Ber. natmed. Ver. Innsbruck	Band 63	S. 139 - 164	Innsbruck, Okt. 1976
-----------------------------	---------	--------------	----------------------

Ökophysiologische Untersuchungen in den Bergen der zentralen Sahara*)

von

Werner SCHWARZ**)

Ecophysiological Investigations in the Mountains of the Central Sahara

Synopsis:

Plant distribution as related to climate, water relations, photosynthesis, and soil conditions were investigated in the Hoggar Mountains in the summer of 1972. An appendix contains a list of collected lichines and animals.

Temperatures in the mountains were lower and precipitation greater than on the plateaus and basins. Measurements indicated short wave radiation intensities up to 1.82 cal/cm²/min, air temperatures between 15°C and 33°C at 15 cm above the ground, soil surface temperatures as high as 67°C, average relative humidity of 17% (minimum 9%), and a consistent wind at 2,220 m elevation (camp 1B). An evaporation rate of 2.5 ml/h was measured at camp 1B while a higher rate (3 ml/h) occurred at camp 2B (2,335 m). The limited rainfall scarcely reached the ground and evaporated immediately. In the region between 2,005 m and 2,500 m, air temperature dropped about 1°C per 100 m, evaporation became significantly lower, and soil water content increased. These factors probably explain the greater densitiy of vegetation at higher altitudes. High water stress was observed in all plants investigated. Leaf water content measurements ranged between 72% and 275%, and osmotic potentials between -18 and -57 atm irrespective of plant-type. All plants investigated could take up CO2 under certain conditions. Light compensation points were remarkably high. The sandy soils were low in water content and high in salts. Lichens were found mainly on northfacing and overhanging rock walls. Flowering plants occur mainly in the more moist areas, in crevices, small depressions and especially at the foot of rock walls. Primary limiting factors for the plants are water deficits, high insolation and desiccating winds as well as excessive grazing.

Einleitung

Die Sahara ist mit 9 Millionen km² das größte Trockengebiet der Erde. Nur ein kleiner Teil davon ist von Sand bedeckt, etwa 6/7 sind Kies- und Felswüste. Aus dem weiten Tafelland erheben sich Gebirgsmassive vulkanischen Ursprungs. Das Tibesti und das Hoggar Gebirge ragen bis in Höhen von 3.000 m auf.

**) Anschrift des Verfassers: Dr. phil. W. Schwarz, A-6422 Stams HNr. 82, Österreich.

^{*)} Das A. F. W. SCHIMPER-STIPENDIUM sowie viele öffentliche und private Stellen, die Innsbrucker Universitätsinstitute und der österreichische Alpenverein haben dieses Unternehmen ermöglicht. Den Expeditionsmitgliedern Toni Aichhorn, Peter Schreilechner und Dr. Sniesko möchte ich hier für ihre Mitarbeit, meiner Frau für die vielen Übersetzungs- und Schreibarbeiten danken.

In tieferen Lagen fehlt die Vegetation mit Ausnahme der Oasen und Wadis weitestgehend. An den Berghängen, besonders in größeren Höhen ist sie etwas dichter.

Die Pflanzenaufnahme ist durch die Arbeiten von MAIRE (1933, 1940), MONOD (1938, 1939), OZENDA (1958) und QUEZEL (1965) im wesentlichen abgeschlossen.

Die physiologische, ökologische und geobotanische Bearbeitung der Saharapflanzen läßt noch eine Reihe von Fragen offen.

Hier sollen Beziehungen von Umweltfaktoren auf das Pflanzenleben im zentralen Hoggargebirge besprochen werden.

Lage der Meßstellen

Das Hoggar Gebirge, vom Atlantik und vom Mittelmeer etwa 1.600 km entfernt, bildet im Süden Algeriens den höchsten Gebirgsstock des Landes. Wenige Kilometer südlich vom Wendekreis des Krebses gipfelt dieses Massiv, aus dem eine Reihe von Basaltkuppen ragen, im 2.918 m hohen Tahat.*)

Die Meßstellen befanden sich etwa 80 Pistenkilometer nördlich der nächsten Oase Tamanrasset in Höhen zwischen 2.000 und 2.500 m, am Fuße des Ilamane und im Oued Tinsarin unterhalb Assekrem.



Fig. 1. Lageskizze der Meßstellen im Hoggargebirge, 1A 2.005 m, 1B 2.220 m, 1C 2.500 m Höhenprofil südlich des Gipfel Ilamane (2.651 m), siehe auch Abb. 1 und 2B 2.335 m unter Assekrem im Oued Tinsarin.

^{*)} Die Höhenangaben unterscheiden sich in den verschiedenen Karten und Publikationen ganz erheblich. Die hier angegebenen Höhen beziehen sich auf Assekrem 2.630 m und Tamanrasset 1.377 m; die anderen Höhen wurden möglichst fehlerarm mit einem Luftdruckhöhenmesser bestimmt.

Klima

Inmitten eines Gebietes extremster Aridität, dessen Jahresniederschläge unter 100 mm liegen, erhebt sich das Hoggar Gebirge, das, wie auch das Tibesti Gebirge, eine klimatische Sonderstellung einnimmt (DUBIEF, 1963, ROGNON, 1967, MESSERLI, 1972). Mit zunehmender Höhe nehmen — wie auch in anderen Gebirgen — die Niederschläge zu, die Temperaturen ab.

Niederschlag:

Im Tibesti gelten nach GAVRILOVIC (1969) für Bardai (1.020 m) 11,2 mm, für den Trou au Natron (2.450 m) 93,3 mm Jahresniederschlag. Für das Hoggar Gebirge gibt ROGNON (1967) die Niederschläge in Tamanrasset (1.377 m) mit 42 mm, auf Assekrem (2.630 m) mit 150 bis 200 mm an.

Die Niederschlagstage mit mehr als 0,1 mm schwanken je nach Höhenlage zwischen 3,8 in In Salah, 13,6 in Tamanrasset und 38,9 auf Assekrem pro Jahr.

Den Bewölkungsgrad stellt WININGER 1972 nach Wettersatellitenbildern für die Berge der Sahara fest. Danach weist das Hoggar Gebirge eine dreimal stärkere Bedeckung auf als das Tibesti. Von Mai bis Oktober ist eine bis zu 40% ige Bewölkung als Folge markanter Monsundurchbrüche vom Niger bis zur Sirte im Sommer und das Auftreten zyklonaler Polarfronten im Frühling und Herbst feststellbar.

Die Hauptniederschlagszeit in beiden Gebirgen liegt im Sommer. Die Niederschläge entstehen durch das Zusammentreffen äquatorialer Feuchtluft mit ektropischer Kaltluft.

Schneefälle treten im Hoggar etwa jedes 3. Jahr auf, im Tibesti jedes 7. Jahr.

Die Wetterstation am Assekrem war unseren Meßstellen am nächsten gelegen. Von ihr stammen die in Fig. 2 dargestellten Niederschlagswerte. Sie sollen einen Einblick in die starken Schwankungen im Jahresablauf und innerhalb der 17 beschriebenen Jahre vermitteln. Es läßt sich daraus ableiten, daß die Niederschläge hauptsächlich in den Sommermonaten zu erwarten sind, möglich sind sie jedoch zu jeder Jahreszeit, z.B. November 1958. Da es sich aber größtenteils um Platzregen handelt, ist die Niederschlagsverteilung im Gelände äußerst unterschiedlich. Im Mittel liegen die Jahresniederschläge bei 129 mm.*) Unter derartigen Niederschlagsverhältnissen hat die ausdauernde Vegetation entsprechend zu kämpfen. Gelegentliches Tröpfeln, das als Niederschlag nicht erfaßt wurde sowie Nebel und eventuell Taufall während des Winters könnten am Überleben der Pflanzen wesentlich beteiligt sein.

^{*)} Den Patres auf Assekrem und Herrn Amalei ag Ahmadu sei herzlich für ihre vielfältige Hilfe gedankt.



Fig. 2. Niederschlagsverteilung am Assekrem (2.630 m) in den Jahren 1955 - 1972. Oben: Mittlere Verteilung der Niederschläge während dieser 17 Jahre, Mitte: Jahr mit höchstem Niederschlag (1958) und niedrigstem Niederschlag (1961), Unten: Niederschläge 1972 bis September.

Temperatur:

Der heißeste Ort der Sahara, El Asisia, an dem 58°C gemessen wurden (BROWN, 1966), liegt weit ab vom erträglicheren Gebirgsklima. Während in In Salah (280 m) die sommerlichen Maxima noch bei 46°C liegen, sind sie in Bardai (1.020 m) bei 43°C, in Tamanrasset (1.377 m) bei 36°C, am Trou au Natron (Tibesti, 2.450 m) bei 27°C und auf Assekrem (Hoggar, 2.630 m) bei 28°C.

Die winterlichen Minima in In Salah betragen 5°C, in Bardai -4,5°C, in Tamanrasset -5°C, am Trou au Natron -7°C und auf Assekrem -11°C.

