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

10 Trockene Mittelbreiten

10.1 Verbreitung und subzonale Differenzierung, allgemeine Merkmale von Trockengebieten

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

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

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

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

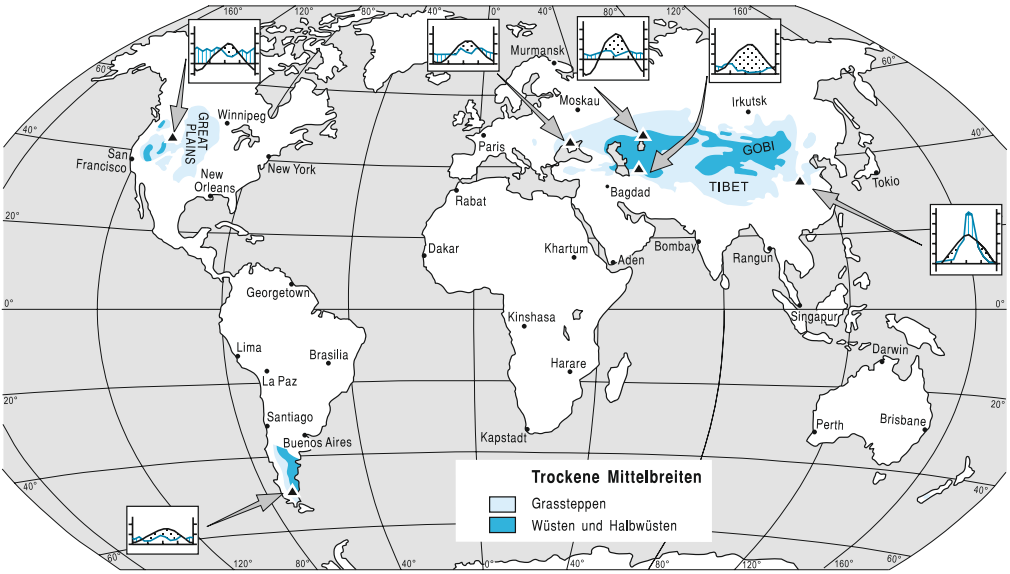


Abb. 10.1
Trockene Mittelbreiten. Die Verbreitungsschwerpunkte liegen in den kontinentalen Räumen von Eurasien und Nordamerika, etwa zwischen 35 und 55° N. Auf der Südhalbkugel kommen sie nur in geringer Ausdehnung in Ostpatagonien und auf der Südinsel von Neuseeland vor.

pen vor, in denen meist ein Weizenbau möglich ist; fallen während der Vegetationsperiode hingegen weniger als 100 mm, so finden sich nurmehr **Halbwüsten**, unter 50 mm nur noch **Wüsten**.

In den eurasischen Trockengebieten ist die Abfolge dieser Teilräume latitudinal, beginnend mit Waldsteppen im Norden; in Nordamerika ist sie dagegen longitudinal, beginnend mit Langgrassteppen im Osten.

In allen Teilgebieten der Trockenen Mittelbreiten dominieren (oder dominierten ursprünglich) **Steppen**[1] mit rund 75% Flächenanteil. Entsprechend richten sich die Ausführungen des vorliegenden Kapitels schwerpunktmäßig auf die Steppengebiete. Wüsten und Halbwüsten stehen dagegen im Mittelpunkt des Kap. 13 über Tropisch/subtropische Trockengebiete, wo deren Anteile bei rund 60% liegen. Vereinfachend lässt sich daher sagen, dass die Trockenen Mittelbreiten eine *Steppenzone*, die Tropisch/subtropischen Trockengebiete hingegen eine *Wüstenzone* bilden.

[1] Steppen sind offene (baumlose oder -arme) Pflanzenformationen der *außertropischen* Trockengebiete (Mittelbreiten und Subtropen), in denen Gräser, Kräuter oder – seltener (wie in Wüstensteppen) – kleinwüchsige Gehölze dominieren. Die in mancher Hinsicht physiognomisch ähnlichen Grasfluren in den äquatornahen Randzonen der Tropisch/subtropischen Trockengebiete und in den Sommerfeuchten Tropen heißen **Savannen**. Hier wie dort handelt es sich um perenne Horstgräser, deren Erneuerungsknospen nahe der Bodenoberfläche liegen. Beide sind also Hemikryptophyten. Und für beide ist charakteristisch, dass die Wurzelsysteme den Boden unmittelbar um den Horst intensiv durchdringen und bis zu etwa einem Meter tief reichen. Die Trockenmasse dieser Wurzeln übersteigt gewöhnlich die der oberirdischen Sprossmasse um ein Mehrfaches. Andererseits: Während die Savannengräser zu den C_4-Pflanzen gehören, folgen die Steppengräser dem C_3-Weg. Wohl die einzige nennenswerte Ausnahme findet sich im Süden der nordamerikanischen Trockengebiete. Dort dominieren ebenfalls C_4-Gräser.

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

Allen Trockengebieten, sowohl in den Mittelbreiten als auch in den Tropen und Subtropen, sind mehrere **feuchteabhängige Standortbedingungen/Merkmale gemeinsam**. So können als Trockengebiete alle jene Räume gelten, in denen

- der Pflanzenwuchs durch Dürre auf wenige (höchstens 5) Monate des Jahres eingeschränkt ist,
- Wassermangel (Dürrestress) auch während der Regenzeit wichtiger Ungunstfaktor bleibt (hohe Niederschlagsvariabilität, geringe Wasservorräte im Boden),
- Regenfeldbau daher nicht, nur mit hohem Risiko oder bei Anwendung spezieller Methoden (z.B. Dry Farming, Anbau schnellwüchsiger oder trockenresistenter Nutzpflanzenarten, ergänzende Beregnung) möglich ist,
- die natürliche Vegetation durch xerophytische Merkmale, das Vorkommen von Halophyten und ± lückigen Bestand gekennzeichnet ist,
- die PP_N niedrig liegt (brauchbare Richtwerte für die Obergrenze der oberirdischen PP_N sind möglicherweise 3 t ha^{-1} a^{-1} für Wüsten, Halbwüsten und Wüstensteppen [Smith u. Nobel 1986] und 6 t ha^{-1} a^{-1} für die semi-ariden Übergangsräume),
- die Flüsse nur episodisch Wasser führen und in abflusslosen Senken enden (endorheische Entwässerung) und
- aszendierende Bodenwasserbewegungen zu einer Anreicherung von Calciumcarbonat, gelegentlich auch von Calciumsulfat und anderen leicht löslichen Salzen im Bodenprofil führen, womit sich in der Regel ein Anstieg des pH-Wertes in den alkalischen Bereich und der Basensättigung auf 100% verbindet; großflächig können Krusten und Konkretionen aus sekundär angereichertem Kalk, Gips oder Quarz entstehen.

10.2 Klima

Wie die Feuchten Mittelbreiten so liegen auch die Trockenen Mittelbreiten in der außertropischen Westwindzone oder zyklonalen Westwinddrift. Im Unterschied zu jenen besitzen sie jedoch eine ausgesprochene **Leelage oder kontinentale Lage**, mit der sich eine längere Sonnenscheindauer und höhere Globalstrahlung sowie geringere Niederschläge und größere Temperaturamplituden verbinden.

Die **Niederschläge** bleiben in den meisten Monaten unter der potentiellen Evapotranspiration. Die zeitliche Verteilung der Regenfälle, auch wenn in vielen Gebieten auf bestimmte Jahreszeiten konzentriert, ist hochgradig unregelmäßig (unzuverlässig): Lange Trockenperioden (*dry spells*) innerhalb der ‚Regenzeiten' sind häufig, die (prozentualen) Abweichungen von den jährlichen Mitteln beträchtlich. (hohe Niederschlagsvariabilität; interannueller Variationskoeffizient des Niederschlags liegt zwischen 30 und über 50 %).

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

Zum Dürrestress kommt in den meisten Trockengebieten ein Kältestress hinzu: Zumindest für einen Monat sinken die mittleren **Lufttemperaturen** unter den Gefrierpunkt, und es bilden sich Schneedecken, die wenigstens einige Tage, häufig einige Monate anhalten. Von Ausnahmen abgesehen können die Trockenen Mittelbreiten daher auch als *winterkalte Trockengebiete* bezeichnet werden. Das bedeutet, dass die Vegetationszeit nicht nur durch sommerliche Trockenheit, sondern auch durch Winterkälte eingeschränkt ist.

Während des **Hochsommers** erreicht die Einstrahlung ähnlich hohe Beträge wie zur gleichen Zeit in den Tropisch/subtropischen Trockengebieten, da die größere Tageslänge den geringeren Einstrahlungswinkel kompensiert. Dementsprechend sind die Sommer – mit Ausnahme von Ostpatagonien und Neuseeland – heiß: Die mittleren Monatstemperaturen übersteigen dann (allerdings in höchstens drei Monaten) 20 °C und erreichen gebietsweise 30 °C, wobei jeweils sehr viel höhere Tagesmaxima auftreten.

10.3 Relief und Gewässer

In allen Trockengebieten der Erde, ob in mittleren Breiten, Subtropen oder Tropen gelegen, verläuft die Morphogenese in großen Zügen übereinstimmend. Regionale Unterschiede sind eher an wechselnde Aridi-tätsgrade und Gesteinsarten geknüpft als an die sich mit der geographischen Breite ändernden Temperaturen. Es erscheint daher zweckmäßig, die Trockenen Mittelbreiten und die Tropisch/subtropischen Trockengebiete in Bezug auf die Kapitel *Relief und Gewässer* gemeinsam zu behandeln. Dies geschieht im Kap. 13. An dieser Stelle sollen nur einige der ausschließlich in den Trockenen Mittelbreiten auftretenden morphodynamischen Prozesse und deren Formen behandelt werden. Dazu gehören Frostsprengung, Gelifluktion und Kammeisbildung.

Die **Frostsprengung** spielt auf bloßem Fels und Schutt eine erhebliche Rolle, sofern dafür ausreichend Wasser im Gestein vorhanden ist. Ist dies gegeben, so können frostdynamische Prozesse (auch die frostbedingte Solifluktion, s.u.) wirksamer als in den Feuchten Mittelbreiten sein, da Frostwechsel häufiger sind und die Lufttemperaturen tiefer unter den Gefrierpunkt absinken; außerdem fehlt eine isolierende Pflanzendecke, die Fröste dringen tiefer in den Boden und das Gestein ein.

