

Geowissenschaftliche Aspekte der Nutzung von ariden Gebieten.(Wüste)

(Klima, Definition, Landschaft, Anpassung von Flora u. Fauna, Wüste u. Religion, Wandel im europäischen Wüstenbild, aride Verwitterung, Transport, Nutzung in Vergangenheit, Gegenwart und Zukunft)

V/S 24230 2a+2b Prof. Dr. Walter A. Franke Freitag 13:00 – 17:00 Uhr
Geocampus Lankwitz Haus C Raum 014 Beginn 21-4-2017

Diese Skripte ist kein Lehrbuch. Sie soll Ihnen das Anfertigen von Notizen in der Lehrveranstaltung weitgehend ersparen. Viele Tatbestände sind nur als Stichwort angeführt. In der LV kann zuweilen von der Reihenfolge der Skripte abgewichen werden. Aus juristischen Gründen enthält die Skripte kaum Diagramme und Abbildungen..

Die LV soll Ihnen einen Überblick zum Thema Wüste bieten und soll Möglichkeiten und Grenzen der Nutzung von Wüsten und Steppen in Zukunft aufzeigen. (Energieernte / Bioproduktion / Ansiedlung)

Definition

Trockenklima (arid climate): **Potentielle Verdunstung ist grösser als der Niederschlag.** Dies ist durch direkte Messung der potentiellen Verdunstung schwierig zu bestimmen, da Verdunstungsmessungen aufwendig sind. Zudem geben verschiedene Methoden Abweichungen bis zu 40%! In Kaltwüsten ist auch die Niederschlagsmessung zuweilen fehlerhaft, da Schnee oft unvollkommen erfasst wird.

(Potentielle Verdunstung in heißen Kernwüsten bei 2000 bis 3000 mm/a, Extremwerte bis 6-7000 mm/a) - mm Niederschlagshöhe = Liter pro Quadratmeter / Typische Werte für Wüsten bis 150 mm.

Politisch-wirtschaftliche Bedeutung

Etwa 40% der Landoberfläche sind arid (Wüste 18%), semiarid (Steppen 12%) oder semi-humid. Etwa eine Milliarde Menschen leben in solchen Gebieten! Vielen der semi-humiden Gebieten und Steppen droht eine Desertifikation durch Überweidung, Rodung und Erosion, bzw. längere Dürreperioden. - In echten Wüsten lebt ca. 13% der Menschheit.-

Innerhalb der Trockengrenze meist keine dauernd fließenden Flüsse, keine Süßwasserseen.

Ausnahmen: Seen in der Taklamakan - Nil, Euphrat, Tigris (Flussoasen) - Colorado River. / Innerkontinentale Depressionen nur in ariden Gebieten : (Jordantal mit Totem Meer, Death valley, Danakilsenke, Lac Asal in Djibouti)→

Warum regnet es in ariden Gebieten so wenig? = Klima

Astronomische Grundlage - Erdkugel - Schiefe der Ekliptik = 23,5°
Wendekreise (tropic of cancer/ tropic of Capricorn)

Die Erdbahn ist eine Ellipse mit sehr kleiner Exzentrizität, bei größter Sonnennähe, im Perihel (Anfang Januar) ist die Sonneneinstrahlung etwas stärker als im Aphel. Eigentlich sollte daher auf der Nordhalbkugel der Sommer weniger warm und der Winter etwas milder sein als auf der Südhalbkugel. Dieser Einfluss wird aber kompensiert durch die größere Wasserfläche der Südhalbkugel.

Die astronomischen Grunddaten (Schiefe der Ekliptik /Präzession(Kreiselbewegung der Erdachse) / Exzentrizität)) unterliegen periodischen Schwankungen von einigen tausend Jahren → Milankovic-Zyklus - Erklärung von Eiszeiten

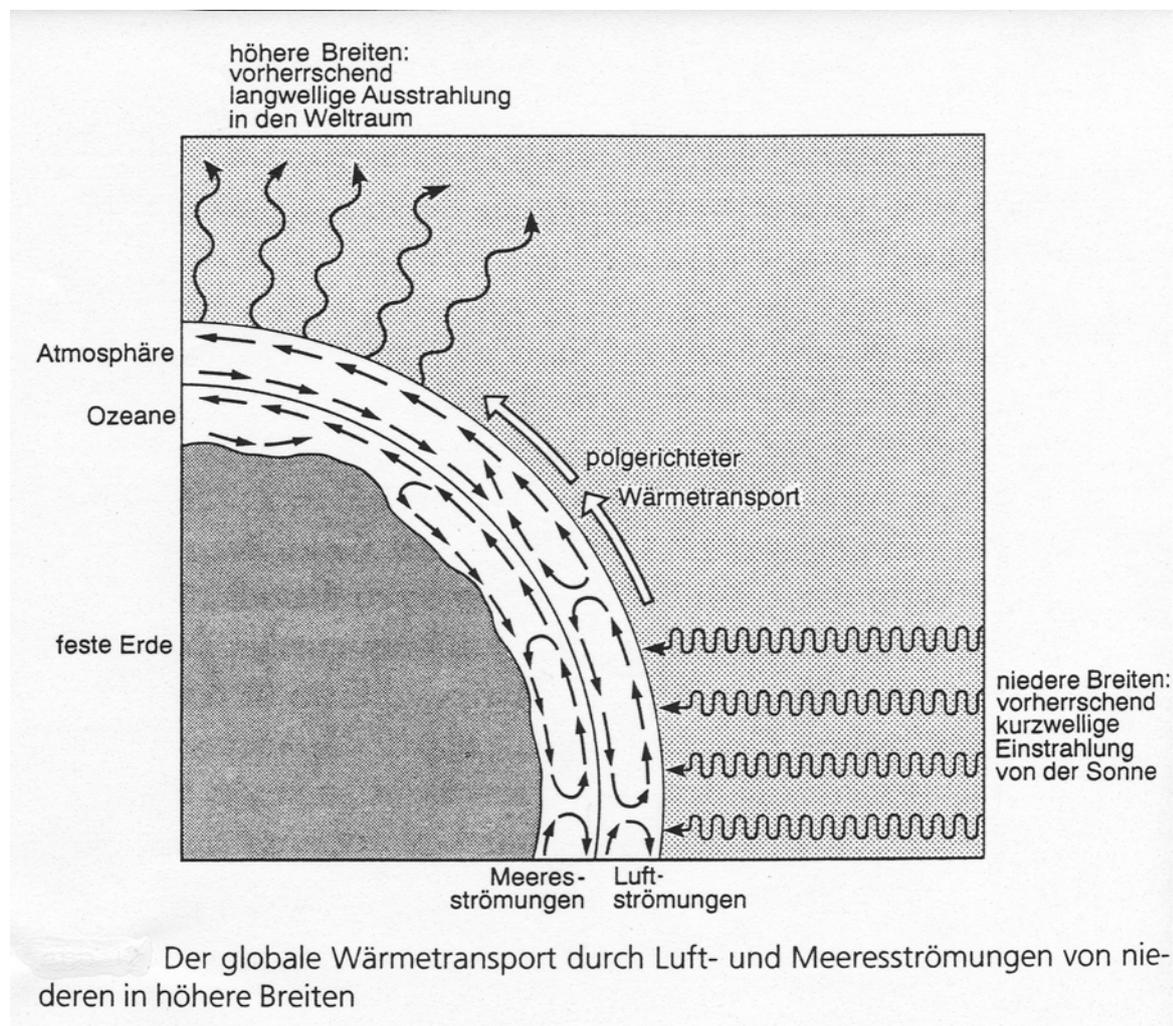
Energiebilanz der Erde = Einstrahlung minus Ausstrahlung

Spektrum von Ein- und Ausstrahlung

Energiebilanz ist bis ca. 30° Breite positiv / Ab ca. 60° Breite negativ → Wärmetransport durch:

- Strahlung (mit Lichtgeschwindigkeit)
- Konvektion (km/h)
- Leitfähigkeit (extrem langsam)

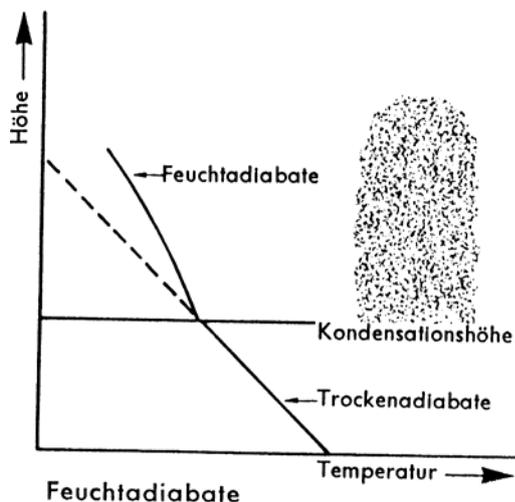
Ausgleich daher durch Strömungen der Wasserhülle(1/3) und der Atmosphäre (2/3)



Corioliskraft : Umfangsgeschwindigkeit am Äquator = 1667 km/h, am Pol = 0
Erhaltung des Impulses - Ablenkung von zum Pol gerichteten Strömungen nach E,
von zum Äquator gerichteten Strömungen nach W.
Ergebnis: Ablenkung auf der Nordhalbkugel nach rechts(Uhrzeigersinn),

auf der Südhalbkugel nach links (entgegen Uhrzeigersinn).

Aufbau der Atmosphäre : Bis ca. 10 - 12 km Troposphäre, enthält die Hauptmasse und vor allem fast alles Wasser.- Luftdruck fällt bis etwa 1/5 bar.- Höhe der Tropopause ist in verschiedenen Breiten verschieden: Heiße Luft steigt auf - Adiabatischer Vorgang (Ohne Wärmeaustausch mit der Umgebung)
Adiabatische Kompression erzeugt Wärme (Luftpumpe), umgekehrt bewirkt die Ausdehnung eine Abkühlung. (Trocken: 1°C pro 100 m / Feucht: ca. $0,6^{\circ}\text{C}$ pro 100 m wegen Kondensationswärme) Trocken- u. Feuchtadiabate



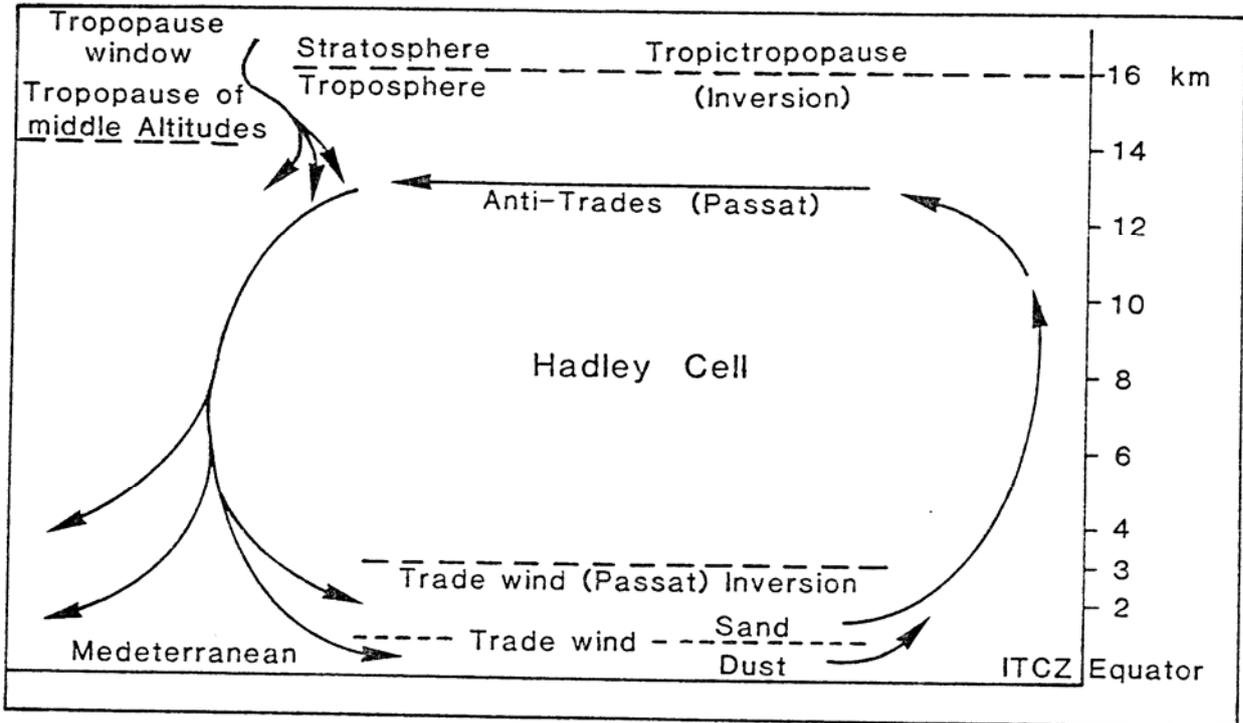
In Äquatornähe steigt warme Luft plus Wasserdampf auf - Wasser kondensiert + regnet ab, warme Luftmassen strömen Richtung Pol ab - **ITC = Innertropische Konvergenz** = polwärts die Grenze der aufsteigenden Warmluft, deren Luftfeuchtigkeit kondensiert und abregnet.

Hadleyzelle (1735) : Die aufsteigende Luft kann nur bis zur Grenze der Tropopause (ca. 12 km) gelangen, muss dann in Richtung zum Pol ausweichen - sogenannter Urpassat (anti trade) - absteigende Luftmassen, werden durch adiabatische Kompression wärmer

Ab ca. 30° bodennahe Strömung bis in ca. 3 km Höhe wieder in Richtung Äquator, durch Coriolisablenkung auf Nordhalbkugel NE-Passat, auf Südhalbkugel SE-Passat.
= Hadleyzelle

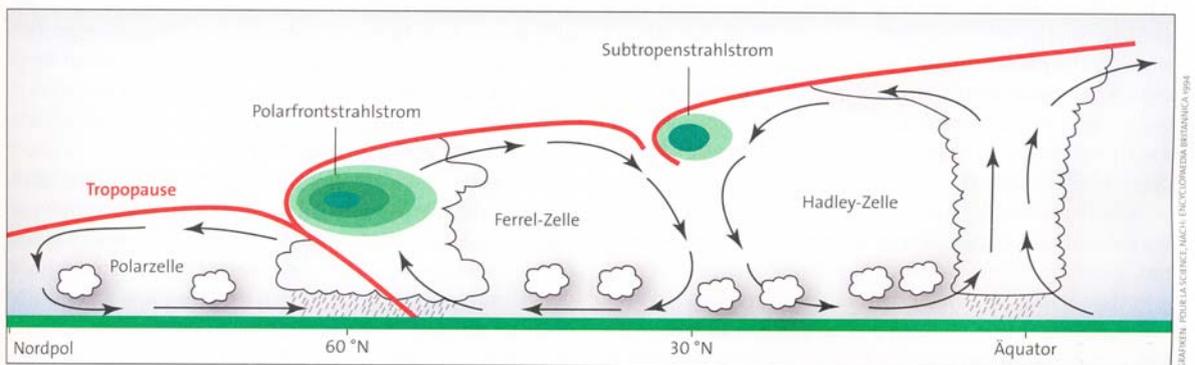
Innerhalb der Hadleyzelle kein Niederschlag!

Grenzt polwärts an Westwindzone = Hoch- + Tief-Druckzellen wandern vorwiegend ostwärts.