Mit zunehmender Höhe nehmen auch die mittleren Tagesschwankungen ab: Bardai 20,1°C, am Trou au Natron 8,8°C (GAVRILOVIC, 1969, OZENDA, 1958).

Die Temperaturextreme der vergangenen 17 Jahre am Assekrem liegen zwischen -11,4°C und 27,6°C und weisen eine für diese Lage große Breite auf. Die mittleren Januartemperaturen liegen allerdings bei 6,5°C, die mittleren Julitemperaturen bei 18,6°C.

Mikroklima

Innerhalb eines Monats im Gelände ist es nicht gut möglich, allgemein gültige Aussagen über die Klimaverhältnisse eines Gebietes zu machen. Die Ergebnisse sollen als Hinweis für weitere Untersuchungen und Grundlage der folgenden biologischen Messungen dienen.

Aus dem Bereich des Untersuchungsgeländes 1 unterhalb des Ilamane (2.220 m) liegen Daten aus der Zeit vom 11. - 26. August 1972 vor, vom Gelände

2 im Oued Tinsarin (2.335 m) unter Assekrem vom 29. August bis 7. September 1972.

Meßgeräte:

Infolge der besonderen Expeditionsbedingungen konnten nur robuste Geräte eingesetzt werden. Alle Instrumente haben den Transport auf der 3.000 km langen Wüstenpiste und bei Kurzexpeditionen am Rücken ohne wesentliche Defekte ertragen.

Globalstrahlung: Sternpyranometer nach Dr. DIRMHIRN (Philipp Schenk, Wien) und Robitsch Aktinograph.

Boden- und Lufttemperaturen: Platinwiderstandsthermometer PT 100 (Heräus, Hanau) registrierend auf Mehrfarbenschreiber (Philipp Schenk, Wien). Zusätzlich drei Thermohygrographen mit Wetterhütten.

Luftfeuchtigkeit: Elektrisch ventilierte PT 100 feucht und trocken (nach Dr. CERNUSCA) registrierend, zusätzlich Schleuderpsychrometer.

Verdunstung: Definierte Wasserschale auf Mettlerwaage (H 10) Evaporation: Piche grüne Scheibe, Durchmesser 3 cm Wind: Windsummenzähler

Ergebnisse:

1. Strahlung:

Die kurzwellige Strahlung erwies sich, wie aus den Arbeiten von SAUBERER und DIRMHIRN (1958) und TURNER (1966) für die Alpen und INDERMÜHLE (1972) für das Tibesti Gebirge auch hervorgeht, relativ hoch.

An Strahlungstagen beginnt sofort mit Sonnenaufgang ein rascher Anstieg der Globalstrahlung, der um die Mittagszeit mit durchschnittlich 1,6 cal/cm²/min, bei Sonne mit reflektierender Bewölkung maximal 1,82 cal/cm²/min gipfelt. Es folgt eine ebenfalls rasche Abnahme, die — wie auch bei INDERMÜHLE (1972) — in Summe am Nachmittag eine deutlich geringere Strahlungsmenge errechnen läßt. Diese Asymmetrie des Tagesganges könnte infolge höherer Lufttrübung durch aufgewirbelten Staub oder Dunstglocken bedingt sein (Figur 3, 1).

Die kurzwellige Reflexstrahlung in Abhängigkeit von der Unterlage ergab eine deutliche Tagesschwankung. Die Ursache dafür ist nach INDERMÜHLE die größere spiegelnde Reflexion bei kleinerem Einfallswinkel. Die Albedowerte für Sand, anstehenden Fels und einige Pflanzen zur Mittagszeit sind in Tabelle 1 aufgeführt.

Station 1B unter Ilamane		Station 2B Oued Tinsarin	
2.220 m		2.335 m	. – .
Hellbrauner Sand	18,7	Dunkelbrauner Sand	17,8
Rotbrauner Fels	17,5	Dunkler Fels	16,6
Anabasis articulata	18,2	Zilla spinosa	18,5
Pituranthos scoparius	16,3		

Tab. 1: Albedo; mittags, in % der Globalstrahlung



Fig. 3. Mikroklimatischer Tagesgang vom 18. 8. 1972; Extrem- und Mittelwerte zwischen 11. und 28. 8. 1972. 1: Kurzwellige Strahlung (cal/cm²/min). 11: Lufttemperatur (°C) 15 cm und 100 cm über dem Boden. 111: Bodentemperatur in 0 cm, 5 cm und 10 cm Tiefe. IV: Relative Luftfeuchtigkeit mit Höhenkorrektur. V: Verdunstung einer offenen Wasserfläche (g/cm²). VI: Evaporation (Piche) 3 cm grüne Scheibe, 15 cm über dem Boden (ml/h). VII: Windgeschwindigkeit 15 cm über dem Boden, Stundenmittel.

In der Größenordnung stimmen diese Werte mit denen von INDERMÜHLE (1972) recht gut überein. Die Strahlungsabsorption der drei Pflanzenarten liegt im gleichen Bereich; *Anabasis* und *Zilla* reflektieren etwas mehr als *Pituranthos*, dessen Grün etwas kräftiger war. Die Albedowerte der Pflanzen beinhalten aber auch die Reflexstrahlung des Bodens, da der Bedeckungsgrad niemals 100% erreicht.

Die Lufttemperatur steht in unmittelbarem Zusammenhang mit der Strahlung und der dadurch bedingten Bodenerwärmung. Je nach Windgeschwindigkeit und Entfernung vom Boden ergibt sich eine Temperaturschichtung, die mit zunehmender Entfernung von der Bodenoberfläche geringere Tagesschwankungen aufweist. Die Temperaturen 15 cm über dem Boden und in 1 m Höhe sind in Figur 3, II angegeben.

Im Bereich der Meßstelle 1 waren zum Studium der Höhenstufen noch die Meßstellen 1A in Tallage (2.005 m) und 1C auf einem Gipfel (2.500 m) errichtet.



Abb. 1. Lage der Meßstellen im Bereich des Lagers 1. 1A Tallage 2.005 m, 1B Hauptlager 2.220 m, 1C Gipfellage 2.500 m. In der Mitte der Gipfel Ilamane (2.651 m), im Vordergrund rechts eine "Hütte" aus Basaltsäulen.

145

		Absolute	Extren	nwerte	Mittlere	Extremwerte		
		Max.	Min.	Α	Max.	Min.	Α	
1A	Tallage 2.005 m	39,0	17,5	21,5	35,1	18,6	16,5	
1B	Hanglage 2.220 m	33,0	15,0	18,0	30,9	16,7	14,2	
1C	Gipfel 2.500 m	28,1	14,0	14,1	26,1	15,5	10,6	

Tab. 2: Absolute und mittlere Temperaturextremwerte sowie Amplituden (A) von 3 Meßstellen 15 cm über dem Boden am Südhang des Ilamane in der Zeit zwischen dem 11. und 26. August 1972

Aus Tabelle 2 läßt sich ein mittlerer vertikaler Temperaturkoeffizient von etwa 1°C pro 100 m errechnen, der mit den Angaben von GAVRILOVIC (1969) aus dem Tibesti Gebirge für den Monat August mit 0,85°C angegeben ist, aber zwischen 0,61°C und 1,06°C schwankt. Überaus deutlich zeigt sich auch das Fallen der Temperatur und die geringere Tagesamplitude mit zunehmender Höhe.

Die Bodentemperaturen in 1B zeigen typische Merkmale eines sehr trockenen, gut isolierenden Untergrundes (Figur 3, 111). Ist die mittlere Tagesamplitude der Oberfläche bei 44,3°C, beträgt sie in 10 cm Tiefe nur mehr 12,5°C. Mit zunehmender Bodentiefe verschiebt sich das Mittagsmaximum weit in den Nachmittag; in 10 cm Tiefe wird es z.B. erst um 17 Uhr erreicht. Auf Station 2B wurden Anfang September in etwas feuchterem Boden die Werte der folgenden Tabelle registriert:

Bodentiefe cm		Absolute		Mittlere						
	Max.	Min.	А	Max.	Min.	Α				
0	61,0	10,0	51	56,6	11,4	45,2				
5	35,0	18,0	17	34,0	18,0	16,0				
10	30,0	21,0	9	29,5	21,0	8,5				
20	27,5	22,0	5,5	27,2	22,8	4,4				
30	26,5	22,5	4	26,2	22,9	3,3				

Tab. 3: Temperaturextremwerte und Tagesamplituden (A) in verschiedenen Bodentiefen vom29. August bis 6. September 1972

