

BONNER GEOGRAPHISCHE ABHANDLUNGEN

ISSN 0373-0468

Herausgegeben von

H. Hahn - W. Kuls - W. Lauer - P. Höllermann - K.A. Boesler

Schriftleitung: H.-J. Ruckert

Heft 74

Peter Frankenberg und Dieter Klaus

**Studien zur Vegetationsdynamik
Südosttunesiens**

**Quantitative Bewertung
klimatischer und anthropo-edaphischer
Bestimmungsfaktoren**

1987

In Kommission bei
Ferdinand Dümmlers Verlag - Bonn

Peter Frankenberg und Dieter Klaus

**Studien zur Vegetationsdynamik
Südosttunesiens**

**Quantitative Bewertung
klimatischer und anthropo-edaphischer Bestimmungsfaktoren**

BONNER GEOGRAPHISCHE ABHANDLUNGEN

ISSN 0373-0468

Herausgegeben von

H. Hahn W. Kuls W. Lauer P. Höllermann K.-A. Boesler

Schriftleitung: H.-J. Ruckert

Heft 74

Peter Frankenberg und Dieter Klaus

**Studien zur Vegetationsdynamik
Südosttunesiens**

**Quantitative Bewertung
klimatischer und anthropo-edaphischer
Bestimmungsfaktoren**



1987

In Kommission bei

FERD. DÜMMLERS VERLAG · BONN

— Dümmlerbuch 7624 —

**Studien zur Vegetationsdynamik
Südosttunisiens**

**Quantitative Bewertung
klimatischer und anthropo-edaphischer
Bestimmungsfaktoren**

von

Peter Frankenberg und Dieter Klaus

mit 28 Abbildungen und 13 Tabellen

In Kommission bei

FERD. DÜMMLERS VERLAG · BONN

Dümmelerbuch 7624

Alle Rechte vorbehalten

ISBN 3-427-7624 1-6

© 1987 Ferd. Dümmers Verlag, 5300 Bonn 1

Herstellung: Richard Schwarzbald, Witterschlick b. Bonn

Vorwort

Ziel der vorliegenden Untersuchung ist es, die phytogeographische Wirksamkeit des in SE-Tunesien sehr stark ausgeprägten Ariditätsgradienten zwischen küstennahen und küstentfernen Standorten quantitativ herauszuarbeiten. Edaphische Unterschiede der entsprechend dem Verlauf des Ariditätsgradienten ausgewählten Standorte sollen dabei ebenso wie Variationen der Landnutzungsintensitäten quantitativ in ihren Auswirkungen auf die klimagradientabhängige Vegetationszusammensetzung erfaßt werden.

Die Felderhebungen zu der vorliegenden Untersuchung erfolgten in den Jahren 1982 - 1984. Die erste Feldkampagne, durch die DFG gefördert, wurde von beiden Verfassern im Frühjahr 1982 gemeinsam durchgeführt. Zwei weitere Feldstudien in den Jahren 1983 und 1984 erfolgten nur durch einen der Verfasser (P. Frankenberg), der unter Mithilfe einiger Mitarbeiter des Lehrstuhles von Prof. Dr. W. Lauer (D. Anhuß, P. Franken, Ch. Mergard, J. Gülich, V. Müllers), denen an dieser Stelle besonders zu danken ist, paläoklimatologische Forschungen in Tunesien im Rahmen des "Klimaprogrammes der Bundesregierung" durchführte und dabei gleichzeitig die Untersuchungen zur vorliegenden Zielsetzung abschließen konnte.

Die Feldstudien in Tunesien haben eine vielfältige Förderung durch Professor A. Kassab und A. Bousnina vom Geographischen Institut der Universität Tunis erfahren, durch B. Montacer, Direktor der S.O.N.M.I.V.A.S. in Medenine, durch M. Mekrazi vom "Comissariat d'Agriculture" in Medenine, durch A. Hamsa, Direktor der O.T.D.-Farm Sidi Chammakh und vornehmlich durch den Gouverneur des Gouvernorates Medenine, Salah Bhourri. Ohne seine uneingeschränkte Förderung der Feldarbeiten wären diese nicht möglich gewesen. Den tunesischen Förderern des Forschungsvorhabens sei hiermit ein herzlicher Dank ausgesprochen.

Frau H. Alberter (Eichstätt) sei für die Reinschrift des Manuskriptes, Herrn K.-H. Schatz (Eichstätt) für die sorgfältige Anfertigung der Reinzeichnungen und Frau J. Brennecke (Eichstätt) für Rechenarbeiten und die Durchsicht des Manuskriptes gedankt. Für die Forschungsförderung ist der DFG und dem BMFT

Dank zu sagen. Den Herausgebern der Bonner Geographischen Abhandlungen danken wir für die Aufnahme des Manuskriptes in ihre Schriftenreihe.

Januar 1986

P. Frankenberg, D. Klaus

Inhalt

	Seite
1. Problemstellung	I
2. Die Standortbedingungen im Untersuchungsgebiet	2
3. Vegetationsübersicht des Untersuchungsgebietes	14
4. Die räumliche Varianz von Vegetation und Standortfaktoren	17
4.1 Arealtypenspektren und Klimagradient	20
4.1.1 Arealtypenspektren in Abhängigkeit von edaphischen Faktoren	28
4.2 Lebensformenspektren und Klimagradient	33
4.3 Beziehungen zwischen Artenkompositionen und nicht-klimatischer Standortfaktoren	41
4.3.1 Dominanzbewertung der nicht-klimatischen Einflußgrößen	53
5. Die zeitliche Varianz von Standortfaktoren und Vegetation	68
5.1 Zeitliche Änderung der Bodenfeuchte in Abhängigkeit von der Niederschlagshöhe	69
5.2 Vegetationsänderungen in Abhängigkeit vom Niederschlagsregime	77
5.3 Überlegungen zur langfristigen Entwicklung des Klimafaktors	86
6. Zusammenfassung der Ergebnisse	103
7. Résumé	106

Abbildungen

- 1: Lageskizze des Untersuchungsgebietes
- 2: Mittlere Jahresniederschläge und Zahl der Tage mit Niederschlag sowie Grenzmarkierungen für die Andauer der Regenzeit
- 3: Prozentualer Anteil der Herbstniederschläge und Frühjahrsniederschläge sowie der Winterniederschläge am Gesamtniederschlagsaufkommen
- 4: Variabilität des Jahrsniederschlages und prozentualer Anteil der durch die NE-Störungen induzierten Niederschläge an der Jahressumme
- 5: Charakteristische Tagesgänge von Temperatur und relativer Feuchte bei unterschiedlicher Meeresdistanz (März 1984)
- 6: Tagesgänge der Oberflächentemperatur des Bodens sowie der Bodentemperatur in verschiedenen Tiefen an den Meßpunkten 1 - 4 im März 1984
- 7: Bodenfeuchte in Gewichtsprozent für sandige Böden entlang Profil A und B in 10, 20 und 50 cm Tiefe
- 8: Steppentypen des Untersuchungsraumes
- 9: Lage der 25 x 25 m großen Aufnahmeflächen der Vegetation entlang von Profil A und Profil B
- 10: Lineare Beziehungen zwischen Meeresdistanz und Geoelementanteilen entlang der Profile A und B
- 11: Residuen der Regressionsmodelle zwischen Meeresdistanz und den Arealtypenspektrenanteilen S + AS für Profil A und Profil B
- 12: Beziehungen zwischen den Lebensformenspektrenanteilen von Chamaephyten, Hemikryptophyten und Therophyten und der Ost-West-Standortdistanz für das Profil A und B
- 13: Dendrogramm für die Zusammenfassung der 68 Standorte (Abzisse) gemäß der Ähnlichkeit ihrer Artenkomposition
- 13a: Dendrogramm für die Zusammenfassung der 162 Pflanzenarten (Abzisse) gemäß der Ähnlichkeit ihrer Standortmerkmale
- 14: Oberflächen- und Weidetypen der Station Dar ez Zaoui
- 15: Dendrogramm für die Zusammenfassung der 315 Standorte (Abzisse) der Station Dar ez Zaoui gemäß der Ähnlichkeit ihrer Artenkomposition
- 16: Artenzusammensetzung der 11 Cluster
- 17: Arealtypenspektren der Cluster 1 - 11
- 18: Spektren der Lebensformen zu den Clustern 1 - 11
- 19: Ergebnisse der Bodenfeuchtemessungen an sechs ausgewählten Standorten in den Jahren 1982/83/84 (Monat März) in 10, 20 und 50 cm Tiefe

- 20: Bodenfeuchtevergleich in 10 cm Tiefe für die Jahre 1983/84 (Monat März)
- 21: Vergleich der Bodenfeuchtemessungen für die Jahre 1983/84 (Monat März) einiger ausgewählter Standorte
- 22: Vergleich der langjährigen (1901 - 1976) mittleren monatlichen Niederschlagssummen mit der Regenzeit 1982/83 für Djerba
- 23: Vergleich der Individuen- und Artenzahlen in den Jahren 1983 und 1984 (Monat März)
- 24: Zeitreihen der jährlichen Niederschlagssummen in normierter Darstellung
- 25: Residuenmassenkurven (kumulative prozentuale Abweichung vom Mittelwert der Gesamtperiode) des jährlichen Niederschlags
- 26: Zeitreihen der jährlichen Niederschlagssummen für Houmt Souk, Ben Gardane und Tunis approximiert durch Polynome 1., 3. und 5. Ordnung
- 27: Polare Höhenwestwinde im 500 mb-Niveau
- 28: Varianzspektren der jährlichen Niederschlagssummen (1901 - 1976)

Tabellen

- 1: Arealtypenspektrenanteile der 68 Standorte im Untersuchungsraum Südosttunesien (Prozentwerte)
- 2: Korrelative Zusammenhänge zwischen Meeresdistanz und den prozentualen Geoelementanteilen
- 3: Korrelative Beziehungen zwischen den Bodenfeuchtwerten und den Arealtypenspektrenanteilen
- 4: Lebensformenspektrenanteile der 68 Standorte im Untersuchungsraum Südosttunesiens (Prozentwerte)
- 5: Regressionsgleichungen und Korrelationskoeffizienten für die Beziehungen zwischen den Lebensformenanteilen und der Meeresdistanz (Klimagradient)
- 6: Repräsentanz der nach edaphischen Faktoren und Nutzungsformen qualitativ gekennzeichneten Standorte in den Clustern (% Auftretshäufigkeit) der Standortgruppierung
- 7: Artenliste zur Clusteranalyse der Pflanzenarten
- 8: Aufstellung der in die Clusteranalyse eingehenden Arten gemäß Abb. 15 und Abb. 16
- 9: Repräsentanz der nach edaphisch-morphologischen Faktoren und Nutzungsformen qualitativ gekennzeichneten Standorte auf den Clustern der Standortgruppierung
- 10: Vergleich der Bodenfeuchtemessungen der Jahre 1983/1984
- 11: Zeitvergleich der Individuenzahlen, die in den Jahren 1983/1984 auf sieben Testflächen bestimmt wurden
- 12: Korrelationskoeffizienten zwischen den jährlichen Niederschlagssummen der meteorologischen Beobachtungsstationen SE-Tunesiens (1901 - 1976) und der Station Tunis
- 13: Korrelationskoeffizienten der Beziehungen zwischen den Troghäufigkeiten (500 mb) in verschiedenen geographischen Längen und den jährlichen Niederschlagssummen der Stationen SE-Tunesiens 1901 - 1976 (bandpaßgefilterte Zeitreihen)

Abkürzungsverzeichnis

Arealtypen/Geoelemente

- A: Mediterranes Geoelement
- AS: Mediterran-saharisches Geoelement
- S: Saharo-arabisches Geoelement
- P: Pluriregionales Geoelement
- TS: Tropisch-saharisches Geoelement

Lebensformen

- Ph, Np: Phanerophyten
- Ch: Chamaephyten
- Th: Therophyten
- H: Hemikryptophyten
- G: Geophyten

.....	11
.....	12
.....	13
.....	14
.....	15
.....	16
.....	17
.....	18
.....	19
.....	20
.....	21
.....	22
.....	23
.....	24
.....	25
.....	26
.....	27
.....	28
.....	29
.....	30
.....	31
.....	32
.....	33
.....	34
.....	35
.....	36
.....	37
.....	38
.....	39
.....	40
.....	41
.....	42
.....	43
.....	44
.....	45
.....	46
.....	47
.....	48
.....	49
.....	50
.....	51
.....	52
.....	53
.....	54
.....	55
.....	56
.....	57
.....	58
.....	59
.....	60
.....	61
.....	62
.....	63
.....	64
.....	65
.....	66
.....	67
.....	68
.....	69
.....	70
.....	71
.....	72
.....	73
.....	74
.....	75
.....	76
.....	77
.....	78
.....	79
.....	80
.....	81
.....	82
.....	83
.....	84
.....	85
.....	86
.....	87
.....	88
.....	89
.....	90
.....	91
.....	92
.....	93
.....	94
.....	95
.....	96
.....	97
.....	98
.....	99
.....	100

.....

.....	101
.....	102
.....	103
.....	104
.....	105
.....	106
.....	107
.....	108
.....	109
.....	110
.....	111
.....	112
.....	113
.....	114
.....	115
.....	116
.....	117
.....	118
.....	119
.....	120
.....	121
.....	122
.....	123
.....	124
.....	125
.....	126
.....	127
.....	128
.....	129
.....	130
.....	131
.....	132
.....	133
.....	134
.....	135
.....	136
.....	137
.....	138
.....	139
.....	140
.....	141
.....	142
.....	143
.....	144
.....	145
.....	146
.....	147
.....	148
.....	149
.....	150

1. Problemstellung

In Nordafrika ändert sich großräumig die Vegetationszusammensetzung in Abhängigkeit von der Niederschlagshöhe. Mit abnehmendem jährlichen Niederschlag und zunehmender Niederschlagsvariabilität werden mediterrane durch mediterran-saharische und schließlich saharo-arabische Arten ersetzt. Diese Zusammenhänge wurden großräumig für Nordafrika von FRANKENBERG (1978) dargestellt.

In der vorliegenden Untersuchung wird versucht, diese Abhängigkeiten zwischen dem Klima und der Vegetation kleinräumig abzuleiten und zu differenzieren. Standortfaktoren wie Boden, Mikroklima, Nutzungsintensität etc. sollen bei dieser Analyse in ihren Wirkungen auf die Vegetationszusammensetzung möglichst quantitativ abgeschätzt werden. Dazu erfolgten in den Jahren 1982 - 1984 wiederholt Feldstudien in SE-Tunesien in dem Raum zwischen Djerba und Medenine mit dem Ziel, die Vegetationszusammensetzung, die Vegetationsdynamik und die Standortbedingungen möglichst genau zu erfassen.

Von der Küste aus nimmt landeinwärts die Aridität in SE-Tunesien näherungsweise kontinuierlich zu. Nach den Ergebnissen der großräumigen Analysen war zu erwarten, daß landeinwärts die Anteile mediterraner Arten allmählich durch wachsende Anteile saharischer Arten ersetzt werden. Für die Lebensformen können die Ergebnisse der großräumigen Analysen nur begrenzt kleinräumig übertragen werden. Dies gilt insbesondere für die Therophyten-Vegetation, die wesentlich durch die kleinräumige Standortdifferenzierung und die Zufälligkeit des Aufnahmezeitpunktes in Relation zu den vorangegangenen Niederschlägen in ihrer Verbreitung bestimmt wird. Besonders die Schwierigkeiten, die durch den Aufnahmezeitpunkt bedingt sind, konnten teilweise durch wiederholte

Vegetationsaufnahmen in den Jahren 1982 - 1984 ausgeschlossen werden (Feldaufenthalte: 1982 Frankenberg/Klaus; 1983, 1984 Frankenberg).

Die kleinräumige Vegetationsaufnahme gestattet spezielle Aussagen hinsichtlich der Vegetationszusammensetzung in Abhängigkeit vom edaphischen Milieu und seiner anthropogenen Überformung, die bei großräumigen Analysen nur unzulänglich berücksichtigt werden kann. Dementsprechend werden in der vorliegenden Studie zunächst die Klimagradianten dargestellt und in Beziehung zu den Arealtypenspektren und Lebensformenspektren interpretiert. Abweichungen von den klimatisch bedingten Vegetationsgradienten werden durch edaphische Faktoren und anthropogene Eingriffe zu erklären versucht.

Durch diese Vorgehensweise wird aber nur die zeitlich gemittelte räumliche Vegetationsanordnung erfaßt. Die Dynamik der sich von Jahr zu Jahr ändernden Vegetationszusammensetzung kann durch Vergleiche der zu unterschiedlichen Zeiten aufgenommenen Testflächenvegetation erfaßt werden. Zur Abschätzung der Wirkung anthropogener Eingriffe auf die Vegetationszusammensetzung werden genutzte und geschützte Steppentestflächen miteinander verglichen.

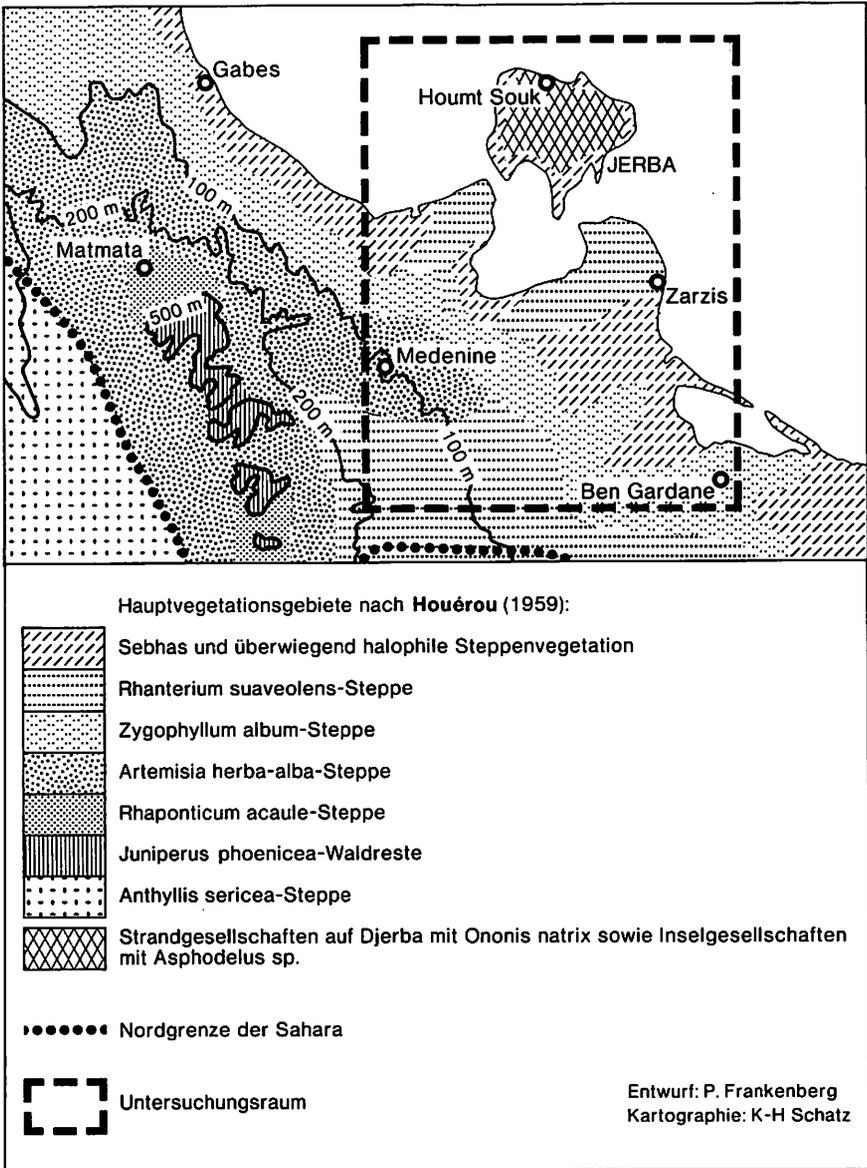
Insgesamt wird versucht, die Wirkungen aller Standortfaktoren auf die Vegetationszusammensetzung quantitativ mit dem Ziel abzuschätzen, Tendenzen der Klima- und Nutzungsdynamik, die sich aus den Entwicklungen seit der Jahrhundertwende ableiten lassen, zu einer längerfristigen Prognose auszuwerten.

2. Die Standortbedingungen im Untersuchungsgebiet

In Abb. 1 ist das Untersuchungsgebiet in seinem weiteren Umfeld dargestellt. Die Vegetationsuntersuchungen erfolgten im wesentlichen in dem Bereich, der durch die Orte Houmt Souk/Djerba, Matmata, Medenine, Ben Gardane und Zarzis zu begrenzen ist.

Der größte Teil des Gebietes wird von den Ebenen der Djeffara mit Höhen unter 100 m eingenommen. Im Westen steigt das Gebiet im Bergland südlich von Matmata bis zu Höhen um 500 m an. Im Lee dieses Berglandes verläuft die Ostgrenze der Sahara, die durch die 100 mm Isohyete zu beschreiben ist. Parallel zu dieser Isohyete verlaufen in einem etwa 20 km breiten Band einige markante pflanzen-geographische Grenzen, so die des Halfa-Grases.

Abb. 1: Lageskizze des Untersuchungsgebietes



Die großräumige Vegetationsanordnung zeichnet, von dem Bergland südlich Matmatas abgesehen, abnehmende Humidität mit wachsender Meeresdistanz nach. In Küstennähe dominiert Steppenvegetation maritim-mediterraner Ausprägung. Die Senken in dieser Zone werden bevorzugt von halophilen Pflanzengesellschaften eingenommen. Westlich davon, in einer Meeresdistanz von ca. 30 km, dominiert zunehmend eine Halbwüstenvegetation, die erst im Bergland von Matmata in stark degradierte Bergwälder übergeht.

Die Grenzzone zwischen Steppen- und Halbwüstenvegetation verläuft näherungsweise küstenparallel. Ähnlich sind die langjährigen Isohyeten (1930 - 1976) angeordnet, während die Änderung der Zahl der Niederschlagstage einen W - E gerichteten Verlauf nimmt (Abb. 2). Dabei ist zu beachten, daß aus dem Bergland von Matmata nur wenige Niederschlagsbeobachtungen vorliegen, hier also eine Niederschlagszunahme als Folge der Orographie fundierter aus der dominanten natürlichen Vegetation erschlossen werden kann.

Da dem hygrischen Faktor für die großräumige Vegetationsabfolge offensichtlich eine erhebliche Bedeutung zukommt, wird die jahreszeitliche Verteilung des Feuchteangebotes genauer erfaßt (Abb. 3). Es zeigt sich, daß der prozentuale Anteil der saisonalen Niederschläge an der Jahressumme im Herbst und Frühjahr küstenparallele Änderungen erfährt, der prozentuale Winteranteil hingegen näherungsweise orthogonal zum Küstenverlauf in Südrichtung ansteigt. Es ist interessant, daß die prozentualen Anteile des Herbstniederschlages landeinwärts abnehmen, die der Frühjahrsniederschläge hingegen anwachsen. Die Sommerniederschläge liegen in diesem Raum unter 10 % der Jahressumme, besitzen also nur eine sehr untergeordnete Bedeutung. Die Regenzeit beginnt im Mittel in der zweiten Septemberhälfte und endet in der zweiten Maihälfte (Abb. 3). Mit abnehmender geographischer Breite verkürzt sich die Regenzeit.

In Abb. 4 ist die für die Vegetationszusammensetzung wichtige relative Variabilität des Niederschlages dargestellt. Die geringste Variabilität ist auf Djerba und südwestlich davon erkennbar. Sie nimmt nördlich, südlich und landeinwärts dieser Zone geringer Variabilität zu. Diese zunächst überraschende und mit dem Isohyetenverlauf nicht in Übereinstimmung stehende Änderung der Variabilität erklärt sich aus den niederschlagsgenetisch in diesem Gebiet höchst wirksamen NE-Störungen, deren Hauptzugbahn über Djerba nach Südwesten landeinwärts gerichtet ist. Mit wachsender Meeresdistanz vermindert sich die niederschlagsgenetische Wirksamkeit der NE-Störungen.

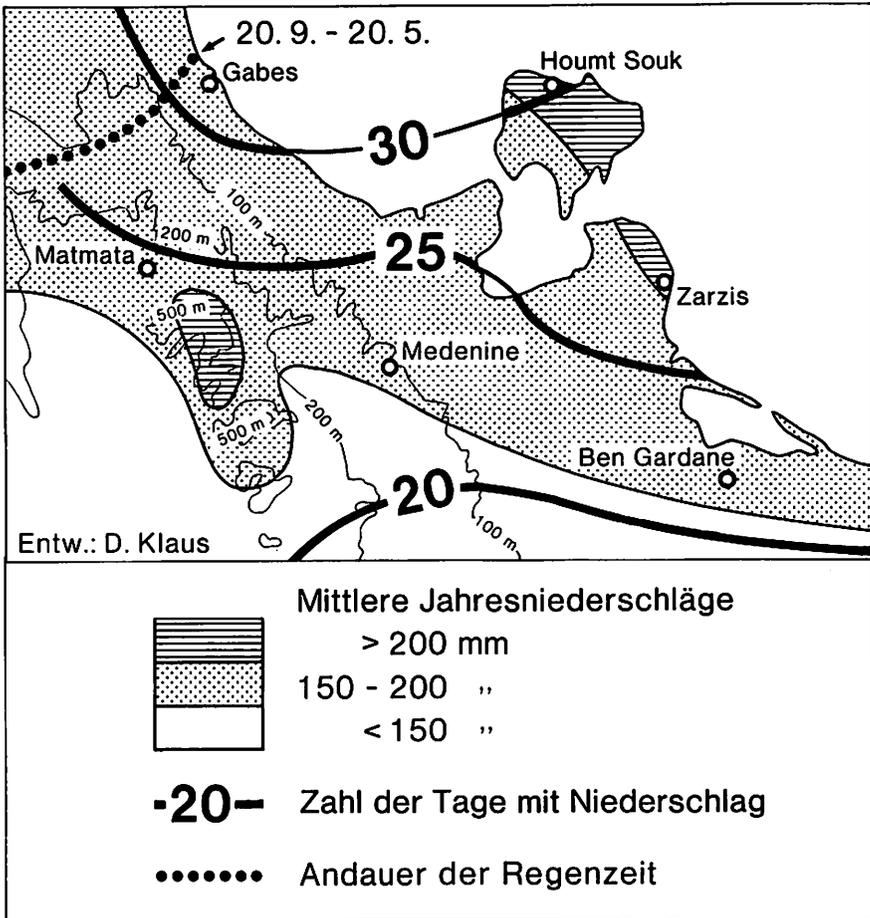


Abb. 2: Mittlere Jahresniederschläge und Zahl der Tage mit Niederschlag sowie Grenzmarkierung für die Andauer der Regenzeit. Südlich der Grenze reduziert sich die Regenzeitandauer mit abnehmender Breite, nördlich wächst die Regenzeitdauer mit zunehmender Breite.

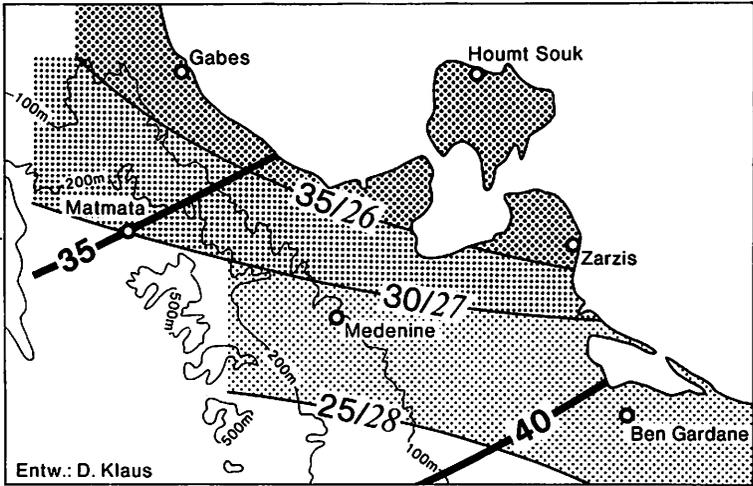


Abb. 3: Prozentualer Anteil der Herbstniederschläge (erste Zahl) und Frühjahrsniederschläge (zweite Zahl, dünne Isolinien) sowie der Winterniederschläge (dicke Isolinien) am Gesamtniederschlagsaufkommen. Herbstmonate: 9, 10, 11; Wintermonate: 12, 1, 2; Frühjahrsmonate: 3, 4, 5.

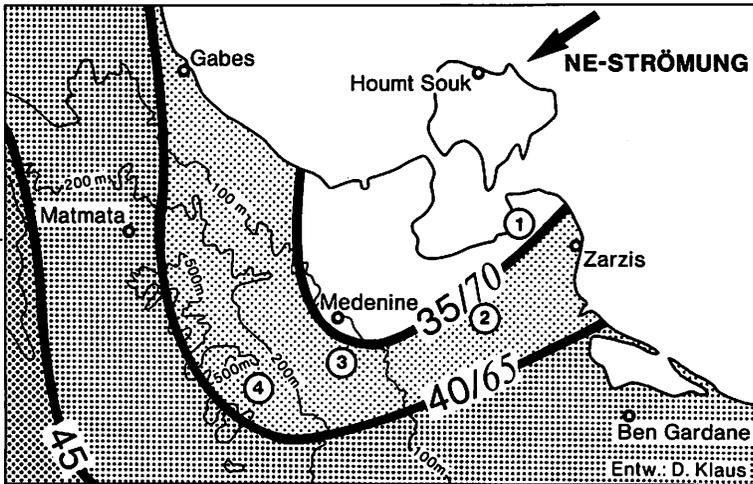


Abb. 4: Variabilität des Jahresniederschlags (erste Zahl) und prozentualer Anteil der durch die NE-Störungen induzierten Niederschläge (zweite Zahl) an der Jahressumme. Mit 1 - 4 sind die Meßorte der Boden- und Lufttemperatur (vgl. Abb. 5, 6) markiert.

Die NE-Störungen erreichen maximale Häufigkeiten im Herbst und erklären somit den landeinwärts abnehmenden prozentualen Anteil der Herbstniederschläge an der Jahressumme. Im Frühjahr dominieren saharische Störungen, die in SE-Tunesien ebenfalls mit z.T. erheblichen Niederschlägen verbunden sein können. Ihre Wirksamkeit geht mit abnehmender Meeresdistanz zurück, wodurch die landeinwärtige Zunahme des prozentualen Anteils der Frühjahrsniederschläge an der Jahressumme verständlich wird.

Für die spätere Bewertung der Degradationsphänomene ist klimatisch bedeutsam, daß die NE-Störungen in 10 - 15 % aller beobachteten Fälle mit Starkregen über 50 mm/24 h verbunden sind (BOUSNINA, 1977). Im September können in SE-Tunesien mehr als 50 % der Niederschläge als Starkregen fallen. Im Gefolge der saharischen Depressionen werden in 10 % aller beobachteten Fälle ebenfalls Starkregen, bevorzugt im Frühjahr, beobachtet.

Die Temperaturen schwanken in den Monaten Mai - September zwischen Maximalwerten über 50° C und Minimalwerten um 10° C. In den Wintermonaten werden Maximalwerte über 30° C und Minimalwerte um den Gefrierpunkt registriert.

Typische Temperatur- und Feuchtetagesgänge sind für die Frühjahrsmonate in Abb. 5 dargestellt. Die Werte wurden im März 1984 durch Simultanmessungen gewonnen und vermitteln einen guten Eindruck von der landeinwärts anwachsenden Tagesamplitude der Temperatur an Strahlungstagen. Die beiden in Küstennähe gelegenen Meßpunkte 1 und 2 (vgl. Abb. 4) weisen Maximaltemperaturen im Schatten aus, die etwa 3,5° C unter denen des Inlandes liegen. Zudem ist eine geringe Verfrühung des Auftretens der Maximumtemperaturen mit wachsender Meeresdistanz erkennbar.

Ganz entsprechend verhält sich die relative Feuchte, die in Küstennähe nur selten unter 30 % abfällt, im Inland aber in den Mittagsstunden regelmäßig Werte unter 15 % annimmt.

Gleichzeitig mit den Lufttemperatur- und Feuchtemessungen wurden im März 1984 die Bodentemperaturen an der Erdoberfläche, in 10 cm und 20 cm Tiefe bestimmt. Typische, simultan erhobene Tagesgänge für die Messorte 1 - 4 (Abb. 4) sind in Abb. 6 dargestellt. Landeinwärts nehmen die Oberflächentemperaturen um fast 20° C zu. In 50 cm Tiefe lag noch eine Differenz von näherungsweise 16° C vor. Dabei werden Standorte miteinander verglichen,

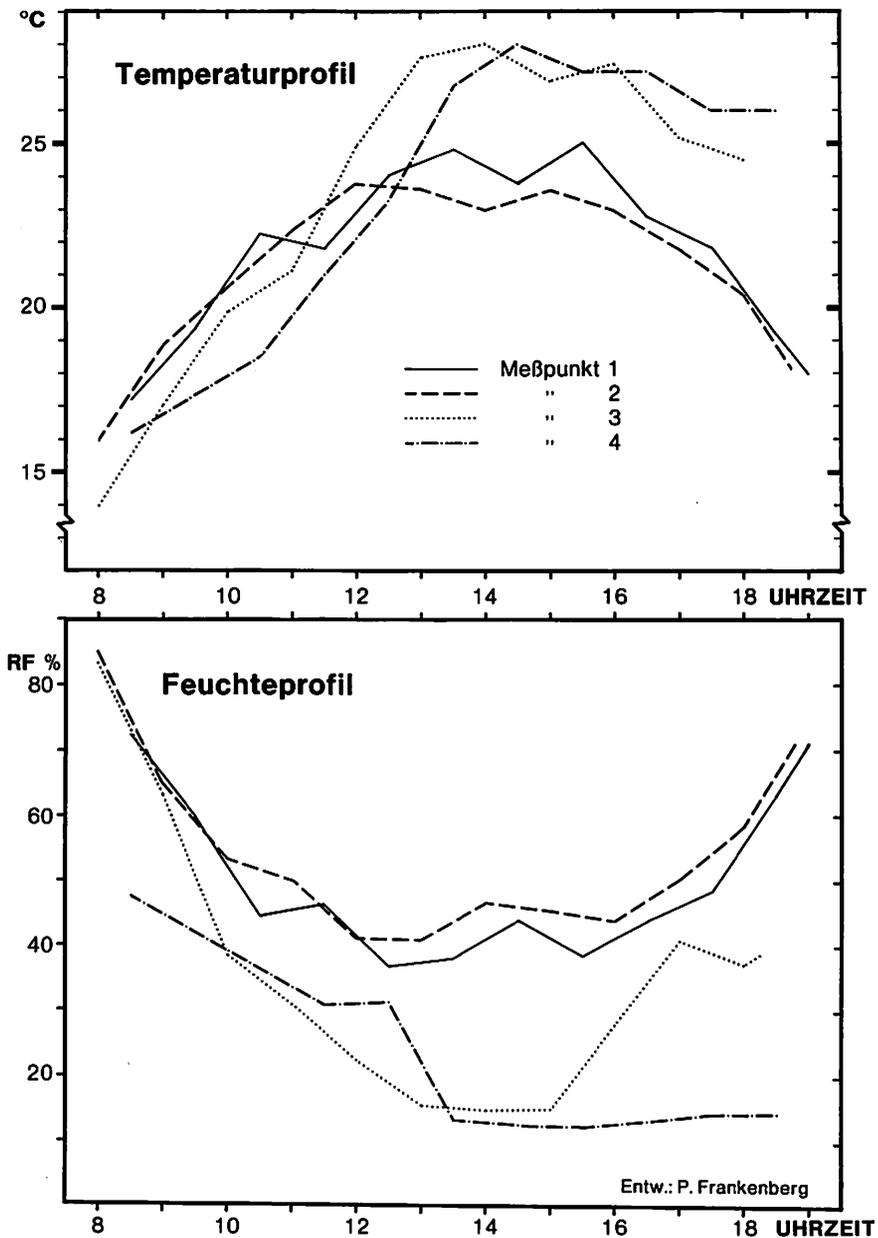


Abb. 5: Charakteristische Tagesgänge von Temperatur und relativer Feuchte bei unterschiedlicher Meeresdistanz (März 1984).
Die Lage der Meßpunkte 1 - 4 ist in Abb. 4 angegeben.