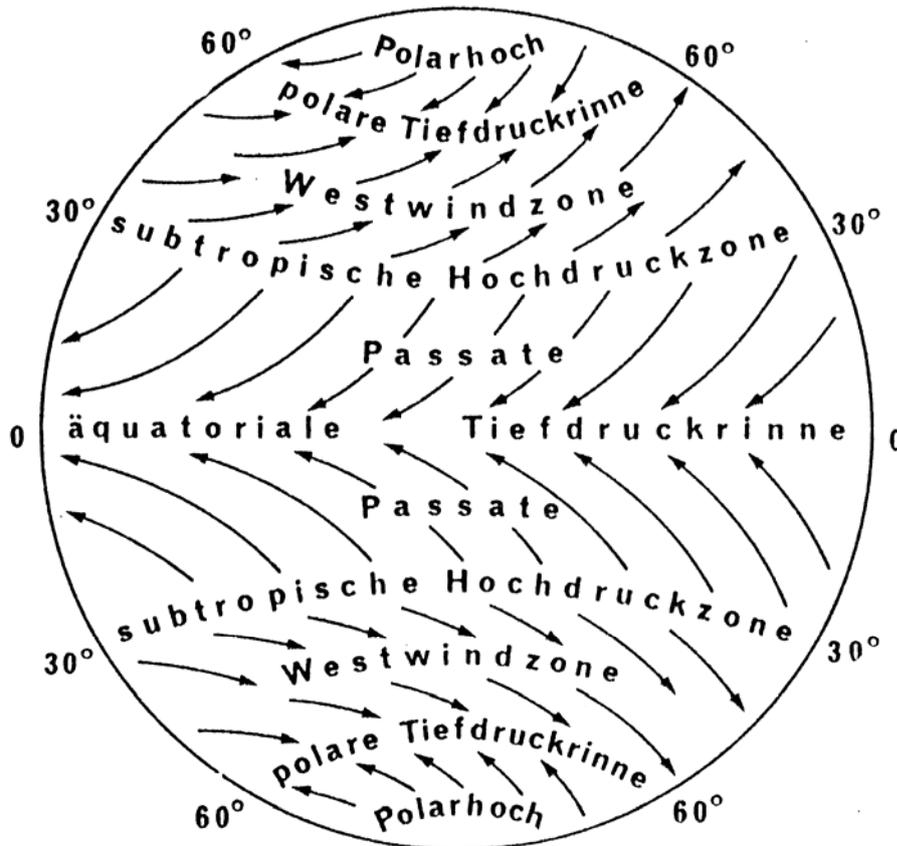


Die Ideale Strömungsverteilung in Bodennähe wird gestört durch:

- Ungleiche Verteilung von Land und Meer
- jahreszeitliche Schwankung der Einstrahlung (Winter-Sommer durch Schiefe der Ekliptik)
- hohe Gebirge. (Höhe relativ zur Höhe der Tropopause)



Strahlströme (Jets) sind starke schlauchförmige Westwinde. Der Subtropenjet kann bis zu 500 km/h betragen.



Schema des planetarischen Luftdruck- und Windsystems in den bodennahen Luftschichten

Erde mit Wüsten + Luftströmungen (ITC, Passat, Westwindzone, im Januar + Juli)

Wendekreiswüsten / Im Fall von Namib und Atacama zusätzlich Einfluss der kalten Meeresströmung (Küstenwüsten) und Abschottung von Regenwolken aus Osten durch langen Weg (Namib, Australien), bzw. hohe Gebirge (Anden)

Innerkontinentale, kalte Wüsten in höheren Breiten (Takla Makan / Gobi) sind durch hohe Gebirge weitgehend gegen Regen abgeschottet. (Reliefwüsten)

Klimadefinition nach Wladimir Köppen (1923):

A-Klima ist tropisches Feuchtklima ohne kühle Jahreszeit, keine Monatsmitteltemperatur unter 18°C.

B-Klima sind alle Trockenklimata

C-Klima (Humides Klima) Feuchtklima mit kühler Jahreszeit, kältester Monat mit Monatsmitteltemperatur zwischen 18°C und -3°C..

D-Klima (Boreales Klima) Monatsmittel des wärmsten Monats über 10°C, des kältesten unter -3°C.

E-Klima Wärmster Monat unter $+10^{\circ}\text{C}$.

Verschiedene Möglichkeiten der Bestimmung der Trockengrenze, bzw. Grenze Kernwüste/Steppe

Köppen (1923): r = Jahresniederschlag in cm
 t = Jahresmitteltemperatur

Unterscheidung von drei Fällen je nach Regensaison (2/3 der Niederschlagsmenge):

$r = t + 0$ (bei Winterregen)

$r = t + 7$ (falls Niederschläge zu allen Jahreszeiten)

$r = t + 14$ (vorwiegend Regen im Sommer)

Trockengrenze $r = 2(t + x)$ Einteilung in zwei aride B-Klimate:

BS ist semiarides Steppenklima (Lockerer Bewuchs mit Gräsern, Kräutern und Strauchwerk)

BW ist vollarides Wüstenklima (Nur gelegentlich Pflanzen)

weitere Unterteilung in heiße und kalte Untertypen (Jahresmitteltemperatur grösser oder kleiner 18°C)

BSh = Dorn- und Trockensavanne

BSk = kalte Steppen

BWh = heiße Wüste

BWk = kalte Wüsten

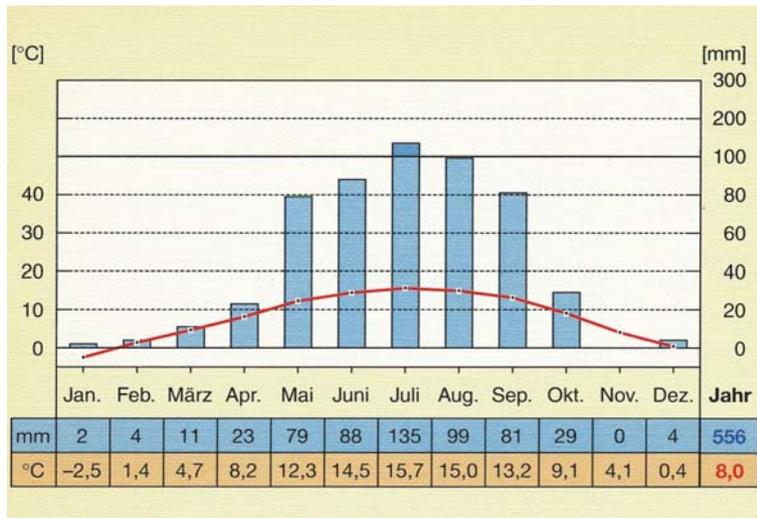
Klimadiagramme (ombrothermic diagram) : X-Achse sind die 12 Monate, auf der Y-Achse sind links die Monatsmitteltemperatur in $^{\circ}\text{C}$ und rechts der Monatsniederschlag in mm, dabei entsprechen im Maßstab 1°C gleich 2 mm Niederschlag. Die Niederschläge werden meist als Balken aufgetragen, die Monatsmitteltemperaturen werden zu einer Linie verbunden.

Thornthwaite (1948) / Bagnould & Gausson(1953):

Trockenmonat: Monatlicher Niederschlag in mm ist kleiner als die halbe mittlere Monatstemperatur.

6-11 Monate Trockenzeit = Arid (Steppe)

Alle 12 Monate Trockenzeit = Wüste (desert zone)



↑ Beispiel für ein humides Klima

Andere Definitionen:

Dubieff (1971) : D = Zahl der Regentage mit nutzbarer Niederschlagsmenge, d.h. mehr als 5 mm

D = 25 entspricht der Trockengrenze

D = 5 entspricht der Grenze diffuse/regelmässige Vegetation

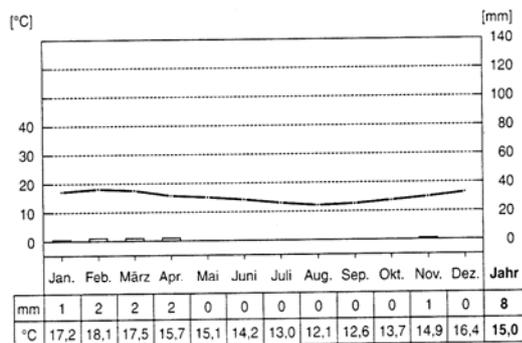
D = 1 und kleiner entspricht der Kernwüste

Emberger (1938) In Kernwüsten kommt es nicht jedes Jahr regelmäßig zu Niederschlägen und die Niederschläge sind nicht an die Jahreszeit gebunden.

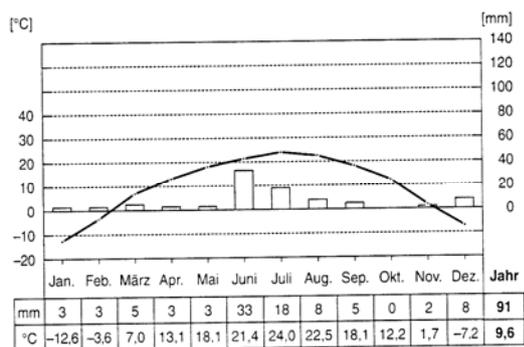
Die folgenden drei Klimadiagramme zeigen

Swakopmund (Namibia) Kernwüste, aber das Klimadiagramm zeigt nicht an, dass regelmäßig auftretende Nebelbänke Tau ins Land treiben. Mit dem Nebel wird auch NaCl transportiert das zu intensiver Korrosion von Metall führt.

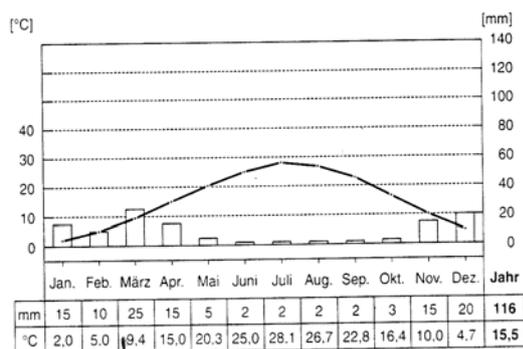
Die beiden anderen Beispiele zeigen ein Steppenklima in China und Iran.



Swakopmund/Namibia
(22° 41' S, 14° 31' E, 12 m ü. NN)



Kuqa/China, Singkiang
(41° 40' N, 83° 06' E, 970 m ü. NN)



Isfahan/Iran
(32° 34' N, 51° 44' E, 1773 m ü. NN)

Capot-Rey (1953) schlug eine geobotanische Methode unter Benutzung von Zeigerpflanzen vor.

Grenze von Sahara/Sahel = Cram-Cram-Gras (*Cenchrus biflorus*)

Nordgrenze Sahara = Ende des Had-Strauchs (*cornulaca monacantha*) als Typuspflanze der Sahara und Beginn des Halfgrases (*stipa tenacissima*).

Vorteil: Punktweise Erfassung genügt, Rest über die Isohyete

Nachteile: Nur regional möglich und Täuschungsmöglichkeit durch Verschleppung von Samen (Cram-Cram in Oasen)

Edaphische Wüste: Außerhalb der klimatischen Wüstendefinition, aber kaum Vegetation, da alles Wasser auf Grund der Bodenbeschaffenheit schnell versickert
Bekanntestes Beispiel ist die Kalahari in Namibia + Botswana.

„Edaphische Wüsten“ in Mitteleuropa: Bergbauhalden, Braunkohlentagebau, Lüftungsgitter der U-Bahn

Arides Klima auf kleinstem Raum: Überhänge, Regenschatten von Brücken u. ähnliches

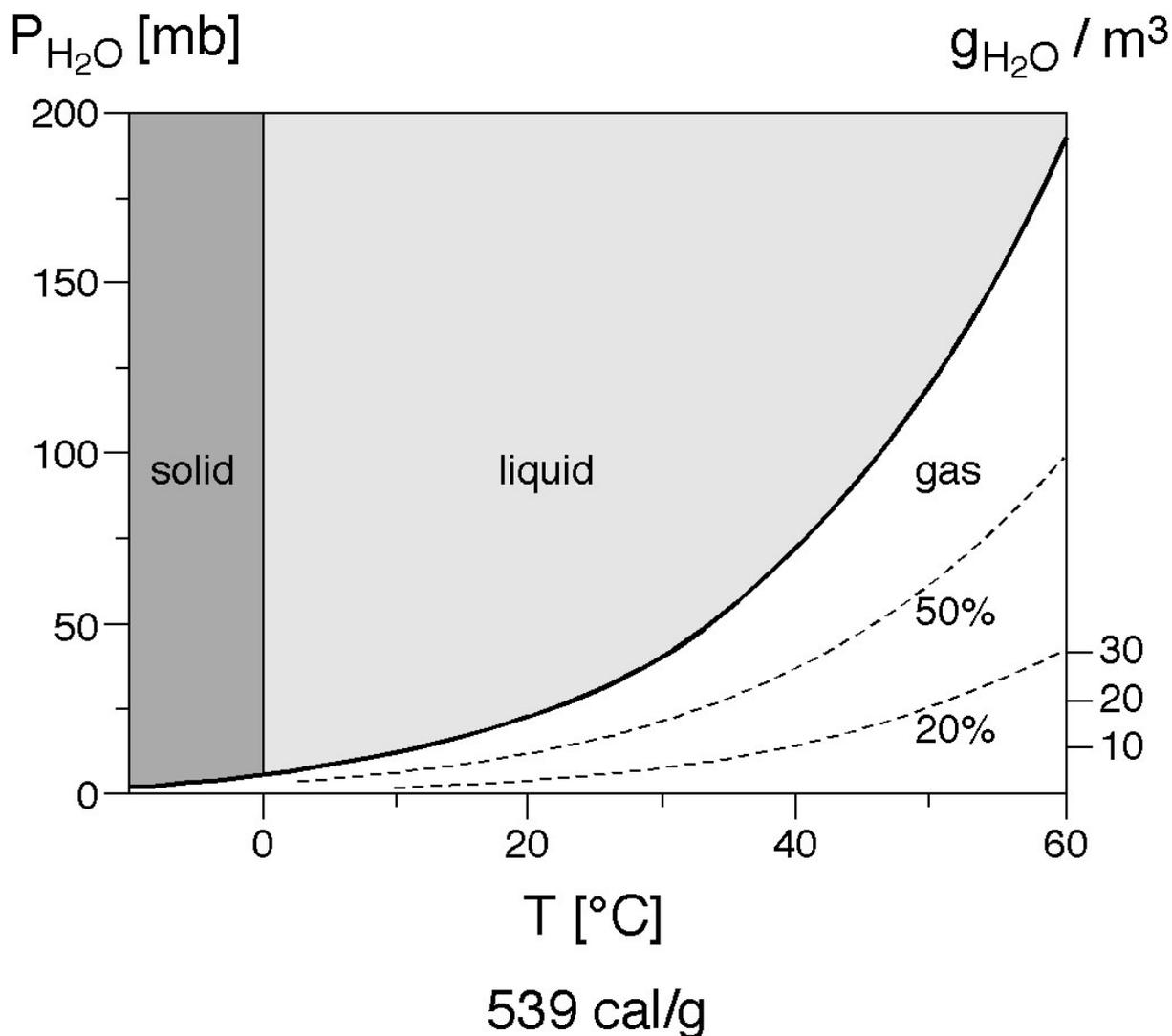
Einstoffsystem H₂O (Druck/Temperatur-Diagramm)

Erklärung der Begriffe: Partialdruck, relative Feuchte, Taupunkt, Psychrometer
 Spezifische Wärme, Verdampfungswärme (ca. 600 cal/g), Schmelzwärme (ca.28cal/g)

Relative Feuchte bei der Temperatur T =

100 mal (tatsächlicher Wasserdampfpartialdruck) / (Sättigungsdampfdruck bei T)

Absolute Feuchte = Masse Wasserdampf in g/m³ - Bei 0°C enthält an Wasserdampf gesättigte Luft 4,8g pro m³, bei 11°C = 10g pro m³



Verschiedene Methoden der der Bestimmung:

Taupunktbestimmung /Aspirationspsychrometer / Haar-Hygrometer

Waren Wüsten immer so trocken?

Geologie - Plattenverschiebung mit ca. 2 cm/a \Rightarrow etwa 20 km in 1 Mio.a.

Homo sapiens weit unter 1 Mio a (Ca. 200.000 a)

In dieser Zeit mehrere Eiszeiten - Eisbohrkerne: Arktische Kerne zeigen plötzliche Schwankungen, dagegen antarktische Kerne eher kontinuierliche Übergänge:

Nord- und Südhalbkugel nicht zeitidentisch? - (Umklappen von Meeresströmungen?)
Küstennamib soweit verfolgbar stets trocken.