Frostbedingte Solifluktion (= **Gelifluktion**; siehe Seite 98) ist überall dort an der denudativen Abtragung beteiligt, wo es im Laufe des Winters oder im Zuge der Frühjahrsschneeschmelze über noch gefrorenem Unterboden zu starker Bodendurchfeuchtung kommt. Besonders auffällig tritt das Frostbodenfließen (Schlammfließen) auf abgeernteten Feldern in Steppengebieten in Erscheinung. Durch Anbau von Wintergetreide können diese Massenbewegungen reduziert werden.

Kammeisbildungen. „Wenn in klaren Nächten die Bodentemperatur unter den Gefrierpunkt sinkt, bilden sich auf unbewachsenen

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

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

Flächen in den obersten Poren des Bodens durch Sublimation des Wasserdampfes der abgekühlten Luft Eiskristalle, die nadelförmig nach oben wachsen und dabei die an der Oberfläche liegenden Bodenkrümel …hochheben." (AHNERT 2003, Seite 140). Dies führt zur Auflockerung des Bodens und erleichtert damit die Abtragungswirkung anderer Prozesse, insbesondere der Spüldenudation und Deflation. Dem können andererseits **biogene Krusten** (aus Blaualgen, Flechten und Pilzhyphen) entgegenwirken.

Besonderheiten gelten auch für das **Abflussgeschehen**: Nicht so sehr die Regenfälle im Sommerhalbjahr, vielmehr das Frühlingsschmelzwasser der sich winterlich bildenden dünnen Schneedecken begründen Zeitpunkt und Dauer des episodischen Abflusses.

10.4 Böden der Steppen

10.4.1 Zonale Böden

> Unter ariden/semi-ariden Klimaverhältnissen wird die für humide Zonen charakteristische *Bodenauswaschung* (= deszendente Verlagerung von leichtlöslichen Salzen, Carbonaten, Fe- und Al-Oxiden, Fulvosäuren und Tonmineralen mit dem perkolierenden Wasser) relativ unbedeutend oder sogar von einer gegenläufigen Verlagerung (also durch aufsteigendes [aszendentes] Wasser) übertroffen. Damit treten **Pedocale** an die Stelle von *Pedalferen*. Diese sind durch freie Carbonate und eine hohe Basensättigung ausgezeichnet. Ihre Horizontabfolge zeigt im typischen Fall einen humusreichen Ah Horizont mit Basensättigung > 50%, der gleitend über einen Kalkanreicherungshorizont Ck oder direkt in das Ausgangsgestein eines C Horizonts übergeht.

Die Humusform ist ein **Mull** *(mollic horizont)*, bei dem hochpolymere Huminstoffe und Zwischenprodukte der Humifizierung mit Tonmineralen stabile stickstoffreiche organomineralische Komplexe bilden. Die Mengen an organischer Bodensubstanz sind durchwegs hoch: Unter sonst gleichen Bedingungen steigen sie in lehmigen Böden mit zunehmenden Jahresniederschlägen und abnehmenden Jahresmitteltemperaturen, als Folge der daran geknüpften größeren Primärproduktion bzw. geringeren Zersetzungsrate (Abb. 10.2).

Das krümelige Bodengefüge, die hohe Austausch- und Wasserkapazität, die neutrale bis alkalische Bodenreaktion und das reiche, aktive Bodenleben (bodenwühlende Kleinsäuger, Regenwürmer u. a.) begründen neben weiteren vorteilhaften Eigenschaften die hohe potenzielle Fruchtbarkeit dieser Böden. Einschränkungen für das Pflanzenwachstum gehen allein auf das Konto der klimatischen Trockenheit.

Im Maße abnehmender Humidität folgen regional Phaeozeme, Chernozeme und Kastanozeme aufeinander (Abb. 10.3 und 10.7).

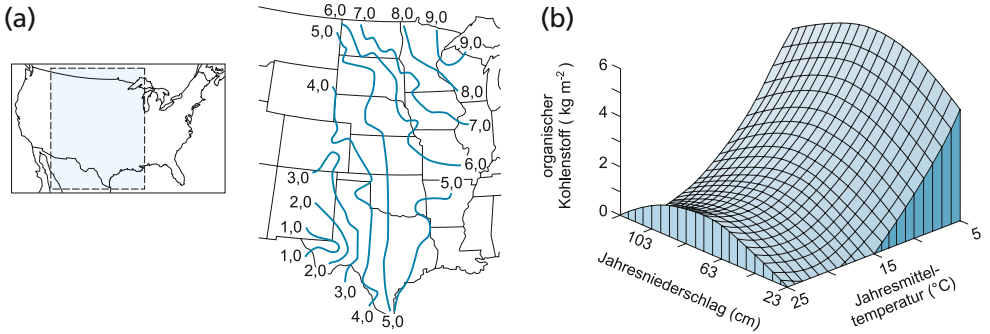


Abb. 10.2
*Organische Bodensubstanz (kg C m^{-2}) in den oberen 20 cm von Lehmböden (20% Ton, 40% Schluff) der Great Plains, USA (*Burke *et al. 1989):* (a) *regionale Differenzierung;* (b) *Abhängigkeit von Temperaturen und Niederschlägen. Die Humusgehalte steigen mit den nach Osten zunehmenden Jahresniederschlägen und den nach Norden sinkenden Jahresmitteltemperaturen. Die höchsten Gehalte werden demzufolge im Nordosten erreicht.*

Phaeozeme

Die feuchtesten Steppenstandorte (etwa 500 bis 700 mm Jahresniederschlag) werden von Phaeozemen eingenommen (früher Greyzome). Dabei handelt es sich um humusreiche, dunkelbraune bis schwärzlich-graue (Name von griech. *phaios* = schwärzlich-grau), tiefgründige Böden, die aus basenreichen Sedimenten (häufig Löss) hervorgegangen sind. Allerdings ist die **Entkalkung, Basenauswaschung und Verbraunung weit fortgeschritten**. Im Unterschied zu den anderen Steppenböden fehlt ein Kalkanreicherungshorizont (daher auch die Einstufung der Phaeozeme als *degradierte Steppenböden*).

Chernozeme

Eine Mittelstellung nach dem Ariditätsgrad ihrer Vorkommen (etwa 400 bis 550 mm Jahresniederschlag) nehmen die Chernozeme ein. Dies sind Böden mit dunklem (russ. *chern* = schwarz, *zemlja* = Erde), etwa 50 bis 100 cm mächtigem Ah-Horizont, dessen Humusgehalt über 10% betragen kann (bei mitteleuropäischen Schwarzerden: 2 bis 6%). Die generell günstigen Strukturmerkmale und hohen Austauschkapazitäten gehen wesentlich auf die hohen Humusgehalte zurück.

Die Entwicklung des (abgesehen von manchen Andosolen) **einzigartig mächtigen Ah-Horizontes** beruht auf mehreren Faktoren. Dazu zählen

- die Güte des Ausgangsmaterials ($CaCO_3$-haltiges Lockermaterial – häufig Löss),
- das semi-aride und winterkalte (kontinentale) Klima,
- die (ursprünglich) gras- und krautreiche Vegetation (Langgras- bis Mischgrassteppe) sowie
- die vermischende Tätigkeit von Bodentieren (**Bioturbation**).

Unter der jahreszeitlich wechselnden Konstellation dieser Faktoren kommt es einerseits vorübergehend (während der feuchtwarmen Jahreszeiten) zu einer beträchtlichen Produktion an Biomasse (mit günstigem C/N-Verhältnis und damit guter Verwertbarkeit für Kon-

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

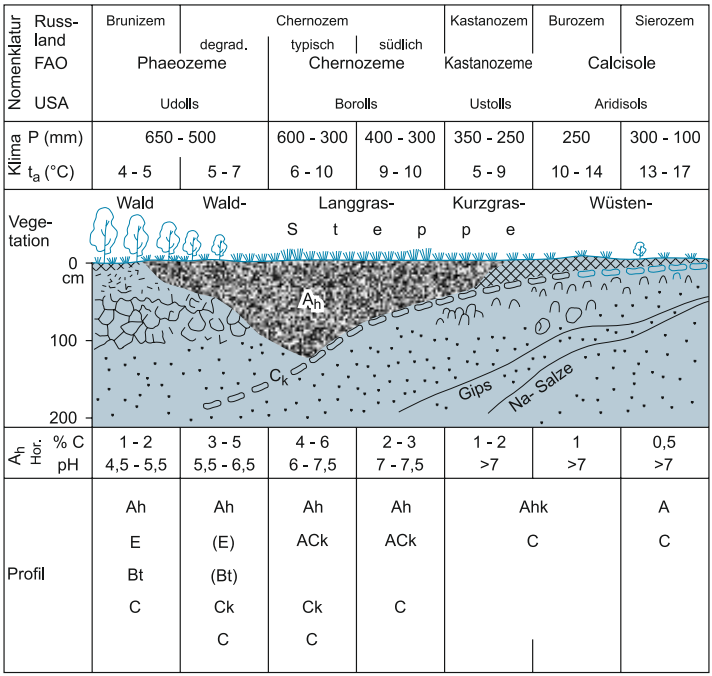


Abb. 10.3
Steppenböden in der Ukraine, in Russland und in den benachbarten Staaten (aus SCHACHTSCHABEL *et al. 1998). Mit zunehmender Aridität nehmen die Mächtigkeit des Ah-Horizonts und dessen Humusgehalt (% C) zunächst zu, dann aber wieder ab. Die übrigen Variablen verändern sich hingegen gleichsinnig mit dem Ariditätsgrad: Die Lessivierung (E) verringert sich, die Gehalte an Kalk (Ck und ACk), Gips und Natriumsalzen sowie der pH-Wert steigen kontinuierlich an.*

sumenten und Detrivore), andererseits zu einer recht lange anhaltenden Hemmung mikrobieller Abbautätigkeit (während der warmtrockenen und der kalten Jahreszeiten). Entsprechend groß ist der Anteil organischer Stoffproduktion, der in die Humus-Akkumulation geht. Deren Einarbeitung in den Boden besorgen dann wühlende Steppentiere wie Hamster, Ziesel, Präriehunde oder auch Regenwürmer.

Kastanozeme

Sie treten unterhalb von etwa 400 mm Jahresniederschlag an die Stelle von Chernozemen und reichen bis etwa 200 mm. Ihre weniger mächtigen Ah-Horizonte sind braun (Name von lat *castanea* = Kastanie; kastanienbrauner Boden; in den USA früher: Chestnut Soil). Regelmäßig finden sich sekundäre Kalk- und Gipsanreicherungen im Profil. Sie liegen höher als bei den Chernozemen. Ein Indiz für die größere Trockenheit ist auch, dass im Unterboden wasserlösliche Salze auftreten können. Die natürliche Vegetation ist eine Kurzgrassteppe.

