

thropogenen Oberflächenveränderung im Postglazial sollten geeignete Messungen durchgeführt werden, um eine verlässliche Datengrundlage zu schaffen, die mit anderen Methoden nur schwerlich zu erhalten ist.

Der vorliegende Beitrag wurde dankenswerterweise durch die Deutsche Forschungsgemeinschaft und durch das Klimaprogramm der Bundesregierung (BMFT) gefördert.

Literatur

- Deutscher Wetterdienst*: Das Klima der Bundesrepublik Deutschland. Lieferung 1, Offenbach 1979.
- FIRBAS, F.: Waldgeschichte Mitteleuropas. Jena, Bd. 1, 1949; Bd. 2, 1952.
- GARTHE, H. J., JAEGER, L. u. KESSLER, A.: Langzeitmessungen zum Strahlungs- und Energiehaushalt eines Kiefernwaldes. Tagungsber. Nationalpark Bayer. Wald 5, 1985.
- HUNT, B. G.: An examination of some feedback mechanisms in the carbon dioxide climate problem. In: *Tellus* 33, 1981, 78–88.
- JAEGER, L.: Die klimatologische Meßstation/Hartheim des Meteorologischen Instituts der Universität Freiburg im Breisgau. In: *Ber. Naturf. Ges. Freiburg* i. Br. 68, 1978, 47–73.
- JAEGER, L. u. KESSLER, A.: Langzeitmessungen der Strahlungsbilanz und ihrer Komponenten über einem Kiefernstand der südlichen Oberrheinebene. In: *Allg. Forst- u. Jagdztg.* 151, 1980, 210–218.
- KASTEN, F. u. CZEPLAK, G.: Solar and terrestrial radiation dependent on the amount and type of cloud. In: *Solar Energy* 24, 1980, 177–189.
- KESSLER, A.: Über die kurzweilige Albedo eines Kiefernwaldes. Eine klimatologische Langzeitstudie. In: *Meteorol. Rdsch.* 38, 1985a, 82–91.
- : Heat balance climatology. *World Survey of Climatology* Vol. 1A. Amsterdam, London, New York, Tokyo 1985b.
- KESSLER, A., JAEGER, L. u. SCHOTT, R.: Die Auswirkungen der Sonnenfinsternis vom 29. April 1976 auf die Energieströme an der Erdoberfläche. In: *Meteorol. Rdsch.* 32, 1979, 109–115.
- Reichsamt für Wetterdienst*: Klimakunde des Deutschen Reiches, Bd. 2 Tabellen. Berlin, 1939.
- SCHOTT, R.: Untersuchungen über die Energiehaushaltskomponenten in der atmosphärischen Grenzschicht am Beispiel eines Kiefernbestandes in der Oberrheinebene (Hartheim/Rh.). *Ber. Deutscher Wetterd.* 153, 1980.
- WAHLE, E.: Ur- und Frühgeschichte im mitteleuropäischen Raum. 5. Aufl., München 1980.

DAS OASENKLIMA UND SEIN ÖKOLOGISCHER STELLENWERT

Mit 11 Abbildungen, 6 Tabellen und 4 Photos

MICHAEL RICHTER UND WOLFGANG SCHMIEDECKEN

Summary: The climate of oases and its ecological significance

The term "oasis climate" serves to describe the climate within areas of vegetation, which differs remarkably not only from that of the surrounding desert but also from that of its settlement because of the particular reciprocal effects within the mostly irrigated tree cultures. In order to illustrate the characteristic qualities of this type of climate, measurements were taken in a grove of mature old palm-trees in the oasis of Tozeur in southern Tunisia, the location of which is characterized by a multiple shading of the ground by foliage, and those from a younger one where the trees are widely spaced. These measurements were contrasted with the conditions of the climate outside the oasis.

In the oasis gardens the diurnal temperature fluctuations are significantly smaller than in the open; within the tree cultures, however, there are considerable additional differences between the air-layer immediately above the ground and that in the region of the upper trunk. The thermal differences correspond with the various values of the relative humidity of the atmosphere, which in turn depend upon the irrigation and the actual evapotranspiration. Thanks to reduced net radiation and surface heating, together with poorer ventilation, potential evapotranspiration in a well-irrigated palm grove is considerably lower than in the open. A comparison of

the mean annual value for open land, young oasis and old oasis shows a relation of 100:61:42. The resulting consequences for the amount of irrigation required are emphasized by the two water balances.

All irrigated soils are subject to the danger of salination. This problem varies with the density of vegetation in the oasis gardens. It is discussed on the basis of some soil analyses, and a link is established between the quantity and timing of irrigation, evapotranspiration potential and the heating-up of the atmosphere. In addition, the amount of humus formation and the composition of ground flora are derived from the micro-climatic and hydrological peculiarities of the oasis climate. On the basis of the ecological conditions described above, inferences are drawn for the cultivation of the palm groves, the density of vegetation and the intensity of irrigation.

Trotz der evidenten Merkmale, die das Bestandsklima in Oasengärten vom umgebenden Wüstenklima unterscheidet, liegen bislang keine systematischen Vergleichsuntersuchungen vor. Einige Publikationen versprechen zwar vom Titel

her Aufklärung; es bleibt jedoch durchweg bei der Bewertung des Freilandklimas in einem Oasenort (z. B. EL AMAMI u. LABERCHE 1973). Damit steht eine exakte Charakterisierung des Oasenklimas¹⁾ im engeren Sinne aus, was um so mehr erstaunen muß, als die Planung einer intensiven Landnutzung in Oasengärten ohne die Kenntnis der besonderen bestandsklimatischen Bedingungen kaum möglich erscheint.

Der Begriff ‚Oasenklima‘ wird im folgenden auf die klimatischen Wechselwirkungen innerhalb bewässerter Baumkulturen in trockener Umgebung beschränkt. Er bezieht sich also nicht auf die Oase im weiteren Sinne ohne Trennung von Siedlung und Flur, sondern auf die mehr oder weniger dichten und differenzierten Oasengärten, insbesondere auf Palmen- und Fruchthaine. Nicht eingeschlossen ist das Klima der zugehörigen Ortschaften, das eher im Kontrast zum feuchteren Oasenklima steht. Ebenso wenig werden offene Bewässerungskulturen angesprochen, die man vorzugsweise in Flußoasen oder unter Sprinklerberieselung antrifft, da in diesem Falle exogene Einflüsse des Freilandklimas stärker wirksam werden als bei den mehr endogenen klimaökologischen Verflechtungen in höheren Beständen.

Die ökologischen Bedingungen des Oasenklimas wurden im Verlauf mehrerer Studienreisen zu erfassen versucht. Nach Voruntersuchungen in Marokko (1979), Algerien (1979) und Ägypten (1980), ferner im Iran (1976) und in Südperu (1978), erwiesen sich die Djerid-Oasen – und hier insbesondere Tozeur – in Südtunesien für längere Meßreihen aus mehreren Gründen als besonders geeignet:

- die besondere klimaökologische Eignung der Oase von Tozeur,
- die gute Datengrundlage, die im Vorhandensein einer Klima-Hauptstation in Tozeur begründet ist, und die hilfreiche Zusammenarbeit mit dortigen Meteorologen²⁾,
- die in Maghrebländern keineswegs selbstverständliche Genehmigung für Meßarbeiten im Gelände durch den Gouverneur von Tozeur³⁾.

Zum erstgenannten Punkt zählt auch die gut erreichbare Lage am Nordrand der Sahara, der hier durch ein auffallend extremes Wüstenklima gekennzeichnet ist (vgl. FRANKENBERG u. RICHTER 1981). Es wird von deutlichen kontinentalen Effekten bestimmt, deren Ursachen bei relativer Meeresnähe in der Orographie zu finden sind. Die Lage am Beckenrand des Chott Djerid führt im Winter zu Temperaturen um den Gefrierpunkt, während im Sommer die starke Rückstrahlung von der blendendweißen Salzoberfläche des Chotts eine überdurchschnittliche Aufheizung der staubtrüben unteren Troposphäre zur Folge hat (vgl. Abb. 1). So gesehen sind die Klimaverhältnisse der Umgebung von Tozeur durchaus mit denen zentralsaharischer Orte vergleichbar.

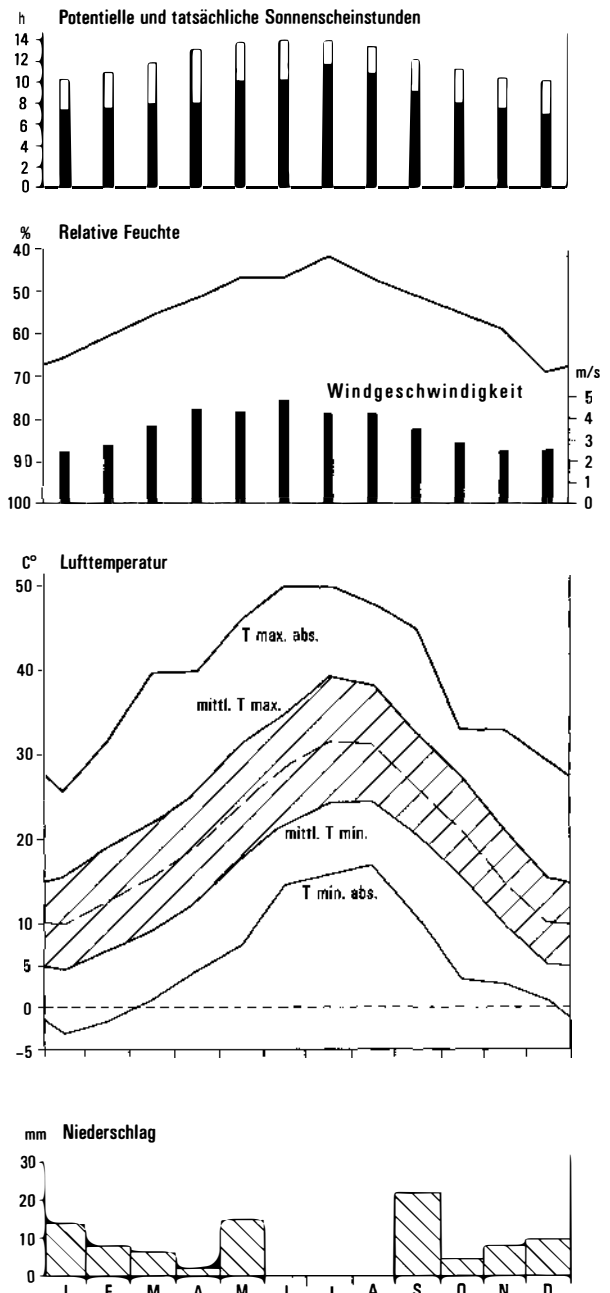


Abb. 1: Klimadiagramme von Tozeur
Tozeur: climatic diagrams

¹⁾ Siehe hierzu auch WEHMEIER 1977b, der den Begriff dort in einer Arbeit mit anderem Inhalt benutzt.

²⁾ Für wertvolle Hinweise und die überaus herzliche Gastfreundschaft wird den Herren ALI BOUGHANEMI und ALI EZZINE, Station Météo Tozeur, sehr gedankt.

³⁾ Für die vermittelnde Tätigkeit sei Herrn Prof. Dr. P. FRANKENBERG (Eichstätt) herzlich gedankt.

Das enge räumliche Nebeneinander dieses extremen Saharaklimas einerseits und des mit einer insgesamt 1005 ha umfassenden Nutzfläche (272 000 Dattelpalmen und 140 000 Frucht bäume) zusammenhängenden Oasenkomplexes andererseits ergeben die hervorragenden Voraussetzungen für die Behandlung der bestandsklimatischen