Aride Phase in Südafrika von 8200 bis 4000 BP

Paläoklima der Sahara

Palästina war humider zur Zeit der röm. Besetzung. (ca. 2000 BP) - Krokodile i. Ennedi

Theologisch-historische Zwischenbemerkung zur Vorstellung von der Wüste in Europa:

Die drei monotheistischen Religionen des Mittelmeerraumes erkennen die alte schriftliche Überlieferung als göttliche Offenbarung an. Dies betrifft etwa die Schriften, die im christlichen Bereich als „Altes Testament“ bezeichnet werden. - Hier von Interesse wegen des Einflusses auf die historische Entwicklung sind die unterschiedlichen Haltungen zu folgenden Fragen: Mission, Apostasie, (Glaubensabfall) und religiöse Toleranz gegenüber eigenen Glaubensrichtungen und fremden Religionen. - Alle drei Religionen sind in oder am Rand der Wüste entstanden.

Judentum - ca. 3250 a - Familien- bzw. Stammesreligion:

5.Moses 7,7 :

„Nicht hat euch der Herr angenommen und erwählt, darum daß euer mehr wäre als alle Völker, denn du bist das kleinste unter allen Völkern, sondern darum, daß er euch geliebt hat

Es gibt kein Missionsgebot! - Mitglied durch Geburt sind die Kinder einer jüdischen Mutter - Beitritt ist möglich, aber schwierig, heutzutage praktisch nur wenn Verwandte Juden sind und bei Einheirat. - Für streng Gläubige umfangreiche Verhaltensregeln (Mehr als 300!)

Hohe religiöse Toleranz, auch gegenüber eigenen Glaubensrichtungen, bei Glaubensabfall ist theoretisch Verbannung oder Tod, aber Vernichtung des persönlichen Besitzes vorgesehen, ist aber in historisch übersehbaren Zeiträumen praktisch nicht vorgekommen. Seit 2000 Jahren keine Priesterschaft mehr, (Zerstörung des Tempels), Rabbis sind Angestellte der Gemeinde.

Christentum - Zahlreiche Missionsgebote im Neuen Testament, Beitritt durch Taufe.- Intoleranz gegenüber allen anderen Religionen, speziell auch gegenüber anderen christl. Glaubensrichtungen, in allen religiös geprägten Epochen. Todesstrafe bei Glaubensabfall häufig vollzogen (Inquisition). Juden nur zeitweise und unter Auflagen geduldet. Judenverfolgungen seit dem 4. Jahrhundert. Viele religiös begründete Kriege (Kreuzzüge). Viele christl. Glaubensrichtungen (Kirchen) mit hierarchischem Aufbau, Stellung der Priesterschaft unterschiedlich.

Islam - 622 AD Hedjra - Missionsgebot gegenüber "Ungläubigen", Beitritt durch Sprechen des Glaubensbekenntnisses, aber religiöse Toleranz gegenüber Juden und Christen in einer überwiegend moslemischen. Gesellschaft. (Anerkennung von Issa als Prophet! - Buchreligionen = din el kitab - Höherer Steuersatz für Juden und Christen) - Todesstrafe bei Glaubensabfall vorgesehen - Hierarchische Priesterschaft nur bei Schiiten.

Christentum wurde unter Kaiser Konstantin 313 AD Staatsreligion im römischen Reich. - Schnelle Ausbreitung im gesamten Mittelmeerrandgebiet, auch in fast ganz Nordafrika. - Schnell Ausbildung einer Priesterschaft - Konzil zu Chalcedon 451: Frühe und blutige Streitigkeiten wegen der Natur Jesu (Arianer/ Monophysiten-Trinität) insbesondere im nordafrikanischen Raum. Der heilige Augustinus, einer der sog. Kirchenväter war Bischof von Hippo (Heute Annaba in Nordalgerien).

Islam verdrängte im 7ten Jahrhundert in weniger als 100 Jahren das Christentum als herrschende Religion aus N-Afrika und Nah-Ost. (Ausnahmen: Äthiopien - Armenien - Kopten in Ägypten)

Dadurch war Europa für ca. 1200 a von den benachbarten Wüstengebieten abgeschnitten. - Änderung erst im 19.ten Jahrhundert durch "Entdeckungsreisende" und Kolonialismus. - Die arabische Halbinsel (Rhub al Kali) wurde erstmals 1931/32 von Europäern durchquert: Philby-Thomas, danach erst 1946 von W. Thesiger!

Landschaften der Wüste :

Vorbemerkung zur Bezeichnung von Korngrößen in Geowissenschaften.

Kleiner 2 μm = clay (Ton) überwiegend Tonminerale (Schichtsilikate)

(Ton+Kalkstaub =**Löß** / Ton+Sand+Schluff =**Lehm**)

70 bis 2 μm = silt (Schluff), überwiegend Quarz + Alkalifeldspt.+ Kalk, Glimmer, in Wüsten auch Gips

70 μm bis 2 mm = Sand, überwiegend Quarzkörner (+ Alkfspt.)

2 bis 64 mm = gravel (Kies) = überwiegend Reste des ehemals anstehenden Gesteins,
(Schotter = ungerundet/techn. Begriff / geologisch= Flussgeröll)

64-254 mm = cobble / grösser 254 mm boulder (alles gerundet)

Kieswüste:

reg , serir (seghir), mongolisch gobi

Fastebenen, meist wellig und sehr sanft geneigt, Tanezrouft: 150 m auf 450 km = 30 cm pro km!! - Fort Flatters - In Ecker-Route: 1m/km

Oberfläche durch Kies und Grobsand "gepanzert", da Feinanteile ausgeblasen sind, darunter erst feineres Korn. (Auto! Vorsicht beim Anfahren)

Meist ist die obere Schicht (6 bis 10 cm) relativ weich, eine sehr dünne Schicht darunter (Schaumboden - vesicular layer) enthält Dreischichttonminerale wie Illit, Montmorillonit, bei Regen Quellung und Bildung einer wasserstauenden Sperrschicht. ⇒⇒ Die aufquellende und dann wasserundurchlässige Tonschicht führt bei Starkregen zu Schichtfluten, dadurch Grundwasserbildung nur in Tälern.

Oft noch in 10 - 30 cm Tiefe harte, wasserundurchlässige Schicht (Sand+Silt+Ton verkittet durch Kalk oder Kieselsäure oder Gips) = (calcrete, silcrete, gypsumcrete)

Nur in extrem trockenen Wüsten mit gelegentlicher Taubildung kommt es zur Ausbildung einer dünnen, zerbrechlichen Staubhaut, die eine weitere äolische Abtragung verhindert. (Atacama) - Wahrscheinlich bedingt durch lösliche Bestandteile wie Gips, Salze oder Kalk.

Typische Kleinformen auf regs: Kalke mit Taurillen, Windkanter

Eintönige Landschaft, Reifenspuren bleiben über Jahrzehnte sichtbar!- Manchmal treten Zeugenberge auf. (Augengräber aus vorislamischer Zeit in Algerien)

Kieswüste ist in vielen Wüsten der flächenmäßig vorherrschende Typ (bis 80%!)

Gut geeignet zum Autofahren, aber Wasserstellen meist nur am Rande von Gebirgen oder Dünen. - Orientierung nur nach Himmelsrichtung + Reifenspuren, bzw. GPS. Oft 80 bis 400 km Strecke ohne natürliche Landmarken. (Tanezrouft = Land der Furcht, ca. 500 km lang, 80 - 150 km breit!)

Ähnlich sind Ebenen aus Löss (Takyr) z.B: Lut, Karakum, Kyselkum, Negev

Hammada = Felswüste

ist gekennzeichnet durch Gesteinsbrocken größer 10 cm, meist flache Stücke, scherbenartig , selten größer als 40 cm.

Farbe meist sehr dunkel, bis schwarz, anstehendes Gestein (Basalt, Sandstein oder tonige Kalke, nie Granit!)

Meist wellige Ebenen am Rand von Gebirgen oder auf Hochplateaus.

Pfade für Kamele, bzw. für Fahrzeuge müssen angelegt werden.
Wegen dunkler Färbung werden sehr hohe Bodentemperaturen erreicht.

Dünengebiete

Sand hat ein Porenvolumen von etwa 28 bis 45%.

Wärmeleitfähigkeit nur 20% des Werts für dichte Gesteine! (Obwohl Quarz höhere Wärmeleitfähigkeit hat als andere Minerale!)

Hohes Reflexionsvermögen - heizt sich trotzdem stark auf, aber nur an der Oberfläche!

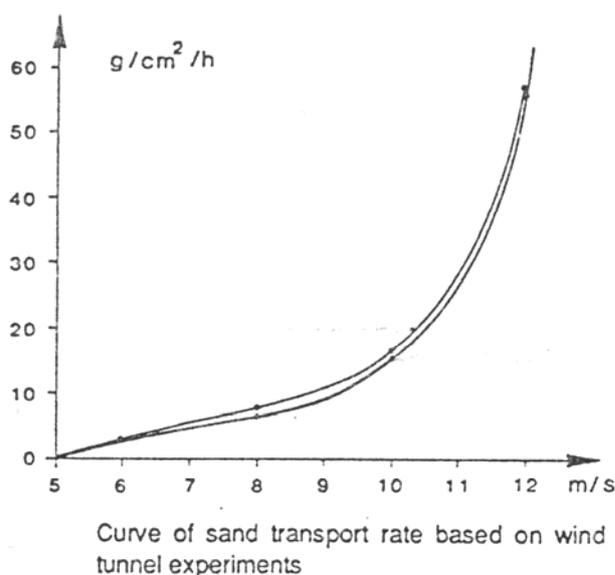
Bewegung des Sands durch Wind:

Reptation = (kriechen) Körner kullern

Saltation = (springen) Körner werden in die Luft geschleudert, beim Aufprall wird ein Teil der Bewegungsenergie durch elastische Verformung wieder in mechanische Energie verwandelt, Rückprall!
Sprunghöhe zu Sprungweite ca. 1 : 6

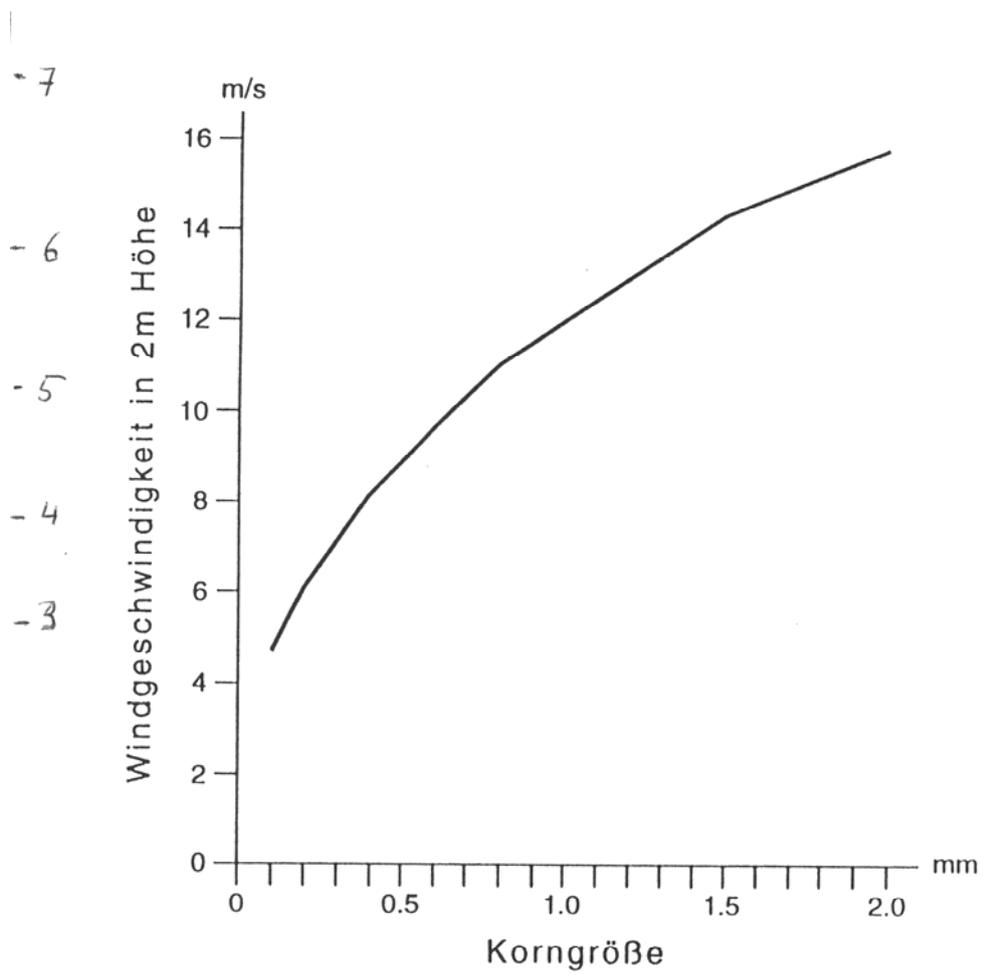
Suspension = Feinanteile (unter 0,1 mm) werden durch Stürme über große Entfernungen transportiert

(Wurde erst 1941 von Bagnould richtig beschrieben, Saltation bewirkt 75-80% der Transportrate.)

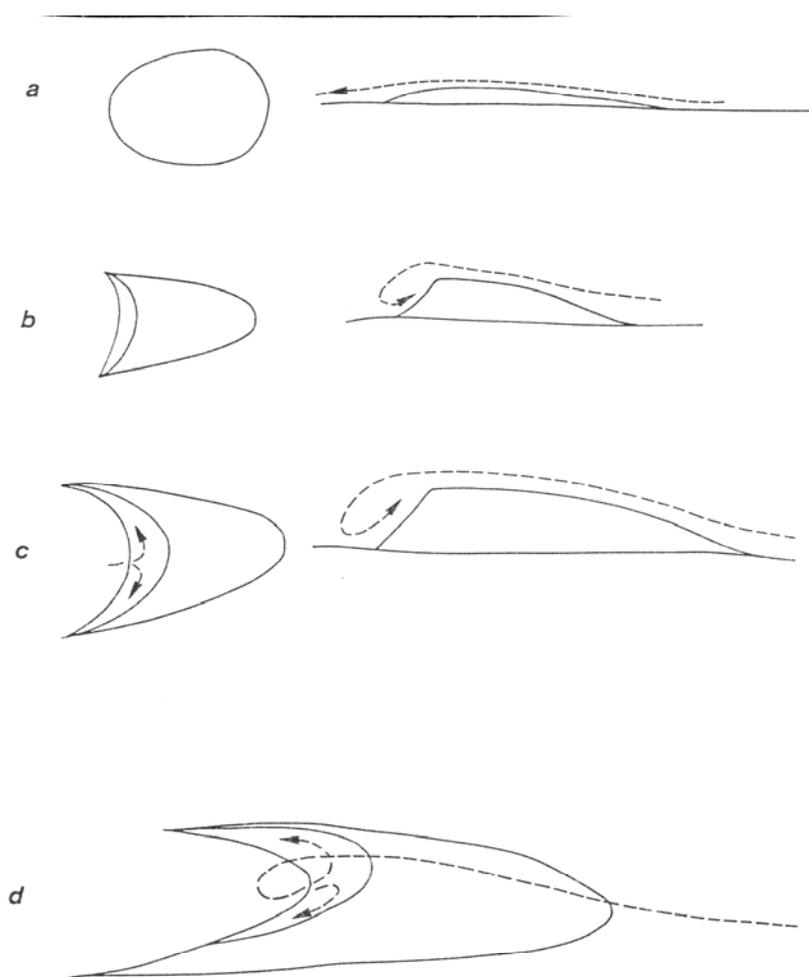


Transportierte Masse pro Zeit und Fläche versus Windgeschwindigkeit.