Die Temperaturen einer horizontalen sandigen Bodenoberfläche erreichen in 1B bis zu 67°C. Derselbe Wert wurde fast gleichzeitig von Dr. Neuwinger in 2.225 m bei Obergurgl, Tirol registriert; TURNER (1958) nennt von geneigten dunklen Rohhumusböden in den Alpen sogar 80°C. Die Bodentemperaturen hängen also nicht so sehr von der geographischen Lage als vielmehr von der Beschaffenheit und der Exposition ab. Bei INDERMÜHLE (1972) erreicht die Temperatur der Bodenoberfläche im Tibesti über 70°C. Die Tagesschwankungen des trockenen Bodens liegen dort etwa gleich hoch. Im feuchteren Boden der Meßstelle 2B sind sie besonders in 30 cm Tiefe etwas höher (3,3 statt 1°C). Für Pflanzen und Tiere sind zunächst besonders die Oberflächentemperaturen von Bedeutung. Die Hitzeresistenzgrenze von Pflanzenorganen steigt kaum über 60°C (LANGE, 1959 und 1961; LARCHER, 1973). Zur Zeit der Samenkeimung muß der Boden feucht sein, daher leitet er die Wärme besser in die Tiefe und wird zusätzlich durch die Verdunstung gekühlt. Ist der Sproß einmal entwickelt, geben die Blätter an der Kontaktstelle Boden-Sproß Strahlungsschutz. Das Problem ist bei kriechenden Pflanzen besonders groß, da an den Berührungsstellen von Sand zum Blatt Temperaturen von über 50°C meßbar sind. Allerdings stützen sich solche Pflanzen etwa 1 mm vom Boden ab. Die Tiere sind während der heißesten Stunden unter Steinen versteckt, ihre Hauptaktivitätszeit liegt um die Dämmerung.

3. Luftfeuchtigkeit und Niederschlag:

Die Luftfeuchtigkeit mit Höhenkorrektur, die in diesen Höhen erhebliche Ausmaße annimmt, ist in Figur 3, IV angegeben. Die Feuchtigkeit während der Nacht liegt zwischen 20 und 30%, nach Sonnenaufgang sinkt sie ab und bleibt während des Tages bei 10 - 15%, erst nach Sonnenuntergang steigt sie wieder allmählich an. Taufall war unter diesen Bedingungen (hohe Bodentemperatur und niedere Luftfeuchtigkeit) nie festzustellen, auch nicht an nordexponierten Felswänden in der Gipfelregion; sie könnten aber im Winter auftreten. Eine Wasserversorgung der Pflanzen, z.B. von Algen und Flechten durch Tau ist im Sommer auszuschliessen.

Höhere Luftfeuchtigkeit, 42% und 51% trat nur 2mal auf. Nach kurzzeitigen Niederschlägen — die Steine wurden kaum naß — stieg die Feuchte nicht über 30%, die Lufttemperatur fiel aber plötzlich um 5 - 8°C. Wenige Minuten später war die Bodenoberfläche wieder trocken und die Luftfeuchtigkeit kaum höher als vor dem Niederschlag. Dieses "Tröpfeln" könnte aber für Algen und Flechten von größter Bedeutung sein.

Im Untersuchungsjahr 1972 waren die Regenfälle etwas früher als erwartet im April und Mai, der Juni war unverhältnismäßig trocken, der Juli niederschlagsfrei, im August gab es kaum nennenswerte Regenfälle.

Ab etwa 10 Uhr vormittags beginnt fast jeden Tag die Bewölkung allmählich zuzunehmen, gegen 15 Uhr schließt sich die Wolkendecke häufig und gelegentlich erreichen einige Tropfen den Boden. Der Regen fällt deutlich aus den Wolken, er verdunstet aber in der trockenen Luft meist, bevor er den Boden erreicht. Höhere Berggipfel empfangen dementsprechend öfter Niederschlag. Von den vegetationslosen Trachytsäulen fließt dann das Wasser ab und befeuchtet die am Übergang zu den Schutthalden wachsenden Pflanzen. Trägt die Gipfelregion selbst Vegetation, ist sie dort wesentlich dichter als in tieferen Lagen. Nebel als Feuchtequelle kommt im Sommer kaum in Frage, da die Wolken sehr hoch stehen.

4. Verdunstung:

Eine offene, unbeschattete Wasseroberfläche von 1 dm² vermag auf der Station 1B bis zu 16,1 g pro Stunde zu verdunsten. (Figur 3, V). Bestünde der Mensch mit seiner etwa 2 m² großen Hautfläche aus Wasser, so wäre er bei der durchschnittlichen Verdunstung von 5,6 g pro Stunde in 3 Tagen verdunstet.

Die Verdunstung ist hier hauptsächlich von der Lufttemperatur abhängig, weniger von der Windgeschwindigkeit (Figur 3). Die Wassertemperatur im Verdunstungsgefäß schwankte zwischen 8 und 27°C. Ihr Minimum lag somit um 7°C niedriger als jenes der umgebenden Luft.

5. Evaporation:

Die Evaporation nach Piche bezieht die Strahlung und die Windgeschwindigkeit stärker mit ein. Die grüne Scheibe kann als Vergleichsmaßstab für die mögliche Verdunstung eines Blattes gleicher Fläche angesehen werden (WALTER, 1960) Bei dem geringen Wasserangebot arider Gebiete reduzieren die Pflanzen ihre Blattoberfläche auf ein Minimum und steuern die Wasserabgabe zusätzlich mit ihren Spaltöffnungen.

Die höchste Evaporation auf der Station 1B mit 2,5 ml/Stunde wurde am 17. August zwischen 11 Uhr und 12 Uhr bei 23 km/h Windgeschwindigkeit, 1,82 cal./cm²/min. Strahlung und einer Lufttemperatur von 28°C bei 14% relativer Feuchte gemessen (Fig. 3, VI). Auf Station 2B erreichte die Evaporation am 29. 8. bei starkem Wind einen Wert von knapp über 3 ml/h. Diese Maxima liegen im Bereich der von WALTER (1960) angegebenen Werte für Wüsten.

Vergleichsmessungen an den drei Meßstellen 1A, 1B und 1C in verschiedenen Höhen an einem bewölkten Tag ergaben folgendes Ergebnis:

Tageszeit:	8-9 ^h	9-10 ^h	10-11 ^h	11-12 ^h	12-13 ^h	13-14 ^h	14-15 ^h	15-16 ^h	Summe
1A 2.005 m	1,6	1,6	1,7	1,8	1,8	1,9	2,0	2,1	14,5
1B 2.220 m	1,1	1,4	1,5	1,6	1,6	1,9	1,6	1,7	12,4
1C 2.500 m	1,0	1,1	1,2	1,1	1,2	1,6	1,6	1,8	10,0

Tab. 4: Evaporation (ml) nach Piche (grüne Scheibe, 3 cm Durchmesser) in drei verschiedenen Höhenlagen am Südhang des Ilamane (21. 8. 1972)

Entlang dieses Profils nimmt die Evaporation eindeutig mit zunehmender Höhe — als Folge niedrigerer Temperaturen — ab. Da in gleicher Weise die Niederschläge zunehmen, ist es nicht zu verwundern, wenn in höheren Lagen die Vegetation dichter wird.

6. Wind:

Die Windverhältnisse in 15 cm Höhe über dem Boden sind in Figur 3, VII dargestellt. Der Windsummenzähler zeigte nie mehr als 16,6 km/h an, Spitzenböen sind dabei nicht erfaßt. Allerdings war auch keine Stunde ohne Wind registriert worden. Die Luft führte ab einer Geschwindigkeit von etwa 10 km pro Stunde feine Sandkörner mit sich, die sich überall anlagerten und bei höheren Geschwindigkeiten wie ein Sandstrahlgebläse wirkten. Die Ausläufer eines Sandsturmes überwälzten unser Lager am 23. 8. um 17 Uhr; Verdunkelung durch gelb-braunen Staub und plötzlicher Anstieg der Luftfeuchtigkeit von 12% auf 50% waren damit verbunden.

Im Lager 2B war die windstärkste Stunde mit durchschnittlich 18,4 km verzeichnet worden, das Mittel liegt hier bei 6,3 km/Stunde.

Der Wind spielt eine erhebliche Rolle im Leben der Wüstenpflanzen. Die immerwährende Luftbewegung ermöglicht zwar andauernde Transpirationskühlung, steigert aber gleichzeitig den Wasserverbrauch. Ab Windgeschwindigkeiten von etwa 10 km/Stunde werden neben erhöhter Belastung des Wasserhaushaltes auch mechanische Schäden durch den mitgeführten Feinsand und die Gefahr des Zuwehens von Bedeutung sein.

Transpiration

Die Messungen erfolgten nach der Momentanmethode (HUBER, 1927; STOCKER 1929) auf einer oberschaligen Mettler-Waage mit Windschutz. Als Bezugseinheit wurde das Frischgewicht verwendet, da Flächenmessungen an den stark behaarten und stacheligen Pflanzenteilen zu schwierig waren.