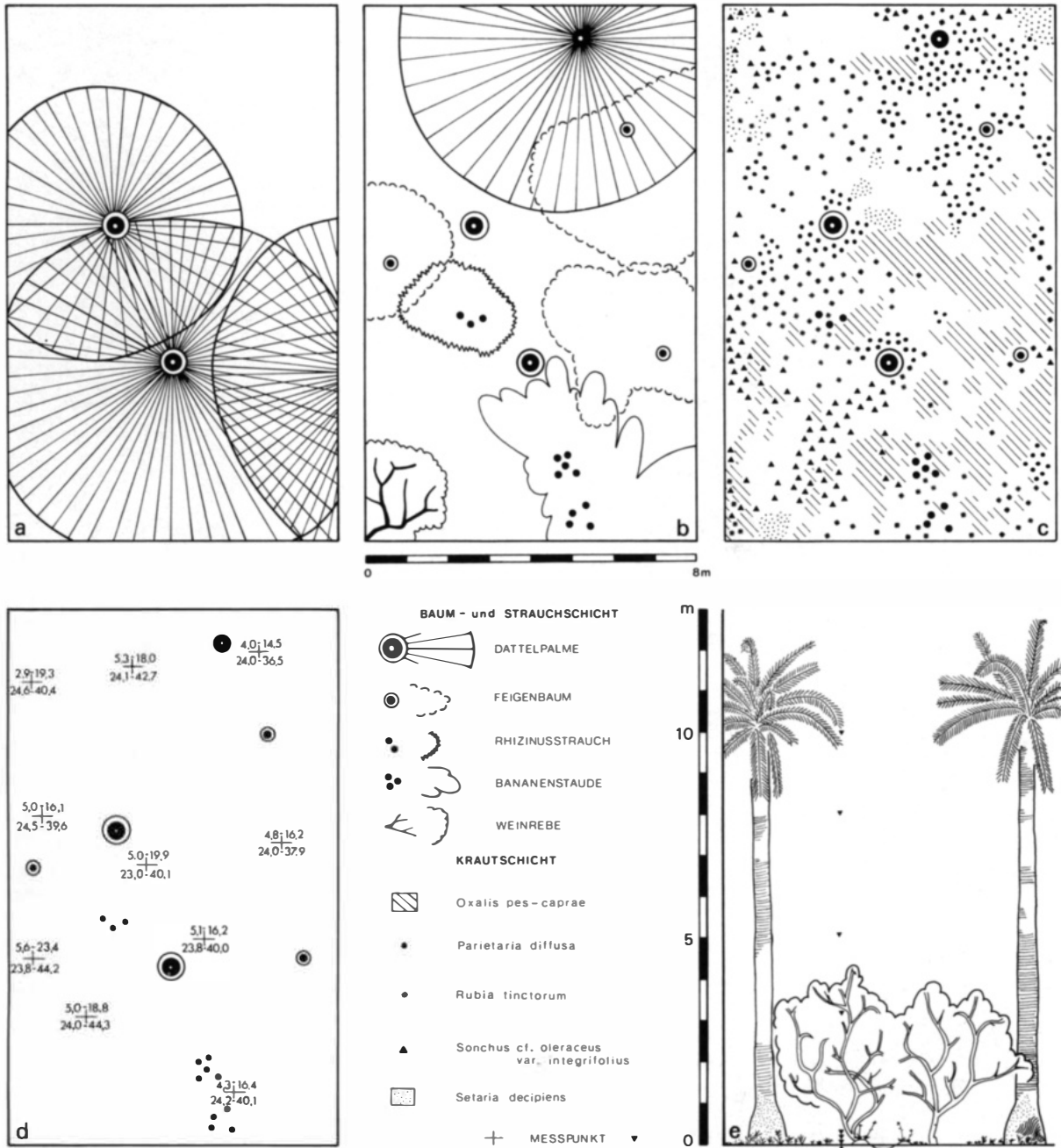


Abb. 2: Meßfeld im alten Palmenhain von Tozeur

a: Überschildung oberhalb 7 m Höhe

b: Überschildung zwischen 0,5 und 7 m Höhe

c: Unterwuchs

d: Meßpunkte mit den absoluten Extremwerten der Bodenoberflächentemperaturen während der beiden Meßwochen; obere Werte: 7.-13. 12. 1981, untere Werte: 21.-27. 7. 1982

e: Aufriß des Bestandes mit Höhenmeßpunkten zur Erstellung der Diagramme in Abb. 4

Measuring-field in the old palm grove of Tozeur



Photo 1: Alter Oasengarten in Tozeur
Tozeur: old oasis garden



Photo 2: Junger Oasengarten in Tozeur
Tozeur: young oasis garden

Besonderheiten einer Oase. Von der Bewirtschaftungsvielfalt und -intensität her zählt Tozeur zu den eindrucksvollsten Beispielen in Nordafrika. Dies betrifft insbesondere den alten Kern des Palmenhains unmittelbar südlich der Ortschaft, der seit Jahrhunderten eine mehrstöckige Nutzung zulässt.

Im folgenden werden von insgesamt fünf Aufenthalten in den Djerid-Oasen die Ergebnisse aus zwei jeweils andert-halbwochigen Meßreihen während der kühlen und während der heißen Jahreszeit vorgestellt (Dezember 1981 und Juli 1982). In diese Zeitabschnitte fielen sowohl der kälteste Tag des Winters 1981/82 – Minimum-Temperatur am 8. 12. 1981: 1,8 °C – als auch der heißeste des Sommers 1982 – Maximum-Temperatur am 22.7.1982: 46,3 °C –, nach den Aufzeichnungen der neuen Wetterstation am Flughafen. Für die Gegenüberstellungen des Freiland- und des Oasenklimas wurde das Gelände der ehemaligen meteorologischen Station am Ortsrand von Tozeur und ein Meßfeld im alten Palmenhain der Oase gewählt. Der letztgenannte Standort wird durch eine mehrfache Überschilderung des Bodens gekennzeichnet, wie sie aus dem Photo 1 gut ersichtlich und in Abb. 2 a bis c dargestellt ist. Zwar fehlt auf diesem Bewässerungs-Abschnitt Gemüseanbau, der Boden war jedoch in beiden Jahreszeiten zu Dreiviertel im ähnlichen Verteilungsmuster mit Unkräutern überdeckt (vgl. Abb. 2 c; im Sommer fehlten *Oxalis* und *Sonchus*, dafür nahmen *Parie-*

taria und *Setaria* einen größeren Raum ein). Weitere Erhebungen und Stichproben-Messungen wurden in einem knapp zwanzigjährigen, weitständigen Palmenhain – „junge Oase“ – (siehe Photo 2) mit lichter Weidelgras-Überdeckung durchgeführt.

Bewölkung, Niederschlag und Wind als übergeordnete Größen

Der subtropischen Lage entsprechend unterliegen Strahlungs- und Windverhältnisse als vektorielle Einflußgrößen einem jahreszeitlichen Wechsel. So verursachen die winterlichen Großwetterlagen eine Reduktion der möglichen Sonnenscheindauer um rund ein Viertel (vgl. Abb. 1). Maßgeblich daran beteiligt ist eine lockere Cumulus humilis-Bewölkung, die auch zu sporadischen Niederschlägen führen kann (zu den Bewölkungsverhältnissen während der Meßzeiten vgl. Abb. 7, zu der jahreszeitlichen Niederschlagsverteilung siehe Abb. 1.). Im Sommerhalbjahr nähern sich hingegen tatsächliche und potentielle Sonnenscheindauer etwas an; gelegentliche Cirren schränken die Einstrahlung geringfügig ein.

Zur deutlicheren Gegenüberstellung von Freiland und Oasengarten liegen den in Abb. 5 und 6 dargestellten Ergebnissen Messungen an bewölkungsfreien Tagen zugrunde. Dagegen gleichen sich mit zunehmender Wolkenbedeckung

die thermischen Verhältnisse in den Pflanzenbeständen des Freilandes an, d. h. die Tagesamplituden werden in beiden Fällen geringer.

Während im Winter Westwinde vorherrschen, machen sich in den Übergangsjahreszeiten östliche Strömungen verstärkt bemerkbar. Letztere entstammen als sogenannte ‚Cherguis‘ dem zyklonalen Geschehen über dem Syrtengolf (FRANKENBERG 1979, S. 137). Zwar kann sich der Chergui auch im Sommer bemerkbar machen; die vorwiegenden Winde aus östlichen und südlichen Richtungen sind dann jedoch durchweg aus flachen Hitzetiefs über der Sahara abzuleiten. Den geschilderten Gesetzmäßigkeiten lassen sich auch die Richtungskomponenten während der in Abb. 3 dargestellten Meßperioden unterordnen. Es werden die Geschwindigkeiten an drei Punkten – Flugplatz, Ort, Oasengarten – gegenübergestellt (Handmessungen mit einem Windweg-Schalenanemometer bzw. am Flugplatz nach Aufzeichnungen des dort vorhandenen Schreibers). Naturgemäß sind die Werte an der neuen Flughafenstation auf der freien Fläche des Schichtstufenrückens nördlich von Tozeur wesentlich höher als an der ehemaligen Wetterstation in Ortsnähe, wo seit ca. zwanzig Jahren insbesondere Ost-

winde durch hohe Baumreihen einer Eukalyptusallee entlang der Ausfallstraße nach Gafsa gebrochen werden. Die in Abb. 1 dargestellten Mittel der Windgeschwindigkeit entsprechen dem Zeitraum von 1901 bis 1960 und dürften an der heutigen Station (Flugplatz) höher liegen.

Für die Fragestellung der Arbeit sind die eigenen Messungen im Palmenbestand von besonderem Interesse. Sie erklären die Angewohnheit der Bevölkerung, während heftiger Sandstürme die Oasengärten aufzusuchen. Aus Abb. 3 geht hervor, daß selbst bei Windgeschwindigkeiten über 10 m/s, die im Kronendach zu heftigem Rauschen und Schütteln der Wedel führen, die Durchlüftung in Bodennähe dennoch gering bleibt. Im unteren Stammraum kommt es lediglich zu schwachen Luftbewegungen, die als kurze Einbrüche keine eindeutige Richtungskomponente aufweisen.

Zwar steht die Einwirkung der Ventilation auf die Luftfeuchte hinter der thermischen Beeinflussung zurück, trotzdem können zum Zeitpunkt nächtlicher Windspitzen Verzögerungen in der gesetzmäßigen Feuchtezunahme festgestellt werden. Dies läßt sich z. B. für den späten Abend des 8. 12. 1981 belegen, indem sich erhöhte Windgeschwindigkeiten im Freiland (Abb. 3 a) mit einem Absinken der relati-

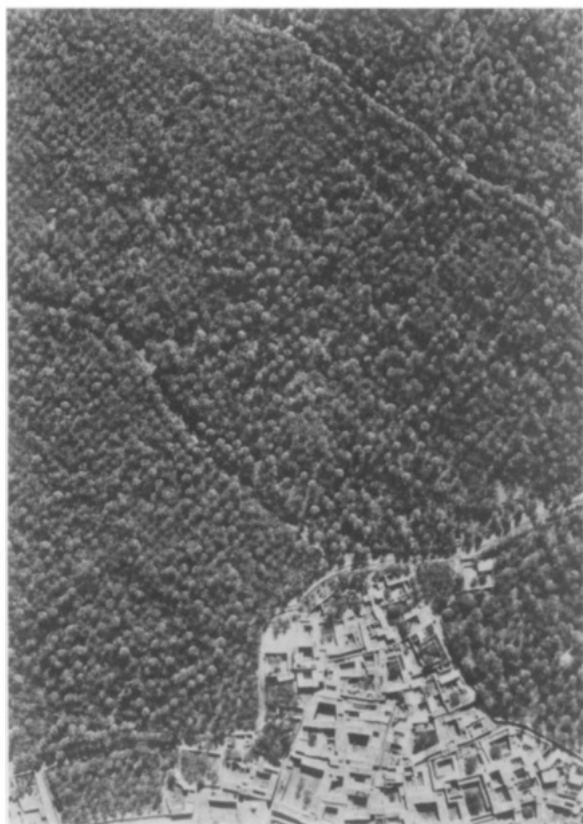


Photo 3: Luftbild eines alten Palmenhains im Zentrum der Oase von Tozeur

Aerial view of an old palm grove in the centre of the oasis of Tozeur



Photo 4: Luftbild eines jungen Palmenhains im Randbereich der Oase von Tozeur

Aerial view of a young palm grove at the edge of the oasis of Tozeur

ven Luftfeuchtigkeit auf 50% im Palmenhain (Abb. 6c, Messungen mit einem Aspirations-Psychrometer in 2 m Höhe) parallelisieren lassen. Hier liegen auch die Verdunstungsraten in der entsprechenden Nacht doppelt so hoch wie bei Windstille: 2,5 ml gegenüber 1,2 ml (Abb. 7a, Messungen mit Piche-Evaporimeter mit weißem Filtrierpapier 55 mm Ø, an vier Meßstellen).

Temperatur, Luftfeuchte und Verdunstung

Auch die mikroklimatischen Unterschiede zwischen Freiland und Pflanzenbeständen werden maßgeblich durch die beiden Vektorgrößen Strahlung und Wind bestimmt. So unterliegt bei geringer Durchlüftung der Wärmehaushalt im Palmenhain kontinuierlichen vertikalen Austauschprozessen, während über offenem Gelände der vergleichsweise unbeständige horizontale Luftaustausch eine größere Rolle spielt. Was die Strahlungsbilanz betrifft, so werden Wärmezufuhr und -abgabe durch die Dichte und Mehrschichtigkeit der Laubüberschirmung gekennzeichnet. In Oasen kommt noch die Bewässerung als ein weiterer Veränderungsfaktor für den Wärmehaushalt hinzu. Die erhöhte Bodendurchfeuchtung bewirkt nachts eine Wärmeabgabe, die einer im Freiland üblichen Abkühlung durch Ausstrahlung an der Erdoberfläche entgegenwirkt. Tagsüber findet ein entgegengesetzter Prozeß statt, indem die advective Wärmezufuhr in Bodennähe durch erhöhte Abkühlung durch Verdunstung eingeschränkt wird.

