergeladen. Das Weitergeben und Kopieren dieses Dokuments ist nicht zulässig.

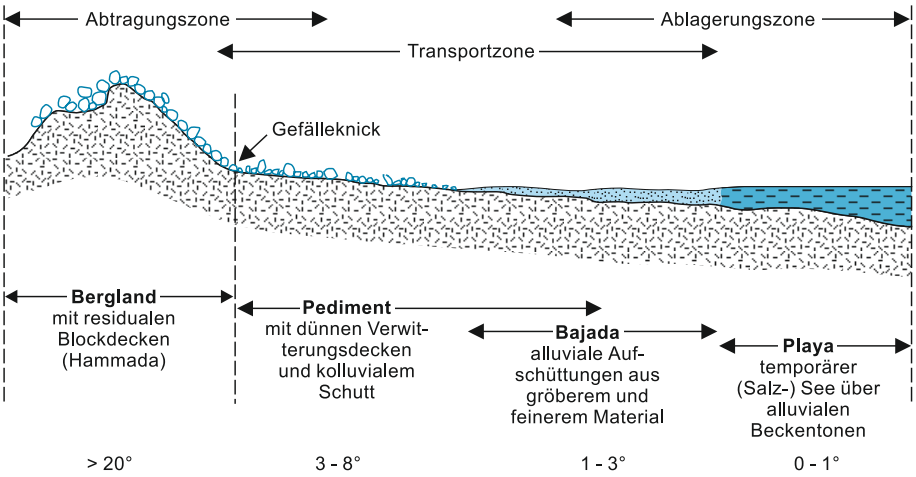


Abb. 13.4
Typische Reliefsequenz (arid-morphologische Catena) der Trockengebiete (Gradzahlen = ungefähre Hangneigungen).

sohlen von Vorflutern oder *sedimentäre Becken als Endwannen (Endseen) der Entwässerung* folgen (Abb. 13.4). Dort, wo die Täler aus den Bergländern in die Ebenen austreten und dabei so viel an Gefälle verlieren, dass sie einen Teil ihrer Fracht ablagern müssen, sind in der Regel mächtige *Schwemmfächer (Serir, Reg)* oder auch steiler geböschte *Schwemmkegel* aufgebaut worden. Ihr Material besteht, wegen der nur stoßweisen Wasserführung der Flüsse, aus überwiegend gröberen, kaum kantengerundeten Schottern und Sanden.

Die Menge des auf einem Hang jeweils (bei einem hinreichend langen und ergiebigen Niederschlagsereignis) **oberflächlich abfließenden Wassers ist** (u.a.) **von der Distanz zum Hangscheitel und der Infiltrationskapazität der Hangoberfläche abhängig**. Von den obersten, meist wenig durchlässigen (da vielfach felsigen) Berghängen fließt (fast) das gesamte Regenwasser (lediglich gemindert um die Evaporationsverluste) oberflächlich ab. Das heißt, der Oberflächenabfluss steigt, gespeist aus dem Niederschlagswasser und dem Zufluss von oberhalb, ziemlich linear mit der Hangstreckenlänge. Eine nennenswerte Infiltration setzt erst ein, sobald der Hang mit Kolluvium bedeckt ist. Sie erhöht sich dann mit der gewöhnlich hangabwärts zunehmenden Mächtigkeit des Kolluviums. Der Overland Flow sinkt, sobald die Infiltrationskapazität die Niederschlagsrate übersteigt. Ab hier nimmt der Boden nicht nur das unmittelbar auftreffende Regenwasser, sondern zusätzlich Teile des zufließenden Wassers auf. In welchem Hangteil dies der Fall ist, hängt von der Permeabilität und Mächtigkeit (Wasseraufnahmefähigkeit) des Regoliths ab. Die Vegetation zeigt auffällig (insbesondere durch höhere Bedeckungsgrade), wo das meiste von oben zufließende Wasser versickert und daher relativ feuchte Hangabschnitte entstehen. Sie verdeutlicht damit zu-

Dieses Dokument wurde mit IP-Adresse 141.201.32.213 aus dem Netz der USEB UB Salzburg am 03.11.2018 um 14:17 Uhr heruntergeladen. Das Weitergeben und Kopieren dieses Dokuments ist nicht zulässig.

gleich den räumlichen Wechsel der morphodynamischen Hangprozesse (von Abtragung zu Ablagerung). Die Gunstzone endet hangabwärts dort, wo der Gewinn durch zufließendes Wasser aufhört.

Im Unterschied zu den Sommerfeuchten Tropen, wo ebenfalls die Flächenspülung dominiert (siehe Kap. 14.3.1), sind in den Trockengebieten die Verwitterungsdecken und kolluvialen Auflagerungen auf den Pedimenten sowie die alluvialen Ablagerungen der Bajadas grobkörniger, da die chemische Gesteinsaufbereitung langsamer abläuft. Die Wirksamkeit der Spüldenudation ist dadurch herabgesetzt; außerdem steht weniger Wasser für die Abtragung zur Verfügung. Damit mag zusammenhängen, dass es in ariden Gebieten offenbar seltener zu einer Verschmelzung benachbarter Pedimente oder von radialen Pedimenten eines Berglandes nach dessen Aufzehrung zu ausgedehnteren (aus Einzelpedimenten zusammengesetzten) **Pediplains** kommt. Die eingerumpften Flächen der Trockengebiete sind daher gewöhnlich keine selbständigen Reliefelemente; meist sind sie, wie beschrieben, die mittleren Glieder einer catena-ähnlichen Sequenz.

13.4 Böden

In den **extremen Trockengebieten** ist neben der allgemeinen Trockenheit, die eine Bodenentwicklung grundsätzlich verzögert, der Wind wichtigster ‚Störfaktor' für die Pedogenese. Er bewirkt Umlagerungen von Boden- und Gesteinsmaterial (Auf- und Auswehungen), wobei eine Sortierung nach Korngrößen erfolgt (so dass z.B. Lössdecken, Flugsandfelder oder Steinpflaster entstehen). Böden haben sich in jedem Falle nur dort zu entwickeln vermocht, wo äolische Umlagerungen seit längerer Zeit unbedeutend waren. Doch bleiben sie auch dort für gewöhnlich flachgründig, grobkörnig, salzhaltig und ausgesprochen humusarm. Nach der Weltbodenkarte der FAO-UNESCO (1971–1981) gehören sie zumeist (sowohl in den Wüsten der Mittelbreiten als auch in denen der Tropen/Subtropen) zu den **Yermosolen** (span. *yermo* = Wüste).

In den **semi-ariden Randgebieten** (Dornsavannen, Dorn- und Strauchsteppen), in denen unter natürlichen Umständen eine mehr oder weniger geschlossene Pflanzendecke auftritt, spielt der Wind kaum noch eine Rolle für die Bodengenese. Wichtiger wird dort der **Wasserfaktor**, der über eine Umverteilung des Niederschlagswassers (als Folge von Oberflächenabflüssen nach Regenfällen) und über damit verbundene Abspülung und Sedimentation kleinräumig beträchtlich variierende Feuchteunterschiede im Boden und (stoßweise) beachtliche Materialumlagerungen bewirken kann. Unter diesen Bedingungen ist die Bodenentwicklung differenzierter verlaufen. Am weitesten verbreitet sind hier – wiederum nach der Weltbodenkarte – die **Xerosole**, mit einem gegenüber den Arenosolen leicht humusreicheren A-Horizont.

Dieses Dokument wurde mit IP-Adresse 141.201.32.213 aus dem Netz der USEB UB Salzburg am 03.11.2018 um 14:17 Uhr heruntergeladen. Das Weitergeben und Kopieren dieses Dokuments ist nicht zulässig.

Dieses Dokument wurde mit IP-Adresse 141.201.32.213 aus dem Netz der USEB UB Salzburg am 03.11.2018 um 14:17 Uhr heruntergeladen. Das Weitergeben und Kopieren dieses Dokuments ist nicht zulässig.

In der neueren WRB-Klassifikationen von 2014 sind die im Wesentlichen nach klimatischen Kriterien definierten Xerosole und Yermosole durch mehrere RSGs ersetzt worden, die vorrangig nach pedogenetischen Merkmalen („Identifikatoren") bestimmt sind. Dies sind (u. a.) die Hauptbodengruppen Arenosole, Calcisole, Durisole, Gypsisole, Solonchake und Solonetze (zu den beiden letzteren siehe Kap. 10.4.2) sowie die azonalen Fluvisole, Leptosole, Planosole und Regosole (siehe Kasten 2, Seite 51–55 sowie Kap. 7.4 und 9.4). Die für die Sommerfeuchten Tropen typischen Vertisole haben sich in manchen Niederungen der semi-ariden Dornsavannen, die jener Ökozone unmittelbar benachbart liegen (siehe Kap. 14.4.2), entwickelt. Andererseits fehlen die für die Steppen jener Ökozone genannten humusreichen Phaeozeme, Chernozeme und Kastanozeme. In den Tropisch/subtropischen Trockengebieten sind alle Böden ausgesprochen humusarm.

Arenosole (lat. *arena* = Sand) sind schwach entwickelte, grobtexturierte und extrem tonarme Böden, die sich meistens aus äolisch umgelagerten oder in situ durch Verwitterung aus quarzreichen Gesteinen entstandenen Sanden entwickelt haben. Auch können alte Entwicklungsstadien anderer RSGs (z. B. Ferralsole und Acrisole) zum Ausgangsmaterial von Arenosolen werden, wenn (fast) alle Tone in deren Oberböden weitgehend verwittert oder ausgewaschen sind. Die Bodenprofile zeigen kaum Differenzierungen. Auf die schwach humosen und daher meist hell gefärbten (A)-Horizonte mit Einzelkorngefüge können schwach ausgebildete B-Horizonte folgen. Sowohl die Nutzwasserkapazitäten als auch die Nährstoffvorräte sind außerordentlich gering. Künstliche Bewässerungen und Düngungen sind wegen der hohen Sickerverluste bzw. niedrigen KAK_{pot} problematisch.

Calcisole, Gypsisole und **Durisole** (lat. *durus* = hart) sind durch Unterböden mit Ausfällungen von Calcium- (und weiteren) Carbonaten, Calciumsulfaten ($CaSO_4 \cdot 2H_2O$) bzw. Siliciumoxiden (sekundäre Quarze, Opale) gekennzeichnet. Diese entstehen durch Abwärtsverlagerungen (mit perkolierendem Wasser) von entsprechenden Lösungsprodukten aus den Oberböden. Ihre Konsistenz kann pulvrig-locker bis zementiert-hart in Form von Konkretionen (Nodulen) oder Krusten (*duricrusts, duripans, hardpansm;* siehe Kap. 13.3.1) sein. Alle drei Bodeneinheiten haben ihre Hauptverbreitung in den semi-ariden Übergangsräumen der Tropisch/subtropischen Trockengebiete, treten aber auch (seltener) in den Randgebieten der Trockenen Mittelbreiten auf.

13.5 Vegetation und Tierwelt

Ungefähr drei Fünftel der Tropisch/subtropischen Trockengebiete werden von **Wüsten** und **Halbwüsten** eingenommen. Diese stehen dementsprechend im Vordergrund der folgenden Darstellung.

Die semi-ariden Randsäume sind danach zu unterscheiden, ob sie Winter- oder Sommerregen erhalten, d.h. in die **Gras-** und **Strauchsteppen** der mediterranen Subtropen einerseits und die **Dornsteppen** und **Dornsavannen** der Subtropen bzw. Tropen andererseits. Die Ersteren schließen überall dort polwärts an die tropisch/subtropischen Halbwüsten und Wüsten an, wo sie an die Winterfeuchten Subtropen grenzen, während die tropischen Dornsavannen äquatorwärts, im Übergangsbereich zu den *echten* Savannen der Sommerfeuchten Tropen, anschließen. Die Hauptverbreitung der subtropischen Dornsteppen liegt dagegen östlich der subtropischen Wüsten/Halbwüsten, im Übergangsbereich zu den Immerfeuchten Subtropen (Abb. 13.5). Von dort gehen sie äquatorwärts nahtlos in Dornsavannen über (vgl. Abb. 13.1).

