©Reinhold-Tüxen-Gesellschaft (http://www.reinhold-tuexen-gesellschaft.de/)

Ber. d. Reinh.-Tüxen-Ges. 12. 207-222. Hannover 2000

Biodiversität von Wüsten und Halbwüsten

- Siegmar-W. Breckle, Bielefeld -

Kurzfassung

Die Vielfalt der Organismen in verschiedenen Lebensräumen variiert sehr stark. Gemeinhin werden tropische Ökosysteme als besonders hochdivers angesehen. Wüsten und Halbwüsten erscheinen dagegen leer, was die Organismen betrifft. Andererseits zeigte es sich, dass auch außertropische Lebensräume Diversitätszentren aufweisen. Je nachdem, welche Definition man der Quantifizierung der Diversität einer bestimmten Organismengruppe zugrunde legt, kommen recht unterschiedliche Vergleichszahlen für verschiedene Lebensräume heraus. Bezieht man Artenzahlen einer Region nicht nur auf die Fläche im Sinne der Arrhenius-Gleichung, sondern auf Individuen oder auf bestimmte, verfügbare ökologische Ressourcen (wie z.B.Wasserverfügbarkeit in Form der Jahresniederschläge oder Gesamtverdunstung etc.), so ergeben sich ganz andere Vergleichszahlen. Die verschiedenen Wüsten (Zonobiome III, VII [rIII]) und Halbwüsten (Zono-Ökotone I [rIII],III/II, III/IV, VII/III; VIIa etc.) - die arktisch und antarktischen Kältewüsten (IX) bleiben hier außer Betracht - weisen je nach ihrer Lage in den verschiedenen Floren- und Faunenregionen naturgemäß eine sehr unterschiedliche Floren- und Faunengarnitur und damit auch Biodiversität auf. Dabei muss man neben den spezifischen ökologischen Standortbedingungen auch den „Zeitfaktor" berücksichtigen, also die Evolutionsgeschichte der jeweiligen Flora und Fauna sowie den „Raumfaktor", der den Ausbreitungsbedingungen der Organismen unterschiedliche Barrieren setzen kann.

Abstract

Bio-diversity of deserts and semi-deserts. The diversity of organisms in different habitats varies considerably. Commonly, tropical ecosystems are looked upon as being especially diverse. Deserts and semi-deserts, however, seem almost not to be inhabited by organisms. On the other hand, it has been proven that centres of diversity exist even in extra-tropical regions. Depending on which definition is put as the basis for quantifying diversity in different groups of organisms, in the comparison highly different numbers for different areas can be observed. If the species numbers of an area are not only related to the surface area but to the number of individuals or to the available ecological resources (as e.g. water availability by annual precipitation or evaporative demand etc.), then totally different index numbers are to be calculated. Of course, the different deserts (zonobiomes III, VII [rIII]) and semi-deserts (zonoccotones I [rIII], III/II, III/IV, VII/III; VIIa etc.) - the Arctic and Antarctic cold deserts (IX) are not discussed here - show, depending on their position in different flora and fauna regions, a wide variety of flora and fauna and therefore also bio-diversity. One does not only have to pay attention to the specific ecological conditions of the site, but also to the „factor of time", namely the history of evolution of flora and fauna, as well as to the „factor of place", which can put limits to the conditions of the organisms' dispersal and spread.

©Reinhold-Tüxen-Gesellschaft (http://www.reinhold-tuexen-gesellschaft.de/)

Einleitung

Die verschiedenen Organismen sind im Raum sehr unterschiedlich verteilt. Auf dem Erdball gibt es Regionen, die eine üppige Fülle an Organismen aufweisen. Die feuchten Tropen sind das Paradebeispiel dafür. Mehr als die Hälfte der etwa 250.000 bis 300.000 Höheren Pflanzenarten kommen in den Tropen vor, auf einer Fläche von etwa 12 Millionen km^2. Diese Fläche entspricht aber nur etwa 8% der Landoberfläche.

Aber eine brauchbare Inventur fehlt bis heute in vielen Teilen. Es gibt zwar sehr viele Florenwerke, diese beziehen sich aber fast stets auf politisch umgrenzte Gebiete und nicht auf Naturräume. Dies ist eines der Probleme, wenn man verläßliche und vergleichbare Aussagen über flächenstandardisierte Artenzahlen bestimmter Naturräume zusammenstellen möchte. Nicht selten sind die zur Verfügung stehenden Daten lückenhaft und für eine verläßliche Übersicht daher problematisch. Eine brauchbare Inventarisierung von Naturräumen fehlt noch in vielen Teilen. Aber Probleme gibt es auch bei der klaren Abgrenzung von Wüsten, ebenso wie bei der Abgrenzung von Taxa bzw. Sippen.

Man ist sich einig, dass vor allem die Lebensräume der Tropischen Regenwälder auf der Erde als Zentren biologischer Vielfalt angesehen werden müssen. Wenn auf einem Hektar von den dort hineinpassenden 500 Baumarten (> 10 cm BHD) diese sich auf 300 verschiedene Arten verteilen, also mehr als 2/3 aller Arten nur durch ein Baumindividuum vertreten ist, so ist das für die Baumarten der Rekord, der aus Südperu (GENTRY 1988) bekannt geworden ist, aber auch in anderen neotropischen Gebieten sind 100 Baumarten pro ha keine Ausnahme (WATTENBERG & BRECKLE 1995, WATTENBERG et al. 1996).

Aber wie ist das nun in den Wüsten?

Natürlich ist in Wüsten die auf die Fläche bezogene Biodiversität viel geringer. Sie ist aber in einigen Fällen doch ganz erstaunlich. Allerdings muss betont werden, dass im Folgenden nur die Rede ist von der Biodiversität der Höheren Pflanzen, also von der rezenten flächenbezogenen Kormophytenbiodiversität (im Sinne von HAEUPLER 2000); die vielen anderen Organismengruppen müssen außer Betracht bleiben. Ebenso wird eine hohe Geodiversität nur als Voraussetzung für eine erhöhte Biodiversität betrachtet. Die Biodiversität kann hier nur auf der autökologischen Ebene diskutiert werden, auf der Ebene der Biozönosen ist die Gefahr der Subjektivität zu groß.

Was sind Wüsten? Wie umgrenzt man Wüsten?

Die Wüsten nehmen auf der Erde mehr als 20% der Fläche des Festlandes ein, in der hydrologischen Wasserbilanz liegen aride Gebiete sogar deutlich über 50% der Festlandfläche (HENNING 1994). Die Abgrenzung der Wüsten erfolgt je nach Autor wiederum nach verschiedenen Kriterien. Darauf kann hier im Einzelnen nicht eingegangen werden. Wüsten sind trocken, das ist trivial (obwohl in Wüsten durch Fluten in Wadis mehr Menschen ertrinken als verdursten). Der Mangel an Wasser über einen recht langen Zeitraum im Jahr, dies ist eines der wichtigen Charakteristika. Aufgrund der klimatischen Besonderheiten der Klimagürtel auf dem Erdball treten die Wüsten vor allem im Bereich der Wendekreise auf. Äußerlich sehen daher viele Wüsten sehr ähnlich aus. „Wie kennzeichnen die Geologen diese Räume?" „Es sind die Bilderbuchlandschaften ohne störendes Gemüse!" (Tab. 1A)

Die abiotischen Faktoren, insbesondere Klima und Substrat, prägen in Trockenräumen das Landschaftsbild stärker als in humiden Gebieten. Aufgrund des Wassermangels überwiegen in Wüsten die physikalischen Verwitterungsprozesse. Sie erzeugen ein ganzes Spektrum typischer geomorphologisch gekennzeichneter Landschaftstypen, die entlang einer Catena der Korngrößenzerkleinerung die wesentlichen Wüstentypen ausmachen (Tab. 1B, Wüstentypen

©Reinhold-Tüxen-Gesellschaft (http://www.reinhold-tuexen-gesellschaft.de/)

III). Böden sind dementsprechend wenig entwickelte Rohböden (BLUME & BERKOWICZ 1995) oder durch Evaporationsprozesse mit Kalk, Gips oder gar Salz angereichert. Die Erosionsbasis arider Gebiete ist daher fast nie das Weltmeer, sondern endorheische Beckenlandschaften mit Salzseen (BRECKLE 2000), in denen alle im Einzugsbereich löslichen Ionen angereichert werden. Aufgrund der Niederschlagsverteilung und der Temperaturverhältnisse lassen sich die einzelnen Wüsten unterteilen, wie in Tab. 1B angegeben.