Diese tageszeitliche Gesetzmäßigkeit läßt sich sowohl für die heiße als auch für die kühle Jahreszeit belegen. Die jeweilige Temperaturumkehr für die Tiefst- und Höchstwerte in Bodennähe wird aus Abb. 4 ersichtlich. Den Ergebnissen liegen Sensormessungen in unterschiedlichen Höhen zugrunde, wobei Thermofühler, von einer Tülle aus Alufolie als Strahlungsschutz umgeben, zwischen Bodenoberfläche und Kronendach an Drahtverspannungen zwischen einzelnen Palmstämmen angebracht waren (vgl. Abb. 2e). Dar-

über hinaus verdeutlicht die Gegenüberstellung in Althochronothermen-Diagrammen (Abb. 5 und 6, zur Methode der Intensivmessungen vgl. RICHTER 1980), daß die bodennächste Inversion tatsächlich an eine erhöhte Wasserdampf-sättigung gebunden ist. Denn anders als in Oasengärten (Abb. 6) sind über trockenem Sand im Freiland Auskühlung und Erhitzung gerade an der Bodenoberfläche bei weitem am größten (Abb. 5). Dies geht aus der konvexen Wölbung der bodennahen Isothermen hervor, während im Gegensatz dazu für den Bestand eine konkave Konfiguration erkennbar ist. Um Zufallsergebnisse auszuschalten wurden an der Erdoberfläche im Palmenhain zehn weitere Meßpunkte mit Thermosensoren eingerichtet (vgl. Abb. 2d). Dort sind die absoluten Temperaturminima und -maxima im Verlauf der siebentägigen Meßperioden im Winter – über dem Kreuz – und im Sommer – unter dem Kreuz – eingetragen. An einer kaum übershirmten Stelle (linker Rand unterhalb der Mitte von Abb. 2d) liegt die maximale Wochenamplitude im Sommer bei 20,4 °C, im Winter bei 17,8 °C, während in einer mehrfach überschatteten Nische unter einer niedrigen Dattelpalme die niedrigsten Werte von 12,5 °C bzw. 10,5 °C vorkommen (oben rechts in Abb. 2d). Dagegen zeigen Schwankungen der Tagesmessungen im Freiland im Winter 21,6 °C und im Sommer sogar 32,7 °C (vgl. Abb. 5a u. b).

Während die Tagesschwankungen der Temperatur in unmittelbarer Bodennähe gering bleiben – im Winter etwa 10 °C, im Sommer 12 °C –, erreichen sie weiter oberhalb im Stammraum 3 bis 5 °C mehr. Oft sind hier die Minima und Maxima sogar extremer als im Freiland in gleicher Höhe (vgl. Abb. 5 u. 6, 200 cm über Boden). Dies mag insofern erstaunen, als die durch die Laubüberschirmung bedingte Strahlungsminderung ausgeglichene Temperaturen er-

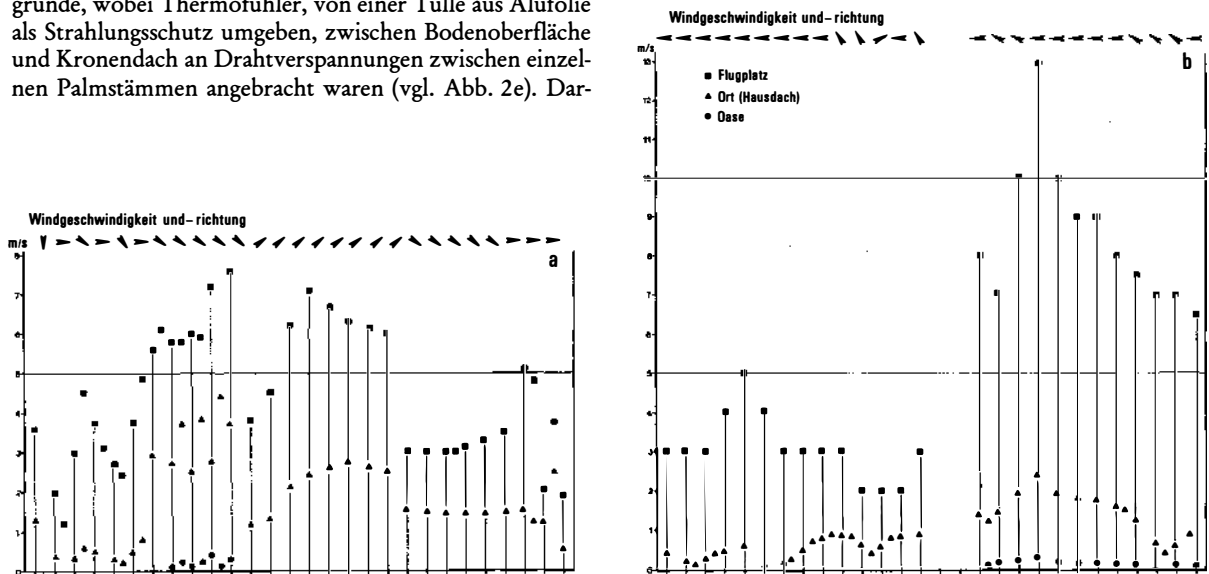


Abb. 3: Windgeschwindigkeit und -richtung am Flugplatz, im Ort (ehemalige meteorologische Station) und in der alten Oase von Tozeur
a: 8.-9. 12. 1981 b: 25.-26. 7. 1982

Speed and direction of winds at the airport, in the town (former meteorological station) and in the old oasis of Tozeur

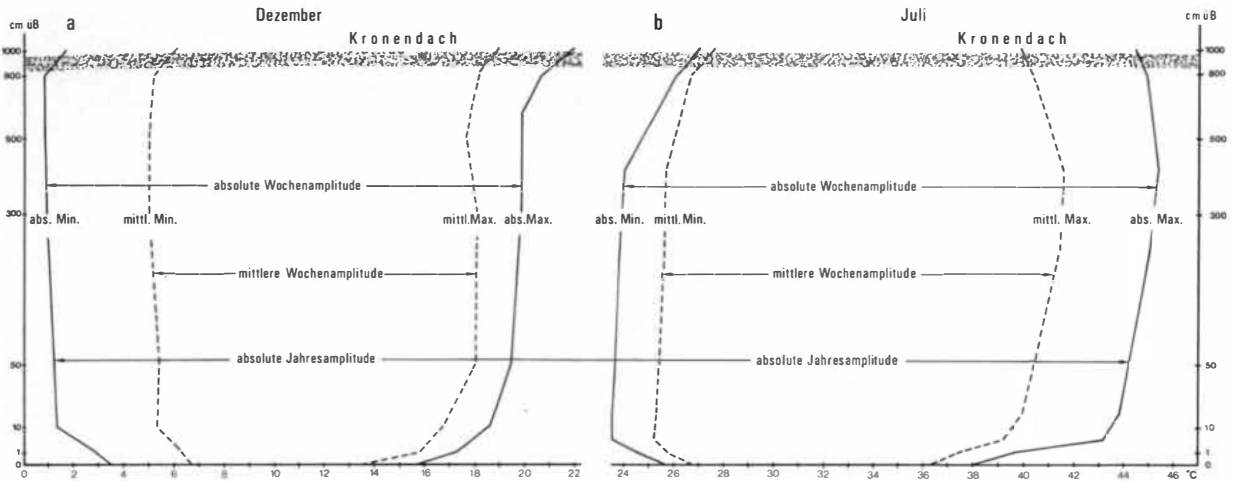


Abb. 4: Absolute und mittlere Wochenamplituden der Temperatur in der Zeit vom 7.–13. 12. 1981 (a) und vom 21.–27. 7. 1982 (b) in Abhängigkeit von der Höhe über Grund bis zum oberen Kronendach in der alten Oase von Tozeur

Absolute and average weekly amplitudes of the temperature in dependence on the altitude above ground up to the tree top in the old oasis of Tozeur

warten läßt. Jedoch ist zu berücksichtigen, daß bei vertika-
lem Luftaustausch ohne horizontale Durchmischung nachts
insbesondere im Winter Kaltluft in den Palmenhain ein-
sickert. Erst in unmittelbarer Bodennähe vermag sie sich
nicht gegen die Wärmeabgabe des feuchten Bodens durchzu-
setzen. Während die nächtliche Abkühlung im Bestand alle
Jahreszeiten betrifft, ist eine übermäßige Aufheizung des
Stammraumes nur im Sommer festzustellen. In Abb. 4 sind
die jahreszeitlichen Unterschiede am Kurvenverlauf der
Maximaltemperaturen abzulesen: Während im Dezember
eine nochmalige Temperaturzunahme im Kronendach nach-
gewiesen werden kann, kommt es im Juli weiter unterhalb
zur stärksten Erwärmung.

Ohne weitere längerfristige Untersuchungen können Er-
klärungen zu diesem Phänomen vorerst nur vorläufig sein;
jedoch ist ein Zusammenwirken mehrerer Faktoren vor-
stellbar. Von ausschlaggebender Tragweite dürfte die wech-
selnde Sonneninklination sein: Im Winter reicht die vermin-
derte direkte Einstrahlung nur für eine Erwärmung des Kron-
endachs aus. Als Modellvorstellung bietet sich in diesem
Fall ein „Hohlkörper“ an, von dem nur die Oberfläche
direkt aufgeheizt wird; die thermische Steuerung des In-
haltes dieses Hohlkörpers wird allein durch die Gegenstrah-
lung, diffuse Himmels- und Reflexstrahlung sowie die ad-
vektive Wärmezufuhr getragen. Im Sommer sorgt dagegen
der hohe Sonnenstand für eine starke direkte Einstrahlung,
die nun zu einem Wärmeüberschuß im Kronendach führt.
Damit kommt es zu einer zusätzlichen Komponente, die für
den Hitzestau im Stammraum verantwortlich ist. Daneben
tragen die höheren Windgeschwindigkeiten zu dieser Jahr-
szeit dazu bei, daß die Wärmeabgabe im erheblichen Maße
nach unten zum schwach durchlüfteten „Hohlraum“ ge-
richtet ist, während nach oben Wärmeverluste durch Venti-
lation und lebhaftere Transpiration auftreten. Die Verdun-

stungsabkühlung in diesem Bereich, die so lange wirksam
ist, wie der Wasserhaushalt der Dattelpalmen durch ausrei-
chende Bewässerung stabil bleibt, schränkt somit die hohe
Wärmeabsorption des dunklen Kronendachs ein.

Die thermischen Unterschiede zwischen Stammraum
und bodennächster Luftschicht im Oasengarten sind auf
entsprechende Differenzierungen der relativen Luftfeuch-
tigkeit zurückzuführen. Die stärkere Freisetzung von Was-
serdampf geht aus den Tagesgängen in 1 cm über Boden her-
vor (Abb. 6c u. d). Hier liegen die Werte bis zu 30% höher
als in 200 cm Bodenhöhe, während im Freiland bei trocke-
nem Grund die entsprechenden Differenzen höchstens 10%
betragen (Abb. 5c u. d). Natürlich ist das Maß des Sätti-
gungsdefizits in der bodennächsten Luftschicht vom zu-
rückliegenden Irrigationszeitpunkt abhängig. So wird ver-
ständlich, wieso die Kurven an den Meßtagen im Dezember
1981 enger zusammenliegen als an denen im Juli 1982. Dies
hat keineswegs jahreszeitlich bedingte Ursachen, sondern
ist im ersten Fall mit der bereits vier bis fünf Tage zurück-
liegenden Bewässerung zu erklären, so daß nur noch eine
relativ geringe Menge an Wasserdampf vom Boden bereit-
gestellt wird; im zweiten Fall wurde dagegen ein bis zwei
Tage vor den Messungen bewässert, so daß noch eine er-
höhte Feuchteabgabe feststellbar ist. Normalerweise glei-
chen sich gerade im Sommer infolge der rascheren Boden-
austrocknung die Luftfeuchtwerte zwischen 1 cm und
200 cm Bodenhöhe nach kurzer Zeit wieder an. Anders im
Freiland, wo bei ohnehin geringen Unterschieden innerhalb
der bodennahen Luftschicht die Tagesamplituden der Luft-
feuchte atmosphärischen Einflüssen unterliegen und kaum
rhythmische Intervalländerungen aufweisen. So treten hier
am Boden während der langen Hitzephase Werte um 10%
relative Luftfeuchtigkeit auf, während in ausreichend be-
wässerten Oasen bei zahlreichen Messungen 40% nie unter-