Dieses Dokument wurde mit IP-Adresse 141.201.32.213 aus dem Netz der USEB UB Salzburg am 03.11.2018 um 14:17 Uhr heruntergeladen. Das Weitergeben und Kopieren dieses Dokuments ist nicht zulässig.

Eine Abgrenzung der genannten Formationstypen lässt sich nach dem **Deckungsgrad der perennen Vegetation** sowie dem **Vorkommen und der Verteilung von Bäumen** vornehmen (Tab. 13.2).

- Für Wüsten und Halbwüsten gelten *Deckungsgrade des Graswuchses* von etwa 50% als Obergrenze. Bäume kommen vor, konzentrieren sich aber auf Trockentäler und Fußzonen von Bergländern. Die Verteilung der krautigen Pflanzen und Zwergsträucher kann dagegen ziemlich gleichmäßig (diffus) sein. In diesem Fall spricht man von *Halbwüsten*. Der Übergang zu *Wüsten* erfolgt dort, wo größere zusammenhängende Flächen ohne Dauervegetation auftreten, d.h. wo sich eine insgesamt kontrahierte Vegetation (siehe Abb. 13.7) einstellt. In der Regel bedeckt diese weniger als 10% der Fläche. In extremen Wüsten fehlt jeglicher Pflanzenwuchs (jedenfalls von Höheren Pflanzen).
- Bei Deckungsgraden des Graswuchses von über 50% (aber nach wie vor lückigem Bestand – im Unterschied zu echten Savannen) folgen die genannten *Steppentypen* bzw. *Dornsavannen*. Für alle von ihnen ist außerdem charakteristisch, dass auch die Bäume (von einem linienhaften) zu einem clusterhaften (in Senken) und schließlich flächenhaften Verteilungsmuster übergehen und dann zu einem das Landschaftsbild überall beherrschenden Element werden können.

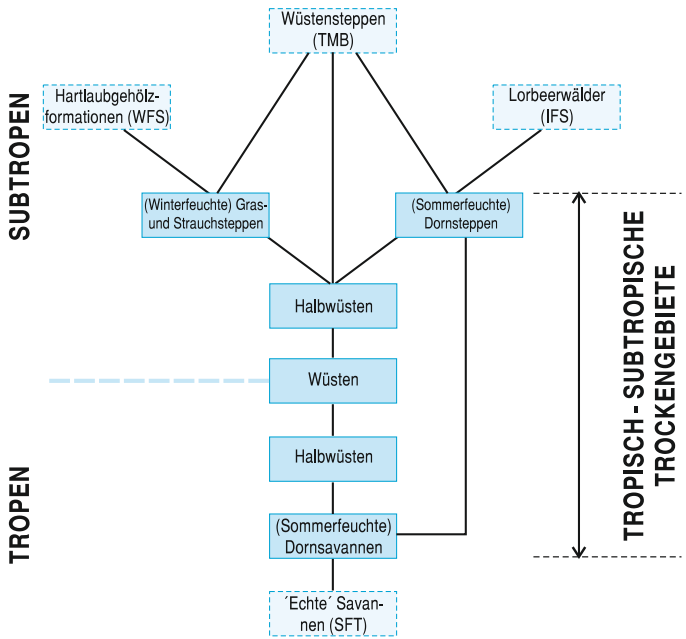


Abb. 13.5
Übersicht zur Vegetationsgliederung der Tropisch/ subtropischen Trockengebiete, einschließlich der zonalen Pflanzenformationen, die in den benachbarten Ökozonen anschließen (TMB = Trockene Mittelbreiten, WFS = Winterfeuchte Subtropen, IFS = Immerfeuchte Subtropen, SFT = Sommerfeuchte Tropen). Die Anordnung entspricht den für die Nordhemisphäre typischen Lagebeziehungen, wie sie sich aus der großklimatischen Differenzierung der Tropen/Subtropen herleiten. Für die Südhemisphäre ist die N-S-Abfolge um 180° zu drehen, nicht aber die W-E-Abfolge der Subtropen. Letztere ist auf beiden Hemisphären gleich ausgerichtet. Zwischen benachbarten Pflanzenformationen (siehe Strichverbindungen zwischen den Kästen) sind gewöhnlich breite Übergangssäume ausgebildet, die eine linienhafte Trennung unmöglich machen.

Tab. 13.2. Unterteilungen der Tropisch/subtropischen Trockengebiete nach Vegetationsmerkmalen (vgl. auch Tab. 13.1)**. Zum Vergleich Savannen der Sommerfeuchten Tropen.**

Merkmale	Wüste	Halbwüste	Dornsavanne Dornsteppe Strauchsteppe	‚Echte' Savanne der Sommerfeuchten Tropen
Deckungsgrad der Vegetation (in %)	meist <10	10–50	>50, aber lückig	100
Verteilung von Zwergsträuchern und perennen Kräutern	kontrahiert	———	diffus ———	geschlossen
Mengenanteile (%) von Chamaephyten an der Krautschicht	———	meist weit >50	———	gegen Null
Therophyten (Ephemere)	artenarm	———	artenreich ———	artenarm
Verteilung von Bäumen	linienhaft (Trockental, Gebirgsfuß)		elusterhaft bis weitabständig	
Wuchshöhe				
Zwergsträucher und Kräuter	———	<50 cm	——— <80 cm	80 bis >200 cm
Bäume und Sträucher	———	wenige Meter	——— 5–10 m	10–20 m
Phytomasse der perennen Graminoiden[a] (pro Grundfläche)	extrem niedrig	sehr niedrig	max. 2–5 t ha^{-1}	meist >5 t ha^{-1}
Wurzel/Spross-Verhältnis	2–5	←	———	≈1
$PP_{N\ oberird.}$ (Graminoide) – pro Millimeter Jahresniederschlag (kg $ha^{-1}a^{-1}$)[b]	0–1	1–3	4	5–7,5
– gesamt (t $ha^{-1}a^{-1}$)	———	meist <1	——— 1–2,5	>2,5

[a] Grasähnliche Pflanzen; hier gemeint: Grasfluren einschließlich der darin vorkommenden sonstigen krautigen Pflanzen.
[b] Regennutzungseffizienz

13.5.1 Vegetation und Bodenwasserhaushalt

Die **Wasserverfügbarkeit** kann regional und örtlich erheblich von dem abweichen, was der klimatische Wasserhaushalt (im Wesentlichen Differenz aus Freilandniederschlägen und potentieller Verdunstung) vorgibt. Die Vegetation reagiert hierauf mit auffälligen Differenzierungen, deren Spanne wenigstens diejenige der vorstehend beschriebenen zonalen Differenzierungen erreicht.

Dieses Dokument wurde mit IP-Adresse 141.201.32.213 aus dem Netz der USEB UB Salzburg am 03.11.2018 um 14:17 Uhr heruntergeladen. Das Weitergeben und Kopieren dieses Dokuments ist nicht zulässig.

Dieses Dokument wurde mit IP-Adresse 141.201.32.213 aus dem Netz der USEB UB Salzburg am 03.11.2018 um 14:17 Uhr heruntergeladen. Das Weitergeben und Kopieren dieses Dokuments ist nicht zulässig.

Wasserverfügbarkeit in Abhängigkeit von Oberflächenabfluss/-zufluss

Aufgrund der spärlichen, bestenfalls lückigen Vegetationsbedeckung treffen viele Regentropfen unmittelbar auf den Boden auf und führen dort, insbesondere wenn es sich um Starkregentropfen handelt, zu einem Auseinanderspritzen oder Wegschleudern von Sand-, Schluff- und Tonpartikeln oder sogar kleinen Bodenaggregaten (**Splash-Prozess**). Als Folge kommt es zu einer Verschlämmung der Bodenoberfläche und damit erheblichen Reduzierung der Infiltrationskapazität. Für Trockengebiete (wie auch für wechselfeuchte, also nur saisonal trockene Gebiete) ist daher charakteristisch, dass hohe Niederschlagsanteile nicht an der Stelle ihres Auftreffens einsickern, sondern, selbst bei schwachen Neigungen des Geländes, oberflächlich abrinnen und Playas, Trockentälern oder Fußzonen von Gebirgen zufließen (vgl. hierzu Abb. 4.3).

Wie hoch diese Anteile sind, d.h. wie hoch das **Abflussverhältnis** oder der **Abflussfaktor** (Verhältnis von Abfluss zu Niederschlag) ist, hängt von den Intensitäten der Niederschlagsereignisse, der Geländeneigung, dem Deckungsgrad der Vegetation (Rauhigkeit der Bodenoberfläche) sowie den Boden-/Substratmerkmalen Textur und Tiefgründigkeit ab. Die Letzteren bestimmen im Wesentlichen die **maximal mögliche Infiltrationsrate** (Infiltrationskapazität), d.h. die Menge an Regenwasser, die anfänglich und mit Fortgang eines Niederschlagsereignisses pro Zeiteinheit und für die Dauer eines Niederschlagsereignisses in den Boden einzusickern vermag. Der Abflussfaktor ist hoch, wenn der Regolith feinkörnig (lehmig, tonig) ist (oder bloßer Fels ansteht) und die Regenfälle ergiebig, die Hänge steil und die Deckungsgrade der Vegetation gering sind.

Der Oberflächenabfluss verschärft örtlich die Trockenheit, führt aber an anderer Stelle zu mehr oder weniger humiden Feuchteverhältnissen (der Zufluss kann ein Vielfaches dessen betragen, was unmittelbar an Regen fällt). Die räumliche **Konzentrierung von Regenwasser** ist im Hinblick auf die Lebensbedingungen von Pflanzen und Tieren in Wüsten grundsätzlich vorteilhaft: Nur so entstehen zumindest vorübergehend in einigen Abschnitten von Relief- und Pedosequenzen Feuchtebedingungen, unter denen die Entfaltung eines Pflanzenwuchses überhaupt erst möglich wird.

Wasserverfügbarkeit in Abhängigkeit von Bodentextur und Bodentiefe

Die *Bodentextur* nimmt nicht nur Einfluss auf die Infiltrationskapazität, sie entscheidet ebenfalls über den Verbleib des einsickernden Wassers, da von ihr auch das Wasserhaltevermögen des Bodens abhängt.

Ist die **Textur fein** und damit die Feldkapazität hoch, so bleibt die Einsickerungstiefe (und dementsprechend das durchfeuchtete Bo-

denvolumen) gering; relativ große Anteile des Haftwassers können dann infolge kapillaren Aufstiegs über Evaporation verloren gehen oder sind aufgrund starker Bindung von den Pflanzen nicht nutzbar (siehe Abb. 4.4).

Bei **grober Textur** und damit geringer Feldkapazität liegen die Verhältnisse genau umgekehrt: Das Wasser versickert tief oder zumindest tiefer (verteilt sich also auf ein größeres Bodenvolumen); fast alles Wasser ist grundsätzlich, da überwiegend nur schwach an Bodenpartikel gebunden, nutzbar und durch die austrocknende oberste Bodenschicht vor weiterer Verdunstung geschützt (kein kapillarer Sog) (Abb. 13.6). In Trockengebieten haben Böden auf Gesteinsschutt oder Sanden – unter sonst vergleichbaren Bedingungen – daher günstigere Wasserhaushalte als Böden auf tonreichem Material (vorausgesetzt die Durchwurzelung reicht tief genug).

