

## Sommersemester 2016 S/Ü 24230 a2 + b2 Prof. Dr. Walter A. Franke 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)

Geocampus Lankwitz Haus C, Gr. Seminarraum Freitag 13:00 – 17:00 Uhr  
22.April 2016 bis 17. Juni

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.. – Farb-Dias für die das Urheberrecht bei mir liegt können von der homepage Mineralogie-FU abgerufen werden. -

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 heiße Wüsten 5 bis 150 mm.

### Politisch-wirtschaftliche Bedeutung

Etwa 30% der Landoberfläche sind arid (Wüste 18%), semiarid (Steppen 12%) und etwa 10% sind 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. – Die im Internet zu findende Angabe “ In echten Wüsten lebt ca. 13% der Menschheit.,, beruht allerdings offenbar auf einer etwas leichtsinnigen Statistik.

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

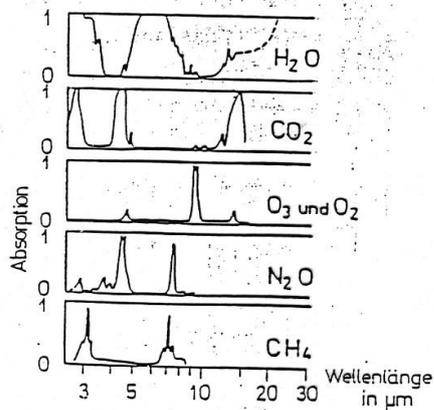
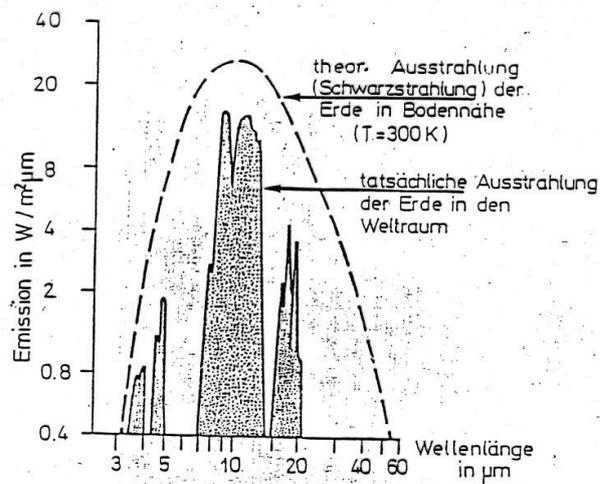
Astronomische Grundlage - Erdkugel - Schiefe der Ekliptik = 23,5°  
Wendekreise (tropic of cancer/ tropic of Capricorn)

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 Südhalbkugel der Sommer wärmer und der Winter etwas kälter sein als auf der Nordhalbkugel. Dieser Einfluss wird aber kompensiert durch die größere Wasserfläche der Südhalbkugel.

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

#### IR Ausstrahlung der Erde – theoretisch + praktisch



#### IR-Absorptionsbanden von Spurengasen der Atmosphäre

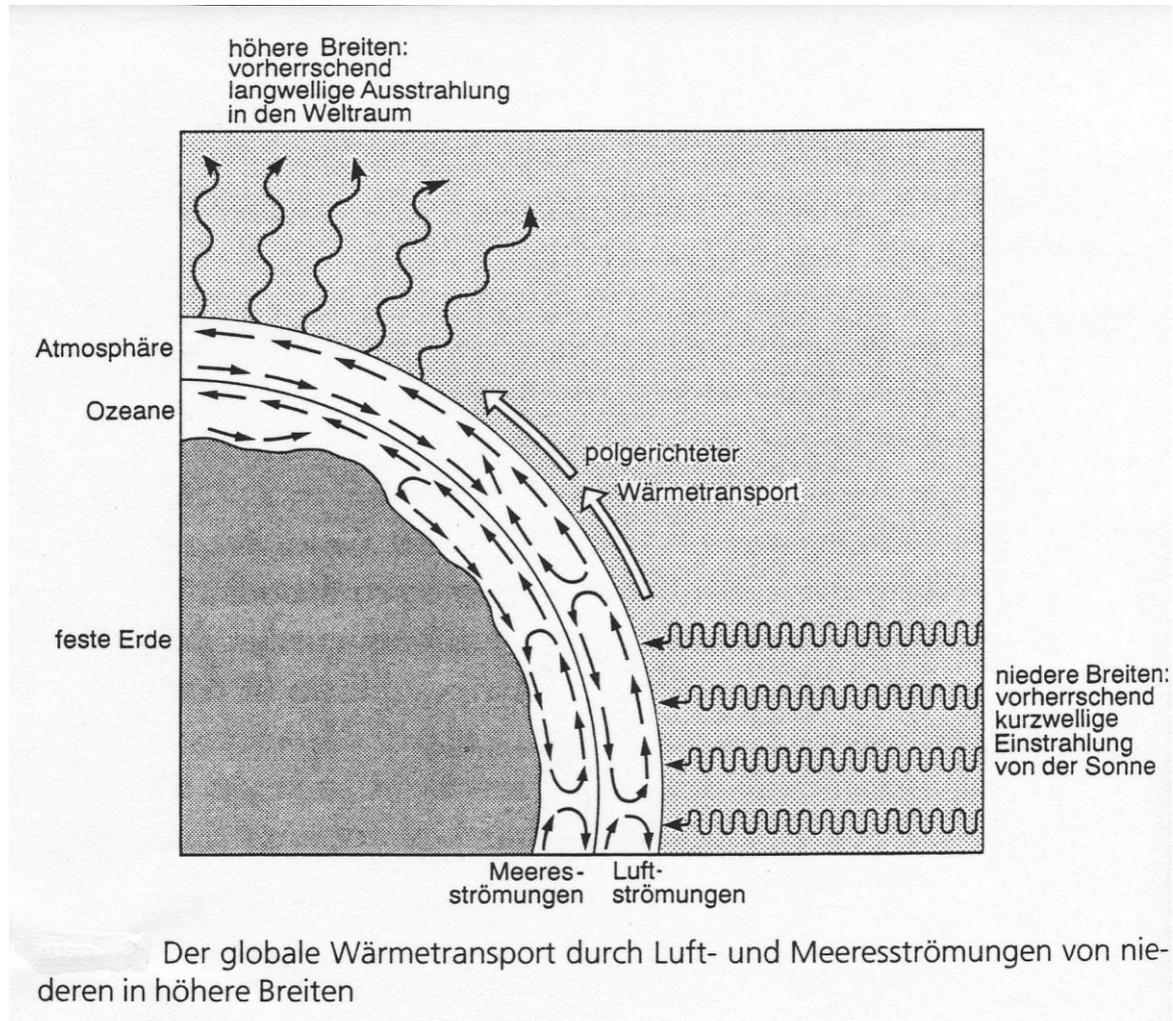
### Energiebilanz der Erde = Einstrahlung minus Ausstrahlung

Spektrum von Einstrahlung: Sonne = 0,2 – 2  $\mu m$  / Ausstrahlung Erde = 3 – 60  $\mu m$

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

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

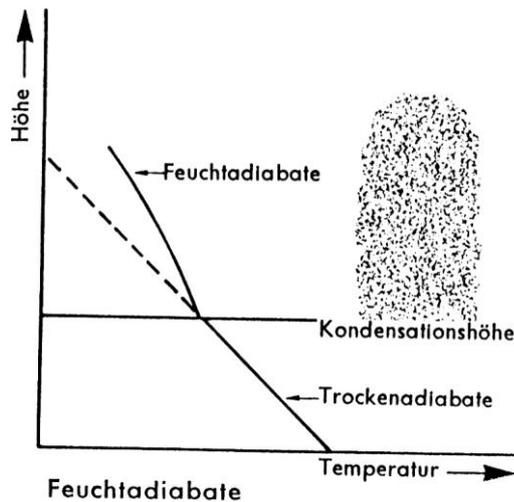
Ausgleich daher durch Strömungen der Wasserhülle(1/3) und der Atmosphäre (2/3)