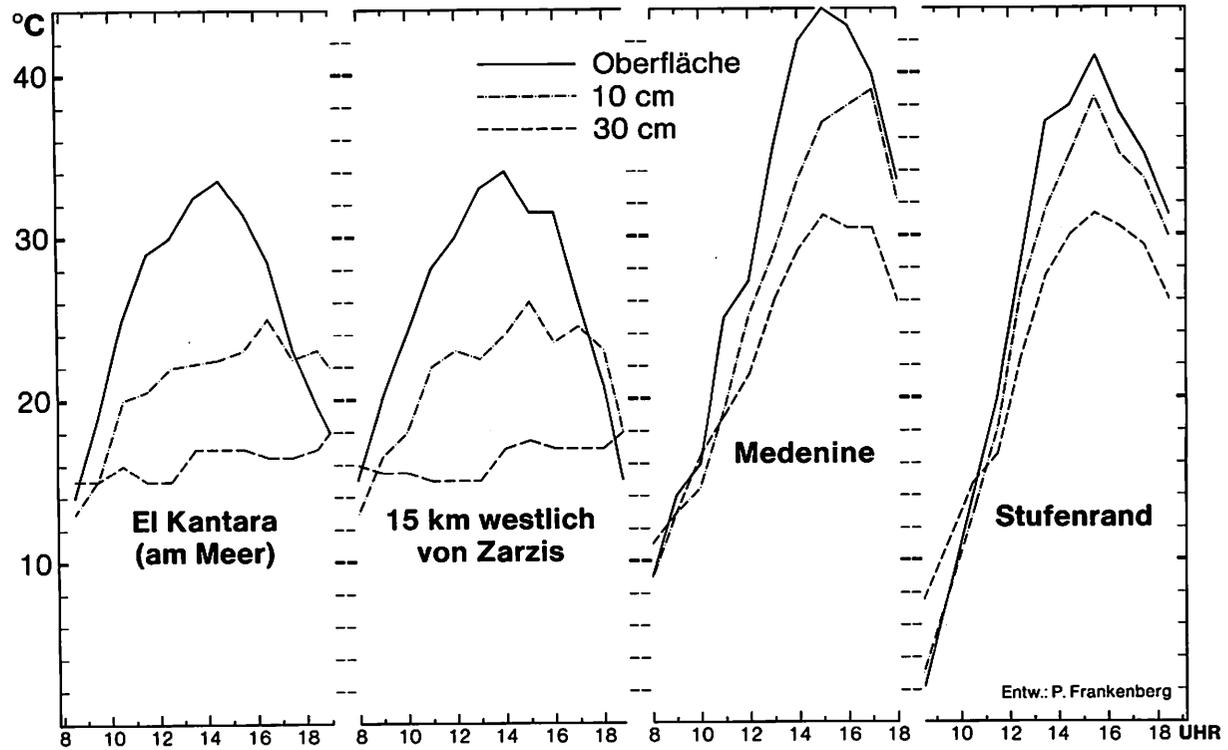


Abb. 6: Tagesgänge der Oberflächentemperatur des Bodens sowie der Bodentemperatur in verschiedenen Tiefen an den Meßpunkten 1 - 4 (vgl. Abb. 4) im März 1984.

die durch ähnliche Bodenarten (Feinsand) ausgezeichnet sind. Im gesamten Wurzelraum der Pflanzen erfolgt eine Zunahme der Hitzebelastung mit wachsender Meeresdistanz. Alle klimatischen Strebfaktoren des Pflanzenwuchses nehmen demnach landeinwärts zu.

Auch die Jahreswasserbilanz, die für den gesamten Raum negativ ist, wird mit wachsender Meeresdistanz ungünstiger. Nur zwei Wintermonate sind bei Medenine durch eine positive Wasserbilanz ausgezeichnet, 5 Monate auf Djerba. Dementsprechend schütter ist der Vegetationsbesatz in weiten Bereichen des Untersuchungsgebietes und schafft Ansatzpunkte für die Erosionskraft des Windes.

Bei Windgeschwindigkeiten über 10 km/h werden Partikel mit Durchmessern zwischen 0,1 - 0,5 mm durch Saltation transportiert. Diese Partikeldurchmesser sind im Untersuchungsgebiet zu mehr als 75 % in Sandanwehungen festzustellen. Bei einer einjährigen Beobachtungsperiode ergeben sich im Winter in 25 % der beobachteten Fälle Winde aus dem Nordsektor mit Geschwindigkeiten über 10 km/h (KHATTELI, 1981). Im Sommer fehlen erosionsaktive Winde fast völlig. Im Herbst erreichen sie Häufigkeiten um 13 %, im Frühjahr um 25 %, wobei in diesen Jahreszeiten NW-Winde dominieren.

Die Verfrachtung des Feinmaterials mit Partikeldurchmessern zwischen 0,1 - 0,5 mm erfolgt, der vorherrschenden Windrichtung entsprechend, im Untersuchungsgebiet vornehmlich in N-S bzw. NW - SE- Richtung. Dies läßt sich an der Dünenausrichtung sowie der Form kleiner Sandanwehungen im Untersuchungsgebiet überall verifizieren. Eine großräumige N-S-Orientierung der Denudations- und Akkumulationsräume ist allerdings nicht nachweisbar. Bodenart und Vegetationsbesatz spielen in diesem Zusammenhang eine größere Rolle als die dominierenden erosionsaktiven Windrichtungen. Lediglich im Gebietsmittel zeigen die Denudationsflächen eine größere Distanz zur nördlichen Küstenlinie des Untersuchungsgebietes als die Akkumulationsräume.

Die Bodenwasserverhältnisse bestimmen stärker noch als die Niederschlags- und Luftfeuchtebedingungen die standörtlichen Entwicklungsmöglichkeiten der Vegetation. Entlang zweier Profillinien (Abb. 9) wurden im März 1982, 1983 und 1984 Bodenfeuchtemessungen mit Carbid-Manometern, zwei Wochen nach Niederschlagsgaben um 5 mm, durchgeführt. Ausgewählt wurden Standorte im Abstand von etwa 1,8 km, die ähnliche Bodenarten (Feinsand) und ähnliche topographische Gegebenheiten auswiesen.

Entgegen der Erwartung, daß sich der durch die mittleren jährlichen Niederschlagswerte vorgezeichnete Gradient in den Bodenfeuchtwerten der tieferen Horizonte widerspiegeln würde, zeichnen die in Abb. 7 aufgetragenen Meßwerte eine solche Tendenz nicht nach. In beiden Profilen ist vielmehr in 50 cm und bei Profil A auch in 20 cm Tiefe eine nicht signifikante schwach positive Beziehung zwischen Meeresdistanz und Bodenfeuchte (Korrelationskoeffizienten + 0,2) erkennbar. Für alle übrigen Horizonte bleibt die Beziehung erwartungsgemäß negativ, ohne allerdings das 5 %-Signifikanzniveau zu erreichen.

Da keine systematische räumliche Änderung der Bodenfeuchtwerte nachweisbar ist, müssen andere als die klimatischen Faktoren eine bestimmende Rolle spielen. Eine Häufigkeitsanalyse der Bodenfeuchtwerte zeigt, daß in 10 cm und 20 cm Tiefe eine zufallsunabhängige generelle Tendenz in der Häufigkeitsverteilung der Feuchtwerte zu verzeichnen ist. In 50 cm Tiefe lassen sich deutlich drei Standorttypen aus der Gestalt der Häufigkeitsverteilung der Bodenfeuchtwerte ablesen. Überzufällig häufig kommen Standorte mit Bodenfeuchtwerte um 3 %, 5 % und 8 % in beiden Profilen vor, während Bodenfeuchtwerte um 4 %, 6 % und 7 % sowie < 3 % in diesem Horizont nahezu gänzlich fehlen. Eine Analyse der Standortmerkmale läßt erkennen, daß Muldenstandorte höchste, Hangstandorte mittlere und Kuppenstandorte geringste Feuchtwerte ausweisen. Kleine Variationen der Korngrößenzusammensetzung der Böden wirken sich zusätzlich auf die Größe der Feuchtwerte aus.

Der permanente Welkepunkt sandiger Böden liegt bei knapp 5 Volumenprozent Bodenwasser, die Feldkapazität bei etwa 10 %. An Muldenstandorten und Hangstandorten ist demnach vermehrt pflanzenverfügbares Wasser in für die Pflanzen erreichbarer Tiefe vorhanden. Bezieht man die 20 cm Messungen mit ein, so zeigt sich, daß einige Wochen nach den letzten Niederschlägen an 42 % aller Standorte in 20 cm und an 63 % aller Standorte in 50 cm Tiefe noch pflanzenverfügbares Wasser nachzuweisen ist. In lehmig-schluffigen Horizonten, die in der Graphik nicht dargestellt wurden, konnte nur in 20 % der Fälle in 20 cm Tiefe und in 32 % der Fälle in 50 cm Tiefe pflanzenverfügbares Wasser nachgewiesen werden.

Es ist damit festzuhalten, daß trotz ähnlicher Bodenarten an allen Standorten der klimatische E-W-Gradient auch in größeren Bodentiefen ohne weitere Einschränkungen nicht nachweisbar ist. Es wirken sich vielmehr selbst kleinste topographische Besonderheiten der Meßstandorte auf deren Bodenwassergehalt

Bodenfeuchte

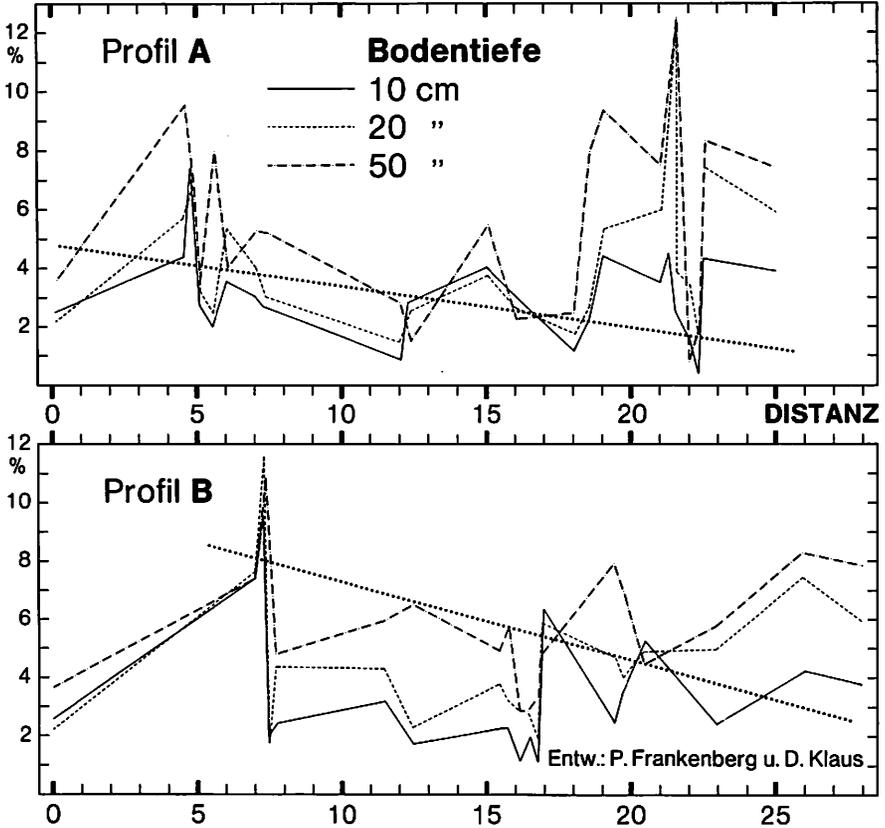


Abb. 7: Bodenfeuchte in Gewichtsprozent für sandige Böden entlang Profil A und B (Lage der Profile in Abb. 9) in 10, 20, und 50 cm Tiefe. Die Regressionsgeraden wurden für Kuppenstandorte des Profils A in einer Tiefe von 50 cm und für Muldenstandorte des Profils B in einer Tiefe von 10 cm bestimmt.

aus. Außerdem spielt die Dichte des Bewuchses auf den Standorten, die pflanzenverfügbares Wasser ausweisen, eine Rolle. Hier besteht eine negative Rückkopplung: Verfügbares Bodenwasser induziert Pflanzenwuchs, der wiederum zu einer Minderung des Bodenwassergehaltes führt, wodurch der Pflanzenwuchs seinerseits gemindert wird. Der Wasserverbrauch der Pflanzen sowie die Bodenspeicherwassermenge bestimmen die Dichte und Artenzusammensetzung des Vegetationsbesatzes.

In Abb. 7 sind die Bodenfeuchtemeßwerte des 50 cm Horizontes näher betrachtet worden, die auf einer weitflächigen Verebnung (mindestens 25 x 25 m) mit näherungsweise gleichförmiger Bestandsdichte ermittelt wurden. Für diese näherungsweise gleichbleibenden Bedingungen zeichnet sich auch für die Bodenfeuchte in Profil A signifikant der E-W-Gradient ähnlich wie schon bei Temperatur und Niederschlag ab. Die Abweichungen von der Regressionsgeraden bringen für den 50 cm Horizont sehr augenscheinlich die Vielfalt der hygrischen Bedingungen dieses Raumes im Wurzelbereich, der bei oberflächlicher Betrachtung sehr homogen wirkt, zum Ausdruck.

Im Profil B sind die Meßwerte in 10 cm Tiefe für Muldenstandorte mit annähernd gleichem Vegetationsbesatz besonders untersucht worden. Auch hier zeichnet sich deutlich der klimatische E-W-Gradient ab. Die Neigung der Regressionsgeraden erscheint für den 10 cm-Horizont erheblich stärker als für den 50 cm-Horizont. Die Ursache dafür ist in der Wirkung der landeinwärts verstärkten Verdunstung zu sehen, die mit steigender Temperatur und abnehmender Feuchte extreme Bodenfeuchteverluste besonders in dem oberen Teil des Bodens bewirkt.

Im Untersuchungsgebiet sind hellbraune Halbwüstenböden charakteristisch, deren Profile meist gekappt und von rezenten aeolischen Ablagerungen überdeckt sind (Burozem). Die Korngrößenverteilung bedingt eine hohe aeolische Erosionsgefährdung, die sich in den schon angeführten Denudations- und Akkumulationsgebieten im Untersuchungsraum dokumentiert.

Fast alle Böden enthalten in Tiefen unter 20 - 30 cm, also unterhalb der aeolischen Auflage, Kalk und Gips. Der Kalkgehalt dieser tieferen Bodenschichten liegt nur selten unter 10 %, die pH-Werte meist um 8 (MABBUT u. FLORET, 1980).

Böden unterschiedlicher Entwicklungsstadien können im Untersuchungsraum beobachtet werden. Graue Halbwüstenböden (Sierozeme) gehen allmählich in hellbraune Halbwüstenböden (Burozeme) über. Je nach Entwicklungsstadium sind

Verkrustungen auf den Böden ausgebildet. Diese entstehen bei geringem Vegetationsbewuchs durch die Akkumulation von Feinmaterial in den Mikrodepressionen im Gefolge von Starkregen. Nach der Verdunstung des Muldenwassers bilden sich Verkrustungen von einigen mm Dicke im Zentrum der Depressionen aus (ESCADAFAL, 1981). Die Infiltration des Niederschlagswassers in den Boden wird durch diese Krusten stark gehemmt. Eine dichtere Vegetation vermag sich auf den Krusten deshalb nur dann zu entwickeln, wenn es den Pflanzen gelingt, die dünne Verkrustung zu durchbrechen. Einjährige Pflanzen sind dabei nur selten erfolgreich. Ihr Anteil geht dementsprechend in Gebieten mit Krustenbildung stark zurück.

Unterlagert werden die Böden weitflächig von Krusten, die im Altpleistozän (Villafranchien) und Jungpleistozän entstanden sein sollen und nicht selten Mächtigkeiten von mehr als 30 cm erreichen (COQUE, 1962; FLORET u. PONTANIER, 1982; KHATTELI, 1981; LE HOUEROU, 1959). Neuere Radiocarbonatierungen scheinen zu belegen, daß die überwiegende Mehrzahl der Krusten SE-Tunesiens holozänen Alters sind (WATSON, 1979). Die aeolische Erosion der Feinmaterialien, die die Krusten überlagern, führt nach Freilegung der Krustenoberfläche zur irreversiblen Bodenzerstörung.

3. Vegetationsübersicht des Untersuchungsgebietes

Unter Berücksichtigung der für das Untersuchungsgebiet charakteristischen Standortgegebenheiten ist eine genauere Differenzierung der Vegetationszusammensetzung in Abhängigkeit von den Standortfaktoren möglich. LE HOUEROU (1969) hat eine hierarchische Abfolge klimatischer Subvarianten der Assoziation mit *Rhantherium suaveolens* und *Artemisia campestris* erstellt. Neben klimatischen Subtypen werden edaphisch bedingte Subtypen ausgeschieden. Deren Standorte unterscheiden sich von den rein klimatisch bedingten Subtypen insbesondere durch das Auftreten von Krustenzeigerpflanzen. Hier können Zeigerpflanzen für Kalkkrusten und für Gipskrusten unterschieden werden. Eine Ausnahme bilden die halophilen Assoziationen, die sich nicht in diese Klassifikation einordnen lassen. Auch Kulturlächen stellen im Rahmen dieser Klassifikation eine Besonderheit dar, insofern als hier neben klimatischen und edaphischen Faktoren auch die Intensität der menschlichen Eingriffe und deren erosive Folgen die Ausprägung der Subassoziationen bestimmt.

Alle heute beobachteten Pflanzengemeinschaften des Untersuchungsgebietes

sind Desertifikationstypen der Halfa-Steppe, die bereits seit Jahrtausenden intensiv durch Weidevieh verändert wurden. Als natürliche Vegetation wird ein lichter Wald mit *Pinus halepensis* und *Juniperus phoenicea* angenommen (HOUEOU, 1969), wie er im Bereich der westlichen Höhenregionen z.T. noch heute in degradiert Form auftritt. Eine Regeneration der desertifizierten Halfa-Steppe oder gar des gänzlich verschwundenen lichten Waldes ist bisher nirgends beobachtet worden.

Zur kleinräumigen Differenzierung der Steppe wurden eigene Vegetationsaufnahmen im Untersuchungsgebiet durchgeführt, die zu einer Klassifizierung der Vegetation gemäß den wechselnden klimatischen, edaphischen und anthropogen bedingten Standortfaktoren führen.

Der Steppenauptyp mit *Rhanterium suaveolens* und *Artemisia campestris* nimmt im SW des Untersuchungsraumes große Flächen ein (Abb. 8 (1)). Eingelagert in diesen Verbreitungsraum treten Subassoziationen mit *Aristida pungens* und *Rumex tinginatus* var. *lacerus* auf (Abb. 8 (3)), die bevorzugt an mobile Dünen oder Sandanwehungen mittlerer bis feiner Textur gebunden sind (LONG, 1954). Im Bereich westlich des Berglandes von Matmata repräsentiert das Aufkommen dieser Arten den Übergang zur Wüste.

Durchdrungen ist der *Rhanterium*-Haupttyp von Bereichen halophiler Vegetation, wobei schwach, mittel und stark halophile Gruppen zu unterscheiden sind. Diese Räume spielen für die vorliegende Untersuchung allerdings keine Rolle.

Wird der *Rhanterium*-Haupttyp in Kultur genommen, so dominieren in den Ersatzgesellschaften *Pituranthos tortuosus* und *Haplophyllum vermiculare* (GÜLICH, 1984).

Der *Rhanterium*-Haupttyp zeichnet den Klimagradienten durch die Dominanz verschiedener Arten nach. Im ariden Südwesten sind es *Artemisia campestris*, *Paronychia arabica*, *Atractylis flava*, *Astragalus caprinus* und *Marrubium deserti*. Im humiden Küstenbereich dominieren *Asphodelus refractus*, *Malva aegyptiaca*, *Linaria laxiflora*, *Echium trygorrhizum* und *Aristida plumosa* (Abb. 8 (4)).

Die weitere Differenzierung der Pflanzengesellschaften des Untersuchungsgebietes erfolgt bevorzugt nach edaphischen Faktoren. So tritt die in Abb. 8 als zweiter Haupttyp bezeichnete *Zygophyllum album*-Steppe, die durch eine

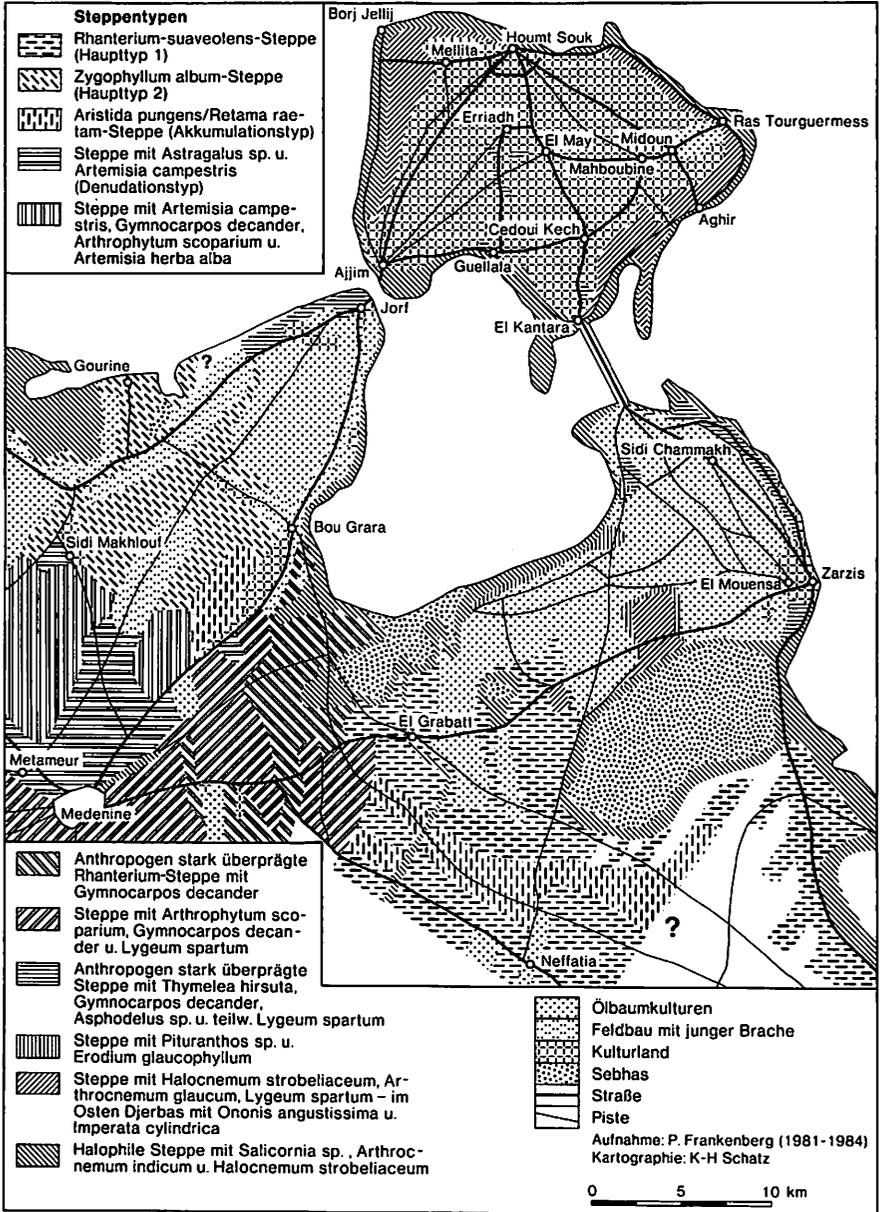


Abb. 8: Steppentypen des Untersuchungsraumes

Dominanz dieser Art im Rhanterium-Haupttyp ausgezeichnet ist, auf gipshaltigen Böden, die oft auch von Gipskrusten unterlagert werden, auf Kalkkrusten überlagernder Böden zeigen hingegen in der Rhanterium-Steppe ein Überwiegen von *Gymnocarpos decander* (Abb. 8 (7)), während eine Dominanz von *Arthrophytum scoparium* auf hellraune Halbwüstenböden hindeutet, die beim gleichzeitigen Auftreten von *Lygeum spartum* (Abb. 8 (8)) von Kalkkrusten unterlagert sind. Auf tiefgründigen alluvialen Böden mit feinsandiger Textur tritt *Astragalus caprinus*, oft mit der erhöhte Feuchtigkeit anzeigenden *Artemisia campestris* vergesellschaftet, bevorzugt in Erscheinung (Abb. 8 (5)). Schließlich ist vermehrtes Aufkommen von *Artemisia herba-alba* in Verbindung mit *Arthrophyten scoparium* var. *articulatum* und *Stipa retorta* ebenfalls auf den hellbraunen Halbwüstenböden, allerdings stets bei erhöhter Aridität, anzutreffen (Abb. 8 (6)). Im küstennahen Bereich gibt es noch kleinräumig auftretende Subtypen, die aber für diese Untersuchung nicht bedeutsam werden (Abb. 8 (9, 10)).

Drei einander überlagernde Bestimmungsfaktoren erklären qualitativ die räumliche Anordnung der Vegetationsgesellschaften:

1. Der Klimagradiant,
2. die edaphischen Gegebenheiten und
3. die Nutzungsart und Nutzungsintensität.

Diese drei Faktoren bedingen die wechselnde Dominanz bestimmter Zeigerpflanzen in der Hauptassoziation der Rhanterium-Steppe.

4. Die räumliche Varianz von Vegetation und Standortfaktoren

Die skizzierten Klima- und Bodengradienten bedingen von E nach W naturgemäß eine Varianz der Vegetation, die ihrerseits überprägt wird durch die Nutzung des Raumes. Zunächst soll diese "Phytovarianz" in ihrem räumlichen Aspekt in Abhängigkeit von ihren Einflußgrößen dargestellt werden, bevor in Kap. 5 auf die zeitliche Varianz eingegangen wird. Die Phytogeographie arider Räume kann immer nur eine raum-zeitliche sein!

Liste der Vegetationsaufnahmen
Aufnahmefläche jeweils 25 x 25 m

- 1 - 3 = Um einen stillgelegten Brunnen (1 = 1982; 2 = 1983; 3 = 1984)
- 4 + 5 = Degradierete Rhanteriumsteppe mit stehengebliebenen Horsten einer älteren Landoberfläche; diese tragen *Lygeum spartum*
- 6 = Küstensteppe bei Gourine (1984)
- 7 + 8 = *Zygophyllum album*-Steppe der HI Bou Grara
- 9 = Extr. degradierete Steppe östl. Medenine
- 10 + 12 = Rhanteriumsteppe an der Piste Bou Grara-Medenine
- 11 = Halophile Senke zwischen 11 und 12
- 13 = Küstensteppe bei Gourine (1983)
- 14 = Stark anthropogen überprägte "Brachesteppe" der HI Bou Grara
- 15 = Rhanteriumsteppe am Oued Bou-Ahmed
- 16 = Kuppe neben 1 - 3, stark sandig
- 17 = Senke neben 1 - 3, sehr hoher Deckungsgrad
- 18 = Anthropogene "Brachesteppe" 7,5 km nördl. Guellala/Djerba
- 19 = Küstensteppe bei Bordj Djellidj
- 20 + 21 = Anthropogene "Brachesteppe" bei Djorf (HI Bon Grara) (20 = 1983; 21 = 1984)
- 22 + 23 = Anthropogene "Brachesteppe" bei Er Riadh/Djerba (22 = 1983; 23 = 1984)
- 24 + 25 = Anthropogene "Brachesteppe" vor Guellala/Djerba (24 = 1983; 25 = 1984)
- 26 + 27 = Küstensteppe bei Ras Taguermess/Djerba (26 = 1983; 27 = 1984)
- 28 + 29 = Anthropogene "Brachesteppe" bei El Kantara/Djerba (28 = 1983; 29 = 1984).
- 30 = Küstensteppe bei Hassi Djerbi vor Inkulturnahme
- 31 = Küstensteppe bei Zarzis
- 32 = Außenrand von 1 - 3
- 33 = Sandsteppe an der Straße nach Ben Gardane
- 34 = Halophytensenke zwischen Zarzis und Medenine
- 35 = Vegetationsaufnahme a in der Parcelle protégée contre le sable
- 36 = Vegetationsaufnahme b in der Parcelle protégée contre le sable
- 37 = Außerhalb, auf Dünensanden
- 38 = Außerhalb, auf Kruste
- 39 = Vegetationsaufnahme c in der Parcelle protégée contre le sable
- 40 = Außerhalb, auf Sanddünen

- 41 = Außerhalb, auf Kruste
- 42 - 45 = Aufnahmen der Degra Chahabiana*
- 42 = Deflationszone Sommerweide
- 43 = Deflationszone Frühjahrsweide
- 44 = Deflationszone Dauerweide
- 45 = Erosionszone Dauerweide
- 46 = Erosionszone Frühjahrsweide
- 47 = Erosionszone Sommerweide
- 48 = Erosionszone Dauerschutz
- 49 = Akkumulationszone Dauerweide
- 50 = Überweidete Fläche nahe Streusiedlung vor Chahabiana
- 51 = Mobile Düne in Sommerweide
- 52 = Mobile Düne in Frühjahrsweide
- 53 = Mobile Düne in Dauerschutzgebiet
- 54 = Mobile Düne in Dauerweidegebiet
- 55 = Brache mit mobiler Sandauflage am Oued Bou-Ahmed
- 56 = Küstensteppe Djerba: Bordj Kastil
- 57 = Küstensteppe Djerba: östl. Ras Taguermess
- 58 + 59 = Mobile Dünen bei Ras Taguermess
- 60 = Küstensteppe bei Bordj Djellidj
- 61 = Küstensteppe bei Hassi Djerbi (siehe 30) - Verunkrautung nach
Beackerung
- 62 = Rhanteriumsteppe auf Reg (Badlandbildungen!)
- 63 = Extrem degradierte Steppe vor Medenine
- 64 = Sandkuppe - Steppe
- 65 - 67 = (1982, 83, 84): Vegetation einer Düne vor Zarzis
- 68 = Anthropogene "Brachevegetation" auf Djerba bei Tlet

* Die Vegetationsaufnahmen 42 - 55 wurden nach Aufnahmen von J. GÜLICH 1984 erstellt, die dieser für eine Diplomarbeit (Lehrstuhl Professor Lauer, Bonn) im Rahmen des Gesamtprojektes 1983 erstmals erhoben hatte.

4.1 Arealtypenspektren und Klimagradient

Geographisch relevant ist die Frage, inwieweit die drei genannten Bestimmungsfaktoren der Vegetation quantitativ das heutige Erscheinungsbild der Steppen- und Halbwüstenvegetation bestimmen.

Für den klimatischen Gradienten ergibt sich, wie die Abb. 2 - 7 zeigen, eine Meeresdistanzabhängigkeit, die eine quantitative Beschreibung der klimatischen Wirkungsgröße erleichtert. Die mit wachsender Meeresdistanz zunehmende Aridität sollte eine entsprechende Häufigkeitszunahme der an aride Bedingungen angepaßten Pflanzenarten induzieren. Edaphische und anthropogene Faktoren sollten diese generelle Tendenz zwar überprägen, tendenziell jedoch nicht wesentlich ändern.

Die quantitative Bestimmung der in Abb. 8 nur qualitativ erfaßten Zusammenhänge erfordert eine detaillierte Vegetationsaufnahme. Diese erfolgte in den Jahren 1982 - 84 auf 68 ausgewählten 25 x 25 m großen Aufnahmeflächen. Sie wurden so ausgesucht, daß alle drei genannten Bestimmungsfaktoren entlang den beiden E - W gerichteten Profillinien (Abb. 9) mit wechselndem Gewicht die Vegetationszusammensetzung bestimmten.

Die aufgenommenen Arten wurden nach ihren Individuenzahlen entsprechend ihrer Repräsentanz an den Standorten gewichtet. Überdies wurde die Artmächtigkeit nach BRAUN-BLANQUET bestimmt. Insgesamt wurden 162 Arten erfaßt und ihre Repräsentanz an den einzelnen Aufnahmeflächen ausgewiesen.

Entlang dem ersten Profil wurden 31, entlang dem zweiten Profil 29 Standorte für die folgenden Analysen ausgewählt. Zur quantitativen Erfassung des klimatisch induzierten Einflusses wurden die 141 Pflanzenarten nach Geoelementen gruppiert. Die Geoelemente repräsentieren Arealtypen unterschiedlichen Feuchteanspruchs. Daher sollten die Häufigkeitsdominanzen der Arealtypen entlang dem W - E - Feuchtegradienten von humideren zu arideren Geoelementen verlagert werden. Es wurden fünf Geoelemente unterschieden: das mediterrane Geoelement (A), das mediterran-saharische Geoelement (AS), das saharo-arabische Geoelement (S), das pluri-regionale Geoelement (P) und das tropisch-saharische Geoelement (TS). Diese Geoelemente können entsprechend ihren Verbreitungsschwerpunkten eindeutig voneinander unterschieden werden (FRANKENBERG, 1978).

Für jeden der 68 Standorte wurde ein Arealtypenspektrum berechnet (Tab. 1). Dabei wurden die Artenzahlen entsprechend ihrer Artmächtigkeit gemäß dem

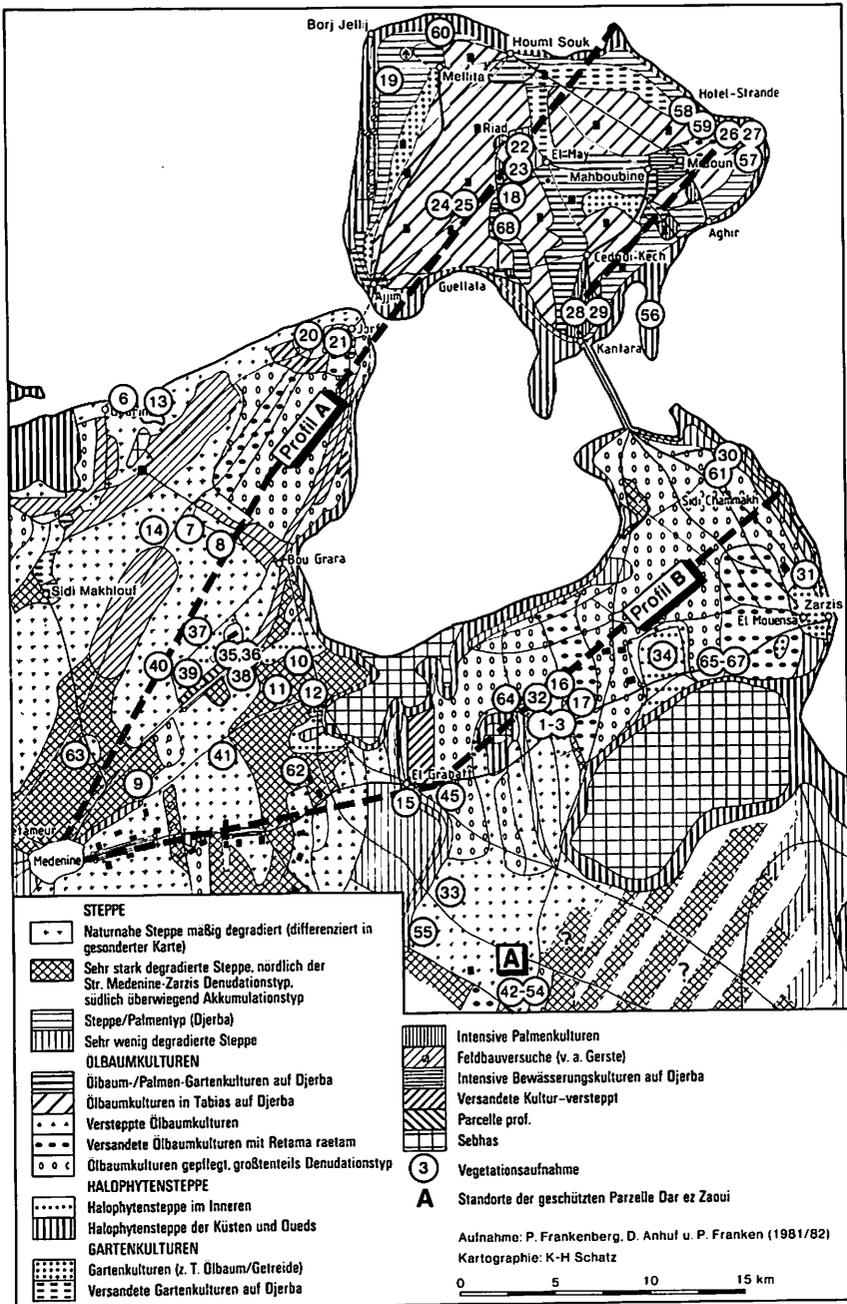


Abb. 9: Lage der 25 x 25 m großen Aufnahmeflächen der Vegetation entlang von Profil A und Profil B.