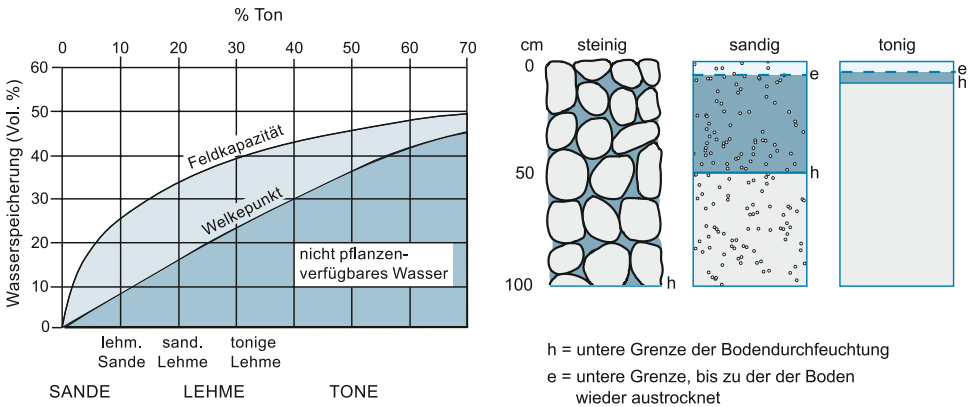


Abb. 13.6

Wasserspeicherfähigkeit von Böden unterschiedlicher Korngrößenzusammensetzungen (nach Achtnich u. Lüken 1986, Walter u. Breckle 1983). Die maximale Haftwassermenge (Feldkapazität) wächst mit abnehmenden Korngrößen, ist also in tonreichen Böden größer als in sandigen und erst recht in steinigen (Annahme bei den Säulendiagrammen: tonig 50%, sandig 10%, steinig 5%). Bei gleicher Regenmenge (Annahme: 50 mm) sickert das Wasser daher umso tiefer ein, je grobkörniger das Bodensubstrat ist (tonig: 10 cm, sandig: 50 cm, steinig: 100 cm). Von dem eingesickerten Wasser ist grundsätzlich nur derjenige Teil für die Pflanzen nutzbar, dessen adsorptive oder kapillare Anbindung im Boden Wurzelspannungen von weniger als 15 bis 60 bar entsprechen (osmotisches Potential). Dies entspricht einem Matrixpotential von -1.5 bis -6 MPa; vgl. auch Abb. 4.4). Im Verhältnis zur jeweiligen Feldkapazität ist dieser Teil in feinkörnigen Böden sehr viel geringer als in lehmigen; in sandigen Böden ist so gut wie alles Haftwasser nutzbar (siehe Kap. 4.2). Nicht verfügbar ist auch jener oberflächennahe Haftwasseranteil, der der Evaporation unterliegt, bevor die Pflanzen ihn aufnehmen können. Dieser Verlust ist in Tonböden am größten (im angenommenen Beispiel rund 50%), viel geringer dagegen in sandigen Böden (10%) und steinigen Substraten (fast 0%), in denen der kappillare Aufstieg gegen Null geht.

Dieses Dokument wurde mit IP-Adresse 141.201.32.213 aus dem Netz der USEB UB Salzburg am 03.11.2018 um 14:17 Uhr heruntergeladen. Das Weitergeben und Kopieren dieses Dokuments ist nicht zulässig.

Dieses Dokument wurde mit IP-Adresse 141.201.32.213 aus dem Netz der USEB UB Salzburg am 03.11.2018 um 14:17 Uhr heruntergeladen. Das Weitergeben und Kopieren dieses Dokuments ist nicht zulässig.

Wasserverfügbarkeit in Abhängigkeit vom Salzgehalt der Böden, Salzstress

Laterale Zuflüsse sind für Pflanzen nicht immer vorteilhaft, da sie häufig mit Einträgen von **leicht löslichen Salzen** verbunden sind. Viele Arten reagieren empfindlich auf Bodenversalzungen und selbst die Spezialisten unter ihnen, die **Halophyten** (siehe Seite 242), besitzen ungleiche Fähigkeiten, damit fertig zu werden. Entsprechend kommt es, je nach Salzbelastung (Salzstress; siehe Kap. 10.4.2), zu einer Differenzierung der Vegetationsdecke, die mosaikartig sein kann oder sich saumartig um Salzpfannen oder entlang von Trockenflussbetten anordnet.

Wasserverfügbarkeit in Abhängigkeit vom Pflanzenabstand, kontrahierte Vegetation

Für die Wasserversorgung der einzelnen Pflanze ist auch der Abstand zu den Nachbarpflanzen von Bedeutung, denn hiervon wird weitgehend das Bodenvolumen bestimmt, das ihr als Wurzelraum und damit für die Wasseraufnahme verfügbar ist. Ist der Abstand größer, so hat sie theoretisch die Chance, Niederschlagsdefizite über eine reichere Entfaltung ihres Wurzelsystems mehr oder weniger auszugleichen.

Tatsächlich entspricht in Trockengebieten einem lückigen Pflanzenbestand an der Bodenoberfläche eine viel dichtere, vielfach **lückenlose Durchwurzelung des Bodens**; es besteht dann eine Wurzelkonkurrenz (um das Wasser) anstelle der in humiden Gebieten verbreiteten Sprosskonkurrenz (um das Licht).

Der regional mit zunehmender Trockenheit immer weitabständigere Pflanzenbestand ist daher als eine Art Anpassung zu verstehen. Erst wenn eine Wurzelraumvergrößerung für die ausreichende Wasserversorgung der Pflanze allein nicht mehr ausreicht (etwa ab Jahresniederschlägen von weniger als 100 bis 125 mm), löst sich die **diffuse Pflanzenverbreitung** auf, und nur noch dort, wo oberflächlicher Zufluss und ein günstigeres Wasserhaltevermögen des Bodens überdurchschnittlich feuchte Standorte entstehen lassen, vermag sich noch ein Pflanzenwuchs zu entfalten. Das heißt, es bildet sich eine flecken- oder linienhaft **kontrahierte Vegetation** inmitten vegetationsloser Flächen aus (Abb. 13.7). Je nach Gunst kann die kontrahierte Vegetation lückig (halbwüstenhaft) bis geschlossen (ähnlich der Steppen- oder Savannenvegetation) sein; intensiv und relativ flach wurzelnde Gräser dominieren auf tonigen Böden, Bäume als extensive Tiefwurzler auf sandigen Substraten.

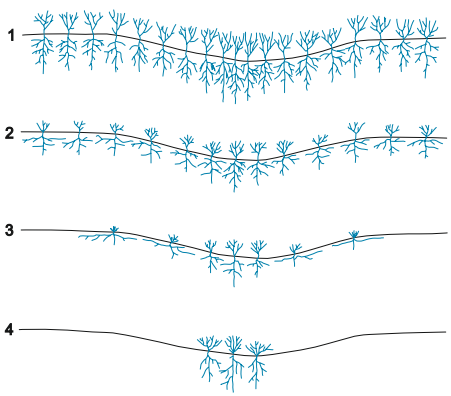


Abb. 13.7
*Schematische Darstellung des Übergangs einer **diffusen** Vegetation (1, 2) in eine **kontrahierte** (3, 4) bei Abnahme der Niederschläge in extrem ariden Gebieten (aus* Walter u. Breckle *1983). Im Vergleich mit den weniger trockenen Dornsavannen und Dornsteppen zieht sich die Pflanzendecke in Halbwüsten auseinander (sie wird diffus), wodurch den einzelnen Pflanzen größere Wurzelräume zur Wasseraufnahme verfügbar werden. In Vollwüsten beschränkt sich (kontrahiert) der Pflanzenwuchs auf solche Stellen, wo Wasser oberflächlich (oder auch unterirdisch, wie z.B. in Wadis) zusammenströmt. Die Durchwurzelungstiefe entspricht der Durchfeuchtungstiefe (bzw. der Grundwassertiefe).*

Dieses Dokument wurde mit IP-Adresse 141.201.32.213 aus dem Netz der USEB UB Salzburg am 03.11.2018 um 14:17 Uhr heruntergeladen. Das Weitergeben und Kopieren dieses Dokuments ist nicht zulässig.

13.5.2 Lebensformen: Anpassungen an Dürre- und Salzstress

In Anpassung an den Dürre- und gegebenenfalls Salzstress haben sich verschiedene Überlebensweisen entwickelt (Abb. 13.8). *Dürre meidende Pflanzen*, d. s. Therophyten (Ephemere) und Pluviogeophyten, verfolgen die Strategie, ihr Wachstum und ihre Reproduktion innerhalb der durchweg nur kurzen Gunstzeiten abzuschließen und so der Gefahr vorzubeugen, dem nächsten Dürrestress zum Opfer zu fallen. Viele perenne (krautige wie holzige) Arten besitzen als Xerophyten oder xeromorphe Halophyten Fähigkeiten zur *Austrocknungsverzögerung bzw. auch zur Wasserspeicherung*. Poikilohydre Pflanzen vermögen als *arido-tolerante Pflanzen* Austrocknung ohne Schaden zu überstehen.

Im Allgemeinen nehmen die Anteile von **holzigen Pflanzen** – vielfach niederwüchsige Sträucher und Halbsträucher (Chamaephyten), aber auch Bäume – sowie von Annuellen (Therophyten) mit abnehmenden Jahresniederschlägen zu, sind also in (Halb-)Wüsten größer als in Grassteppen und Dornsavannen, für die insbesondere die Lebensform der Stauden (Hemikryptophyten), im Wesentlichen Graminoide (‚Grasähnliche'), typisch ist (Larcher 2001). Eine Auswahl von typischen xerophytischen Gehölz-Wuchsformen zeigt die Abb. 13.9. Allen Pflanzen der Tropisch/subtropischen Trockengebiete ist gemeinsam, dass sich ihr Wachstum – stärker noch als in den Sommerfeuchten Tropen – auf die kurze, oftmals unregelmäßige Zeit mit (und unmittelbar nach) Regenfällen beschränkt. Diese wirken ihrerseits als Auslöser für erneut einsetzendes Wachstum. Dazwischen, und zwar über die meiste Zeit im Jahr, verharren die Pflanzen in einer Art Ruhestand, können also keinen Nutzen aus dem reichen Angebot an Sonnenernergie ziehen. Die Dauer dieser Ruhezeiten ist bei den perennen Kräutern und – erst recht – bei den Gehölz deutlich kürzer als die Länge der jeweiligen Trockenzeiten (Abb. 13.10).

Austrocknungsertragende Xerophyten (poikilohydre Pflanzen)

Viele Niedere (z.B. Algen, Flechten) und auch einige Höhere Pflanzen (Gefäßpflanzen) gehen bei Dürrestress in einen latenten Lebenszustand (Trockenstarre) über. Sie werden erst

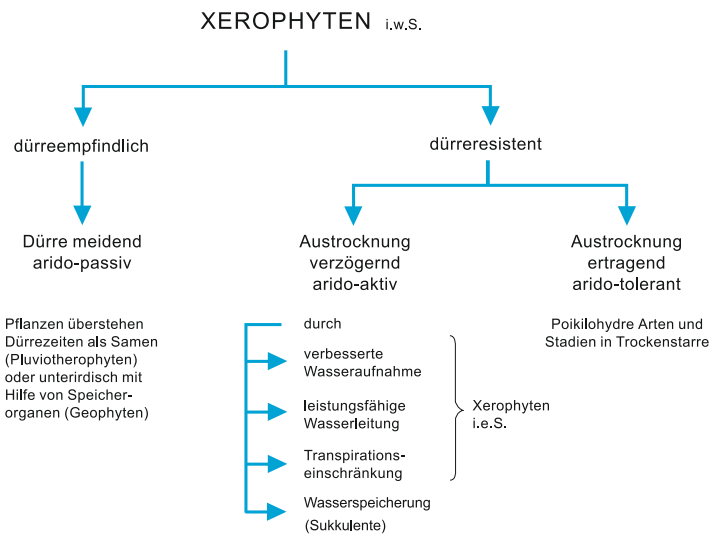


Abb. 13.8
Überlebensweisen von Pflanzen in Trockengebieten (aus Larcher 2001).