Linke Skala = Windstärke nach Beaufort -Beginn des Korntransports in Abhängigkeit von der Windgeschwindigkeit -Ab 15 m/sec also Sandsturm

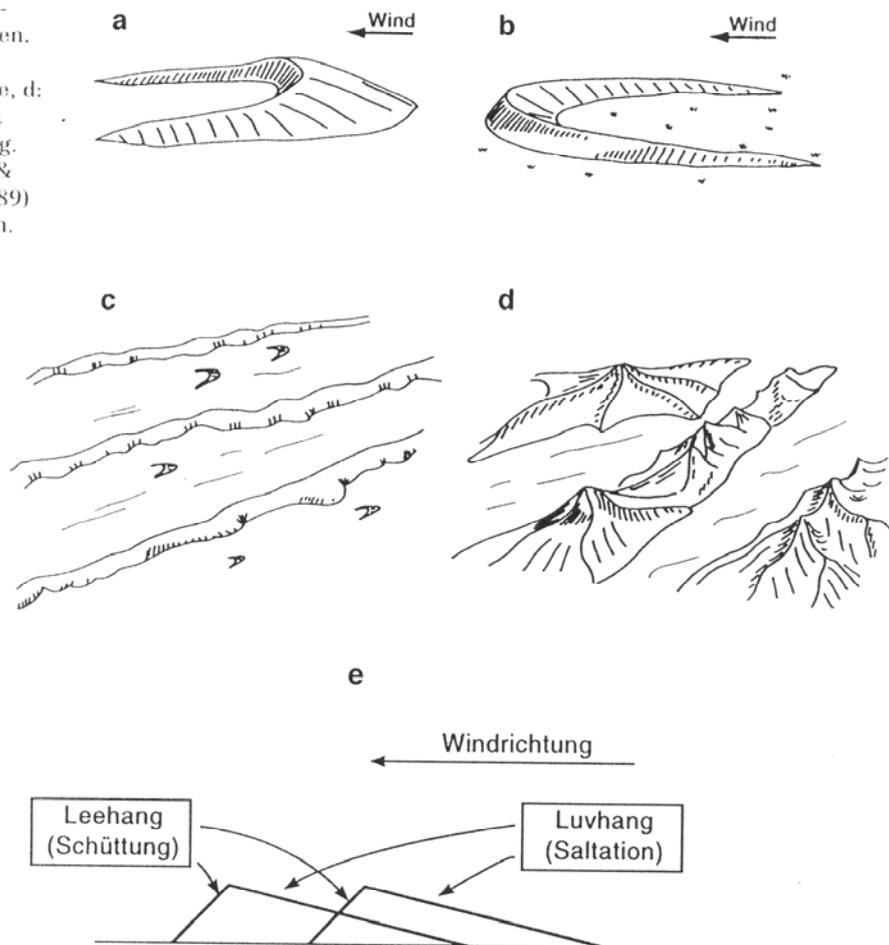


Beginn des Transports durch Saltation



Schema zur Entstehung eines Barchans. Durch eine im Leehangbereich entstehende Windwalze wird Material vom Zentrum einer Sandakkumulation zu den Rändern transportiert.

Häufig vorkommende Dünentypen.
 a: Barchan, b: Parabeldüne, c: Längsdüne, d: Sterndüne; e: Schema der Dünenverlagerung.
 Skizziert nach COOKE & WARREN (1973, 288-289) und eigenen Vorgaben.



Bei ca. 5m/sec (18 km/h) setzt Sandbewegung ein - Rippelmarkenbildung - Ab etwa 13 - 14 m/sec. werden Rippelmarken eingeebnet.

"Sandsturm" setzt bei ca. 15 m/sec.(ca. 54 km/h) Windgeschwindigkeit ein, optischer Eindruck ist eher ähnlich Bodennebel = gelblich wogende Fläche in 0,30 bis etwa 1,20 m Höhe, darüber oft blauer Himmel, aber Bodensicht Null! - Stärkste Abrasion in ca. 40 cm Höhe.

Staubsturm eher in Wüstenrandgebieten, Sichtweite unter 1 km

Dünentypen

Leehang 30° - 34° Steigung

Barchan ⇒ Sand auf Ebene wird transportiert und bleibt an Hindernis hängen, (Sicheldüne mit Schwänzen in Windrichtung) reine Barchane eher selten. -

Parabeldüne ⇒ Sand auf ebenen Untergrund wird bei hoher Windgeschwindigkeit ausgeblasen. Ebenfalls Sichelform, aber Schwänze entgegengesetzt zu Windrichtung.

Windrichtung u. Windstärke sind meist nicht konstant, daher sind die Dünenformen fast immer komplizierter. Längs- und Sterndünen

Sandfarbe ist auch abhängig von Sonnenstand.

Windrichtungen - Sahara

Tragfähigkeit von Dünen sand variiert stark ca. 0,3 bis 1 kg/cm² - Fahrzeuge

Erg = Dünengebiet , meist auf reg , Dünenzüge oft in bestimmten Richtungen,
(dazwischen freie reg-Flächen, arab. gassi)
gebräuchlich auch der Name *edeien* (*vorwiegend bei völliger Sandbedeckung*)

Etwa 20% der Sahara , Erg Chech, Tenere je ca. 280.000 km², Erg Orientale 110.000 km², Libysches Sandmeer (Ägypten/Libyen) 650.000 km² !
Dünen sind Wasserspeicher wegen des hohen Porenvolumens, ab etwa 20 mm/a Regen dünner Grasbewuchs, sonst nur acheb-Flora.

Wandern der Dünen : Je höher, je langsamer (bei 3m Höhe ca. 30-40 m/a)

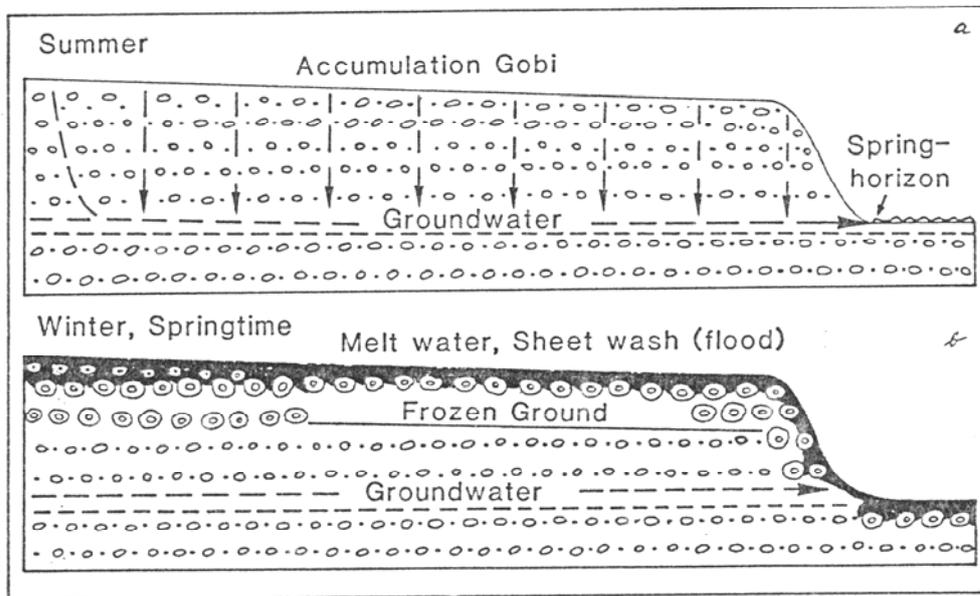
Oberflächenform ist abhängig von Korngrößenverteilung, Korngröße, Kornform, Feuchtigkeitsgehalt, Windgeschwindigkeit, Windrichtungswechsel!

Entsprechend vielfältig ist das Erscheinungsbild, Sand heißt auf arab. ramel. Wüstennomaden unterscheiden mehr als ein Dutzend verschiedene "Sande". (Die deutsche Bezeichnung „Beduinen“ ist eine sprachliche Verballhornung: bedu (Plural) bedeutet Nomaden.)

Dünen sind bei Starkregen Wasserspeicher - Keine Schichtfluten in warmen Sandwüsten.

In asiatischen Kaltwüsten herrschen im Winter Temperaturen bis -35°C, Frost je nach Dauer in 0,7 bis 3 m Tiefe. Bei Regen im zeitigen Frühjahr bildet sich Eisschicht und der restliche Niederschlag fließt als Schichtflut ab!

Im Sommer völlig durchlässig, kaum Bewuchs da edaphische Wüste.



Modell zum Infiltrationsverhalten in einer Akkumulationsgobi im Sommer (a) und zur Entstehung von Schichtfluten durch Schneeschmelzwasser und Regenwasser vor dem Auftauen des Bodenfrostes in der Gobi im Frühjahr (b)

fech-fech = Gemisch von Feinsand, silt und Ton, oft am Rand von Dünenketten, füllt auch Löcher in regs / extrem niedrige Tragfähigkeit = „Treibsand“ - Unterschied zwischen Schütt- und Rütteldichte 14% und mehr!

Unangenehm für Kfz. sind häufig flache Sandfelder und auch der gerundete Sand in Wadis, die regelmäßig Wasser führen = geringe Tragfähigkeit

Unterschied zwischen Schütt- und Rütteldichte ist bei trockenem Sand relativ gering, groß bei hohem Feinanteil, bzw. bei wenig gerundetem Korn $d_V = 1$ bis 10%

Tragfähigkeit von Sand steigt mit Feuchtigkeitsgehalt, um bei völliger Wassersättigung plötzlich stark abzufallen. (Kuchenbacken im Buddelkasten)

Roaring sands - brummende Dünen: Ton unter 25 Hz.

Rippeln durch Auswehung:= grobe Korngröße, hart ! (Verbacken durch Kalk oder Gips)

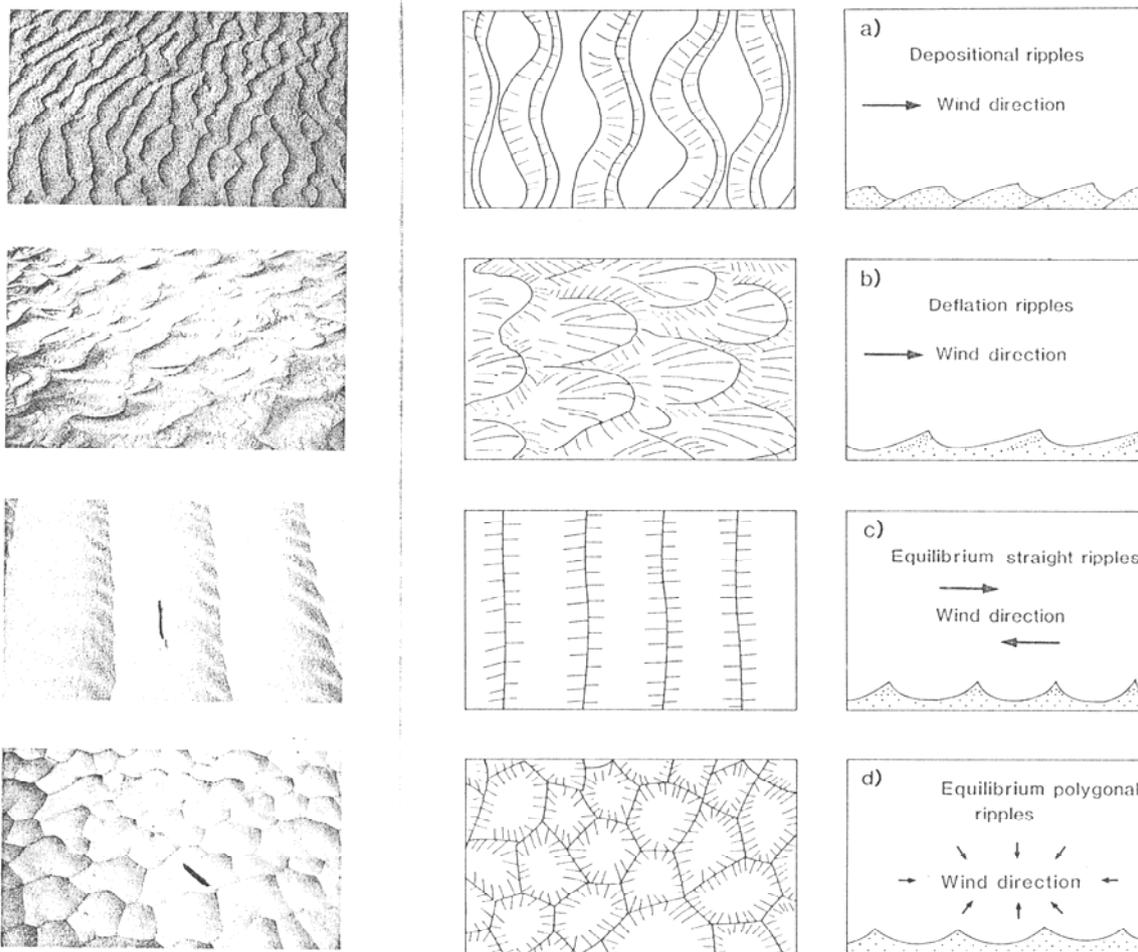


Fig. 1. Basic forms of aeolian ripples
Grundformen äolischer Rippelmarken

Rippeln bei Deposition und Deflation

Verdunstungspfannen

abflußlose Becken / arab. Sebka , amerikanisch/spanisch Playa, persisch Kawir
africaans Vlei, Alle Größen kommen vor, große Gebiete = Schott, span. Salar
(Summe der Schotts der Sahara ca. 100.000 km²)

Weil Verdunstung größer als Niederschlag = Anreicherung der gelösten und transportierten Stoffe im Wasser. Manchmal nur Ton, oft aber ist das Endprodukt ein schwarzer, feinkörniger, Salz- und meist Gips-haltiger Schlamm. Beim Eintrocknen kristallisiert zuerst Gips, dann Salz. - oft absolut ebene weisse Fläche.

Durch Wechsel von Austrocknung, Niederschlag und Kristallisation können sich Salzsollen bilden, die aufgekipppt werden.. Zuweilen mit Staub oder Sand überweht. - Extrem schwieriges Terrain. (Death Valley/USA , - Wüste Lut in Iran/Pakistan)

Sebchas, die laufend das Abwasser einer größeren Oase aufnehmen, sind salzige Seen mit schwankendem Wasserspiegel.

Recente und fossile Salzvorkommen spielen bis in die Gegenwart eine große wirtschaftliche Rolle für Wüstenbewohner (Taodenni/Mali , Fachi+Bilma/Niger, Tissent/Algerien – Lac Asal /Dschibouti)

Salzsümpfe sind extrem gefährlich: Um al Samin in SO-Arabien mit Sand bedeckt, als "Treibsand" bezeichnet. Häufig dünne, weiße Kruste, darunter Schlamm + Salzsole.

Lake Lisan 980 km² = Totes Meer Lac Asal / Djibouti

Wo kommt das Salz her?

Magmatische und metamorphe Gesteine enthalten praktisch keine Minerale die Cl enthalten. (Seltene Ausnahmen sind Sodalith und Skapolith, Apatit enthält nur wenig Cl/ selten bis 4%) In Flüssigkeitseinschlüssen bis 2 molar NaCl.

Marine Sedimente enthalten Meerwasser im Porenvolumen! - Gesteinsporosität liegt etwa bei 0,4 - 2%. - Verwitterung allein kann NaCl-Menge nicht erklären!

Hauptmenge wahrscheinlich durch Regen: 1 - 1,7 ppm NaCl

1mm/a = 1-1,7 mg NaCl/qm und a, also ca. 1,5 g in 1000a pro qm . = 1,5 t pro km²

Bei 20 mm/a also in 1000a = 30 t pro Quadratkilometer(2 Lkw-Ladungen!)

Gipseintrag ebenso, aber 3 - 5-mal so groß! Gips zusätzlich durch Sulfidoxidation und Reaktion mit Kalk. (Gipsverlust durch Auswehungen aber groß!)

In manchen Gegenden kommt Natriumhydrogencarbonat oder Soda vor, stammt aus der Verwitterung Na-reicher Gesteine. Bei genügender Reinheit wirtschaftliche Bedeutung, historisch und recent (Tschad). (Natronseen-Ägypten-Glasherstellung!). Kann nur Auftreten, wenn kein Gips da ist! Sonst Umsetzung zu Kalk + Glaubersalz.. Daher enthält Wasser in der Wüste oft Glaubersalz Na₂SO₄ 10 H₂O (Wirkt abführend).

Bitterer Geschmack zuweilen durch MgSO₄.(Herkunft aus Verwitterung)

In seltenen Fällen enthalten Salzseen auch Borate (Utah), großer Salinar in Bolivien enthält wirtschaftlich interessante Mengen an Li. Beide Elemente nur durch Verwitterung, bzw. Gesteinszersetzung durch Thermalwässer und/oder Hydrothermalwasserzufluß zu erklären.

