

BONNER GEOGRAPHISCHE ABHANDLUNGEN

ISSN 0373-0468

Herausgegeben von
H. Hahn - W. Kuls - W. Lauer - P. Höllermann - K.A. Boesler
Schriftleitung: H.-J. Ruckert

Heft 77

Dieter Anhuf

Klima und Ernteertrag

**eine statistische Analyse an ausgewählten Beispielen
nord- und südsaharischer Trockenräume -
Senegal, Sudan, Tunesien**

1989

In Kommission bei
Ferdinand Dümmlers Verlag - Bonn

Dieter Anhuf

**Klima und Ernteertrag - eine statistische Analyse
an ausgewählten Beispielen
nord- und südsaharischer Trockenräume -
Senegal, Sudan, Tunesien.**

BONNER GEOGRAPHISCHE ABHANDLUNGEN

ISSN 0373-0468

Herausgegeben von

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

Schriftleitung: H.-J. Ruckert

Heft 77

Dieter Anhuf

**Klima und Ernteertrag - eine statistische Analyse
an ausgewählten Beispielen
nord- und südsaharischer Trockenräume -
Senegal, Sudan, Tunesien.**



1989

In Kommission bei

FERD. DÜMMLERS VERLAG · BONN

—Dümmlerbuch 7627—

**Klima und Ernteertrag - eine statistische Analyse
an ausgewählten Beispielen
nord- und südsaharischer Trockenräume -
Senegal, Sudan, Tunesien**


von

Dieter Anhuf

mit 77 Abbildungen und 21 Tabellen

In Kommission bei

FERD. DÜMMLERS VERLAG · BONN

 **Dümmlerbuch 7627**

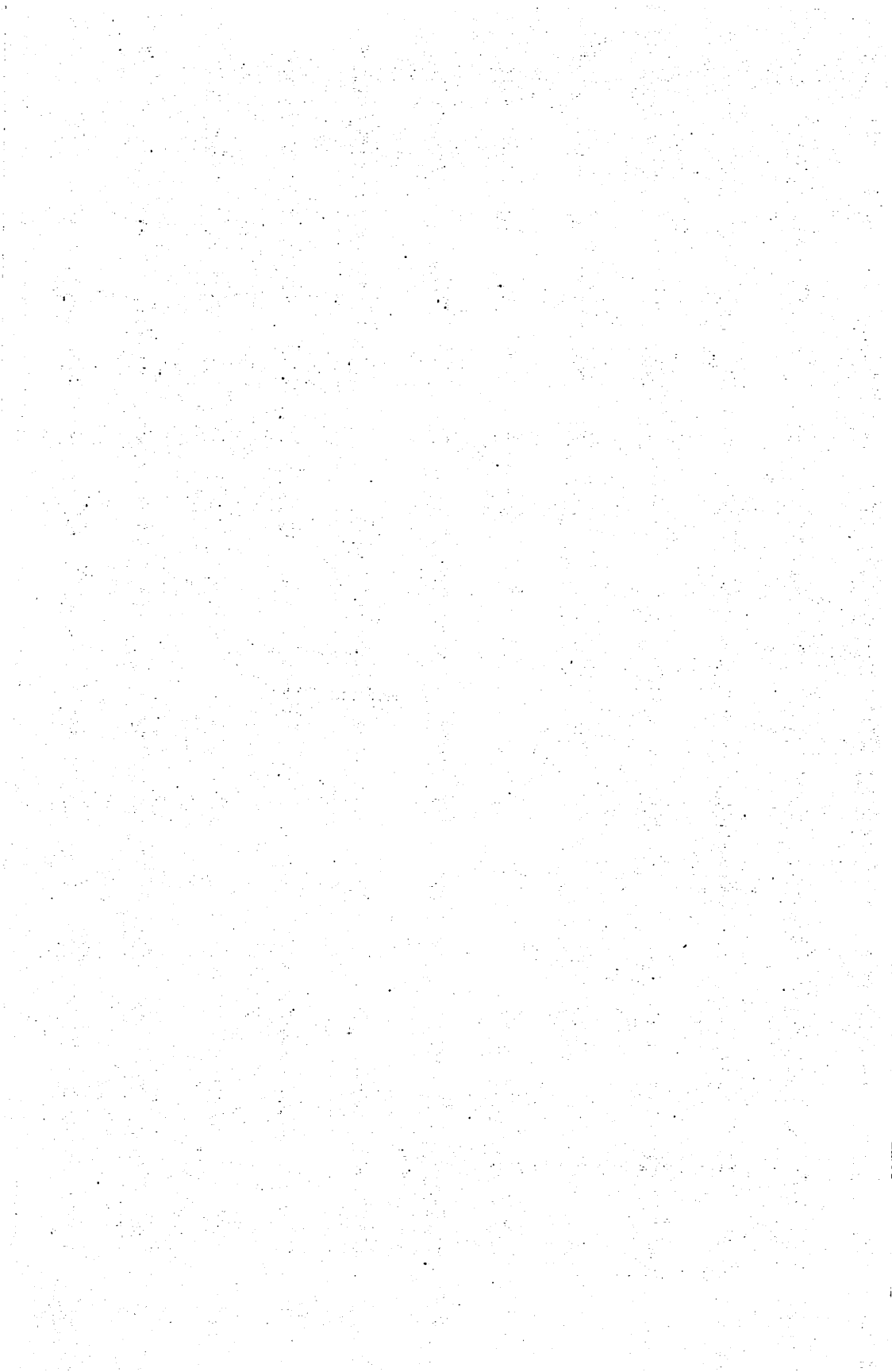
Alle Rechte vorbehalten

ISBN 3-427-76271-8

© 1989 Ferd. Dümmlers Verlag, 5300 Bonn 1

Herstellung: Richard Schwarzbold, Witterschlick b. Bonn

Meinen Eltern



Vorwort

Die vorliegende Dissertation ist das Ergebnis mehrerer, z.T. mehrmonatiger Studienaufenthalte in den nord- und südsahelischen Trockengebieten. Seit meinen ersten Reisen in diese ökologisch labilen, zirkumsaharischen Räume im Jahre 1979 wurde ich insbesondere auf die Problematik des landwirtschaftlichen Nutzungspotentials aufmerksam. Spätestens seit der großen Sahel-Dürre der Jahre 1968-73 rückten die südlich an die Sahara angrenzenden Landschaften auch in das Bewußtsein einer breiteren Öffentlichkeit in Mitteleuropa. Solche sich offenbar zyklisch wiederholenden ökologischen Katastrophen werfen im Hinblick auf die Nahrungsmittelversorgung der betroffenen Bevölkerung Fragen nach den Prognosemöglichkeiten der Erträge der landwirtschaftlichen Kulturpflanzen auf. Eine frühzeitige, exakte Voraussage von Ertrags-einbußen oder -überschüssen kann diese in ihrer Auswirkung für die Bevölkerung mindern bzw. Speicherbevorratung möglich machen. Die vorliegende Studie soll einen Beitrag zum besseren Verständnis der Wirkungszusammenhänge zwischen der Witterung und den Ernteerträgen leisten. Sie reiht sich ein in eine Vielzahl von Untersuchungen am Lehrstuhl von Prof. Dr. W. Lauer, die die vielfältigen Zusammenhänge von Vegetation und Klima analysieren. Auch der Untersuchungsraum folgt der Tradition agrargeographischer Untersuchungen einerseits in den Trockengebieten (vgl. Lauer, W. 1954: "Die Formen des Feldbaus im semiariden Spanien.") und andererseits den Tropen (vgl. Lauer, W. 1956: "Vegetation, Landnutzung und Agrarpotential in El Salvador."). Für die zahlreichen Anregungen und die fruchtbaren Diskussionen danke ich meinem verehrten Lehrer Prof. Dr. W. Lauer.

Herrn Prof. Dr. P. Frankenberg danke ich für die jahrelange Zusammenarbeit, vor allem für die Einführung in quantitative Verfahren zur Analyse klimaökologischer Fragen. Beiden verdanke ich die zahlreichen Möglichkeiten, im Rahmen ihrer Forschungsprojekte die untersuchten Länder zu bereisen, um vor Ort die notwendigen Daten und Materialien zu besorgen.

Mein Freund Walter Erlenbach stand mir bei den umfangreichen Rechenarbeiten sowie durch seine ständige Diskussionsbereitschaft wissenschaftlicher und technischer Fragen stets hilfreich zur Seite.

Sowohl der Kartographie des Geographischen Institutes der Universität Bonn - und hier besonders den Herren Gladenbeck und Storbeck - als auch Frau Ulrike Lohoff verdanke ich die Reinzeichnungen der zahlreichen Abbildungen. Einschließen in meinen Dank möchte ich auch die Damen Gabriele von Fircks und Pia Wilhelmi, die mir zum einen bei der Übersetzung der englischen und französischen Zusammenfassung und zum anderen in Fragen des Buch-Layouts mit Rat und Tat zur Seite standen.

Bonn, im Sommer 1987

Dieter Anhuf

Inhalt

1.	Ziel der Untersuchung	S.	17
2.	Datenmaterial, Daten- und Raumauswahl.....	S.	20
2.1	Die Ertragsdaten ausgewählter Kulturpflanzen.....	S.	20
2.2	Die Auswahl der klimatischen Einflußgrößen nach den ökologischen Ansprüchen der Kulturpflanzen	S.	24
2.3	Die Anbaukalender der ausgewählten Kulturpflanzen...	S.	28
2.3.1	Im Sudan	S.	28
2.3.2	Im Senegal	S.	29
2.3.3	In Tunesien	S.	30
3.	Methoden und Ergebnisse bisheriger Analysen zum Thema Ernteertrag und Klima in vergleichbaren Na- turräumen	S.	32
4.	Darlegung des Untersuchungsganges und der Methoden .	S.	40
4.1	Methodische Vorüberlegung	S.	40
4.2	Datenbasis	S.	40
4.3	Gang der Untersuchung	S.	40
5.	Allgemeine Kennzeichnung der landwirtschaftlichen Situation und der mittleren Erträge in den Bei- spielräumen	S.	47
5.1	Die Landwirtschaftsregionen des Sudan und ihre Er- träge	S.	47
5.2	Die Landwirtschaftsregionen des Senegal und ihre Erträge	S.	51
5.3	Die Landwirtschaftsregionen Tunesiens und ihre Er- träge	S.	58
6.	Die räumliche Ausprägung der mittleren Ernteerträge ausgewählter Kulturpflanzen des Sahel und der Step- pengebiete Nordafrikas sowie ihrer Ertragsvariabili- tät	S.	64
6.1	Vergleich der Raumstrukturen der mittleren Ernteer- träge und ihrer Variabilität in Sudan und Senegal ..	S.	65
6.2	Die Raumstruktur der mittleren Ernteerträge und ihrer Variabilität in Tunesien	S.	72
6.3	Vergleich der mittleren Ernteerträge im Sahel mit denen der nordafrikanischen Steppengebiete	S.	78
7.	Die Datenstruktur der Zeitreihen der Erträge und der Zeitreihen der klimatischen Einflußgrößen	S.	82
7.1	Überprüfung der Normalverteilung in den Zeitreihen von Witterung und Ertrag	S.	83
7.2	Die Zeitreihen der Ertragsdaten und ihre Trends	S.	83
7.3	Die möglichen Ursachen der Trends	S.	92
7.4	Die Zeitreihen der Klimavariablen und ihre Trends ..	S.	94
7.5	Mögliche Ursachen der Trends in den Zeitreihen der Klimaparameter und ihre Auswirkungen auf die Erträge	S.	99

8.	Zeitliche Ähnlichkeiten zwischen Ertragsdaten und Daten klimatischer Einflußgrößen	S. 108
8.1	Beziehungen der einzelnen Klimaparameter in jeder phänologischen Phase (Monate) zu den Erträgen	S. 109
8.1.1	Beziehungen der einzelnen Klimaparameter in jeder phänologischen Phase (Monate) zu den Erträgen in der Sahelregion	S. 109
8.1.2	Beziehungen der einzelnen Klimaparameter in jeder phänologischen Phase (Monate) zu den Erträgen in der mediterranen Steppenzzone Tunesiens	S. 113
8.2	Die Varianzerklärung der Erträge durch den Gesamteinfluß der zeitlich differenzierten Klimaelemente .	S. 116
8.2.1	Im Senegal	S. 117
8.2.2	Im Sudan	S. 121
8.2.3	In Tunesien	S. 125
8.3	Die Varianzerklärung der Ernteerträge durch die Klimavariablen nach einem multiplen Regressionsmodell .	S. 125
8.3.1	Im Senegal	S. 127
8.3.2	Im Sudan	S. 129
8.3.3	In Tunesien	S. 131
8.4	Ein Modell zur Vorausschätzung der Ernteerträge nach Abschluß verschiedener Phasen während des Vegetationszyklusses	S. 136
8.5	Diskussion der Ergebnisse der zeitlichen Ähnlichkeiten zwischen den Ertragsdaten und Daten klimatischer Einflußgrößen und der Prognosemodelle	S. 152
9.	Raum - zeitliche Ähnlichkeiten zwischen Ertragsdaten und Daten klimatischer Einflußgrößen	S. 164
9.1	Die Niederschlagsausprägung in der Zeit und damit zusammenhängende regionale Ähnlichkeitsmuster	S. 166
9.2	Die Ertragsausprägung in der Zeit und damit zusammenhängende regionale Ähnlichkeitsmuster	S. 183
9.3	Die Ähnlichkeit der Ernteerträge und die Ähnlichkeit der Witterung in Zeit und Raum	S. 188
9.4	Diskussion der Ergebnisse der raum - zeitlichen Ähnlichkeitsanalysen von Klima und Ernteertrag	S. 193
10.	Zusammenfassung	S. 196
11.	Literaturverzeichnis	S. 213
12.	Anhang: Multiple Korrelationskoeffizienten je Monat für die Beziehungen zwischen den Witterungsparametern und den Erträgen (je Station und Feldfrucht) A I: Senegal, A II: Sudan, A III: Tunesien	S. 225

Verzeichnis der Abbildungen

Abb. 1	Karte der einzelnen Klimastationen in den jeweiligen Ländern	S. 26/27
Abb. 2	Schema des Untersuchungsanges	S. 41
Abb. 3	Darfur und Kordofan - Traditionelle Regenfeldbaugelände	S. 48
Abb. 4	Karten der Landnutzung in Nordkordofan in verschiedenen Jahren: a) 1962/63 b) 1983/84	S. 49
Abb. 5	Erträge der Hauptanbaufrüchte der Provinz Kordofan ..	S. 52
Abb. 6	Erträge der Hauptanbaufrüchte der Provinz Darfur ..	S. 52
Abb. 7	Erträge der Hauptanbaufrüchte der Provinz Nile	S. 52
Abb. 8	Die Klimaregionen des Senegal im Sinne einer landwirtschaftlichen Nutzung	S. 53
Abb. 9	Erträge der Hauptanbaufrüchte der Provinz Fleuve ..	S. 56
AAb. 10	Erträge der Hauptanbaufrüchte der Provinz Cap Vert ..	S. 56
Abb. 11	Erträge der Hauptanbaufrüchte der Provinz Thiès ...	S. 56
Abb. 12	Erträge der Hauptanbaufrüchte der Provinz Diourbel ..	S. 57
Abb. 13	Erträge der Hauptanbaufrüchte der Provinz Senegal Oriental	S. 57
Abb. 14	Erträge der Hauptanbaufrüchte der Provinz Sine Saloum	S. 57
Abb. 15	Erträge der Hauptanbaufrüchte der Provinz Casamance	S. 57
Abb. 16	Die Landwirtschaftsregionen Tunesiens	S. 59
Abb. 17	Karte der Landnutzung und der Vegetation des Untersuchungsraumes in Südosttunesien	S. 61
Abb. 18	Erträge der Hauptgetreidesorten in Tunesien	S. 62
Abb. 19	Olivengesamtproduktion in Tunesien	S. 62
Abb. 20	Ertragsmittelwerte und Variabilität der Millet-Erträge im Senegal und im Sudan	S. 66
Abb. 21	Ertragsmittelwerte und Variabilität der Sorghum-Erträge im Senegal und im Sudan	S. 67
Abb. 22	Ertragsmittelwerte und Variabilität der Erdnußerträge im Senegal und im Sudan	S. 69
Abb. 23	Ertragsmittelwerte und Variabilität der Maiserträge im Senegal und im Sudan	S. 71
Abb. 24	Ertragsmittelwerte und Variabilität der Reiserträge im Senegal	S. 72
Abb. 25	Ertragsmittelwerte und Variabilität der Hartweizenproduktion in Tunesien	S. 74
Abb. 26	Die mittleren Getreideerträge in den einzelnen tunesischen Gouvernoraten im Vergleich zum Landesdurchschnitt	S. 74
Abb. 27	Ertragsmittelwerte und Variabilität der Weichweizenproduktion in Tunesien	S. 75
Abb. 28	Ertragsmittelwerte und Variabilität der Gerstenproduktion in Tunesien	S. 76
Abb. 29	Ertragsmittelwerte und Variabilität der Olivenproduktion sowie Produktionsmengen der Olivenkulturen in Tunesien	S. 77
Abb. 30	Beziehungen zwischen den Ertragshöhen und der Lage der Regionen in S-N / N-S Erstreckung	S. 80
Abb. 31	Ertragszeitreihen und Ertragstrends 1960/61-1981/82 der Hirsen in der Provinz Fleuve und in der Provinz Diourbel	S. 86

Abb. 32	Ertragszeitreihen und Ertragstrends 1952-1983 des Weichweizens in Nordtunesien und Zentral-Süd-Tunesien	S. 87
Abb. 33	Räumliche Ausprägung der Trends in den Ertragszeitreihen der Erdnüsse, des Reises und der Hirse im Senegal	S. 88
Abb. 34	Zeitreihen der Hart- und Weichweizenerträge sowie der Düngerimporte in Tunesien	S. 93
Abb. 35	Stationen im Sudan und im Senegal mit signifikanten Temperaturtrends im August	S. 96
Abb. 36	Stationen im Sudan und im Senegal mit signifikanten Verdunstungstrends im September.....	S. 96
Abb. 37	Zeitreihen der relativen Feuchte des Monats September an den Stationen Kadugli, Malakal, Nyala, El Obeid	S. 98
Abb. 38	Stationen im Sudan und im Senegal mit signifikanten Niederschlagstrends im Monat September.....	S. 98
Abb. 39	Zeitreihen der Jahresniederschläge und fünfjährig gleitende Durchschnitte für ausgewählte Stationen in Kordofan	S. 100
Abb. 40	10-jährig gleitende Korrelationskoeffizienten der Augustniederschläge der Station Diourbel im Senegal	S. 102
Abb. 41	Die Entwicklung der Anbauflächen der Hauptgetreidesorten in der Provinz Darfur	S. 103
Abb. 42	Zeitreihen der Oktober- und Dezemberrniederschläge an der Station Tunis	S. 105
Abb. 43	Die Entwicklung der Anbauflächen der Hauptgetreidesorten in der Provinz Darfur	S. 110/111
Abb. 44	Einfach-Korrelationskoeffizienten zwischen den Klimaparametern und den Erträgen verschiedener Kulturpflanzen an ausgewählten Beispielen	S. 114/115
Abb. 45	Multiple Bestimmtheitsmaße je Monat für die Beziehungen zwischen den Witterungsfaktoren und den Hirseerträgen an ausgewählten Stationen im Senegal	S. 118
Abb. 46	Multiple Bestimmtheitsmaße je Monat für die Beziehungen zwischen den Witterungsfaktoren und den Erdnußerträgen an ausgewählten Stationen im Senegal	S. 119
Abb. 47	Multiple Bestimmtheitsmaße je Monat für die Beziehungen zwischen den Witterungsfaktoren und den Reiserträgen an ausgewählten Stationen	S. 120
Abb. 48	Multiple Bestimmtheitsmaße je Monat für die Beziehungen zwischen den Witterungsfaktoren und den Maiserträgen an ausgewählten Stationen	S. 121
Abb. 49	Multiple Bestimmtheitsmaße je Monat für die Beziehungen zwischen den Witterungsfaktoren und den Milletterträgen an ausgewählten Stationen	S. 123
Abb. 50	Multiple Bestimmtheitsmaße je Monat für die Beziehungen zwischen den Witterungsfaktoren und den Sorghumerträgen an ausgewählten Stationen	S. 123
Abb. 51	Multiple Bestimmtheitsmaße je Monat für die Beziehungen zwischen den Witterungsfaktoren und den Erdnußerträgen an ausgewählten Stationen	S. 123
Abb. 52	Multiple Bestimmtheitsmaße je Monat für die Beziehungen zwischen den Witterungsfaktoren und den Erträgen der Gerste, des Hart- und Weichweizens an ausgewählten Stationen Tunesiens	S. 126

Abb. 53	Varianzerklärungen der Erdnußerträge durch die Klimaparameter für die einzelnen phänologischen Phasen sowie durch die klimatischen Einflußgrößen über den gesamten Vegetationszyklus	S. 128
Abb. 54	Varianzerklärungen der Reiserträge durch die Klimaparameter für die einzelnen phänologischen Phasen sowie durch die klimatischen Einflußgrößen über den gesamten Vegetationszyklus	S. 128
Abb. 55	Varianzerklärungen der Maiserträge durch die Klimaparameter für die einzelnen phänologischen Phasen sowie durch die klimatischen Einflußgrößen über den gesamten Vegetationszyklus	S. 130
Abb. 56	Varianzerklärungen der Milleterträge durch die Klimaparameter für die einzelnen phänologischen Phasen sowie durch die klimatischen Einflußgrößen über den gesamten Vegetationszyklus	S. 130
Abb. 57	Varianzerklärungen der Sorghumerträge durch die Klimaparameter für die einzelnen phänologischen Phasen sowie durch die klimatischen Einflußgrößen über den gesamten Vegetationszyklus	S. 132
Abb. 58	Varianzerklärungen der Gersteerträge durch die Klimaparameter für die einzelnen phänologischen Phasen sowie durch die klimatischen Einflußgrößen über den gesamten Vegetationszyklus	S. 132
Abb. 59	Varianzerklärungen der Weizen erträge durch die Klimaparameter für die einzelnen phänologischen Phasen sowie durch die klimatischen Einflußgrößen über den gesamten Vegetationszyklus (Hartweizen)	S. 134
Abb. 60	Varianzerklärungen der Weizen erträge durch die Klimaparameter für die einzelnen phänologischen Phasen sowie durch die klimatischen Einflußgrößen über den gesamten Vegetationszyklus (Weichweizen)	S. 134
Abb. 61	Varianzerklärungen der Olivenproduktion durch die Bestimmtheitsmaße der multiplen Regressionen mit den Klimaparametern für die einzelnen phänologischen Phasen sowie durch die klimatischen Einflußgrößen über den gesamten Vegetationszyklus	S. 135
Abb. 62	Erklärte Varianzanteile der Ertragsschwankungen in Abhängigkeit von der Anzahl der eingegangenen Variablen	S. 139
Abb. 63	Zeitreihen der Faktorladungen (Eigenwert >1) der Hauptkomponentenanalyse der Juli-Niederschläge	S. 167
Abb. 64	Übersichtskarte für die Abbildungen 65, 66, 68, 69 71, 73, 74	S. 169
Abb. 65	Raummuster der Faktorwerte des 1. und 2. Faktors der PCA der Juli-Niederschläge	S. 169
Abb. 66	Raummuster der Faktorwerte des 3., 4., 5. und 6. Faktors der PCA der Juli-Niederschläge	S. 171
Abb. 67	Zeitreihen der Faktorladungen (Eigenwert >1) der Hauptkomponentenanalyse der August-Niederschläge ..	S. 173
Abb. 68	Raummuster der Faktorwerte des 1., 2., 3. und 4. Faktors der PCA der August-Niederschläge	S. 174
Abb. 69	Raummuster der Faktorwerte des 5. und 6. Faktors der PCA der August-Niederschläge	S. 176
Abb. 70	Zeitreihen der Faktorladungen (Eigenwert >1) der Hauptkomponentenanalyse der September-Niederschläge	S. 176

Abb. 71	Raummuster der Faktorwerte des 1., 2., 3. und 4. Faktors der PCA der September-Niederschläge	S. 178
Abb. 72	Zeitreihen der Faktorladungen (Eigenwert >1) der Hauptkomponentenanalyse der Oktober-Niederschläge .	S. 180
Abb. 73	Raummuster der Faktorwerte des 1., 2., 3. und 4. Faktors der PCA der Oktober-Niederschläge	S. 181
Abb. 74	Raummuster der Faktorwerte des 5. und 6. Faktors der PCA der Oktober-Niederschläge	S. 183
Abb. 75	Zeitreihen der Faktorladungen (Eigenwert >1) der Hauptkomponentenanalyse der Erdnüsse	S. 184
Abb. 76	Raummuster der Faktorwerte des 1., 2., 3. und 4. Faktors der PCA der Erdnüsse	S. 186
Abb. 77	Zeitreihen der Erträge der Hauptanbaufrüchte in den Provinzen Diourbel und Senegal Oriental	S. 188

Verzeichnis der Tabellen

Tab. 1	Korrelations- und Regressionskoeffizienten der Erträge, differenziert nach Kulturpflanzen und Räumen in Tunesien	S. 78
Tab. 2	Korrelations- und Regressionskoeffizienten der Erträge, differenziert nach Kulturpflanzen und Räumen im Sudan	S. 79
Tab. 3	Korrelations- und Regressionskoeffizienten der Erträge verschiedener Kulturpflanzen in Kordofan für verschiedene Zeitreihen: a) 1961-1982, b) 1970-1982	S. 80
Tab. 4	Korrelationskoeffizienten und Steigungsmaß von Ertrag und Düngereinsatz	S. 82
Tab. 5	Repräsentative Stationen innerhalb der Hauptanbauzonen im Senegal, im Sudan und in Tunesien	S. 127
Tab. 6	Ergebnisse der schrittweisen multiplen Regressionen der Erdnußerträge in der Provinz Diourbel mit den Klimaparametern der Monate Juli bis September	S. 140
Tab. 7	Ergebnisse der schrittweisen multiplen Regressionen der Erdnußerträge in der Provinz Kordofan mit den Klimaparametern der Monate Juli bis September	S. 141
Tab. 8	Erzielte und geschätzte Erträge im Senegal über den Bemessungszeitraum hinaus	S. 141
Tab. 9	Erzielte und geschätzte Hartweizenerträge für die tunesische Nordprovinz	S. 145
Tab. 10	Erzielte und geschätzte Reiserträge für die Provinz Casamance	S. 145
Tab. 11	Erzielte und geschätzte Hirseerträge für die Provinz Diourbel	S. 147
Tab. 12	Erzielte und geschätzte Milletterträge für die Provinz Kordofan	S. 147
Tab. 13	Erzielte und geschätzte Erdnußerträge für die Provinz Kordofan	S. 149
Tab. 14	Erzielte und geschätzte Sorghumerträge für die Provinz Kordofan	S. 149
Tab. 15	Erzielte und geschätzte Gersteerträge für den zentralen und südlichen Raum Tunesiens	S. 150
Tab. 16	Erzielte und geschätzte Erdnußerträge für die Provinz Diourbel	S. 150
Tab. 17	Erzielte und geschätzte Sorghumerträge für die Provinz Darfur	S. 151
Tab. 18	Erzielte und geschätzte Sorghumerträge für die Provinz Casamance	S. 151
Tab. 19	Varianzerklärung (Gesamtvarianz) der Faktoren (Eigenwert>1) der Hauptkomponentenanalysen der Niederschläge in den jeweiligen Monaten	S. 167
Tab. 20	Varianzerklärung (Gesamtvarianz) der Faktoren (Eigenwert>1) der Hauptkomponentenanalysen der Erdnußerträge	S. 184
Tab. 21	Kanonische Korrelation zwischen den Niederschlagsparametern und den Erdnußerträgen	S. 191

1. Ziel der Untersuchung

Neben der Sahel-Zone ist auch der nördliche Randsaum der Sahara - vor allem im Bereich der Maghreb-Länder Marokko, Algerien und Tunesien - in jüngerer Vergangenheit immer wieder von Dürreperioden betroffen gewesen. Ausgesprochene Trockenperioden mit zum Teil Totalausfällen der Getreidproduktion waren in den Jahren 1907 bis 1911, 1922 bis 1927, 1935 bis 1938 und 1943 bis 1948 in Tunesien zu verzeichnen. Ebenso wurden in der gesamten Sahelregion und damit auch im Senegal und im Sudan die Jahre 1910-1914, 1940-1945 und 1968-1984, mit der Ausnahme einzelner Jahre, als ausgeprägte Trockenperioden mit vergleichbaren Folgen für die Nahrungsmittelproduktion registriert.

Die Beziehungen zwischen der Witterung und den Ernteerträgen sind erwartungsgemäß dort am stärksten ausgeprägt, wo die Witterungsvariabilität am höchsten ist, also in den Randbereichen der großen Wüsten - im vorliegenden Falle im zirkumsaharischen Raum.

Es sind dies Gebiete, die aufgrund ihres natürlichen Potentials z.T. an der Grenze einer landwirtschaftlichen Nutzungsmöglichkeit gelegen sind. Diese Grenze wird diktiert durch das Wasserangebot für Natur und Mensch. In allen drei Untersuchungsräumen leben jeweils zwischen 60 (Senegal) und 75% (Sudan) der Bevölkerung in diesen ausgeprägten Trockenräumen, und deren Lebensunterhalt beruht nahezu ausschließlich auf dem Nomadismus, dem Regenfeldbau oder der Oasenwirtschaft. Aber trotz jahrtausendelanger Anpassung an die natürlichen Bedingungen der Aridität waren und sind solche Zonen nur bedingt wirtschaftlich nutzbar. Diese Tatsache trifft auch hier - besonders unter zunehmendem Bevölkerungsdruck - zu, der zur Intensivierung der Agrarproduktion und ihrer Ausweitung in periphere Räume zwingt. Die Folgen dieser Ausweitung, die häufig genug mit irreversiblen Schäden des Naturhaushaltes endeten, werden heute unter dem Begriff der Desertifikation zusammengefaßt.

Eine Analyse der Zusammenhänge von Klima und Ernteertrag in solch dürregefährdeten Räumen bietet auch die Möglichkeit zu ermitteln, inwieweit die Desertifikation zu negativen Ertragstrends führt, also langfristig die Agrarproduktion verringert.

An einem Beispiel aus Tunesien konnte Frankenberg (1984) die enge Korrelation zwischen Ernteertrag und Niederschlag belegen. Danach erklärt der Herbst-Niederschlag 77 % der Varianz der Winterweizen-

erträge. Jedoch fehlen bislang über diesen Ansatz hinausgehende umfangreiche Analysen der Abhängigkeiten von Klima und Ernteertrag in zirkumsaharischen Gebieten.

Gegenstand der vorliegenden Untersuchung ist eine eingehende, auf langen Datenreihen basierende Analyse der Beziehungen von Witterung und Ernteertrag, wobei vor allem dem Einfluß der interannuellen Witterungsschwankungen Rechnung getragen wird. Ein erstes Ziel der Analyse ist die Erfassung und Erklärung der räumlichen Muster der mittleren Erträge und ihre räumliche Variabilität über 30 Jahre (1951 - 1980). Es wird dabei gefragt, in wie weit die Ertragsunterschiede von Region zu Region auf die regionalen klimatischen Unterschiede zurückgeführt werden können.

In einem zweiten Schritt der Untersuchung soll die Abhängigkeit der zeitlichen Varianz der Erträge von ihren klimatischen Einflußgrößen über die verschiedenen Zeitabschnitte des Entwicklungsablaufes der Kulturpflanzen erfaßt werden. Es ist dies eine zeitlich und räumlich differenzierte Analyse, die die Frage stellt, wann und wo welches Witterungselement in welcher Phase der pflanzlichen Entwicklung einer betreffenden Kulturpflanze ihren Ertrag wie beeinflußt hat. Auf der Grundlage dieser Analyse wird ein Modell angestrebt, das bereits in einem möglichst frühen Stadium der phänologischen Entwicklung recht genaue Voraussagen über die zu erwartenden Erträge zuläßt. Desweiteren steht bei der Wirkungsanalyse der interannuellen Witterungsschwankungen auf die Erträge der Feldfrüchte die raumzeitliche Koinzidenz von Klima und Ertrag im Vordergrund.

Abschließend wird in einem Kapitel noch als Besonderheit untersucht, ob räumlich sehr weit voneinander entfernt liegende Gebiete in denselben Jahren ähnliche oder gegensätzliche Abhängigkeiten der Ertragsausbildung verzeichnen.

Gegenstand der vorliegenden Analyse ist ausschließlich der Anteil des Klimas, der die interannuelle Ertragsausbildung steuert. Sowohl edaphische wie wirtschaftsgeographische Aspekte, die das Beziehungsgeflecht Klima und Ertrag wesentlich mitbeeinflussen, konnten in dieser Untersuchung keine quantitative Berücksichtigung finden. Dennoch erlaubt die Diskussion der Analyseergebnisse, den Anteil dieser Parameter zumindest ansatzweise abzuschätzen.

Ausgewählt wurden der Senegal, der Sudan und Tunesien, die zu den Trockenzonen gehören (wenn auch nicht die gesamte Staatsfläche, so

doch große Teile) und damit von einer sich wiederholenden Dürrefährdung geprägt sind. Es handelt sich dabei um Beispiele aus dem Senegal und des Sudan als Vertreter der westlichen, zentralen und östlichen Sahelländer am südlichen und aus Tunesien als Vertreter der Maghreb-Länder am nördlichen Rand der Sahara. Sowohl der Senegal als auch Tunesien eignen sich für eine solche Analyse wegen ihrer Überschaubarkeit bei ausgeprägter naturräumlicher Differenzierung besonders gut, wohingegen die Sahel-Zone der Republik Sudan in den Provinzen Darfur, Kordofan, Blauer und Weißer Nil und Kassala ihre größte räumliche Erstreckung innerhalb eines Staates erreicht und damit sowohl den zentralen wie den östlichen Teil der afrikanischen Sahel-Zone zu repräsentieren vermag.

2. Datenmaterial, Daten- und Raumauswahl

Für die Analyse der Beziehungen von Ernteerträgen und Klima werden 2 bzw. 3 Datensätze benötigt: 1. die Hektar-Erträge der einzelnen Kulturpflanzen, 2. die Klimadaten der entsprechenden Station im Untersuchungsgebiet. Der 3., eigentlich benötigte Datensatz wären die phänologischen Daten zur Differenzierung der Vegetationszyklen der einzelnen Feldfrüchte, um die Bedeutung bestimmter Witterungsparameter zu einem bestimmten Zeitpunkt der Pflanzenentwicklung analysieren zu können. Diese Daten werden für die hier untersuchten Gebiete des Senegal, des Sudan und Tunesiens nicht erhoben. Das Fehlen dieser Daten wird sich jedoch nicht auf die Analyseergebnisse negativ auswirken. Durch die Auswahl der Untersuchungsgebiete nördlich und südlich der Sahara ist bis auf wenige Ausnahmen der Beginn der Vegetationszeit der Ackerfrüchte einzig und allein auf das Einsetzen der sommerlichen bzw. herbstlichen Niederschläge begrenzt. Damit ist der Gesamtzyklus fixiert, und die Ertragsbildung der einzelnen Feldfrüchte primär von den innerhalb der Vegetationszeit Einfluß nehmenden Witterungsparametern in Verbindung mit anderen Komponenten, z.B. dem Boden, abhängig.

2.1. Die Ertragsdaten ausgewählter Kulturpflanzen

Die Daten der Ernteerträge sind in erster Linie aus den jeweiligen statistischen Jahrbüchern der betreffenden Länder entnommen worden. Für eine statistische Verarbeitung mußten die Daten der einzelnen Länder zunächst auf eine einheitliche Ertragsmaßzahl transformiert werden (kg/ha). Darüberhinaus kamen auch nur solche flächenbereinigte Ertragsdaten in Frage, da sie von den im Laufe der Jahre schwankenden Anbauflächen unabhängig sind. Ein entscheidendes Problem der vorhandenen Ertragsdaten ist jedoch die Basis der Raumeinheiten, für die sie erhoben werden. Nach Frankenberg (1984, S.4) "sollten die räumlichen Einheiten so klein sein, daß ihr möglichst homogene Naturbedingungen zu eigen sind; sie sollten aber auch so groß sein, daß sich die Vielzahl der nicht klimatischen Einflußgrößen durch Mittelung reduziert." Was den ersten Teil betrifft, so muß in dieser Analyse mit Raumeinheiten gearbeitet werden, die z.T. der Größe eines Bundeslandes, z.B. in Tunesien und in Teilen des Senegal, z.T. aber auch 3/5 der Gesamtfläche der Bundesrepublik

entsprechen, wie z.B. die Provinz Kordofan im Sudan mit ca. 160000 qkm Fläche. Nur auf der Grundlage dieser Flächeneinheiten (Gouvernorat- bzw. Provinzflächen) konnten ausreichende Periodenlängen der Ertragszeitreihen in den jeweiligen Ländern beschafft werden. Als ausreichende Zeitreihenlänge wird für Mitteleuropa ein mindestens 20 Jahre umfassender Zeitraum in der Literatur genannt (vgl. dazu Hanus, 1969). Zum Teil werden in den untersuchten Gebieten in jüngerer Zeit auch schon kleinräumigere statistische Erhebungen durchgeführt, aber nur in Ausnahmefällen erreichen die Zeitreihen einen Umfang von mehr als 10 Jahren.

Eine wesentliche Frage der vorliegenden Untersuchung ist zunächst die räumliche Varianz der Erträge in Abhängigkeit vom Klima und im Anschluß daran der raum-zeitliche Einfluß einzelner Witterungselemente auf die Ertragsbildung der einzelnen Kulturpflanzen. Dabei werden die kürzeren Zeitreihen der kleineren Raumeinheiten eine wesentliche Interpretationshilfe liefern können, inwieweit die langen Zeitreihen für die einzelnen Provinzen und Gouvernorate auch tatsächlich die natürlichen Bedingungen dieser Räume zu repräsentieren vermögen. Für die vorliegende Analyse wurden nur die Feldfrüchte berücksichtigt, die die wesentlichsten Anbauprodukte der jeweiligen Länder darstellen, und zwar einmal in bezug auf die Nahrungsmittelproduktion für die Bevölkerung und zum anderen im Hinblick auf den Export. Eine Differenzierung der einzelnen Feldfrüchte nach Sorten ist jedoch unmöglich, weil statistisches Material nur in einzelnen Fällen für Versuchsflächen vorliegt, die jedoch weder den entsprechenden Raum repräsentieren noch längere Zeitreihen liefern konnten. Der Autor ist sich deshalb bewußt, daß aus der sortenübergreifenden Analyse sicherlich Verfälschungen resultieren.

Für den tunesischen Bereich wurden die Ertragsdaten folgender Kulturpflanzen berücksichtigt:

Der Weichweizen (Triticum aestivum) wurde in der Form des Sommergetreides in die Analyse einbezogen. Er stellt hohe Ansprüche sowohl an den Boden, die Temperatur als auch den Wasserhaushalt, so daß seine Verbreitung in der vorliegenden Untersuchung vorwiegend auf die nördlichen Teile Tunesiens beschränkt bleibt.

Der Hartweizen (Triticum durum) findet vor allem in den wärmeren Regionen des zirkummediterranen Raumes eine weite Verbreitung als

Brotgetreide. Er gehört zu den wärmeliebenden Sommergetreiden und gedeiht bereits bei weniger als 500 mm Niederschlag. Er nimmt von daher eine herausragende Bedeutung für aridere Gebiete, vor allem des südlichen Tunesiens, ein.

Die Gerste (Hordeum vulgare) gehört ebenso wie die obigen Getreide zu den Poaceae, stellt aber weitaus geringere Ansprüche an den Boden und den Wasserhaushalt und ist sehr hitzeverträglich. Sie eignet sich daher besonders für die Regionen Tunesiens, die immer weiter nach Süden an den Rand der Wüste vorstoßen. Die sehr kurze Vegetationszeit der Gerste (55 Tage) ermöglicht, wenn auch bei geringen Erträgen, noch einen Anbau bei 200 mm Jahresniederschlag während der Vegetationszeit (vgl. Rehm/Espig, 1976).

Der Ölbaum (Olea europaea) ist eine sehr alte Kulturpflanze des Mittelmeerraumes. Er ist immergrün und kann durchaus mehrere hundert Jahre alt werden. Aus den Achseln der gegenständigen Blätter entspringen Keimtriebknospen, innerhalb derer von Februar bis Mai die Blüten determiniert werden. Anfang Juni öffnen sich die Blüten (Franke, 1976, S.151), und zwischen Oktober und Dezember werden die Früchte reif und können geerntet werden. Anschließend werden die Früchte samt Kern in mehreren Pressungen zu Olivenöl verarbeitet. Neben einem hohen Eigenverbrauch ist das Olivenöl das Hauptausfuhrprodukt der Landwirtschaft Tunesiens.

Für den sahelischen Bereich wurden die Ertragsdaten folgender Kulturpflanzen berücksichtigt:

Die Durrha (Sorghum vulgare/bicolor) - auch als Mohrenhirse bekannt - stellt für Afrika die wohl wichtigste Hirseart dar. Je nach Sorte bestehen große Unterschiede im Wasserbedarf. Sehr gute Bedingungen für ihr Wachstum finden sich bei etwa 500 mm Niederschlag. Viele Sorten sind jedoch extrem dürreresistent und können auch lange Trockenperioden während der Vegetationszeit unbeschadet überstehen. Deshalb ist Durrha in vielen Teilen der nördlichen Sahelländer dem Mais weit überlegen.

Als Dukhn (Pennisetum typhoideum) oder auch als 'Millet' wird die Perl- oder Rohrkolbenhirse bezeichnet. Sie ist unter den Getreiden die wohl trockenresistenteste Art und gedeiht noch in Gebieten um 200 mm Jahresniederschlag. Der Dukhn- oder Milletanbau befindet sich an der absoluten Trockengrenze des Regenfeldbaus in Afrika (Sudan und Senegal), die im Moment zwischen der 180 und der 200 mm

Jahresisohyete zu markieren wäre. Diese Getreideart stellt zusammen mit den bereits besprochenen in diesen Räumen das mit Abstand wichtigste Grundnahrungsmittel dar.

Der Reis (Oriza sativa) ist ein einjähriges Rispengras. Reis erzielt seine besten Erträge in Gebieten mit langandauerndem Sonnenschein. Obwohl der Reis als einziges Getreide auch im Wasser gedeihen kann, werden große Teile der Weltreisernte auch auf Trockenland erzielt. Im Senegal wird sowohl in der 'Basse Casamance' als auch im Überflutungsbereich des Senegalflusses und des Saloumflusses nahezu ausschließlich der Trockenreisanbau praktiziert. Die Niederschläge müssen Werte von etwa 800 mm während der Vegetationszeit erreichen, als optimal gelten 1250-1500 mm (vgl. Rehm /Espig, 1976; Franke, 1976).

Die Baumwolle (Gossypium herbaceum) ist eigentlich eine mehrjährige Pflanze, sie wird jedoch häufig nur einjährig gezogen. Sie ist eine ausgesprochen hitzeverträgliche Pflanze, und dem Anbau genügen Niederschlagsmengen ab 600 mm, mit etwa 1500 mm als Maximum. Baumwolle stellt ein sehr wichtiges Exportprodukt, vor allem des Sudan, dar. Im Senegal ist sie erst in den 60er Jahren eingeführt worden.

Die Erdnuß (Arachis hypogaea) besitzt einen sehr hohen Nährwert und gehört auch wegen ihres Wohlgeschmacks zu den bedeutendsten Nahrungsmitteln der Bevölkerung in den Tropen. Sie bedarf hoher Temperaturen (um ca. 25° C) und etwa 500 mm Niederschlag. Leichte Böden werden bevorzugt als Anbaugelände genutzt, einmal weil die Wurzeln sehr schnell in die Tiefe dringen können, zum andern ist die Erntearbeit dadurch erheblich erleichtert. Neben der Eigenversorgung stellt die Erdnuß sowohl für den Senegal als auch für den Sudan ein wichtiges Exportprodukt dar.

Der Mais (Zea mays) - ursprünglich wie auch die Erdnuß in der "Neuen Welt" beheimatet - hat schon sehr früh seine Verbreitung auf andere Kontinente angetreten. Aufgrund seines hohen Ertragspotentials ist er heute in allen Kontinenten von bedeutendem Wert für die Ernährung. Die Vegetationszeit des Maises ist - verglichen mit den anderen Getreiden - relativ lang, etwa 120 Tage. Für eine erfolgreiche Kultivierung benötigt er 500 mm Niederschlag und mehr. Trockenperioden während der Blütenbildung und der Befruchtung können jedoch zu völligem Ernteausfall führen (vgl. Rehm/Espig, 1978). Die Erträge der einzelnen Kulturpflanzen, die in die Analyse einbezogen worden sind, geben ausschließlich Auskunft über die Quan-

tität und lassen keinerlei Urteil über die Qualität zu, was Inhaltsstoffe, Stärkegehalt oder Fruchtzuckergehalt und Ähnliches betrifft. Selbst die Genauigkeit der statistischen Mengenangaben muß in manchen Fällen sehr stark bezweifelt werden, da die Feststellung der Mengen häufig nur über Schätzungen erfolgen kann. Gerade für Grundnahrungsmittel ist, z.B. bei der Angabe der Erträge, erhöhte Skepsis geboten, weil ein großer Teil der Produktion ausschließlich für die eigene Nahrungsmittelversorgung verbraucht wird und nur ein geringer Teil auf dem Markt zum Verkauf oder Tausch angeboten wird.

Trotz des Wissens um die Unzulänglichkeit und die mangelnde Präzision der erhobenen Daten, auf denen diese Analyse beruht, ist anderes und zuverlässiges Material in den Ländern nicht vorhanden.

Die Methoden zur Erhebung der Hektarerträge haben sich in den drei Ländern in dem in Frage kommenden Zeitraum nur unwesentlich geändert. Auch die dazu in direktem Bezug stehenden Raumeinheiten, wie Provinz- oder Gouvernoratsflächen, wurden aufgrund politischer Maßnahmen kaum geändert, so daß eine Umrechnung der Hektarerträge auf neue Flächeneinheiten nur in Ausnahmefällen erforderlich war.

2.2. Die Auswahl der klimatischen Einflußgrößen nach den ökologischen Ansprüchen der Kulturpflanzen

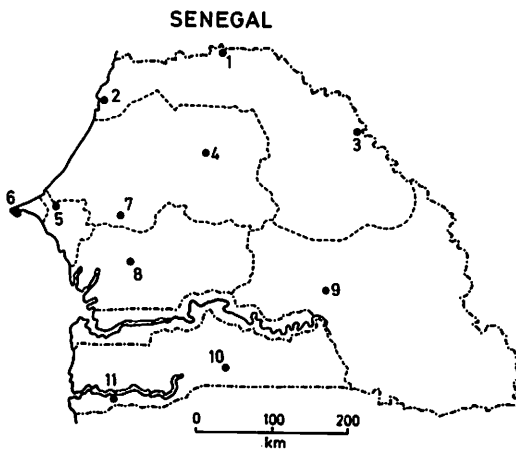
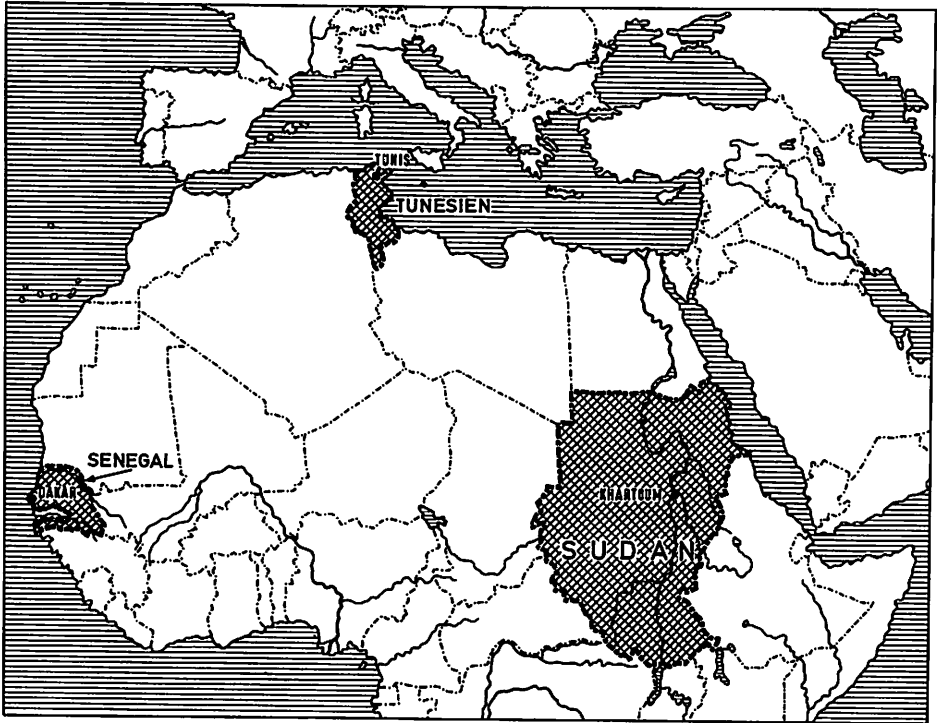
Für eine raum-zeitliche Analyse des Einflusses des Klimas auf die Ertragsbildung der einzelnen Kulturpflanzen bedarf es eines umfangreichen Datensatzes thermischer und hygrischer Parameter, der vollständig für den betrachteten Zeitraum von 1951-1980 vorlag und der darüberhinaus die betreffenden Raumeinheiten hinreichend zu repräsentieren vermag. Den Anforderungen an den Datensatz konnten nur die Klimahauptstationen in den jeweiligen Ländern gewachsen sein. Selbst bei diesen war nicht immer eine durchgehende Beobachtung der einzelnen Parameter gewährleistet. Wenn möglich, erfolgte eine Ergänzung fehlender Monatswerte durch die langjährigen Monatsmittelwerte. Fehlende Niederschlagswerte (Monatssummen und Anzahl der Niederschlagstage) wurden nur dann nach dem obigen Schema ergänzt, wenn es sich um Einzelwerte eines Monats bei sonst vollständigen Jahresreihen handelte. Fehlten mehr als 2 Monate eines Jahres, so wurde das betreffende Jahr aus den weiteren Analysen ausgeschlossen.

Gewiß können die knapp 50 Klimastationen (vgl. Abb. 1) den Gesamtuntersuchungsraum nur sehr unzureichend repräsentieren, vor allem im Hinblick auf die räumliche Verteilung der mittleren Niederschlagsbedingungen; aber die Tatsache, daß eine Vielzahl klimatischer Parameter auf Monatsbasis Berücksichtigung finden sollten, limitierte die in Frage kommenden Stationen auf die obige Anzahl.

Besonders nachteilig scheint sich dies auf den Sudan auszuwirken, dessen Untersuchungsraum von der Größe her eine Fläche von etwa dem Doppelten der Fläche des Senegal (ca. 196000 qkm) und Tunesiens (ca. 163000 qkm) zusammengenommen besitzt. Zusätzlich wurden einige Stationen aufgenommen, an denen nur die Niederschlagsmengen für den erforderlichen Zeitraum vorlagen, um eine Verbesserung der Analyse für die Verteilung der Niederschlagsereignisse zu erzielen. Ein Vorteil der relativ geringen Anzahl von Klimastationen liegt jedoch darin, daß nur eine einzige Station innerhalb des Beobachtungszeitraumes verlegt worden ist. Die Station Djerba (Tunesien) befand sich früher mitten im Hauptort der Insel, in Houmt Souk. Sie wurde 1972 an die nördliche Küste zum Flughafen verlegt. Die nachfolgenden Messungen - u.a. der Niederschlagswerte - ließen es nicht zu, die Station Djerba als homogene Zeitreihe aufzufassen. Ersatz bietet die Station Zarzis, die mit der alten Station Djerba einen nahezu parallelen Ablauf aufwies. Seit 1972 sind demnach die Niederschlagswerte der Station Zarzis für Djerba übernommen und fortgeschrieben worden. Leider ist die Station Zarzis 1978 ebenfalls geschlossen worden, so daß für zukünftige Analysen eine homogene Zeitreihe für die Insel Djerba nicht mehr vorliegen wird.

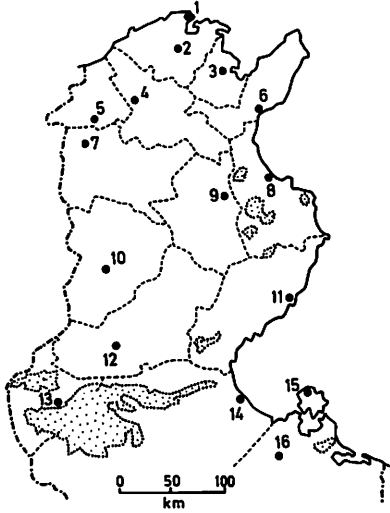
"Nach Auswahl der Klimastationen galt es, die Parameter festzulegen, die mit den Erträgen in Beziehung gesetzt werden sollten, um die Phasen der Vegetationsperiode zu ermitteln, für die anzunehmen ist, daß sich in ihnen die Witterungsereignisse spezifisch auf den Ertrag auswirken." (Frankenberg, 1984, S.9).

In dieser Analyse werden vor allem die Niederschlagsvariablen für die zu erklärenden Anteile der Beziehungen von Ertragshöhe und Klima dominieren. Erinnernd an das Ergebnis von Frankenberg (1984, S.2) sei hier noch einmal an die engen Beziehungen von Weizenertrag und dem Niederschlagsaufkommen in Tunesien mit einem Korrelationskoeffizienten von 0.864 verwiesen, was immerhin eine Erklärung von nahezu 75% der Gesamtvarianz der Hektarerträge des Weizens entspricht.



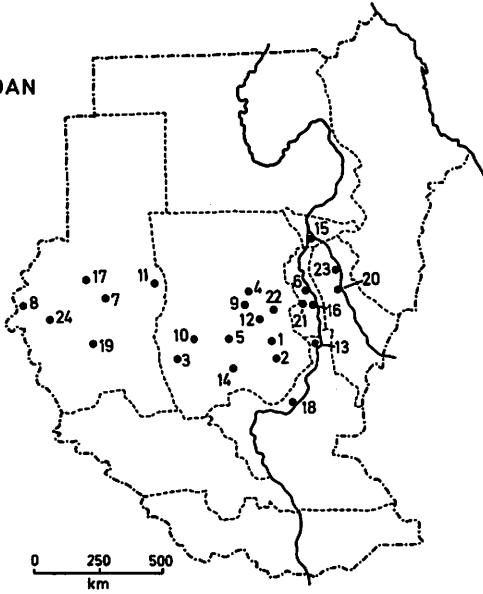
- | | | | | | | | |
|---|-----------|---|----------|---|-------------|----|------------|
| 1 | Podor | 4 | Linguère | 7 | Diourbel | 10 | Kolda |
| 2 | St. Louis | 5 | Thiès | 8 | Kaolack | 11 | Ziguinchor |
| 3 | Matam | 6 | Dakar | 9 | Tambacounda | | |

TUNESIEN



- 1 Bizerte
- 2 Mateur
- 3 Tunis
- 4 Beja
- 5 Jendouba
- 6 Nabeul
- 7 Le Kef
- 8 Sousse
- 9 Kairouan
- 10 Kasserine
- 11 Sfax
- 12 Gafsa
- 13 Tozeur
- 14 Gabès
- 15 Djerba
- 16 Médénine

SUDAN



- | | | | |
|---------------|--------------|-------------|---------------|
| 1 Abbasiya | 7 El Fasher | 13 Er Renk | 19 Nyala |
| 2 Abu Gubeiha | 8 El Geneina | 14 Kadugli | 20 Sennar |
| 3 Abu Zabad | 9 El Obeid | 15 Khartoum | 21 Tendelti |
| 4 Bara | 10 El Odaiya | 16 Kosti | 22 Um Ruwaba |
| 5 Dilling | 11 En Nahud | 17 Kutum | 23 Wad Medani |
| 6 Ed Dueim | 12 Er Rahad | 18 Malakal | 24 Zalingei |

Abb. 1 Karte der Klimastationen in den jeweiligen Ländern

Für die vorzunehmende Analyse werden somit die Variablen des Wasserhaushaltes im weitesten Sinne eine überragende Stellung einnehmen müssen: Gesamtniederschlag der einzelnen Jahre, Anzahl der Niederschlagstage >1mm Niederschlag, die Niederschläge der einzelnen Monate Juni bis Oktober (pro Monat) im Sahel, Oktober bis Mai (pro Monat) in Tunesien, die täglichen Niederschläge (die jedoch nur für den Senegal vorliegen), die relative Luftfeuchtigkeit, die Verdunstung über das Jahr bzw. in den einzelnen Anbaumonaten.

Die einzelnen Klimawerte wurden bei der ASECNA in Dakar (Agence pour la securite de la Navigation Aerienne en Afrique et a Madagascar), beim Deutschen Seewetteramt in Hamburg, beim Institut National de la Meteorologie in Tunis, beim Departement of Meteorology in Khartoum und über die World Weather Records 1951-1960 beschafft.

Phänologische Daten zur Festlegung der einzelnen Vegetationsperioden liegen für die genannten Untersuchungsgebiete nicht vor. Der Ablauf der mittleren Vegetationszyklen wurde botanischen Lehrbüchern der tropischen und subtropischen Nutzpflanzen entnommen. Der Beginn der Aussaat wurde in den jeweiligen Ländern entweder durch Befragung festgelegt oder anhand vorliegender Literatur, die sich ausführlich mit den einzelnen Kulturpflanzen und deren Anbausystem befaßt.

2.3. Der Anbaukalender der ausgewählten Kulturpflanzen

2.3.1. Im Sudan

Der Dukhn (Pennisetum typhoideum) wird unmittelbar nach Einsetzen der Regenzeit ausgesät (Ende Juni/Juli). Die Ernte beginnt in den ersten Tagen des November. In den südlichen Provinzen von Kordofan und Darfur beginnt die Aussaat in der ersten Hälfte des Juni, und die Ernte erfolgt Anfang bis Mitte Oktober. Der Nord-Süd-Unterschied wirkt sich im Anbau demnach etwa einen Monat aus.

Die Durrha (Sorghum vulgare) wird nahezu gleichzeitig mit dem Dukhn ausgesät (vorwiegend im Juli), die Ernte beginnt aber einen Monat später, also Anfang Dezember. Für die südlichen Provinzen gilt hier ebenfalls eine Zeitverlagerung von einem Monat. Die Aussaat findet in der ersten Junihälfte statt, die Ernte beginnt Anfang November.

Die Erdnüsse (Arachis hypogaea) benötigen ein Minimum von 380 mm Niederschlag und sind daher auf die südliche Goz-Zone (vgl. Kap.

5.1.) beschränkt. Das Hauptanbauzentrum liegt in der Umgebung von Er Rahad. Der Aussaattermin ist Mitte Juli, und die Ernte erfolgt in den ersten Novembertagen. In den südlichen Regionen gilt in diesem Fall jedoch nur eine halbmonatige Vorverlegung: Saat Ende Juni bis Anfang Juli, Ernte Mitte bis Ende Oktober.

Die Baumwolle (Gossypium herbaceum) wird auf der Basis der natürlichen Niederschläge nur in Süd-Kordofan im Bereich des Nuba-Berglandes kultiviert. Die Vegetationszeit beträgt ca. 150-155 Tage. Der Aussaattermin liegt Anfang bis Mitte Juli, volle Reife wird Anfang Dezember erreicht. Von Dezember bis in den Februar hinein erstreckt sich die Ernte der Baumwolle (vgl. dazu Born, 1965; Southern Rural Planning Unit, 1981).

2.3.2. Im Senegal

Die senegalesische Statistik unterscheidet nicht wie die sudanesischen zwischen den kleinen und großen Hirsen (Dukhn und Durrha), sondern faßt die Erträge der jeweiligen Getreidearten in einer gemeinsamen Gruppe (Mil/Sorgho) zusammen. Die Hirsen werden in der nördlichen Zone (ca. 250-500 mm Jahresniederschlag) in der 2. Junihälfte, hauptsächlich aber im Juli, ausgesät. Ende September werden sie reif, und der Oktober (2.Hälfte bis Ende) ist der Haupterntemonat.

In der südlicheren Zone, der sudanischen Region, beginnt die Aussaat der Hirsen in den letzten Maitagen, die wichtigste Zeit ist aber die erste Junihälfte. Anfang bis Mitte Oktober erfolgt bereits die Ernte. In der südlichsten Zone, der 'Domaine Guineen', werden bevorzugt große Hirsen angebaut, also Vertreter der Sorghum-Arten. Die Aussaat beginnt in der ersten Junihälfte, setzt sich aber bis in den Juli hinein fort. Bereits Ende September werden die ersten Hirsen geerntet, die Ernte erstreckt sich bis in den Oktober hinein.

Der Mais (Zea mays) wird wie die kleinen Hirsen im Norden bis etwa 400 mm Niederschlag vorwiegend im Juli gesät und kann ebenso im Oktober bereits geerntet werden. Für die Region der 'Domaine Guineen' gilt der gleiche Anbaukalender wie in den mittleren Regionen. Für den Reis (Oriza sativa) sind die natürlichen Feuchtigkeitsverhältnisse in der nördlichen Region nicht ausreichend. Sein Anbau ist dort ausschließlich auf die Uferregionen des Senegal be-

schränkt, und zwar hier vorwiegend auf den Bereich zwischen Bakel und Matam, wo die sommerlichen Hochwässer das Anlegen von Reiskulturen erlauben. Hier wird im Juni ausgesät und im Oktober geerntet. In der südlicheren Zone (Provinz Sine Saloum) ist ebenfalls Trockenreisbau möglich. Ebenso wie in der 'Domaine Guineen' werden die Reiskulturen im Juni und Juli ausgesät, Haupterntemonate ist der Oktober und November.

Die Erdnuß (Arachis hypogaea) kann in der nördlichen Region erst bei etwa 400 mm Niederschlag angebaut werden. Die Aussaat findet im Juli statt, und im November können die Erdnüsse geerntet werden. In der südlichen Region und der Zone 'Guineen' dagegen kann der Erdnußanbau gut einen Monat früher beginnen (Juni), und der größte Teil der Ernte ist bereits im Oktober/November beendet.

Die Baumwolle (Gossypium herbaceum) ist eine noch sehr junge Kultur im Senegal, die erst zum Ende der sechziger Jahre eine größere Verbreitung fand. Die Vegetationszeiten in den betreffenden Regionen sind die gleichen, die auch für den Baumwollanbau im Sudan gelten. Der Aussaattermin liegt im Juli, und die Ernte erstreckt sich von Dezember bis Anfang Februar (vgl. dazu u.a. Calendrier agricole pour le Senegal, 1946).

2.3.3. In Tunesien

Der Weichweizen (Triticum aestivum) in seiner Form als Sommergetreide wird nach dem Einsetzen der Regenzeit zwischen Oktober und Ende November, z.T. auch noch im Dezember, ausgesät. Die Ernte beginnt im nächsten Jahr ab Mai zu Beginn der Trockenzeit und erstreckt sich bis Ende Juni.

Der Hartweizen (Triticum durum) ist von Hause aus ein Sommergetreide, das als wärmeliebendes Getreide auf den zirkummediterranen Raum begrenzt ist. Für ihn gelten die gleichen Termine der Kultivierung wie für den Weichweizen. Die Aussaat ist auf Oktober/November terminiert. Die Ernte beginnt Ende April und dauert bis in die zweite Hälfte des Juni.

Die Gerste (Hordeum vulgare) als trockenresistentes Getreide findet ihre größte Verbreitung in den südlichen Regionen Tunesiens. Aufgrund ihrer kurzen Vegetationszeit gibt es für die Gerste auch dann noch die Möglichkeit der Ertragsbildung, wenn die herbstlichen Niederschläge für die Aussaat nicht ausgereicht haben. Entscheidend

sind dann, nach der Aussaat im Winter (Dezember bis Januar), die Frühjahrsniederschläge. In normalen Jahren wird die Gerste zu Beginn der Regenzeit (ab Ende September bis Ende Oktober) eingesät, und im April wird das Getreide geerntet. Auch bei einer verspäteten Wintereinsaat (s.o.) wird ab April/Mai geerntet. (Zu den Anbaukalendern vgl.: Ministère des Transports et des Communications, Institut National de la Meteorologie, 1984; Mensching, 1963, Franke, 1976)

Der Ölbaum (Olea europaea) besitzt einen zweijährigen Zyklus, worin zwei markante Phasen für eine erfolgreiche Olivenernte entscheidend sind. Die erste Phase verläuft im Frühling (Ende Februar/März) mit dem Beginn der Knospung. Innerhalb der Knospen werden die Blüten determiniert. Die Blütezeit als solche dauert von Juni bis Ende Juli. Die nächste entscheidende Phase setzt zu Beginn der herbstlichen Regenzeit ein, die für die Olivenfruchtbildung im September optimal ist. Verzögert sich der Beginn der Regenzeit bis in den Winter hinein (Dezember), ist mit einem völligen Ernteausfall zu rechnen (vgl. Farge, 1963). Von Januar bis März/April findet die Ernte der Oliven statt. Die Menge der Erträge ist alternierend. Einem Jahr mit gutem Fruchtansatz folgt im nächsten Jahr ein schwacher Fruchtansatz und daher auch nur eine mäßige Ernte (vgl. Franke, 1976; Rehm/Espig, 1976; Farge, 1973; Laoura & Viera Da Silva, 1981).

3. Methoden und Ergebnisse bisheriger Analysen zum Thema Ernteertrag und Klima in vergleichbaren Naturräumen

Im ersten Kapitel dieser Analyse ist bereits in Erinnerung an die große Sahel-Dürre darauf hingewiesen worden, daß die Beziehungen zwischen der Witterung und den Erträgen am stärksten dort ausgeprägt sein müssen, wo die Witterungsvariabilität am höchsten ist, also in den Randbereichen der großen Wüsten. Aus dem nach Frankenberg (1984) zitierten Beispiel wäre zu erwarten, daß eine große Anzahl Studien für die Trockengebiete, u.a. Nordafrikas, bereits vorliegen sollten, und eine neue Studie möglicherweise nur alte Ergebnisse wieder aufgreifen und mit einem anderen Schwerpunkt entstehen könnte. Es soll daher zunächst die bisherige Literatur zu diesem Themenkomplex aufgearbeitet werden.

Bei dem Literaturüberblick von bisherigen Analysen zu Fragen der Beziehungen von Witterung und Ernteertrag sind ausschließlich vergleichbare Naturräume berücksichtigt worden. Bei dieser Beschränkung wird in der Literatur ein Faktum besonders deutlich, der Mangel an ausreichend langen Zeitreihen der Ernteerträge in den betroffenen Räumen. Die Messungen der Klimaelemente hingegen reichen z.T. zurück bis an den Beginn dieses Jahrhunderts, wohingegen gesichertes und regelmäßig erhobenes statistisches Material zu den Erträgen erst seit wesentlich kürzerer Zeit zur Verfügung steht. Das gilt vor allem für die tropischen Gebiete des Untersuchungsraumes. Die landwirtschaftlichen Statistiken Tunesiens reichen dagegen bis in die zwanziger Jahre oder noch weiter zurück (z.B. Olivenerträge).

Aufgrund dieser Tatsache ist die Anzahl bisheriger Veröffentlichungen zu diesem Thema schon aus "zeitlichen" Gründen relativ beschränkt, da für statistische Auswertungen Zeitreihen von mindestens 20 Jahren vorliegen sollten, um ein hinreichendes Maß an Sicherheit bei den Aussagen zu erreichen.

Für den außertropischen Bereich stehen schon für wesentlich mehr Jahre detaillierte Erntestatistiken zur Verfügung, so daß Analysen des Beziehungsgeflechtes von Witterung und Ertrag vor allen Dingen für die mittleren Breiten auf wesentlich längere Zeitreihen zurückgreifen können. Ich verweise hier auf die Arbeiten von Brückner (1910), der die landwirtschaftlichen Erträge in Abhängigkeit von der Witterung für das Deutsche Reich dargestellt hat oder auf die

Arbeiten von Parry (1988) und Walton (1952,1953), die sich vor allem mit den Ernterisiken im nordwesteuropäischen Raum beschäftigten, besonders in Irland und Schottland.

Grundsätzlich muß bei der Beurteilung bisher vorliegender wissenschaftlicher Arbeiten zwischen zwei unterschiedlichen Ansätzen unterschieden werden.

Der erste, wesentlich umfangreichere Teil der Arbeiten befaßt sich mit der Untersuchung optimaler Klimabedingungen für die Produktion einzelner Kulturpflanzen, wobei in diesen Untersuchungen vorwiegend Fragen des Wasserhaushaltes der einzelnen Anbaufrüchte während ihrer phänologischen Phasen im Vordergrund stehen.

Da diese Arbeiten nahezu alle das Ziel verfolgen, optimale Standorte für ausgewählte Kulturpflanzen in den Tropen auszugrenzen, sind sie für eine Analyse der zeitlichen bzw. raum-zeitlichen Variabilitäten von Witterung und Ertrag nur als Ersatz fehlender phänologischer Daten verwendbar. (Vgl. dazu Schmiedecken, 1979; Cocheme, & Franquin, 1979; Fraire & Rijks, 1975; Oliver, 1972; Williams & Joseph, 1970; Blanley & Criddle, 1950; Brown & Cocheme, 1969; Dagg, 1965; Farbrother, 1977; Jackson, 1977; Jätzold, 1979a + b; Thornthwaite & Mather, 1957; Agnew, 1982).

Aber trotz dieser augenscheinlich exakt gemessenen Transpirationsraten bleibt die Frage, welcher Wasseranspruch tatsächlich gemessen worden ist? Eine Pflanze, und vor allem eine Kulturpflanze, besitzt die Fähigkeit, sich dem zur Verfügung stehenden Wasser anzupassen. Jätzold (1979a) spricht daher von drei verschiedenen Niveaus: der Minimal-, der Normal- und der Maximaltranspiration. Allein diese verallgemeinernden Werte der unterschiedlichen Transpirationsfähigkeit zeigt deutlich die oben angesprochene Problematik auf.

Der zweite Ansatz der Forschungen behandelt die zeitlichen Änderungen der jährlichen Klimaparameter und hier vor allem die Niederschlagssummen über das Jahr oder über die Monate und die daraus resultierenden Folgen für die landwirtschaftliche Produktion. Es handelt sich bei diesen Untersuchungen in erster Linie um Arbeiten, die die zeitliche Varianz der Erträge von ihren klimatischen Einflußgrößen her zu erklären versuchen. Es wird dabei fast immer die Frage gestellt, inwieweit Ertragseinbußen in einzelnen Jahren durch Klimavariabilitäten erklärt werden können.

Die Analysen der Beziehungen von Witterung und Ertrag erfolgen in der vorliegenden Arbeit ausschließlich auf der Basis quantitativer

multivariater Verfahren. Es handelt sich dabei nicht mehr um die mittelbaren Beziehungen von einer Pflanze zu ihrer Umwelt und den Voraussetzungen für ein erfolgreiches Wachstum, sondern vielmehr um die Bedingungen für ganz bestimmte Ertragsbildungen unter dem Aspekt der zeitlichen Veränderlichkeit der Ausgangsvariablen - sprich Klimaparameter, bzw. die räumliche Ausprägung der zeitlich gemittelten Ausgangsvariablen.

Ein Ausgangspunkt zu quantitativem Arbeiten über das Beziehungsgeflecht von Witterung und Ernteertrag basiert auf der Kenntnis von Katastrophen in historischer Zeit und hat zum Inhalt, inwieweit sich ähnliche Witterungsbedingungen unter den gegenwärtigen Anbaubedingungen auswirken könnten. Dieser Ansatz entstammt vorwiegend dem nordamerikanischen Raum, wo durch eine ungünstige Witterung zu Beginn der siebziger Jahre (1974) wieder ein Ereignis in das Bewußtsein zurückgekehrt ist, das vor allem in den dreißiger Jahren, in der sogenannten 'dust-bowl-area' zu katastrophalen Ertragseinbußen führte.

Warrick (1984) stellt in seiner Untersuchung über die Klimaabhängigkeit der Weizenproduktion in den Great Plains der USA die Frage, was mit den Weizenenerträgen bei einer Wiederholung der großen Dürre der dreißiger Jahre in den USA geschehen würde. Auslöser für diese Studien waren die extrem schlechten Weizenenerträge 1974 in den Great Plains der USA, die zeigten, daß trotz höchstentwickelter Technik die Ernteerträge vom Klima während der Vegetationsphase nicht unbeeinflusst bleiben. Der Autor hebt hervor, daß seit dem 17. Jahrhundert in den gesamten Great Plains keine solche Dürrekatastrophe wie in den Jahren 1930-1940 aufgetreten war. Dennoch war das Ziel der Untersuchung, festzustellen, wie ähnliche Witterungsbedingungen bei heutiger Technologie die landwirtschaftlichen Erträge beeinflussen würden. Die Ergebnisse zeigen, daß bei einer anhaltenden Dürre die Erträge von Jahr zu Jahr niedriger ausfallen. Es ist also für die Vereinigten Staaten und deren Kornkammer davon auszugehen, daß bei vergleichbaren Voraussetzungen wie in den Jahren 1930-1940 die gleichen relativen Absenkungen der Erträge zu erwarten sind, wenn auch auf einem höheren Niveau.

Der zweite wissenschaftliche Ansatz versucht, ungünstige Witterungserscheinungen in bestimmten Räumen der Erde zu analysieren und diese dann mit anderen Ungunsträumen in Beziehung zu setzen. Diese Methoden finden ihre Anwendung sowohl in der Bewertung einzelner

Ungunsträume als auch im Vergleich zeitgleich auftretender Witterungsanomalien und ihren Auswirkungen auf die Ertragsbildung. Es handelt sich dabei also vorwiegend um die Erarbeitung räumlicher Ähnlichkeitsmuster vergleichbarer Ungunst- oder Gunstwitterungsverhältnisse.

Sakamoto et alii (1980) untersuchte die weltweiten Abhängigkeiten der Getreideproduktion von der Klimavariabilität. Er ging davon aus, daß dann von einem günstigen oder ungünstigen Jahr gesprochen werden kann, wenn die Ertragsabweichungen mehr als 10% vom Trend bereinigten Mittel betragen. Der Trend in den Erträgen ist begründet durch verbesserte Anbaumethoden, besseres Saatgut und Düngergaben. Die Variationen um diesen Trend (die Residuen) werden von Sakamoto als klimatisch bedingte Variabilitäten angesehen (vgl. dazu auch Frankenberg, 1984). Eines der Hauptziele seiner Untersuchung ist die Frage, wie groß die Wahrscheinlichkeit ist, daß auf ein günstiges / ungünstiges Jahr jeweils ein zweites oder drittes Jahr folgen wird. Er wählte diesen Ansatz, obwohl von klimatologischer Seite 2-3 jährige Zyklen in den Zeitreihen immer wieder belegt werden, die nur eine geringe Wahrscheinlichkeit für das Auftreten von zwei oder mehr Ungunstjahren nahelegen. So ist es auch Klaus (1982) gelungen, für den westafrikanischen Kontinent im Raum westlich des nullten Meridians eine signifikante 2,2-2,4 jährige Periode und für den Bereich östlich des nullten Meridians eine 2,7-2,9 jährige Periode in den Niederschlagsvariabilitäten nachzuweisen.

Sakamoto et alii (1980) vergleicht in seiner Untersuchung leider nur die größten Getreideproduzenten der Erde, so daß gerade die tropischen Länder in dieser Untersuchung sehr schlecht repräsentiert sind, unter Ausnahme von Indien. Bei seiner Analyse konnte er nur für Kanada nachweisen, daß in diesem Land die größten Wahrscheinlichkeiten auftreten, daß zwei oder mehr schlechte Jahre auftreten können, wobei jedoch auch hier die Wiederkehr-Wahrscheinlichkeiten unter 10% liegen.