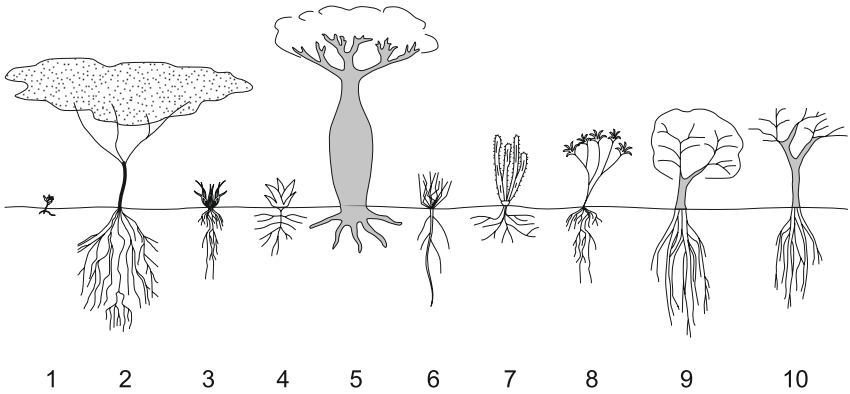


Abb. 13.9
*Charakteristische Wuchsformen der Dorn-Sukkulenten-Savanne (LARCHER 2001, u.a.). 1. Pluviotherophyten, 2. Dornige Feinfiederlaub-Schirmbäume/-sträucher (**Acacia**-Typ), 3. Hartgräser mit blattscheide-umhüllten Erneuerungsknospen und ausgreifendem Wurzelwerk (**Aristida**-Typ), 4. Blattsukkulente (**Agaven-/Crassulaceen**-Typ), 5. Wasserholzige, tonnenstämmige Fallaubbäume (**Adansonia-/Chorisia**-Typ), 6. Rutensträucher (**Retama**-Typ), 7. Stammsukkulente (**Kakteen-/ Euphorbien**-Typ), 8. Sukkulentenblättrige Schopfbäume, 9. Immergrüne Bäume/Sträucher mit tiefgreifendem Wurzelsystem (**Sklerophyllen**-Typ), mit Dornen (**Balanites**-Typ), 10. Regengrüne, häufig verdornte Bäume/Sträucher (**Commiphora**-Typ).*

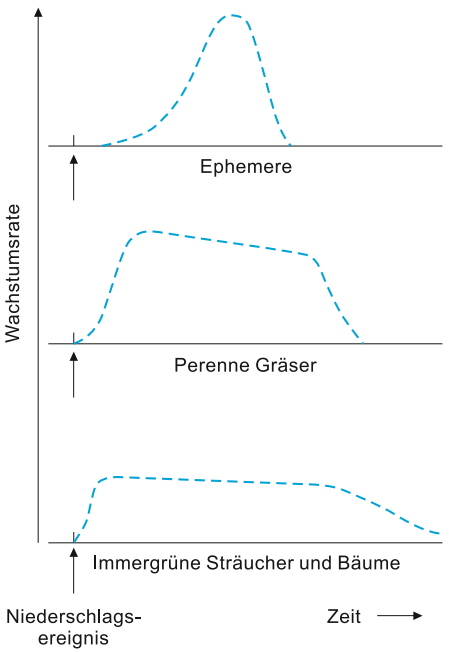


Abb. 13.10
Wachstumsverlauf bei ephemeren Kräutern, perennen Gräsern und immergrünen Holzpflanzen in ariden Gebieten nach einem (ausreichend großen) Niederschlagsereignis (LUDWIG et al. 1997). In der Regel reagieren die Ephemeren (s.u. 'Dürremeidende Xerophyten') mit den höchsten Photosyntheseleistungen, die immergrünen Holzpflanzen mit den niedrigsten. Entsprechend steigt die Wachstumskurve bei den Ephemeren kurzfristig am höchsten. Dieser Anstieg beginnt allerdings in Bezug auf das auslösende Regenereignis später und zunächst auch schwächer als bei den anderen Lebensformen, da erst die Samen zur Keimung bzw. die unterirdischen Überdauerungsorgane zum Austreiben kommen und die Blätter zur Assimilation gebildet werden müssen. Und er endet früher, da Ephemere ihre Transpirationsabgaben kaum drosseln können und daher die Wasservorräte im Boden schneller als anderswo aufgebraucht sind. Die Einschränkung der Transpiration bei perennen Arten bedeutet eben auch, dass eine gewisse Bodenfeuchte länger erhalten bleibt und daher für sie längere Wachstumszeiten bestehen. Dies gilt umso mehr, je besser der Transpirationsschutz funktioniert.

Dieses Dokument wurde mit IP-Adresse 141.201.32.213 aus dem Netz der USEB UB Salzburg am 03.11.2018 um 14:17 Uhr heruntergeladen. Das Weitergeben und Kopieren dieses Dokuments ist nicht zulässig.

wieder aktiv/richten sich wieder auf (‚Steh-Auf-Pflanzen'), wenn erneut Wasser verfügbar wird.

Austrocknungsverzögernde Xerophyten
Sie sind durch Eigenschaften charakterisiert, die ihren Wasserhaushalt unterstützen. Dabei kann es sich sowohl um transpirationseinschränkende Merkmale im Sprossbereich handeln (z. B. Blätter mit dicker Kutikula, Behaarung und reduzierter Zahl von Stomata) wie auch um die Sicherung der Wasseraufnahme im Wurzelbereich. So haben viele Holzpflanzen gefiederte, xeromorphe (siehe Kap. 11.5.2) Blätter, die trockenzeitlich abgeworfen werden, und ihre Wurzelsaugspannungen können bis über 60 bar gegenüber nur 10–20 bar bei Mesophyten erhöht sein (Larcher 2001). Der Wuchs bleibt dennoch kümmerlich, da die Einschränkung der Transpiration auch die Mineralstoffaufnahme und den photosynthetischen Gaswechsel mindert. Entsprechend sinkt die Vegetationshöhe in ariden Gebieten mit abnehmenden Niederschlägen.

Einen Sonderfall bilden die **Phreatophyten**, die mit ihren tief greifenden und auch in der Breite ausgedehnten Wurzelsystemen (meist längerfristig angelegte) Grundwasseransammlungen nutzen, wie sie beispielsweise entlang von Trockentälern, am Fuße von Bergen und in Felsspalten eines Gebirges auftreten. Im günstigsten Fall sind ihre Blätter mesomorph. In diesen Fällen sind sie zur Gruppe der dürremeidenden Planzen zu stellen. Die Mehrzahl der Phreatophyten gehört zur Wuchsform der Gehölze, einige wenige aber auch zu den perennen Kräutern.

Sukkulente Xerophyten
Sie besitzen zusätzlich die Fähigkeit, Wasser zu speichern. Dies kann in den Blättern, dem Stamm/Spross oder den Wurzeln geschehen. Danach werden Blatt-, Stamm- und Wurzelsukkulente unterschieden. Mit der Sukkulenz der Sprosse oder von Sprossteilen verkleinert sich andererseits die photosynthetisch aktive Oberfläche in Relation zur Pflanzenmasse. Am ausgeprägtesten findet sich das bei Stammsukkulenten, die Dornen, aber keine Blätter ausbilden, wie z. B. Kakteen. Deren Wachstum erfolgt dementsprechend besonders langsam.

Kakteen bilden als CAM Pflanzen auch insofern (zusammen mit vielen Arten einiger anderer Pflanzenfamilien wie z. B. Bromeliaceen und Orchideen) einen Extremfall, als ihre Photosynthese mit dem jeweils in der vorhergehenden Nacht aufgenommenen Kohlendioxid arbeitet. Die Spaltöffnungen können daher tagsüber geschlossen bleiben und auf diese Weise die stomatären Wasserverluste während der Mittagshitze vermieden werden.

Viele Sukkulente besitzen flachgründige und intensive Wurzelsysteme, die weit in den Umkreis um die Pflanze vordringen. Sie sind damit selbst nach wenig ergiebigen Regenfällen, die nur die oberste Bodenkrume durchfeuchten, zur Wasseraufnahme befähigt, und zwar aus einem größeren Areal, als oberflächlich erkennbar. Zuglcich besetzen sie mit diesen weit um sich greifenden Wurzelsystemen relativ große Bodenflächen. Dementsprechend werden Nachbarpflanzen (über Wurzelkonkurrenz) auf Distanz gehalten.
Dürremeidende Xerophyten

Dürremeidende Xerophyten (Therophyten, Ephemere)
Sie haben einen mesomorphen Bau und sind für kurze Zeit zu einer hohen Nettophotosynthese befähigt (der höchsten von allen Lebensformen in Trockengebieten). Da sie andererseits weniger als andere Xerophyten in aufwendige xeromorphe Gewebe und Wurzeln

Dieses Dokument wurde mit IP-Adresse 141.201.32.213 aus dem Netz der USEB UB Salzburg am 03.11.2018 um 14:17 Uhr heruntergeladen. Das Weitergeben und Kopieren dieses Dokuments ist nicht zulässig.

(deren Anteile an der gesamten Phytomasse bei ihnen gering bleiben) investieren, können sie ihre Entwicklung bis zur Samenreife innerhalb von nur 1–2 Monaten abschließen und auf diese Weise das Risiko mindern zu verdorren, wenn das temporäre Wasserangebot schnell zu Ende geht. Dürrezeiten überdauern sie entweder in Form von (über mehrere Jahre austrocknungsertragenden) Samen (Pluviotherophyten) oder von unterirdischen Organen wie Knollen, Zwiebeln oder Rhizomen (Pluviogeophyten). Ihre Keimung bzw. Knospung beginnt erst wieder nach erneuten Regenfällen. Die Anpassung an die Trockenheit ist also funktionaler, nicht struktureller Art.

Die Pluviotherophyten wie auch die Pluviogeophyten werden wegen des nur vorübergehenden, an Niederschlagsereignisse geknüpften Auftretens ihrer Sprosse zur **ephemeren Vegetation** gezählt. Diese kommt in allen Trockengebieten vor und kann das Landschaftsbild kurzfristig erheblich ändern. Die zuvor genannten niederschlagsgebundenen Deckungsgrade der Vegetation, nach denen sich die Tropisch/subtropischen Trockengebiete in Wüsten, Halbwüsten und Dornsavannen bzw. Dornsteppen/winterfeuchte Steppen unterteilen lassen (siehe Tab. 13.1 und 13.2), beziehen sich ausschließlich auf die **Dauervegetation**.

Dürre-Halophyten

Die Probleme, die sich auf stark salzhaltigen Standorten für viele Pflanzenarten ergeben, liegen teils in physiologischen Störungen (infolge der übermäßigen Aufnahme von Na^+ und Cl^-), teils in den Erschwerungen, die sich aus der stärkeren osmotischen Einbindung des Bodenwassers für die Wasseraufnahme herleiten. Letzteres lösen Halophyten, indem sie mit den absorbierten Salzen zugleich ihre eigenen osmotischen Potentiale so weit absenken, dass ein Potentialgefälle vom Boden zur Wurzel bestehen bleibt. Um Schäden zu vermeiden, die ihren Sprossgeweben durch hohe Salzkonzentrationen drohen, speichern dann manche von ihnen Wasser und senken auf diese Weise ihre Salzgehalte auf ein erträgliches Maß. Das führt zur weit verbreiteten Salzsukkulenz. Andere Pflanzenarten (z. B. Tamarisken) besitzen die Fähigkeit, überschüssige Salze auszuscheiden.

13.5.3 Tierwelt der Wüsten

Der Tierbestand ist nach Artenvielfalt und Masse unauffällig. Die Zoomasse schwankt (auf niedrigem Niveau) entsprechend der hohen Variabilität von Wachstumsschüben in der Vegetation in weiten Grenzen. Somit ist auch der Beitrag der Konsumenten zu den ökosystemaren Umsätzen von Zeit zu Zeit und von Ort zu Ort sehr ungleich. Im Mittel bleibt er aber klein. Höchstens 2% der Phytomasse werden über Beteiligung von Tierfraß rückgeführt. Die Wechselbeziehungen zwischen Pflanzen und Tieren sind daher quantitativ relativ unbedeutend, Massenänderungen der einen oder anderen biotischen Komponente haben kaum Folgen für das übrige System.

Tiere bedürfen in Wüsten **besonderer Fähigkeiten zur Drosselung ihrer Wasserabgaben und zur Regulierung ihrer Körpertemperaturen**. Sie erreichen diese Fähigkeiten teils durch morphologische oder/und physiologische Anpassungen, teils durch Anpassungen in ihrem Verhalten, indem sie zumindest während der extremen Tageshitze und gegebenenfalls während kalter Nächte (in den Wüsten der Mittelbreiten auch während extrem kalter Winter) in den Boden ausweichen, wo sie dann in *air-conditioned* Hohlräumen (mit höheren Luftfeuchtigkeiten und moderaten Temperaturen) die Stresssituationen besser überstehen können.