Tab. 1A: Abiotische und Biotische Charakteristika von Wüsten (n. BRECKLE et al. 2000b)

Abiotische Parameter
- Klima
  - Hohe Strahlung
  - Wassermangel (geringe Niederschläge, hohe Evaporationskraft);
    - endorrheische Becken
    - Niederschlagsverteilung, Nebel ⇒**Wüstentypen I** (Tab. 1B)
  - Temperaturverhältnisse ⇒**Wüstentypen II** (Tab. 1B)
  - Wind (Staub- und Sandverfrachtung)
- Geomorphologie
  - Überwiegen der physikalischen Verwitterung
  - Verfrachtung von Material (Erosion und Akkumulation); Sandbewegung (Deflation, Sanddünenbildung)
    - Sequenzen der Partikelgröße (Catenen) ⇒**Wüstentypen III** (Tab. 1B)
  - Episodische Rinnsale (Schichtfluten, Wadis)
- Böden
  - Sehr langsame Bodenbildung, wenig organisches Material, rascher Abbau
  - Hauptsächlicher Wasserstrom aufwärts: Bildung anorganischer Krusten (Wüstenlack, Kalkkrusten, Gipsschichten, Salzkrusten)

Biotische Parameter (Beispiele), Flora, Fauna
- Anpassung an Trockenheit und hohe Strahlung (CAM, C4, Lebensformen: Einjährige, Sukkulenten)
  - z.B. kleines Sproß/Wurzel-Verhältnis, kontrahierte Vegetationsverteilung, Nachtaktivität (viele Tiere, CAM)
- Anpassung an Salzanreicherungen (Halophyten, Salzdrüsen bei Pflanzen und Tieren)
- Flächenbezogene Biodiversität niedrig, aber sehr spezifisch in den einzelnen Wüsten
  - Konvergente evolutive Entwicklung (in den verschiedenen Florenreichen)
- Spezifische Rolle von Kryptogamen (Biotische Krusten: Cyanophyceen etc.)

Anthropogener Einfluß
- Oasen-Wirtschaft, Nomadismus, Überweidung, Einbringung fremder Arten
- Desertifikation in den Randbereichen

Tab. 1B: Wüstentypen

Wüstentypen I
Winterregenwüsten - Sommerregenwüsten - Wüsten mit unregelmäßigen Regen - Extremwüsten ohne Regen - Nebelwüsten;

Wüstentypen II
heiße Wüsten - temperierte Wüsten - Kältewüsten - polare Wüsten (arktisch, antarktisch)
(Küstenwüsten - kontinentale Wüsten)

Wüstentypen III
hamada (Fels, Block) - reg (Steinpflaster) - serir (Kies) - erg (Sand) - takyr (Ton) - sebkha, shots, playa (Salz)

Alle ariden Regionen sind gekennzeichnet durch ein Überwiegen der potentiellen Evapotranspiration gegenüber dem Niederschlag (meist für ein volles Jahr gerechnet). Daran müssen sich alle Organismen anpassen.

Biotische Anpassungen (Tab. 1A) sind vielfältig und nicht selten konvergent, ausgehend aus einem ganz unterschiedlichen Grundstock der Flora bzw. Fauna. Daraus lässt sich aber überhaupt nicht ableiten, ob jetzt eine bestimmte Organismengruppe in einer bestimmten

©Reinhold-Tüxen-Gesellschaft (http://www.reinhold-tuexen-gesellschaft.de/)

Wüste besonders artenreich geworden ist, wie etwa die Tenebrioniden in der Namib oder die Chenopodiaceen in den iranoturanischen Wüsten. Hier ist der Zeitfaktor, die Floren- und die Faunengeschichte von Einfluss.

In Wüsten ist der Wasserfaktor Mangelfaktor, in den polaren Gebieten ist es die Wärme (DANIELS 2000). Es erscheint eine wichtige Überlegung, den Diversitätsbegriff auch in Zusammenhang zu bringen mit dem dominierenden ökologischen Mangelfaktor, also im Falle der Wüsten eine Verknüpfung mit dem Wasserfaktor zu versuchen. Im Falle der Polarregionen könnte eine Verknüpfung mit der jeweiligen Wärmesumme Hinweise geben.

Der Landschaftswasserhaushalt kann durch die Wasserhaushaltsgleichung beschrieben werden (Abb. 1). Mit ihr können im Wesentlichen aride und humide Gebiete quantifiziert werden. Die Wasserhaushaltsgleichung ist gleichzeitig auch als einfache Wasserbilanzformel anwendbar. Natürlich sind die einzelnen Terme in verschiedenen Wüsten unterschiedlich, dann aber entsprechend charakteristisch. Dementsprechend sind alle ariden Gebiete endorheisch, entwässern nicht zum Weltmeer, sondern haben in aller Regel ihre eigene Erosionsbasis, wie schon erwähnt.

Wasserbilanzgleichung:

$$N = \triangle W + V_E + V_T + V_A + V_G$$

Abkürzungen:

N = Niederschlag (Regen, Schnee, Tau) ==> **INPUT**

$\triangle W$ = Wasserspeicherung im System (+, -)

V = Wasserverluste ==========> **OUTPUT**

- ***E*** = Evaporation
- ***T*** = Transpiration
- **A** = Oberflächenabfluß
- **G** = Unterirdischer Abfluß, z.B. zum Grundwasser

Abb. 1: Die Wasserhaushaltsgleichung für einen bestimmten Raum, für ein Ökosystem oder einen Landschaftsausschnitt.

Aus den Termen der Wasserhaushaltsgleichung lässt sich die Wasserbilanz beurteilen, also z.B. das Transeau-Verhältnis eines bestimmten Gebietes, definiert als Verhältniszahl zwischen Niederschlagseintrag und potentieller Verdunstung (Evapotranspiration). Dieses Transeau-Verhältnis ist in Wüstengebieten deutlich kleiner als 1.

In Abb. 2 werden einige Beispiele typischer Klimadiagramme aus Wüsten verschiedener Kontinente vergleichend dargestellt.

Nach der Zonobiomgliederung sind die Zonobiome III (die heißen Wüsten ohne Frost) und die Zonobiome VIIa [rIII] (gemäßigte Wüsten mit einer kalten winterlichen Jahreszeit) zu berücksichtigen. Aber auch im Zonobiom I sind Regionen mit rIII bekannt (Abb. 2, Nr. 8).

Dabei ist besonders zu beachten, dass auch in Wüsten mit einer definierten Regenzeit (z.B. Kairo im Winter, Abb. 2, Nr.2; Abb. 3) die Niederschläge von Jahr zu Jahr sehr variabel sind und zwischen Minimum und Maximum ein Unterschied um weit mehr als den Faktor 20 bestehen kann (Tab. 2). An vielen Stationen übertrifft sogar der maximale Niederschlag eines Extremregens an einem Tag den minimalen Jahresniederschlag eines Trockenjahres um ein Vielfaches. Gerade in den Randbereichen der Wüsten spielen sich durch unsachgemäße Nutzung erhebliche Degradierungsvorgänge ab, die zur Desertifikation führen (www.uni-bielefeld. de/desertnet).

©Reinhold-Tüxen-Gesellschaft (http://www.reinhold-tuexen-gesellschaft.de/)

Schaut man sich die Lage der verschiedenen Wüstengebiete auf der Weltkarte der Florenreiche und Florengebiete an, so wird einem auch klar, dass sie trotz ihrer äußerlichen landschaftlichen Ähnlichkeiten zu ganz verschiedenen Florengebieten gehören.

Die konvergenten Entwicklungen der Sukkulenten der neuweltlichen Kakteen und der altweltlichen Euphorbiaceen sind klassische Beispiele. Aber man kann daraus keine Hinweise auf artspezifische Radiation erhalten oder erklären, warum dort viele und hier nur wenige Arten zusammen vorkommen.