Exemplarisch wurde der Tagesgang der Transpiration von Zilla spinosa untersucht (Fig. 4). Die Werte der ersten Messungen nach Abschneiden der Triebe zeigen einen den Umweltverhältnissen entsprechenden Tagesgang. Rekordwerte der täglichen Transpiration wie z.B. 20g/g bei Typha oder 33 g/g bei Cassia obovata (WALTER, 1960; HARDER et al., 1933; STOCKER, 1929) konnten hier nicht registriert werden. Für Zilla spinosa ergaben sich für diesen Fall der fruchtenden Pflanze in 24 Stunden eines Strahlungstages etwa 5,4 g Transpiration pro Gramm Frischgewicht. Bei ABD EL RAHMAN et al. (1964) liegen die Transpirationswerte umgerechnet auf Frischgewicht nach STOCKER (1974a) -0,21 dm²/g Frischgewicht — zwischen etwa 4,8 und 2 g/g FG täglich, während STOCKER (1974a) für die nahe Verwandte Zilla macroptera Werte zwischen etwa 3g/g FG und 1,2 g/g FG täglich beschreibt. Die hier erwähnte Tagestranspiration liegt also sehr hoch und deutet auf große Umweltbelastung und relativ gute Wasserversorgung dieser Pflanze hin.

Nach dem Abschneiden der Triebe erfolgte der Spaltenschluß bei Zilla im Mittel nach 14 Minuten, die cuticuläre Transpiration liegt dann bei 0,8 mg/g FG

pro Minute. Die Transpiration bleibt während der nächsten Stunde etwa auf diesem Wert.

	Minuten bis zum Spaltenschluß	Cuticuläre Trans- piration mg/g/min.
Zilla spinosa	14'	0,8
Ballota hirsuta	18'	1,2
Artemisia herba alba	6'	0,7
Pituranthos scoparius	6'	0,5

Tab. 5: Zeit bis zum Spaltenschluß nach Abschneiden der Triebe und Ausmaß der darauffolgenden cuticulären Transpiration.

Aus Tabelle 5 geht weiter hervor, daß *Ballota hirsuta* mit 18 Minuten am längsten zum Schließen der Spalten benötigt und auch den höchsten Wert der cuticulären Transpiration aufweist. *Pituranthos* und *Artemisia* reagieren schnell auf die unterbrochene Wasserversorgung und zeigen auch sehr geringe cuticuläre Transpiration.



Fig. 4. Tagesgang der Transpiration (mg/g/FG/min) von Zilla spinosa, sowie Verlauf der kurzwelligen Strahlung, Evaporation und relativen Feuchte am 1. 9. 1972 in 2B.

Potentielle osmotische Werte und Wassergehalte

Die potentiellen osmotischen Werte des Pflanzengewebes sind ein Maß für die Hydraturverhältnisse des Plasmas und stehen in unmittelbarem Zusammenhang mit den Umweltgrößen. Nach den Anleitungen von WALTER und KREEB (1970) sowie BRECKLE (1970) wurde das Frischgewicht der Pflanzenproben sofort im Gelände bestimmt. Sodann wurden die Proben im Drucktopf abgetötet, luftgetrocknet und verpackt. Im Labor wurde das Material bei 90°C bis zur Gewichtskonstanz weiter getrocknet — daraus ergab sich der Wassergehalt. Die Trockenproben wurden mit der doppelten Wassermenge versetzt, zermahlen, ausgepreßt und im Kryoskop auf den osmotischen Wert untersucht.*)

Nach Reduktion der Meßwerte auf den ursprünglichen Wassergehalt der Proben ergaben sich die angeführten Werte. Sie sind nach den Angaben von BRECK-LE (1970) zuverlässig und genau. Die Parallelmessungen ergaben auch hier sehr gute Übereinstimmung.

	1E	3	2	В
	WG %	atm	WG %	atm
Anabasis articulata	131	46,6	-	-
Artemisia herba alba	-	-	86	42,8
Ballota hirsuta	72	35,2	124	22,6
Chenopodium vulvaria	-	-	156	56,8
Morettia canescens	-	-	275	22,2
Penzia Monodiana	128	24,9	-	-
Pituranthos scoparius	123	19,2	153	18,8
Pulicaria undulata	146	21,4	-	_
Teucrium Polium	94	24,2	-	-
Zilla spinosa	-	-	179	17,8

Tab. 6: Wassergehalte und potentieller osmotischer Druck zur Mittagszeit in 1B (2.200 m) am 20. August und in 2B (2.335 m) am 5. September 1972.

Die Wassergehalte der hier während der Mittagszeit untersuchten Blätter und Stengel liegen zwischen 72% und 275%; die osmotischen Werte zwischen 17,8 und 56,8 atm.

Die sehr hohen osmotischen Werte für Anabasis und Chenopodium (Tab. 6) deuten darauf hin, daß es sich hier um Halophyten handelt. Für die Blätter der saharo-sindischen Artemisia herba alba nennen KAPPEN et al. (1972) osmotische Werte bis zu 92 atm. und Wassergehalte unter 50%. Da die Wassersättigung aber erst bei 128% liegt, ist in diesem Fall keine irreversible Belastung zu befürchten, wo auch die Photosynthesemessungen — wenn auch nur schwach — so doch CO₂ Fixierung ergeben. Im Tagesgang (Fig. 5) reguliert Artemisia den Wasserverlust der Mittagsstunden durch nachhaltiges Anheben der ohnehin schon sehr hohen osmotischen Werte.

^{*)} Prof. Tranquillini sei hier für die Bereitstellung der Apparaturen und die Durchsicht des Manuskriptes gedankt.

Die beiden malakophyllen Labiaten *Teucrium Polium* und *Ballota hirsuta* (im Hoggar als Variante saharica endemisch) sind mit ihren großen Schwankungen im Wassergehalt und osmotischen Werten deutlich hydrolabil. Am Wuchsplatz 1B, mit einem Wassergehalt von 78% scheint *Ballota* an der Existenzgrenze zu liegen. Fast die gleichen Schwankungen beschreiben PISEK et al. (1935) für Loiseleuria procumbens.

Die beiden Rutensträucher Zilla spinosa und Pituranthos scoparius lassen eher auf hydrostabiles Verhalten schließen. Der Endemit Penzia Monodiana und die häufiger in der gesamten Sahara vorkommende Pulicaria undulata haben eher durchschnittliche Wassergehalte, aber doch hohe osmotische Werte und heben sich im Wassergehalt deutlich von der blattsucculenten Morettia canescens ab. KILLIAN et al. (1933 und 1936) geben für Nichthalophyten der Sahara osmotische Werte zwischen 5,5 und 34,4 atm. an. Die zugleich in 1B und in 2B vorkommenden Arten zeigen infolge der Beckenlage von 2B wesentlich bessere Wasserversorgung.



Fig. 5. Tagesgang der potentiellen osmotischen Werte und des Wassergehaltes in Abhängigkeit von Strahlung, Lufttemperatur, Evaporation und relativer Luftfeuchtigkeit am 30. 8. 1972. o Artemisia herba alba, o Ballota hirsuta, Pithuranthos scoparius, Zilla spinosa.

Im Tagesgang (Figur 5) erweist sich *Ballota* unerwartet stabil, potentielle osmotische Werte und Wassergehalte bleiben während des stark belastenden Strahlungstages fast gleich, während *Zilla* am Vormittag die Transpiration stark steigert (Figur 4), gleichzeitig den Wassergehalt stark reduziert, aber die osmotischen Werte nicht in erwartetem Maße mitreagieren. Ganz ähnlich liegt der Fall beim zweiten Rutenstrauch *Pituranthos*.

Die beschriebenen Arten zeigen nicht nur gegeneinander signifikante Unterschiede, sondern lassen auch tageszeitliche Schwankungen des Wassergehaltes und des osmotischen Wertes erkennen. Untersuchungen des Zellsaftes werden den Anteil anorganischer Salze an der Höhe des osmotischen Wertes nachweisen.

Photosynthese

Das Zeitalter der CO₂-Gaswechselmessungen mit URAS und klimatisierten Kammern nach dem Vorbild der Arbeiten von LANGE et al. (1969), KOCH et al. (1971), SCHULZE et al. (1972 und 1973) in der Negev-Wüste oder CALDWELL (1972) in Utah ist für das Hoggar Gebirge noch nicht gekommen. Die Untersuchungen wurden auch nicht annähernd so aufwendig betrieben wie von HAR-DER et al. (1931) oder STOCKER (1970, 1971, 1974).

Einfachste Versuche nach der Methode von ÅLVIK sind Grundlage dieser Ergebnisse. Sie ermöglichen sichere Hinweise, ob die Pflanzen bei den gegebenen Bedingungen CO₂ aufnehmen oder abgeben. Es kann daher kein Anspruch auf quantitative Aussagen erhoben werden.

Die Pflanzenteile befanden sich auf Gittern in durchsichtigen Kunststoffröhren, unter den Gittern die Indikatorflüssigkeit. Temperatur und Lichtstärke in den Gefäßen wurden laufend mitregistriert. Infolge des Glashauseffektes waren Messungen über längere Zeitabschnitte nicht möglich. KG 1 Filter brachten keinen ausreichenden Strahlungsschutz.