Dieses Dokument wurde mit IP-Adresse 141.201.32.213 aus dem Netz der USEB UB Salzburg am 03.11.2018 um 14:17 Uhr heruntergeladen. Das Weitergeben und Kopieren dieses Dokuments ist nicht zulässig.

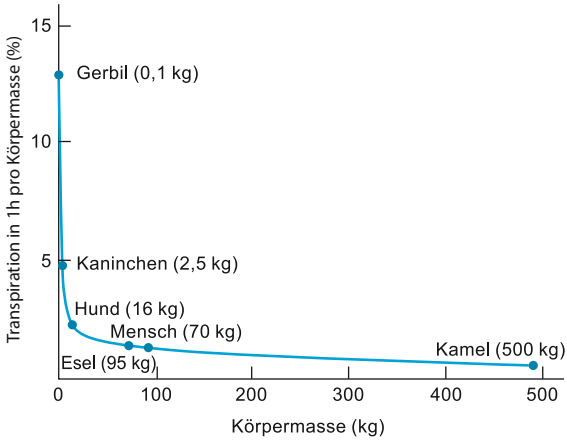


Abb. 13.11
Bei Hitzestress setzen Säuger das Mittel der Transpiration zur Aufrechterhaltung ihrer Körpertemperatur ein. Die dafür benötigte Wassermenge hängt von der Größe ihrer Wärmeaufnahme ab, die näherungsweise mit ihrer Oberfläche skaliert. Wird die transpirierte Menge Wasser auf das Körpergewicht bezogen, so fällt sie mit dem Oberflächen zu Volumenverhältnis und ist damit – im Vergleich von Lebewesen mit ähnlichen Proportionen – etwa umkehrt proportional zur Größe oder Höhe des Lebewesens. Kleinere Tiere müssen demzufolge relativ zu ihrer Körpermasse mehr Wasser transpirieren als größere. Nach der Graphik würden beispielsweise die 0,1 kg schweren Gerbil (Nager) pro Stunde 13% ihres Körpergewichtes verlieren, die 500 kg schweren Kamele hingegen nur 0,8% (LOVEGROVE 1993). Dieser Kalkulation liegt die Annahme zugrunde, dass der Wärmefluss pro cm2 Körperoberfläche in allen Fällen gleich und damit für jedes Tier proportional zu seiner Oberflächengröße ist.

Große Säuger haben hinsichtlich des Hitzestresses Vorteile: Zum einen ist ihre Wärmeaufnahme in Bezug auf ihre Körpermasse geringer als bei kleineren Tieren, und zum anderen fällt es ihnen leichter, Kühlung durch Transpiration zu erzeugen. Für kleinere Tiere ist diese Strategie nicht geeignet, da die zur Kühlung nötige Verdunstungsmenge relativ zu ihren kleinen Körpergewichten zu groß wird (Abb. 13.11). Die meisten Arthropoden und kleinen Vertebraten können daher bei trockenheißen Außenbedingungen auch aus diesem Grunde nur nachtaktiv sein.

13.5.4 Phytomasse und Primärproduktion

Die Ungunst der klimatischen Wachstumsbedingungen drückt nicht nur die Biomasse und Produktion auf niedrige Mittelwerte, sie führt auch zu **erheblichen Fluktuationen bei den Bestandesvorräten und -umsätzen** und verleiht so den ariden Ökosystemen eine kurzfristige Labilität. Die **Fähigkeit der Wüstenvegetation, auf Feuchteimpulse flexibel zu reagieren**, ist aber andererseits die Voraussetzung dafür, dass die Primärproduktion unter gelegentlich besonders regenreichen Bedingungen kräftig anspringen kann und dann oberirdische Phytomassen schafft, die ein Mehrfaches trockener Jahre umfassen. Hieran sind ephemere Pflanzen oftmals mit hohen Anteilen (50% und mehr) beteiligt. Aber auch arido-aktive Pflanzenarten und die meisten Tierarten können ihre Entwicklungsphasen zu jedem Zeitpunkt im Jahr auf die Verfügbarkeit von Wasser abstimmen. Über dieses elastische Verhalten entsteht eine langzeitliche Stabilität, d.h. Trockengebiete müssen als **elastisch-stabile Ökosysteme** gelten, die auch gegenüber menschlichen Eingriffen nicht empfindlicher als die meisten anderen Natursysteme reagieren, also ähnlich *belastbar* sind.

Dieses Dokument wurde mit IP-Adresse 141.201.32.213 aus dem Netz der USEB UB Salzburg am 03.11.2018 um 14:17 Uhr heruntergeladen. Das Weitergeben und Kopieren dieses Dokuments ist nicht zulässig.

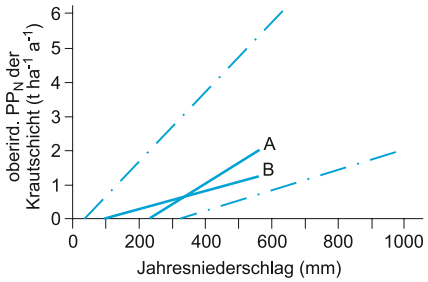


Abb. 13.12
*Die Beziehungen zwischen oberirdischer Jahresproduktion der Gras-/Krautschicht, Jahresniederschlag und Bodengüte/-textur (*Scholes *1990). Die Gerade A zeigt die Regennutzungseffizienz (RUE) auf fruchtbaren Tonböden, die Gerade B diejenige auf unfruchtbaren Sandböden. Bei A beläuft sich RUE auf 5, bei B dagegen nur auf 2,5-kg TS ha^{-1} a^{-1} pro Millimeter Niederschlag. Die jeweils gefundenen Korrelationen erlauben einerseits Prognosen für (beispielsweise) Futtererträge in anderen klimatisch vergleichbaren Regionen, können andererseits aber auch als Indices für die Bodenfruchtbarkeit verwendet werden. – Die durchbrochenen Geraden markieren die Grenzen, zwischen denen sich die von* Rutherford *(1980) in einer vergleichenden Studie erfassten RUE-Werte anderer Autoren halten.*

In den extremsten Wüsten liegt die **jährliche Primärproduktion** zwischen (fast) Null und etwa 0,2 t ha^{-1}. Unter den etwas günstigeren Bedingungen einer Halbwüste erreicht sie 2,5 bis 3,0 t ha^{-1}. Die regionalen Unterschiede in der Flächenproduktion beruhen im Wesentlichen auf den unterschiedlich großen Regenmengen, werden aber auch von anderen Standortfaktoren, wie z.B. der Bodenfruchtbarkeit, mitbestimmt (Abb. 13.12). Als mittlere **Regennutzungseffizienz** aller Trockengebiete unserer Erde nennen Le Houérou et al. (1988) den Koeffizienten (*rain factor*) 4, also eine oberirdische Jahresproduktion von 4 kg TS ha^{-1} pro Millimeter Jahresniederschlag. Die Streuungsbreite geben sie mit 1 bis 10 an.

Mit den Werten für die Regennutzungseffizienz lässt sich für einzelne Regionen nicht nur die *mittlere* Jahresproduktion der Vegetation anhand der mittleren jährlichen Niederschlagsmengen abschätzen, sondern auch die Produktion bestimmter Jahre anhand der in diesen Jahren gefallenen Regenmengen.

13.6 Landnutzung

Die Tropisch/subtropischen Trockengebiete liegen insgesamt jenseits der **agronomischen Trockengrenze**. Die Tragfähigkeit für agrare Bevölkerungen (*human carrying capacity*) ist daher überall gering.

Wo dennoch ein Regenfeldbau betrieben wird, wie beispielsweise in Teilen des afrikanischen Sahel, erfolgt dieser mit **wasseranspruchslosen Nutzpflanzenarten** wie z.B. manche Hirsearten (z.B. Perlhirse) und Erdnüsse, oder **schnellwüchsigen Arten** wie z.B. einige Bohnenarten; in beiden Fällen mit allerdings unsicheren Ernteaussichten und einem erhöhten Risiko für Bodenschäden, insbesondere durch Auswehungen (auf Hängen auch Abspülungen) von organischem Detritus und mineralischen Nährstoffen.

Ökonomisch und ökologisch sinnvoller (und traditionell auch im Vordergrund stehend) sind die agraren Nutzungsformen der *extensiven Weidewirtschaft* und des *Bewässerungsfeldbaus* (s.u.). Aber auch hier bestehen erhebliche Risiken, da die für eine Nachhaltigkeit (= Erhaltung der natürlichen Nutzungspotentiale) unentbehrliche Abstimmung mit den marginalen Naturgegebenheiten – insbesondere wegen der hohen Regenvariabilität – nur schwer zu erzielen ist und die Rehabilitation (Melioration) gestörter Landflächen möglicherweise längere Zeit als anderswo erfordert, in manchen Fällen sogar auf Dauer kaum realisierbar erscheint.

Andererseits ist aber auch belegt, dass sich zunächst als irreversibel geschädigt angesehene Flächen nach Schutz vor Tierfraß oder ande-

Dieses Dokument wurde mit IP-Adresse 141.201.32.213 aus dem Netz der USEB UB Salzburg am 03.11.2018 um 14:17 Uhr heruntergeladen. Das Weitergeben und Kopieren dieses Dokuments ist nicht zulässig.

ren Beeinträchtigungen, oder einfach als Folge regenreicherer Jahre, rasch und von selbst erholten, also ein hohes **Regenerationsvermögen** besaßen (vgl. Kap. 13.5.4). Der Begriff Desertifikation, mit dem ja wohl nur ein *anhaltend zur Wüste werden* gemeint sein kann, ist daher im Allgemeinen nicht zutreffend und sollte deshalb für die meisten Fälle einer Landdegradation auch nicht benutzt werden.

13.6.1 Extensive Wanderweidewirtschaft

Die Weidewirtschaft wurde und wird in den **Altweltlichen Trockengebieten** meist auf *Naturweiden* in der Form der Wanderweidewirtschaft betrieben.[4] Am häufigsten ist (heute) die Form des **Halbnomadismus** und der **Transhumanz**. **Vollnomadismus**, bei dem feste Wohnsitze fehlen, ist selten geworden. Die Verbreitung der traditionellen Weidewirtschaftsformen ist bis zu einem gewissen Grad niederschlagsabhängig (Abb. 13.13).

In den Wüsten, Halbwüsten und subtropischen Steppen bestehen die Herden überwiegend aus **Kamelen, Schafen und Ziegen**, in den

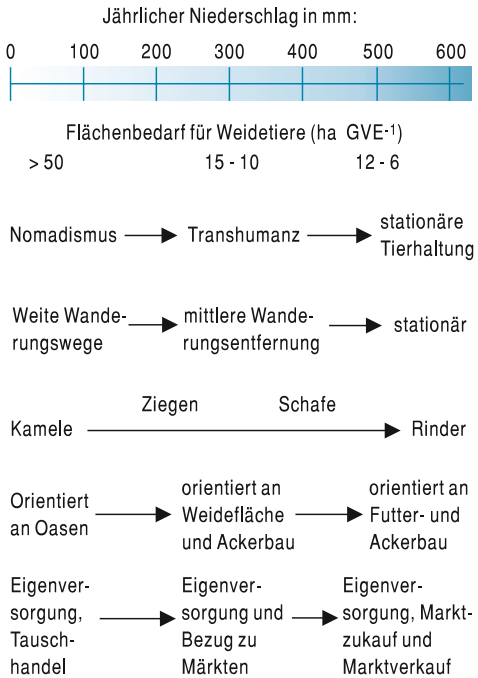


Abb. 13.13
Traditionelle Weidewirtschaften in Abhängigkeit von den Feuchtebedingungen (entspricht Tragfähigkeiten von Naturweiden) (DOPPLER 1991, verändert). Die natürlichen Standortverhältnisse entscheiden über die Art der Betriebssysteme: Mit zunehmender Gunst wird die Wanderungsdistanz kürzer und die Marktverknüpfung enger.