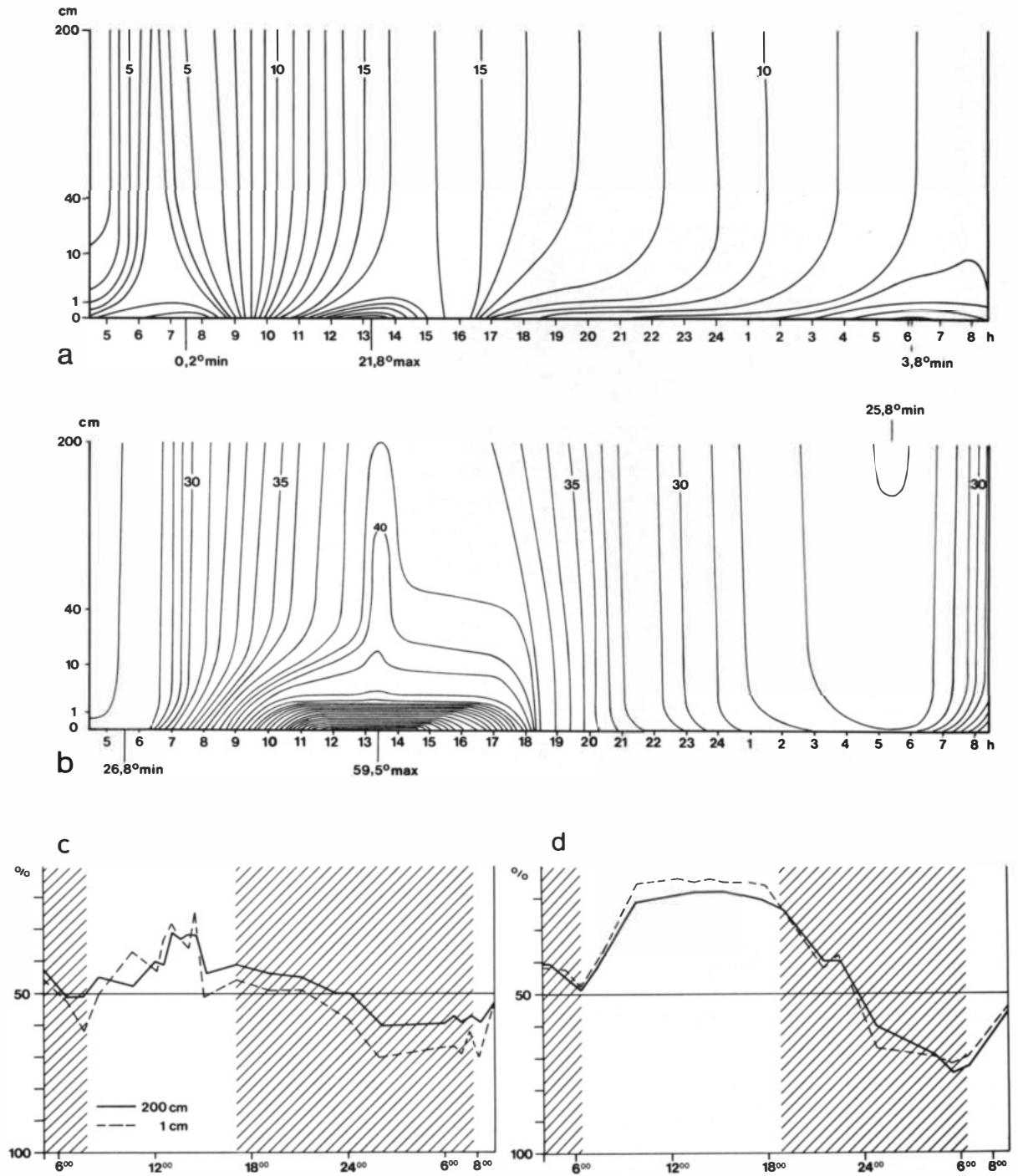


Abb. 5: Altophothermen-Diagramm vom 8.-9. 12. 1981 (a) und vom 25.-26. 7. 1982 (b) sowie Tagesgänge der relativen Luftfeuchtigkeit in 1 cm und 200 cm Höhe am 8.-9. 12. 1981 (c) und am 25.-26. 7. 1982 (d) im Freiland (ehemalige meteorologische Station von Tozeur)
 Altophothermic diagram and diurnal variation of the relative humidity in the altitude of 1 cm and 200 cm outside the oasis of Tozeur

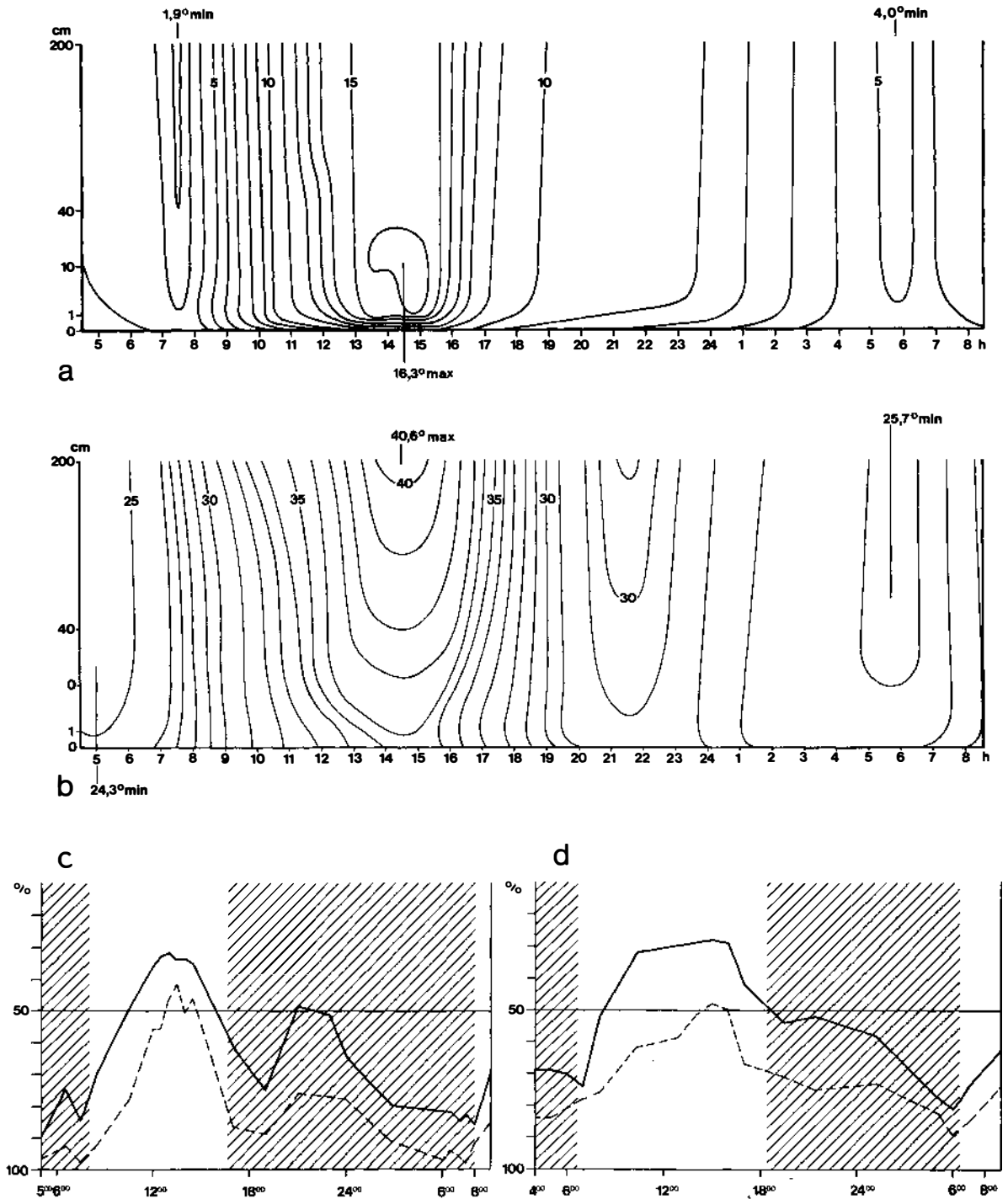


Abb. 6: Altochronothermen-Diagramm vom 8.-9. 12. 1981 (a) und vom 25.-26. 7. 1982 (b) sowie Tagesgänge der relativen Luftfeuchtigkeit in 1 cm und 200 cm Höhe am 8.-9. 12. 1981 (c) und am 25.-26. 7. 1982 (d) in der alten Oase von Tozeur

Altochronothermic diagram and diurnal variation of the relative humidity in the altitude of 1 cm and 200 cm in the old oasis of Tozeur

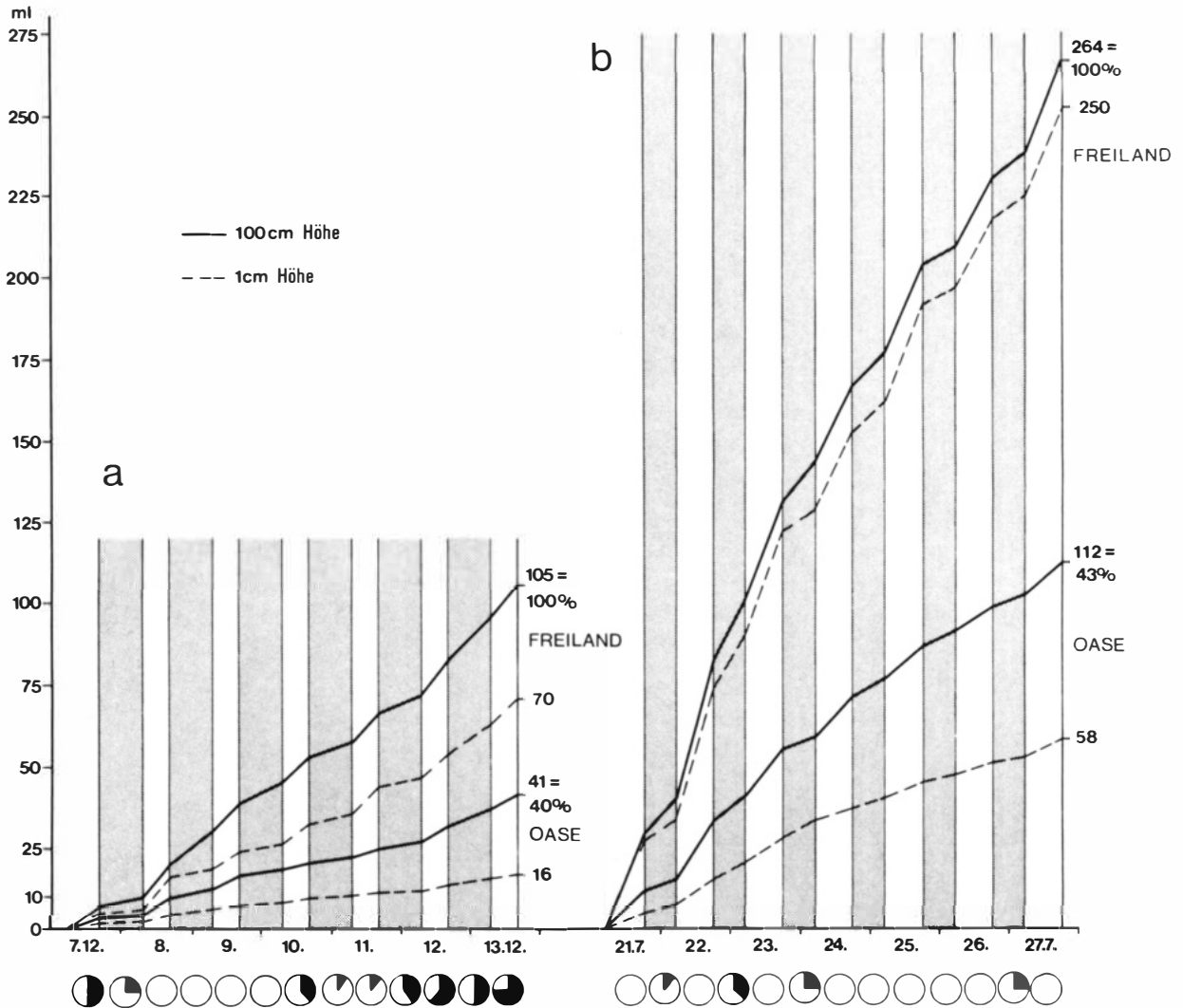


Abb. 7: Potentielle Verdunstung (Summenkurve, ermittelt mit Piche-Evaporimeter) und Bewölkungsdiagramme im Verlauf der Meßwochen im Winter 1981 (a) und im Sommer 1982 (b) in Halbtageswerten – entsprechend Sonnenauf- und -untergang – in 1 cm und 100 cm Höhe im Freiland und in der alten Oase von Tozeur

Potential evaporation (cumulated curves, measured by Piche-evaporimeter) and diagrams of cloudiness during one week in winter 1981 (a) and in summer 1982 (b) in the altitude of 1 cm and 100 cm outside the oasis and in the old oasis of Tozeur

schritten wurden. Entsprechend verhält es sich mit den Feuchteanstiegen bei nächtlicher Abkühlung. Auch mehrere Tage nach der Bewässerung sind für den Palmenhain am Boden Maxima von mehr als 90% relative Luftfeuchtigkeit feststellbar (vgl. Abb. 6c), während sie im Freiland nur selten auf 80% ansteigen. – Die Auswirkungen der Bewässerung über eine verstärkte Abgabe an Verdunstungsfeuchte lassen sich zwar für den bodennächsten Bereich am besten belegen, jedoch sind sie auch für die Wasserdampfverhältnisse im höheren Stammraum bezeichnend. Auf der Grundlage der dargestellten Intensivmessungen ergibt sich für beide Jahreszeiten, daß die Mittelwerte in 2 m Höhe in der Oase um rund 15% relative Luftfeuchtigkeit höher liegen als

im Freiland; diese Angaben lassen sich durch längerfristige Vergleiche bestätigen.

Die erhöhte Luftfeuchtigkeit im Bestand ist also infolge des verbesserten Wasserangebots als resultierende Größe der aktuellen Landschaftsverdunstung (nach LAUER u. FRANKENBERG 1978 und SCHMIEDECKEN 1978) zu verstehen. Die potentielle Verdunstung, also die Verdunstungskraft, die unter den gegebenen atmosphärischen Bedingungen herrscht, muß in einem gut bewässerten Palmenhain auf Grund der größeren Wasserdampfanreicherung der Luft, der herabgesetzten Globalstrahlung und Oberflächenerhitzung sowie der geringeren Durchlüftung wesentlich niedriger liegen als im Freiland. Dies bedeutet, daß trotz der äh-

Tabelle 1: Gemessene und berechnete Monatswerte der potentiellen Verdunstung in Tozeur (in mm)

Measured and calculated monthly values of potential evaporation at Tozeur (in mm)													
	Jan.	Febr.	März	April	Mai	Juni	Juli	Aug.	Sept.	Okt.	Nov.	Dez.	Jahr
<i>Freiland</i>													
Chott (Bac 1)	74	106	186	246	319	393	437	391	264	192	105	65	2778
Chott (Bac 2)	59	84	149	210	279	342	375	344	234	158	90	62	2386
Penman ($r = 0,05$)	106	125	182	232	309	350	382	347	255	189	131	102	2710
Ø	80	105	172	229	302	362	398	361	251	180	109	76	2625
<i>Junge Oase</i>													
Tozeur (Bac 3)	keine Monatswerte												1643
Oase (Bac 4)	31	53	112	153	211	240	270	232	156	96	51	31	1636
Papadakis	60	76	102	114	156	184	246	226	159	126	83	57	1589
Ø	46	64	107	134	184	212	258	229	158	111	67	44	1614
in % der Freilandw.	58	61	62	59	61	59	65	63	63	62	61	58	61
<i>Alte Oase</i>													
40% der Freilandw.	32	42	69	92	121	145	159	144	100	72	44	30	1050
Papadakis $\times 0,7$	42	53	71	80	109	129	172	158	111	88	58	40	1111
Penman ($r = 0,25$) $\times 0,5$	45	54	79	101	134	154	166	150	111	82	57	44	1177
Ø	40	50	73	91	121	143	166	151	107	81	53	38	1114
in % der Freilandw.	50	48	42	40	40	40	42	42	43	45	49	50	42

lich hohen Lufttemperaturen im Oasengarten mit einem geringeren potentiellen Wasserverlust durch die Verdunstung zu rechnen ist als in der benachbarten Wüste.