**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 aller Strömungen mit einer Nord-Südkomponente 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°C pro 100 m wegen Kondensationswärme) Trocken- u. Feuchtadiabate



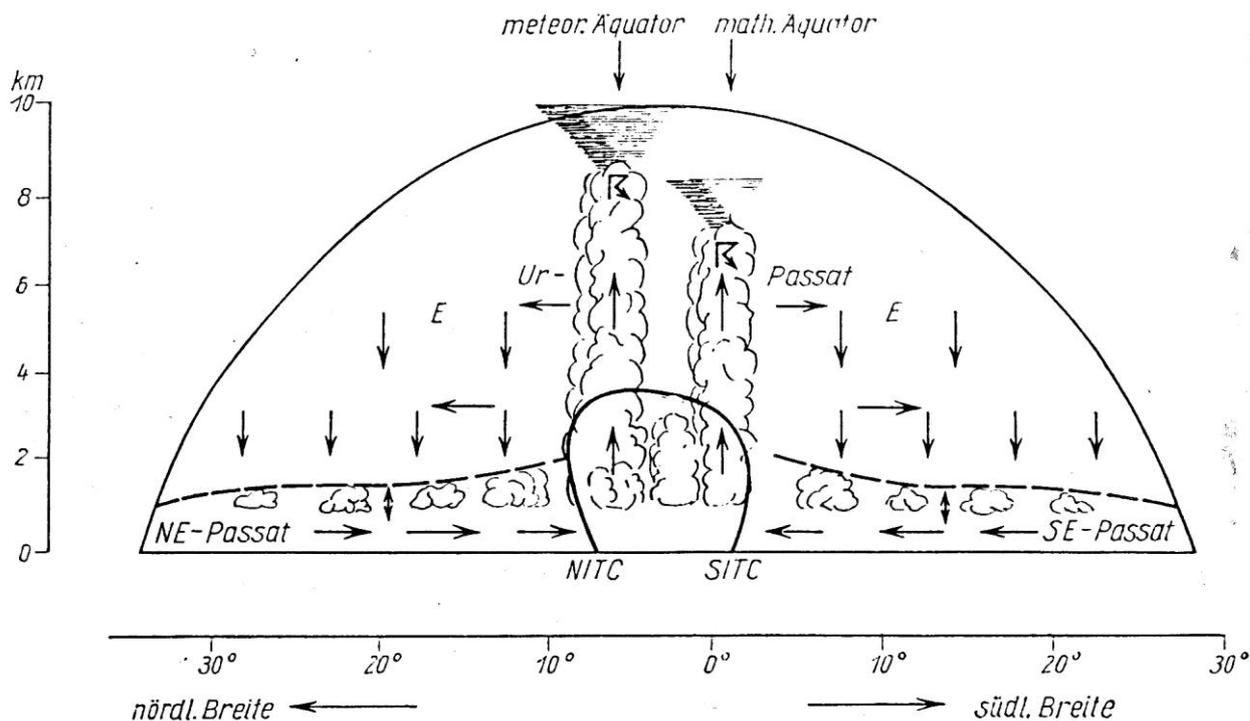
In Äquatornähe steigt warme Luft plus Wasserdampf auf - Wasser kondensiert + regnet ab, warme Luftmassen strömen Richtung Pol ab - **ITC = Innertropische Konvergenz** = polwärts die Grenze der aufsteigenden Warmluft, deren Luftfeuchtigkeit kondensiert und abregnet.

**Hadleyzelle (1735)** : Die aufsteigende Luft kann nur bis zur Grenze der Tropopause (ca. 12 km) gelangen, muss dann in Richtung zum Pol ausweichen - sogenannter Urpasat (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-Pasat, auf Südhalbkugel SE-Pasat. = Hadleyzelle

Innerhalb der Hadleyzelle kein Niederschlag!

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



Passatströmung, Schema mit doppelter ITC

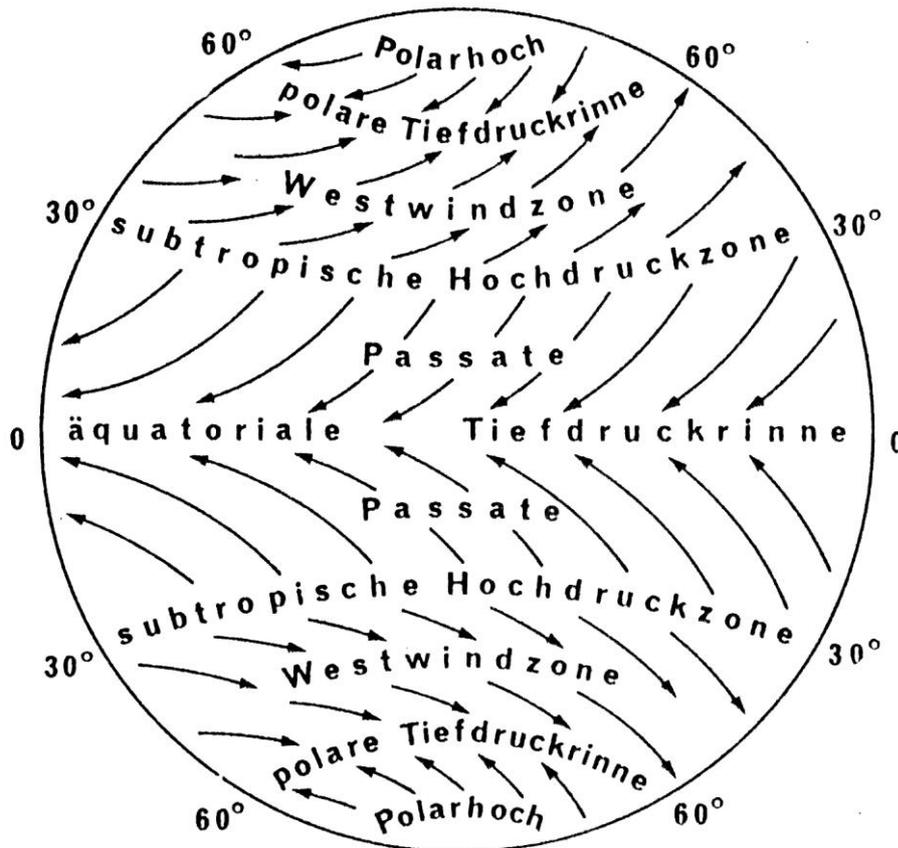
ITC und die Grenze Hadleyzelle/Westwindzone verschieben sich mit den Jahreszeiten, dadurch vorwiegend Niederschläge am Südrand und Nordrand von Wendekreiswüsten.

**Passat** (trade wind) = abströmende trockene Winde, oben = Urpasat (anti trade), dann absteigend, dabei Erwärmung durch adiabatische Kompression. Dabei Ablenkung aus der Richtung zum Pol durch die Corioliskraft, in Bodennähe wieder Richtung zum Äquator, aber erneut Ablenkung durch Corioliskraft: NE-Passat auf der Nordhälfte, SE-Passat auf S-Kugel.