[4] In den Trockengebieten Lateinamerikas, Australiens und des südlichen Afrikas tritt mit dem **Ranching** (siehe Kap. 10.6.2) eine *stationäre* Weidewirtschaft an die Stelle der Wanderweidewirtschaft oder eines Wildbeutertums.

Dieses Dokument wurde mit IP-Adresse 141.201.32.213 aus dem Netz der USEB UB Salzburg am 03.11.2018 um 14:17 Uhr heruntergeladen. Das Weitergeben und Kopieren dieses Dokuments ist nicht zulässig.

Dieses Dokument wurde mit IP-Adresse 141.201.32.213 aus dem Netz der USEB UB Salzburg am 03.11.2018 um 14:17 Uhr heruntergeladen. Das Weitergeben und Kopieren dieses Dokuments ist nicht zulässig.

Dornsavannen aus **Rindern**. Die natürliche (traditionelle) Auslese hat solche Tiere begünstigt, die sich unter den harten Lebensbedingungen (Trockenheit, geringe Futterqualität, lange Wanderungen) als besonders lebenstüchtig erwiesen haben. Andere Züchtungsziele wie gute Fleisch- oder Milchproduktion traten dahinter zurück, entsprechend gering fallen diese meist aus.

Die Wanderweidewirtschaft wird auch in extremen Trockengebieten betrieben, in denen Ranching nicht mehr möglich ist. Das heißt, ohne Nomadismus blieben weite Teile der Trockengebiete ungenutzt. Andererseits ist der Arbeitseinsatz (insbesondere Hüteaufwand) um ein Vielfaches höher als beim Ranching. Die aus der nomadischen Weidewirtschaft zu erzielenden Einkünfte sind daher gering, die davon lebenden Bevölkerungsgruppen entsprechend arm.

Dies gilt auch deshalb, weil die Nomaden vielerorts ihre früher wichtige Funktion als Verkehrsträger für den Handel verloren haben und ihre **Weidegebiete von dem vorrückenden Ackerbau eingeengt** worden sind. Im Dornsavannengürtel liegen die gegenwärtigen Grenzen etwa dort, wo die mittleren Jahresniederschläge nurmehr 400 mm (und sogar noch weniger) betragen, also deutlich unter das Limit gefallen sind, bis zu dem ein einigermaßen sicherer Regenfeldbau möglich ist. Für die Nomaden bedeutet dies, dass sie gerade ihre ertragsstärksten Weidegründe verloren haben.

Die geringe Produktion (Futterverfügbarkeit) der Naturweiden bedingt einen *sehr hohen* **Flächenbedarf pro Weidetier**. Dieser steigt umso höher, je weniger Niederschläge pro Jahr fallen (Tab. 13.3).

Als **Richtgröße für die Erzeugung von weidefähiger** (d.h. als Futter für Weidetiere geeigneter) **Trockenmasse** pro Jahr und Hektar wird in vielen Untersuchungen 1 kg pro Millimeter Jahresniederschlag genannt (d.s. etwa 25% der oberirdischen PP_N). Die tägliche Futteraufnahme der Tiere liegt gewöhnlich zwischen 2,5 und 3,5 kg TS pro 100 kg Lebendgewicht (Le Houérou 1989).

Tab. 13.3. Der Flächenbedarf pro Weidetier auf ariden und semiariden Naturweiden der Tropen in Abhängigkeit vom Niederschlag (Ruthenberg 1980).

Jahresniederschlag (mm)	Erforderliche Fläche (ha) pro Großvieheinheit[a]	Zahl der Rinder pro 100 ha
50–100	≥ 50	≤ 2
200–400	15–10	7–10
400–600	12–6	8–17

[a] entspricht 1 Rind oder 5 Schafen/Ziegen

13.6.2 Oasen-Bewässerungswirtschaft

Der Bewässerungslandbau ist in den Trockengebieten die einzige Form agrarer Nutzung, die sichere (da witterungsunabhängige) und hohe Flächenerträge bei zahlreichen Feld- und Baumfrüchten garantiert. In den Tropisch/subtropischen Trockengebieten lassen sich auf diese Weise die höchsten Erträge überhaupt erzielen, da eine ganzjährige Nutzung (gegebenenfalls in Form mehrerer Ernten pro Jahr) möglich ist, vielerorts fruchtbare Böden vorhanden sind und die zugeführte Sonnenenergie sonst unerreichte Spitzenwerte aufweist. Damit ergibt sich ein **einzigartig hohes natürliches Ertragspotential**, dessen Nutzung allerdings von einer ausreichenden, d.h. den Bedarf der Pflanzen deckenden (Süß-) Wasserbereitstellung und der Möglichkeit zur Entsalzung abhängt.

Die **Bereitstellung des erforderlichen Bewässerungswassers** kann über Ableitungen aus Fremdlingsflüssen, Entnahme von Grundwasser, Auffangen von Regenwasser oder Meerwasserentsalzung erfolgen. Zur Nutzung und besseren Kontrolle dieser Ressourcen werden mehr oder weniger aufwendige Techniken unterschiedlicher Größenordnung eingesetzt. So wird beispielsweise Flusswasser hinter riesigen Staudämmen für große Bewässerungsprojekte gespeichert oder oberflächlich abrinnendes Regenwasser durch abschnittsweise vorgenommene Geländeabdeckungen, kleine Dammbauten (z.B. halbmondförmige Wälle) oder Gräben auf den Feldern lokal *konzentriert* (Abb. 13.14). Grundwasser kann den Feldern durch Pipelines oder Stollen über teilweise beträchtliche Entfernungen zugeführt oder mittels Pumpen, Wasserrädern etc. unmittelbar aus Brunnen gehoben werden.

Literatur zu Kap. 13

Achtnich, W. und Lüken, H. (1986): Bewässerungslandbau in den Tropen und Subtropen. In: Rehm, 285–342, *s.* Lit. zu Kap. 6.

Ahnert (2003), *s.* Lit. zu Kap. 3.

Beaumont, P. (1993): Drylands – environmental management and development. Routledge, London (2. Aufl.), 536 S.

Belnap, J. & Lange, O. L. (eds) (2001): Biological Soil Crusts: Structure, Function and Management. *Ecological Studies* 15, 503 pp.

Besler, H. (1992): Geomorphologie der ariden Gebiete. Wiss. Buchges., Darmstadt, 189 S.

Blume, H.-P. und Berkowicz, S. M. (eds.) (1995): Arid ecosystems. *Adv. Geoecology* 28, 229 S.

Breckle; S.-W., Veste, M. und Wucherer, W. (eds.) (2001): *s.* Lit. zu Kap. 11.

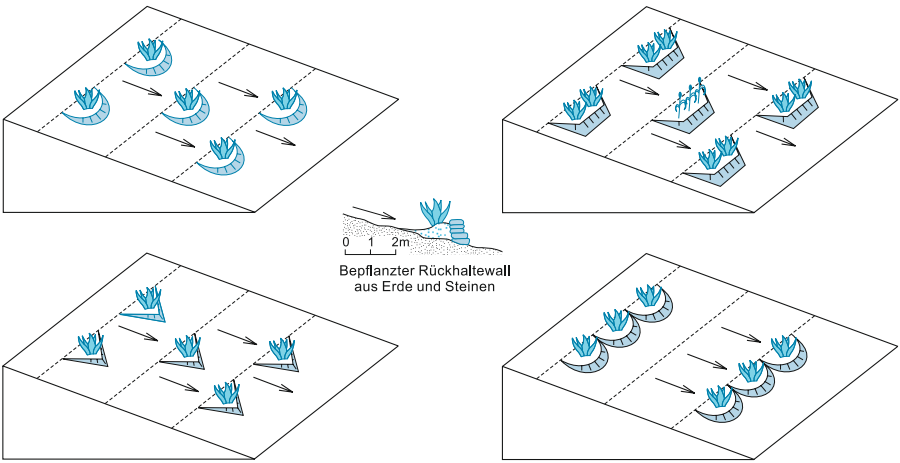
Busche, D. (1998): Die zentrale Sahara: Oberflächenformen im Wandel. Justus Perthes Verlag, Gotha, 284 S.

Cloudsley-Thompson, J. L. (1996): Biotic interactions in arid lands. Springer, Berlin, 208 S.

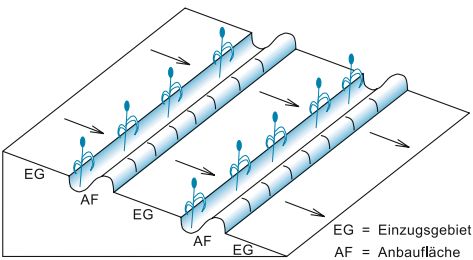
Dieses Dokument wurde mit IP-Adresse 141.201.32.213 aus dem Netz der USEB UB Salzburg am 03.11.2018 um 14:17 Uhr heruntergeladen. Das Weitergeben und Kopieren dieses Dokuments ist nicht zulässig.

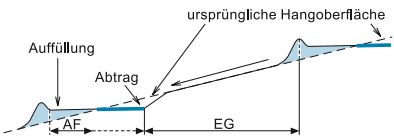
Dieses Dokument wurde mit IP-Adresse 141.201.32.213 aus dem Netz der USEB UB Salzburg am 03.11.2018 um 14:17 Uhr heruntergeladen. Das Weitergeben und Kopieren dieses Dokuments ist nicht zulässig.

① **Kleineinzugsbecken** (micro-catchments): Halbkreis-, trichter- oder trapezförmige Rückhaltewälle aus Erde und Steinen um Pflanzbecken für je einen Baum oder seltener kleinflächige annuelle Kulturen.



② **Konturfurchen** und **Terrassen** (contour strips and contour terraces): Im einfachsten Fall nur konturparallele Pflanzfurchen und Dämme. Durch Einebnung anschließender Hangteile (Terrassenstreifen) können die Anbauflächen verbreitert sein.





③ **Innerfeld-Einzugsgebiete** (within field catchments): Schaffung künstlicher Wasserscheiden innerhalb der Feldgebiete, beispielsweise in Form von flachen Rücken. Zur Verbesserung des Abflusses können diese Rücken verdichtet oder (z.B. mit Plastikplanen) abgedeckt sein. Die angegebenen Maße sind als Beispiele zu verstehen.