In den Tabellen 7 und 8 sind die aus vielen Meßserien genommenen Ergebnisse nach Lichtstärke und Temperatur geordnet aufgeführt.

Meßstelle 1B

T°	Lux	Pitur.	Penzia	Morettia	Anabasis
18°	30.000	+ +		0 0	o—
18°	36.000	+ +	o—	+ +	0 0
23°	80.000	+ +	+ o	+ +	+ +
28°	100.000	+ +	+ +	+ +	+ +
35°	110.000	+ +	+ +	+ +	+ +
40°	120.000	+ +	+ o	+ o	+ +
42°	120.000		0 0	0 0	+ o
45°	120.000				+

Tab. 7: CO₂ Gaswechsel von *Pituranthos scoparius, Penzia Monodiana, Morettia canescens* und *Anabasis articulata* bei den angeführten Temperaturen und Lichtstärken.

o kein meßbarer Gaswechsel

CO₂ Abgabe

⁺ CO₂ Aufnahme

T°	Lux	Zilla	Pitur.	Ballota	Artemisia h.a.
13°	10.000	+ o	+	+	+ o
15°	10.000	+ +	+	+ +	+ o
20°	20.000	+ +	+ +	+ +	+ o
30°	100.000	+ +	+ +	+ +	+ 、
36°	110.000	+	+	+	o—
42°	120.000				_

Meßstelle 2B

Tab. 8: CO₂ Gaswechsel von Zilla spinosa, Pituranthos scoparius, Ballota hirsuta und Artemisia herba alba bei den angeführten Temperaturen und Lichtstärken.

+ CO₂ Aufnahme

o kein meßbarer Gaswechsel

- CO₂ Abgabe

Es läßt sich daraus ersehen, daß alle angeführten Pflanzen CO₂ aufnehmen können, also zumindest während einiger Stunden am Tag bei geeigneten Umweltbedingungen eine positive CO₂ Bilanz aufweisen. Auffallend ist, daß noch bei relativ hohen Temperaturen Photosynthese meßbar ist. Bei Kammertemperaturen von mehr als 40°C war aber mit Ausnahme von Anabasis articulata keine CO₂ Fixierung mehr feststellbar. Der Kompensationspunkt wird in den meisten Fällen erst bei 10.000 Lux überschritten, Penzia Monodiana und Anabasis articulata nehmen erst ab etwa 40.000 Lux CO₂ im Überschuß auf. Die geringe Photosyntheseleistung von Artemisia herba alba deutet auf schlechte Wasserversorgung (Fig. 5) hin, siehe auch KAPPEN et al. (1972), STOCKER (1974).

Bei den in dieser Gegend herrschenden Temperatur- und Lichtverhältnissen wären bei allen angeführten Pflanzen hohe Produktivitätsraten denkbar, die sich auch bei ausreichender Wasserversorgung nachweisen lassen. Bei höherer Strahlungs- und Dürrebelastung geht aber die Photosynthese stark zurück und erreicht möglicherweise sogar untertags negative Werte (Literatur siehe oben). Untersuchungen eines C₄ Syndroms dieser Pflanzen könnten die Problematik der Stoffproduktion aufzuklären helfen, die hohen Temperaturen, bei denen noch CO₂ aufgenommen werden kann, weisen nach CALDWELL (1974) darauf hin.

Bodenverhältnisse

Der geologische Aufbau des Hoggar Gebirges ist nach BÜDEL (1955), ROGNON (1967), FANTIN (1970) stark vereinfacht ein aufgewölbter kristalliner praekambrischer Sockel, der von alten Basalten überlagert ist, über denen die jungen Eruptiva des Atakor liegen.

Reine Wüstenböden, wie sie allgemein in ariden Gebieten nach der Beschreibung von FINCK (1963) zu erwarten wären, sind im Atakor nicht überall zu finden. KUBIENA (1955) beschreibt die Bodendecke des Atakor überwiegend als Relikt von Braunlehmböden der jüngsten großen Pluvialzeit. Rotlehmböden noch älteren Ursprungs, die von Basalt oder anderen Sedimenten überlagert sind, treten ebenfalls mancherorts zutage. CAMPO (1964) fand in solchen Sedimenten Pollen verschiedener Pflanzen, die auf zwei alte Regenzeiten hinweisen. Auch nach MESSERLI (1974) sind die im Hoggar zu findenden Böden keineswegs rezent. Es sind mit zunehmender Höhe weniger stark umgewandelte alte Böden, die freilich durch Erosion häufig zerstört sind, aber in den Wadis die nackten Schotter und Sandböden verbessern.



Fig. 6. Geologischer Aufbau der Berge des zentralen Hoggar-Gebirges.

Die zahlreichen Bodenproben wurden erst nach der Rückkehr im bodenkundlichen Labor Imst*) größtenteils nach SCHLICHTING (1964) untersucht. Ein Profil nahe der Meßstelle 1B zeigt an der Oberfläche frei liegende Felsbrocken, die vom Wüstenlack oberseitig geschwärzt sind, nach unten hin folgen mehr oder weniger stark verbackene braunrote Bodenschichten, die gelegentlich von horizontal ausgerichteten Lagen größerer Steine unterbrochen sind.

Infolge der fehlenden Vegetation ist Humusbildung hier nicht festzustellen. Feinstes Wurzelwerk findet sich jedoch überall in den dunkler gefärbten Bodenlagen. Die bei KUBIENA (1955) angeführten Relikte von Braun- und Rotlehmböden treten in diesem Profil nicht zutage.

Aus den Korngrößenbestimmungen (Fig. 7) stellt sich der Boden, abgesehen von den eingestreuten größeren Steinen, als Feinsand dar.

^{*)} Dr. Neuwinger sei herzlich für die Bereitstellung eines Laborplatzes und die Besprechung der Ergebnisse gedankt.



Fig. 7. Korngrößenverteilung eines Bodenprofils in 1B (% des Trockengewichtes)

Der Wassergehalt (Tab. 9) ist an der Oberfläche mit 2,5 Gewichtsprozent am geringsten, steigert sich aber mit der Tiefe nicht über 3,8%. Die Wasserspannung der Feldproben wird daher nach einigen Stichproben und Vergleichen mit Saugspannungskurven ähnlicher Böden mit weit über 50 at angenommen.

Tiefe	WG	pHI	Reak	, lone	engel	nalte	%		
(c m)	%	Wert	HCI	Na	κ	Ca	P04	UK	V
0-2	2.5	7.2	++	1.4	0.3	4.1	0.05	2	100
10	3,5	6.8		0.8	0.1	3.1	0.04	2	90
50	3.8	6.8	-		0.1	3.5	0.03	2	90
100	3.4	6.1	-		0.1	2.9	0.03	2	80
200	3.7	6.0			0.1	3.0	0.06	3	80

Tab. 9: Bodenprofil von 1B (2.220 m), Bodentiefe in cm, Wassergehalt in Gewichtsprozent, Reaktion mit verdünnter Salzsäure: + + stark, + schwach, — kein Brausen, lonengehalte in Gewichtsprozent, Umtauschkapazität in mval/100 g, Sättigungsgrad in % nach SCHLICHTING (1966)

Die pH-Werte, unterstützt von den Alkali- und Erdalkaligehalten, lassen an der Oberfläche Salzbildung erwarten, die jedoch mit freiem Auge nicht festgestellt werden konnte und nicht von allen vorkommenden Pflanzen eindeutig abgeleitet werden kann.

Die Bodenproben der drei verschieden hoch gelegenen Stationen, 1A, 1B, 1C, weisen sehr erhebliche Unterschiede auf. Alle Proben stammen aus 15 cm Bodentiefe und aus dem Wurzelbereich von *Anabasis articulata* in 1A und 1B, sowie *Capparis spinosa* in 1C (Tab. 10).

Ort	Tiefe (cm)	(m) 2	m) Ko 1	0.6	röße 0.2	in G 0,06	ewic _0.02	hts _I Schl.	% Ton	WG %	pH Wert	Reakt. H Cl	lon Na	enge K	halte L ^{Ca}	e % P04	Ιυκ	v
1A	15	24	12	6	18	27	13	1	5	1.3	8.0	++	2.2	1.4	14.8	0,42	2-3	100
1B	15	7	6	4	12	30	41	2	2	4,2	7,2	+	0,6	0,5	4,1	0,21	2-3	100
10	15	8	3	2	11	20	56	4	4	5,0	5,6	_	1,0	0,3	1,9	0,04	2-3	70

Tab. 10: Bodenvergleich in 3 verschiedenen Höhen am Südabhang des Ilamane aus dem Wurzelbereich von Anabasis articulata und Capparis spinosa. 1A 2.005 m, 1B 2.220 m, 1C 2.500 m. Erklärung der Abkürzungen siehe Tab. 9.