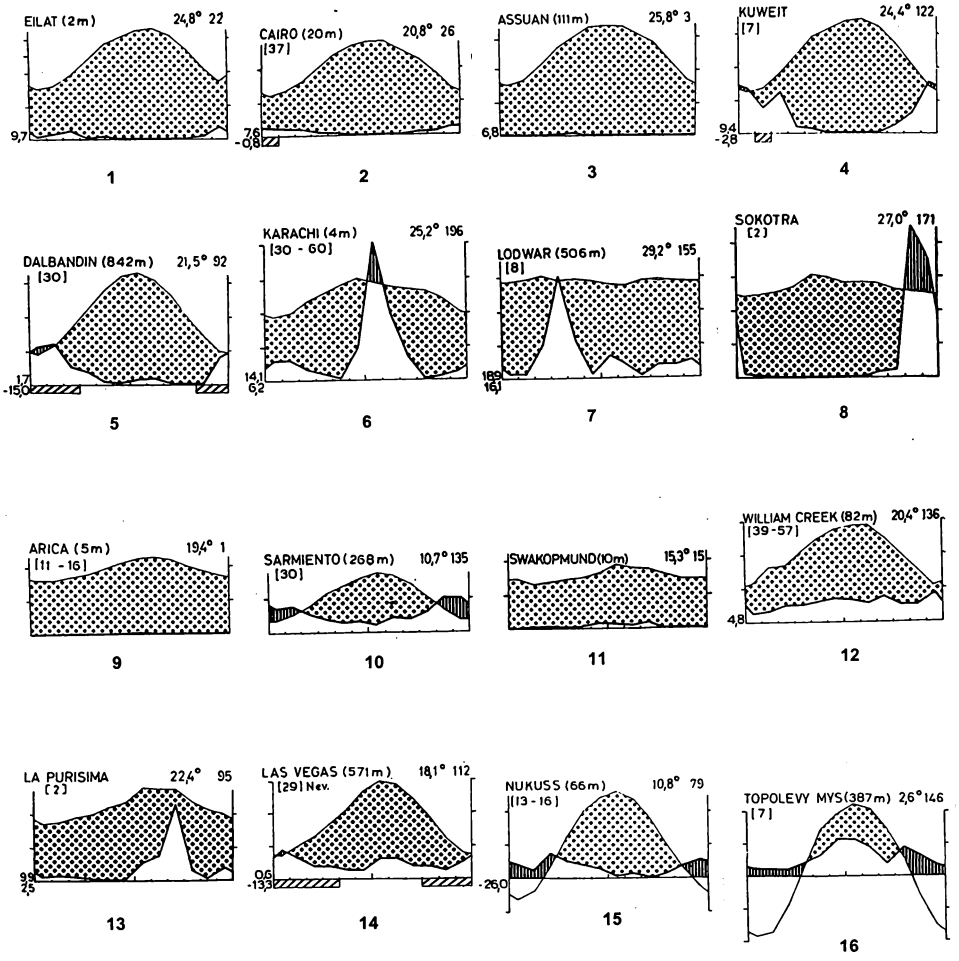

Abb. 2: Klimadiagramme aus verschiedenen Wüsten der Welt (aus WALTER & LIETH 1960ff.) Heiße Wüsten im Bereich des nördlichen Wendekreises in Eurasien (Zonobiom III), Sahara und Arabien: 1: Eilat, 2: Cairo, 3: Assuan (regenlos), 4: Kuweit (Winterregen); Thar/Sind-Wüste: 5: Dalbandin (Winterregen), 6: Karachi (Sommerregen). Tropische Wüsten (Zonobiom I [rIII], arides Tageszeitenklima) 7: Lodwar (Ostafrika, Sommerregen), 8: Sokotra. Wüsten der Südhemisphäre (Zonobiom III): 9: Arica (Nebelwüste Nordchile, regenlos), 10: Sarmiento (gemäßigte Wüste, Patagonien), 11: Swakopmund (Nebelwüste Namib), 12: William Creek (Zentral-Australien, sehr unregelmäßige Regen). Wüsten in Nordamerika (Zonobiom III): 13: La Purisima (Sonora/Chihuahua,Mexiko); 14: Las Vegas (Zonobiom VII, temperierte Wüste). Temperierte/kalte kontinentale Wüsten in Zentralasien (Zonobiom VII [rIII]): 15: Nukuss (Uzbekistan), 16: Topolevy Mys (Ostkazakhstan, westl. Gobi).

©Reinhold-Tüxen-Gesellschaft (http://www.reinhold-tuexen-gesellschaft.de/)

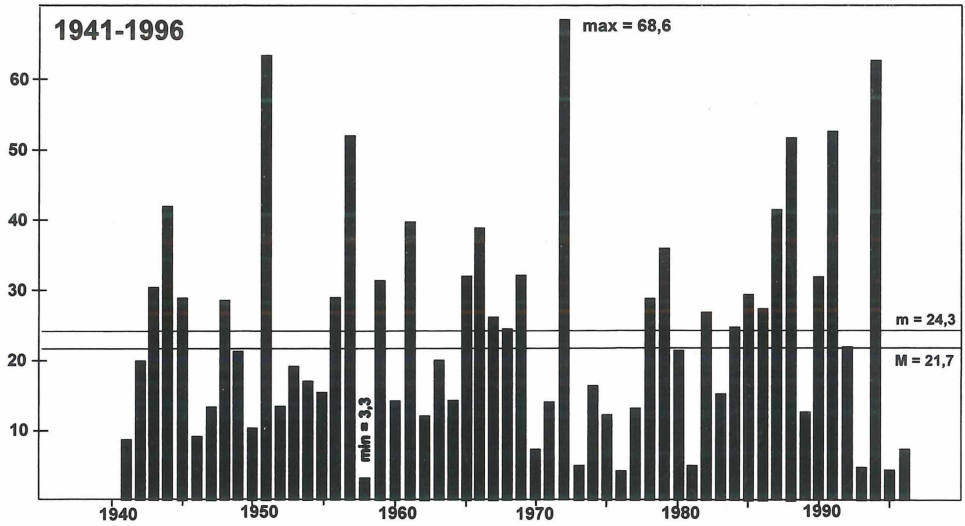

Abb. 3: Die jährlichen Niederschläge an der Almaza Meteorologischen Station in Kairo (Ägypten) in mm pro Jahr zwischen 1941 und 1996 (briefl. Mitt. Batanouny).

Tab. 2: Extremwerte des Niederschlags in Wüstenregionen (nach GENTILLI 1971, GRIFFITHS 1972, LYDOLPH 1977).

	Maximalwert des Jahres-niederschlags [mm]	Minimalwert des Jahres-niederschlags [mm]	Maximaler Niederschlag in 24 h [mm]
Afrika			
Tamanrasset (Algerien)	159	6	48
Kairo (Ägypten)	63	3	44
Ghadames (Libyen)	79	6	17
Dongola (Sudan)	60	0	36
Alexander Bay (S-Afrika)	95	22	39
Upington (S-Afrika)	566	88	119
Windhoek (Namibia)	745	91	86
Swakopmund (Namibia)	29	0	18
Australien			
Alice Springs	726	60	147
Farina	365	47	127
Oodnadatta	295	29	77
Asien			
Turgay (Kazakh.)	318	78	93
Kzyl-Orda (Kazakh.)	187	46	41

Was ist Diversität?

Der Diversitätsbegriff oder wie quantifiziert man Diversität?

Normalerweise wird Biodiversität als Artenreichtum pro Raumeinheit angesehen, also Artenzahl pro Fläche (α - Diversität). Diese Angabe ist großräumig bis heute normalerweise nur für ganz bestimmte, besonders gut bekannte Organismengruppen leistbar. Die Vielfalt der Organismengemeinschaften, der Pflanzengesellschaften, dies wird oft als (γ)- Diversität bezeichnet, ebenso die Landschaftsdiversität, die teilweise auch mit der Geo-Diversität, der Reichhaltigkeit an Ökotopen in einer Landschaft gleichgesetzt wird, sind weitere Aspekte des Diversitätsbegriffs, jeweils auf die Fläche bezogen (vgl. BARTHLOTT et al. 1996, BARTHLOTT

©Reinhold-Tüxen-Gesellschaft (http://www.reinhold-tuexen-gesellschaft.de/)

2000). Die ß - Diversität ist eine Verhältniszahl, ein Ähnlichkeitsindex (daher dimensionslos) zwischen zwei zu vergleichenden Regionen (WHITTACKER 1960). Dies wird heute oft nicht klar unterschieden.