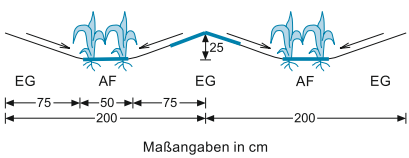


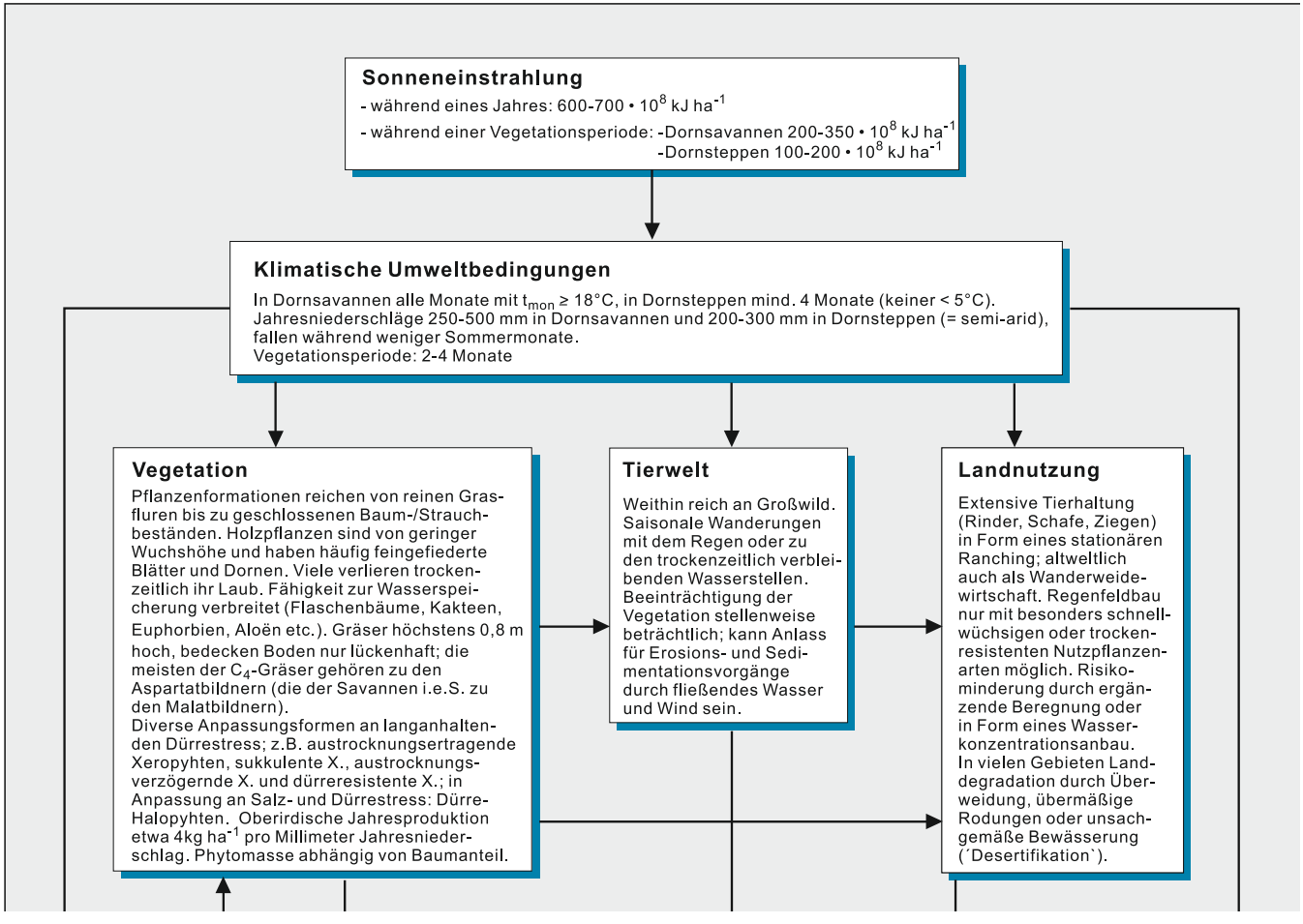
Abb. 13.14

Beispiele für Wasserkonzentrationsanbau (Finkel 1986, UNEP 1983, u.a.). Hierbei wird der oberflächliche Regenwasserabfluss (→) über bestehende (bei 1 und 2) oder künstliche (bei 3) Gefälle aus einem relativ größeren Einzugsgebiet (EG) zu einem einzelnen Baum oder einer kleinen Anbaufläche (AF) geleitet (Konzentrationsgebiet). Das EG/AF-Verhältnis ist im Wesentlichen eine Funktion des Ariditätsgrades.

Day, A. D. und Ludeke, K. L. (1993): Plant nutrients in desert environments. Springer, Berlin, 117 S.
Doppler (1991), *s.* Lit. zu Kap. 6.
Evenari, M., Noy-Meir, I. und Goodall, D. W. (eds.) (1985, 1986): Hot desert and arid shrublands. *Ecosystems of the World* 12A und 12B. Elsevier, Amsterdam, 365 S., 451 S.
FAO (1988), *s.* Lit zu Kap. 4.
Frey, W. & Lösch, R. (2010): Lehrbuch der Geobotanik. 3 Aufl., Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg, 600 S.
Giessner, K. (1988): Die subtropisch-randtropische Trockenzone. Globale Verbreitung, innere Differenzierung, geoökologische Typisierung und Bewertung. *Geoökodynamik* 9, 135–183.
Goodall, D. W. und Perry, R. A. (eds.) (1979, 1981): Arid-land ecosystems: structure, functioning and management. *Intern. Biol. Progr.* 16 und 17. Cambridge University Press, Cambridge, 881 S., 605 S.
Green, T. G. A., Sancho, L. G. & Pintado, A. (2011): Ecophysiology of Desiccation/Rehydration Cycles in Mosses and Lichens. In Lüttge, U., Beck, E. & Bartels, D. (eds), Plant Desiccation Tolerance, Ecological Studies 215, 89–120.
Gutterman, Y. (2002): Survival strategies of annual desert plants. Springer, Berlin-Heidelberg, 348 pp.
Hornetz, B. und Jätzold, R. (2003): *s.* Lit. zu Allg. Teil.
Larcher (2001), *s.* Lit. zu Kap. 5.
Le Houérou, H. N., Bingham, R. L. und Skerbeg, W. (1988): Relationship between the variability of annual rainfall and the variability of primary production. *J. Arid. Environment* 15, 1–18.
– (1989): The grazing land ecosystems of the African Sahel. *Ecol. Studies* 75. Springer, Berlin, 282 S.
Lösch, R. (2003): Wasserhaushalt der Pflanzen. 2. unveränderte Auflage. Quelle & Meyer Verlag, Wiebelsheim, 595 S.
Louw, G. N. und Seely, M. K. (1982): Ecology of desert organisms. Longman, London, 194 S.
Lovegrove, B. (1993): The living deserts of southern Africa. Fernwood Press, Vlaeberg (Südafrika), 224 S.
Ludwig, J. A., Tongway, D. J., Freudenberger, D., Noble, J. und Hodgkinson, K. (eds.) (1997): Landscape ecology, function and management: principles from Australia's rangelands. CSIRO, Australia, 158 S.
D'odorico, P. und Porporato, A. (eds) (2006): Dryland ecohydrology. Springer, Berlin, 341 S.
Proctor, M. C. F. & Tuba, Z. (2002): Poikilohydry and homoiohydry: antithesis or spectrum of possibilty? *New Phytologist* 156, 327–349.
Pye, K. (1987): Aeolian dust and dust deposits. Academic Press, London, 334 S.
Rouse, W. R. (1981): Man-modified climates. In: Gregory, K. J. und Walling, D. E.: Man and environmental processes. Butterworths, London, 38–54.

Dieses Dokument wurde mit IP-Adresse 141.201.32.213 aus dem Netz der USEB UB Salzburg am 03.11.2018 um 14:17 Uhr heruntergeladen. Das Weitergeben und Kopieren dieses Dokuments ist nicht zulässig.

Dieses Dokument wurde mit IP-Adresse 141.201.32.213 aus dem Netz der USEB UB Salzburg am 03.11.2018 um 14:17 Uhr heruntergeladen. Das Weitergeben und Kopieren dieses Dokuments ist nicht zulässig.



Dieses Dokument wurde mit IP-Adresse 141.201.32.213 aus dem Netz der USEB UB Salzburg am 03.11.2018 um 14:17 Uhr heruntergeladen. Das Weitergeben und Kopieren dieses Dokuments ist nicht zulässig.

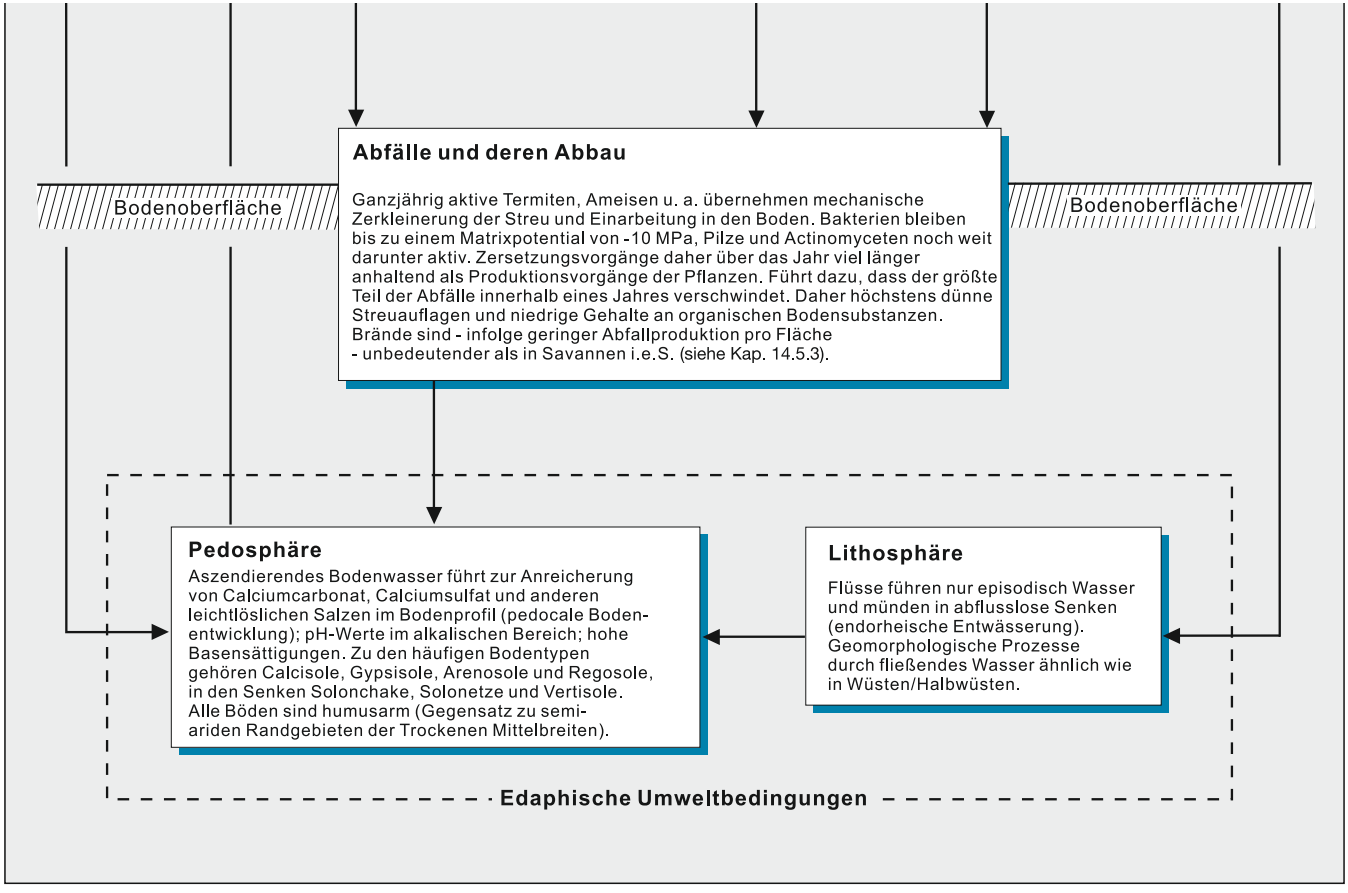
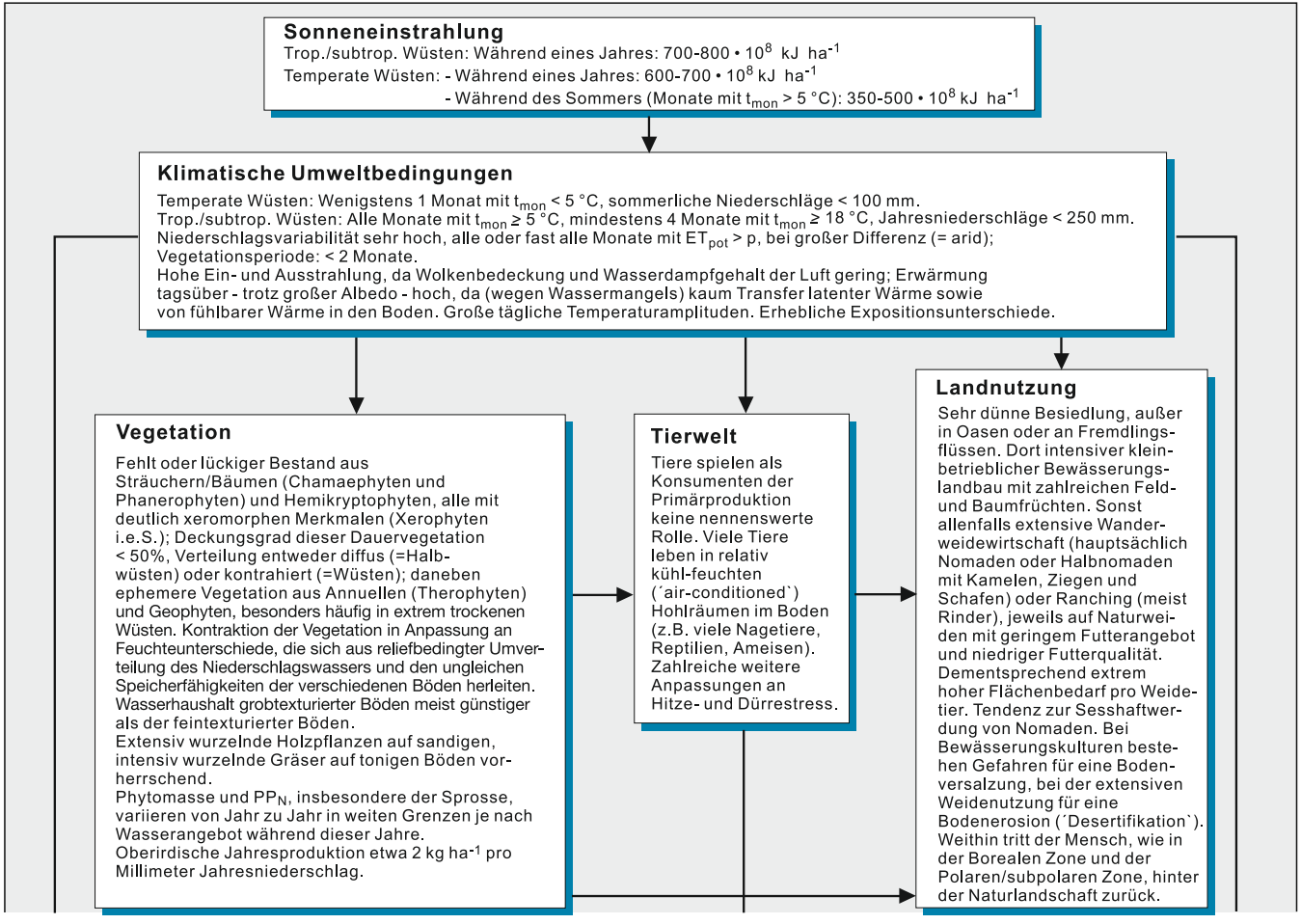