Tab. 1: Arealtypenspektrenanteile der 68 Standorte im Untersuchungsraum Südosttunesien (Prozentwerte)

	A = Mediterranes Geoelement AS = Mediterran-saharisches Geoelement S = Saharo-arabisches Geoelement P = Pluriregionales Geoelement TS = Tropisch-saharisches Geoelement				
	A	AS	S	P	TS
1	17,6	64,7	11,8	5,9	0,0
2	5,6	77,8	11,1	5,6	0,0
3	37,5	43,8	12,5	6,3	0,0
4	10,0	35,0	15,0	40,0	0,0
5	7,1	57,1	14,3	21,4	0,0
6	18,2	22,7	13,6	45,6	0,0
7	28,6	61,9	9,5	0,0	0,0
8	40,7	51,9	7,4	0,0	0,0
9	0,0	100,0	0,0	0,0	0,0
10	45,5	18,2	18,2	18,2	0,0
11	14,8	63,0	0,0	22,2	0,0
12	10,0	10,0	50,0	30,0	0,0
13	58,3	41,7	0,0	0,0	0,0
14	21,4	35,7	21,4	21,4	0,0
15	26,7	26,7	20,0	26,7	0,0
16	50,0	25,0	12,5	12,5	0,0
17	15,8	57,9	26,3	0,0	0,0
18	18,8	43,8	37,5	0,0	0,0
19	50,0	0,0	16,7	33,3	0,0
20	35,5	38,7	12,9	12,9	0,0
21	33,3	30,0	16,7	20,0	0,0
22	29,3	41,5	4,9	24,4	0,0
23	9,5	38,1	9,5	42,8	0,0
24	22,8	48,6	2,9	25,7	0,0
25	14,3	53,6	3,6	28,6	0,0
26	37,5	18,8	0,0	43,8	0,0
27	41,7	8,3	0,0	50,0	0,0
28	32,3	35,5	0,0	32,3	0,0
29	27,6	31,0	0,0	41,4	0,0

	A	AS	S	P	TS
30	31,3	46,9	9,4	12,5	0,0
31	43,5	34,8	13,0	8,7	0,0
32	15,8	52,6	31,6	0,0	0,0
33	0,0	50,0	50,0	0,0	0,0
34	21,4	28,5	0,0	50,0	0,0
35	33,3	22,2	20,6	19,0	4,8
36	37,8	24,3	16,2	16,2	5,4
37	0,0	22,2	77,8	0,0	0,0
38	25,0	75,0	0,0	0,0	0,0
39	23,3	40,0	20,0	13,3	3,3
40	27,3	18,2	27,3	27,3	0,0
41	5,0	50,0	10,0	35,0	0,0
42	25,0	50,0	15,9	9,1	0,0
43	29,6	38,9	22,2	9,3	0,0
44	31,5	40,8	9,3	18,5	0,0
45	15,2	51,5	12,1	12,1	9,1
46	32,1	50,0	10,7	7,1	0,0
47	32,6	51,2	7,0	9,3	0,0
48	38,0	40,0	12,0	10,0	0,0
49	12,5	56,3	9,4	15,6	6,3
50	45,1	37,3	11,8	5,9	0,0
51	17,6	58,8	23,5	0,0	0,0
52	18,8	50,0	31,3	0,0	0,0
53	20,5	53,8	12,8	12,8	0,0
54	0,0	22,2	77,8	0,0	0,0
55	9,4	50,0	18,8	9,4	12,5
56	60,0	20,0	1,7	18,3	0,0
57	46,3	22,2	3,7	27,8	0,0
58	36,4	27,3	0,0	0,0	36,4
59	33,3	41,7	0,0	16,7	8,3
60	62,2	18,9	5,4	13,5	0,0
61	28,1	34,4	12,5	25,0	0,0
62	29,4	47,1	17,6	5,9	0,0
63	20,0	20,0	0,0	60,0	0,0
64	62,5	37,5	0,0	0,0	0,0
65-66	0,0	0,0	14,2	85,8	0,0
67					
68	8,3	41,7	0,0	50,0	0,0

Verfahren von BRAUN-BLANQUET gewichtet. Tendenziell sollten von Osten nach Westen die relativen Anteile mediterraner Arten an den Arealtypenspektren ab- und die saharischer Arten entsprechend zunehmen. Dabei ist immer zu bedenken, daß sich entlang der Profile auch andere Standortfaktoren ändern, und zu einer nicht unerheblichen Überformung der klimatisch ausgelösten Änderungstendenzen führen können.

Zur Bestimmung des phytogeographischen Gradienten sind lineare Regressions- und Korrelationsrechnungen für die Beziehung zwischen den relativen Arealtypenspektrenanteilen und der Meeresdistanz bei beiden Profilen durchgeführt worden.

Der verwandte Pearson'sche Korrelationskoeffizient setzt zur Signifikanzprüfung eine normalverteilte Struktur der Daten voraus. Diese ist für alle Geoelemente außer dem saharischen gesichert. Im letzteren Fall wurden verteilungsfreie Testverfahren eingesetzt.

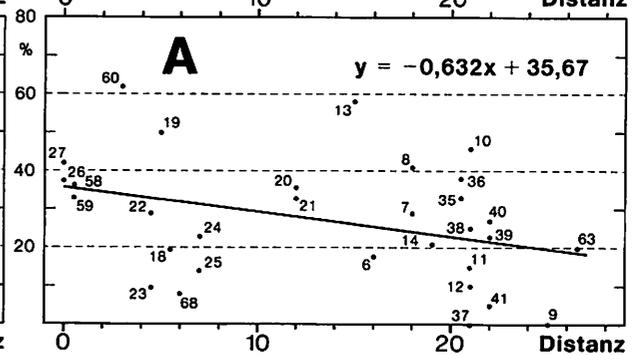
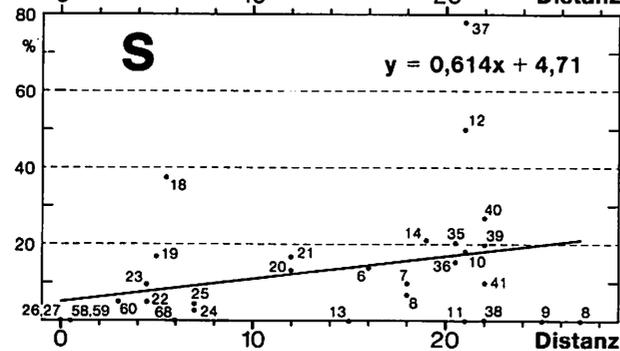
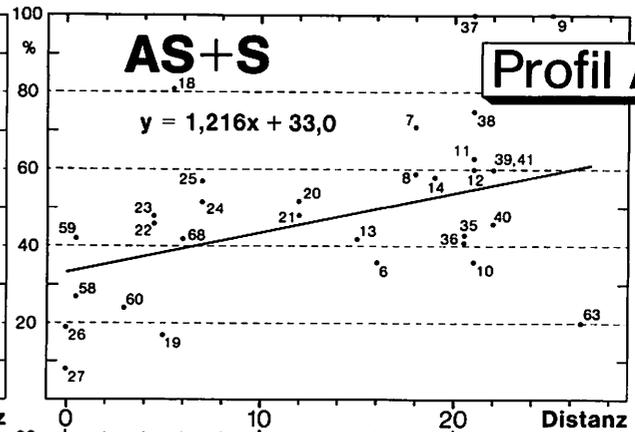
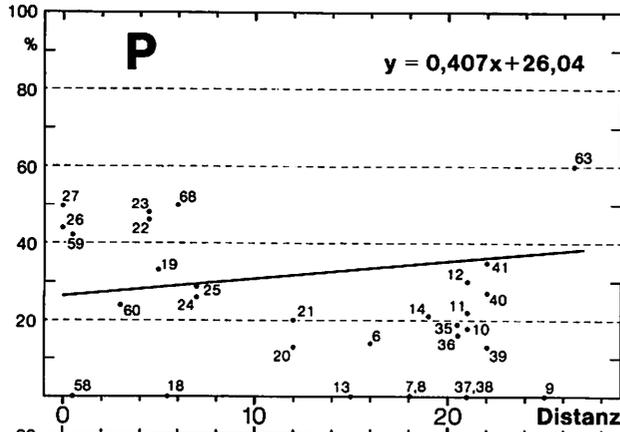
Die Mittelwerte und Streuungen der Geoelemente beider Profile unterscheiden sich lediglich hinsichtlich der Summe AS + S wesentlich. Diese Geoelementgruppe ist entlang dem arideren Südprofil B stärker vertreten.

Die Ergebnisse der Korrelationsrechnung sind in Tab. 2 zusammengefaßt. Tendenziell ist eine landeinwärtige Abnahme der mediterranen und eine landeinwärtige Zunahme der saharischen Arten signifikant nachzuweisen. Für die pluri-regionalen Arten besteht ein solcher signifikanter Zusammenhang nicht, wenn auch hier mit wachsender Meeresdistanz generell eine Abnahme dieses Artenanteils am Spektrum zu belegen ist.

Entlang dem Profil B, welches durch den arideren Teil des Untersuchungsgebietes führt, sind alle Beziehungen eindeutiger nachweisbar. Entsprechend steiler verlaufen die Regressionsgeraden in Abb. 10. Besonders hingewiesen sei (Profil B) auf den Zusammenhang zwischen Meeresdistanz und dem Anteil der saharischen Arten im weiteren Sinne am Spektrum (AS + S). 50 % der Gesamtvarianz werden in diesem Falle durch den Klimagradienten erklärt, dessen landeingerichtete systematische Änderung schon nachgewiesen wurde. Keine Verschlechterung der Signifikanz des korrelativen Zusammenhanges ergibt sich, wenn man an Stelle der streng linear wachsenden Meeresdistanz die ebenfalls linear landeinwärts abnehmenden jährlichen Niederschlagssummen oder andere landeinwärts ab- bzw. zunehmenden Klimawerte bei der Korre-

Tab. 2: Korrelative Zusammenhänge zwischen Meeresdistanz und den prozentualen Geoelementanteilen. A: Mediterranes Geoelement; S: Saharisches Geoelement; AS + S: Saharische Arten im weiteren Sinne; P: Pluriregionale Arten;

	Profil A			Profil B		
	r	c	x	r	c	x
A	- 0,34 (5,6 %)	35,0	-0,63	- 0,60 (0,07 %)	42,0	- 1,2
S	0,31 (8,8 %)	4,7	0,61	0,52 (0,3 %)	0,8	1,2
AS + S	0,48 (0,6 %)	32,9	1,2	0,70 (0,0001 %)	23,2	2,1
P	-0,20 (26,0 %)	26,0	- 0,4	- 0,27 (15,0 %)	28,7	- 0,65



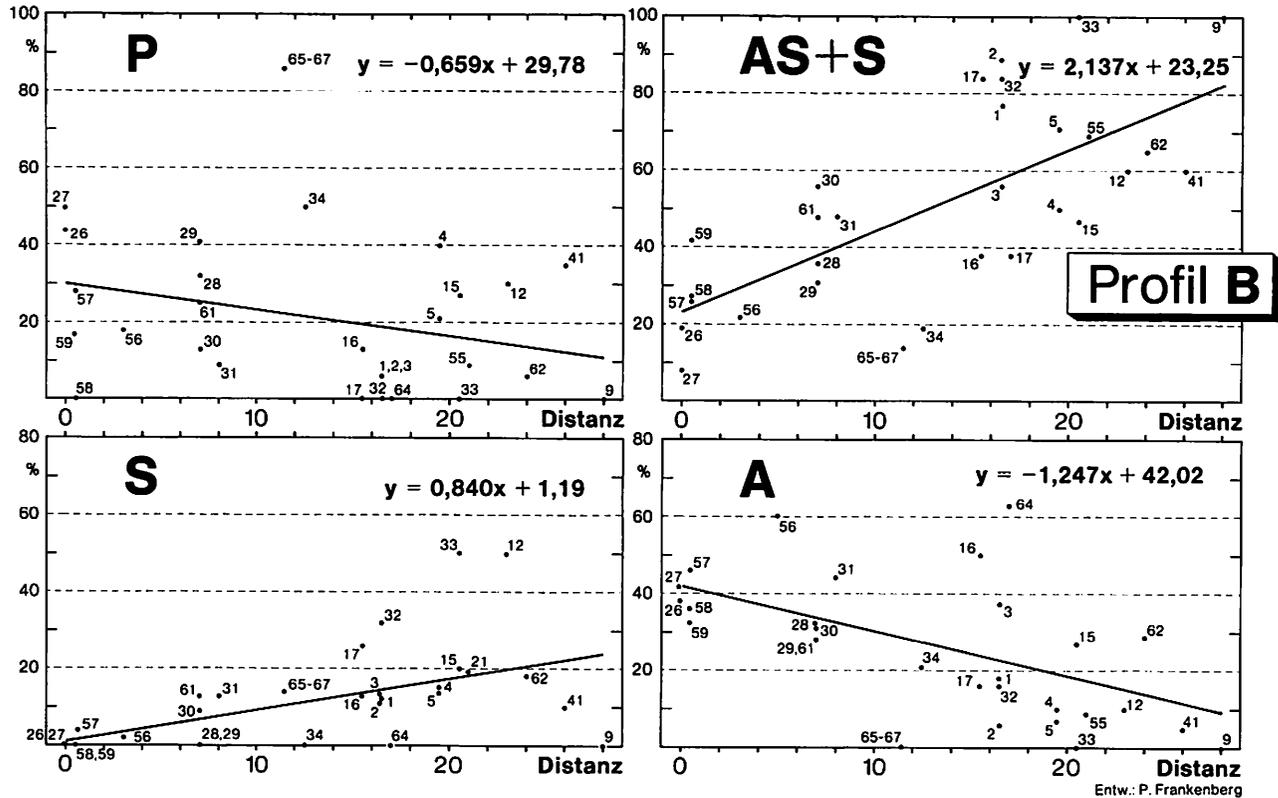


Abb. 10: Lineare Beziehungen zwischen Meeressdistanz und Goelementanteilen entlang der Profile A (oben) und B (unten).

lationsrechnung berücksichtigt.

Der verteilungsunabhängige Rangkorrelationskoeffizient wurde ebenfalls bestimmt. Für alle Beziehungen erreicht er ein ähnlich hohes Signifikanzniveau, wie es in Tab. 2 ausgewiesen ist. Die nicht-normalverteilte Struktur des saharischen Goelementes hat also wenig Einfluß auf die Signifikanzabschätzung.

Diese statistischen Zusammenhänge stellen an sich noch keine Ursachenklärung dar. Da aber alle Goelementanteile in ihrem Raumverhalten genau der Hypothese einer klimaabhängigen Änderung entsprechen, darf mit hoher Sicherheit davon ausgegangen werden, daß die Variation der Klimaelemente auch kleinräumig einen bedeutsamen Einfluß auf die Vegetationszusammensetzung nimmt. Die großräumig gewonnene Erkenntnis über den Zusammenhang zwischen Klima und Artenspektrum (vgl. FRANKENBERG, 1978) bestätigt sich also kleinräumig mit überraschender Signifikanz. Speziell für das saharische Goelement erfolgt eine maximale Varianzerklärung von 50 %. Dementsprechend nehmen im Bereich des Profils B die beiden verbleibenden Bestimmungsgrößen einzeln genommen einen bedeutend geringeren Einfluß auf die Vegetationszusammensetzung, als die Klimagröße.

4.1.1 Arealtypenspektren in Abhängigkeit von edaphischen Faktoren

Abweichungen (Residuen) von den vorgestellten Gradientmodellen müssen durch andere Einflußgrößen bedingt sein. Die beiden sichersten korrelativen Beziehungen ergaben sich für die saharischen Arten im weiteren Sinne (S + AS) der Profile A und B. Die Residuen des errechneten Regressionsmodells sind für das Profil A in Abb. 11 dargestellt. Überzufällige Abweichungen vom Regressionsmodell liegen dann vor, wenn die Residuenwerte den Schwellenwert einer Standardabweichung überschreiten. Nur solche Werte sollen im folgenden interpretiert werden. Entlang von Profil A zeigen die Standorte 18, 37 und 9 besonders markante positive Residuen. Standort 18 ist ein stark degradiertes Standort mit anstehender Kruste auf Djerba, ähnliches gilt für Standort 9. Standort 37 ist durch mobile Dünen sande charakterisiert. Es sind dies also Standorte anthropogen induzierter extremer Bodenerosion bzw. Sandakkumulation. Beide Typen kennzeichnet eine Überrepräsentanz saharischer Spezies, die durch die positiven Residuen zum Ausdruck kommt.

Signifikant negative Residuen treten entlang Profil A an den Standorten 27, 19, 10 und 63 in Erscheinung. Die ersten beiden Standorte gehören zur Küstensteppe mit gut entwickeltem Halbwüstenboden. Der dritte Standort ist vom Milieu her

den Erosionsstandorten positiver Residuen ähnlich. Auf kleinen Feinmaterialinseln sind hier allerdings mediterrane Therophyten aufgekommen, die die relativen Anteile saharischer Arten reduzieren. Der Standort 63 liegt im Siedlungsbereich von Medenine und ist durch einen überdurchschnittlich hohen Anteil pluriregionaler Unkräuter ausgezeichnet.

Positive Abweichungen, die eine Überrepräsentanz saharischer Arten ausweisen, treten also dort auf, wo die edaphischen Bedingungen durch Denudation gekennzeichnet sind, negative Abweichungen dort, wo kleinräumig Feinsandakkumulationen zu beobachten sind oder infolge von Siedlungen pluriregionale

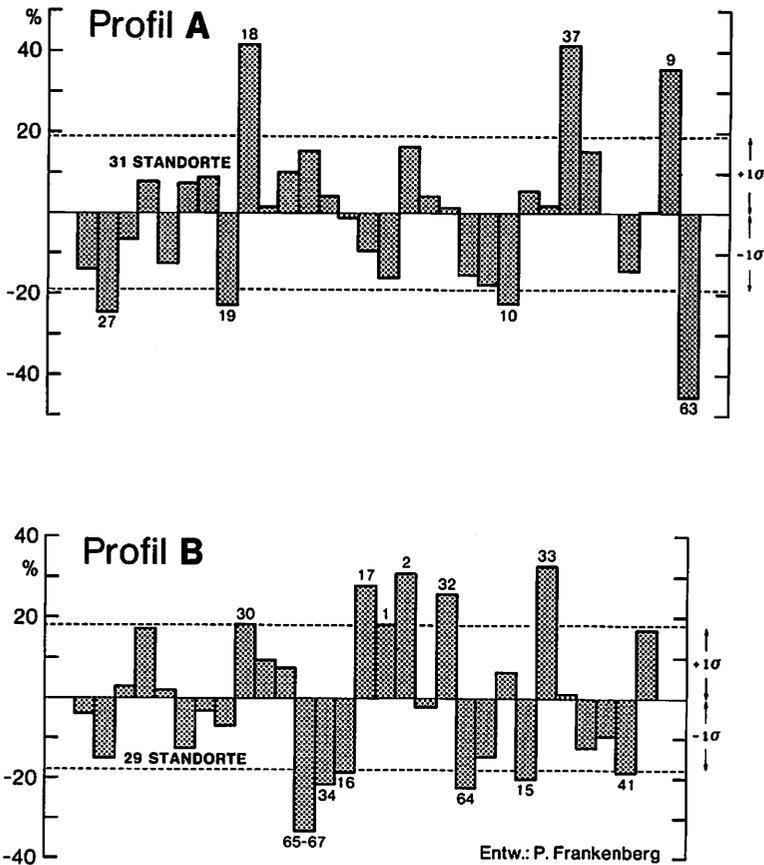


Abb. 11: Residuen der Regressionsmodelle zwischen Meeressdistanz und den relativen Anteilen der Arealtypen S + AS für Profil A (oben) und Profil B (unten).

Arten eingeschleppt wurden. Ähnliche Zusammenhänge lassen sich für Profil B nachweisen. Eine Verschlechterung des edaphischen Faktors führt auch hier, gegenüber der mittleren klimatisch bedingten Tendenz, die durch das Regressionsmodell ausgewiesen ist, zur Überrepräsentanz der saharischen Arten. Eine Verbesserung der Bodenbedingungen durch Sandauflage ist mit einer Zunahme nicht-saharischer Arten verbunden, deren Konkurrenz um Wasser die saharischen Arten offensichtlich bei guten edaphischen Bedingungen nicht bestehen. Dadurch geht der relative Anteil der saharischen Arten an der Gesamtartenzahl gegenüber den mittleren, klimatisch induzierten Bedingungen zurück. Bei schlechten Bodenbedingungen können die saharischen Arten aber auch durch vom Menschen eingeschleppte Arten verdrängt werden.

Diese aus den qualitativen Standortbeschreibungen gewonnenen Erkenntnisse können quantitativ abgesichert werden, indem die Bodenfeuchtwerte der Standorte in eine korrelative Beziehung zu den Arealtypenspektrenanteilen gesetzt werden. Dabei ist allerdings zu berücksichtigen, daß die Vegetationsaufnahmen auf 25 x 25 m großen Flächen erfolgten, die Bodenfeuchtwerte hingegen nur an einem oder maximal an vier Punkten im Bereich dieser Areale erhoben wurden. Die Repräsentanz der Bodenfeuchtwerte ist demnach für das Gesamtareal sehr begrenzt. Durch Auswahl von Mulden-, Hang- und Kuppenmeßstandorten wurde versucht, die Repräsentanz zu verbessern.

Eine Korrelationsanalyse zwischen den wenigen, für das jeweilige Gesamtareal als repräsentativ angenommenen Bodenfeuchtwerten und den relativen Anteilen der Geoelemente führt zu den Ergebnissen, die in Tab. 3 zusammengestellt sind. Es wäre im Idealfall zu erwarten, daß entsprechend den Beziehungen zu den Klimagradierten, zwischen den relativen Anteilen der mediterranen sowie pluriregionalen Geoelemente und den Bodenfeuchtwerten eine positive, zwischen den relativen Anteilen der saharischen Arten und den Bodenfeuchtwerten hingegen eine negative Beziehung besteht. Diese Annahme wird durch die Ergebnisse nicht bestätigt.

Die pluriregionalen und mediterranen Arten zeigen keinerlei eindeutige Abhängigkeit von den Bodenfeuchtwerten, bei den saharischen Arten (S und AS + S) dominieren, wenn auch nicht signifikant, negative Vorzeichen. Mit einer Zunahme der Bodenfeuchte ist also tendenziell eine Abnahme der relativen Anteile dieser Geoelemente verbunden. Die Nichteindeutigkeit und die Nichtsignifikanz der Ergebnisse bestätigt, daß sehr kleinräumige Gegebenheiten

Tab. 3: Korrelative Beziehungen zwischen den Bodenfeuchtwerten und den Arealtypenspektrenanteilen;
R: Korrelationskoeffizient; %: Irrtumswahrscheinlichkeit.

Goelement		A		S		AS + S		P	
		R	%	R	%	R	%	R	%
Profil A	10 cm	- 0,26	26,3	- 0,31	16,6	- 0,12	59,9	0,39	7,87
	20 cm	- 0,38	8,2	- 0,26	25,3	0,11	61,2	0,33	14,4
	50 cm	- 0,19	39,8	- 0,10	72,1	0,31	16,4	- 0,01	97,8
Profil B	10 cm	0,51	3,6	- 0,26	30,6	- 0,37	13,4	- 0,02	93,3
	20 cm	0,001	99,7	- 0,26	31,3	- 0,22	39,7	0,21	40,1
	50 cm	- 0,26	29,9	- 0,12	64,5	- 0,24	34,4	0,45	7,1

ten den Artenbesatz bestimmen.

Die Bodenfeuchtwerte konnten bis 50 cm naturgemäß nur in Bereichen mit Feinmaterialauflage bestimmt werden. Diese Standorte sind aber infolge der kleinräumigen Differenzierung, die selbst in einem 25 x 25 m Areal nachzuweisen ist, nur für kleine Ausschnitte der Aufnahmefläche repräsentativ. Bezieht man in die Analyse nur solche Aufnahmeareale ein, die durchgängig Feinmaterialauflagen tragen, so entsprechen die Vorzeichen der korrelativen Beziehungen ausnahmslos der Erwartung, die Signifikanz ist aber auch dann nur teilweise gesichert. Dieses Verfahren ist allerdings fragwürdig, weil die Zahl der korrelierten Paare, die diesen einschränkenden Voraussetzungen genügen, sehr gering ist.

Entlang Profil B erfolgte die Auswahl der Aufnahmeflächen stärker unter Berücksichtigung der Repräsentanz der Bodenfeuchtwerte als in Profil A. Mit Ausnahme der pluriregionalen Arten wird hier wenigstens vom Vorzeichen her die Erwartung bestätigt. Die außertropischen-mediterranen Arten nehmen sogar signifikant im 10 cm Niveau mit wachsender Bodenfeuchte zu. Die Bodenfeuchte in den tieferen Horizonten scheint generell eine geringere oder keine Rolle für den Artenbesatz zu spielen, obwohl nur in diesem Horizont durchgängig pflanzenverfügbares Wasser vorhanden ist. Dies könnte auf die vorherrschende Wurzeltiefe der Pflanzen hindeuten. In Abb. 7 b wurde für die Bodenfeuchtwerte der Muldenstandorte gezeigt, daß der Klimagradiant in dem 10 cm Horizont deutlich ausgeprägt ist. Dieser Zusammenhang spiegelt sich nunmehr mittelbar in der korrelativen Beziehung zwischen den außertropischen Geoelementen und den Feuchtwerten wider.

Auf der Grundlage der ca. 500 Bodenfeuchtemessungen, die im Rahmen dieser Arbeit in den verschiedenen Bodenhorizonten durchgeführt wurden, lassen sich also keine eindeutigen Beziehungen zwischen Artenzusammensetzung und Bodenfeuchtegehalt herleiten. Methodisch ist es schwierig, das Problem der Repräsentanz zu lösen, da zur Arealspektrenbestimmung ein Areal der Mindestgröße von 25 x 25 m notwendig ist, bei dieser Flächengröße aber infolge der kleinräumigen Differenzierung der Standortfaktoren im Untersuchungsgebiet nur in Ausnahmefällen Repräsentanz der Bodenfeuchtwerte zu erreichen ist.

In diesem Zusammenhang ist es von Interesse, daß die Individuenzahlen von 22, nach Aspekten der Repräsentanz der Bodenfeuchtwerte ausgewählten

und in W-E-Richtung angeordneten, 25 x 25 m Aufnahme­flächen signifikant mit den Bodenfeuchtwerten aller Horizonte korreliert. 33 % der Gesamtvarianz werden durch die Bodenfeuchte im 10 cm-Niveau, 25 % im 20 cm- und 17 % im 50 cm-Niveau erklärt. Ein verteilungsfreier Test bestätigt diese mit dem Korrelationskoeffizienten nach Pearson gewonnenen Ergebnisse. Für die gleichen 22 Standorte werden zwar die Erwartungen hinsichtlich der Geoelementzusammensetzung in Abhängigkeit zur Bodenfeuchte bestätigt, die Beziehungen sind aber nur für das 10 cm-Niveau signifikant, für die übrigen Niveaus hingegen nicht überzufällig. Die Individuenzahl, die nach Braun-Blanquet in enger Beziehung zum Deckungsgrad steht, reagiert in linearer Weise signifikant auf Änderungen der Bodenfeuchte. Damit kann für den Raum auf Grund der Bodenfeuchtwerte am Ende der Regenzeit näherungsweise auf die Individuenzahl geschlossen werden. So entspricht beispielweise einem Bodenfeuchtwert um 8 % auf Sandböden eine Individuenzahl von ca. 4.175 auf einer Fläche von 25 x 25 m.

Die Artenzusammensetzung reagiert in einer komplexeren Form auf Änderungen des Bodenfeuchtegehaltes als die Individuenzahl. Hier spielt die Konkurrenz um Wasser und Nährstoffe sowie die Samenverfügbarkeit eine größere Rolle für den Artenbestand als die Bodenfeuchte. Die schwachen Korrelationen zwischen Artenzusammensetzung (relativer Geoelementanteil) und den Bodenfeuchtwerten machen aber in Verbindung mit der signifikanten Beziehung zwischen Individuenzahl und Bodenfeuchte deutlich, daß jede Form von Bodenzerstörung, die zur Minderung des Bodenfeuchtegehaltes führt, eine Abnahme der Individuenzahl bedingt und tendenziell eine Verschiebung im Artenspektrum auslöst, die als Begünstigung der saharischen Arten im weitesten Sinne zu beschreiben ist. Diese generelle Tendenz gilt an Standorten in Siedlungsnähe nur begrenzt, da hier vom Menschen eingeschleppte pluriregionale Arten konkurrierend auftreten.

4.2 Lebensformenspektren und Klimagradient

Es konnten bereits großräumige Zusammenhänge zwischen Klimaparametern und den relativen Anteilen bestimmter Lebensformen am gesamten Lebensformenspektrum hergeleitet werden (FRANKENBERG, 1979; FRANKENBERG u. RICHTER, 1981). Zunehmende Aridität führt nach diesen Analysen zu einer Erhöhung der relativen Anteile der Chamaephyten, während sich die Zahl der Hemikryptophyten vermindert. Phanerophyten und Therophyten zeigten bei den bisherigen Untersuchungen keine einfache Beziehung zu

den Klimaparametern.

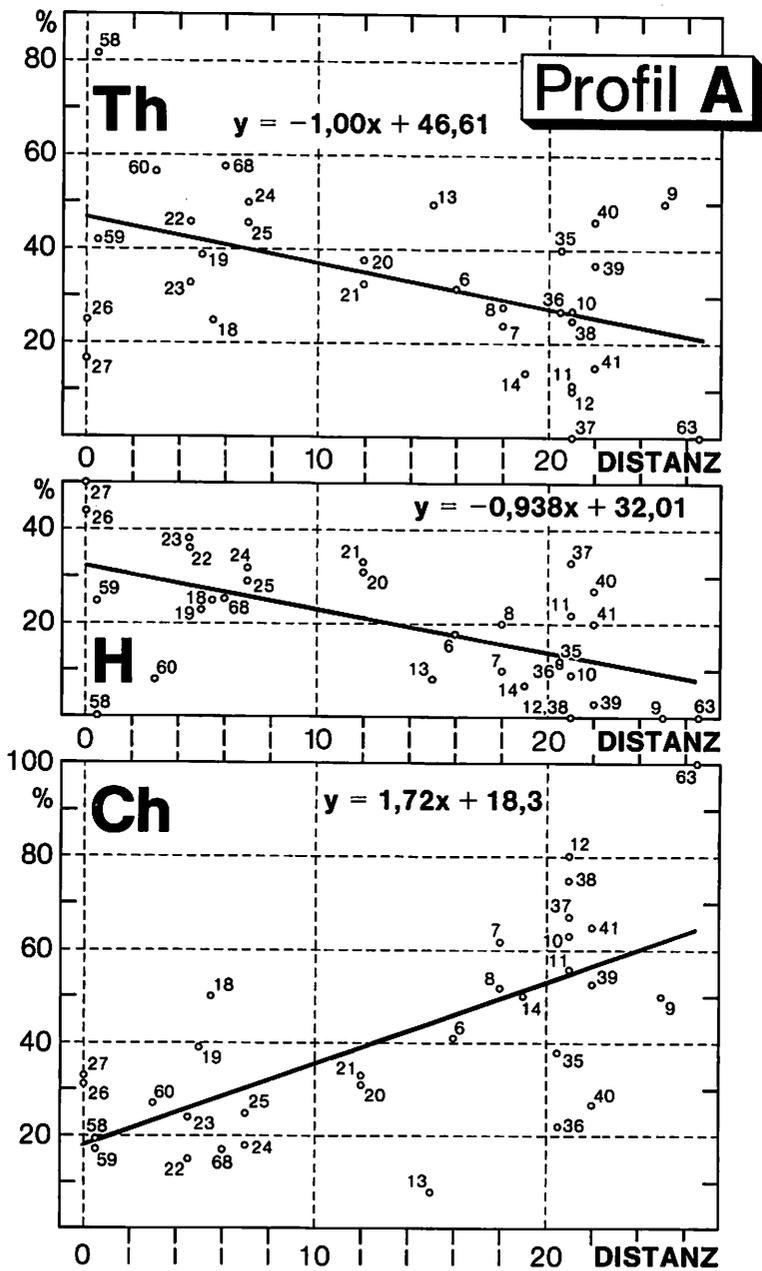
Zur kleinräumigen Überprüfung dieser großräumig erwiesenen Zusammenhänge wurden für die 68 25 x 25 m großen Aufnahmeareale die Lebensformenspektren (n. Raunkiaer) ermittelt. Folgende Lebensformen wurden unterschieden: Phanerophyten, Chamaephyten, Hemikryptophyten und Therophyten. Geophyten wurden den Hemikryptophyten zugerechnet. Die einzelnen Lebensformenspektren wurden unter Berücksichtigung der Artmächtigkeit der an den Standorten vertretenen Spezies berechnet. Jedes Lebensformenspektrum gibt danach die relativen Anteile der Artmächtigkeitssummen der einzelnen Lebensformen an der jeweiligen Gesamtsumme der Artmächtigkeit des betreffenden Standortes wieder (Tab. 4). Eine Durchsicht der Lebensformenspektren der Standorte entlang der Profile A und B macht deutlich, daß kein Phanerophytengradient besteht. Phanerophyten erreichen die höchsten relativen Anteile an den Lebensformenspektren an einzelnen Küstenstandorten sowie in geschützten Steppenbereichen. Die Phanerophyten sollen daher bei der weiteren Analyse der Lebensformenspektren unberücksichtigt bleiben.

Die berücksichtigten Lebensformenspektrenanteile sind in Abb. 12 für alle Standorte angegeben. Es wurden lineare Regressionen der relativen Anteile der Chamaephyten, Hemikryptophyten und Therophyten an den einzelnen Standorten entlang der Profile A und B in Abhängigkeit von der Ost-West-Distanz dieser Standorte berechnet. Die Signifikanz der korrelativen Beziehungen und die Ähnlichkeit der Regressionskoeffizienten für beide Profile sind angesichts der vorhandenen anthropogenen und edaphischen Störungen erstaunlich (Tab. 5). Für Profil A sind alle drei errechneten Lebensformengradienten statistisch hochsignifikant. Die Irrtumswahrscheinlichkeit unterschreitet 1 %. Die relativen Anteile der Chamaephyten nehmen von Osten nach Westen deutlich zu, die der Hemikryptophyten und der Therophyten ebenso markant ab. Die Distanz erklärt 45,3 % der Ost-West-Varianz der Lebensformenspektrenanteile der Chamaephyten, 32,6 % der entsprechenden Anteile der Hemikryptophyten und 23,3 % der Varianz der relativen Anteile der Therophyten an den Lebensformenspektren entlang von Profil A (vgl. Tab. 5). Die Hypothese von Ost nach West zunehmender relativer Anteile der Chamaephyten und zurückgehender Anteile der Hemikryptophyten an den Lebensformenspektren kann also für Profil A voll bestätigt werden. Ein signifikanter negativer Therophyten-Gradient kann zusätzlich nachgewiesen werden.

Die in Abb. 12 a dargestellten Regressionsgeraden für die Beziehungen

Tab. 4: Lebensformenspektrenanteile der 68 Standorte im
Untersuchungsraum Südosttunesien (Prozentwerte)

Ph = Phanerophyten H = Hemikryptophyten					Ch = Chamaephyten Th = Therophyten				
	Ph	Ch	H	Th		Ph	Ch	H	Th
1	5,3	52,6	21,1	21,1	34	21,4	57,1	21,4	0,0
2	0,0	77,8	5,6	16,7	35	11,7	36,7	11,7	40,0
3	5,3	42,1	21,1	31,6	36	40,5	21,6	10,8	27,0
4	0,0	65,0	5,0	30,0	37	0,0	66,7	33,3	0,0
5	0,0	85,7	7,1	7,1	38	0,0	75,0	0,0	25,0
6	9,1	40,9	18,2	31,8	39	6,7	53,3	3,3	36,7
7	4,8	61,9	9,5	23,8	40	0,0	27,3	27,3	45,5
8	0,0	52,0	20,0	28,0	41	0,0	65,0	20,0	15,0
9	0,0	50,0	0,0	50,0	42	0,0	36,4	27,3	36,4
10	0,0	63,3	9,1	27,3	43	0,0	37,7	32,1	30,2
11	11,1	55,6	22,2	11,1	44	0,0	34,5	21,8	43,6
12	10,0	80,0	0,0	10,0	45	0,0	30,3	27,3	42,4
13	33,3	8,3	8,3	50,0	46	0,0	35,7	28,6	35,7
14	28,6	50,0	7,1	14,3	47	0,0	41,9	32,6	25,6
15	13,3	73,3	0,0	13,3	48	0,0	40,0	24,0	36,0
16	0,0	100,0	0,0	0,0	49	0,0	34,4	25,0	40,6
17	0,0	68,4	0,0	31,6	50	0,0	30,0	22,0	48,0
18	0,0	50,0	25,0	25,0	51	0,0	52,9	17,6	29,4
19	0,0	38,5	23,1	38,5	52	0,0	37,5	31,3	31,3
20	0,0	31,3	31,3	37,5	53	0,0	35,9	23,1	41,0
21	0,0	33,3	33,3	33,3	54	0,0	44,4	33,3	22,2
22	2,4	14,6	36,6	46,3	55	0,0	26,7	20,0	53,3
23	4,8	23,8	38,1	33,3	56	2,0	20,4	30,6	46,9
24	0,0	17,6	32,4	50,0	57	0,0	24,1	40,7	35,2
25	0,0	25,0	28,6	46,4	58	0,0	18,2	0,0	81,8
26	0,0	31,3	43,8	25,0	59	16,7	16,7	25,0	41,7
27	0,0	33,3	50,0	16,7	60	8,1	27,0	8,1	56,8
28	3,2	22,6	38,7	35,5	61	3,1	43,8	25,0	28,1
29	3,4	24,1	34,5	37,9	62	5,9	41,2	11,8	41,2
30	6,3	50,0	21,9	21,9	63	0,0	100,0	0,0	0,0
31	4,3	69,6	8,7	17,4	64	0,0	25,0	0,0	75,0
32	0,0	89,5	0,0	10,5	65-67	0,0	100,0	0,0	0,0
33	0,0	80,0	20,0	0,0	68	0,0	16,7	25,0	58,3



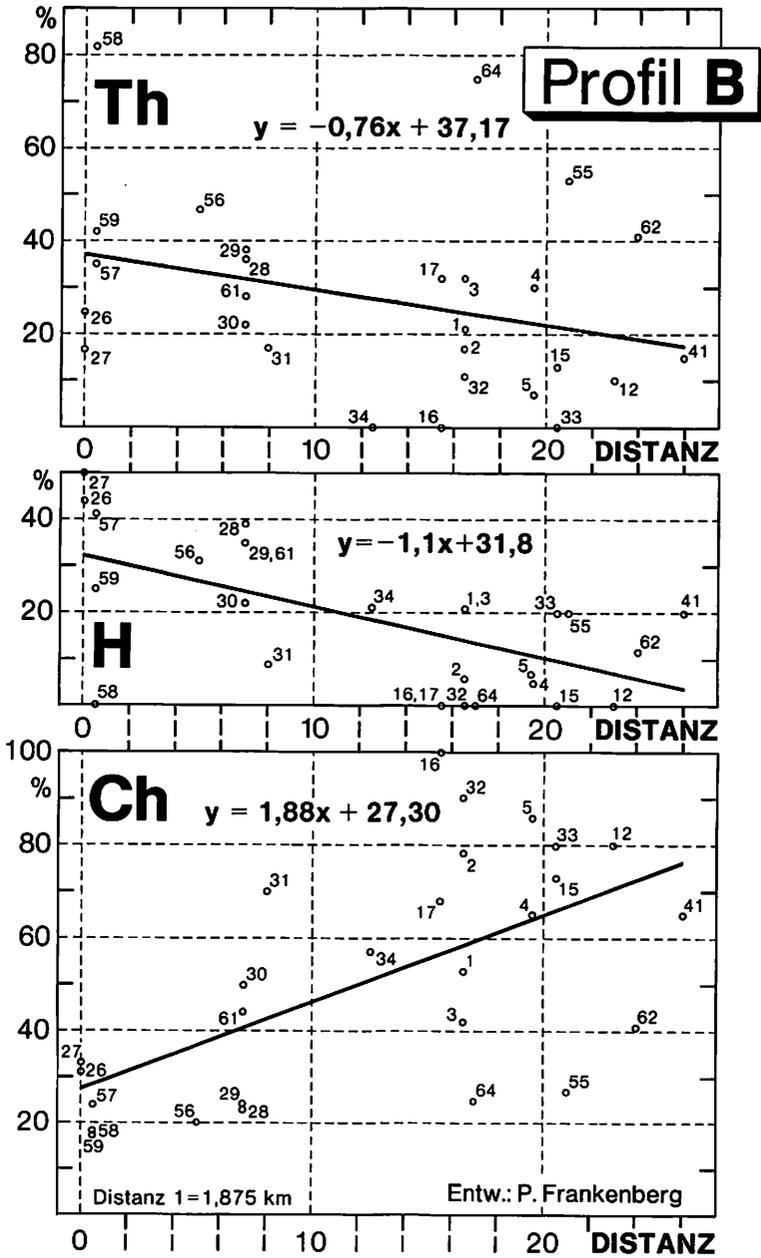


Abb. 12: Beziehungen zwischen den Lebensformenspektrenanteilen von Thero-
phyten, Hemikryptophyten und Chamaephyten und der Ost-West-Stand-
ortdistanz für das Profil A (links) und B (rechts).