*Passatinversion*: Höhengrenze zwischen Passat und absteigendem Urpasat. (1,5-3 km)

**Ergebnis: In einem Gürtel zwischen ITC und polseitiger Grenze der Passatwinde regnet es wenig, da dort absteigende Luftströmungen vorherrschen (Adiabatische Erwärmung)**





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 Trockenklimate**

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):**  $r = \text{Jahresniederschlag in cm}$   
 $t = \text{Jahresmitteltemperatur}$

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  $18^{\circ}\text{C}$ )

BSh = Dorn- und Trockensavanne

BSk = kalte Steppen

BWh = heiße Wüste

BWk = kalte Wüsten

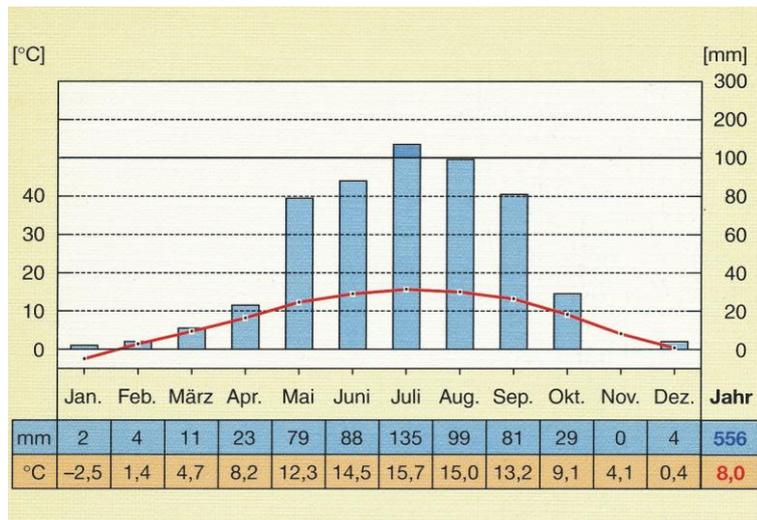
**Klimadiagramme (ombrothermic diagram) : X-Achse sind die 12 Monate, auf der Y-Achse sind links die Monatsmitteltemperatur in  $^{\circ}\text{C}$  und rechts der Monatsniederschlag in mm, dabei entsprechen im Maßstab  $1^{\circ}\text{C}$  gleich 2 mm Niederschlag. Die Niederschläge werden meist als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

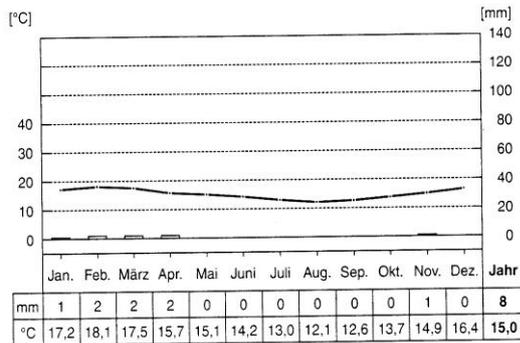
D = 1 und kleiner entspricht der Kernwüste

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

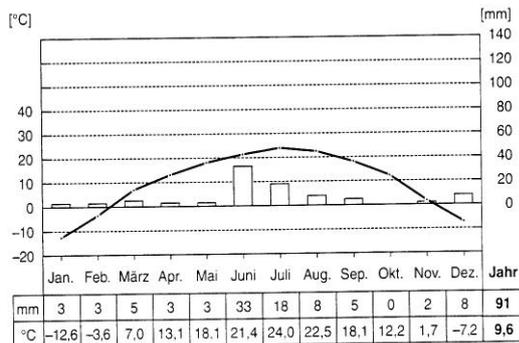
Die folgenden drei Klimadiagramme zeigen:

**Swakopmund (Namibia)** Kernwüste BWk, 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.

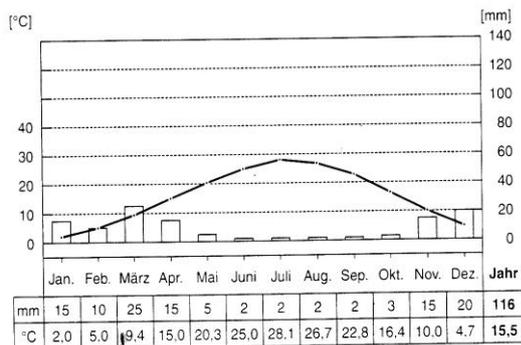
Die beiden anderen Beispiele zeigen ein BWk-klima in China und Iran.



**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

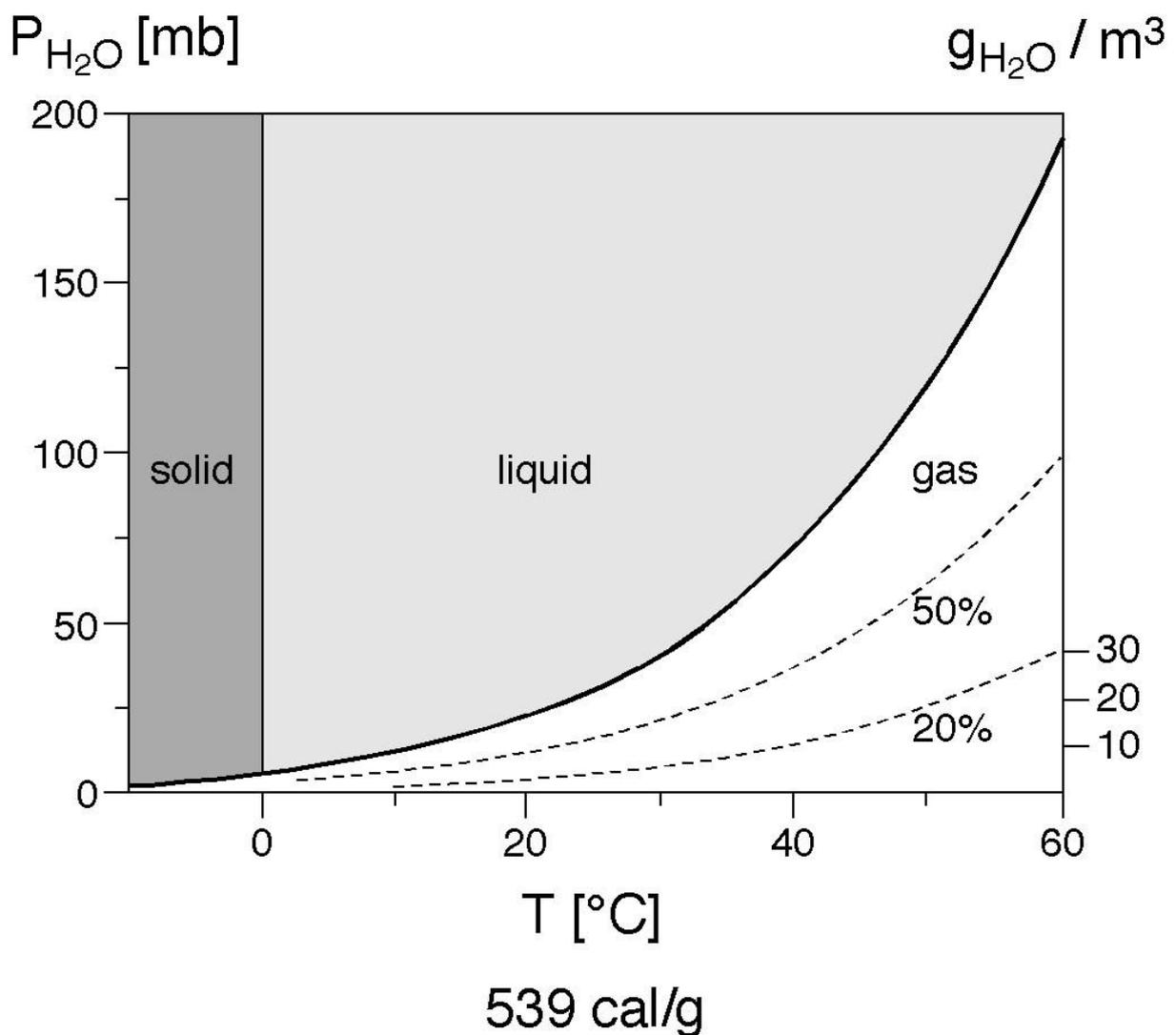
## Einstoffsystem H<sub>2</sub>O (Druck/Temperatur-Diagramm)

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/m<sup>3</sup> - Bei 0°C enthält an Wasserdampf gesättigte Luft 4,8g pro m<sup>3</sup>, bei 11°C = 10g pro m<sup>3</sup>



**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 im Enedi (Südl. Tschad)

## 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 die 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 zwar 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. (Zinsverbot für Glaubensbrüder!)

**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 tatsächlichen oder vermeintlichen 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.-Das Zinsverbot der Thora wurde von den Christen übernommen bis zum 15. Jahrhundert! Aufgehoben durch den Pabst erst 1830.

**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) – Zinsverbot für Gläubige generell. - Todesstrafe bei Glaubensabfall vorgesehen - Hierarchische Priesterschaft nur bei Schiiten (Iran)

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 den Geowissenschaften.