Abb. 13.15 *Zusammenfassendes Schaubild der Dornsavannen (Sahel) und subtropischen Dornsteppen in den semi-ariden Randgebieten der Tropisch/subtropischen Trockengebiete.*

Dieses Dokument wurde mit IP-Adresse 141.201.32.213 aus dem Netz der USEB UB Salzburg am 03.11.2018 um 14:17 Uhr heruntergeladen. Das Weitergeben und Kopieren dieses Dokuments ist nicht zulässig.



Dieses Dokument wurde mit IP-Adresse 141.201.32.213 aus dem Netz der USEB UB Salzburg am 03.11.2018 um 14:17 Uhr heruntergeladen. Das Weitergeben und Kopieren dieses Dokuments ist nicht zulässig.

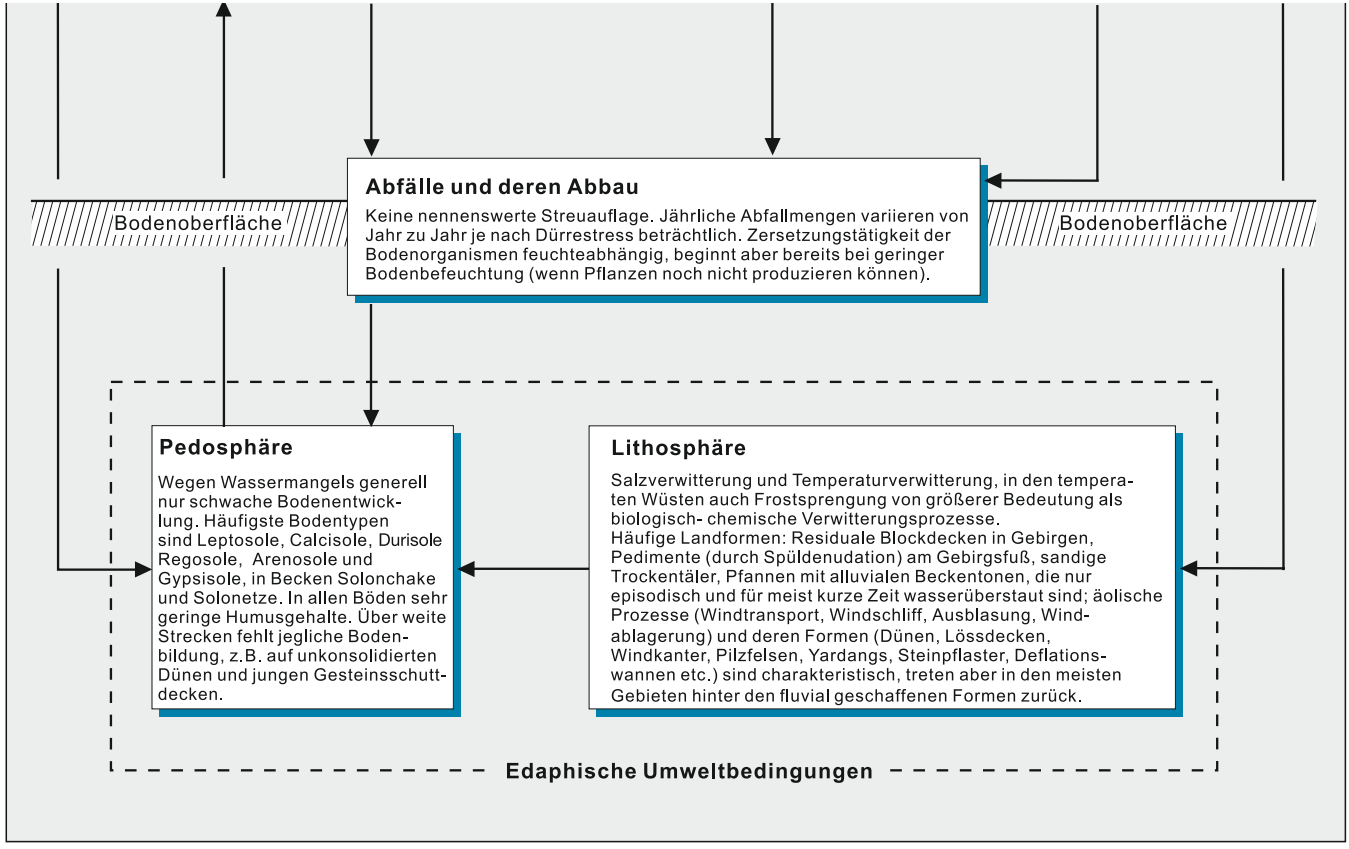


Abb. 13.16 *Zusammenfassendes Schaubild der Wüsten und Halbwüsten mittlerer und tropisch/subtropischer Breiten.*

Russow, R., Veste, M., Breckle, S.-W. et al (2008): Nitrogen input Pathways into Sand Dunes: Biological Fixation and Atmospheric Nitrogen Deposition. In Breckle, S.-W., Yair, A. & Veste, M. (eds), Arid Dune Ecosystems. The Nizzana Sands in the Negev Desert. Ecological Studies 200, 319-336. Ruthenberg (1980), *s.* Lit. zu Kap. 6.

Rutherford, M. C. (1980): Annual plant production-precipitation relations in arid and semi-arid regions. *S. Afr. J. Sci.* 76, 53–56.

Scholes (1990), *s.* Lit. zu Kap. 14.

Scholes, R. J. (1990): The influence of soil fertility on the ecology of southern African savannas. In: Werner, P. A. (ed), Savanna ecology and management. Australian perspectives and intercontinental comparisons. Blackwell, Oxford, 71–75.

Scholz, F. (1995): Nomadismus. Theorie und Wandel einer sozio-ökologischen Kulturweise. *Erkundl. Wissen* 118. Franz Steiner Verlag, Stuttgart, 300 S.

Smith, S. D. und Nobel, P. S. (1986): Deserts. In: Baker, N. R. und Long, S. P. (eds.): Photosynthesis in contrasting environments. *Topics in photosynthesis* 7. Elsevier, Amsterdam, 13–62.

Thomas, D. S. G. (1988): The biogeomorphology of arid and semi-arid environments. In: Viles, H. A. (ed.): Biomorphology. Blackwell, Oxford, 193–221.

– (ed.) (1989): Arid zone geomorphology. Bellhaven, London, 372-S.

– und Middleton, N. J. (1995): Desertification: exploding the myth. John Wiley and Sons, Chichester, 194 S.

UNEP (1983): Rain and stormwater harvesting in rural areas. *Water Resources Series* 5, Dublin, 238 S.

Veste, M & Littmann, T. (2006): Dewfall and its Geoecological Implication for Biological Surface Crusts in Desert Sand Dunes (Northwestern Negev, Israel). *Journal of Arid Land Studies* 16, 139–147.

Walter und Breckle (1983), *s.* Lit. zu Allg. Teil

Ward, J. D. (2009): The Biology of Deserts. Oxford University Press, Oxford, 339 pp.

Ward, D., Ngairorue, B. T., Kathena, J. et al. (1998): Land degradation is not a necessary outcome of cummunal pastoralism in arid Namibia. Journal of Arid Environments 40, 357–371.

Wickens, G. E. (1998): Ecophysiology of economic plants in arid and semi-arid lands. Springer, Berlin, 343 S.

WRB (1998), *s.* Lit zu Kap. 4

Zepp, H. (2003): Geomorphologie. Eine Einführung. 2. durchgesehene Auflage. Ferdinand Schöningh, Paderborn-München-Wien-Zürich, 354 S.

Dieses Dokument wurde mit IP-Adresse 141.201.32.213 aus dem Netz der USEB UB Salzburg am 03.11.2018 um 14:17 Uhr heruntergeladen. Das Weitergeben und Kopieren dieses Dokuments ist nicht zulässig.

Dieses Dokument wurde mit IP-Adresse 141.201.32.213 aus dem Netz der USEB UB Salzburg am 03.11.2018 um 14:17 Uhr heruntergeladen. Das Weitergeben und Kopieren dieses Dokuments ist nicht zulässig.

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

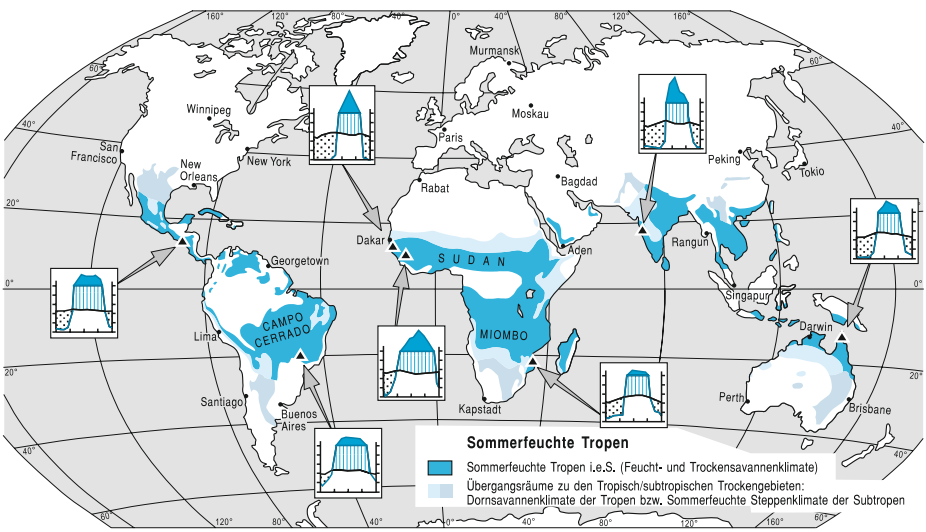


Abb. 14.1
Sommerfeuchte Tropen. Ihre Verbreitung schließt auf beiden Hemisphären an die äquatorialen Regenwälder an. Die äquatorferne Abgrenzung, also (meist) gegenüber den Tropisch/subtropischen Trockengebieten, kann nach verschiedenen hygrischen und thermischen Kriterien vorgenommen werden. Die Karte zeigt einige der daraus resultierenden Abgrenzungsmöglichkeiten.