Man kann Diversität eines Landes, einer bestimmten Region, eines bestimmten Ökosystems, einer bestimmten Organismengruppe, aber auch einer einzelnen Art angeben. Es ist daher wichtig klarzulegen, auf welcher biologischen Komplexitätsebene biologischer Strukturen man arbeitet (Sippen, Arten, Populationen, Biogeozönosen, Biome). Oder ob man auch funktionale Aspekte betrachten will, also dann wiederum in der Abfolge der funktional definierten dynamischen Komplexitätsebenen (Symbiosen, Synusien, Ökosysteme). In beiden Fällen spielt die Raumgröße eine Rolle (WALTER & BRECKLE 1999). Die Zahl der Arten oder der Symbiosen, die Zahl der Biogeozönosen oder der Ökosysteme, ist auf einem Quadratmeter viel kleiner als auf einem Quadratkilometer. Und man muss auch klarlegen mit welchen systematischen Kategorien man bei Diversitätsvergleichen arbeitet. Dies kann bei der genetischen Diversität beginnen. Diese meint dabei die infraspezifische Variabilität. Meist wird aber ein Sippen- oder Artenzahlvergleich angestrebt, aber auch auf der Ebene der Gattungen oder Familien lässt sich Biodiversität vergleichen. Dies erlaubt im Regelfall aber stets nur indirekte ökologische Interpretationen.

Wenn man Artenvielfalt charakterisieren will, so steht und fällt dies mit dem Artbegriff. In dieser Hinsicht ist bis heute noch manches oder neuerlich durch PCR etc. wieder manches in der Diskussion. Der Morphologische Artbegriff, das Biologische Artkonzept, das Ökologische Artkonzept, das Phylogenetische Artkonzept, natürlich wäre das letztere, das Genpool-Artkonzept (HARLAM & DE WET 1971) das wünschenswerte, aber dazu fehlen noch viele Daten. Man muss sich also ganz pragmatisch an den Artbegriff derjenigen Autoren halten, die eine jeweilige Flora (oder Fauna) für ein bestimmtes Gebiet monographisch bearbeitet haben. Und schon da ist es oft schwierig zwischen verschiedenen Floren zu vergleichen („splitter" oder „lumper"). Nimmt man, vor allem in gemäßigten Breiten, alle apomiktischen Sippen hinzu, so erhöht sich die Biodiversität ganz erheblich (HAEUPLER 2000).

Trotz dieser noch zu klärenden Unzulänglichkeiten haben wir inzwischen dank der Arbeiten von BARTHLOTT et al. (1996), zumindest für die Höheren Pflanzen ein recht anschauliches, wenn auch in Einzelheiten sicher noch an vielen Stellen zu verfeinerndes Bild der Biodiver-

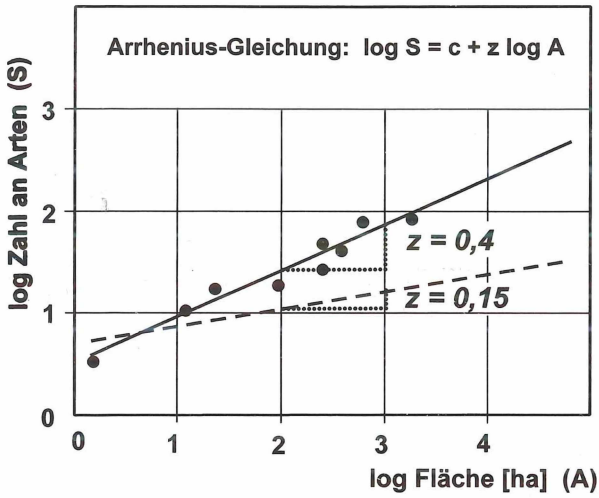

Abb. 4: Die Arrhenius-Gleichung und Beispiele zweier Geraden (log-Skalen) mit z = 0,15 bzw. z = 0,4 zur Beschreibung der Artenzahl S in Abhängigkeit von der Flächengröße A (ARRHENIUS 1920).

©Reinhold-Tüxen-Gesellschaft (http://www.reinhold-tuexen-gesellschaft.de/)

sität. Dabei wurde die Rastergröße auf 10.000 km² festgelegt. Dies ist pragmatisch für größere Räume, birgt aber bei der recht variablen Arrhenius-Funktion (Abb. 4) mit dem Exponenten z zwischen 0,15 und 0,4 vor allem für kleinstrukturierte Räume (z.B. Griechenland) die Gefahr einer zu starken Generalisierung.

Faustregel: Bei zehnfacher Fläche verdoppelt sich die Artenzahl.

Der Exponent z ist für viele Inselsysteme gut zu bestimmen; er ist bei Wirbeltieren meist kleiner als bei Invertebraten und Landpflanzen (Tab. 3). Man kann annehmen, dass z auch für bestimmte terrestrische Räume in der gleichen Größenordnung variiert wie für Archipele. Daraus ergibt sich wiederum eindeutig, dass eine bestimmte Flächenstandardisierung vorgenommen werden muß, wenn man Vergleiche ziehen will. Schon MENAUT hat 1983 eine Rastergröße von 10.000 km² vorgeschlagen. Seine Afrikakarte differiert erheblich von der neueren Bearbeitung (BARTHLOTT et al. 1996). MENAUT hat auch sogenannte „hot spots" (Zentren intensiver Evolution bestimmter Pflanzengruppen; nicht zu verwechseln mit den geotektonischen hot spots in der Erdkruste - wie in des Preisträgers Heimat Hawaii) unterschieden. Durch Vergleich der verschiedenen Florenlisten lassen sich dann auch floristische Ähnlichkeiten zwischen Wüstengebieten aufzeigen, wie dies SHMIDA (1985) versucht hat.

Tab. 3: Der Art-Areal-Exponent z für einige Organismengruppen und Regionen, abgeleitet aus Beobachtungen auf verschiedenen Archipelen (aus MAY 1980).

Organismen	Region	z
Käfer	Westind. Inseln	0,34
Reptilien und Amphibien	Westind. Inseln	0,30
Vögel	Westind. Inseln	0,24
Vögel	Ostind. Inseln	0,28
Vögel	Ostzentral-Pazifik	0,30
Ameisen	Melanesien	0,30
Landwirbeltiere	Lake Michigan-Inseln	0,24
Vögel	Neuguinea-Inseln	0,22
Vögel	Neubritannien-Inseln	0,18
Vögel	Salomon-Inseln	0,09
Vögel	Neue Hebriden	0,05
Landpflanzen	Galapagos	0,32
Landpflanzen	Galapagos	0,33
Landpflanzen	Galapagos	0,31
Landpflanzen	Weltweit	0,22
Landpflanzen	Britische Inseln	0,21
Landpflanzen	Yorkshire	0,21
Landpflanzen	Kaliforn. Inseln	0,37

Insgesamt ist die Datenlage aber fast weltweit noch mehr oder weniger lückenhaft. Die ungleiche Verteilung von Artenzahlen ist oft Ausdruck ungleicher Sammelintensität und nur selten sind bislang Schlüsse auf naturräumlich bedingte Unterschiede möglich.

Flächenbezogene Biodiversität in Trockengebieten

Vergleicht man die flächenbezogenen Diversitätsindices nach BARTHLOTT et al. (1996) der verschiedenen Wüstengebiete, so zeigt sich bereits, dass nicht alle Wüsten zur artenarmen Diversitätszone 1 gerechnet werden können. Die Bio-Diversität im globalen Maßstab ergibt für die zu betrachtenden Wüsten einen Diversitäts-Index zwischen 1 und 3. Sobald in Wüsten auch gebirgige Regionen vorkommen, steigt die Diversität sofort deutlich an.

Übersichten über einzelne Länder gibt es, aber kaum über Naturräume. In der Tabelle 4 sind die Länder, in denen Wüstengebiete vorkommen, aufgelistet; allerdings sind in fast allen angeführten Ländern zu einem kleineren oder größeren Flächenanteil auch andere, nämlich Halbwüsten, Mediterrane oder Savannen-Regionen vertreten.

©Reinhold-Tüxen-Gesellschaft (http://www.reinhold-tuexen-gesellschaft.de/)

Tab. 4: Artenzahlen und Fläche einiger Länder mit größeren Anteilen an Wüstenfläche, Endemismus-Prozentsatz und Diversitätszone (n. GROOMBRIDGE 1992).