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

10.4.2 Halomorphe Böden (s. hierzu auch Kap. 10.6.3)

An Standorten mit Neigung zu Staunässe oder mit hohem Grundwasserstand, wo in den humiden und subhumiden Klimaten Gleysole, Planosole, Fluvisole oder Histosole auftreten (siehe Tab. 9.1), finden sich in den Trockengebieten, auch in denen der Tropen, Subtropen und – seltener – Polaren/subpolaren Zone, halomorphe Böden. Darunter werden solche Böden verstanden, deren Gehalte an löslichen Salzen oder Natrium so hoch sind, dass die meisten (Nutz-)Pflanzenarten in ihrem Wachstum beeinträchtigt werden, also kümmern oder durch besser an Salzstress angepasste Arten ersetzt werden, im Extremfall durch ausgesprochene Halophyten mit hoher Salzresistenz.

Solonchake

Solonchake (russ. sol = Salz; chak = Gegend, Gebiet) sind durch hohe Gehalte an leicht (leichter als Gips) wasserlöslichen, sekundär angereicherten Salzen (salic properties) im Oberboden (Az-Horizont; z für Salz) oder Unterboden (Bz-Horizont) gekennzeichnet. Sie werden deshalb auch als *Salzböden* bezeichnet. Trockenzeitlich kommt es zu Salzausblühungen an der Bodenoberfläche (z. B. in Salzpfannen oder ungenügend entsalzten Bewässerungsgebieten) bzw. im Unterboden.

Die **Salze** sind meist Chloride, Sulfate oder (Bi)-Carbonate von Natrium. Die Eigenschaften der Solonchake variieren je nach Art, Menge und Verteilung dieser Salze. Die Bodenreaktion liegt durchweg im deutlich alkalischen Bereich.

Solonetze

Solonetze (rus. solonez = salzhaltig) sind durch eine hohe Na-Sättigung des *Sorptionskomplexes* (>15%) in den oberen 40 cm des argic B-Horizontes (dann natric Horizont = Btn) gekennzeichnet. Daher auch der Name Natriumböden. Trockenrisse führen zu Säulenstruktur.

Solonetze entstehen in der Regel nach Entsalzung von Na-salzreichen Solonchaken infolge von Grundwasserabsenkungen oder auch bei Wechsel zu feuchterem Klima.

10.5 Vegetation und Tierwelt der Steppen

Wie die Tropisch/subtropischen Trockengebiete umfassen auch die Trockenen Mittelbreiten in ihren Kernräumen vollaride *Wüsten* (in Zentralasien) oder zumindest *Halbwüsten* sowie randlich – meist in Form breiter Übergangssäume zu den feuchteren Nachbarzonen – semi-aride Gras-/ Krautfluren oder offene Gehölzformationen mit grasreichem Unterwuchs. Sie werden als *Grassteppen* (in Nordamerika: Prärien) oder Waldsteppen bezeichnet.

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

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

Im Unterschied zu den subtropischen Strauchsteppen und den tropischen Savannen sind die **Grassteppen** der Trockenen Mittelbreiten weithin völlig baumfrei. Das lässt sich möglicherweise nicht allein aus den semi-ariden sowie winterkalten Klimabedingungen (also einer strengen sowohl hygrischen als auch thermischen Saisonalität) erklären, sondern ist vielmehr im Zusammenhang mit den vorherrschenden zonalen Böden (siehe vorstehendes Kapitel) zu sehen: Deren außergewöhnlich hohe Speicherleistungen für pflanzennutzbares Wasser begünstigen die extrem intensiv, aber wenig tief wurzelnden Steppengräser in exzeptioneller Weise gegenüber den gewöhnlich tiefer und extensiv wurzelnden Gehölzen.[2] In den Tropisch/subtropischen Trockengebieten fehlen humusreiche Bodenbildungen (siehe Kap. 13.4), und die Gräser haben weniger dichte Wurzelsysteme. Entsprechend verliert dort der Graswuchs – jedenfalls unter ungestörten Bedingungen – seine Dominanz gegenüber dem Baumwuchs.

10.5.1 Steppentypen, Halbwüsten und Wüsten

In Abhängigkeit von den regional wechselnden Ariditätsgraden haben sich großräumig unterschiedliche Steppentypen herausgebildet. Es sind dies in der Reihenfolge zunehmender Trockenheit (Klimasequenz):

Waldsteppe
Sie tritt in Eurasien als *Ökoton* in den Übergangsbereichen von der Borealen Zone und den Feuchten Mittelbreiten zu den Trockengebieten auf und ist gegenüber den beiden vorgenannten (ursprünglichen) Waldzonen durch lichteren Baumstand und Grasinseln gekennzeichnet. Mit zunehmender Annäherung an die eigentliche Steppe löst sich der Wald immer mehr auf bis schließlich nur noch *Waldinseln* übrig bleiben. Die vorherrschenden Böden gehören zu den Phaeozemen.

Langgrassteppe (Feuchtsteppe, Krautreiche Steppe, Wiesensteppe)
Waldinseln treten zwar noch auf, beschränken sich aber auf steiniges Gelände oder Senken mit Zufluss, erklären sich also aus orohydrologischen, weniger – als bei der Waldsteppe – aus klimatischen Gründen. Die Gräser bilden eine geschlossene Grasnarbe und reichen ausgereift mindestens 50 cm, bisweilen über 150 cm hoch. Kräuter (u.a. aus den Familien der Korbblütler und Leguminosen) sind mit zahlreichen Arten vertreten. Die Blattflächenindices der Krautschicht liegen bei Werten von meist über 1 (die Maxima sogar deutlich darüber) und damit rund doppelt so hoch wie in Kurzgrassteppen.

---

[2] Andererseits brauchen Gräser (früh-)sommerliche Regen (zu ihrer Vegetationszeit). Fehlen diese, so sind sie kaum vertreten, wie in den Winterfeuchten Subtropen.

Mehr als drei Sommermonate sind arid, jedoch ist noch die Mehrzahl der Monate humid (bzw. nival) oder zumindest subhumid (mit Niederschlägen >50% ET_{pot}); die Jahresbilanz (P minus ET_{pot}) ist höchstens knapp negativ. Die Schneeschmelze führt im Frühjahr zu einer guten Bodendurchfeuchtung, so dass bis zum Frühsommer kein Wassermangel besteht. Die PP_N ist vorrangig stickstoff-limitiert. Vorherrschende Bodentypen: Chernozeme.

Mischgrassteppe
Sie kommt in Nordamerika großräumig im Übergangsbereich von Feucht- zu Trockensteppen vor und ist dort durch eine ausgeprägte Schichtung ihrer Grasfluren aus einerseits mittelhohen Arten und andererseits kurzhalmigen Arten der Kurzgrassteppen gekennzeichnet.

Kurzgrassteppe (Trockensteppe, Krautarme Steppe)
Abgesehen von Uferwäldern an Fremdlingsflüssen ist sie völlig waldfrei. Die meisten Gräser haben einen büscheligen Wuchs (Tussockgrasland, Büschelgrassteppe, *tuft-grass steppe*) und erreichen ausgewachsen nur 20 bis 40 cm an Höhe. Die Basen der Horstgräser bedecken zwischen 50 und 80% der Bodenoberfläche. Der Blattflächenindex liegt vegetationszeitlich gewöhnlich unter 1; außerhalb der Vegetationsperiode durchgängig nahe Null.

Sieben bis zehn Monate sind arid oder wenigstens semi-arid. Vegetationsperiode: nur Frühjahr. Vorherrschende Bodentypen: Kastanozeme.

Wüstensteppe
Sinken die jährlichen Niederschläge unter 200 mm, treten Wüstensteppen an die Stelle von Kurzgrassteppen. Vorherrschend sind hier – meist klimabedingt wie auch als Folge von Beweidung – Zwerg- und Halbsträucher. Der Graswuchs ist eher spärlich und selten höher als 20 mm. Die Anteile perenner Gras- und Krautarten sind niedriger, die von annuellen dagegen eher höher als in den ‚echten' Steppen. Der Pflanzenbestand ist mäßig lückenhaft, aber noch über 50% der Fläche (bei Flächenbestand unter 50% sind es Halbwüsten). Meist ist nur 1 Monat humid. Vorherrschende Bodentypen: Xerosole (siehe Seite 232f.).

Die Wüstensteppen werden vielfach (z.B. in Nordamerika) den *deserts* zugerechnet, also zur Gruppe der Wüsten/Halbwüsten gestellt (z.B. West 1983). Dies lässt sich nicht nur mit der Lückigkeit der Bodenbewachsung begründen, sondern auch mit den hohen Anteilen von *holzigen* Pflanzen. *Steppen* sind dann (abgesehen vom Ökoton der Waldsteppen) ausschließlich die *gras- und krautreichen* Formationen der semi-ariden Gebiete, in denen Bäume weithin fehlen. In der spärlichen, artenarmen Vegetation bestimmen Zwergsträucher das Bild.

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

Die meisten Arten gehören zu den Asteraceen (z. B. *Artemis spp.*) oder Chenopodiaceen (z. B. Atriplex spp. Chenopodim spp). Viele von ihnen sind nicht nur xeromorph, sondern auch salzverträglich.

Die folgende Darstellung folgt im Wesentlichen dieser Aufteilung, behandelt also nur die Gras- und Krautsteppen. Für Wüstensteppen, Halbwüsten und Wüsten s. Kap.13.

10.5.2 Lebensformen: Anpassungen an Winterkälte und Sommerdürre

Die Mehrzahl der krautigen Pflanzen gehört zu den **Hemikryptophyten**, doch können auch **Frühlingsgeophyten und -therophyten** in großer Artenzahl vorkommen, in den trockeneren Pflanzenformationen auch Klein- und Zwergsträucher. Die für die beiden ersteren typische Überwinterungsart – nur die im Boden befindlichen (höchstens bis an die Bodenoberfläche reichenden) Pflanzenteile bzw. nur die Samen überdauern – bietet offenbar, insbesondere in Verbindung mit einer (bereits dünnen) Schneedecke ausreichenden Schutz vor **Kältestress**.

Eine größere Belastung bildet hingegen der sommerliche **Dürrestress**. Augenfällig wird dies u.a. daraus, dass die Masse der sich oberirdisch in jedem Frühjahr und Frühsommer neu bildenden Sprossorgane zwischen den einzelnen Jahren je nach der Gunst oder Ungunst des Witterungsverlaufs beträchtlich variiert. Für eine südrussische Kurzgrassteppe wurden beispielsweise Schwankungen der oberirdischen Phytomasse von 4,5 bis 6,3 t ha^{-1} in feuchten Jahren und von 0,7 bis 2,7 t ha^{-1} in trockenen Jahren festgestellt. Die unterirdischen Phytomassen blieben demgegenüber gleich (Walter u. Breckle 1986).