Kleiner 2  $\mu\text{m}$  = **clay** (Ton) überwiegend Tonminerale (Schichtsilikate)

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

70 bis 2  $\mu\text{m}$  = **silt** (Schluff), überwiegend Quarz + Alkalifeldspt.+ Kalk, Glimmer, in Wüsten auch Gips

70  $\mu\text{m}$  bis 2 mm = **Sand**, überwiegend Quarzkörner (+ Alkfspt.)

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

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

## Kieswüste:

re , serir (seghir), mongolisch gobi

Fastebenen, meist leicht wellig und sehr sanft geneigt, Tanezrouft: 150 m auf 450 km = 30 cm pro km - Fort Flatters (Bordj Omar Driss) - In Ecker-Route: 1m/km

Oberfläche durch Kies und Grobsand "gepanzert", da Feianteile 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 30 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!

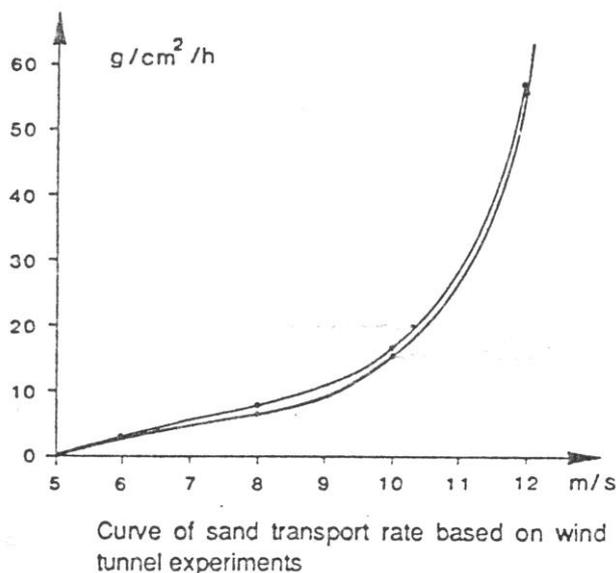
Bewegung des Sands durch Wind::

**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

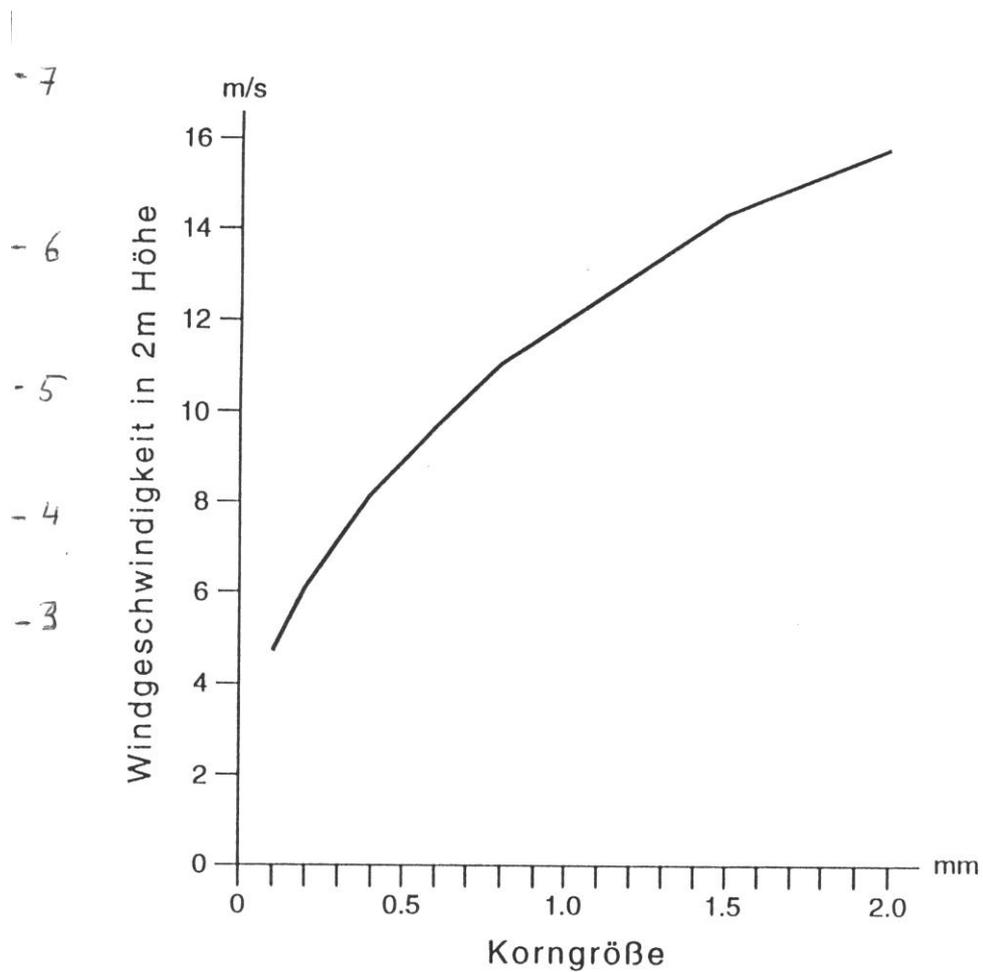
(Wurde erst 1941 von Bagnould richtig beschrieben, Saltation bewirkt 75-80% der Transportrate.)

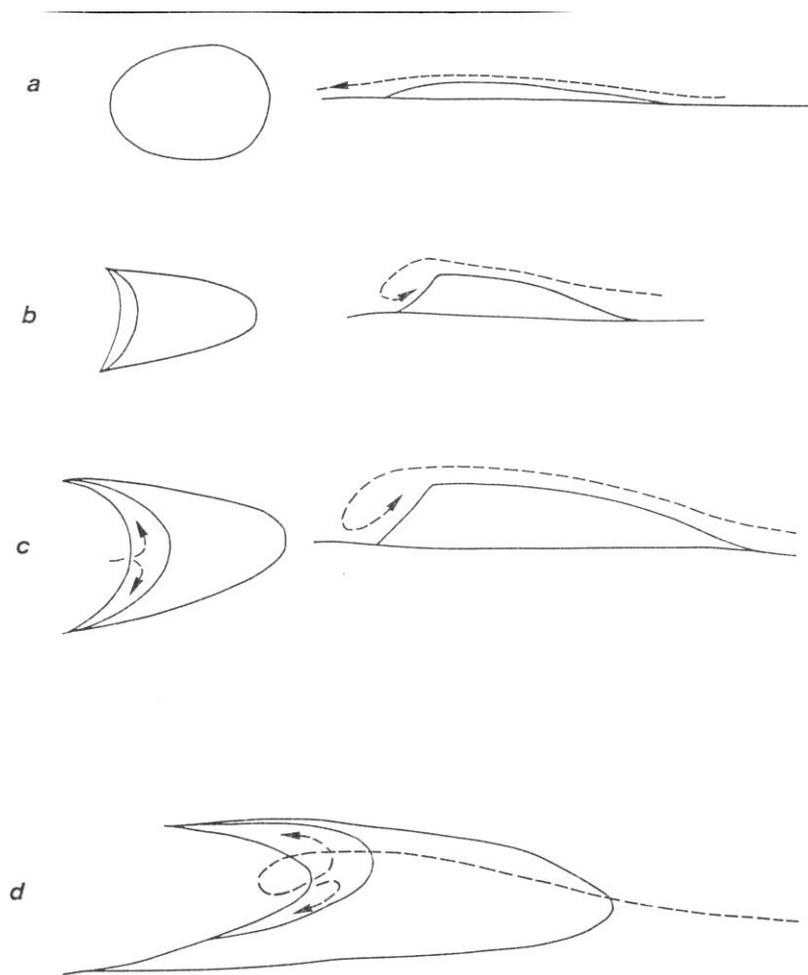


**Transportierte Masse pro Zeit und Fläche versus Windgeschwindigkeit.**

Linke Skala = Windstärke nach Beaufort - **Beginn des Korntransports in Abhängigkeit von der Windgeschwindigkeit**