Untersuchungen zur Stabilität bzw. Instabilität der Getreideproduktion in Europa und der Welt von Sievers & Weber (1984) haben ergeben, "daß Länder der gleichen agrarklimatischen Zone eine ähnliche Höhe der Nahrungsmittelproduktionsschwankungen zeigen, unabhängig von ihren wirtschaftlichen und politischen Systemen" (S.21). Die Autoren haben bei ihrer Untersuchung 120 Länder einbezogen-

auf der Basis 26-jähriger Statistiken, die jeweils für die gesamten Nationen von der FAO erhoben wurden. Ein weiteres wesentliches Ergebnis dieser Untersuchung ist die Tatsache, daß Länder mit einem niedrigen Flächenertragsstandard zum einen niedrigere Zuwachsraten zu verzeichnen haben und darüber hinaus zu den Ländern gehören, die jährliche Ertragsschwankungen von 15% bis zu 30% aufweisen. Zu diesen Regionen gehören auch die in dieser Analyse untersuchten Länder, der Sudan mit etwa 15-20%, der Senegal mit etwa 20-25% und Tunesien mit 25-30%. In dieser Gruppe der Länder scheint der wirtschaftliche Standard weniger bedeutend für die Instabilität der Erträge zu sein als vielmehr die klimatischen Bedingungen. Besonders bemerkenswert ist dabei, daß Tunesien über eine stärkere Schwankung der Erträge von Jahr zu Jahr verfügt als die beiden sahelischen Untersuchungsräume. Diese bessere Situation im Vergleich zu Tunesien wird jedoch dadurch relativiert, daß diese Länder zu denjenigen gehören, die nur über ein niedriges (Senegal) oder sehr niedriges (Sudan) Ertragsbasisniveau verfügen und sich von daher selbst geringere Schwankungen wesentlich gravierender auf die Nahrungsmittelversorgung der Bevölkerung auswirken.

Eine andere Gruppe wissenschaftlicher Arbeiten befaßt sich vor allem mit den Abhängigkeiten der Ernteerträge von den Niederschlägen in den wechselfeuchten Gebieten der Erde. Es handelt sich dabei einmal um Regionen, die während der großen Saheldürre 1968-1973 in das öffentliche Interesse getreten sind, und zum anderen um ein Gebiet, daß schon sehr viel länger zu den Problemklimaten der Erde gerechnet wurde. Es sind dies die Monsun-Gebiete, die seit langem für hohe Variabilitäten und dadurch verursachte Unsicherheiten des Beginns der Regenzeit bekannt sind (vgl. Hann, 1910).

Es handelt sich dabei sowohl um reine Prognosemodelle auf der Basis der zeitlichen Veränderlichkeit der Ausgangsvariablen als auch um Modelle, die die räumliche Ausprägung der zeitlich gemittelten Ausgangsvariablen analysieren.

Dennett et alii haben 1981a, aufgeschreckt durch die weit verbreiteten Fehlernten von 1972 und 1973 im Bereich der Sahelländer Westafrikas, in einer Analyse mehrere Länder dieses Kontinents auf die Abhängigkeiten der landwirtschaftlichen Erträge von den jährlichen Niederschlagsereignissen hin untersucht. Ziel dieser Untersuchungen war es, die Abhängigkeiten der Getreideerträge von den Niederschlagsvariabilitäten zu untersuchen, um somit rechtzeitige Warnun-

gen für Mißernten aussprechen zu können. Mit einbezogen in diese Analyse waren Kameroun, Tschad, Nigeria und der Senegal; untersucht wurden die Auswirkungen der Niederschlagshöhe auf die wichtigsten Anbauprodukte: Millet, Sorghum, Erdnüsse, Mais. Grundlage dieser Untersuchung stellte eine nur 11jährige Zeitreihe der Ernteerträge dar (1966-1976), die sich nur auf die Erhebungen der FAO für die Gesamtproduktion der einzelnen Staaten stützte. Zunächst wurden Korrelationsberechnungen durchgeführt, um die Zusammenhänge der Erträge und der Gesamtniederschlagsmenge der Vegetationszeit zu hinterfragen. Als Ergebnis ist festzustellen, daß die Korrelationen nur sehr lose Beziehungen zwischen der Niederschlagshöhe und den Erträgen zum Ausdruck brachten, wobei die engsten Beziehungen für den Senegal nachzuweisen waren. Im Anschluß daran versuchten die Autoren, mögliche Beziehungen zwischen den Niederschlägen einzelner Monate und den Gesamterträgen abzuleiten. Mit Hilfe der schrittweisen multiplen Regression gelang es, für Kameroun eine enge Beziehung der Mainiederschläge zu den Erträgen von Millet und Sorghum zu belegen (29% der Gesamtvarianz). Wesentlich höhere Varianzerklärungen der Erträge boten an den meisten Stationen die Septemberniederschläge. Trotz des geringen Datenumfanges dieser Analyse ist diesem Ergebnis eine Bedeutung zuzumessen, denn die Niederschläge im September gegen Ende der Regenzeit stellen einen bedeutenden Faktor für die Wasserverfügbarkeit der Pflanzen in der Periode der Reife in der anschließenden Trockenzeit dar. Die Abhängigkeit der Erdnußerträge von den Niederschlagsvariabilitäten zeigten ein weniger klares Bild als das von Millet und Sorghum. Signifikante Beziehungen konnten nur für Mali, Niger und den Senegal nachgewiesen werden, wobei die Gesamtniederschläge der Regenzeit immerhin 60% der Gesamtvarianz zu erklären vermochten. Generell wurde festgestellt, daß bei hohen Gesamtniederschlagsmengen auch hohe Erträge erwartet werden können. Hervorzuhebendes Ergebnis dieser Analyse ist die Tatsache, daß bestimmten Monaten während der Vegetationszeit eine besondere Bedeutung im Hinblick auf eine erfolgreiche Ertragsbildung zukommt. Dieses wurde sehr klar für den September bei den Getreiden, die gerade während der Blütezeit vor der Ausreifung einen relativ hohen Wasserbedarf haben, wohingegen die Reife selbst trockenere Verhältnisse verlangt. Die Analysen für Millet und Sorghum deuten an, daß der Aussaatzeitpunkt wegen der kurzen Vegetationszeit dieser Getreidearten von entscheidender

Bedeutung dafür ist, inwieweit eine 'optimale' Kombination der phänologischen Phasen und der Niederschlagsverteilung in den jeweiligen Jahren gewährleistet ist.

Auch für den Sudan versuchte Olsson (1983) eine Analyse der Abhängigkeiten der landwirtschaftlichen Erträge von den Niederschlagsereignissen. Er hat verschiedene Korrelationsanalysen für Millet, Sesam und Sorghum im Goz-Bereich Nordkordofans durchgeführt und ist dabei zu folgenden Ergebnissen gelangt: Millet reagiert sehr empfindlich auf Trockenphasen während der Vegetationsperiode und wird bevorzugt auf den sandigen Substraten Nordkordofans angebaut. Der Sand kann die fallenden Niederschläge unmittelbar aufnehmen, nahezu ohne jeglichen Verlust oberflächigen Abflusses und an die Pflanzen weiterleiten, wenn auch die Wasserspeicherkapazität des Sandes sehr gering ist. Daraus resultiert eine enge Beziehung zwischen dem Gesamtniederschlag und den Erträgen und eine noch stärkere Beziehung zwischen der Anzahl der Niederschlagstage (>1mm) und den Erträgen. Eine Kombination der beiden Niederschlagsparameter (Niederschlagsmenge vom Juli bis Oktober und Anzahl der Tage mit Niederschlägen (>1mm) mit Hilfe einer multiplen Regression hatte zum Ergebnis, daß 85% der Gesamtvarianz der Milleterträge (1952-1980) durch beide Niederschlagsparameter erklärt werden. Auch für die Beziehungen zwischen Sorghumerträgen und den Niederschlagsparametern gelingt es Olsson, hohe Korrelationskoeffizienten nachzuweisen, wenn die Beziehungen auch nicht ganz so deutlich sind. Diese schwächeren Beziehungen führt der Autor auf die Anbaupraxis zurück. Sorghum wird überwiegend in den südlichen Abschnitten der Provinz Nord-Kordofan kultiviert, wo die Niederschlagsvariabilität geringer ist. Hier ist die Gesamtniederschlagsmenge wesentlich wichtiger als die Anzahl der Niederschlagstage, was in der Textur der Böden und ihrer Wasserhaltekapazität sowie der relativen Trockenresistenz der Anbaufrüchte (Sorghum) begründet ist.

Auch für den süd- und südostasiatischen Bereich liegen zahlreiche Untersuchungen zu den Dependenzen der Ernteerträge vom Niederschlagsaufkommen vor (Saha & Mooley, 1978; Domrös, 1981; Chowdhury & Rao, 1978; Takahashi & Yoshino, 1978), wobei in diesen Untersuchungen teilweise sehr enge Beziehungen zwischen dem Niederschlagsaufkommen und den Erträgen nachgewiesen werden konnten.

Ein grundsätzliches Problem all dieser Untersuchungen ist die Erhebung der Ertragsdaten, die bei allen genannten Autoren, mit Ausnah-

me Olsson's (1983), nur auf Landesbasis verwandt wurden und nicht auf Regionalbasis, auch wenn z.B. eine Vielzahl von Klimastationen vorlag. Darüberhinaus berücksichtigen sehr viele Arbeiten auch nur die jährlichen Niederschlagsmengen und die Niederschlagsverteilung in den einzelnen Monaten der Vegetationszeit.

4. Darlegung des Untersuchungsganges und der Methoden

4.1 Methodische Vorüberlegungen

Ein Vergleich der Abhängigkeiten von Witterung und Ernteertrag in augenscheinlich ähnlichen Naturräumen (Randgebiete der Sahara) kann nur zum Ziele haben, die Ähnlichkeit bzw. die Unähnlichkeit der Räume untereinander zu analysieren. "Somit deckt die Ähnlichkeit ein Spektrum ab zwischen der geringsten Ähnlichkeit und völligen Identität." (Frankenberg, 1984.S.29). Einer solchen räumlichen Ähnlichkeitsanalyse ist jedoch zunächst eine zeitliche vorgeschaltet, die untersucht, inwieweit der Verlauf der Ertragsreihen von Jahr zu Jahr mit dem der Witterungszeitreihen übereinstimmt oder von diesen eventuell abweicht. Liegen nun darüberhinaus Zeitreihen aus verschiedenen Räumen vor, so kann untersucht werden, inwieweit die Räume hinsichtlich der Zeitreihen von Witterung und Ertrag ähnlich bzw. verschieden sind. Daraus ergeben sich raum-zeitliche Ähnlichkeitsstrukturen von Witterung und Ernteertrag einmal für den Sahelbereich und zum zweiten für den tunesischen Steppenbereich Nordafrikas.

Die nachfolgende Abb. 2 zeigt den Gang der Untersuchung und die Verknüpfung der hier vorgenommenen Ähnlichkeitsanalysen. Gleichzeitig wird in den einzelnen Untersuchungsschritten auf die angewandten quantitativen Verfahren hingewiesen.

4.2 Datenbasis

Die Ausgangsdaten setzen sich zusammen aus:

1. 10 Ertragsmatrizen (Millet, Sorghum, Erdnüsse, Mais, Reis, Baumwolle, Hartweizen, Weichweizen, Gerste und Oliven) in der Dimension von 10-30 Jahren, vorliegend auf der Basis von Provinzen und Gouvernoraten als Raumeinheiten
2. Matrizen von zeitlich differenzierten Klimaparametern über 30 Jahre (1951-1980), vorliegend für 51 Klimastationen

4.3 Gang der Untersuchung

Am Anfang steht die Darstellung der Raumstruktur der mittleren Ernteerträge von Millet, Sorghum, Erdnuß, Mais, Reis, Baumwolle, Hartweizen, Weichweizen, Gerste und Oliven sowie die mittlere Ertrags

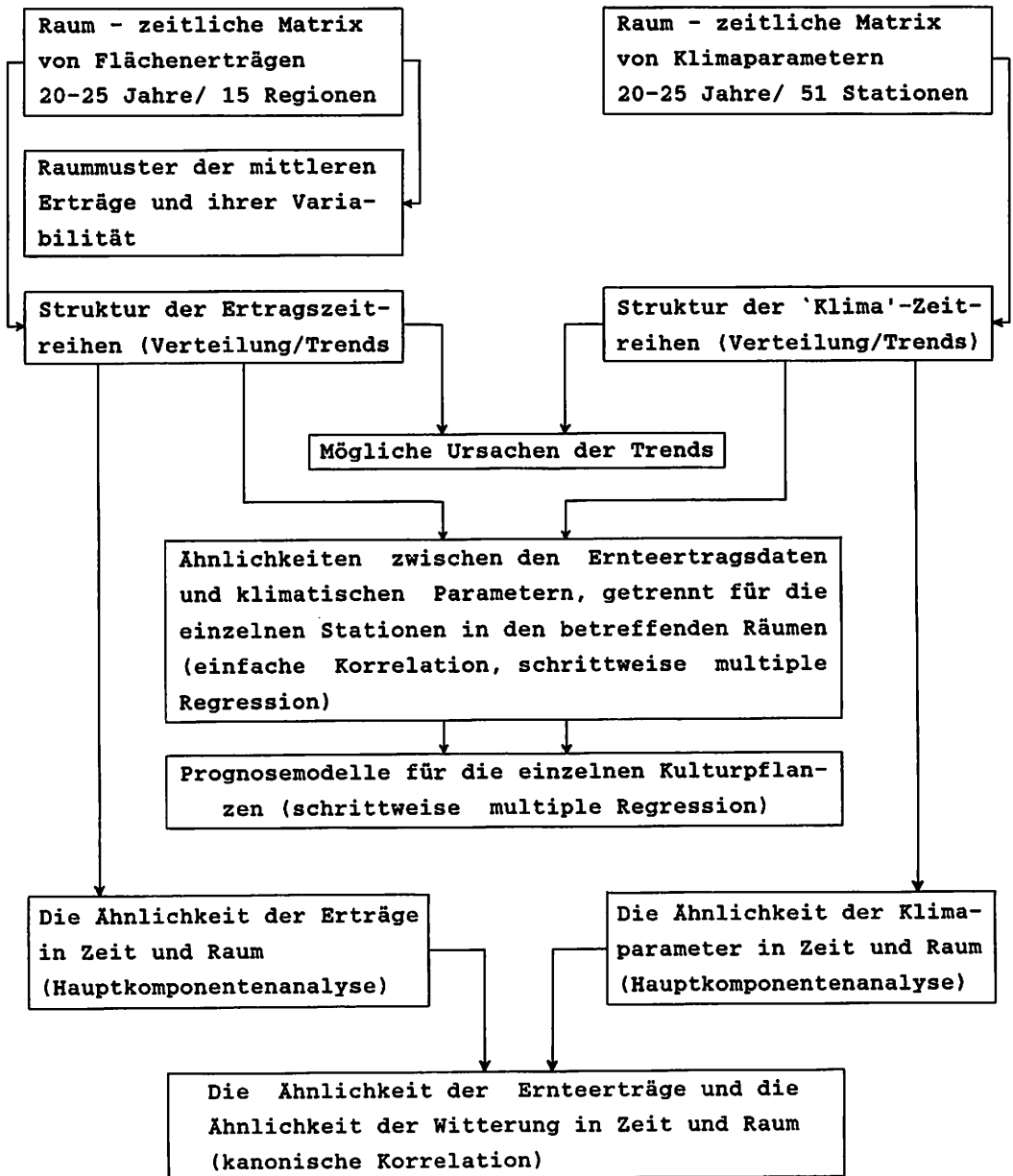


Abb. 2 Schema des Untersuchungsganges

variabilität. Es werden als Ergebnis die räumlichen Ähnlichkeiten von Mittelwert und Variabilität kombiniert dargestellt.

Im Anschluß daran wird geprüft, inwieweit die zur Verfügung stehenden Ausgangsdaten die Bedingungen erfüllen, die von Seiten multivariater Verfahren an eine raum-zeitliche Analyse von Witterung und Ertrag gestellt werden. Es ist dies die Forderung nach Normalverteilung der Daten. Dazu wurde für sämtliche Zeitreihen die Schiefe als 3. Moment berechnet. Bei Schiefewerten von größer als absolut 0,5 kann davon ausgegangen werden, daß die einzelnen Zeitreihen als hinreichend normalverteilt betrachtet werden können.

Darüberhinaus ist zu prüfen, ob Trends in den Zeitreihen der Erträge vorliegen und wie diese sich möglicherweise auf die Analyse von Ertrag und Witterung auswirken. Es wird weiter untersucht, ob nicht auch Trends in den vorliegenden Zeitreihen der Klimaparameter der Untersuchungsräume nachzuweisen sind und wie diese möglicherweise das Beziehungsgeflecht von Klima und Ernte prägen. In der bisher vorliegenden Literatur wird nahezu ausschließlich davon ausgegangen, daß die Ursache der Ertragstrends (z.B. Ertragssteigerungen) in den verbesserten Anbautechniken, in dem erhöhten Düngereinsatz oder auch in verstärkten Neuzüchtungen des Saatgutes zu suchen sei. Allein die Schwankungen der Erträge um die Trendlinie (Residuen) werden als witterungsbedingt betrachtet. Dem möglichen Einfluß einer sich trendhaft verändernden Witterung wird dabei keine Beachtung geschenkt. Erst in jüngster Zeit haben einige Autoren darauf aufmerksam gemacht, daß weder für die Bundesrepublik noch die USA oder Kanada eine ausschließliche Erklärung der Ertragstrends auf der Basis der "Agrartechnologie" zulässig ist. Vielmehr konnten auch für diese hochtechnisierten Agrarproduzenten eindeutige Zusammenhänge zwischen den Ertrags- und den Klimatrends nachgewiesen werden. Die Analyse führte zu dem Ergebnis, daß ein Großteil der Trends in den Ertragszeitreihen durch negative Trends in den berücksichtigten Klimaparametern überlagert wird, so daß für die weitergehenden multivariaten Verfahren eine Trendeliminierung nicht möglich war.

Die Untersuchung der raum-zeitlichen Beziehungen von Witterung und Ernteertrag beginnt mit der Analyse der Beziehungen zwischen den zeitlich gemittelten Klimaparametern und den Erträgen. Die Witterung wird dabei durch die Klimaparameter der Mitteltemperatur, der Niederschlagsmenge, der Anzahl der Regentage ($>1\text{mm}$), der potenti-

ellen Verdunstung sowie der relativen Feuchte auf Monatsbasis repräsentiert. Die phänologischen Zeitabschnitte werden durch die Monate ausgedrückt. Zur Überprüfung der zeitlichen Koinzidenzen von Ertrag und Klima wurden sowohl einfache Korrelationsanalysen als auch schrittweise multiple Regressionsanalysen zwischen Einflußgrößen (Klimaparameter) und Erträgen durchgeführt. Dabei wurde für jede phänologische Phase (Monat) der einzelnen Kulturpflanzen über alle Stationen jeweils getrennte Analysen durchgeführt. Zunächst galt zu prüfen, in welchem Maße der einzelne Witterungsparameter Einfluß auf die Ertragsbildung nehmen kann. Dazu wurden einfache Korrelationskoeffizienten zwischen den Klimaparametern und den Erträgen für jede einzelne phänologische Phase während der Vegetationsperiode berechnet.

In einem weiteren Schritt wurden anschließend für jede einzelne phänologische Phase schrittweise multiple Regressionen der Beziehung aller Klimaparameter zu den Erträgen berechnet, um somit der Realität, die durch die Einflüsse zahlreicher Faktoren geprägt ist, besser Rechnung zu tragen. Nach den vorausgegangenen Analysen wurde deutlich, daß zwischen den Klimaparametern in bestimmten Zeitabschnitten der Vegetationsperiode und den erzielten Erträgen z.T. sehr enge Beziehungen nachgewiesen werden konnten. Daraus ergab sich die Frage, ob aus den aufgezeigten statistischen Zusammenhängen die Erträge aus den Klimaparametern berechnet werden könnten. Für die vorzunehmenden Ertragsschätzungen mußten zunächst die Variablen ausgewählt werden, die in ihrer Kombination ein Höchstmaß der Varianz der Erträge erklärten. Dabei ist von der Tatsache auszugehen, daß nach den Studien der Vegetationszyklen der einzelnen Kulturpflanzen (Kap. 2.3) nicht alle Monate während der Vegetationszeit einen gleich hohen Einfluß auf die Ertragsbildung ausüben. Das bedeutet, daß widrige Witterungsverhältnisse in einem bestimmten Monat eventuell nur sehr geringe Ertragseinbußen zur Folge haben, wohingegen die gleichen Verhältnisse in "entscheidenden" Monaten im Extremfall zu völligen Ernteverlusten führen können.

Damit galt zunächst zu untersuchen, in welchem Verhältnis die Klimaparameter der einzelnen Monate zum erzielten Ertrag standen. Dazu wurden Regressionsgleichungen aufgestellt, die nacheinander z.B. die Klimaparameter des Juli, des Juli und August, dann des Juli, August, September usw. auf ihre Erklärungsmöglichkeiten auf die zu

erwartenden Erträge hin untersuchten. Ein solches Vorgehen erlaubt eine Ertragsvorausschätzung nach jedem beliebigen Monat im Ablauf der Vegetationsperiode, wobei mit fortschreitendem Vegetationszyklus eine zunehmende Genauigkeit der Schätzung erwartet werden kann.

Ein weiteres zentrales Problem bei der Aufstellung von Prognosemodellen war die Frage, in welchem Maß die über diese Modelle berechneten Erträge den tatsächlich erzielten entsprechen können. Zur Erreichung dieses Zieles werden die Ernteerträge für die vergangenen 20 Jahre (1961-1980) quasi im nachhinein vorausgeschätzt, und zwar für jedes einzelne Jahr getrennt. Für die nachträgliche Vorausschätzung des Ernteertrages einer Feldfrucht, z.B. für das Jahr 1961, wurde der tatsächlich erzielte Ertrag aus der Regressionsgleichung herausgelassen und nachträglich berechnet. Für die Prognoseerstellung des Jahres 1962 wurden im nächsten Schritt nur die Erträge der Jahre 1961, 1963-1980 berücksichtigt usw. Als Maß für die Güte der nachträglichen Prognose werden die Abweichungen (in %) vom erzielten zum geschätzten Ertrag berechnet. Eine hinreichende Genauigkeit der Schätzergebnisse ist dann gegeben, wenn die Abweichungen den Betrag nicht überschreiten, der die normale Schwankungsbreite der Erträge (2 Standardabweichungen, berechnet über die Jahre 1961-1980) charakterisiert.

Nach der Analyse zeitlicher Ähnlichkeiten zwischen Ertragsausprägung und Daten klimatischer Einflußgrößen stehen nun raum-zeitlichen Ähnlichkeiten der Erträge im Vordergrund. Im ersten Schritt wird geklärt, ob die klimatischen Einflußparameter in dem hier untersuchten Zeitraum Ähnlichkeiten einzelner Jahre aufzuzeigen vermögen und wie diese Ähnlichkeiten im Raum verteilt sind.

Grundlage der Ähnlichkeitsanalyse bildet der faktorenanalytische Ansatz. Bei diesem Verfahren werden, von den Niederschlagsmengen des jeweiligen Monats für die Variable 'Jahr' und den Fall 'Raumeinheit' ausgehend, Faktoren als 'Jahrestypen' extrahiert und über die Faktorladungen deren Zusammenhang mit den Einzeljahren, über die Faktorwerte mit den Raumeinheiten hergestellt.

Da in den zuvor durchgeführten Analysen eine eindeutige Dominanz der hygri-schen Faktoren für die zu erwartenden Ertragsmengen herausgearbeitet werden konnte, werden die raumzeitlichen Analysen auf die Ähnlichkeit der Räume hinsichtlich der zeitlichen Ähnlichkeit der Niederschlagshöhen (differenziert nach Monaten) beschränkt. Als

Ergebnis werden Faktoren extrahiert, die für die einzelnen Monate Jahre ähnlicher Niederschlagsereignisse zusammenfassen. Diese zeitlichen Ähnlichkeiten werden durch die Karten der Faktorwerte der jeweiligen Faktoren wiedergegeben.

In einem zweiten Schritt wird das oben beschriebene Verfahren auch für die Analyse raum-zeitlicher Ähnlichkeitsstrukturen der Ertragsausprägung angewandt. Die Erträge können wegen der geringen Anzahl der Fälle (Regionen) jedoch nur für die Erdnüsse (vgl. Kap.9. 2.) über alle Jahre (1961-1980) und über alle Regionen /Provinzen, in denen sie angebaut werden, einer Hauptkomponentenanalyse unterworfen werden.

Die Methode lieferte damit raum-zeitliche Ähnlichkeitsstrukturen der Erdnußerträge und ebensolche der Witterung während des gleichen Zeitraumes (1961-1980) und in den jeweils gleichen geographischen Räumen. Anschließend stellt sich die Frage der Verknüpfung dieser Ergebnisse der einzelnen faktorenanalytischen Analysen, inwieweit die raum-zeitlichen Ähnlichkeiten im Ablauf der Regenjahreszeiten die Ertragsausbildung der Erdnüsse in den gleichen Jahren wie gesteuert haben.

Als methodische Grundlage zur Verknüpfung der beiden extrahierten Variablenätze, der beiden Komplexe Ertrag und Klimaparameter (Niederschlag), bietet sich das Verfahren der kanonischen Korrelation an. Die kanonische Korrelation der Faktorladungen der Hauptkomponentenanalyse der Erdnüsse (Kriteriumsvariable) mit den Faktorladungen der Hauptkomponentenanalysen der Niederschlagsparameter (Prädiktorvariable) bezieht in jedem Schritt alle Faktoren der Prädiktorvariablen ein. Die kanonische Korrelation fordert Unabhängigkeit der Variablen jeder Seite. Dieses ist gegeben, wenn orthogonal rotierte Hauptkomponenten als Kriteriums- und als Prädiktorvariablen dienen.

Damit erlaubt das Verfahren gleichzeitig die Korrelation aller Faktoren des Ertrages mit allen Faktoren der Klimaparameter im Ablauf der Vegetationszeit. Im Gegensatz zu den einfachen oder schrittweise multiplen Korrelationsverfahren, die sich in diesem Zusammenhang methodisch ebenfalls anböten, besteht bei dieser Vorgehensweise nicht die Gefahr der Extraktion möglicher Scheinsignifikanzen, da über die Gewichte der Prädiktor- und Kriteriumsvariablen auf den kanonischen Korrelationen bestimmt werden kann, welche Faktoren der Witterung welche Faktoren der Ertragsausbildung wie beeinflusst ha-

ben. Das Ergebnis des oben skizzierten Verfahrens erlaubt die Beantwortung der Frage, wann (in den Jahren 1961-1980) hat welche Witterung die Ertragsbildung wie gesteuert.

Damit ist der Gang der Untersuchung von der methodischen Seite dargestellt, so daß nun die Ergebnisse der Einzelanalysen erläutert werden können.

5. Allgemeine Kennzeichnung der landwirtschaftlichen Situation und der mittleren Erträge in den Beispielräumen

5.1 Die Landwirtschaftsregionen im Sudan und ihre Erträge

Im Zusammenhang mit der vorliegenden Analyse wurden aus dem Sudan drei Provinzen ausgewählt, die ausschließlich der Sahelzone angehören (Abb.5-7). Es handelt sich dabei um die Provinzen 'Darfur', 'Kordofan' und 'Nile'.

Die Sahelzone ist pflanzengeographisch als der Übergangsbereich zwischen der Sahara und den sudanischen Savannengebieten definiert. In klimatologischer Hinsicht wird unter dem Sahel der Bereich verstanden, der Niederschlagsjahressummen von mehr als 100 mm bis zu 750 mm (vgl. Klaus 1982) erhält, wobei einige Autoren noch einen Nordsahel (100-400 mm) und einen Südsahel (400-750 mm) unterscheiden. Auch wenn diese sicherlich ungenaue Eingrenzung des Raumes auf der Basis langjähriger Mittelwerte von verschiedenen Autoren (vgl. Barth 1977) abgelehnt wird, garantieren andere Ansätze wie die Höhe der Variabilität der Niederschläge (20-30% mittlere Variabilität der jährlichen Niederschlagsmengen) oder das Verhältnis arider zu humiden Jahreszeiten (vgl. Barth 1977, Mensching 1985, Lauer & Frankenberg 1981), zwar exakte Abgrenzungskriterien aus rein klimatologischer Sicht, aber auch sie bleiben unvollständig. Es handelt sich in jedem Fall um Gebiete, die aufgrund ihres Naturpotentials an der Grenze einer landwirtschaftlichen Nutzung gelegen sind. Diese Grenze wird diktiert durch das Wasserangebot für Natur und Mensch.

Zunehmender Bevölkerungsdruck führt zu einer Ausweitung der landwirtschaftlichen Nutzfläche in immer peripherere Räume und zum anderen zur ständigen Intensivierung des Anbaus (Wegfall von Brachejahren in den traditionellen Anbaugebieten). Ein Beispiel für die Ausweitung der Anbauflächen sowie für die Intensivierung ist in der nachfolgenden Abb.4 dargestellt.

Der Vergleich beider Landnutzungskartierungen macht beispielhaft deutlich, daß heute die gesamte Region zwischen Um Ruwaba am östlichen Blattrand und Er Rahad im Westen (vgl. auch Abb.3) landwirtschaftlich genutzt wird, zumindest mit "mittlerer bis hoher Intensität" (40-60% der Gesamtfläche).

Die wesentlichen Anbauflächen konzentrieren sich auf die Provinzen

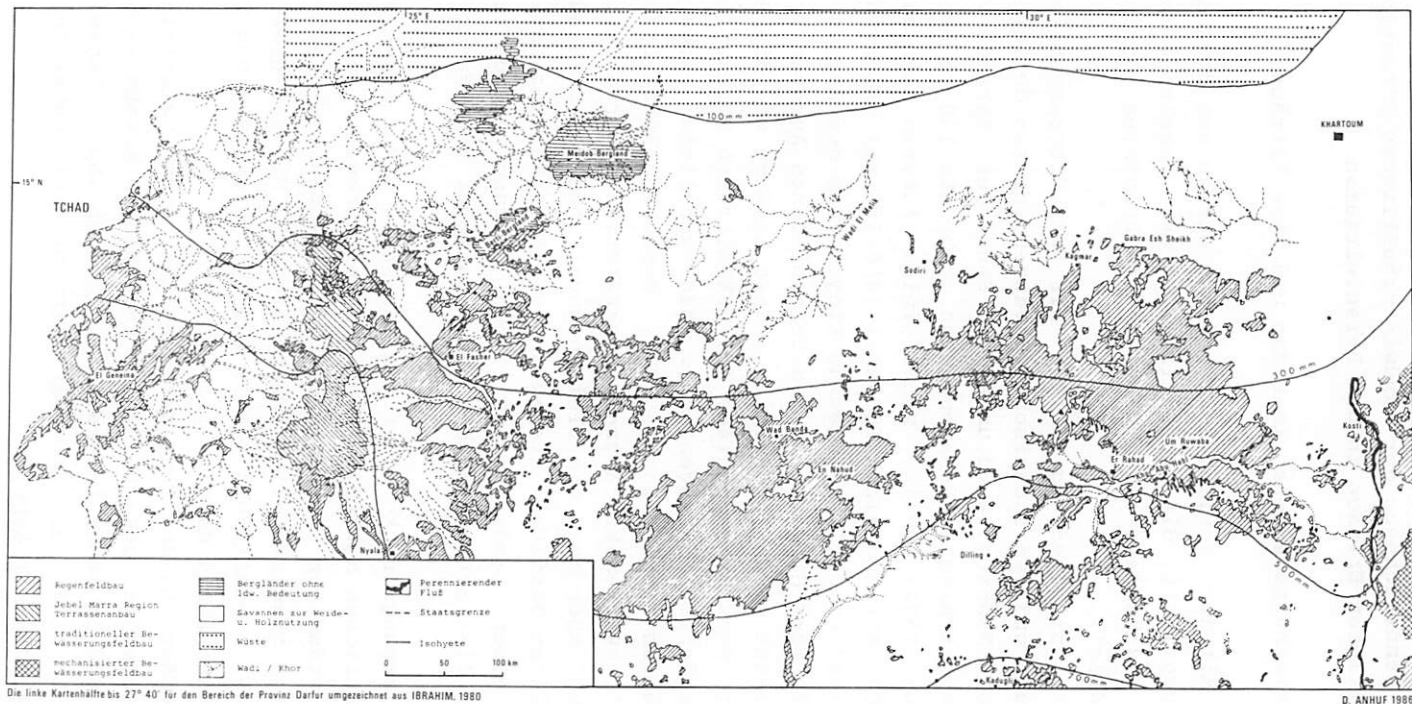


Abb. 3 Darfur und Kordofan - Traditionelle Regenfeldbauggebiete

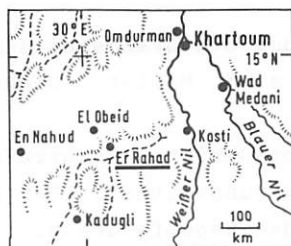
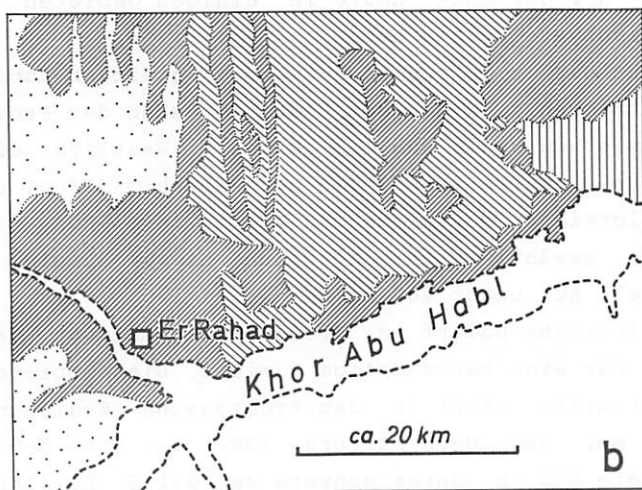
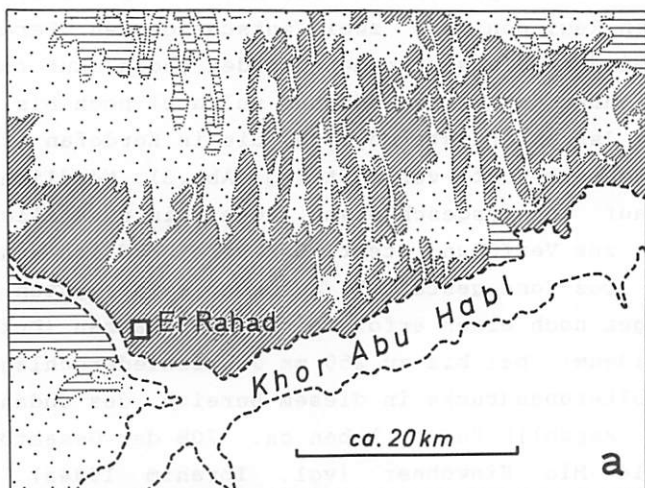


Abb. 4 Karten der Landnutzung in Nordkordofan in verschiedenen Jahren a) 1962/63, b) 1983/84
(Quelle a: Sudan Survey Department; Khartoum 1964)
(Quelle b: eigene Felddaufnahmen 1983/84)

Darfur und Kordofan (vgl. Abb.3). Die Ausdehnung des Ackerbaus ist dabei in diesen Regionen von zwei entscheidenden Parametern bestimmt, dem Niederschlagsaufkommen und den Böden. Auf tonigem Substrat ist der Anbau der Hirse (*Sorghum vulgare*) noch bis in Bereiche der 400 mm Jahresisohyete möglich, die in Kordofan etwa entlang der Linie Er Rahad - Kosti verläuft (vgl. Abb.3). Nördlich davon ist Regenfeldbau auf Ton ausgeschlossen, wenn kein zusätzliches Wasser im Wadibereich zur Verfügung steht. Der sich nördlich anschließende Sandboden der Goz-Zone gestattet aufgrund seiner guten Wasseraufnahmebedingungen noch einen erfolgreichen Hirseanbau (*Dukhn* = *Penisetum typhoideum*) bei bis zu 250 mm Jahresniederschlag. Aufgrund des hohen Bevölkerungsdrucks in diesem Bereich des Sudan - in der Sahelzone der Republik Sudan leben ca. 70% der Gesamtbevölkerung des Landes = 14 Mio Einwohner (vgl. Ibrahim 1984a) - ist der Hirseanbau in der Goz-Zone heute in einigen Gebieten bis an die 200 mm Jahresisohyete vorgeschoben.

Für die Provinz Darfur gelten in etwa die gleichen Anbaubedingungen. Hier erstrecken sich die Goz-Böden im Osten der Provinz bis zu einer Linie zwischen Nyala und El Fasher. Westlich dieser Linie treten tonigere Substrate auf, die nach Ibrahim (1980) einen einigermaßen erfolgreichen Getreideanbau bis in die Höhe der 300 mm Jahresisohyete gewährleisten. Nördlich dieser Linie sinken die Erträge generell auf unter 200 kg/ha.

Der durchschnittliche Bedarf an Brotgetreide beträgt nach Ibrahim etwa 1500 kg für eine sechsköpfige Familie. Die mittlere Anbaufläche für eine Familie umfaßt in den trockensten Regionen Nord-Kordofans (200 mm) und Nord-Darfurs (300 mm) etwa 5-6 ha, in den Bereichen um die 500 mm Jahresisohyete ca. 2-2,5 ha (Ibrahim 1980, Born 1965).

Die für die landwirtschaftliche Nutzung bedeutendsten Anbauprodukte in den drei betreffenden Provinzen sind Millet (*Dukhn*), *Sorghum* (*Durrha*), Sesam und Erdnüsse.

Millet ist ausschließlich in den Goz-Gebieten anzutreffen und ist dort mit Abstand das wichtigste Nahrungsmittel. Der *Dukhn*-Anbau bildet auch die absolute Nordgrenze des Regenfeldbaus.

Die Erdnuß ist die dominierende Kulturpflanze in der südlichen Goz-Zone nördlich Khor Abu Habil zwischen Er Rahad und Tendelti (vgl. dazu Kartenausschnitt Abb.4). Die landwirtschaftliche Nutzung in den südlichen Abschnitten der Provinzen ist charakterisiert durch

den Anbau von Sorghum (wichtigstes Grundnahrungsmittel!), Sesam (wird wegen lückenhaften Datenmaterials nicht weiter berücksichtigt werden können) und etwas Baumwolle auf den sandigen Böden der Bergfußflächen der Nuba Berge (vgl. Abb.3).

In den meisten Gebieten Südkordofans gestaltet sich das Verhältnis der Anbaufrüchte etwa 65-75% Sorghum zu 25-35% Sesam. Der Erdnußanbau wird auf den schweren Tonböden Südkordofans nicht praktiziert. In den südlichen Regionen der Provinz Darfur (Süd- und Südwestdarfur und Dar Marsalit) sind die landwirtschaftlichen Nutzungsflächen in dem Verhältnis Millet 25%, Sorghum 23%, Erdnüsse 42%, Sesam 10% verteilt.

Die wohl auffälligste Beziehung zwischen Klima und Landwirtschaft sollte sich in der Höhe der landwirtschaftlichen Erträge oder der Produktivität (kg/ha) dokumentieren. Die Zahlenangaben der Gesamterträge sind wenig aussagekräftig, weil in ihnen die von Jahr zu Jahr stark schwankende Anbaufläche nicht zum Ausdruck kommt. Im Sudan werden sinkende Erträge als Indikator und Resultat der Desertifikation angesehen. "Food production has declined and continues to decline because of soil deterioration with desert encroachment." (Ibrahim 1984b, S.156).

5.2 Die Landwirtschaftsregionen des Senegal und ihre Erträge

Vergleichbar dem Sudan spielt der Agrarsektor im Senegal eine ebenso überragende Rolle. Die Mehrheit der Senegalesen ist auch heute noch in der Landwirtschaft beschäftigt. Die dort erzeugten Produkte sind es auch, die die bedeutendsten Exporterzeugnisse repräsentieren. Die herausragende Exportkultur ist die Erdnuß, die allein 63% der Deviseneinnahmen des Landes ausmacht. Für die gesamte Landwirtschaft des Senegal sind vier Kulturpflanzen bestimmend: Erdnuß, Hirse, Reis und Mais, mit Ausnahme der Erdnuß nahezu ausschließlich zur Selbstversorgung.

Der Erfolg in der landwirtschaftlichen Produktion ist im Senegal ebenso abhängig von der Dauer des sommerlichen Niederschlagszeitraumes wie im Sudan. Aufgrund dieser Abhängigkeit können im Senegal im Hinblick auf die landwirtschaftliche Nutzung folgende Regionen unterschieden werden (vgl. Abb.8).

Die Region `Sahelienne` wird durch den Senegalfluß im Norden und die 500 mm Jahresisohyete im Süden begrenzt. Sie ist die trockenste

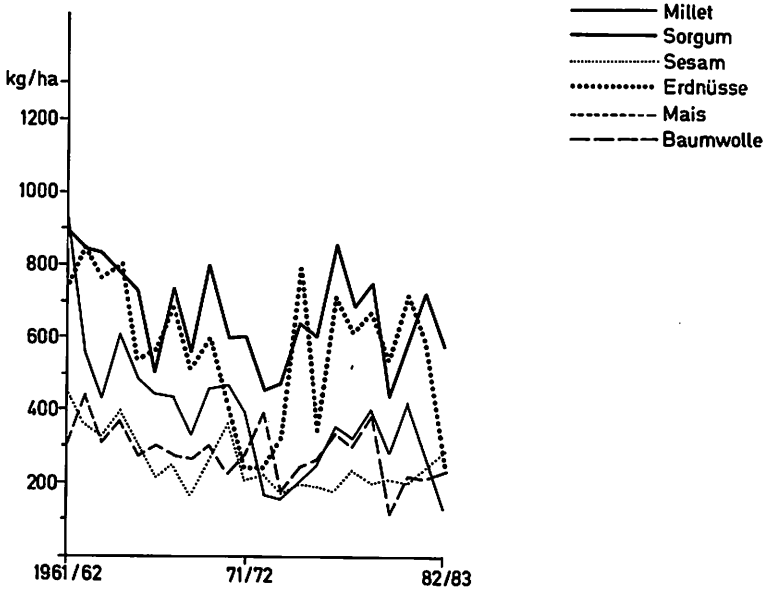


Abb. 5 Erträge der Hauptanbauprodukte der Provinz Kordofan

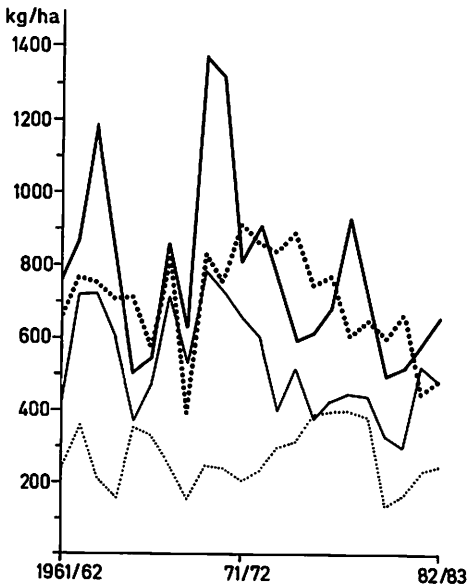


Abb. 6 Erträge der Hauptanbauprodukte der Provinz Darfur

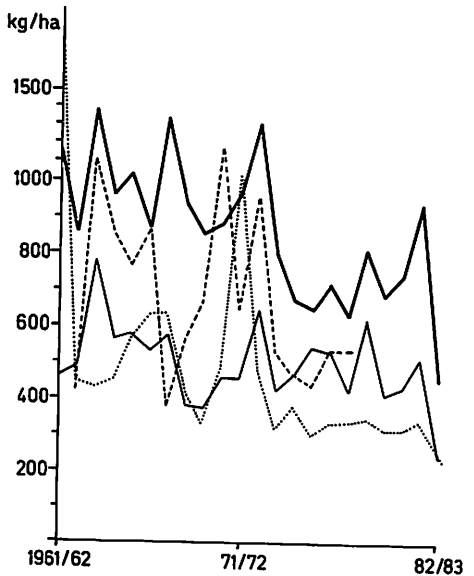


Abb. 7 Erträge der Hauptanbauprodukte der Provinz Nile

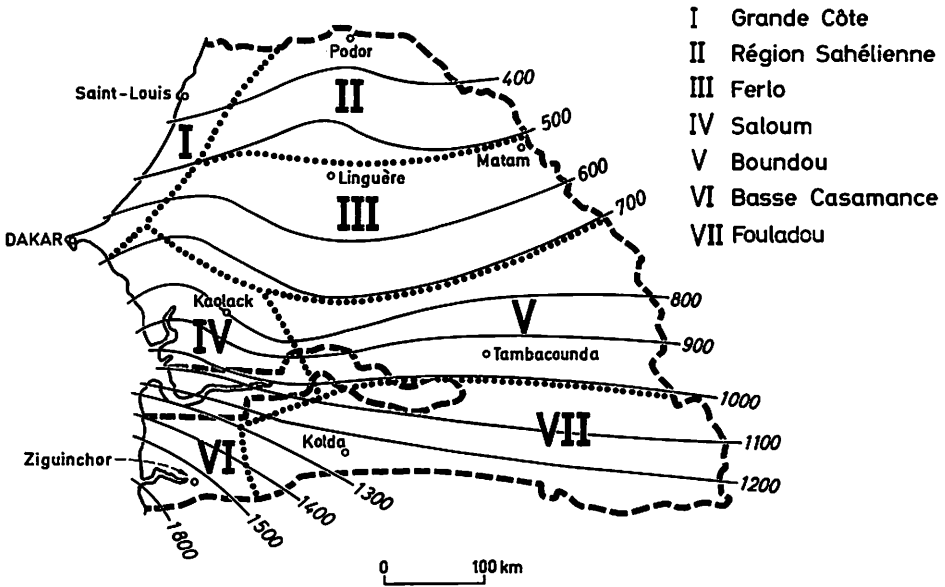


Abb. 8 Mittlere jährliche Niederschlagsmenge (mm) und Klimaregionen im Sinne einer landwirtschaftlichen Nutzung im Senegal (nach Atlas du Sénégal 1983)

und heißeste Region. Die durchschnittliche Regenzeit mit einer Dauer von ca. 100 Tagen ist in ihrer Ergiebigkeit häufig nicht ausreichend für einen erfolversprechenden Anbau. Diese Zone ist deshalb nahezu vollständig der nomadischen Weidewirtschaft vorbehalten. Einzige Ausnahme ist der Bereich der Uferbänke des Senegalflusses. Sie sind das Zentrum intensivster Reis-, Sorghum- und Gemüsekulturen. Von der Südgrenze dieser Region nach Norden zu nehmen die Niederschläge sowohl in ihrer Regelmäßigkeit als auch in ihrer Höhe ca. 10 mm pro 10 km (vgl. Klaus 1982) ab.

Die Region 'Ferlo' ist durch die 700 mm Jahresisohyete im Süden und die 500 mm Jahresisohyete im Norden begrenzt. Die Niederschläge können für Kulturen mit einem Vegetationszyklus von 75-90 Tagen als ausreichend betrachtet werden. Im Hinblick auf die landwirtschaftliche Nutzung ist diese Region zweigeteilt. Die westliche Hälfte repräsentiert den Kernraum des Erdnußbeckens mit Erdnuß- und Milletanbau. Der östliche Teil wird wie die Region Sahelienne nahezu ausschließlich weidewirtschaftlich genutzt.

Die Region 'Boundou', zwischen der 700 mm und 1000 mm Jahresisohy-

ete gelegen, reicht bis an die Grenze Gambias. Die Regenzeit dauert etwa 3-4 Monate, und die Niederschläge sind in ihrer Quantität und Verteilung ausreichend für den Anbau aller oben genannten Kulturpflanzen. Die Regionen Boundou und Fouladou bilden die landwirtschaftliche Pionierfront, die, von Westen kommend, immer weiter in den nur sehr dünn besiedelten Osten des Landes vorstößt. Innerhalb dieser Zonen hat sich seit der 1. Hälfte der sechziger Jahre der Baumwollanbau mit Erfolg durchsetzen können.

Die Region 'Fouladou' wird aus der 'Haute Casamance' und dem Südtteil des 'Senegal Oriental' gebildet. Die Regenzeit dauert hier etwa 120-150 Tage, und es werden Niederschlagsmengen bis 1400 mm erreicht.

Die Region 'Grande Cote' reicht von Dakar im Süden bis St. Louis im Norden in einem 30 km breiten Streifen entlang der Küste. Beeinflusst wird diese Zone durch die Lage am Ozean und durch die maritimen Passatwinde aus dem Norden von November bis Mai. Die Temperaturen sind niedriger als weiter im Landesinneren, und die Luftfeuchtigkeit liegt selten unter 50%. Von Juli bis Oktober dauert die Regenzeit. Die niederschlagsreichsten Monate sind der August und der September. Die Niederschlagshöhe erreicht in Dakar 499 mm und in St. Louis 296 mm.

Die 'Grande Cote' hat sich besonders in ihrem südlichen Abschnitt zum Zentrum der Garten- und teilweise auch Obstkulturen entwickelt. Ausgangspunkt dieses Intensivanbaus waren die natürlichen Depressionen der 'Niayes' innerhalb des großen westlichen Küstendünengürtels. Infolge der negativen Niederschlagsentwicklung der vergangenen Jahre mit absinkendem Grundwasserspiegel mußte der Anbau in den Niayes zunehmend aufgegeben werden.

Die Regionen 'Saloum' und 'Basse Casamance' liegen im Küstenraum südlich von Dakar. Die Küste weicht hier in Richtung auf den Kontinent zurück und unterliegt damit nicht mehr den maritimen Passatwinden wie an der 'Grande Cote'. Die Temperaturen werden höher, und die Luftfeuchtigkeit nimmt in der Trockenzeit ab, ohne jedoch die Bedingungen der Regionen 'Boundou' und 'Fouladou' zu erreichen. Die Region 'Saloum' erhält ca. 700-1000 mm Niederschlag während der dreimonatigen Regenzeit, die 'Basse Casamance' dagegen 1100-1600 mm, davon ca. 80% in den Monaten Juli, August und September. In beiden Regionen ist es möglich, zusätzlich zu allen anderen Anbaufrüchten entlang der Flüsse Saloum und Casamance Reis anzubauen.

Der Hirse-, Mais- und Erdnußanbau wird hier bevorzugt auf den trockenen Plateaus am Rande der Flüsse betrieben.

In die Analyse der Beziehungen von Klima und Ernteertrag sind sämtliche Regionen des Senegal einbezogen worden, also auch die feuchten Gebiete der Casamance (vgl. Abb.9-15).

Dem Erdnußanbau kommt dabei im Senegal eine besondere Bedeutung zu. Seit 20 Jahren ist jedoch ein Rückgang in der Produktion zu verzeichnen, der auch durch die Ausdehnung der Anbaufläche im 'Senegal Oriental' nicht verhindert werden konnte. Hinzu kommen die sehr schlechten Weltmarktpreise der Erdnuß, die eine Produktionserhöhung in der Zukunft nicht erwarten und sinnvoll erscheinen lassen, obwohl eine weitere Ausweitung der Anbaufläche möglich wäre.

Die Entwicklung der Getreideerträge zeigt zwar einen nahezu gleichbleibenden Verlauf (vgl. Abb.9-15), jedoch wächst die Diskrepanz zwischen der inländischen Produktion und dem Verbrauch. Eine erfreuliche Steigerung kann nur die Maisproduktion (+3.5%) anbieten (bzgl. der Zahlenangaben vgl. Republique du Senegal 1984). Die Anbauflächen der kleinen und großen Hirsen (Millet und Sorghum) beträgt ca. 1.000.000 ha, von denen 850.000 ha mit der schnellreifenden kleinen Hirse angebaut werden. Die kultivierten Milletsorten beschränken sich auf 2 Varietäten, die 'Souna', die den leichteren Böden angepaßt ist mit dem kürzesten Vegetationszyklus von 90-100 Tagen, und die 'Sanio', die in 120 Tagen auf Böden mit einem höheren Anteil an organischem Material reif wird. Die gegenwärtige Entwicklung zeigt gleichzeitig eine Expansion der Anbauflächen der Souna gegenüber einer Abnahme der mit Sanio bebauten Flächen. Das Tal des Senegalflusses und hier speziell das Hochflutbett des Senegal bildet die Hauptanbauzone des Sorghum. Jedes Jahr von Juli bis Oktober überflutet der Senegal dieses Bett. Ab Oktober zieht sich das Hochwasser zurück, und der Sorghum-Anbau beginnt. Die Entwicklung des Getreides mit dem Beginn der Trockenzeit ist ausschließlich auf das im Boden gespeicherte Flußwasser angewiesen.

Hirse wird im gesamten Senegal angebaut, teils in Monokultur (Region 'Fleuve'), teils zusammen mit der Erdnuß ('Bassin d'arachide', 'Casamance'). Die Produktion beträgt ca. 600.000 Tonnen (vgl. Abb. 9-15), konnte aber in der Vergangenheit nicht wesentlich gesteigert werden, was zum einen in der Trockenheit des letzten Jahrzehnts und zum anderen in den zunehmenden Getreideimporten (Weizen, Reis) begründet liegt. Obwohl die Hirse seit altersher ein wesentliches

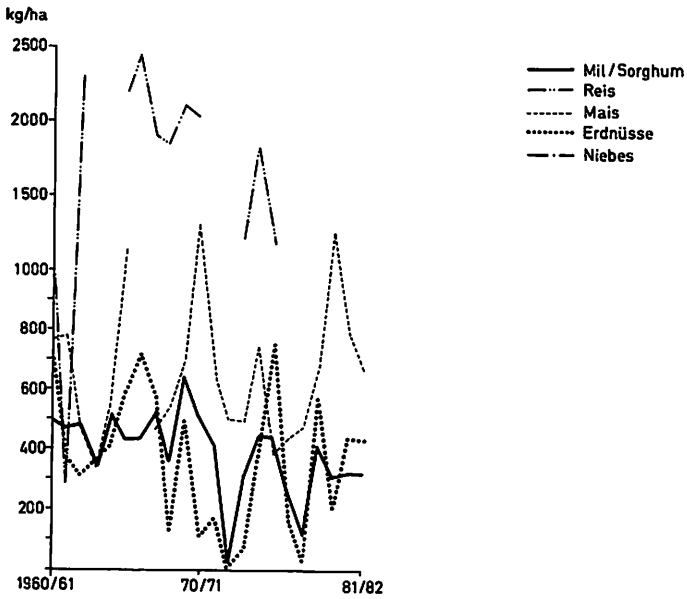


Abb. 9 Erträge der Hauptanbaufrüchte der Provinz Fleuve

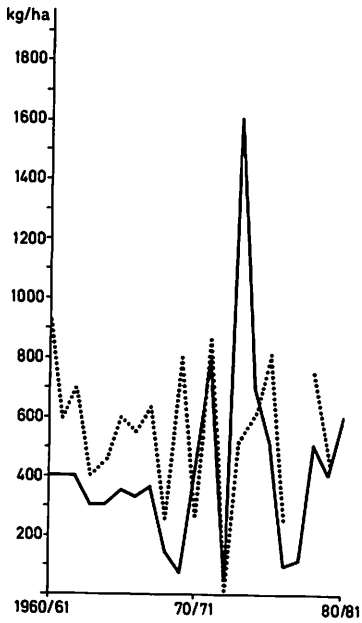


Abb. 10 Erträge der Hauptanbaufrüchte der Provinz Cap Vert

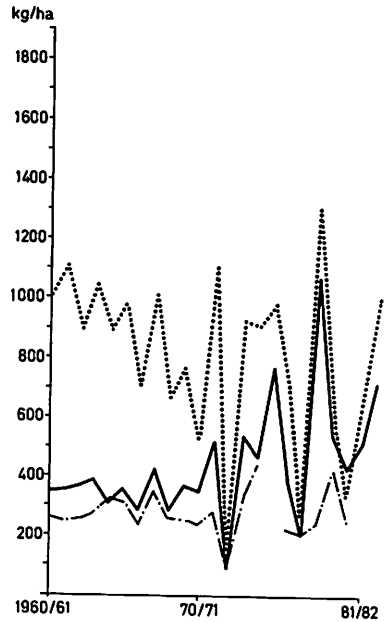


Abb. 11 Erträge der Hauptanbaufrüchte der Provinz Thiès

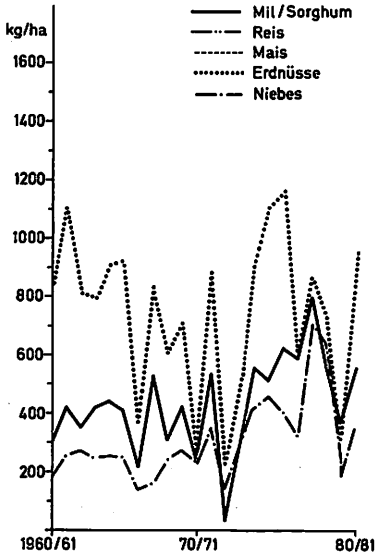


Abb. 12 Erträge der Hauptanbaufrüchte der Provinz Diourbel

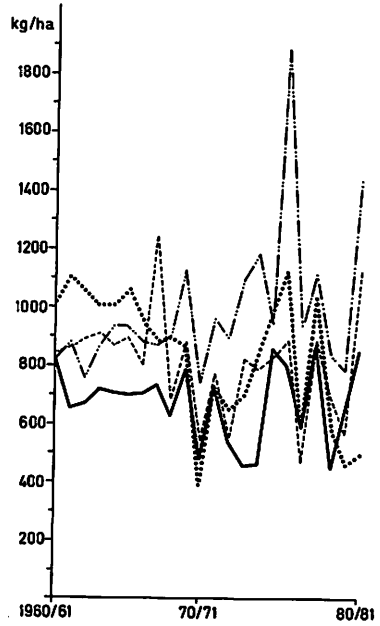


Abb. 13 Erträge der Hauptanbaufrüchte der Provinz Sénégal Oriental

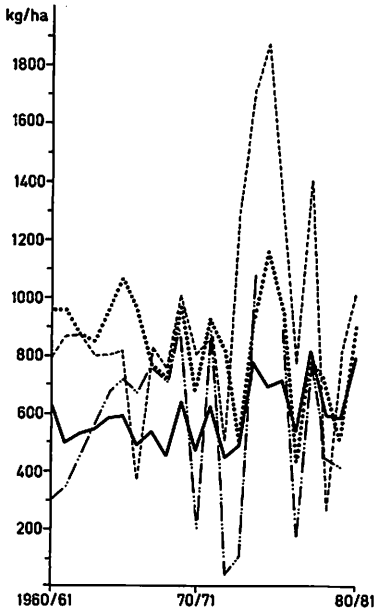


Abb. 14 Erträge der Hauptanbaufrüchte der Provinz Sine Saloum

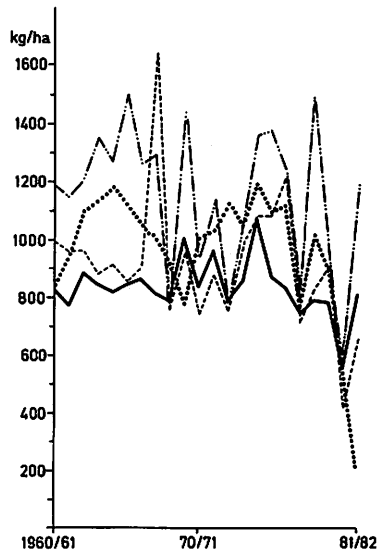


Abb. 15 Erträge der Hauptanbaufrüchte der Provinz Casamance

Brotgetreide für die Bevölkerung darstellt, entwickelt sie sich immer mehr zum Getreide der armen Leute.

An Reis werden im Senegal jährlich rund 100.000 Tonnen produziert. Der Verbrauch hat aber bereits 500 000 Tonnen erreicht, so daß monatlich ungefähr 30.000 Tonnen importiert werden müssen. Die Zentren der Reisproduktion sind nach ihrer Bedeutung folgendermaßen zu differenzieren:

- 1.) 'Casamance' und 'Senegal Oriental' erwirtschaften 75% der senegalesischen Reisernte,
- 2.) die Region 'Fleuve' 20%
- 3.) die Region 'Sine Saloum' 5%.

In trockenen Jahren ist die Produktion im Süden geringer, und in der Region 'Fleuve' können dann mehr als 30% der Gesamtproduktion erwirtschaftet werden. Aus diesem Grund unternimmt die senegalesische Regierung große Anstrengungen, die Produktion im Nordosten mit Hilfe von aufwendigen Wasserspeicheranlagen weiterhin zu steigern. Dem Mais als drittes Brotgetreide kommt ebenfalls eine entscheidende Rolle zu. Er wird vornehmlich südlich der 800 mm Jahresisohyete angebaut. 75% der Gesamtproduktion entfällt auf die 'Haute Casamance' und 'Senegal Oriental', 15-20% der Maisernte wird im Süden von 'Sine Saloum' produziert. Die Anbaufläche im Senegal wird ständig ausgeweitet, der Ertrag geht jedoch zurück (vgl. Abb.9, 13-15).

5.3 Die Landwirtschaftsregionen Tunesiens und ihre Erträge

Vergleichbar den vorangegangenen Beispielen handelt es sich bei der dritten in die Analyse einbezogenen Region ebenfalls um ein hauptsächlich landwirtschaftlich genutztes Gebiet. Denn auch die Landwirtschaft in Tunesien stellt für mehr als 50% der Bevölkerung den wichtigsten Erwerbszweig dar. Allerdings handelt es sich hier um ein Beispiel aus einer anderen Klimazone, den subtropischen Winterregengebieten.

Etwas verallgemeinernd kann man Tunesien in drei bedeutende Landwirtschaftsregionen untergliedern, wie dies auch von Frankenberg (1981) und Mensching (1974) vorgeschlagen wurde (vgl. Abb.16).

Mit dem Norden beginnend, der bis an die "Dorsale" (Tell)(Ia) heranreicht, ist auch gleich die landwirtschaftlich bedeutendste Region angesprochen. Er kann im klimatologischen Sinne auch als

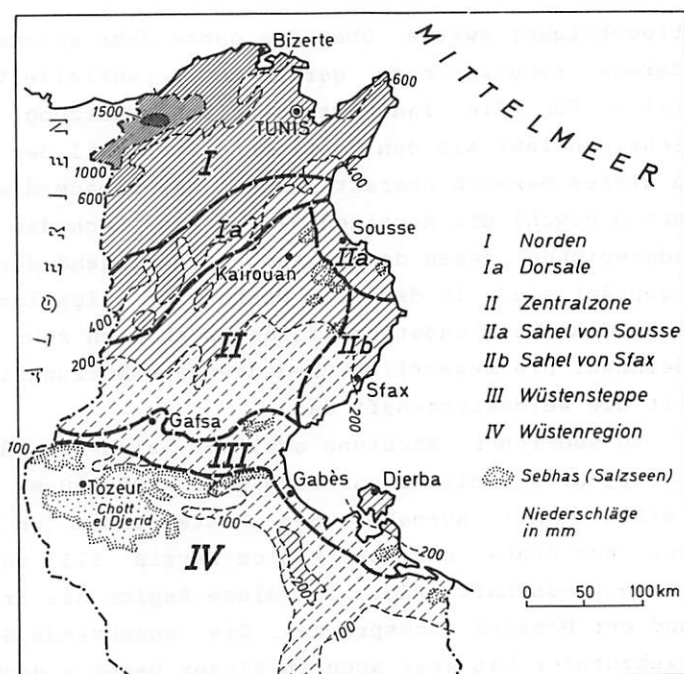


Abb. 16 Die mittleren Jahresniederschläge (mm) und die Hauptlandwirtschaftsregionen Tunesiens

der am meisten begünstigte Naturraum bezeichnet werden, der im langjährigen Mittel mehr als 400 mm Jahresniederschlag erhält und von daher für den Regenfeldbau als ideal bezeichnet werden kann. Auf 20% der Staatsfläche werden über 70% des Getreides produziert. (Frankenberg, 1981, S. 50).

Die Hauptgebiete für Getreide ziehen sich in einem weiten Ring um die Hauptstadt Tunis herum, im Hinterland von Bizerte, z.T. auch noch in dem zentralen Bereich der Halbinsel 'Cap Bon' und in den Gebieten südlich des Medjerdatales, vor allem um 'Le Kef' und 'Zaghuan'.

Weiter nach Süden (ab dem Dorsalerücken) (Ia) folgt die tunesische 'Zentralzone' (II), die sich bis auf die Höhe von Gafsa erstreckt. Die klimatischen Voraussetzungen für eine erfolgreiche und intensive Landwirtschaft sind hier bereits wesentlich ungünstiger, da diese zentrale Steppenregion im Mittel nur noch etwa 200-400 mm Jahresniederschlag erhält. Zu differenzieren ist dieser Raum jedoch zwischen einem maritimem und einem kontinentalem Bereich, da der Küstensaum des Sahel von Sousse (IIa) und Sfax (IIb) erheblich

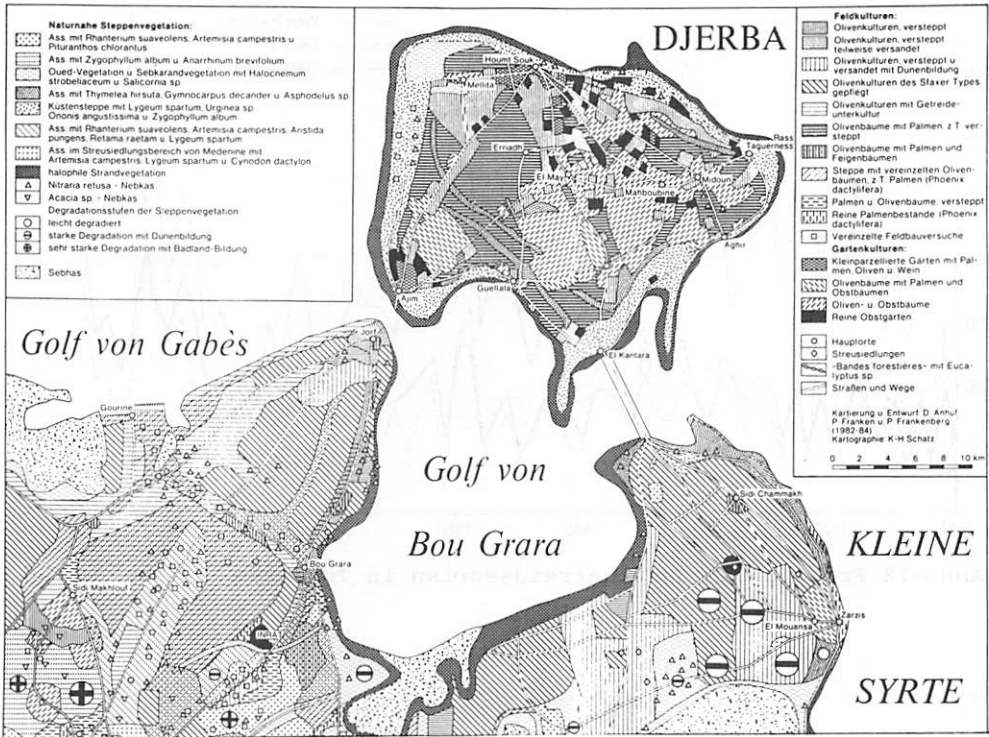
höhere Luftfeuchtigkeitswerte über das ganze Jahr aufzuweisen hat, und die daraus resultierende geringere potentielle Verdunstung diesen Bereich für die landwirtschaftliche Nutzung wesentlich humider erscheinen läßt als den kontinentaleren Teil der Zentralregion II. In diesem Bereich charakterisiert der Ölbaum die Landwirtschaft, während sowohl die kontinentaleren als auch die nördlicheren Tieflandsregionen neben dem Obstanbau vorwiegend durch Getreidekulturen geprägt sind. In der nach Westen zur algerischen Grenze hin anschließenden Hochlandsteppe findet sich noch sehr vereinzelter Getreideanbau. Die wesentlich bedeutendere Nutzungsform dieses Raumes stellt die Weidewirtschaft dar.

Noch weiter in südlicher Richtung schließt sich die Wüstensteppe an, die im langjährigen Mittel nur noch etwa 100-200 mm Jahresniederschlag erhält. Mit Ausnahme des Küstensaumes um Gabès, der Halbinsel von 'Bou Grara' und der Region Zarzis III, wo ebenfalls der Ölbaum die Landschaft prägt, ist diese Region als traditionelles Weideland der Nomaden anzusprechen. Die zunehmende Sefshaftwerdung der Viehzüchter hat aber auch in diesem Bereich dazu geführt, daß in der gesamten Region in einigermaßen feuchten Jahren sich überall sporadischer Getreideanbau finden läßt.

Eine Ausnahme in dieser Region stellt die Insel Djerba dar, wo "intensiver Bewässerungsanbau in Gartenkultur im östlichen Zentrum, extensive Dattelpalmenbestände mit nicht ausreifenden Früchten an der Küste und Ölbaumhaine im gesamten Zentrum das Agrarlandschaftsbild kennzeichnen." (Frankenberg, 1981, S.52, Abb.17).

Als wichtigste Kulturen der tunesischen Landwirtschaft sind einmal die Getreide (Weizen: Weichweizen und Hartweizen und Gerste), zum anderen die Oliven zu nennen. Unter den Getreiden kommt dem Weizen die bedeutendste Rolle zu, und zwar dem Hartweizen. 70% der gesamten Getreideanbaufläche wird von Weizen eingenommen und davon alleine 60-70% von Hartweizen (vgl. Kassab, 1983). Die Erträge schwanken jedoch enorm zwischen ca. 400 kg/ha bei den traditionell genutzten und 1000-1500 kg/ha in den modernen Großbetrieben. Südlich der 400 mm Jahresisohyete, also in der 'Zentralzone', werden nur Erträge von 200-400 kg/ha erzielt.

Zu beobachten ist aber immer ein wesentliches Merkmal der tunesischen Getreideproduktion, das für alle Landwirtschaftszonen des Landes charakteristisch ist, auch für den klimatisch begünstigten Norden: es sind dies die alljährlichen Schwankungen der Anbauflä-



(aus Frankenberg, 1986, Kartenbeilage)

Abb. 17 Karte der Landnutzung und der Vegetation des Untersuchungsraumes in Südosttunesien

chen und der Erträge (vgl. Abb. 18). Noch stärker zeigen sich die Abhängigkeiten beim Gersteanbau, dem zweitwichtigsten Getreide, das den Getreideanbau des Südens und der Zentralzone charakterisiert. Die wichtigsten Anbaugelände stellen die Gouvernorate Kairouan, Sousse, Sfax und Gafsa dar, und entsprechend dieser Nord-Süd-Abfolge nehmen auch die Erträge von 600 auf 100 kg/ha ab. Der Ölbaum nimmt in der tunesischen Landwirtschaft eine herausragende Stellung ein, weil seine Produkte nach dem Erdöl, dem Tourismus und Phosphatabbau die wichtigste Deviseneinnahmequelle des Landes darstellen. So sind ganze Regionen durch die geordneten Ölbaumhaine geprägt. Die dichtesten Bestände finden sich im Sahel von Sfax, weniger intensiv im Sahel von Sousse, und das dritte bedeutende Anbaugelände sind die Region von 'Zarzis' und Teile der Halbinsel von 'Bou-Grara' (vgl. Abb. 17). Auch die Olivenernte ist in starkem Maße von den winterlichen Niederschlägen abhängig (vgl.

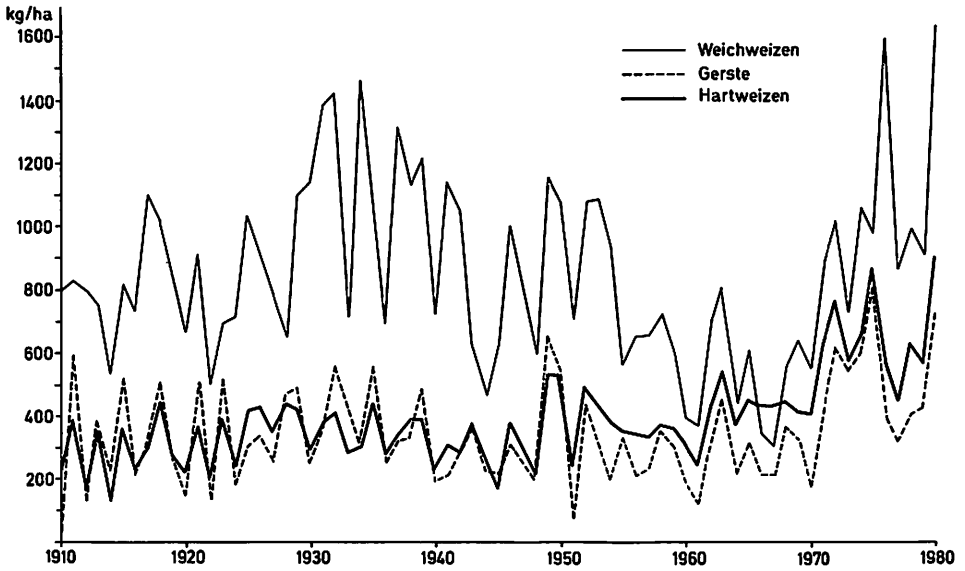


Abb. 18 Erträge der Hauptgetreidesorten in Tunesien

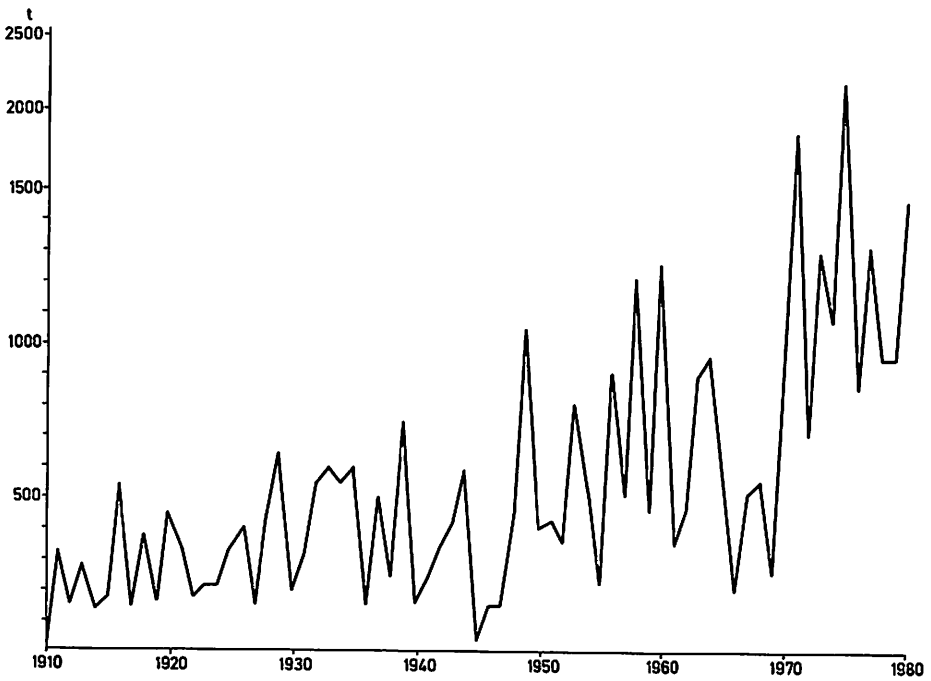


Abb. 19 Olivengesamtproduktion in Tunesien

Abb. 29). Im Süden, bei Zarzis, fällt die Olivenernte in Trockenjahren, wie z.B. 1972/1973, völlig aus. Für eine erfolgreiche Olivenernte in der Region 'Zarzis' ist das Einsetzen der Regenzeit im September von entscheidender Bedeutung. Eine Verzögerung bis Ende November/ Anfang Dezember hat fast immer einen völligen Ernteausfall zur Folge (vgl. Farge, 1973).

6. Die räumliche Ausprägung der mittleren Ernteerträge ausgewählter Kulturpflanzen des Sahel und der Steppengebiete Nordafrikas sowie deren Ertragsvariabilität

Vor der Analyse der vergleichenden Dependenz zwischen Klima und Ernteertrag steht zunächst eine Darstellung der Raummuster ähnlicher mittlerer Erträge und ähnlicher Variabilitäten der Erträge in den Untersuchungsgebieten. In den nachfolgenden Abbildungen (20-29) sind für die einzelnen Regionen die arithmetischen Mittelwerte (\bar{x}) der Hektarerträge der jeweiligen Feldfrüchte für den Zeitraum 1961-1980 (im Sahel) und für den Zeitraum 1951/52-1975/76 (in Tunesien) abgetragen. Zusätzlich wurde die entsprechende Variabilität der Erträge aufgezeichnet. Diese zweidimensionale Darstellung ermöglicht ein differenziertes räumliches Ähnlichkeitsmuster der Ertragsmittelwerte und ihrer Variabilität über die räumlich voneinander getrennten Untersuchungsräume.

Die Berechnung zur Darstellung der Variabilität erforderte ein normiertes Streuungsmaß. Dieses ist in dem Variationskoeffizienten von Pearson gegeben, der die Standardabweichung in Prozenten des arithmetischen Mittels: $V = 100s/\bar{x}$ angibt.

Aus dem Mittelwert und der Variabilität können Ertragstypen definiert werden, wobei die Mittelwerte auf der y-Achse und die Variabilitätswerte auf der x-Achse eines Koordinatensystems abgetragen werden. Begrenzt werden die Ertragstypen durch Schwellenwerte, die über die Standardabweichung der Mittelwerte bzw. Standardabweichung der Variabilitätskoeffizienten ermittelt wurden.