Dies sei am Beispiel von Messungen mit Piche-Evaporimetern gezeigt, die in Abb. 7 kumulativ für jeweils eine Woche dargestellt sind (die Messungen beruhen auf täglichen Ablesungen bei Sonnenauf- und -untergang). Es wird ersichtlich, daß die potentielle Verdunstung im unteren Stammraum des Palmenhains zu beiden Jahreszeiten etwas weniger als halb so groß ist wie im Freiland (40 bzw. 43%). Noch krasser sind die Unterschiede in der Nähe der Bodenoberfläche, wo gegenüber dem Oasengarten unter wüstenähnlichen Voraussetzungen die Verdunstungsrate sowohl im Winter als auch im Sommer mehr als viermal höher liegt.

Neben den eigenen kurzzeitigen Verdunstungsmessungen wurde versucht, auf der Grundlage der langjährigen Klimawerte und unter Berücksichtigung der oben ausgeführten mikroklimatischen Differenzierungen zwischen Freiland und Palmenhainen Monatswerte der potentiellen Landschaftsverdunstung in Anlehnung an die Berechnungsweisen von PENMAN (1963) und PAPADAKIS (1966) zu bestimmen und diese vorhandenen Tankmessungen gegenüberzustellen. Die Werte (Tab. 1 u. Abb. 8) sind in drei Gruppen zusammengefaßt und den jeweiligen Bedingungen im Freiland (Chott), in einem ca. 25 Jahre alten Palmenhain mit Weidelgrasunterwuchs, mediterranen Winter-Therophyten und chamaephytischen Halophyten, dessen Kronendach erst zu 30 bis 40% geschlossen ist („junge Oase“: Photo 4) und einem dichten Bestand im Oasenkern, der durch Dattelpalmen unterschiedlichster Alters, zahlreiche Obstbäume und mediterrane Geo- bzw. Hemikryptophyten gekennzeichnet ist („alte Oase“: Photo 3), zuzuordnen.

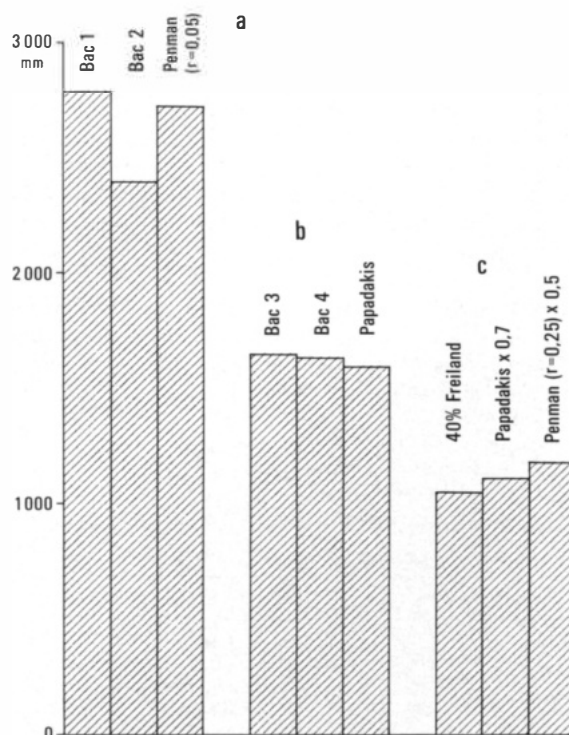


Abb. 8: Gemessene und berechnete Jahreswerte der potentiellen Verdunstung für Freiland (a), junge Oase (b) und alte Oase (c) in Tozeur

Measured and calculated annual values of potential evaporation outside Tozeur (a), in the young oasis (b) and the old oasis (c)

Bemerkenswert sind die guten Übereinstimmungen in den jeweiligen Gruppen zwischen Tankmessungen und berechneten Werten, wobei bei den Reduktionsfaktoren auf häufig in der Literatur vorkommene Berechnungen zurückgegriffen wurde (siehe LAUER 1968, SCHMIEDECKEN 1978 und JÄTZOLD 1981). Wenn auch manche Charakteristika des Oasenklimas bei den Ableitungen der Verdunstungswerte unberücksichtigt bleiben mußten, so erscheinen die Ergebnisse doch realistisch genug, um sie in den nachfolgenden Ausführungen zum Wasserhaushalt benutzen zu können. So beträgt in den Durchschnittswerten über das Jahr die potentielle Verdunstung in der jungen Oase 61% und in der alten Oase 42% der Freilandverdunstung.

Wasserhaushalt

Die Merkmale des Oasenklimas werden durch die Dichte des Pflanzenbestandes und die Bewässerungsintensität bestimmt. Je höher die Wassereingabe pro Flächeneinheit ist, desto größer sind die Aussichten auf den raschen Aufwuchs mehrstöckiger Kulturen, die wiederum den unproduktiven Verdunstungsverlust durch die Evaporation vom Boden einschränken. Salzkrusten und Gipsausblühungen deuten jedoch darauf hin, daß in fast allen artesischen Oasen der Sahara große Flächenanteile unzureichend bewässert sind. Der offensichtliche Wassermangel sei anhand einiger Zahlenbeispiele in Tab. 2 verdeutlicht.

Es muß jedoch vermutet werden, daß einige Werte des Wasserbedarfs zu hoch angesetzt sind. So betont EL FEKIH 1969, daß insbesondere während des Winters, aber auch in den anderen Monaten die Bewässerungseingaben so bemessen sein sollten, daß nicht nur dem Wachstum der Bäume, sondern auch der Salzauswaschung aus dem Boden Genüge getan werden muß. Allerdings macht die Oasenwirtschaft in Tozeur und Nefta keineswegs einen so ungesunden Eindruck, wie es die defizitäre Rechnung zwischen Eingabe und Bedarf nach diesen Zahlen erwarten läßt.

Jedoch ist zu beachten, daß die Bewässerungsintensität räumlich innerhalb einer Oase sehr unterschiedlich sein

Tabelle 2: Wassereingabe und Wasserbedarf in einigen Oasen bzw. Kulturen

Water supply and consumptive use in some oases resp. crops			
	durchschnittliche Eingabe in l/s · ha	Bedarf in l/s · ha	
		Jan.	Juli
<i>Oasen</i>			
Tozeur	0,33 ¹⁾	0,95	1,57 ⁴⁾⁵⁾
Nefta	0,55 ²⁾		
Toumbar (Nefzaoua)	0,70 ³⁾		
<i>Kulturen</i>			
Deglat (150 Palmen/ha)		0,39	0,88 ¹⁾
Alig (150 Palmen/ha)		0,29	0,69 ¹⁾
übrige Sorten (150 Palmen/ha)		0,19	0,46 ¹⁾
Bewässerungskulturen		0,17	0,45 ⁴⁾

Werte nach: ¹⁾ EL FEKIH (1969), ²⁾ SCHOONEVELD (1975), ³⁾ WEHMEIER (1977), ⁴⁾ CNEA (1977), ⁵⁾ OMVPI (1981)

kann. Zwar ist aufgrund der nahezu gleichbleibenden Quellspenden die Wassereingabe pro Besitzparzelle gleich; jedoch gibt es z. B. in Nefta Fälle, in denen nur einmal, und solche, in denen sechzehnmal pro Monat bewässert wird. Hier gibt SCHOONEVELD 1975 für die Nutzmenge pro Flächeneinheit Extremwerte an, die von 0,27 l/s · ha bis 1,95 l/s · ha reichen. Die Gründe für derartige Unterschiede liegen weniger in einer ungerechten Verteilung als vielmehr in einer falschen Auslegung neuangelegter Parzellen durch die Besitzer, die möglichst große Flächen mit relativ geringen Wassereingaben nutzbar machen wollen. So überrascht es nicht, daß Schäden durch unzureichende Bewässerung gerade in den jungen Oasengärten am Rande der Gemarkung auftreten.

Die Beziehungen zwischen zur Verfügung stehendem und benötigtem Wasser seien an zwei Wasserhaushaltsbilanzierungen (Tab. 4 u. Abb. 9) vorgestellt, die sich an die be-

Tabelle 3: Wasserbedarf der verschiedenen Dattelpalmkulturen (in mm), nach EL FEKIH (1969)

Consumptive use of different sorts of date-palms (in mm), after EL FEKIH (1969)												
	Jan.	Febr.	März	April	Mai	Juni	Juli	Aug.	Sept.	Okt.	Nov.	Dez.
Deglat	100	160	180	200	210	230	230	230	230	180	160	100
Alig	75	100	120	150	160	180	180	180	180	120	110	75
übrige Sorten	50	80	90	100	110	120	120	120	120	90	80	50
	Vegetationsruhe	Wachstumsbeginn	Blütezeit	Befruchtung	Ansetzen der Früchte		Wachsen der Früchte			Reifung der Früchte und Ernte	Vegetationsruhe	

Tabelle 4: Wasserbilanzen für Palmenhaine in der jungen und in der alten Oase von Tozeur (in mm)
Water balances for palm groves in the young and in the old oasis of Tozeur (in mm)

	Jan.	Febr.	März	April	Mai	Juni	Juli	Aug.	Sept.	Okt.	Nov.	Dez.	Jahr
<i>Freiland</i>													
(1) Niederschlag	14	8	6	2	15	–	–	–	22	4	8	10	89
(6) pot. Verdunstung	80	105	172	229	302	362	398	361	251	180	109	76	2625
<i>Junge Oase</i>													
(1) Bestandsniederschlag ¹⁾	11	6	5	2	12	–	–	–	18	3	6	8	71
(2) Bewässerungswasser ²⁾	102	102	102	102	102	102	102	102	102	102	102	102	1224
(3) Summe (1) + (2)	113	108	107	104	114	102	102	102	120	105	108	110	1295
(4) Wasserbedarf ³⁾	90	130	150	175	185	205	205	205	205	150	135	90	1925
(5) (3) in % von (4)	126	83	71	59	62	50	50	50	59	70	80	122	67
(6) pot. Verdunstung ⁴⁾	46	64	107	134	184	212	258	229	158	111	67	44	1614
(7) (3) in % von (6)	246	169	100	78	62	48	40	45	76	95	161	250	80
<i>Alte Oase</i>													
(1) Bestandsniederschlag ¹⁾	7	4	3	1	8	–	–	–	11	2	4	5	45
(2) Bewässerungswasser ²⁾	218	218	218	218	218	218	218	218	218	218	218	218	2616
(3) Summe (1) + (2)	225	222	221	219	226	218	218	218	229	220	222	223	2661
(4) Wasserbedarf ³⁾	120	150	175	225	235	255	255	255	245	190	165	120	2390
(5) (3) in % von (4)	187	148	126	97	96	85	85	85	93	116	135	186	111
(6) pot. Verdunstung ⁴⁾	33	46	70	90	114	143	166	151	96	79	49	33	1070
(7) (3) in % von (6)	682	483	316	243	198	152	131	144	239	278	453	676	249

¹⁾ Bestandsniederschlag: Junge Oase – 80%, Alte Oase – 50% des Freilandniederschlages

²⁾ Bewässerungswasser: Junge Oase – 1mal pro Woche 8 Stunden × 60 l/s für 7,5 ha
Alte Oase – 1mal pro Woche 17 Stunden × 10 l/s für 1,2 ha

³⁾ Wasserbedarf: Junge Oase: Mischkultur 50% Alig + 50% Deglat

Alte Oase: Mischkultur 70% Alig + 30% Deglat + Unterkulturen

⁴⁾ Die potentielle Verdunstung der Bestände wurde um die Interzeptionsverdunstung reduziert

reits oben skizzierten Gegebenheiten in einem jungen und in einem alten Oasengarten exemplarisch anlehnen.

Um eine quantitative Aussage machen zu können, war es nötig, sowohl die genaue Wassereingabe als auch die für das Wachstum der Pflanzen einerseits und die für die Salzauswaschung andererseits notwendige Wassermenge im Jahresverlauf festzulegen. Hierzu wurden die von EL FEKIH 1969 angegebenen Wasserbedarfswerte der einzelnen Dattelpalmenarten, die in Tab. 3 zusammengefaßt sind, so interpretiert, daß sie neben der für sie unmittelbare Existenz der Bäume notwendige Wassermenge auch ausreichend Überschußwasser für die Salzauswaschung enthalten. Die so ermittelten Zahlenwerte finden sich in den Zeilen 3 und 6 der Tab. 4 bzw. ergeben sich aus einer Vergleichsbetrachtung der Werte der Zeilen 6 und 4.