In Kurzgras- und Wüstensteppen kann der primär niederschlagsbedingte Dürrestress durch höhere Salzgehalte im Boden (vgl. Kap. 10.4.2) und entsprechend eingeschränkte Wasserverfügbarkeit verschärft sein (**Salzstress**).

Weitere Stressfaktoren, die in allen Steppen auftreten, sind hoher Beweidungsdruck (früher von Wild-, heute von Nutztieren), eine erhebliche Unzuverlässigkeit der jährlichen Niederschläge, die weite jahreszeitliche Temperaturamplitude und Feuer; letzteres insbesondere in Langgrassteppen.

In Anpassung an Dürre besitzen viele Pflanzen **xeromorphe Merkmale** (vgl. hierzu auch Kap. 13.5.2). Diese sind naturgemäß umso häufiger und ausgeprägter, je weniger Niederschläge fallen. Entsprechend zeigt sich bei den oben genannten Steppentypen in der aufgeführten Reihenfolge, dass die Blätter kleiner und dicker werden, die Epidermis- und Schließzellen an Größe abnehmen, sich die Zahl der Stomata pro Blattfläche vermehrt, die Dichte der Blattaderung steigt und immer mehr Arten zum Einrollen (Falten) ihrer Blätter befähigt sind. Viele Sträucher verlieren ihr Laub (was aber auch als Antwort auf Winterkälte geschieht).

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

Da die mineralischen Nährstoffe mit dem Wasser aus dem Boden aufgenommen werden, hat ein eingeschränktes Wasserangebot zugleich eine **reduzierte Nährstoffaufnahme** zur Folge. Das heißt, es kommt zu Engpässen für die Produktion an zwei Fronten, und zwar sowohl beim photosynthetischen Gaswechsel (wegen Schließung der Spaltöffnungen bei Dürrestress) als auch bei der sekundären Stoffsynthese (wegen Mineralstoffmangels).

10.5.3 Tierwelt und Tierfraß

Alle Steppen sind – oder waren ursprünglich – tierreich. Sowohl in der Alten als auch in der Neuen Welt traten **Ungulaten** (Huftiere) in großen Herden auf. In eurasischen Steppen waren dies Wildpferde (Tarpane) und Saiga-Antilopen, in den Steppen Ostpatagoniens Guanakos und Pampahirsche, und in den nordamerikanischen Prärien Bisons, Gabelantilopen und Hirsche sowie im 18. Jahrhundert einige Millionen Mustangs (Nachkömmlinge der von spanischen Expeditionen während des 17. Jh. entlaufenen Pferde).

Zu den kleineren **Säugern**, die sich in den noch einigermaßen intakten Steppengebieten bis heute in großer Dichte erhalten haben, gehören Hasen, Kaninchen und viele Nagetiere wie z.B. Ziesel, Hamster, Präriehunde, Meerschweinchen und zahlreiche Mäusearten.

Ungulaten und Nager tragen als Herbivore (oder – bei Nagern – vielfach Omnivore) erheblich zu den Umsätzen im Steppenökosystem bei: Ihr Fraß, solange maßvoll, regt die Primärproduzenten zu einer erhöhten Erzeugung von Sprossmasse an (die Verluste werden überkompensiert) und beschleunigt deren späteres Recycling. Für die kleinen Nager sind periodische Massenvermehrungen im Abstand mehrerer Jahre charakteristisch, zu deren Spitzenzeiten dann bis zu 90% der Pflanzenmasse gefressen werden können. Einige **Vogelarten** sind (oder waren) als Körnerfresser (der Grassamen) bedeutsam, so z.B. aus der Gruppe der Rauhfußhühner und Trappen.

Unter den **Invertebraten** (Wirbellosen) sind Heuschrecken die wichtigsten Herbivoren. Sie können bis zu 25% der oberirdischen Pflanzenproduktion fressen. Nächstbedeutend sind mehrere Käferarten (u.a. Rüsselkäfer) und Schmetterlingsraupen.

Zu den auffälligen **Carnivoren** der Steppen gehören Coyoten, Dachse, mehrere Wieselarten und zahlreiche Greifvogelarten. Nirgends sonst (außer vielleicht in manchen Savannen) dürften Adler, Bussarde, Milane, Weihen und Falken in ähnlich hoher Artenzahl und Dichte auftreten: Sie sind damit ein ebenso augenfälliger Bestandteil der Steppenlandschaft wie eindeutiger Hinweis auf den Reichtum an kleinen und mittelgroßen Herbivoren (ihren Beutetieren).

10.5.4 Phytomasse, Primärproduktion und Zersetzung

Gemessen an der geringen Phytomasse ist die Produktion der Steppen mit (je nach Steppentyp) 2 bis 15 t ha^{-1} a^{-1} außerordentlich hoch

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

(mit Langgrassteppen an der Spitze). Davon geht der größte Teil in die Wurzelmasse. In Wald- und Langgrassteppen, in denen Wälder und Grasfluren unter ähnlichen klimatischen (lediglich edaphisch abweichenden) Bedingungen vorkommen, lassen sich die Produktionsleistungen direkt vergleichen. Dabei zeigt sich, dass beide Formationen in etwa gleich flächenproduktiv sind, obwohl die Phytomassen der Wälder um das 10- bis 15fache höher liegen.

Die Steppen produzieren ökonomischer, da sie oberirdisch keine unproduktiven (nur atmenden, also verbrauchenden) verholzten Achsen bilden, sondern **ausschließlich photosynthetisch aktive Organe** (im Vergleich mit den Bäumen ist bei den Gräsern allerdings der Wurzelanteil relativ höher). Günstig ist auch die vergleichsweise **ausgeglichene Lichtverteilung innerhalb der Grasschicht** (Abb. 10.4): Aufgrund der vorwiegend steil gestellten Blätter erreicht noch wenigstens die Hälfte der photosynthetisch verwertbaren Strahlung die Mitte des Bestandes (*Extinktionskoeffizient* ≤ 0,5). In Wäldern ist der Lichtabfall (*Strahlungsattenuation*) durchweg stärker; bei ihnen gelangen oftmals nur etwa 10% des Außenlichtes in den Stammraum (vgl. Abb. 9.3 und 9.4).

Für alle (also auch tropischen) Grasfluren, in denen das Wasserangebot zumindest zeitweilig im Minimum steht, gilt die Regel, dass sich die regionalen Größenunterschiede von oberirdischer Phytomasse und Primärproduktion direkt mit den jährlichen oder vegetationszeitlichen Niederschlagsmengen (oder den ihnen gewöhnlich entsprechenden Längen der Vegetationsperiode oder den tatsächlichen Verdunstungsmengen) korrelieren lassen (Abb. 10.5; siehe auch Abb. 13.12 und 14.10). Diese Korrelation zeigt sich sowohl im zeitlichen Vergleich (von unterschiedlich regenreichen Jahren am selben Ort) als auch im räumlichen Vergleich (von im langjährigen Mittel unterschiedlich regenreichen Orten). In nordamerikanischen Steppen fand Risser (1988), dass pro Millimeter (mittlerer) Jahresniederschlag rund 5 kg an oberirdischer Phytomasse je Hektar erzeugt wurden. Zur **Regennutzungseffizienz** tropischer und subtropischer Grasfluren (vgl. Seiten 245f. und 272f.).

Da die oberirdische Phytomasse zum größten Teil spätestens im Herbst abstirbt, ist die **Streuanlieferung** in jedem Jahr etwa so hoch wie die oberirdische PP_N des gleichen Jahres. Der Abbau dieser (grundsätzlich leicht zersetzbaren) Streu erfolgt rasch, überwiegend innerhalb eines Jahres, durch eine überaus reiche Bodenflora und -fauna; in der Letzteren

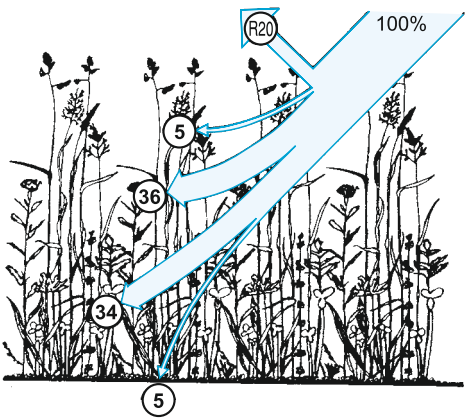


Abb. 10.4
Strahlungsabschwächung in einer Wiese (Cernusca 1975). Im Unterschied zu Wäldern dringt ein hoher Lichtanteil tief in den Pflanzenbestand ein (noch >50% des Außenlichtes bis zur Mitte der Grasschicht).

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

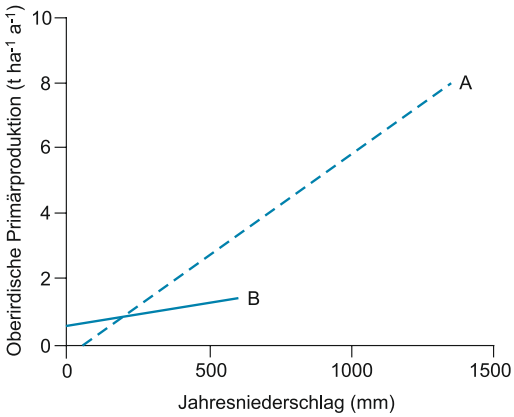


Abb. 10.5
Die Beziehung zwischen oberirdischer Primärproduktion und jährlichen Niederschlägen in nordamerikanischen Steppen (Lauenroth u. Sala 1992). Die Kurve A zeigt die Produktionsunterschiede, wie sie sich an den verschiedenen Orten der Central Grassland Region der USA in Abhängigkeit von deren mittleren Jahresniederschlägen herausgebildet haben. Die Kurve B zeigt demgegenüber, wie sich die Produktion einer Kurzgrassteppe an einem bestimmten Ort im nördlichen Colorado im Laufe eines längeren Zeitraumes (Langzeitversuch) mit den von Jahr zu Jahr wechselnden Niederschlägen ändert. B steigt langsamer an als A, da die jeweils in Anpassung an die mittleren Niederschläge ihrer Standorte entstandenen Vegetationsstrukturen nur zu einer begrenzten und über mehrere Jahre verzögerten Reaktion auf Regenüberschüsse in einzelnen Jahren fähig sind. Keinerlei Beziehung besteht zwischen der PP_N und Temperaturunterschieden in einzelnen Jahren.

ist auch die Makro- und Megafauna gut vertreten. Es kommt daher nirgends zu größeren Streuauflagen. Und wenn doch, wie in den hochproduktiven Langgrassteppen, „helfen" Grasbrände bei der Zersetzung. So legen z. B. die meisten Rancher auf ihren Weidearealen meist in jedem Frühjahr Feuer und beschleunigen damit die Erwärmung des dunklen Bodens. So gewinnen sie einen früheren Beginn der Beweidungszeit.