Nach diesem Verfahren ergeben sich (nach der Legende) alle denkbaren Abstufungen zwischen positiven und negativen Ertragstypen. Der positivste Ertragstyp ist danach bei dem höchsten Mittelwert und der geringsten Variabilität der Erträge gegeben, der negativste Typ ist charakterisiert durch den niedrigsten Mittelwert bei gleichzeitig stärkster Variabilität von bis zu 100% (Beispiel: Durrha in Darfur mit $\bar{x} = 278,5$ kg/ha und $V = 98,7\%$ - gehört zu dem Ertragstyp mit 189,2 - 378,4 kg/ha (Mittelwert) und 77,1 - 102,8% (Variabilitätskoeffizient)). Bei dem Optimaltyp ist demnach auch eine hohe Wahrscheinlichkeit gegeben, daß die mittleren Ertragshöhen auch tatsächlich eintreffen, wohingegen bei dem Pessimaltyp trotz der niedrigen mittleren Ertragshöhen eine hohe Wahrscheinlichkeit gegeben ist, daß selbst diese Werte in den meisten Fällen unterschritten werden.

6.1 Vergleich der Raumstrukturen der mittleren Ernteerträge und der Variabilität im Sudan und im Senegal

Die Ertragstypen des Milletanbaus (vgl. Abb.20) sind bei einer mittleren Variabilität (zwischen 31,8 und 47,7%), aber den höchsten Mittelwerten anscheinend optimal in den Regionen 'Southern Darfur' und 'Dar Marsalit' (Nebenkarte Darfur) ausgebildet. Bei etwas niedrigeren Mittelwerten der Erträge aber wesentlich geringerer Variabilität (15,9-31,8%), treten jedoch die Gesamtprovinz Darfur, 'Southern Kordofan' und 'White Nile' in den Vordergrund.

Für die räumliche Ausprägung der mittleren Ernteerträge und ihrer Variabilität standen für die Provinz Darfur auch statistisches Material für Untergliederungen der Gesamtprovinz zur Verfügung. Dieses Datenmaterial ist aber auf einen Zeitraum von 10 Jahren beschränkt und kann daher im Fortgang der Analyse bei der Anwendung multivariater Verfahren keine weitere Berücksichtigung finden.

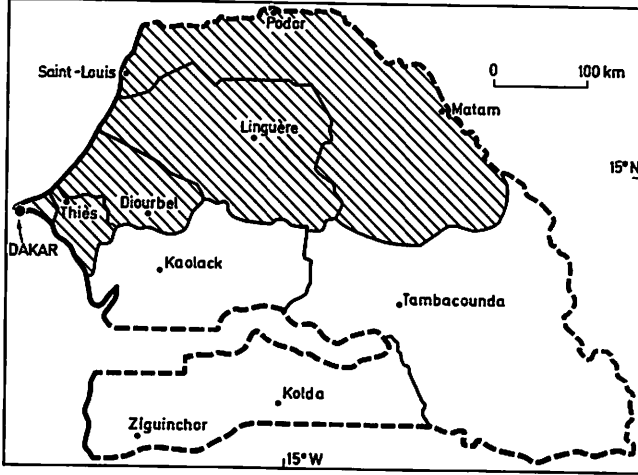
Von der Ertragsvariabilität sind die ungünstigsten Regionen für den Milletanbau mit den Regionen 'Middle Darfur' sowie in der Provinz Cap Vert im Senegal mit Variabilitätskoeffizienten von über 70% gegeben, wenn auch bei mittleren Ertragswerten. Als nicht wesentlich minder risikobehaftete Anbauzonen sind ebenfalls noch die Regionen 'Eastern Darfur' und 'Northern Darfur' hervorzuheben, denen bei einer Variabilität von ca. 45% nur Ertragsmittelwerte von etwas mehr als 300 kg/ha eignen. Eigentlich gehörte in diese Gruppe auch noch die Provinz 'Northern Kordofan', da sie mit den Mittelwerten sogar noch knapp unter 300 kg/ha bleibt, sich aber bei einer Ertragsvariabilität von 36,5%, also etwa 10% weniger, von den beiden vorigen positiv abzuheben vermag.

Die übrigen Regionen und Provinzen des Senegal und des Sudan sind in ihren mittleren Ertragsausprägungen zwischen den oben genannten Positiv- und Negativtypen anzusiedeln, bei mittleren Erträgen von 400-500 kg/ha und Variabilitätskoeffizienten von 31,8-47,7%.

Das Raummuster der Ertragstypen der Durrha (vgl. Abb.21) zeigte für einige Regionen, vor allem bei den Optimalertragstypen, eine Ähnlichkeit mit den Optimalertragstypen der kleinen Hirse (Millet). Die höchsten mittleren Erträge bei relativ geringer Variabilität werden in den Regionen Southern Darfur, Südkordofan (Nuba Mountains) und in der Casamance im Süden des Senegals erzielt.

Die Erträge schwanken alle zwischen 750 und 900 kg/ha, und die Va-

Senegal



Sudan (Ausschnitt)

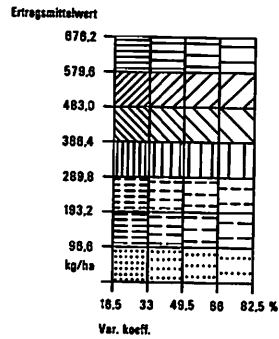
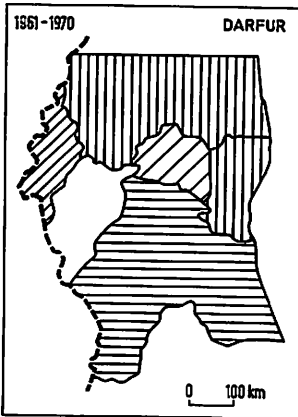
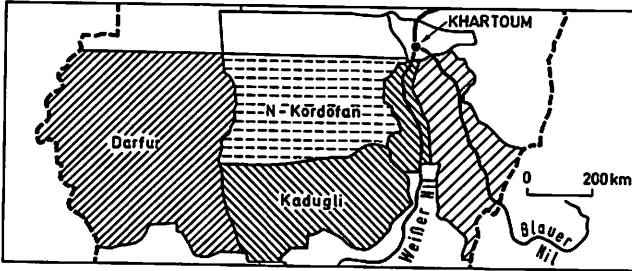


Abb. 20 Ertragsmittelwerte und Variabilität der Milleterträge im Sénegal und Sudan

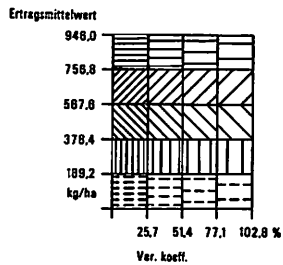
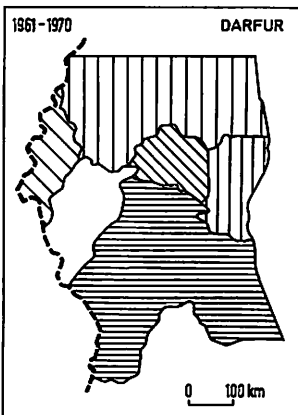
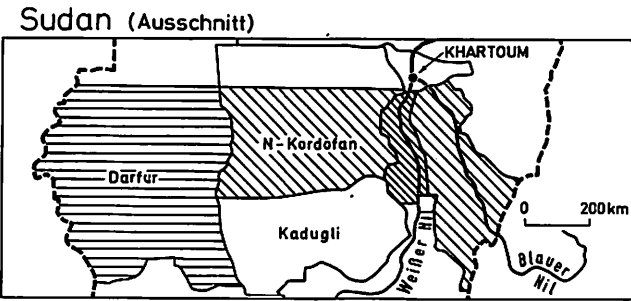
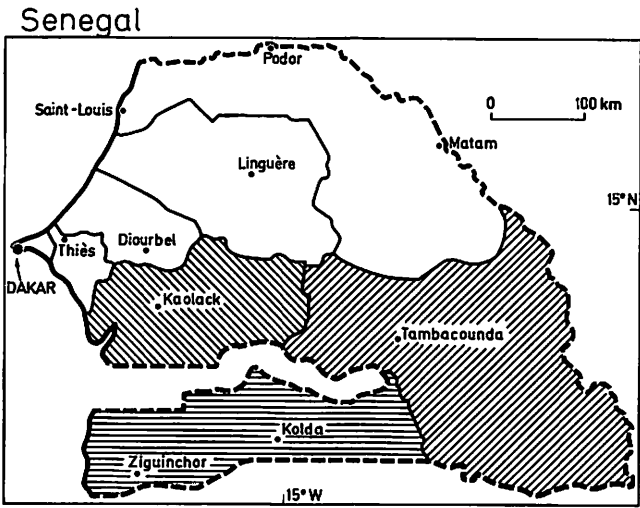
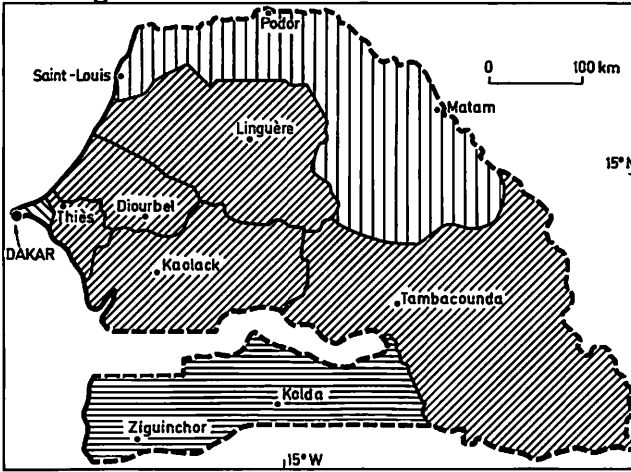


Abb. 21 Ertragsmittelwerte und Variabilität der Sorghumerträge im Sénégal und Sudan

riabilität liegt bei weniger als 26%, in der Casamance sogar unter 12%. Etwas negativer sind die Erträge der Gesamtprovinz Darfur einzustufen, die zwar auch noch die Untergrenzen der Erträge der Optimalertragstypen überschreiten, aber bei einer Variabilität von 30% eine größere Unsicherheit der zu erwartenden Erträge ankündigen. Einen mittleren Bereich, was die Ertragshöhe und die Variabilität betrifft, nehmen die Regionen Mitteldarfur, die Provinz Kordofan (gesamt) und im Senegal die Provinzen Senegal Oriental und Sine Saloum ein. Die genannten Regionen sind durch eine geringe Variabilität um 20% oder sogar darunter, charakterisiert. Als schon relativ ungünstig für den Durrhaanbau sind die Provinzen Nile, Northern Kordofan (=Kordofan Sands) und die Region Fleuve (unter Bewässerung) zu nennen, die in ihren Erträgen z.T. schon sehr weit unter 500 kg/ha liegen, bei einer mittleren Variabilität von ca. 35%. Der in diesem Raummuster mit Abstand ungünstigste Ertragstyp ist in der Region Nord-Darfur gegeben mit sehr niedrigen Erträgen unter 300 kg/ha und einer Variabilität von nahezu 100%! Ähnlich ungünstig sind die Bedingungen in der Region Dar Masalit im äußersten Westen des Landes, was sicherlich darauf zurückzuführen ist, daß die Durrha hier nur in den nördlichsten Teilen der Region angebaut wird, während die südlichen regensicheren Gebiete vorwiegend der Erzeugung anderer Kulturen vorbehalten bleiben, so daß der Durrhaanbau nur auf für diese Getreide marginalen Flächen praktiziert wird. Im Vergleich zur kleinen Hirse (Millet), die diese Region mit zu den ertragshöchsten und ertragssichersten (geringe Variabilität) macht, scheint sich hier sehr klar zu dokumentieren, daß die Niederschlagsbedingungen in den nördlicheren Bereichen optimal sind für den Milletanbau, aber für die Kultivierung der Durrha bei weitem nicht ausreichen.

Die Ertragstypen des Erdnußanbaus (vgl. Abb.22) sind bei einer relativ geringen Variabilität von unter 25%, aber den höchsten Mittelwerten günstig im Sudan in der Provinz Blue Nile, im Senegal in den Gouvernoraten Senegal Oriental, Sine Saloum und am besten in der Casamance. Allen diesen Regionen ist eine mittlere Ertragshöhe von über 820 kg/ha eigen mit einem Spitzenwert in der Casamance von knapp unter einer Tonne pro Hektar. Im Vergleich dazu zeigen sich, die Ertragshöhe betreffend, die Regionen Süd-Darfur und im Senegal das Gouvernorat Thies etwas ungünstiger, wobei Süd-Darfur positiver einzuschätzen ist bei einer Variabilität von nur 20% im Vergleich

Senegal



Sudan (Ausschnitt)

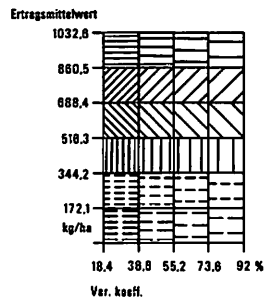
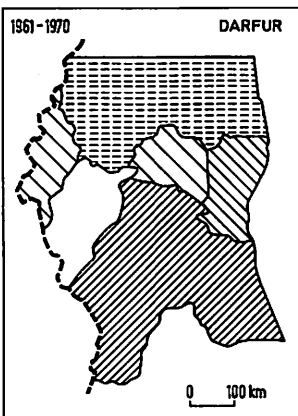
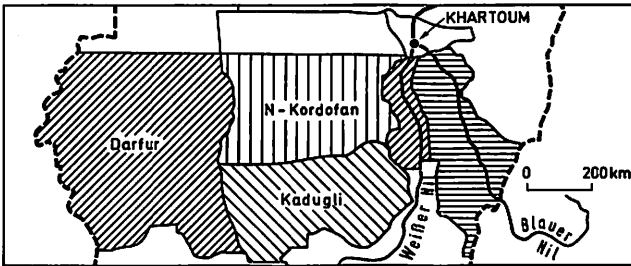


Abb. 22 Ertragsmittelwerte und Variabilität der Erdnußerträge im Senegal und Sudan

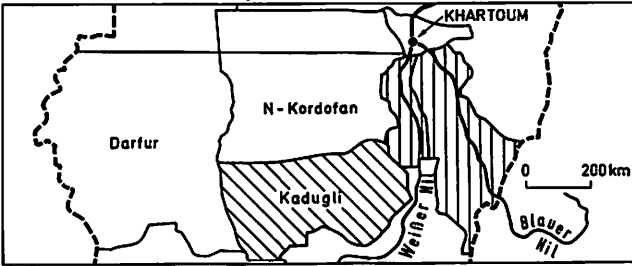
zu 36% in der Region Thiès. Davon abgehoben zeigt sich ein Bereich mittlerer Erträge mit 500 bis 700 kg/ha, jedoch bei einer mittleren Variabilität von 30-45% (Eastern Darfur, Kordofan gesamt, Südkordofan und Cap Vert im Senegal). Insgesamt kann man diese Regionen noch als geeignet für den Erdnußanbau einstufen, wenn auch das Risiko von Ertragseinbußen in einzelnen Jahren nicht zu unterschätzen ist.

Den obigen Regionen folgend in der Rangstufe mit zunehmend negativen Ertragsbedingungen sind die Regionen Mitteldarfur und Dar Masalit im Sudan zu nennen, die zwar durchaus noch Erträge über 600 kg/ha erzielen, allerdings bei einer Variabilität von 75 bis 80%, was die Eignung dieser Räume für eine erfolgsversprechende Kultivierung doch bereits sehr fraglich erscheinen läßt. Von der Variabilität und den Ertragsdurchschnittswerten sind die negativsten Regionen des Erdnußanbaus in den Provinzen Nord-Kordofan und Fleuve zu suchen. Obwohl die Variabilitätskoeffizienten günstigere Anbaubedingungen signalisieren (60-65%), sind die Gesamterträge jedoch so niedrig, daß hier vielleicht die Überlegung angebracht wäre, ob nicht diese Räume durch die Kultivierung anderer wichtiger Nahrungsmittel langfristig günstiger zu nutzen sind.

Das Raummuster der Ertragstypen beim Mais (vgl. Abb. 23) verdeutlicht die herausragende Stellung der südlichen Provinzen im Senegal, hier vor allem der Casamance, des Senegal Oriental und Sine Saloum, wobei die Casamance eindeutig die Region mit dem optimalen Ertragstyp darstellt bei hohen Mittelwerten (ca. 900 kg/ha) und einer Variabilität von nur 25%. Etwas ungünstiger gestaltet sich das Bild der Region Fleuve und in den Provinzen Weißer und Blauer Nil im Sudan, die etwa gleichhohe Hektarerträge erzielen bei einer ebenfalls ähnlichen Ertragsvariabilität zwischen 34 und 39%. Den ungünstigsten Ertragstyp des Maisanbaus repräsentiert die Provinz Südkordofan, die bei zwar gleicher Variabilität wie die vorangegangenen zwei Beispiele nur Erträge von 550 kg/ha zu liefern vermag. Die Ertragstypen des Mais zeigen sehr deutlich, daß die Niederschlagsmenge und die Niederschlagssicherheit vorwiegend der südlichen Regionen des Senegals denen der nördlicheren Regionen weit überlegen zu sein scheint.

Die Ertragstypen des Reisanbaus (vgl. Abb. 24) sind bei einer mittleren Variabilität von 38%, aber den mit Abstand höchsten Ertragsmittelwerten optimal in der Provinz Fleuve ausgebildet, wo mit

Sudan (Ausschnitt)



Senegal

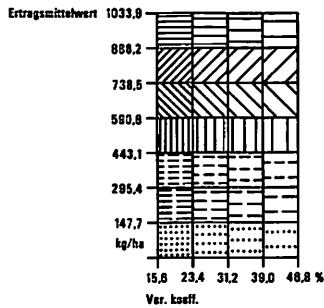
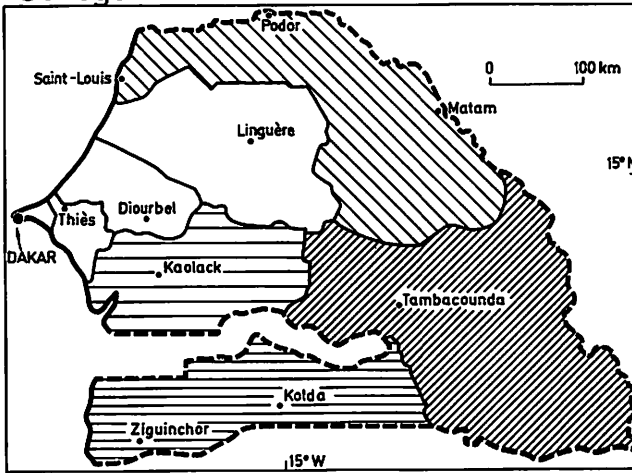


Abb. 23 Ertragsmittelwerte und Variabilität der Maiserträge im SÉNÉGAL und SUDAN

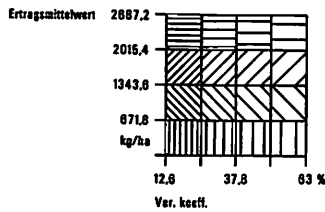
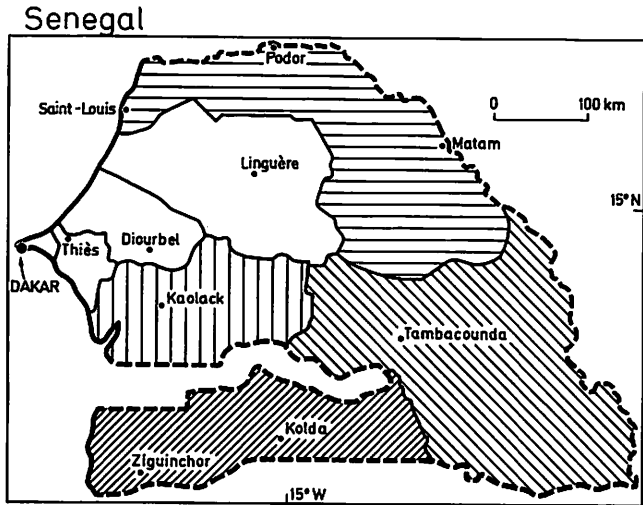


Abb. 24 Ertragsmittelwerte und Variabilität der Reiserträge im Senegal

Hilfe der alljährlichen Hochwässer des Senegals ein erfolgreicher Reisanbau betrieben wird. Nur etwa halb so hoch sind die Erträge, die in der Casamance erzielt werden, jedoch ist dort die Variabilität wesentlich geringer, was auf eine sichere und für den Reis gute Niederschlagsverteilung hindeutet, wohingegen die zu erwartenden sommerlichen Hochwässer des Senegals einer stärkeren Unsicherheit unterliegen. Der ungünstigste Ertragstyp findet sich im Gouvernorat Sine Saloum, wo selbst die Ertragsmittelwerte für den Reisanbau unter denen des Maisanbaus liegen bei noch wesentlich höherer Variabilität von nahezu 55%.

6.2 Die Raumstruktur der mittleren Ernteerträge und ihre Variabilität in Tunesien

Das Raummuster der Ertragstypen der landwirtschaftlichen Produkte

in Tunesien soll hier zunächst von den tropischen Ländern isoliert betrachtet werden. Im Anschluß daran wird ein erster Versuch unternommen, die außertropischen und tropischen Raummuster der Ertragstypen zu vergleichen.

Aufgrund der vorliegenden landwirtschaftlichen Statistiken wurde einmal zwischen den Gouvernoraten und zum anderen zwischen den landwirtschaftlichen Großregionen (Nord, Centre und Sud) unterschieden.

Für die nachfolgenden multivariaten Verfahren konnten bis auf wenige Ausnahmen nur die ausreichend langen Zeitreihen der Großregionen Berücksichtigung finden, weil die Erhebungen auf Gouvernoratsbasis in den meisten Fällen nur ungenügend lange Zeitreihen liefern.

Das Raummuster der Ertragstypen bei der Hartweizenproduktion (vgl. Abb. 25) zeigt deutlich die herausragende Stellung des nördlichen Tunesien und innerhalb dessen die überragende Bedeutung des Gouvernorates Jendouba. Beide liefern etwa gleich hohe mittlere Erträge, Jendouba als Gouvernorat ist aber aufgrund seiner geringeren Variabilität von 27,5% gegenüber der Variabilität der Produktion der Gesamtprovinz Nord, die bei 45,2% liegt, wesentlich günstiger zu bewerten. Sehr stark fällt gegenüber dem Norden der gesamte Zentral- und Südbereich bei der Hartweizenproduktion ab. Werden im Norden etwa 700 kg/ha erzielt, so sind es im Zentrum und im Süden weniger als 300 bzw. 200 kg/ha und das bei einer Variabilität von über 50%. Die Gouvernorate Bizerte, Tunis und Le Kef erzielen bereits deutlich niedrigere Ertragsmittelwerte bei einer zunehmend steigenden Variabilität, die in Tunis bereits Werte von 46% erreicht. Als Negativertragstyp ist das Gouvernorat Gafsa herauszustellen mit Erträgen unter 150 kg/ha bei einer Variabilität von nur etwas weniger als 70%. Bemerkenswert ist aber auch, daß im Gouvernorat Sousse, obwohl es nicht unter den extremen Wasserhaushaltsbedingungen wie z.B. Gafsa zu leiden hat, die Erträge zwar doppelt so hoch sind, jedoch die Variabilität Werte von über 80% erreicht. Ein ähnliches Bild zeigt sich auch bei den Raummustern der Ertragstypen des Weichweizens (vgl. Abb. 26 u. 27) mit der herausragenden Stellung des Nordens. Die Erträge sind sogar noch erheblich höher als bei der Hartweizenproduktion und erreichen im Mittel für die Nordprovinz Werte von über einer Tonne je ha bei einer Variabilität von knapp über 40%. Der zentrale und südliche Bereich vermag dage

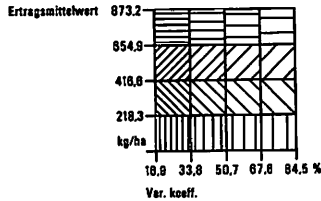
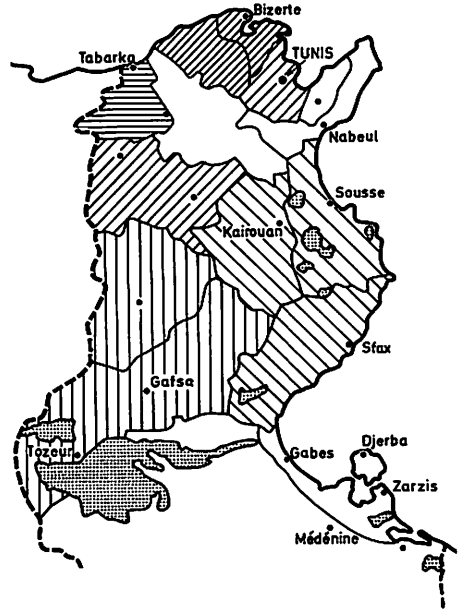
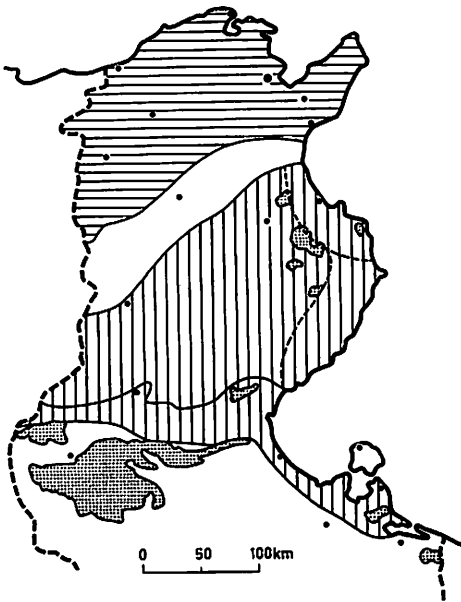


Abb. 25 Ertragsmittelwerte und Variabilität der Hartweizenproduktion in Tunesien

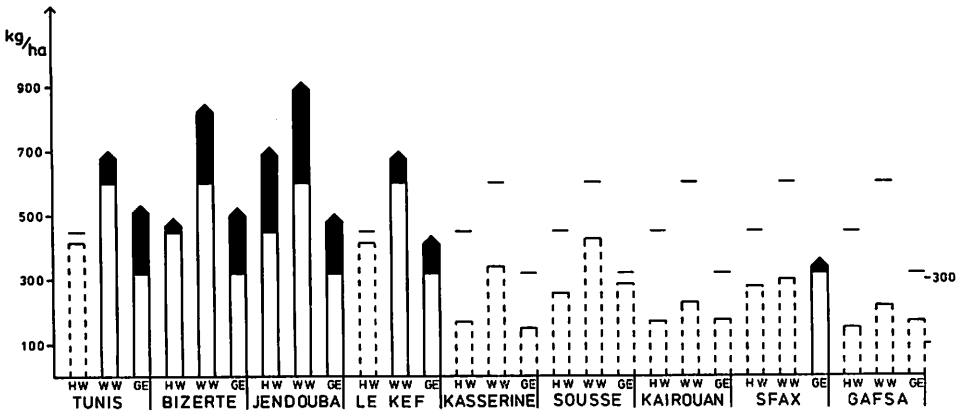


Abb. 26 Die mittleren Getreideerträge in den einzelnen tunesischen Gouvernoraten im Vergleich zum Landesdurchschnitt (-) Berechnungsgrundlage 1958 - 1973; HW = Hartweizen, WW = Weichweizen, GE = Gerste

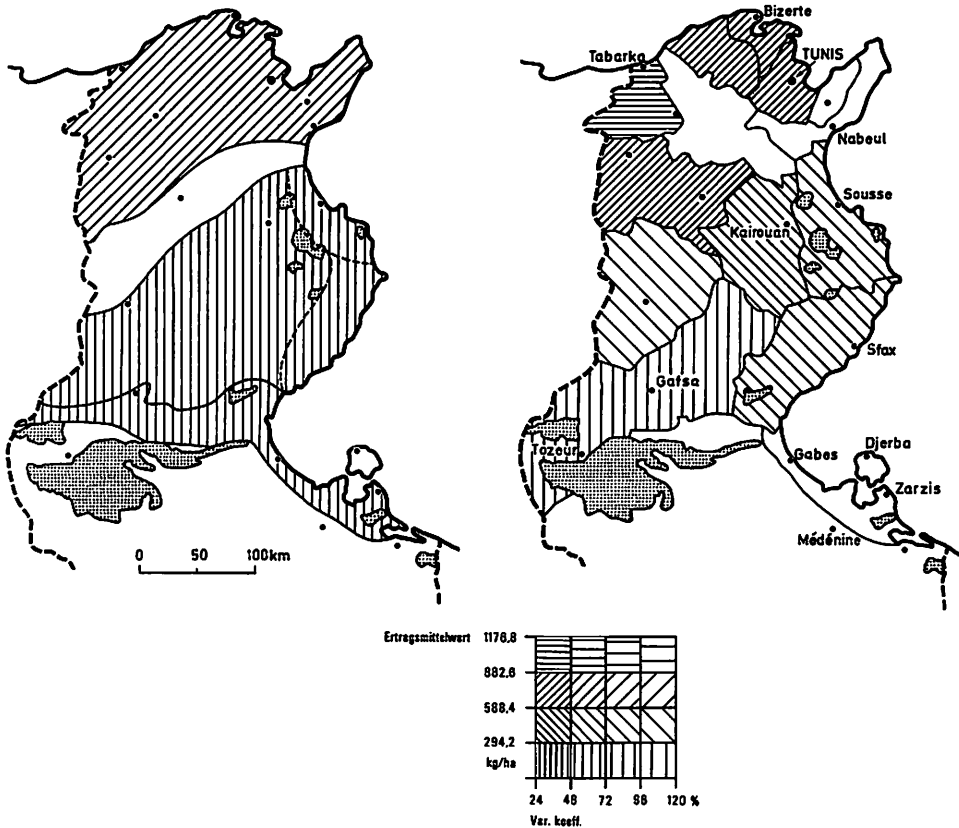


Abb. 27 Ertragsmittelwerte und Variabilität der Weichweizenproduktion in Tunesien

gen im Durchschnitt nur etwa 1/3 der Gesamterträge des Nordens zu erreichen. Der Vergleich der Erträge der einzelnen Gouvernorate sieht hier das Gouvernorat von Jendouba mit großem Abstand als den positivsten Ertragstypus, gefolgt von Bizerte, das etwa 80 kg/ha weniger erzeugt, aber bereits bei einer um 14% erhöhten Variabilität im Vergleich zu Jendouba. Etwa gleichwertig sind dann in Abstufung zu den ersten beiden die Gouvernorate Le Kef und Tunis einzuordnen, wobei Tunis auch hier wieder wesentlich höhere Variabilitäten aufweist. Bei der Bewertung der Raummuster des zentralen und südlichen Bereiches von Tunesien ist ein Merkmal besonders hervorzuheben, und zwar das der Variabilität. Es werden in den Gouvernoraten Gafsa und Kasserine Variabilitätskoeffizienten zwischen 95% und 103% erreicht.

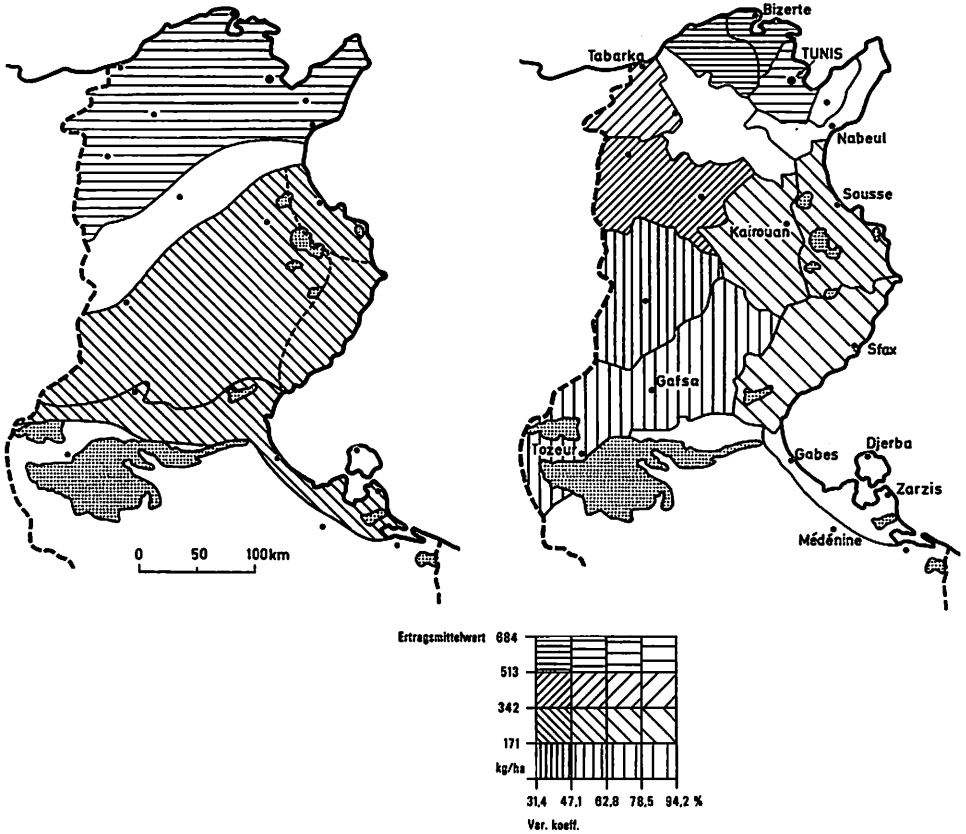


Abb. 28 Ertragsmittelwerte und Variabilität der Gerstenproduktion in Tunesien

Der für den zentralen und südlichen Raum Tunesiens günstigste Bereich wird durch das Gouvernorat Kairouan repräsentiert, das mit bescheidenen Erträgen von etwa 320 kg/ha noch die niedrigste Variabilität bei allerdings immer noch 63% erreicht.

Das Raummuster der Ertragstypen des Weichweizens macht besonders deutlich, daß der Weichweizen extrem auf Niederschlagsdefizite reagiert, trockene Jahre führen hier z.T. zum völligen Ernteausschlag, bzw. zu einer solch drastischen Ertragsminderung, daß der gesamte zentrale und südliche Bereich für den Weichweizenanbau als ungünstig zu bezeichnen ist. Die durchschnittlichen Erträge liegen zwar im Vergleich zum Hartweizen in allen Gouvernoraten des Südens wesentlich höher, auf der anderen Seite werden die scheinbar besseren Bedingungen durch erhöhte Variabilitätskoeffizienten relativiert.

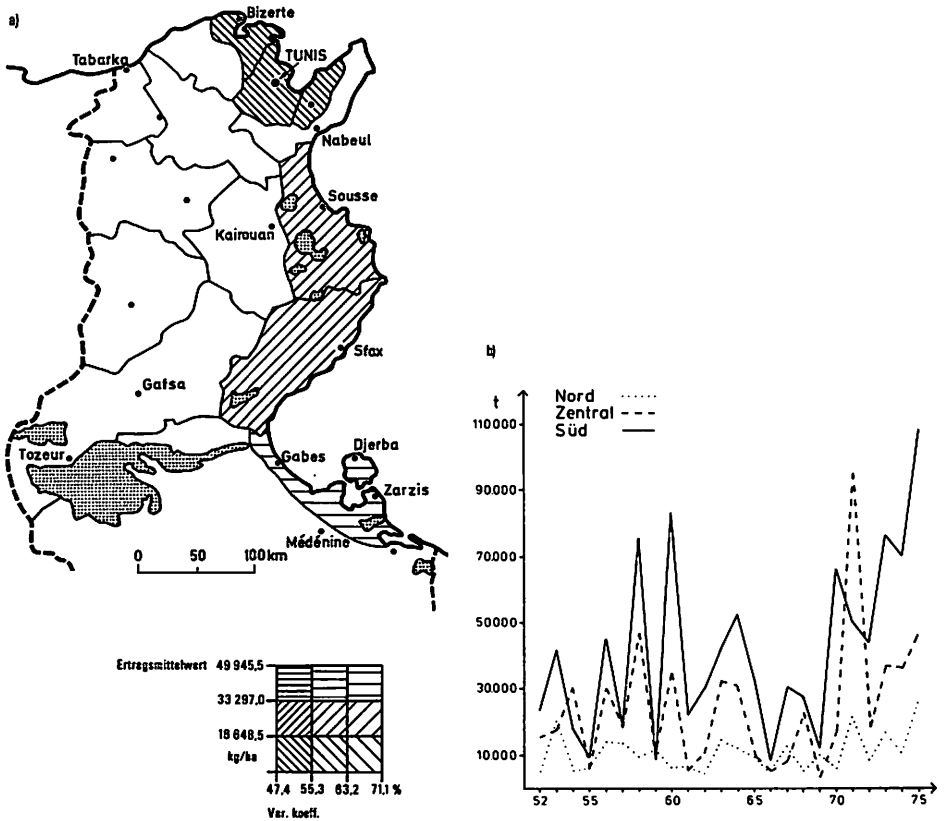


Abb. 29 Ertragsmittelwerte und Variabilität der Olivenproduktion sowie Produktionsmengen der Olivenkulturen in Tunesien (b)

Eine ähnliche Ausprägung der Raummuster der Ertragstypen wie bei den beiden vorangegangenen Beispielen findet sich in den Ertragstypen des Gersteanbaus (vgl. Abb.28). Im Norden Tunesiens werden die höchsten Erträge erzielt, wenn auch im Vergleich aller Getreidearten untereinander die niedrigsten. In diesem Fall erreicht der zentrale und südliche Teil des Landes nur etwa 1/3 der mittleren Erträge des Nordens. Bemerkenswert ist jedoch, daß trotz der vergleichsweise hohen mittleren Erträge des Nordens die Variabilität bei 50% liegt. Im Vergleich der einzelnen Gouvernorate erzielt das Gouvernorat Tunis und Umgebung die höchsten mittleren Erträge, jedoch müssen diese Zahlen erheblich relativiert werden, da die Variabilitätskoeffizienten über 70% betragen, während die anderen Gouvernorate des Nordens z.T. nicht sehr viel weniger Kilogramm pro

Hektar erzielen, bei wesentlich geringeren Variabilitätsindizes. Für die Gouvernorate des zentralen und südlichen Bereiches Tunesiens zeigt sich eine ähnliche Verteilung der Raummuster wie in den bereits vorangegangenen Analysen. Die mittlere Variabilität ist im Vergleich zum Weichweizen jedoch wesentlich günstiger zu beurteilen. Der ungünstigste Ertragstyp wird auch bei der Gerste durch das Gouvernorat Gafsa repräsentiert mit nur knapp 140 kg/ha Flächenertrag bei einer Variabilität von fast 84%. Das zeigt, daß bei dem Gersteanbau in dieser Region in einzelnen Jahren mit völligen Ertragseinbußen zu rechnen ist.

Die Ertragstypen der Olivenproduktion (Abb. 29) weisen den Süden Tunesiens als überdurchschnittlich aus. Die Produktion beträgt hier in den Gouvernoraten Medenine und Gabès das Doppelte der Erträge im zentralen Bereich und fast das Vierfache des Nordens. Bemerkenswert ist, daß in allen drei Regionen bei der Olivenproduktion die sehr hohe Variabilität von 50-60% festzustellen ist, was eine deutliche Abhängigkeit von den Niederschlags- oder Feuchtigkeitsbedingungen zeigt. Für den Süden ist dabei der Beginn der herbstlichen Regen von besonderer Bedeutung, der für die Ausbildung der Früchte wichtig ist. Im Norden könnte die Dauer der Regenzeit eine entscheidende Bedeutung erhalten, wenn die Niederschläge zu lange in die Phase der Blüte im Frühsommer hinein andauern.

6.3 Vergleich der mittleren Ernteerträge im Sahel mit denen der nordafrikanischen Steppengebiete

Bei einem zusammenfassenden Überblick der Ertragstypen der beiden Sahelländer und Tunesiens wird unmittelbar eine Abstufung der Ertragstypen offensichtlich, so daß für alle untersuchten Gebiete die Hypothese aufgestellt werden kann, daß mit Zunahme der Trockenheit eine Abnahme der Durchschnittserträge bei zunehmender Variabilität verbunden zu sein scheint. Die Höhe der Erträge folgt damit einem Niederschlagsgradienten. Ein unmittelbarer Vergleich der einzelnen Kulturpflanzen des tropischen Bereiches mit denen des mediterranen und damit außertropischen Bereiches ist jedoch schwierig. Dennoch ist es möglich, die einzelnen Kulturpflanzen in ihrer Reaktion auf die z.B. zunehmende Trockenheit hin zu untersuchen, um anschließend diese Reaktionen zu vergleichen.

Die Ergebnisse eines solchen Versuches sind in der Abb. 30 dokumen-

tiert. Die Berechnung der Trockengradienten erfolgt über die mittleren Erträge der jeweiligen Kulturpflanzen in den einzelnen Regionen/Provinzen/Gouvernoraten in Abhängigkeit von der Distanz (in km) von den feuchtesten zu den trockensten Gebieten. Die feuchtesten Regionen befinden sich in Tunesien im Küstenbereich des Nordens (Gouvernement Bizerte) bzw. im Senegal an der Landesgrenze zu Guinea-Bissau und im Sudan an den Grenzen der Provinzen Süd-Darfur und Bahr El Ghazal bzw. Süd-Kordofan und Upper Nile.

Berechnet werden einfache lineare Korrelations- und Regressionskoeffizienten mit der Distanz in Kilometern als unabhängige und den durchschnittlichen Ertragshöhen der einzelnen Räume als abhängige Variablen. Trotz der geringen Anzahl von Fällen (7,9 und 10) ergaben diese Berechnungen hochsignifikante Beziehungen mit Irrtumswahrscheinlichkeiten unter 1%.

Damit gilt z.B. für alle hier untersuchten Brotgetreidearten (Hirsen im Sudan und Senegal; Hart- und Weichweizen und Gerste in Tunesien) eine kontinuierliche Abnahme der Durchschnittserträge bei zunehmender Annäherung an trocknere Räume, gleichgültig, ob sie einem tropischen oder außertropischen Regenregime folgen.

Gleichzeitig belegen die oben berechneten Gradienten eine zunehmende Abhängigkeit der Ertragshöhen vom klimatischen Wasserhaushalt und werden somit in den nachfolgenden Analysen auch in ihrer zeitlichen (über die Jahre) und räumlichen Ausprägung von daher zu erklären sein.

Eine Ausnahme von den zuvor dargestellten Gradienten bilden die Erdnußerträge im Sudan und die Olivenproduktion in Tunesien. Ist für die Erdnußerträge im Senegal eine hochsignifikante Beziehung zwischen dem Wasserhaushalt und den erzielten Erträgen nachgewiesen, so kann der gleiche Zusammenhang im Sudan nicht hinreichend gesichert belegt werden. Ein Grund für dieses Ergebnis muß jedoch in der heutigen Verbreitung des Erdnußanbaues im Sudan gesehen werden, der sich hier nicht ausschließlich nach dem Wasserhaushalt richtet, sondern ebenso sehr nach edaphischen Gunststandorten wie dem Altdünengürtel im südlichen Abschnitt der Provinz Nord-Kordofan mit seinen leichten Böden. In diese Gebiete ist die Erdnuß von den ehemaligen englischen Kolonialherren eingeführt worden und hat sich nie weiter nach Süden in die klimatisch günstigeren Regionen ausweiten können, was zusätzlich durch die mächtigen Vertisole bedingt ist, auf denen der Erdnußanbau einen erheblich höheren Arbeitskraf-

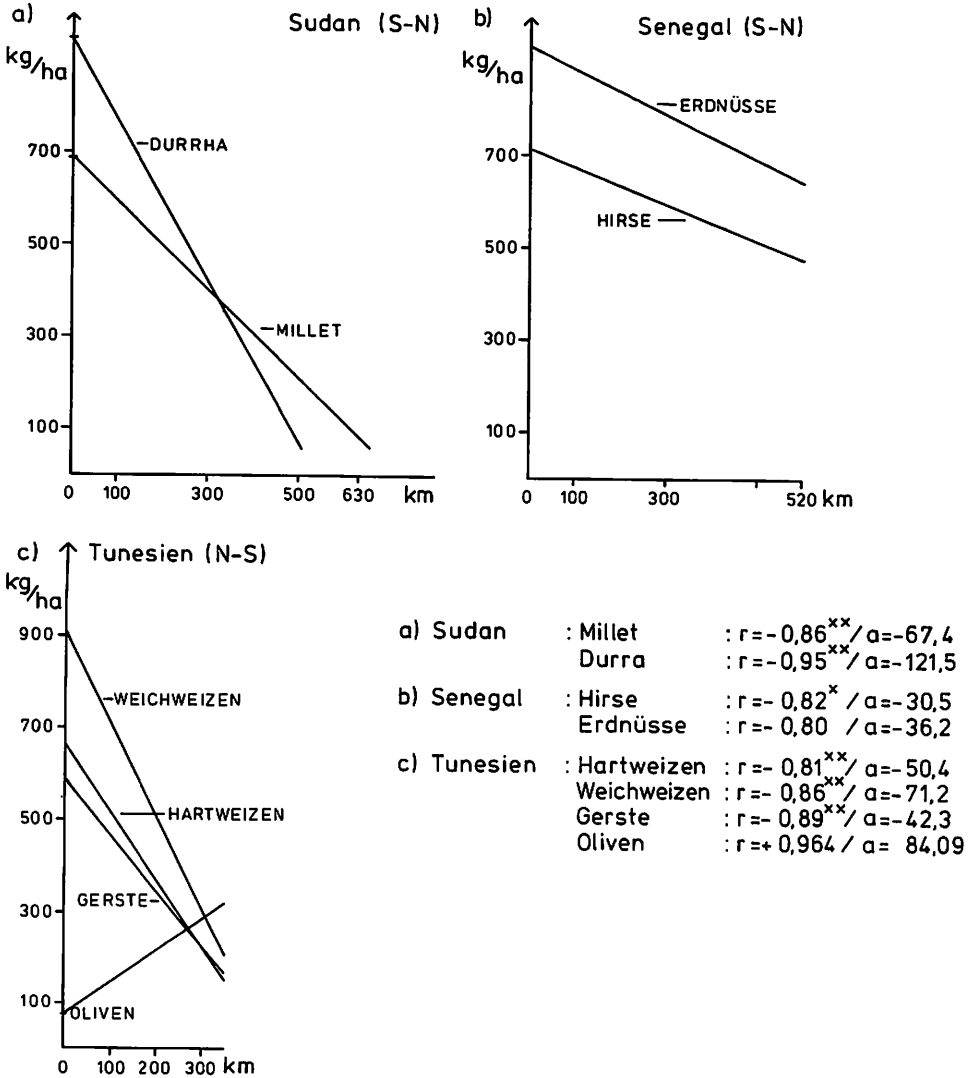


Abb. 30 Beziehungen zwischen den Ertragshöhen und der Lage der Regionen in S-N / N-S-Er Streckung

teinsatz erfordern würde. Damit ist die räumliche Verteilung der Erdnußanbauzonen im Sudan das Ergebnis historischer Ereignisse. Die einzige Kulturpflanze, die zu den obigen Beispielen einen konträren Trockengradienten aufweist, ist der Olivenbaum. Seine Produktionsmengen steigen bei zunehmender Trockenheit. Natürlich hat auch der Ölbaum eine absolute Trockengrenze, die bei etwa 150 mm Jahresniederschlag erreicht wird, auf der anderen Seite durchläuft der Vegetationszyklus des Ölbaums im Frühjahr und Frühsommer zwei entscheidende Phasen (Knospung im März, Blüte von Anfang Juni bis Ende Juli), wobei mit dem Beginn der Blüte die winterlichen Niederschläge abgeschlossen sein müssen. Im Norden des Landes sind aber solche Niederschläge durchaus auch im Juni noch verbreitet. Hinzu kommt, daß sich die Ölbaumsorten von Norden nach Süden ändern. Die Sorte Chemlali im Süden bedarf hoher Temperaturen, um maximale Erträge erzielen zu können.

7. Die Datenstruktur der Zeitreihen der Erträge und der Zeitreihen der klimatischen Einflußgrößen

Die für 9 Ernteprodukte über 20-30 Jahre ermittelten Hektarerträge sollen mit Klima- und Witterungsparametern von 51 Stationen in Beziehung gesetzt werden, um den Einfluß der Witterung auf die Höhe der Erträge statistisch in seiner räumlichen und zeitlichen Dimension bestimmen zu können. Es galt zunächst zu prüfen, inwieweit die zur Verfügung stehenden Ausgangsdaten die Bedingungen erfüllen, die von Seiten multivariater Verfahren an eine raumzeitliche Analyse von Witterung und Ertrag gestellt werden. Es ist dies die Forderung nach Normalverteilung der Daten.

Darüberhinaus galt es der Frage nachzugehen, ob Trends in den Zeitreihen der Erträge vorliegen und wie diese sich möglicherweise auf die Analyse von Ertrag und Witterung auswirken. Es muß aber noch geprüft werden, ob nicht auch klimatische Trends in den vorliegenden Zeitreihen der Untersuchungsräume nachzuweisen sind und wie diese möglicherweise das Beziehungsgeflecht von Klima und Ernte nachhaltig beeinflussen. In der bisher vorliegenden Literatur (vgl. Kap. 3) wird ausschließlich davon ausgegangen, daß die Ursache der Ertragstrends in den verbesserten Anbautechniken, in dem erhöhten Düngereinsatz oder auch in verbesserten Neuzüchtungen des Saatgutes zu suchen sei. Die Schwankungen der Erträge um die Trendlinie (Residuen) werden als witterungsbedingt angesehen. Dem möglichen Einfluß einer sich verändernden Witterung wird dabei so gut wie keine Beachtung geschenkt. Sollten sich jedoch auch nur geringfügige Verschiebungen der Intensität bzw. des Ablaufes der Witterung während der Vegetationszeit nachweisen lassen, gilt es, diese Veränderungen auf ihre räumlichen und zeitlichen Auswirkungen zu untersuchen und mögliche Ursachen dafür zu finden. Daran anschließend muß jedoch erneut die Frage gestellt werden, auf welche Weise in den nachfolgenden multivariaten Analysen die Trends in den Ertragszeitreihen und möglicherweise den Witterungszeitreihen zu behandeln sind. Sollten Trends in den Zeitreihen der Witterungsparameter nachzuweisen sein, erscheint es sehr bedenklich, die Trends in den Zeitreihen der Erträge als alleinige Folgen einer verbesserten Agrartechnologie zu betrachten. Es gilt dann wohl zu untersuchen, ob nicht ein erheblicher Teil des Trends in den Ertragszeitreihen auch von der Witterung

her erklärt werden kann, so daß die bisher verwendeten Methoden der einseitigen Trendeliminierung in den Ertragszeitreihen (vgl. Hanus) abzulehnen sind.

7.1. Überprüfung der Normalverteilung in den Zeitreihen von Witterung und Ertrag

Zur Untersuchung der Verteilungsstruktur der Zeitreihen von Witterung und Ertrag wird für sämtliche in die weitere Analyse einbezogenen Zeitreihen die Schiefe als 3. Moment berechnet. Dieses Verfahren eignet sich u. a. dazu, die Normalverteilung als Voraussetzung der raum-zeitlichen Ähnlichkeitsuntersuchungen zu prüfen. Eine annähernde Normalverteilung der Daten ist Voraussetzung für die Anwendung multivariater Verfahren. "Als noch einigermaßen normal verteilt kann man Zeitreihen mit einer Schiefe von kleiner absolut 0,5 bezeichnen. Werte bis absolut 1,0 sind noch akzeptabel" (Frankenberg 1984, S.73). Ein grundsätzliches Problem aller geophysikalischen Zeitreihen ist jedoch, daß nur in den seltensten Fällen die Voraussetzungen für die Normalverteilung gegeben sind. Selbst eine Transformation der Ausgangswerte, wie Klaus (1975) sie für Niederschlagswerte von Stationen in Westafrika vornahm, hat nur bei wenigen Stationszeitreihen dazu geführt, die Voraussetzungen der Normalverteilung zu erfüllen. Klaus (1982) betont jedoch, daß die Verwendung auch nicht normalverteilter Zeitreihen durchaus legitim sei, mit der Einschränkung, daß die Ergebnisse nur für den Beobachtungszeitraum Bedeutung erlangen und zur prognostischen Auswertung nicht verwendet werden sollten. Sowohl für die Ertrags- als auch die Zeitreihen der Klimaparameter (Monatsmitteltemperatur, potentielle Verdunstung, relative Feuchte, Niederschlagsmenge und Regentage) konnte insgesamt ausreichende Normalverteilung festgestellt werden. Für die weiteren multivariaten Analysen kann erwartet werden, daß die Ergebnisse ohne Datentransformation anwendbar und interpretierbar bleiben.

7.2. Die Zeitreihen der Ertragsdaten und ihre Trends

In sehr vielen Ländern der Erde, vor allem jedoch außerhalb der Tropen, waren in den letzten Jahrzehnten kontinuierliche Steigerungen der Erträge festzustellen. In den Tropen Afrikas war häu-

fig das Gegenteil der Fall. Erklärt werden die Ertragssteigerungen vornehmlich durch eine verbesserte Sortenzüchtung und eine beachtliche Steigerung der Düngergaben sowie durch verbesserte Techniken bei der Kultivierung der Feldfrüchte. Neben diesen Faktoren ist jedoch auch der verstärkte Einsatz von Insektiziden, Pestiziden und Fungiziden zu berücksichtigen, der zu einer rückläufigen Entwicklung unvorhergesehenen Ernteeinbußen geführt hat. "In den errechneten Regressionsgeraden der Trends sah man gleichsam die Varianz der agrotechnischen Komponente im Untersuchungszeitraum" (Frankenberg 1984, S.154). Die Folge davon ist, daß man die Ertragsbildung der einzelnen Kulturpflanzen jeweils nach differenzierten Gesichtspunkten betrachten kann. Zieht man von den Erträgen den Trendeinfluß einfach ab, so ist der verbleibende Rest witterungsbedingt zu erklären und kann damit mit den auf den Vegetationsablauf einflußnehmenden klimatischen Parametern korreliert werden, so wie dies Hanus (1976, S. 21) vorgeschlagen und durchgeführt hat.

Zunächst einmal mußte festgestellt werden, ob sich in den Ertragszeitreihen der einzelnen Regionen der Untersuchungsgebiete überhaupt Trends erkennen lassen, wie groß ihre Irrtumswahrscheinlichkeit ist und wie stark oder schwach die errechneten Trends ausgebildet sind. Weiterhin galt es zu untersuchen, wie diese Trends räumlich differenziert sind.

Zur Beantwortung dieser Fragen wurden für alle in der Analyse berücksichtigten Kulturpflanzen über die einzelnen Regionen, soweit die vorhandenen Ertragszeitreihen eine solche Differenzierung zuließen, die Trends der Hektarerträge für die Zeit ab 1951/52 bis 1982/83 berechnet.

Für den Senegal ergeben sich dadurch noch 10 Großregionen (Provinzen), für die ausreichend lange Ertragszeitreihen (Minimum 20 Jahre) vorliegen. Im Sudan können nur drei Großregionen räumlich differenziert untersucht werden, die Provinzen Darfur, Kordofan (z.T. auch differenziert nach Nord- und Süd-Kordofan) und die Provinz Blue & White Nile.

Für Tunesien stehen ausreichend lange Zeitreihen der Erträge nur für 2-3 Großregionen (den Norden, den Zentral- und den Südteil) des Landes zur Verfügung.

Die Zeit (in diesem Falle die Jahre) stellt dabei die unabhängige, die Hektarerträge die abhängige Variable der Regressionsglei-

chung dar.

Es wurden an einem Beispiel (Abb.31) zunächst sowohl lineare als auch nichtlineare Trends berechnet. Es ist hier der Versuch dargestellt, die Ertragszeitreihe der Hirse in den Provinzen Fleuve und Diourbel (Senegal) 1) einer Linear- und des weiteren 2) einer Exponential-, 3) einer Logarithmus- bzw. 4) einer Potenzfunktion anzupassen. Die resultierenden Kurven zeigen sämtlich eine starke Annäherung an eine Gerade, und die nach den nichtlinearen Modellen errechneten Korrelationskoeffizienten sind alle kleiner als der über das lineare Modell errechnete Wert. Nach diesen Ergebnissen der differenzierten Trendberechnung scheint es gerechtfertigt, sich für sämtliche Ertragszeitreihen auf das lineare Modell zu beschränken.

Die Interpretation der in dieser Analyse berechneten Trends sollte sich einzig und allein auf den Zeitraum beschränken, für den diese Berechnungen durchgeführt wurden, in diesem Fall die Periode von 1960/61-1981/82.

Es ist danach nicht zulässig, die Trends für eine mögliche Vorhersage der Ertragsentwicklung in den kommenden Jahren zugrunde zu legen, denn ein oder zwei günstige Ertragsjahre können das negative Steigungsmaß dieser Trendgeraden wesentlich abschwächen und eine Prognose in die Zukunft würde automatisch eine günstigere zu erwartende Ertragsentwicklung belegen.

Die nachfolgende Abbildung 32 verdeutlicht die unterschiedlichen Trends in den Ertragszeitreihen des Weichweizens in Tunesien. Als ein erstes deutliches Ergebnis der Trendberechnungen im obigen Beispiel muß festgehalten werden, daß eine kontinuierliche Ertragssteigerung in den vergangenen 20-30 Jahren nicht für den gesamten Untersuchungsraum konstatiert werden kann. Es treten vielmehr Ergebnisse auf, die für bestimmte Regionen des nördlichen Afrika eine gegenteilige Entwicklung belegen, eine kontinuierliche Ertragsverminderung (Abb.33). Trotz signifikanter Trends in allen dargestellten Zeitreihen fallen die Ertragssteigerungen bzw. Ertragsminderungen nicht gleich stark ins Gewicht.

Die Steigerungsrate der Weichweizenerträge in Tunesien (Abb.32) zeigt, daß der Ertragszuwachs im Norden des Landes wesentlich höher ausfällt als in den zentralen und südlichen Regionen des Landes, so daß die moderne technologische Entwicklung beim Weichweizen nicht zu einer Nivellierung der räumlichen Ertragsunter-

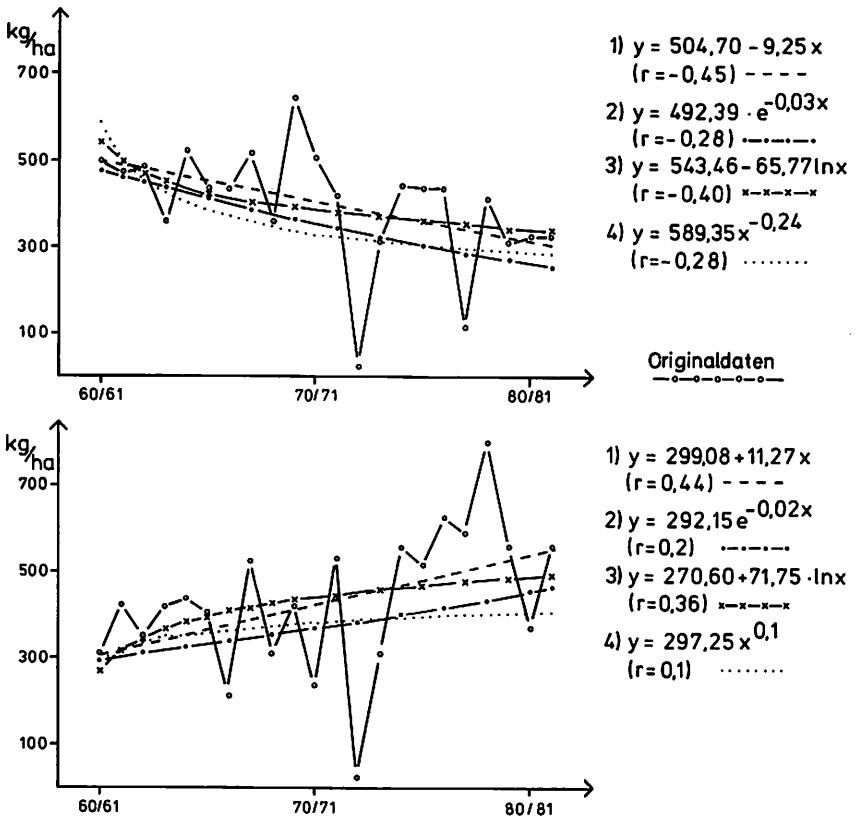


Abb. 31 Ertragszeitreihen und Ertragstrends 1960/61 - 1981/82 der Hirsen in der Provinz Fleuve (o.) und in der Provinz Diourbel (u.)

schiede, sondern zu ihrer Prononcierung führt. Zu dem gleichen Schluß kommen auch Sievers und Weber (1984) in ihrer Untersuchung zur Weltgetreideproduktion.

Ein Versuch, räumlich differenzierte Ertragstrends der jeweiligen Feldfrüchte kartographisch darzustellen, konnte nur für den Senegal vorgenommen werden, da hier die einzelnen Provinzen über differenzierte Ertragserhebungen verfügen. In der Abb.33 ist jede Provinz durch einen Trendtyp charakterisiert, der sich aus der Kombination von Korrelations- und Regressionskoeffizienten ergibt. Die Schwellenwertbildung der Korrelationskoeffizienten wur-

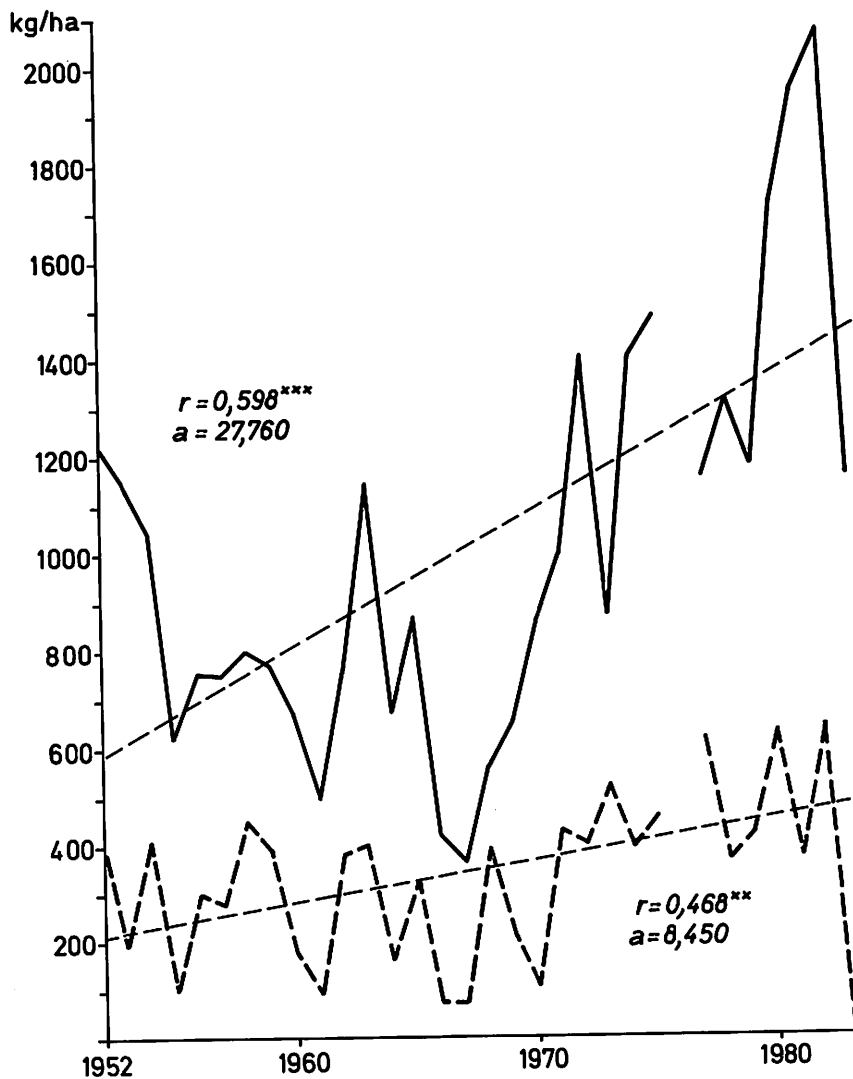
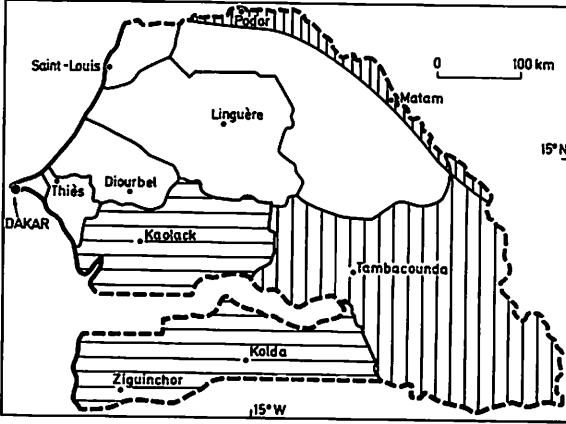
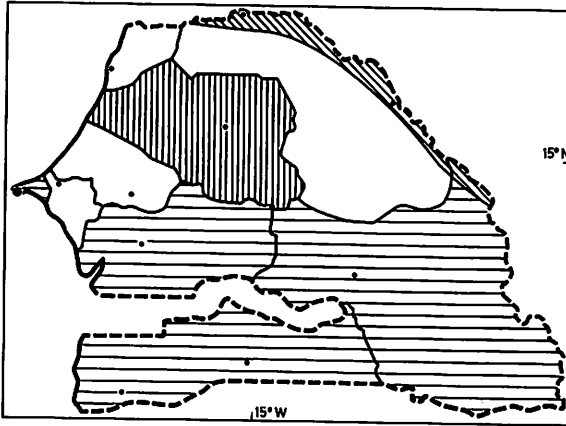
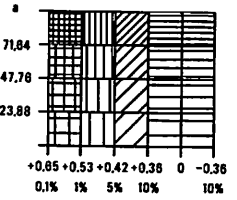


Abb. 32 Ertragszeitreihen und Ertragstrends (1952-1983) des Weichweizens in Nordtunesien und Zentral- & Südtunesien

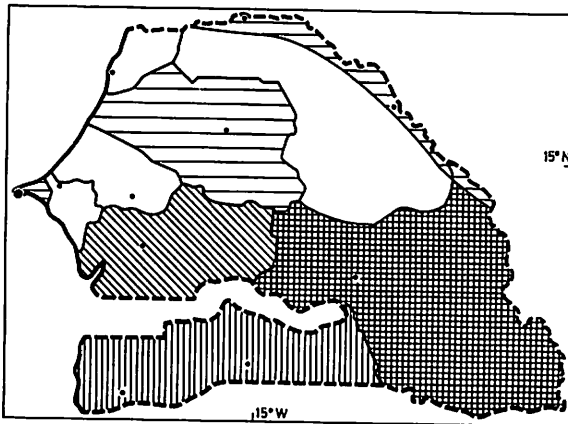
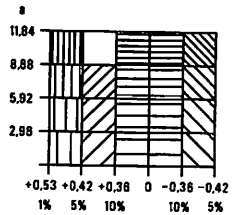
Senegal



Trends in den Zeitreihen des REIS



Trends in den Zeitreihen des SORGHUM



Trends in den Zeitreihen der ERDNÜSSE

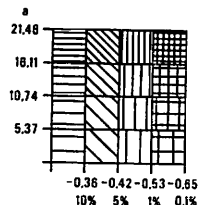


Abb. 33 Räumliche Ausprägung der Trends in den Ertragszeitreihen der Erdnüsse, des Reis und der Hirse im Senegal

de dabei über die Irrtrumswahrscheinlichkeit vorgenommen (siehe Legende der Abb. 33), wohingegen die Schwellenwerte der Regressionskoeffizienten durch die Standardabweichung über alle Regressionskoeffizienten festgelegt wurden. Danach wird der höchste Trendtyp durch die Kombination des höchsten Korrelations- und Regressionswertes bestimmt.

Die Trendtypen der Reiserträge ergaben mit Ausnahme der Provinzen Casamance einen hinreichend gesicherten (95%) positiven Trend für die Provinzen Fleuve und Senegal Oriental. Gerade den Reiserträgen wurde im Senegal von staatlicher Seite besondere Aufmerksamkeit gewidmet. In dem Bestreben, das Land von Nahrungsmittelimporten unabhängiger zu machen, werden große Anstrengungen in Form aufwendiger Bewässerungsmaßnahmen (Fleuve), verbesserten Saatgutes und Düngereinsatzes unternommen, so daß in diesen Fällen vielleicht die These zu Beginn dieses Kapitels bestätigt wird, daß durch verbesserte Sortenzüchtung, Dünger- und Pestizideinsatz kontinuierliche Ertragssteigerungen zu erreichen sind.

Sehr viel heterogener stellen sich die Trendtypen der Hirseerträge im Senegal dar. Die Provinzen Sine Saloum und Diourbel verzeichnen positive Ertragstrends der Hirseerträge, aber nur der Trend in der Provinz Diourbel kann als hinreichend gesichert (95%) betrachtet werden.

Die Trendtypen der Erdnußerträge zeigen eine einheitlich negative Entwicklung, wobei die errechneten Trends nur für den Senegal-Oriental und die Casamance das Signifikanzniveau von 95% überschreiten. Für die übrigen Provinzen kann der Trend als nicht ausreichend gesichert bezeichnet werden. Alle Provinzen sind jedoch dadurch charakterisiert, daß im Mittel die Erdnußerträge von Jahr zu Jahr zwischen 10 und 20 kg/ha abgenommen haben.

Auf eine kartographische Darstellung der Ertragstrendtypen im Sudan und in Tunesien wurde aufgrund der durch die Datensätze hervorgerufenen unzureichenden räumlichen Differenzierung verzichtet.

Die Ertragstrends in Tunesien (Tab. 1) zeigen eine sehr homogene Entwicklung mit kontinuierlichen Ertragssteigerungen, die bis auf eine einzige Ausnahme durch Irrtumswahrscheinlichkeiten von <1% charakterisiert sind. Für Tunesien scheint die Annahme gesichert, daß die moderne Agrartechnologie zu permanenten Steigerungen der Erträge in nahezu allen Bereichen geführt hat. Ein generelles

Ackerfrucht	Region	r	a	Region	r	a	Fälle
Weichweizen:	NT	0,59***	/27,76	Z & ST	0,47**	/8,45	30
Hartweizen:	NT	0,76	/24,82	Z & ST	0,62**	/7,06	30
Gerste:	NT	0,64***	/22,50	Z & ST	0,63***	/9,01	30
Oliven:	NT	-----		Z & ST	0,51**	/1720	29

Tab. 1 Korrelations- und Regressionskoeffizienten der Erträge differenziert nach Kulturpflanzen und Räumen in Tunesien (NT = Nordtunesien; Z & ST = Zentral- und Südtunesien)

Raummuster ist dabei der Tabelle 1 zu entnehmen. Der Norden hat bei den Getreiden höhere Ertragssteigerungen zu verzeichnen als der zentrale und südliche Teil des Landes, wohingegen die Olivenerträge im Süden durch eine positive Entwicklung charakterisiert sind. Hier wird sich erst in Zukunft zeigen, ob diese Tendenz sich fortsetzen kann, nachdem zwei große Olivenproduzenten der EWG beigetreten sind, die für den tunesischen Export eine nicht zu unterschätzende Konkurrenz darstellen.

Die Ertragstrends der Kulturpflanzen im Sudan (Tabelle 2) zeigen auf den ersten Blick ebenfalls eine sehr homogene Entwicklung in den vergangenen 22-30 Jahren, jedoch mit kontinuierlichen Ertragseinbußen. Bei näherer Betrachtung zeigt sich jedoch, daß z.B. für die Provinz Darfur diese Trends mit einer einzigen Ausnahme (Millet) als nicht hinreichend genug gesichert nachgewiesen werden konnten. Durchgehend signifikant negative Trends sind nur für die Provinz Blue & White Nile im Osten des Landes belegt (Irrtumswahrscheinlichkeit von <5%, <2% und <0,1%). Da jedoch gerade in dieser Provinz die wichtigsten Anbauggebiete der Kulturpflanzen in den riesigen Bewässerungsprojekten der Gezira und des Rahad liegen, müssen diese Trends nicht ursächlich mit einer natürlichen Verschlechterung der Anbaubedingungen zusammenhängen, sondern könnten auch durch eine Verlagerung der Produktionsaktivitäten in die Bewässerungsprojekte hinein begründet sein, denn das diesen Trendberechnungen zugrundeliegende Zahlenmaterial bezieht sich ausschließlich auf den traditionellen Regenfeldbau dieser Provinz unter Ausschluß der großen Bewässerungsprojekte und der kleinen privaten Bewässerungsgebiete entlang des Weißen Nil.

Ackerfr.	Region	Region	Region	Fälle
Millet	D -0,48* / -10,8	K -0,69*** / -19,1	BN -0,38 / - 6,6	22
Sorgh.	D -0,04 / - 1,6	K -0,42 / - 8,9	BN -0,68*** / -20,0	22
Erdnuß	D -0,27 / - 5,9	K -0,34 / - 9,8	BN -----	22
Sesam	D 0,05 / 0,6	K -0,61* / - 7,3	BN -0,56** / -22,9	22
Baumw.	D -----	K -0,66*** / - 6,6	BN -----	30
Mais	D -----	K -0,66*** / -30,5	BN -0,49* / -26,6	17

Tab. 2 Korrelations- und Regressionskoeffizienten der Erträge nach Kulturpflanzen und Räumen (D = Darfur, K = Kordofan, BN = Blue & White Nile)

Ein sehr interessantes Bild ergibt eine genaue Analyse der Ertragstrends in der Provinz Kordofan. Für den Zeitraum von 1961-1982 sind für alle Kulturpflanzen negative Ertragstrends belegt, wenn auch nur für Millet und Baumwolle mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit von 0,01%, für Mais auf dem 1%-Niveau (vgl. Tab. 2). Diese Ergebnisse waren auch nach der einschlägigen Literatur im Hinblick auf die Probleme der Desertifikation im Sudan zu erwarten (vgl. Mensching, 1980 und Ibrahim, 1980 und 1984a). Eine nähere Untersuchung der Ertragszeitreihen von 1961-1982 macht jedoch deutlich, daß sich die Situation der Ertragstrends nach 1973 wesentlich verbessert zu haben scheint, als dies die Trendanalysen belegen. Bestätigt wird diese Vermutung, wenn die Trends der Erträge nicht über den gesamten Zeitraum berechnet werden, sondern beispielsweise nur für die Jahre 1970-1982 (Tabelle 3). Hier wird ein grundsätzliches Problem der Trendanalysen offensichtlich, nämlich die Frage nach der Länge der untersuchten Zeitreihe und die Frage nach dem Zeitpunkt des Beginns der vorliegenden Zeitreihe. So würden sicherlich weiter zurückreichende Zeitreihen wieder andere Ergebnisse zeigen, die das Ergebnis der längeren oder auch der kürzeren Zeitreihe (s.o.) bestätigen oder eventuell auch keinen signifikanten Trend belegen könnten. Längere Zeitreihen der Ernteerträge im Sudan als die hier verwendeten liegen jedoch nicht vor. Daß Trendänderungen auftreten, ist ebenfalls hinreichend belegt, wenn auch nur im Hinblick auf klimatologische Aspekte im Bereich der Sahelzone (vgl. Klaus, 1981).

Ackerfrucht	1961-1982		1970-1982	
	r	a	r	a
Millet	-0,69***	/ -19,1	-0,07	/ - 2,2
Sorghum	-0,42	/ - 8,9	0,40	/ 17,6
Erdnüsse	-0,34	/ - 9,8	0,40	/ 24,2
Sesam	-0,61**	/ - 7,3	0,48*	/ 3,0

Tab. 3 Korrelations- und Regressionskoeffizienten der Erträge verschiedener Kulturpflanzen in Kordofan für verschiedene Zeitreihen

7.3. Die möglichen Ursachen der Trends

Zu Beginn des Kap. 7.2. ist schon angedeutet worden, daß die Ursache der Ertragstrends in den erhöhten Düngergaben bzw. in der Kultivierung neuer Sortenzüchtungen gesucht werden muß. Leider liegt für die hier bearbeiteten Regionen Nordafrikas keinerlei Datenmaterial über Ertragszuwächse durch den Anbau von neuen Sorten im Vergleich zu den traditionell verwendeten vor. Auch erlaubt die Datenlage nur für Tunesien eine Abschätzung des Einflusses der Düngermengen auf die Höhe der Erträge. Da den Statistiken des Landes nur die Gesamtimportmengen an Dünger für die letzten 20 Jahren entnommen werden können (ohne Spezifikation der Düngersorten), mußten die Korrelationsrechnungen auf die Gesamterträge und die Gesamtdüngermengen (in Tonnen) beschränkt bleiben (Abb.34).