Gebirge

Unterschiedlich je nach Gesteinsart:

Vulkanische Gesteine: *Basalte bis* intermediäre Vulkanite meist dunkel, wasserundurchlässig.

Typus Hoggar "Flusstäler" , Gueltas, Verwitterungsform eher kantig.

Basaltsäulen entstehen durch Schrumpfrisse, die parallel zum Temperaturgradienten bei der Abkühlung liegen.

Bei totaler Verwitterung = Kalk + Tonminerale + Eisenoxide (viel ausgeweht!)

Intermediäre Bildungen sind dunkle Chlorite (Klinochlor)

Granite : Wollsackverwitterung, klüftig, teils wasserführend, Quellen im Gebirge = (Twivelfontein/ Namibia), selten Gueltas. - Bei Verwitterung Grusbildung - Endstadium ist Sand. - Typusbeispiel Tefedest/ Algerische Sahara - Erongo/Namibia - Verwitterungsform: rundliche Kuppen, Tafoni-Verwitterung häufig.

Sandsteine meist mit Kalk als Bindemittel, oft seigere Lagerung \Rightarrow größere Komplexe daher oft Hochebenen, Abflurinnen neigen dann zur Bildung von Steiltälern.

(Beispiel Tassili N Ádjer` - Wadi Imirhou)

Turrets: Türme und Spitzen, es gibt auch rundliche Endformen. Häufig Winderosionformen. - Häufig wasserleitend durch Porosität.

Endstadium der Verwitterung = Sand

Krustenbildung (SiO₂+Hämatit) ist wahrscheinlich keine rezente Bildung, stammt aus feuchteren Zeiten, auch auf Graniten, Schiefen und Kalken, die Sand + Feldspat führen, kaum auf Basalten.

Kalke : Bilden häufig wegen einigermaßen gleichartiger Abtragung Hochebenen, Wasserführend in Klüften: Wasser tritt am Gebirgsrand aus.

Durch Winderosion Lössbildung mit Ablagerung in Randgebieten,

Yardangs = breite Luvseite, schmale Lee-Seite , Verhältnis Länge/Breite = 4 : 1

Talformen - Wadi

arab. Wadi, meist Flusstäler, Wasser fließt aber nur nach Starkregen, also bestenfalls zweimal pro Jahr für einige Stunden, oft nur im Abstand von Jahrzehnten! Im Untergrund oft feuchter - spärlicher Baumbestand, in der Sahara meist Tamarisken oder Akazien (Wurzeln bis 8mal tiefer als Höhe des Baumes)

Tamarisken sind hoch salzresistent und schnellwüchsig, Samen bilden innerhalb von wenigen Tagen 20 cm hohe Pflanzen, Salzausscheidung über Blätter, führt durch Stabilisierung von Staub und Sand zur nebkha-Bildung, 2 bis 6 m hoch!

Steiltäler (Canyons) typisch für aride Gebiete, Wasser kommt oft von höher gelegenen Gebieten her, die nicht arid sein müssen (Colorado river / Fish river in Namibia).

Abbruchkanten (falaise) auch aus relativ weichen Sedimenten im ariden Klima lange beständig.

Herkunft des fließenden Wassers:

Infiltrationsmenge meist in der Größenordnung 2-5 mm/h

Bei Starkregen fließt der Überschuss ab, run-off nimmt nach Untersuchungen in der Negev (1964 Evenari) mit sinkender Neigung zu!!

Typische Abflußraten sind 10 - 25 % des Niederschlags, allein 1 mm = 1 Liter pro qm \Rightarrow ergibt für den Quadratkilometer 1 Mio Liter!

Größtes Problem für den Straßenbau in Wüsten ist die Drainage von Schichtfluten!

Mittlere Niederschlagsmenge pro a über der gesamten algerischen Sahara liegt bei 44 mm/a! **Wassererosion spielt enorme Rolle insbesondere für Ingenieurbauten (Straßen + Brücken)**

Nach Starkregen immer wieder Todesfälle durch Ertrinken, berühmtestes Beispiel Isabelle Eberhardt (1877-1904) in Ain Sefra am Nordrand der Sahara. ("Sandmeere")

Nur historisch interessant ist der Streit ob Winderosion oder Wassererosion in Wüsten wichtiger oder vorherrschend ist. -

Staubverlust durch Stürme wurde geschätzt auf 0,1 mm/a = 100 m pro Mio a = 100 Bubnoff-Einheiten!! - Stärker an Wüstenrändern + in Steppen

Brunnen und Quellen arab. hassi, ain (Auge)

mit Steinen befestigter Schacht, das Seil + Schöpfgefäß + Trichter muß der Reisende mit sich führen! Abschluß früher meist ebenerdig, zuweilen mit Abdeckung gegen Sandflug. Erst in Kolonialzeit 1 bis 1,4 m hohe Brunnenmauerung.

Selten offene Wasserlöcher - Es gibt Stellen an denen zu bestimmten Jahreszeiten von den Nomaden Wasserlöcher zur Viehtränke gegraben werden.

Zugbahnen = Brunnentiefe

Artesische Brunnen (älteste Beschreibung aus dem 14ten Jahrhundert von Ibn Khaldun)

In der algerischen Sahara taucht von der Südflanke des Sahara-Atlas eine Schicht von porösen Sandsteinen und Sanden aus der Unterkreide (Alb) gegen Süden ab. (intercalaire continental) Ist mit Tonen und Mergeln aus der Oberkreide nach oben abgedichtet. Flächenmäßig mit 600.000 Quadratkilometern fast doppelt so groß wie die Bundesrepublik. (Justin Savornin 1927.)

Ähnliche und größere artesischen Becken in Australien. Erbohrtes Wasser ist zuweilen heiß (Bis 40°C). Sog. fossiles Wasser, Alter etwa 2 - 4000 a.!!

Foggara: Unterirdische Kanäle mit sehr schwacher Neigung, die Quellen am Rand von Höhenzügen unterirdisch anzapfen und zu Oasen leiten. Im Abstand von einigen 10er Metern Schächte bis zur Oberfläche für Lüftung und Wartung. Technik wahrscheinlich aus dem Iran eingeführt, viele Oasen früher nur so bewässert. - Verfallen langsam, bis zu 40 m tief, Gefälle meist bei 1: 1000, Gesamtlänge in der Zentralsahara lag bei ca. tausend Kilometern. Wurden von Sklaven und Kindern von Hand angelegt.

Oasen sind gebunden an Wasservorkommen unabhängig von der Jahreszeit. In Afrika und Nahost historisch stets Anbau von Dattelpalmen. Je nach Salzgehalt Durchflußbewässerung (20% Abfluß) und zwischen den Palmen Anbau von Gemüse, Minze und Futtergetreide. - Historisch stets Gegensätze zwischen Oasenbewohnern und Nomaden.-

Ausnahmesituation : Souf-Region in NE-Algerien , hier stark gipshaltiges Grundwasser in 2 - 6 m Tiefe.

Palmen in künstlich angelegten Sandtrichtern.

1887 21.000 Menschen, 160.000 Palmen

1930 70.000 " , 350.000 "

1955 100.000 " , 450.000 "

Seit Beginn der 80er Jahre starke Ansiedlungsbestrebungen der Regierung, Gewächshäuser, Pumpen, seit 1930 wird Sinken des Wasserspiegels registriert.

Von 1900 bis 2000 hat sich die Bevölkerung der Mittelmeer-Anrainerstaaten Nordafrikas verzweifacht! Exponentielle Entwicklung, Verdopplung allein von 1975 bis 2000.

Hauptort El Oued (al wadi) , Stadt der Kuppeln, Gipsrosen als Baustoff.

Architekturstil der Oasen örtlich je nach Baustoff (Lehm, Ziegel) unterschiedlich, oft sehr ortstypisch. **Adobe** = ungebrannte Ziegel aus Lehm mit Pflanzenfasern (Stroh) sind in Kernwüsten als Baumaterial weit verbreitet und als Temperaturausgleichende Substanz perfekt. Nach jedem stärkeren Regen muss die Fassade ausgebessert werden! Berühmtestes Beispiel: Sanaa/Jemen.

Um diese Ausbesserung zu erleichtern sind oft dicke Holzstäbe in regelmäßigen Abständen in die Fassade eingebaut.

Polizei- und Militärstationen sind oft einfache Baracken mit Wellblechdach, um die Sonneneinstrahlung zu vermindern wurde etwa 25 cm über dem Dach ein zweites Dach angebracht. Dies erhitzt sich, wird aber durch die strömende Luft gekühlt. Meist Relikt aus Kolonialzeiten.

Wo dies möglich ist werden Höhlen in weiches Gestein gebaut: z.B. Süd-Tunesien, Osttürkei in Tuff. – Strömungstechnisch perfekte Architektur für Wüstenklima in einigen Städten in Persien/Iran.

Temperaturen in der Wüste

Meteorologisch werden Temperaturen in 2 m Höhe im Schatten gemessen. In der Sahara liegen die Hitzepole im Norden der Sahara: Ghadames ca. 55°C, In Salah und Biskra ca. 50°C. Die höchste je gemessene Temperatur wurde in Aziziah in Libyen mit 58°C am 3.9.1922 gemessen. Alle drei Stationen verzeichnen in den Wintermonaten regelmäßig Temperaturen unter 0°C!

Extremwerte der Bodentemperaturen im Jahresgang:

Nordrand der Sahara von -5°C bis +75°C / Südrand der Sahara von +5°C bis 85°C

Entsprechende Werte in der Gobi -35°C bis + 65°C.

Temperaturschwankungen innerhalb von 24 h in Bardai (Tibesti) im Frühjahr:

8°C bis 52°C auf Sand / 17°C bis 40°C auf Sandstein

(Tiefste Temperatur kurz nach Sonnenaufgang, höchste etwa 12:00 Uhr Ortszeit)

Die nächtliche Abkühlung beeinflusst auch den Wind in Bodennähe: Der fast ständig wehende Wind scheint in der zweiten Nachthälfte abzuflauen, morgens Windstille, Wind setzt etwa 1 - 2 h nach Sonnenaufgang wieder ein. Erklärung: Es bildet sich im Lauf der Nacht eine Kaltluftschicht am Boden von bis zu einigen 100 m Höhe, oberhalb dieser Schicht wehen die Passatwinde weiter! Morgens wird die kühle Luftschicht durch Bodenerwärmung und Rückstrahlung schnell wieder zerstört.

„Luftspiegelungen“

Physikalische Grundlagen: In transparenten Medien ist die Lichtgeschwindigkeit kleiner als im Vakuum. Im Medium * ist die Lichtgeschwindigkeit $c^* = c/n^*$, n^* ist der Brechungsindex.

(Brechungsindices sind stets grösser als 1) Der Brechungsindex von Luft ist abhängig von der Temperatur und vom Luftdruck, bei 0°C und $1\text{ bar} = 1,0003$, bei Erwärmung um 30°C sinkt die Luftdichte um etwa 10%. - Beim Übergang eines Lichtstrahls von einem optisch dünneren Medium ins optisch dichtere Medium wird der Strahl zum Einfallslot hin gebrochen (Refraktion) - Snellius'sches Brechungsgesetz. Fällt ein Lichtstrahl unter sehr kleinem Einfallswinkel ($0,5 - 2^\circ$) aus einem optisch dichteren Medium auf die Grenzschicht zu einem optisch dünnerem Medium (Heißluftschicht am Boden) so tritt Totalreflexion ein, die Grenzschicht wirkt als Spiegel. Abgebildet wird vor allem der Himmel, da die Luftschichten meist leichte Turbulenzen zeigen, entsteht der Eindruck einer Wasserfläche. - Nur dies ist eine echte Luftspiegelung, Voraussetzung: Geringe Augenhöhe und weite Ebene. - Kann auch oft in Europa über heißen Asphaltstraßen beobachtet werden.

Praktisch liegt jedoch meist keine „Heißluftschicht“ vor, sondern ein sehr starker Temperaturgradient; dann wird der Strahl kontinuierlich in dieser Schicht nach oben hin gebrochen, der Effekt ist der gleiche. Falls Gegenstände abgebildet werden, so stehen sie auf dem Kopf.

Am frühen Morgen ist der Boden in der Wüste wegen der Ausstrahlung wesentlich kälter als die Luft. Die Dichte der Luft nimmt daher nach oben hin stark ab, Strahlen werden zum Boden hin gekrümmt. Das Objekt erscheint angehoben. Zuweilen können Objekte beobachtet werden, die jenseits des Horizonts liegen.

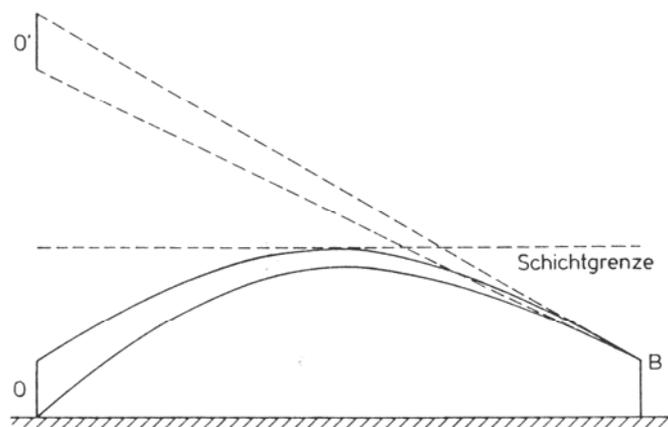


Abb. 10: Spiegelung nach oben

Bei starken Unterschieden im vertikalen Temperaturgradienten können Vergrößerungseffekte auftreten. (Dichteabnahme in Bodennähe nicht so stark wie weiter oben.)

(Der umgekehrte Effekt, eine Verkleinerung, tritt in Wüsten selten ein und wurde vorwiegend auf Meeren beobachtet.)

Es treten auch gelegentlich Mehrfachspiegelungen auf, Voraussetzung sind wechselnde Temperaturgradienten und Schichtgrenzen, die schräg zur Erdoberfläche liegen.

Wüstenflora (Pflanzen mit * ⇒ S/W-Bilder)

Fast alle Pflanzen sind stark angepaßt = Dornen, giftig, bitter, extrem lange Wurzeln, salzresistent oder kurze Zeit zwischen Wachstum, Blüte und Samenreife (Acheb-Flora, sog. ephemere Pflanzen). Afrikanische Beispiele:

Bäume: Tamariske, Akazien (Sahara : *acacia raddiana* - Namib: *acacia erioloba* = Kameldorn) + sechs andere Mimosaceae). *Balanites ägyptiaca* mit 10 cm langen, dicken Dornen und oval eiförmigen Blättern.

In Oasen und Randgebieten vielfach eingeführte Bäume:

Eucalyptus spec. aus Australien, typisch Rinde blättert ab. Vorteile: schnellwüchsig, gutes Bauholz, ergibt gute Holzkohle, unempfindlich gegen lange Trockenperioden / Nachteile: Verbraucht große Mengen Grundwasser, wenn die Wurzeln erst bis dort reichen, unter dem Baum wächst nichts, Laub gibt ätherische Öle ab.

Dattelpalme (*Phoenix dactylifera*) ist eine zweihäusige Kulturpflanze - Wurzeln brauchen ständig Wasser! Verträgt aber relativ hohen Salzgehalt des Wassers. Sehr selten sind wildwachsende Palmen an Quellen, erkennbar an der Buschform. Datteln sind die Kartoffeln der Wüste = Hoher Gehalt an Kohlehydraten, Vitaminen + Mineralstoffen, einfache Sorten sind kaum süß. / Kulturen gefährdet durch eine Pilzerkrankung die Marokko + Algerien erfasst hat und sich weiter nach Osten ausdehnt.

In asiatischen Kaltwüsten auch **Pappel**.

Sträucher:

Retama raetam (Rutenginster) bis 2m hoch, ohne Dornen und Blätter, Zweige herabhängend, nur in Dünen.

Ziziphus lotus (Sahara) / *Ziziphus mucronata* (Wart-ein-bißchen in der Namib) sind Kreuzdorngewächse (Christusdorn), zuweilen nekka-Bildung.