Land	Blüt	Gymn	Farne	Σ	End%	Flä km^2	DZ
Afghanistan	3500	-	-	3600	≈35	650.000	3-7
Bahrain	195	1	1	200	0	598	2
Emirates	340	2	5	350	-	83.600	2
Iran	6500	33	-	6600	≈35	1.630.000	3-6
Iraq	2914	7	16	3000	6,5	444.442	3-5
Israel	2294	8	15	2400	6,7	20.678	3-7
Jordan	2200	6	6	2300	-	96.513	3-5
Kuwait	234	1	1	250	0	20.719	3
Oman	1018	3	14	1050	7,1	212.400	2
Qatar	220	1	0	230	0	22.014	2
Saudi Arab.	1729	8	22	1800	1,9	1.600.000	1-5
Syria	2000	12	40	2100	≈10	184.479	3-7
Chile	5500	17	150	6000	51,1	741.767	1-6
Australia	15000	-	-	15500	≈80	7.704.159	1-9
Algeria	3100	18	46	3200	7,9	2.381.741	1-6
Chad	1600	-	-	1650	-	1.284.000	1-7
Egypt	2066	4	6	2100	3,4	1.000.000	1-5
Libya	1800	10	15	1850	7,3	1.759.540	1-6
Mali	1741	0	-	1750	0,6	1.204.021	1-4
Mauretania	1100	0	-	1100	-	1.085.805	1-3
Namibia	3128	1	45	3300	-	823.876	1-5
Niger	1170	0	8	1200	0	1.188.794	1-3
Sudan	3132	5	-	3200	1,6	2.505.823	1-6
Tunisia	2150	10	36	2300	-	155.830	2-6
W-Sahara	330	-	-	340	-	300.375	2

Ein weiteres Problem, auf das hingewiesen werden muss, ist die in Wüsten starke Abhängigkeit der Vegetationsdecke vom Substrat. Dadurch ist die Vegetationsdecke sehr heterogen. In allen wirklich ariden Wüsten ist die Vegetation stets kontrahiert, zeichnet also in der Landschaft die Stellen mit besserer Wasserverfügbarkeit sehr deutlich nach, was die Heterogenität sehr erhöht. Genau genommen ist die größte Biodiversität in Wüsten vor allem durch azonale Vegetation gegeben. Eine 1-2 km^2 große Oase (mit zusätzlicher Wasserzufuhr, etwa aus einer artesischen Quelle) kann vielleicht 200-300 Arten aufweisen, auf den restlichen 9998 km^2 darum herum kommen vielleicht noch weitere 20 Arten vor. In welche Diversitätszone gehört dann diese ganze Rasterfläche?

Das jeweilige Substrat und seine sehr unterschiedliche Wasserspeicherfähigkeit ist gerade in Wüsten von großer Bedeutung. In humiden Regionen sind Sandgebiete die trockensten Biotope, in Wüsten sind sie hingegen die besten Wasserspeicher, andererseits ist die Sandoberfläche bei starkem Wind mobil, was wiederum besondere Anpassungen der Pflanzen erfordert. Man muß bei der Zusammenstellung von Biodiversitätsübersichten eigentlich auch

Tab. 5: Zahl der Pflanzenarten in Wüstengebieten mit mobilen Sanddünen (echte Psammophyten)

Wüste	Zahl an Arten	Dünengebiet	Quelle
Sahara	1	Östlicher Großer Erg	WAGNER & GRAETZ 1981
Sahara	9 - 18	NW Sahara	
Nah Ost	24	Mobile Sanddünen	ZOHARY 1973
Negev-Sinai	31	Lineardünen	TIELBÖRGER 1997, DANIN 1996, EGGERT 2000
Karakum	19	Sandwüste	WALTER & BOX 1983
Namib	20	Zentrale Sand-Namib	
Chihuahua	60	White Sands	
Great Basin / USA	53	Pink Coral Sands	

©Reinhold-Tüxen-Gesellschaft (http://www.reinhold-tuexen-gesellschaft.de/)

zwischen den verschiedenen Substraten, also Wüstentypen unterscheiden. Für Sanddünengebiete gibt die Tab. 5 eine grobe Übersicht über die Zahl der speziellen Psammophytenarten.

Ressourcenbezogene Biodiversität in Trockengebieten

Es muß nochmals betont werden, dass die ökologische Ressource Wasser in Wüsten von besonderer Bedeutung ist. Daher scheint es wichtig, die Biodiversität in Trockengebieten auch im Zusammenhang mit der Verfügbarkeit des Wassers zu sehen.

Man muß sich also die Frage stellen: Ist Diversität immer auf die Fläche zu beziehen, oder sind auch andere Bezugsparameter denkbar?

Gerade in Wüsten ist Fläche und Raum wohl eher keine so begrenzte Ressource wie im tropischen Regenwald, wo der Lichtfaktor über die räumliche Bestandesstruktur limitierend wirkt. In Wüsten ist die Wasserverfügbarkeit limitierend. Deshalb liegt es nahe zu überlegen, ob nicht die Aufteilung des Wassers auf die vorhandenen Individuen und damit auch auf die Arten einen andersartigen Diversitätsindex liefern kann. Die Zahl der Individuen, zumindest bei Höheren Pflanzen, kennt man allerdings oft gar nicht oder nur meist sehr ungenau, deshalb wird der Shannon-Index, der ja z.B. Individuenzahl und Artenzahl miteinander verknüpft, in der Botanik wenig verwendet. Und was ist bei klonalen Pflanzen ein Individuum? Man kann aber auch die Artenzahl mit der Wasserverfügbarkeit in Beziehung setzen. Dann lassen sich vor allem zwei Bezugsgrößen anwenden: die Verdunstungsgröße und die Jahresniederschläge.

Als Verdunstungsgröße ist von HENNING (1994) das Transeau-Verhältnis für alle Kontinente mit neuen Daten durchgerechnet worden. Für ein Transekt durch Nordafrika (Abb. 5), wo die planetarische Abfolge besonders gut verwirklicht ist, ergibt sich dann, dass die verdunstungsbezogene Indexzahl der Arten über die ganze Sahara hinweg relativ gleich bleibt. Ähnliches gilt für die niederschlagsbezogene Biodiversität. Lediglich im Übergangsbereich der Halbwüste, also vom mediterranen ins Wüstenklima (im Zonoökoton) ist ein erhöhter Index feststellbar. Hier überlappen sich die beiden Bereiche klimatisch und floristisch.

Bezieht man die Artenzahl auf die verfügbare Wassermenge, also den Jahresniederschlag, so erhält man eine Indexzahl, die aussagt, wieviel Arten mit einem mm Jahresniederschlag (=

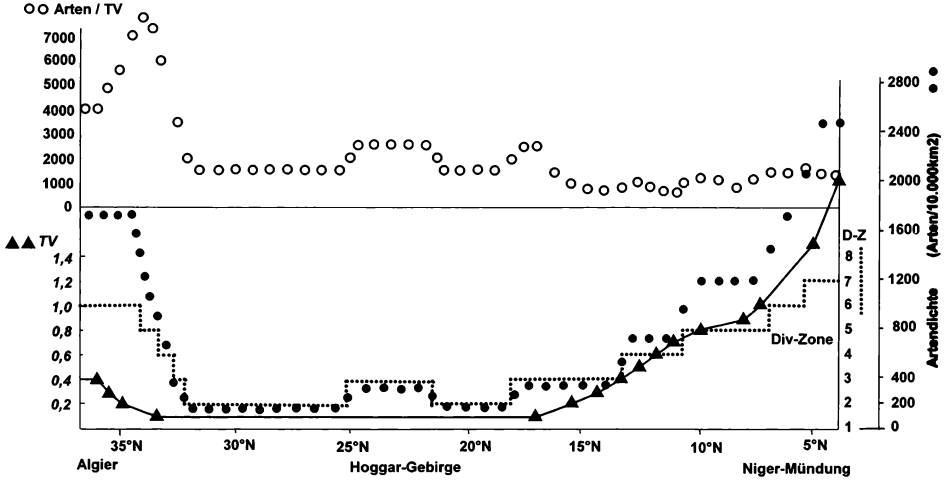

Abb. 5: Nord-Süd-Transekt durch Nordafrika (Algier bis Niger-Mündung) mit Angabe des Transeau-Verhältnisses (TV, ▲), der Diversitätszone (D-Z, • • • • •), der Artendichte pro 10.000 km² (●) und der auf den TV-Wert bezogenen Artenzahl (○).