Tab. 5: Regressionsgleichungen und Korrelationskoeffizienten für die Beziehungen zwischen den Lebensformenanteilen und der Meeresdistanz (Klimagradient)

Lebensform		Regressionsgleichung	R	IW	Varianzerklärung	N
Profil A	Chamaephyten	$y = 18,3 + 1,7x$	0,673	1 %	45,3 %	31
	Hemikryptophyten	$y = 32,0 - 0,9x$	- 0,571	1 %	32,6 %	31
	Therophyten	$y = 46,6 - 1,0x$	- 0,48	1 %	23,3 %	31
Profil B	Chamaephyten	$y = 27,3 + 1,9x$	0,613	1 %	37,6 %	27
	Hemikryptophyten	$y = 31,8 - 1,1x$	- 0,610	1 %	37,2 %	27
	Therophyten	$y = 37,1 - 0,7x$	- 0,30	15 %	9,2 %	27

R: Korrelationskoeffizient; IW: Irrtumswahrscheinlichkeit; N: Zahl der Standorte

zwischen den Lebensformenspektrenanteilen von Chamaephyten, Hemikryptophyten und Therophyten und der Ost-West-Standortdistanz machen auf einen interessanten Vegetationswandel entlang Profil A aufmerksam. In Küstennähe dominieren die Therophyten die Lebensformenspektren. Ohne Berücksichtigung der Phanerophyten folgen in der Rangfolge in Küstennähe Hemikryptophyten und Chamaephyten. Westwärts nimmt der Anteil der Chamaephyten an den Lebensformenspektren zu, die Anteile der beiden übrigen Lebensformen gehen zurück. Ein erster markanter Vegetationswechsel tritt ab Distanzpunkt 5 auf. Zwischen Distanzpunkt 5 und 10 dominieren zwar die Therophyten noch die Lebensformenspektren, die Chamaephyten sind jedoch an die zweite Stelle der Lebensformenspektren gerückt und verweisen die Hemikryptophyten auf Platz 3. Ab Distanzpunkt 10 beginnen dann die Chamaephyten immer mehr die Lebensformenspektren zu dominieren. Bei Distanzpunkt 20 überschreitet ihr Anteil an den Lebensformenspektren nach dem Regressionsmodell die 50 %-Schwelle. Bei Medenine erreichen die Chamaephyten ca. 60 % der Artmächtigkeit der Lebensformen der betreffenden Standorte in Profil A. Hier dominieren die Chamaephyten die Lebensformenspektren absolut, es folgen die Therophyten und schließlich die Hemikryptophyten, deren relative Anteile an den Lebensformenspektren immer geringer werden.

Auffallende Abweichungen von diesem Regressionsmodell zeigt der Standort 58 mit einem so hohen Therophytenanteil, wie er sonst entlang von Profil A nicht mehr zu beobachten ist. Es handelt sich bei Standort 58 um einen, das Aufkommen von Therophyten begünstigenden, küstennahen Dünenstandort. Ein extremes negatives Residuum des Chamaephytenanteils entlang von Profil A kennzeichnet den Standort 36. Dies ist ein nutzungsgeschützter Standort mit einem extrem hohen Phanerophytenanteil (Tab. 4). Alle übrigen extremen Abweichungen von dem Regressionsmodell können in ähnlicher Weise auf die edaphischen Standortbedingungen zurückgeführt werden. Es erweist sich also auch hier, wie bereits bei den Arealtypengradienten, daß das edaphische Milieu im Zusammenhang mit der anthropogenen Überprägung die Residuen der Lebensformenregressionsmodelle gut zu erklären vermag.

Die korrelativen Beziehungen zwischen den relativen Lebensformenspektrenanteilen und der Ost-West-Distanz entlang von Profil B bestätigen die für Profil A gewonnenen Ergebnisse völlig (Abb. 12 b). Der Ost-West-Anstieg der relativen Anteile der Chamaephyten an den Lebensformenspektren ist statistisch ähnlich gut gesichert wie entlang von Profil A, ebenso der Rückgang der relativen Bedeutung der Hemikryptophyten. Auch die Größenordnungen

der Ab- und Zunahme der Lebensformenspektrenanteile pro Distanzeinheit sind ähnlich wie in Profil A (Tab. 5). Allerdings erscheint entlang von Profil B der Rückgang der relativen Anteile der Therophyten an den Lebensformenspektren mit zunehmender Küstendistanz nicht mehr hinreichend gesichert. Die Tendenz bleibt jedoch eindeutig.

Wie entlang von Profil A, so dominieren in Küstennähe auch entlang von Profil B die Therophyten die Lebensformenspektren, gefolgt von Hemikryptophyten und Chamaephyten. Ab Distanzpunkt 1,5 übersteigen die relativen Anteile der Chamaephyten bereits die der Hemikryptophyten an den Lebensformenspektren und gewinnen etwa ab Distanzpunkt 4 auch die Oberhand über die Therophytenanteile. Ab Distanzpunkt 4 lautet die Rangfolge der Lebensformen in den Lebensformenspektren: Chamaephyten, Hemikryptophyten und Therophyten. Ab Distanzpunkt 12 erreichen die Chamaephyten im Profil B die 50 %-Marke der relativen Anteile an den Lebensformenspektren. Bis in die Höhe von Medenine steigern sich ihre Anteile auf über 70 %. Dort lautet also das Lebensformenspektrum: Absolute Dominanz der Chamaephyten, ca. 18 % Anteil der Therophyten und ein gegen Null gehender relativer Anteil der Hemikryptophyten an den Lebensformenspektren.

Ein hohes positives Residuum der Chamaephyten entlang von Profil B ist an den Standort 16, einer immobilen sandigen Kuppe ausgebildet. Ein hohes negatives Chamaephyten-Residuum markiert den Standort 64, eine ebenfalls sandige, aber noch weitgehend mobile Kuppe. Markante positive Therophyten-Residuen kennzeichnen wiederum küstennahe Dünenstandorte, wie in Profil A, sowie weiter landeinwärts gelegene mobile sandige Kuppen, wie sie beispielsweise an Standort 64 vorzufinden sind. Einige deutlich negative Residuen kennzeichnen die Hemikryptophytenanteile entlang von Profil B in Relation zu der entsprechenden Regressionsgeraden. Dazu gehören vor allem küstennahe Standorte auf mobilen Dünen mit hohen Therophytenanteilen und geringen Chamaephytenanteilen. Generell erscheint der Anteil der Hemikryptophyten an den Lebensformenspektren auf sandigem Substrat relativ zu gering im Vergleich zu den Modellwerten. Es läßt sich aus der Residuenbetrachtung schlußfolgern, daß Therophyten auf mobilen Sanden gegenüber dem Modell überrepräsentiert sind, Chamaephyten dagegen auf fixierten Sanden und Hemikryptophyten auf Standorten oberflächennaher Verkrustung.

Zusätzliche Berechnungen der linearen korrelativen Beziehungen zwischen den Lebensformenspektrenanteilen und den Bodenfeuchtwerten in den verschiedenen

Bodentiefen weisen keine signifikanten Zusammenhänge zwischen Bodenfeuchte und Lebensformenspektrenanteilen aus. Die relativen Chamaephytenanteile an den Lebensformenspektren entlang von Profil A korrelieren mit der Bodenfeuchte in 10, 20, 50 cm Tiefe nicht signifikant positiv. Entlang von Profil B ist der Korrelationskoeffizient zwischen Bodenfeuchte und relativem Chamaephytenanteil signifikant negativ in 10 cm Tiefe, nicht signifikant negativ hingegen in 20 cm und 50 cm Tiefe. Nur für Profil B weist das Vorzeichen der Korrelation zunehmende Chamaephytenanteile bei abnehmender Bodenfeuchte aus.

Die Phanerophytenanteile der Lebensformenspektren entlang von Profil A und entlang von Profil B erweisen sich als unabhängig von den Bodenfeuchtwerten.

Zusammengefaßt kann festgestellt werden, daß der Lebensformenwandel signifikante Änderungen mit wachsender Meeresdistanz erfährt. Qualitativ lassen sich Abweichungen von dem berechneten Modellverhalten durch edaphische und anthropogene Effekte erklären. Der Versuch, diese Faktoren über die standörtlichen Änderungen der Bodenfeuchte quantitativ genauer zu erfassen, führt hingegen, infolge der schon begründeten mangelnden Repräsentanz der Bodenfeuchtwerte, zu keinem befriedigenden Ergebnis.

4.3 Beziehungen zwischen Artenkomposition und nicht-klimatischen Standortstypen

Eine exakte, quantitative Abschätzung der edaphischen Faktoren für die 68 Aufnahmeflächen der Größe 25 x 25 m war im Rahmen dieser Arbeit nicht möglich. Die Versuche, den edaphischen Faktor hinsichtlich seiner hygrischen Wertigkeit durch punktuelle Bodenfeuchtwerte zu erfassen, führte zu keinen eindeutigen Ergebnissen. Es wurde deshalb in einem weiteren Schritt versucht, die edaphischen und anthropogenen Kennwerte der Standorte qualitativ zu klassifizieren. Ähnlichkeiten in der Artenkomposition auf den so klassifizierten Standorten könnten die Bedeutung des edaphischen und anthropogenen Faktors für die Artenzusammensetzung in erster Näherung beschreiben.

Zur Analyse der standörtlichen Ähnlichkeiten in der Artenkomposition wurden zwei Clusteranalysen durchgeführt. Die Ausgangsmatrix beschreibt die 162 bestimmten Pflanzenarten in Abhängigkeit von ihrem Auftreten

an den 68 ausgewählten Standorten. Aus dieser Matrix werden in einer ersten Clusteranalyse die 68 Standorte nach Ähnlichkeiten in ihrer Artenkomposition zusammengefaßt. In einer zweiten Clusteranalyse können, da die Clusteranalyse ein duales Verfahren darstellt, die 162 Arten nach der Ähnlichkeit ihres gemeinsamen Auftretens an den 68 Standorten gruppiert werden.

Abb. 13 zeigt das Dendrogramm der Zusammenfassung der 68 Standorte (Abszisse) gemäß der Ähnlichkeit ihrer Artenkomposition. Diese Ähnlichkeiten werden erfaßt, indem die Artenkompositionen der einzelnen Standorte als Punkte in einem n-dimensionalen Raum plaziert werden. Die Distanzen zwischen diesen Punkten sind gering, wenn die Artenkompositionen sehr ähnlich sind und wachsen mit zunehmender Unähnlichkeit. Jeweils zwei Punkte größter Ähnlichkeit werden zusammengefaßt und durch einen neuen Punkt, der in der Mitte zwischen diesen beiden Punkten liegt, repräsentiert. Mit diesem neuen Punkt, der die erste Clusterung repräsentiert, wird nun das Verfahren so lange fortgeführt, bis die letzten beiden Punkte auf gleiche Weise zusammengefaßt werden.

Auf der Ordinate ist ein Maß für die Distanz in Form der Intra-Cluster-Varianz angegeben. Je geringer dieses Distanzmaß ist, um so ähnlicher sind die zusammengefaßten Standorte. Ab Distanzmaß 1.457 werden zunehmend unähnlichere Standorte zusammengefaßt. Dies kommt durch die Länge der hochstrebenden Dendrogrammäste zum Ausdruck. Es ist sinnvoll, hinsichtlich der Fragestellung nur Standorte hinreichend ähnlicher Artenkompositionen zusammenzufassen. Diese Forderung kann bis zum Grenzwert von 1.457 als erfüllt angesehen werden (Abb. 13).

Betrachtet man die zu sieben Clustern zusammengefaßten Standorte hinsichtlich ihrer standörtlichen Ausstattung unter besonderer Berücksichtigung von Boden- und Nutzungsfaktoren, so zeigt sich, daß bestimmte Artenkompositionen an bestimmte Standorte gebunden sind.

Die Standorteigenschaften wurden für die 68 Standorte qualitativ erfaßt. Die Abschätzung der anthropogen induzierten Vegetationsdegradation erfolgte in vier Stufen: stark, mittel, schwach und geschützt. Ungeschützte Flächen zeigen im Untersuchungsgebiet generell Degradationserscheinungen.

Das edaphische Milieu wird durch drei Kategorien aufgeschlüsselt: relativ ungestört, Denudationstyp als Folge von Überweidung oder Trockenfeldbau

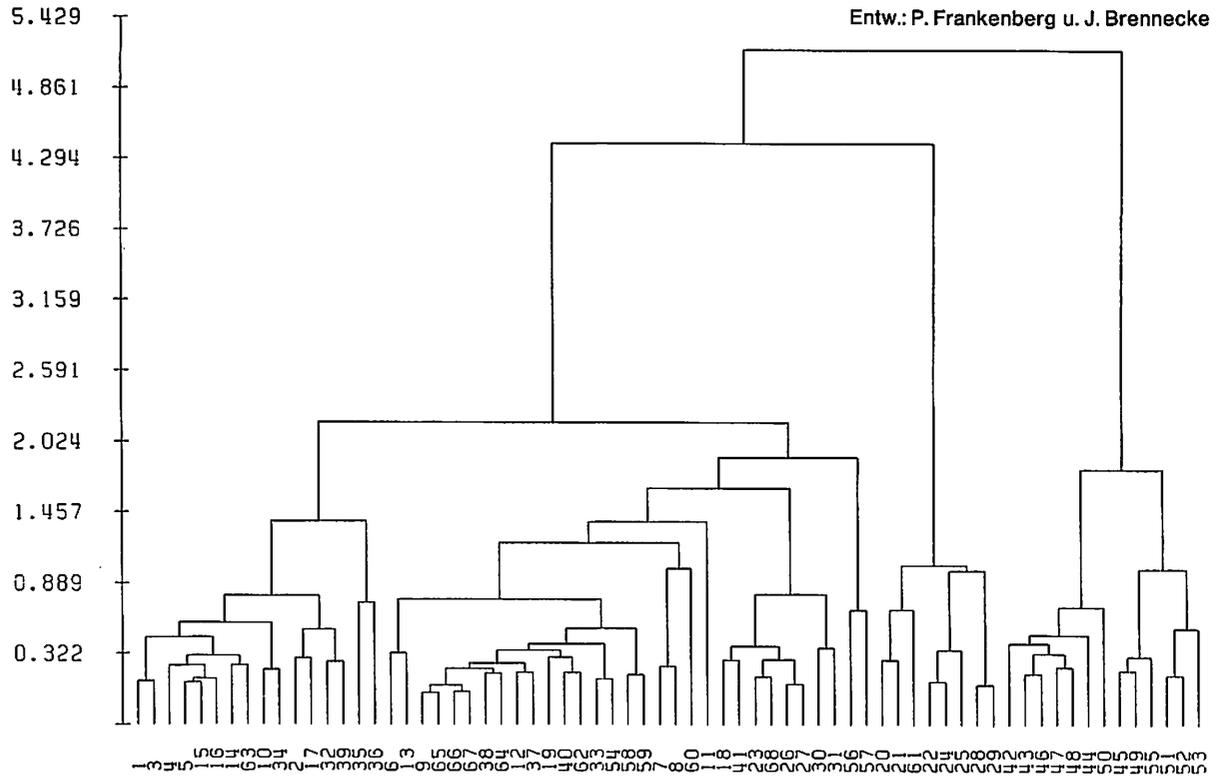


Abb. 13: Dendrogramm für die Zusammenfassung der 68 Standorte (Abzisse) gemäß der Ähnlichkeit ihrer Artenkomposition.

und Akkumulationstyp. Beim Akkumulationstyp werden küstennahe Standorte gesondert hervorgehoben.

In Tab. 6 sind die Häufigkeiten angegeben, mit denen die geclusterten Standorte diesen klassifizierten Boden- und Degradationstypen zuzuordnen sind. Es lassen sich deutlich Beziehungen zwischen Standorten mit ähnlichem Artenbesatz, wie sie durch die sieben Gruppierungen der Clusteranalyse beschrieben werden, und dem anthropo-edaphischen Milieu erkennen.

Den edaphischen Typ des relativ ungestörten Bodens dominiert Cluster 1 (75 % aller Fälle, Tab. 6). Besonders deutlich ist dies im Falle starker Degradation (100 %). Je geringer die sichtbare Degradation, um so mehr repräsentiert auch Standortcluster 2 den "Normalbodentyp" (Tab. 6). Auffällig ist, daß eine Inschutzstellung keine anderen Artenkompositionen bedingt.

Bei starker Degradation der Vegetation verteilen sich die Standortcluster 1 und 2 noch relativ gleichmäßig auf den beweideten Denudationstyp. Bei mittlerer Degradation zeigt sich, daß dieser Typ durch das Standortcluster 2 ebenso markant repräsentiert wird, wie Standortcluster 1 an den Normalbodentyp gebunden ist. Bei Inschutzstellung des Denudationstyps stellt sich das Standortcluster 6 ein. Es entwickelt sich eine neue Pflanzengesellschaft und zwar unabhängig davon, ob und wie stark die geschützten Bereiche beweidet wurden.

Auf ehemals beackerten Standorten (Brache) erscheint als Folge der Denudation, die oft bis auf die unterlagernde Kruste fortgeschritten ist, der Brachedenudationstyp. Er bildet mit den Clustern 3 und 5 eine eigene Gruppierung der Standorte nach ihrem Artenbesatz aus. Bei Weidenutzung und Trockenfeldbau- nutzung der Steppe stellen sich demnach unterschiedliche Pflanzengesellschaften ein.

Der Brachedenudationstyp ist auf Grund der Artenkomposition zusätzlich nach den Kriterien der Meereslage zu differenzieren. Cluster 3 vertritt überwiegend Inselstandorte auf Djerba, Cluster 5 vornehmlich Festlandstandorte (Tab. 6). Der Akkumulationstyp, der Anwehungen und gelegentlich auch relativ mobile Dünsande repräsentiert, erweist sich eigenartigerweise wie der ungeschützte, beweidete Denudationstyp prägnant durch Standortcluster 2 geprägt. Die Pflanzenkomposition des Akkumulationstyps und des Denudationstyps unterscheiden sich also nicht wesentlich bei ungeschützten Bedingungen, wohl

Tab. 6: Repräsentanz der nach edaphischen Faktoren und Nutzungsformen qualitativ gekennzeichneten Standorte in den Clustern (% Auftretshäufigkeit) der Standortgruppierung.

	Morphologischer Zustandstyp und Nutzungsart	relat. ungestörte Bedingungen	DENUDATIONSTYP		AKKUMULATIONSTYP geringe Mobilität des Substrates	Küstennahe Standorte
			beweidet	beackert Brache		
Degradationsgrad der Vegetation	stark	1:100 %	1: 50 % 2: 50 %	3: 44.4 % 5: 55.6 %	2:100 %	-
	mittel	1: 60 % 2: 40 %	2:100 %	3: 44.4 % 5: 33.3 % 6: 11.1 % 7: 11.1 %	2: 75 % 1: 25 %	-
	schwach	1: 50 % 2: 50 %	--	--	2:100 %	4:100 %
geschützte Weidetypen	Dauerweide	1:100 %	6:100 %	--	7:100 %	--
	Sommerweide	--	6:100 %	--	7:100 %	--
	Frühjahrsweide	--	6:100 %	--	7:100 %	--
ungeschützter Weidotyp	Dauerweide	--	6: 66.7 % 7: 33.3 %	-- --	7:100 % 7:100 %	
	Mittel:	1: 75 % 2: 25 %			2: 70.6 % 7: 23.5 % 1: 5.9 %	

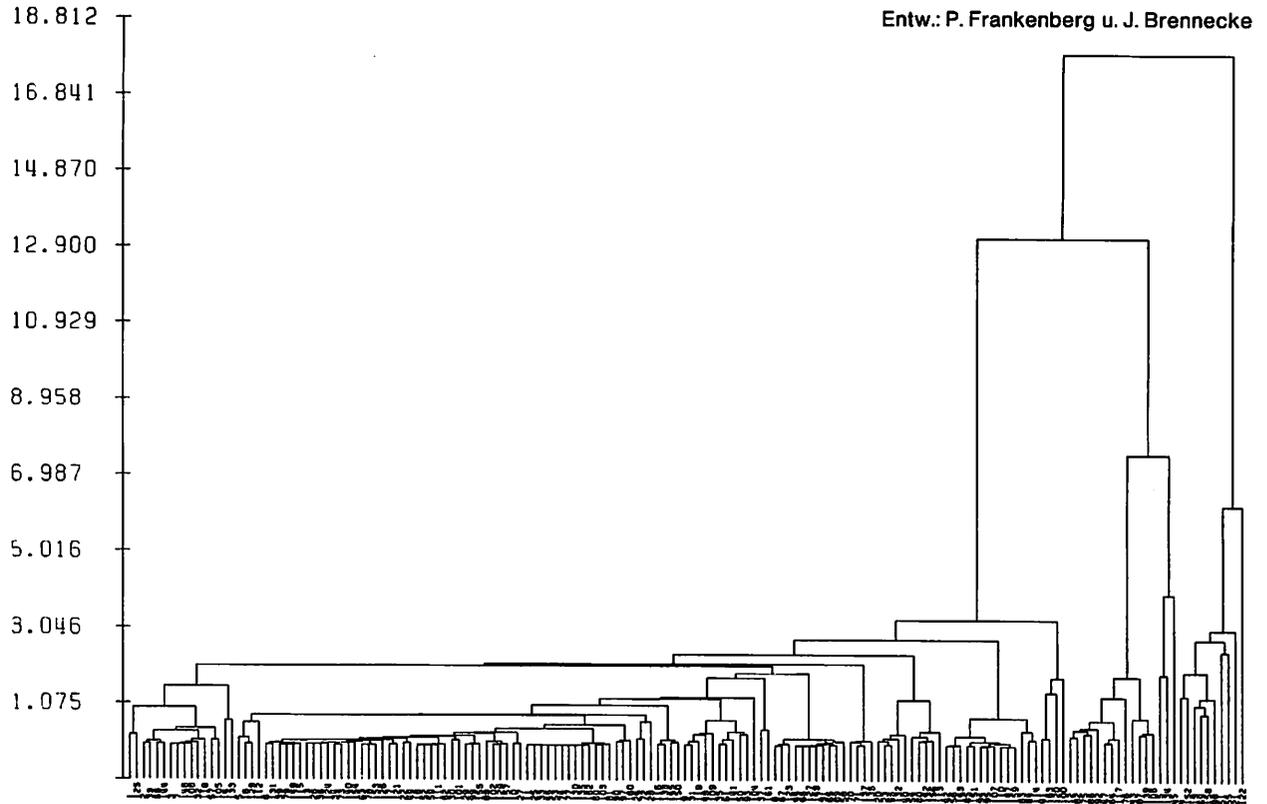
Die Nummern 1 - 7 kennzeichnen die Cluster der Standorte gemäß Abb. 13. Cluster 3 ist weitgehend auf Djerba vertreten; Cluster 5 bevorzugt auf dem Festland.

aber nach Unterschutzstellung. In diesem Falle ist der Akkumulationstyp durch das Standortcluster 7 bestimmt.

Zusammenfassend ergibt sich eine deutliche Trennung der Standorte entsprechend ihrem Artenbesatz, die besonders durch das edaphische Milieu bestimmt ist. Bei ungestörten Bodenbedingungen stellt sich eine Pflanzengesellschaft ein, die sich eindeutig von dem beweideten Denudationstyp und dem entsprechenden Akkumulationstyp abhebt. Eine Sonderstellung ergibt sich für Standorttypen mit Brache. Bei Unterschutzstellung wirkt es sich weniger aus, ob kontrollierte Beweidung stattfindet, oder ob diese dauernd unterbunden ist. Vielmehr ist es der Unterschied zwischen gestörtem und relativ ungestörtem Bodenmilieu sowie die Art der Nutzung (Beweidung oder Beackerung), die zu den verschiedenen Artenkompositionen der Standorte führt. Bodenstörungen und Nutzungsarten bestimmten auch die beschriebenen Residuen der Regressionsmodelle der Lebensformen- und der Arealtypenspektren.

Das Verfahren der Clusteranalyse gestattete es im eben beschriebenen Fall die 68 Standorte gemäß der Ähnlichkeit ihrer Artenzusammensetzung zusammenzufassen und die Standorte gemäß den kennzeichnenden qualitativen Standortfaktoren zu klassifizieren. Es können, da das Verfahren dual ist, nun auch die 162 Pflanzenarten nach Ähnlichkeiten zusammengefaßt werden. Das bedeutet, daß solche Artenkompositionen als ähnlich ausgewiesen werden, die an vielen Standorten gleichzeitig auftreten.

Das Dendrogramm dieser Clusteranalyse (Abb. 13 a) weist bei einer Intra-Cluster-Varianz von 5.016 5 Artencluster auf, von denen das ganz rechts liegende nur die eine Art *Plantago albicans* als relativ unabhängig von allen übrigen Spezies ausweist. Das Pflanzencluster 1 repräsentiert die Spezies, die an einer Vielzahl der Standorte vorkommen. Es sind gewissermaßen die Arten, die nicht zur Ausbildung von immer wiederkehrenden Gesellschaften führen, sondern Begleitspezies repräsentieren (Tab. 7). Das Pflanzencluster 2 integriert im wesentlichen die für die geschützten Steppenbereiche bevorzugt im Süden des Untersuchungsgebietes typischen Arten. Fast alle Spezies des 2. Clusters stellen gute Weidearten dar, die wenigstens während einer Jahreszeit 25 % und mehr der Weideviehnahrung stellen. Dies gilt insbesondere für alle mit (1) in Cluster 2 versehene Arten (Tab. 7). Das Vorhandensein der guten Weidespezies in Cluster 2 belegt die Unterschutzstellung der Areale, denn besonders bei Dauerbeweidung nehmen *Argyrolobium uniflorum* und *Salsola vermiculata* stark ab, während *Rhanterium suaveolens* und *Plantago albicans* bei Beweidung



4 Abb. 13 a: Dendrogramm für die Zusammenfassung der 162 Pflanzenarten (Abzisse) gemäß der Ähnlichkeit ihrer Standortmerkmale

Tab. 7: Artenliste zur Clusteranalyse der Pflanzenarten

Arten in Cluster 1	Nr.
<i>Acacia ligylata</i>	1
<i>Acacia raddiana</i>	2
(<i>Aeluropos litoralis</i>)	5
<i>Acacia lagopoides</i>	
<i>Adonis dentata</i>	3
<i>Agropyron farcatum</i>	6
<i>Alyssum libycum</i>	7
<i>Ammophila arenaria</i>	8
<i>Anacyclus cyrtolepidioides</i>	9 (4)
<i>Anarrhinum brevifolicum</i>	10
<i>Arena barbata</i>	11
<i>Aristida plumosa</i>	13
<i>Aristida pungens</i>	14
<i>Arthrocnemum glaucum</i>	16
<i>Arthrocnemum scoparium</i>	17
<i>Asparagus stipularis</i>	18
<i>Asphodelus refractus</i>	20 (3)
<i>Astragalus caprinus</i>	22
<i>Astragalus cruciatus</i>	23
<i>Astragalus spinosus</i>	24
<i>Atractylis carduus</i>	25
<i>Atractylis flava</i>	26
<i>Atractylis serratuloides</i>	27
<i>Atractylis spec.</i>	28
<i>Atriplex halimus</i>	29
<i>Bassia muricata</i>	30
<i>Brachipodium distachium</i>	31
<i>Brassica tournefortii</i>	32 (4)
<i>Bromus rubens</i>	33
<i>Bupleurum oligocharis</i>	34
<i>Bupleurum semicompositum</i>	35
<i>Cakile maritima</i>	36
<i>Calicotome villosa</i>	37
<i>Calligonum arich</i>	38
<i>Centaurea dimorpha</i>	39

	Nr.
<i>Cleome arabica</i>	40 (3) (4)
<i>Convolvulus althaeoides</i>	41
<i>Corynephorus divaricatus</i>	42
<i>Cutandia maritima</i>	44
<i>Cyperus capitatus</i>	46
<i>Diplotaxis simplex</i>	48 (4)
<i>Diplotaxis muralis</i>	49
<i>Echiochilon fruticosum</i>	50
<i>Eragrostis papposa</i>	53
<i>Eremobium aegyptiacum</i>	54
<i>Erodium lacinatedum</i>	56
<i>Eryngium ilicifolicum</i>	57
<i>Euphorbia paralias</i>	58
<i>Euphorbia serrata</i>	59
<i>Euphorbia terracina</i>	60
<i>Evax argentea</i>	61
<i>Fagonia cretica</i>	62
<i>Fagonia glutinosa</i>	63
<i>Filago mareotica</i>	65
<i>Frankenia pulverulenta</i>	66
<i>Frankenia thymifolia</i>	67
<i>Halocnemum strobiliaceum</i>	70
<i>Halopeplis amplexicaulis</i>	71
<i>Haloxylon schmittianum</i>	72
<i>Haplophyllum vermiculare</i>	73
<i>Hedypnois cretica</i>	74
<i>Helichrysum stoechas</i>	77
<i>Herminaria fontanesii</i>	78
<i>Herminaria hirsutum</i>	79
<i>Hordeum murinum</i>	80 (3) (4)
<i>Hyparrhenia hirta</i>	81
<i>Ifloga spicata</i>	83
<i>Imperata cylindrica</i>	84
<i>Juncus maritimus</i>	85
<i>Limoniastrum guyonianum</i>	88
<i>Limoniastrum monopetalum</i>	89
<i>Limonium pruinosum</i>	90
<i>Limonium tunetanum</i>	91

	Nr.
<i>Loeflingia hispanica</i>	93
<i>Lotus creticus</i>	94
<i>Lotus halophilus</i>	95
<i>Lotus pusillus</i>	96 (4)
<i>Lotus spec.</i>	97
<i>Lycium arabicum</i>	99
<i>Lygeum spartum</i>	100
<i>Malva aegyptiaca</i>	101
<i>Malva sylvestris</i>	102
<i>Maresia nana</i>	103
<i>Matthiola cakile</i>	104
<i>Matthiola fruticulosa</i>	105
<i>Medicago litoralis</i>	107
<i>Medicago minima</i>	108
<i>Medicago trunculata</i>	109
<i>Minuartia geniculata</i>	110
<i>Muscari comosum</i>	111
<i>Nitraria retusa</i>	112
<i>Nolletia chrysocomoides</i>	113 (1) (4)
<i>Ononis angustissima</i>	114
<i>Ononis reclinata</i>	115
<i>Pancratium maritimum</i>	116
<i>Peganum harmala</i>	118
<i>Picris coronopifolia</i>	119
<i>Pitoranthos chlorantus</i>	120
<i>Pitoranthos tortuosus</i>	121
<i>Plantago coronopus</i>	123
<i>Polycarpon tetraphyllum</i>	124
<i>Polygonum equisetifolium</i>	125
<i>Polygonum spec.</i>	126
<i>Polypogon maritimus</i>	127
<i>Polypogon spec.</i>	128
<i>Pseuderucaria clavata</i>	129
<i>Pseudorlaya pumila</i>	130
<i>Reichardia tingitana</i>	131
<i>Reseda arabica</i>	132
<i>Retama raetam</i>	133
<i>Romulea bubolodium</i>	135

	Nr.
<i>Salicornia spec. 1</i>	136
<i>Salicornia spec. 2</i>	137
<i>Salsola kali</i>	138
<i>Salvia aegyptiaca</i>	140
<i>Salvia verbenaca</i>	141
<i>Senecio gallicus</i>	142 (4)
<i>Silene arenaroides</i>	143
<i>Silene colorata</i>	144
<i>Silene succulenta</i>	145
<i>Sisymbrium irio</i>	146
<i>Spergularia diandra</i>	147
<i>Sphenopus divaricatus</i>	148
<i>Sphenophus ehrenbergii</i>	149
<i>Sporobolus arenarius</i>	150
<i>Stipa capensis</i>	151
<i>Stipa retorta</i>	153
<i>Stipa tortilis</i>	154
<i>Suaeda mollis</i>	155
<i>Schismus barbatus</i>	156
<i>Tamarix spec.</i>	157
<i>Trigonella maritima</i>	159
<i>Urginea maritima</i>	160
<i>Vicia peregrina</i>	161
<i>Vulpia membranacea</i>	162
<i>Zygophyllum album</i>	163
<hr/>	
Arten in Cluster 2	
<i>Argyrobolium uniflorum</i>	12 (1) (2)
<i>Hypocrepis bicontorta</i>	82
<i>Hedysarum spinosissimum</i>	75 (1) (2)
<i>Koeleria pubescens</i>	86
<i>Linaria aegyptiaca</i>	92
<i>Daucus syrticus</i>	47 (1)
<i>Filago germanica</i>	64
<i>Paronychia arabica</i>	117
<i>Helianthemum lippii</i>	76 (2)
<i>Cutandia dichotoma</i>	43 (1)
<i>Launaea resedifolia</i>	87 (1) (2)

	Nr.
<i>Salsola vermiculata</i>	139 (1)
<i>Matthiola longipetala</i>	106 (1) (2) (4)
<hr/>	
Arten in Cluster 3	
<i>Artemisia campestris</i>	15 (4)
<i>Rhanterium suaveolens</i>	134 (1)
<i>Cynodon dactylon</i>	45
<hr/>	
Arten in Cluster 4	
<i>Adonis spec.</i>	4
<i>Stipa lagascae</i>	152 (1)
<i>Asphodelus microcarpus</i>	19
<i>Gymnocarpos decander</i>	69
<i>Thymelea hirsutum</i>	158
<i>Lotus uliginosus</i>	98
<i>Echium pycnanthum</i>	51
<i>Erodium glaucophyllum</i>	55
<i>Asphodelus tenuifolius</i>	21 (3)
<hr/>	
Art in Cluster 5	
<i>Plantago albicans</i>	
<hr/>	

einen Anstieg der Individuenzahlen (increasers) ausweisen. Die in Tab. 7 mit (2) bezeichneten Arten sind bei wachsender Weideintensität stark benachteiligt. Sie stellen die bevorzugten "decreasers" des Raumes dar (NOVIKOFF, 1977; WAECHTER, 1982; FLORET, 1982). Es ist daran zu erinnern, daß auch die Clusteranalyse der Standorte für den Süden des Untersuchungsgebietes eigene Cluster auswies. Die zugehörigen Charakterarten sind nunmehr in Cluster 2 der Tab. 7 ausgewiesen.