Die **Lebensdauer der unterirdischen Phytomasse** ist zwar länger als die der oberirdischen; beträgt aber im Höchstfall auch nur wenige (maximal vier) Jahre. Das heißt, auch die Wurzelmasse wird relativ schnell umgesetzt.

Damit ergibt sich für das **Steppen-Ökosystem der einzigartige Fall**, dass (1) außerordentlich kurze, fast einjährige Stoffkreisläufe und Energieflüsse bestehen und (2) dementsprechend in Annäherung Steady-State-Verhältnisse vorliegen (Abb. 10.6). In allen übrigen Ökozonen einschließlich Tundra und Wüste wird jeweils über längere Zeit gehortet, das heißt, Energie und Mineralstoffe in Form von langlebigen verholzten Bestandszuwächsen oder/und schwer zersetzbaren Abfällen festgelegt, ehe dann, in einer Alterungsphase (Zerfallsphase) oder als Folge extremer Bedingungen, z.B. durch Feuer, Windbruch oder extreme Trockenjahre, eine eher schlagartige Rückführung größerer Vorratsanteile erfolgt.

10.5.5 Mineralstoffvorräte und -umsätze

Graslandökosysteme sind auch insofern einzigartig, als ihre Phytomassen weit überdurchschnittlich hohe Mineralstoffgehalte enthalten. Alle organischen Umsätze sind daher mit beträchtlichen mineralischen Umsätzen verbunden. Die Mineralstoffkreisläufe bei den produktionsstarken Langgrassteppen übertreffen diejenigen aller anderen zonalen Ökosysteme nach Menge der beteiligten Stoffe und

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

nach der Schnelligkeit des Durchgangs. Bei den trockeneren Grassteppen gilt dies zumindest in Relation zur Größe der organischen Umsätze.

Nach den von TITLYANOVA u. BAZILEVICH (1979) für mehrere Steppen zusammengestellten Zahlen liegen die **Gehalte an N, K, Ca, Mg und P** in den lebenden Sprossen im Durchschnitt bei etwa 4 bis 5%,

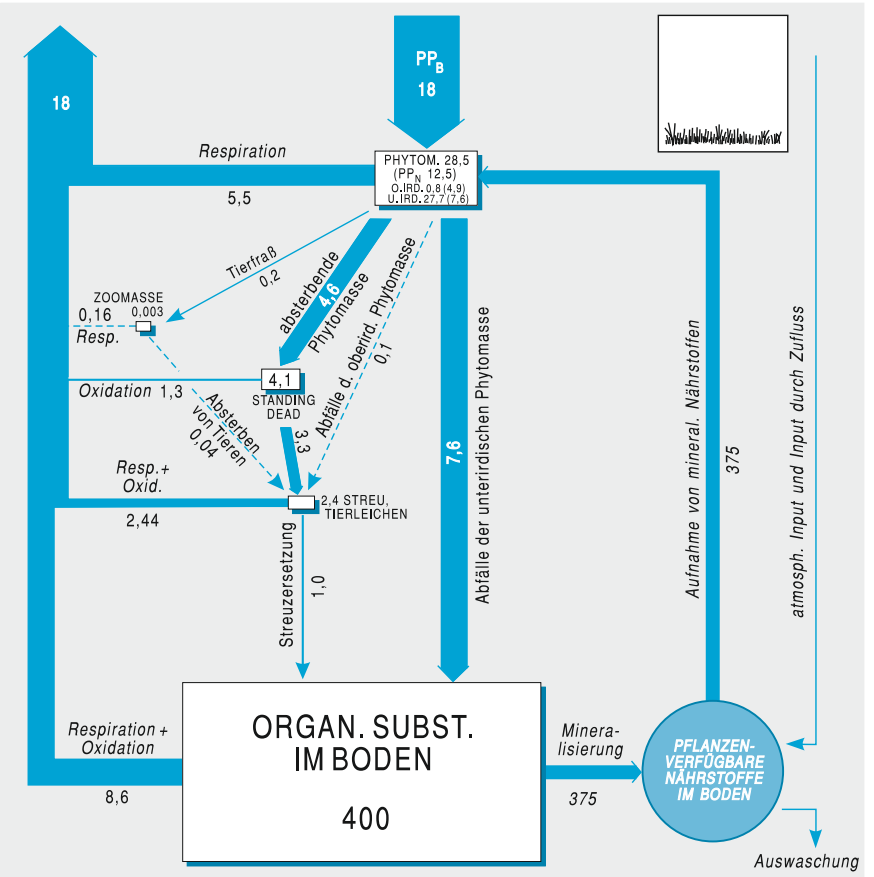


Abb. 10.6
Vereinfachtes Ökosystem-Modell einer winterkalten Steppe. Die Zahlen (= Mittelwerte) entstammen einer Untersuchung, die 1968 bis 1972 in der Prärie bei Matador/Kanada durchgeführt wurde (COUPLAND u. VAN DYNE 1979); gestrichelt: geschätzte Ergänzungen. Zum Modellschema siehe Kap. 5.2. Die mittlere Sprossmasse beträgt 0,8 t ha^{-1}, die oberirdische PP_N 4,9 t ha^{-1} a^{-1}. 1,3 t ha^{-1} der jährlichen Sprossproduktion gehen unmittelbar über Abbauprozesse in der Standing Dead verloren, gelangen also nicht in die Streu und damit nicht zu den am Boden lebenden Heterotrophen. Entsprechend wird die Standing Dead, abweichend vom sonst verwendeten Schema, als separates Kompartiment dargestellt. Charakteristisch für das Steppenökosystem ist, dass (1) die Wurzelmasse viel größer als die Sprossmasse ist, (2) die Stoff- und Energieflüsse absolut und erst recht in Bezug zur Biomasse hoch sind und (3) der weitaus größte Teil organischer Substanz in Form von Humus vorliegt.

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

in den Wurzeln bei etwa 2 bis 3%. Die Gehalte steigen mit zunehmender klimatischer Trockenheit und Salzkonzentration im Boden. Zu den genannten Elementen können – insbesondere bei Gräsern – höhere Gehalte an Si, auf salzigen Standorten an S, Cl und Na hinzukommen. Gegenüber den grünen Sprossen haben die Standing Dead und Streu geringere Anteile an K, Cl, Na und S, dagegen höhere Anteile an Si, Fe und Al.

10.6 Landnutzung

Alle Trockengebiete, also auch die tropisch/subtropischen, sind landwirtschaftlich unergiebig und dementsprechend dünn besiedelt. Die einzige Ausnahme stellen die Steppen dar, die zwar nach der Zahl der Bewohner ebenfalls eher zu den ‚Leerräumen' der Erde gehören, aber seit langem fast vollständig agrarisch genutzt werden, sofern die Böden nicht halomorph sind (s. u.). Die Formen, in denen dies geschieht, sind bei hohem Kapitaleinsatz großbetrieblich und flächenextensiv. Angebaut wird Getreide; ansonsten wird Ranching betrieben. Ersteres dominiert in den früheren Langgras- und Mischgrassteppen. Letzteres überwiegt in den Kurzgras- und Wüstensteppen (Abb. 10.7). Dazwischen liegt die **agronomische Trockengrenze,** d. i. hier die Grenze, bis zu der die Regenmengen einen einigermaßen ertragssicheren Getreidebau gerade noch erlauben. In den wärmeren südlichen Steppengebieten sind dies jährlich 300 bis 350 mm, in den kühleren nördlichen Steppengebieten 250 bis 300 mm. Bei Anwendung moderner Nutzungstechniken (s. u.), Aussaat trockenresistenter (wassernutzungseffizienter; siehe Seite 73f.) Arten oder Sorten und unter Ausnutzung der hohen nutzbaren Feldkapazitäten der Böden (siehe Seite 45f.) mittels Einschaltung von Schwarzbrachen kann der Regenfeldbau aber auch noch bei geringeren Jahresniederschlägen betrieben werden. Dies ist überall in der Welt passiert. Heute dominiert der Ackerbau bis weit in die früheren Kurzgrassteppen hinein. Und die Umwandlung vormaliger Langgrassteppen in Ackerland ist überall nahezu komplett geschehen.

10.6.1 Großbetriebliche Getreidewirtschaft

Wichtigste Marktfrucht ist der **Weizen**. Der Anbau erfolgt durch Großbetriebe auf sehr großen Schlägen (Großflächenbewirtschaftung), unter Einsatz von Maschinen-Größtaggregaten mit minimalem Arbeitseinsatz (kapitalintensive, arbeitsextensive Bewirtschaftung). Mit dieser **Organisationsform einer hochgradig kommerzialisierten und mechanisierten großflächigen Produktion** konnten die Erzeugungskosten des Weizens so weit gesenkt werden, dass sich der Getreidebau im Wettbewerb mit der früher in den Steppen und Prärien betriebenen extensiven Weidewirtschaft weithin durchsetzen konnte.

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

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

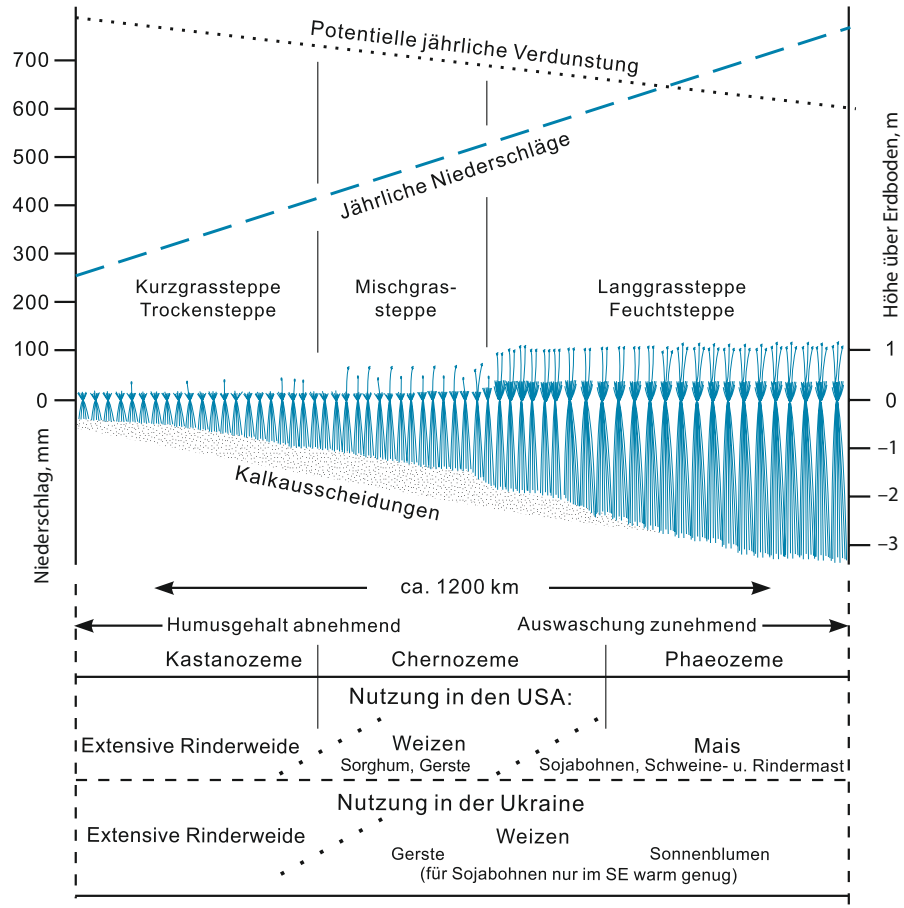


Abb. 10.7
Die agrare Nutzung der Kurzgras- und Langgrassteppengebiete in der Ukraine und in Nordamerika (JÄTZOLD 1984). Der großflächige Getreidebau dominiert in den früheren Mischgrassteppen und den trockenen Randzonen der früheren Langgrassteppen, die extensive Weidewirtschaft in den Kurzgrassteppen. Der amerikanische Maisgürtel fällt in die Langgrassteppengebiete.