**Calligonum comosum* grün, ohne Blätter, Früchte hellbraune "Pelzkugeln", typisches Kamelfutter , arab. abal

Büsche:

Calotropis procera (Sodomsapfel) Große Blätter, Blüte violett, Frucht sehr leicht und groß wie Mango, sehr giftig!! 1- 3 m hohe Pflanze, aus den getrockneten Stämmchen wurden Stangen für Kamelbeladung angefertigt.

Zilla spinosa kugelförmiger Busch mit dornenförmigen Blättern und spitzen sprossenden, violette Blüten, trocknet zu gelbbraunem Busch aus, der oft durch den Wind abgerissen durch die Gegend rollt - Der klassische Dornbusch der Bibel!

**Astragalus armata* dicht mit 4-5 cm langen Dornen besetzte Stengel, dazwischen Blättchen und blasige Blütenkelche, es ist nicht möglich die Pflanze mit bloßen Händen zu pflücken!

**Cornulaca monacantha* (Had), harte Blätter umkrallen Stengel, mit scharfer Spitze, dunkelgrün, stark verzweigt. Typuspflanze der Sahara

Deverra scoparia, gelbgrüner besenartiger Busch ohne Blätter, weißliche Blütendolde, riecht beim Zerreiben nach Dill.

Gräser aus Familie der Poaceae(Süßgräser):

**Stipagrostis pungens* (Drin-Gras) lange Blätter mit nadscharfer Spitze

*Qassis = *Cyperus conglomeratus* typ. Kamelfutter

**Cynodon dactylon* (Hundszahngras/bermuda gras) blaugrün, extrem ausdauernd, hieraus Zuchtformen für Golffrasen entwickelt. Kommt auch in allen warmen Klimazonen der Erde vor.

Andere typische Pflanzen

Cistanche tinctoria /*violacea* gelb, bzw. violett, Schmarotzerpflanze, Wurzel ist eßbar, in der Taklamakan als Heilpflanze angesehen.

Colocynthus vulgaris (Koloquinte, "Bittermelone"), soll sehr tiefe Wurzeln haben?

Keine vollständige Aufzählung:

In der Sahara insgesamt ca. 2000 species, bei Aufteilung nach Klima und Boden zeigt sich, daß in den trockneren Gebieten weniger Species vorkommen, **selten aber weniger als 20, meist einige hundert.**

Welwitschia mirabilis (Namib) - abhängig von Nebeltau

Succulenten: Kakteen in Amerika / Euphorbien in Afrika /Agaven + Aloe-Gewächse
Opuntien in Afrika u. Südeuropa eingeführt, in Oasen als „Zaun“, Schaf-Futter + Früchte.

Typisch für Steppen sind u.a. Artemisia-Arten (Beifuss/Wermut) -

Bei mehr als 500 mm Niederschlag/a bilden Steppen meist eine Waldflora, wird aber durch Elefanten, bzw. Hirten verhindert.

Tiere

Häufigste Tiere sind **Schwarzkäfer** (*Tenebrionidae*) allein in der Sahara ca. 350 species.

Allesfresser, typisch Spuren im Sand. 4 - 40 mm Länge, oft verbreiterte Tarsen (Sandschuhe) und lange Beine. Leben oft von angewehemtem org. Material.

In der Namib "Tau-tanker". Einige Arten verschießen Sekret.
Viele andere Käferarten (Ägypten , Skarabäus) - In Randgebieten der Namib bis 10 cm große Käfer.

Spinnen häufig, oft behaart, aber alle ungefährlich. Typisch und häufig ist die **Walzenspinne**: Länge bis 12 cm. Sieht ähnlich wie ein Skorpion aus, aber mit Taille ohne Schwanz, lange Beine, kann schnell laufen, große Beißwerkzeugen, extrem aggressiv und gefräßig! Nicht giftig!

Skorpione :

Sahara: 17 Arten, nur häufig da wo Pflanzen vorkommen. Nachtaktiv, Vorsicht beim Steine sammeln. (Schuhe + Gepäck im Freien!)

Stich stets schmerzhaft, aber nur bei einigen, meist eher kleinen und unscheinbaren Arten lebensgefährlich. (*Androctonus australis*: hell-grünlich mit schwarzen Kiefer- und Schwanzspitzen)

Heuschrecken:

Wanderheuschrecken mit kurzen Fühlern, Körper etwa fingerlang, nach dem Schlüpfen nach wenigen Tagen flugfähig, dann kaum noch Bekämpfung möglich.

Heuschreckenplage in Bibel erwähnt, Berechnungen gehen für Riesenschwärme bis zu 40 Mio. t - Verbürgt sind Fraßmengen bis 120 000 t/d. Große Wirkungen auch nach Tod: Verwitterung, Düngung.

Werden ohne Flügel geröstet gegessen. Eine species locust (*Zonocerus*) ist giftig, da sie sich vorzugsweise von giftigen Pflanzen (Schwalbenwurzgewächse) ernährt. Trägt schwarz-gelb-rote Warnfarbe.

Ameisen *Messor barbaricus* Grüne Flecken um Ameisenbaue, mehrfach höhere Pflanzendichte dort. Vorwiegend in Steppen.

Termiten sind keine Ameisen! Oberirdisch ist das Belüftungssystem, frisst Holz und andere Pflanzenteile. (Südafrika)

Reptilien

Etwa 20 Echsenarten in der Sahara, darunter mehrere Gecko-Arten (nachtaktiv), unter den tagaktiven sind typisch die glatten Skinke (Sandfische) + Dornschwanzagamen.

Schlangen : Allgemein: taub, aber guter Geruchssinn, gutes Sehvermögen nur im Nahbereich, reagieren meist nur auf Bewegung, einige Giftschlangen haben Infrarot-Detektoren (Grubenottern). Aggressiv nur bei Unterschreitung einer Distanz, die meist bei 50 bis 100% der Körperlänge liegt. (Unangenehme Ausnahmen bei einigen wenigen Arten z.B. schwarze Mamba!) In Südafrika Speikobra.

In Zentralsahara nur *cerastes cerastes* Hornvipera (senkrecht stehende Pupillen) bis 60 cm und *cerastes vipera* Avicennavipera (schräge Pupillen) bis 30 cm als Giftschlangen.

Beide "graben" sich im Sand ein, hellbeige mit dunklen Flecken.- Aktiv am Abend.

In Ägypten und Marokko auch *naja haje* (Uräus-Schlange- Kleopatra- Kobra-Art)
Gleichmäßig dicke Schlangen, also Kopf und Schwanz nicht abgesetzt, sind fast immer Nattern, also ungiftig.

Säugetiere

Viele Arten von Nagetieren (Mäuse), meist nachtaktiv, viele kommen ohne Wasser aus.

Springmäuse kann man zuweilen am Lagerplatz spät abends beobachten, nähern sich auch wenn Licht brennt und niemand sich bewegt!

Wüstenhasen (waren beliebte Speise der Nomaden der Arabischen Halbinsel) fast ausgerottet.

Schakal (*Canis aureus*) meist nur in Siedlungsnähe, nachtaktiv. (Streifenhyäne in der Namib)

Fennecus zerda (Fennek) mit Riesenoehr ist eine Fuchsart, wurde von Kindern als Jungtier gefangen und an Touristen verkauft.

Stachelschwein (Essbar, in Sahara fast ausgerottet)

Huftiere: Reste von Dünen- und Dorkasgazellen in Sahara (Ausrottung in der Zeit nach dem zweiten Weltkrieg!) Früher bereits Mendesantilope, weiße Oryx und andere Arten ausgerottet.

Kommen über Monate ohne Wasser aus, sofern genügend Nahrung vorhanden.

(Auch im humiden Klima gibt es Tiere, die nicht trinken: Kaninchen).

Dromedar (*camelus dromedarius*) wurde vor ca. 2000 a in die Sahara eingeführt:

Körpertemperatur kann angepaßt werden, 35 bis 41° C. (Mendes-A. bis 40°C)

Wasserspeicherung in Nebemagen, Fett in Höcker konzentriert, dadurch bessere Wärmeabgabe des Körpers.

Der Atemluft wird durch Schleimhäute Wasser entzogen und damit die eingeatmete Luft wieder befeuchtet, feines Unterfell + langhaariges Oberfell.

Tränke im Abstand von ca. 5 bis zu max.10 Tagen. Aufnahme dann bis über 100 Liter. -

Wasserbedarf je nach körperlicher Verfassung, Leistung (Traglast+Distanz), Futter und Temperatur sehr unterschiedlich, von fast 0 bis zu 20 Liter pro Tag.

Große Weidedistanz bis zu 150 km!! –Reit- und Lasttier, liefert Fleisch, Milch und Wolle. - Läuft 3 - 6 km/h, trägt Lasten bis etwa 130 kg.

Karawanen: Durchschnittsgeschwindigkeit 20 - 30 km/d. In schwierigem Gelände sehr viel weniger! - Vorteil ist Geländegängigkeit in Dünengebieten. Tiere müssen täglich gefüttert werden, auf vegetationslosen Strecken muss Futter mitgeführt werden.-

In Australien haben sich verwilderte Dromedare zur Landplage entwickelt
Zweihöckriges Kamel oder Trampeltier in asiatischen Trockengebieten, ist auch sehr kälteresistent. – Echte wilde Trampeltiere noch im Grenzgebiet Mongolei/China.

Weidedistanzen von Zuchttieren: Rind 10-18 km (Zebu 25 km, ähnlich Schaf und Ziege, Esel größer)

Strauß war um die Jahrhundertwende (1900) in der Sahara noch häufig, Eierschalenreste können noch heute häufig gefunden werden, inzwischen völlig ausgerottet. - Löwen im Atlas, Geparden und Leoparden erst im 19ten Jahrhundert ausgerottet.

Vögel

Wüstenrabe *Corvus ruficollis* Typisch meist Paare.

Weißbürzelsteinschmätzer (*Oenanthe leucopyga*) in felsigem Terrain, neugierig, nicht scheu!

Viele Zugvögel kreuzen die Sahara!

Einige Flughuhnarten brüten in der Wüste, Männchen transportieren Wasser im Gefieder zu den Jungen. - In der Atacama brüten fischfressende Seevögel in der Wüste.

Klimageschichte der Sahara u. Rolle des Menschen bei der Desertifikation

Vor etwa 7000 a großer Teil der Sahara Savanne, mehr Regen, dann wahrscheinlich abnehmende Niederschläge, seit etwa 2500 a Niederschlagshäufigkeit etwa wie jetzt. (Ausnahme: Ägypten/Western Desert auch damals hoch arid)

2500 B.P. war Sahara bis etwa 100 mm Isohyete mit Bäumen bestanden! (Normal bis 500 mm). - Einwanderung der Phönizier um 2800 BP, um 2200 BP führte ein Numidischer König (Westtunesien + Ostalgerien) in 30 a 20.000 t Weizen nach Italien und Griechenland aus. Noch größere Exporte von Karthago aus. Die karthagischen Kriegselefanten waren nicht aus Zentralafrika importiert! Der Elefant soll noch im Mittelalter südl. des marokkanischen Atlas vorgekommen sein.

Die Römer eroberten u.a. Ghadames und Ghat.- 86 AD marschierte Julius Maternus mit einem römischen Heer und mit Unterstützung eines Garamanthenkönigs in 4 Monaten bis in ein Bergland, das sich durch das Vorkommen zahlreicher Nashörner auszeichnete. Es ist lediglich strittig ob es sich um das Air oder den Adrar des Iforas handelte.!

Vor 2000 a war Nordafrika die römische Kornkammer mit einer staatlich kontrollierten Getreidehandelsorganisation. Große Teile lagen zwischen 100 und 400 mm Isohyete. In Gebieten bis 50 mm Ackerbau in Wadi-Kulturen. - Zwischen 300 und 700 AD war die Bevölkerungsdichte vermutlich etwa so hoch wie in den 70er Jahren unseres Jahrhunderts.

Über den Verfall der Landwirtschaft gibt es unterschiedliche Theorien:

- Folge der arabischen Eroberung im 7ten Jhdrt.
- Malariaepidemien nach Aufgabe von Drainage und Landwirtschaft
- Überbevölkerung und Überweidung

Reste der hochentwickelten Landwirtschaft durch Berber in den Bergregionen (Aures-Gebirge)

Im ariden Teil südl. davon vorwiegend Zucht von Schafen, Kamelen und Ziegen.

Echte Nomaden in der Zentralsahara (Tuareg): Viehzucht, Karawanen"schutz"

Nomaden südlich des marokkanischen Atlas: Regibat / im Tibesti: Tubu

"Oasenschutz" Raubzüge (rezzu = Razzia) bei Nachbarn. Stammesfehden auf der Arab. Halbinsel bis in die 40er Jahre.- Somalia: Clan-Strukturen und gewaltsame Auseinandersetzungen zwischen ihnen bis heute!! - Bedingt durch Kämpfe und Hungersnöte ergab sich über mehr als 12 Jahrhunderte ein Bevölkerungsgleichgewicht. - Ähnliches galt für Gebiete bis zu den Atlasketten im Norden und für die Sahel-Zone. - Beginn der französischen Eroberung Nordafrikas um 1830. -

Radikale Kolonisierung ganz Afrikas nach der Berliner Kongo-Konferenz 1884/85.

1890 Abkommen England/Frankreich: Westsahara an Frankreich, gegen Englische Ansprüche in Zentralafrika (Engl Premier: Sand zum scharren für den gallischen Hahn!)

Nach der gewaltsamen Eroberung: Unterdrückung von Stammesfehden, später Hygiene, Medizin, Verkehr, Industrie(Erdöl) - Ergebnis ist eine Bevölkerungsexplosion die nach erkämpfter Unabhängigkeit weiter anhält.- Frankreich hatte fast 70 Jahre für die Eroberung seiner Nordafrikanischen Kolonien gebraucht! (1887 Flatters) Letzte Aufstände der Tuareg gegen die französische Kolonialmacht 1914-18 am Westrand des Hoggar-Gebirges. .

1989 bis Anfang der 90er Jahre Aufstand der Tuareg im Nord-Niger und Mali mit Auswirkungen auch auf die algerische Sahara. Heute ist die nördliche Sahelzone in Niger und Mali praktisch ohne staatliche Autorität, Herrschaft in einem fragilen Gleichgewicht zwischen radikalen islamischen Gruppen und örtlichen Clans. Finanzierung durch Schmuggel und Schleusung von Flüchtlingen..Hauptroute für Flüchtlinge aus Zentralafrika läuft vom Niger nach Libyen durch die Tenerewüste über Djado, Dao Tümmü nach Tummü und Al Katrun.

Bevölkerungsentwicklung N-Afrika 1900 - 2000 = x 12!

Der Bestand an Weidetieren in N-Afrika war bereits in den 70er Jahren doppelt so hoch wie vertretbar angesichts der damaligen Vegetation.

Folgen von Überweidung:

- perennial grass verschwindet und wird ersetzt durch einjährige Gräser, Disteln und Sträucher mit geringerem Nährwert. Futter-Kräuter nehmen ab und verschwinden schließlich. Kühe, Schafe und Ziegen verdichten durch Huftritt den Boden: Infiltrationrate sinkt, Abfluß steigt, = *Erosion durch Wasser und Wind*
- Allein in Algerien in den 70ern jährlich 80.000 ha Landverlust durch Erosion.
- (Erosion durch Wasser bis 1mm/a - Winderosion auf sandigen Böden bis 10 mm/a)
- Die Produktion an nutzbarer Biomasse sinkt auf 35 bis 20%!
- Katastrophal sind vor allem Ziegen (black locust) - da mit abnehmender Güte der Vegetation aber der Anteil an Ziegen und Kamelen wächst = Verstärkung des Effekts.
- Überweidung (vielfach erst möglich durch Anlage von Brunnen / Sahel)
- Abholzung von Bäumen für Feuerholz.
- Im Norden Versuche neues Ackerland in Steppenregionen zu gewinnen.

Reisen in der Wüste Interesse: Tourist in Reisegruppe oder Wiss. im Rahmen der Arbeit:

Bis ins 20te Jhdt. = laufen oder reiten. / 1908 erster Versuch mit Motorrad (Major Pein kam bis El Golea)

1922/23 erste Sahara-Durchfahrt mit Kfz. (Touggourt-Timbuktu) - 1930 Erste Sahara-Rallye.