Es konnten in den vier gewählten Beispielen jeweils signifikante Beziehungen zwischen den Erträgen und den Düngergaben ermittelt werden, wobei sich die engsten Beziehungen für die Hartweizenerträge ergaben. Darüberhinaus scheinen die Düngergaben auch regional differenzierte Ertragssteigerungen bewirkt zu haben, was die Analysen der Hartweizenerträge in Nord-, Zentral- und Südtunesien belegen. Sind im Norden im Mittel alljährlich Ertragssteigerungen von 8 kg/ha zu verzeichnen, so kann der zentrale und südliche Bereich nur eine Zunahme von 1 kg pro ha verbuchen (vgl. Tab.4). Vergleicht man jedoch die Zeitreihen der Düngerimporte mit den Gesamterträgen des Hart- und Weichweizens in Tunesien (Abb. 34), so fallen einmal gleichlaufende Schwankungen zwischen den Erträ-

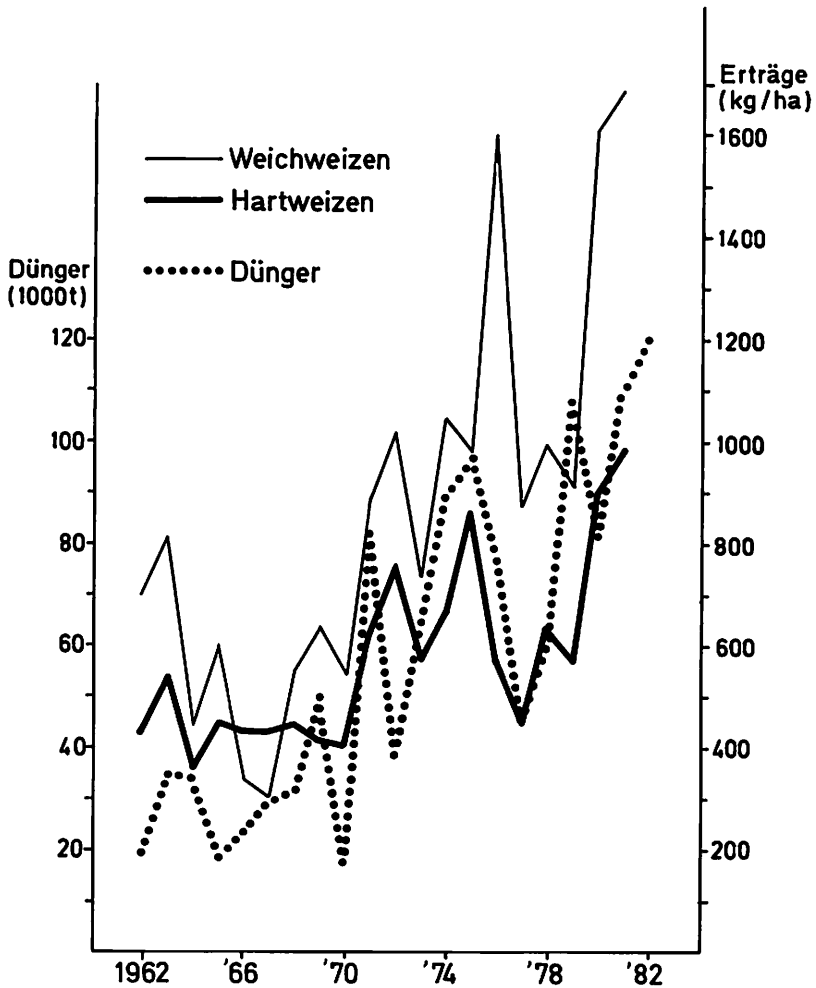


Abb. 34 Zeitreihen der Hart- und Weichweizenerträge sowie der Düngerimporte in Tunesien

gen und den Düngerimporten auf (1962/63/64), aber in einer ganzen Anzahl von Jahren auch gegenläufige Entwicklungen, wobei die Zeitreihen der Hart- und Weichweizenerträge in einzelnen Jahren ebenfalls gegenläufige Tendenzen zeigen. Dieses Ergebnis dokumentiert gleichzeitig, daß auch andere Faktoren die interannuellen

	r	a
Hartweizen (Gesamtproduktion)	0,74***	/ 4 kg
Weichweizen (Gesamtproduktion)	0,72***	/ 9 kg
Hartweizen (Nordtunesien)	0,84***	/ 8 kg
Hartweizen (Zentral- & Südtunesien)	0,57*	/ 1 kg

Tab. 4 Korrelationskoeffizienten und Steigungsmaß von Ertrag (kg/ha) und Düngereinsatz (kg)

Schwankungen in den Erträgen beeinflussen. Da die Schwankungen um die Trendgerade nicht synchron verlaufen, muß davon ausgegangen werden, daß nicht nur ein Faktor diese Residuen allein steuert. Eine Trendeliminierung (vgl. Hanus, 1969) hätte bedeutet, sicherlich nicht nur die technologischen Faktoren auszuschalten, zumal bei dem vorliegenden Datenmaterial auch nicht davon ausgegangen werden kann, daß allein die Düngerimporte in Tunesien den gesamten technologischen Trend repräsentieren.

Es bleibt zu klären, ob die Ertragssteigerung oder auch die Ertragseinbußen nicht auch durch Klimatrends erklärbar sind. Damit wäre zumindest teilweise die Annahme widerlegt, die Steigerung der Erträge sei agrotechnisch, und allein die Variabilität um die Trends klimatisch bedingt (Frankenberg, 1984, S.98).

7.4. Zeitreihen der Klimavariablen und ihre Trends

Nachdem die Hypothese, daß die Trends in den Ernteerträgen in erster Linie durch Entwicklungen der Agrartechnologie (Düngereinsatz, Sortenneuzüchtung, Pestizid-, Herbizid-, Fungizideinsatz u.a.) verursacht seien, aufgrund des vorliegenden Materials nicht bestätigt werden konnte, vielleicht mit der Ausnahme Tunesiens, gilt es nun zu klären, ob nicht auch andere Faktoren einen wesentlichen Einfluß auf die Erträge ausüben. Diese Annahme scheint berechtigt, denn weder für die Bundesrepublik noch die USA oder Kanada ist eine ausschließliche Erklärung der Ertragstrends auf der Basis der Agrartechnologie zulässig. Vielmehr konnten für die angesprochenen hochtechnisierten Agrarproduzenten eindeutige Zusammenhänge zwischen den Ertrags- und den Klimatrends nachgewiesen werden (vgl. Frankenberg 1984; Hare 1979; Parry 1980; Warrick

1984). Danach schien es erforderlich, nach möglichen Ursachen zu suchen, die die Trends der Erträge zu erklären helfen, zumal die Trends der Erträge im Sudan nach dem obigen Ansatz nicht zu erklären sind. Hier bot es sich an, mögliche Veränderungen im Naturhaushalt zu untersuchen, der die Ausbildung der Erträge im wesentlichen beeinflusst.

Zur Beantwortung dieser Fragen wurden zunächst für alle in der Analyse berücksichtigten Klimaelemente (Mitteltemperatur, Feuchte, Verdunstung, Niederschlagsmengen, Anzahl der Tage mit mehr als 1 mm Niederschlag) je Monat die Trends an allen Stationen für die Zeit von 1951-1983 (Tunesien bis 1976) berechnet. Die Trendanalysen erfolgten über die Berechnung einfacher linearer Korrelations- und Regressionsanalysen. Es zeigen sich danach durchaus z.T. sehr deutliche Klimatrends, die die Trends der Ernteerträge miterklären können.

An allen ausgewählten Klimastationen des Sahel sind positive Temperaturtrends für die Monate August und September belegt (vgl. Abb. 35). Die einzigen Ausnahmen werden durch die Stationen Kadugli in Südkordofan sowie Kolda und Ziguinchor im Senegal repräsentiert. An der erstgenannten Station ist keinerlei Trendentwicklung nachzuweisen, die senegalesischen Stationen deuten eine signifikante Temperaturabnahme an. Damit ist durchgehend eine Temperaturzunahme für den August und den September zu konstatieren, die auch noch für den Oktober an den meisten Stationen signifikant belegt ist. Parallel dazu ist für die gleichen Monate ein signifikanter Verdunstungstrend nachgewiesen. Das bedeutet, daß mit der Zunahme an fühlbarer Wärme auch die potentielle Verdunstung (pV nach Lauer und Frankenberg, 1981) angewachsen ist. Auch in diesem Fall repräsentieren die Stationen Kadugli, Kolda und zusätzlich Dakar die einzigen Ausnahmen mit einem negativen Verdunstungstrend (vgl. Abb. 36).

An zahlreichen Stationen des Sahel resultieren aus den obigen Temperatur- und Verdunstungstrends naturgemäß negative Trends des Wasserhaushaltes. So folgen aus den positiven Temperaturtrends der Monate August, September, Oktober (Zunahme der Monatsmitteltemperatur) negative Feuchtetrends. Die Abnahme der relativen Feuchte ist jedoch nicht an allen Stationen für die entsprechenden Monate signifikant gesichert. Am deutlichsten ist die Abnahme der Feuchte an nahezu allen Stationen im Sahel der Republik Sudan

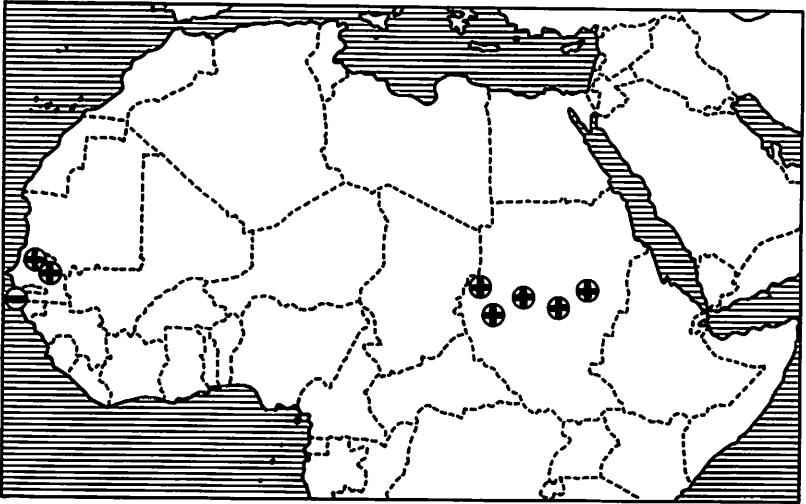


Abb. 35 Stationen im Sudan und im Senegal mit signifikanten Temperaturtrends im September

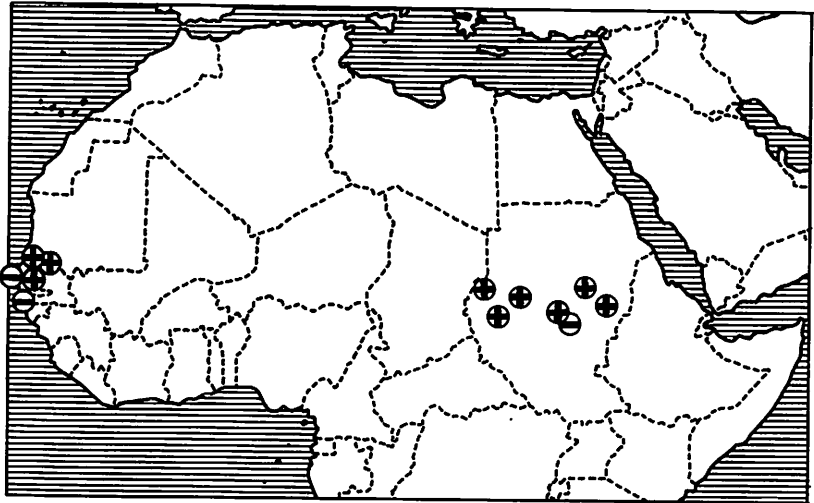


Abb. 36 Stationen im Sudan und Senegal mit signifikanten Verdunstungstrends im September

im Monat August mit Irrtumswahrscheinlichkeiten $< 1\%$; ebenso im nördlichen Senegal Als Ausnahmen in dieser homogenen Entwicklung sind die Stationen Kadugli und Dakar zu erwähnen, die während der gesamten Vegetationsperiode (Juni - Oktober) positive Feuchte-trends aufweisen. Einschränkend muß hier erwähnt werden, daß sich diese Trendberechnungen an der Station Kadugli auf einen Datensatz von 12 Jahren (seit 1970) beschränken müssen, wohingegen die übrigen Zeitreihen einen Umfang von 31 Jahren haben. Daß der errechnete Feuchtetrend für die Station Kadugli dennoch kein Zufallsprodukt ist, belegen die Zeitreihen der relativen Feuchte des September verschiedener Stationen (vgl. Abb. 37).

Sie verdeutlichen, daß die Station Kadugli offensichtlich einem südlicheren Feuchteregime angehört, das hier durch die Station Malakal repräsentiert wird, wohingegen die Stationen Nyala und El Obeid einem nördlicheren Feuchtetyp folgen.

Im Anschluß an die bisherigen Analysen kann für die Trends der Niederschlagszeitreihen davon ausgegangen werden, daß hier ebenfalls mit negativen Trends in den genannten Monaten gerechnet werden muß. Die erhöhten Mitteltemperaturen deuten auf ein vermehrtes Angebot fühlbarer Wärme hin, die wiederum unmittelbar als Motor für die potentielle Verdunstung fungiert. Eine solche Temperaturzunahme ist aber auch ein Hinweis auf die Änderung der Bowen-Ratio, da weniger Wärme in latenter Form "gebunden" wird. Die Trendanalysen der Niederschlagszeitreihen der einzelnen Monate während der Vegetationszeit ergeben jedoch kein so homogenes Bild bei allen Stationen wie es vielleicht zu erwarten gewesen wäre. Aber auch hier dominiert eindeutig der Monat August, der immerhin an 6 der 15 analysierten Stationen im Sudan und an 5 der 10 Stationen im Senegal signifikante Negativtrends zeitigt (vgl. Abb.38). Generell scheinen die Niederschlagstrends eher räumlich differenzierten Mustern zu folgen, im Gegensatz zu der zonalen Ausprägung der bisher dargestellten Trends. Andererseits blieben aber auch die zuvor genannten südlichen Regionen der Untersuchungsräume im Senegal und Sudan nicht von dieser Tendenz ausgespart.

Der räumlichen Anordnung der Niederschlagstrends sehr ähnlich ist auch die Verteilung der Trends der Anzahl der Niederschlagstage in den einzelnen Monaten ausgeprägt, so daß an weniger Tagen als bisher mehr Niederschlag fällt und daher mit einer ungünstigeren

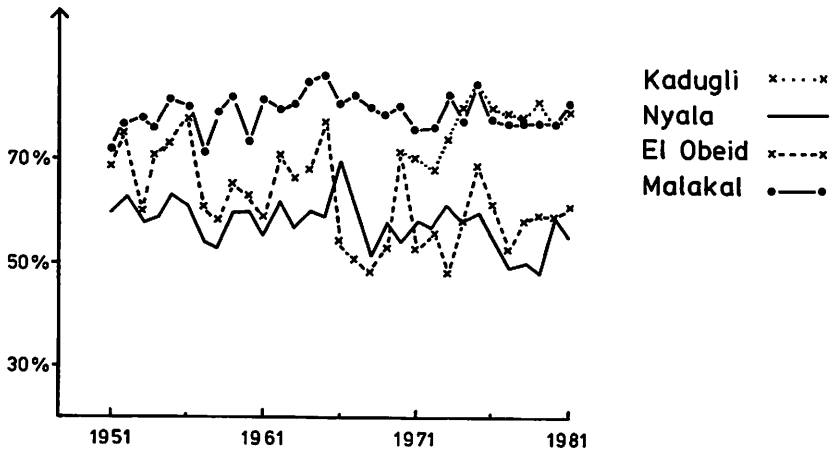


Abb. 37 Zeitreihen der relativen Feuchte des Monats September an den Stationen Kadugli, Nyala, El Obeid, Malakal

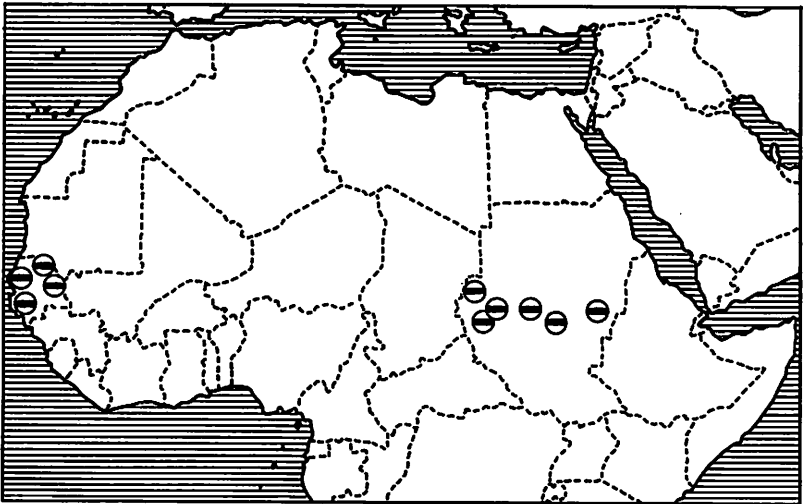


Abb. 38 Stationen im Sudan und im Senegal mit signifikanten Niederschlagstrends im August

Verteilung während der Saat- und Wachstumsphase zu rechnen ist. Die Station Kadugli weist als einzige Station während des August einen positiven Trend hin zu mehr Niederschlagstagen auf, was auf eine günstigere Verteilung der Regenmengen während der Wachstumsphase hindeutet.

Die Trendanalysen der Zeitreihen der Mitteltemperatur in Tunesien vermitteln ein sehr homogenes Bild für alle die Stationen, an denen Trends zu belegen waren. An diesen Stationen ist durchgängig ein negativer Temperaturtrend nachgewiesen, der sich vor allem im Norden des Landes auf die Monate November und Dezember konzentriert. Weiterhin ist ein negativer Temperaturtrend ebenfalls im Norden und nordwestlichen Teil des Landes im März nachgewiesen.

Die Trendanalysen der Niederschlags- und Regenzeitreihen der einzelnen Monate dokumentieren eine gegenläufige Entwicklung in verschiedenen Monaten. Ein Großteil der Stationen im Norden des Landes ist von einer negativen Trendentwicklung der Niederschläge bzw. Regentage im November betroffen, wohingegen im März ein positiver Niederschlagstrend zu verzeichnen ist.

7.5. Die möglichen Ursachen der Trends in den Zeitreihen der Klimaparameter und ihre Auswirkungen auf die Erträge

Die Niederschlagsbedingungen in den vorliegenden Untersuchungsräumen am Südrand der Sahara sind gekennzeichnet durch eine Abnahme der Niederschlagsmenge bei gleichzeitiger Zunahme der Variabilität von Süden nach Norden. Die jedoch grundsätzlich hohe Variabilität der Niederschlagsmengen in diesen Räumen wird in der nachfolgenden Abbildung 39 deutlich. Abgebildet sind die jährlichen Niederschlagssummen einiger Beobachtungsstationen in der Provinz Kordofan im Sudan für den Zeitraum von 1950-1980, sowie deren 5-jährig gleitende Mittel. Auf der Ordinate ist neben den Niederschlagsmengen die Standardabweichung in mm abgetragen. Niederschlagsdefizite sind demnach im Vergleich zum langjährigen Mittelwert als durchaus natürliche Ereignisse zu konstatieren (vgl. Klaus, 1982).

Wesentlich gravierender ist die Frage des ausgewählten Zeitintervalls, das diesen gesamten Analysen zugrunde liegt. Klaus (1982) hat anhand des Mittelwertes der langjährigen Niederschlagszeit-

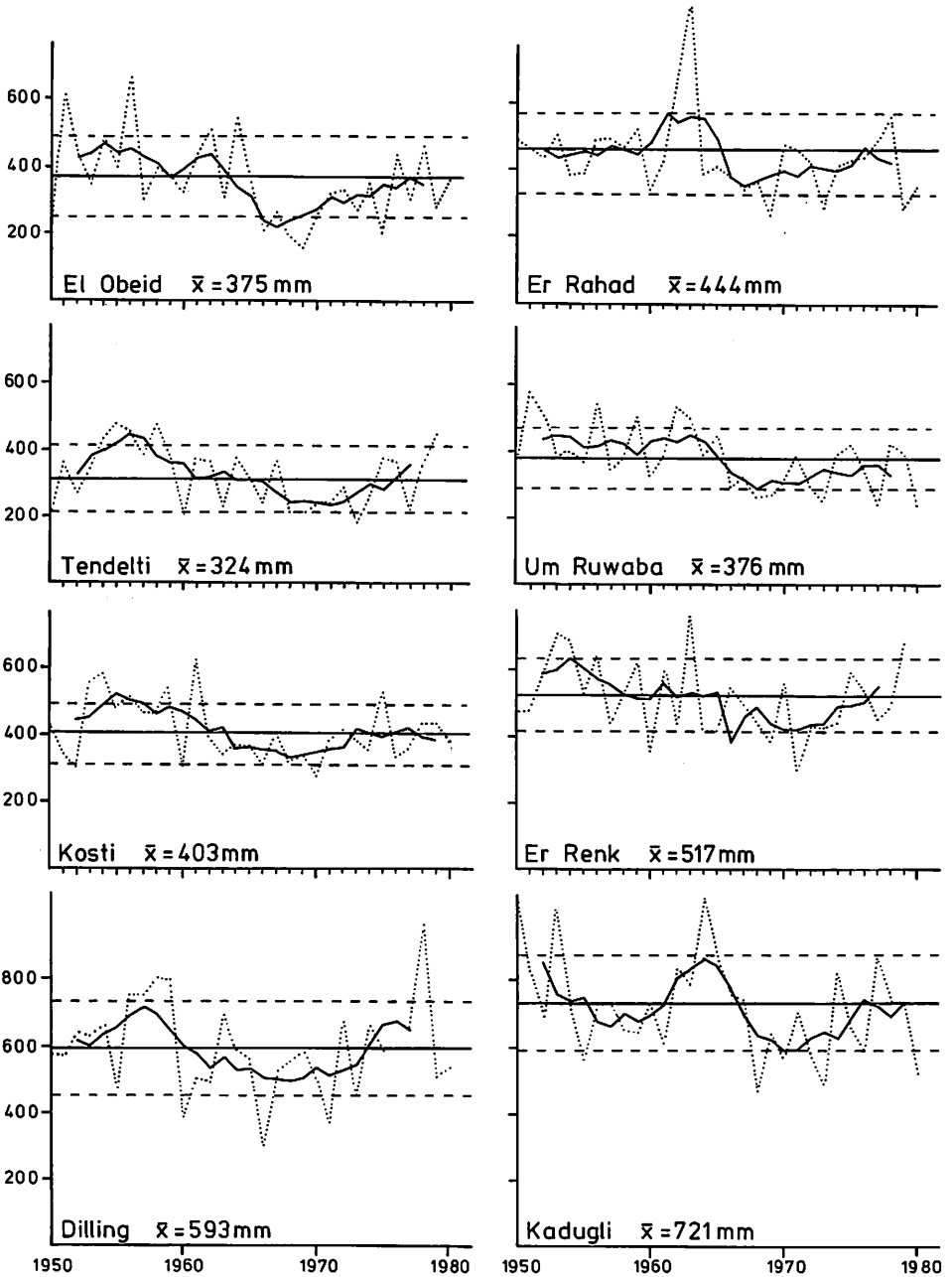


Abb. 39 Zeitreihen der Jahresniederschläge (gepunktet) und fünfjährig gleitende Mittel (durchgezogen) für ausgewählte Stationen in Kordofan (Sudan) - Die innere Ordinatenkalaierung beinhaltet den Mittelwert (durchgezogen) und die Standardabweichung (gestrichelt)

reihen (ab 1900) gezeigt, daß z.B. die Niederschläge im Sahel Westafrikas in der Periode 1968-1973 ca. 3 Standardabweichungen unter dem Mittelwert der Periode 1901-1930 abfielen. Diese Problematik der Wahl des Zeitintervalls ergibt sich natürlich auch bei der Berechnung der Trendanalysen, zumal die langjährigen Niederschlagszeitreihen seit Mitte der fünfziger Jahre positive Niederschlagsabweichungen belegen, denen dann im Westsahel seit 1958 und ebenfalls im zentralen und westlichen Bereich der Republik Sudan negative Abweichungen folgten, so daß die hier vorgenommenen Trendberechnungen einen Zeitraum abdecken, der zu Beginn durch positive und anschließend negative Trends charakterisiert ist. Im Gesamtzeitraum überwogen jedoch die defizitären Niederschlagssummen, so daß die Trends der Niederschlagssummen negativ ausfallen mußten und damit zunächst einmal nur die mit wenigen Ausnahmen (so z.B. 1976 im Senegal) seit Ende der sechziger Jahre fortdauernde Dürre belegen.

Daß diese letzte Dürre jedoch keine Ausnahme oder Besonderheit in diesem Jahrhundert darstellt, dokumentieren die langjährigen Zeitreihen der Stationen Khartoum, Saint Louis und Bathurst, die alle Dürreperioden auch in den Jahren 1910-1914 und 1940-1945 aufweisen, wenn auch die erste große Dürre dieses Jahrhunderts in Khartoum um einige Jahre zeitversetzt auftritt (vgl. Klaus, 1982). So belegen die Zeitreihen der Niederschlagsjahressummen der Station El Obeid, daß die Dürreperiode im Zentralsudan 1966 einsetzte und der erste Höhepunkt schon 1971 überschritten war.

Da die Ergebnisse der Trendanalysen auf einfachen linearen Regressionsmodellen beruhen, wurden für einige ausgewählte Stationen die zehnjährig gleitenden Korrelationskoeffizienten der monatlichen Niederschlagssummen gegen die Zeit berechnet. Dieses Verfahren hat den Vorteil, daß mit Hilfe der gleitenden Korrelationskoeffizienten Umkehrungen der Trends innerhalb der vorliegenden Zeitreihen sichtbar werden. In dem Beispiel aus dem südlichen Sahel des Senegal wird im Zeitraum 1920-1980 nur in wenigen Perioden eine Umkehr zu positiven Niederschlagsentwicklungen deutlich. Der überwiegende Anteil der Jahre ist durch negative Niederschlagstrends im August charakterisiert (vgl. Abb.40), was die Ergebnisse der linearen Trendberechnungen (1950-1980) erheblich aufwertet und von daher einen über einen bereits sehr lange andauernden Zeitraum vorhandenen Trend zu negativen Nieder-

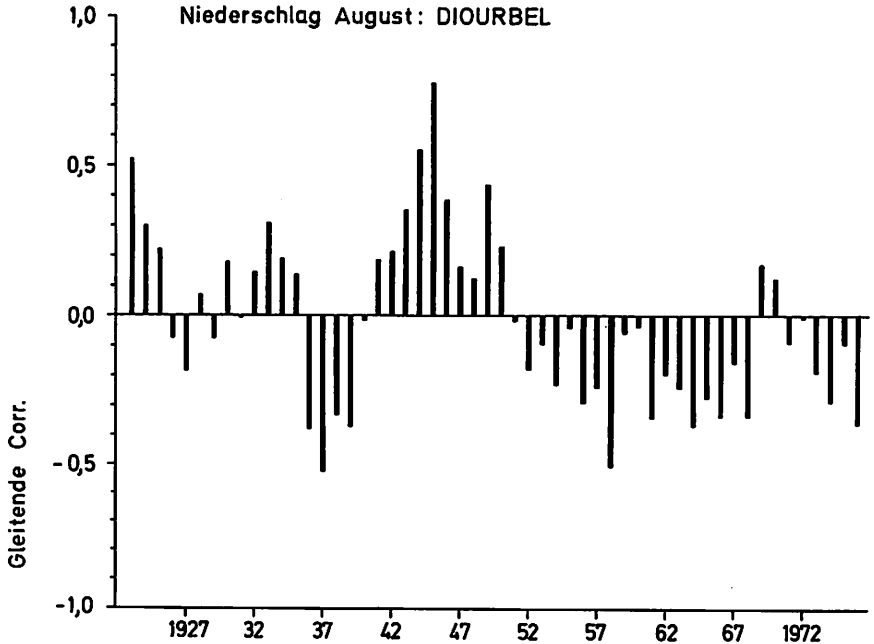


Abb. 40 10-jährig gleitende Korrelationskoeffizienten der Augustniederschläge an der Station Diourbel (Senegal)

schlagsbedingungen hin sehr wahrscheinlich macht.

Die Bedeutung dieser Entwicklung kann gar nicht hoch genug eingeschätzt werden, denn der August repräsentiert den entscheidenden Regenzeitmonat, sowohl für die natürliche Vegetation (vgl. Frankenberger, 1985) als auch für einen Großteil der angebauten Kulturpflanzen. Immerhin erklären die Niederschlagsbedingungen des August sowohl im Senegal als auch besonders im Sudan zwischen 30 und 70% der Gesamtvarianz der in einem Anbaujahr zu erzielenden Erträge (vgl. dazu Kap.8)!

Damit haben die Trendanalysen der jährlichen Niederschlagssummen zunächst zwei wesentliche Ergebnisse zu verzeichnen. Einmal trennen diese Analysen über die letzten 30 Jahre sehr scharf die Räume, die tatsächlich unter dem Einfluß der Sahel-Dürre, die ja nicht nur den Zeitraum von 1968-1973 umfaßte, sondern mit wenigen Ausnahmejahren in die achziger Jahre hinein dauerte, gestanden haben - im Sudan gilt das nur für die Provinz Darfur, nicht aber für die zentralen und östlichen Landesteile. Zum zweiten dokumentieren die Ergebnisse eine nachhaltig negative Entwicklung

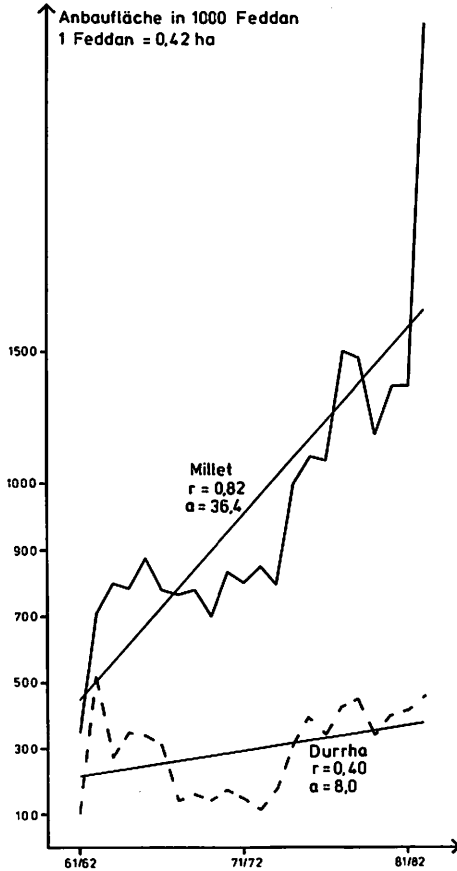


Abb. 41 Die Entwicklung der Anbaufläche der Hauptgetreidesorten in der Provinz Darfur im Sudan

für den traditionellen Regenfeldbau sowohl im Senegal als auch im Sudan.

Ergänzend soll hier noch einmal an das Kapitel 5.2. über die Landwirtschaftsregionen des Senegal und ihre Erträge erinnert werden. Dort ist darauf hingewiesen worden, daß von den zwei Hauptvarietäten der kleinen Hirsen in den letzten Jahren die Sorte eine zunehmende Verbreitung erfährt, die den kürzesten Vegetationszyklus besitzt und damit dem veränderten Wasserhaushalt am ehesten angepaßt ist. Aus dieser Tatsache heraus läßt sich auch erklären, warum ausgerechnet in der Region Diourbel ein signifikant positiver Trend in den Ertragszeitreihen der Hirsen (vgl. Abb.31) festzustellen war. Diese Region gehört zum Kern-

stück des sogenannten 'Erdnußbeckens' im Senegal. Die Erdnußerträge dieses Raumes sind in dem gleichen Zeitraum jedoch signifikant zurückgegangen. Die Gründe dafür liegen sowohl in den verschlechterten Wasserhaushaltsbedingungen der letzten Jahre begründet als sicherlich auch in den stagnierenden oder gesunkenen Weltmarktpreisen für diese Früchte. Konsequenterweise haben die Bauern dieser Region ihr Anbauverhalten geändert und vermehrt die Hirsesorte angebaut, die den kürzesten Vegetationszyklus besitzt, so daß die positiven Ertragstrends bei den Hirsen zu einem wesentlichen Teil von wirtschaftlichen Überlegungen mitverursacht worden sind.

Die gleiche Entwicklung dokumentieren die Anbauflächen der kleinen (Millet) und der großen Hirse (Durrha) in der Provinz Darfur. Die Gesamtanbaufläche der Millet wächst im Vergleich zur Durrha wesentlich schneller - eine Folge der besseren Anpassung der kleinen Hirsen an die negativ veränderten Wasserhaushaltsbedingungen (vgl. Abb.41).

Die Niederschlagsjahressummen an ausgewählten Stationen Tunesiens weisen keinerlei signifikantes Trendverhalten auf. Dennoch wurden auch hier die einzelnen Monate der Regenzeit (während der letzten 25 Jahre) analysiert. Besonders hervorzuheben ist für die Station Tunis die Niederschlagsentwicklung in der winterlichen Regenzeit. Der Oktober repräsentiert für die sommertrockenen Subtropen des mediterranen Raumes den Monat, in dem die ersten ausreichenden Niederschlagsmengen zu erwarten sind. Unmittelbar danach beginnt die Aussaat der Getreide. Die Analysen der zeitlichen Entwicklung der Oktoberniederschläge an der Station Tunis zeigt seit 1962 eine sehr deutliche Tendenz zu erhöhten Niederschlagsmengen in diesem Monat (vgl. Abb.42a).

Gleichzeitig haben sich die Niederschlagssummen im Dezember während des gleichen Zeitraumes negativ entwickelt (vgl. Abb.42b). Waren in Tunis zwischen 1950 und dem Beginn der sechziger Jahre im Oktober nur selten ausreichende Niederschlagsmengen zu erwarten, so verfügte erst der November über ausgeglichene Niederschlagsverhältnisse, so daß z.T. erst ab Dezember in den fünfziger Jahren eine erfolgsversprechende Aussaat der Getreide möglich war. Die übrigen Monate der winterlichen Regenzeit belegen dagegen für den Zeitraum der letzten 25 Jahre keinerlei nennenswerte Veränderungen. Eine solche Entwicklung hat unmittelbar Einfluß

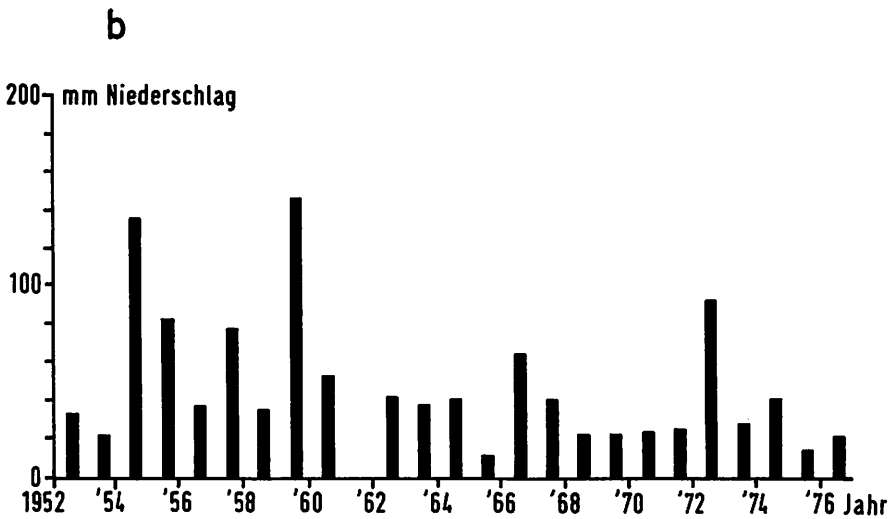
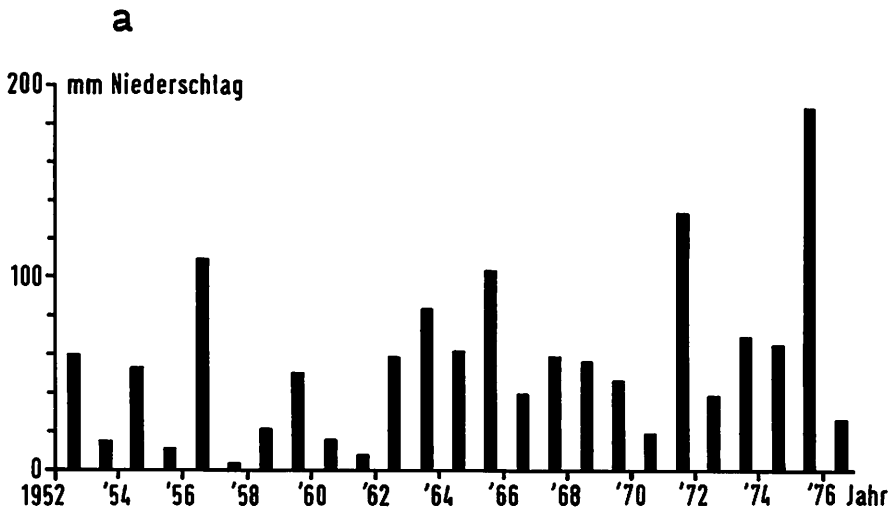


Abb. 42 Zeitreihen der Oktober- (a) und der Dezember- (b) Niederschläge an der Station Tunis

auf die beobachteten positiven Ertragstrends. Mit einem früheren Beginn der Regenzeit und damit der Vegetationsperiode stehen den Kulturpflanzen günstigere Wasserhaushaltsbedingungen zur Seite, als dies bei einem späteren Einsetzen, auch bei gleichen Niederschlagshöhen, der Fall ist. Dann ist der Vegetationszyklus weiter in das Frühjahr und den Frühsommer hinein verschoben, wo die bereits sehr hohen Temperaturen erhebliche Verdunstungsverluste verursachen, die z.T. zu erheblichen Ertragseinbußen führen.

Die Ursachen, die zu den anhaltend defizitären Niederschlagssummen in der Region südlich der Sahara führten, sind vielschichtig. Generell muß festgestellt werden, daß die regenbringenden feuchtwarmen monsonalen Luftmassen seit Mitte der 60er Jahre nicht mehr regelmäßig so weit in den afrikanischen Kontinent nach Norden vordrangen wie in den 15-20 Jahren zuvor. Neben verringerten Niederschlagsmengen führte diese Situation zu einer Veränderung des Verhältnisses von fühlbarer zu latenter Wärme, was die überwiegend positiven Temperaturtrends während der Regenzeitmonate dokumentieren. Gleichzeitig unterstützt der Mensch durch seine unangepasste Übernutzung des Naturraumes (Desertifikation) die anhaltende Tendenz zur Austrocknung.

Klaus (1982) konnte unter anderem belegen, daß das Niederschlagsgeschehen im Sahel mit der Häufigkeit bestimmter Großwetterlagen in Mitteleuropa eng korreliert. So ist die Zunahme meridionaler Großwetterlagen in Mitteleuropa während des gleichen Zeitraumes wesentlich mit dafür verantwortlich, daß die Nordwanderung der ITC über dem afrikanischen Kontinent erheblich eingeschränkt wurde. Aus diesem Zusammenhang heraus läßt sich auch die Veränderung der Niederschlagsverteilung in Tunesien erklären. Überwiegend zonalen Großwetterlagen in Mitteleuropa während des Sommers folgen erst im Spätherbst (November) ausreichende Niederschläge an der nordafrikanischen Küste. Eine Zunahme meridionaler Großwetterlagen hat ein früheres Einsetzen der winterlichen Regenfälle in Nordafrika zur Folge, was die Trendanalysen der Monatsniederschläge an der Station Tunis in vollem Umfang bestätigen.

Zusammenfassend dokumentieren die verschiedenen Untersuchungsergebnisse einen signifikant negativen Feuchtetrend in den letzten 30 Jahren für beide Untersuchungsräume südlich der Sahara. Für Tunesien konnten keine nachhaltigen Veränderungen der Niederschlagsjahressummen festgestellt werden. Es hat sich jedoch

gezeigt, daß die Niederschlagsverteilung innerhalb der Vegetationsperiode signifikante Veränderungen in den Jahren 1950-1976 erfahren hat. Diese Situation ist von Seiten der Agrarproduktion als insgesamt positiv zu bewerten, so daß allein von klimatischer Seite ein nicht unerheblicher Anteil der Trends in den Ertragszeitreihen erklärt werden kann.

Darüberhinaus konnten die Analysen der Ertragszeitreihen für nahezu sämtliche Kulturpflanzen der Untersuchungsgebiete südlich der Sahara negative Trends belegen. Trotz positiver Entwicklungen auf dem Sektor der Agrartechnologie folgen die Trends der Erträge den negativen Trends der Niederschlagsausprägung. Da diese Entwicklung in der überwiegenden Anzahl der Fälle zutraf, war es unmöglich, eine Trendeliminierung durchzuführen.

Eine Analyse der Zusammenhänge von Klima und Ernteertrag muß in dem vorliegenden Falle von anderen Voraussetzungen ausgehen als vergleichbare Studien in Mitteleuropa. Bei nahezu unveränderten Parametern des Naturhaushaltes kann bei Trends in den Ertragszeitreihen davon vermutet werden, daß diese agrartechnologisch begründet sind und deshalb abgezogen werden müssen (vgl. Hanus, 1969).

Aus den oben genannten Gründen wurde deshalb für alle drei untersuchten Räume auf eine Trendeliminierung verzichtet, zumal die anschließenden Untersuchungen ausschließlich den unmittelbaren Einfluß des Klimas auf die Ertragsausbildung zum Inhalt haben.

8. Zeitliche Ähnlichkeiten zwischen Ertragsdaten und Daten klimatischer Einflußgrößen

In Kapitel 6 ist mit Hilfe von Karten die räumliche Ausprägung der Ertragsmittelwerte und ihrer Variabilitäten für die einzelnen Feldfrüchte, differenziert nach Regionen (Gouvernoraten, Provinzen), dargestellt und beschrieben worden. Dabei konnten allein durch den visuellen Kartenvergleich Ähnlichkeitsstrukturen der Raummuster der Erträge beobachtet werden. In diesem Kapitel wird versucht zu erklären, inwieweit der Einfluß der Klimaparameter die zeitlichen Differenzierungen der Erträge zu erklären vermag. Dazu werden die Beziehungen zwischen den Klimaparametern und den Erträgen statistisch über einfache und schrittweise multiple Regressionen geprüft. "Sieht man im Ertrag das Produkt des Witterungsverlaufes während der gesamten Vegetationszeit, so war zunächst zu prüfen, ob zwischen der Witterung bestimmter Zeitabschnitte und den Erträgen eine besonders enge Beziehung vorhanden war" (Hanus, 1969, S.22). Die Witterung wird in der vorliegenden Untersuchung durch die Klimaparameter der mittleren monatlichen Lufttemperatur, der Niederschlagsmenge, der Anzahl der Regentage (>1 mm), der potentiellen Verdunstung sowie der relativen Feuchte repräsentiert. Die Zeitabschnitte werden durch die Monate gebildet, in denen der gesamte Vegetationszyklus abläuft, von der Aussaat bis zur Ernte.

Diese Analysen wurden für jede phänologische Phase (Monate) der einzelnen Kulturpflanzen und über alle Stationen getrennt durchgeführt. Dadurch kann für jede phänologische Phase ihr Gesamtanteil an der Varianzerklärung der erzielten Erträge bestimmt werden, und zweitens in den jeweiligen Räumen die Stationen benannt werden, die aufgrund ihrer individuellen Klimaparameter die höchste Varianzerklärung der Erträge anbieten. Es wurden für 51 Stationen mit mindestens 4 Kulturpflanzen und einer durchschnittlichen Vegetationsperiode von 4 bis 5 Monaten - für Tunesien sogar durchschnittlich 8 bis 10 Monaten - mehr als 1000 Regressionsanalysen durchgeführt. In diesem Kapitel kann nicht auf jede Feldfrucht an jeder Station einzeln eingegangen werden, so daß sich hier die Darstellung, Beschreibung und Interpretation auf die wichtigsten Feldfrüchte mit einzelnen Beispielen beschränken muß.

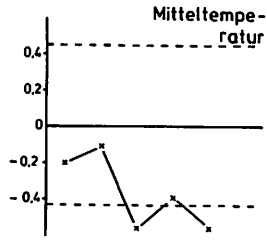
8.1. Beziehungen der einzelnen Klimaparameter in jeder einzelnen phänologischen Phase (Monate) zu den Erträgen

Zunächst galt es zu prüfen, in welchem Maße der einzelne Witterungsparameter für sich allein Einfluß auf die Ertragsbildung nehmen kann. Dazu wurden sämtliche einfachen Korrelationskoeffizienten zwischen den Klimaparametern und den Erträgen für jede einzelne phänologische Phase während der Vegetationsperiode errechnet. Alle Korrelationskoeffizienten größer 0,44 belegen eine Irrtumswahrscheinlichkeit von weniger als 5%.

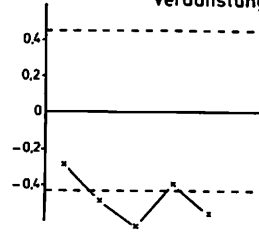
8.1.1 Beziehungen der einzelnen Klimaparameter in jeder phänologischen Phase (Monate) zu den Erträgen in der Sahelregion

Generell fällt auf, daß die Kurven für die einzelnen Klimaparameter je Feldfrucht einen sehr charakteristischen Verlauf nehmen. Für die tropischen Ackerfrüchte und die tropischen Stationen ist davon auszugehen, daß in einer entscheidenden Phase während des Vegetationszyklus eine besonders enge Beziehung zwischen einzelnen Klimaparametern und der Höhe der Erträge zu konstatieren ist. Die Milleterträge (Abb.43 obere Reihe) zeigen den höchsten Korrelationskoeffizienten ($r=-0,63$) mit der Verdunstung im August als Einflußgröße, die einen wesentlichen Anteil der Varianz der Erträge erklären kann. Eine hohe potentielle Verdunstung im August hat danach niedrige Milleterträge zur Folge. Ein absolut nur geringfügig niedrigerer Korrelationskoeffizient zwischen der relativen Feuchte und den Erträgen im gleichen Monat ($r=0,6$) zeigt, daß bei hoher relativer Luftfeuchtigkeit hohe Erträge zu erwarten sind. Danach sind für die Ertragsausbildung der kleinen Hirse wie auch der anderen tropischen Getreidearten die Wechselwirkungen zwischen dem Wärme- und Wasserhaushalt in erster Linie die herausragenden Einflußfaktoren. Hohe Niederschläge im August, verteilt auf eine große Anzahl von Regentage ist danach für die Keimungs- und Wachstumsphase von entscheidender Bedeutung, während für die Phase der Ährenausbildung nicht mehr dem Niederschlag, sondern vielmehr der Feuchte eine herausragende Bedeutung zukommt. Die Reifezeit im September/Okttober sollte trocken sein, bei nicht zu hohen Temperaturen.

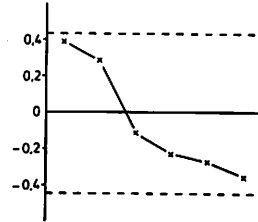
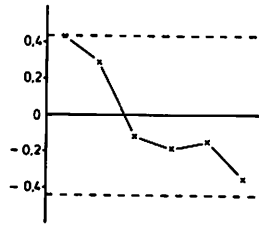
Er Rahad
Millet



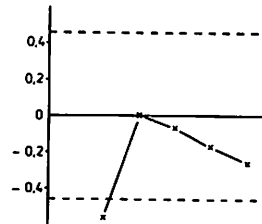
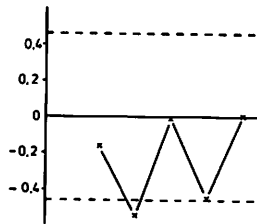
Verdunstung



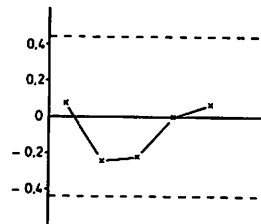
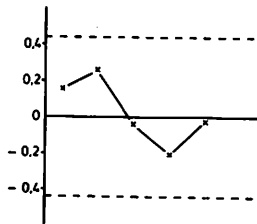
El Geneina
Sorghum



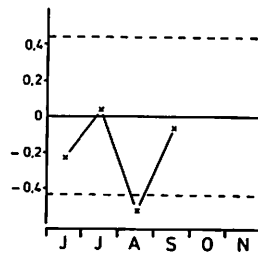
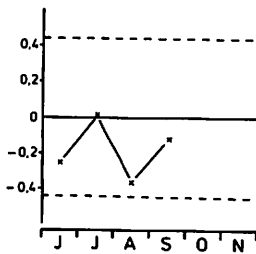
Linguère
Erdnüsse



Kolda
Reis



Tambacounda
Mais



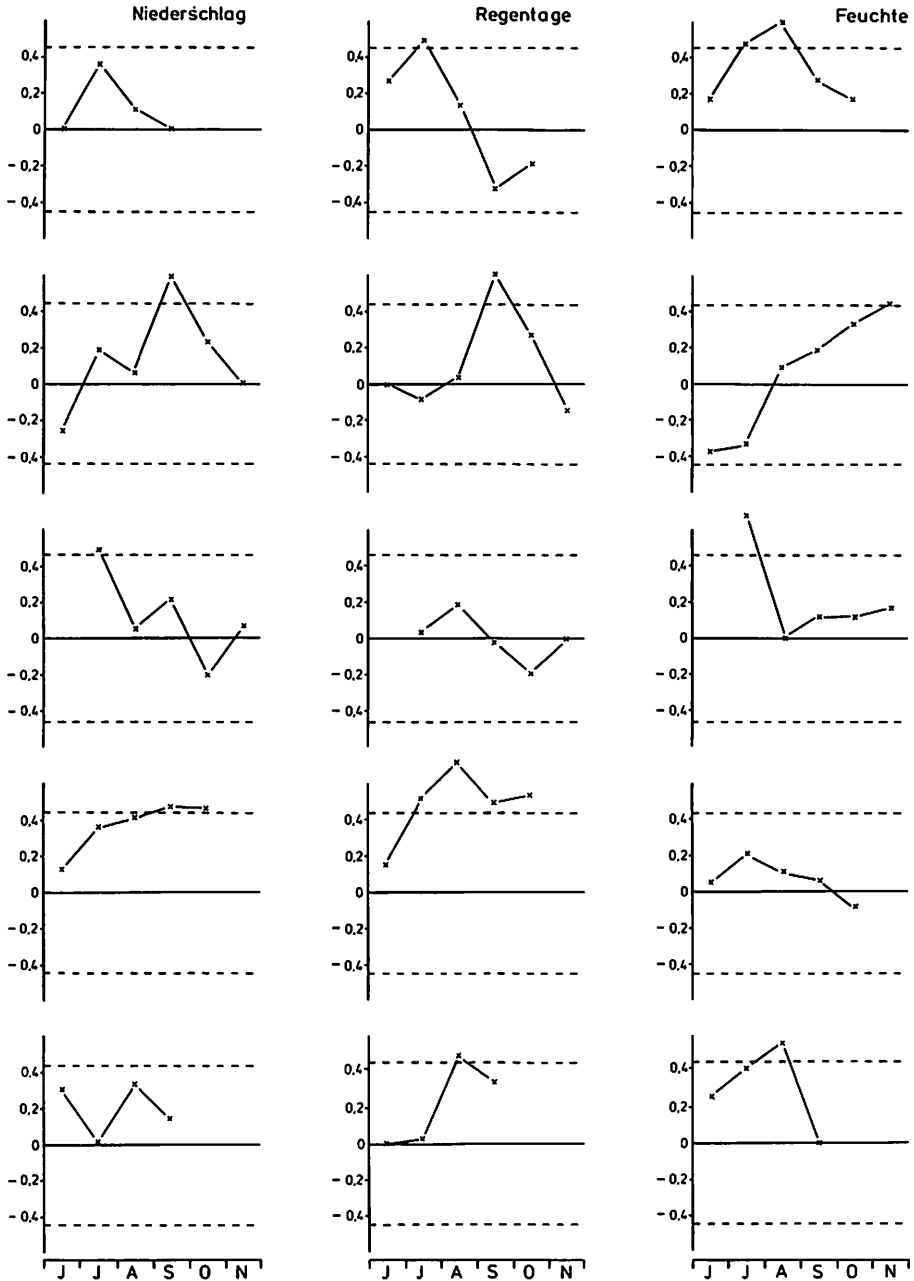


Abb. 43 Einfach-Korrelationskoeffizienten zwischen den Klimaparametern und den Erträgen verschiedener Kulturpflanzen an ausgewählten Beispielen

Davon abweichend gestaltet sich das Bild der Einflüsse der Klimaparameter auf die Ertragsbildung der großen Hirse (Abb. 43, zweite Reihe). Hohe Temperaturen und eine hohe potentielle Verdunstung zu Beginn der Regenzeit (Juli) wirken ertragsfördernd. Frühe Niederschläge im Juli machen einen positiven Einfluß auf die Keimungsphase wahrscheinlich, jedoch nicht signifikant belegbar. Der August selbst kann dabei relativ trocken ausfallen, wenn die Temperaturen nicht zu hoch sind. Entscheidend sind im Anschluß daran die Wasserhaushaltsbedingungen im September, wo sowohl die Niederschlagsmenge als auch die Anzahl der Niederschlagstage die höchsten Korrelationskoeffizienten erzielen. Es ist dies die Hauptwachstumsphase der großen Hirse mit der Anlage der Körner. Die Zeit der Reife verträgt keine Niederschläge, wird aber durch hohe Feuchte der Luft begünstigt. Damit stellt die große Hirse unter den Brotgetreiden eine bedeutende Ausnahme dar, denn sie ist die einzige Art, die Trockenperioden, vor allem während des Hauptniederschlagsmonats, übersteht.

Die beiden noch verbleibenden Kulturpflanzen, die als Grundnahrungsmittel dienen, der Reis und der Mais, zeigen eine ausgesprochen deutliche Abhängigkeit der Erträge vom Wasserhaushalt des August (Abb. 43, vierte und fünfte Reihe). Hohe Niederschläge zu diesem Zeitpunkt, verteilt auf eine große Anzahl von Regentagen, verursachen eine positive Ertragsbildung. Der Mais ist dabei aufgrund seiner sehr kurzen Vegetationsperiode besonders dürrefährdet, wohingegen der Reis während seines gesamten Entwicklungszyklus hohe Niederschlagsmengen benötigt und von daher in der Sahelzone nur unter Bewässerung kultiviert werden kann.

Generell sind die Erdnußerträge negativ mit den Temperaturen und der Verdunstung korreliert, so daß für eine erfolgreiche Ertragsbildung mittlere Temperaturen förderlich sind (Abb. 43, dritte Reihe). Die wichtigsten Niederschläge für den Erdnußanbau fallen im Juli, wohingegen die Pflanze im Hauptregenzeitmonat nur relativ wenig Regens bedarf und deshalb, ähnlich wie die großen Hirsen, Trockenperioden während diesen Monats z.T. völlig unbeschadet übersteht. Ein zweites, jedoch wesentlich niedriger ausgebildetes Maximum des Niederschlagsbedarfes konzentriert sich auf den September. Der relativen Feuchte kommt dabei nur während des Juli eine größere Bedeutung zu.

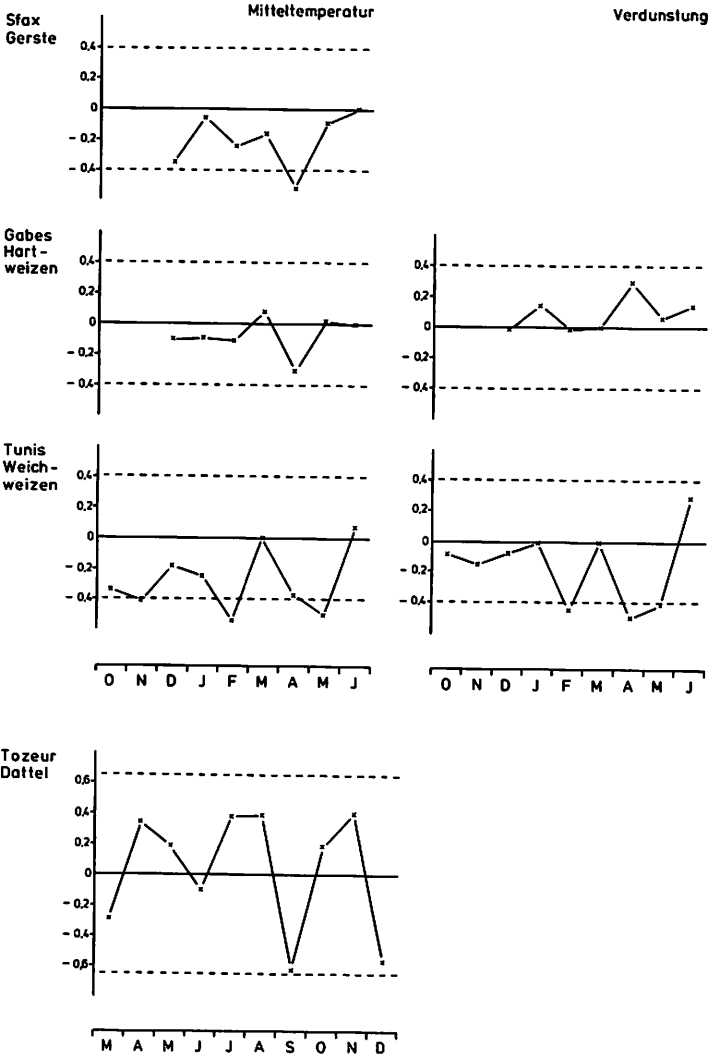
8.1.2. Beziehungen der einzelnen Klimaparameter in jeder phänologischen Phase (Monat) zu den Erträgen in der mediterranen Steppenzzone Tunesiens

Die relative Bedeutung bestimmter Zeitabschnitte für die Ertragsbildung der Kulturpflanzen der nordafrikanischen Steppengebiete machen ebenfalls die einfachen Korrelationen zwischen den Witterungsparametern und dem Ertrag deutlich. Die Ertragsbildung wird durch den Dualismus von Wärme- und Wasserhaushalt in den entscheidenden Abschnitten des Vegetationszyklus geprägt.

Die Erträge der Gerste stehen mit zwei Ausnahmen nur in loser Beziehung zu den Mitteltemperaturen. Diese Ausnahmen beschränken sich auf den Dezember und den April (Abb. 44, obere Reihe). Im ersten Fall wird die Signifikanzschwelle knapp unter-, im zweiten Fall deutlich überschritten, wobei sich zu niedrige Temperaturen im Dezember, dem wichtigsten Regenmonat, negativ beim Keimungsvorgang auswirken. Zu hohe Temperaturen im April während der Reife lassen ebenfalls Ertragseinbußen erwarten.

Der Wasserhaushalt ist deutlich von zwei Phasen geprägt, den Niederschlägen im Dezember, dem Hauptaussaatmonat im zentralen und südlichen Teil des Landes, und dem Februar, der nach einer erfolgreichen Keimung als der wichtigste Monat für das Größenwachstum und die Ährenausbildung verantwortlich ist.

Die Korrelation zwischen den Hartweizenerträgen und den Klimaparametern belegt ebenfalls sehr enge Beziehungen zu den Niederschlagsmengen bestimmter Monate. Wie im Falle der Gerste ist der Dezember der Hauptaussaatmonat, in dem hohe Niederschläge eine positive Ertragsbildung erwarten lassen, wobei hier mehr die Menge als die Verteilung in den Vordergrund tritt (Abb. 44, zweite Reihe). Diese Situation ändert sich im weiteren Verlauf der Vegetationszeit. Die absoluten Ansprüche an den Wasserhaushalt werden von der Menge her geringer, sie muß, mit zunehmender Tendenz, besser auf den Monat verteilt sein. Generell zeitigt der Wasserhaushalt der Monate Dezember, Februar und März eine überragende Bedeutung für die Ertragsbildung des Hartweizens. Während der Reifezeit nehmen die positiven Korrelationen der Wasserhaushaltsparameter sprunghaft ab, bei gleichzeitig zunehmender Bedeutung der potentiellen Verdunstung, so daß trockene Verhältnisse während dieser Zeit hohe Erträge wahrscheinlich machen.



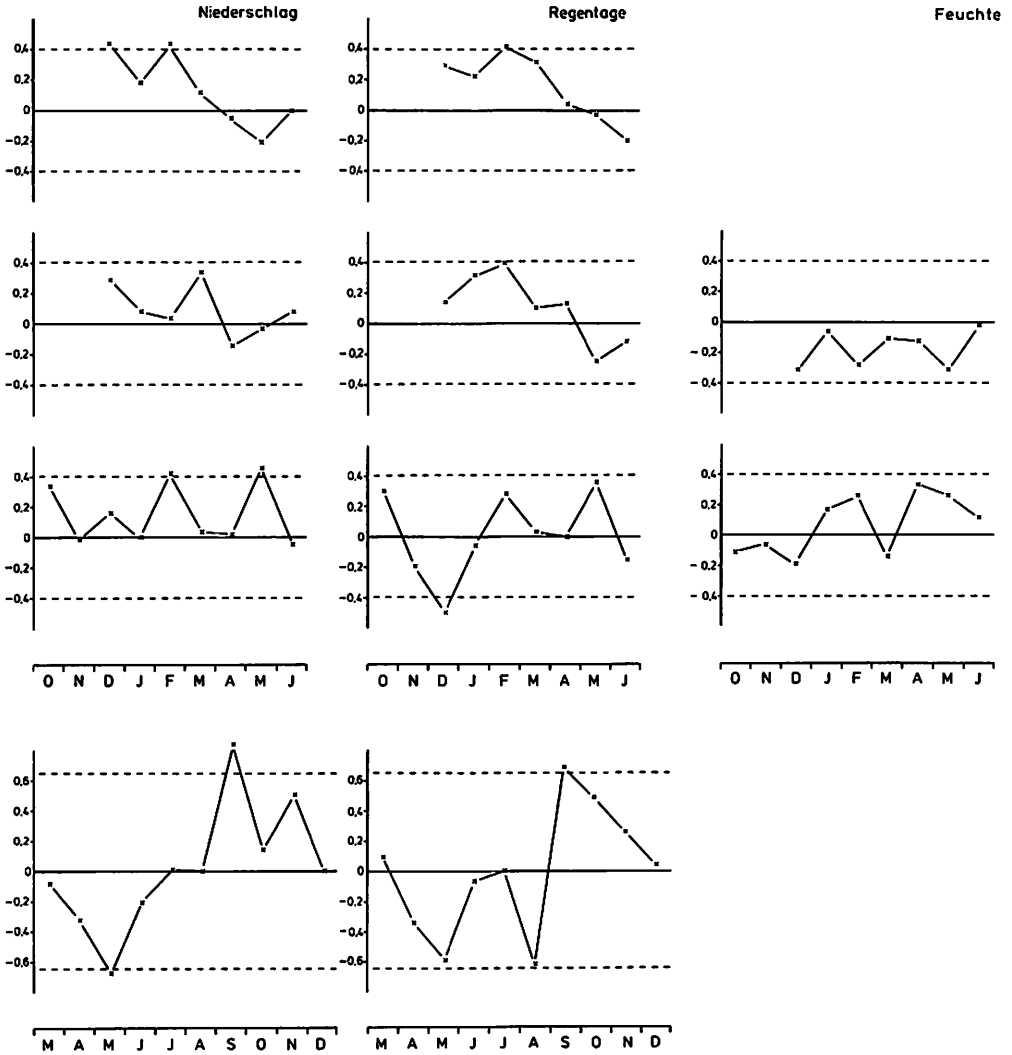


Abb. 44 Einfach-Korrelationskoeffizienten zwischen den Klimaparametern und den Erträgen verschiedener Kulturpflanzen an ausgewählten Beispielen

Auch die Erträge des Weichweizens sind während großer Abschnitte der Vegetationsperiode durch signifikant negative Beziehungen zu den Mitteltemperaturen und der potentiellen Verdunstung gekennzeichnet (Abb. 44, dritte Reihe). Einzige Ausnahme ist der Reife-monat Juni, in dem ein sehr trockenes Milieu die Erträge günstig beeinflußt. Mit dem Einsetzen der winterlichen Regenzeit im Oktober beginnt die Aussaat, so daß hohe Niederschläge während dieser Phase eine günstige Keimung des Getreides bewirken. Die zweite wichtige Phase im Vegetationszyklus repräsentiert die Wachstumsphase mit der Ährenanlage, die signifikant positive Korrelationen mit den Niederschlägen im Februar zeitigt. Darüberhinaus zeigen die Kurven des Weichweizens ein weiteres Maximum (im Mai) der positiven Beziehungen zwischen dem Niederschlag und den Erträgen. Hierbei handelt es sich um eine Phasenverschiebung des zuvor dargestellten Kurvenverlaufes. Der normale Aussaatmonat ist der Oktober und das Ende des Vegetationszyklus ist im April erreicht. Zum Teil wird der Weichweizen aber noch bis Ende November und Anfang Dezember ausgesät, so daß der gesamte Zyklus weiter in das nächste Jahr hinein verschoben wird und sich daher dieser dritte Peak in der beschriebenen Kurve erklärt.

Der Ölbaum besitzt einen zweijährigen Zyklus und wird deshalb in Kap. 8.3.3. gesondert behandelt.

8.2. Die Varianzerklärung der Erträge durch den Gesamteinfluß der zeitlich differenzierten Klimaelemente

Die Ergebnisse dieser Rechenanalysen sind anhand einer Auswahl von Stationen mit den dort kultivierten Ackerfrüchten den Abb. 45-52 zu entnehmen. Zur vereinfachten Interpretation sind nicht die multiplen Korrelationskoeffizienten, sondern die multiplen Bestimmtheitsmaße abgetragen. Ein Bestimmtheitsmaß von 0,75 besagt danach, daß die Erträge zu 75% durch die Variabilität der Klimaparameter erklärt werden können. Diese Form der Darstellung erlaubt es auch, den unterschiedlich erklärten Varianzanteil der Ernteerträge von den Klimaparametern her zu prüfen, d.h. die Frage zu beantworten, an welcher Station das Klima in welcher phänologischen Phase die Ernteausbildung wie zu erklären vermag. Handelt es sich bei den ausgewählten Räumen um nahezu homogene Gebiete, bezogen auf den Einfluß der Klimaparameter und unter Vo-

raussetzung ähnlicher edaphischer Bedingungen, so wäre für die einzelnen Darstellungen der verschiedenen Kulturpflanzen ein sehr ähnlicher Kurvenverlauf zu erwarten, der als höchste Ähnlichkeitsstufe einen nahezu parallelen Verlauf an verschiedenen Stationen annehmen müßte.

8.2.1. Im Senegal

Ganz allgemein fällt bei dem Vergleich sämtlicher Kurvenverläufe der Monatswerte der tropischen Stationen im Senegal auf, daß in zwei entscheidenden Perioden die Klimaparameter in besonders enger Beziehung zum Ertrag stehen, und zwar während des Hauptregemonats, im August oder während des Juli und des September. Besonders ausgeprägt ist diese Regelhaftigkeit in den Kurven der Brotgetreide ausgebildet. Ein Vergleich der Kurven des Hirseanbaues im Senegal legt zwei Ergebnisse nahe. Die offizielle senegalesische Landwirtschaftsstatistik unterscheidet nicht wie die sudanesischen zwischen Pennisetum und Sorghum, sondern faßt die Erträge beider Arten zu den Hirseerträgen zusammen. Aus den Kurven der Abbildung 45 kann dennoch leicht differenziert werden, um welche Hirsearten es sich in den einzelnen Provinzen tatsächlich handelt.

Für die Provinz Fleuve (St. Louis) kann hiernach zunächst eindeutig der Milletanbau identifiziert werden, der in normalen und feuchten Jahren selbst in der nördlichsten Provinz noch praktiziert wird, und zwar ausschließlich auf der Grundlage der natürlichen Niederschläge im Sommer. Das bedeutendere Brotgetreide liefert jedoch der Sorghumanbau. Er wird hier auf der Basis der Flußbewässerung entlang des Senegalflusses praktiziert, vergleichbar mit großen Teilen der landwirtschaftlich genutzten Fläche der Provinz Blue und White Nile im Sudan. Da die Hochwasserfluten den nördlichen Teil im Senegal erst mit einer Zeitverzögerung von 1 - 1,5 Monaten erreichen, ist mit der Aussaat der großen Hirsen nicht vor Ende August, Anfang September zu rechnen, wenn das sommerliche Hochwasser bereits langsam zurückgeht und damit die Uferbereiche für den Anbau freigibt. Der Kurvenverlauf der multiplen Bestimmtheitsmaße je Monat für die Beziehung zwischen den Klimaparametern und den Ernteerträgen repräsentiert an der Station St. Louis genau genommen zwei verschiedene

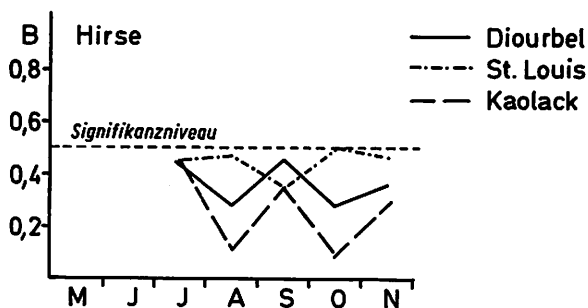


Abb. 45 Multiple Bestimmtheitsmaße je Monat für die Beziehungen zwischen den Witterungsfaktoren und den Hirseerträgen an ausgewählten Stationen im Senegal

Vegetationszyklen, den der kleinen Hirsen vollständig und gleichzeitig die wichtigsten Abschnitte der Vegetationszeit der großen Hirsen. Der Pennisetum-Zyklus ist mit der Ernte im Oktober beendet. Der Sorghum-Zyklus beginnt im September und hat im ersten Monat den gleichen Verlauf wie der ausklingende Millet-Zyklus. Gleichzeitig repräsentiert der Kurvenverlauf von September bis einschließlich November die entscheidenden ersten 2/3 des Vegetationszyklusses der großen Hirsen. Den großen Hirsen (vgl. Kap. 8.3) kommt nach dem Verlauf der Kurven eine besondere Bedeutung zu, weil sie - unter natürlichen Anbaubedingungen - in den Monaten Juli und September die engsten Beziehungen zwischen dem Klima und den Erträgen ausweisen, wohingegen der August eine sehr untergeordnete Rolle in den Abhängigkeiten der Erträge von den klimatischen Parametern spielt.

Sehr eindrucklich spiegelt diese Verhältnisse der Kurvenverlauf an der Station Diourbel wieder. Obwohl diese Region als Zentrum des Erdnußbeckens neben den Erdnüssen vorwiegend Pennisetum kultiviert, weist der Kurvenverlauf auch auf Sorghumanbau hin. Überraschen kann dieses Ergebnis jedoch darum nicht, weil die Region Diourbel bereits Jahresniederschläge von über 600 mm erhält und zudem über günstige edaphische Bedingungen (Dunes continentales tres emoussees) verfügt, die, ähnlich wie im Altdünengürtel der Provinz Nordkordofan, bereits in 'normalen' Jahren einen erfolgversprechenden Sorghumanbau wahrscheinlich macht.

Wiederum edaphische Gründe müssen angeführt werden bei der Beant-

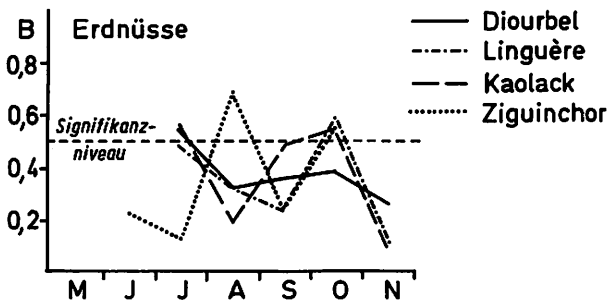


Abb. 46 Multiple Bestimmtheitsmaße je Monat für die Beziehungen zwischen den Witterungsfaktoren und den Erdnußerträgen an ausgewählten Stationen im Senegal

wortung der Frage, warum der Kurvenverlauf der etwas südlicher gelegeneren und damit feuchteren Station Kaolack den Vegetationszyklus der Pennisetum-Hirse repräsentiert. Die Böden dieser Region werden als 'sols ferugineux lessivees', plateauartig ausgebildet mit einem z.T. nur sehr geringmächtigen sandigen Oberboden, klassifiziert. Hier sind die kleinen Hirsen eindeutig im Vorteil, weil sie im Vergleich zu den großen Hirsen ein nur sehr flaches Wurzelwerk ausbilden.

Für die Erdnüsse ist kennzeichnend, daß hier bereits sehr enge Beziehungen zwischen den klimatischen Verhältnissen des Aussaatmonats mit den Erträgen vorliegen (vgl. Abb.46). Bei der Mehrzahl der Beispiele handelt es sich um den Monat Juli. Ein weiteres Maximum in den Beziehungen zwischen den Klimaparametern und den Erträgen fällt auf den Oktober, den Monat unmittelbar vor der Ernte der Erdnüsse. Er sollte über einen möglichst trockenen Boden verfügen, damit möglichst wenig Erde an den Hülsen klebt. Ein zu nasser Boden verursacht große Ernteverluste, weil die Hülsen von Hand aus dem Boden gezogen werden und bei einem klebrigen und feuchten Boden ein Großteil der Hülsen beim Herausziehen abreißt und damit in der Erde verbleibt. Die einzige Ausnahme bildet im Senegal die Station Ziguinchor, wobei hier jedoch zum Tragen kommt, daß die Regenzeit dort zwar früher beginnt als in den übrigen Regionen, auf der anderen Seite aber die klimatischen Bedingungen zu Beginn der Regenzeit und während der Hauptwachstumsperiode zu ungünstig sind (zu feucht), so daß die Feuchtig-

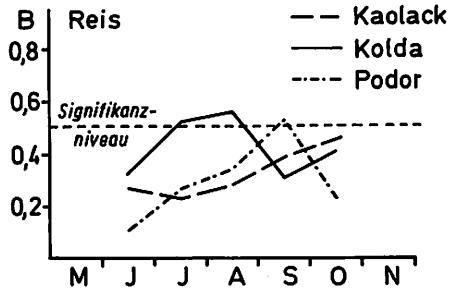


Abb. 47 Multiple Bestimmtheitsmaße je Monat für die Beziehungen zwischen den Witterungsfaktoren und den Reiserträgen an ausgewählten Stationen im Senegal

keitsverhältnisse hier sehr enge Beziehungen zwischen der Augustwitterung und den Erträgen hervorrufen. Die Erdnuß ist bekannt als trockenresistente Pflanze, die sehr früh ein tiefreichendes Wurzelsystem entwickelt. Wesentlich negativer dagegen wirken sich zu feuchte Bedingungen in der Phase des vegetativen Wachstums im August aus. Deshalb resultieren für den Bereich der Casamance (Station Ziguinchor) bei relativ trockenen Bedingungen hohe positive Korrelationskoeffizienten in der Beziehung Klima-Ertrag.

Auch für den Reis belegen die multiplen Bestimmtheitsmaße der Monate August und September sehr deutliche Beziehungen zwischen den klimatischen Bedingungen und den Erträgen (vgl. Abb.47).

Es handelt sich dabei im ersten Fall um die Bewurzelungs- und Bestockungsphase, im September um die Fruchtentwicklung, die beide zusammen den höchsten Wasserbedarf repräsentieren. In der ca. einen Monat andauernden Reifephase nach der Blüte bevorzugt der Reis trockenere Verhältnisse, was sich in einer loseren Beziehung zwischen den klimatischen Bedingungen während dieser Zeit dokumentiert. Besonders auffällig zeigt die Station Kolda zu Beginn der Vegetationsperiode einen völlig anderen Verlauf als die übrigen Stationen. Die Ursache für eine solche Kurvenausprägung liegt in der Ökophysiologie des Rispengrases begründet. "Reis bringt die besten Erträge in Gebieten mit lang andauerndem Sonnenschein, wie im Mittelmeerraum oder in Kalifornien. In den Tropen sind die Erträge in wolkenreichen Lagen oder während der Regenzeit niedriger als in sonnenscheinreichen Gebieten oder Jahreszeiten" (Rehm/

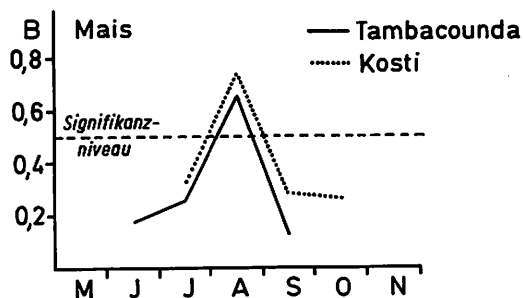


Abb. 48 Multiple Bestimmtheitsmaße je Monat für die Beziehungen zwischen den Witterungsfaktoren und den Maiserträgen an ausgewählten Stationen im Senegal

Espig, 1976, S.21). Eben diese letztgenannten Bedingungen verursachen die sehr engen Beziehungen zwischen der klimatischen Ausprägung des Juli und August und den Reiserträgen in der Provinz Casamance. Denn mit der Nordwanderung der Regenzeit ist für den Süden des Senegal während dieser Monate ein hoher Bewölkungsgrad verbunden, der die Ertragsmengen negativ beeinflusst.