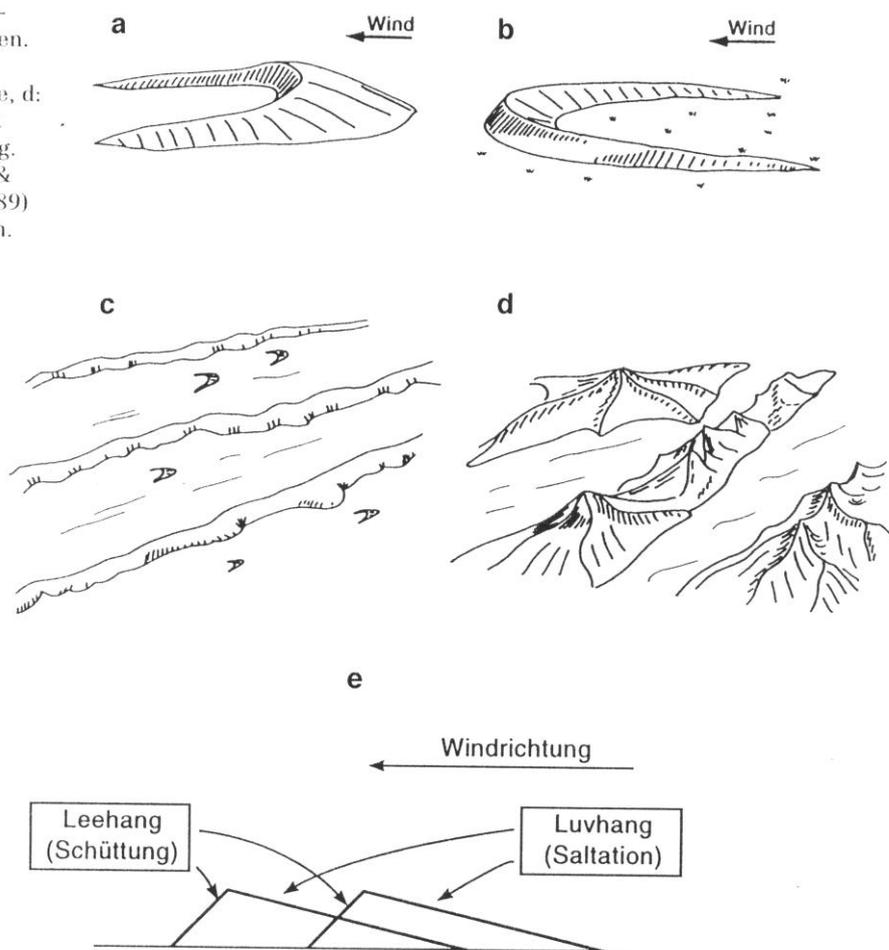
Ab 15 m/sec also Sandsturm





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 Dünensand variiert stark ca. 0,3 bis 1 kg/cm<sup>2</sup> - 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 km<sup>2</sup>, Erg Orientale 110.000 km<sup>2</sup>, Libysches Sandmeer (Grenze Ägypten/Libyen) 650.000 km<sup>2</sup> !  
Dünen sind Wasserspeicher wegen des hohen Porenvolumens, ab etwa 20 mm/a Regen dünner Grasbewuchs, sonst nur achab-Flora.

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

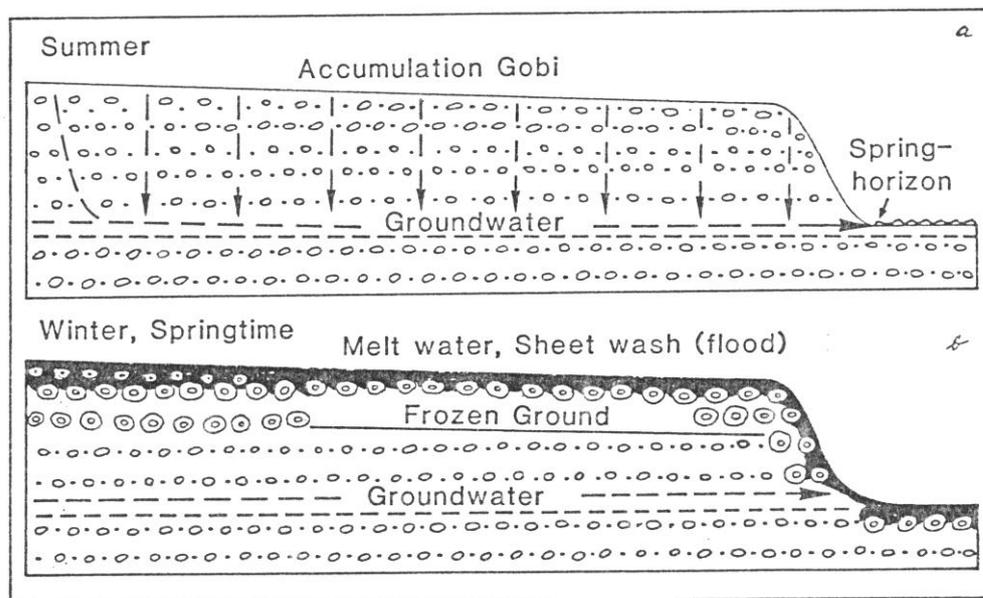
Oberflächenform ist abhängig von Korngrößenverteilung, Korngröße, Kornform, Feuchtigkeitsgehalt, Windgeschwindigkeit, Windrichtungswechsel!

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

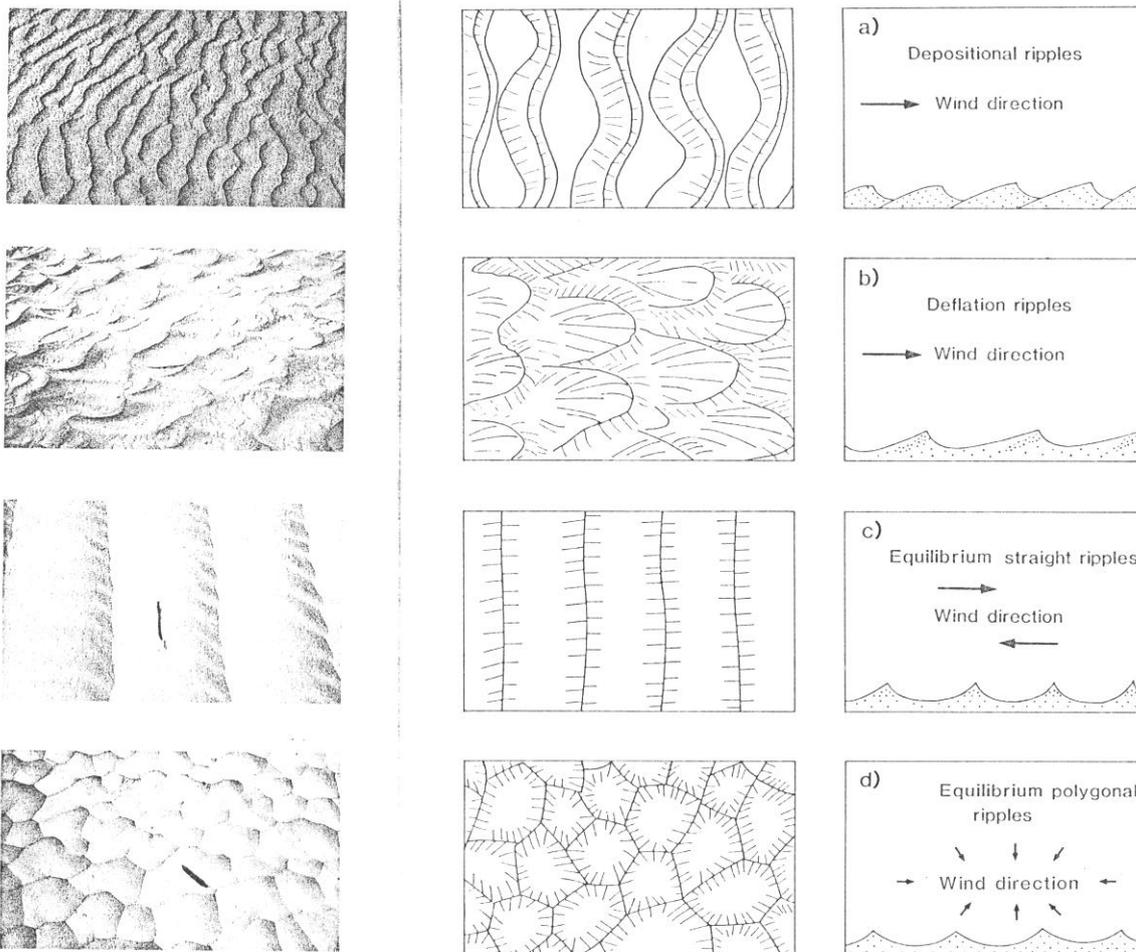


Fig. 1. Basic forms of aeolian ripples  
*Grundformen äolischer Rippelmarken*

**Rippeln bei Deposition und Deflation** Deflationsrippeln sind oft durch Gips oder Kalk verbacken und dann sehr hart.

## Verdunstungspfannen

abflusslose Becken / arab. Sebka , amerikanisch/spanisch Playa, persisch Kawir / afrikaans Vlei,