©Reinhold-Tüxen-Gesellschaft (http://www.reinhold-tuexen-gesellschaft.de/)

1 Liter • m^{-2} = 10 Millionen m^3 pro 10.000 km^2) auskommen. Vergleicht man hierbei eine tropische Region mit Wüsten (Tab. 6), so zeigt sich, dass vor allem die Extremwüsten (Atacama, Namib) trotz ihrer flächenbezogenen, relativ kleinen Artenzahl eine erhebliche Diversität aufweisen. In diesem Rahmen ist dies bislang nur für wenige Wüstengebiete durchgerechnet worden, es stehen auch ausreichend genaue Niederschlagskarten bislang nicht für alle Regionen zur Verfügung - doch könnte ein solcher Index gerade in Regionen, wo eine bestimmte ökologische Ressource der dominierende Mangelfaktor ist, sehr aufschlussreich sein. Man könnte daran denken, dass dieser Index auch etwas über „Artensättigung" aussagen könnte, z.B.bei der neu entstandenen Aralkum, wo derzeit etwa 270 spontan eingewanderte Arten bekannt sind, davon über 70 Chenopodiaceen (WUCHERER et al. 2000). Seit 1960, insbesondere aber seit 1980 sind dort bis heute etwa 40.000 km^2 Neuland entstanden, auf dem aus der umgebenden Halbwüsten- und Wüstenvegetation durch Ferntransport der Diasporen gespeist, inzwischen ein sehr dynamisches Mosaik von verschiedenen Halophyten- und Psammo-

Tab. 6: Resourcenbezogene Biodiversität in verschiedenen Biomen.

Costa Rica
tropischer Regenwald, Zonobiom I (-II), Landesweit etwa 13.000 Arten
Fläche ca. 51.000 km^2
Diversitätszone (n. Barthlott et al. 1996): DZ 10 (= ca. 5.000 Arten pro 10.000 km^2)
mittl. Jahresniederschlag : 2.500 mm/a
d.h. 2,5 • 10^{11} m^3 Wasser auf 10.000 km^2 teilen sich 5.000 Arten,
oder anders ausgedrückt: 1 mm Niederschlag teilen sich **2** Arten als Jahresresource

---

Negev-Wüste
heiße Wüste mit Winterregen, Zonobiom III, etwa 800 Arten
Fläche: ca. 11.000 km^2
Diversitätszone (n. Barthlott et al. 1996): DZ 3 (= ca. 200-500 Arten pro 10.000 km^2)
mittl. Jahresniederschlag : 70 mm/a
d.h. 7 • 10^9 m^3 Wasser auf 10.000 km^2 teilen sich ca. 350 Arten als Jahresresource,
oder anders ausgedrückt: 1 mm Niederschlag teilen sich etwa **5** Arten

---

Peruanisch-chilenische Küstenwüste (Atacama)
heiße/temperierte Wüste mit Küstennebel, Zonobiom III, etwa 250 Arten
Fläche: ca. 200.000 km^2
Diversitätszone (n. Barthlott et al. 1996): DZ 1 (= ca. < 100 Arten pro 10.000 km^2)
mittl. Jahresniederschlag : 4 mm/a
d.h. 4 • 10^8 m^3 Wasser auf 10.000 km^2 teilen sich ca. < 100 Arten,
oder anders ausgedrückt: 1 mm Niederschlag teilen sich etwa **20-25** Arten

---

Zentrale Namibwüste
heiße/temperierte Wüste mit Küstennebel, Zonobiom III, etwa 500 Arten
Fläche: ca. 200.000 km^2
Diversitätszone (n. Barthlott et al. 1996): DZ 1-2 (= ca. 100 Arten pro 10.000 km^2)
mittl. Jahresniederschlag : 20 mm/a
d.h. 2 • 10^9 m^3 Wasser auf 10.000 km^2 teilen sich ca. 100 Arten,
oder anders ausgedrückt: 1 mm Niederschlag teilen sich etwa **5** Arten

---

Aralkumwüste (auf dem trockengefallenen Aralseeboden seit 1960)
kalt bis temperierte Wüste mit Kontinentalklima, Zonobiom VII (rIII),
270 Arten seit 1960 spontan eingewandert
Fläche: 41.000 km^2
Diversitätszone (n. Barthlott et al. 1996): DZ 2-3 (= 200 Arten pro 10.000 km^2)
mittl. Jahresniederschlag : 90 mm/a
d.h. 9 • 10^9 m^3 Wasser auf 10.000 km^2 teilen sich ca. 200 Arten,
oder anders ausgedrückt: 1 mm Niederschlag teilen sich etwa **2-3** Arten

©Reinhold-Tüxen-Gesellschaft (http://www.reinhold-tuexen-gesellschaft.de/)

phytengesellschaften entstanden ist. Es ist dies das derzeit größte, unfreiwillige Experiment der Menschheit zur Primärsukzession.

In Israel besteht von Nord nach Süd ein ausgeprägter Gradient mit abnehmenden Niederschlägen. Die Niederschlagskarte Israels zeigt gewisse Ähnlichkeiten mit einer Karte der floristischen Gradienten in Israel, errechnet aus einem 10 x 10 km Raster (KADMON & DANIN 1997). In der Negev korreliert ein negativer floristischer Gradient von -0,1 bis -0,3 mit dem Niederschlagsregime von unter 200 mm • a^{-1}.

Tab. 7: Klimatische Kennzahlen einiger Wüstengebiete und Anzahl an Arten Höherer Pflanzen auf Fläche und auf Niederschlag bezogen.

Region:	Atacama	Namib	Sahara	Negev	Sinai	Aralkum	Iran	Austral..	Sonora	Mohave
Fläche (1000 km^2):	200	250	9000	11	40	40	1200	2000	400	300
mm Regen/a (Mittel):	4	20	10	70	30	90	60	100	200	200
P/ETp (TV):	0,05	<0,1	<0,1	0,1	<0,1	0,15	0,1	0,15	0,18	0,25
Temp. abs.max. °C:	+32	+36	+55	+46	+47	+44	+49	+45	+57	+38
Temp. abs.min. °C:	+5	+4	-7	+4	+1	-45	-15	-6	-9	-32
Artenzahl (ca.):	250	1000	1500	800	500	270	1000	1200	3000	800
Endem.-%:	?	?	25	10	15	-	30	41	40	10
Div.Zone:	1	2-3	1-3	4-5	4	3	3-4	1-4	5-7	4
Artendichte/10.000km^2:	<100	100	100	350	400	200	300	500	2000	600
Artendichte/mm Regen/a:	20-25	5	10	5	13	2	5	5	10	3

Eine Übersicht über die Hauptwüstengebiete gibt Tab. 7. Daraus wird erkennbar, dass die Größe der einzelnen Wüsten sehr unterschiedlich ist, etwa im Vergleich Sahara und Namib, aber auch die jeweils dominanten Arten sind (abhängig vom Substratmosaik und der Reliefenergie) in den einzelnen Wüsten oft völlig andere. In vielen Wüsten kommen aber schwerpunktmäßig die Chenopodiaceen vor, wie auch *Zygophyllum;* in den Wüsten der Süd-Hemis-

Tab. 8: Die Lebensformen (Angaben in %) in Trockengebieten (n. ARCHIBOLD 1995, WUCHERER et al. 2000).

S = xerophytische Stammsukkukente; P = Phanerophyten (Bäume > 2 m);
N = Nanophanerophyten (Sträucher < 2 m); Ch = Chamaephyten;
H = Hemikryptophyten (inkl. halophile Stammsukkulente); C = Kryptophyten, inkl. Geophyten;
T = Therophyten

Region	Artenzahl	S	P	N	Ch	H	C	T
Heiße Wüsten								
Death Calley (USA)	279	3	2	21	7	18	2	42
El Golea (N-Afrika)	166	0	0	9	13	15	5	56
Ghardaia (N-Afrika)	300	0	0	3	16	20	3	58
Libya (N-Afrika)	192	0	3	9	21	20	4	42
Ooldea (Austral.)	188	4	19	23	14	4	1	35
Trockensavanne								
Whitehill (S-Afrika)	428	1	1	8	42	2	18	23
Timbuktu (Mali)	134	1	11	12	36	9	3	25
Temperierte Kontinentalwüste								
Transkaspien (Kazakh.)	730	0	0	11	7	27	9	41
Aralkum (Kazakh., Uzbek.)	266	0	2	21	10	21	5	41

©Reinhold-Tüxen-Gesellschaft (http://www.reinhold-tuexen-gesellschaft.de/)

phäre sind es Mesembryanthemen und Aizoaceen, aber nicht in der Atacama, wo ebenso wie in Nordamerika auch die Kakteen vertreten sind. Die Verteilung der Lebensformen (Tab. 8) weist ebenfalls bestimmte Muster auf; in den Sommerregenwüsten mit relativ regelmäßigen Niederschlägen, also mit nicht allzulangen Trockenperioden, kommt ein hoher Anteil an Sukkulenten vor; in allen Wüsten treten hohe Prozentsätze an Therophyten auf, die in der Lage sind, bei episodischen Regen mit ausreichender Wasserzufuhr sehr rasch das von den Perennen nicht so schnell genutzte Wasser in ihrem kurzen Lebenszyklus zu nutzen und die Samenbank aufzufrischen, während Geophyten und Zwergsträucher vor allem einen Schwerpunkt in den temperaten Wüsten aufweisen, wo neben Wassermangel auch Frost als einschränkender Faktor auftritt. In den beiden ausgezeichneten Nebelwüsten Atacama (Küstennähe) und Namib ist der große Reichtum an Flechten hervorzuheben.