Der heutzutage in den Steppengebieten (teilweise auch der Subtropen) erzeugte Weizen leistet einen **beträchtlichen Beitrag zur Ernährung der Menschheit** (auch weit abgelegener Erdteile). Möglich wurde dies durch einige natürliche Vorteile. Dazu gehören die ausnehmend gute Bodenfruchtbarkeit der (nicht-halomorphen) Steppenböden, die hohe Sonneneinstrahlung und das weithin flache Gelände, das den Großmaschineneinsatz und damit die großbetriebliche Bewirtschaftung begünstigt.

In den Grenzgebieten des Regenfeldbaus muss allerdings, sofern nicht auf trockenresistente Nutzpflanzen wie Hirse, Erdnüsse, Kichererbsen oder Sesam ausgewichen wird, das **Dry-Farming-System (Trockenfarmsystem)** angewendet oder künstlich bewässert werden. Beim Dry Farming schalten die Betriebe für einzelne Jahre **Schwarzbrachen** (Bracheflächen ohne Pflanzenbewuchs) ein, was die Verdunstung reduziert und somit Wasserreserven im Boden ent-

stehen lässt. Hiervon profitieren die Feldkulturen des nachfolgenden Jahres.

Je nach Niederschlagsdefiziten sind solche Brachen für jedes zweite, dritte oder vierte Jahr nötig. Entsprechend verändern sich die Flächenanteile der Brachen an den Anbauflächen von 50% über 33% auf 25%. Den Effekt der Brache auf die unterschiedlichen jährlichen Flächenerträge zeigt die Abb. 10.8.

Anstelle von Schwarzbrachen können **bedeckte Brachen**, beispielsweise Viehweiden aus flach wurzelndem Klee, angelegt werden. Nach mehreren Jahren erhöht sich auch unter ihnen der Wasservorrat im Boden.

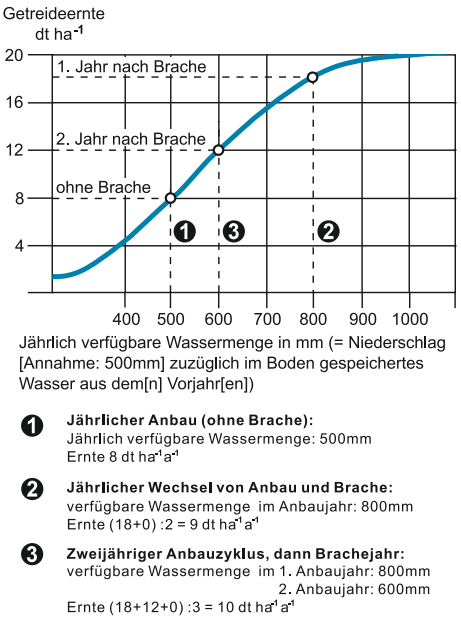


Abb. 10.8
Der Effekt der Brache im Dry-Farming-System (ANDREAE 1983). Im gezeigten Beispiel werden auf Dauer mit der Fruchtfolge 3 die höchsten Flächenerträge erzielt. Die jährlichen Niederschlagssummen sind mit 500 mm angesetzt.

10.6.2 Extensive stationäre Weidewirtschaft und Wildbewirtschaftung

Extensive Weidewirtschaften werden in den Trockengebieten der Erde in Form einer (halb-)nomadischen Viehhaltung oder eines stationären Ranching betrieben. Die Erstere ist die traditionelle Nutzungsform Altweltlicher Trockengebiete von den Wüsten bis zu den Steppen bzw. Savannen, hat in den beiden letzteren aber erheblich an Bedeutung verloren. Ihre Hauptverbreitung liegt heute in den Tropisch/subtropischen Trockengebieten, entsprechend soll sie im Kapitel über jene Ökozone behandelt werden (siehe Kap. 13.6.1). Das **Ranching** ist hingegen die moderne, vollständig kommerziell ausgerichtete Form einer extensiven Weidewirtschaft, die von europäischen Siedlern in Amerika und Australien entwickelt und von dort in einige Gebiete der Alten Welt (z.B. südliches Afrika) übertragen wurde. Die Verbreitungsschwerpunkte liegen in den Kurzgrassteppen der mittleren Breiten und der Subtropen. Dies rechtfertigt die Behandlung an dieser Stelle.

Das Ranching steht, wie der Nomadismus, in Konkurrenz mit dem Ackerbau und ist dabei, ähnlich wie jener, meist unterlegen gewesen und in immer trockenere Räume abgedrängt worden: Der Ackerbau wird gewöhnlich wettbewerbsfähiger, sobald die jährlichen Niederschläge für eine Produktion an Grünmasse (*Weideertrag*, pasture yield) ausreichen, die eine mittlere Besatzdichte (*Viehbesatz*, mean stocking density) von 30 bis 40 GVE pro 100 ha Weidefläche zulassen würde.

Typische Merkmale des Ranching:

- Extrem große Betriebsflächen von 500 bis l00.000 ha. Die Einheiten sind umso größer, je weniger die Flächen hergeben. Die größten Betriebe liegen dementsprechend in den trockensten Gebieten.

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

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

- Meist Rinderhaltung. In den trockensten Gebieten auch Schafhaltung (z.B. Karakul-Schafe in Namibia); gelegentlich in Verbindung mit Wildbewirtschaftung (z.B. Bisons in Nordamerika; s.u.).
- Häufigstes Verkaufsprodukt sind Schlachttiere (in der Regel von einer einzigen Tierrasse).
- Dem Vieh stehen ausschließlich oder überwiegend Naturweiden zur Verfügung. Ergänzend mögen besser geeignete Futtergräser ausgesät werden.
- Die Beweidung erfolgt kontrolliert auf großen eingezäunten Koppeln. Die scheinbar endlosen, schnurgerade gezogenen Stacheldrahtzäune sind oftmals das einzige oder zumindest das auffälligste Zeichen dafür, dass in den durchweg weitläufigen, relativ naturbelassenen Gebieten überhaupt eine Nutzung in Form des Ranching erfolgt.
- Hohes Risiko durch dürrebedingten Futtermangel.
- Viehbesatz, Arbeits- und Kapitaleinsatz sowie Betriebsertrag sind, bezogen auf die Fläche, extrem niedrig (nur beim Nomadismus ist die Flächenproduktivität noch geringer). Sehr hoch ist demgegenüber die Arbeitsproduktivität.
- Hoher Kapitaleinsatz (Investitionsaufwand) für die Einrichtung einer Ranch.

Die höchste Besatzdichte (Bestockungsdichte), die ohne Ressourcenschädigung möglich ist (= *optimale Besatzdichte*), d.i. die Belastbarkeit oder **Tragfähigkeit** (*carrying capacity*) einer Weide, ergibt sich in erster Näherung aus der oberirdischen Primärproduktion geeigneter Futterpflanzen (= Weide- oder Futteraufwuchs). Deren Maximum wird wiederum primär von der Niederschlagsmenge begrenzt (Abb. 10.5). In den meisten Fällen liegt die **Regennutzungseffizienz** (*rain use efficiency*) zwischen 3-und 6 kg ha^{-1} a^{-1} Trockenmasse pro Millimeter Jahresniederschlag.

Für die westlichen USA lassen sich aus dem Vergleich zweier Karten (Andreae 1983), von denen die eine die Weidefläche je Rind und die andere die Verteilung der Jahresniederschläge zeigt, grob die in Tab. 10.1 dargelegten Relationen ableiten.

Bei derartigen Kalkulationen ist allerdings zu berücksichtigen, dass sich mit steigendem **Beweidungsdruck** (= Anzahl der Großvieheinheiten pro Einheit Futtermenge) eine Änderung in der Steppenflora einstellen mag, wenn die Weidetiere Präferenzen für bestimmte Pflanzenarten zeigen (selektive Defoliation) oder unterschiedliche Empfindlichkeiten der Pflanzenarten gegenüber Defoliation bestehen. Entsprechend könnte sich der Futterwert der Pflanzenproduktion und damit die Weideleistung mit Fortgang der Nutzung erheblich mindern.

Ein weiteres Problem kann sich daraus ergeben, dass – z. B. in besonders regenarmen Jahren – eine Überweidung auftritt, die letztlich zu einer Degradation der Naturweiden und damit zu einer vielleicht

Tab. 10.1. Rinder-Besatzdichten in den westlichen USA, in Abhängigkeit von Regenfällen (Pieper 2005).

Jahresniederschlag	GVE pro 100 ha
< 250 mm	5
250 bis 500 mm	8 bis 10
500 bis 750 mm	25

vieljährigen Minderung der vormaligen Tragfähigkeit führt. Noch problematischer wird es, wenn es unter dem Tritt der schweren Rinder zu einer **Bodenverdichtung** kommt. Dies vermindert die mögliche Infiltrationsrate für Regenwasser, was einerseits am Ort der Regenfälle zu Verlusten bei der Wasseraufnahme des Bodens führt und andererseits Anlass zu Overland Flows und Gully Erosion gibt. Deren Häufigkeit und Wirksamkeit erhöhen sich, wenn **Crusting** (Bodenversiegelung) durch Splash-Effekte von Regentropfen auftritt oder Cyanobakterien (Blaualgen) die einzelnen Bodenpartikel zu einer Kruste „verbacken" (= biological soil crusts).