Alle Größen kommen vor, große Gebiete mit Salzanreicherung = Schott, span. Salar (Summe der Schotts der Sahara ca. 100.000 km<sup>2</sup>)

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 aufgekippelt werden.. Zuweilen mit Staub oder Sand überweht. - Extrem schwieriges Terrain. (Death Valley/USA , - Wüste Lut in Iran/Pakistan)

Sebkhas, 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. (Da bereits eine gesättigte Salzlösung eine Dichte von über 1 hat, kann ein Mensch darin nicht versinken)

Lake Lisan 980 km<sup>2</sup> = 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 km<sup>2</sup>

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-Glaserherstellung!). Kann nur auftreten, wenn kein Gips da ist! Sonst Umsetzung zu Kalk + Glaubersalz.. Daher enthält Wasser in der Wüste oft Glaubersalz Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 10 H<sub>2</sub>O (Wirkt abführend).

Bitterer Geschmack zuweilen durch MgSO<sub>4</sub>. (Herkunft aus Verwitterung)

In seltenen Fällen enthalten Salzseen auch Borate (Utah), große Salinare in Bolivien und Chile enthalten 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= Quarz kristallisierte zuletzt, ist daher ungerundet und meist scharfkantig - Endstadium ist Sand. -Typusbeispiele Tefedest in der Algerischen Sahara – Erongo in Namibia - Verwitterungsform: rundliche Kuppen, Tafoni-Verwitterung häufig.

Sandsteine meist mit Kalk als Bindemittel, oft seigere Lagerung  $\Rightarrow$  größere Komplexe daher oft Hochebenen, Abflußrinnen neigen dann zur Bildung von Steiltälern.( Beispiel Tassili N Adjer` - Wadi Imirhou )

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

Endstadium der Verwitterung = Sand

*Krustenbildung* (SiO<sub>2</sub>+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 meist 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  
 ⇒ 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 Bunnoff-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 (kanate) 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, (Zwiebeln, Mohrrüben) 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. Hauptort im Souf ist El Oued (al wadi) , Stadt der Kuppeln, Gipsrosen als Baustoff.

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

**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 allerdings 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. – Eine strömungstechnisch perfekte Architektur für Wüstenklima hat sich entwickelt 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 bar = 1,0003, bei Erwärmung um 30°C sinkt die Luftdichte um etwa 10%. - Beim Übergang eines Lichtstrahls von einem optisch dünnen 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°) 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.

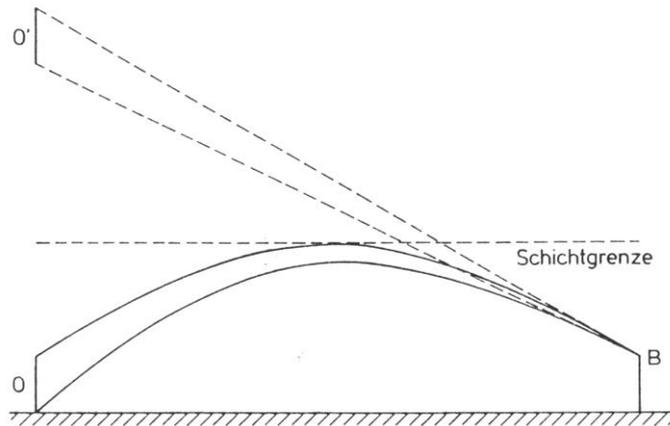


Abb. 10: Spiegelung nach oben

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 (Hohe Resistenz gegen Salz das über die Blätter ausgeschieden wird, dadurch Bindung von Staub und Sand = nebkha.

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 sind gefährdet durch eine

Pilzkrankung 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 nebkha-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. Typus pflanze 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 Golfgras 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 angewehem 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 Beißwerkzangen, 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 nur 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 der Zentralsahara nur *cerastes cerastes* Hornvipser (senkrecht stehende Pupillen) bis 60 cm und *cerastes vipera* Avicennavipser (schräge Pupillen) bis 30 cm als Giftschlangen. Beide "graben" sich im Sand ein, hell beige 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 Riesenohr 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 Nebenmagen, 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)

Strauße waren 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 Jhd.
- Malariaepidemien nach Aufgabe von Drainage
- 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 Engl. 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. In Mali ein Tuareg-aufstand 1961-65., 2012 Versuch eigenen Staat Aszawad zu bilden, ein entsprechender Aufstand in Nordniger 2007- 2009.

1989 bis 1995 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 der Tuareg. Finanzierung durch Schmuggel und Schleusung von Flüchtlingen..Haupttroute für Flüchtlinge aus Zentralafrika läuft vom Niger nach Libyen durch die Tenerewüste über Djado, Dao Tümmü nach Tummü (Lybische Grenze) ab Al Katrun Teerstraßen bis zur Mittelmeerküste.

Die Grenzen zwischen den Maghrebstaaten und der Sahelzone wurden von den Kolonialmächten im 19.Jahrhundert festgelegt und sind im Gelände zu über 95% nicht markiert und bewacht, Kontrollen nur an häufig benutzten Pisten.

.

### **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 gras 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: Infiltrationsrate 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) – Intensiver Brunnenbau finanziert durch Saudiarabien ab 1965 in Algerien, parallel dazu Propagierung des wahabitischen Islam.!
- 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-Ralley. Paris – Dakar.

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 Jahren 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. Aber die Befahrung ist 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. : Bodenfremdheit - Raddurchmesser u. Breite bestimmt Bodendruck  
 Verbesserung durch Luft ablassen,

Sandbleche:

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

Eingeführt im 2. Weltkrieg = Luftlandebleche

Von 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 . / 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.

Reifenspuren 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 können 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: 10 g Traubenzucker + 1,4 g NaCl + 1 g Natriumhydrogenkarbonat + 0,5 g 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 / Papierwaschlappen =Körperpflege am Morgen (0,2 L)

Kernwüste ist relativ steril.

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

## **Ausrüstung**

Statt Haftschaalen ⇒ 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+Sand, (Fotoapparat, Videokamera), Klebeband.

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

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 kochen nur früh + abends, dazwischen nur leichter Imbiss. Auf hinreichende Salzaufnahme achten! - Bei fremdorganisierter Verpflegung eventuell mitnehmen: Hartwurst (Salami), Trockenobst, Knäckebrötchen, 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.

**Fotos:** Fast alle Aufnahmen mit künstlerischem Anspruch in der Literatur sind bei niedrigem Sonnenstand gemacht, also sehr früh morgens oder in den letzten Stunden vor Sonnenuntergang! Die ersten Stunden des neuen Tages sind besonders geeignet, da dann meist der Wind noch schwach ist. – Die Verwendung von UV-Filtern ist zu empfehlen. Um die extreme Staubbelastung zu verringern sollten die Apparate nach dem Gebrauch durch Plastiktüten geschützt werden.

## **Aride Verwitterung - Erosion**

Physikalische Verwitterung - Vergrößerung der Oberfläche

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

(bei 1 m Länge, 50°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.