Das Pflanzencluster 3 repräsentiert mit *Artemisia campestris* und *Cynodon dactylon* "Sekundärarten", die nach starker Degradation auf sandigen Akkumulationen über anstehenden Krusten in Verbindung mit der Charakterart *Rhanterium suaveolens* vorkommen. Da große Gebiete der Region, abgesehen von den unter Schutz gestellten Räumen, wiederholt zum Trockenfeldbau aufbereitet werden, ist diese aus nur drei Arten bestehende Assoziation weitflächig verbreitet. Andere Arten treten zwar regional wechselnd hinzu, erreichen aber nicht näherungsweise die Individuenzahlen der drei genannten Arten.

Das Pflanzencluster 4 weist die Charakterarten der Brachestandorte aus, die für die Standortcluster 3 und 5 charakteristisch sind. Sie dominieren, infolge ehemaliger Beackerung, stark degradierte Standorte anstehender Krusten. Die Clusteranalyse der Pflanzenarten hebt die typischen Spezies der ehemals beackerten Standorte, auf denen wieder eine Steppenvegetation aufgekommen ist, und die geschützten Standorte des südlichen Untersuchungsgebietes deutlich von den übrigen Gruppierungen ab.

Die Vegetationsstandorte geschützter Bereiche im südlichen Untersuchungsgebiet gestatten nun eine kleinräumige Analyse der Vegetationsdifferenzierung in Abhängigkeit zur Inschutzstellung bzw. zur kontrollierten Beweidung.

4.3.1 Dominanzbewertung der nicht-klimatischen Einflußgrößen

Alle bisherigen Pflanzenaufnahmen erfolgten unter dem Aspekt einer möglichst genauen Erfassung der klimatischen Einflußgröße. Deshalb wurden die übrigen Standortfaktoren, soweit dies entlang den Profilen möglich war, näherungsweise konstant gehalten. Die errechneten Regressionsmodelle belegten die besondere Bedeutung des Klimaeinflusses auf die Vegetation. Die Abweichungen von den Regressionsmodellen gaben Anlaß zur Einbeziehung der anthropo- und edaphisch relevanten Faktoren in das Erklärungsmodell. Besonders die Zusammenfassung der Standorte hinsichtlich der Ähnlichkeiten der Artenbesätze

zeigte, daß Nutzung und Boden die Artenzusammensetzung der in West-Ost-Richtung angeordneten Standorte oft stärker als der Klimafaktor prägen. Um diese Zusammenhänge unabhängig von den Änderungen der Klimaparameter erfassen zu können, wurden kleinräumige Vegetationsaufnahmen im Bereich der Station Dar ez Zaoui im Rahmen dieser Untersuchung durchgeführt (GÜLICH, 1984; vgl. Abb. 9).

Insgesamt konnten in diesem eng begrenzten Areal der *Rhanterium suaveolens* - *Artemisia campestris*-Steppe 62 Pflanzenarten auf 315 Aufnahmeflächen bestimmt werden. Die Aufnahmeflächen liegen ausnahmslos in dem in Abb. 14 gezeigten Gebiet der Station Dar ez Zaoui und sind näherungsweise zahlenmäßig gleich verteilt in den klassifizierten edaphisch-morphologischen Typen gelegen. Mit Hilfe einer Clusteranalyse wurden die 315 Standorte gemäß der Ähnlichkeit ihrer Artenkompositionen zu Standortgruppen zusammengefaßt.

Die Veränderung des Ähnlichkeitskoeffizienten in Abhängigkeit von der Clusterzahl legte eine 11er Partition nahe, da oberhalb der in Abb. 15 eingezeichneten Grenzmarke die Ähnlichkeiten der in einem Cluster zusammengefaßten Standorte sprunghaft abnehmen. Die Arten, die in diesen 11 Clustern auftreten, sind in Tab. 8 aufgeführt und in Abb. 16 entsprechend der Artmächtigkeit und Geoelementzugehörigkeit dargestellt.

Die größte Artenvielfalt wird in Cluster 11, 5 und 2 erreicht, die geringste in Cluster 7. Gleichzeitig faßt Cluster 7, ähnlich wie Cluster 6, die Standorte mit einer schütterten Vegetationsdecke, die durch geringe Deckungsgrade zum Ausdruck kommt, zusammen.

In Tab. 9 ist versucht worden, die durch die einzelnen Cluster repräsentierten Vegetationstypen nach der edaphisch-morphologischen Situation und der Nutzung ihrer Standorte näher zu charakterisieren. Die Vegetationsgruppierung des Clusters 7 tritt nahezu ausnahmslos auf Dünen unabhängig von der Nutzungsart auf. Gleiches gilt für den stabilisierten Akkumulationstyp hinsichtlich der Pflanzengruppierung des Clusters 10. Für den Erosionstyp und Deflationstyp wird die Artenkomposition sehr stark durch die Nutzungsart mitbestimmt. Die Frühjahrsweide ist durch eine andere Artenzusammensetzung gekennzeichnet als die Sommer- und Dauerweide. Dabei unterscheiden sich die Erosions- und Deflationsstandort in ihren charakteristischen Pflanzengesellschaften in Abhängigkeit von der Nutzung nur teilweise. Besonders interessant ist die Tatsache, daß die Dauerschutzstandorte sich

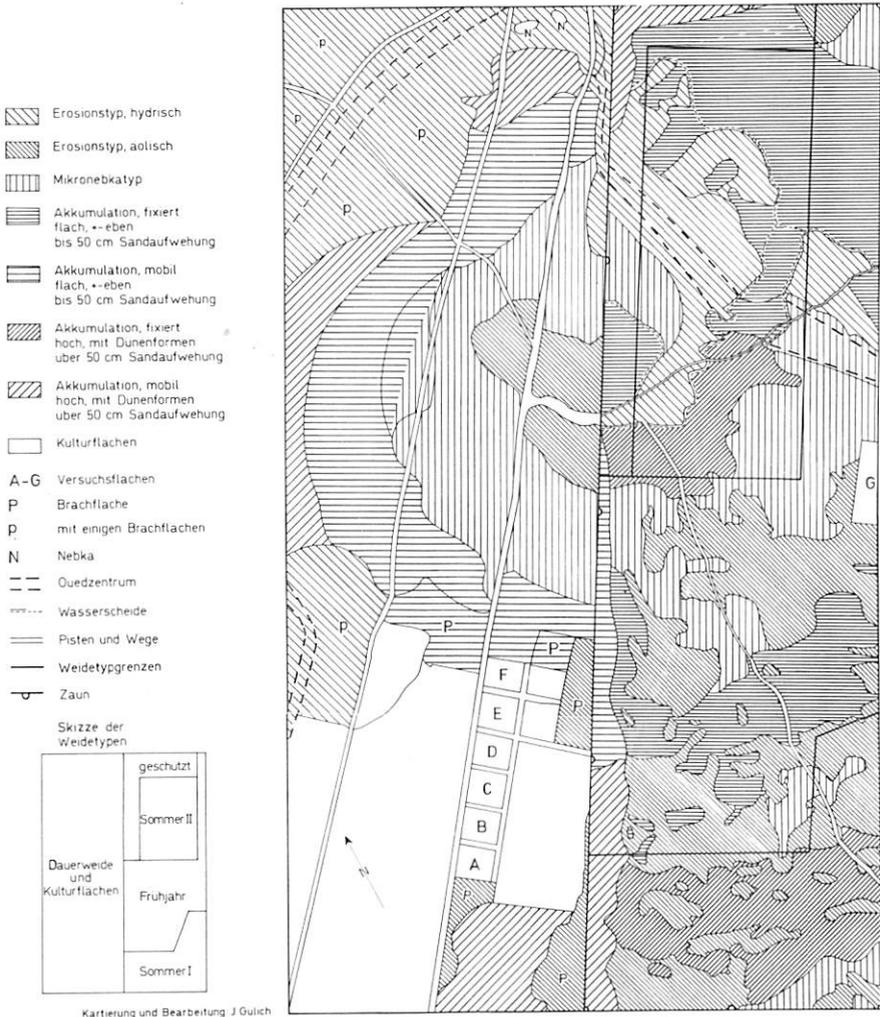


Abb. 14: Oberflächen- und Weidetypen der Station Dar ez Zaoui (Lage der Station vgl. Abb. 1) aus GÜLICH, 1984.

Tab. 8: Aufstellung der in die Clusteranalyse eingehenden Arten
gemäß Abb. 15 und Abb. 16

A = Mediterranes Goelement
 AS = Mediterran-saharisches Goelement
 S = Saharo-arabisches Goelement
 P = Pluriregionales Goelement
 TS = Tropisch-saharisches Goelement

Ch = Chamaephyten
 G = Geophyten
 Hc = Hemikryptophyten
 Th = Therophyten
 Ph = Phanerophyten

Ch	5	<i>Artemisia campestris</i>	AS
Ch	6	<i>Artractylis flava</i>	A
Ch	2	<i>Argyrolobium uniflorum</i>	AS
Th	10	<i>Astragalus cruciatus</i>	AS
Th	7	<i>Asphodelus refractus</i>	S
Hc	9	<i>Astragalus caprinus</i> ssp. <i>lanigerus</i>	A
Hc	3	<i>Aristida plumosa</i>	AS
Th	8	<i>Asphodelus tenuifolius</i>	P
Ch	11	<i>Atractylis serratuloides</i>	AS
Th	1	<i>Anacylus cyrtolepidioides</i>	AS
G	4	<i>Aristida pungens</i>	S
Th	15	<i>Bupleurum semi-compositum</i>	A
Th	13	<i>Brachypodium distachyum</i>	A
Th	14	<i>Brassica tournefortii</i>	A
Th	12	<i>Brassica muricata</i>	S
Th	17	<i>Cutandia dichotoma</i>	AS
Hc	16	<i>Cleome arabica</i>	TS
Th	18	<i>Daucus syrticus</i>	AS
Th	19	<i>Diplotaxis simplex</i>	A
Ch	20	<i>Echiochilon fruticosum</i>	S
Hc	23	<i>Erodium glaucophyllum</i>	AS
Th	25	<i>Evax argentea</i>	A
Hc	21	<i>Echium pycnanthum</i> ssp. <i>humile</i>	AS

Th	22	<i>Eremobium aegyptiacum</i>	AS
Th	24	<i>Erucaria uncata</i>	AS
Th	26	<i>Fagonia glutinosa</i>	S
Th	27	<i>Filago germanica</i>	A
Ch	28	<i>Gymnocarpos decander</i>	AS
Th	32	<i>Hippocrepis bicontorta</i>	AS
Ch	30	<i>Helianthemum lippii</i> ssp. <i>sessiflorum</i>	AS
Th	29	<i>Hedysarum spinosissimum</i>	A
Th	33	<i>Hordeum murinum</i>	P
Ch	31	<i>Herminaria fontanesii</i>	AS
Th	34	<i>Ifloga spicata</i>	P
Th	35	<i>Koeleria pubescens</i> ssp. <i>salzmannii</i>	AS
Th	36	<i>Launea resedifolia</i>	AS
Ch	37	<i>Linaria aegyptiaca</i> ssp. <i>fructicosa</i>	AS
Th	39	<i>Lotus posillus</i>	AS
Th	38	<i>Loeflingia hispanica</i>	A
Hc	40	<i>Lygeum spartum</i>	A
Th	43	<i>Medicago minima</i>	A
Th	42	<i>Matthiola longipetala</i> ssp. <i>kralikii</i>	A
Th	44	<i>Medicago trunculata</i>	A
Th	41	<i>Malva aegyptiaca</i>	AS
Ch	46	<i>Nolletia chrysocomoides</i>	AS
Th	47	<i>Ononis serrata</i>	A
Hc	48	<i>Paronychia arabica</i>	S
Hc	50	<i>Plantago albicans</i>	P
Th	49	<i>Picris coronopifolia</i>	P
Ch	53	<i>Rhantherium suaveolens</i>	S
Th	51	<i>Reseda arabica</i>	AS
Ph	52	<i>Retama raetam</i>	S
Ch	54	<i>Salsola vermiculata</i> ssp. <i>brevifolia</i>	AS
Hc	59	<i>Stipa lagascae</i>	A
Th	56	<i>Schismus barbatus</i> ssp. <i>calycinus</i>	AS
Ch	55	<i>Salvia verbenaca</i> ssp. <i>clandestina</i>	AS
Th	58	<i>Silene arenarioides</i>	AS
Th	57	<i>Senecio gallicus</i>	A
Th	60	<i>Stipa retorta</i>	A
Th	61	<i>Thesium humile</i>	A
Ch	62	<i>Thymelea microphylla</i> (<i>hirsutum</i>)	AS

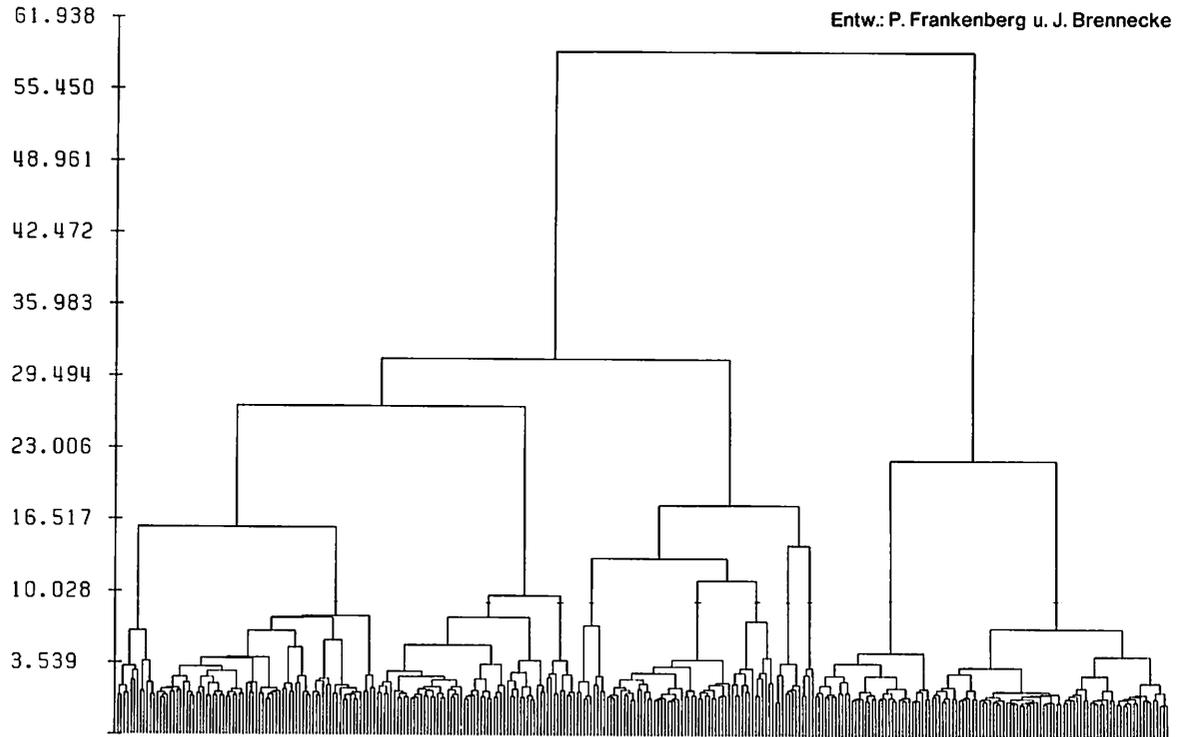


Abb. 15: Dendrogramm für die Zusammenfassung der 315 Standorte (Abzisse) der Station Dar ez Zaoui gemäß der Ähnlichkeit ihrer Artenkomposition.

Tab. 9: Repräsentanz der nach edaphisch-morphologischen Faktoren und Nutzungsformen qualitativ gekennzeichneten Standorte auf den Clustern der Standortgruppierung.

Nutzungsart		Frühjahrs- weide	Sommer- weide	Dauerweide mit Brache	ohne Brache	kontroll. Beweidung	Dauerschutz- gebiet
morpholog. Typen	Erosionstyp	1	2	5	-	-	2
	Deflationstyp	2	1	3 + 4	-	-	-
	Akkumulations- typ stabilisiert	10 + 11	10	-	-	-	10
	Düne	7	7	7	6	-	7
	Mikronebkabe- reich	2	2	4	-	-	-
	Mikronebka selbst	-	-	6 + 7	-	-	-
	Oued (Trocken- bett)	-	-	-	-	2	-

1 - 11: Nummer des Clusters

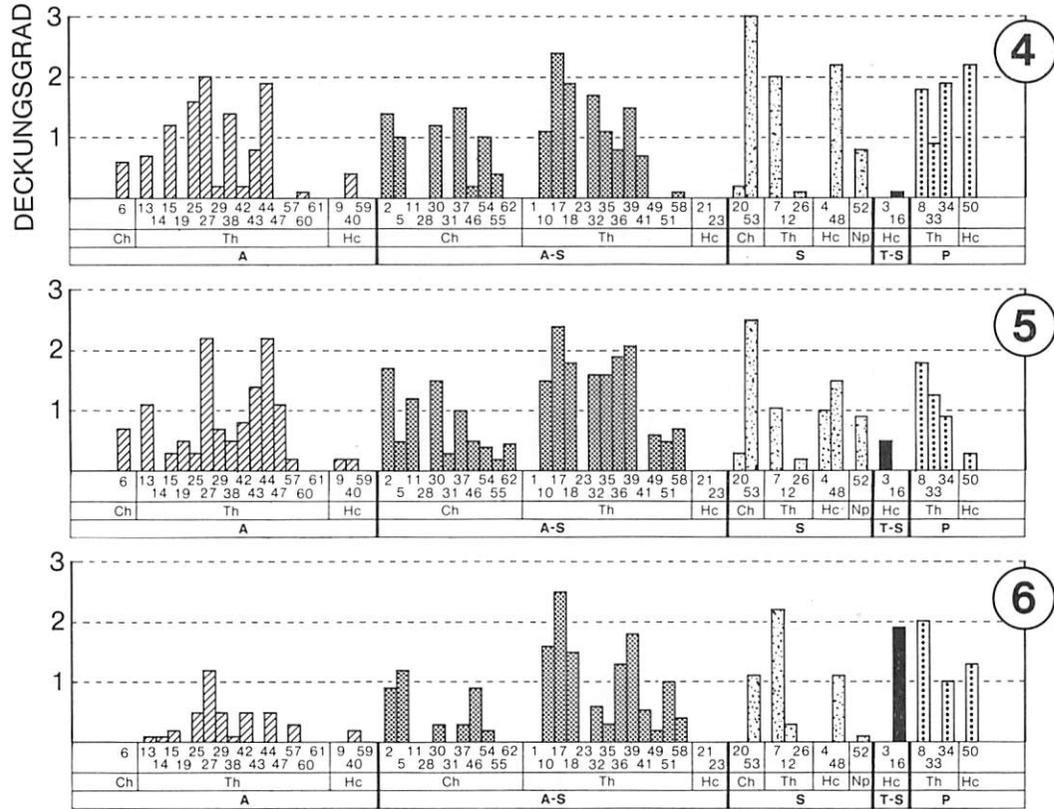
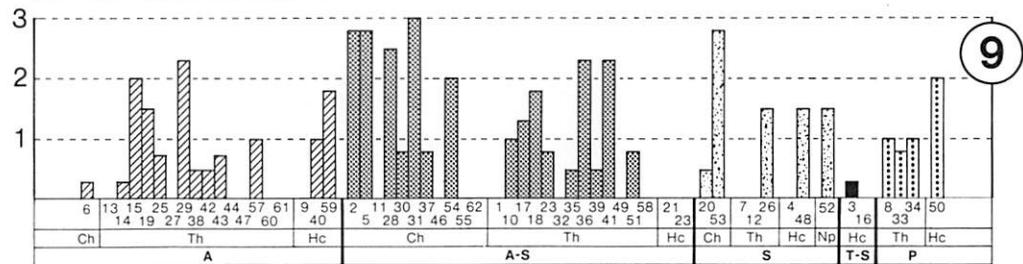
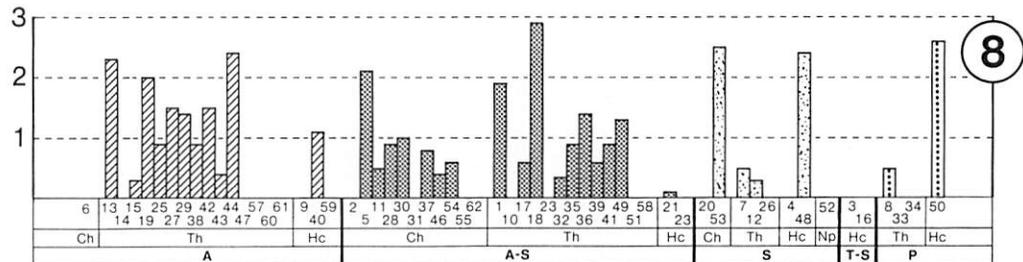
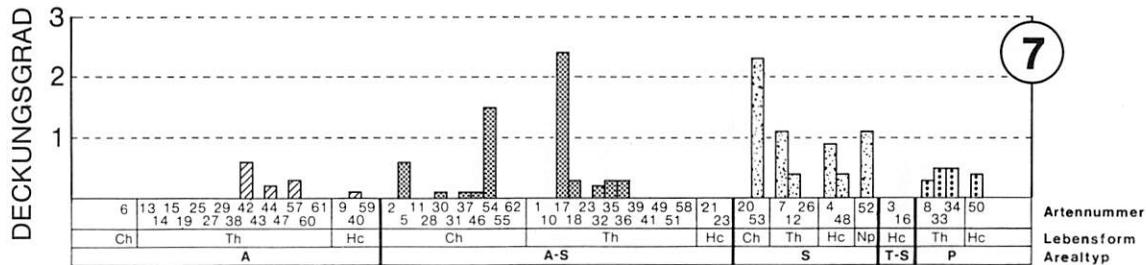
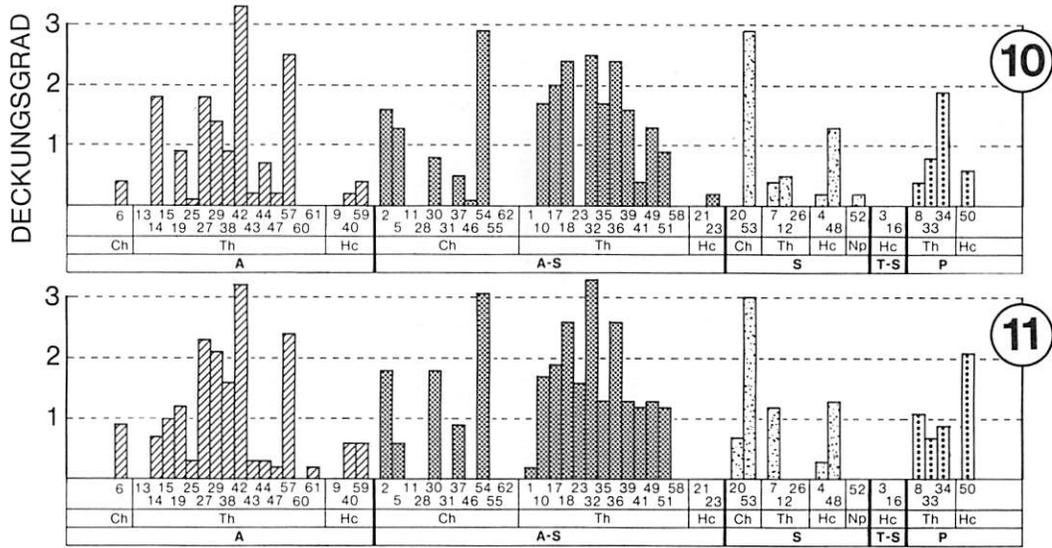


Abb. 16: Artenzusammensetzung der 11 Cluster: Artennummern, Goelement- und Lebensformenabkürzungen gemäß Tab. 8.





Entw.: P. Frankenberg u. J. Brennecke

9 Abb. 16: Artenzusammensetzung der 11 Cluster: Artennummern, Goelemt- und Lebensformenabkürzungen gemäß Tab. 8.

nicht wesentlich von der Sommerweide (Cluster 2) unterscheiden, wobei zu berücksichtigen ist, daß die Vegetationsaufnahmen im April erfolgten. Cluster 1 und 2 kommen sowohl auf der Frhjahrs- wie auch auf der Sommerweide des Erosions- und Deflationstyps vor. Damit wird die übergeordnete Bedeutung des edaphisch-morphologischen Faktors gegenüber dem Nutzungsfaktor Frühjahrs- und Sommerweide sowie dem Dauerschutzgebiet deutlich. Eine Ausnahme bildet die Dauerweide ohne Brache, die stets durch eigene Pflanzenassoziationen charakterisiert ist (Tab. 9). Lediglich für die Vegetation der Dauerweide ohne Brache spielt es eine Rolle, ob die Erosion durch Wasser oder Wind erfolgte. Für die übrigen Nutzungsformen ist nur bedeutsam, ob das Bodensubstrat entfernt wurde und ob Verkrustungen oder Krusten an die Oberfläche treten.

Charakteristische Standorttypen, die durch spezielle Pflanzengemeinschaften nachgezeichnet werden, stellen demnach Akkumulationstypen (stabilisiert oder mobil) dar, deren Pflanzenbesatz von der Nutzungsart unabhängig ist. Darüberhinaus sind der Erosionstyp, unabhängig von hygrischer oder aeolischer Erosion, sowie die Dauerweide ohne Brache als weitere charakteristische Standorttypen zu unterscheiden.

Die für die einzelnen Standorttypen kennzeichnenden Arten der Tab. 8 können nun hinsichtlich ihrer Arealtypenzugehörigkeit gruppiert werden. Die 62 auftretenden Arten wurden dazu entsprechend ihren Verbreitungsschwerpunkten zu Gruppen außertropischer (meist mediterraner) (A), saharo-arabischer (S) und tropischer (T) Arten zusammengefaßt. Die Hauptverbreitungsgebiete der zugehörigen Arten überschneiden sich. Dadurch treten zwischen dem außertropischen und dem saharo-arabischen Grundelement sowie zwischen dem saharo-arabischen und dem tropischen Grundelement zwei Verbindungselemente auf, die - ebenso wie in den vorangegangenen Analysen - als außertropisch-saharische (AS) und tropisch-saharische (TS) Florenelemente bezeichnet werden. Insgesamt lassen sich somit fünf Florenelemente ausgliedern, die jeweils einen Arealtyp repräsentieren.

Die Abb. 17 zeigt für jedes der 11 Cluster Arealtypenspektren. Hierzu wurde der prozentuale Anteil, den die Arten eines Florenelementes an der Gesamtartenzahl des entsprechenden Clusters haben, errechnet und in Diagrammform dargestellt. An den berücksichtigten Standorten sind im Mittel die mediterran-saharischen Arten mit einem Anteil von durchschnittlich 50% erstrangig vertreten, es folgen die mediterranen Spezies mit 26% und die saharo-arabischen mit 15%. Die pluriregionalen Arten erreichen im Mittel einen

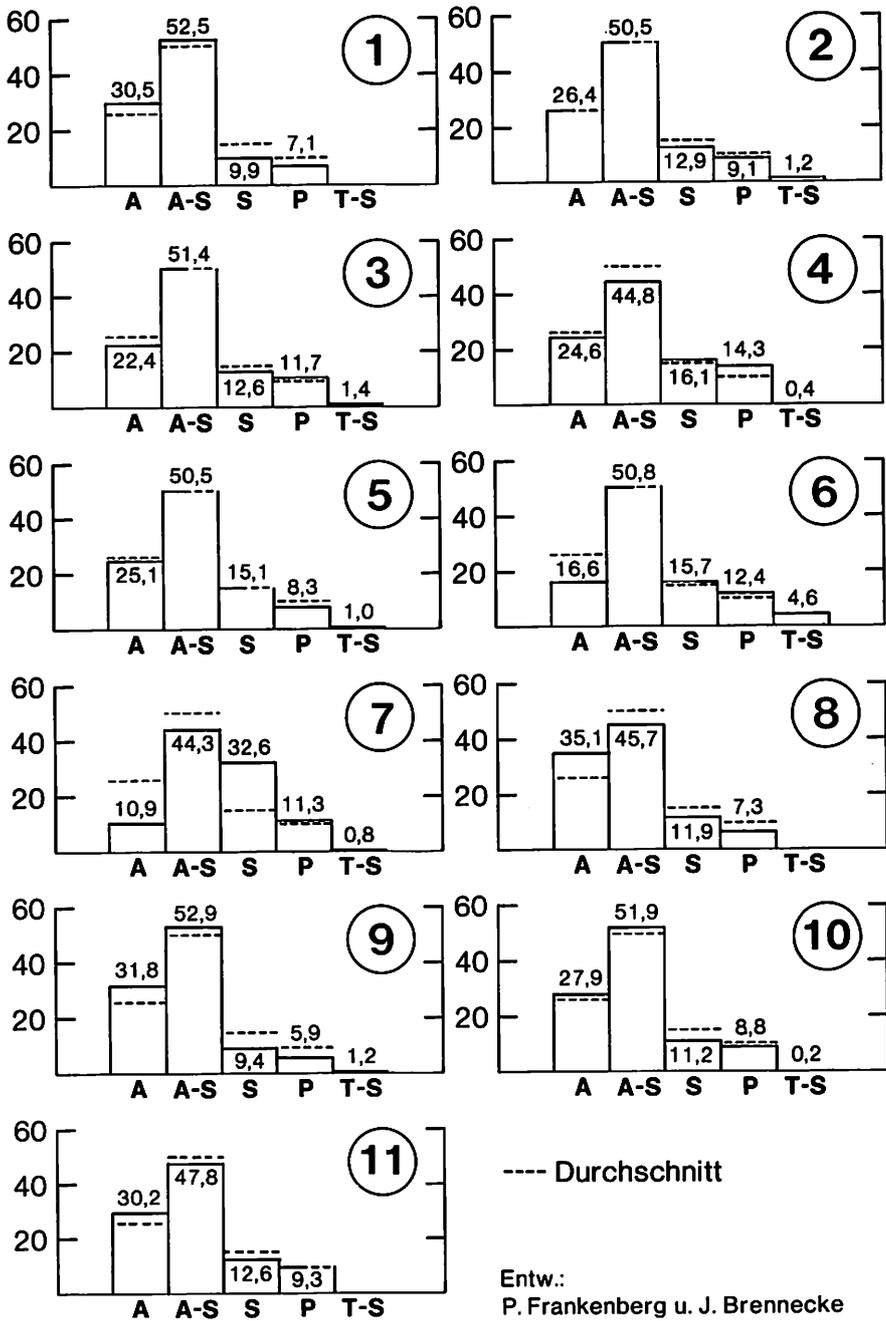


Abb. 17: Arealtypenspektren der Cluster I - 11

Anteil von knapp 10 %, während das tropische Element nur in Cluster 6 geringe Bedeutung erlangt. Die Vegetation des Untersuchungsgebietes ist also noch der holarktischen Flora zuzurechnen. Lediglich an zwei Dauerweidestandorten treten tropisch-saharische Florenelemente auf.

Besonders stark unterscheiden sich die einzelnen Cluster in den Anteilen der mediterranen und der saharo-arabischen Spezies. Hinsichtlich letzterer fällt besonders Cluster 7, in dem die Dünenstandorte zusammengefaßt sind, mit einem Anteil von 32,6 % auf. Die relative Anzahl der mediterranen Arten ist in den Dauerweidegebieten und hier insbesondere in den Akkumulationszonen (Cluster 6, 7) deutlich reduziert. Die Dauerweidenutzung führt also zu einer relativen Unterrepräsentanz des Anteils mediterraner Arten und zu einer relativen Überrepräsentanz des Anteils saharischer Florenelemente (S, TS). Umgekehrt wäre für extensiv genutzte Standorte ein überproportionaler Anteil mediterraner Florenelemente zu erwarten. Dies deuten die Frühjahrsweidestandorte (Cluster 1, 11) tatsächlich an. Der höchste Anteil mediterraner Spezies wird allerdings in Cluster 8 erreicht, in dem die Standorte mit starker Beweidung in Streusiedlungsnähe zusammengefaßt sind. Diese Standorte sind durch eine flache, lockere Sandauflage gekennzeichnet, auf der die Samenverbreitung mediterraner Therophyten (Unkräutern) durch den Menschen stark begünstigt ist. Von diesen Ausnahmen abgesehen, führt verstärkte Nutzung zu einer Begünstigung der saharischen Arten im weitesten Sinne, wie sie auch schon für die landeinwärts erfolgende Ariditätszunahme ausgewiesen wurde. Abgesehen von Überweidungsgebieten in Streusiedlungsnähe drückt sich kleinräumig die Desertifikation in den Arealtypenspektren ebenso aus, wie großräumig die Zunahme der Aridität.

Eine weitere Möglichkeit zur Charakterisierung der in einem Cluster zusammengefaßten Pflanzenbestände besteht in der Bewertung ihrer physiognomischen Erscheinung. Dazu wurden die Pflanzenarten entsprechend der Lage ihrer perennierenden Erneuerungsorgane zu Lebensformengruppen zusammengefaßt.

Der relative Anteil der Artenzahlen einer jeden Lebensform an der Gesamtartenzahl der in dem Cluster vertretenen Flora ist in Abb. 18 angegeben. Mit einem Anteil von 60 % dominieren im Mittel die Therophyten, gefolgt von den Chamaephyten mit 26 % und den Hemikryptophyten mit 10 %. Als Phanerophyt tritt im Untersuchungsgebiet nur *Retama raetam* auf. Diese saharische Art siedelt auf akkumuliertem Feinmaterial, das regelrechte Dünenysteme ausbilden kann, und ist in Cluster 7 mit einem Anteil von 5 % vertreten.

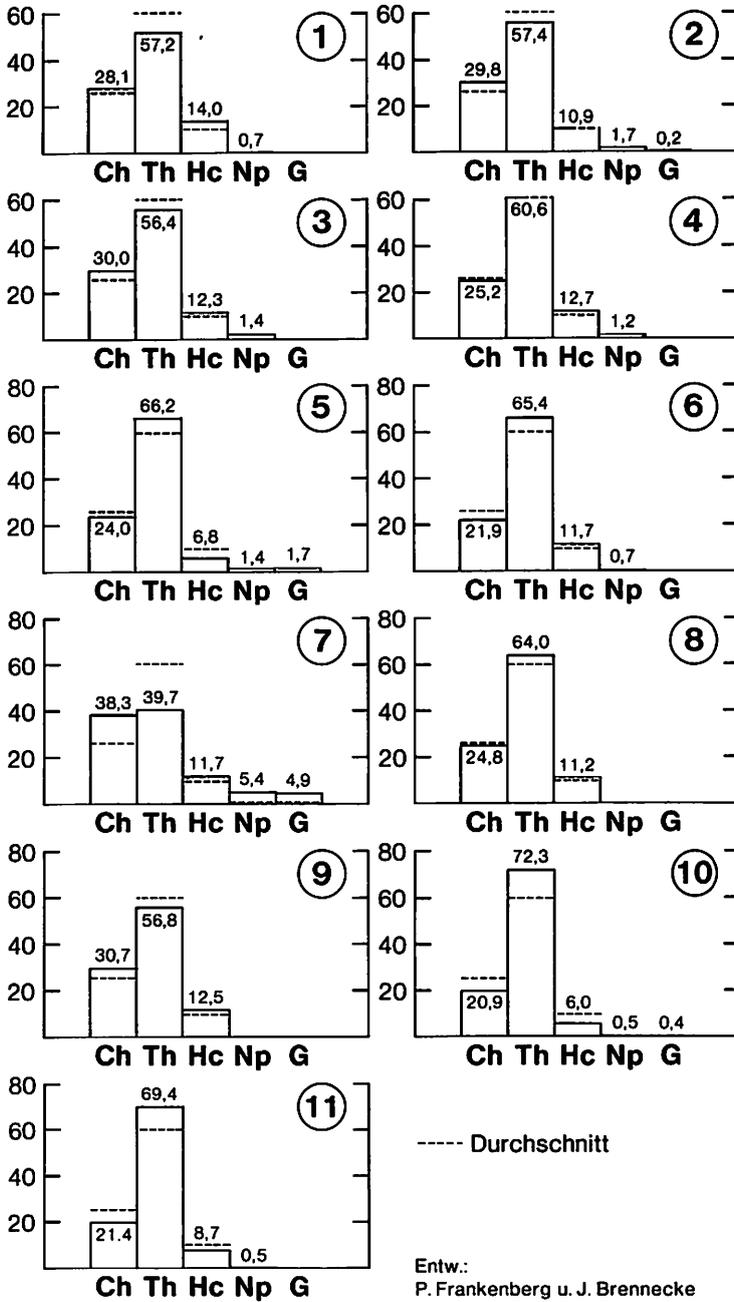


Abb. 18: Spektren der Lebensformen zu den Clustern 1 - 11 der Abb. 15

Die Therophyten erreichen ihre höchsten Anteile in stabilisierten Akkumulationszonen (Cluster 10, 11). Die Auflage eines Feinsubstrates ermöglicht hier die Verbreitung von Flachwurzlern. Die Lebensformenspektren der Abtragungsstandorte (Cluster 1, 2) und der Dünenstandorte zeigen, daß zu geringe, aber auch zu mächtige Sandauflagen das Aufkommen der Therophyten hemmen. Im ersten Fall kann sich das Wurzelsystem nicht entwickeln, im zweiten Fall sickert das Wasser zu schnell in tiefere Bereiche, wo es von den Wurzeln nicht mehr erreicht wird. An die Stelle der Therophyten treten unter diesen Umständen die Chamaephyten, die mit ihrem tiefreichenden Wurzelsystem auch das Wasser oberflächenferner Horizonte nutzen können (Cluster 7).