Optimale Bedingungen dagegen findet der Reisanbau auf den Uferbänken des Senegal, wo während der gesamten Vegetationsperiode optimale Temperatur- und Lichtverhältnisse vorherrschen. Unterstützung findet diese Begründung in den wesentlich höheren ha-Erträgen der Provinz Fleuve im Vergleich zu denen der Provinz Casamance (vgl. Kap. 6.1.). Das Beispiel mit den engsten Beziehungen zwischen dem Klima und den zu erwartenden Erträgen stellen die Kurven des Mais dar und das in einem quasi parallelen Lauf sowohl für den Senegal als auch den Sudan im Monat August, dem Hauptregenzeitmonat, der zwischen 74 und 68% der Erträge allein aus der Variabilität der Witterungsfaktoren dieses einen Monats erklärt (vgl. Abb.48).

8.2.2. Im Sudan

Auch wenn z.B. die Höhe der multiplen Bestimmtheitsmaße in den Kurven der Millet-Erträge (Abb. 50) unterschiedlich stark in Erscheinung treten, so weisen sie doch alle einen sehr ähnlichen Verlauf auf. Die einzige Ausnahme stellt die Station Kadugli (Süd-Kordofan) dar, wo aufgrund der südlicheren Lage und des

vorgezogenen Regenzeitbeginns die höchste Varianzerklärung bereits in den Juli fällt; der zweite Peak in der Kurve ist dadurch zu erklären, daß im September, dem Erntemonat in dieser Region, noch sehr häufig Niederschläge auftreten, die eine gute Ernte gefährden.

Die multiplen Bestimmtheitsmaße zwischen den Klimaparametern der einzelnen Monate und den Sorghumerträgen im Sudan zeigen für alle vier hier vorgestellten Beispiele einen nahezu parallelen Verlauf (vgl. Abb. 50). Besonders deutlich ist dabei ein zweigipfliges Maximum in den erklärten Varianzanteilen der phänologischen Phasen des Juli und September ausgeprägt. Im ersten Fall handelt es sich um die Keim- und die anschließend beginnende Schoßphase, im zweiten Fall um die Blütezeit, deren positive Entwicklung - und damit eine gute Ernte - wesentlich durch den klimatischen Wasserhaushalt gesteuert wird. Der August hingegen liefert kaum nennenswerte Varianzerklärungen (vgl. dazu auch das Beispiel aus dem Senegal Abb. 45). Dennoch erreichen die multiplen Bestimmtheitsmaße der Augustwitterung an den Stationen Kadugli und Dilling Beträge, die einer gesonderten Begründung bedürfen. Der Durrha-Anbau (*Sorghum vulgare*) in der Provinz Südkordofan ist edaphisch auf die "black cotton soils" beschränkt, die aufgrund ihrer hohen Tonanteile bei hoher Feldkapazität und hohem permanenten Welkepunkt (vgl. dazu Schmiedecken, 1979) auch während des August über ausreichende Niederschlagsmengen verfügen müssen, um eine positive Ertragsausbildung gewährleisten zu können. Ebenfalls edaphische Gründe müssen für die Station Dilling angeführt werden. Sie liegt am äußersten westlichen Rand der großen Tonebene Südkordofans, im Übergangsbereich zum unmittelbar westlich anschließenden Pedimentbereich des hier an die Oberfläche tretenden kristallinen Sockels der Kadero Berge. Die z.T. sehr flachgründigen Böden bedürfen in diesem Monat ebenfalls ausreichende Niederschläge, um einen ungestörten Vegetationszyklus der großen Hirse zu gewährleisten. Im Vergleich dazu zeigt die Station En Nahud, obwohl sie aufgrund ihrer Lage weiter im Norden mit niedrigen Niederschlagsmengen auskommen muß, daß der wenige Regen, der fällt, in den Goz-Böden sofort versickert und dadurch den Hirsen auch in Trockenphasen weiterhin zur Verfügung steht. Die Folge ist eine lose-re Beziehung der Ernteerträge zu den klimatischen Bedingungen während des August an dieser Station.

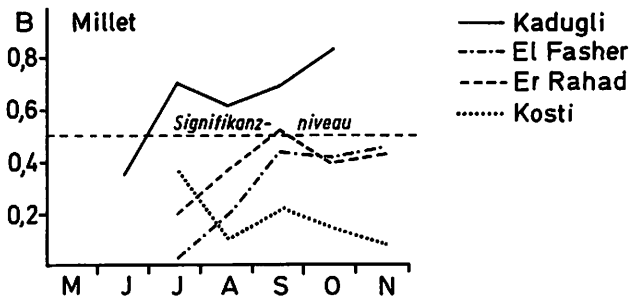


Abb. 49 Multiple Bestimmtheitsmaße je Monat für die Beziehungen zwischen den Witterungsfaktoren und den Milletterträgen an ausgewählten Stationen

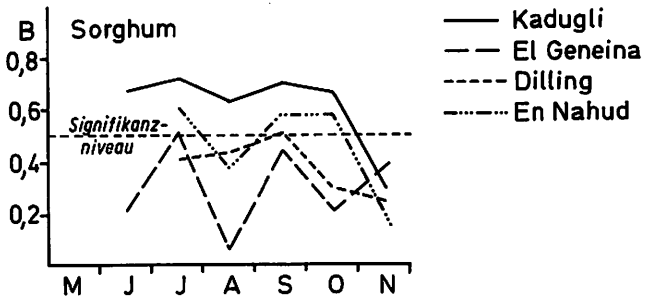


Abb. 50 Multiple Bestimmtheitsmaße je Monat für die Beziehungen zwischen den Witterungsfaktoren und den Sorghumerträgen an ausgewählten Stationen

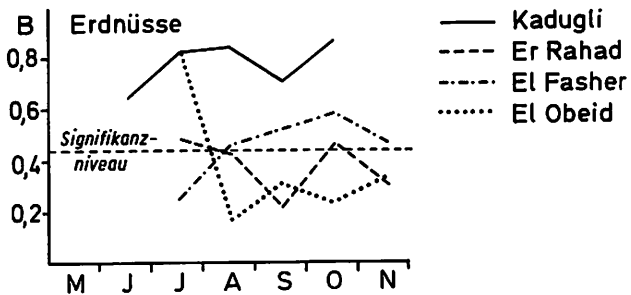


Abb. 51 Multiple Bestimmtheitsmaße je Monat für die Beziehungen zwischen den Witterungsfaktoren und den Erdnußerträgen an ausgewählten Stationen

Vergleichbar den Ergebnissen im Senegal stellen sich die multiplen Bestimmtheitsmaße zwischen den Erdnußerträgen und den Klimaparametern im Sudan dar (vgl. Abb. 51). Die Aussaat der Erdnuß erfolgt Mitte Juli, und die Ernte beginnt in der ersten Novemberwoche. In Südkordofan (Kadugli) gilt der gleiche Vegetationszyklus, jedoch um 1/2 - 1 Monat vorverlegt. Die Ursache, warum die Kurvenverläufe im Sudan nicht ganz so deutlich denen des Senegal folgen, liegt in der Wasserversorgung der hier untersuchten Regionen. Das 'Erdnußbecken' des Sudan muß im Durchschnitt mit 100-150 mm weniger Niederschlag während der Vegetationsperiode auskommen als das vergleichbare Gebiet im Senegal, so daß hier neben dem Juli auch noch dem August eine bedeutende Rolle für die Wasserversorgung der Erdnußpflanze zukommt. Darüberhinaus führt in vielen Jahren ein verzögertes Einsetzen der Regenzeit auch zu einer verzögerten Aussaat bis hinein in die ersten Augusttage. Für die Station Kadugli ist diese Argumentation ebenfalls zutreffend. Der Anbau ist dort ausschließlich auf die sandigen, aber nur sehr flachgründig ausgebildeten Hangfußbereiche der kristallinen Bergsockel der Nuba-Berge beschränkt, so daß in diesem Bereich während der vegetativen Wachstumsphase die im Boden gespeicherten Niederschläge des Vormonats alleine nicht ausreichen. Eine ähnliche Begründung muß auch für den Kurvenverlauf der Station El Obeid angeführt werden. Hier ist es jedoch der sehr mächtige Sandboden des Altdünengürtels, der wegen seiner edaphischen Besonderheit bei den sehr niedrigen Gesamtniederschlägen an dieser Station (368 mm) überhaupt noch den Erdnußanbau ermöglicht. Aufgrund der Struktur dieser Böden kann nahezu der gesamte fallende Niederschlag sofort versickern, ohne nennenswerte Abflußverluste, und nur deshalb kann die Erdnuß in diesen Gebieten noch gedeihen. Die Niederschläge des August sind deshalb unerlässlich, behindern nicht den Vegetationszyklus der Erdnuß, weil die Böden nach den Niederschlägen sofort wieder abtrocknen, und auch die relativ geringe Anzahl von Niederschlagstagen beeinflusst den Energiebedarf der Pflanzen über das Sonnenlicht nicht nachhaltig negativ.

8.2.3. In Tunesien

Auch bei den Getreidearten in Tunesien (Gerste, Hart- und Weichweizen) läßt sich mit Hilfe der zeitlich differenzierten Klimaelemente eine besonders enge Beziehung der Erträge zur Witterung in ganz bestimmten Zeitabschnitten (Dezember, Februar und April bis Mai) nachweisen. Für die Zeiträume davor und zwischen den genannten Perioden sind die multiplen Bestimmtheitsmaße so niedrig ausgebildet, daß die Variabilität der Klimaparameter nur in sehr untergeordneter Weise die Erträge erklären können. Die Zeitabschnitte, die eine besonders enge Beziehung der Erträge zum Klima nahelegen, spiegeln für die Brotgetreide Tunesiens exakt die wesentlichen pflanzenphysiologischen Phasen wieder. Die erste Phase zu Beginn des Winters - im Dezember - repräsentiert den Zeitraum der Keimung, wohingegen der zweite Abschnitt entscheidend das Wachstum und die Ährenausbildung beeinflusst, beides Vegetationsphasen mit hohen Ansprüchen an die Wasserversorgung der Kulturpflanzen. Die letzte Periode - April/ Mai - hingegen steht für die Zeit der Reifephase der Getreide (vgl. Abb. 52).

8.3. Die Varianzerklärung der Ernteerträge durch die Klimavariablen nach einem multiplen Regressionsmodell

Der nächste Schritt der Analyse bestand darin, den Einfluß aller Klimaparameter in der Reihenfolge ihrer Bedeutung in jeder phänologischen Phase des Vegetationszyklusses abzuschätzen. Dazu wurden für jede Phase (Monat) der einzelnen Kulturpflanzen und über alle Stationen getrennt diese Abhängigkeiten über schrittweise multiple Regressionsanalysen ermittelt. Eine Auswahl der Einzelergebnisse kann den Tabellen A I, A II, A III im Anhang entnommen werden.

Nach den in Kap. 8.2. vorgenommenen multiplen Regressionen zur Extraktion der Klimaparameter, die in den jeweiligen phänologischen Phasen des Pflanzenwachstums die Ertragsausbildung primär steuerten, war es zunächst angebracht, aus den z.T. zahlreichen Stationen in den einzelnen Provinzen die hervorzuheben, die für alle dort angebauten Feldfrüchte insgesamt die höchsten multiplen Bestimmtheitsmaße lieferten (vgl. Tab. 5).

Die nachfolgenden Abbildungen zeigen in Form gegliederter Säulen-

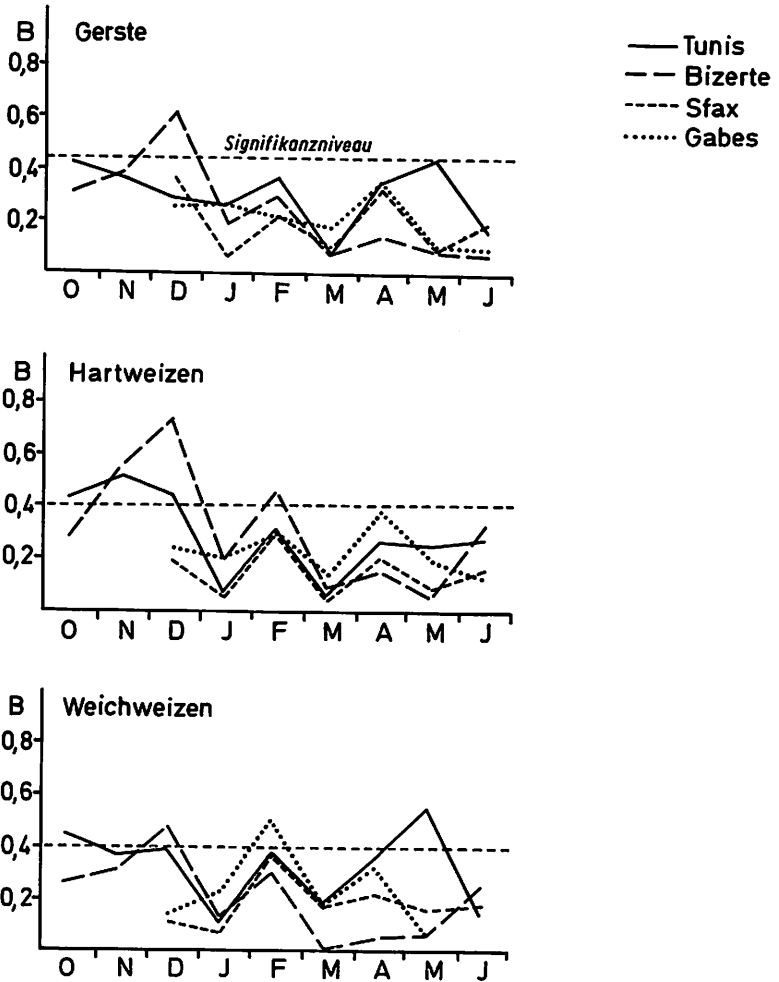


Abb. 52 Multiple Bestimmtheitsmaße je Monat für die Beziehungen zwischen den Witterungsfaktoren und den Erträgen der Gerste, des Hart- und Weichweizens an ausgewählten Stationen Tunesiens

diagramme den Anteil der Gesamtvarianz der mittleren Erträge der Feldfrüchte, den die herangezogenen klimatischen Einflußgrößen jeder phänologischen Phase erklären können. In gleicher Weise sind die Darstellungen der Varianzerklärungen der Ernteerträge für die übrigen Feldfrüchte gehalten. Die Aufteilung der Säulendiagramme von unten nach oben folgt den Schritten der schrittweisen multiplen Regression. Zuunterst ist der Einflußparameter mit

Land	Provinz	Station	Anbaufürchte
Senegal	Fleuve	Matam	Erdnuß, Mais, Reis, Hirsen
	Louga	Linguère	Erdnuß, kl. Hirse
	Diourbel	Diourbel	Erdnuß, kl. Hirse
	Thiès	Thiès	Erdnuß, kl. Hirse
	Sine Saloum	Kaolack	Erdnuß, Mais, Reis, Hirsen
	Senegal - Oriental	Tambacounda	Erdnuß, Mais, Reis, gr. Hirse
	Casamance	Kolda	Erdnuß, Mais, Reis, Hirsen
Sudan	Darfur	Nyala	Erdnuß, Sesam, kl. Hirsen
		El Geneina	gr. Hirsen
	Kordofan	Er Rahad	Erdnuß, Sesam, Hirsen
	Nile Provinz	Kosti	Mais, Sesam, kl. Hirsen
		Er Renk	gr. Hirsen
Tunesien	Norden	Jendouba	Gerste, Hart- & Weichweizen
		Tunis	Oliven
	Zentrum & Süden	Sfax	Gerste, Hart- & Weichweizen
		Sfax	Oliven
	Süden	Medenine	Oliven

Tab. 5 Repräsentative Stationen innerhalb der Hauptanbauzonen im Senegal, im Sudan und in Tunesien

dem höchsten einfachen Korrelationskoeffizienten verzeichnet. Es folgen nach oben jeweils die in den weiteren Schritten der multiplen Regressionsanalyse integrierte Einflußgröße, also immer derjenige unter den noch nicht aufgenommenen Parametern mit dem höchsten partiellen Korrelationskoeffizienten zu der Zielgröße der Ertragswerte (vgl. Frankenberg, 1984, S.53/54). In dem rechten Teil der Abbildungen sind zusätzlich in gleicher Weise die Varianzerklärungen jedes einzelnen Klimaparameters über alle Phasen abgetragen.

8.3.1. Im Senegal

Die schrittweisen multiplen Regressionen aller Einflußparameter des Klimas über jede Phase der Vegetationszeit zeigen nun eine überragende Bedeutung der hygrischen Parameter (vgl. Tab.A I und Abb. 53-55). Der besondere Vorteil dieser Art der Darstellung erlaubt es nun, neben dem Gesamtanteil der erklärten Varianz der Erträge in den einzelnen Monaten während des Vegetationszyklusses auch die Bedeutung der einzelnen Klimavariablen im Vergleich zu den anderen während des gleichen Monats abzuschätzen.

So sind für die Erdnußerträge an der Station Linguere (Abb. 53)

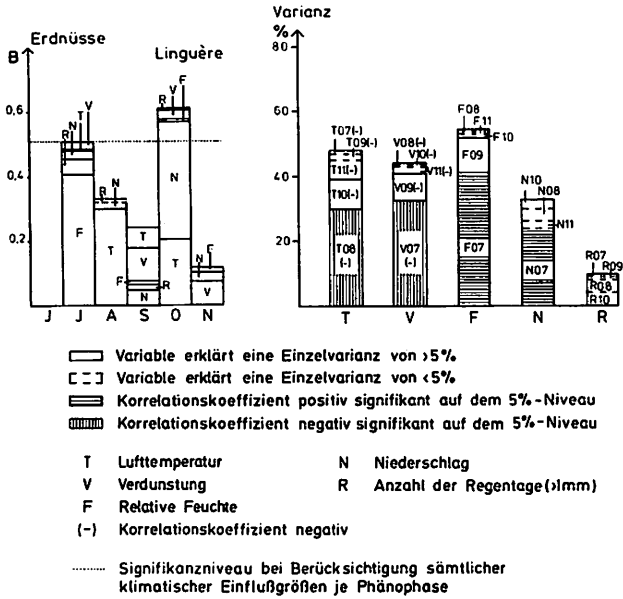


Abb. 53 Varianzerklärungen der Erdnußerträge durch die Klimaparameter für die einzelnen phänologischen Phasen sowie durch die klimatischen Einflußgrößen über den gesamten Vegetationszyklus

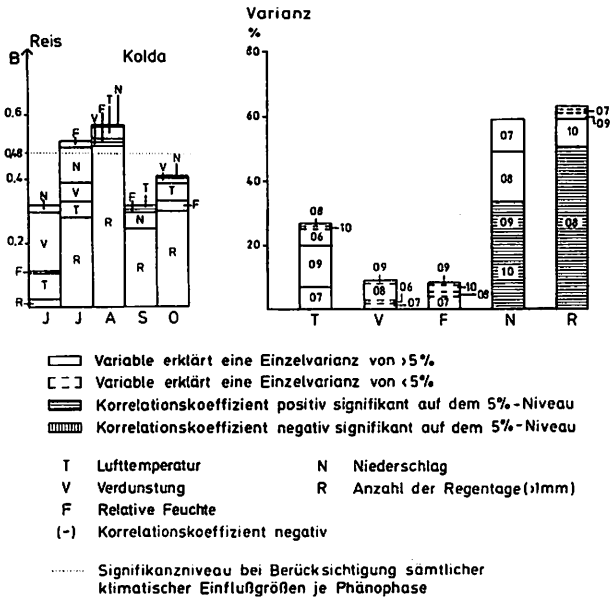


Abb. 54 Varianzerklärungen der Reiserträge durch die Klimaparameter für die einzelnen phänologischen Phasen sowie durch die klimatischen Einflußgrößen über den gesamten Vegetationszyklus

zwei markante Perioden mit einem hohen Feuchte- bzw. Wasserbedarf ausgeschieden, getrennt von einer Phase, in der relativ hohe Temperaturen und Verdunstungswerte eine positive Ertragsausbildung fördern. Eine Ausnahme repräsentiert das obige Beispiel nur dahingehend, daß die zweite Feuchteperiode nicht, wie in Kap. 8.1.1. beschrieben, im September, sondern erst im Oktober zum Tragen kommt. Diese Tatsache findet in der nördlichen Lage der Station und der damit häufig verzögerten Aussaat ihre Begründung, so daß der September des Normalfalles hier verzögert in den ersten Oktobertagen auftritt.

Das zweite Beispiel (Abb. 54) zeigt ebenfalls sehr eindrücklich den insgesamt hohen Wasserbedarf des Reises während der gesamten Vegetationsphase. Besonders hervorzuheben ist die Zahl der Regentage, so daß bei einer gleichmäßigen Verteilung der Niederschläge auf möglichst viele Tage hohe Erträge erwartet werden dürfen.

Das typischste Beispiel von seiten der Varianzerklärung der einzelnen Monate während der Vegetationsphase und von den in der Kombination herausragenden klimatischen Einflußparameter, ist das letzte der hier beispielhaft erläuterten Säulendiagramme für den Mais in der Provinz Senegal Oriental (Abb. 55): ein für die ganze Kultivierungsphase positiv ausgeprägter Feuchte- und Wasserhaushalt mit einem eingipfligen Maximum während des Hauptregenmonats, des August. Die übrigen Einzelergebnisse der multiplen Modelle im Senegal sind der Tabelle A I zu entnehmen.

8.3.2. Im Sudan

Ähnlich dem Senegal machen die schrittweisen multiplen Regressionen der einzelnen Einflußparameter des Klimas während der gesamten Vegetationsperiode im Sudan die herausragende Bedeutung der hygrischen Parameter deutlich (vgl. Tab. A II und Abb. 56/57).

Das erste Beispiel belegt in eindrucksvoller Weise die bereits zuvor herausgearbeiteten unterschiedlichen Ansprüche an den Wasser- und Wärmehaushalt während der Vegetationszeit (vgl. Kap. 8.1.2.). Die kleinen Pennisetum-Hirsen (Millet) im Sudan zeigen eine ideale Anpassung des Vegetationszyklusses an die natürlichen Wuchsbedingungen während der 2-3 monatigen sommerlichen Regenzeit, mit einem Niederschlagsmaximum im August. Die Station Er Rahad, an der Südgrenze der Qoz-Zone Nordkordofans gelegen, kann

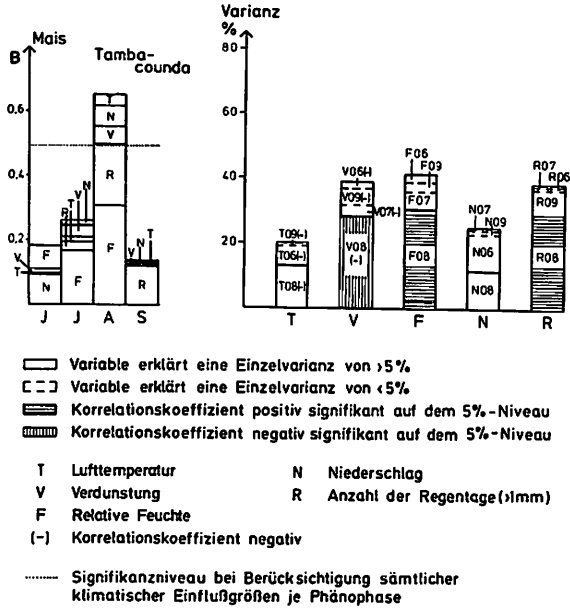


Abb. 55 Varianzerklärungen der Maiserträge durch die Klimaparameter für die einzelnen phänologischen Phasen sowie durch die klimatischen Einflußgrößen über den gesamten Vegetationszyklus

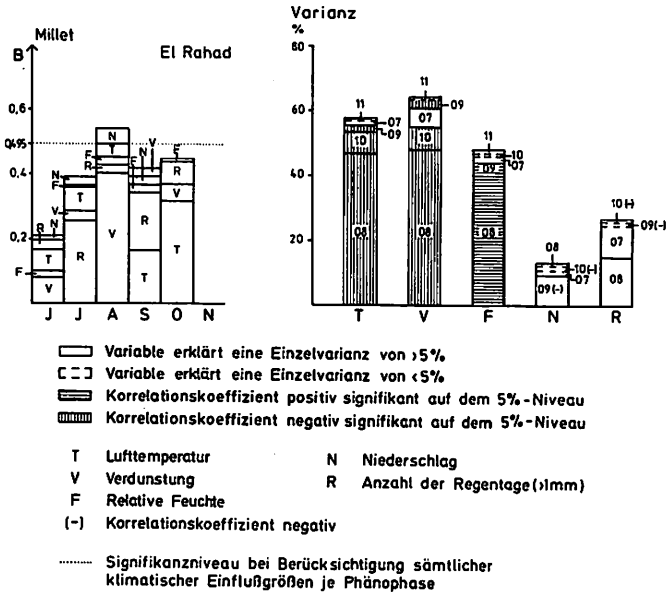


Abb. 56 Varianzerklärungen der Milleterträge durch die Klimaparameter für die einzelnen phänologischen Phasen sowie durch die klimatischen Einflußgrößen über den gesamten Vegetationszyklus

aufgrund der besonderen edaphischen Verhältnisse bereits die ersten sommerlichen Niederschläge zu Beginn des Juli für die Aussaat des Getreides nutzen, so daß die engsten korrelativen Beziehungen zwischen Feuchte- bzw. Wasserhaushalt und Ertragsmenge in diesem Fall sogar schon auf das Ende des Juli fällt und nicht ganz in den August. Überraschende Bedeutung in der Augustwitterung erlangen die Verdunstungsverhältnisse. Erinnernd an Kapitel 8.2.1. ist dabei jedoch zu berücksichtigen, daß eine hohe potentielle Verdunstung während dieser Zeit signifikant negative Ertragsausbildungen zur Folge hat, wohingegen eine hohe relative Feuchte das Gegenteil bewirkt.

Die großen Hirsen (*Sorghum*) (vgl. Abb. 57) belegen hingegen, daß sie in ihrer Ökophysiologie eigentlich einem anderen tropischen Niederschlagsregime entstammen, mit zwei Regenzeiten und einer dazwischen ausgeprägten kleinen Trockenzeit. Der Juli und der September repräsentieren die Abschnitte im Vegetationszyklus der Pflanzen, die durch den höchsten Wasserverbrauch charakterisiert sind (vgl. Kap. 8.1.2.). Einen trockenen August können diese Pflanzen noch erheblich besser überstehen als z.B. die Erdnüsse. Wenn die Hirsen zu Beginn der siebziger und der achtziger Jahre dennoch auf den Feldern im Norden des Senegal und Sudan vertrocknet sind und deshalb zu Hungerkatastrophen großen Ausmaßes beigetragen haben, so liegt das nicht an den defizitären Augustniederschlägen dieser Jahre, sondern vielmehr an den nicht ausreichenden Regenmengen des Juli zu Beginn der Regenzeit, die dann auch bei möglicherweise verstärkten Septemberniederschlägen nicht mehr ausgeglichen werden konnten.

8.3.3. In Tunesien

Vergleichbar den Ergebnissen im Senegal und Sudan wird der Gesamtanteil der erklärten Varianzanteile der klimatischen Einflußparameter auch in den subtropischen Bereichen Tunesiens von den hygrischen Parametern beherrscht (vgl. Tab. A III).

Besonders deutlich sind dabei die Varianzerklärungen in den Monaten ausgeprägt, die bereits nach den Anbaukalendern und den Interpretationen der vorangegangenen Kapitel 8.1.3. und 8.2.2. als die entscheidenden Phasen innerhalb der Vegetationszyklen markiert wurden (vgl. Abb. 58 - 60).

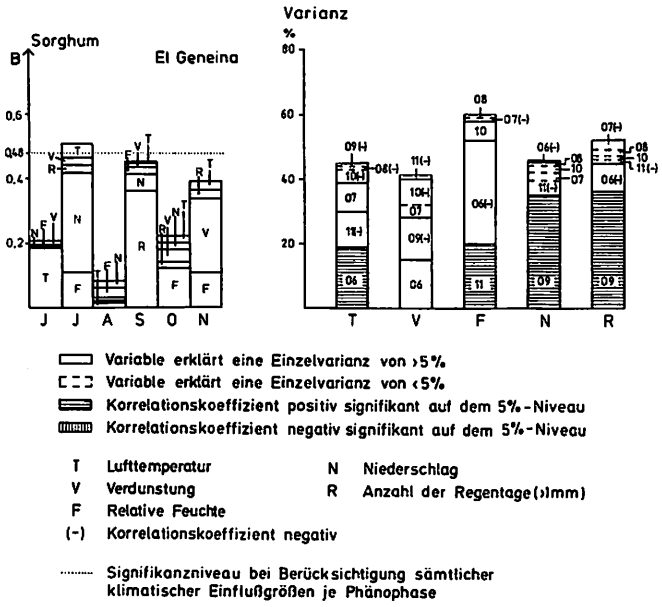


Abb. 57 Varianzerklärungen der Sorghumerträge durch die Klimaparameter für die einzelnen phänologischen Phasen sowie durch die klimatischen Einflußgrößen über den gesamten Vegetationszyklus

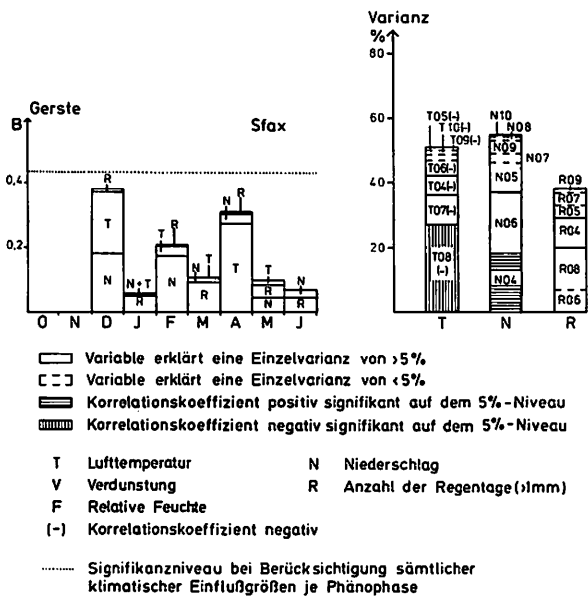


Abb. 58 Varianzerklärungen der Gersteerträge durch die Klimaparameter für die einzelnen phänologischen Phasen sowie durch die klimatischen Einflußgrößen über den gesamten Vegetationszyklus

Trotz der überragenden Bedeutung der hygrischen Faktoren für die Ausbildung der Erträge sowohl im tropischen als auch im subtropischen Bereich unterscheiden sich Nord- und Südrand in wesentlichen Punkten. Für die Tropen und Subtropen sind in der Phase der Reife in erster Linie zu hohe Mitteltemperaturen und daran gekoppelt die potentielle Verdunstung die entscheidenden Einflußgrößen, die die zu erwartenden Erträge reduzieren. Dieses gilt in stärkerem Maße für den Nordrand der Sahara als für den Südrand, weil diese Bedingungen in der letzten Reifephase zu einem Schrumphen der Körner führen. Die im tunesischen subtropischen Steppengebiet kultivierten Feldfrüchte sind in ihrer Physiologie den gemäßigten Zonen angepaßt, so daß nach der kühleren winterlichen Regenzeit die Endreife und Erntephase in den Hochsommer fällt. In dem nachfolgenden Beispiel (vgl. Abb. 61) sind unter Berücksichtigung des zweijährigen Vegetationszyklusses des Ölbaumes die Ergebnisse der schrittweisen multiplen Regressionen über alle phänologischen Phasen abgetragen worden. Es sind nun genau die Monate durch die klimatischen Einflußparameter eindeutig gekennzeichnet, die für die Ertragsausbildung von zentraler Bedeutung sind.

Die hygrische Vegetationszeit des Ölbaumes beginnt im Herbst (September/Oktober), der den wesentlichsten Anteil an der Stärke des Fruchtwachstums hat. Der September ist entscheidend für die Menge der später zu erntenden Früchte, sprich für das Wachstum der Oliven. Diese Phase dauert bis in den Dezember hinein an, danach beginnt die Ernte. Die Ergebnisse der Säule N 2. Jahr müssen relativiert werden. Der dominierende Temperaturfaktor repräsentiert eine hohe negative Korrelation zu den Erträgen. Neben dem Fruchtwachstum beginnt der Ölbaum während dieser Zeit mit dem Neuansatz der jungen Äste, deren Entwicklung den ganzen Winter hindurch anhält, was in den z.T. sehr deutlichen Dominanzen der Niederschlagsparameter bei der Varianzerklärung der Erträge (Regenmenge/Regentage) zum Ausdruck kommt. Im Februar-/März beginnt die Knospung aus den Blattachsen der vorjährigen Triebe heraus, deren Abschluß die traubenartigen Blütenstände in den Monaten Mai und manchmal auch Juni bilden. Während dieser Zeit (von der Knospung bis zur Blüte) bedarf der Ölbaum eines verstärkten Wasserangebotes, was die Ergebnisse der multiplen Regressionen in vollem Umfang bestätigen.

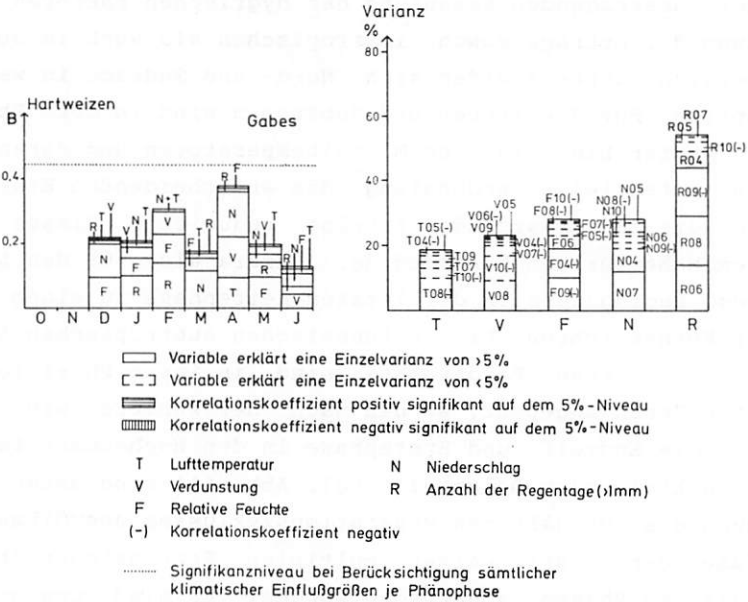


Abb. 59 Varianzerklärungen der Weizenerträge durch die Klimaparameter für die einzelnen phänologischen Phasen sowie durch die klimatischen Einflußgrößen über den gesamten Vegetationszyklus (Weichweizen)

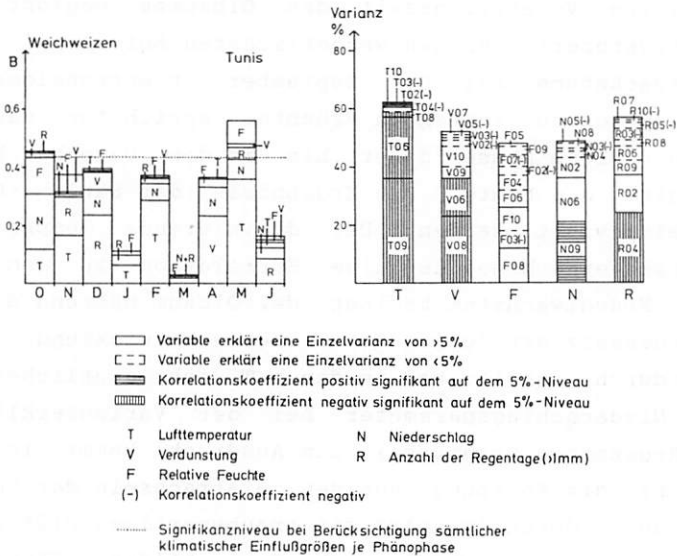


Abb. 60 Varianzerklärungen der Weizenerträge durch die Klimaparameter für die einzelnen phänologischen Phasen sowie durch die klimatischen Einflußgrößen über den gesamten Vegetationszyklus (Hartweizen)

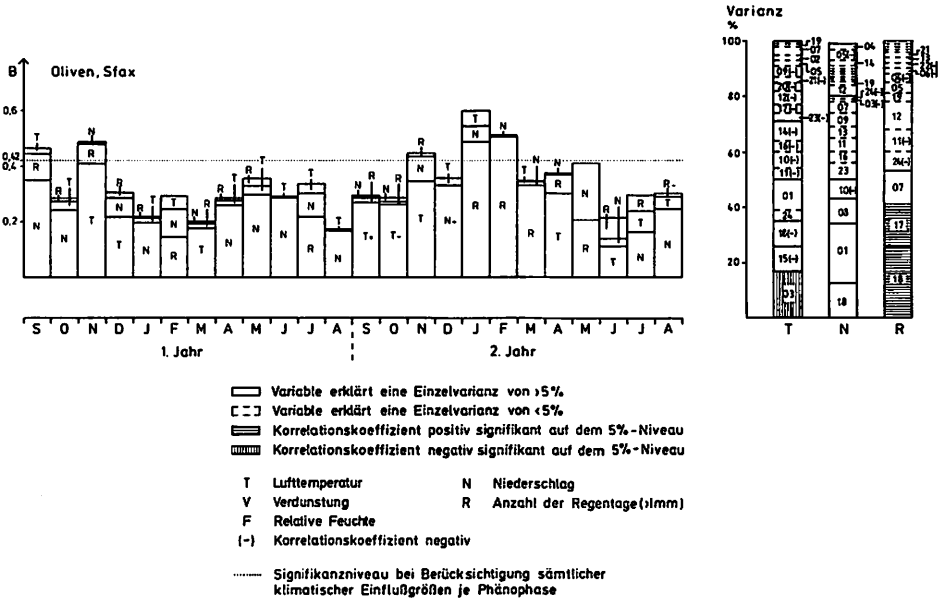


Abb. 61 Varianzerklärungen der Olivenproduktion durch die Bestimmtheitsmaße der multiplen Regressionen mit den Klimaparametern für die einzelnen phänologischen Phasen sowie durch die klimatischen Einflußgrößen über den gesamten Vegetationszyklus

Die anschließende Zeit (3-4 Monate) übersteht der Baum die sommerliche Hitze- und Trockenperiode gut, wenn der Boden über ausreichende Feuchtereserven verfügt. Die Bedeutung der im Boden gespeicherten Feuchterücklagen wird durch die dennoch auch in dieser Jahreszeit positiven Korrelationen zu vereinzelt Niederschlagsereignissen belegt. Bei einem defizitären Verlauf der winterlichen Regenzeit reicht das im Boden gespeicherte Wasser nicht zur Überbrückung der sommerlichen Trockenheit aus, mit der Folge erheblicher Ertragseinbußen in der nachfolgenden und darauffolgenden Erntezeit, denn unter solchen Bedingungen kann der Baum auch nicht genügend junge Äste ansetzen, aus deren Blattachsen im folgenden Jahr die Blüten entstehen (vgl. Franke, 1976). Nach den bisherigen Ergebnissen wird deutlich, daß zwischen den Klimaparametern in bestimmten Zeitabschnitten der Vegetationsperiode und den erzielten Erträgen zum Teil sehr enge Beziehungen aufgezeigt werden konnten. Aus den dargelegten Zusammenhängen ergab sich zwangsläufig, die Erträge aus den Klimaparametern zu berechnen.

8.4. Ein Modell zur Vorrasschätzung der Ernteerträge nach Abschluß verschiedener Phasen während des Vegetationszyklusses

Zu Beginn einer Ertragsberechnung war jedoch zwei wesentlichen Gesichtspunkten Rechnung zu tragen. Trotz der vergleichsweise kurzen Vegetationsperiode (4-6 Monate) der einzelnen Feldfrüchte der Sahelzone basierten die zuvor durchgeführten statistischen Analysen auf dem gesamten Datensatz der vorliegenden Klimaparameter. Aus diesen konnte aber nur eine ganz bestimmte Anzahl von Parametern ausgewählt werden, um die Variabilität der Ernteerträge aus den Klimaparametern zu erklären. Die Anzahl der möglichen unabhängigen Variablen, in diesem Fall die Klimaparameter, die in einem schrittweise multiplen Regressionsmodell den abhängigen Variablen (Ernteerträge) gegenübergestellt werden können, wird vom Umfang der Stichproben bestimmt. Für die statistischen Analysen der beiden Sahelländer standen lediglich 20-21 Jahre zur Verfügung, so daß mit Hilfe des Regressionsmodells wegen der notwendigen Freiheitsgrade maximal 18-19 unabhängige Variablen kombiniert werden konnten. Für eine 6 monatige Vegetationsperiode bedeutet dies, daß von den 30 (6x5 Klimaparameter) zur Verfügung stehenden Variablen knapp 2/3 maximal Berücksichtigung fanden. Für die vorzunehmenden Ertragsberechnungen mußten daher zunächst die Variablen ausgewählt werden, die trotz der oben erwähnten Beschränkungen ein Höchstmaß der Varianz der Erträge erklärten. Als Maß für die Varianzerklärung dienten die multiplen Bestimmtheitsmaße (mB). Damit ist vorgegeben, daß die für die Berechnung der Erträge auszuwählenden Witterungsparameter in ihrer Verknüpfung ein möglichst hohes Bestimmtheitsmaß zusammen ergeben. Eine Auswahl der Klimaparameter, aus deren Kombination ein möglichst hohes multiples Bestimmtheitsmaß resultiert, führte zwangsläufig auch dazu, daß Merkmale Berücksichtigung fanden, die selbst keinerlei signifikante korrelative Beziehungen zu den Erträgen besaßen. Ebenso war es möglich, daß aus der Kombination sehr verschiedener Klimaparameter ähnlich hohe Bestimmtheitsmaße resultierten. Eine kausale Interpretation der Ergebnisse der multiplen Korrelationsanalysen ist deshalb nicht unproblematisch. "Ebenso wie Korrelationen eines Witterungsfaktors mit dem Ertrag durch Interkorrelationen dieses Faktors mit anderen Witterungselementen

vorgetäuscht werden können, ist es auf der anderen Seite möglich, daß tatsächlich vorhandene Beziehungen durch Interkorrelationen der Witterungsfaktoren untereinander verdeckt werden" (Hanus 1969, S.74).

Dennoch waren die bisherigen Ergebnisse in den Kapiteln 8.1.-8.3. so klar, daß in allen Fällen die multiplen Bestimmtheitsmaße zwischen der Summe der Klimaparameter in den einzelnen Vegetationsphasen und den Erträgen Werte von 0,9 nur in Ausnahmefällen unterschritten. Damit erklären die klimatischen Ausprägungen 90 % der Gesamtvarianz der Ernteerträge. Die verbleibenden ca. 10 % werden durch andere, nichtklimatische Faktoren erklärt. Für die Erstellung eines Prognosemodells bedeutet dies, daß für mindestens 9 von 10 Jahren die zu erwartenden Erträge hinreichend genau aus dem Ablauf der Witterung (Monate) während der Vegetationszeit vorausgesagt werden können. Die oben aufgestellte These erlangt jedoch nur dann Bedeutung, wenn die rechnerisch ermittelten Beziehungen zwischen den Klimaparametern und den Erträgen Allgemeingültigkeit besitzen. Dieses Ziel wird dann erreicht, wenn auch über den hier vorliegenden Stichprobenumfang hinaus die Prognosemodelle zu verwertbaren Schätzergebnissen führen. Das Ergebnis einer linearen multiplen Regressionsanalyse kann immer nur eine Gerade liefern, die so in den Punktschwarm (Einzeldaten der Ernteerträge) hineingelegt wird, daß die Summe der Abweichungsquadrate von dieser Geraden einen Minimalwert annimmt. Deshalb kann und darf es nicht Ziel der im Anschluß vorgestellten Prognosemodelle sein, Vorhersagen für einen längeren Zeitraum zu erstellen. Sinnvoll und wichtig ist dagegen eine Prognoseerstellung beispielsweise für das Jahr 1981, wenn der Zeitraum von 1960-1980 die Grundlage des Modells bildet und daraufhin im Ablauf der klimatischen Entwicklung des Jahres 1986 die Erträge für dieses Jahr geschätzt werden.

Aus den zuvor festgestellten möglichen Einschränkungen für ein zu erstellendes Prognosemodell ergeben sich die folgenden zentralen Problemstellungen:

1. Wird es möglich sein, auch mit einem reduzierten Variablen-satz die zu erwartenden Erträge hinreichend genau vorauszusagen?
2. Können die zuvor über lineare multiple Regressionen ermittelten Beziehungen zwischen Klima und Ernteertrag den An-

spruch auf Allgemeingültigkeit erheben?

Zu ersten Problemstellung kann wiederholend festgestellt werden, daß die bisherigen Regressionsanalysen bereits bei einer reduzierten Variablenzahl in nahezu allen Fällen multiple Bestimmtheitsmaße $> 0,9$ erzielten.

Ansatzpunkt für die Aussaat und damit den Beginn der Vegetationsperiode liefert jedoch der Beginn der alljährlichen sommerlichen bzw. winterlichen Regenzeit. Davon ausgehend läßt sich z.B. die Ertragsausbildung der großen Hirsen in der Provinz Casamance im Südwesten des Senegal als Funktion des Witterungsablaufes zwischen den Monaten Juli bis Oktober/November beschreiben. Diese Grundüberlegungen sollten in die nachfolgenden Rechnungen eingehen und wesentliche Entscheidungshilfen bei der Auswahl der zu berücksichtigenden Klimaparameter liefern.

Der nächste Arbeitsschritt bestand darin, zunächst Regressionsgleichungen aufzustellen, die nacheinander die Klimaparameter des Juli, des Juli und August, des Juli, August, September usw. auf ihre Erklärungsmöglichkeit im Hinblick auf die zu erwartenden Erträge untersuchten. Die Ergebnisse dieser Regressionsanalysen finden ihre graphische Darstellung in der Abb. 62, wobei auf der Ordinate die Anzahl der eingegangenen Variablen und auf der Absisse ihr Anteil an der Varianzerklärung (multiples Bestimmtheitsmaß) abgetragen sind. Ein solches Vorgehen bietet die Möglichkeit der Ertragsvorausschätzung nach jedem beliebigen Monat im Ablauf der Vegetationsphase, wobei mit fortschreitendem Vegetationszyklus eine zunehmende Genauigkeit der Schätzung zu konstatieren ist. Andererseits verdeutlichen die Abbildungen auch, daß bereits eine relativ geringe Anzahl von Variablen genügt, um Varianzerklärungen von über 80 % zu erzielen. So genügen für die Erklärung der Erdnußerträge in der Provinz Diourbel bereits 7 Variablen, um eine Varianzerklärung von 80 % zu erreichen. In dieser Variablen-Anzahl sind die Klimaparameter der Monate Juli bis September eingegangen, die prägenden Einzelparameter sind der nachfolgenden Tabelle 6 zu entnehmen.

Eine genaue Betrachtung der einzelnen Variablen macht deutlich, daß die Erdnußerträge der Provinz Diourbel in erster Linie von den klimatischen Wasserhaushaltsbedingungen der Monate Juli und September geprägt wird. Dieses Ergebnis war jedoch auch schon aus der Abb. 62 zu entnehmen, wo der August in Verbindung mit dem Ju

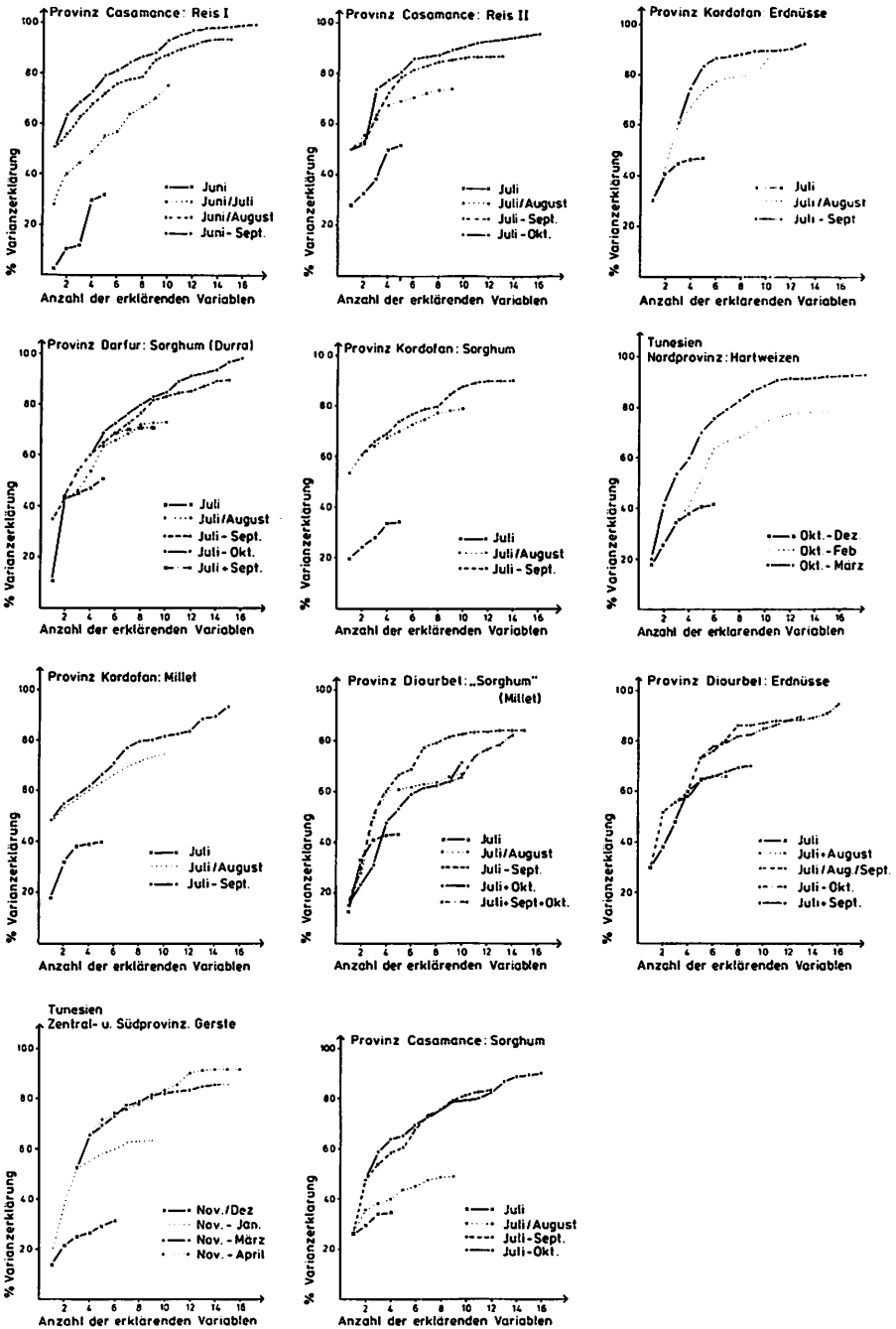


Abb. 62 Erklärte Varianzanteile der Ertragsschwankungen in Abhängigkeit von der Anzahl der eingegangenen Variablen

unabhängige Variable		multiples R	R ²	einfaches R
1) Regentage	07	0,545	0,30	0,545
2) Verdunstung	09	0,695	0,48	-0,492
3) Regentage	09	0,728	0,53	0,136
4) Feuchte	07	0,772	0,60	-0,079
5) Verdunstung	07	0,856	0,73	-0,009
6) Niederschlag	07	0,874	0,76	0,291
7) Niederschlag	09	0,900	0,81	0,076
8) Temperatur	09	0,925	0,85	-0,331
9) Regentage	08	0,929	0,86	0,177

Tab. 6 Ergebnisse der schrittweisen multiplen Regressionen der Erdnußerträge in der Provinz Diourbel mit den Klimaparametern der Monate Juli - September

li praktisch keinerlei Verbesserung der Varianzerklärung der Erdnußerträge zu liefern vermochte. Erst die Hinzunahme der Witterungsausprägung im September führte zu einem erheblichen Anstieg der Varianzerklärung. Die Tabelle 6 zeigt auch, daß erst mit der 9. Variablen ein Klimaparameter in das multiple Regressionsmodell aufgenommen wurde, der die Witterung des August repräsentiert. Entscheidend für die Prognose der Erdnußerträge ist damit nahezu ausschließlich der Witterungsverlauf im Juli und September. Widrige oder günstige Verhältnisse im August vermögen danach kaum nachhaltig gravierende Veränderungen in der Ertragsausbildung hervorzurufen.

Ein sehr ähnliches Bild vermittelt die Abb. 62 der Erdnußertragsausbildung in der Provinz Kordofan, hier jedoch in einer etwas veränderten Reihenfolge. Der Juli für sich allein genommen vermag nur knapp 47 % der zu erwartenden Erdnußerträge zu erklären. Juli und August zusammen erreichen schon 85 %. Die Erklärung im Vergleich zu den Bedingungen in der Provinz Diourbel ist sehr einfach. Der Juli, und zwar bereits die erste Hälfte des Monats, repräsentiert im Senegal über den Gesamtzeitraum die Hauptaussaatzeit, wohingegen im Sudan (Provinz Kordofan) dieser Zeitraum um etwa 2 Wochen verschoben ist, so daß hier der ersten Augushälfte die gleiche Bedeutung zukommt wie der 2. Julihälfte in der Provinz Diourbel. Gleich hingegen wirkt sich die erste erklärende Variable aus. Es handelt sich in beiden Fällen um einen Wasserhaushaltsparameter (Regentage im Juli im Senegal und relative Feuchte im Juli im Sudan), und beide erklären jeweils 30% der Gesamtvarianz der Erdnußerträge. Sehr deutlich ist sowohl im Sudan als auch im Senegal die Bedeutung des Witterungsablaufes im

unabhängige Variable		multiples R	R ²	einfaches R
1) Feuchte	07	0,550	0,30	0,550
2) Temperatur	08	0,655	0,43	-0,524
3) Regentage	08	0,782	0,61	-0,278
4) Temperatur	09	0,863	0,75	-0,168
5) Regentage	07	0,915	0,84	0,519
6) Niederschlag	07	0,930	0,87	0,440
7) Feuchte	09	0,935	0,88	0,203

Tab. 7 Ergebnisse der schrittweise multiplen Regressionen der Erdnußerträge in der Provinz Kordofan mit den Klimaparametern der Monate Juli - September

Jahr	Provinz	Frucht	erz. Ertr.	gesch. Ertr.		gesch. Ertr.	
				Jul.-Okt.	Jun.-Aug.	Jul.-Sep.	Juli
1981	Casam.	Reis	1171 kg/ha	1067	- 8,9	1014	-13,4
1982	Casam.	Reis	1261 kg/ha	1104	-12,5	1238	- 1,8
1983	Casam.	Reis	739 kg/ha	1072	45,1*	1230	66,4*
				Jul.-Sep.		Juli	
1981	Diour.	Erdn.	939 kg/ha	532	-43,3*	715	-23,9
1982	Diour.	Erdn.	702 kg/ha	229	-67,4*	558	-20,5
1983	Diour.	Erdn.	330 kg/ha	285	-13,6	374	13,3
				Jul.-Sep.			
1981	Diour.	Hirse	792 kg/ha	271	-63,8*	---	-----
1982	Diour.	Hirse	550 kg/ha	362	-34,2	---	-----
1983	Diour.	Hirse	423 kg/ha	237	-63,9*	---	-----

= Abweichung in %

Tab. 8 Erzielte und geschätzte Erträge im Sénégal über den Bemessungszeitraum hinaus

September ausgeprägt. Unter Berücksichtigung des Witterungsablaufes von Juli bis einschließlich September erscheint an der Station Er Rahad bereits als 3. Variable ein Klimaparameter des September und nach Einbeziehung von 7 Variablen können in Kordofan die Variabilitäten der Erdnußerträge bereits zu 88% aus dem Witterungsablauf der vergangenen 3 Monate erklärt werden (vgl. Tab. 7).

Damit haben die Regressionsanalysen zwischen dem Einfluß der Witterung im Ablauf des 1., des 1. und 2., des 1., 2. und 3. Monats bis hin vom 1. bis 6. Monat und der zu erwartenden Ertragsausbildung gezeigt, daß bei einer Berücksichtigung von nur 10-12 Klima-

parametern in jedem Falle der hier vorgestellten Beispiele eine Varianzerklärung der Ertragsvariabilität von über 80 % erzielt werden konnte. Diese Aussage gilt ohne Einschränkung ebenso sowohl für den sahelischen Raum als auch für die nordafrikanischen Steppengebiete Tunesiens (Abb. 62). Für die nachfolgenden Prognosemodelle ist von Seiten der Anzahl der maximal zu berücksichtigenden Variablen also keinerlei Beschränkung mehr gegeben. Zur zweiten Fragestellung: Zu beantworten ist nun die Frage, wie die zuvor über lineare multiple Regressionen ermittelten Beziehungen zwischen Klima und Ernteertrag zu werten sind. Zur Überprüfung dieses Sachverhaltes hätte in allen oben vorgestellten Beispielen eine Vorausschätzung der Erträge für das Jahr 1981 oder 1982 erfolgen müssen. Die Durchführung des Verfahrens stellt keinerlei Schwierigkeiten dar, nur liegt bis zum gegenwärtigen Zeitpunkt kaum Zahlenmaterial über die tatsächlich erzielten Ernteerträge dieser Jahre vor. Eine Wertung der erzielten Prognosewerte ist damit hinfällig. In einigen Ausnahmefällen konnte eine Überprüfung der errechneten gegenüber den tatsächlich erzielten Reiseerträge vorgenommen werden (vgl. dazu Tab. 8).

Diese z. T. sehr guten Schätzergebnisse für die Jahre 1981 bis 1983 können auch ein Zufallsprodukt darstellen. Da für die anderen ausgewählten Stationen eine Ernteprognoze nicht erstellt werden konnte, mußte eine Alternative gefunden werden, die es dennoch erlaubte, über die Wertigkeit der aufgestellten Regressionsgleichungen zu entscheiden.

Zur Erreichung dieses Zieles wurden die Ernteerträge für die vergangenen Jahre (1961-1980) quasi im Nachhinein 'vorausgeschätzt', und zwar für jedes einzelne Jahr getrennt. Zugrunde gelegt wurde dabei die ursprüngliche Regressionsgleichung über alle Jahre (1961-1980). Die Anzahl der eingegangenen Variablen wurden dabei nach der zuvor geschilderten Methode so ausgewählt, daß ihre Kombination bei möglichst geringer Anzahl ein Bestimmtheitsmaß von mindestens 0,8 lieferte (vgl. dazu Abb. 62). Diese gefundene Variablenkombination wurde für sämtliche nachträglich vorausgeschätzten Ertragsdaten beibehalten, so daß es sich für jedes einzelne Jahr um eine eigene Vorausschätzung handelte. Da es sich insgesamt um 20/21 bzw. 24 Jahre handelte, für die die Ernteerträge vorlagen, wurden unter Herauslassung immer nur eines dieser Jahre die Erträge dafür berechnet.

Die Ergebnisse dieser nachträglichen Prognoseberechnungen sind aus den Tabellen 9-18 zu entnehmen. In diesen Tabellen sind sowohl die erzielten als auch die geschätzten Ernteerträge abgetragen. Als Maß für die Güte der nachträglichen Prognose wurden die Abweichungen in Prozent vom erzielten zum geschätzten Ertrag berechnet. Eine hinreichende Genauigkeit der Schätzwerte ist dann gegeben, wenn die Abweichungen den Betrag nicht überschreiten, der die normale Schwankungsbreite der Erträge (Standardabweichung) charakterisiert. Lagen die Schätzwerte jenseits dieser Grenze, hatte das Regressionsmodell in diesem Jahr versagt. Die Unzulänglichkeit eines Modells in einem oder zwei Jahren kann jedoch keinen Aufschluß darüber geben, ob das Modell insgesamt unbrauchbar ist oder doch in dem Großteil der Jahre zufriedenstellende Ergebnisse zu liefern vermag.

Um eine objektive Entscheidung darüber fällen zu können, wurden die Jahre ausgezählt, in denen das Modell versagte und anschließend den Jahren gegenübergestellt, in denen das Modell brauchbare Schätzwerte zu liefern vermochte. Als Ergebnis erscheint eine Prozentzahl, die angibt, in wie vielen Jahren das Modell zu verwertbaren Schätzergebnissen führte. Ein Wert von 80 % sagt demnach aus, daß die Prognosewerte für die Erdnußerträge der Provinz Kordofan in 80 % der Fälle der Realität sehr nahe kommen, das heißt in vier von fünf Jahren. Nur einmal in fünf Jahren versagte das Modell. Ein Wert von 67 % hingegen besagt, daß nur in zwei von drei Jahren die Erträge hinreichend exakt vorausgeschätzt werden konnten, einmal in drei Jahren versagte das Modell.

Des weiteren ist den Tabellen zu entnehmen, welcher Zeitraum innerhalb der Vegetationsphase als Grundlage der Prognoseberechnungen diente. In einigen Tabellen sind die Erträge nach verschiedenen langen Zeiträumen nachträglich geschätzt worden. Im Anschluß an die Analyse der erklärten Varianzanteile nach verschiedenen Monaten während des Vegetationszyklusses lag in einigen Fällen der Gedanke nahe, die Erträge schon zu einem möglichst frühen Zeitpunkt vorzusagen. Je früher in den hier untersuchten Regionen exakte Voraussagen über zu erwartende Ernteeinbußen oder -überschüsse vorliegen, desto eher wird die Administration in die Lage versetzt, konkrete Maßnahmen einzuleiten. Gleichzeitig kann dadurch Hilfestellung geleistet werden, mögliche Kompensationen von relativen Überschußgebieten (sogar des eigenen Landes) in Defi-

zitregionen einzuleiten.

Natürlich können die erzielten Ergebnisse die tatsächlich eintretenden Erträge nicht mit der Genauigkeit vorhersagen, wie es die sogenannten 'Jahresmodelle' vermögen. Zu bedenken ist dabei, daß bei den sogenannten 'Frühmodellen' erheblich weniger Einflußfaktoren Berücksichtigung finden können. Infolgedessen kann die Prognose keine größere Vorhersagegenauigkeit erlangen, als die in ihr eingegangenen Klimaparameter an Varianzerklärung liefern. Als Beispiel sei hier das 'Frühmodell' für Hartweizenerträge im Norden Tunesiens genannt. Die in das Prognosemodell (Oktober-Februar) eingegangenen Klimavariablen erklären zu 78 % (vgl. Abb. 62) die Gesamtvarianz der Hartweizenerträge. Das Prognosemodell auf der Basis dieses Variablensatzes vermag nur in zwei von drei Jahren die zu erwartenden Erträge hinreichend exakt zu schätzen (vgl. Tab. 9).

Anders beim 'Jahresmodell', bei dem die berücksichtigten Klimavariablen 90 % der Gesamtvarianz erklären und die Ertragsschätzungen in 80 % der Fälle (vier von fünf Jahren) gute Ergebnisse liefern.

Wie die Tabellen 9-18 zeigen, sind nur in relativ wenigen Regionen des Untersuchungsgebietes 'Frühmodelle' auf ihren prognostischen Wert hin untersucht worden, weil in den anderen Fällen die möglicherweise zu berücksichtigenden Klimaparameter eine zu geringe Varianzerklärung lieferten, als daß eine Modellgenauigkeit von mindestens 67 % (zwei von drei Jahren) hätte erzielt werden können.

Nachfolgend sollen nun die nachträglich berechneten Ertragsvorhersagen beispielhaft einer etwas eingehenderen Betrachtung unterzogen werden.

Die besten Schätzergebnisse lieferte das Prognosemodell für den Reisanbau in der Casamance (vgl. Tab. 10). In nur zwei Fällen lagen die Schätzwerte jenseits der Toleranzgrenze, so daß das gesamte Modell Prognosewerte lieferte, die nur um wenige Prozente von den tatsächlich erzielten Erträgen abwichen. Etwas ungünstiger muß das Gesamtergebnis des sogenannten 'Frühmodells' beurteilt werden, aber auch dort erreichen die vorhergesagten Werte in drei von vier Jahren eine hinreichende Genauigkeit. Besonders interessant sind dabei die Ergebnisse der beiden Modellansätze in den Jahren 1972/1973 und 1977 im Vergleich zu den tatsächlich er-

Jahr	erz. Ertr.	errech. Ertr.		errech. Ertr.	
		Okt.-Feb.		Okt.-Mrz.	
1952	730	826	13,1	890	21,9
1953	650	670	3,0	570	-12,3
1954	610	- 58	*	551	- 9,7
1955	480	385	-19,8	387	-19,4
1956	480	675	40,6*	434	- 9,6
1957	460	707	53,7*	448	- 2,6
1958	520	764	46,9*	515	- 0,7
1959	500	676	35,2*	462	- 7,6
1960	460	581	26,3	600	30,4*
1961	300	322	7,3	289	- 3,7
1962	490	701	43,1*	627	28,0
1963	710	587	-17,3	790	11,3
1964	520	384	-26,2	451	-13,3
1965	590	738	25,1	676	14,6
1966	530	677	27,1	734	38,5*
1967	510	573	12,3	611	19,8
1968	460	406	-11,7	257	-44,1*
1969	450	230	-48,9*	246	-45,4*
1970	530	539	1,7	457	-13,8
1971	770	603	-21,7	835	8,4
1972	950	645	-32,1*	789	-17,0
1973	690	754	9,3	730	5,8
1974	1000	903	- 9,7	876	-12,4
1975	1100	794	-27,8	860	-21,9
x = 603,8	s = 192,7	1) ca. 67%		2) über 80%	

Tab. 9 Erzielte und geschätzte Hartweizenerträge für die tunesische Nordprovinz

Jahr	erz. Ertr.	errech. Ertr.		errech. Ertr.	
		Jul.-Okt.		Jun.-Sep.	
1960	1181	1054	-10,8	1080	- 8,6
1961	1147	1256	9,5	1221	6,5
1962	1201	1187	- 1,2	1216	1,2
1963	1345	1411	4,5	1351	0,4
1964	1267	1360	7,3	1517	19,7
1965	1492	1312	-12,1	1618	8,4
1966	1259	1355	7,6	1110	-11,8
1967	1288	1399	8,6	1614	25,3*
1968	754	821	8,8	844	11,9
1969	1437	1384	- 3,7	1157	-19,5
1970	919	1000	8,8	1162	26,4*
1971	1135	1230	8,4	1037	- 8,6
1972	760	828	8,9	945	24,3*
1973	988	988	0,0	1402	41,9*
1974	1354	1348	- 0,5	1224	- 9,6
1975	1373	1358	- 1,1	1121	-18,4
1976	1238	1222	- 1,3	1104	-10,8
1977	749	720	- 3,9	660	-11,9
1978	1500	1123	-25,1*	1204	-19,7
1979	983	786	-20,0	793	-19,3
1980	550	745	35,5*	992	80,4*
x = 1121	s = 262,1	1) 95%		2) 76%	

Tab. 10 Erzielte und geschätzte Reiserträge für die Provinz Casamance

zielten Erträgen. Das ‚Jahresmodell‘ liefert für 1972 und 1973 maximale Abweichungen von 8,9 % im Vergleich zu den erzielten Werten. Bei dem sogenannten ‚Frühmodell‘ (Juni-August) ist hingegen eine sehr starke Abweichung zu den Originalwerten festzustellen, die sogar jenseits der Toleranzgrenze liegen. Da beide Werte zu hohe Erträge erwarten lassen, muß in diesem Modell dem Oktober noch eine in starkem Maße regulierende Funktion zugesprochen werden, wie das die Werte des Jahresmodells zeigen. Offensichtlich hat in diesen beiden Jahren erst der Oktober in seiner ungünstigen Witterungsausprägung zu der Ertragsreduktion geführt, die nach dem bisherigen Ablauf der Witterung bis einschließlich August nicht zu erwarten gewesen wäre. Genau gegensätzlich verhält sich das Jahr 1977. Hier liegen die vorhergesagten Werte nach dem ‚Frühmodell‘ um 12 % unter den tatsächlich erzielten, wohingegen der Wert des ‚Jahresmodells‘ nur um 4 % davon abweicht. In diesem Fall wird deutlich, daß der Witterungsablauf die Ernteausbildung beim Reis bis Ende September äußerst negativ beeinflusst hat, die jedoch durch den positiven Witterungsablauf im Oktober wenigstens zum Teil ausgeglichen werden konnte.

Generell läßt sich für die Jahresmodelle in allen untersuchten Regionen festhalten, daß diese bis auf drei Ausnahmen in allen Fällen gute bis sehr gute Ergebnisse lieferten, so daß in mindestens drei von vier Jahren davon ausgegangen werden kann, daß die prognostischen Werte den tatsächlichen bis auf geringe Abweichungen sehr nahe kommen.

Die Ausnahme davon bilden die Prognosemodelle der kleinen Hirsen (Millet) in der Provinz Diourbel (Tab. 11) und der Provinz Kordofan (Tab. 12), sowie der Gerstenerträge in Zentral- und Südtunesien (Tab. 15). Die Schätzwerte dieser Modelle vermögen nur in zwei von drei Jahren verlässliche Prognosewerte zu erbringen, einmal in drei Jahren versagen diese Modelle gänzlich. Zwei mögliche Ursachen für diese Tatsache sind anzuführen.

Im Senegal faßt die offizielle Statistik unter dem Begriff ‚mil/sorgho‘ sowohl die Erträge der kleinen als auch der großen Hirsen zusammen und errechnet daraus den Durchschnittsertrag in kg/ha. Der größte Anteil der Provinzfläche wird von den kleinen Hirsen dominiert, aber ein nicht unbedeutender Teil wird auch mit ‚Sorghum vulgare‘ (große Hirse) bepflanzt, so daß das hier vorgestellte Modell quasi ein Modell für zwei verschiedene Kultur-

Jahr	erz.Ertr.	errech.Ertr. Jul.-Sep.	
1960	294	478	62,6*
1961	422	643	52,4*
1962	346	129	-37,3
1963	421	319	-24,2
1964	438	430	- 1,8
1965	404	419	3,7
1966	208	510	14,5*
1967	527	493	- 6,5
1968	307	-116	-137,8*
1969	418	651	55,7*
1970	235	185	-21,3
1971	530	458	-15,6
1972	22	150	58,2*
1973	311	451	45,0*
1974	556	510	- 8,3
1975	513	420	-18,1
1976	623	539	-13,5
1977	588	590	0,3
1978	795	623	-21,6
1979	554	504	- 9,1
1980	364	549	50,8*

x = 422,7 s = 168,2 1) ca. 33%

* = Fehlschätzung / 1), 2) Maß für die Güte des Modells

Tab. 11 Erzielte und geschätzte Hirseerträge für die Provinz Diourbel

Jahr	erz.Ertr.	errech.Ertr. Jul.-Sep.	
1961	466	332	-28,8
1962	358	209	-41,4*
1963	321	299	- 6,9
1964	388	434	11,8
1965	306	480	56,8*
1966	223	304	36,3*
1967	254	270	6,3
1968	169	-574	-440,6*
1969	256	200	-21,9
1970	353	207	-41,4*
1971	211	257	21,8
1972	226	235	3,9
1973	175	106	-39,4*
1974	201	229	13,9
1975	195	342	75,4*
1976	183	267	45,9*
1977	237	264	11,4
1978	207	224	8,2
1979	212	112	-47,2*
1980	208	231	11,0

x = 257 s = 81 1) ca. 60%

Tab. 12 Erzielte und geschätzte Milletterträge für die Provinz Kordofan

pflanzen mit unterschiedlichen Entwicklungsphasen repräsentiert. Unter der Voraussetzung, daß der oben genannte Grund tatsächlich für das schlechte Prognosemodell verantwortlich ist, stellt sich nun jedoch die Frage, wieso das Modell für den Millet in Kordofan keine besseren Ergebnisse liefert als in der Provinz Diourbel, obwohl die Ertragsstatistiken im Sudan eindeutig zwischen Pennisetum und Sorghum unterscheiden? Auch dafür gibt es eine einfache Erklärung. Die kleinen Hirsen werden in der Provinz Kordofan zwischen 450 und ca. 200 mm Jahresniederschlag auf Sandboden angebaut. Der Millet repräsentiert damit auch in jedem Jahr, ob feucht oder trocken, die absolute Trockengrenze des Regenfeldbaus. Hier wird nun die Problematik deutlich, daß die an Klimastationen gemessenen Klimaparameter repräsentativ für eine riesige Region stehen. In Normal- oder Feuchtjahren sind die Erträge im Gebiet von Er Rahad zwar ausgezeichnet, aber die dennoch niedrigen Erträge im Nordsahel im Bereich der 200 mm-Jahresisohyete reduzieren die Durchschnittserträge auf Provinzebene - und nur die standen für die hier vorgenommenen Analysen zur Verfügung - beträchtlich. Eine vergleichsweise ähnliche Auswirkung zeitigen Trockenjahre, die in Er Rahad niedrige, im Norden der Provinz gar keine Erträge mehr liefern, so daß im Provinzdurchschnitt auf die gesamte Fläche bezogen zu niedrige Erträge erscheinen, die nach dem Witterungsverlauf in der Region Er Rahad nicht zu erwarten gewesen wären. Hier zeigt sich sehr deutlich der Vorteil einer kleineren und daher klimatisch sehr viel homogeneren Provinz wie der von Diourbel im Vergleich zu Nordkordofan. Als weiteren Nachweis für die Richtigkeit der oben angeführten These sind die Ergebnisse des Prognosemodells für die Erdnußerträge der Provinz Kordofan anzuführen. Die nachträglich berechneten Ertragswerte stimmen in 80 % der Fälle sehr gut mit den tatsächlichen erzielten Ertragswerten überein, nur einmal in fünf Jahren versagt das Modell. Die Ergebnisse der Prognosewerte der Durrha-Erträge (große Hirsen) fallen mit 75 % nur unwesentlich schlechter aus als die prognostizierten Erdnußerträge (vgl. Tab.13 und 14). Der Erdnußanbau findet bei 380 mm Jahresniederschlag (vgl. Born 1965) die Trockengrenze des Regenfeldbaus (im Vergleich dazu Er Rahad mit 444 mm). Seine südliche Begrenzung wird nach Überschreiten des Khor Abu Habl bei ca. 500 mm erreicht, weil der Erdnußanbau auf den schweren Tonböden (black cotton soils) Südkordofans zu

Jahr	erz.Ertr.	errech.Ertr. Jul.+Aug.		errech.Ertr. Jul.-Sep.	
1961	722	1037	43,6*	716	- 0,8
1962	851	683	-19,7	670	-21,3
1963	764	739	- 3,3	545	-28,7
1964	793	652	-17,8	692	-12,7
1965	532	663	24,6	767	44,2*
1966	561	682	21,6	616	9,8
1967	678	659	- 2,8	699	3,1
1968	511	607	18,8	413	-19,2
1969	585	381	-34,9*	423	-17,7
1970	410	553	34,8*	232	-43,4*
1971	246	274	11,3	339	37,8*
1972	242	164	-32,2	284	17,4
1973	326	421	29,1	357	9,5
1974	779	843	8,2	926	18,8
1975	345	449	30,1	504	46,1*
1976	710	761	7,2	813	14,5
1977	608	651	7,1	691	13,7
1978	667	491	-26,4	669	0,3
1979	536	682	27,2	484	- 9,7
1980	714	457	-36,0*	585	-18,1

x = 571,9 s = 187

1) 80%

2) 80%

Tab. 13 Erzielte und geschätzte Erdnußerträge für die Provinz Kordofan

Jahr	erz.Ertr.	errech.Ertr. Jul.+Aug.		errech.Ertr. Jul.-Sep.	
1961	900	765	-15,0	867	- 3,7
1962	846	811	- 4,1	706	-16,5
1963	828	868	4,8	832	0,5
1964	774	809	4,5	738	- 4,7
1965	726	754	3,8	894	23,1
1966	502	553	10,1	574	14,3
1967	738	681	- 7,7	867	17,5
1968	556	468	-15,8	561	0,9
1969	800	424	-47,0*	543	-32,2*
1970	595	679	14,1	609	2,4
1971	601	375	-37,6*	467	-22,3*
1972	455	472	3,7	278	-39,0*
1973	475	729	53,5*	617	29,9*
1974	640	770	20,3	722	12,8
1975	604	805	33,2*	709	17,4
1976	856	706	-17,5	735	-14,1
1977	685	738	7,7	801	16,9
1978	746	642	-13,9	692	- 7,2
1979	435	569	30,8*	332	-23,7*
1980	594	516	-13,1	593	- 0,2

x = 667,8 s = 142,7

1) ca. 67%

2) 75%

Tab. 14 Erzielte und geschätzte Sorghumerträge für die Provinz Kordofan

Jahr	erz.Ertr.	errech.Ertr.	
		Nov.-Apr.	
1952	230	197	-14,4
1953	40	92	130,0*
1954	70	262	274,3*
1955	30	136	353,3*
1956	100	240	140,0*
1957	170	167	- 1,8
1958	260	244	- 6,2
1959	240	58	-75,8*
1960	130	212	63,0
1961	50	95	90,0*
1962	170	39	-77,1*
1963	280	220	-21,4
1964	140	111	-20,7
1965	200	215	7,5
1966	50	- 40	-180,0*
1967	60	89	48,3
1968	230	182	-20,9
1969	100	91	- 9,0
1970	190	236	24,2
1971	270	223	-17,4
1972	350	266	-24,0
1973	510	393	-23,0
1974	400	594	48,5
1975	450	621	38,0
x = 196,7	s = 132,8	1) ca. 67%	

Tab. 15 Erzielte und geschätzte Gersteerträge für den zentralen und südlichen Raum Tunesiens

Jahr	erz.Ertr.	errech.Ertr.		errech.Ertr.	
		Jul.-Sep.		Juli	
1960	800	737	- 7,9	761	- 4,9
1961	1100	1148	4,4	946	-14,0
1962	812	603	-25,7	564	-30,5
1963	796	601	-24,5	812	2,0
1964	902	901	- 0,1	856	- 5,1
1965	920	889	- 3,4	838	- 8,9
1966	368	449	22,0	325	-11,7
1967	818	1156	41,3*	991	21,2
1968	604	468	-22,5	744	23,2
1969	703	1215	72,8*	870	23,7
1970	280	427	52,5*	597	113,2*
1971	885	816	- 7,8	1436	62,2*
1972	215	385	79,0*	1287	498,6*
1973	487	534	9,7	760	56,0*
1974	897	955	6,5	793	-11,6
1975	1100	944	-14,2	990	-10,0
1976	1150	650	-43,5*	569	-50,5*
1977	576	579	0,5	401	-30,4
1978	869	875	0,7	815	- 6,2
1979	713	695	- 2,5	773	8,4
1980	306	979	219,9*	873	67,3*
x = 710	s = 266	1) 71,5%		2) 71,5%	

Tab. 16 Erzielte und geschätzte Erdnußerträge für die Provinz Diourbel

Jahr	erz.Ertr.	errech.Ertr. Jul.-Okt.	
1961	758	485	-44,0*
1962	869	963	10,8
1963	1182	1137	- 3,8
1964	753	755	0,3
1965	497	633	27,4
1966	545	688	26,2
1967	855	601	-29,7
1968	629	443	-29,6
1969	1370	1074	-21,6
1970	1218	890	-27,0
1971	807	1093	35,4*
1972	905	950	4,9
1973	769	991	28,9
1974	593	488	-17,7
1975	612	610	- 0,3
1976	682	1061	55,6*
1977	931	1101	18,2
1978	685	518	-24,4
1979	496	588	18,5
1980	518	786	51,7*
1981	643	306	-52,4*
x = 783,7	s = 245,4	1) 75%	

Tab. 17 Erzielte und geschätzte Sorghumerträge für die Provinz Darfur

Jahr	erz.Ertr.	errech.Ertr. Jul.-Sep.	
1960	814	783	- 3,8
1961	769	872	13,4*
1962	877	832	- 5,1
1963	838	1011	20,6*
1964	813	871	7,1
1965	840	970	15,5*
1966	861	829	- 3,7
1967	811	765	- 5,7
1968	779	797	2,3
1969	1001	867	-13,4*
1970	828	839	1,3
1971	951	954	0,3
1972	789	715	- 9,4
1973	847	832	- 1,8
1974	1067	745	-30,2*
1975	871	962	10,4
1976	833	1011	21,3*
1977	741	701	- 5,4
1978	786	796	1,3
1979	779	797	2,3
1980	565	575	1,8
x = 819,7	s = 85,4	1) 71,5%	

Tab. 18 Erzielte und geschätzte Sorghumerträge für die Provinz Casamance

arbeitsaufwendig ist.