### Frostspaltung:

- alle Poren gefüllt mit Wasser, friert von außen, kryostatischer Druck. Spielt in Wüsten aber 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 + nördliche asiatische Wüsten!

### Salzspaltung

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 (Yardangs) und Wasser

### **Chemische Verwitterung nur wenn Wasser vorhanden**

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

Silikate + Oxide  $\Rightarrow$  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 ( $\text{CO}_2$  + org. Materie)

Typische Neubildungen sind Schichtsilikate (Tonminerale),  $\text{FeOOH}$ , 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  $1\mu\text{m/a} = 1\text{m}$  in 1 Mio a.)

Bubnoff-Einheit

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

$\text{Fe}^{3+}$   $\Rightarrow$   $\text{FeOOH}$ , ( ebenso 3,bzw. 4 wertiges Mn), Oxyde, Hämatit, Magnetit

$\text{Al}^{3+}$   $\Rightarrow$  Tonminerale , wenn viel Wasser da ist  $\text{Al}(\text{OH})_3$

Si  $\Rightarrow$  teils Tonminerale , Überschuß kolloidal abtransportiert, Kieselkrusten

Mg ( $\text{Fe}^{2+}$ ) zusammen mit Al  $\Rightarrow$  Tonminerale

Ca, Na, K  $\Rightarrow$  teils Tonminerale (austauschbare Ionen) , Überschuß als Hydroxid  $\Rightarrow$  +  $\text{CO}_2$   $\Rightarrow$  Calcit , bzw. Hydrogencarbonat abgeführt

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

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

Kieselsäurepanzer - Krusten - verkieseltes Holz :

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

Wüstenlack - Polituren durch Staub-, bzw.-Sandschliff - Sandschliff-polierter Basalt erscheint blau!

## Nutzung in Vergangenheit und Gegenwart

### Bis zum 20. Jhdt.:

- 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 (zB. Timbuktu, Gao, Ghat, Gardaia. Stützpunkte an der Seidenstraße in der Taklamakan)

- 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!) Petra in Jordanien

### Im 20ten Jhdt.:

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 gut ausgebaute und frei passierbare 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 (Arabische Halbinsel) - Uran (Arlit/Niger, Rössing/Namibia) - Phosphat (Marokko, Tunesien, Jordanien) - Diamanten (Namibia, Botswana) - Cu (Chuquicamata/Chile) - Fe, Bauxit (Mauretania) - 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.

---

### **Ausblick auf mögliche künftige Nutzung.**

#### **Nutzung zur Energieernte:**

Solar konstante = eingestrahlte Energie pro Quadratmeter (bei senkrechter Einstrahlung)  $E_0 = 1367 \text{ Watt m}^{-2}$  Bei Einfall unter  $\alpha$  gleich  $E_0 \times \sin \alpha$ .

Hiervon gelangen bei klarem Himmel bis zu 78%, bei bedecktem Himmel nur etwa 55% an die Erdoberfläche.

Die Sonnenstrahlung ist im sichtbaren und Infra-Rot Bereich sehr konstant, schwankt aber zuweilen stark im UV ca. 170 nm) und im Rö.-Bereich (0,1 – 0,8 nm).

Globalstrahlung ist ein Mittelwert – Deutschland ca. 110-135 – Spanien 230

Sahara ca. 285  $\text{Watt m}^{-2}$

#### **Solarzellen (Photovoltaik)**

*Elektrische Effekte durch Belichtung wurden im 19. Jahrhundert mehrfach beschrieben. 1899 erste quantitative Erfassung des äußeren Fotoeffekts bei der Belichtung von Metall durch Philip Lenard. Erklärung durch A. Einstein 1905, er erhielt den Nobelpreis 1921 unter ausdrücklicher Erwähnung dieser Publikation.*

*Innerer Fotoeffekt = Ladungstrennung im Halbleiter führt zu einer nutzbaren Spannung. (Selen,  $\text{Cu}_2\text{O}$ , Sulfide, Telluride, Selenide von Cu, Cd, In. Anwendung lange Zeit nur als Belichtungsmesser. – Si-Zellen zur Energieversorgung ab den 50er Jahren.*

Solarstrahlung in Wendekreiswüsten 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 entspricht mitteleuropäischem

Sommertag, die Temperatur entspricht mitteleuropäischem Wintertag, die spektrale Verteilung einem klarem Frühlingstag.

Seit etwa 30 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. *(Cu-In-Te-Se-Zellen haben Wirkungsgrade bis ca. 40%, sind aber teuer und bislang keine sicheren Erkenntnisse zur Langzeitbeständigkeit. – Organische Zellen sind wahrscheinlich billig, haben aber niedrige Lebensdauer und Leistung 4-11%)*

Für Standardbedingungen sind derzeit Anlagen mit 20% Wirkungsgrad auf dem Markt.. Für Wüsteneinsatz bedeutend ist der Temperaturkoeffizient:→ Für krist. Si=  $-0,5\%/^{\circ}\text{C}$ , 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.

### **Thermische Solarkraftwerke**

Sie sammeln die Sonnenstrahlung und treiben damit eine Wärmekraftmaschine an.

Bereits im Einsatz (USA, Spanien) sind Systeme mit schwenkbaren, verspiegelten **Parabolrinnen**, die das Sonnenlicht auf ein zentrales Absorberrohr konzentrieren. Durch dieses fließt ein Wärmetransportmedium.(Öl)

Beim **Fresnel-System** ist das Absorberrohr starr montiert, verstellbare Spiegelstreifen unter dem Rohr fokussieren die Sonnenstrahlung auf das Rohr. Die Konstruktion ist einfacher, billiger, aber etwas weniger effizient

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.  $300^{\circ}\text{C}$ , 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**.)

Stirlingmotoren benutzen statt Wasserdampf ein inertes Gas, der Gaskreislauf ist vollkommen geschlossen. Die dem Arbeitszylinder zugeführte Wärme bewirkt eine isotherme Dilatation, es folgt eine adiabatische Dilatation, dann eine isotherme Kompression (Hier wird Wärme abgeführt) und schließlich eine adiabatische Kompression.

Vorteile: Falls mit Luft gekühlt wird ist der Wasserverbrauch gleich Null.  
Also kein Energieaufwand zur Verdampfung.  
Extrem leiser Lauf und keine Ventile.

Nachteile: Hohes Leistungsgewicht (Unwichtig bei stationärem Betrieb)  
Drehzahlregelung schwierig. Wirkungsgrad bis 30-35%.

Ideales Gas ist Helium, bei geschlossener Bauweise kein Verlust.  
(Nähere Angaben siehe *Sterlingmotor-Wikipedia*)

Als kleinere Einheit gibt es bereits Parabolspiegel mit festmontiertem Stirlingmotor dessen Heizzylinder im Brennpunkt des Spiegels liegt **Dish-Sterlingsystem** – Geeignet zur Stromversorgung kleinerer Verbraucher. Nachführung für sehr kleine Systeme kann auch manuell erfolgen. Wirkungsgrad ist mit ca. 30% sehr hoch.

Parabolrinnen Kraftwerke mit Wärmespeicher und Dampfturbine gibt es jeweils mehrere seit einigen Jahren in Südspanien und den USA. Sie wurden meist mit staatlicher Unterstützung gebaut. (Eine Anlage in den Golfemiraten) Da es sich um eine Technik handelt die sich noch in der Entwicklung befindet, sind die Baukosten noch sehr hoch. Die Angaben zu den Stromkosten sind darum sehr unterschiedlich: Berücksichtigt man nur die reinen Betriebskosten so ergeben sich Kosten unter 0,10 € pro kWh, eine Kalkulation die auch die Kosten der Anlage berücksichtigt ergibt dagegen sehr hohe Kosten.