Flugzeug: 1920 Laperine bei Tamanrasset abgestürzt - 1925 Flugverbindung über Casablanca-Dakar (St. Exupery, Schriften: „Der kleine Prinz“ , „Terre des hommes /Wind, Sand und Sterne.“ / Erste Meteoritenfunde in der Wüste)

Straßenbau intensiviert seit den frühen 30er Jahren - aber: Es gibt bis heute keine durchgehend ausgebaute und gebrauchsfähige Straße für eine N-S-Durchquerung

der Sahara!! - An der Route In Salah - Tamanrasset - In Guezzam in Algerien wurde über 40 Jahre gebaut; bis heute fehlt das Teilstück von In Guezzam (Algerische Grenzstation) nach Arlit im Niger. (Im Westen hat Marokko nach der Okkupation des Sahauri-Gebiets (ehemalige spanische Kolonie Rio de Oro) eine Asphaltstraße bis nach Mauretania gebaut. Befahrung nur unter Schutz der Armee möglich!. – Im Osten gibt es eine „Straße“ von den westlichen Oasen in Ägypten bis in den Sudan. Ist aber in schlechtem Zustand.

Viele Kolonialstraßen praktisch nur noch in Rudimenten vorhanden. - Straßen in Dünengebieten werden oft über weht. - Größte Gefahr ist Wasser! - Wadis zum Schutz vor Wegspülung oft nur mit Betondurchfahrt versehen, nur bei Trockenheit nutzbar.

Makadamstraßen (in den Steppengebieten in Namibia) - Befestigung mit Salz in Küstennähe (Swakopmund) - Entwicklung einer sogenannten „Wellblech“-Struktur durch Fahrzeuge. (Strömung über lockerem Untergrund erzeugt Rippelmarken = hier rollende Räder über Kies+Sand+Schotter)

Alte Markierungen aus Karawanenzeiten = Kleine Steinpyramiden auf Bergen -

Pisten: Markierungen (piste balise) spärlich, Reifenspuren oft trügerisch

KFZ. : Bodenfremheit - Raddurchmesser u. -Breite bestimmt Bodendruck

Verbesserung durch Luft ablassen oder Sandbleche:

300 x 41 cm, 3 mm Fe, 30 kg - Alu 3 mm =10 kg/ 4,5 mm =15 kg

Almassy 30er Jahre: Strickleitern

Fahrweise - Räder nicht durchdrehen lassen! -R-Gang

M&S unzuweckmäßig, spezielle Sandreifen von Michelin

(Luftfilter / Federung - Stoßdämpfer / Verzurren des Gepäcks / "Wellblech" / Rad- + Schlauchwechsel / Luftpumpe + Brett /Wagenheber dto. / Schaufel o. Spaten)

Fahren im Gelände: Hoher Rollwiderstand, in weichem Gelände niedriger Gang, (hohes Drehmoment) - Nicht scharf bremsen! - Abstand halten!! -

Vorsicht vor hochgeworfenen Steinen beim Passieren entgegenkommender Fahrzeuge auch auf „Straßen“!

Orientierung: Kilometerzähler (Vorher eichen!), Kompaß, Sonnenstand, Landmarken, GPS.

Praktisch ein Koppelkurs mit punktueller Überprüfung durch GPS, hängt auch von Gelände und verfügbarem Kartenmaterial ab.

Reifenspur des eigenen Teams einprägen, beim Spaziergehen Orientierungsmarken beachten. - Gefahr „im Kreis“ zu gehen!!

Extrem gefährlich: Fahren im Gelände bei Nacht oder bei Sandsturm!

Wasserbedarf: Je nach Temperatur + Wind (Jahreszeit): 2 - 10 Liter zum Trinken pro Kopf und Tag. - Wasserbedarf steigt sehr stark an, wenn die Lufttemperatur über 33°C steigt! - Wasserflasche - Abhängig auch von körperlicher Arbeit!! - Mehr als ca. 15 Liter pro Tag kann zu Nierenschädigung führen. - Zu Zeiten der Tag und Nachtgleiche im Frühjahr in Wendekreiswüsten (Günstigste Reisezeit) reichen meist 5 Liter pro Kopf und Tag für Trink + Kochwasser.

Aufbewahrung: Römerzeit = Tonkrüge - Guerba ab 100 AD - Plastikkanister (Bidon)

Micropur = Ag-salz zur Verhinderung von Algenwachstum.

Erhöhter Trinkwasserverbrauch bedingt auch höheren Salzbedarf. - Bei akuten Beschwerden sollte eine Glukose/Kochsalz-Lösung getrunken werden. (Auf 0,4 L Wasser: 10g Traubenzucker + 1,4 g NaCl + 1 g Natriumhydrogenkarbonat + 0,5g KCl)

Wäschewaschen + Duschen nur am Brunnen - Methoden zur Minimierung des Wasserbedarfs bei Körperpflege + Zähne putzen - Problem Kochen - Auswaschen von Töpfen + Essnapf notwendig - Waschen mit Sand: Füße, Besteck - Feuchttücher für Toilette

Kernwüste ist relativ steril.

Umgang mit Abfall - Org. Abfall ist Nahrung für Fauna.

Ausrüstung

Statt Haftschaalen \Rightarrow Brille !!!

Kälte \Rightarrow Schlafsack + Bettbezug, winddichte Jacke, Pullover, Rettungsfolie, Matte, (Zelt oder klappbares Feldbett).

Sonne \Rightarrow Kopfbedeckung, Sonnencreme mit hohem Schutzfaktor, (Halstuch).

Kleidung \Rightarrow Nicht enganliegend, möglichst Baumwolle, körperbedeckend.

Taschenlampe (Ersatzbatterien oder Akku + Solarladegerät, Drehschalter, + Karabinerhaken)

Mülltüten gegen Staub, (Fotoapparat, Videokamera), Klebeband.

Tasche mit Reißverschluss statt Koffer, im Freien stets geschlossen halten (Skorpis!)

Messer an Kette oder in Gürteltasche.

Trinkflasche ca. 1 L, möglichst eloxiertes Aluminium. Tagsüber nur Wasser oder Kräutertee. Keine sauren Getränke in Metallflaschen.

Essen: Aus Zeitgründen nur früh + abends, dazwischen nur leichter Imbiss.

Auf hinreichende Salzaufnahme achten! - Bei fremdorganisierter Verpflegung eventuell mitnehmen: Hartwurst (Salami), Trockenobst, Knäckebrot, kleine Konserven (Ölsardinen, Thunfisch, Cornedbeef o. ä.), Vitamintabletten, Kaugummi. - Praktisch überall in Ansiedlungen zu kaufen: Salz, Zucker, Mehl, Zwiebeln, Knoblauch, Gemüse je nach Jahreszeit + Gegend.

Aride Verwitterung - Erosion

Physikalische Verwitterung - Vergrößerung der Oberfläche

Thermische Ausdehnung pro $^{\circ}$ C $\Delta l/l = \beta = \text{ca. } 10^{-5}$ für Gesteine

(bei 1 m Länge, 50 $^{\circ}$ C Temperaturdifferenz, also Längendifferenz 0,5 mm)

T-Differenz am größten an der Oberfläche, nimmt nach unten exponentiell ab.

Dadurch Lockerung des Gesteinsverbands, Abplatzen, Schaffung neuer Angriffspunkte für Wasser. - Alleinige Wirkung ist gering wie die Beispiele Mond und Mars mit 18 km hohen Bergen zeigen.

Frostsprennung:

- alle Poren gefüllt mit Wasser, friert von außen, kryostatischer Druck. Spielt in Wüsten kaum eine Rolle.

- Poren nur zum geringen Teil mit Wasser gefüllt - Wasserdampf kondensiert zu Eis an der kältesten Stelle - Eislinsenbildung: Frostaufbrüche. In heißen Wüsten selten von Bedeutung, Ausnahme in großen Höhen: Atacama + nördl. asiatischen Wüsten!

Salzsprengung

Kristallisationsdruck von Salzen - Glaubersalz schmilzt bei 32° im eigenen Kristallwasser, die Umwandlungstemperatur wird bei Gegenwart anderer Salze pro Mol um 3,25°C erniedrigt. Dadurch in Wüsten häufige Wechsel wahrscheinlich - Wichtigste Art der physik. Verwitterung in ariden Gebieten!! Auch andere Salze: NaCl, Gips, Mg-Sulfate (mehrere Hydrate). - **Tafoni-Verwitterung**

Erosion durch Wind (yardang) und Wasser

Chemische Verwitterung nur wenn Wasser vorhanden

Karbonate: Bildung von Hydrogencarbonaten, Karst, Stalaktiten, Taurillen.

Silikate + Oxide ⇒ extrem langsame Auflösung in Wasser, dabei meist sofort Bildung neuer thermodynamisch beständiger Minerale. - Hängt ab von pH und Konzentrationen der gelösten Stoffe, also von Wassermenge und ev. vorhandenen Säuren (CO₂ + org. Materie)

Typische Neubildungen sind Schichtsilikate (Tonminerale), FeOOH, Hämatit, Gibbsit.

- bei höherem pH und hoher Konzentration von Alk.+ Erdalk.-Ionen (Humid bis Arid)
= Dreischichtminerale: Illit wenn K vorhanden, mit Mg Smectite, manchmal auch Chlorit ,aber nur Palygorskit ist wüstentypisch.

- bei niedrigem pH und allgemein niedrigen Konzentrationen = Zweischichtminerale (Humid)

- bei extrem niedrigen Kieselsäurekonz. (kleiner 1 ppm) = Gibbsit (Tropisch)

Verwitterungsgeschwindigkeit kann statt in Masse pro Fläche und Zeit auch durch Division durch Dichte (Dimension: Volumen pro Masse) und Kürzen ausgedrückt werden als

Länge pro Zeit (Größenordnung 1µm/a = 1m in 1 Mio a.)

Chemische Verwitterung ist einer der am langsamsten ablaufenden Vorgänge in der Natur!!

Fe³⁺ ⇒ FeOOH (ebenso 3,bzw. 4 wertiges Mn), Oxyde, Hämatit, Magnetit

Al³⁺ ⇒ Tonminerale , wenn viel Wasser da ist Al(OH)₃

Si ⇒ teils Tonminerale , Überschuß kolloidal abtransportiert, Kieselkrusten

Mg (Fe²⁺) zusammen mit Al ⇒ Tonminerale

Ca, Na, K \Rightarrow teils Tonminerale (austauschbare Ionen) , Überschuß als Hydroxid \Rightarrow + CO₂ \Rightarrow Calcit , bzw. Hydrogencarbonat abgeführt

Einfluss von Mikroorganismen auf die chem. Verwitterung in humiden Gebieten bedeutend, im ariden Klima kaum untersucht, bzw. strittig.

Wüstentypisch: Palygorskit (hoher pH, viel Mg-Ionen)
Evaporitminerale: Salze, Gips

Kieselsäurepanzer - Krusten - verkieseltes Holz :

Wahrscheinlich Relikte niederschlagsreicherer Zeiten bei gleicher geograph. Lage (Würzburger Schule-Hagedorn)

Wüstenlack - Polituren durch Staub + Sandschliff - Sandschliff-polierter Basalt erscheint blau!

Nutzung in Vergangenheit und Gegenwart

Bis zum 20. Jhdrt:

- Oasenwirtschaft: Setzt eine ganzjährige Wasserversorgung voraus! Entweder Grundwasser oder gefasste Quelle (Kanate, Foggara) oder Terrassenwirtschaft bei hinreichendem Niederschlag am Berghang (Jemen, Marokko). Um Versalzung zu vermeiden, muss ein Wasserabfluss gewährleistet sein (Ca. 20%).

- Viehzucht (Nomaden), war abhängig von fluktuierender Niederschlagsmenge und hinreichender Wasserversorgung durch Brunnen und Wasserlöcher, vorwiegend in Steppengebieten und Wadis der Kernwüste.

- Handelsstädte nur vereinzelt (Timbuktu, Ghat, Stützpunkte an der Seidenstrasse in der Takla Makan)

- Bergbau: Trona, Soda (Ägypten, Tschad) / Steinbrüche (Ägypten) / Cu (King Salomon mines) / Salz (Niger, Mali, Algerien, Dschibouti) / Stibnit (Algerien) / Au (Sudan)

- "Zisternenwirtschaft" ist prähistorisch belegt im Negev. Verhältnis Sammelfl./Sickerfl. von 20/1 bis 100/1. Typischer Verstärkungsfaktor 4 bis 10 x Isohyetenwert. Es musste eine Dürrekatastrophe eintreten, wenn die Niederschläge alle unter 5 mm (Infiltrationsmenge 2-5 mm/h) lagen oder der Regen ganz ausblieb. (Nicht in Kernwüsten möglich!)

Im 20ten Jhdrt.:

Radikaler Wandel im **Transportwesen** seit 1920:

Statt Kamel = Lkw , später Flugzeug und Hubschrauber.

Intensivierung des Straßenbaus seit den 30er Jahren, aber bis heute noch keine durchgehende ausgebaute Straße in N/S-Richtung durch Sahara. / Straßenbau in asiatischen Wüsten erst viel später aus politisch-strategischen, inzwischen auch aus

wirtschaftlichen Gründen. - Alle Versuche eine Eisenbahnlinie durch die Sahara zu bauen sind schon zu Kolonialzeiten aufgegeben worden.

Bergbau:

Vorteile bei der Prospektion: Ohne Vegetation, meist wolkenlos = Satelliten- und Luftbildfotos zur Exploration,

extrem dünn besiedelt = weniger Umweltbedenken beim Bergbau.

Nachteile: Lange Transportwege, keine Straßen, Wasser für Aufbereitung fehlt.

Ein großer Teil der bedeutenden Vorkommen liegt in Wüsten:

Erdöl, - Uran (Arlit/Niger, Rössing/Namibia) - Phosphat (Marokko, Tunesien, Jordanien) - Diamanten (Namibia, Botswana) - Cu (Chuquibambilla/Chile) - Fe, Bauxit (Mauretanien) - Gold, Opal, Pb/Zn (Broken Hill), Eisenerz, Bauxit (Australien)

Landwirtschaft:

Terrassierung zur Verbesserung der Regenausbeute: Marokko, Libyen, Tunesien, u.a. Künstliche Bewässerung mit fossilem Wasser in Libyen = Versalzungsgefahr

ähnlich: Kalifornien (Gilawüste), - Ägypten 1997 Vorschlag Mubaraks! Vorräte fossilen Wassers begrenzt (Jordanien: Wasser für Akaba pro a 5 - 10 m tiefer bohren!) - Libyen Gaddafi-Projekt: Fossiles Wasser für die Küstenbevölkerung!

Verbesserung der Bewässerung durch Tropfbewässerung statt Beregnung hat sich inzwischen weitgehend durchgesetzt. Streit um Wasser ist inzwischen wesentlicher Bestandteil und wichtiger Hintergrund von politischen Konflikten insbesondere in Nahost. Staudämme in der Türkei beeinflussen die Wasserversorgung von Syrien + Irak. - Golanhöhen wichtig wegen Kontrolle der Wasserversorgung - Israel verbraucht den größten Teil des Wassers des Sees Genezareth für sich, akuter Wassermangel in der Westbank!

Entwicklung in Namibia: Tendenz zu Naturschutzgebieten + Tourismus / Rinderfarmen in Jagdfarmen + Tourismus umgewandelt.

Nutzung zur Energieernte:

Solarzellen (Photovoltaik)

Solarstrahlung in Wendekreiswüsten ca. 2000 kWh/qm - (etwa doppelt so hoch wie in Mitteleuropa, außerdem weniger Wolken)

Bei Solarzellen wird der Wirkungsgrad angegeben für Standardbedingungen (SCT= Standard Test Conditions). Diese Bedingungen sind selbst für mitteleuropäische Verhältnisse ziemlich wirklichkeitsfremd: Strahlung entspr. mitteleuropäischem Sommertag, die Temperatur entspricht mitteleuropäischem Wintertag, die spektrale Verteilung einem klarem Frühlingstag.