Die Hemikryptophyten nehmen eine relativ unbedeutende Stellung im Lebensformenspektrum ein. Diese Pflanzenarten tragen ihre Überdauerungsorgane unmittelbar an der Bodenoberfläche und haben daher im Untersuchungsgebiet wegen der extremen Hitze in Oberflächennähe (Abb. 5, 6) und dem hohen Strahlungsgenuß nur geringe Überlebenschancen.

Überweidung, die mit Bodenzerstörung verbunden ist, führt demnach zur Minderung der Therophytenhäufigkeit und zu einer Bedeutungszunahme der Chamaephyten, wie sie "gradientmäßig" (Abb. 12a, b) auch für die landeinwärts ansteigende Aridität ausgewiesen wurde. Da bei dieser sehr kleinräumigen Untersuchung Auswirkungen des Klimagradienten auszuschließen sind, wird deutlich, daß die Bodenzerstörung in gleicher Richtung wie eine klimatisch bedingte Ariditätszunahme wirkt.

5. Die zeitliche Varianz von Standortfaktoren und Vegetation

In den bisher abgeleiteten "Raumanalysen" der Vegetation des Untersuchungsgebietes und ihren Einflußgrößen war der Faktor Zeit nur sehr indirekt vertreten. Ihm soll nun Präponderanz eingeräumt werden. In einem Raum, in dem die Niederschlagsmenge der Regenzeit bisher zwischen 50 mm und 700 mm schwankte und der Verlauf der Regenzeit sowie ihr Einsetzen und ihr Ende sehr variabel sein kann, muß der Vegetationsbesatz dieser Variabilität mit hoher Flexibilität folgen. Dies gilt es im folgenden aufzuzeigen.

5.1 Zeitliche Änderung der Bodenfeuchte in Abhängigkeit von der Niederschlags- höhe

In den bisherigen Analysen wurde von festen Beobachtungszeitpunkten zur Erklärung der räumlichen Änderung des Vegetationsbesatzes in Abhängigkeit von den Klima-, Boden- und Nutzungsparametern ausgegangen. Von großem Interesse ist neben der räumlichen Änderungscharakteristik der Vegetation auch deren zeitliche Dynamik. Diese kann hinsichtlich einer Änderung der Klimaparameter, aber auch in Bezug auf veränderte Nutzungsformen analysiert werden.

Zur Analyse der zeitlichen Variation des Vegetationsbesatzes in Abhängigkeit vom Klima sind mehrjährige Beobachtungen erforderlich. Diese wurden in den Jahren 1982 - 84 durchgeführt. Das Jahr 1982 war in seiner gesamten Regenzeit relativ trocken, das Jahr 1983 ein herbstfeuchtes aber frühjahrstrockenes Jahr mit näherungsweise durchschnittlichem Jahresniederschlag, während 1984 insgesamt ein sehr feuchtes Jahr repräsentiert. Um für die Standorte Angaben zum Feuchteparameter machen zu können, wurde die Bodenfeuchte in den Jahren 1982 - 84, jeweils einige Wochen nach dem letzten Niederschlag, an einer Vielzahl gleichbleibender Standorte bestimmt. Niederschlagsdaten lagen für die in Abb. 2 gezeigten meteorologischen Beobachtungsstationen vor. Ganzjährige Niederschlagsmessungen im Gelände waren ausgeschlossen.

Die Bodenfeuchtwerte wurden für feinsandige Böden an sechs festliegenden Standorten in 10, 20 und 50 cm Tiefe mit einem Carbid-Manometer im Herbst 1982, 1983, 1984 gemessen. An weiteren 46 festgelegten Standorten erfolgten vergleichende Messungen im Monat März 1983 und 1984.

Für die sechs erstgenannten Standorte ist in Abb. 19 die Änderung der Bodenfeuchte in den Frühjahrsmonaten der Jahre 1982 - 1984 dargestellt. Besonders in 50 cm Tiefe erweist sich, ähnlich wie durch die Klimadaten der meteorologischen Stationen belegt, das Jahr 1984 als Feuchthjahr. In den teilweise mobilen Sanden der Standorte 3 und 6 zeichnet sich diese Tendenz besonders deutlich ab. In 20 cm Bodentiefe übertrifft die Bodenfeuchte des Jahres 1983 die von 1984 an einigen Standorten. Dies gilt teilweise auch für die Bodenfeuchte in 10 cm Tiefe. Generell liegen im Jahr 1982 die Bodenfeuchtwerte allerdings erheblich unter denen der beiden Folgejahre, als Konsequenz des geringen Niederschlagsaufkommens.

10 % Bodenfeuchte

Entw.: P. Frankenberg

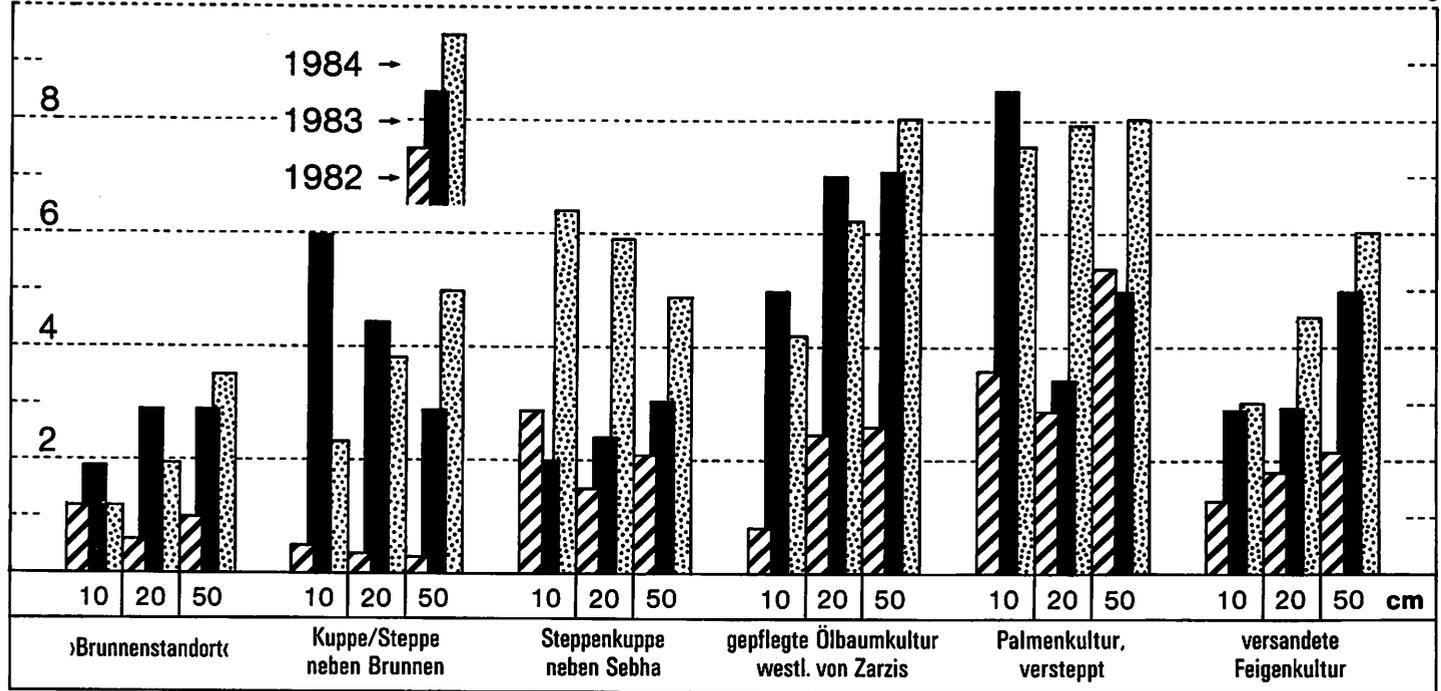


Abb. 19: Ergebnisse der Bodenfeuchtemessungen an sechs ausgewählten Standorten in den Jahren 1982/83/84 (Monat März) in 10, 20 und 50 cm Tiefe.

Einen detaillierten Vergleich der Bodenfeuchtwerte unterschiedlich stark degradierter Standorte für die Jahre 1983 und 1984 für Bodentiefen um 10 cm ermöglicht Abb. 20 und Tab. 10. In 65,2 % der Fälle ist der Bodenfeuchtegehalt 1984 höher als 1983, in 2,17 % aller Fälle ist er gleich, in 32,6 % aller Fälle erwies sich das Jahr 1983 als bodenfeuchter. Dies gilt für Standorte mit relativ hoher Bodenfeuchte. An sieben Standorten mit Bodenfeuchtwerten ≥ 8 % lag die Bodenfeuchte 1983 über der von 1984, an drei entsprechenden Standorten im Jahr 1984 über der des Vorjahres.

In Tab. 10 sind die Zu- und Abnahmen der Bodenfeuchte zwischen 1983 und 1984 im Zusammenhang mit Bodenart und anthropogener Störung beschrieben. Die Bodenfeuchteabnahme zwischen 1983 und 1984 konzentriert sich auf zwei Standortbereiche: Die geschützten Parzellen (100 %) und die halophilen Küstensteppen bzw. die entsprechenden Binnensenkenbereiche (83,3 %). Die Böden höchster Bodenwasserkapazität wiesen also im Frühjahr 1983 in 10 cm Bodentiefe höhere Bodenfeuchtwerte aus als am Ende der Regenzeit 1984. An den geschützten Standorten und in den halophilen Senken waren die Böden durch die Herbstregen 1983 offenbar soweit aufgefüllt worden, daß die Wasserreserven im Frühjahr bei nur geringen Frühjahrsregen trotz dichtem Therophytenbewuchs vornehmlich in den geschützten Bereichen noch sehr hoch waren. Die Frühjahrsregen von 1984 haben die hohe Wasserkapazität dieser Standorte dichten Pflanzenwuchses nach einer langen, bis in das Frühjahr andauernden Zehrphase, nicht voll auffüllen können. Vor allem dem Oberboden hat die reiche Vegetationsentfaltung mit starker Durchwurzelung des Oberbodens, die aus dem feuchten Frühjahr resultierte, schnell große Mengen Wassers kurz nach den Niederschlagsereignissen entziehen können. Bei den Herbstregen von 1983, die eine lange Trockenphase abschlossen, folgte der dichte Pflanzenwuchs dem Regen nach der Auffüllung des Bodenwassers. Im Jahr 1984 war hingegen an ungestörten Standorten bereits ein dichter Pflanzenwuchs aus dem Vorjahr vorhanden, der das Wasser sofort nutzte.

Dies gilt aber nur für relativ ungestörte Standorte mit naturnaher Vegetation und einer hohen Wasserspeicherkapazität des Bodens (Tab. 10). Die Denudationsstandorte zeigen zwischen 1983 und 1984 in über 80 % der Fälle eine Feuchtezunahme. Infolge der geringen Wasserspeicherkapazität reagieren die Böden dieser Standorte ganz unmittelbar auf Wassergaben und ähnlich reagiert auch die auf ihnen stockende Pflanzenwelt. Mit zunehmender Bodendegradation sinkt die Reaktionszeit von Bodenfeuchte und Pflanzenwuchs auf das Niederschlagsangebot. Es fehlt zunehmend das Bodenspeicherwasser als Puffer für die

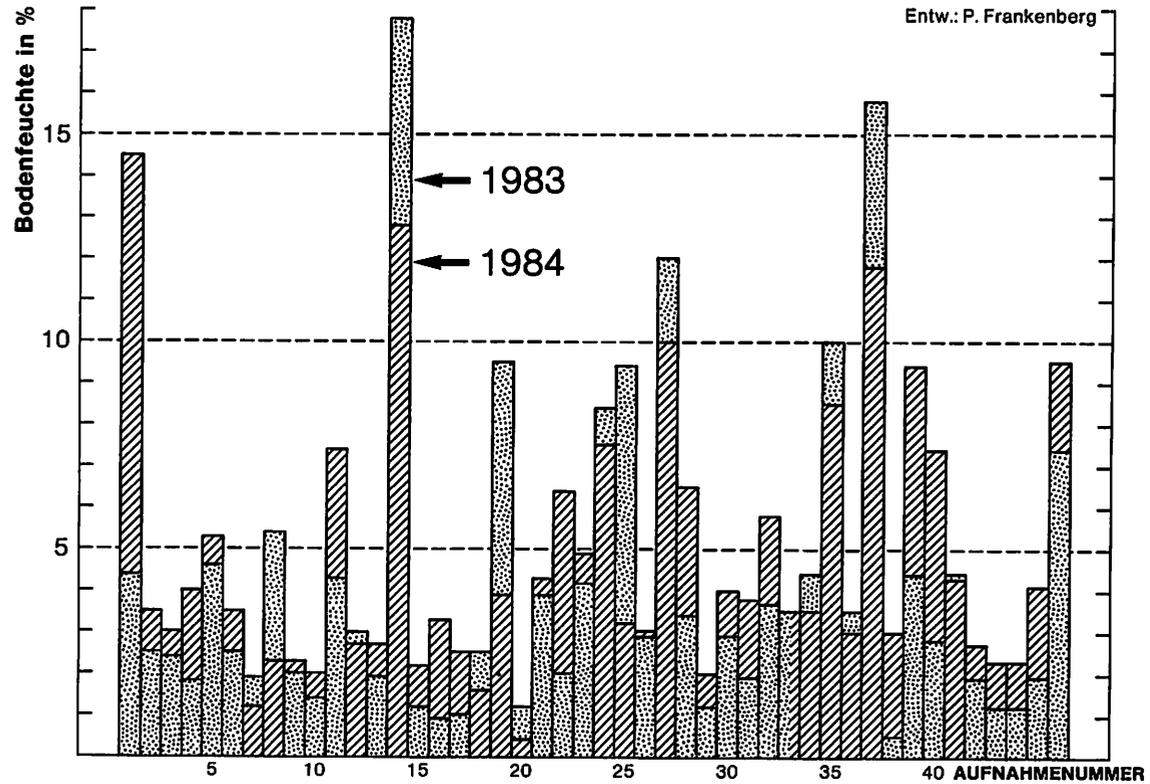


Abb. 20: Bodenfeuchtevergleich in 10 cm Tiefe für die Jahre 1983/84 (Monat März). Abzisse: Standortnummern 1 - 46 nach Aufstellung.

Tab. 10: Vergleich der Bodenfeuchtemessungen der Jahre 1983/1984

Standortcharakteristik	Feuchtezunahme 1983/84	gleichbleibend	Feuchteabnahme 1983/84
relativ ungestört beweidet geschützt	31, 38, 39, 43, 45, 46: 75 % -	- -	35, 41: 25 % 18, 19, 20: 100 %
leichte Denudation	2, 23, 28, 29, 30, 32, 44: 87.5 %	33: 12.5 %	--
starke Denudation	1, 6, 10, 11, 13, 16, 17, 21, 40: 81.8 %	-	12, 34: 18.2 %
leichte Akkumulation weitgehend stabilisiert	3, 4, 5, 9, 15, 22: 75 %	-	7, 8: 25 %
Akkumulation weitgehend mobil	26 (Mulde): 50 %	-	25 (Kuppe): 50 %
Muldentyp allg.	42: 16.7 %	-	14, 24, 27, 36, 37: 83.3 %
Mittl. prozentuale Anteile	16.7 %	2.17 %	32.6 %

1 - 46 = Standortnummern

Standorte der vergleichenden Bodenfeuchtemessungen 1983/84:

- 1 = Anthropogen stark überprägte Rhanterium-Steppe (Vegetationsaufnahme 10, stark degradiert)
- 2 = ebenda, weniger degradiert, 50 % Deckungsgrad
- 3 = *Zygophyllum album*-Steppe bei Gourine-Rücken
- 4 = ebenda: Senke (beides in Vegetationsaufnahme 6)
- 5 = *Zygophyllum album*-Steppe Oued Bou Ahmed (Vegetationsaufnahme 15)
- 6 = Rhanterium-Steppe mit Resten einer älteren Oberfläche, sog. Beatlesteppe (Vegetationsaufnahme 4, 5)
- 7 = Rhanteriumsteppe "Brunnen", leichte Sandauflage (Vegetationsaufnahme 1 - 3)
- 8 = ebenda, Kuppe
- 9 = ebenda, weiter entfernt, Senke, Deckungsgrad 1/3 höher
- 10 - 14 = Bodenfeuchteprofil auf Djerba: (Vegetationsaufnahme 19, 22 - 25)
- 15 = *Zygophyllum album*-Steppe (Vegetationsaufnahme 7, 8)
- 16, 17 = An Fähre bei Djorf, Steppenrest mit *Thymelea hirsutum* (Vegetationsaufnahme 20, 21)
- 18 - 20 = In Parcellen protégée, außerhalb Akkumulationstyp, außerhalb Denudationstyp (Vegetationsaufnahme 39 - 41)
- 21 = extrem degradierte Steppe der Halbinsel Bou Grara (Vegetationsaufnahme 9)
- 22 = Sandkuppen der Rhanterium-Steppe (Vegetationsaufnahme 64)
- 23 = Beackerte Ölbaumkultur
- 24 = Hang mit *Phoenix* sp. neben Vegetationsaufnahme 34, halophiles Milieu
- 25 = Dünen vor Zarzis (Vegetationsaufnahme 65 - 67)
- 26 = ebenda, Senke
- 27 = Senke neben Küstensteppe mit *Tymelea* sp. (Vegetationsaufnahme 61)
- 28 - 41 = 2. Feuchteprofil auf Djerba: *Olea*-Kultur vor Guellala gepflegt (28), un gepflegt (29), weiter unten junge *Olea*-Kultur (30), Senke vor Tabia (31), Senke hinter Tabia (32), *Olea*-Kultur gepflegt auf Stufe (33), unterhalb *Thymelea*-Steppenrest (34), Barranca darunter mit Feigenkultur (35), Strandfläche vor Guellala-Sandkuppe mit *Lygeum spartum* (36), Senke daneben (37), Garten in Guellala (38), Rotlehmrelikt bei Tlet (39), Kolluvium auf Brache bei Tlet (40), Ackerfläche daneben (41)
- 42 = Küstensteppe der Vegetationsaufnahme 19 auf Djerba
- 43 = Palmenkultur vor El Kantara/Djerba
- 44 = *Olea*-Kultur bei El May/Djerba
- 45 = Garten zwischen Guellala und Cedouikech
- 46 = Barranca daneben

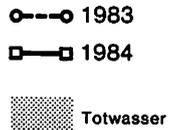
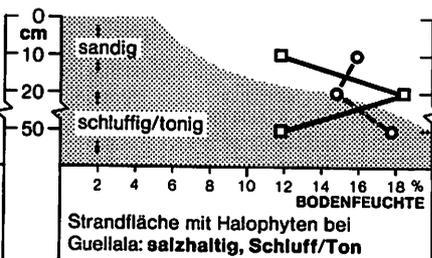
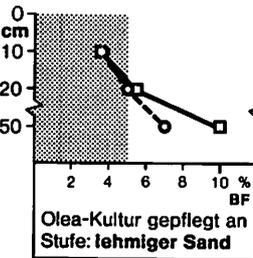
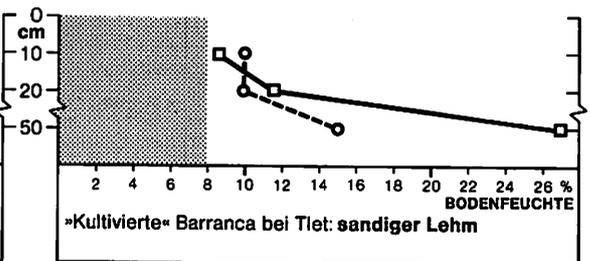
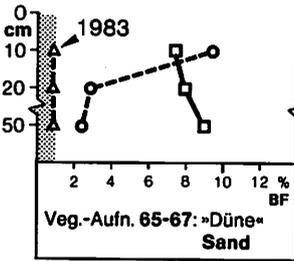
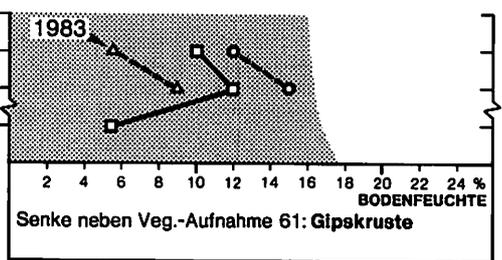
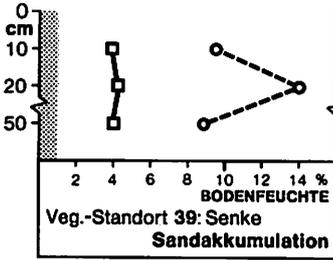
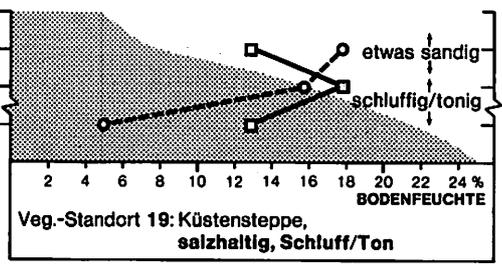
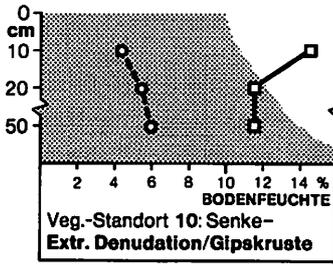
Pflanzenwelt. Dies gilt allerdings nur für Flachwurzler.

In Abb. 21 sind für Bodentiefen von 10 cm, 20 cm und 50 cm die Bodenfeuchtwerte für die Jahre 83 und 84, z.T. auch solche für das Jahr 1982, aufgetragen. Zudem ist in Abhängigkeit von der Bodenart der permanente Welkepunkt (PWP) angegeben.

Für die sandigen oder weitgehend sandigen Böden überschreiten die Bodenfeuchtwerte (Standort 65 - 67) im Jahr 1982 bis in Tiefen über 50 cm den PWP nicht. Dementsprechend blieben 1982 diese Dünenstandorte nahezu pflanzenfrei. In den Jahren 1983 und 1984 überstieg der Bodenfeuchtegehalt deutlich den PWP. Zunehmend dichter stockten Pflanzen auf den Dünenstandorten. Dabei spielte *Cynodon dactylon* eine erstrangige Rolle. Es ist zu beachten, daß in 10 cm Bodentiefe die Feuchtwerte 1983 über denen von 1984 lagen. In größerer Tiefe kehrte sich das Verhältnis um, während an Vegetationsstandort 39 beispielsweise, bei vergleichbarem Substrat, im Jahr 1983 die Bodenfeuchte durchweg über alle Horizonte deutlich über derjenigen des Jahres 1984 lag.

Bei höherer Schluffkomponente war erwartungsgemäß eine markante Steigerung der Bodenfeuchte mit zunehmender Tiefe zu beobachten (gepflegte Oleakultur; Barranca = Kulturimpluvium in Erosionsrinne). An diesem Standort wurde der PWP in beiden Jahren erst ab 20 cm Bodentiefe überschritten. Die mehrfache Beackerung hatte in der Oleakultur den Oberboden so sehr ausgetrocknet, daß keine wildwachsenden Pflanzen aufkommen konnten. Die größten Bodenfeuchtedifferenzen 1983/1984 zeigten sich allerdings im Bereich der Barranca. In 50 cm Bodentiefe lag der Bodenwassergehalt 1984 nahezu doppelt so hoch wie 1983, obwohl in 10 cm Tiefe der Bodenwassergehalt 1983 über dem von 1984 lag. Besonders dieses Ergebnis macht deutlich, daß die in Abb. 20 und Tab. 10 dargestellten Bodenfeuchtevergleiche für 10 cm Tiefe ausschließlich die Bodenfeuchteverhältnisse des Oberbodens repräsentieren.

Auch an den beiden Küstensteppenstandorten erwies sich die Bodenfeuchte in 10 cm Tiefe 1983 höher als 1984, während sie vor allem in 20 cm Bodentiefe im Jahr 1984 ausgeprägt höher lag. Der PWP wurde in beiden Jahren nur oberhalb einer Bodentiefe von 20 cm überschritten. Hier können also nur Flachwurzler oder Halophyten hoher Saugkraft gedeihen. Der hohe PWP stark gipshaltigen Materials (Standorte 10, 61) erklärt die beobachtete gleichbleibende Pflanzenarmut in beiden unterschiedlich feuchten Jahren. Selbst wenn das Gipsmaterial in unverfestigter Form vorliegt und hohe Bodenfeuchtwerte ausweist, wird der



Entw.: P. Frankenberg

Abb. 21: Vergleich der Bodenfeuchtemessungen für die Jahre 1983/84 (Monat März) einiger ausgewählter Standorte.

PWP allenfalls kurzzeitig nach Regenfällen überschritten. Es können nur einige Individuen ausgesuchter Arten aufkommen. In der stark gipsangereicherten Senke nahe der Aufnahme­fläche 61 kam während der Beobachtungsjahre trotz hoher, aber unterhalb des PWP liegenden Bodenfeuchtwerte keine Vegetation auf. Von ehemaligem Pflanzenwuchs zeugten allerdings an diesem Standort im Jahre 1982 einige abgestorbene Exemplare von *Polygonum* sp.. Ist also das sandige Oberbodenmaterial solcher Standorte soweit abgetragen, daß die Gipskruste bzw. das nicht verfestigte Gipsmaterial ansteht, so kann kein oder kaum Pflanzenwuchs aufkommen, da der PWP des schluffig-tonigen Materials so hoch liegt, daß selbst in ausgesprochenen Feuchtejahren der Bodenwassergehalt den PWP allenfalls kurzzeitig übersteigt. Die einsetzende Verdunstung führt dann aber bei diesen Materialien zur tiefgründigen Austrocknung in Folge der durchgängigen Kapillare.

Diese Analysen der Bodenfeuchte unterschiedlicher Standorte und unterschiedlicher Jahre zeigen, daß die Höhe der Jahresniederschläge, wie sie von den meteorologischen Beobachtungsstationen vorliegen, das Ausmaß des pflanzenverfügbaren Wassers nur begrenzt bedingen. In Abb. 7 konnte schon herausgearbeitet werden, wie sehr die topographischen Gegebenheiten die Wasserverfügbarkeit modifizieren. Diese Beschreibung macht nun klar, daß auch die von Jahr zu Jahr auftretende Variabilität des Niederschlags in Abhängigkeit zur Bodenart sehr unterschiedliche Auswirkungen auf den Pflanzenwuchs hat. Da die Intensität des Pflanzenwuchses der Vorjahre die Samenverfügbarkeit entscheidend bestimmt, werden die jeweiligen Standortbedingungen nicht nur durch die aktuelle Niederschlagsgabe sondern auch durch die eigene Geschichte nachhaltig mitbestimmt.

5.2 Vegetationsänderungen in Abhängigkeit vom Niederschlagsregime

In Trockengebieten führt die hohe Variabilität des Niederschlags (Abb. 4) zu einer großen Schwankungsbreite des Artenbesatzes und der Individuenzahlen innerhalb der Vegetationseinheiten. Für das Untersuchungsgebiet wurden diese Zusammenhänge durch Vegetationsaufnahmen nach den Regenzeiten verifiziert. Die Regenzeit des Jahres 1982/83 (Abb. 22) schloß eine Trockenphase ab, die seit 1977 währte. Das Jahr 1983 war ein ausgesprochen herbstfeuchtes Jahr und mit 1984 konnte ein frühjahresfeuchtes Jahr vergleichend in die Untersuchung einbezogen werden.

Die Abb. 23 (1) macht durch einen Zeitvergleich die Entwicklung des Artenbe-

Niederschlag

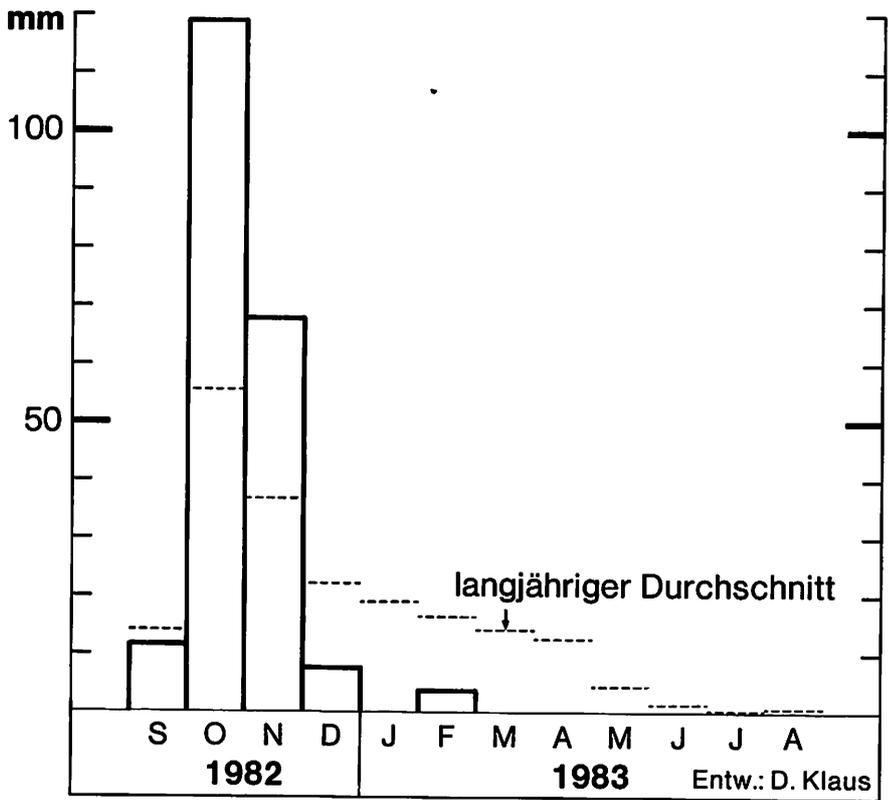


Abb. 22: Vergleich der langjährigen (1901 - 1976) mittleren monatlichen Niederschlagssummen mit der Regenzeit 1982/83 für Djerba.

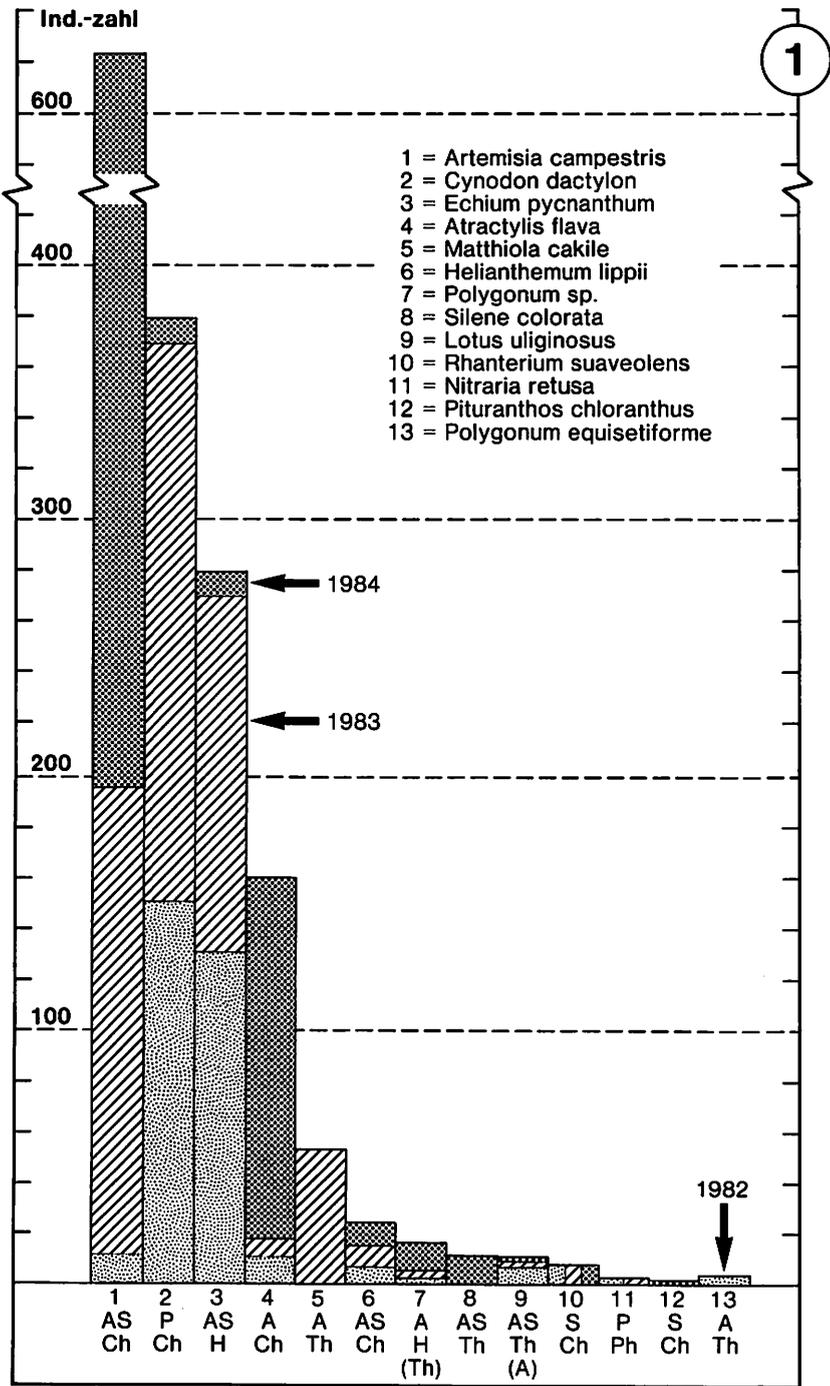
satzes und der Individuenzahlen in einer Testparzelle (25 x 25 m) 31 km westlich von Zarzis deutlich. Es läßt sich generell eine starke Steigerung der Artenzahl sowie der Individuenzahlen von 1982 auf 1983 feststellen. Die Erhöhung der Therophytenzahl hat in dem zweiten Feuchtjahr (1984) angehalten. Die Individuenzahlen nahmen fortlaufend mit zunehmender Humidität von 1982 bis 1984 zu.

An sieben Testflächen (Abb. 23, 1 - 7) wurden die Individuenzahlen und die Artenzahlen im Frühjahr 1983 und Frühjahr 1984 vergleichend erhoben, um festzustellen, inwieweit die verbesserten Niederschlagsbedingungen die Arten- und ihre Individuenzahlen veränderten. Außerdem sollte geprüft werden, ob als Folge der unterschiedlichen jahreszeitlichen Verteilung der Niederschläge eine Veränderung der Arten- und der Individuenzahlen zu beobachten ist. Die entsprechenden Arten- und Individuenauszählungen gestatten die Bestimmung der Lebensformen- und der Geoelementspektren, wodurch die weitere Analyse im Sinne dieser Arbeit erleichtert wird.

Von Jahr zu Jahr zeigten die Phanerophyten erwartungsgemäß die geringsten Veränderungen ihrer Individuenzahlen. Die mediterranen Chamaephyten verhielten sich sehr ambivalent. Eine etwa gleichgroße Zahl dieser Arten war durch Zu- und Abnahme ihrer Individuenzahlen gekennzeichnet. Relativ gering war der Prozentsatz der Chamaephyten mit gleichbleibender Individuenzahl.

Ein anderes Verhalten zeigten die mediterran-saharischen Chamaephyten. Hier hielten sich die Arten gleichbleibender und solche steigender Individuenzahlen näherungsweise die Waage. Relativ gering war die Artenzahl mit abnehmender Individuenzahl.

Als sehr reaktionsträge erwies sich das saharo-arabische Geoelement, welches ausnahmslos durch die Lebensform der Chamaephyten repräsentiert war. Über 60 % der Arten zeigten Individuenkonstanz (Abb. 23). Die Zahl der Arten mit zunehmenden Individuenzahlen war doppelt so hoch wie die der Arten mit abnehmenden Individuenzahlen. Je saharischer der Hauptverbreitungsraum der Geoelemente war, um so konservativer verhielten sich die das Geoelement repräsentierenden Chamaephytenarten gegenüber der Niederschlagshöhe. Das mediterrane Element mit seiner starken Abhängigkeit von der Niederschlagshöhe unterschied sich also sehr deutlich von den konservativen mediterran-saharischen und saharischen Geoelementen.