Für einige Wüsten werden in Tab. 9 Beispiele besonders wichtiger oder kennzeichnender Arten Höherer Pflanzen aufgelistet.

Tab. 9: Biodiversität Höherer Pflanzen in Wüsten, Beispiele dominanter oder charakteristischer Taxa.

in den meisten Wüsten vertreten (annähernd Kosmopoliten)
Mollugo, Trianthema, Amaranthus, Heliotropium, Cassia, Atriplex, Chenopodium, Kochia, Salsola, Suaeda, Senecio, Convolvulus, Cressa, Lepidium, Euphorbia, Frankenia, Erosium, Acacia, Crotalaria, Lotus, Plantago, Limonium, Portulaca, Dodonaea, Lycium, Solanum, Eryngium, Tribulus, Zygophyllum; Aristida, Bromus, Chloris, Digitaria, Enneapogon, Eragrostis, Panicum, Sporobolus, Stipa

Sahara
Anabasis, Cornulaca, Hammada, Zilla, Aristida pungens, Zygophyllum album, Fagonia, Cyperus conglomeratus, Panicum turgidum, Ephedra, Frankenia, Citrullus colocynthis, Aristida-Arten, Pituranthos tortuosus, Rhanterium eppaposum, Reaumuria, Cleome

Sind/Thar
Capparis cartilaginea, Euphorbia inermis, Tamarix-Arten, Acacia

Sonora/Chihuahua
Kandelaber-Kakteen (Carnegiea, Pachycereus), Opuntia und viele andere Kakteenarten, Fouquieria, Larrea divaricata, Franseria dumosa, Encelia farinosa, Yucca, Nolina, Bursera, Zuccagnia punctata

Mohave
Atriplex-Arten, mehrere Chenopodiaceen-Zwergsträucher, Artemisia-Arten, Coleogyne, Yucca, Ephedra, Lycium, Larrea, Chrysothamnus, Eriogonum, Franseria, Opuntia, Echinocereus, Lupinus, Cleomella, Tidestroemia

Peruanisch-Chilenische Küstenwüste (Atacama)
Boden-Tillandsien, Kakteen, Säulen-, Erd-; Nolanaceae, Loasa, geophytische Oxais-Arten, Calandrinia, zahlreiche Flechten und Luftalgen

Namib
Bodenalgen, zahlreiche Flechten, Mesembryanthemum cryptanthum, Welwitschia mirabilis, Acanthosycyos horrida, Zygophyllum stapfii, Z. simplex, Arthraerua leubnitziae, Salsola-Arten, Kleinia, Adenia, Säulen-Euphorbien, Sarcocaulon, dornige Eragrostis-Arten, Stapelia, Hoodia, Myrothamnus flabellifolia

Karoo
zahlreiche Mesembryanthemaceae und Aizoaceae, Aloë, Crassula, Kleinia, Anacampseros, Pachypodium

Zentral-Australien
zahlreiche Myrtaceen, Eucalyptus- und phyllodine Acacia-Arten, Cassia, Eremophila, Casuarina, Astrebla, Plectrachne, Triodia, Atriplex, Rhagosia, Maireana, Threlkeldia, Nitraria, Zygochloa, Hakea, Grevillea und andere Proteaceen, Ptilotus, Goodeniaceae, Chloanthaceae, Swainsona, Stylidium, Daviesia, Pimelea

Kyzylkum/Karakum
zahlreiche Chenopodiaceen, insbes. Haloxylon aphyllum, H. persicum, Calligonum- und Tamarix-Arten,

Aralkum
zahlreiche Chenopodiaceen, insbes. Halocnemum strobilaceum, Halostachys caspica, Kalidium caspicum, Haloxylon aphyllum, Tamarix-Arten, Calligonum, viele annuelle Brassicaceen und Asteraceen

©Reinhold-Tüxen-Gesellschaft (http://www.reinhold-tuexen-gesellschaft.de/)

Schlussbemerkungen

Die Vielfalt der Organismen in verschiedenen Lebensräumen variiert sehr stark. Zwar werden gemeinhin tropische Ökosysteme als besonders hochdivers angesehen und Wüsten und Halbwüsten erscheinen dagegen leer und scheinbar artenarm, was die Organismen betrifft. Dies ist beim Bezug auf die Fläche auch quantitativ eindeutig. Je nachdem, welche Definition man der Quantifizierung der Diversität einer bestimmten Organismengruppe zugrunde legt, kommen aber recht unterschiedliche Vergleichszahlen für verschiedene Lebensräume heraus. Bezieht man die Artenzahlen einer Region nämlich nicht nur auf die Fläche im Sinne der Arrhenius-Gleichung, sondern auf Individuenzahlen (dies konnte hier nicht ausgeführt werden), oder auf bestimmte, verfügbare ökologische Ressourcen (wie z.B.Wasserverfügbarkeit in Form der Jahresniederschläge oder Gesamtverdunstung etc.), so ergeben sich ganz andere Vergleichszahlen. Die verschiedenen Wüsten und Halbwüsten weisen je nach ihrer Lage in den verschiedenen Floren- und Faunenregionen naturgemäß eine sehr unterschiedliche Floren- und Faunengarnitur und damit auch Biodiversität auf. Bei dem Versuch einer Erklärung der Unterschiede muss man neben den spezifischen ökologischen Standortbedingungen auch den „Zeitfaktor" berücksichtigen, also die Evolutionsgeschichte der jeweiligen Flora und Fauna sowie den „Raumfaktor" und damit den Isolationsgrad, der den Ausbreitungsbedingungen der Organismen unterschiedliche Barrieren setzen kann. Besonders auffällig sind die Übergangsräume, die Ökotone, die besonders hohe Diversitätszahlen aufweisen, wenn man als Bezugsgröße z.B.ökologische Verfügbarkeit von Wasser verwendet. Dies könnte auch für andere Mangelfaktoren (Temperatur, Stickstoff, Phosphor) gelten.

Viele Fragen müssen unbeantwortet bleiben, zumal die Datenlage nur teilweise befriedigend ist und noch manche, auch grundsätzliche Probleme (Tab. 10) müssen gelöst werden. Durch intensive regionale Bearbeitungen und Einsatz von GISMethoden werden sich wesentlich genauere Übersichten der verschiedenen Möglichkeiten ressourcenbezogener Diversitätszahlen ergeben.

Tab. 10: Problemfelder und offene Fragen bei der Zusammenstellung von Diversitätsübersichten.

1 : **Wie grenzt man Wüsten und Halbwüsten ab? Läßt sich die Klimagliederung von LAUER et al. (1996) verwenden? Wie kommt man zu geeigneten floristischen Daten?**
2 : **Wüsten sind äußerst heterogen (kontrahierte Vegetation), hohe Substratabhängigkeit**
3 : **Florenwerke beziehen sich oft nur auf politisch umgrenzte Gebiete**
4 : **Nur Samenpflanzen sind ausreichend bearbeitet**
5 : **Wie grenzt man Taxa/Arten (Sippen, Apomikten) für Diversitäts-Inventuren ab?**
6 : **Ist der Wert z und c (der Arrhenius-Gleichung) ausreichend abgesichert bei der Standardisierung auf 10.000 km^2?**
7 : **Lassen sich auch andere ökologische Mangelfaktoren für einen Biodiversitätsvergleich verwenden? z.B. Temperatur, Stickstoff, Phosphat; Individuenzahlen (Evenness, Shannon-Wiener) etc.**

Wüsten sind nur artenarm, wenn ihre Diversität auf die Fläche bezogen wird. Aber auch diese Indexzahl ist in den einzelnen Wüsten sehr unterschiedlich. Bei Bezug auf die Ressource Wasserverfügbarkeit sind die Wüsten diejenigen Räume, in denen am meisten Arten mit am wenigsten Wasser auskommen.