Bei einer Gegenüberstellung der beiden Standorte wird sofort deutlich, daß in dem 7,5 ha großen jungen Oasengarten die zur Verfügung stehende Wassermenge auf Dauer nicht ausreicht, um diese Parzelle weiter erfolgreich bewirtschaften zu können. Zwar ergibt die Bilanz in den Wintermonaten November bis Februar eine ausreichende Menge an Überschußwasser, doch dieses steht in den folgenden Monaten den Pflanzen nicht zur Verfügung, da es nicht gespeichert, sondern in etwa 150 cm Tiefe über Dränkanäle abgeführt wird. Damit erfüllt es gleichzeitig die ebenfalls not-

wendige Funktion der Salzauswaschung. In den Monaten April bis Oktober dagegen besteht ein großes Defizit an Wasser, das in den niederschlagslosen Sommermonaten bis zu 50% beträgt. In dieser Zeit wird ein nicht unerheblicher Betrag sogar wegen des teilweise unbedeckten Bodens nicht über die Transpiration, sondern über die Evaporation an die Atmosphäre abgegeben, was einen an die Bodenoberfläche führenden Wasserstrom mit Bildung von Salzkrusten zur Folge hat.

Demgegenüber erhält die 1,2 ha große Parzelle im alten Oasenkern das ganze Jahr über mit mehr als doppelt soviel Bewässerungswasser pro m² ausreichend Feuchtigkeit. Sie liegt in den Wintermonaten sogar weit über den angegebenen Bedarfswerten und erreicht selbst in den Monaten Juni bis August noch Beträge, die die potentielle Verdunstung um mehr als 30% überschreiten. Würde man diese Parzelle als Maßstab für die gesamten alten Oasengärten nehmen, so wäre im Durchschnitt mit etwa 0,5 l/s · ha als Dränwasser zu rechnen, womit eine sehr gute Salzauswaschung garantiert ist. Selbst im Juli würde eine Menge von 0,2 l/s · ha nicht unterschritten. Nimmt man diese Menge von 0,2 l/s · ha sogar das ganze Jahr über als ausreichend an, so wäre es bei einer idealen Dosierung der Wassereingaben möglich, knapp 10 000 m³/Jahr · ha zu sparen bzw. anderen Parzellen zukommen zu lassen.

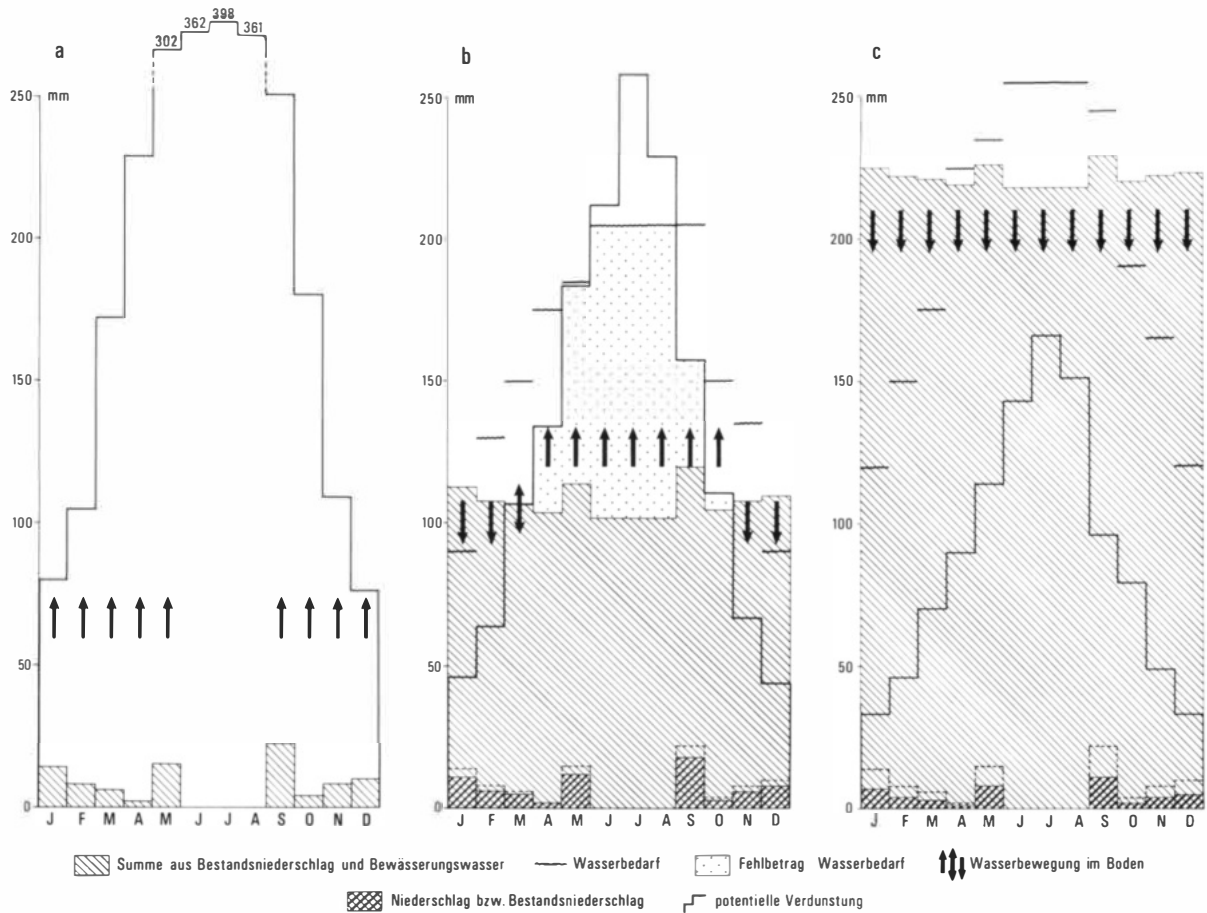


Abb. 9: Graphische Darstellungen der Wasserbilanzen für Freiland (a), junge Oase (b) und alte Oase (c) in Tozeur
Diagrams of water balances outside Tozeur (a), in the young oasis (b) and the old oasis (c)

Versalzung und weitere ökologische Auswirkungen

Salzanreicherungen in Oasenböden sind erst durch Bewässerung zu erklären. Im Falle Tozeur beispielsweise liegt der Salzgehalt des Quellwassers bei 2 bis 3 g/l, eine Menge, die kaum schädlich für Kulturpflanzen ist. Jedoch müssen die Bewässerungsraten so berechnet werden, daß die Eingaben nicht nur die potentielle Verdunstung abdecken, sondern darüber hinaus ein Sickerwasseranteil zur Auswaschung der Salze führt. Daß dies stellenweise gewährleistet ist, beweist der erhöhte Salzgehalt von 8 bis 12 g/l in Dränwässern. Allerdings ist die zum Chott gerichtete Entsalzung nur im Winter effizient, da im Sommer nur eine sehr bescheidene Wasserführung in den Gräben festzustellen ist. Über Bedeutung und Ergebnisse von Auswaschungsprozessen informiert eine Projektstudie des CRUES 1968, dem die Werte der Kurven a bis c in Abb. 10 entnommen wurden. Normalerweise kommt es zu einer mehr oder weniger ausgeprägten Salzkonzentration in den Oasenböden, die zu einer kulturbedingten Umwandlung der Bodentypen vom

ursprünglichen Serosom zum Solontschak führt. Für die Djerid-Oasen wird diese Veränderung aus Färbung, Horizontalabfolge und chemischen Eigenschaften ersichtlich, über die EL FEKIH 1969 und BELKHODJA 1969 anhand mehrerer Bodenprofil-Beschreibungen berichten. Stellenweise lassen sich B-Horizonte erkennen, deren dunkle Ausfällung organischer Komplexe bei pH-Werten um 9 Verwandtschaft zu solodierten Böden belegen (Schwarzfärbung durch Na-Humate, Soda-Solontschak nach GANSEN 1968). Während die üblichen Neutralsalzböden melioriert werden können, sind die letztgenannten Alkaliböden wegen Verdichtung kaum noch nutzbar.

Obwohl bewässerte Oasenböden durchweg einen mäßigen bis hohen Salzgehalt aufweisen, ist damit nicht zwangsläufig die Salztoleranz von Kulturpflanzen überschritten. Gerade Dattelpalmen zeigen diesbezüglich eine besonders hohe Verträglichkeit, die bis 1,5 Gew.% reicht (REHM u. ESPIG 1976). Dies entspricht einer elektrischen Leitfähigkeit von ca. 40 mmhos/cm (Sättigungsextrakt), so daß die Dattelpalme im Vergleich zu anderen Kulturpflanzen schon als

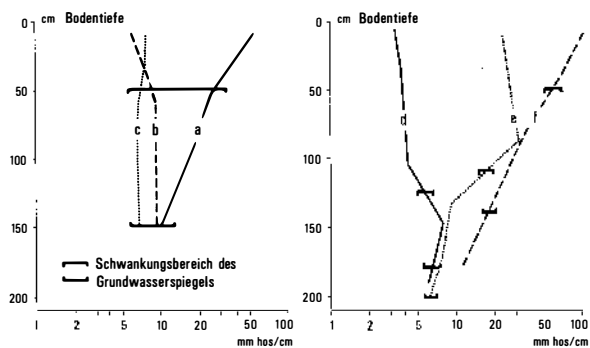


Abb. 10: Salzgehalt in unterschiedlichen Bodentiefen
 Links: a) Juli 1964, b) Juli 1965, c) Mai 1968. Nach Juli 1964 wurde der zum Ausgangspunkt stark versalzene Boden mit ca. 1200 mm/a bewässert (nach CRUES 1968)
 Rechts: d) Boden eines mehrschichtigen Oasenbestandes (nach EL FEKIH 1969), e) Boden eines aufgegebenen Palmenhains (nach BELKHODJA 1969), f) Boden am Rande des Chotts (nach EL FEKIH 1969)

Proportion of salt in different depths of soil

halophytisch zu bezeichnen ist (siehe hierzu auch die Übersicht bei KREEB 1964, S. 53).

Nun sind Versalzungsprobleme nicht unbedingt am absoluten Salzgehalt eines Bodens abzulesen, sondern vielmehr an der jeweiligen Anreicherung in verschiedenen Horizonten. Und hier kommt nun neben der Bewässerungseingabe wiederum als wesentliches Merkmal des Oasenklimas die Verdunstungskraft zum Tragen. So sind in einem gut ausgewaschenen Boden im Grundwasserbereich durchaus ähnlich hohe Salzkonzentrationen üblich wie im bewässerten Palmenhain (vgl. Kurven e u. f der Abb. 10). Da jedoch nur die Wurzeln der Dattelpalme in dieser Tiefe stärker vertreten sind, ist die Salzanreicherung im Oberboden von größerem Belang für den Anbau der salzempfindlicheren Kulturen. Gerade im Ap-Horizont sind die Unterschiede zwi-

schen gut und unzureichend bewässerten Gärten frappant, wie es wiederum die Kurven e und f in Abb. 10 belegen.

Wegen der vergleichbaren Bodenstrukturen dürfen im vorliegenden Fall Unterschiede in der Substratdichte als Ursache ausgeschlossen werden. Was das Bewässerungsmaß betrifft, so ist im Beispiel e sicherlich mit einer Unterbewässerung zu rechnen. Die Salzanreicherung selbst ist jedoch als Resultat der stärkeren Verdunstung im offenen Bestand zu verstehen, die den gravitativen Kräften entgegenwirkt. Zwar überwiegt während und unmittelbar nach der Bewässerung die nach unten gerichtete Komponente der Versickerung; mit abnehmender Nachleitung der Wasserzufuhr wird jedoch der kapillare Aufstieg des Bodenwassers durch die Evaporation immer stärker. Da die Verdunstungskraft im Bestand tagsüber rund doppelt so hoch ist wie in der Nacht (vgl. Abb. 7), ist die Infiltration nachts weniger beeinträchtigt. Hinzu kommen elektrostatische Widerstände, die am Nachmittag bei starker Erhitzung an der Erdoberfläche einem sofortigen Eindringen des Wassers entgegenwirken. Beide Tatsachen sprechen in jedem Fall für eine abend- bzw. nächtliche Bewässerung.

Da Verdunstungskraft und Aufheizung von der Bestandsdichte abhängig sind, bedeutet das, daß der Wasserbedarf in einem jungen Palmenhain unverhältnismäßig hoch ist. Hier trocknet der Boden viel rascher aus als in einem dichten Altbestand, was bei einer erneuten Bewässerung zu einem weiteren Negativfaktor führt: Abgesehen von den erwähnten elektrostatischen Widerständen an der Oberfläche muß in diesem Fall ein größeres Luftvolumen aus dem Boden verdrängt werden, das der raschen Infiltration entgegensteht. Verzögertes Einsickern bedeutet aber wiederum ein langfristigeres Feuchtepotential für die Evaporation im Oberboden. In den Sommermonaten kann dies beinhalten, daß das Wasser tiefere Bodenschichten gar nicht erreicht und schon bald der kapillare Aufstieg verstärkt wirksam wird, was sich in der Salzanreicherung an der Bodenoberfläche dokumentiert. Der Beweis hierfür geht aus dem Beispiel der unterbewässerten jungen Oase hervor (vgl. Tab. 5), wo der Versalzungsgrad im Spätsommer fünfmal so hoch war wie

Tabelle 5: Analyse-Werte ausgewählter Bodenproben (Die Bodenproben wurden mit Ausnahme der Probe 7 (40 cm Tiefe) der oberflächennahen Schicht entnommen.)