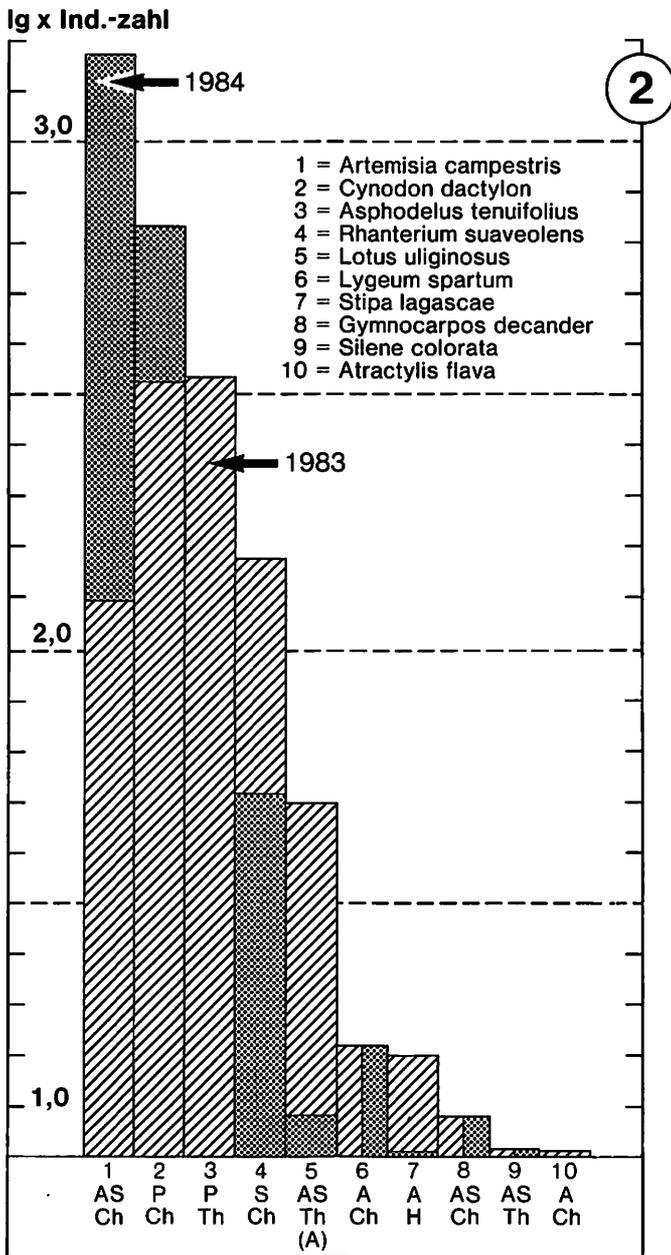
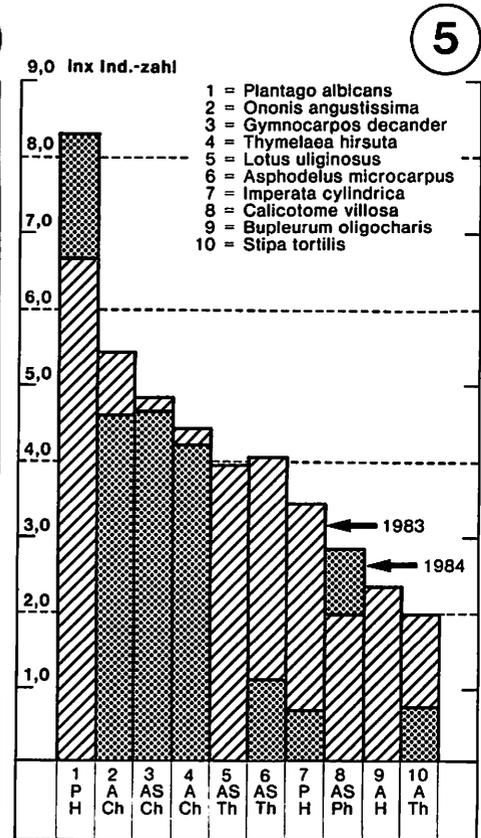
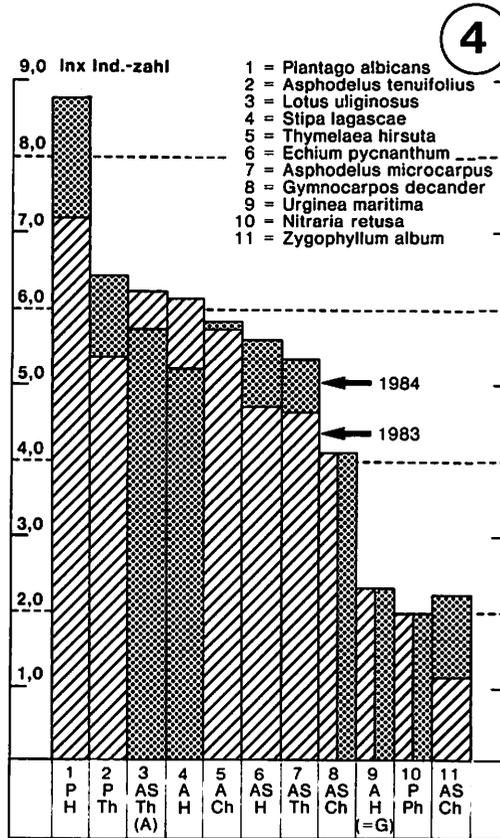
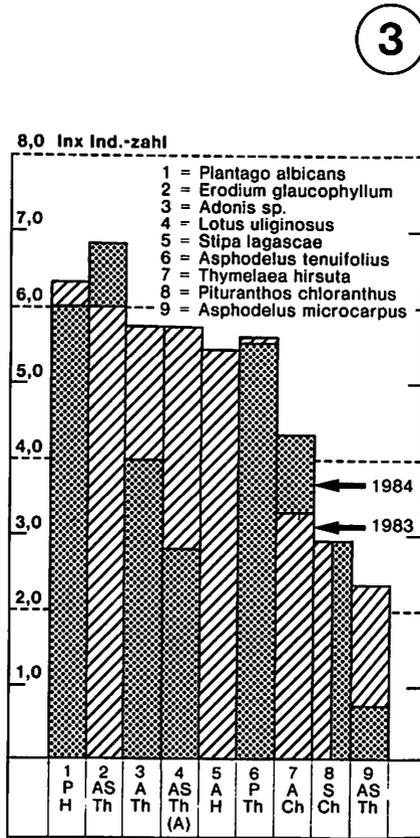


Abb. 23: Vergleich der Individuen- und Artenzahlen in den Jahren 1983 und 1984 (Monat März; In (1) auch Vergleich mit 1982). Mit den Ziffern sind die Vegetationsstandorte der Auflistung gemäß Abb. 9 bezeichnet.



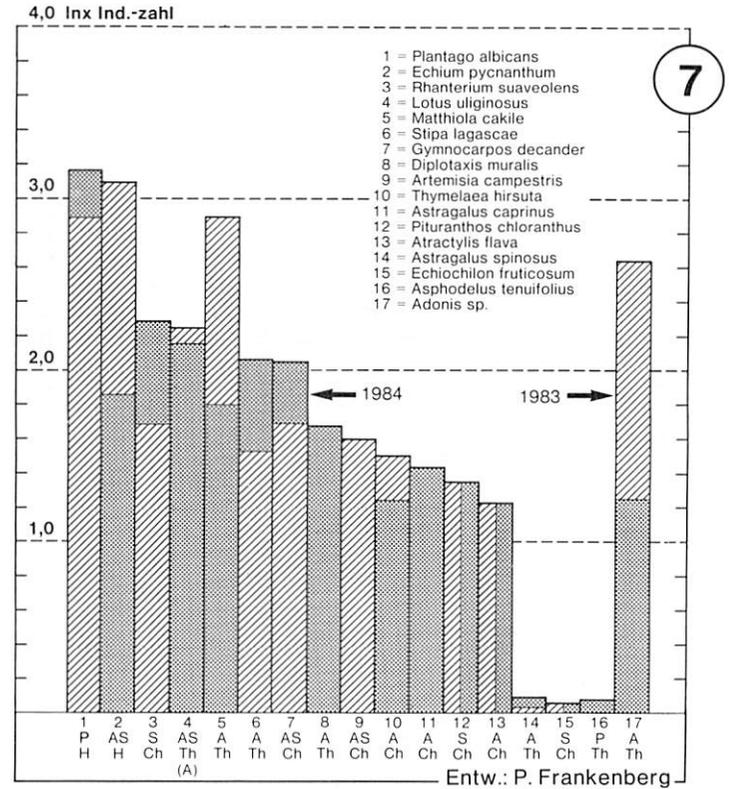
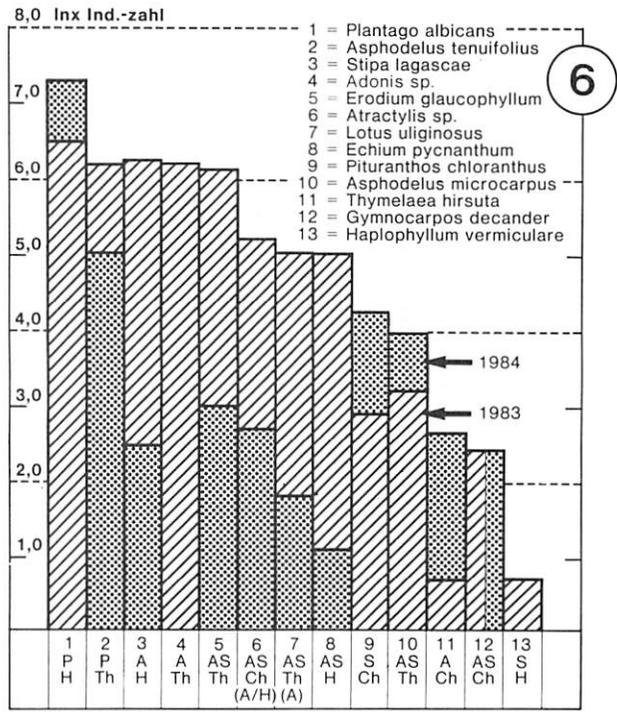


Abb. 23: Vergleich der Individuen- und Artenzahlen in den Jahren 1983 und 1984 (Monat März; In (1) auch Vergleich mit 1982). Mit den Ziffern sind die Vegetationsstandorte der Auflistung gemäß Abb. 9 bezeichnet.

Von großem Interesse ist die Reaktion der Therophytenarten unterschiedlicher Geoelementzugehörigkeit auf die veränderte jahreszeitliche Niederschlagsverteilung in den Jahren 1983 und 1984. Die mediterranen Therophytenarten reduzierten ihre Individuenzahlen im frühjahrsfeuchten Jahr 1984. Bei den mediterran-saharischen Therophyten blieb die Häufigkeit der die Individuenzahl steigernden Arten und die der die Individuenzahl vermindernden Arten näherungsweise gleich. Bei den pluriregionalen Therophyten überwogen die Arten mit abnehmenden Individuenzahlen. Offenbar sind vor allem mediterrane Therophyten zu ihrer Keimung auf Herbstregen angewiesen. Fehlen diese Herbstregen oder verzögern sie sich, wie im Jahr 1984, so kann ein Großteil der mediterranen Therophytensamen nicht auskeimen. Die Frühjahrsniederschläge kommen dann für die optimale Entwicklung der mediterranen Therophyten im Untersuchungsraum zu spät. Im Gegensatz dazu können viele mediterran-saharische Therophyten auch die Frühjahrsregen zur Keimung voll ausnutzen.

Nach diesen Testergebnissen und vielfältigen nicht quantitativ erfaßten Geländebeobachtungen stellt sich die Vegetationsentwicklung in den drei Jahren 1982, 1983 und 1984 wie folgt dar (Tab. 11): In Trockenjahren - wie 1982 - ist die Arten- und Individuenzahl der Therophyten stark reduziert. In Jahren mit Herbstregen entwickeln sich mediterrane Therophyten wesentlich besser als in Jahren mit Frühjahrsregen ohne ausreichende Herbstregen. Mediterran-saharische Therophyten verhalten sich gegenüber diesem Wechsel der Hauptniederschlagszeiten relativ neutral. Sie sind offenbar an Schwankungen der jahreszeitlichen Niederschlagsverteilung sehr gut angepaßt. Auch bei stark verkürzter Vegetationszeit wird die Samenreife ermöglicht. Mit zunehmendem Verbreitungsschwerpunkt der Arten im saharischen Raum wird eine wachsende Unabhängigkeit von der jahreszeitlichen Niederschlagsverteilung und der Andauer sowie Intensität der Regenperioden erreicht. Schon einzelne Niederschlagsereignisse genügen schließlich, um diese Arten in wenigen Wochen zur Samenproduktion zu führen.

Mediterrane Chamaephyten reagieren bedeutend empfindlicher als mediterran-saharische Chamaephyten auf jahreszeitliche Änderungen der Hauptniederschlagszeiten. Als besonders unabhängig vom jahreszeitlichen Auftreten der Niederschläge erweisen sich die Chamaephyten des saharo-arabischen Geoelementes. Auch die saharischen Chamaephyten scheinen weniger an die Niederschlagszeit gebunden zu sein als die mediterranen Chamaephyten. Insgesamt scheint das mediterrane Florenelement im Untersuchungsraum gegenüber der Höhe und der jahreszeitlichen Verteilung der Niederschläge sowie gegenüber

Tab. 11: Zeitvergleich der Individuenzahlen, die in den Jahren 1983/1984 auf sieben Testflächen bestimmt wurden. Angegeben sind jeweils die Prozentwerte der Zunahme (+), Abnahme (-) und Stagnation () der Individuenzahlen, differenziert nach Geoelement- und Lebensformzugehörigkeit.

GEOELEMENT	A	AS	S	P
Chamaephyten	42,9 +	40.0 +	22.2 +	100.0 +
	42.9 -	20.0 -	11.1 -	
	14.3	40.0	66.7	
Hemikryptophyten	50.0 +	50.0 +	-	60.0 +
	25.0 -	50.0 -	-	40.0 -
	25.0			
Therophyten	23.1 +	46.2 +	-	40.0 +
	76.9 -	53.8 -	-	60.0 -
Phanerophyten	100.0	100.0	100.0	100.0
				durchgängig gleichbleibend

der Bodendegradation bzw. der Sandakkumulation auf Krustenresten das empfindlichste aller auftretenden Florenelemente zu sein.

5.3 Überlegungen zur langfristigen Entwicklung des Klimafaktors

Verallgemeinert man die zusammengestellten Ergebnisse zur raumzeitlichen Vegetationsdynamik so gilt, daß abnehmende Niederschlagshöhen und Verschiebungen in der jahreszeitlichen Niederschlagsverteilung ebenso wie verstärkte Nutzung mit ihren erosiven Folgen im Untersuchungsgebiet eine Änderung im Artenspektrum auslösen, die durch eine Begünstigung der saharischen Florenelemente geprägt ist. Bevölkerungsdruck und damit einhergehende Sachzwänge lassen für die Zukunft eine verstärkte Degradation als Folge der Überbeanspruchung des Raumes vermuten. Diese könnte teilweise durch eine Niederschlagserhöhung und durch eine besonders günstige jahreszeitliche Verteilung der Niederschläge ausgeglichen werden. Ebenso würde sich ein Häufigkeitsrückgang der erosionsaktiven Winde und der Starkregen positiv auf die Vegetationsentwicklung des Untersuchungsgebietes bei näherungsweise gleichbleibender Nutzungsaktivität auswirken.

Prognosen der langfristigen Niederschlagsentwicklung sind mit vielfältigen Unsicherheiten behaftet. Sie beruhen, abgesehen von numerischen Simulationsmodellen, im wesentlichen auf einer Fortschreibung bisher beobachteter Trends und Oszillationen. Dieses Verfahren setzt Stationarität in den Niederschlagszeitreihen voraus, die in aller Regel aber nicht vorliegt. Dennoch stellt das Fortschreibungsverfahren von Trends und Oszillationen die bisher einzige bekannte Möglichkeit dar, zukünftige Entwicklungen wenigstens grob abzuschätzen.

Die langjährigen Niederschlagssummen der vier Hauptstationen des Untersuchungsgebietes, die vom tunesischen meteorologischen Dienst betrieben werden, sind in Abb. 24 im Vergleich zu Tunis dargestellt. Fehlende Jahressummen wurden gemäß Regressionsrechnungen mit den jeweils nächsten Nachbarstationen ersetzt. Homogenität ist in guter Näherung gesichert.

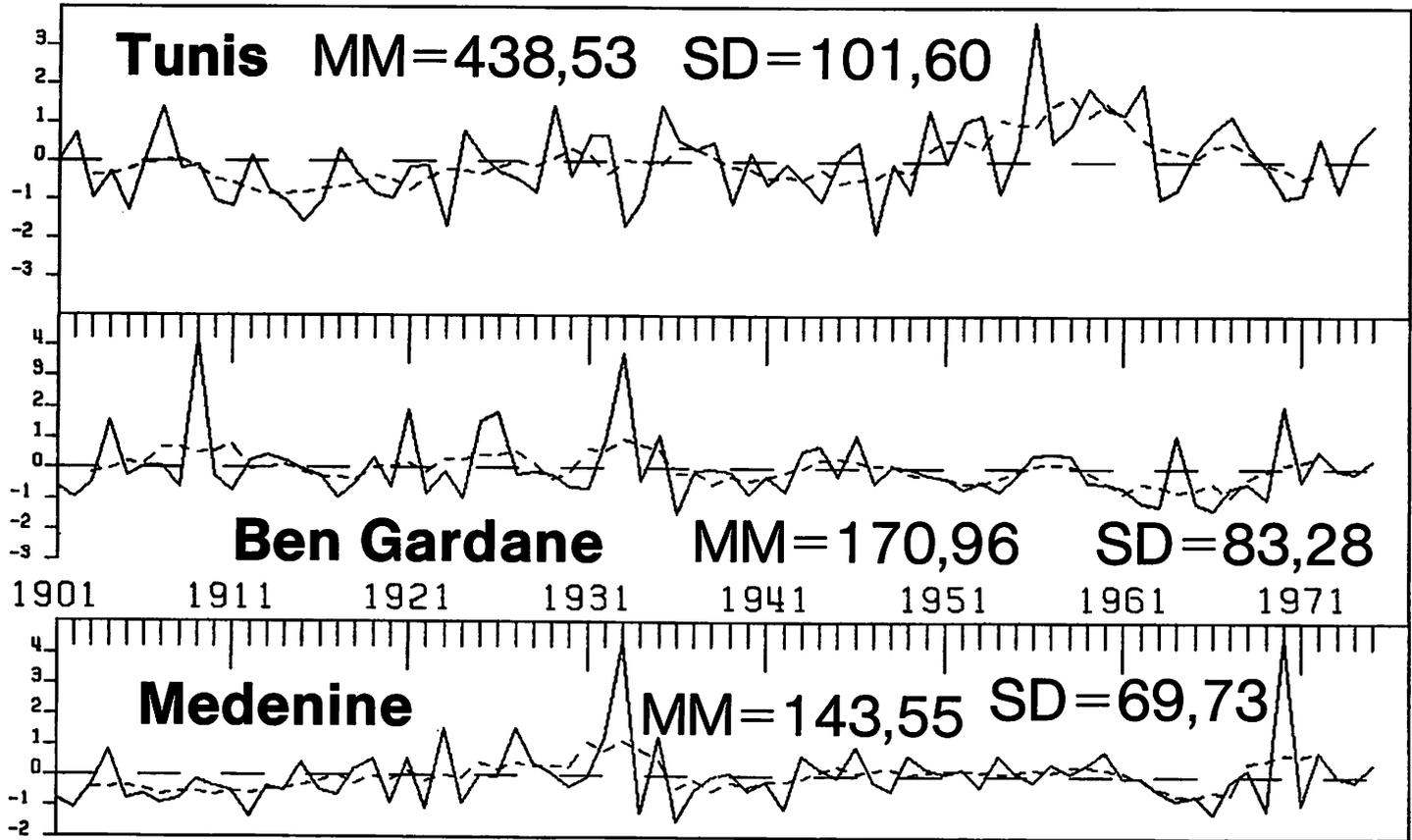
Die Zeitreihen der jährlichen Niederschlagssummen des Untersuchungsgebietes zeichnen sich durch eine hohe Variabilität aus, die allerdings in Houmt-Souk/Djerba vergleichsweise gering bleibt. Es wird besonders deutlich, daß an den landeinwärts gelegenen Stationen Medenine und Ben Gardane einige niederschlagsreiche Jahre in entscheidender Weise die langjährigen Mittelwerte

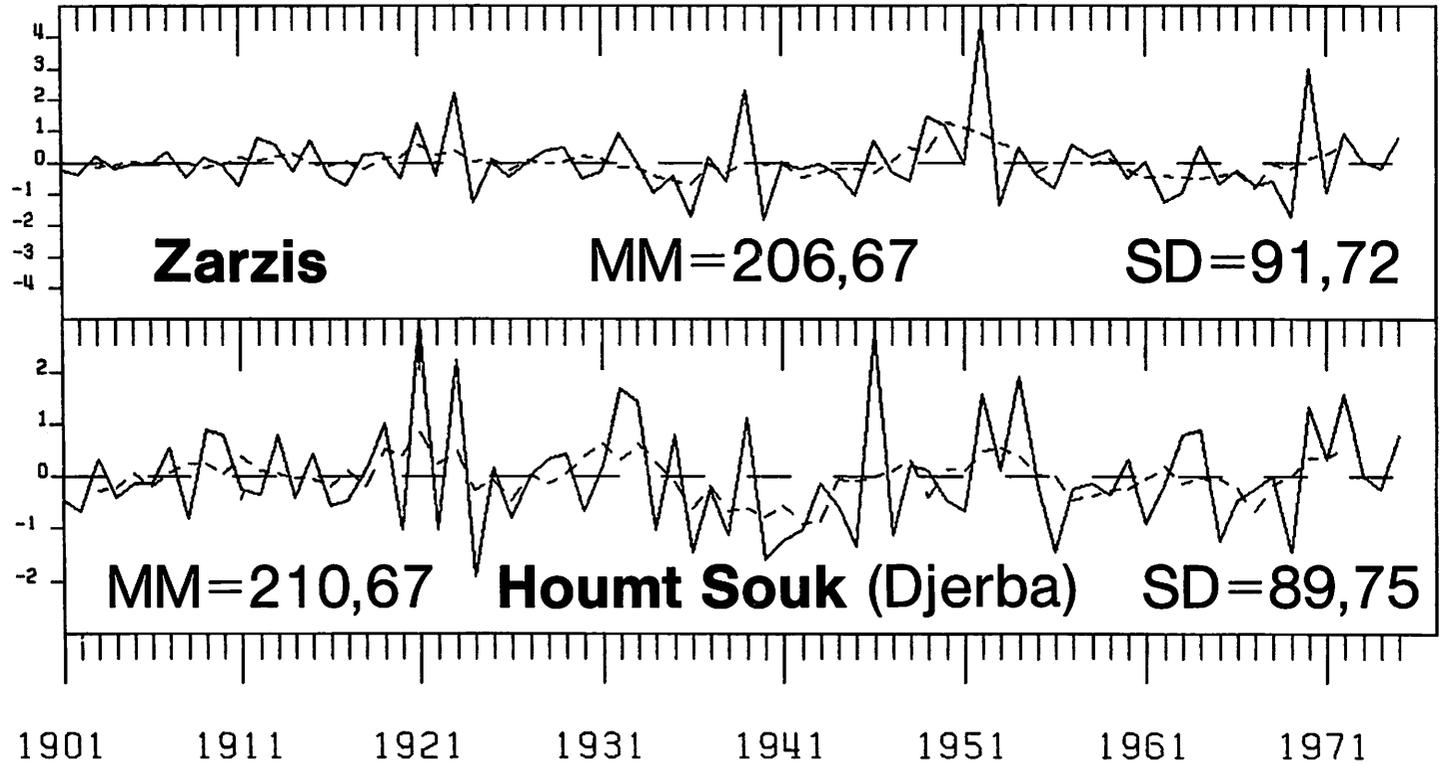
bestimmen. Wenn aber singuläre, stark zufallsbedingte Niederschlagsereignisse, wie sie beispielsweise für das Jahr 1933 und 1969 ausgewiesen sind (Abb. 24), so großen Einfluß auf den Mittelwert nehmen, muß die ökologische Bedeutsamkeit der Mittelwerte stark in Frage gestellt werden. Für diese küstenfernen Stationen können Jahressummen, die näherungsweise 50 % unter dem langjährigen Mittelwert liegen, als ökologisch relevanter angenommen werden. Ein solcher Wert entspricht näherungsweise, infolge der Schiefe der Häufigkeitsverteilung der jährlichen Niederschlagssummen, dem Modalwert der Verteilung. Alle Folgerungen, die durch weiterführende statistische Verfahren möglich werden, sind also unter einschränkenden ökologischen Randbedingungen zu bewerten.

Langfristige Tendenzen im Niederschlagsgeschehen lassen sich durch Residuenmassenkurven einfach erfassen. Bei diesem Verfahren werden die prozentualen Abweichungen vom langjährigen Mittelwert akkumulativ aufgetragen (Abb. 25). Positive Abweichungen kommen durch ansteigende, negative durch abfallende Kurvenverläufe zum Ausdruck.

In Tunis herrschten bis etwa 1950 negative Abweichungen, danach positive vor. In Ben Gardane ergibt sich ein fast inverses Verhalten, während an den übrigen Stationen des Untersuchungsraumes vielfältige Fluktuationen unterschiedlicher Periodenlänge dominieren. Eine generelle Tendenz abnehmender Niederschlagshöhen gegenüber dem Mittel der Gesamtperiode ist allenfalls in Ben Gardane, welches im Süden des Untersuchungsgebietes gelegen ist, seit 1930 erkennbar.

Für Houmt-Souk/Djerba, Ben Gardane und Tunis sind in Abb. 26 die Zeitreihen der jährlichen Niederschläge und deren Approximation durch Polynome erster, dritter und fünfter Ordnung angegeben. Langfristig wird durch diese Approximation ein näherungsweise inverses Verhalten der Niederschlagsentwicklungen in Tunis und im Untersuchungsraum deutlich. Auch die Korrelationskoeffizienten zwischen den Zeitreihen von Tunis und denen Südost-Tunesiens bringen dies zum Ausdruck (Tab. 12). Das bedeutet aber, daß die niederschlagsgenetischen Prozesse im Norden Tunesiens ganz anderer Art sind als im Südosten des Landes. Es wurde schon an anderer Stelle darauf hingewiesen, daß den Nordost-Störungen und saharischen Störungen in Südost-Tunesien große niederschlagsgenetische Bedeutung zukommt. Diese Störungen sind mit Höhenträgen in der polaren Westströmung verbunden, die für das 500 mb Niveau in Abb. 27 schematisch dargestellt sind. Bei den saharischen Störungen liegt der Höhentrog in einer Position westlich von 15 - 20° Ost, bei den

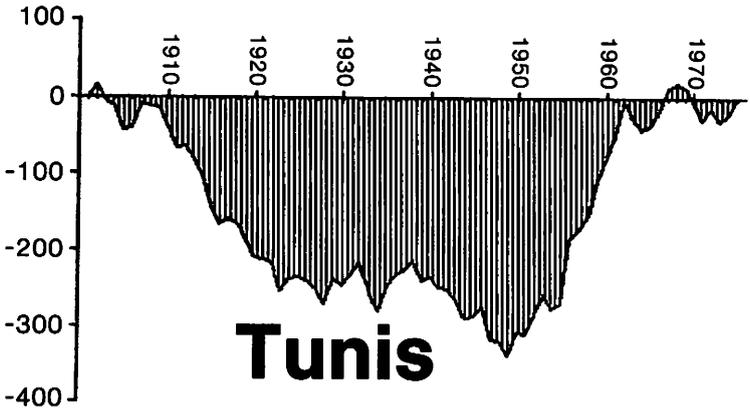
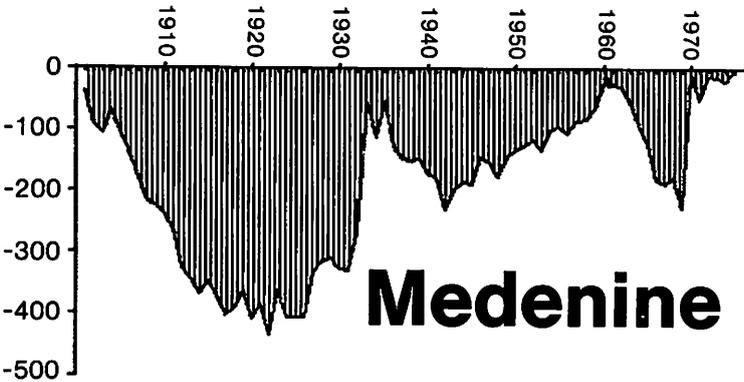
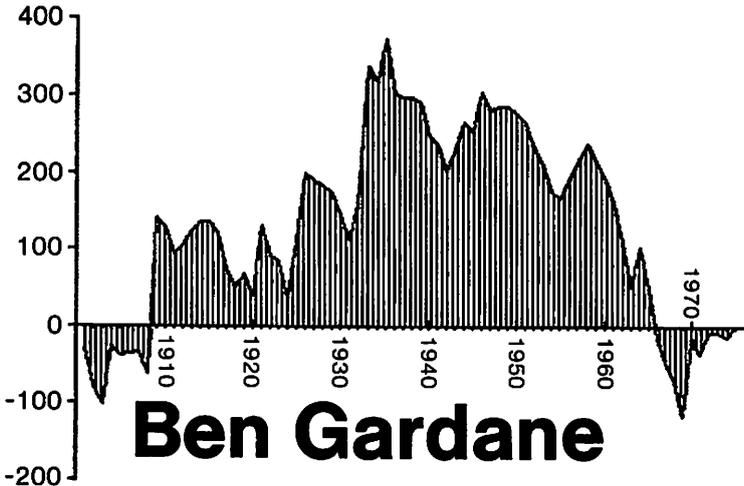




Entw.: D. Klaus



Abb. 24: Zeitreihen der jährlichen Niederschlagssummen in normierter Darstellung. MM: Mittelwert; SD: Standardabweichung.



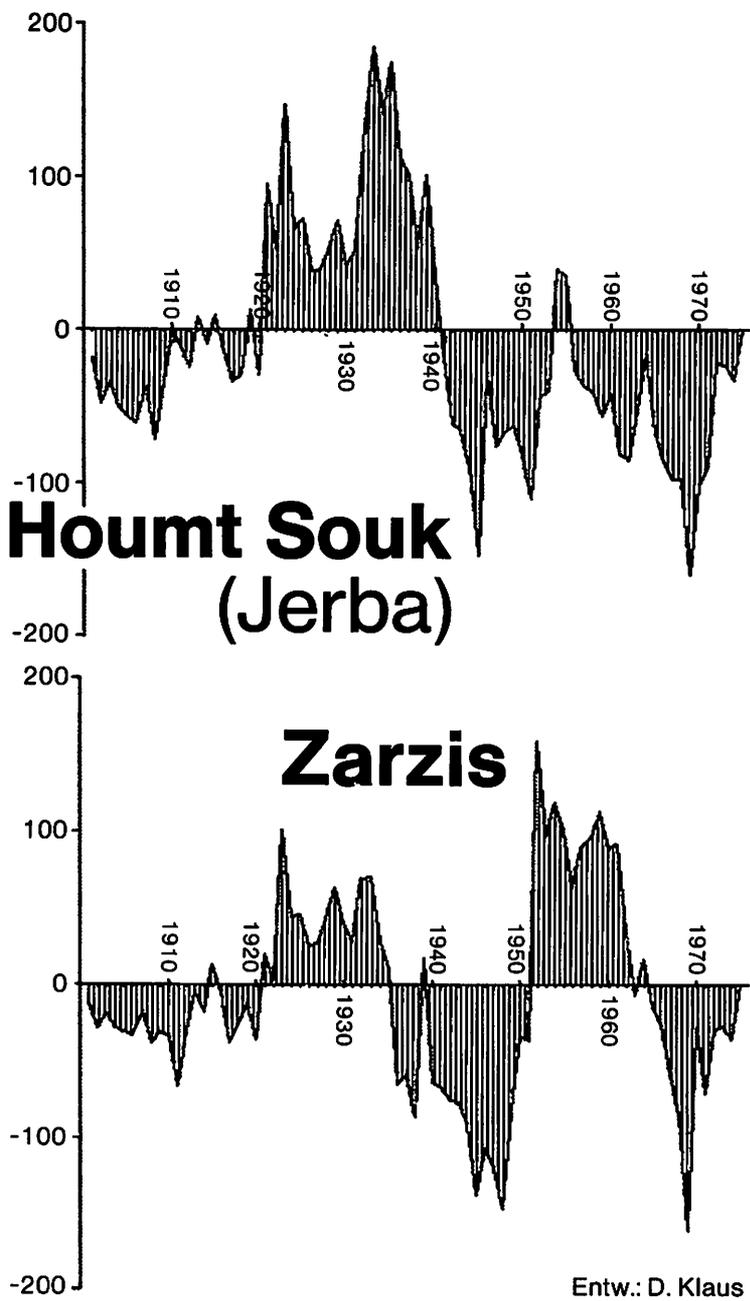


Abb. 25: Residuenmassenkurven (kumulative prozentuale Abweichung vom Mittelwert der Gesamtperiode) des jährlichen Niederschlags.

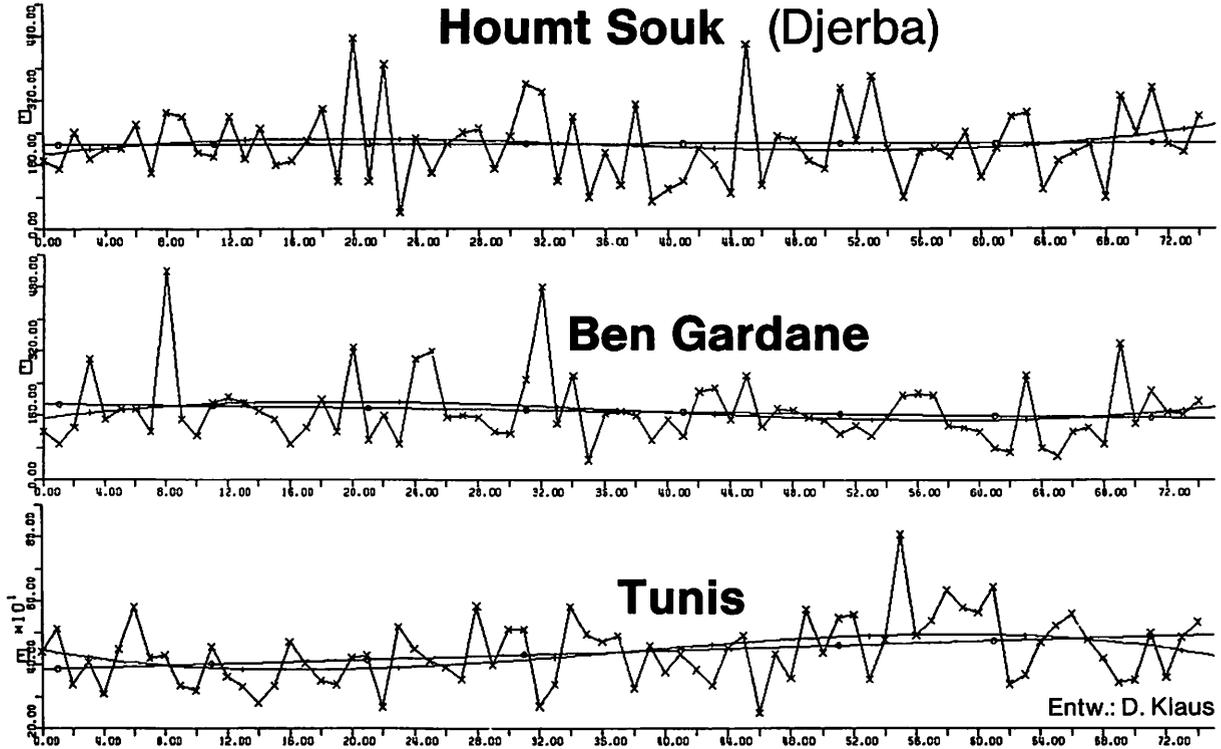


Abb. 26: Zeitreihen der jährlichen Niederschlagssummen für Houmt Souk, Ben Gardane und Tunis approximiert durch Polynome 1., 3. und 5. Ordnung.

Tab. 12: Korrelationskoeffizienten zwischen den jährlichen Niederschlagssummen der meteorologischen Beobachtungsstationen SE-Tunesiens (1901 - 1976) und der Station Tunis.