Manche der genannten Probleme stellen sich nicht (oder nicht in derselben Schärfe), wenn eine **Wildtierbewirtschaftung** an die Stelle von Haustierhaltung tritt. Allerdings ist ein solcher Wechsel mit anderen (insbesondere ökonomischen) Problemen verbunden. Die bis heute in Steppen betriebene Nutzung von Wildtieren ist daher über einzelne Anfänge nicht hinaus gelangt. Grundsätzlich geeignet zu sein scheinen Bisons in Nordamerika und Guanakos in Patagonien.

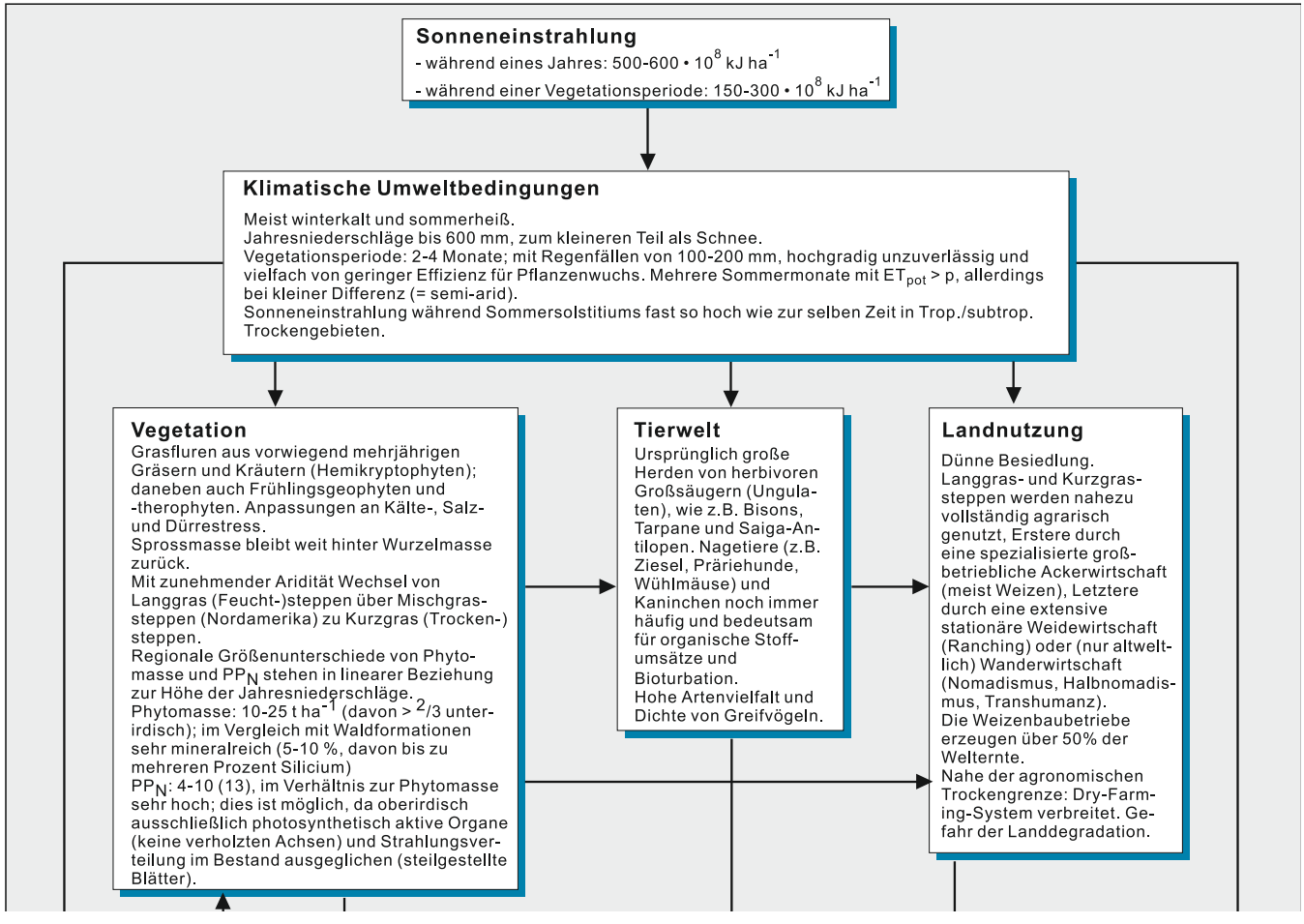
10.6.3 Nutzbarkeit von halomorphen Böden

Auf Solonchaken ist eine **pflanzenbauliche Nutzung** nach Auswaschung der Salze möglich. Bei Bewässerung wird allerdings häufig neues Salz zugeführt. Eine Ausspülung mit Frischwasser kann dort erfolgreich sein, wo der Untergrund durchlässig ist und der Grundwasserspiegel tief liegt oder ein Kanalsystem für die Ableitung von überschüssigem Wasser verfügbar ist.

Bei Solonetzen sind die Nutzungspotentiale für den Feldbau sehr viel geringer. Ungünstig sind u.a. die stark alkalische Reaktion, mit Quellung und Schrumpfung verbundene bodenmechanische Vorgänge (teils breiiger, kohärenter Zustand mit schlechter Durchlüftung (O_2-Mangel) und Wasserstau, teils harte Schollen mit Schrumpfrissen nach Austrocknung) und die geringe Verfügbarkeit von Nährelementen. Außerdem wirken hohe Na-Konzentrationen toxisch auf die meisten Nutzpflanzen. Durch Gipszufuhr ist gelegentlich ein Austausch der Na- gegen Ca-Ionen (mit anschließender Ausspülung des neugebildeten leicht löslichen Na-Sulfats) möglich. Ansonsten kommt es zumeist zu keiner Nutzung, allenfalls zu einer extensiven Beweidung.

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

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



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

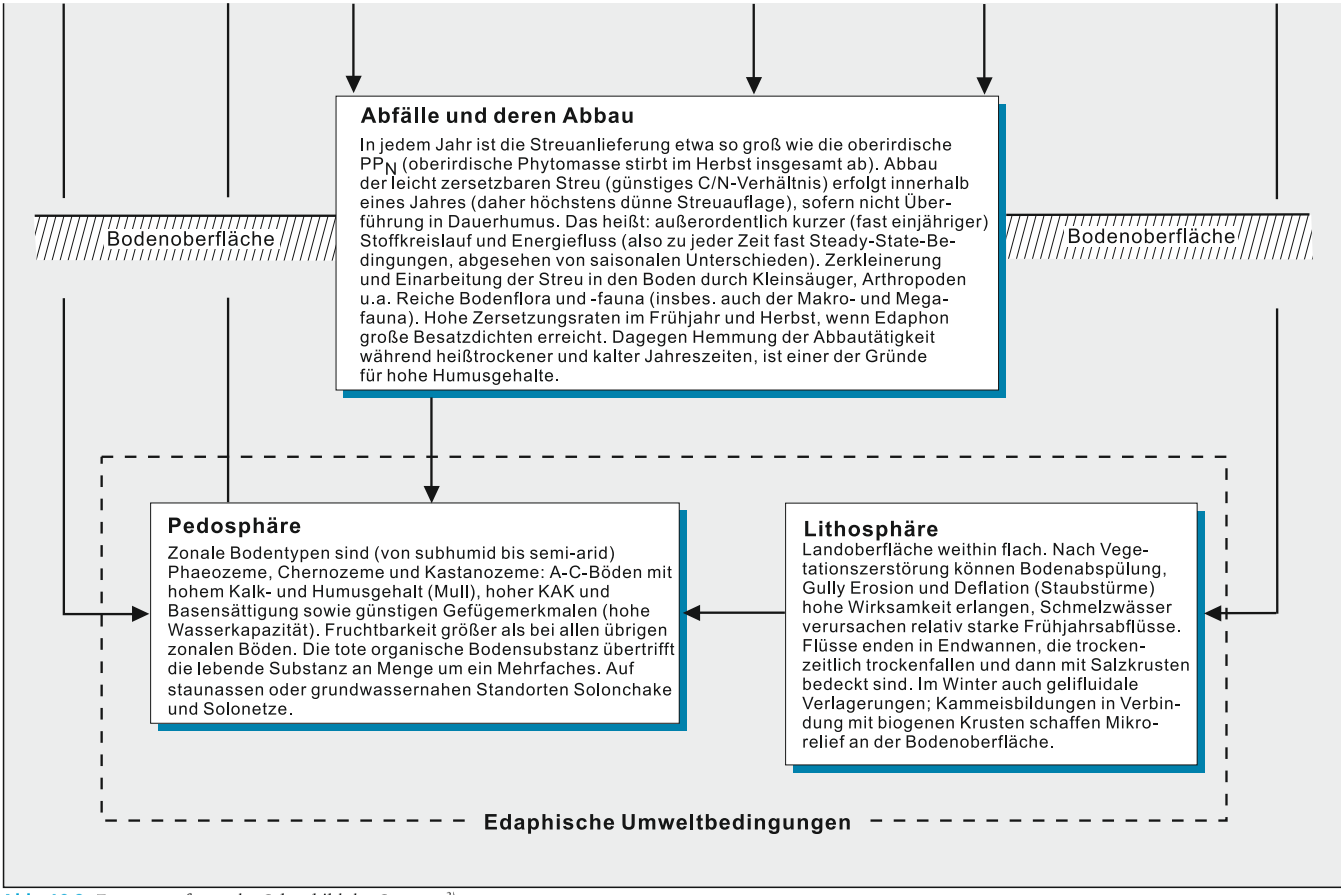


Abb. 10.9 *Zusammenfassendes Schaubild der Steppen.*[3)]

[3] Die Wüsten und Halbwüsten der Trockenen Mittelbreiten sind in Abb. 13.16 miterfasst.

Literatur zu Kap. 10

Ahnert, F. (2015): Einführung in die Geomorphologie. Ulmer, Stuttgart (5. A.), 458 S.

Allen, M. S. & Palmer, M.W. (2011): Fire history of a prairie/forest boundary: more than 250 years of frequent fire in an North American tallgrass prairie. *Journal of Vegetation Science* 22, 436–444.

Anderson, R.C. (2006): Evolution and origin of the central Grassland of North America: climate, fire, and mammalian grazers. *Journal of the Torrey Botanical Society* 133, 626–647.

Andreae (1983), *s.* Lit. zu Kap. 6.

Breckle, S.-W., Veste, M. und Wucherer, W. (eds.) (2001): Sustainable Land Use in Deserts. Springer, Berlin, 465 S.