Values of analysis of selected soil samples (The soil samples were taken from the layer near the surface, with the exception of sample 7 (40 cm below surface).)

	Korngrößen				Bodenart	pH-Wert		organ. Material (in %)	C	N	P	C:N	Leitfähigkeit (in mmhos/cm)	
	GS	MS	FS	U		H ₂ O	KCl							(in g/kg)
(1) Dünen sand	0,5	26,5	65,5	5,0	2,5	S	7,9	7,7	0,33	0,19	0,25	0,51	1: 8	0,84
(2) Gips sand	1,0	7,0	61,0	27,5	3,5	uS	8,5	8,2	0,72	0,42	0,37	0,02	1:11	8,55
(3) Alte Oase Wi	2,0	8,0	47,0	35,0	8,0	IS	8,0	7,5	1,90	1,10	0,85	1,10	1:13	0,76
(4) Alte Oase So	2,5	10,0	52,0	29,0	6,5	IS	7,7	7,4	2,03	1,18	1,24	1,07	1:10	1,77
(5) Junge Oase Wi	2,0	10,0	50,5	32,5	5,0	IS	8,4	8,2	1,14	0,66	0,34	0,27	1:19	5,89
(6) Junge Oase So	3,0	13,5	52,0	24,5	7,0	IS	8,3	8,2	1,12	0,65	0,43	0,58	1:15	28,50
(7) Junge Oase 40	3,5	10,0	44,0	38,0	4,5	IS	9,4	9,4	1,43	0,83	0,25	0,07	1:36	4,70
(8) Salzoase Wi	1,0	3,0	17,5	61,5	17,0	IU	8,8	8,8	3,15	1,83	0,75	0,20	1:24	39,30
(9) Salzoase So	1,0	2,0	19,0	64,5	13,5	IU	9,0	9,0	3,24	1,18	0,70	0,05	1:27	41,00

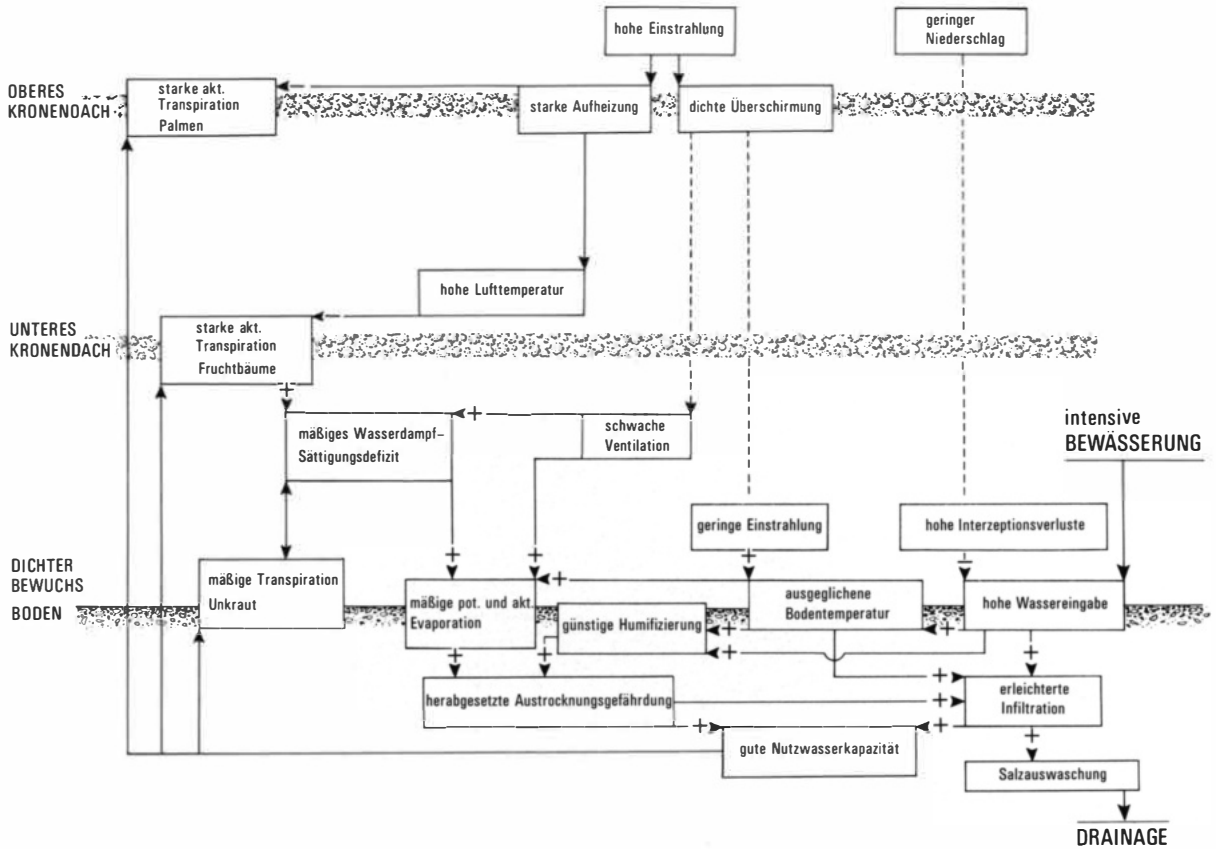


Abb. 11a: Wechselbeziehungen des Ökosystems „Alte Oase“
 Interrelations of the ecosystem "old oasis"

im Dezember – ein Phänomen „jahreszeitlicher Salzwanderung“, das in den beiden anderen Fällen (ausreichend bewässerte Altoase bzw. aufgegebene ‚Salzoase‘) nicht festzustellen war.

Als weitere Größe ist der Humifizierungsgrad von der bestandsklimatischen Ausgleichsfunktion in Oasengärten abhängig. Unter Wüstenbedingungen ist auf Grund der Pflanzenarmut der Humusgehalt gering (vgl. Zeile 1 u. 2 der Tab. 5), und auch die Zersetzung durch das gleichfalls reduzierte Edaphon ist unzureichend. So mag die größtenteils recht günstige C/N-Ratio überraschen; auch die Phosphorgehalte sind in den meisten Fällen hoch. Da die Rohböden

in der Wüste und im offenen Palmenhain jedoch nur schwach humos sind, geben die C/N-Verhältnisse insofern wenig Aufschluß, als der tatsächliche Anteil des Hauptnährelements Stickstoff doch eher niedrig ist. Viel höher sind die C- und N-Gehalte in der aufgegebenen Salzoase, jedoch deutet die C/N-Ratio bei stark alkalischen Reaktionen auf eine schlechte Humifizierung hin; entsprechendes gilt für den B-Horizont des unterbewässerten Bodens (vgl. pH-Werte und C/N-Ratio in den Zeilen 7, 8 u. 9 der Tab. 5).

Die Gründe für die geringe biologische Aktivität liegen in den beschriebenen Fällen außer in der Salzanreicherung in der Überhitzung der Oberfläche der nicht bzw. wenig über-

Tabelle 6: Florenelement- und Lebensform-Zugehörigkeit der Adventivflora an beiden Standorten (Grundlage: pflanzensoziologische Aufnahmen zu verschiedenen Jahreszeiten; Wichtung nach Deckungsgraden)

Floral elements and biological spectrum of adventiv flora at both sites

	Altoase	Jungoase		Altoase	Jungoase
saharisch	3,6%	37,2%	Chamaephyten	18,2%	39,8%
mediterran	58,2%	21,8%	Hemikryptophyten	21,2%	19,0%
			Geophyten	18,0%	0,2%
unbewachsen	38,2%	41,0%	Therophyten	4,4%	–

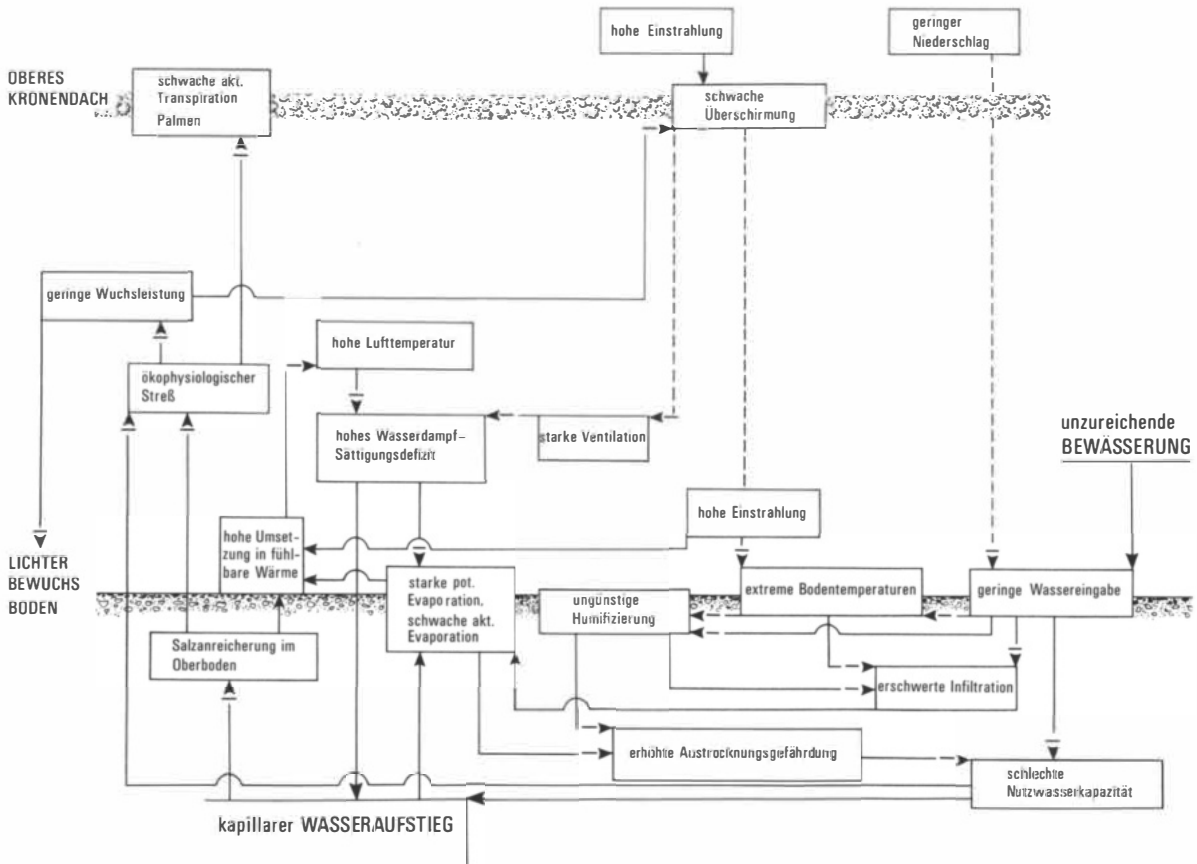


Abb. 11b: Wechselbeziehungen des Ökosystems „Junge Oase“
 Interrelations of the ecosystem "young oasis"

schatteten Rohböden. Im Gegensatz dazu sind die Nährstoffverhältnisse im dichten mehrschichtigen Bestand vergleichsweise gut; bezeugt wird diese Tatsache durch die Werte der Bodenreaktionen und der Gehalte an organischem Material, Stickstoff und Phosphor (Zeile 3 u. 4 in Tab. 5). Der Bezug zwischen ausreichender Bewässerung, ausgeglichenem Mikroklima und günstiger Humifizierung scheint damit bestätigt. – Die aufgezeigten ökologischen Wechselwirkungen sind in zwei Fließdiagrammen gegenübergestellt (Abb. 11a u. b).

Natürlich schlagen sich die mikroklimatischen und hydrologischen Unterschiede deutlich in der Zusammensetzung und Lebensformverteilung der Unkrautflora nieder. Vorauszuschicken ist, daß bei ähnlich dichter Bodenüberdeckung die Adventivpflanzen in der Altoase einen wesentlich vitaleren Eindruck hinterlassen als in der Jungoase (Bedeckungsgrad in beiden Fällen rund 60%). Aus Tab. 6 geht hervor, daß in der Altoase mediterrane Arten bei weitem überwiegen, während in der Jungoase saharische Arten dominieren⁴⁾.