Die besondere Stellung der Sandböden in der südlichen Qoz-Zone um Er Rahad für die Kultivierung der großen Hirsen ist schon zuvor in Kapitel 5.1. und am Ende von Kapitel 8.3. besonders herausgearbeitet worden, so daß hier auf eine nochmalige Erklärung verzichtet werden kann.

Damit haben die zuvor geschilderten Beispiele gezeigt, daß trotz der großen und klimatisch inhomogenen Provinz bestimmte Feldfrüchte auf einen relativ kleinen Raum beschränkt kultiviert werden und daß in den genannten Fällen die Klimastation Er Rahad durchaus als repräsentativ für die zu erwartenden Erträge gewertet werden muß.

In unmittelbarem Anschluß daran kann nun auch die Erklärung für die ebenfalls nur mäßigen Prognosewerte der Gerstenerträge in Zentral- und Südtunesien gegeben werden. Vergleichbar dem vergangenen Beispiel vermögen die Schätzwerte dieses Modells nur in zwei von drei Jahren verlässliche Prognosewerte zu liefern. Die Erklärung dieser Ergebnisse fußt auf einer ähnlichen Ursache wie die der Milleterträge in der Nordregion der Provinz Kordofan. In Südtunesien bildet der Gersteanbau bei einer Niederschlagsjahressumme von ca. 100-300 mm die absolute Trockengrenze des Regenfeldbaus für Getreide. Die Referenzstation Sfax erhält dagegen im Durchschnitt 206,5 mm pro Jahr. An diesem Beispiel findet die gleiche Argumentation Anwendung, wie sie auch schon für die Milleterträge in Kordofan dargelegt worden ist.

8.5. Diskussion der Ergebnisse der zeitlichen Ähnlichkeiten zwischen den Ertragsdaten und Daten klimatischer Einflußgrößen und der Prognosemodelle

Sämtliche Analysen konnten in ihren Ergebnissen die Arbeitshypothese erhärten, daß die Beziehungen zwischen der Witterung und den Erträgen am stärksten dort ausgeprägt sein müssen, wo die Witterungsvariabilität am höchsten ist, in den Randbereichen der großen afrikanischen Wüste. Damit stehen diese Ergebnisse z.T. in starkem Gegensatz zu denen, die bisherige Analysen zu diesem Fragenkomplex (vgl. Kap. 3) erzielen konnten.

Für diesen Gegensatz sind im wesentlichen vier Gründe verantwortlich. Der Zeitpunkt, zu dem die hier vorliegende Analyse vorge-

nommen wurde, gestattete es, auf detailliertere Ertragsstatistiken zurückzugreifen, als es bei älteren Analysen zu Beginn und Mitte der siebziger Jahre möglich war. Für alle Provinzen und Regionen der hier untersuchten Beispielräume im Senegal, im Sudan und in Tunesien standen nach 1980 ausreichend lange Ertragszeitreihen (mindestens 20 Jahre) zur Verfügung.

Ein zweiter wesentlicher Grund für die eindeutigen Ergebnisse dieser Analyse ist in den regional differenzierten Ertragsstatistiken zu suchen. Es wurden grundsätzlich keine Gesamtertragszeitreihen auf Staatenbasis verwandt, die bereits zu früheren Zeitpunkten in ausreichender Länge vorlagen, sondern ausschließlich Zeitreihen auf Provinz- (Sudan, Senegal) oder Regionsbasis (Tunesien). Die Inhomogenitäten der einzelnen Provinzen untereinander in den jeweiligen Staaten mußten bei früheren Analysen zwangsläufig zur Verschleierung der tatsächlichen und, wie sich gezeigt hat, engen Beziehungen zwischen den klimatischen Einflußparametern und den Erträgen führen (vgl. Dennet et alii, 1981; Domrös, 1981; Sakamoto, 1980; u.a.). Die einzige Untersuchung vom afrikanischen Kontinent, die Regionalstatistiken berücksichtigte (Olsson, 1983), konnte auch sogleich wesentlich deutlichere Beziehungen zwischen den klimatischen Einflußgrößen und den erzielten Hirse- und Sesamerträgen aufdecken.

Ein dritter Aspekt, der für die klareren Beziehungen verantwortlich ist, muß in der Vielzahl hygrischer und thermischer Einflußfaktoren gesehen werden, die in diesen Analysen Berücksichtigung fanden (vgl. Kap. 8.1. und 8.2.). Obwohl in nahezu allen Beispielen den hygrischen Faktoren eine überragende Bedeutung zukam, waren es in vielen Fällen gerade auch die thermischen Bedingungen, die in bestimmten Phasen der pflanzlichen Entwicklung für besondere Ertragsereignisse sorgten.

Damit ist bereits schon auf den vierten, entscheidenden Gesichtspunkt verwiesen worden: die Differenzierung der Vegetationszyklen der einzelnen Feldfrüchte. Obwohl phänologische Daten in den hier vorgestellten Untersuchungsgebieten nicht erhoben wurden, war es dennoch möglich, die phänologischen Zeitabschnitte, in denen der gesamte Vegetationszyklus abläuft, durch die Monate auszudrücken. Damit repräsentierte jeder Monat während der Vegetationszeit eine individuelle Phänophase der jeweiligen Feldfrüchte. Mit der Aussaat und der Ernte ist der gesamte Vegetationszyklus jeder Acker-

frucht festgelegt.

Nur über diesen Weg der indirekten phänologischen Daten war es möglich, die Anforderungen der einzelnen Kulturpflanzen an die klimatischen Einflußparameter differenziert zu betrachten. Nicht die Gesamtmenge der Niederschläge in der Vegetationszeit ist ausschlaggebend für eine normale, eine überdurchschnittliche oder geringe Erntemenge, sondern die exakte Verteilung der Regenmengen in den jeweiligen phänologischen Phasen der einzelnen Kulturpflanzen. Mit dieser Analysemethode wurde es möglich, die auch in z.B. extremen Trockenjahren unterschiedlichen Ertragshöhen der einzelnen Feldfrüchte in der gleichen Region zu erklären.

Daneben wurden jedoch auch Ergebnisse erzielt, die weitestgehend von den Erwartungen abwichen. Besonders deutlich sind diese Abweichungen in den Zeitreihen der multiplen Bestimmtheitsmaße je Monat dokumentiert.

So zeigt das Beispiel der Erdnüsse im Nordsahel des Senegal (vgl. Abb. 53 - Station Linguere), daß es sich bei den Anbauflächen dieser Region bereits um Grenzstandorte für diese Kultur handeln muß, denn der Witterung des Oktober kommt für die Ertragsausbildung eine ungewöhnlich bedeutende Rolle zu. Ursache für diesen deutlichen Zusammenhang ist das nach der Regenzeit im Boden gespeicherte Wasser, denn bei einer mittleren Variabilität der Niederschläge von 30% unterliegt das Zeitintervall, in dem vor der Aussaat ausreichende Niederschläge fallen, hohen Schwankungen. Die Folgen dieser Situation sind häufig in den Spätsommer verzögerte Aussaattermine der Erdnuß, die dann auf die im Boden gespeicherte Feuchtigkeit zu Beginn der winterlichen Trockenzeit angewiesen ist.

Davon völlig abweichend gestalten sich die Zusammenhänge zwischen der Witterung und den Erdnußerträgen in der Casamance (vgl. Abb. 46). Aufgrund der viel zu hohen Feuchtigkeit für diese Frucht zu Beginn der Regenzeit wird mit ihrem Anbau erst im August begonnen, im November wird geerntet. Es drängt sich die Vermutung auf, daß in dieser Region nicht die klimatischen Bedingungen den Erdnußanbau allein favorisieren. Demnach müssen andere, vornehmlich wirtschaftliche Gründe für die Ausbreitung des Erdnußanbaus in dieser Region verantwortlich sein. Zunächst war ihr Anbau auf den Westen des Landes im Dreieck Thies, Diourbel, Louga konzentriert. Seit den 40er Jahren hat sich die Erdnußkultur immer weiter nach

Osten und Süden ausgedehnt. Zu Anfang der 50er Jahre ist sie auch in der Casamance heimisch geworden. Mit der Erdnuß gelangte die Geldwirtschaft in die Region, die bis zu diesem Zeitpunkt nur im äußersten Osten mit dem Mutterland in direkter Verbindung stand. Der kürzeste Weg direkt in den Norden war durch den nach dem Gambiafluß benannten Staat sehr stark behindert. Zudem war die dort ansässige Bevölkerung der Diola in der Basse- und der Manding in der Haute-Casamance traditionell sehr eigenständig und pflegte nur wenig Kontakte zu den Ethnien im nördlichen Senegal. Wirtschaftlich waren diese Regionen lange Zeit autark und nicht auf den Handel mit dem Sahel angewiesen. Erst mit dem Ausbau einer ständigen Verkehrsverbindung durch Gambia gelangte die Casamance zum Anschluß an den Norden und über die Erdnuß zur Erwirtschaftung von Kapital, denn die traditionellen Produkte der Region, der Reis (Diola/Manding) und die Hirse (Manding) dienten ausschließlich der Deckung des eigenen Nahrungsmittelbedarfes. Damit waren es rein wirtschaftliche Gründe, die die Einführung und Annahme der Erdnußkultur in einem für diese Frucht klimatisch sogar ungünstigen Raum verursachten und sie bis in die Gegenwart erhielten.

Ein weiteres Beispiel für einen marginalen Standort einer Kulturpflanze findet sich beim Reisanbau im Sine Saloum (vgl. Abb. 47). Die Station Kaolack erhält im langjährigen Mittel ca. 850 mm Jahresniederschlag und befindet sich damit sehr nahe an der Grenze, an der Reisanbau überhaupt noch möglich ist. Andererseits ist der Reis die einzige Getreideart, die Sorten kennt, die in den Mangrovensümpfen der Saloummündung gedeihen. Anders als am Ufer des Senegalflusses im Norden müssen die hier angebauten Kulturen dem Salzwassereinfluß widerstehen können. Damit ist der Reis aufgrund der edaphischen und hydrologischen Bedingungen dieser Region konkurrenzlos allen anderen Nutzungsformen im Bereich der Landwirtschaft überlegen, obwohl er in Bezug auf die Süßwasserversorgung durch die jährlichen Regen einen Grenzstandort einnimmt. Dies belegen die Zeitreihen der multiplen Bestimmtheitsmaße, die eine zunehmend enger werdende Beziehung zwischen den Erträgen und dem Klima zum Ende der Regenzeit belegen.

Der Sorghum-Anbau in Kordofan (Station Dilling - Abb. 50) wird dort ebenfalls an seiner unmittelbaren Trockengrenze praktiziert. Dokumentiert wird diese Tatsache durch die gleich hohe Bedeutung

der klimatischen Ausprägung in allen Monaten der Vegetationszeit. Noch deutlicher wird dieser Tatbestand am Beispiel der Erdnußkulturen im nördlichen Sahel des Sudan (vgl. Abb. 51). Auch hier handelt es sich um extreme Marginalstandorte, die allesamt über zu geringe Niederschlagsmengen verfügen (El Obeid: 380 mm, El Fasher: 320 mm). Das bedeutet, daß die Aussaat häufig erst verzögert stattfinden kann und daß die Erdnußpflanzen während ihrer gesamten Vegetationsperiode einem starken Trockenstreß ausgesetzt sind.

Noch deutlicher wird die Gefährdung der Erdnußkulturen durch Trockenheit in den Durchschnittserträgen sichtbar. Das Erdnußbeken des Sudan (Provinz Kordofan) konnte zwischen 1960 und 1982 durchschnittlich 565 kg/ha erzielen, im Gegensatz zum Erdnußbeken des Senegal (Provinz Diourbel) mit 738 kg/ha. Diese Differenz läßt sich allein auf hygrische Parameter zurückführen - das Erdnußbecken des Senegal erhält durchschnittlich 150 mm mehr Regen als die Provinz im Sudan, bei ähnlichen edaphischen Bedingungen in beiden Räumen (leichte, lockere, sandige Böden).

Im Anschluß daran läßt sich die berechnete Frage stellen, warum die Erdnußkultur überhaupt in diese trockene Region eingeführt wurde, bzw. sich bis heute dort unangefochten behaupten konnte. Eine Antwort darauf bietet nur die Synthese von drei z.T. völlig verschiedenen Gesichtspunkten. Einmal sind edaphische, zum zweiten historische, kolonialzeitliche und drittens wirtschaftliche Gründe anzuführen, die für diese Situation verantwortlich sind. Es ist an anderer Stelle bereits darauf hingewiesen worden, daß die politische Grenze zwischen den Teilprovinzen Nord- und Südkordofan über weite Strecken einer natürlichen Grenze mit leichten sandigen Böden im Norden und dichten schweren Tonböden im Süden folgt. Die physikalischen Eigenschaften dieser Minutenböden haben eine frühzeitige intensive Inkulturnahme während der Kolonialzeit nahezu völlig verhindert. Ein zweiter wesentlicher Faktor war die Erreichbarkeit und damit die verkehrstechnische Anbindung dieser feuchteren Regionen. Die kolonialzeitliche Inbesitznahme des Anglo-Ägyptischen Sudan erfolgte einmal von Nord nach Süd den Nil aufwärts und andererseits von den Ufern des Nil nach Westen und Osten. Obwohl auch die Erschließung der Bereiche der Altdünengürtel Nordkordofans verkehrstechnisch nicht unproblematisch war, boten sie dennoch einen enormen Vorteil. Aufgrund

des sandigen Substrates waren diese Regionen auch in der sommerlichen Regenzeit immer erreichbar, denn der Regen versickert sofort, wohingegen die Tonböden in aufgequelltem Zustand für jede Art Fahrzeuge unpassierbar blieben. Konsequenterweise wurde bereits von seiten der Kolonialverwaltung die verkehrstechnische Anbindung dieses Raumes an die Handelszentren am Nil durch den Bau der Eisenbahn sichergestellt. Bis zum heutigen Tage hat sich an der Verkehrssituation im Sudan wenig geändert. Mit Ausnahme einer Teerstraße am westlichen Rand des Tonbeckens in Südkordofan ist das übrige Gebiet mit motorgetriebenen Fahrzeugen ausschließlich in der Trockenzeit zu erreichen.

Aufgrund der hohen Erschließungskosten in den Kolonialgebieten (das gilt ebenso für den Senegal) mußte der Verwaltung dieser Länder daran gelegen sein, weltmarktfähige Produkte zu erzeugen, um auf diesem Wege eine Amortisation der Kosten zu erreichen. Die natürlichen klimatischen Bedingungen der Sahelzone Afrikas beschränkte die Auswahl der zur Verfügung stehenden 'Cash-Crops'. Am Ende blieb als einzige geeignete Kultur die Erdnuß übrig, denn die mögliche Alternative, Baumwolle, konnte in dieser trockenen Region unmöglich gedeihen. Dazu hätte man unbedingt in den feuchteren unzugänglichen Süden vordringen müssen. Es bestand aber kein Anlaß mehr dazu, nachdem man bereits zu Beginn dieses Jahrhunderts erkannt hatte, daß mit Hilfe der künstlichen Bewässerung die Alluvialebenen zwischen Blauem und Weißem Nil (spätere und heutige Gezira) für eben diesen Baumwollanbau hervorragend zu nutzen sind. Gleichzeitig entfielen hohe Transportkosten, denn der wichtigste Handelsweg - der Nil - lag in unmittelbarer Nähe zu den Produktionszentren.

Diese Strukturen prägen bis heute das Bild der Landwirtschaft des Sudan, mit der Folge, daß die Erdnuß in einer Region angebaut wird, die für eine erfolgreiche Ertragsausbildung zu trocken, weil stark dürregefährdet, ist. Darüberhinaus gilt für diese Region nahezu das gleiche Argument, wie für den Erdnußanbau in der Casamance. Der Anbau dieser Frucht versetzt den Bauern neben der Viehzucht - in die Lage, etwas zu produzieren, wofür er mehr Geld erhält als bei der Erzeugung von Getreide. Solange sich diese Situation nicht ändert wird die Erdnuß selbst von marginalen Standorten im Sahel Afrikas nicht verschwinden.

Ganz anders präsentieren sich die Zeitreihen der multiplen Be-

stimmtheitsmaße der Beziehungen zwischen Klima und Ernteertrag in den mediterranen Regionen Tunesiens. Für alle Getreidesorten in sämtlichen Anbauregionen des Landes, vom 'Sahel' des Südens bis in den feuchten Norden von Bizerte, ist ein nahezu paralleler Verlauf aller Zeitreihen festzustellen (vgl. Abb. 52).

Im Vergleich zu den vorigen Beispielen legt dieses Ergebnis die Vermutung nahe, daß in den untersuchten Regionen Tunesiens der Boden im Hinblick auf die Ertragsausbildung nur eine untergeordnete Rolle zu spielen scheint. Vielmehr wird die Höhe der Erträge nahezu ausschließlich von hygrischen Parametern bestimmt, wie das bereits in Kapitel 5.3. dargelegt worden ist. Eine solche Aussage würde jedoch sämtlichen Ergebnissen aus der Literatur widersprechen. In Kapitel 2.1. mußte bei der Bewertung des vorhandenen Datenmaterials einschränkend bemerkt werden, daß eine Differenzierung der einzelnen Feldfrüchte nach Varietäten unmöglich war, weil statistisches Material nur in einzelnen Fällen für Versuchsfelder vorliegt, die weder den entsprechenden Raum repräsentieren noch keine ausreichend lange Zeitreihen liefern konnten.

Am Beispiel der Abb. 52 wird jedoch deutlich, daß die übergreifenden Bezeichnungen für die Brotgetreide, wie z.B. Hartweizen, tatsächlich vorhandene Differenzierungen in den angebauten Varietäten in jeder Region verschleiern. Anders können die parallelen Verläufe in den Zeitreihen nicht erklärt werden, denn die räumliche Verteilung der Böden in Tunesien ist in hohem Maße differenziert (vgl. Mensching, 1974).

Ein weiteres Argument für den Anbau edaphisch und klimatisch besonders angepaßter Varietäten in den einzelnen Regionen bietet die über lange Zeit andauernde und dabei selektiv und adaptierend wirkende Entwicklung der landwirtschaftlichen Kulturlandschaft. Anders als in den beiden übrigen Beispielen dominieren autochthone Kulturpflanzen des Mediterrangebietes die Landwirtschaft Tunesiens. Das gilt in gleichem Maße für die Nahrungsmittel- als auch für die Exportproduktion, so daß über einen langen Zeitraum hinweg eine 'Züchtung' von optimal angepaßten Sorten in den einzelnen Regionen ermöglicht wurde.

Diese Feststellung trifft im Bereich des Sahel nur für die seit langer Zeit kultivierten Getreide Hirse (Millet & Sorghum) und Reis (Casamance) zu. Sämtliche anderen Kulturpflanzen wurden aus fremden und z.T. räumlich sehr weit entfernten Regionen in diese

Bereiche eingeführt, wie z.B. die Baumwolle, der Mais und die Erdnuß. Neben einer langen Phase der Gewöhnung im Umgang mit den für die Bauern völlig unbekanntem Kulturen ist es nur in seltenen Fällen gelungen, über eine selektive Züchtung eine Vielzahl von Varietäten zu erzeugen, die den jeweiligen Standortbedingungen optimal angepaßt sind. Daß zunehmend auch bei den traditionellen Getreiden im Sahel die edaphischen Bedingungen die Ertragsausbildung steuern, wird von den an vielen Stationen seit 15-17 Jahren nachhaltig negativ veränderten Wasserhaushaltsbedingungen sowie von der abnehmenden ökologischen Valenz (Desertifikation) dieser Regionen verursacht.

Die Ergebnisse der vorliegenden Prognosemodelle zur Vorausschätzung der zu erwartenden Erträge sind zusammenfassend nach folgenden Gesichtspunkten zu werten:

Es hat sich auf die Genauigkeit der Schätzwerte durchaus positiv ausgewirkt, daß die in den Beziehungsgleichungen zwischen Klimaparametern und Ernteerträgen eingegangenen Variablen nach ihrem Anteil an der Varianzerklärung ausgewählt wurden. Dadurch wurden die Gewichte der einzelnen Parameter stärker betont, Parameter mit nur geringer Varianzerklärung wurden aus den Modellen ausgeschlossen. Auf diese Weise war es möglich, mit relativ wenigen Einflußparametern die Erträge auf der Basis einer niedrigen 'Irrtumswahrscheinlichkeit' vorauszusagen - eine wesentliche Voraussetzung für begrenzte Stichprobenumfänge (20-24 Jahre). Alle 'Jahresmodelle' der Ertragsschätzung lieferten hinreichend genaue Schätzwerte in mindestens drei von vier Jahren (75% der Fälle), mit lediglich drei Ausnahmen (s.o.). In einigen Fällen war aufgrund der hohen Varianzerklärung einzelner Klimaparameter in einem relativ frühen Stadium des Vegetationszyklusses angezeigt, zusätzlich sogenannte 'Frühmodelle' zu erstellen. Ihre Ergebnisse liefern in der überwiegenden Zahl der Fälle jedoch nur in zwei von drei Jahren akzeptable Schätzwerte, in Ausnahmen jedoch auch in 80% der Fälle (Provinz Kordofan: Erdnüsse).

Die zuvor beschriebene Vorgehensweise bei der Anzahl der zu berücksichtigenden Variablen birgt allerdings auch nicht zu übersehende Gefahren. Die sehr starke Gewichtung einzelner führt unweigerlich dazu, daß bei einem extremen Witterungsverlauf in einem solchem Monat die Werte entschieden zu hoch bzw. zu niedrig geschätzt werden. Diese Fehler werden in dem Modell nur dann korri-

giert, wenn zu einem späteren Zeitpunkt ein erklärender Parameter mit ebenso extremer aber gegensätzlicher Ausprägung in dem Modell Berücksichtigung findet. Beispiele für den Fall, wo in nur einem Monat ein extremer Witterungsverlauf zu einer erheblichen Über- oder Unterschätzung führte, zeigen in der Regel alle 'Frühmodelle'. Eine ausgleichende Entwicklung zu einem späteren Zeitpunkt kann in ihnen nicht mehr zum Tragen kommen. Ein solches Beispiel ist bereits bei der Analyse der Schätzmodelle für die Reiserträge in der Provinz Casamance eingehend beschrieben worden. Erhebliche Schätzfehler sind in einzelnen Jahren allerdings ebenso in den 'Jahresmodellen' aufgetreten. Hier handelt es sich vor allem um die bekannten Trockenjahre in den verschiedenen Regionen, z.B. 1968, 1972, 1973 und 1977. Es muß dazu aber auch festgestellt werden, daß in zahlreichen Beispielen (s.o.) diese Extremjahre sehr gut repräsentiert werden. Der einzige mögliche Ansatz zur Verbesserung der Modelle gerade in Extremjahren wurde bereits von Hanus (1969, S.101) formuliert, der bei einer Analyse wie im vorliegenden Fall erhebliche Schwierigkeiten hatte, sogenannte Extremjahre für das Gebiet der Bundesrepublik vorherzusagen: "Aus den dargelegten Gründen kann daher angenommen werden, daß die in Extremjahren auftretenden Schätzfehler nicht auf Mängel der Methode zurückgeführt werden können, sondern daß sich darin Unzulänglichkeiten der Stichprobe offenbaren. Es besteht die begründete Vermutung, daß sich auch die Erträge von Extremjahren mit befriedigender Genauigkeit vorhersagen lassen, wenn in der Stichprobe bereits ähnliche Wetterabläufe erfaßt sind". Eine kontinuierliche, exakte und lückenlose Fortschreibung der Klimaparameter wie der erzielten Erträge ist damit Voraussetzung für noch höhere Genauigkeit der Modelle in der Zukunft.

Des weiteren müssen die Ergebnisse der Prognosemodelle über den Bemessungszeitraum hinaus (vgl. Tab. 8) einer kritischen Bewertung unterzogen werden. Es stellt sich die Frage, warum die Erdnuß- und die Mil/Sorgho-Schätzungen in der Provinz Diourbel so vergleichsweise unbefriedigende Schätzwerte erbrachte. Die Ursachen, die dazu angeführt werden, gelten für beide Kulturfrüchte in gleichem Maße.

Im Jahre 1981 konnte die Aussaat erst in den ersten Augusttagen erfolgversprechend begonnen werden, denn die Niederschlagsereignisse waren im Juli diesen Jahres im Hinblick auf den Bodenwas-

serhaushalt äußerst ungünstig verteilt. In dem Zeitraum vom 1.-4.7. waren nur 20 mm Regen gefallen. Nennenswerte Regenmengen waren danach erst ab dem 25.7. wieder registriert worden, so daß die ersten Regen für den Anbau nicht genutzt werden konnten.

Im Jahre 1982 wurden an der Station Diourbel Juliregen in Höhe von 90 mm registriert. Nach ausreichenden Niederschlägen zu Beginn des Monats erfolgte die Aussaat nach dem 15.7.. Im Anschluß daran fielen bis zum 28. des Monats keine weiteren nennenswerten Niederschläge. Die Regen im August und September waren gleichmäßig über die Monate verteilt. Durch die ungünstige Niederschlagsverteilung im Juli hat ein Großteil der Bauern erst zu Beginn des August ausgesät, wodurch sich der Vegetationszyklus über einen Monat in die winterliche Trockenzeit hinein verzögerte, so daß das Ende des Zyklus nicht mehr von dem Modell berücksichtigt werden konnte.

Besonders gravierend wirkte sich 1983 eine vergleichbare Situation aus. Im Juli waren lediglich 10 mm registriert worden und die ersten nutzbaren Niederschläge fielen im August erst nach dem 20., so daß sich der Vegetationszyklus noch einmal um mehr als einen halben Monat verschob.

Diese Beispiele zeigen, daß bei einer nachhaltig sich verschlechternden Situation der Niederschlagsversorgung, die seit 1968 bis 1984 einschließlich zu beobachten war, der den Modellen zugrunde liegende Bemessungszeitraum noch nicht ausreicht, zufriedenstellende Schätzwerte zu erhalten. Dieses Argument gilt besonders für die Bereiche des nördlichen und zentralen Sahel, wohingegen das Modell für die südlich anschließenden Regionen (Casamance) mit Ausnahme von 1983 hervorragende Schätzwerte zu liefern vermochte. Aber es gibt auch Ausnahmen, wo allein eine Fortschreibung des Datensatzes sicherlich nicht zu Modellverbesserungen beitragen kann. Beispiele und ihre Gründe dafür wurden anhand der Modelle der 'Mil/ Sorgo', der Millet- und der Gersteerträge erläutert. Verbesserungen sind in den genannten Fällen nur unter der Voraussetzung einer deutlichen Differenzierung bei der inhaltlichen und regionalen Datenerhebung zu erwarten.

Damit konnten die Analysen der zeitlichen Ähnlichkeiten zwischen den Daten klimatischer Einflußgrößen und den Ertragsdaten über die rein statistischen Ergebnisse hinaus ebenfalls indirekt Auskunft über einen weiteren wesentlichen Produktionsfaktor, den

Boden, geben. Auch ohne die quantitative Berücksichtigung dieses Faktors war es möglich, seinen Einfluß auf die Ertragsausprägung zu bewerten. Nicht zuletzt die edaphischen Bedingungen sind für das hohe Maß an räumlicher Individualität in den Regionen des Untersuchungsgebietes verantwortlich.

Des weiteren erlauben die vorliegenden Analysen eine Beurteilung der landwirtschaftlichen Situation in der Hinsicht, daß sie Auskunft über die Eignung der Räume für die Produktion bestimmter Kulturpflanzen geben. Dabei zeigte sich vor allem am Beispiel Tunesiens das Zusammentreffen von klimatischen Voraussetzungen und optimal angepaßten Kulturen. Diese Situation ist im Senegal ebenfalls in vielen Regionen gegeben, im Sudan gilt diese Aussage weitestgehend nur für die Produktion der Grundnahrungsmittel. Die Tatsache, daß diese Gegebenheiten bis zum heutigen Tage Bestand haben, kann aus den vorangegangenen Analysen nicht erklärt werden. Erst die Berücksichtigung wirtschafts- und bevölkerungsgeographischer Aspekte vermag diese Fragen einer Klärung näher zu bringen.

Die wirtschaftlichen Interessen der älteren Vergangenheit (Kolonialzeit) haben die landwirtschaftliche Situation in den untersuchten Gebieten nachhaltig geprägt. Eine Analyse der Gründe, warum diese Situation bis heute nahezu unverändert blieb, würde im Rahmen dieser Untersuchung sicherlich zu weit führen.

Dennoch ist ein Aspekt hervorzuheben, der im Zusammenhang mit den vorangegangenen Analysen von besonderer Wichtigkeit ist.

Die Zahl der in Afrika lebenden Menschen hat sich seit 1960 mehr als verzweieinhalbfacht. Als Folgen des rapiden Bevölkerungswachstums - der momentane Zuwachs in den untersuchten Gebieten liegt bei etwa 3% jährlich im Sahel, in Tunesien sogar nahe an 4% - mußten die Anbauflächen zur Nahrungsmittelerzeugung erheblich ausgedehnt werden. Dies geschah unter Auslassung notwendiger Brachezeiten wie durch Ausdehnung der Ackerflächen in klimatisch ungünstigere Räume. Der großflächige Einsatz von Düngemitteln ist in der traditionellen Landwirtschaft unbekannt und auch unbezahlbar, denn die Subventionierung der Brotpreise in allen drei vorgestellten Staaten erlaubt den Bauern keinerlei Kapitalschöpfung aus dem Anbau von Grundnahrungsmitteln, die Vorraussetzung für den Kauf von Düngemitteln oder ertragreicherem Saatgut wären. Als Folge dieser Entwicklung konnten sinkende Hektarerträge beobach-

tet werden.

Da auf Seiten der natürlichen Bevölkerungsbewegungen bis zum gegenwärtigen Zeitpunkt keinerlei Trendwende zu erkennen ist, muß mit einer weiteren Verschlechterung der Produktionsbedingungen durch die Übernutzung des Naturraumes durch den Menschen (Desertifikation) gerechnet werden. Diese kann zu noch prononcierteren Beziehungen zwischen Klima und Ertrag führen, wie dies bereits jetzt in den nördlichsten Anbauregionen der Sahelzone der Fall ist. Andererseits werden sich durch eine solche Entwicklung bisherige Gunststandorte bestimmter Kulturen immer mehr zu Grenzstandorten entwickeln. Als Beispiel für eine derartige Situation können die Schätzmodelle der Provinz Diourbel gelten. Es bleibt abzuwarten, inwieweit sich derart nachhaltige Veränderungen auf das Beziehungsgeflecht Klima-Ernteertrag auswirken. Sicher ist, daß der hier berücksichtigte Bemessungszeitraum für weitergehende Schätzmodelle in Zukunft auf längeren Zeitreihen und damit einer möglichen Neugruppierung der Einflußparameter basieren sollte.

9. Raum-zeitliche Ähnlichkeiten zwischen Ertragsdaten und Daten klimatischer Einflußgrößen

Nachdem im vorangegangenen Kapitel die zeitlichen Ähnlichkeiten zwischen den Ertragsdaten und Daten klimatischer Einflußgrößen überprüft und aufgedeckt werden konnten, steht nun die zeitliche und räumliche Ähnlichkeit der Witterung im Vordergrund. Anschließend soll dann noch überprüft werden, ob auch raum-zeitliche Ähnlichkeiten der Erträge aufgezeigt werden können, so daß dadurch die raumzeitlichen Ähnlichkeiten der Ertragsdaten durch raumzeitliche Ähnlichkeiten in der Witterungsausprägung erklärt werden können.

Im ersten Schritt wird zunächst geklärt, ob die Niederschlagsausbildung in den einzelnen Monaten der Regenzeit in dem hier untersuchten Zeitraum Ähnlichkeiten einzelner Jahre aufzuzeigen vermag und wie diese Ähnlichkeiten im Raum verteilt sind. Es handelt sich damit um eine Analyse der räumlichen Ähnlichkeiten einzelner Jahre der Niederschlagsausprägung. Grundlage dieser Ähnlichkeitsanalysen bildet der faktorenanalytische Ansatz. Bei diesem Verfahren (vgl. Kap. 4) werden, von den Niederschlagsmengen des jeweiligen Monats für die Variable 'Jahr' und den Fall 'Raumeinheit' ausgehend, Faktoren als 'Jahrestypen' extrahiert und über die Faktorladungen deren Zusammenhang mit den Einzeljahren, über die Faktorwerte mit den Raumeinheiten hergestellt. Die Regenmengen werden dabei für jede Station (Fälle) getrennt über die Jahre 1960-1980 (Variable) einer Hauptkomponentenanalyse unterworfen. Auf der Basis der dieser Analyse zugrunde liegenden Zeitreihen der Witterungsausprägung (vgl. Abb.1) konnten insgesamt 24 Stationen (Fälle) Berücksichtigung finden, für die diese Daten vollständig vorlagen.

Das Verfahren liefert Faktoren, die Jahre ähnlicher Niederschlagsausprägung in den einzelnen Monaten der Sahelstaaten Sudan und Senegal intergrieren. Damit sind zeitlich differenzierte Ähnlichkeitsstrukturen der Niederschlagsausbildung für jeden Monat der Regenzeit (Juli-Oktober) gegeben. Die räumliche Dimension wird durch die Karten der Faktorwerte der jeweiligen Faktoren aufgespannt. Diese Karten zeigen klassifizierte Faktorwerte, also die 'Höhe' der Ausprägung der Faktoren. oder das Gegenteilige (negative Faktorwerte) der Faktoren im Raum. Es handelt sich um

Muster der Ähnlichkeit von Räumen hinsichtlich der zeitlichen Ähnlichkeit der Niederschlagsjahre (Frankenberg 1984, S. 105). Damit resultieren aus dem oben beschriebenen Verfahren raum-zeitliche Ähnlichkeiten der Niederschlagsausprägung für die einzelnen Monate während der Regenzeit.

In dem nachfolgenden Schritt wird zu klären sein, ob die raum-zeitlichen Niederschlagsausprägungen von eben solchen Ähnlichkeitsmustern der Ertragsausbildung in den gleichen Jahren gefolgt wurden (vgl. Kap. 9.2.). Die Durchführung des oben skizzierten Verfahrens stößt bei den Ernteertägen auf statistische Schwierigkeiten, denn auch in diesem Fall sollte geprüft werden, ob die Ertragsausbildung der Feldfrüchte ebenfalls Ähnlichkeiten einzelner Jahre aufzuzeigen vermag, und wie diese Ähnlichkeiten im Raum ausgeprägt sind. Dazu hätten die Erträge für jede Feldfrucht getrennt über alle Jahre (1960-80) über alle Regionen/Provinzen, in denen die Feldfrüchte angebaut werden, ebenfalls einer Hauptkomponentenanalyse unterworfen werden müssen. Voraussetzung für die Durchführung dieses Verfahrens sind bei einer Anzahl von 21 Variablen (Jahre 1960-1980) das Vorhandensein von mindestens 23 Regionen/Provinzen (Fälle), denn die Anzahl der Fälle minus 2 Freiheitsgraden muß größer oder gleich der Anzahl der Variablen sein. Im günstigsten Fall können in dieser Analyse nach dem vorliegenden Datenmaterial 8 Regionen (Fälle) berücksichtigt werden, in denen räumlich differenzierte Zeitreihen der Erdnußerträge vorliegen. Für alle anderen Ertragszeitreihen, auch denen des tunesischen Bereiches, wird die Anzahl der Fälle noch weitaus geringer.

Eine mögliche Alternative, dem oben skizzierten statistischen Problem zu entgehen, böte eine Veränderung der Ausgangsmatrizen, indem nunmehr die Regionen als Variable und die Jahre 1960-1980 als Fälle behandelt würden. Ein solches Vorgehen hätte zum Ergebnis, daß Faktoren ähnlicher Regionen/Provinzen über alle Jahre (1960-80) extrahiert würden. Ziel der Analyse (vgl. Kap. 1) ist jedoch, den interannuellen Witterungsschwankungen im Hinblick auf die Ertragsausbildung Rechnung zutragen.

Deshalb ist trotz der Bedenken von statistischer Seite der erste Analyseansatz weiter verfolgt worden, um räumliche Ähnlichkeiten einzelner Jahre der Ertragsausprägung zu extrahieren. Aus den oben angeführten Gründen ist diese Analyse nur anhand der zeit-

lich differenzierten Erdnußerträge für 8 Regionen im Sahel des Senegal und des Sudan durchgeführt worden. Die erzielten Ergebnisse der Faktorenanalyse der Erdnußerträge sind damit nicht signifikant im Gegensatz zu den Ergebnissen der Faktorenanalysen der Juli-, August-, September- und Oktoberniederschläge.

Ziel dieses Kapitels ist somit in erster Linie die Diskussion und Durchführung einer Methode zur Extrahierung raum-zeitlicher Ähnlichkeitsstrukturen der Niederschlagsausprägung in den einzelnen Monaten der Regenzeit auf der einen und raum-zeitlicher Ähnlichkeitsstrukturen der Erdnußertragsausbildung auf der anderen Seite.

9.1. Die Niederschlagsausprägung in der Zeit und damit zusammenhängende regionale Ähnlichkeitsmuster

Die faktoranalytischen Untersuchungen der Witterungsparameter wurden auf die Niederschlagshöhen der einzelnen Monate während der Vegetationszeit beschränkt, nachdem in den vorausgegangenen Analysen in Kap. 8.1.- 8.3. eine überragende Bedeutung dieser Klimaparameter herausgestellt werden konnte.

Als Ergebnis des Verfahrens liegen Faktoren vor, die Jahre ähnlicher Niederschlagsvariabilitäten (je Monat) integrieren. Damit sind zeitlich differenzierte Ähnlichkeitsstrukturen der Niederschläge für jeden Monat gegeben, deren räumliche Ausprägung in den Karten der Faktorwerte dargestellt ist. Als Ergebnis der Hauptkomponentenanalysen der Niederschlagsmengen sind in der Tab.19 die Varianzerklärungen der jeweiligen Faktoren zusammengestellt, die den Eigenwert von 1,0 übersteigen. In den meisten Fällen ist eine deutliche Dominanz des 1.Faktors vorhanden, dessen erklärter Varianzanteil zwischen ca. 30% und 50% angesiedelt ist.

In der Abbildung 63 sind die Faktorladungen der ersten sieben Faktoren der Hauptkomponentenanalyse der Juli-Niederschläge über 20 Jahre und 24 Regionen im Senegal und Sudan dargestellt. Jahre ähnlicher Niederschlagsausprägung werden durch hohe Faktorladungen eines Faktors und absolut niedrige Ladungen der übrigen Faktoren geprägt, da die Niederschlagsmenge der jeweiligen Jahre über die Regionen hoch miteinander korrelieren.

Niederschläge Faktoren

	1	2	3	4	5	6	7
Juli	31,9	12,2	10,5	8,8	7,8	6,5	5,4
August	29,6	11,8	10,8	10,3	8,1	5,1	---
September	49,9	10,3	8,0	6,0	5,8	---	---
Oktober	29,5	13,5	10,4	10,1	7,4	7,0	5,0

Tab. 19 Varianzerklärung der Faktoren (Eigenwert > 1) der Hauptkomponentenanalysen der Niederschläge in den jeweiligen Monaten über 21 Jahre (Variable) und 24 Stationen (Fälle)

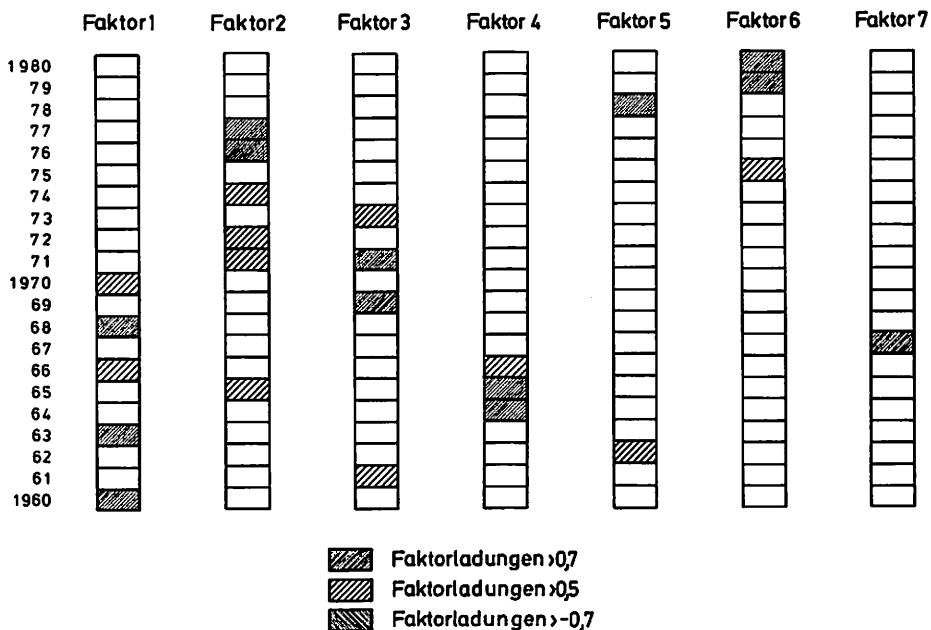


Abb. 63 Zeitreihen der Faktorladungen (Eigenwert > 1) der Hauptkomponentenanalyse Juli-Niederschläge

Die Darstellung der Zeitreihen der Faktorladungen der jeweiligen Faktoren liegt in klassifizierter Form vor (vgl. Abb. 63). Die Abgrenzungskriterien für die einzelnen Klassen bilden die Höhen der Faktorenladungen. Faktorladungen $> 0,707$ erklären mehr als die Hälfte der Varianz der Eingangsvariablen. Bei Faktorladungen $> 0,5$ werden immerhin noch mehr als 25% der Varianz durch diesen Faktor erklärt. Niedrigere Faktorladungen wurden nicht näher differenziert (weiße Felder) und auch nicht analysiert. Gegenläufig schraffiert wurden die Jahre, in denen die Faktorladungen die oben skizzierten Signifikanzniveaus überschritten, jedoch mit negativen Vorzeichen (z.B. $< -0,7$ oder $< -0,5$).

Der 1. Faktor integriert die Jahre 1960, 1963, 1966, 1968 und 1970 als Jahre ähnlicher Niederschlagsausprägung der Juli-Regen. Charakterisiert sind diese Jahre durch Niederschlagshöhen, die etwa dem Mittelwert dieses Monats an den meisten Stationen entsprechen, mit Ausnahme des Jahres 1966. In dem Jahr war an zahlreichen Stationen ein nahezu völliger Ausfall der Juli-Niederschläge zu erkennen.

Die Karten der Faktorwerte des 1. Faktors der Hauptkomponentenanalyse Juli-Niederschläge vermittelt eine deutliche Nord-Süd-Differenzierung der Räume im Senegal und eine ebenso ausgeprägte West-Ost-Differenzierung im Sudan (vgl. Abb. 65). Für die Jahre mit mittleren Regenmengen (Werte um den langjährigen Mittelwert) sind die Faktorwerte am höchsten in den Provinzen Sine Saloum und Tambacounda und im gesamten Bereich der Provinz Kordofan ausgeprägt. Den nördlichen (im Senegal) und westlichen Landesteilen im Sudan eignet eine gegenteilige räumliche Ausprägung, mit Ausnahme der Provinz Diourbel, die aufgrund ihrer klimatischen Sonderstellung im maritim beeinflussten Küstenbereich (vgl. Kap. 5.2.) einem ihr eigenen Rhythmus folgt, in manchen Jahren, dem sahelischen, in anderen Jahren dem maritimen Rhythmus.

Der 2. Faktor faßt die Jahre 1972, 1974, 1976 und 1977 zusammen. Es handelt sich dabei um einen ersten Typ, der sowohl Feucht- (1974, 1976) als auch Trockenjahre (1972 u. 1977) repräsentiert, wobei die letztgenannten immerhin soviel Regen erhalten, daß sie in dem Bereich knapp über einer negativen Standardabweichung vom Mittelwert anzusiedeln sind.

Dieser Faktor, der sowohl Feucht- als auch Trockenjahre repräsentiert, findet eine hohe positive Ausprägung nur im südlichen Bereich des Senegal sowie im Süden und Westen Darfurs und Südosten Kordofans, wohingegen die Küstenbereiche und die östlichen Landesteile im Senegal wie die westliche Hälfte Kordofans von einer gegenteiligen Faktorwertausprägung gekennzeichnet werden (vgl. Abb. 65).

Der 3. Faktor ist repräsentiert durch die Jahre 1961, 1969, 1971 und 1973, ausgesprochen normale Jahre mit Niederschlagshöhen, die quasi den Mittelwert erreichen oder sogar leicht darüber liegen. Die einzige Ausnahme stellt das Jahr 1969 dar, das durch eine besonders starke Dürre im Juli mit beinahe Totalausfällen der Regen charakterisiert ist. Unterschiede zum 1. Faktor liegen in

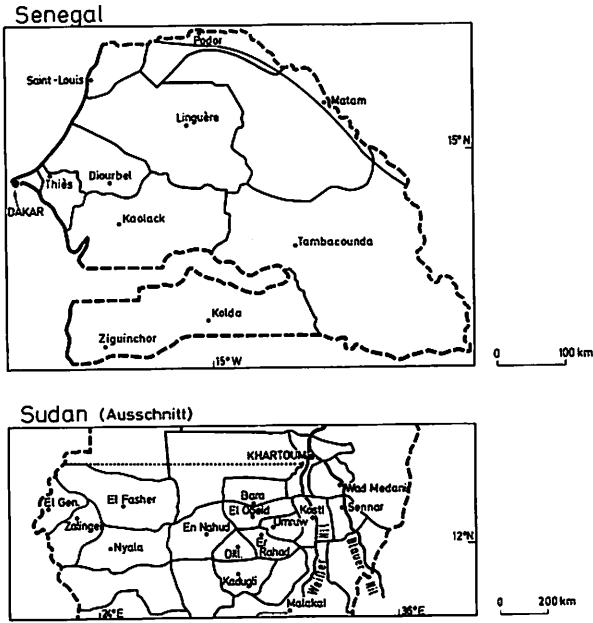


Abb. 64 Übersichtskarte für die Abbildungen 65, 66, 68, 69, 71, 73, 74

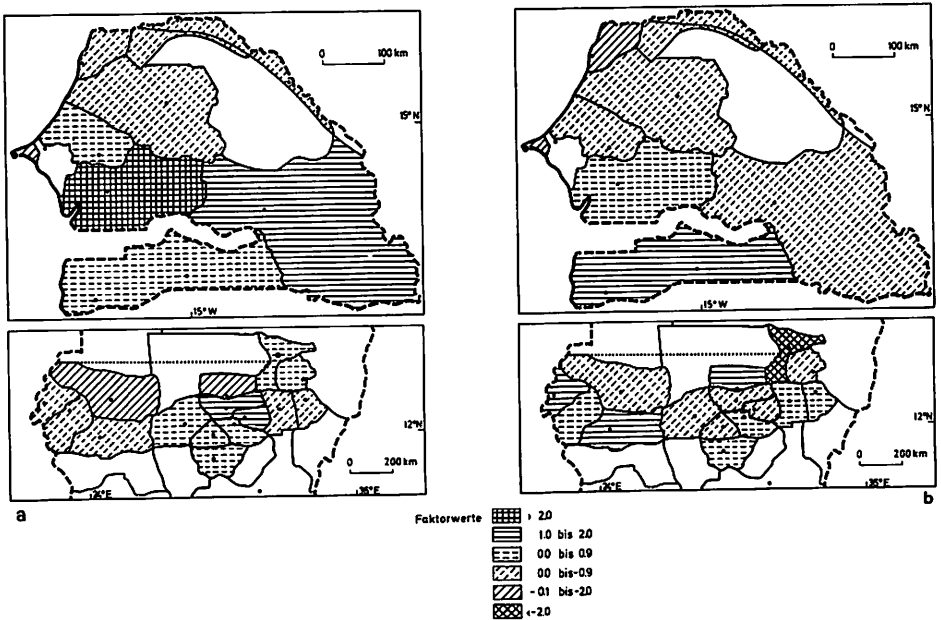


Abb. 65 Raummuster der Faktorwerte des 1. (a) und 2. (b) Faktors der PCA der Julniederschläge

den Werten für die Räume Sine Saloum und Zentralkordofan (vgl. Abb. 65 u. 66).

Die räumliche Ausprägung des 3. Faktors weist für den nördlichen und zentralen Teil des Senegal hochnegative Faktorwerte auf. Im Senegal weisen die kontinentaleren Regionen Senegal Oriental und Linguere positive Faktorwerte auf, im Sudan der Süden und Westen Darfurs und Süden der Provinz Kordofan.

Der 4. Faktor wird hauptsächlich durch zwei Jahre repräsentiert: 1964, 1965. Ein Vergleich der Zeitreihen der Juli-Niederschläge der berücksichtigten Stationen des Sahel macht deutlich, daß dieser Faktor sowohl ein Feucht- (1964) als auch ein Trockenjahr repräsentiert (1965), die aber in ihrer relativen räumlichen Abstufung kongruent verlaufen.

Eine positive Faktorausprägung findet sich im zentral/östlichen Kordofan, im westlichen Darfur sowie im Südosten, im zentralen Nordwesten und vor allem im Süden des Senegal. Für den Senegal spiegelt dieser Faktor einen deutlichen Süd - Nord Gegensatz wieder (vgl. Abb. 66b).

Der 5. Faktor integriert die Jahre 1962 und 1978, wobei das Jahr 1978 mit negativer Ladung eine gegensätzliche räumliche Differenzierung zum Jahr 1962 aufweist. 1962 (positive Faktorladung) kann im Hinblick auf die Juliniederschläge als Feuchtjahr gewertet werden, das in diesem Monat positive Niederschlagsabweichungen von etwa einer Standardabweichung verzeichnet, wohingegen 1978 der Regen nur etwa durchschnittliche Werte erreichte.

Der 5. Faktor findet seine höchste positive Ausprägung in der Casamance. Ebenfalls positive Faktorwerte eignen den Provinzen Fleuve (nur im Westen) und Norden, dem nordwestlichen Teil der Provinz Diourbel (Linguere) sowie dem Südosten Kordofans und nahezu der gesamten Provinz Darfur. (vgl. Abb. 66c).

Der 6. Faktor repräsentiert die Jahre 1975, 1979 und 1980. Die beiden erstgenannten Jahre sind als Normaljahre mit Niederschlagshöhen, die quasi dem Mittelwert entsprechen, zu werten. Für 1975 gilt außerdem eine negative Ladung auf deutlich niedrigerem Niveau. Im Juli 1980 erreichte der Regen an zahlreichen Stationen nur 1/5 der normalen Menge.

Das Raummuster des 6. Faktors zeigt positive Ausprägungen im gesamten Nordwesten, sowie im Südosten und Süden des Senegal. Nur die Regionen Diourbel, Dakar und Sine Saloum erfuhren in diesen

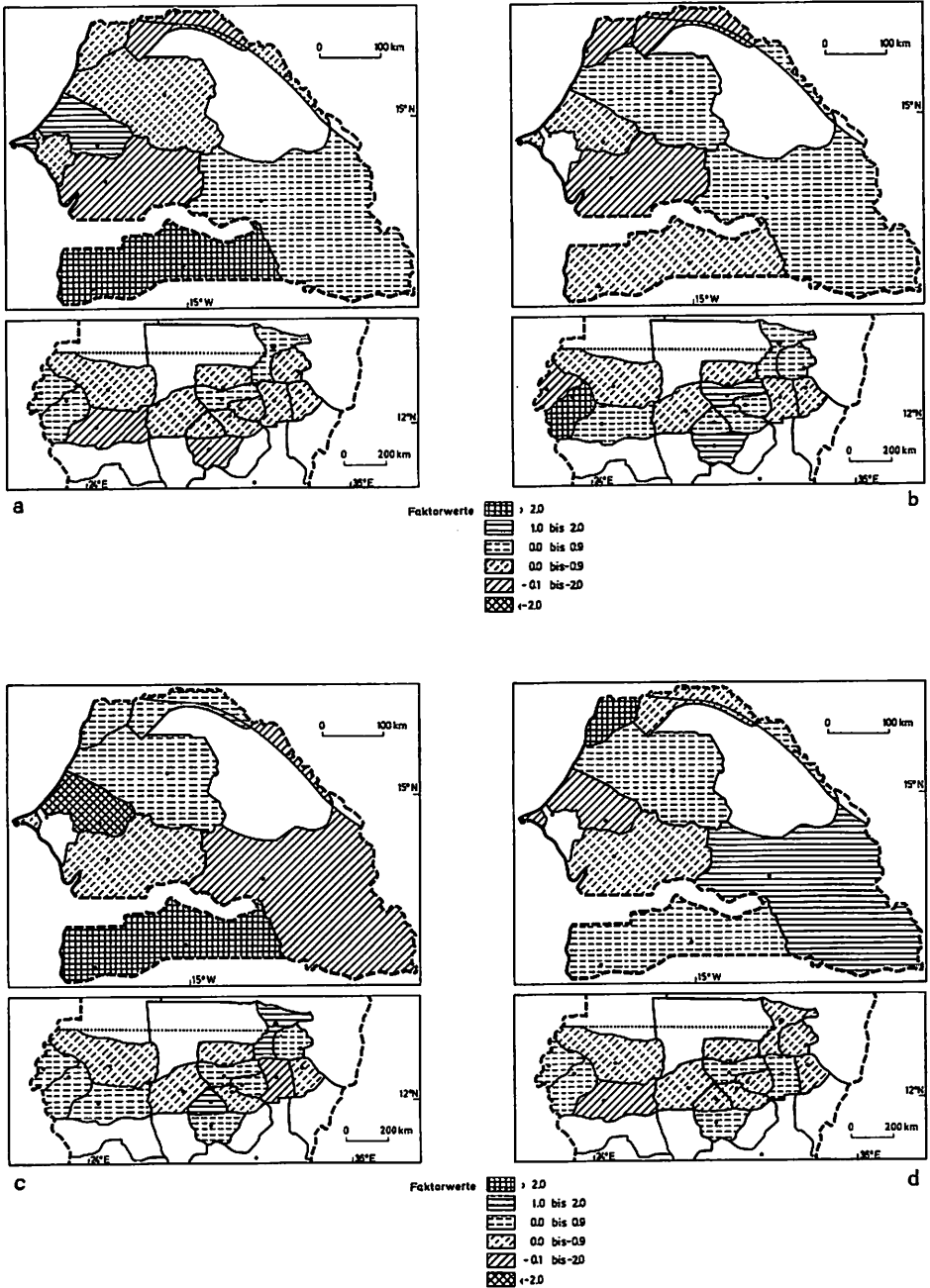


Abb. 66 Raummuster der Faktorwerte des 3. (a), 4. (b), 5. (c) und 6. (d) Faktors der PCA der Juli-Niederschläge

Jahren eine gegenteilige Faktorwertausprägungsausprägung. Sehr viel differenzierter ist die räumliche Ausprägung dieses Faktors im Sudan ausgebildet. Nur West-Darfur, Südkordofan und Teile der Nil Provinz sind ähnlich positiv.

Der 7. Faktor schließlich steht nur noch für ein Jahr, 1967, das je nach Station sowohl positive wie negative Abweichungen zu verzeichnen hatte.

Hohe Faktorwerte (nicht dargestellt) sind im Süden und Südwesten des Senegal und im gesamten 'Zentralsahel' des Sudan gegeben. Sämtliche Stationen, an denen hohe positive Faktorwerte ausgebildet sind, verzeichneten negative Niederschlagsabweichungen im Juli 1967.

Die Hauptkomponentenanalyse der August-Niederschläge ergab 6 Faktoren mit einem Eigenwert größer 1. In der nachfolgenden Abb. 67 sind die Faktorladungen in klassifizierter Form dargestellt.

Der 1. Faktor integriert die Jahre 1970, 1971, 1973, 1975 und 1976 als Jahre ähnlicher Niederschlagsausprägung im August. Geprägt wird dieser Faktor von leicht defizitären Niederschlagshöhen in den Jahren 1971 und 1975 und ausgesprochenen Trockenjahren 1973 und 1976. Das erste Jahr (1970) ist durch normale Niederschlagshöhen geprägt, die leicht über oder unter dem Mittelwert dieses Monats angesiedelt sind. Als wesentliches Merkmal dieses 1. Faktors ist herauszustellen, daß es sich insgesamt um einen ausgeprägten Trockenjahrstyp der Augustniederschläge handelt.

Die Karte der Faktorwerte des 1. Faktors (Abb. 68a) repräsentiert einen Südwest-Nordost-Gegensatz innerhalb des Senegal und einen Gradienten von West nach Ost im Sudan. Die westlichen Landesteile (Diourbel, Sine Saloum und Casamance) und im Sudan die westlichen Gebiete Darfurs zeigen eine ähnliche positive Ausprägung.

Der 2. Faktor faßt die Jahre 1961, 1963, 1972 und 1977 als ähnlich in ihrer Ausprägung zusammen. Charakterisiert wird dieser Faktor durch normale und sehr feuchte Jahre (1961 und 1963) auf der einen Seite und ausgesprochen trockenen Jahre im August (1972 und 1977) auf der anderen Seite.

Den Jahren dieses Typs gemeinsam sind hochpositive Werte in der Casamance und in Abstufungen im Erdnußbecken des Senegal sowie in den südwestlichen Teilen Darfurs und westlichen Regionen Kordofans.

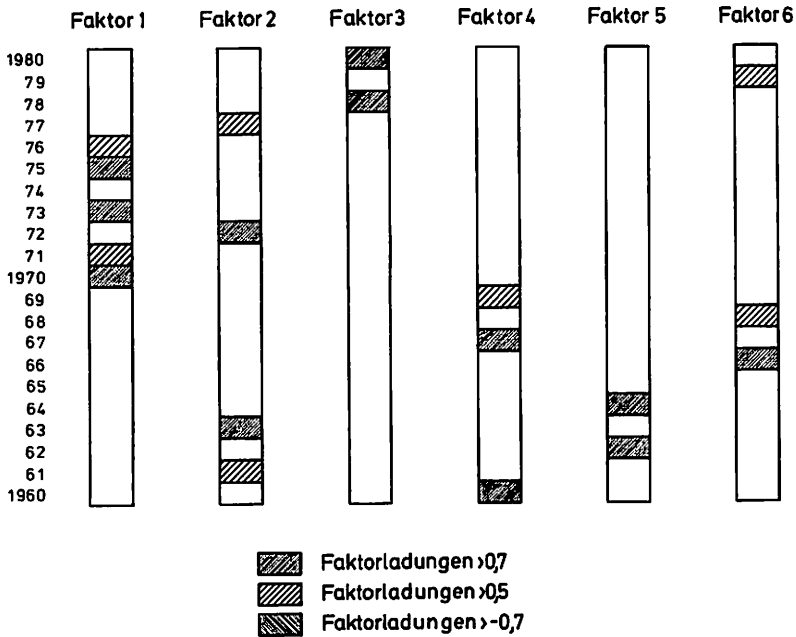


Abb. 67 Zeitreihen der Faktorladungen (Eigenwert >1) der Hauptkomponentenanalyse der August-Niederschläge

Alle anderen Räume im Norden, Westen und Osten des Senegal sowie nahezu im gesamten Sudan verhalten sich dazu gegenteilig, mit negativen Faktorwerten.

Der 3. Faktor repräsentiert die Jahre 1978 und 1980 und stellt damit einen ausgesprochenen 'Trockenjahrtyp' dar.

Die positiven Faktorwerte des 3. Faktors im gesamten zentralen und westlichen Bereich des Senegal und vor allem im östlichen Teil der Provinz Fleuve sowie im westlichen Darfur und kleinen Teilen Kordofans spiegeln in diesen Regionen Niederschlagswerte wieder, die über dem (sehr niedrigen) Gesamtmittel liegen. Der Norden, Südosten und Süden des Senegal und der zentrale Bereich des Sahel im Sudan verzeichnen negative Faktorwerte (vgl. Abb. 68c).

Der 4. Faktor faßt nur zwei Jahre (1960 und 1967) zusammen, wenn Faktorladungen größer als 0,7 als hinreichendes Kriterium zugrunde gelegt werden. Bei Faktorladungen größer als 0,5 müßte hier noch das Jahr 1969 Berücksichtigung finden. Die Jahre 1960 und 1967 und auch 1969 zeichnen sich durch leicht negative Abweichun-

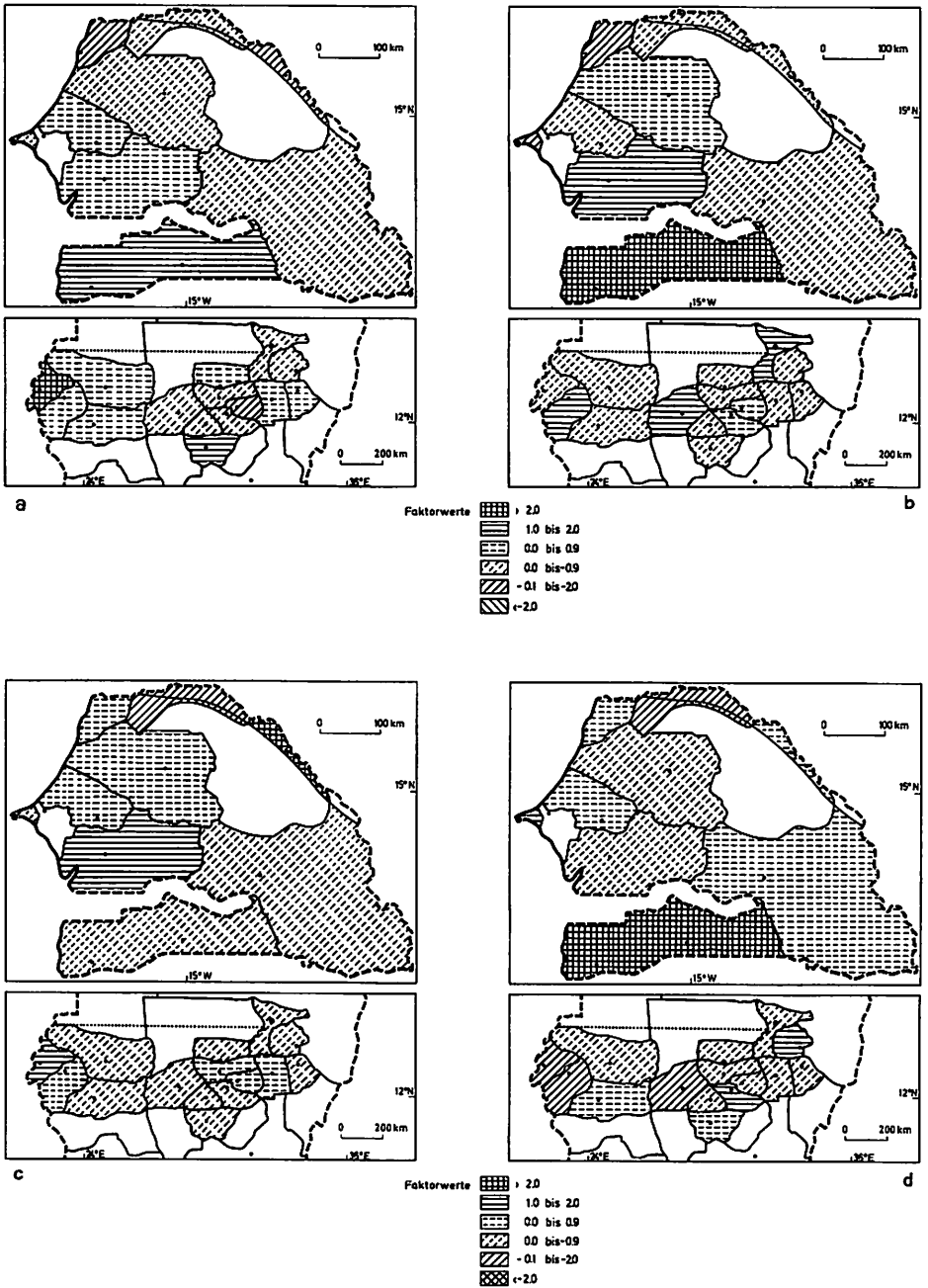


Abb. 68 Raumpuster der Faktorwerte des 1. (a), 2. (b), 3. (c) und 4. (d) Faktors der PCA der August-Niederschläge

gen vom Mittelwert aus, die jedoch Größenordnungen von einer Standardabweichung nicht erreichen können. Der 4. Faktor ist danach als leichter Trockenjahrfaktor zu werten.

Der 4. Faktor findet seine positive räumliche Ausprägung im südlichen, östlichen und westlichen Bereich des Senegal sowie im Süden Darfurs und Kordofans. In den übrigen Landesteilen beider Staaten sind diese ungünstigeren Niederschlagsereignisse in den genannten Jahren stärker negativ (vgl. Abb. 68d).

Der 5. Faktor integriert die Jahre 1962 und 1964 als ähnlich in ihrer Niederschlagsausprägung. Die Jahre zeichnen sich durch z.T. hohe positive Abweichungen vom Mittelwert aus, die Größenordnungen von mehr als einer Standardabweichung erreichen können. Der 5. Faktor ist somit als ausgesprochener Feuchtjahrfaktor zu charakterisieren.

Die räumliche Ausprägung des 5. Faktors zeigt den Zentralbereich Kordofans und den äußersten Südwesten Darfurs wie den Südosten und vor allem den zentralen Westen des Senegal als Bereiche positiver Faktorwerte (vgl. Abb. 69a).

Der 6. Faktor schließlich repräsentiert die Jahre 1966 und, wenn auch schwächer, 1968 und 1979. Dieser 6. Faktor, der sehr starke Gegensätze der Niederschlagsausprägung im August herausstellt, charakterisiert das südliche Darfur sowie die Nil-Provinz und nahezu den gesamten Senegal mit Ausnahme der westlichen bzw. nordwestlichen Küstenprovinzen als Räume, in denen diese Jahre mit ihren ausgeprägten Gegensätzen ähnlich waren. Für den Senegal macht die räumliche Ausprägung dieses Faktors einen markanten Nordwest-Südost Gegensatz deutlich, wohingegen im Sudan ein stärkerer Süd-Nord Gegensatz beobachtet werden kann.

Die Hauptkomponentenanalyse der September-Niederschläge über 20 Jahre und 24 Stationen erzeugte fünf Faktoren mit einem Eigenwert größer 1. Auch in diesem Fall ist es gelungen, sämtliche Jahre in ihrer Niederschlagsausprägung dieses Monats durch die Faktoren zu repräsentieren. In der Abb. 70 sind die Faktorladungen der einzelnen Faktoren dargestellt sowie die Klassifizierung der Jahre, in denen die Faktoren durch hohe Ladungen besonders deutlich geprägt sind.

Der erste Faktor integriert die Jahre 1960, 1962, 1963, 1964, 1965, 1967, 1973 und 1974 mit hohen positiven Ladungen. Er repräsentiert damit Jahre, die in einem z.T. sehr starken Gegensatz

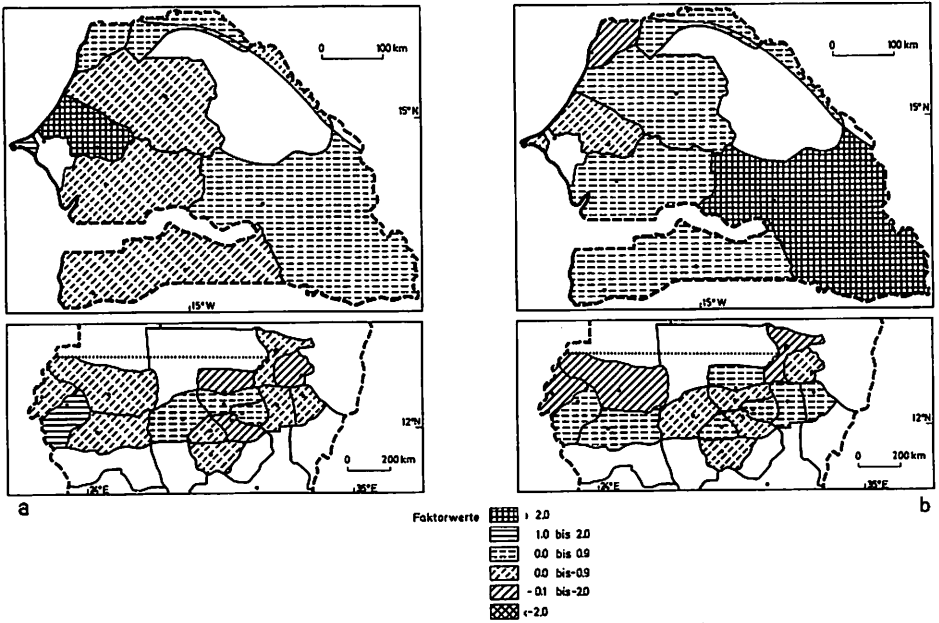


Abb. 69 Raummuster der Faktorwerte des 5. (a) und 6. (b) Faktors der PCA der August-Niederschläge

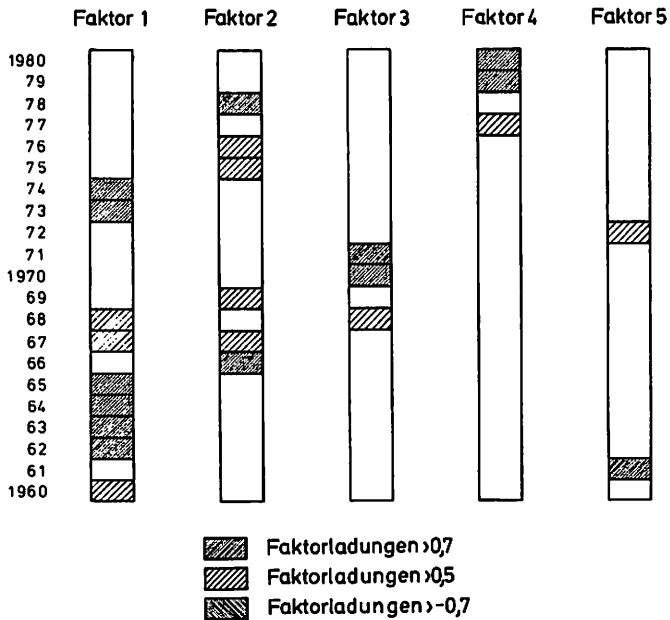


Abb. 70 Zeitreihen der Faktorladungen (Eigenwert 1) der Hauptkomponentenanalyse der September-Niederschläge

zueinander stehen, mit z.B. sehr hohen, relativ niedrigen und extrem niedrigen Niederschlägen. Dieser Faktor sagt nichts über die absoluten Regenmengen aus, nur über die relativen Verhältnisse der einzelnen Regionen zueinander. Dieser 1. Faktor der Septemberniederschläge ist als normaler räumlicher Verteilungsfaktor zu werten.

Die Karten der Faktorwerte beschreiben die räumliche Ähnlichkeiten der durch die Faktorladungen charakterisierten zeitlichen Ähnlichkeiten. Dabei sind im Sinne des 1. Faktors (vgl. Abb. 71) positive Faktorwerte im Senegal im Süden, Südosten, Nordwesten und Westen und im Sudan im Süden und Südwesten Darfurs ausgeprägt. Die übrigen Regionen sind durch negative Faktorwerte charakterisiert.

Der 2. Faktor faßt die Jahre 1966, 1969, 1975, 1976 und 1978 als ähnlich zusammen. Auch dieser Faktor repräsentiert Jahre gegensätzlicher Niederschlagsmengen, wobei in diesem Fall die Gegensätze sehr viel extremer ausgeprägt sind. Die größere Zahl der Jahre ist auf Trockenjahre beschränkt, in denen leicht defizitäre Niederschlagshöhen mit stark defizitären abwechseln. Insgesamt ist dieser Faktor als ein 'Extremjahrfaktor' zu charakterisieren, mit stark positiven (1966) wie stark negativen Niederschlagsabweichungen.

Dieser ausgeprägte Extremjahrfaktor weist im Senegal nur im Westen und Süden positive Faktorwerte auf. Mit wenigen Ausnahmen im äußersten Westen Darfurs, kleinen Teilen Kordofans und der Nil-Provinz zeichnet den gesamten Sahel des Sudans eine stärker negative Ausprägung in diesen Extremjahren aus (vgl. Abb. 71b).