Danksagung

Für die Förderung verschiedener Projekte in Trockengebieten durch das BMBF/Bonn, für die Gewährung von Reisekostenzuschüssen durch die DFG und für die Finanzierung von Forschungsaufenthalten mit Hilfe des Schimper-Stipendiums sei den Förderinstitutionen herzlich

©Reinhold-Tüxen-Gesellschaft (http://www.reinhold-tuexen-gesellschaft.de/)

gedankt. Dank gilt aber in gleichem Maße auch den Kollegen und der jeweiligen einheimischen Bevölkerung für die Hilfe bei der Durchführung der Projekte vor Ort.

Literatur

ARCHIBOLD, O.W. (1995): Ecology of world vegetation. - Chapman & Hall.

ARRHENIUS, O. (1920): Distribution of the species over the area. - Meddeland. Vetenskaps Akad. Nobelinst. **4**:1-6.

BARTHLOTT, W., J. MUTKE, G. BRAUN & G. KIER (2000): Die ungleiche globale Verteilung pflanzlicher Artenvielfalt - Ursachen und Konsequenzen. - Ber. Reinholl-Tüxen-Ges. **12**: 67-84.

BARTHLOTT, W. (2000): Globale Diversität: Ursachen und Konsequenzen der ungleichen Verteilung von Artenvielfalt. - Ber. Reinhold-Tüxen-Ges. **12**:

BEADLE, N.C.W. (1981): The vegetation of Australia. WALTER & BRECKLE (ed.): Vegetationsmonographien der einzelnen Großräume, Band IV. - Fischer/Stuttgart.

BLUME, H.-P. & BERKOWICZ, S.M. (1995): Arid Ecosystems. - Adv. in Geo-Ecology **28**: 1-229.

BRECKLE, S.-W. (1983): Temperate Deserts and Semideserts of Afghanistan and Iran. Ecosystems of the World, vol.5,271-319.

BRECKLE, S.-W. (2000): Wann ist eine Pflanze ein Halophyt? Untersuchungen an Salzpflanzen in Zentralasien und anderen Salzwüsten. - In BRECKLE, S.-W., SCHWEIZER, B. & ARNDT, U. (Hrsg.) Ergebnisse weltweiter ökologischer Forschung (1. Symposium der A.F.W. Schimper-Stiftung von H. & E. Walter, Hohenheim). Verlag Günter Heimbach, Stuttgart. p.91-106.

BRECKLE, S.-W., VESTE, M. & WUCHERER, W. (eds.) (2000a): Sustainable land-use in deserts (Proceedings of the International Königswinter BMBF/UNESCO/CCD-workshop). Springer/Heidelberg (in press).

BRECKLE, S.-W., VESTE, M. & WUCHERER, W. (2000b): Deserts, land-use and desertification. - in: BRECKLE, S.-W., VESTE, M. & WUCHERER, W. (eds.): Sustainable land-use in deserts.Springer/Heidelberg (in press).

DANIELS, F. J. A., H. BÜLTMANN, CH. LÜNTERBUSCH & M. WILHELM (2000): Vegetation zones and biodiversity of the North American Arctic. - Ber. Reinhold-Tüxen-Ges. **12**: 131-151.

DANIN, A. (1996): Plants of desert dunes. - Springer/Berlin.

EGGERT, K. (2000): Vegetationskundliche Untersuchungen entlang eines geo-ökologischen Gradienten im Sinai-Negev Sandfeld. - Dipl. Arb. Univ. Bielefeld, Abteilung Ökologie.

GENTILLI, J. (ed.) (1971): World survey of climatology. Vol. 13. - Elsevier.

GENTRY, A.H. (1988): Changes in plant community diversity and floristic composition on environmental and geographical gradients. - Ann. Missouri Bot. Garden **75**: 1-34.

GRIFFITHS, J.F. (1972): World survey of climatology. Vol. 10. - Elsevier.

GROOMBRIDGE, B. (ed.) (1992): Global biodiversity. - Chapman & Hall.

HAEUPLER, H. (2000): Biodiversität in Zeit und Raum - Dynamik oder Konstanz, - Ber. Reinhold-Tüxen Ges. **12**: 113-130.

HARLAN, J.R. & DE WET, J.M.J. (1971): Towards a rational classification of cultivated plants. - Taxon **20**: 509-517.

HENNING, I. (1994): Hydroklima und Klimavegetation der Kontinente. - Münstersche Geogr. Arbeiten **37**.

HEYWOOD, V.H. (ed.) (1995): Global biodiversity assessment. - UNEP, Cambridge Univ Press.

KADMON, R. & DANIN, A. (1997): Floristic variation in Israel: a GIS-analysis. - Flora **192**: 341-345.

LAUER, W., RAFIQPUR, M.D. & FRANKENBERG, P. (1996): Die Klimate der Erde. . - Erdkunde **50**: 275-300.

LYDOLPH, P.E. (1977): World survey of climatology. Vol. 7. - Elsevier.

MAY, R.M. (1980): Theoretische Ökologie. - Verlag Chemie/Weinheim.

MCGINNIES, W.G. et al. (1968): Deserts of the world. Univ. - Arizona Press.

MENAUT, J.-C. (1983): The vegetation of African savannas. - Ecosystems of the world. Vol. 13.

SHMIDA, A. (1985): Biogeography of desert flora. - Ecosystems of the world. Vol. 12A.

TIELBÖRGER, K. (1997): The vegetation of linear desert dunes in the north-western Negev, Israel. - Flora

©Reinhold-Tüxen-Gesellschaft (http://www.reinhold-tuexen-gesellschaft.de/)

192: 261-278.

WAGNER, F.H. & GRAETZ, R.D. (1981): Animal-animal interactions. Arid Land Ecosystems: structure, functioning and management. Vol. 2, IBP17, Cambridge University Press/Cambridge.

WALTER, H. & BOX, E. (1983): Continental deserts and semi-deserts of Eurasia. Ecosystems of the world. Vol. 5, p.3-191.

WALTER, H. & BRECKLE, S.-W. (1991): Ökologie der Erde. Band 2, 2. Aufl. Fischer/Stuttgart.

WALTER, H. & BRECKLE, S.-W. (1999): Vegetation und Klimazonen. 7. Aufl., Ulmer/Stuttgart.

WALTER, H. & LIETH, H. (1960ff.): Klimadiagramm-Weltatlas. - Fischer/Jena.

WATTENBERG, I. & BRECKLE, S.-W. (1995): Tree species diversity of a premontane rain forest in the Cordillera de Tilaran, Costa Rica. - Ecotropica **1**: 21 - 30.

WATTENBERG, I., BRECKLE, S.-W. & R. ORTIZ (1996): La diversidad de especies de arboles y la estructura de un Bosque muy Humedo Premontano en la Reserva Biologica Alberto Brenes (Sierra de Tilaran), Costa Rica. - Memoria Investigacion Res. Biol. Alb. M1. Brenes, San Ramon, Revista Pensamiento Actual, Vol. 2: 11-19.

WEST, N.E. (1983): Temperate Deserts and semi-deserts. - Ecosystems of the world. Vol. 5.- Elsevier/Amsterdam.

WHITTACKER, R.H. (1960): Vegetation of the Siskiyou Mountains, Oregon and California. - Ecol. Monogr. **30**: 279-338.

WUCHERER, W., BRECKLE, S.-W. & DIMEYEVA, L. (2000): Flora of the dry sea floor of the Aral Sea. - in: BRECKLE, S.-W., VESTE, M. & WUCHERER, W. (eds.): Sustainable Land-Use in Deserts. Springer/Heidelberg (in press).

ZOHARY M. (1973): Geobotanical foundations of the Middle East. 2 vols. Fischer/Stuttgart.

Anschrift des Verfassers:
Prof. Dr. Siegmar-W. Breckle, Abteilung Ökologie, Fakultät für Biologie, Universität Bielefeld, Postfach 100131, D-33501 Bielefeld. www.biologie.uni-bielefeld. de/Oekologie

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: Berichte der Reinhold-Tüxen-Gesellschaft

Jahr/Year: 2000

Band/Volume: 12

Autor(en)/Author(s): Breckle Siegmar-Walter

Artikel/Article: Biodiversität von Wüsten und Halbwüsten 207-222