Zieht man in Betracht, daß in der weiteren Umgebung der Djerid-Oasen das Verhältnis des saharischen zum mediterranen Florenelement bei 3:2 liegt (ermittelt aus Angaben

nach FRANKENBERG u. RICHTER 1981, vgl. dort Abb. 5), so wird die mildernde Wirkung des Oasenklimas im Altbestand deutlich, da hier insbesondere Hackunkräuter mit Verbreitungsschwerpunkt in der Chenopodieta-Klasse günstigere Lebensbedingungen finden. Hinsichtlich der Lebensformverteilung ist festzuhalten, daß Chamaephyten in der Jungoase verstärkt vorkommen, da halophytische Zwergsträucher aus den benachbarten Choträndern leicht eindringen können. Der sowohl im dichten als auch im offenen Bestand gegenüber Wüstenstandorten deutlich überhöhte Hemikryptophyten-Anteil (vgl. FRANKENBERG u. RICHTER 1981, Abb. 7) ist allein auf die allgemein günstigere Wasserversorgung zurückzuführen. Geophyten und Therophyten spielen in der Jungoase wegen der Bodenversalzung eine geringe Rolle. Insgesamt läßt die Unkrautvegetation bei ausgeglichenem Oasenklima und ausreichender Bewässerung in arealkundlicher und pflanzensoziologischer Hin-

⁴⁾ Die beiden Florenelemente werden hier im weiteren Sinne verstanden, indem die neophytische *Oxalis pes-caprae* mit starker Ausbreitungstendenz im Mittelmeerraum als mediterran aufgefaßt wurde und die saharo-arabischen mit den saharo-mediterranen Arten als saharisch zusammengefaßt wurden.

sicht kaum noch Bezüge zu den extremen ökophysiologischen Voraussetzungen der umgebenden Wüste erkennen.

Folgerungen

Auf Grund der bewässerungsökologischen Bedeutung muß dem Oasenklima bei der Anlage neuer Kulturflächen ebenso wie für Ertragssteigerungen in überalterten, zu dichten Palmenhainen vorrangig Rechnung getragen werden. Im ersten Fall ist es möglich, rasch für eine Minderung der unproduktiven Bodenverdunstung unter Freilandbedingungen zu sorgen. Hier bieten sich in den ersten Jahren nach Tiefpflügen und Kompostierung Mulchverfahren mit Ernterrückständen oder Palmwedeln an, die neben der Übershattung eine Bereitstellung organischer Mineralien bedingen.

Noch wesentlicher ist jedoch, daß möglichst kleine Flächen möglichst intensiv bewässert werden, um einen raschen Aufwuchs zweistöckiger Bestände zu sichern. Erst wenn nach ca. zehn Jahren Kulturen mit einer ausreichenden mikroklimatischen Selbstregulierung entstanden sind, ist an ein vorsichtiges Ausweiten der Nutzflächen zu denken. Allerdings sollte die rasche Schaffung eines ausgeglichenen Oasenklimas nicht durch übertriebene Bestandsdichten erfolgen: Die besten Hektarerträge sind bei 150 Palmen/ha zu erwarten. Schon um für spätere Generationen mehrjährige Produktionsverluste bei der Neubepflanzung überalterter Kulturen zu vermeiden, erscheint es angebracht, zwischen einer ersten Bestockung mit 100 und einer zweiten mit nochmals 50 Palmen ungefähr ein Jahrzehnt zu warten. Entsprechendes gilt für die Einrichtung des zweiten Stockwerkes mit hochwertigen Anbaufrüchten wie Feigen, Granatäpfeln, Oliven, Pistazien oder Henna.

Ein umgekehrtes Problem ergibt sich für den zweiten Fall der oftmals viel zu dichten Altbestände (Durchschnitt in Tozeur: 207 Palmen und 139 Fruchtbäume pro ha). Wurzelkonkurrenz und hoher Wasserbedarf, Pilz- und Schädlingsbefall sowie unrationeller Arbeitsaufwand sprechen gegen allzu ungeordnete Mischbestände. Es empfiehlt sich eine Organisationsform zwischen hochtechnisierten Monokulturen und den im starken Maße auf traditionelle Eigenversorgung ausgerichteten, gelegentlich nahezu chaotisch anmutenden Altbeständen – sowohl in ökologischer als auch in ökonomischer Hinsicht. Im Djerid-Gebiet sprechen die bisherigen Erfolge in den vor rund 25 Jahren neu eingerichteten Versuchsflächen der Palmerie Semcha für die genannten Maßnahmen.

Grundsätzlich ist jedoch bei der in fast allen saharischen Oasen festzustellenden Unterbewässerung die Einrichtung neuer Kulturflächen nicht zu empfehlen. Stattdessen sollten zusätzliche Wasserreserven durch Bohrungen allein einer besseren Versorgung der bestehenden Gärten zugute kommen. Für die Bewässerung erweisen sich abendliche und nächtliche Eingaben als günstiger, da tagsüber die Verdunstungsverluste zu groß sind. In offenen Beständen sind häufige Wasserzuleitungen in kleinen Mengen – etwa alle 4 bis 5 Tage – wegen der besser gewährleisteten Infiltration in

feuchten Böden selteneren Eingaben in großen Mengen vorzuziehen. Als schwerwiegendstes Problem erweist sich jedoch die jahreszeitliche Anpassung der Bewässerungsraten an den Verdunstungsgang. Zwar kommen Überschüsse im Winter der Salzauswaschung zugute, jedoch ist dennoch zu überlegen, wie der doppelt so hohe sommerliche Wasserbedarf aus übermäßigen Winterspenden gedeckt werden kann.

Eine Steuerung der Kausalkette ‚Oasenklima – Bewässerung – Kulturfläche – Oasenklima‘ ist mit Strategien des Ecofarming-Konzepts durchaus denkbar. Jedoch geben sozioökonomische Schwierigkeiten, zu denen in traditionellen Systemen verhaftete Denkweisen (Rentenkapitalismus) ebenso zählen wie übertriebene Technik-Euphorie, kaum Anlaß zu hohen Erwartungen.

Literatur

- BELKHODJA, K.: Les sols halomorphes de Tunisie. In: Sols de Tunisie – Bulletin du Service Pédologique, No.1, Tunis 1969, S. 21–48.
- BOUDOURESQUE, E.: Potential Evapotranspiration and Emberger's Pluviothermic Coefficient. In: Erdkunde 36, 1982, S. 54–56.
- CNEA (Centre National des Etudes Agricoles): Projet de Sauvegarde des Oasis de Chekmou et Hezoua. Manuskript des Ministère de l'Agriculture, Tunis 1977 (a).
- : Etude de Création d'Oasis Nouvelles, Vol.III. Manuskript des Ministère de l'Agriculture, Tunis 1977 (b).
- CRUES (Centre des Recherches pour l'Utilisation de l'Eau Salée en Irrigation): Lessivage du sol gypseux salé de Tozeur. Secrétariat d'Etat à l'Education Nationale – Projets Fonds Spécial (Mission UNESCO), Note Techniques No. 4b, Tunis 1968.
- EL AMAMI, S. u. LABERCHE, J. C.: Climats et Microclimats des Oasis de Gabes Comparés à l'Environnement Desertique. Annales de l'Institut National de la Recherche Agronomique de Tunisie (INRAT), Vol. 46, H. 3, Tunis 1973.
- EL FEKIH, M.: Le palmier dattier: Ecologie et condition de culture. In: Sols de Tunisie – Bulletin du Service Pédologique, No.1, Tunis 1969, S. 51–64.
- FRANKENBERG, P.: Tunesien, ein Entwicklungsland im maghrebinschen Orient. Stuttgart 1979.
- FRANKENBERG, P. u. RICHTER, M.: Zusammenhänge zwischen Pflanzenvielfalt, Wasserhaushalt und Mikroklima in Tunesien. In: Aachener Geographische Arbeiten 14, Aachen 1981, S. 243–271.
- GANSSEN, R.: Trockengebiete – Böden, Bodennutzung, Bodenkultivierung, Bodengefährdung, Mannheim/Zürich 1968.
- HAGEDORN, H.: Siedlungsgeographie des Sahararaumes. In: Afrika-Spektrum 3, 1967, S. 48–59.
- JÄTZOLD, R.: Klimageographie – Ostafrika. Beiheft E 5 zum Afrika-Kartenwerk. Berlin/Stuttgart 1981.
- KREEB, K.: Ökologische Grundlagen der Bewässerungskulturen in den Subtropen. Stuttgart 1964.
- LAUER, W.: Die Pampa – ein Klimagebiet beiderseits der Trockengrenze. In: Erdkunde 22, 1968, S. 155–159.
- LAUER, W. u. FRANKENBERG P.: Untersuchungen zur Ökologie des östlichen Mexiko. In: Coll. Geogr. 13, Bonn 1978, S. 1–134.
- : Untersuchungen zur Humidität und Aridität von Afrika. Bonner Geogr. Abh. 66, Bonn 1981.

- OMVPI (Office de Mise en Valeur des Périmètres Irrigués Gafsa – Jerid):
Projet de Rénovation des Oasis de Tozeur et d'El Hamma
du Djerid. Manuskript des Ministère de l'Agriculture, Gafsa
1981.
- PAPADAKIS, J.: Climates of the World and their Agricultural Potentials. Buenos Aires 1966.
- PENMAN, H. L.: Vegetation and Hydrology. Commonwealth Bureau of Soils, Techn. Comm. 53, Harpenden 1963.
- PFEIFFER, R.: Strukturanalyse und Strukturwandel der Oase Tozeur. Wiss. Arbeit im Rahmen der Ersten Staatsprüfung für das Lehramt an Gymnasien, Bonn 1977 (Unveröff.).
- REHM, S. u. ESPIG, G.: Die Kulturpflanzen der Tropen und Subtropen. Stuttgart 1976.
- RICHTER, M.: Beobachtungen zum Mikroklima und zur Vegetation am Kilimanjaro. In: Die Erde 111, 1980, S. 247–262.
- SCHMIEDECKEN, W.: Die Bestimmung der Humidität und ihrer Abstufungen mit Hilfe von Wasserhaushaltsuntersuchungen – ein Modell. In: Coll. Geogr. 13, Bonn 1978, S. 135–159.
- : Humidität und Kulturpflanzen – ein Versuch zur Parallelisierung von Feuchtzonen und optimalen Standorten ausgewählter Kulturpflanzen in den Tropen. In: Erdkunde 33, 1979, S. 266–274.
- SCHOONEVELD, S. VAN: Etude évaluative sur le développement agricole à l'oasis de Nefta. Planification agricole régionale, Vol. I/II, Tunis/Wageningen 1975.
- UNESCO: Algérie, Tunisie. Etude des ressources en eau du Sahara. Septentrional. Reg. 100, Paris 1972.
- WEHMEIER, E.: Ein bewässerungsökologisches Profil durch den Norden der Region Nefzaoua. In: Stuttg. Geogr. Stud. 91, Stuttgart 1977 (a), S. 105–138.
- : Beobachtungen zum Tagesgang von Luft- und Bodentemperaturen im Nefzaoua-Gebiet. In: Stuttg. Geogr. Stud. 91, Stuttgart 1977(b), S. 139–151.

SEDIMENTTRANSPORT UND FLUVIALE ABTRAGUNG DER JÖKULSÁ Á FJÖLLUM IM PERIGLAZIALEN ZENTRAL-ISLAND

Mit 7 Abbildungen und 1 Tabelle

EKKEHARD SCHUNKE

Summary: Suspended sediment, dissolved load discharge and fluvial erosion of the Jökulsá á Fjöllum river, central Iceland

This paper deals with the river Jökulsá á Fjöllum in central Iceland as the transport agent of a drainage area in nival and proglacial environments, and presents data on its suspended and dissolved load. These are based on long-term data of daily run-off and randomly taken tests of the concentration of fluvial suspended and dissolved load in the hydrological years 1963–1979. Suspended and solute load yield may be calculated by applying rating curve estimates of concentration to the observed discharge record.

The average suspended sediment yield of the Jökulsá á Fjöllum amounts to $1470 \text{ t} \cdot \text{km}^{-2} \cdot \text{y}^{-1}$, that of the average dissolved load to $159 \text{ t} \cdot \text{km}^{-2} \cdot \text{y}^{-1}$. 93 per cent of the total suspended sediment transport is accomplished from April till August. The total suspended load is made up of 7% base run-off, 68% glacial run-off, and 25% snowmelt run-off. The remarkably high rates of the suspended sediment and solute transport result mostly from the specific lithological character of the hyaloclastic rocks underlying the Jökulsá catchment area, and of the sandy-silty superficial deposits, the severe erodibility of which is especially favoured by the absence of a vegetation cover. As permafrost is absent, the periglacial fluvial erosion is not affected by the thaw or cryoclastic effects of permafrost. From the geomorphological point of view, therefore, the rates of fluvial erosion – calculated by means of the suspended sediment and solute load – suffice to ascribe the deepening (5–15 m) of the

periglacial stream valleys of the Jökulsá á Fjöllum drainage area during the Holocene exclusively to the effects of running snowmelt water.

1. Einleitung

Unter den Landschaftszonen der Erde gilt die arktische Periglazialzone aus klimatisch-geomorphologischer Sicht als Formungszone mit vorherrschender fluvialer Prägung (vgl. HAGEDORN u. POSER 1974); nach BÜDEL (1963) handelt es sich sogar um eine Zone mit „exzessiver Talbildung“. Die Ergebnisse neuerer geomorphologischer Untersuchungen veranlassen jedoch zu differenzierterer Bewertung, insofern als sie zeigen, daß weite Teile des Mesoreliefs im arktischen Milieu eine nennenswerte periglazial-fluviale Prägung bislang nicht erfahren haben (vgl. BIBUS et al. 1976, SEMMEL 1976, STÄBLEIN 1977, BARSCH 1981, PRIESNITZ 1981, RUDBERG 1983, SCHUNKE 1983, 1985).

Für eine sicherere Beurteilung der fluvialen Abtragung im arktisch-periglazialen Milieu sind vor allem genauere Kenntnisse über Abflußverhalten und Sedimenttransport erforderlich, wobei speziell die Unterschiede zwischen periglazialen