Seit etwa 25 Jahren gibt es eine sehr intensive Forschung und Entwicklung auf dem Gebiet der Photovoltaik, dies wird sicher noch andauern bis sich bestimmte Techniken auch wirtschaftlich(ökonomisch) für bestimmte Anwendungsgebiete durchsetzen.

Für Standardbedingungen sind derzeit Anlagen mit 20% Wirkungsgrad auf dem Markt.. Für Wüsteneinsatz bedeutend ist der Temperaturkoeffizient:→ Für krist. Si - 0,5%/°C, für Si amorph nur etwa 1/4 dieses Werts. - Ausweg: Kühlung der Zellen durch Wärmepumpe.

Zur dezentralen Versorgung von Siedlung und "Landwirtschaft" in Wendekreiswüsten ist derzeit wahrscheinlich noch eine Si amorph-Zelle mit hoher Lebensdauer und einem Wirkungsgrad von etwa 10% am geeignetsten. In vielen Ländern seit den 80er Jahren Solarzellen in Wüsten bereits benutzt für Wasserpumpen, Polizei- u. Militärstationen, Farmen.

Ausblick auf mögliche künftige Nutzung.

Thermische Solarkraftwerke

Sie sammeln die Sonnenstrahlung und treiben damit eine Wärmekraftmaschine an. Bereits im Einsatz sind Systeme mit schwenkbaren, verspiegelten **Parabolrinnen**, die das Sonnenlicht auf ein zentrales Absorberrohr konzentrieren. Durch dieses fließt ein Wärmetransportmedium.

Beim **Zentral-Receiver-System** fokussiert ein Feld verstellbarer Spiegel das Sonnenlicht auf die Spitze eines Turms. Dort sitzt ein Receiver, den ein Wärmetransportmedium durchströmt.

In beiden Systemen wird die aufgenommene Wärme an einen Zwischenspeicher abgegeben, meist eine Salzschnmelze bei ca. 300°C, das ermöglicht einen 24 Stunden-Betrieb der über Wärmetauscher angeschlossenen Wärmekraftmaschine.

Bislang sind dafür Dampfturbinen benutzt worden; in hochariden Gebieten dürfte das aber schwierig sein, einerseits wegen des hohen Wasserbedarfs, andererseits wegen der notwendigen Kühlung des Restdampfs. (Ausweg: Heißluftmotor = **Stirlingmotor**.)

Als kleinere Einheit gibt es bereits Parabolspiegel mit festmontiertem Stirlingmotor dessen Heißzylinder im Brennpunkt des Spiegels liegt **Dish-Sterlingsystem** – Geeignet zur Stromversorgung kleinerer Verbraucher. Nachführung kann auch manuell erfolgen.

Noch in der Entwicklungsphase sind Systeme bei denen Luft auf 1050°C und 15 bar erhitzt wird, die anschließend eine Gasturbine treibt.

Mehrere afrikanische Staaten planen den Verbrauch an Holz und Holzkohle für das Kochen stark einzuschränken. Durch Massenproduktion von Brennsiegeln.

Windkraft: Anfang des 20ten Jhdts. zum Wasserpumpen in Namibia. - Windkraftanlagen in den USA. Anlagekosten 2010 zwischen 1000 - 2300 €/KW ⇒ 0,15 - 0,10 €/KWh

Landwirtschaft = Produktion von Biomasse ist wegen der potentiellen Verdunstung (Versalzung) im offenen Anbau nicht möglich!!

Dagegen ist die Viehzucht ist kein klimatisches Problem: Schaf, Ziege, Kamel, Esel, Strauß sind auch im hochariden Bereich perfekt angepasst, auch bestimmte Rinderrassen sind geeignet. In der Gobi gibt es noch wilde Kamele, in Australien haben sich Dromedare die vor 70 Jahren freigelassen wurden im Grenzbereich zwischen Steppe und Wüste ohne jede menschliche Unterstützung gehalten. In Namibia wurden deutsche Armee-Pferde bei der Kapitulation im ersten Weltkrieg von

einem Soldaten freigelassen; die Herde lebt noch heute wild dort! Problem ist die Futterbeschaffung + Wasser!

Ausweg: Pflanzenwachstum mit geschlossenem Wasserkreislauf, bei dem möglichst nur der Wasseranteil entnommen wird, der in der Biomasse steckt! D.h.: Tankkultur oder Treibhaus.

Prinzipieller Unterschied zu Gewächshäusern in humiden Gebieten: Dort soll primär die Temperatur und Luftfeuchte erhöht werden. - Hier soll soweit möglich die Verdunstung unterdrückt werden!

Problem in der Wüste: Zeitweise tagsüber zu hohe Temperatur + eventuell zu hoher Salzgehalt des Wassers.

Abhilfe: 1. Kühlung durch Wärmepumpe

2. Entsalzung durch Umkehrosmose oder Membrandestillation.

Prinzipiell bereits heute technisch machbar, aber F+E in Industrieländern kümmert sich nicht darum, da aus politischen Gründen derzeit keine wirtschaftliche Anwendung sichtbar.

(1997 ca. 6 Milliarden / 2020 ca. 8 Milliarden Weltbevölkerung - Gesamte weltweite sog. „Entwicklungshilfe“ der Industrieländer derzeit pro a geringer als die Aufwendungen der BRD für die 5 „neuen“ Bundesländer!)

Wasser:

- fossil : Vorteil : Bei geringer Entnahme \Rightarrow unabhängig von Niederschlägen
Nachteil: Wasser ist oft warm (30-40°C), Bohrung ist teuer.

- recentes Wasser:(Zisternenwirtschaft) Nachteile: Abhängig von Niederschlägen, Anlage von Sammelflächen ist abhängig vom Gelände u.U. teuer. Nur in semiariden Gebieten möglich. (Mehr als 150 mm/a)

- Meerwasserentsalzung: Nur in Küstennähe. Verschiedene Verfahren. Viele bereits „Stand der Technik“. Größte Probleme sind Korrosion, Membranverschmutzung, Algenwachstum, Optimierung.

Kosten liegen derzeit zwischen 1 - 10 US-Dollar pro Kubikmeter. - (Zum Vergleich: Die Kosten in Deutschland für 1 Kubikmeter einschließlich Abwasser liegen bei 2,5 - 5 €!)

- Umkehrosmose von Brackwasser ist billiger, ca. 1 € pro Kubikmeter

- Taupunkt-kondensation, bzw. Absorption/Desorption nur bei hinreichend hoher absoluter Luftfeuchte an der Küste . Nachteile: Destilliertes Wasser + teuer.

Meist sind im Wasser alle mineralischen Nährstoffe hinreichend vorhanden, Ausnahme ist Stickstoff! (Leguminosen)

Fakten zu Tank-, bzw. Gewächshaus-Kultur

- Nutzbare Wellenlänge für Photosynthese etwa 670 bis 710 nm.

- IR-Anteil könnte oberhalb von Tank oder Gewächshaus durch Filter zurückgehalten werden. Möglich auch selektive Reflektion durch Spiegel mit Belag aus Si oder Ge.

- Konzentration des Lichts durch Fresnel-Linsen + oder Spiegel möglich.
(Fresnel-Linsen - Kunststoff durch Pressen, Strangpressen oder Spritzguß.)
- Problem der Belüftung (CO₂-Gehalt der Luft) = Feuchteverlust
Kamelnachahmung: Kieselgelfilterstrecken oder Abkühlen bis Taupunkt
- Ziel ist möglichst viel Biomasse pro t Wasserverbrauch

Neuere F*E zeigen die Möglichkeit in einer Tank-Kultur spezielle Algen zu erzeugen aus denen durch Temperaturerhöhung unter Druck Kerosin gewonnen werden kann..

Andere einfachere Möglichkeiten: Unterirdische. Wanne + Sand + Plastikabdeckung + Kies = Zu + Ablauf - Einsatz von Superabsorbent (Polyacrylsäure)

In Küstennähe: Künstl. Mangroven - Garneelenzucht, Anbau von Salzwasserpflanzen. (Versuche in Somalia, bzw, Eritrea)

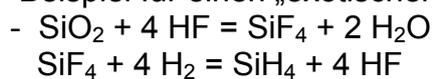
Solar- Energiegewinnung zum Export

Größte Hürde: in der Sahara sind die politischen Verhältnisse! - Allgemein: Problem des Energietransports, technische Möglichkeiten sind für Strom Hochspannungs-Gleichstrom-Leitungen :.Desertec Projekt 2015 aufgegeben!

Möglichkeiten zur Produktion von flüssigen Energieträgern

- Hintransport von CO₂ und Wasser - Umsetzung mit H₂ aus Elektrolyse zu Gemisch von CO und Wasserstoff, durch Katalyse können wahlweise Methanol, Methan oder Kohlenwasserstoffe erzeugt werden.

Beispiel für einen „exotischen“ Vorschlag



Durch weitere Reaktionen kann ein Polysilan (SiH₂)_n H₂ erzeugt werden, fester Körper, reagiert mit Wasser zu SiO₂ und Wasserstoff. (Sehr hohe Energiedichte)

Was muss unbedingt beachtet werden bei technischen Projekten in ariden Gebieten?

Vor jeder Entscheidung für einen Standort sollten Informationen über Klimadaten der Vergangenheit erhoben werden, möglichst auch Sonnenscheindauer und Windgeschwindigkeiten: Quellen sind z.B. Geological Survey und meteorologische Dienste, aber auch Befragung älterer Bewohner der Gegend zu Katastrophen wie Dürreperioden, Schichtfluten und Häufigkeiten von Sandstürmen und Staubstürmen.

Wie viel Wasser wird gebraucht und woher kann es langfristig gesichert und zu welchen Kosten bezogen werden?

Beschaffung von Karten (Möglichst 1 : 10.000) Wichtig um Wasserabfluß bei extremen Starkregen zu beurteilen.

Starke Erosion durch Sandstürme bis 1,5 m Höhe! (Anordnung von Sonnenzellen In etwa 2 m Höhe auf Ständern)

Ein Problem ist die Staubentwicklung für bewegte Teile, Spiegel und Glasflächen, bzw. Photovoltaik!

Wie soll das Abwasser entsorgt werden.

Wie ist die Anbindung durch Straßen oder Schiene zu Städten, Hafen usw. Wie sollen Transportprobleme bei Bau und Betrieb gelöst werden.

In Küstennähe: Sind auftretende Nebel salzhaltig. (Korrosionsgefahr)

Bei der Beachtung solcher Gesichtspunkte wird sich zeigen, dass Sandfelder und die meisten Dünengebiete nicht geeignet sind. Aussichtsreich sind möglichst flache Hochplateaus, größere Kieswüsten und Gebiete in Küstennähe. Das erste solarthermische Kraftwerk in der Sahara wird zurzeit in Marokko bei Quarzazate gebaut. (Hochplateau im Süden des Atlasgebirges)

Regionale Verteilung von Wüsten

Europa: 2 BSk Flecken in Nordspanien + 1 BSh-Streifen in SO-Spanien

Asien:

Arabische Halbinsel : Rhub alkali (Leeres Viertel/ ar-Rimal-Die Sande)+ Nafud
Keine Oasen! - Wüstenklima in großen Teilen von Jordanien, Syrien + Irak = Syrische Wüste.

Negev ca. 60% von Israel (Im Norden Löss, flach, im S Bergland)

Iran - Pakistan: Große Kawir südöstlich von Teheran /Lut anschließend bis Pakistan / Tharr in Indien

Kawir+Lut = Winterniederschläge abnehmend nach S, Temperatur nimmt nach S zu. Weit fortgeschrittene Verwitterung. - Im Norden viele Kawire (Ton + Salz) - Mitte Schwelle - Im Süden Loss -Yardangs, Steinfelder u. kahle große Dünen. Ganze Lut gekennzeichnet durch Fehlen von Flora, im N bodenbedingt, im S. wegen Klima. Oasen nur an den Rändern u. auf Mittelschwelle mit Wasser aus Gebirgen durch unterirdische Kanäle (Kanate).

Zwischen der Grenze Iran/Afghanistan und Kandahar = Wüste / Auch viele andere Teile von Afghanistan mit vielen Trockenmonaten.

Tarim-Becken mit Taklamakan : Im Süden Kunlun Shan, dahinter Tibet u. Himalaya- im Westen Pamir- im Norden Tian Shan / 1300 x 500 km / Randgebirge bis 6000 m Schuttfächer - Lössgürtel - Sand -nordöstliche. Gobi = Sand+Ton = Lehm - Yardangs

Salzton - Lop Nor / Peschan = fast eingeebnete Felswüste -

östl. des Kaspischen Meeres um den Aralsee: Kyselkum (Roter Sand) zwischen Syr-Darja + Armu-Darja, südlich davon Karakum (schwarzer Sand = dkl. Glimmerschiefer)

Kontinentales Klima, aber kaum Schnee, darum im Frühjahr schnelle Erwärmung
Einbruchsbecken= Karakum ca. 20-40 m üM./ Kyselkum = ca. 400m üM.

Australien:

Simpson Desert zentral, Great Sandy Desert im NW, Great Victoria Desert im SW.
Eyre-See 12 m unter NN - Sonst meist Hochland von ca. 300 - 500 m. Meist Sandstein. Aber kaum Dünen - Stachelschweingras (Spinnifex) fahl grün, spitz, hart übersteht Buschfeuer! - Im Westen + Süden Scrub: ca. 2 m hohes dichtes Gemisch aus Akazien, Myrten, Salzbüschen, kaum durch Brand zu roden.
Im Süden Nullarbor-Ebene= ein ziemlich kahles Kalksteinplateau

Afrika:

Wüste BWh große Teile v. Somalia + Eritrea (Danakil-Senke 120 m unter NN) / sowie Teile von Äthiopien BSh

rift valley : Kenia + Tansania

im Süden Namib (14 - 20 mm) u. Karoo - SO-Streifen v. Madagaskar
Kalahari in Botswana ist edaphische Wüste

N-Amerika

Mexiko: Baja California + Hochland zw. östl. + westl. Sierra Madre: Chihuahua desert

USA: Gilson-W. sö von Phönix - nördlich anschließend Mojave-W. mit Death Valley 146 m unter NN . Schuttmassen mit Soda- + Boraxseen, alkalischen Sümpfen - Trockengebiete zwischen Rocky Mountain im Osten und Sierra Nevada im Westen (Basin Range / Great Basin) = Bergketten in N-S-Richtung, dazwischen Schuttmassen - Artemisiaflora

S- Amerika

Atakama : extrem schmal, 30 - 90 km, eingeklemmt zwischen Humboldtstrom + Anden.

total arid von Lima(Peru) bis Nordchile - Ein einziger Fluss mit nitrathaltigem Wasser kommt bis zur Küste durch (Rio Loa) - Dann Kaltwüstenstreifen bis Argentinien mit schmalen Steppenstreifen im W und breiten im Osten - BWk-Bereich im Süden um den 50. Breitengrad an Grenze Chile/Argentinien.

Literatur:

Michael Martin „Die Wüsten der Erde“ Frederking & Thaler 2004

Detlef Busche „ Die zentrale Sahara“ Klett-Perthes 1998

Peter Dittrich : Biologie der Sahara ISBN 3-9800794--0-6

Antoine de Saint-Exupery „Wind Sand und Sterne“ Karl Rauch Verlag

Wilfred Thesiger „Die Brunnen der Wüste“ Piper Verlag

Isabelle Eberhardt „Sandmeere“ März Verlag

L. E.v. Almassy „Schwimmer in der Wüste“ dtv

(Der Ungar von Almassy und der Engländer Bagnold erforschten in den 30er Jahren des 20. Jahrhunderts die Wüste zwischen Ägypten, Libyen und dem Sudan. Ihre Freundschaft war Stichwort für den Film „Der Englische Patient“)

Gustav Nachtigal „Tibesti - Die Entdeckung der Riesenkrater und die Erstdurchquerung des Sudan 1868 - 1874“ Horst Erdmann Verlag

Henno Martin „Wenn es Krieg gibt, gehen wir in die Wüste“ Union Verlag Stuttgart 1956 (Henno Martin war später Präsident der Bundesanstalt für Geowissenschaften in Hannover)

Bruno Baumann „ Karawane ohne Wiederkehr“ Piper Verlag 2000

„Erneuerbare Energie“ Wiley-VCh 2010 ISBN 978-3-527-40973-0