Dish-Sterlingsysteme gibt es vereinzelt seit mehreren Jahren in Industrieländern. Da sie mit Photovoltaik konkurrieren (Nur Betrieb bei Sonnenschein) haben sie sich nirgends durchgesetzt. (Die US-Firma Infinia bietet solche Anlagen an)

Noch in der Entwicklungsphase sind Systeme bei denen Luft durch gebündelte Strahlung 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

## **Solar- Energiegewinnung zum Export**

Größte Hürde: in der Sahara und Nahost sind die politischen Verhältnisse! - Allgemein: Problem des Energietransports, technische Möglichkeiten sind für den Stromtransport z.B. Hochspannungsgleichstrom-Leitungen:/Desertec Projekt 2015 aufgegeben!

### Möglichkeiten zur Produktion von flüssigen Energieträgern

- Hintransport von CO<sub>2</sub> und Wasser - Umsetzung mit H<sub>2</sub> aus Elektrolyse zu Gemisch von CO und Wasserstoff, durch Katalyse können wahlweise Methanol, Methan oder Kohlenwasserstoffe erzeugt werden.

Beispiel für einen „exotischen“ Vorschlag

- SiO<sub>2</sub> + 4 HF = SiF<sub>4</sub> + 2 H<sub>2</sub>O  
SiF<sub>4</sub> + 4 H<sub>2</sub> = SiH<sub>4</sub> + 4 HF

Durch weitere Reaktionen kann ein Polysilan  $(\text{SiH}_2)_n \text{H}_2$  erzeugt werden, fester Körper, reagiert mit Wasser zu  $\text{SiO}_2$  und Wasserstoff. (Sehr hohe Energiedichte)

---

**Windkraft:** Anfang des 20ten Jhdts. zum Wasserpumpen in Namibia. - Windkraftanlagen in den USA. Anlagekosten 2010 zwischen 1000 - 2300 €/KW  $\Rightarrow$  Stromkosten 0,15 - 0,10 €/KWh  
Problem in Wendekreiswüsten ist die Kaltluftschicht die sich in der zweiten Nachthälfte ausbildet und für mehrere Stunden zur Windstille führt.

---

**Landwirtschaft** = Produktion von Biomasse ist wegen der potentiellen Verdunstung (Versalzung) im offenen Anbau nicht wirtschaftlich und setzt eine kontinuierliche Versorgung mit Wasser voraus. (Oasen: 20% Abfluss zur Vermeidung der Versalzung!) Die aus den USA eingeführte mowing boom sprinkler Irrigation (Kreisberegnung durch einen auf Rädern laufenden Halbmesser) ist eine organisierte Wasserverschwendung in Kernwüsten, aber in Libyen, Ägypten und der Arabischen Halbinsel verbreitet. Erheblich sparsamer mit der Ressource Wasser ist die Tröpfchenbewässerung, die übrigens ebenfalls erstmalig in den USA angewendet wurde.

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 bei der Tierhaltung ist die Futterbeschaffung + Wasser!

Der Transpirationskoeffizient gibt an wie viel Wasser verdunstet wird pro produzierte Masse an Trockensubstanz. Für alle Landpflanzen liegen diese Werte zwischen etwa 250 und 900. – Es gibt zwei genetisch unterscheidbare Gruppen von Pflanzen. **C3 und C4**.

Beide Gruppen unterscheiden sich in Bezug auf den ersten Schritt der Fotosynthese, nämlich die Fixierung von  $\text{CO}_2$ . Dies hat Auswirkungen auf den Transpirationskoeffizient und den für die Fotosynthese optimalen Temperaturbereich:

C4-Pflanzen = 250 – 360 /  $30^\circ - 45^\circ\text{C}$

C3 Pflanzen = 450 - 900 /  $15^\circ - 25^\circ\text{C}$

(nähere Angaben siehe C4 Pflanzen Wikipedia)

Für das Wachstum in ariden Gebieten sollten also C4-Pflanzen besser geeignet sein.

Wegen der Wasserknappheit also möglichst Pflanzenwachstum mit geschlossenem Wasserkreislauf, bei dem nur der Wasseranteil entnommen wird, der in der Biomasse steckt!  $\rightarrow$ .: **Tankkultur oder Treibhaus**.

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

Wasserverlust durch Verdunstung und Entweichen des  $H_2O$  in die Umgebung unterdrückt werden! Abhilfe:

1. Kühlung durch Wärmepumpe.= Kondensation an kältester Stelle (Etwa bei  $20^{\circ}C$ ) und Rückführung zu den Wurzeln der Pflanzen.
2. Abluffführung über Kieselgel bis zur Sättigung mit  $H_2O$ , dann Umschalten auf Luftzufuhr.(Mindestens zwei Filterstrecken im Pendelbetrieb.)

### **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. Ideales IR Filter ist eine 10 mm dicke Schicht Wasser. Möglich auch selektive Reflektion durch Spiegel mit Belag aus Si oder Ge. ( Si, bzw. Ge sind im IR durchsichtig).
- Bei Tankkultur Konzentration des Lichts durch Fresnel-Linsen + oder Spiegel möglich.(Fresnel-Linsen: Kunststoff durch Pressen, Strangpressen oder Spritzguss.)
- Problem der Belüftung ( $CO_2$ -Gehalt der Luft) = Feuchteverlust  
Kamelnachahmung: Kieselgelfilterstrecken oder Abkühlen bis Taupunkt

- Ziel ist möglichst viel Biomasse pro t Wasserverbrauch.

„Wasserpflanzen“ wie Algen oder Tang lassen pro Fläche und Zeit eine vielfach höhere Ausbeute an Trockenmasse erwarten im Vergleich zu Landpflanzen im Gewächshaus, da der Wasserverlust durch den Transpirationskoeffizienten entfällt. Viele Arten wachsen auch in Salzwasser.

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

In Küstennähe auch Algenwachstum in Salzwasser: Becken die regelmäßig durch Gezeiten mit Frischwasser versorgt werden.

Der Bedarf an F+E in Bezug auf Algenzüchtung ist enorm:

- Es gibt mehrere tausend Algen-Species.(Ca. 7000)
- Ihr Anteil an Lipiden, Proteinen, bzw Kohlehydraten ist unterschiedlich.
- Ihre Anforderungen in Bezug auf Licht, pH-Wert, anorganische Salze und Temperatur sind unterschiedlich
- Die Verwendung als Futtermaterial müsste jeweils über mehrere Generationen geprüft werden.(Einige Algenarten produzieren auch Gifte)  
In Berlin forscht die TFH Wildau auf diesem Gebiet.

Prinzipiell bereits heute technisch machbar, aber die F+E in Industrieländern kümmert sich kaum darum, da aus politischen Gründen derzeit keine wirtschaftliche Anwendung sichtbar ist und daher keine Förderung erfolgt.

(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 3 - 10 US-Dollar pro Kubikmeter. - (Zum Vergleich: Die Kosten in Deutschland für 1 Kubikmeter einschließlich Abwasser liegen bei 2,5 - 5 €!)
- Umkehrosiose von Brackwasser ist billiger, ca. 1 € pro Kubikmeter
- Taupunkt Kondensation 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) und eventuell Phosphat.

---

Andere einfachere Möglichkeiten:

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

An der Küste: Künstliche Mangroven - Garneelenzucht, sowie Anbau von Salzwasser-Pflanzen.(Halophyten) (Versuche in Somalia, bzw, Eritrea) *Salicornia* (Meerkohl)

---

### **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 Solarzellen 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) In Planung in Algerien, Tunesien und Ägypten..

## 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 Löss -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 Kandahār = 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 -

Östlich 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, Eyre-See 12 m unter NN / Great Sandy Desert im NW,  
Great Victoria Desert im SW. - 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 der Grenze Chile/Argentinien.

Literatur:

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

Michael Martin „Planet Wüste“ Knesebeck München 2015

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

Gustav Nachtigall „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 (*Autor war später Chef der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe in Hannover.*)

Bruno Baumann „Karawane ohne Wiederkehr“ Piper Verlag 2000

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

Herrmann Scheer MdB „Der energetische Imperativ“ Kunstmann Verlag 2009  
ISBN 978-3-88897-683-4

Manfred Strässer „Klimadiagramme zur Köppenschen Klimaklassifizierung“  
Klett-Perthes 1998

George Steinmetz „Wüsten von oben“ Geo Frederking & Thaler 2012