Aus der Korngrößenbestimmung erweist sich der Boden in 1A als steinig bis sandig, während er in den höhergelegenen Meßstellen als feinsandig zu bezeichnen ist.

Die Wassergehalte nehmen mit zunehmender Höhe signifikant zu. Während die Böden in 1A und 1B eher basisch sind, tritt in 1C schwach saurer Boden auf. Charakteristisch dafür ist auch, daß die Reaktion des Bodens mit verdünnter Salzsäure in der Tallage sehr stark ist und nach oben hin abnimmt. Die Alkali- und Erdalkaligehalte nehmen von unten nach oben deutlich ab. Allen Böden gemeinsam ist die für Sandböden charakteristische niedere Sorptionskapazität (UK geschätzt nach SCHLICHTING (1966) zwischen 2 - 3 mval/100 g) — hier verbunden mit höchster Sättigung an Alkali- und Erdalkali- Ionen.

Diese Ergebnisse lassen darauf schließen, daß wasserlösliche Bodenbestandteile durch die sporadisch auftretenden Regengüsse in die Tiefe geschwemmt werden und dort Salzböden verursachen können. Das Profil nahe der Station 2B in 2.335 m Höhe im Oued Tinsarin läßt in den untersuchten 80 cm Bodentiefe ein recht unterschiedliches Gefüge erkennen (Tab. 11). Die Oberfläche ist eher grobsandig, in 10 cm Tiefe findet sich Feinsand, der weiter nach unten in anlehmige Sande übergeht.

(cm)	2	<u>1</u>	0,6	0,2	0,06	0,02	Schi	Ton	%	Wert	на	Na	ĸ	Ca	P04	υκ	V
0-2	20,4	6,4	3,8	13,8	18,3	29,2	2,3	3,8	2,0	6,2	-	2,1	0,15	7,5	0,38	2	80
10	0	0	1	0,5	21,6	74,2	1,0	1,7	9,1	6,5			0,03	19,5	0,39	2	90
20	2,8	1,7	7,8	24,0	17,6	42,6	0,8	2,7	10,5	6,8	++	4,0	0,04	19,5	0,41	2	90
30	0,6	0,6	1,2	19 <i>7</i>	51,2	22,0	2,4	2,3	10,9	6,8	++		0,04	19,0	0,44	2	90
50	12,0	21,0	12,0	22,0	9,0	8,6	6,5	8,9	8,1	6,8	+ +	1,1	0,03	13,7	0,53	3	90
80	28,0	11,0	6,9	18,0	11,0	12,4	4,7	8,0	8,4	6,8	+		0,04	14,8	0,44	3	90

Tiefe (mm) Korngröße in Gewichts % WG pH Reakt Ionengehalte %

Tab. 11: Bodenprofil von 2B 2.335 m im Oued Tinsarin unter Assekrem. Abkürzungen siehe Tab. 9.

L

Die Wassergehalte erreichen hier mit mehr als 10% die höchsten gemessenen Werte. Diese Tatsache dürfte durch die Nähe des anstehenden Felsens in diesem Talbecken zu erklären sein. Der hohe Calciumgehalt und die starke Reaktion der Salzsäure ab Bodentiefen von 20 cm deuten auf einen kalkreichen Boden. Diese Behauptung wird durch die annähernd neutralen pH-Werte noch bestärkt.

In diesem Profil deutet sich schwache Bodenbildung an. Infolge der geringen Bodenfeuchte und des andauernden Windes, der das abgestorbene organische Material sofort verweht, ist nach BURINGH (1970) nur sehr schwache Bodenbildung möglich. Begünstigt wird die Bodenbildung hier jedoch durch die Beckenlage, da Muren und größere Ausschwemmungen nicht stattfinden können. Auf diesen trockenen, zum Teil salzreichen Böden können nur sehr gut angepaßte Pflanzen vorkommen. Sie zeichnen sich durch ihre tiefen und weitverzweigten Wurzeln (KAUSCH, 1968), ihre geringe transpirierende Oberfläche und zum Teil als Halophyten aus.

In 2B äußert sich der hohe Kalkgehalt des Bodens an den Krusten der Blätter von Launea nudicaulis ab.

Die Vegetation und ihre Verteilung

Die Vegetationsaufnahme in diesem Gebiet ist durch die in der Einleitung genannten Autoren mit wenigen Ausnahmen abgeschlossen. Bodenalgen und Flechten bedürfen aber noch genauerer Bearbeitung.

In den Bodenproben ließen sich aus oberflächennahen Zonen fast überall *Chlamydomonas*-Arten finden. Trotz der ungünstigen Lebensbedingungen im Hoggar konnten sich im Labor auf Knop Agar bei 14°C und 3.000 Lux Dauerlicht Algen entwickeln.*)

Die Flechtenvegetation des Hoggar-Gebirges erweist sich als überaus vielfältig. Während sie am Südwest-Anstieg kaum vorhanden ist, finden sich im Zentralteil, hauptsächlich an Nordwänden, oft große Flächen von diesen Pionieren des Lebens. Besonders erwähnenswert ist die Nordwest-Wand des In Borian und die Schluchten südlich von Assekrem.

Hauptsächlich finden sich die Flechten an senkrechten bis überhängenden Felsen, sie beziehen ihre Feuchtigkeit von herabrinnendem Regenwasser und vom aufsteigenden Dampf nach Regenfällen bzw. aus dem verdunsteten Bodenwasser. Berührende Wolkenbanke und Nebel helfen bei der Wasserversorgung. Gleichzeitig sind die Flechten durch diese Exposition infolge des flachen Einfallswinkels der hochstehenden Sonne vor Überhitzung geschützt (Liste der Flechten im Appendix).

^{*)} Herrn Dr. Georg Gärtner, Institut für Systematische Botanik Innsbruck, sei für die Bearbeitung gedankt.

Moose sind überaus selten zu finden. An einem feuchten Fels nahe einer Wasserstelle im Oued Tinsarin war ein Moos — wahrscheinlich *Brachymenium saharicum* — gewachsen.

Die Blütenpflanzen treten, wie bereits erwähnt, hauptsächlich in der Nähe der Wadis, in Erosionsrinnen, am Fuße von Felswänden oder in Felsspalten auf.

Während um Tamanrasset die *Tamarisken*- sowie die *Acacia-Panicum* Wüstensavanne vorherrscht, beginnt ab etwa 1.800 m Seehöhe die charakteristische Gebirgsvegetation; sie ist — da ja mit zunehmender Höhe die Niederschläge auch zunehmen — etwas dichter und reich an Endemiten. Die Gebirge sind Rückzugsgebiete der einstmaligen vielfältigen Sahara-Flora. In niederschlagsreichen Jahren ist hier nach QUEZEL (1970) sogar eine durchgehende, diffuse Pflanzendecke zu erwarten.

Im Untersuchungsgebiet ist als aufrechter Baum Olea laperrini zu nennen, ein Relikt der Mittelmeerflora, das an schwer zugänglichen Felsspalten und in Schluchten noch zu finden ist. Ihr Holz ist zur Herstellung von Kohle und als Brennmaterial sehr begehrt. Rhus tripartitus kümmert mancherorts und ist trotz starker Stacheln von den Ziegen und Mufflons verbissen. Im Bereich südwestlich des Ilamane (1B) sind weiters Anabasis articulata, der Endemit Penzia monodiana, Teucrium polium, Artemisia herba alba, Ballota hirsutum, Moricandia arvensis, Artemisia campestris, Chenopodium vulvaria, Fagonia flamandi, Pulicaria undulata, Pituranthos scoparius, Morettia canescens, Atriplex halimus, Centaurea pungens sowie Reste nicht bestimmter Gräser.

Im Zentralteil des Hoggar, südöstlich von Assekrem, treten Zilla spinosa in größeren Büschen, Peganum harmala, Launea nudicaulis und Solanum nigrum hinzu. Echinops bovei sticht durch die großen Kugelblüten und langen Stacheln mancherorts hervor. An ausgesetzten Stellen und in Gipfelnähe finden sich unerwartet oft größere Bestände von Capparis spinosa. Die Gipfelsteppe selbst bilden meist: Chenopodium vulvaria, Ephedra maior, Penzia monodiana, Teucrium polium, Artemisia herba alba, Atriplex halimus und verschiedene Gräser.

Besonders begünstigt und reich an grüner Vegetation sind Gipfelrinnen und etwa 1 bis 2 m breite Streifen am Übergang von großen Felswänden zum Hangschutt.