Stationen	Zarzis	Medenine	Ben Gardane	Tunis
Djerba	0.65 ^{''}	0.54 ^{''}	0.46 ^{''}	-0.14
Zarzis		0.48 ^{''}	0.36 ^{''}	-0.10
Medenine			0.58 ^{''}	-0.15
Ben Gardane				-0.23 [']

ein Hochkomma 5 % Irrtumswahrscheinlichkeit

zwei Hochkommata 1 % Irrtumswahrscheinlichkeit

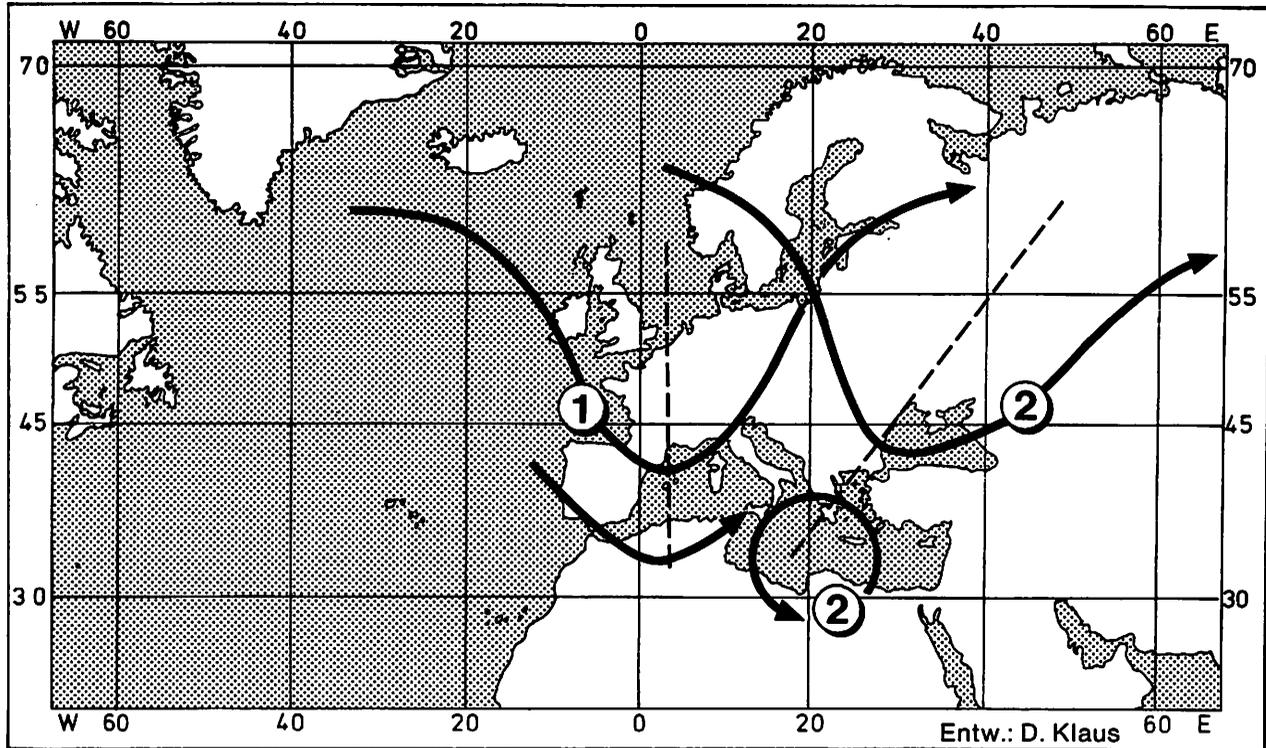


Abb. 27: Polare Höhenwestwinde im 500 mb-Niveau

(1) Troglage in 5°E; (2) Troglage in 30°E mit abgeschnürtem Kaltlufttropfen

Nordost-Störungen östlich dieser geographischen Länge. Nahezu immer ist das Auftreten dieser Störungen mit aus der polaren Höhenwestströmung abgetrennten Höhenkaltlufttropfen, die zyklonal von der Höhenzirkulation umströmt werden, verbunden (Abb. 27). Während der Höhentrog weiter in der polaren Westströmung ostwärts wandert und dabei oft eine Neigung der Trogachse zu beobachten ist, verbleiben die vom Trogsüdrand abgeschnürten Kaltlufttropfen anhaltend stationär in einer Position südöstlich der Abschnürstelle. Überlagert ein Kaltlufttropfen eine Depression im Bodenniveau, so kommt es zu erheblichen Niederschlägen in Südost-Tunesien. Ein Extrembeispiel für diese Entwicklung war vom 21. - 23.09.1969 zu beobachten. Über 100 mm Niederschlag fielen an nur drei Tagen in Ben Gardane. Aussagen hinsichtlich der langfristigen Niederschlagsentwicklung Tunesiens setzen also exakte Kenntnisse über das Verhalten der polaren Höhenwestwinde im mediterranen Raum voraus.

Höhenwinddaten, die den mediterranen Raum hinreichend genau beschreiben, liegen erst seit Mitte der 50er Jahre vor. Gemittelt über Stationen des äußersten Nordens Nordafrikas ergibt sich für diesen Zeitraum eine signifikante Beziehung zwischen der Niederschlagshöhe und der geographischen Breite der Höhenwestwinde (WINSTANLEY, 1973). Je weiter südwärts die polaren Höhenwestwinde verlaufen, um so höher sind die jährlichen Niederschlagssummen an den Küstenstationen Nordafrikas. Eine ähnliche Beziehung kann für die Stationen Südost-Tunesiens nicht nachgewiesen werden. Die Annahme, daß eine einfache Südverlagerung der Höhenwinde, wie sie durch den Übergang einer zonalen in eine stärker meridional geprägte Zirkulation repräsentiert wird, zu einer Niederschlagszunahme in Südost-Tunesien führt, kann also nicht bestätigt werden.

Entscheidender als die Südverlagerung der Höhenwinde ist für die Niederschlagsbedingungen in Südost-Tunesien die Lage des Höhentroges. Diese kann in guter Näherung aus den Großwetterlagenhäufigkeiten Mitteleuropas bestimmt werden (KLAUS, 1984), die seit 1881 vorliegen. Für jede Großwetterlage lassen sich in Abhängigkeit zur geographischen Länge die mittleren Positionen der Höhenröge und Rücken bestimmen. Die Zusammenfassung aller Großwetterlagen mit ähnlichen Trogpositionen gestattet die Abschätzung der saisonalen und jährlichen Häufigkeiten bestimmter Trogpositionen.

In Tab. 13 sind die Korrelationskoeffizienten zwischen den Trogpositionshäufigkeiten in Abhängigkeit zur geographischen Länge und den jährlichen Nieder-

Tab. 13: Korrelationskoeffizienten der Beziehungen zwischen den Troghäufigkeiten (500 mb) in verschiedenen geographischen Längen und den jährlichen Niederschlagssummen der Stationen SE-Tunesiens 1901 - 1976 (bandpaßgefilterte Zeitreihen). (Entwurf: KLAUS).

geographische Länge der Trogpositionen	5°W - 10°E	10°E - 20°E	20°E - 30°W	größer 30°E
Houmt Souk/Djerba	-0.37 ^{''}	-0.17	+0.15	+0.18
Zarzis	-0.51 ^{''}	-0.18	+0.18	+0.32 [']
Medenine	-0.27 [']	-0.06	+0.13	+0.08
Ben Gardane	-0.31 ^{''}	-0.03	+0.16	+0.02

[']: Irrtumswahrscheinlichkeit 5 %

^{''}: Irrtumswahrscheinlichkeit 1 %

schlagssummen der Stationen Südost-Tunesiens angegeben. Da kurzfristige Fluktuationen die Zeitreihen der Niederschlagssummen dominieren (Abb. 28), wurden die jährlichen Niederschlagswerte zunächst hinsichtlich einer Periodenlänge von zwei Jahren bandpaßgefiltert. Durch Subtraktion dieser bandpaßgefilterten Zeitreihe von der Ausgangszeitreihe wurden die zweijährigen Fluktuationen eliminiert. In gleicher Weise wurde mit den Zeitreihen der Trogpositionshäufigkeiten verfahren. Die Beziehungen zwischen den so gefilterten jährlichen Zeitreihen der Trogpositionen und Niederschlagssummen sind in Tab. 13 angegeben.

Eine Durchsicht der Tab. 13 zeigt, daß Trogpositionen westlich von 15 - 20° Ost zu negativen, Trogpositionen östlich davon bevorzugt zu positiven Korrelationskoeffizienten führen. Nur selten werden die Korrelationskoeffizienten signifikant, zeichnen aber in ihrer Summe tendenziell die Abhängigkeit der Niederschlagssummen Tunesiens von der Trogposition nach. Es sind also bevorzugt Trogpositionen, die östlich von 20° Ost auftreten und in aller Regel durch eine Nordost-Südwest Orientierung der Trogachse gekennzeichnet sind (Abb. 27), die das Niederschlagsgeschehen Südost-Tunesiens nicht unwesentlich bestimmen. Die Ursache für die relativ weit östliche Position der Trogachsen ist dadurch begründet, daß die Abschnürung der Kaltlufttropfen meist allmählich über dem westlichen Mittelmeer erfolgt. Erst wenn der Trog in der polaren Höhenströmung weiter ostwärts gewandert ist (östlich von 20° Ost), hat sich die eigenständige zyklonale Höhenströmung des Kaltlufttropfens hinreichend vertieft und die bodennahen Depressionen in ihrem Einzugsbereich so weit intensiviert, daß Niederschlagsereignisse in Südost-Tunesien ausgelöst werden können. Im Norden des Landes spielen demgegenüber die Trogpositionen westlich von 20° Ost eine größere Rolle, da hier auch Niederschläge ohne das Vorhandensein abgeschnürter Kaltfluthöhentropfen auftreten.

Seit drei Jahrzehnten ist über Europa eine signifikante Zunahme der Häufigkeiten von Trogpositionen westlich von 15 - 20° Ost (KLAUS, 1984) zu beobachten. Diese Trogverlagerungen könnten durch Änderungen der Ozeantemperaturen des nördlichen Atlantiks ausgelöst worden sein und äußerten sich insbesondere durch extrem warme Winter in den 70er und beginnenden 80er Jahren. Der Winter 1984/85 wich von dieser Abfolge entscheidend ab. Ob dadurch eine tendenzielle Umstellung erfolgte, kann noch nicht bestimmt werden.

Faßt man zusammen, so lassen die tendenziellen Verknüpfungen zwischen den

Höhenwestwinden der kalten Jahreszeit und den Niederschlagshöhen in Südost-Tunesien in den letzten Jahrzehnten keinerlei Tendenzwende erkennen. Es muß davon ausgegangen werden, daß auch in der längerfristigen Zukunft ähnlich hohe Niederschlagsgaben wie in den letzten Jahrzehnten in Südost-Tunesien für die Vegetationsentwicklung zur Verfügung stehen.

Regelmäßige, kurzfristige Variationen der Niederschlagshöhen können durch Varianzspektrumanalysen herausgearbeitet werden. Bei diesem Verfahren werden die Zeitreihen durch periodische Funktionen approximiert. Der auf den einzelnen Perioden erklärte Varianzanteil ist in Abb. 28 angegeben. Multiplikation mit 100 ergibt den prozentualen Anteil, den die entsprechende Periodenlänge an der Gesamtvarianz erklärt.

In Tunis, dessen Varianzspektrum zum Vergleich angegeben wurde, dominiert eine 50jährige Periode das Spektrum. Völlig anders sind die Verhältnisse in Südost-Tunesien. Hier werden hohe Varianzanteile auf sehr kurzen Perioden erklärt. Die 2 - 2,5jährige Periode spielt dabei eine herausgehobene Rolle. Diese Periodenlänge kennzeichnet auch die west-östlichen Positionsänderungen der Höhenträge über Europa und wurde deshalb bei der Korrelationsrechnung zwischen Höhentrogposition und jährlicher Niederschlagshöhe in Südost-Tunesien eliminiert. Bei den landeinwärts gelegenen Stationen Ben Gardane und Medenine bildet sich schwach eine 5 - 6jährige Periode im Varianzspektrum ab, die als Harmonische des Sonnenfleckenzyklus gedeutet werden kann. Die erklärten Varianzanteile auf dieser Periode sind allerdings zu gering, um sie prognostisch auswerten zu können.

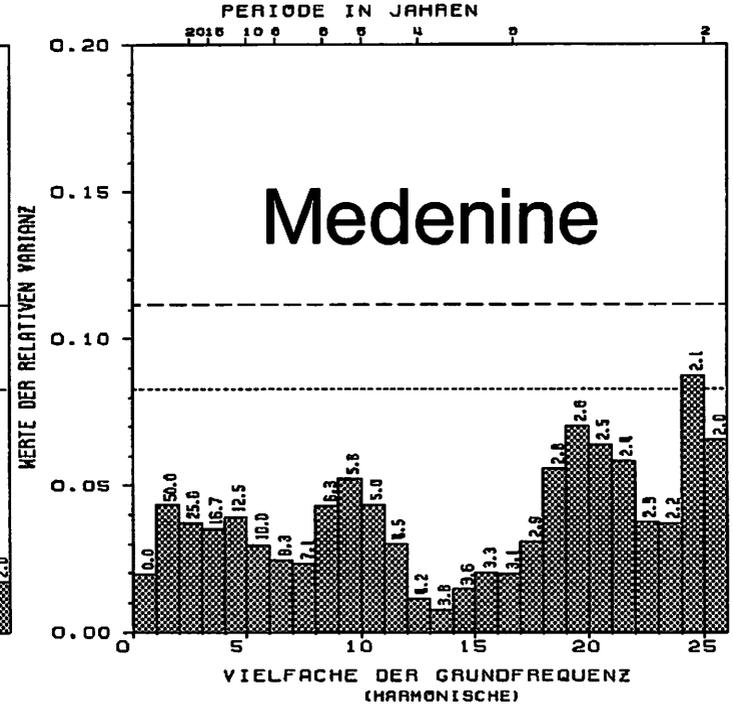
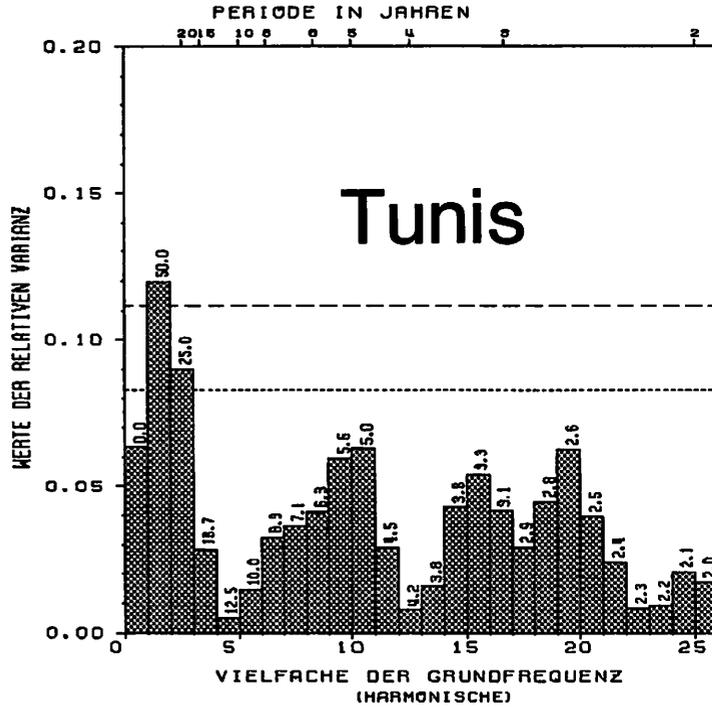
Aus klimatologisch-statistischer Sicht ist demnach weder kurz- noch langfristig mit einer entscheidenden Trendwende in der Entwicklung der Niederschlagssummen zu rechnen. Die interessanten Zusammenhänge zwischen den Niederschlagshöhen und den Trogpositionen in der polaren Westwindzone Europas lassen die Hypothese zu, daß während der sogenannten Kleinen Eiszeit, die vor etwa 200 Jahren abschloß, infolge der verstärkten Meridionalität der europäischen Zirkulation in dieser Abkühlungsphase die Häufigkeit abgeschnürter Kaltlufttropfen über dem westlichen und zentralen Mittelmeer größer war als heute. Dementsprechend sollten auch die Niederschlagssummen während der Kleinen Eiszeit in Südost-Tunesien höher als heute gewesen sein.

Morphologische Befunde stützen zwar diese These, müssen aber mit großer Vorsicht interpretiert werden, da die extremen Niederschlagsereignisse

des Septembers 1969 und deren erosive Folgen zeigten, daß kurzfristige, singuläre Niederschlagsereignisse morphologische Marken setzen können, die zu Fehleinschätzungen Anlaß geben. Eine längerfristige Prognose dieser Extremereignisse ist bis heute ausgeschlossen.

Da nach den klimatischen Befunden keine Anzeichen für eine wesentliche Trendwende in den Niederschlagshöhen für Südost-Tunesien nachweisbar ist, wird der Nutzungsfaktor zur bestimmenden Größe der zukünftigen Vegetationsdynamik Südost-Tunesiens. Hier könnte der Mensch schützend und regulierend planen. Selbst die Erhaltung der heute bereits stark degradierten Steppen wird große Anstrengungen der tunesischen Regierung erfordern. Die entscheidende Schwierigkeit für eine langfristig angepaßte Nutzungsplanung ist in der Bewertung singulärer Klimaereignisse zu sehen. Dies gilt ebenso für Dürren wie für Starkregen und exzessive Windstärken. Eine ausschließliche Bewertung der Tragfähigkeitskapazitäten an den mittleren Bedingungen wird im Falle extremer Klimaereignisse unausweichlich irreversible Schäden auslösen und das natürliche Potential weiter einengen. Kapazitätsplanungen, die eine ausreichende Pufferung auch extremster Klimaereignisse vorsehen, werden soweit unter den mittleren Werten der Tragfähigkeitskapazität anzusetzen sein, daß sie angesichts des Bevölkerungsdruckes auf geringe Akzeptanz stoßen dürften. Die vorgestellten Ergebnisse dieser Studie machen immerhin deutlich, daß periodische Beweidung gegenüber der gänzlichen Ausschaltung der Beweidung nur sehr geringe Nachteile bietet. Andererseits wird aber auch erkennbar, daß Dauerbeweidung sowie unangepaßter Regenfeldbau und die damit verbundenen Brachezeiten Eingriffe in den Landschaftshaushalt darstellen, die dieser schon unter den mittleren Bedingungen nicht abzufuffern vermag. Demzufolge dürften traditionelle Formen des Nomadismus am ehesten geeignet sein, optimale Raumnutzung zu gewährleisten.

Vorschlägen von BEDOIAN (1978; 1978a), die darauf zielen, etwa ein Achtel der Weideflächen in Ackerflächen zu überführen und die Herden gänzlich abzuschaffen, kann nur mit großen Vorbehalten zugestimmt werden. Tatsächlich sind etwa 15 % der Fläche des Untersuchungsgebietes ackerbaulich in guten Jahren nutzbar. Die Degradation der Flächen ist aber teilweise soweit fortgeschritten, daß rentabler Anbau kaum vorstellbar ist. Großräumige Muldengebiete und Talungen mit hinreichenden Profiltiefen, die zugleich durch Abflußwasser begünstigt sind, bilden eine Ausnahme. Hier können die bewährten "Jessour"-Kulturen stärker als bisher angelegt werden. Brachezeiten erscheinen auf diesen Flächen unnötig. Die in dieser Weise nicht genutzten



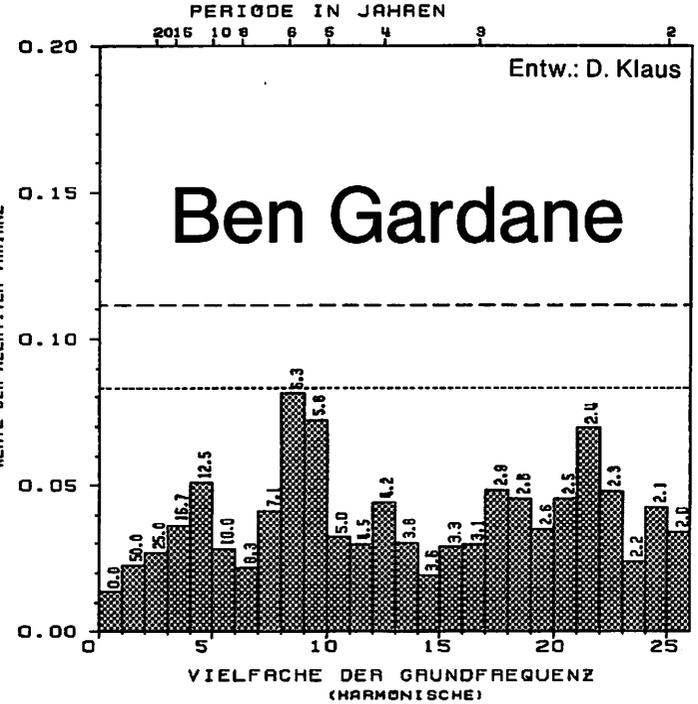
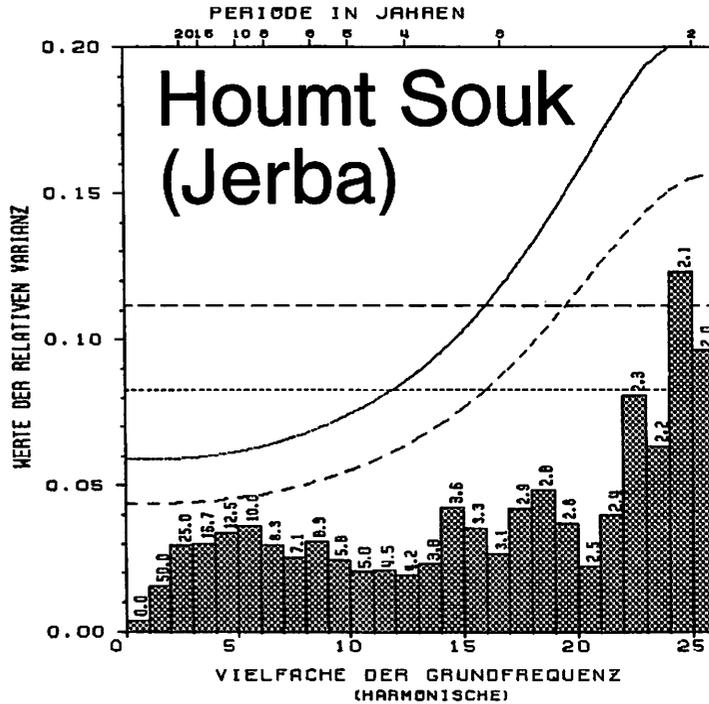


Abb. 28: Varianzspektren der jährlichen Niederschlagssummen (1901 - 1976).

Kurze Strichelung: 5 % Irrtumswahrscheinlichkeit; Lange Strichelung: 1 % Irrtumswahrscheinlichkeit

Flächen sollten aber auch in Zukunft für den periodischen Weidegang erhalten bleiben.

Möglicherweise könnte die Biomassenproduktion der "Herbaceenschicht" durch Baumbeschattung und Laubfall der Bäume (Düngung) - wie in der Sahelzone - wesentlich gesteigert werden. Hierzu böte sich die Pflanzung von *Acacia raddiana* an.

Wie diese z.T. archaisch anmutenden Wirtschaftsformen in einer moderne Ziele erstrebenden Volkswirtschaft durchzusetzen sind, ist schwer zu beantworten. Wie in vielen Ländern Afrikas wird auch am Beispiel der Steppen Südost-Tunesiens sichtbar, daß die rasche staatlich geförderte Aufgabe traditioneller Wirtschaftsformen, ohne neue, dem Raumpotential angepaßte Vorgaben, Entwicklungen einleitete, die langfristige große Nutzungsräume der Ökumene irreversibel durch Desertifikation entziehen.

Zusammenfassung

Im Untersuchungsraum des Gouvernorates Medenine zwischen der Insel Djerba und Medenine besteht ein eindeutiger klimatischer E-W-Gradient zunehmender Aridität. Diesem Klimagradienten folgt ein phytogeographischer Gradient. Er konnte entlang von zwei Transekten über 68 Standorte nachgewiesen werden. Von E nach W nimmt der relative Anteil saharischer Spezies an den Arealtypenspektren der Standorte signifikant zu, derjenige der mediterranen Arten geht zurück. Die zunehmende Aridität bedingt demnach auch kleinräumig nachweisbar auf kurzer Distanz bereits eine deutliche "Saharisierung" der Flora. Noch signifikanter ändern sich von E nach W mit zunehmender Meeresferne entlang beider Transekte die Lebensformenspektren. Mit zunehmender Aridität steigt der Anteil der Chamaephyten und reduzieren sich die Anteile der Hemikryptophyten und auch der Therophyten an den Lebensformenspektren der Standorte. In Küstennähe dominieren die Therophyten. Bei Medenine herrschen die Chamaephyten bereits absolut vor.

Zusammenhänge zwischen diesen phytogeographischen Gradienten und der Bodenfeuchte waren nur schwer ableitbar. Die Bodenfeuchte variiert sensibler nach Bodenart und Mikrorelief als die Artenzusammensetzung der Vegetation. Am deutlichsten vermag die oberflächennahe Bodenfeuchte (10 cm) den phytogeographischen Gradienten der mediterranen Flora auszudrücken.

Abweichungen (Residuen) von den klimatisch induzierten phytogeographischen Gradienten können "edaphischen" Standortbedingungen zugeordnet werden. Diese Bedingungen sind durchweg stark anthropogen überprägt. Standorten hoher "soil erosion" sowie solchen hoher mobiler Sandauflage (Akkumulation) eignet ein überproportionaler Anteil saharischer Spezies.

Diese Zusammenhänge zwischen anthropo-edaphischem Milieu und Artenzusammensetzung der Vegetation näher zu prüfen, wurden die mit Hilfe von zwei Clusteranalysen gruppierten Arten bzw. Standorte in den Rahmen verschiedener Typen des anthropo-edaphischen Milieus plaziert. Es erweist sich eine deutliche phytoökologische Standortdifferenzierung nach Art der Nutzung. Beweidungsstandorte und Ackerbrache zeitigen verschiedene Pflanzenkompositionen. Dies überprägt die rein edaphischen Unterschiede in ihrer Wirkung auf die Artenzusammensetzung der Pflanzenwelt.

In einem kleinen Testgebiet sind diese Zusammenhänge unter Ausschluß des Klimagradienten näher geprüft worden. Dort wurden im Süden des Untersuchungsraumes über 300 Vegetationsaufnahmen in Bereichen unterschiedlicher Nutzung bzw. Inschutzstellung und unterschiedlicher edaphischer Typen erhoben. Wirklich signifikant unabhängige Pflanzengemeinschaften konnten auf mobilen Sanden und an "Dauerweidestandorten" nachgewiesen werden. Keine signifikanten Unterschiede der Artenkompositionen resultierten zwischen "Dauerschutzgebieten" und solchen der "Frühjahrs- bzw. Sommerweide". Demnach führt eine auch längere Inschutzstellung nicht zu einer anderen Pflanzengesellschaft.

Es läßt sich allerdings nachweisen, daß Störungen des edaphischen Milieus (Denudation des Bodens/Sandakkumulation) zu einer "Saharisierung" der Flora führen und damit die gleiche Wirkung zeitigen wie eine Ariditätszunahme.

Unter ungestörten Bedingungen würde der klimatisch induzierte phytoökologische Gradient trotz der "Bodenunterschiede" kaum Residuen ausweisen.

Diesen "mittleren" Bedingungen der Pflanzenwelt steht eine hohe zeitliche Variabilität in Abhängigkeit von Niederschlagshöhe bzw. Niederschlagszeit gegenüber. Hier erwies sich an sieben über drei Jahre verfolgten Testparzellen, daß vornehmlich die mediterranen Therophyten sensibel auf die Niederschlagszeit reagieren. Fallen die Herbstregen nicht frühzeitig (Anfang Oktober), so bleiben diese "Einjährigen" weitgehend aus. Weit weniger niederschlagsabhängig sind mediterran-saharische, noch weniger sensibel reagieren saharo-arabische Therophyten. Perenne Pflanzen sind in ihrer Verjüngung auf die Niederschlagshöhe bzw. Niederschlagszeit angewiesen. Auch hier reagieren mediterrane Spezies empfindlicher als saharische. Mediterrane Arten sind offenbar hinsichtlich des Niederschlags "spezialisierter" als saharische Spezies.

Es lassen sich überdies deutliche Zusammenhänge zwischen der Bodenfeuchtevariation in unterschiedlich feuchten Jahren und der Individuenzahl der Pflanzenarten pro Standort ableiten. Die Biomassenproduktion reagiert demnach sehr direkt auf die Niederschlagshöhe. Bei unterschiedlichen Regenzeiten tragen unterschiedliche Goelemente verschieden zur Biomassenproduktion bei. Im Falle des Überwiegens von Frühjahrsregen sind es die mediterran-saharische Spezies, im Falle von markanten Herbstregen die mediterranen Arten.

Abschließend wurde die Frage nach dem "längerfristigen" Klimastress durch Zeitreihenanalysen der Niederschläge des Untersuchungsraumes und ihre zirkulationsdynamische Erklärung aufgeworfen. In den letzten Jahrzehnten hat kein eindeutig gerichteter Trend der Ariditätszunahme festgestellt werden können. Die nicht-klimatischen "Saharisierungserscheinungen" der Vegetation sind also eindeutig einer "Fehl- bzw. Übernutzung" des Raumes zuzurechnen. Die zeitlichen Niederschlagsvariationen können eindeutig Trogpositionen zugeordnet werden. Trogpositionen östlich von Tunesien begünstigen Niederschläge im Süden, solche westlich von Tunesien im Norden des Landes.

Résumé

Dans la région analysée, située dans le gouvernorat de Medenine entre l'île de Djerba et Medenine il existe un gradient climatique est/ouest née d'une aridité croissante. Le gradient climatique suit un gradient phytogéographique. Il a pu être démontré le long de deux transectes par 68 habitats. De l'est à l'ouest le nombre relatif des espèces sahariennes augmente significativement par rapport aux spectres chorologiques des habitats, celui des espèces méditerranéennes diminue. L'aridité croissante cause alors aussi sur courte distance une 'saharisation' claire, prouvable sur petites espaces. Avec la distance envers la mer de l'est à l'ouest les spectres biogéographiques changent encore plus significativement le long de deux transectes. Avec l'aridité croissante monte dans les spectres biogéographiques des habitats la part des Chamaephytes et se réduit la part des Hémicryptophytes, et également celle des Thérophytes. Près de la côte dominant les Thérophytes. Dans les environs de Medenine les Chamaephytes sont déjà absolument prédominants.

Des rapports entre ces gradients phytogéographiques et l'humidité de sol n'ont pu être dérivés que difficilement. L'humidité de sol varie plus sensiblement d'après le genre de sol et d'après le microrélief que la composition de végétation. Le gradient phytogéographique de la flore méditerranéenne s'exprime le plus nettement par l'humidité du sol près de la surface (10 cm).

Des différentes (résidues) des gradients phytogéographiques inductées par le climat peuvent être corrélées à des habitats 'édaphiques'. Toutes ces conditions sont fortement formées antropologiquement. Les habitats caractérisés par une forte 'soil erosion' et ceux qui sont couverts d'une couche de sable mobile importante (accumulation) sont fréquentés surproportionnellement par des espèces sahariennes.

Pour examiner de plus proche les rapports entre le milieu antro-édaphique et la composition des espèces de végétation, les espèces, respectivement les habitats, groupés à l'aide de deux analyses de composition (cluster), ont été placés dans le cadre de différents types du milieu antro-édaphique. Il se montre une nette différence phyto-écologique d'après le genre d'utilisation de sol. Les habitats de pâturage et de jachère produisent de divers composition de plantes. Cela efface les différences uniquement édaphiques avec leurs

effets sur la composition de la végétation.

Dans une région spéciale ces rapports ont été examinés de plus près à l'exclusion du gradient climatique. Plus de 300 relevés de végétation ont été pris dans le sud de la région à examiner, dans des zones de différente exploitation, respectivement de différente protection et de différents types édaphiques. Des communautés de plantes qui sont significativement indépendantes ont été trouvées sur les sables mobiles et sur les habitats de pâturage permanent. Aucune différence significative de composition d'espèces résulte des 'régions de protection permanente' et celles de pâturage de printemps, respectivement celles de pâturage d'été. Par conséquent une protection même durant ne change pas la composition de types de plantes.

Il est néanmoins prouvable que des troubles du milieu édaphique (dénudation, accumulation) ont pour conséquence une saharisation de la flore et produisent alors le même effet que l'augmentation de l'aridité.

Sous des conditions naturelles, le gradient phytoécologique inducté par le climat ne montrera presque pas de résidues, malgré les différences de sol.

Ces conditions 'moyennes' des plantes font face à une variabilité temporaire importante en dépendance de pluviométrie, respectivement de temps de pluies. Ici se démontra sur sept parcelles spéciales, surveillées depuis trois ans, que particulièrement les Thérophytes méditerranéennes réagissent sensiblement aux temps de précipitation. Si les pluies d'automne ne tombent pas assez tôt (début octobre) ces 'annuelles' ne sortent pas. Les Thérophytes méditerranéo-sahariennes et encore bien moins les Thérophytes saharo-arabiques dépendent moins des précipitations. Quand au rejeunissement, les plantes pérennes dépendent des niveaux respectivement des temps de précipitations. Là aussi les espèces méditerranéennes réagissent plus sensiblement que les espèces sahariennes. Apparemment les espèces méditerranéennes sont plus spécialisées à l'égard des précipitations que les espèces sahariennes.

En plus il est possible de déduire des relations nettes entre la variation de l'humidité de sol pendant des années plus humides et le nombre d'individus d'espèces de plantes par habitat. La production en biomasse réagit alors directement à l'intensité de précipitation. Pendant des différentes saisons de pluie ce sont des divers éléments géographiques qui contribuent de manière

différente à la production en biomasse. En cas de prédominance de pluie de printemps principalement les espèces méditerranéo-sahariennes, en cas de précipitations d'automne marquées surtout les espèces méditerranéennes.

Finalement la question a été levée d'après le stress climatique de 'longue durée' par analyses de série de temps de précipitation de la région spéciale et de son explication, concernant sa circulation dynamique. Pendant les dernières dizaines d'années une tendance claire vers une augmentation d'aridité n'a pas pu être constatée. Les 'apparitions de saharisation' sont alors sans équivoque la suite d'une fausse-, respectivement d'une surexploitation de la région. Les variabilités temporaires de précipitation peuvent être corrélées à des positions de 'trough'. Les positions de 'trough' à l'ouest de la Tunisie favorisent les précipitations dans le nord du pays, celles à l'est de la Tunisie dans le sud.

Literatur

- BEDOIAN, W.H. (1978): Economic alternatives for a semi pastoral population in SE-Tunesia. Proceedings of the first Intern. Rangeland Congress in Denver, Soc. for Range Management, S. 71 - 75.
- BEDOIAN, W.H. (1978a): Human use of the pre-saharan ecosystem and its impact on desertion. In: Gonzalez, N.L. (Hrsg.): Social and technological management in dry lands. AAAS, Selected Symposium Boulder, Westview Press, Nr. 10, S. 61 - 109.
- BOUSNINA, A. (1977): Les précipitations pluvieuses dans le sud-est Tunisien. Université de Tunis.
- COQUE, R. (1962): La Tunisie présaharienne. Etude géomorphologique. Paris.
- ESCADAFAL, R. (1981): Etude de la surface du sol dans les régions arides (Sud Tunisien). Recherches methodologiques. ORSTOM-DES, 187, Tunis.
- FLORET, Ch. (1982): The affects of protection on steppic vegetation in the mediterranean arid zone of SE-Tunesia. Vegetatio, 46, S. 117 - 129.
- FLORET, Ch.; PONTANIER, R. (1982): L'aridité en Tunisie presaharienne. Travaux et Documents de L'ORSTOM, 150, Paris.
- FRANKENBERG, P. (1978): Florengographische Untersuchungen in der Sahara. Bonner Geogr. Abhandlg. 58.
- FRANKENBERG, P. (1979): Florenreichtumsanalyse des westlichen Nordafrikanischen Trockenraumes. Natur und Museum, 109, S. 15 - 18.
- FRANKENBERG, P.; RICHTER, M. (1981): Zusammenhänge zwischen Pflanzenvielfalt, Wasserhaushalt und Mikroklima in Tunesien. Festschrift f. E. Monheim zum 65. Geburtstag, Geogr. Institut der RWTH Aachen, S. 243 - 271.

- GÜLICH, J. (1984): Bewertung degradierter Steppentypen in SE-Tunesien. Unveröffentlichte Dipl. Arbeit, Universität Bonn, 1984.
- HOUEROU, H.N. le (1959): Recherches écologiques et floristiques sur la végétation de la Tunisie méridionale. Mémoire No. 6, Université d'Alger. Inst. Rech. Sahariennes, CNRS, Alger, 3 Bde.
- HOUEROU, H.N. le (1969): La végétation de la Tunisie steppique. Ann. Inst. Nat. Rech. Agronom., No. 142, Tunis.
- KHATTELI, H. (1981): Recherches stationelles sur la désertification dans la Djéffara (Tunisie). Dynamique de l'érosion éolienne. Thèse du Doctorat, Université Paris, Panthéon Sorbonne.
- KLAUS, D. (1984): Hat sich das Klima Mitteleuropas geändert? Berichte z. deutschen Landeskunde, Nr. 58/1, S. 147 - 182.
- LONG, G. (1954): Contribution à l'étude de la végétation de la Tunisie Central. Ann. Serv. Bot. et Agr. Tun. No. 27, S. 1 - 388.
- MABBUTT, J.A.; FLORET, C. (1980): Case studies on desertification. UNESCO/ UNEP/UNDP.
- NOVIKOFF, G. (1977): Toward a united methodology in grazing management studies: Tunisia as a case study. Paper presented at "The Arab Meeting on Range and Livestock Resources in Arid Regions". Rabat, 21. - 26.3.1977.
- WAECHTER, P. (1982): Etude des relations entre les animaux domestiques et la végétation dans les steppes Sud de la Tunisie. Thèse Doctorat. Université Montpellier.
- WATSON, A. (1979): Gypsum crusts in deserts. Journ. of Arid Environments, No. 2, S. 3 - 20.
- WINSTANLEY, D. (1972): The North African Flood Disaster, September 1969. Weather, No. 31, S. 390 - 403.
- WINSTANLEY, D. (1973): Recent rainfall trends in Africa, the Middle East and India. Nature, No. 243, S. 464 - 469.