Der 3. Faktor wird durch die Jahre 1968, 1970 und 1971 repräsentiert. Damit ist dieser Faktor durch Jahre quasi normaler Niederschlagsmengen im September charakterisiert. Am deutlichsten wird er jedoch durch die Jahre 1970 und 1971 geprägt, mit einem vom 1. Faktor abweichenden räumlichen Muster, wobei ersteres defizitärer ausgeprägt zu sein scheint als das Jahr 1971.

Der Süden, Norden und Nordwesten und äußerste Westen des Senegal ist durch negative Faktorwerte gekennzeichnet. Positiv dagegen sind die Septemberregen dieser Jahre in der Region Diourbel, in der Provinz Sine Saloum und im Senegal Oriental, im äußersten Südwesten Darfurs, im Süden und Teilen des zentralen Kordofan im Sudan.

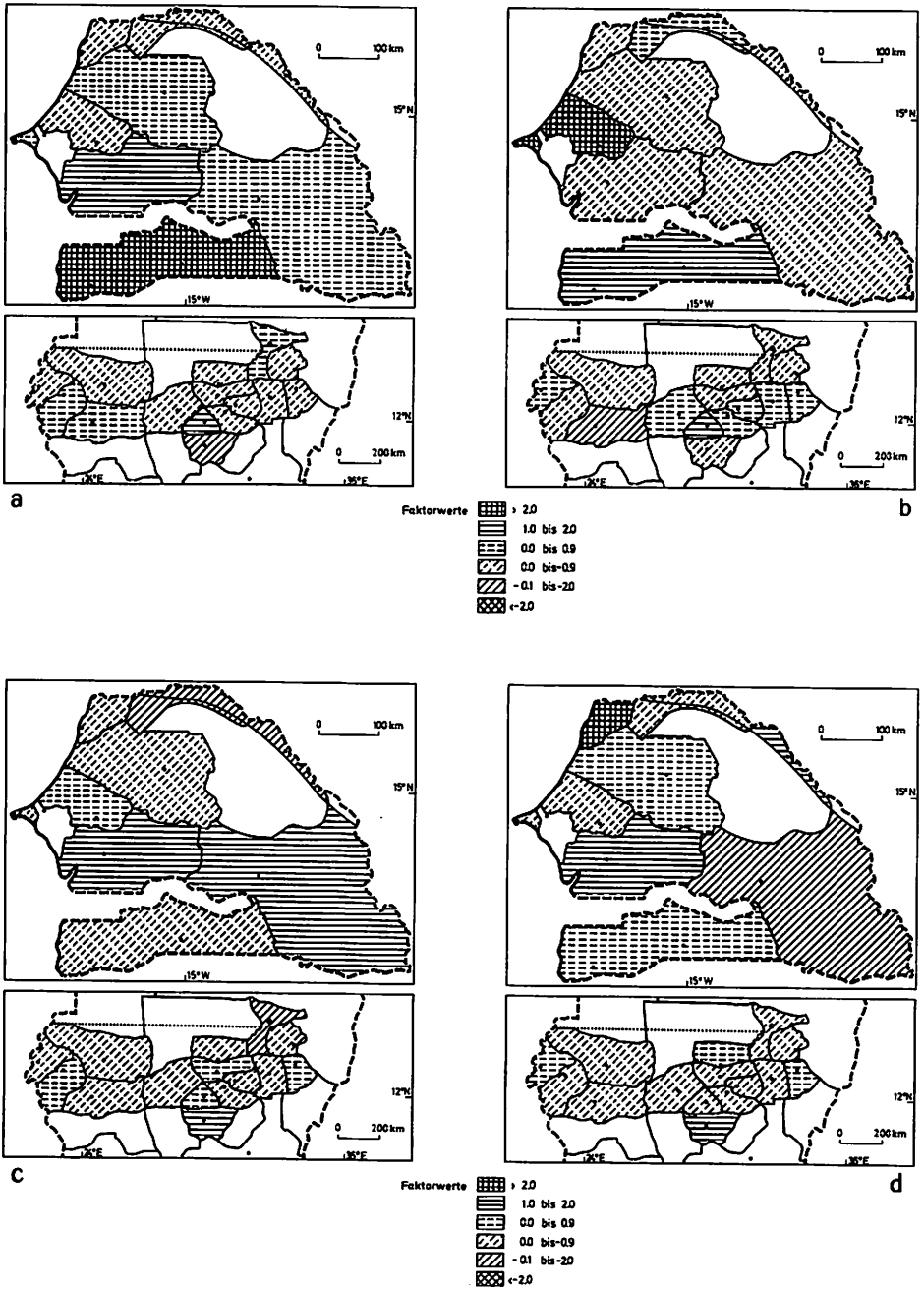


Abb. 71 Raummuster der Faktorwerte des 1. (a), 2. (b), 3. (c) und 4. (d) Faktors der PCA der September-Niederschläge

Der 4. Faktor integriert die Jahre (1977), 1979 und 1980 als untereinander ähnlich in ihrer Niederschlagsausprägung. Die Jahre sind überwiegend durch negative Niederschlagsabweichungen gekennzeichnet, so daß dieser Faktor als '2. Trockenjahr-Faktor' im September gewertet werden muß.

Das Beispiel für einen nahezu reinen 'Senegalfaktor' bieten die Karten der Faktorwerte des 4. Faktors (vgl. Abb. 71d). Dieser Trockenjahrfaktor findet mit Ausnahme der Provinzen Senegal Oriental und Diourbel, Fleuve (Nord) und Dakar im gesamten übrigen Senegal eine positive Ausprägung. Ebenso wie der Südosten und Westen des Landes muß auch der Sahel des Sudan bis auf wenige Ausnahmen als durch diesen Faktor negativ geprägt gewertet werden.

Der 5. Faktor faßt die Jahre 1961 und 1972 (sehr schwach) als ähnlich zusammen. Das Jahr 1961 steht für normale bis überdurchschnittlich hohe Regenmengen, wohingegen das Jahr 1972 ausschließlich defizitäre Niederschlagsereignisse repräsentiert.

Das Raummuster des 5. Faktors zeigt die stärkste Ähnlichkeit der Räume im Senegal in Bezug auf diese Jahre. Nur die westlichen Landesteile besitzen negative Faktorwerte. Im Sudan zeigt sich die positive Ausprägung dieses Faktors in den südlichen, östlichen und nördlichen Bereichen Kordofans sowie im Süden und Westen Darfurs (nicht dargestellt).

Die "Hauptkomponentenanalyse der Oktober-Niederschläge" lieferte als Ergebnis 7 Faktoren mit einem Eigenwert >1 (vgl. Abb. 72).

Der 1. Faktor integriert die Jahre 1960, 1961, 1964 und 1967 (nur schwach) als Jahre ähnlicher Niederschlagsausprägung im Oktober. Charakterisiert ist diese Jahresgruppe durch das Auftreten von Extrema in den Niederschlagshöhen. Diese Jahre hatten besonders niedrige Niederschläge mit Abweichungen von weit über einer Standardabweichung zu verzeichnen. Der 1. Faktor repräsentiert also ausgesprochene Trockenjahre der Oktober-Niederschläge.

Die Karten der Faktorwerte des 1. Faktors vermitteln innerhalb des Senegal im Süden einen Gradienten von Ost nach West, im Norden von West nach Ost. Neben dem gesamten westlichen und nordöstlichen Teil des Senegal zeigt auch der Sahel des Sudan negative Faktorwerte.

Der 2. Faktor faßt die Jahre 1969, 1972, 1973, 1976 und 1978 als ähnlich in ihrer positiven Ladung zusammen. Er repräsentiert da-

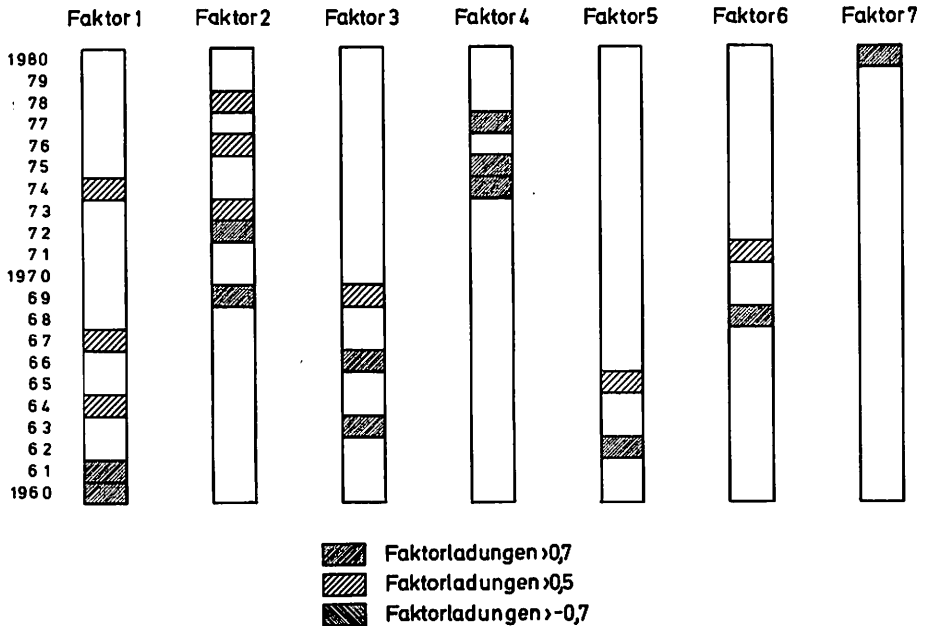


Abb. 72 Zeitreihen der Faktorladungen (Eigenwert >1) der Hauptkomponentenanalyse der Oktober-Niederschläge

mit Jahre, die ausnahmslos normale Niederschlagsmengen verzeichneten.

Dieser Normaljahrfaktor in Bezug auf Niederschlagsmengen im Bereich des langjährigen Mittelwertes findet seine positive Ausprägung im südlichen, westlichen und vor allem nordwestlichen Senegal sowie im südlichen Kordofan und der Nil-Provinz (Blauer Nil). Es verhalten sich damit Räume in Bezug auf zeitliche Ähnlichkeiten kongruent zueinander, die klimatisch gesehen unter vergleichbaren Voraussetzungen stehen, denn der südliche Bereich des Senegal repräsentiert ebenso wie der äußerste Süden Kordofans einen Raum mit quasi doppelt ausgeprägter Regenzeit. Ebenso verhalten sich die klimatisch verwandten Räume des zentralen, westlichen und nordöstlichen Senegal ähnlich zu denen im Sudan (vgl. Abb. 73b).

Die Jahre 1963, 1966 und 1969 werden durch den 3. Faktor repräsentiert, der als ausgesprochener 'Feuchtjahr-Faktor' charakterisiert werden kann, mit positiven Niederschlagsereignissen, die nicht selten den mittleren Niederschlag um mehr als eine Standardabweichung übertrafen.

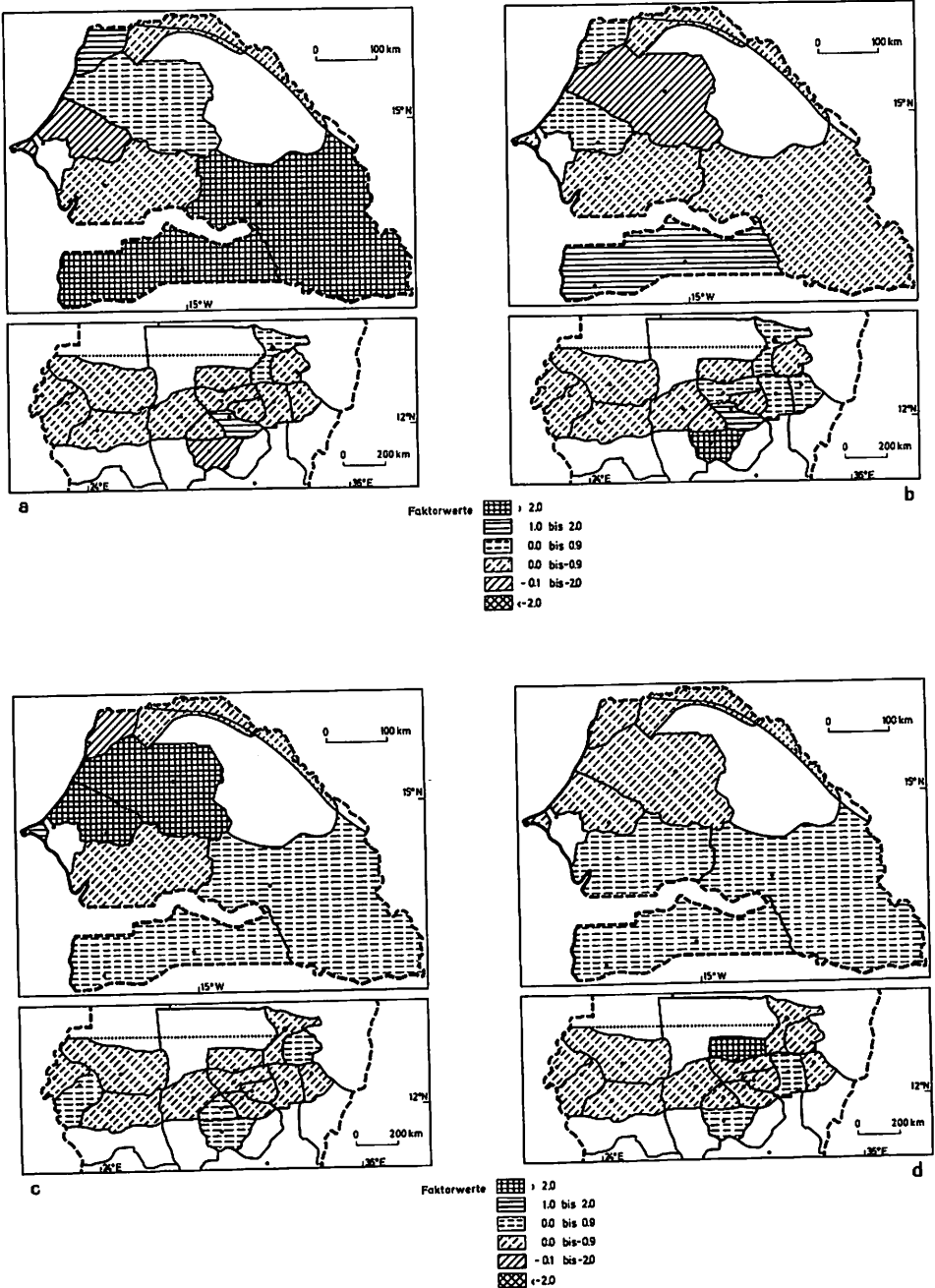


Abb. 73 Raumpuster der Faktorwerte des 1. (a), 2. (b), 3. (c) und 4 (d) Faktors der PCA der Oktoberniederschläge

Dieser sogenannte 'Feuchtjahrfaktor' ist besonders durch hohe positive Faktorwerte im Senegal in den Teilprovinzen Diourbel und Linguere gekennzeichnet, positiv sind auch noch Senegal Oriental Casamance und Dakar. Der Sudan, mit Ausnahme Südkordofans und des südwestlichen Darfur sowie die Provinzen Sine Saloum und Fleuve (insgesamt) sind von diesem Faktor negativ geprägt.

Der 4. Faktor integriert die Jahre 1974, 1975 und 1977. Es handelt sich bei diesen Jahren überwiegend um Normaljahre mit leicht defizitären Regenmengen im Oktober, das Jahr 1975 ist als stark defizitär anzusehen. Insgesamt repräsentiert dieser Faktor einen 'Trockenjahrtyp'.

Der 4. Faktor findet positive räumliche Ausprägungen im gesamten südlichen Senegal, im Sudan im Süden und Norden Kordofans und in der Teilprovinz White Nile.

Der 5. Faktor schließlich repräsentiert nur noch zwei Jahre: 1962 und 1965 (schwach). Ein Vergleich der Niederschlagsreihen macht deutlich, daß diese beiden Jahre durch positive Niederschlagsmengen im Oktober gekennzeichnet sind. Der Oktober 1962 ist dabei generell feuchter ausgefallen als der gleiche Monat im Jahr 1965. Zusammenfassend prägen diese beiden Jahre den 5. Faktor als gemäßigten Feuchtjahrfaktor.

Positive Ausprägungen hat der 5. Faktor im Senegal nur im Südwesten, Westen und Nordosten des Landes und differenziert den Sudan nur schwach (vgl. Abb. 74a).

Der 6. Faktor faßt die Jahre 1968 und 1971 als ähnlich im Hinblick auf die Niederschlagsausprägung im Oktober zusammen. Ein Vergleich der Niederschlagsreihen macht deutlich, daß das Jahr 1971 besonders niedrige Niederschlagsmengen im Oktober verzeichnete. Danach ist dieser Faktor als ein zweiter ausgesprochener Trockenjahrtyp zu charakterisieren. Der Unterschied zum 1. Faktor liegt in der räumlichen Verteilung.

Im gesamten südlichen Senegal, aber auch in der Provinz Fleuve-(Nord), in Süddarfur, in großen Teilen des südlichen und östlichen Kordofan und der östlichen Nil-Provinz kommt dieser Faktor positiv zum Tragen. Es handelt sich damit um einen Faktor, der vorrangig den Süden der beiden Untersuchungsgebiete in den genannten Jahren positiv beeinflusst (vgl. Abb. 74b).

Auf dem 7. Faktor wird lediglich noch ein Jahr (1980) hoch geladen. Normale bis leicht defizitäre Regenmengen repräsentieren die

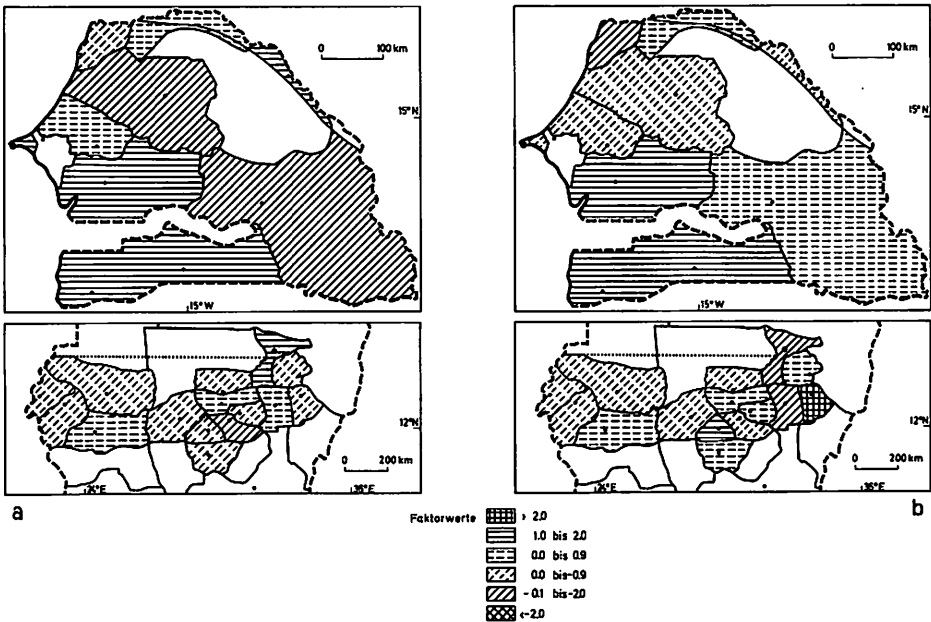


Abb. 74 Raummuster der Faktorwerte des 5. (a) und 6. (b) Faktors der PCA der Oktober-Niederschläge

Niederschlagsentwicklung dieses Monats im Jahre 1980.

Der 7. Faktor schließlich prägt positiv den zentralen, westlichen und nordwestlichen Teil des Senegal sowie den Süden und Südosten Kordofans.

9.2. Die Ertragsausprägung in der Zeit und damit zusammenhängende regionale Ähnlichkeitsmuster

Als Ergebnis der Hauptkomponentenanalyse der Ernteerträge sind in der nachfolgenden Tab. 20 die Varianzerklärungen der Faktoren dargestellt, die den Eigenwert von 1,0 übersteigen. Die Faktoren erklären um so mehr Varianz, je mehr Jahre sie hoch laden und damit integrieren.

Die Abbildung 75 zeigt die klassifizierte Faktorladungen der ersten vier Faktoren der Hauptkomponentenanalyse der Erdnüsse über 21 Jahre und 8 Regionen im Senegal und Sudan. Jahre ähnli-

Frucht	1.Faktor	2.Faktor	3.Faktor	4.Faktor
Erdnuß	59,8%	16,7%	8,5%	6,0%

Tab. 20 Varianzerklärung der Faktoren (Eigenwert>1) der Hauptkomponentenanalyse der Erdnußerträge

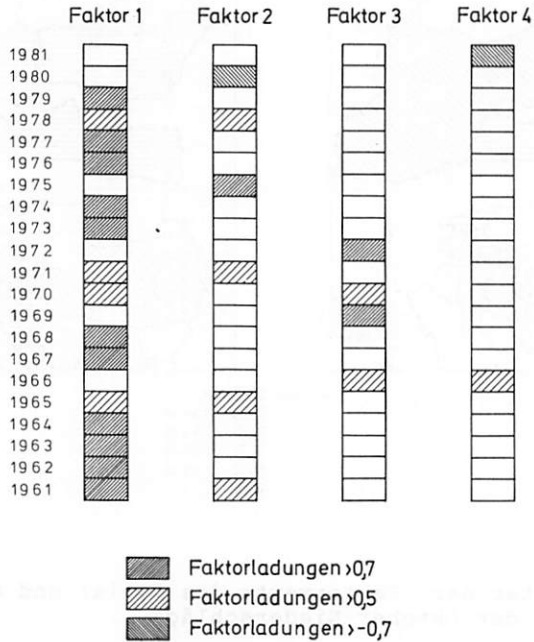


Abb. 75 Zeitreihen der Faktorladungen (Eigenwert>1) der Hauptkomponentenanalyse der Erdnüsse

cher Ertragsausbildung sind durch hohe bis höchste Faktorladungen auf einem Faktors charakterisiert, da die Erträge dieser Jahre über alle berücksichtigten Regionen hoch miteinander korrelieren. Die Abgrenzungskriterien für die einzelnen Klassen gelten analog wie in Kap. 9.1.

Der 1. Faktor faßt die Jahre 1961 bis 1964, 1967, 1968, (1971), 1973, 1974, 1976, 1977 und 1979 als Jahre ähnlicher Ertragsausbildung zusammen. Aufgrund der großen Anzahl von Jahren, die der Faktor sowohl für die Erdnußerträge des Senegal als auch des Sudan repräsentiert, könnte man diesen Faktor als Normalverteilungsfaktor bezeichnen.

Die Karten der Faktorwerte des ersten Faktors (Abb. 76a) geben in

etwa die räumliche Verteilung der Ertragsmittelwerte wieder (vgl. Kap. 6). Am stärksten von positiven Faktorwerten geprägt sind die Provinzen Thies und Casamance. In den Provinzen Fleuve, Sine Saloum und Darfur dominieren negative Faktorwerte mit der höchsten Negativladung in der Provinz Fleuve.

Der 2. Faktor integriert die Jahre 1965, 1975, 1978 und 1980, wobei das letzte Jahr eine hohe negative Faktorladung aufweist. Die ersten Jahre sind sich in ihrer Ertragsausbildung sehr ähnlich, wohingegen 1980 zu den drei erstgenannten eine gegenteilige räumliche Ertragsausbildung auszeichnet. Dieser 2. Faktor repräsentiert einen ersten Trockenjahrstyp mit reduzierten Niederschlagsmengen, die zu erniedrigten Erdnußerträgen führten.

Für diese Jahre zeigen nur die Faktorwerte der Provinz Casamance im Südwesten des Senegal und die Faktorwerte im Sudan (Darfur und Kordofan) negative Ausprägungen. Dabei sind die gesamten Erdnußanbaugebiete im Sudan in ihrer Ertragsausbildung untereinander ähnlich bezzüglich des 2. Faktors mit negativen Faktorwerten. Positive Faktorwerte in den übrigen Regionen des Senegal in den genannten Trockenjahren bedeuten im langjährigen Mittel zwar unterdurchschnittliche, im regionalen Vergleich allerdings weniger negative Erdnußerträge. Die negative Ladung für das Jahr 1980 zwingt dazu, die räumliche Ausprägung der Faktorwerte für dieses Jahr umgekehrt zu interpretieren (vgl. Abb. 76b). Damit zeitigt die räumliche Ausprägung des 2. Faktors eine markante Trennung zwischen West- und Ostsahel. In Jahre negativer Ertragsausbildung ist der Senegal weniger stark betroffen; das Jahr 1980 bildete mit der umgekehrten räumlichen Differenzierung ein Gegenbeispiel. Der 3. Faktor ist repräsentiert durch die Jahre 1969, (1970) und 1972, Jahre mit z.T. völligem Ausfall der Regenzeit und dadurch bedingter minimaler Ertragsausbildung, also ein Faktor ausgeprägtesten Trockenjahre.

Das Raummuster der Faktorwerte des 3. Faktors (Abb. 76c) zeigt vor allem die zentralen und südlichen wie südöstlichen Provinzen des Senegal und den Westen des Sudan in einer positiven Ertragsfaktorwertausbildung. Eine davon abweichende gegenteilige Ausprägung zeichnet die Gebiete Nordsenegals, die Provinz Thies und das Gebiet des zentralen Sahel im Sudan (Kordofan) aus. Diese Jahre können in den genannten Regionen in ihrer Ausprägung keinen so negativen Verlauf genommen haben wie in den übrigen hier un-

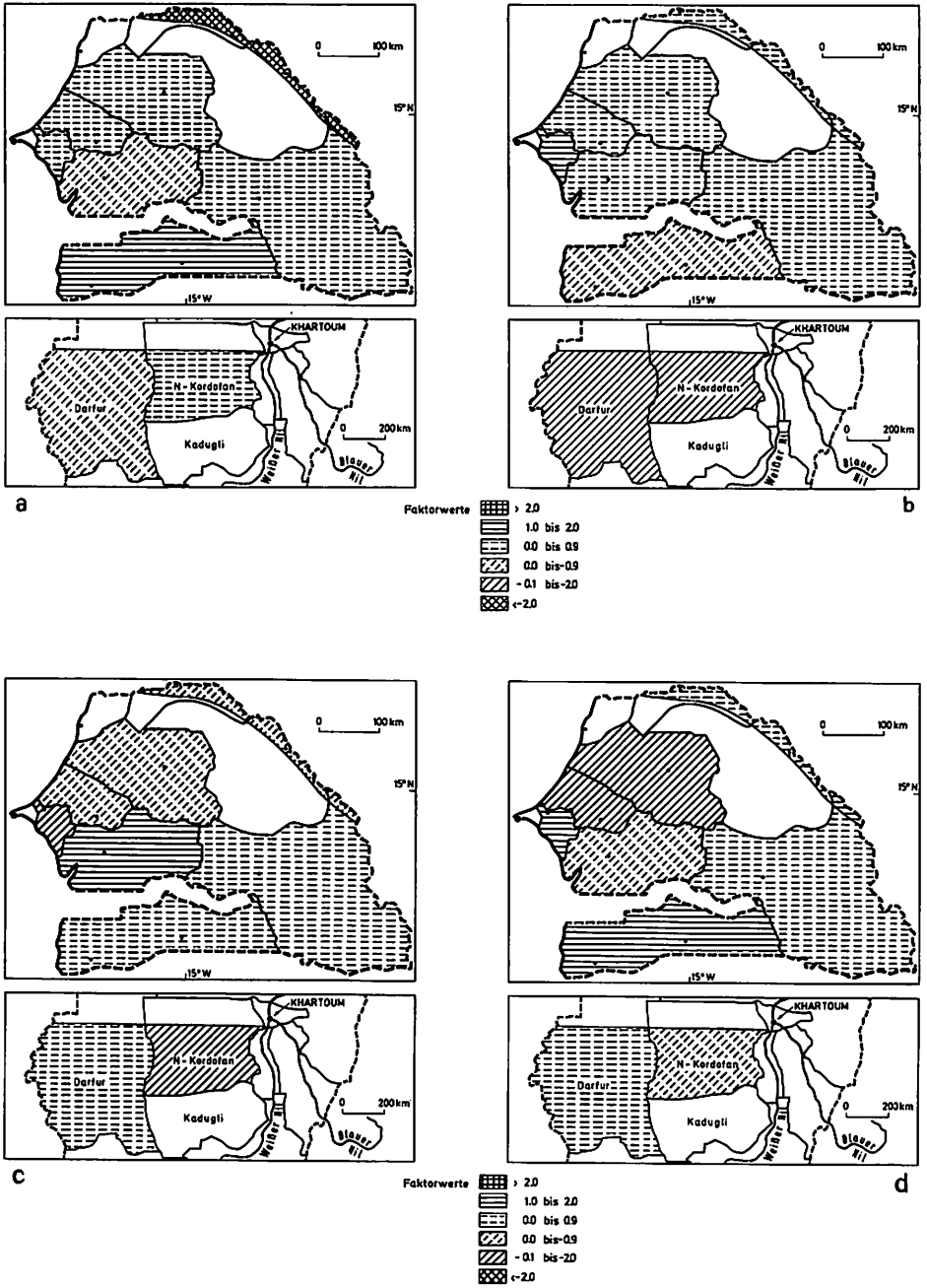


Abb. 76 Raummuster der Faktorwerte des 1. (a), 2. (b), 3. (c) und 4. (d) Faktors der PCA der Erdnüsse

tersuchten Gebieten. Ein eindruckliches Beispiel dafür war bereits in Kap. 7.6.1. mit der Abb. 40 gegeben worden, wo die Ausprägung der Niederschläge im August des Jahres 1972 an der Station El Obeid als durchaus normal bezeichnet werden muß, anders dagegen verhielten sich die Niederschläge des August an der Station Diourbel im Senegal.

Der 4. Faktor wird nur durch zwei Jahre repräsentiert, 1966 und 1981, wobei sich beide Jahre wiederum gegenteilig ähnlich sind. Das besagt, daß die Ertragsausbildung des Jahres 1966 (hohe positive Faktorladung) eine gegenteilige räumliche Verteilung besessen hat wie im Jahr 1981 (hohe negative Faktorladung) und umgekehrt.

Das Jahr 1966, mit einer hohen positiven Faktorladung (vgl. Abb. 76d), war an zahlreichen Stationen des gesamten Sahel ein defizitäres Niederschlagsjahr mit der Folge erheblicher Ertragseinbußen. Demgegenüber war das Jahr 1981, mit einer hohen negativen Faktorladung, an den gleichen Stationen vom Niederschlagsaufkommen her durchaus normal ausgebildet mit normalen bis guten Erdnußerträgen. Für andere Stationen gilt die Umkehrung. Dem Jahr 1966 mit normalen Erdnußerträgen steht das Jahr 1981 mit defizitären Erträgen gegenüber. Zur Verdeutlichung sei auf die Ertragszeitreihen der Erdnußerträge aus Kap.5.2. verwiesen. Dort belegen die Abb. 12 u. 13 die zuvor getroffene Feststellung. Die Abb. 77 verdeutlicht die beiden unterschiedlichen Ertragstypen. Gebiete mit positiven Faktorwerten sind dem 'Tambacounda-Typ' (Senegal Oriental) ähnlich, mit einer positiven Ertragsausbildung 1966 und einer negativen 1981. Die Gebiete mit negativen Faktorwerte sind vergleichbar dem "Diourbel-Typ" mit regional unterschiedlichen Erträgen 1966 und überdurchschnittlichen 1981. Damit ist sich der Osten und Süden des Senegal und der Westen des Sudan in der Ausprägung der Erdnußerträge dieser beiden Jahre ähnlich. Den umgekehrten Verlauf nahmen die zentralen und westlichen Landesteile (mit der Ausnahme der Provinz Thies) des Senegal sowie der Zentralsahel im Sudan.

Gerade die räumliche Ausprägung des 4. Faktors verdeutlicht auch in dieser Analyse die unmittelbare Koppelung der Ertragsausbildung an die Bedingungen des klimatischen Wasserhaushaltes, was nach den vorangegangenen Analysen in Kap. 8 auch nicht anders zu erwarten war. Darüberhinaus deuten die Ähnlichkeiten der Erdnuß-

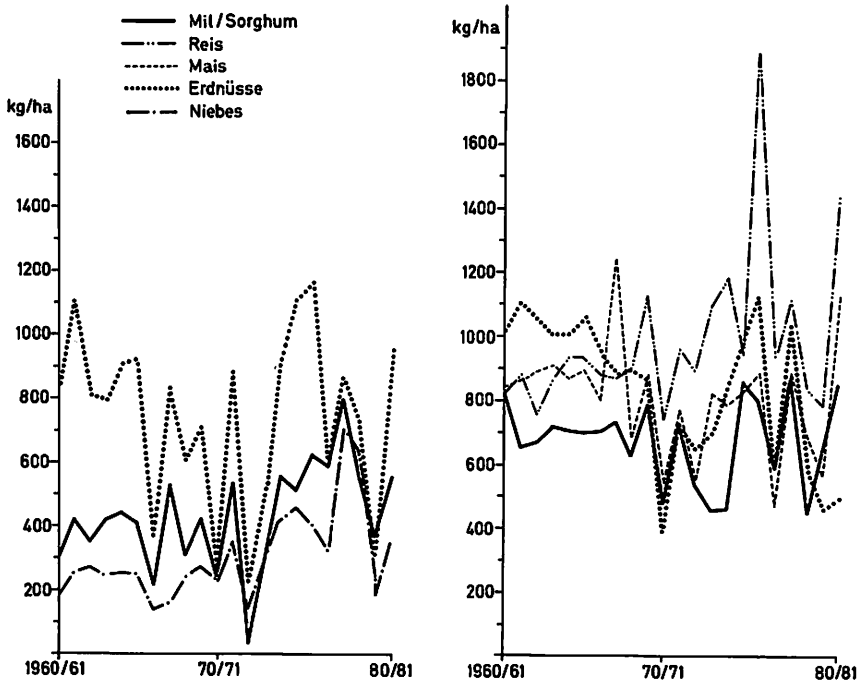


Abb. 77 Zeitreihen der Erträge der Hauptanbaufürchte in den Provinzen Diourbel und Senegal Oriental

erträge in Zeit und Raum auf ebensolche Ähnlichkeitsstrukturen der klimatischen Ausprägungen hin.

9.3. Die Ähnlichkeit der Ernteerträge und die Ähnlichkeit der Witterung in Zeit und Raum

Nachdem in den vorangegangenen Kapiteln 9.1. und 9.2. raumzeitliche Ähnlichkeitsstrukturen der Erdnußerträge und raum-zeitliche Ähnlichkeitsstrukturen der Witterung (hier Niederschlagsereignisse) während des gleichen Zeitraumes und in jeweils den gleichen geographischen Räumen herausgearbeitet werden konnten, stellt sich nun das Problem der Verknüpfung der Ergebnisse der Einzelanalysen. Das Resultat einer solchen Verknüpfung sollte die Beantwortung der Frage sein, inwieweit die raumzeitlichen Ähnlichkeiten im Ablauf der Regenzeiten die Ertragsausbildung der Erdnüsse in den gleichen Jahren gesteuert haben.

Als methodische Grundlage bietet sich das Verfahren der kanonischen Korrelation an (vgl. dazu Kap. 4). Die kanonische Korrela-

tion der Faktorladungen der Hauptkomponentenanalyse der Erdnußerträge (Kriteriumsvariable) mit den Faktorladungen der Hauptkomponentenanalysen der Niederschlagsparameter (Prädiktorvariable) bezieht in jedem Schritt alle Faktoren der Prädiktorvariablen ein. Da die extrahierten Faktoren die Niederschlags- und Ertragsbedingungen einigermaßen repräsentieren können (Einschränkung s.u.), charakterisieren sie den gesamten Zeitraum (1961 -1980). Eine enge kanonische Korrelation der Faktoren der Erdnußerträge mit denen der Niederschlagsparameter in den einzelnen Monaten charakterisiert die Faktoren, die über die Jahre die Erträge der Erdnüsse mit hoher Wahrscheinlichkeit gesteuert haben (vgl. Frankenberg 1984).

Einschränkend für die Anwendung und Interpretation der kanonischen Korrelation muß festgestellt werden, daß die Anzahl der vorliegenden Fälle, die in diesem Verfahren berücksichtigt werden können, so niedrig ist, daß vor einer Überbetonung der Ergebnisse gewarnt werden muß (die Ergebnisse der Faktorenanalyse der Erdnußerträge sind nicht signifikant). Aufgrund dessen war es überhaupt nur möglich, kanonische Korrelationen zwischen den Faktorwerten des Klimas und denen der Erträge für Erdnüsse (8 Fälle bei 20 Variablen) zu berechnen. Für die übrigen Feldfrüchte mußte aus oben genannten Gründen auf die Anwendung des Verfahrens verzichtet werden. Aber auch für das ausgewählte Beispiel war es unmittelbar nicht möglich, eine Verknüpfung der Faktorladungen der Erträge mit denen der Niederschlagsereignisse in den einzelnen Monaten während der Regenzeit in einer kanonischen Korrelation durchzuführen. Eine Berücksichtigung aller 24 Faktoren der Niederschlagsausprägung während der Vegetationszeit hätte bedeutet, daß eine Anzahl von mindestens 29 Fällen für die Berechnung hätte vorliegen müssen. Die Anzahl sowohl der eingehenden Prädiktors als auch der Kriteriumsvariablen muß dahingehend reduziert werden, daß die Anzahl des gesamten Variablensatzes nicht größer als $n-1$ wird (n = Anzahl der Jahre, hier 20). Demzufolge sind die zu berücksichtigenden Prädiktorvariablen p (Faktorladungen der extrahierten Faktoren der Hauptkomponentenanalysen der Niederschläge) und die Kriteriumsvariablen q (Faktorladungen der extrahierten Faktoren der Hauptkomponentenanalyse Erdnußerträge - vgl. Kap. 9.2.) so zu wählen, daß die Summe von p und q maximal gleich n wird. Wenn die Anzahl der Fälle (n) kleiner als die Summe von

Prädiktor- und Kriteriumsvariablen ist, lassen sich Linearkombinationen von Prädiktor und Kriteriumsvariablen bilden (vgl. Gleichung 16.29 a+b in Bortz 1979, S. 747), so daß nicht nur, wie gefordert, die beiden Variablensätze maximal miteinander korrelieren, sondern sogar eine vollständige lineare Abhängigkeit vortauschen ($r=1$). Damit ergeben sich genau n maximale Eigenwerte der Größe 1 (vgl. Gleichung 16.31 oder 16.54 in Bortz 1979, S.748 und 755). Solche Eigenwerte mögen zwar statistisch noch signifikant sein (vgl. Gleichung 16.32 in Bortz 1979, S.748), führen aber nicht mehr zu eindeutigen Eigenvektoren (die Vektoren spannen einen $(p+q-n+1)$ -dimensionalen Lösungsraum auf).

Dieser verfahrensbedingten Einschränkung wurde in der nachfolgenden Analyse in der Form Rechnung getragen, daß jeweils nur die Faktorladungen der ersten drei Faktoren der Erdnußerträge, die eine Varianzerklärung von 85,0% geliefert haben, und nur die Faktorladungen der ersten fünf der Juli-Niederschläge (gemeinsame Varianzerklärung von 71,2%), der ersten vier Faktoren der August-Niederschläge (gemeinsame Varianzerklärung 62,5%), der ersten drei Faktoren der September-Niederschläge (gemeinsame Varianzerklärung 68,3%) und der ersten vier Faktoren der Oktober-Niederschläge (gemeinsame Varianzerklärung 63,5%) berücksichtigt werden konnten. Damit erklären die eingegangenen Faktoren der Niederschlagsmengen während der Vegetationszeit der Erdnüsse durchschnittlich 67% der Gesamtvarianz. Als wesentliches Argument für die oben dargelegte Entscheidung muß angeführt werden, daß der Anwendung der kanonischen Korrelation im vorliegenden Fall in erster Linie eine methodische Bedeutung zukommt, ohne daß in dem nachfolgenden Beispiel eine maximale Varianzerklärung der Abhängigkeiten von Witterung und Ernteertrag gefordert werden muß.

Die Tab. 21 zeigt das Ergebnis der kanonischen Korrelationsanalyse zwischen den drei Kriteriums- und den sechzehn Prädiktorvariablen.

Es resultiert nur eine signifikante Korrelation. Die verbleibende Kovarianz ist damit statistisch nicht mehr bedeutsam, eine 2. kanonische Korrelation nicht signifikant (nach Bortz 1979). Eine maximale kanonische Korrelation zeigt auf der Prädiktorseite, wenn auch mit negativem Vorzeichen, der Faktor 2 der September-Niederschläge. Die zweit- und dritthöchste Korrelation repräsentieren die Faktoren 3 der September-Niederschläge und Faktor 3

$$R_1 = 0,996^{***}$$

Prädikatoren:	Faktor 1 - Juliniederschläge	0,120	
	Faktor 2 - Juliniederschläge	0,121	
	Faktor 3 - Juliniederschläge	-0,023	
	Faktor 4 - Juliniederschläge	0,050	
	Faktor 5 - Juliniederschläge	0,019	
	Faktor 1 - Augustniederschläge	0,016	
	Faktor 2 - Augustniederschläge	0,002	
	Faktor 3 - Augustniederschläge	-0,210	
	Faktor 4 - Augustniederschläge	0,170	
	Faktor 1 - Septemberniederschläge	0,125	
	Faktor 2 - Septemberniederschläge	-0,267	
	Faktor 3 - Septemberniederschläge	-0,255	
Faktor 1 - Oktoberniederschläge	-0,065		
Faktor 2 - Oktoberniederschläge	0,109		
Faktor 3 - Oktoberniederschläge	0,062		
Faktor 4 - Oktoberniederschläge	0,021		
Kriterien:	Faktor 1 - Erdnußerträge	0,697	
	Faktor 2 - Erdnußerträge	-0,309	
	Faktor 3 - Erdnußerträge	0,313	

Tab. 21: Kanonische Korrelation zwischen den Niederschlagsparametern und den Erdnußerträgen

der August-Niederschläge.

Der 2. Faktor September-Niederschläge war zuvor als Extremjahrfaktor mit z.T. stark negativen Niederschlagsabweichungen im September der Jahre 1966, 1969, 1975, 1976 und 1978 charakterisiert worden. Der 3. Faktor der September-Niederschläge hingegen integriert in erster Linie nahezu normale Niederschlagsausprägungen während der Jahre 1968, 1970 und 1971. Der 3. Faktor der Hauptkomponentenanalyse der August-Niederschläge repräsentiert die Jahre 1978 und 1980 und stellt einen ausgesprochenen "Trockentyp" dar. Auf der Seite der Kriteriumsvariablen steht vor allem der 1. Erntefaktor in besonders engem Verhältnis zum 2. Faktor der September-Niederschläge auf der Prädiktorseite. Die von dem 1. Kriteriumsfaktor repräsentierten Jahre ähnlicher Erdnußertragsausprägung (1961 bis 1964, 1967, 1968, (1971), 1973, 1974, 1976, 1977 und 1979) mit normalen bis leicht defizitären Ertragsmengen sind zu 59,2% aufgrund der Varianz des 2. Faktors der September-Niederschläge aufgeklärt, vorhersagbar bzw. redundant (Bortz 1979, S.752), auch wenn nur 1 Jahr, 1976, in den hohen La-

dungen dieser beiden Faktoren übereinstimmt. Der 1. Faktor auf der Kriteriumsseite vermochte 59,8% der gesamten Varianz aller Kriteriumsvariablen (vgl. Kap. 9.2.) zu erklären. Die erste (und einzige) kanonische Korrelation beträgt $R = 0.996$ (vgl. Tab. 21). Da der erste Kriteriumsfaktor 59,8% aller Kriteriumsvariablen erklärt und die gemeinsame Varianz 99% beträgt, werden 59,2% der Kriteriumsvarianz durch den 1. Prädiktorfaktor erklärt (99% von 59,8% = 59,2%; nach Bortz 1979, S.749). Je extremer die Niederschlagsverhältnisse vor allem im September ausgeprägt sind, um so weniger dürfen durchschnittliche Ertragsmengen in dem gleichen Jahr erwartet werden. Positiv ausgedrückt bedeutet diese Beziehung, daß bei abnehmenden Extremereignissen zunehmend normale Erträge zu erwarten sind. Auf der Prädiktorseite vermag der erste Faktor 59,6% aufzuklären, so daß wegen der gemeinsamen Varianz von 59,2% (s.o.) 35,2% der Prädiktorvariablenvarianz aufgrund der Kriteriumsvariablen redundant sind (nach Bortz 1979, S.749). Im Hinblick auf die Beziehungen zwischen den Erdnußerträgen und den Niederschlagsereignissen im September bedeutet dieses Ergebnis, daß aus den Erdnußerträgen die Niederschlagsbedingungen im September zu 35,2% Varianz berechnet werden können.

Auf der anderen Seite zeigt aber auch der 3. Faktor der Kriteriumsfaktoren eine, wenn auch deutlich schwächer ausgeprägte Beziehung zum 2. Faktor der September-Niederschläge auf der Prädiktorseite. Der 3. Faktor der Erdnußerträge ist als ausgesprochener Trockenjahrfaktor im Hinblick auf die Erträge der Jahre 1969, 1970 und 1972 charakterisiert worden. Dieses Ergebnis macht deutlich, daß extreme Niederschlagsereignisse im September allein nicht die Ursache für ausgeprägt defizitäre Ernteerträge sein können. Nahezu völlige Ernteverluste sind nur dann zu erwarten, wenn auch in den übrigen Monaten während der Vegetationszeit (v.a. Juli und August) starke Niederschlagsdefizite beobachtet werden. Häufiger jedoch tritt die Situation ein, daß extreme Niederschlagsereignisse zu deutlichen Abweichungen von der Regelsituation führen.

Insgesamt bestätigt das Ergebnis der kanonischen Korrelation sämtliche Einzelergebnisse, die zuvor getrennt für jede Station im Senegal und Sudan beschrieben worden sind (vgl. Kap. 8.1.1. und 8.1.2.). Auch die in den früheren Ergebnissen hervorgehobene Bedeutung der hygrischen Bedingungen zum Zeitpunkt der Aussaat

(Juli) werden durch das Ergebnis der kanonischen Korrelation weitestgehend bestätigt, denn die fünft- und sechsthöchste kanonische Korrelation auf der Prädiktorseite wird von eben diesen Niederschlagsfaktoren repräsentiert. Des Weiteren werden die früheren Ergebnisse auch für den August bestätigt. Ein relativ trockener August wird von den Erdnußpflanzen unbeschadet überstanden, was die geringsten kanonischen Korrelationskoeffizienten in diesem Monat belegen.

Damit konnten beispielhaft die Ähnlichkeit der Ernteerträge und die Ähnlichkeit der Witterung in Zeit und Raum aufgedeckt werden. Von der zeitlichen Ähnlichkeit zwischen den Erdnußerträgen und den Daten klimatischer Einflußgrößen an einzelnen Stationen (vgl. Kap. 8) wurden in diesem letzten Abschnitt die Faktoren herausgearbeitet, die über die Jahre (1961-1980) die Erträge der Erdnüsse in den Regionen der Sahelzone des Senegal und Sudan mit hoher Wahrscheinlichkeit gesteuert haben. Auch wenn aufgrund des reduzierten Datensatzes nicht sämtliche Beziehungen in vollem Umfang analysiert werden konnten, so werden dennoch die Möglichkeiten und Vorteile dieses Verfahrens (kanonische Korrelation) deutlich. Da für die anderen Feldfrüchte die vorliegende Zahl der Fälle (Regionen) noch niedriger war, konnten keine kanonischen Korrelationen berechnet werden. Eine weitere Verminderung der Prädiktor- und/oder Kriteriumsvariablen hätte eine zu starke Herabsetzung der Gesamtvarianz der Modelle zur Folge gehabt. Die Ursachen dafür liegen in den nur völlig unzureichend räumlich differenzierten Ertragszeitreihen der hier untersuchten Sahelstaaten. Aber gerade in den Trockenräumen der Erde und hier vor allem auch in denen Nordafrikas, in denen Schwankungen in der Ausprägung der alljährlichen Regenzeit die Normalität darstellen, ist es für die Ernährungssituation der Bevölkerung von vitalem Interesse, den zeitlich differenzierten Einfluß der Regenzeit während der Vegetationsphase auf die Ertragsausprägung in den einzelnen Räumen so exakt wie möglich zu analysieren, um gezielt und frühzeitig möglichen Nahrungsmittelengpässen begegnen zu können.

9.4. Diskussion der Ergebnisse der raum-zeitlichen Ähnlichkeitsanalysen von Klima und Ernteertrag

Zu Beginn der raum-zeitlichen Ähnlichkeitsanalysen zwischen Er-

tragsdaten und Daten klimatischer Einflußgrößen stand die Frage, ob die Niederschlagsausbildung in den einzelnen Monaten der Regenzeit im Sahel in dem hier untersuchten Zeitraum Ähnlichkeiten einzelner Jahre aufzuzeigen vermochte und wie sich diese zeitlichen Ähnlichkeiten im Raum darstellten. Es handelte sich damit um eine Analyse der räumlichen Ähnlichkeiten der Niederschlagsausprägung einzelner Jahre.

Das faktorenanalytische Verfahren (Hauptkomponentenanalyse) lieferte Faktoren, die Jahre ähnlicher Niederschlagsausprägung in den einzelnen Monaten integrierten. Diese Faktoren konnten aufgrund der für jedes Jahr errechneten Ladungen und der an allen Stationen vorliegenden Faktorwerte eindeutig differenziert und beschrieben werden (vgl. Kap. 9.1.).

Im Hinblick auf die Ausprägung der Faktoren im Raum (Karten der Faktorwerte) ließen sich im Senegal und Sudan in erster Linie zwei Raummuster herausarbeiten. Die Niederschläge in allen Monaten der Regenzeit (für die Jahre 1961-1980) zeigten eine ähnliche Ausprägung im südlichen, südwestlichen und östlichen Teil des Senegal sowie im Süden und Südwesten des Sudan (Darfur und z.T. Süd- und Südwestkordofan). Ebenso reagieren in der Mehrzahl der Fälle der Norden, der Nordwesten, der Zentralraum und z.T. der Nordosten des Senegal und der zentrale Sahel von Kordofan sowie z.T. die Nil-Provinz ähnlich, jedoch im gegenteiligen Sinne zu den anderen, oben genannten Regionen.

Damit sind über die Faktoren und damit über die meisten der 20 Jahre die nördlichen und zentralen Sahelbereiche untereinander ähnlich und ebenso in der Ausprägung der Niederschläge in den einzelnen Monaten die Regionen des südlichen Sahel, sowohl im Senegal als auch im Sudan. Ähnlichkeiten zwischen den nördlichen und zentralen Sahelbereichen und den südlichen Sahelregionen in den gleichen Jahren bilden den Sonderfall.

Die Analyse der Ähnlichkeiten der Erdnußerträge in der Zeit und im Raum hat zwei wesentliche Aussagen zum Ergebnis. Die Hauptkomponentenanalyse der Erdnußerträge (Jahre = Variable, Provinzen = Fälle) erbrachte Jahre ähnlicher Erdnußertragsausprägung integriert zu Faktoren. Diese Faktoren konnten anschließend im Hinblick auf die Ähnlichkeit der integrierten Jahre charakterisiert werden.

Das zweite Ergebnis ermöglichte die Analyse der Ähnlichkeit der

Räume im Hinblick auf die zeitliche Ähnlichkeit der Erdnußerträge. In Jahren normaler Erdnußerträge (1. Faktor) reagiert der gesamte Senegal außer dem Nordosten und Südwesten ähnlich der Provinz Kordofan. Gegenläufig im Sinne des 1. Faktors, aber untereinander ähnlich waren in diesen Jahren die Erdnußerträge im Westen des Sudan, im Südwesten und Nordosten des Senegal.

Die ausgeprägten Trockenjahre (3. Faktor) besaßen positive Faktorwerte vor allem im Süden des Senegal (Sine Saloum, Senegal Oriental und Casamance) sowie im Westen des Sudan (Darfur).

Im Hinblick auf die Ausprägung der Erdnußerträge lassen sich im Senegal und Sudan zusammenfassend die folgenden zwei Raummuster hervorheben. Der Ertragsverlauf des südlichen und z.T. auch östlichen Senegal sind dem im westlichen Sudan (Darfur) im Gesamtzeitraum sehr ähnlich. Eben solche Ähnlichkeiten zeigen sich, wenn auch in unterschiedlicher Ausprägung, bei der Ertragsausbildung im Norden des Senegal (Thies, Diourbel, Linguere, (Fleuve)) und im östlichen Sahel des Sudan (Kordofan). Damit haben die raumzeitlichen Ähnlichkeitsanalysen der Erdnußerträge zu einem ähnlichen Ergebnis geführt wie zuvor die raumzeitlichen Ähnlichkeitsanalysen der Niederschlagsausprägung.

Mit Hilfe der kanonischen Korrelation der Faktorladungen der Hauptkomponentenanalyse der Erdnußerträge mit den Faktorladungen der Hauptkomponentenanalyse der Niederschlagsparameter konnten in einem Schritt die Faktoren der Kriteriums- und die Faktoren der Prädiktorvariablen aufeinander bezogen werden. Eine enge kanonische Korrelation der Faktoren der Erdnußerträge mit denen der Niederschlagsparameter in den einzelnen Monaten weisen auf einen Faktor hin, durch den über alle Regionen der Sahelstaaten Senegal und Sudan die Erträge der Erdnüsse in den Ertragsjahrestypen mit unterschiedlich hoher Varianz gesteuert werden.

10. Zusammenfassung

Die vorliegende Studie greift ein Problem auf, das erstmals zum Ende der sechziger Jahre und zu Beginn der siebziger wieder stärker in das allgemeine Bewußtsein eingegangen ist: die große 'Sahel-Dürre', die damals nahezu flächendeckend von der Westküste bis an die Ufer des Roten Meeres den afrikanischen Kontinent in Mitleidenschaft gezogen hat. Der Regen war ausgeblieben oder nur in solch geringen Mengen niedergegangen, daß teilweise überhaupt kein Getreide mehr geerntet werden konnte. Auch der nördliche Randsaum der Sahara - vor allem im Bereich der Maghreb-Länder Marokko, Algerien, Tunesien - ist in jüngerer Vergangenheit immer wieder von Dürreperioden betroffen worden.

Für die vorliegende Studie wurden Regionen ausgewählt, die von einer sich wiederholenden Dürregefährdung geprägt sind. Es handelt sich dabei um Beispiele aus dem Senegal und Sudan als Vertreter der westlichen, zentralen und östlichen Sahelländer am südlichen und Tunesien als Vertreter der Maghrebländer am nördlichen Rand der Sahara.

Ziel der Untersuchung war die Aufdeckung der Abhängigkeit der zeitlichen Variabilität der Erträge (1961-1980 bzw. 1952-1976) von den klimatischen Einflußgrößen über die verschiedenen Zeitabschnitte des Entwicklungsablaufes der Kulturpflanzen. Es war dies eine zeitlich und räumlich differenzierte Analyse, die die Frage stellte, wann und wo welches Witterungselement in welcher Phase der pflanzlichen Entwicklung den Ertrag einer betreffenden Kulturpflanze wie beeinflusst.

Zunächst wurde der Einfluß der einzelnen Witterungsparameter auf die Ertragsbildung geprüft.

Im Mittelpunkt des anschließenden Analyseschrittes stand die Ermittlung des Einflusses aller Klimaparameter in jeder phänologischen Phase des Vegetationszyklusses. Dazu wurden für jede Phase (Monat) der einzelnen Kulturpflanzen und für alle Stationen getrennt diese Abhängigkeiten über schrittweise multiple Regressionsanalysen ermittelt.

Sämtliche Analysen konnten in ihren Ergebnissen die Arbeitshypothese erhärten, daß die Beziehungen zwischen der Witterung und den Erträgen am stärksten dort ausgeprägt sind, wo die Witterungsvariabilität am höchsten ist.

Aus den Ergebnissen ergab sich nahezu zwangsläufig, die Erträge aus den Klimaparametern zu berechnen. Für die vorzunehmenden Ertragsberechnungen mußten zunächst die Variablen ausgewählt werden, die ein Höchstmaß der Varianz der Erträge erklärten. Nacheinander wurden zunächst die Klimaparameter des Juli, danach des Juli und August, des Juli, August und September usw. auf ihre Erklärungsmöglichkeit im Hinblick auf die zu erwartenden Erträge untersucht. Es wurden geeignete Variablenkombinationen gefunden, die über 80% der Varianz erklärten.

Die Ergebnisse der Schätzungen (Residualbetrachtungen) sind in Tabellen (vgl. Kap. 8.4.) zusammengestellt worden.

Generell konnten für alle Anbauprodukte zufriedenstellende Prognosemodelle aufgestellt werden. Die größten Abweichungen zwischen den Modellen und den tatsächlich erzielten Erträgen wurden jeweils in den flächenmäßig größten Regionen festgestellt. Abschließend konnten in einzelnen Fällen die Modelle über den vorliegenden Zeitraum (1960-1980) hinaus getestet werden. Damit besitzen die Ertragsmodelle für einige Kulturpflanzen im Senegal auch über den zuvor dargestellten Zeitraum hinaus ihre Gültigkeit.

Anschließend standen die zeitlichen und räumlichen Ähnlichkeiten der Witterung im Vordergrund. Danach sollte überprüft werden, ob auch raum-zeitliche Ähnlichkeiten der Erträge aufgezeigt werden können, so daß raum-zeitliche Ähnlichkeiten der Ertragsdaten durch raum-zeitliche Ähnlichkeiten in der Witterungsausprägung erklärt werden können.

Zunächst handelte es sich um eine Analyse der räumlichen Ähnlichkeiten der Niederschlagsausprägung einzelner Jahre.

Grundlage dieser Ähnlichkeitsanalysen bildet der faktorenanalytische Ansatz. Das Verfahren lieferte Faktoren, die Jahre ähnlicher Niederschlagsausprägung in den einzelnen Monaten integrierten (Faktorladungen). Die räumliche Dimension wurde durch die Karten der Faktorwerte aufgespannt.

Im Senegal und Sudan ließen sich in erster Linie zwei Raummuster herausarbeiten. Die Niederschläge in allen Monaten der Regenzeit zeigten eine ähnliche Ausprägung im südlichen, südwestlichen und östlichen Teil des Senegal sowie im Süden und Südwesten des Sudan (Darfur und z.T. Süd- und Südwestkordofan). Ebenso reagierten in der Mehrzahl der Fälle der Norden, der Nordwesten, der Zentral-

raum und z.T. der Nordosten des Senegal und der zentrale Sahel von Kordofan und z.T. die Nil-Provinz ähnlich, jedoch im gegenteiligen Sinne zu den anderen, oben genannten Regionen.

Damit sind sich über alle Faktoren und damit über die meisten der 20 Jahre die nördlichen und zentralen Sahelbereiche in der Ausprägung der Niederschläge in den einzelnen Monaten untereinander ähnlich und ebenso die Regionen des südlichen Sahel, sowohl im Senegal als auch im Sudan. Ähnlichkeiten zwischen den nördlichen, zentralen Sahelbereichen und den südlichen Sahelregionen in den gleichen Jahren bilden den Sonderfall.

In dem nachfolgenden Schritt wurde geklärt, ob die raumzeitlichen Ähnlichkeiten der Niederschlagsausprägung ebensolche Ähnlichkeitsmuster der Ertragsausbildung in den gleichen Jahren prägten. Statistische Schwierigkeiten der Ausgangsdaten führten dazu, daß das faktorenanalytische Verfahren nur für die Erdnußerträge der Sahelstaaten Senegal und Sudan angewandt wurde.

Die raum-zeitlichen Ähnlichkeitsanalysen der Erdnußerträge haben zu einem ähnlichen Ergebnis geführt wie zuvor die raum-zeitlichen Ähnlichkeitsanalysen der Niederschlagsausprägung.

Nachdem damit raum-zeitliche Ähnlichkeitsstrukturen der Erdnußerträge und raum-zeitliche Ähnlichkeitsstrukturen der Witterung während des gleichen Zeitraumes und in jeweils den gleichen geographischen Räumen herausgearbeitet werden konnten, stellte sich abschließend das Problem der Verknüpfung der Ergebnisse der Einzelanalysen. Das Resultat einer solchen Verknüpfung sollte die Beantwortung der Frage sein, inwieweit die raum-zeitlichen Ähnlichkeitsstrukturen im Ablauf der Regenzeiten die Ertragsausbildung der Erdnüsse in den gleichen Jahren gesteuert haben.

Die kanonische Korrelation der Faktorladungen der Hauptkomponentenanalysen der Erdnußerträge (Kriteriumsvariable) mit den Faktorladungen der Hauptkomponentenanalysen der Niederschlagsparameter (Prädiktorvariablen) bezieht in jedem Schritt die extrahierten Faktoren der Kriteriumsvariablen und die Faktoren der Prädiktorvariablen aufeinander. Eine enge kanonische Korrelation der Faktoren der Erdnußerträge mit denen der Niederschlagsparameter in den einzelnen Monaten charakterisiert die Faktoren, die über die Jahre die Erträge der Erdnüsse im Senegal und Sudan mit hoher Wahrscheinlichkeit gesteuert haben.

Die Ergebnisse der kanonischen Korrelation machen normale bis

gute Ernteergebnisse bei den Erdnüssen dann wahrscheinlich, je weniger extrem die Niederschlagsbedingungen im Monat September (zu feucht/ zu trocken) ausfallen. Auch die hervorgehobene Bedeutung der hygri-schen Bedingungen zum Zeitpunkt der Aussaat (Juli) werden durch dieses Ergebnis in vollem Umfang bestätigt. Ein relativ trockener August wird von den Erdnußpflanzen unbeschadet überstanden.

Damit konnten in dem letzten Teil der Analyse die Faktoren herausgearbeitet werden, die über die Jahre (1960-1980) die Erträge der Erdnüsse in den Regionen der Sahelstaaten des Senegal und Sudan mit hoher Wahrscheinlichkeit gesteuert haben. Die Ergebnisse zeigen, daß trotz ausgeprägter Individualität der Ertragsausbildung in den einzelnen Regionen eine große Übereinstimmung hinsichtlich der Ausprägung der sommerlichen Witterung der Sahelstaaten gegeben ist.

Summary

The present study deals with a problem that was brought back into public at the end of the sixties and beginning of the seventies: the great "Sahel drought" that stretched from the west coast of the African continent over to the Red Sea. The rain had failed to come or had fallen in small quantity only so that crop could not be harvested in some areas. The northern border of the Sahara-the Maghreb states of Morocco, Tunisia and Algeria especially - was also subject to drought periods in the late past.

This shows that the relations between weather conditions and crop yields must be most distinct in those areas where the weather is most variable. Those are mainly areas that lie on the edge of agricultural productivity because of their lack of water. The present study chose regions that belong to the arid zones of the African continent. Though only parts of the countries concerned count among the arid zones the whole area is marked by a constant threat of drought. The examples are taken from Senegal and Sudan as representatives of the western, the central and the eastern Sahel countries on the southern edge of the Sahara and from Tunisia on the northern edge. Senegal and Tunisia are most suitable for such analyses as they are both very easy to survey and yet well differentiated within the country, whereas the Sahel

zone of the Republic of Sudan reaches its largest dimension within the provinces of Darfur, Kordofan Nile and Kassala so that it can represent the central and eastern parts of the African Sahel region.

It was only consequent to examine closely the relations between weather and crop yield, that means first of all to analyze the influence of the inter-annual variations of the weather on the yield. The aim was to reveal the dependancy of the temporal variability of the yields (1960-1980) on the climatic parameters during the different phenological stages of the plants. This analysis differentiated in time and space asked where, when, how, and at what stage of the growing plant which weather element influenced the yield of a certain cultivated plant. This analysis made it possible to develop models of prognosis for different cultivated plants (food crops basically), which enable to predict the yield quite accurately at a rather early stage of the phenological development. Two or three groups of data sets were needed to analyze the relations between climate and yields:

The crop yield data are taken from the statistical yearbooks of the different countries transformed into unified values and purified according to surface (kg/ha). On the basis of province- and governorat units long enough yield records could be provided for all three countries (20-30 years). The analysis only took into account the cultivated plants that are especially important for the food crop production or the export of the agricultural countries. In order to analyze the influence of the climate on the yields of the cultivated plants a large amount of data of thermic and hygric parameters was needed: the average monthly temperature, the potential evaporation, the relative humidity, the amount of precipitate, and the number of days with a precipitate of more than 1 mm. All data were obtained or calculated on a monthly basis for the period of 1951-1981. The amount of data needed could only be provided by the main climatic stations of the various stations in the different countries so that only 50 stations were finally taken into account.

The third set of data was the phenological data to differentiate the cycle of vegetation of the different plants in order to analyze the significance of certain weather parameters at a certain period of the plant development. These informations are

not collected for the regions examined here. It was mainly the calendars of cultivation in the three countries that were used as a substitute for the phenological data to determine the different vegetation periods and the beginning of the sowing.

If one considers the yield as the product of the course of weather during the whole vegetation period it had to be examined first whether there was a close relation between the weather of certain periods and the yields. The weather is hereby represented by the parameters mentioned above. The periods are formed by the months which include the whole cycle of vegetation.

First of all it was examined to what extent one single weather parameter can influence the yield. Therefore simple correlations were calculated between the climatic parameters and the yields for each phenological stage.

The following step was centred on the calculation of the influence of all parameters during each phenological stage. These dependancies were calculated over step-wise multiple regression analyses for each stage (month) of the different cultivated plants and for all stations.

The results of all analyses could strengthen the hypothesis that the relations between weather and yield are closest in those areas where the weather is most varied. Some of these results largely contradict the respective analyses of other authors (see chapter 3). Four reasons are mainly responsible for that. At the time when this analysis was done it was possible to use yield statistics that were more detailed than those used in former analyses at the beginning and in the middle of the 1970s. After 1980 all provinces and regions could provide long enough yield records.

One important reason for the clear results of this analysis are the regionally differentiated yield statistics. Series of total yields on state basis which already existed before were not used at all. In former analyses the inhomogeneities among the different provinces within the states were bound to disguise the close relations between the climatic parameters and the yields. A third aspect that was responsible for the discovery of clear relations was the amount of hygric and thermic parameters that were taken into account now. Though in almost all examples the hygric factors were of utmost importance the thermic conditions during

certain stages of the development of the plant led to specific yields in many cases.

This already shows the fourth decisive factor: the differentiation of the cycle of vegetation of the different fruits. Though phenological data are not collected in the regions represented here it was possible nevertheless to express the phenological periods of the cycle of vegetation by the months included. Each month within the period of vegetation represented an individual phenological stage of the respective plant. This indirect way only allowed to consider the demands of the cultivated plants towards the climatic parameters. It is not the total amount of the precipitate during the period of vegetation which is responsible for the yield to be expected but the exact distribution of the precipitate within the phenological stages. This helped to explain why years of extreme drought brought different yields for different fruits within the same region.

These results inevitably led to calculate the yields from the climatic parameters. Variables had to be chosen that explained the highest amount of variations among the yields. It was necessary to establish equations of regression that examined one after the other how the climatic parameters of July, those of July and August, of July, August, and September etc could explain the yields to be expected. Suitable combinations of variables were found that explained more than 80% of the variations.

Then the question had to be answered how to value these relations between climate and yield calculated over linear multiple regressions. In order to check these models the yields of the years 1981 and 1982 would have had to be preestimated for all calculated examples. Unfortunately there were almost no values available about the actual yields of these years at the time of this analysis.

An alternative had to be found which nevertheless allowed to check the reliability of the established equation of regression. Therefore all the yields were 'preestimated' subsequently for the last 20 years. The results of these estimations (residual observations) are listed in tables (see chapter 8.4.). These tables show the actual yields as well as the estimated ones. The variations between the actual and the estimated values (residuals) were calculated to measure the quality of the estimation.

The accuracy is good enough if the variations do not exceed the standard variation. If the estimated values were above the limit the model had failed for that particular year.

In general suitable models of prognosis could be established for all plants. The largest variations between the models and the actual yields were found in the largest regions. This shows the disadvantage of large and therefore climatically inhomogeneous areas which do not possess differentiated yield records. Finally some models could be tested beyond the period of 1960-1980. That means that the yield models for some cultivated plants in Senegal are valid beyond the period represented here.

After having discovered the temporal similarities between the data of yields and the climatic parameters it was necessary to examine the time and space similarities of the weather. Afterwards it had to be checked whether there were space-time similarities of the yields in order to be able to explain space-time similarities of the yield data by space-time similarities of the weather.

The first step was to show whether the precipitate during the rainy season in the Sahel could present any similarities among certain years and how these similarities were distributed in space. That means that this is an analysis of the spacial similarities of the precipitate of certain years. The factor analysis is the basis of this analysis of similarities.

The method produced factors that integrated years of similar precipitate in the different months (factor loadings). This meant time differentiated structures of similarity of the precipitate for each month of the rainy season (July - October). The spacial dimension was shown by the map of the factor scores.

For Senegal and Sudan mainly two spacial structures could be worked out. The precipitate in all the months of the rainy season was similar for the southern, south-western and eastern part of Senegal as well as the South and the Southwest of Sudan (Darfur, and partly South- and Southwest Kordofan). The same is true for most cases in the North, the Northwest, the centre and partly the Northeast of Senegal and the central Sahel of Kordofan and the Nile province only in the opposite way.

This means that throughout all factors and therefore throughout most of the 20 years the northern and central areas of the Sahel

are similar as far as the precipitate of the different months is concerned; the same is true for the southern Sahel, in Senegal as well as in Sudan. Similarities between the northern, central Sahel areas and the southern Sahel regions within the same years are exceptional.

The next step examined whether the time-space similarities of the precipitate caused the same models of similarity for the yields of the same years. The statistical difficulties with the available data meant that the factor-analytical method could only be used for the groundnut yields of the Sahel states of Senegal and Sudan.

The groundnut yields in Senegal and Sudan show two space models. The yields in southern and partly in eastern Senegal are very similar to those in western Sudan (Darfur) of the same years. The same similarities in these years occur in northern Senegal (Thies, Djourbel, Linguère, Fleuve) and in the eastern Sahel of Sudan (Kordofan). That means that the time-space analyses of the similarity of the groundnut yields lead to a similar result as the time-space analysis of the similarity of the precipitate.

After having worked out time-space structures of similarity for the groundnut yields and for the weather (here precipitate events) during the same period of time and in the same geographical areas the results of the different analyses had to be connected. The connection was to answer the question to what extent the time-space similarities in the course of the rainy seasons influenced the groundnut yields of the same years.

The methodical basis was the method of canonical correlation. The canonical correlation between the factor loadings of the main component analysis for the groundnut yields (variable of criteria) and the factor loadings of the main component analysis for the precipitate parameters (variable of predictor) combines all factors of the variables of criteria and all factors of the variables of predictor in each step. A close correlation between the factors of the groundnut yields and those of the precipitate parameters in the different months characterizes the factors that most probably influenced the groundnut yields in Senegal and Sudan all over the years. The results of the canonical correlation make normal to good yields probable with less extreme precipitate in the month of September (too humid/too dry). The

eminent significance of the hygric conditions at the time of the sowing (July) are also fully confirmed. A relatively dry August is well supported by the groundnut plants.

The last part of the analysis could produce the factors which most probably influenced the groundnut yields in the Sahel states of Senegal and Sudan all over the years between 1960 and 1980. The results show that though highly individual in their yields the Sahel regions were quite similar as far as their summer climate was concerned.

At the same time the results of this analysis confirm to what extent climatology becomes an important applied science especially on the edge of ecuminicity.

Résumé

Cette étude traite un problème qui fut à nouveau remarqué par l'opinion publique à la fin des années soixante et au début des années soixante-dix. Il s'agit de la grande sécheresse qui frappa tout le long du Sahel de l'Afrique occidentale jusqu'au bord de la mer Rouge à l'est du continent. Comme la pluie n'était pas tombée du tout ou en toute petite quantité seulement, il fut impossible par endroit de récolter des céréales. Même la bordure septentrionale du Sahara - et ici surtout la région des pays Maghrébens, le Maroc, l'Algérie et la Tunisie - subissent récemment des périodes de sécheresse.

Ceci indique que les relations entre le temps et les récoltes sont le plus distincte là où le temps est le plus variable. Ce sont des endroits qui se trouvent à la limite de la mise en culture à cause de leur potentiel naturel. Cette limite est dictée par l'offre d'eau.

Pour cette étude nous choisîmes des régions qui appartiennent aux zones sèches du continent africain. Même si les territoires nationaux des régions d'enquêtes ne comptent pas entièrement parmi les zones sèches, ce sont au moins de grandes parties, ce qui fait que ces pays sont marqués par un danger continu de sécheresse.

Il s'agit ici des exemples du Sénégal et du Soudan comme représentants des pays Sahéliens occidentaux, centraux et orientaux au bord méridional du Sahara et de la Tunisie comme représentant des

pays Maghrébens au bord septentrional du Sahara. Le Sénégal et la Tunisie se prêtent à une telle analyse à cause de leur lucidité jointe à une différenciation bien marquée à l'intérieur. La zone sahélienne de la République du Soudan par contre arrive à son plus grand étendu à l'intérieur d'un même pays dans les provinces de Darfur, Kordofan, Nil et Kassala, ce qui lui permet de représenter la partie centrale et orientale de la zone sahélienne.

Il fut alors décidé d'examiner les relations entre le temps et les récoltes. Dans la première partie de cette analyse il s'agit surtout de tenir compte de l'influence des variations interannuelles du temps sur le montant des récoltes. L'objet fut alors de découvrir jusqu'à quel point la variabilité temporelle des récoltes (1960-1980) dépenda des facteurs climatiques pendant les différentes périodes du développement des plantes cultivées. Ceci fut une analyse différenciée dans l'espace et dans le temps qui demanda, comment, quand et où les différents éléments climatiques influencèrent la récolte d'une certaine plante cultivée. À l'aide de cette analyse il fut possible de développer des modèles pronostiques pour les différentes plantes cultivées (normalement des produits alimentaires de base), qui permettent de pronostiquer les récoltes à une période précoce du développement phénologique.

Il fallut deux groupes de données statistiques pour cette analyse des relations entre le temps et la récolte:

Les données de récoltes furent tirées des annuaires statistiques des pays en question, transformées en cotes de récolte homogènes et apurées selon la surface (kg/ha). Sur la base des unités de provinces ou de governorats on put se procurer des séries de récolte suffisamment longues dans les pays respectifs (20-30 ans). On ne tint compte que des plantes cultivées qui eurent une certaine importance pour la production alimentaire ou l'exportation des pays agricoles. Pour l'analyse de l'influence du climat sur les récoltes des plantes cultivées il fallut une large quantité de données de paramètres thermiques et hygriques: la température moyenne mensuelle, l'évaporation potentielle, l'humidité relative, la précipitation, le nombre de jours avec une précipitation de plus d'un mm. Toutes les données furent procurées ou calculées à base mensuelle pour la période de 1951 à

1981. La quantité de données nécessaires ne put être procurée que par les stations climatiques majeures des différents pays, c'est-à-dire par 50 stations au total.

Pour le troisième ensemble de données il s'agit des données phénologiques pour différencier les cycles de végétation des plantes en question, pour pouvoir analyser la signification des différents paramètres climatiques à une certaine période du développement de la plante. Ces données ne sont pas prélevées dans les régions analysées. Ils furent substitués surtout par les calendriers de cultivation des pays respectifs pour fixer les différentes périodes de végétation et le début des semailles.

Si la récolte fut considérée comme le produit de l'évolution du temps pendant toute la période de végétation, il fallut d'abord examiner s'il y eut une relation bien étroite entre le temps des différentes périodes et les récoltes. Le temps est représenté par les paramètres climatiques mentionnés ci-dessus. Les périodes sont formées par les mois, qui composent le cycle de végétation. D'abord nous examinâmes jusqu'à quel point un paramètre particulier put influencer la récolte. De simples corrélations entre les paramètres climatiques et les récoltes furent calculées pour chaque phase phénologique pendant toute la période de végétation. L'analyse suivante fut centrée sur la calculation de l'influence de tous les paramètres climatiques dans chaque phase phénologique du cycle de végétation. Pour chaque phase (mois) des différentes plantes cultivées et pour chaque situation ces relations furent calculées séparément à l'aide d'analyses de régression graduellement multiples.