Im Kampf um das Dasein der Pflanzen in den Bergen der Sahara ist die Wasserversorgung sicher die wichtigste Größe. Anpassungen verschiedenster Art: kleine Oberflächen und dadurch geringe Transpiration, hohe Zellsaftkonzentrationen, wasserspeichernde Gewebe, tiefgehende und weitverzweigte Wurzeln, Widerstandsfähigkeit gegen hohe und niedrige Temperaturen, große mechanische Festigkeit und entsprechende Kardinalpunkte der Photosynthese sowie geeignete Fortpflanzungsmöglichkeiten ermöglichen ihr Überleben. Gegen Tierfraß schützen sich die Pflanzen durch Gifte (Cassia obovata) und Bewehrung mit Stacheln. Trotz der ausgezeichneten Anpassung ist die Vegetation vom ungünstigen Klima, dem Tierfraß und besonders der übermäßigen Beweidung sehr gefährdet.

Appendix

Liste der Flechten*) von der Nordwand des Tin Ahou südlich von Assekrem:

Acarospora sulphurata (ARNOLD) — diese Flechte ist interessanterweise auch an Trockenhängen um Bozen zu finden.

Acarospora strigata (Nyl.) JATTA mit Parasit

Caloplaca subsoluta (Nyl.) ZAHLBR.

Caloplaca paulensii (WUNDER)?

Peltula euploca (ACH.) WETM.

Peltula bolanderi (ACH.) WETM.

Buellia alboatra (HOFFM.) DEICHM. Br. et Rostr. coll.

Lecanora muralis (SCHREB.) RABENH.

Rinodina bischoffii coll. — eine von der europäischen Sippe abweichende, interessante Form

Aspicilia radiosa (HOFFM.)

Gonohymenia cf. agerica J. STEINER

Weitere Flechten aus den Gattungen *Physcia, Thyra, Psorotichia, Buellia, Caloplaca, Aconospora, Peltula* und *Lecidea* konnten infolge geringen Materials, Sterilität oder schlechter Entwicklung nicht bis zur Art bestimmt werden.

Bisher waren aus dem Gebiet des Hoggar-Gebirges die Flechten

Peltula (= Heppia) obscurans

Peltula (= Heppia) crispatula

Peltula (= Heppia) subrosulata

Peltula (= Heppia) ahaggariana

Peltula (= Heppia) nigra

Caloplaca asekremensis

Acarospora strigata

Acarospora sulphurata

Acarospora scabriuscula

Aspicilia hoffmannii

Aspicilia gibbosa

Lecanora muralis

bekannt, allerdings ist ihre Identität umstritten.

Besonders erwähnenswert ist der Flechtenparasit Arthonia clemens (TUL.) TH.FR. auf Acarospora strigata, es ist möglicherweise der zweite Flechtenparasit aus der Sahara überhaupt.

^{*)} Die Flechten wurden freundlicherweise von Prof. Dr. J. Poelt, Universität Graz, bestimmt

Zoologischer Anhang:

Soweit die Zeit dazu reichte, wurden vom Verf. auch einige Tier-Aufsammlungen im Hoggar-Massiv getätigt und zwar in Höhenlagen zwischen 2000 - 2816 m. Ein Teil der Aufsammlungen liegt von Spezialisten determiniert vor und wird hier kurz abgehandelt.*) Allen Determinatoren sei herzlich gedankt.

A r a n e a e : alle det. und in coll. Dr. K. Thaler (Innsbruck)

Lycosidae: Arctosa sp.

Gnaphosidae: inadulte Exemplare

Eusparasgidae: inadultes Exemplar

Thomisidae: Philodromus sp. inadult

Salticidae: Aelurillus affinis (LUCAS)? 1 9 (sensu DENIS, 1937)

Aelurillus conveniens (O. P. CAMBRIDGE) ? 1 9 (sensu DENIS, 1947) Filistatidae: Sahastata nigra (SIMON) 19

Insecta:

- Mantodea: *Eremiaphila* sp. 1 Larve Tahat, 2.220 m, VIII. 1972, det. W. Kühnelt (Wien); typisches Wüstentier der Palaearktis, vom Hoggar sind 3 spp. bekannt (ANONYMUS, 1937). in coll. W. Schedl (Innsbruck).
- Saltatoria-Caelifera: 2 Ex. Tuarega insignis (LUCHS) 2000 2200 m, 14. 8. 1972, det. K. Harz (Endsee, BRD), Pamphagidae-Akicerinae, die Art ist nach HARZ (in litt. 1976) aus Mauretanien, N-Algerien, Tunis, Rio de Oro, der Sahara, Marokko, Hoggar, Tibesti und Ägypten bekannt. In coll. W. Schedl (Innsbruck).
- Heteroptera: Horvathiolus mendosus HORVATH I Ex., 2220 m, VIII. 1972, det et in coll. E. Heiss (Innsbruck).
- Homoptera: Fulgoridae: 1 Ex. aff. Fulgorea europea L., Tahat, 2200 m, VIII. 1972, in coll. W. Schedl (Innsbruck).

- ANONYMUS (1934): Report on the Inseeta collected by Colonel R. Meinetzhagen in the Ahaggar Mountains. Ann. Mag. nat. Hist., 13 (10 ser.): 161 - 192.
- DENIS, J. (1937): On a collection of spiders from Algeria. Proc. zool. Soc. London, 1936 (4): 1027 1060.
- DENIS, J. (1947): Spiders (Araneae). Results of the Armstrong College Expedition to Siwa Oasis (Libyen Dersert) 1935. Bull. Soc. Fouad 1 er Entom., 31 (17): 17 103.
- DENIS, J. (1949): Araignées du Hoggar récoltée par M. de Peyerimhoff. Bull. Soc. Hist. nat. Afr. Nord, 39: 146 149.
- DENIS, J. (1953): Araignées recueillies par P. Remy du Sud-Algérien au Hoggar. Bull. Soc. zool. France, 78 (5/6): 311 - 324.
- DENIS, J. (1962): Araignées recueillies en 1962 par la Mission Belge au Tibesti. Rev. Zool. Bot. Afr., 65: 29 32.
- PEYERIMHOFF, P. (1931): Mission scientifique du Hoggar 1928: Coléoptères de Alger. Mem. Soc. Hist. nat. Afr. Nord, 2: 172 p.

^{*)} Bezügliche Literatur:

Coleoptera:

Carabidae: Cymindis sp. 1 Ex. Tahat, VIII. 1972, 2335 m, Hochtal, in Determination.

Scarabaeidae: Scarabaeus sacer Tahat, 2200 m, VIII. 72, det. M. A. Ienistea (Bukarest).

Tenebrionidae: Adesmia montana ssp. acervata KL., 3 Ex. 2220 m und 2800 m (Gipfel), VIII. 72, alle det. W. Kühnelt (Wien) in coll. W. Schedl (Innsbruck). Blaps haberti PEYER. 3 Ex. 2200 - 2335 m, VIII. 72, Hochtal, alle det. W. Kühnelt (Wien) in coll. W. Schedl (Innsbruck).

Diptera: Oestridae: mehrere Larven aus Nasenhöhlen eines Mufflon, leg. Toni Aichhorn, in coll. W. Schedl (Innsbruck).

Vertebrata:

Amphibia:

Bufonidae: 2 Ex. Bufo viridis viridis LAUR., aus Brunnenloch, 2000 m, VIII. 1972 Reptilia:

Agamidae: 1 Ex. Agama impalearis BOETTGER, 2300 m, VIII. 1972

Colubridae: 1 Ex. *Malpolon monspessulanus* (HERMANN), 2580 m, VIII. 1972. Alle Vertebrata leg. W. Schwarz und det. Dr. F. Tiedemann (Wien) in coll. Naturh. Museum Wien.

Literatur:

- ABD EL RAHMAN, A. and K. BATANOUNY (1964): Transpiration of desert plants under natural conditions in Wadi Hoff. J. Bot. U. A. R. 7: 37 59.
- BRECKLE, S. (1971): Osmotische Verhältnisse und Zuckergehalte im Jahresgang bei Bäumen Ost-Afghanistans. Flora, 160: 43 - 59.
- BRECKLE, S. (1973): Mikroklimatische Messungen und ökologische Beobachtungen in der alpinen Stufe des afghanischen Hindukusch. Bot. Jahrb. Syst., 93 (1): 25 - 55.
- BROWN, L. (1966): Afrika, München-Zürich 298 pp.
- BUEDEL, J. (1955): Reliefgenerationen und plio-pleistozäner Klimawandel im Hoggar-Gebirge. Erdkunde, Bd. IX: 100 - 133.
- BURINGH, P. (1970): Introduction to the study of soils in tropical and subtropical regions. Wageningen Pudoc, 99 pp.
- CALDWELL, M. (1972): Adaptability and productivity of species possessing C₃ and C₄ photosynthesis in a cool desert environment. Intern. Symp. USSR 1972. Leningrad Nauka, 1 - 27. Physiology of Desert Halophytes, in: Ecology of Halophytes, N. Y., 355 - 378.
- DUBIEF, J. (1959): Le climat du Sahara. Trav. Inst. Rech. Sah., I: (1959) 312 pp.