Breckle, S.-W., Yair, A. und Veste, M (eds.) (2008): Arid dune ecosystems. The Nizzana Sands in the Negev Desert. *Ecol. Studies* 200. Springer, Berlin, 475 S.

Bresinsky, A., Körner, C., Kadereit, J. W. et al. (2008): Strasburger. Lehrbuch der Botanik. Spektrum Akademischer Verlag, 1176 S.

Breymeyer, A. I. und Van Dyne, G. M. (eds.) (1980): Grasslands, systems analysis and man. *Intern. Biol. Progr*. 19. Cambridge University Press, Cambridge, 950 S.

Briggs, J. M., Knapp, A. K., Blair, J.M. et al, (2005): An ecosystem in transition: Causes and consequences of the conversion of mesic grassland to shrubland, Bioscience 55, 243–254.

Burke, I. C., Yonker, C. M., Parton, W. J., Cole, C. V., Flach, K. und Schimel, D. S. (1989): Texture, climate, and cultivation effects on soil organic matter content in U.S. grassland soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 53, 800–805.

Cernusca, A. (1975): Eine neue Ausbildungsmethode für Umweltforschung. *Umschau* 75, 242–245.

Coupland, R. T. (ed.) (1979): Grassland ecosystems of the world: analysis of grasslands and their uses. *Intern. Biol. Progr*. 18. Cambridge University Press, Cambridge, 401 S.

– und Van Dyne, G. M. (1979): Natural temperate grasslands: Systems synthesis. In: Coupland, 97–106.

– (ed.) (1992, 1993): Natural grasslands. *Ecosystems of the World* 8A und 8B. Elsevier, Amsterdam, 469 S., 556 S.

Donita A, N., Karamyseva, Borhidi, A. & Bohn, U. (2003): Formation L Waldsteppen (Wiesenstepen im Wechsel mit sommergrünen Laubwäldern) und Trockenrasen im Weschel mit Trokengebüschen. In Bohn, U., Neuhäusl, R., Gollub, G. et al. (Hsg), Karte der natürlichen Vegetation Europas 1:2.500.000. Teil 1. Landwirtschaftsverlag, Münster, S. 426–444.

French, N. R. (ed.) (1979): Perspectives in grassland ecology. *Ecol. Studies* 32. Springer, Berlin, 204 S.

Guttermann, Y. (2002): Survival strategies of annual desert plants. Springer, Berlin, 348 S.

Hornetz, B. und Jätzold, R. (2003): *s.* Lit. zu Allg. Teil.

Hutchinson, Ch. F. und Herrmann, S. M. (2008): The future of arid lands – revisited. A review of 50 years of drylands. *Advances in Global Change Research* 32, 228 S.

Jätzold, R. (1984): Steppengebiete der Erde. *Praxis Geogr.* 14, 10–15.

Knapp, A. K., Briggs, J. M., Blair, J. M. et al. (1998): Patterns and Controls of Aboveground Net Primary Production in Tallgrass Prairie. In Knapp, A. K., Briggs, J. M., Hartnett, D. C. & Collins, S. L. (eds.), Grassland Dynamics. Long-term Ecological Research in Tallgrass Prairie. Oxford University Press, New York, pp. 193–221.

Knapp, A. K., McCarron, J. K., Silletti, A. M. et al. (2008): Ecological Consequences of the Replacement of Native Grassland by Juniperus virginiana and Other Woody Plants. In Van Auken, O. W. (ed), Western North American Juniperus Cummunities. A Dynamic Vegetation Type. Ecological Studies 196,. 156–169.

Lane, D. R., Coffin, D. P. & Lauenroth, W. K. (1998): Effects of soil texture and precipitation on aboveground net primary productivity and vegetation structure across the Central Grassland region of the United States. Journal of Vegetation Science 9, 239–250.

Lane, D. R., Coffin, D. P. & Lauenroth, W. K. (2000): Changes in grassland canopy structure across a precipitation gradient. Journal of Vegetation Science 11, 359–368.

Lauenroth, W. K. und Sala, O. E. (1992): Long-term forage production of North American shortgrass steppe. *Ecol. Applications* 2, 397–403.

Lauenroth, W. K., & Burke, I. C. (2008): Ecology of the Short Grass Steppe. A Long-Term Perspective. Oxford University Press, New York, 522pp.

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

Lauenroth, W. K., Milchunas, D. G., Sala, O.E. et al. (2012): Net Primary Production in the Shortgrass Steppe. In Lauenroth, W. K. & Burke, I. C. (eds), Ecology of the Short grass Steppe. A Long-Term Perspecitve. Oxford University Press, New York, pp. 270–305.

Mabberley, D. J. (2008): Mabberley's Plant-Book. 3rd Edition. Cambridge University Press, Cambridge, S.1021.

Paruelo, J. M., Jobbággy, E. G., Oesterheld, M. et al (2007): The Grasslands and Steppes of Patagonia and the Rio de la Plata Plains. In Veblen, T. T., Young, K. R. & Orme, A.R. (eds), The physical geography of South america. Oxford University Press, Oxford, 232–248.

Pieper, R. D. (2005): Grasslands of central North America. In Suttie, J. M., Reynolds, S. G. & Batello, C. (eds), Grasslands of the World. Plant Production and Protection Series (FAO, Rome) 34, 221–263.

Risser, P. G., Goodall, D. W., Perry, R. A. und Howes, K. M. W. (eds.) (1981): The true prairie ecosystem. *US/IBP Synthesis Ser*. 16. Dowden, Hutchinson and Ross, Stroudsburg, 557 S.

Schachtschabel et al. (1998), *s.* Lit. zu Kap. 4.

Scheintaub, M. R., Derner, J. D., Kelly E. F. et al. (2009): Response of the shortgrass steppe plant community to fire. Journal of Arid Environments 73, 1136–1143.

Schönbach, P., Wan, H., Gierus, M. et al. (2011): Grassland Responses to grazing: effects of grazing intensity and mangemnet system in an Inner Mongolian stepe ecosystem. Plant and Soil 340, 103–115.

Sims, P. L., Singh, J. S. und Lauenroth, W. K. (1978): The structure and function of ten western North American grasslands. *J. Ecol.* 66, 251–285 und 547–597.

Skujins, J. (ed.) (1991): Semiarid lands and deserts – soil resource and reclamation. Marcel Dekker, New York, 668 S.

Smith und Nobel (1986), *s.* Lit. zu Kap. 13.

Titlyanova, A. A. und Bazilevich, N. I. (1979): Semi-natural temperate meadows and pastures: nutrient cycling. In: Coupland, 170–180.

Van Wehrden, H., Hanspach, J., Ronnenberg, K. & Wesche, K. (2010): The inter-annaual climatic variability in Central asia – a contribution to the discussion on the importance of environmental stochasticity in drylands. Journal of Arid Environments 74, 1212–1215.

Walter und Breckle (1986, 1991), *s.* Lit. zu Allg. Teil.

Werger, M. J. A., & Van Staalduiinen, M. A. (eds), (2012): Eurasian Steppes. Ecological Problems and *Livelihoods in a Changing World.* Springer, Dordrecht 565p.

Wesche, K., Treiber, J. (2012): Abiotic and Biotic Determinants of Steppe Productivity and Performance – A View from Central Asia. In Werger, M. J. A. & van Staalduinen, M. A. (eds), Eurasian Steppes. Ecological Problems and *Livelihoods in a Changing World.* Springer, Dordrecht, pp. 3–43.

West, N. E. (ed.) (1983): Temperate deserts and semi-deserts. *Ecosystems of the World* 5. Elsevier, Amsterdam, 522 S.

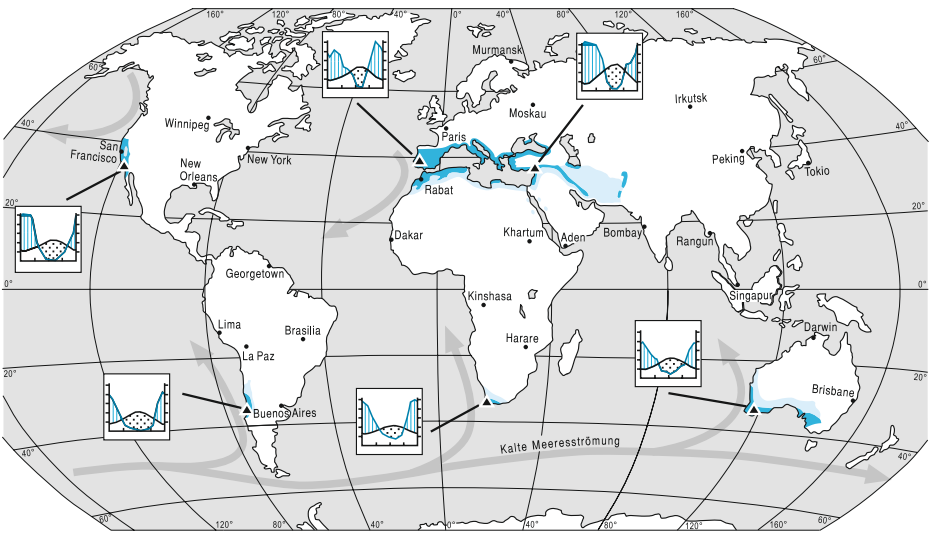
West, N. E. und Young, J. A. (2000): Intermountain Valleys and Lower Mountain Slopes. In Barbour, M. G. und Billings, W. D. (eds), North American Terrestrial Vegetation. 2nd Edition, Cambridge University Press, Cambridge, 255–284.

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

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

11 Winterfeuchte Subtropen

11.1 Verbreitung und regionale Differenzierung

Abb. 11.1
Winterfeuchte Subtropen. Von allen Ökozonen haben sie den kleinsten Flächenanteil und die stärkste Fragmentierung. Die einzelnen Vorkommen liegen auf beiden Hemisphären jeweils zwischen etwa 30 und 40° geogr. Breite an den Westseiten der Kontinente.

Mit einem Anteil von nur 1,7% an der Festlandsfläche der Erde, das sind gut 2,5 Mio. km², bilden die Winterfeuchten Subtropen (mediterrane Subtropen) die kleinste Ökozone überhaupt. Mit Bezug auf die geringe Ausdehnung ist sie außerdem von allen Ökozonen diejenige, die am stärksten zerstückelt ist, nämlich in fünf voneinander isolierte Vorkommen, die sich auf ebenso viele Kontinente verteilen (Abb. 11.1) und dort jeweils auf den **Westseiten** – in der Breite von etwa 30–40° zwischen den Tropisch/subtropischen Trockengebieten und den Feuchten Mittelbreiten – schmale, nur wenige 100 km landeinwärts reichende Küstenstreifen einnehmen (Lage am Meer).