DUBIEF, J. (1963): Le climat du Sahara. Trav. Inst. Rech. Sah., II:

- FANTIN, M. (1970): Uomini e montagne del Sahara. Bologna, 521 pp.
- FINCK, A. (1963): Tropische Böden. Hamburg-Berlin, 188 pp.
- GAVRILOVIC, D. (1969): Klima-Tabellen für das Tibesti-Gebirge. Berl. Geogr. Abhandlungen, H. 8: 47 - 48.
- HARDER, R., P. FILZER, und A. LORENZ (1931): Über Versuche zur Bestimmung der Kohlensäureassimilation immergrüner Wüstenpflanzen während der Trockenzeit in Beni Unif (algerische Sahara). Jahrb. wiss. Bot., 75 (1): 45 - 194.

- HUBER, B. (1927): Zur Methodik der Transpirationsbestimmung am Standort. Ber. dtsch. bot. Ges., 45: 611 618.
- INDERMÜHLE, D. (1972): Mikroklimatologische Untersuchungen im Tibesti-Gebirge. Hochgebirgsforschung, Innsbruck-München, p. 121 - 142.
- KAPPEN, L, O. L. LANGE, E. D. SCHULZE, M. EVENARI, und U. BUSCHBOM (1972): Extreme water stress and photosynthetic activity of the desert plant Artemisia herba alba ASSO. Oecologia (Berl.) 10: 177 - 182.
- KAUSCH, W. (1968): Das Wurzelwerk der Pflanzen als Organ für die Wasseraufnahme. Umschau, (2): 38 44.
- KILLIAN, C. und L. FAUREL (1933): Observations sur la pression osmotique des vegétaux désertiques et subdésertiques de l'Algérie. Bull. Soc. Bot. France, 80: 755 796.
- KILLIAN, C. und L. FAUREL (1936): La pression osmotique des végétaux du Sud Algérien. Ann. Physiol., 12: 859 - 908.
- KOCH, W., O. L. LANGE und E. D. SCHULZE (1971): Eco-physiological investigations on wild and cultivated plants in the Negev Desert., Oecologia (Berl.) 8: 296 309.
- KUBIENA, W. L. (1955): Über die Braunlehmrelikte des Atakor. Erdkunde, IX: 115 132.
- LANGE, O. L. (1959): Untersuchungen über Wärmehaushalt und Hitzeresistenz mauretanischer Wüsten- und Savannenpflanzen. Flora, 147: 595 - 651.
- LANGE, O. L. (1961): Die Hitzeresistenz einheimischer immer- und sommergrüner Pflanzen im Jahreslauf. Planta, 56: 666 683.
- LANGE, O. L., W. KOCH und E. D. SCHULZE (1969): CO₂-Gaswechsel und Wasserhaushalt von Pflanzen in der Negev-Wüste am Ende der Trockenzeit. Ber. dtsch. bot. Ges., 82: 39 - 62. LARCHER, W. (1973): Ökologie der Pflanzen. Stuttgart, 320 pp.
- MAIRE, R. (1933, 1940): Etudes sur la flore et la végétation du Sahara Central. Mém. Soc. Hist. nat. Afr. Nord, 3 (lère et 2ème parties): 1 - 272. (3ème partie): 273 - 433.
- MONOD, TH. (1938): Notes botaniques sur le Sahara occidental et ses confins sahéliens. Mém. Soc. Biogéogr., VI: La vie dans la région désertique: 351 - 374.
- MONOD, TH. (1939): Contribution à l'etude du Sahara occidental, Phanérogame. Paris.
- MESSERLI, B. (1972): Tibesti-Zentrale Sahara. Hochgebirgsforschung, Innsbruck-München, 2: 7 22.
- MESSERLI, B. (1973): Problems of vertical and horizontal arrangement in the high mountains of the extreme arid zone (Central Sahara). Arctic and Alpine Research, 5 (No. 3): 139 147.
- MICHAELIS, P. (1934): Osmotischer Wert und Wassergehalt während des Winters in den verschiedenen Höhenlagen. Jb. wiss. Bot., 80: 337 - 362.
- OZENDA, P. (1958): Flore du Sahara septentrional et Central. Centre Nat. Rech. Scient., 486 pp. PISEK, A., H. SOHM und E. CARTELLIERI (1935): Untersuchungen über osmotischen Wert und
- Wassergehalt von Pflanzen und Pflanzengesellschaften der alpinen Stufe. Beih. bot. Zbl., 52 B: 634 675.
- QUEZEL, P. (1954): Contribution à l'etude de la flore et de la végétation du Hoggar. Trav. Inst. Rech. sahar., Monogr. régionales, 2: I - 164.
- QUEZEL, P. (1965): La végétation du Sahara. Stuttgart, 333 pp.
- QUEZEL, P. (1965): Flora und Vegetation der Sahara. In: Die Sahara und ihre Randgebiete. Hrsg. Dr. H. Schiffers, München, 429 - 475.
- ROGNON, P. (1967): Le massif de l'Atakor et ses bordures. Etude géomorph. CNRS, Paris, 560 pp.
- SAUBERER, F. und L. DIRMHIRN (1958): Das Strahlungsklima. In: Klimatographie von Österreich. Österr. Akad. Wiss. **3:** 13 - 102.
- SCHLICHTING, E. und H. P. BLUME (1966): Bodenkundliches Praktikum. Hamburg-Berlin, 209 pp
- SCHULZE, E. D., O. L. LANGE und W. KOCH (1972): Ökophysiologische Untersuchungen an Wild- und Kulturpflanzen der Negev-Wüste. II u. III. Oecologia (Berlin), 8: 334 - 335 und 9: 317 - 340.
- STOCKER, O. (1928): Der Wasserhaushalt ägyptischer Wüsten- und Salzpflanzen. Bot. Abh. Jena 13: 200 pp.
- STOCKER, O. (1929): Eine Feldmethode zur Bestimmung der momentanen Transpiration und Evaporationsgröße. Ber. dtsch. bot. Ges., 47: 126 - 136.
- STOCKER, O. (1970): Der Wasser- und Photosynthese-Haushalt von Wüstenpflanzen der mauretanischen Sahara. Flora, 159: 539 - 572.

- STOCKER, O. (1971): Der Wasser- und Photosynthese-Haushalt von Wüstenpflanzen der mauretanischen Sahara. Flora, 160: 445 - 494.
- STOCKER, O. (1972): Der Wasser- und Photosynthese-Haushalt von Wüstenpflanzen der mauretanischen Sahara. Flora, 161: 46 - 110.
- STOCKER, O. (1972): Wasser- und Photosynthesehaushalt von Wüstenpflanzen der südalgerischen Sahara. I. Standorte und Versuchspflanzen. Flora, 163: 46 - 88.
- STOCKER, O. (1974): Wasser- und Photosynthesehaushalt von Wüstenpflanzen der südalgerischen Sahara. II. Tagesserien. Flora, 163: 89 - 142.
- STOCKER, O. (1974): Wasser- und Photosynthesehaushalt von Wüstenpflanzen der südalgerischen Sahara. III. Jahresgang und Konstitutionstypen. Flora, 163: 480 529.
- TURNER, H. (1958): Maximaltemperaturen oberflächennaher Bodenschichten an der alpinen Waldgrenze. Kultur und Leben, 10: 1 - 12.
- TURNER, H. (1966): Die globale Hangbestrahlung als Standortfaktor bei Aufforstungen in der subalpinen Stufe. Mitt. Schweiz. Anst. forstl. Vers.-wesen, 42 (3): 109 - 168.
- VAN CAMPO, M, G. AYMONIN, P. GUINET et P. ROGNON. (1964): Contribution à l'étude du peuplement végétal quaternaire des montagnes Sahariennes: L'Atakor. In: Pollen et Spores, Muséum National d'Histoire Naturelle, VI (1): 169 - 194.
- WALTER, H. (1960): Grundlagen der Pflanzenverbreitung, 1. Teil Standortslehre, Stuttgart, 566 pp.
- WALTER, H. (1962): Die Vegetation der Erde in ökologischer Betrachtung. Bd. 1: Tropische und subtropische Zonen. Jena, 538 pp.
- WALTER, H. (1970): Vegetationszonen und Klima. Stuttgart, 244 pp.
- WALTER, H.und K. KREEB (1970): Die Hydratation und Hydratur des Protoplasmas der Pflanzen und ihre öko-physiologische Bedeutung. Protoplasmatologia, II (C2): 117 142.
- WININGER, M. (1972): Die Bewölkungsverhältnisse der zentralsaharischen Gebirge aus Wettersatellitenbildern. In: Hochgebirgsforschung Heft 2: Tibesti-Zentrale Sahara, p. 24 - 87.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: <u>Berichte des naturwissenschaftlichen-medizinischen</u> <u>Verein Innsbruck</u>

Jahr/Year: 1976

Band/Volume: 63

Autor(en)/Author(s): Schwarz Werner

Artikel/Article: Ökophysiologische Untersuchungen in den Bergen der zentralen Sahara. 139-164