Les résultats de toutes ces analyses purent confirmer l'hypothèse que les relations entre le temps et les récoltes sont les plus étroites dans les endroits où le temps est le plus variable. Ces résultats sont parfois bien contraires aux analyses de ce complexe soumises par d'autres auteurs (v. chapitre 3). Quatre raisons sont responsables pour cette contradiction. Le moment auquel cette analyse fut réalisée permit d'utiliser des statistiques de récolte plus détaillées que ceux des analyses pendant la première partie des années soixante-dix. Après 1980 les séries de données de récoltes disponibles furent assez longues pour toutes les régions et provinces. Une des raisons essentielles pour les résultats univoques de cette analyse se

trouve dans les statistiques de récolte différenciées selon les régions. Nous n'utilisâmes pas de statistiques de récolte basées sur l'ensemble d'un pays qui existaient déjà auparavant en longueur satisfaisantes. Les inhomogénéités des différentes provinces durent tout naturellement amener à cacher les relations étroites entre les paramètres climatiques et les récoltes. Un troisième aspect qui fit ressortir des relations univoques fut le nombre de facteurs hygriques et thermiques qui fut considéré dans ces analyses-ci. Bien que les facteurs hygriques jouent le rôle principal dans presque tous les exemples, ce furent souvent les conditions thermiques qui causèrent des récoltes spéciales pendant certaines phases du développement de la plante.

Ceci indique déjà le quatrième déterminant: la différenciation des cycles de végétation des différentes plantes cultivées. Malgré le fait qu'il n'y ait pas de données phénologiques dans les endroits de recherches présentés ici, il fut possible d'utiliser les mois pour exprimer les périodes phénologiques pendant lesquelles se déroula tout le cycle de végétation. Chaque mois représenta une phase phénologique individuelle de la plante en question. Ce fut cette voie indirecte seulement qui permit d'analyser les exigences des différentes plantes cultivées vis-à-vis des paramètres climatiques. Ce n'est pas le total de la précipitation pendant la période végétative qui est essentiel pour la récolte, mais la distribution exacte de la précipitation pendant les phases phénologiques des différentes plantes cultivées. C'est par là seulement qu'il fut possible d'expliquer pourquoi p. ex. une même région put produire différentes récoltes pour les différentes plantes cultivées pendant une extrême sécheresse.

Ces résultats obligèrent forcément de calculer les récoltes à l'aide de paramètres climatiques. Il fallut alors choisir les variables qui expliquèrent le maximum de la variabilité des récoltes. C'est ainsi que furent établis des équations de régression qui analysèrent l'une après l'autre les paramètres climatiques du mois de juillet, après ceux des mois de juillet et août, puis des mois de juillet, août et septembre etc, par rapport à leur possibilité d'expliquer les récoltes. Des combinaisons de variables appropriées furent trouvées qui expliquèrent plus de 80% de la variabilité.

Puis il fallut répondre à la question comment devait être valorisés les relations entre le temps et la récolte calculées auparavant à l'aide de régressions multiples linéaires. Pour examiner ces modèles on aurait dû estimer les récoltes pour les années 1981, où 1981 et 1982 pour tous les exemples calculés. Malheureusement au moment de ces analyses il n'y eut pas de données sur les récoltes réelles de ces années, à part quelques exceptions. Il fallut trouver une alternative qui permetta tout de même d'examiner l'authenticité de ces équations de régression. Les récoltes furent alors 'préestimées' ultérieurement pour les années précédentes.

Les résultats de ces estimations (observations résiduelles) furent présentées dans des tableaux (voir chap. 8.4.). Ces tableaux montrent non seulement les récoltes obtenues mais aussi ceux estimées. Les variabilités de la récolte obtenue par rapport à la récolte estimée (résidues) furent calculées comme mesure de la qualité de cette estimation. Les valeurs estimées sont suffisamment précises, quand les variations n'excèdent pas les variabilités normales des récoltes (écart-type). Si les valeurs estimées excédèrent cette limite, le modèle ne fut pas valable pour cette année. En générale les modèles pronostiques furent satisfaisantes pour toutes les plantes. Les plus grands écarts entre les modèles et les véritables récoltes se trouvèrent dans les régions les plus étendues. C'est ce qui montre clairement l'inconvénient de larges endroits avec un climat non-homogène qui ne possèdent pas les modèles au-delà de la période présentée (1960-1980). C'est-à-dire que pour quelques plantes cultivées au Sénégal les modèles de récoltes sont valables au-delà de la période présentée ci-dessus.

Après avoir découvert les ressemblances temporelles entre les données de récolte et celles des paramètres climatiques il fallut se concentrer sur les ressemblances temporelles et spatiales du temps pour pouvoir expliquer ces ressemblances temporelles et spatiales des données de récoltes par des ressemblances temporelles et spatiales du temps.

D'abord il fallut examiner si la précipitation dans les mois d'hivernage au Sahel put démontrer des ressemblances entre diverses années et comment ces ressemblances furent distribuées dans l'espace. Il s'agit alors d'une analyse des ressemblances

spatiales de la précipitation de diverses années. Cette analyse de ressemblances se base sur l'analyse des composantes. Cette méthode fournit des facteurs qui intègrent des années d'une précipitation similaire dans les différents mois (saturations factorielles).

Cela signifie des structures de ressemblances de précipitation différenciées selon le temps pour chaque mois de l'hivernage (juillet - octobre). La dimension spatiale fut démontrée par les cartes des notes factorielles.

Pour le Sénégal et le Soudan on put surtout dégager deux modèles spatiales. Les précipitations de tous les mois de l'hivernage se ressemblèrent au Sud, au Sud-Ouest et à l'Est du Sénégal comme au Sud et au Sud-Ouest du Soudan (Darfour et partiellement au Sud et Sud-Ouest de Kordifan). Le Nord, le Nord-Ouest, le centre et les quelques parties du Nord-Est du Sénégal, le Sahel central de Kordifan et certains endroits de la province Nil réagirent de la même manière dans la plupart des cas, mais dans le sens contraire. C'est-à-dire qu'à travers tous les facteurs cela veut dire toutes les dernières années les précipitations des endroits centrales et septentrionales du Sahel se ressemblèrent pour tous les mois et toutes les régions du Sahel méridional, au Sénégal aussi bien qu'au Soudan. Des ressemblances entre les endroits du Sahel central et septentrional et les régions du Sahel méridional dans les mêmes années sont purement exceptionnelles.

Le pas suivant dut montrer si les ressemblances tempo-spatiales de la précipitation formèrent également des ressemblances dans les récoltes des mêmes années. A cause des difficultés statistiques avec les données originales la méthode d'analyse des composantes ne fut appliquée que pour les récoltes d'arachide au Sénégal et au Soudan.

L'analyse des récoltes d'arachide au Sénégal et au Soudan, prise dans l'ensemble montre 2 modèles spatiales. Les récoltes du Sénégal méridional et en partie oriental ressemblent beaucoup à ceux du Soudan occidental (Darfour) pour les mêmes années. Ces mêmes ressemblances pour ces mêmes années sont visibles dans les récoltes du Sénégal septentrional (Thiès, Djourbel, Linguère, Fleuve) et du Sahel oriental du Soudan (Kordifan), ils diffèrent seulement dans leur dimension. C'est-à-dire que les analyses de ressemblances tempo-spatiales des récoltes d'arachide menèrent à

un résultat qui ressembla à celui des analyses de ressemblances tempo-spatiales de la précipitation.

Après avoir dégagé des structures de ressemblances tempo-spatiales des récoltes d'arachide et des ressemblances tempo-spatiales du temps (ici la précipitation) pendant la même période et au sein des mêmes espaces géographiques il fallut ensuite relier les résultats des différentes analyses. Le résultat d'une telle liaison dut répondre à la question jusqu'à quel point les ressemblances tempo-spatiales aux courants des différents hivernages influencèrent les récoltes d'arachide de ces mêmes années.

La base méthodique fut la corrélation canonique. La corrélation canonique des saturations factorielles des analyses de composantes des récoltes d'arachide (variable de critère) avec les saturations factorielles des analyses de composantes des paramètres pluviométriques (variable de prédicateur) joint tous les facteurs des variables de critère et tous les facteurs des variables de prédicateur en chaque pas. Une corrélation canonique étroite entre les facteurs des récoltes d'arachide et les paramètres pluviométriques des différents mois caractérise les facteurs qui, pendant toutes les années, influencèrent très certainement les récoltes d'arachide au Sénégal et au Soudan.

D'après les résultats de la corrélation canonique de bonnes récoltes d'arachide sont plus probables au moment où la précipitation du mois de septembre est moins extrême (trop humide/trop sec). Dans l'ensemble le résultat de la corrélation canonique confirma les résultats particuliers qui furent décrit auparavant pour chaque station du Sénégal et du Soudan (voir chap. 8.1.1. et 8.1.2.). Le résultat confirma également l'importance des conditions hygriques au moment de la semaille (juillet). Les plantes supportent assez bien par contre une relative sécheresse au mois d'août.

Cet exemple put alors montrer la ressemblance des récoltes et celle du temps dans l'espace et le temps par la ressemblance temporelle entre les récoltes d'arachide et les données climatiques des différentes stations (voir chap.8). La dernière partie de l'analyse put alors dégager les facteurs qui influencèrent très probablement les récoltes d'arachide dans les régions sahéliennes du Sénégal et du Soudan pendant la période des années

1960-1980.

Les résultats montrent qu'il y a une grande similarité concernant le climat estival dans les pays sahéliens malgré l'individualité distincte des récoltes dans les différentes régions.

En même temps les résultats de cette analyse prouvent jusqu'à quel point la climatologie est une science appliquée importante surtout dans la zone marginale de l'océan.

11. Literaturverzeichnis

- Achenbach, H. 1967: Die Agrarlandschaft der tunesischen Nordküste um Bizerte; *Erdkunde*, Bd. 21, S. 132-146
- Achenbach, H. 1971: Agrargeographische Entwicklungsprobleme Tunesiens und Ostalgeriens; *Jahrbuch der Geogr. Ges. zu Hannover, Hannover*
- Achenbach, H. 1979: Klimagebundene Risikostufen der Ertragsbildung und räumliche Standortdifferenzierung der Landwirtschaft im Maghreb; *Erdkunde*, Bd. 33, S. 275-281
- Achenbach, H. 1981: Agronomische Trockengrenzen im Lichte hygrischer Variabilität - dargestellt am Beispiel des östlichen Maghreb; *Würzburger Geogr. Arb.*, H. 53, S. 1-21
- Agnew, C.T. 1982: Water availability and the development of rainfed agriculture in south-west Niger, West Africa; *Trans. Inst. Br. Geogr. N.S.* 7, S. 419-457
- Ahlcrona, E. 1988: The impact of climate and man on land transformation in Central Sudan; *Meddelanden fran Lunds Universitets Geografiska Institutioner*, avh. 103
- Ahmed, A.A. 1982: Land use history of Jebel Marra, Sudan, as related to the present distribution of woody vegetation; *Geo Journal*, Vol. 6, S. 5-14
- Angell, J. K. & Gruza, G. V. 1984: Climate variability as estimated from atmospheric observation; in: Hansen, J. E. & Takahashi, T. (eds): *Climate processes and climate sensitivity*; *Geophysical Monograph 29, American Geographical Union, Washington D.C.*
- Anhuf, D. & Frankenberg, P. 1988: Reale Bodenbedeckung in Südost-Tunesien; *Erdkunde*, Bd. 42, S. 16-26
- Arnaud, J. C. 1983: *Economie du bois*; *Atlas de la Cote d'Ivoire*, S. 52-55, Paris
- Arnold, G. W. & Calbraith, K. A. 1978: Case study on Climatic change and agriculture in Western Australia; in: Pittock, A.B. et alii: *Climatic change and variability*, Cambridge, S. 297-300
- Atlas du Senegal*, 1983; Paris
- Attia, H. 1957: L'organisation de l'oasis; *Cah. de Tun.*, 17-18, S. 39-43
- Aubreville, A. 1949: *Climats, forets et desertification de l'Afrique tropicale*; *Soc. d'Ed. Geographiques, Maritimes et Coloniales*, Paris
- Babiker, A. B. 1974: *Landwirtschaft in der Demokratischen Republik Sudan*; *Petermanns Geogr. Mitt.*, Jg. 118, S. 181-188
- Bach, W. & Pankrath, J. & Schneider, St. H. 1981: *Food - Climate interactions*; *Proceedings of an international workshop held in Berlin, Dec. 9-12, Dordrecht, Boston, London*
- Bahrenberg, G. & Giese, E. 1975: *Statistische Methoden und ihre Anwendung in der Geographie*, Stuttgart
- Barbour, K. M. 1961: *The Republic of the Sudan - a regional geography*, London
- Barth, H. K. 1977: *Der Geokomplex Sahel*; *Tübinger Geographische Studien*; H. 71
- Barth, H. K. 1980: *Die Trockengebiete der Erde als Lebensraum des Menschen*; *Tübinger Geogr. Stud.*, H. 80, S. 23-29
- Bedoian, W. H. 1978: Human use of the pre-saharan ecosystem and its impact on desertization; in: Gonzales, N.L. (Ed.): *Social and technological management in drylands - Past, present, indigenous and imposed*, S. 61-109, Boulder, Colorado

- Bidinger, F. R. 1978: Water stress effects on environmental interactions; in: Agroclimatical research needs in the semi-arid tropics; by: International crop research institute for the semiarid tropics, Hyderabad, India
- Biswas, M. R. & Biswas, A. K. 1979: Food, climate and man, New York, Chichester, Brisbane, Toronto
- Born, M.: 1965: Zentralkordofan. Bauern und Nomaden in Savannengebieten des Sudan; in: Marburger Geographische Schriften, H.25, Marburg
- Bortz, J. 1979: Lehrbuch der Statistik, Berlin, Heidelberg, New York
- Brandt, H. 1985: Programs to secure food supplies in the Sudan-Sahelregion: experience, questions and suppositions; Applied Geography and Development, Vol. 25, S. 25-45, Tübingen
- Brückner, E. 1910: Klimaschwankungen und Völkerwanderungen im XIX. Jahrhundert; Internationale Wochenschrift für Wissenschaft, Kunst und Technik, 5.3.1910, S. 2-16, Berlin
- Bryson, R. A. & Ross, J. E. & Hougas, R. W. & Engelbert, S. E. 1974: Climatic change and agricultural responses; Institute for Environmental Studies, University of Wisconsin, IES Report, 20, Madison
- Bryson, R. A. & Murray, T. J. 1977: Climates of hunger; Madison/Wisconsin
- Byrne, R. & Granger, O. & Monteverdi J. 1982: Recent rainfall trends on the margins of the subtropical deserts: a comparison of selected northern hemisphere regions; Quaternary Research, Vol 17. S. 14-25
- Calendrier agricole pour le Senegal; Bull. de l'I.F.A.N., Bd. 8, No. 1-4, 1946, Dakar
- Centre National de la Recherche Scientifique C.N.R.S. 1978: Contribution a l'analyse ecologique des zones arides de Tunisie avec l'aide des donnees de la teledetectionspatiale - Experience Arzotur - Rapport final 1975 - 1978, Montpellier
- Chang, J. H. 1968: Climate and agriculture, Hawaii
- Chooly, J. E. & Dyer, J. G. J. 1979: On the spatial and temporal variations of maize yields over South Africa; South African Geographical Journal, 61. S. 111-118
- Chowdhury, A. & Rao, G. A. 1978: Climatic changes and the wheat yield in northwestern parts of India; in: Takahashi, K. & Yoshino, M. M. (Eds.): Climatic change and food production; Intern. Symp. on recent climatic change and food production, eld Oct. 4-8, 1976, Tskkuba and Tokyo, Tokyo
- C.I.L.S.S. - Institut du Sahel 1985: Projet regional d'amelioration des mil, sorgho, niebe et mais; Traveaux et documents, No. 4, Bamako
- Cocheme, J. & Franquin, P. 1967: An agroclimatology survey of a semi-arid area in Africa south of the Sahara: WMO Technical Note, Nr. 86, Geneva
- Dagg, M. 1969: Water requirements of crops; in: Morgan, W. T. W. (Ed.): East Africa - its peoples and resources, S. 119-125, London
- Dancette, C. & Hall, A. E. 1979: Agroclimatology applied to water management in the Sudanian zones of Africa; in: Hall, A. E. & Cannell, G. H. & Lawton, H. W. (Eds.): Agriculture in semi-arid environments, Ecological Studies 34, S. 98-118, Berlin, Heidelberg, New York
- Delmas, Y. 1952: L'ile de Djerba; Cah. d'Outre-mer, 5, S. 149-168

- The Democratic Republic of Sudan - Ministry of Agriculture, Food and Natural Resources 1981: South Kordofan rural planning unit; Khartoum
- Dennett, M. D. & Elston, J. & Speed, C. B. 1981a: Rainfall and crop yields in seasonally arid west Africa; *Geoforum*, Vol. 12, No. 2, S. 203-209
- Dennett, M. D. & Elston, J. & Speed, C. B. 1981b: Climate and cropping systems in west Africa; *Geoforum*, Vol. 12, No. 2, S. 193-202
- Despois, J. 1942: Regions naturelles et regions humaines en Tunisie; *Ann. de Geogr.*, Tome 51, S. 112-128, Paris
- Despois, J. 1961: La Tunisie, ses regions; Paris
- Diagayete, J. 1985: Maisverarbeitung und -verwendung im Senegal; *Entwicklung und ländlicher Raum*, H. 1, S. 21-23
- Dioub, A. 1957: La region de Zarzis; I - L occupation du sol avant 1880; *Les Cah. de Tunisie*, S. 311-316, Tunis
- Dioub, A. 1972: La region de Zarzis; II - Contact europeen et exploitation du sol de 1881 - 1959; *Les Cah. de Tunisie*, S. 171-178, Paris
- Domrös, M. 1978: Aspects of recent rainfall fluctuations with regard to land utilization in Sri Lanka; in: Takahashi, K. & Yoshino, M. M. 1978, S. 101-110
- Domrös, M. 1981: Dry years and their relationship to crop production in Sri Lanka; *Geo Journal*, Jg. 5, No. 2, S. 133-138
- Drought 1975: Drought and agriculture: Report of the commission for agricultural meteorology, working group on the assessment of drought, WMO, Technical Note, 138, Geneva
- Druckham, H. N. 1974: Climate, weather and human food systems, a world review; *Weather*, 29, S. 241-251
- Duckham, A. N. 1967: Weather and farm-management decisions; in: Taylor, J. A. (Ed.): *Water and agriculture*, London
- El-Tom, M. A. 1975: The rains of the Sudan; Khartoum
- Farbrother, H. G. 1977: Water requirement of Gezira and Managil, 1976/77 season: FAO/UNDP Technical Cooperation Program; Ministry of Agriculture, Food and Natural Resources, Khartoum
- Farge, P. 1973: L'agriculture a Zarzis; *Mediterranee*, 4, Tome 15, S. 3-18
- Fleer, H. 1981: Large scale tropical rainfall anomalies; *Bonner Meteorologische Abhandlungen*, H. 26
- Flohn, H. 1964: Über die Ursachen der Aridität Nordostafrikas; *Würzburger Geogr. Arb.*, H. 12, S. 25-41
- Flohn, H. : 1971: Investigations in the climatic conditions of the advancement of the Tunesian Sahara; WMO Technical Note 116, Geneva
- Flohn, H. 1984: Tropical rainfall anomalies and climatic change; *Bonner Meteorologische Abhandlungen*, H. 31
- Flohn, H. 1985: Das Problem der Klimaänderungen in Vergangenheit und Zukunft; *Erträge der Forschung*, Bd. 18, Darmstadt
- Franke, W. 1976: *Nutzpflanzenkunde, Nutzbare Gewächse der gemäßigten Breiten, Subtropen und Tropen*; Stuttgart
- Frankenberg, P. 1980: Evapotranspiration, bilan de l'eau et variabilité des precipitations en Tunisie en relation avec l'agriculture; *Mediterranee*, 4, S. 49-55
- Frankenberg, P. 1981: Tunesien - Ein Entwicklungsland im maghrebinschen Orient; Stuttgart
- Frankenberg, P. 1983: Zur Landschaftsdegradation in Südosttunesien; *Akad. d. Wiss. u. d. Lit. - Abh. d. Mathem.-Naturw. Kl.*, Jg. 1983, Nr. 4, Wiesbaden

- Frankenberg, P. 1984: Ähnlichkeitsstrukturen von Ernteertrag und Witterung in der Bundesrepublik Deutschland; Erdwissenschaftliche Forschung, Bd. 17, Wiesbaden
- Frankenberg, P. 1985: Vegetationskundliche Grundlagen zur Sahelproblematik; Die Erde, Jg. 116, S. 121-135
- Frankenberg, P. 1986: Zeitlicher Vegetationswandel und Vegetationsrekonstruktion des "neolithischen Klimaoptimums" in der Djef-fara Südosttunesiens; Akad. d. Wiss. u. d. Lit. - Abh. d. Mathem.-Naturw. Kl., Jg. 1986, Nr. 4, Wiesbaden
- Gaensslen, H. & Schubö, W. 1976: Einfache und komplexe statistische Analysen; München, Basel
- Gallagher, J. N. & Biscoe, P. v. 1976: Effects of drought on grain growth; Nature, 264, S. 541-542
- Geisler, G. 1981: Ertragsbildung von Kulturpflanzen; Erträge der Forschung, 149, Darmstadt
- Giese, E. 1978: Kritische Anmerkungen zur Anwendung faktorenanalytischer Verfahren in der Geographie; Geographische Zeitschrift, 66, S. 161-182
- Gießner, K. 1964: Naturgeographische Landschaftsanalyse der tunesischen Dorsale; Jahrbuch d. Geogr. Ges. zu Hannover, Hannover
- Gießner, K. 1985: Klimageographie - Nordafrika; Afrika - Kartenwerk, Beihefte No. 5, Berlin, Stuttgart
- Glantz, M. H. 1976: The politics of natural disaster. The case of the Sahel Drought; New York, Washington, London
- Glauert, G. 1962: Tunesiens Wirtschaftsentwicklung und seine kulturndlandschaftlichen Probleme; Mitt. d. Österr. Geogr. Ges., 104, S. 109-126
- Glauert, G. 1963: Tunesien; Geogr. Rdsch. 15, S. 89-102
- Götz, B. 1979: Weinbau; 6. Auflage, Stuttgart
- Gornitz, V. & NASA 1985: A survey of anthropogenic vegetation changes in West Africa during the last century - climatic implications; Climatic Change, Vol. 7, No. 3, S. 285-325
- Granger, O. E. 1980: Climatic variations and the California raisin industry; Geographical Review, 7, S. 301-313
- Gregory, S. 1982: Spatial patterns of Sahelian annual rainfall, 1961-1980; Arch. Met. Geoph. Biokl., Ser. B., S. 273-286
- Gribbin, J. 1978: Climatic change; Cambridge, London, New York
- Griffiths, J. F. 1972: The mediterranean Zone; in: Griffiths, J. F. (Ed.): World survey of climatology, 10, Climates of Africa; Amsterdam, London, New York
- Hammer, R. M. 1973: Application and consequences of precipitation observations in the Republic of Sudan in view of the nomadic life and economy; Geoforum, 14, S. 11-18
- Hammer, R. M. 1976: Rainfall characteristics in eastern Sahel; Nature, No. 263, S. 48-49
- Hansen, J. E. + Takahashi, T. 1984: Climate processes and climate sensitivity; Geophysical Monographs 29, American Geogr. Union, Washington D. C.
- Hann, J. 1910: Handbuch der Klimatologie, Band II, 1. Teil, Klima der Tropenzone, Stuttgart
- Hanus, H. 1969: Beziehungen zwischen Witterungsverlauf und Ertragsleistung einiger Feldfrüchte sowie Möglichkeiten für eine frühzeitige Ertragsprognose; Habil. Schrift, unveröffentlicht, Bonn
- Hanus, H. 1973: Vorausschätzung von Ernteerträgen aus Witterungsdaten; Mitteilungen DLG, 88, S. 822-826
- Hanus, H. 1978: Vorhersage von Ernteerträgen aus Witterungsdaten in den Ländern der EG; Agrarstatistische Studien, 21, Kiel

- Hare, K. F. 1976: Climate and desertification; Institut for Environmental Studies, Toronto
- Hare, K. F. 1979: Food, climate and man; in: Biswas, M. R. & Biswas, A. K. (Eds.): Food, climate and man, S. 1-11, New York, Chichester, Brisbane, Toronto
- Hartung, J. 1984: Multivariate Statistik. Lehr- und Handbuch der angewandten Statistik; München, Wien
- Haude, W. 1963: Über vieljährige Schwankungen des Niederschlages im Vorderen Orient und nordöstlichen Afrika und ihre Auswirkungen auf die Ausbreitung von Tier und Mensch; Erde, 94, S. 281-312
- Havlik, D. 1982: Ein Beitrag zur Niederschlagsstruktur des südwestlichen Sahel; Freiburger Geogr. Hefte, H. 18, S. 79-99
- Hellden, U. 1984: Drought impact monitoring - a remote sensing study of desertification in Kordofan, Sudan; Lunds Universitets Naturgeografiska Institution, Vol.61, Lund
- Hewes, L. 1965: Causes of wheat failure in the dry farming region, Central Great Plains 1939-1957; Economic Geography, 41, S. 313-330
- Houderou, H. N. 1970: North Africa: past, present and future; in: Arid lands in transition, Dregne, H. E. (Ed.); American Association of Advanced Science, Washington, S. 227-277
- Houghton, J. T. 1984: The global climate; Cambridge
- Ibrahim, F. N. 1980: Desertification in Nord-Darfur; Hamburger Geographische Arbeiten, H. 35, Hamburg
- Ibrahim, F. N.: 1982: Monitoring and Controlling Ecological Degradation on the Semiarid Zone of the Sudan; in: Scientific Review on Arid Zone Research, Vol. 1, S.53-85, Scientific Publishes, Jodhpur, India
- Ibrahim, F. N. 1984a: Ecological imbalance in the Republic of the Sudan - with reference to desertification in Darfur; Bayreuther Geowiss. Arb., Vol. 6
- Ibrahim, F. N. 1984b: Savannen-Ökosysteme; in: Geowissenschaften in unserer Zeit, 2. Jg., No. 5, S.145-159
- Jackson, I. J. 1977: Climate, water and agriculture in the tropics; New York
- Jätzold, R. 1979a: Der Agro-Sahel in Kenya und seine Entwicklungsmöglichkeiten; Stuttgarter Geogr. Stud., Bd. 93, S. 185-203
- Jätzold, R. 1979b: Agro-climatic conditions for land use in the settlement areas east of Thika-Hakaka. Report for the German Agency of Technical Cooperation; Trierer Geogr. Ges.; Materialien zur Afrikaforschung 1
- Javault, B. 1964: Guide pour la culture du rize, a l'usage des cadres ruraux senegalais; Ministere du Plan et du Developpement - Amenagement du territoire, Dakar
- De Jonge, K. 1978: Rural development and inequality in Casamance Southern Senegal; Tijdschrift voor Econ. en Soc. Geografie, Bd. 69, No.1/2, S. 68-77
- Jungius, J. 1980: Klimaänderungen, Mensch und Lebensraum; Gesellschaft der Wissenschaften (Eds.), Hamburg
- Kassab, A. 1979: Les tres fortes pluies en Tunisie; Publications de l'Universite de Tunis, Faculte des Lettres et Sciences Humaines de Tunis, Deux. Ser.:Geogr., Vol. 11, Tunis
- Kassab, A. 1980: Etudes rurales en Tunisie; Publications de l'Université de Tunis, Faculte des Lettres et Sciences Humaines de Tunis, Deux. Ser.:Geogr. Vol. 6, Tunis
- Kassab, A. 1983: L'agriculture Tunisienne; Revue Tunisienne de Geographie, Bd. 10/11, Tunis

- Kassab, A. 1985: Le probleme alimentaire et la crise de l'agriculture au Maghreb; *Erdkunde*, Bd. 39, H. 1, S. 42-50
- Kassam, A. H. & Kowal, J. M. & Harkness, C. 1975: Water use of groundnut at Samaru, North Nigeria; *Tropical Agriculture*, Vol. 52, S. 105-112
- Katz, R. W. 1977: Assessing the impact of climatic change on food production; *Climatic Change*, 1, S. 85-96
- Kemper, F. J. & Schmiedecken, W. 1977: Faktorenanalysen zum Klima Mitteleuropas; *Erdkunde*, Bd. 31, S. 256-272
- Khattali, H. 1983: Recherches sur la desertification dans la Jeffara Sud-Tunisienne; *Revue Tunisienne de Geographie*, No. 12, S. 49-102
- King, J. W. & Hurst, E. & Slater, A. J. & Smith, P. A. & Tamkin, B. 1974: Agriculture and sunspots; *Nature*, 252, S. 2-3
- Klaus, D. 1973: Ökologische Perspektiven zum Tragfähigkeitsproblem des Sahel; in: Schiffers, H. (Ed.) : *Nach der Dürre*; S. 82-141, München
- Klaus, D. 1975: Periodische und statistische Beziehungen zwischen den jährlichen Häufigkeiten der Großwetterlagen Europas und räumlichen Verteilung der jährlichen Niederschlagssummen in Teilen Westafrikas; *Erdkunde*, Bd. 29, S. 248-267
- Klaus, D. 1982: Klimatologische und klima-ökologische Aspekte der Dürre im Sahel; *Erdwissenschaftliche Forschung*, Bd. 16, Wiesbaden
- Klaus, D. 1983: Geographical - climatical aspects of drought-based food crises; *Quarterly Journal of International Agriculture*, Vol. 22, No. 1, S. 8-26
- Klug, H. 1973: Die Insel Djerba, Wachstumsprobleme und Wandlungsprozesse eines südtunesischen Küstenraumes; *Schr. d. Geogr. Inst. d. Univ. Kiel*, H. 38, S. 46-90
- Knapp, R. 1968: Vegetation und Landnutzung in Südtunesien; *Ber. d. Oberhessischen Gesellschaft für Natur- und Heilkunde zu Gießen*; N. F. Naturwiss. Abt., 36, S.103-124
- Koteswaram, P. 1958: The easterly jet stream in the tropics; *Tellus*, Vol. 10, No. 1, S. 43-54
- Kowal, J. & Andrews, D. J. 1973: Pattern of water availability and water requirement for grain sorghum productions at Samaru, Nigeria; *Tropical Agriculture*, Vol. 50, No. 1, S. 89-100
- Kukla, G. J. + Kukla, J. 1974: Increased surface albedo in the Northern Hemisphere; *Science*, 183, S. 709-714
- Kutsch, H. 1978: Das Zerealienklima der marokkanischen Meseta; *Trierer Geogr. Stud.*, H. 3
- Laouar, S. & Viera da Silva, J. 1981: Annual variation of photosynthesis of the olive tree under different watering conditions and related to chlorophyll accumulation; in: Margaritis, N. S. & Mooney, H. A. (Eds.): *Components of productivity of mediterranean-climate regions - basics and applied aspects*, S. 71-75, Den Haag, Boston, London
- Larcher, W. & De Moraes, J. A. P. V. & Bauer, H. 1981: Adaptive responses of leaf water potential, CO₂-gasexchange and water use efficiency of "Olea Europaea" during drying and rewatering; in: Margaritis, N. S. & Mooney, H. A. (Eds.): *Components of productivity of mediterranean - climate regions - basics and applied aspects*, S. 77-84, Den Haag, Boston, London
- Lauer, W. 1952: Humide und aride Jahreszeiten in Afrika und Südamerika und ihre Beziehung zu den Vegetationsgürteln; *Bonner Geogr. Abh.*, H. 9., S. 15-98

- Lauer, W. 1956: Vegetation, Landnutzung und Agrarpotential in El Salvador; Schriften des Geogr. Inst. der Univ. Kiel, Bd. 16, H.1
- Lauer, W. 1970: Naturgeschehen und Kulturlandschaft in den Tropen - Beispiel Zentralamerika; Tübinger Geographische Studien, Festschrift für H. Wilhelmy, 34, S. 83-105, Tübingen
- Lauer, W. 1975: Vom Wesen der Tropen. Klimaökologische Studien zum Inhalt und zur Abgrenzung eines irdischen Landschaftsgürtels; Akad. d. Wiss. u. d. Lit. - Abh. d. Mathem.-Naturw. Kl., Jg. 1975, H. 3., Wiesbaden
- Lauer, W. & Frankenberg, P. 1981: Untersuchungen zur Humidität und Aridität von Afrika - Das Konzept einer potentiellen Landschaftsverdunstung; Bonner Geographischen Abhandlungen, H. 66
- Lebedev, A. N. 1970: The climate of Africa, Pt. I, Israel Programme for Scientific Translation, Jerusalem
- Lebon, J. H. G. 1965: Land Use in Sudan; The World land Use survey Monogr. Nr. 4, Cornwall
- Leroux, M. 1983a: Le climat de l'Afrique tropicale; Paris
- Leroux, M. 1983b: Le climat de l'Afrique tropicale - Atlas; Paris
- Lettau, H. & Molina, C. E. 1979: Amazonia's hydrologic cycle and the role of atmospheric recycling in assessing deforestation effects; Monthly Weather Review 107, S. 227-238
- Linville, D. E. & Dale, R. F. & Hodges, H. F. 1978: Solar radiation weighting for weather and corn growth models; Agronomy Journal, 70, S. 257-263
- Maley, J. 1982: Dust, clouds, rain types and climatic variations in tropical north Africa; Quaternary Research, Vol. 18, S. 1-16
- Manshard, W. 1962: Der Ablauf der Regenzeit in Westafrika - dargestellt an Beispielen aus Ghana; Giessener Geogr. Schr., H. 2, S. 47-81
- Melice, J. L. & Wendler, G. 1984: Precipitation statistics in southern Tunisia - a contribution to the desertification problem in the Sahelzone; Arch. Met. Geoph. Biocl., Ser. B, No. 33, S. 331-348
- Mensching, H. 1963: Die südtunesische Schichtstufenlandschaft als Lebensraum; Mitt. d. fränk. Geogr. Gesellschaft, 10, S. 82-93, Erlangen
- Mensching, H. & Achenbach, H. 1965: Tunesien - Geographische Struktur skizze eines Maghreblandes; Geographisches Taschenbuch 1964/65, S. 170-185, Wiesbaden
- Mensching, H. 1971a: Nomadismus und Oasenwirtschaft im Maghreb; Braunschweiger Geogr. Studien 3, S. 155-167
- Mensching, H. 1971b: Der Maghreb. Eine regionalgeographische Einführung; Geogr. Rdsch., 23, S. 289-296
- Mensching, H. 1974: Tunesien, Eine geographische Landeskunde; Wiss. Länderkunden, Bd. 1, Darmstadt
- Mensching, H. & Ibrahim, F. N. 1976: Desertifikation im zentraltunesischen Steppengebiet; Nachtrag d. Akad. d. Wiss. Gött. II, Math. Physik. Kl. Nr.8, S. 91-111
- Mensching, H. 1979: The Sahelian Zone and the problem of desertification - climatic and anthropogenic causes of desert encroachment; in: Sarnheim, M. & Seibold, E. & Rognar, P. (Eds): Sahara and surrounding seas - Proceedings of an international symposium; Akademie der Wissenschaften und der Literatur Mainz, 1-4 April 1979; Palaeoecology of Africa and the surrounding Islands 12, S. 257-266, Rotterdam

- Mensinging, H. 1980: Klimaänderungen und Klimaschwankungen in der Sahelzone Afrikas und die Zerstörung des Ökosystems durch die Menschen in historischer Zeit; Veröff. Joachim Jungius-Ges. Wiss. Hamburg, No 44, S.141-159, Hamburg
- Mensinging, H. & Ibrahim, F. N. 1981: Desertifikation in der Sudanzone der Republik Sudan; in: Africa Spektrum 1978/1, S. 5-20, Hamburg
- Mensinging, H. 1982: Nomads and farmers in the west african Sahel - problems of competing land use; Applied Geography and Development, Vol. 20, S. 7-20
- Mensinging, H. 1985: Die Sahelzone - Probleme ohne Lösung?; Die Erde, Jg. 116, H. 2/3, S. 99-108
- Michaels, P. J. 1985: Economic and climatic factors in acreage abandonment over marginal cropland; Climatic Change, Vol. 7, S. 185-202
- Michel, P. & Sall, M. 1984: Dynamique des paysages et aménagement de la vallée alluviale du Senegal; Le développement rural en questions; Edition de l' O.R.S.T.O.M.; Collections Memoires, No. 106, S. 89-109
- Ministry of Agriculture, Food and Natural Resources 1981: South Kordofan Rural Planning Unit; Annex 1 Soil and Vegetation July 1981; Annex 2 Land use and Planning Area July 1981; Annex 4 Crop production, July 1981; Khartoum
- Ministere des Transports et des Communications, Republique Tunisienne 1984: Institut National de la Meteorologie, Tunis
- Miossec, A. 1975: Les pluies exceptionnelles de mars 1973 en Tunisie; Bull. Assoc. Geogr. Franc., No.428, S. 280-288
- Naciri, M. 1969: Condition climatiques, récoltes cerealières et situation des campagnes traditionnelles du Maroc; Revue de Géographie du Maroc, 16, S. 35-69
- Nadkarni, M. V. & Deshpande, R. S. 1983: Growth and instability in crop yields - a case study of agriculture in Karnataka, south India; Regional Studies, Vol. 17, No. 1, S. 29-39
- Natural Resources Research, 1980: Case studies on desertification; Desertification on the Oglat Merteba Region; Tunisia Case study presented by the Government of Tunisia, UNESCO, Paris
- Nelson, W. L. & Dale, R. F. 1978a: Methodology for testing the accuracy of yield predictions from weather-yield regression models for corn; Agronomy Journal, 70, S. 734-740
- Nelson, W. L. & Dale, R. F. 1978b: Effect of trend or technology variables and record period on prediction of corn yields with weather variables; Journal of applied Meteorology, 17, S. 926-933
- Newman J. E. & Picket, R. C. 1974: World climates and food supply variations; Science, Vol. 186, S. 877-881
- Nicholson, S. E. 1976: A climatic chronology for Africa; Synthesis of geological, historical and meteorological information and data; Dr.-Thesis, Univ. of Wisconsin, Madison
- Niege, E. 1951: Les cereales en Afrique du nord, le maïs et le sorgho; Rev. Intern. de Bot. appl. et agr. trop.; 31 annee, No. 341-342, S. 137-159
- Ofori-Sar Pong, E. 1980: The 1975-77 drought in Ghana - Hydrometeorological aspects; Bull. de l'I.T.F.A.N., Tome 42, ser. A, No. 4, S. 649-661
- Oliver, H. 1972: Irrigation and water resources engineering; London

- Olsson, L. 1983: Desertification or Climate? - Investigation regarding the relationship between land degradation and climate in the central Sudan; Lund Studies in Geography, Ser. A, Physical Geography, No. 60, Lund, Sweden
- Olsson, L. 1985: An integrated study of desertification - Application of remote sensing; GIS and spatial models in semi-arid Sudan; Lund studies in geography. Ser. C. General and mathematical Geogr., 13
- Olsson, K. 1985: Remote sensing for fuelwood resources and land degradation studies in Kordofan - the Sudan; Meddelanden Avhandlingar, 100, Lund
- Ottermann, J. 1977: Anthropogenic impact on the albedo of the earth; Climatic Change, Vol. 1, S. 137-155
- Papadakis, J. 1966a: Climates of the world and their agricultural potentialities; Buenos Aires
- Papadakis, J. 1966b: Crop ecology survey in west Africa (Liberia, Ivory Coast, Ghana, Togo, Dahomey, Nigeria); Food and Agriculture Organisation of the United Nations (FAO), Vol. 1, Rome
- Papy, L. 1951: La vallee du Senegal - agriculture traditionnelle et riziculture mecanisee; Les Cahiers d'Outre-Mer, 3^e annee, No. 16, S. 277-324
- Parry, M. L. 1980: Climatic change, agriculture and settlement in the tropics; Dawson
- Penman, H. L. 1963: Vegetation and Hydrology, Techn. Comm. 53; Commonwealth Bureau of Soils, Harpenden
- Poneer, J. 1970: La catastrophe climatique de l'automne 1969 en Tunisie; Ann. Geogr., 79, S. 581-595
- Prost, G. 1954: Utilisation de la terre et la production dans le Sud Tunisien, Matmata et Ouderna; Cah. de Tun., 5, S. 28-66 und Cah. de Tun., 7, S.239-253
- Prinz, D. 1983: Prophylaxis and alleriation of drought effects in crop production; Quarterly Journal of International Agriculture, Vol.22, No. 1, S. 46-56
- Mc Quigg, J. D. 1981: Climate variability and crop yields in high and low temperate regions; Bach, W. et alii (Eds.) Food - climate interactions, S.121 - 138, Dordrecht, Boston, London
- Rapp, A. 1974: A review of desertization in Africa - water, vegetation and man; Secr. for Internat. Ecology, Rep.1
- Raschke, E. 1972: Die Strahlungsbilanz des Systems Erde-Atmosphäre; Zeitschrift für Geophysik, Nr.38, S.967-1000
- Rasool, S. I. 1984: On dynamics and climate; in: Hansen, J. E. & Takahashi, T. (Eds.): Climate processes and climate sensitivity; Geophysical Monograph 29, S. 107-120, Washington
- Ravault, F. 1964: Kanel - l'exode rural dans un village de la vallee du Senegal; Les Cahiers d'Outre-Mer, Tome 17, S. 59-80
- Rehm, S. & Espig, G. 1976: Die Kulturpflanzen der Tropen und Subtropen; Stuttgart
- Reichel, E. 1949: Die Niederschlagshäufigkeit im Mittelmeergebiet; Meteorologische Rundschau, 2, S. 129-142
- Reiher, W. & Rostel, H. J. 1962: Die Anwendung der Faktorenanalyse in der Pflanzenzüchtung; Zeitschrift für Pflanzenzüchtung, 48, S. 14-28
- Republique du Senegal, Ministere du Development Rural-Sekretariat d'Etat .Eaux et Forets 1981: Plan directeur de developement forestier diagnostic - Rapport E: Le developement rural; Dakar
- Republique du Senegal, Ministere de l'Interieur - Sekretariat d'Etat charge de le decentralisation, 1984:Schema national daménagement du territoire-Version preliminaire; Nations Unies, Dakar

- Ripley, E. A. 1976: Drought in the Sahara: insufficient biophysical feed-back?; *Science*, Vol. 191, S. 100-102
- Robertson, G. W. 1975: Rice and weather; WMO Technical Note No. 144, Geneva
- Rosenberg, N. J. 1982: The increasing CO₂ concentration in the atmosphere and its implication on agricultural productivity II. Effects through CO₂ - induced climate change; *Climatic Change*, Vol. 4, S. 239-254
- Rowntree, L. B. 1985: A crop-based rainfall chronology for preinstrumental record in southern California; *Climatic Change*, Vol. 7, S. 327-341
- Saha, K. R. & Mooley, D. A. 1978: Fluctuations of monsoon rainfall and production; in : Takahashi, K. & Yoshino, M. M. 1978, S. 73-100
- Sakamoto, C. 1979: Assessment with agroclimatological information; *Climatic Change*, 2, S. 7-20
- Sakamoto, C. & Leduc, S. & Strommen, N & Steyart, L 1980: Climate and global grain yield variability; *Climatic Change*, Vol. 2, S. 349-361
- Salter, P. J. & Goode, J. E. 1967: Crop responses to water at different stages of growth; Commonwealth International Bureau (Ed.), London
- Sastri, A. S. & Ramana Rao, B. V. & Rama Krishna, Y. S. & Rao, G. A. 1982: Agricultural droughts and crop production in the Indian arid zone; *Arch. Met. Geoph. Biocl.*, Ser. B, No. 31, H. 4, S.405-411
- Schiffers, H. (Hrsg.) 1971, 1972, 1973: Die Sahara und ihre Randgebiete, 3 Bde; IFO-Inst. f. Wirtschaftsforschung; Bd. 60-62, München
- Schliephake, K. 1972: Die ländliche Wasserversorgung in Nordafrika; *Afrika Spektrum*, 2, S. 52-80
- Schliephake, K. 1984: Tunesien; *Buchreihe Ländermonographien*, Bd.14, Stuttgart
- Schmidt, M. 1985: Wassernutzung in der Region Darfur (Sudan); *Wasser und Boden*, H. 8, S. 376-380
- Schmiedecken, W. 1979: Humidität und Kulturpflanzen - Ein Versuch zur Parallelisierung von Feuchtzonen und optimalen Standorten ausgewählter Kulturpflanzen in den Tropen; *Erdkunde*, Bd. 33, S. 266-274
- Schönwiese, Ch. D. 1985: *Praktische Statistik für Meteorologen und Geowissenschaftler*; Berlin, Stuttgart
- Schönwiese, Ch. D. 1985: Weltweite Klimaschwankungen - natürlich oder anthropogen; *Naturwissenschaftliche Rdsch.* 38. Jg., H. 2, S. 50-54
- Schröder, R. 1981: Effektiver Regenfall und Wasseranspruch für die Landwirtschaft, dargestellt am Beispiel Kameruns; *Petermanns Geogr. Mitt.*, H. 4, S. 253-262
- Semyonow, Y. K. 1978: Equatorial westerlies over the eastern hemisphere; *Arch. Met. Geoph. Biocl.*, Ser. B, Bd. 25, H. 4, S. 305-321
- Sethom, H. 1971: Une culture nouvelle, l'arachide dans la presqu'île du Cap Bon; *Rev.tun de Sci. Soc.* 27
- Sievers, M. & Weber, A. 1984: Stability and instability of grain production in Europe and the World; IVth European Congress of Agricultural Economists; Kiel, Sept. 3-7, Kiel

- Sirakumar, M. V. V. & Virmani, S. M. 1978 : Plant and atmospheric parameters in water stress studies; in: Agroclimatological research needs in the semi-arid tropics; International crop research institute for the semi-arid tropics, Hyderabad, India
- Skouri, M. 1984: Regional development and desertification in arid zones around the Sahara; Nature and Resources, Vol. 20, No. 1, S. 10-20, UNESCO, Paris
- Slayter, R. O. 1967: Plant-water relationships, London
- Strobl, J. 1983: Die Anwendung multivariater statistischer Verfahren auf die Abhängigkeit des landwirtschaftlichen Ernteertrages vom Klima am Beispiel von Niederösterreich; Mitt. d. Österreichischen Geogr. Ges., Bd. 125, S. 31-57, Wien
- Sudan Meteorological Department: Annual Meteorological Report 1950 - 1980; Khartoum
- Suret-Canale, J. 1948: Quelques aspects de la géographie agricole au Sénégal: Le cercle de Louga; Les Cahiers d'Outre-Mer, l'année, No. 4, S. 348-367
- Sutcliffe, J. 1968: Plants and water, London
- Suter, K. 1960: Djerba - Beitrag zur Kulturgeographie Südtunesiens; Erdkunde, Bd. 14, S. 221-232
- Takahashi, K. & Yoshino, M. M. 1978: Climatic change and food production - Intern. Sympos. on recent climatic change and food production held October 4-8, 1976, Tsukuba and Tokyo, Tokyo
- Taubert, K. 1967 : Der Sahel von Sousse und seine Randlandschaften. Naturgeographische Voraussetzungen und postkoloniale Entwicklung einer alten tunesischen Kulturlandschaft; Jahrbuch d. Geogr. Ges. zu Hannover, Hannover
- Terjung, W. H. & Livermann, D. M. & Hayes, J. T. 1984 : Climatic change and water requirements of grain corn in the north American Great Plains; Climatic Change, Vol. 6, S. 193-220
- Tetzlaff, G. & Peters, M. & Adams, L. J. 1985: Meteorologische Aspekte der Sahelproblematik; Die Erde, Jg. 116, H. 2/3, S. 109-120
- Thompson, L. M. 1975: Weather variability, climatic change and grain production; Science, Vol. 188, S. 535-541
- Thorntwaite, C. W. & Mather, J. R. 1957: Instructions and tables for computing potential evapo-transpiration and the water balance; Publications in Climatology, 10/3, 1957
- Triltsch, A. & Hulme, M. 1984: Recent rainfall changes in central Sudan and their Physical and Human implications; Trans. Inst. Br. Geogr., New Ser., No. 9, S. 280-298
- Überla, K. 1971: Faktorenanalyse. Eine systematische Einführung für Psychologen, Mediziner, Wirtschafts- und Sozialwissenschaftler; 2. Aufl., Berlin, Heidelberg, New York
- United States Department of Agriculture 1981: Food problems and prospects in sub-saharian Africa, Washington D. C.
- Vogt, E. & Götz, B. 1979: Weinbau; 6. Auflage, Stuttgart
- Walton, K. 1952/53: Climate and Famine in North-East Scotland; The Scottish Geographical Magazine, 68/69, S. 13-21
- Warren, A. & Maizel, J. K. 1976: Ecological change and desertification; University College, London
- Warrick, R. A. 1984: The possible impacts on wheat production - A recurrence of the 1930s drought in the U.S. Great Plains; Climatic Change, Vol. 6, S. 5-26
- Weicker, M. 1982: Die Beziehungen zwischen Nomaden und Bauern im senegalesischen Sahel - Eine konflikttheoretische Analyse; Bayreuther Geow. Arb., Bd. 4

- Weigel, J. Y. 1982: Migration et production domestique des Soninke du Senegal; Travaux et Documents de l'O.R.S.T.O.M., No. 146 Paris
- Williams, C. N. & Joseph, K. T. 1970: Climate soils and crop production in the humid tropics; Singapore
- Winkler, E. 1964: Wirtschaftsgeographische Untersuchungen in Tunesien; Mitt. d. Österr. Geogr. Ges., Bd. 106, H. 1, S. 54-65
- Winstanley, D. 1972: The North African flood disaster, September 1969; Weather, No. 31, S. 390-402
- Winstanley, D. 1973: Recent rainfall trends in Africa, the Middle East and India; Nature, Vol. 243, S. 464-465
- Winstanley, D. 1983: Rainfall patterns and general atmospheric circulation; Nature, Vol. 245, Sept. 28th, S. 190-194
- World Meteorological Organisation 1961: Weather and food; in: Freedom from hunger campaign. Basic study No. 1, Geneva

Anhang

Multiple Korrelationskoeffizienten je Monat für die Beziehungen zwischen den Witterungsparametern und den Erträgen (je Station und Feldfrucht

A I : Senegal, A II : Sudan, A III : Tunesien

(Mb = multiples Bestimmtheitsmaß; r = multipler Korrelationskoeffizient; (20) = Anzahl der Fälle; T = Mitteltemperatur; V = potentielle Verdunstung; F = relative Feuchte; N = Niederschlagssumme; R = Anzahl der Regentage mit mehr als 1mm Niederschlag)

A I

Station: Saint Louis

Monat	Feldfruchte:												
	Weizen (21)		Erdnüsse (21)		Reis (21)		Mais (21)		Weizen (21)		Mais (21)		
	Nb	r	Nb	r	Nb	r	Nb	r	Nb	r	Nb	r	
Juni					R	1,4	0,12						
					V	2,3	0,06						
					F	14,6	-0,04						
Juli	T	38,6	0,62	N	18,9	0,43	F	3,1	-0,18	R	10,9	0,33	
	R	41,4	0,45	F	23,7	0,20	V	4,2	0,12	T	13,3	0,03	
	V	43,6	0,37	V	28,1	-0,07	T	6,1	-0,05	N	14,2	0,16	
	N	44,7	0,31	R	37,0	-0,01	N	6,5	-0,07	V	14,4	0,01	
	F	45,0	-0,17	T	38,1	0,28				F	29,5	0,03	
August	N	29,6	-0,54	R	22,5	0,47	R	5,2	0,23	T	10,4	-0,32	
	R	36,7	0,54	F	30,5	0,28	N	5,8	0,07	N	12,4	-0,21	
	V	42,2	0,35	N	43,9	0,19	T	6,1	0,00	R	13,0	-0,10	
	V	44,0	-0,27	T	47,7	0,13				F	13,5	0,01	
	T	45,7	0,18	V	48,2	-0,24				V	21,9	-0,08	
September	T	12,7	0,36	R	39,0	0,62	V	15,8	0,40	F	12,6	-0,35	
	T	29,3	0,26	F	50,7	0,58	F	23,7	-0,33	V	16,5	0,31	
	R	32,4	0,31	N	51,7	0,44	T	28,1	0,34	T	29,2	0,07	
	N	34,5	0,12	T	52,1	-0,23	R	29,0	-0,00	N	31,8	0,05	
	V	35,0	-0,27	V	53,1	-0,56	N	29,2	-0,11	R	32,5	-0,16	
Oktober	T	5,0	0,22	N	17,4	0,42	N	5,6	0,24	N	20,4	-0,45	
	F	7,6	0,01	T	23,7	0,34	F	7,5	-0,06	V	25,3	0,31	
	V	8,7	0,06	F	24,6	0,03	V	16,7	0,01	R	30,8	-0,26	
	R	9,2	0,15	V	29,2	0,07	R	17,2	0,20	F	31,1	-0,32	
				R	30,7	0,39	T	17,4	-0,04	T	37,1	0,08	
November	F	16,9	0,41	N	7,3	-0,27							
	T	22,1	0,19	R	27,9	0,12							
	N	27,6	-0,19	F	29,3	0,08							
	R	28,2	-0,08	V	30,9	-0,00							
	V	29,0	-0,29										

Station: Podor

Monat	Feldfruchte:												
	Sorghum (21)		Erdnüsse (21)		Reis (21)		Mais (21)		Sorghum (21)		Mais (21)		
	Nb	r	Nb	r	Nb	r	Nb	r	Nb	r	Nb	r	
Juni									T	9,3	-0,31		
									V	11,0	-0,22		
									N	11,1	-0,01		
Juli	R	17,4	0,41	F	31,4	0,56	V	7,7	0,28	F	1,9	-0,14	
	T	27,1	0,23	V	38,6	-0,43	T	8,7	0,19	T	8,0	-0,10	
	F	37,8	0,28	T	47,9	-0,21	F	22,1	-0,24	V	15,0	0,07	
	V	42,6	-0,07	R	48,0	0,31	N	25,3	-0,18	R	17,2	-0,03	
	N	43,1	0,36	N	48,3	0,43	R	26,5	-0,16	N	17,6	0,01	
August	V	43,1	-0,66	F	39,8	0,63	T	8,3	-0,29	F	6,6	-0,25	
	R	51,3	0,35	N	42,0	0,15	V	22,0	-0,00	T	20,9	-0,13	
	T	58,4	-0,65	V	42,7	-0,61	R	32,5	0,23	R	23,3	-0,17	
	F	60,5	0,61	T	42,8	-0,40	F	34,1	-0,09	N	26,8	0,10	
	N	60,7	0,26							V	27,3	0,16	
September	F	56,5	0,75	F	58,1	0,76	T	1,5	-0,12	N	7,9	0,28	
	N	58,0	0,29	N	67,4	0,13	V	13,0	0,03	R	14,1	-0,04	
	R	59,1	0,53	R	68,9	0,49	F	44,9	-0,03	T	14,8	0,11	
	T	59,3	-0,66	V	69,9	-0,74	N	52,9	0,03	V	16,3	-0,11	
	V	62,9	-0,74				R	52,9	0,02	F	20,7	0,03	
Oktober	V	32,6	-0,57	F	45,2	0,67	T	8,9	-0,30	N	23,8	-0,48	
	N	47,3	0,10	N	46,1	0,35	V	17,9	-0,15	F	30,9	-0,09	
	R	47,6	0,16	R	49,0	0,42	F	20,2	0,06	T	34,6	0,26	
	T	47,7	-0,54	V	49,4	-0,60	N	22,4	0,12	R	37,5	-0,42	
				T	49,8	-0,49	R	22,5	0,17	V	39,3	0,20	
November	F	34,1	0,58	V	36,3	-0,60							
	T	37,6	-0,14	N	41,6	-0,37							
	V	54,7	-0,34	T	45,5	-0,40							
	R	55,2	-0,08	R	46,0	-0,16							
	N	56,8	-0,18	F	46,1	0,46							

Station: Matam

Feldfruchte:

Mon.	Hirse (21)			Erdnüsse (21)			Reis (21)			Mais (21)		
	Hb	r		Hb	r		Hb	r		Hb	r	
Juni							N	5,9	-0,24			
							V	8,4	0,03			
							R	13,3	-0,19			
							T	13,4	-0,02			
							F	13,8	-0,07			
Juli	T	37,5	-0,61	T	41,6	-0,64	R	1,0	-0,10	V	1,8	0,14
	R	39,4	0,25	R	48,6	0,16	M	5,6	0,10	T	6,0	0,08
	F	40,2	0,59	V	51,0	-0,56	T	7,8	0,05	F	12,8	-0,11
	V	52,6	-0,57	M	51,8	0,45	F	19,0	0,03	M	12,9	-0,06
							V	22,1	-0,00			
Augu	F	53,3	0,73	T	27,4	-0,52	M	9,5	0,30	T	2,5	-0,16
	R	56,6	0,30	R	31,9	0,04	M	9,8	0,07	F	7,5	0,07
	N	57,1	0,54	F	35,2	0,49	V	10,7	-0,21	M	10,3	0,08
	V	58,1	-0,71	M	35,3	0,32	F	18,9	0,17	N	11,7	0,01
							T	22,1	-0,09			
Sept	T	51,0	-0,71	T	36,3	-0,60	M	4,6	-0,21	T	6,6	0,26
	R	54,2	0,10	R	40,0	0,05	R	8,7	0,08	F	7,5	0,07
	F	54,9	0,42	N	41,7	-0,39	F	10,8	0,03	R	21,0	-0,13
	V	55,9	-0,50	V	42,7	-0,33	V	13,4	0,01	V	23,4	0,22
							T	13,8	0,12	F	27,7	-0,17
Okto	T	29,7	-0,54	T	40,4	-0,63	M	4,0	0,20	R	19,7	-0,44
	R	39,3	-0,06	F	41,6	0,50	R	6,4	0,07	T	24,4	0,37
	V	44,4	-0,51	M	41,7	0,27	V	7,3	-0,06	V	28,3	0,36
	N	45,7	0,06	V	41,8	-0,56	T	7,5	-0,03			
							F	9,5	0,06			
Nove	F	27,2	0,52	V	19,2	-0,44						
	T	28,5	-0,27	M	25,5	0,18						
	V	33,6	-0,46	T	28,7	-0,42						
	R	34,1	-0,01	F	31,8	0,34						

Station: Linguère

Feldfruchte:

Mon.	Hirse (19)			Erdnüsse (19)			Maniok (19)		
	Hb	r		Hb	r		Hb	r	
Juli	V	10,1	-0,31	F	40,8	0,64	N	7,4	0,27
	R	11,5	-0,00	R	45,3	0,04	T	14,5	0,22
	T	12,0	-0,26	N	47,9	0,49	F	15,2	0,04
	F	12,6	0,25	T	48,1	-0,16	V	21,4	0,05
							R	23,4	0,05
Augu	T	10,6	-0,33	T	30,0	-0,55	T	5,6	0,24
	R	24,5	-0,14	N	32,1	0,05	M	8,4	0,08
	F	26,3	-0,09	R	32,8	0,19	F	9,3	0,03
	V	29,3	0,03				V	20,2	0,01
							R	21,6	-0,04
Sept	R	1,8	0,13	N	4,8	0,22	N	1,3	0,11
	V	3,8	0,02	R	6,6	-0,82	T	4,7	0,11
	F	5,2	-0,01	F	7,2	0,11	F	7,4	-0,02
	T	10,5	-0,01	V	17,7	-0,07	V	18,8	0,05
							R	20,3	-0,11
Okto	R	6,1	-0,24	T	20,3	-0,45	F	35,4	0,60
	T	13,3	-0,11	N	56,8	-0,20	V	51,0	-0,42
	V	18,0	0,10	F	57,2	0,11	T	52,6	-0,19
							V	60,5	-0,18
							R	60,6	-0,19
Nove	N	20,8	0,46	V	7,3	-0,27	F	30,8	0,55
	F	25,2	0,04	M	10,0	0,07	N	34,3	-0,36
	R	26,1	0,21	F	11,3	0,16	V	34,8	-0,51
	V	26,3	-0,02				T	35,3	-0,05
							R	35,4	-0,16

Station: Diourbel

Feldfruchte:

Mon.	Hirse (21)			Erdnüsse (21)			Maniok (21)		
	Hb	r		Hb	r		Hb	r	
Juli							T	6,9	0,26
							F	14,5	0,06
							V	26,0	0,03
							N	29,6	-0,07
							R	32,8	0,09
Augu	T	13,1	-0,36	R	34,7	0,59	F	12,3	0,35
	V	33,3	0,05	T	41,8	-0,32	F	19,3	-0,09
	R	41,0	0,32	M	48,2	0,37	R	20,2	0,06
	F	43,0	-0,14	F	53,1	0,03	V	20,3	0,15
							V	54,0	-0,08
Sept	T	15,5	-0,39	V	23,6	-0,48	R	6,6	0,28
	N	26,6	-0,03	M	26,7	0,17	T	15,2	0,05
	R	27,5	0,03	T	28,8	-0,32	V	16,7	0,07
	V	27,6	-0,27	F	31,8	0,46	F	17,7	0,10
							R	18,1	0,16
Okto	F	15,2	0,39	F	25,8	0,51	F	13,0	0,36
	R	19,8	0,08	R	30,0	0,16	V	29,0	-0,27
	N	22,9	0,08	M	31,2	0,11	M	30,2	0,29
	V	24,5	-0,38	V	32,6	-0,48	R	31,3	0,23
							T	36,4	-0,34
Nove	R	5,7	-0,24	T	10,3	-0,32	M	11,1	-0,33
	T	22,1	-0,21	R	21,3	-0,10	T	14,3	0,17
	V	25,5	-0,09	F	30,0	0,25	N	15,3	-0,24
	F	26,8	0,05	V	36,7	-0,21	F	15,5	0,12
							N	21,6	-0,01
Nove	N	22,2	0,47	T	10,3	-0,32	F	26,5	0,51
	T	32,6	0,12	V	13,6	-0,27	R	30,6	-0,15
	V	35,1	-0,28	R	14,9	-0,21	N	39,8	0,03
								T	26,1

Station: Thiès

Feldfruchte:

Mon.	Erdnüsse (18)			Maniok (18)			Hirse (18)		
	Hb	r		Hb	r		Hb	r	
Juli	N	45,9	0,67	N	18,2	0,43	N	17,3	0,42
	T	49,2	-0,32	R	40,5	0,11	F	21,3	-0,17
	F	55,9	-0,04	F	51,9	0,36	V	35,9	0,09
	R	57,1	0,65				T	36,7	-0,26
Augu	F	38,4	0,62	V	15,9	-0,40	T	13,4	-0,37
	R	44,3	0,53	M	22,0	-0,00	R	15,9	0,30
	N	46,9	0,34	F	25,2	0,35	M	24,1	0,07
	V	48,2	-0,39	T	33,6	-0,27	V	25,1	-0,29
							F	30,9	0,28
Sept	R	14,5	0,38	T	5,3	-0,23	R	7,5	0,27
	T	21,0	-0,35	N	8,8	-0,12	F	14,1	-0,08
	V	23,5	-0,29	F	9,0	0,05	T	23,0	-0,12
	F	31,5	0,28				V	32,1	0,06
							N	38,2	0,08
Okto	T	17,8	-0,42	F	1,4	0,12	F	4,4	-0,21
	R	24,9	-0,00	M	6,5	-0,10	N	15,8	0,13
	V	26,4	-0,24	V	8,5	-0,06	T	20,4	-0,02
	F	42,5	0,27	T	10,5	-0,07	V	32,9	0,18
							R	48,4	0,17
Nove	R	16,2	0,40	V	6,4	-0,25	R	64,9	0,81
	V	37,7	-0,36	M	14,0	0,21	T	65,8	0,03
	F	38,3	0,32	F	16,6	0,15			
	T	38,6	-0,09	T	16,7	-0,24			

Station: Kaolack

Mon.	Feldfruchte:												
	Hirse (21)		Erdnüsse (21)		Reis (21)		Mais (21)						
	Hb	r	Hb	r	Hb	r	Hb	r					
Juni					N 8,2	-0,29							
					R 11,0	-0,14							
					V 14,7	-0,11							
					T 17,1	0,03							
					F 26,5	-0,10							
Juli	F	8,6	0,29	R	23,6	0,49	F	10,8	0,33	T	21,3	-0,46	
	T	10,7	-0,29	F	31,7	0,48	V	14,8	-0,25	N	22,7	0,17	
	V	44,6	-0,29	V	51,7	-0,30	N	22,5	0,32	R	25,9	0,09	
	N	44,7	0,25	T	36,5	0,03	T	22,9	-0,07	V	26,0	-0,37	
	R	45,3	0,16	R	36,7	0,29	F	37,6	0,29				
August	T	10,8	-0,33	V	8,1	-0,29	T	10,5	-0,32	T	9,7	-0,31	
	R	11,2	0,17	R	11,4	0,27	N	13,6	0,31	N	15,2	-0,05	
	N	11,3	0,14	F	12,1	0,27	R	15,7	0,28	F	15,3	0,13	
				T	19,6	-0,14	V	16,0	-0,25	V	15,5	-0,16	
				N	20,0	0,09	F	27,6	0,20				
Sept	R	5,2	0,23	R	31,6	0,56	T	23,4	-0,48	T	18,3	-0,42	
	N	16,8	-0,15	T	36,7	-0,29	R	34,7	0,35	N	34,5	-0,25	
	V	29,1	-0,14	F	37,1	0,33	F	36,4	0,44	R	37,4	-0,03	
	T	31,0	-0,23	V	45,3	-0,32	V	37,8	-0,48	F	39,3	-0,09	
	F	34,8	0,15	N	49,3	0,33	N	39,2	0,38	V	39,7	0,01	
Okto	T	15,0	-0,39	F	37,3	0,61	T	26,4	-0,51	R	9,8	-0,31	
	N	43,9	-0,21	N	42,8	0,19	V	31,6	-0,22	T	28,5	-0,18	
	R	45,3	-0,14	T	49,4	-0,51	F	42,1	0,18	V	30,8	0,09	
	V	45,4	-0,12	V	52,9	-0,59	N	42,4	0,12	N	30,9	-0,28	
	F	50,2	0,09	R	55,2	0,28	R	44,6	0,21				
Nov	T	21,8	-0,47	T	8,3	-0,29							
	N	28,6	0,10	R	10,2	0,03							
	V	43,3	-0,01	N	10,7	0,04							
	F	46,2	-0,23	V	10,9	-0,21							
	R	47,1	-0,03	F	11,0	0,08							

Station: Tambacounda

Mon.	Feldfruchte:												
	Hirse (21)		Erdnüsse (21)		Reis (21)		Mais (21)						
	Hb	r	Hb	r	Hb	r	Hb	r					
Juni	F	1,9	-0,14	R	14,9	0,39	R	10,0	-0,32	N	9,5	0,31	
	R	5,3	0,07	T	17,1	-0,05	V	22,0	-0,11	T	10,0	-0,25	
	T	5,4	0,09	N	17,4	0,19	N	22,8	0,01	V	11,0	-0,23	
	V	5,7	0,13	V	17,6	0,10	F	23,4	0,08	F	17,9	0,25	
	N	5,8	-0,07	V	17,9	-0,08							
Juli	F	13,1	0,36	R	16,3	0,40	V	9,8	-0,31	F	16,5	0,41	
	R	19,0	0,35	F	18,5	0,34	R	20,3	-0,19	R	19,5	0,03	
	N	21,6	-0,19	T	21,7	-0,01	N	24,5	0,19	T	20,8	0,01	
	T	21,9	-0,14	V	31,1	-0,31	T	25,7	-0,24	V	24,4	0,04	
	V	22,9	-0,32	F	25,8	0,30				N	25,9	0,02	
August	F	7,1	0,27	F	13,1	0,36	R	11,4	-0,33	F	30,6	0,55	
	V	14,0	-0,22	V	25,6	-0,31	T	23,6	-0,21	R	49,5	0,49	
	R	22,6	0,23	R	44,1	0,34	N	26,4	-0,29	N	55,3	-0,53	
	N	24,4	0,15	T	44,2	-0,02	F	29,0	0,24	N	61,3	0,34	
	T	24,5	0,01	N	41,3	-0,22	N	33,2	-0,17	T	64,9	-0,36	
Sept	R	31,2	0,56	R	23,6	0,48	R	10,1	-0,32	R	12,1	0,35	
	N	37,1	0,54	F	29,4	-0,07	V	31,1	-0,29	V	12,6	-0,06	
	T	37,8	0,15	T	31,9	-0,19	T	31,8	-0,21	N	13,2	0,15	
				N	34,5	0,42	F	32,5	0,30	T	13,3	-0,12	
				N	33,2	-0,17							
Okto	F	22,8	0,48	F	30,4	0,55	T	8,3	-0,28				
	R	24,3	0,32	R	36,2	0,47	N	14,2	-0,21				
	T	26,3	-0,12	N	48,4	0,24	F	16,5	0,19				
	V	28,7	-0,42	T	50,9	-0,18	V	18,9	-0,26				
	N	29,0	0,23	V	50,9	-0,50	R	19,3	-0,02				

Station: Kolda

Mon.	Feldfruchte:												
	Hirse (21)		Erdnüsse (21)		Reis (21)		Mais (21)						
	Hb	r	Hb	r	Hb	r	Hb	r					
Juni	R	5,3	-0,23	F	2,0	0,14	R	2,6	0,16	F	8,9	0,29	
	N	18,5	0,06	V	3,8	-0,10	T	10,7	0,16	R	18,9	-0,05	
	V	21,9	0,10	R	5,4	0,01	F	11,3	0,04	N	21,1	0,19	
	F	26,9	-0,06	T	6,3	-0,08	V	29,7	0,09	V	23,1	-0,27	
	T	28,4	0,19	N	11,7	0,13	T	23,7	-0,12				
Juli	N	26,2	0,51	N	36,7	0,61	R	27,9	0,52	R	10,1	0,32	
	T	29,3	0,06	F	52,5	0,19	T	32,8	0,26	V	16,3	-0,26	
	F	34,4	0,01	T	54,6	-0,11	V	38,7	-0,13	F	25,1	0,16	
	V	34,8	-0,01	V	59,8	-0,20	N	49,8	0,36	T	33,7	-0,18	
				R	60,0	0,31	F	51,5	0,20	N	35,1	0,25	
August	R	18,7	0,43	R	8,5	0,29	R	50,3	0,71	R	16,1	0,40	
	T	20,7	-0,11	V	10,7	-0,15	V	51,2	-0,11	T	24,2	-0,25	
				N	11,5	0,27	F	52,1	0,10	N	38,4	0,03	
				F	11,6	0,15	T	56,0	-0,03	F	38,9	0,17	
				T	12,2	-0,11	N	56,4	0,41				
Sept	N	15,1	0,39	T	6,5	-0,25	R	24,4	0,49	N	23,0	0,48	
	T	17,2	-0,27	V	9,1	-0,10	N	29,4	0,47	T	33,5	-0,47	
	V	21,8	-0,07	R	11,7	0,21	F	30,3	0,05	V	34,5	-0,30	
	R	22,0	0,18	N	14,7	0,05	T	31,4	-0,20	F	36,1	0,28	
				F	17,1	0,09				R	36,7	0,32	
Okto	N	11,3	0,34	N	7,6	0,27	R	29,7	0,54				
	T	11,7	-0,12	F	8,4	-0,06	V	33,0	-0,10				
	F	13,6	-0,01	V	12,4	0,04	T	38,3	-0,52				
	N	17,8	-0,01	T	12,9	-0,05	V	39,9	0,08				
	F	18,2	0,23	R	13,7	0,18	N	40,6	0,46				

A II

Station: Zalingei

Feldfrüchte:												
Mon.	Millet (20)			Sorghum (20)			Sesam (20)			Erdnüsse (20)		
	Hb	r	r	Hb	r	r	Hb	r	r	Hb	r	r
Juni	Mai											
	F	27,1	0,52	R	9,5	-0,30	F	7,3	-0,27	V	30,9	0,55
	N	51,8	-0,39	T	11,2	0,20	V	8,7	0,26	T	32,6	0,52
	V	57,1	-0,25	V	16,9	0,14	N	11,3	-0,07	N	33,3	-0,29
	T	64,8	-0,27	N	17,5	-0,29	R	11,5	-0,04	R	33,3	-0,33
Juli	Juni											
	R	2,1	-0,14	V	9,9	0,31	N	28,4	-0,53	F	8,9	-0,30
	F	4,9	0,08	N	14,8	0,03	F	30,7	-0,39	T	13,6	0,11
	N	6,1	-0,11	R	21,4	-0,31	T	36,6	0,31	R	14,9	-0,23
	T	6,9	-0,04	F	30,3	-0,21	R	38,8	-0,24	N	15,8	-0,01
August	Juli											
	V	7,0	-0,02	T	34,2	0,17						
	F	23,1	0,48	N	9,1	-0,30	V	3,3	-0,18			
	T	19,7	-0,31	V	24,7	-0,46	V	49,1	-0,25	R	11,8	-0,15
	N	22,3	0,06	T	32,5	-0,02	T	62,7	-0,00	F	18,1	-0,01
Sept	August											
	F	24,4	0,03	R	34,7	0,26	T	64,1	-0,06	T	18,8	-0,07
	V	26,9	0,05	N	35,5	0,26	R	65,0	-0,23			
	F	25,0	0,50	V	20,8	-0,45	R	5,0	0,22	N	14,3	0,38
	R	28,4	0,05	T	23,9	-0,25	N	19,0	-0,18	T	18,2	-0,15
Okto	Sept											
	N	38,0	0,38	F	33,0	0,45	T	24,1	0,01	R	21,1	0,08
	T	41,4	-0,08	N	34,6	0,39	F	24,5	0,03	V	21,4	-0,20
	V	62,5	-0,43	R	35,6	0,30	V	25,7	-0,03	F	23,4	0,19
	V	25,2	-0,69	F	14,0	0,37	N	5,7	0,24	T	5,9	0,24
Nov	Okto											
	R	48,7	0,38	N	31,6	-0,11	V	17,9	0,18	V	15,0	0,12
	V	51,1	-0,48	T	32,9	-0,08	T	18,1	-0,02	F	19,7	0,08
	N	54,8	0,60	V	51,0	-0,22	T	24,2	0,22	N	28,3	-0,07
				R	53,2	0,06				R	29,1	0,23
Nov	Okto											
	F	10,3	0,32									
	T	10,8	-0,14									
			V	12,0	-0,17							

Station: El Fasher

Feldfrüchte:												
Mon.	Millet (14)			Sorghum (15)			Sesam (13)			Erdnüsse (13)		
	Hb	r	r	Hb	r	r	Hb	r	r	Hb	r	r
Juni	Mai											
	R	2,6	-0,16									
	N	3,2	-0,06									
Juli	Juni											
	F	3,5	-0,14									
August	Juli											
	R	4,1	-0,20	F	5,1	-0,22	T	57,5	0,75	R	49,3	-0,70
	N	10,6	0,14	V	12,4	0,06	R	61,6	-0,20	V	59,8	0,20
	F	15,5	0,01	N	13,2	0,04	F	72,2	-0,33	T	75,8	-0,22
	V	20,9	0,11	T	13,4	-0,15	N	79,4	-0,24	F	61,1	-0,32
Sept	August											
	F	2,7	0,16	N	23,3	-0,48	N	28,0	0,53	R	4,1	-0,20
	R	28,5	-0,10	T	30,7	0,15	T	53,8	0,02	T	12,4	0,00
	N	39,1	-0,07	R	49,7	-0,38	F	58,2	0,18	N	14,9	-0,13
	V	42,4	-0,09	F	62,8	-0,21	V	59,1	-0,13	F	15,7	-0,17
Okto	Sept											
	V	45,8	-0,13	V	65,8	0,22				V	17,2	0,12
	R	30,3	0,55	T	24,4	0,49	R	8,5	-0,29	T	2,6	-0,16
	N	33,7	0,44	R	36,2	0,39	F	9,3	0,06	V	7,5	0,01
	F	35,8	0,31	V	44,6	0,48	V	13,0	0,05	F	25,8	0,09
Nov	Okto											
	T	36,0	-0,03	F	59,2	-0,30	T	32,2	0,06	N	31,0	0,01
	V	43,3	-0,21	N	66,9	0,29						
	V	23,6	0,49	V	29,3	0,54	F	11,1	0,33	F	5,2	-0,22
	R	26,8	0,19	N	33,1	0,26	N	27,9	-0,06	R	12,6	-0,01
Nov	Okto											
	R	39,8	-0,05	F	39,9	-0,14	R	36,3	0,26	T	15,9	0,07
	N	45,4	0,12	T	40,2	0,50	V	24,1	0,05	V	24,1	0,05
	T	46,0	0,46	R	40,8	0,15				R	24,4	-0,05
				F	12,8	-0,35	N	3,2	-0,18	N	14,4	0,38
Nov	Okto											
				N	13,7	0,02	V	6,1	0,04	F	19,9	-0,33
				T	14,0	-0,11	T	10,3	0,03	V	23,3	0,04
			V	26,9	-0,04	F	14,8	0,08	T	32,2	0,02	

Station: Nyala

Feldfrüchte:												
Mon.	Millet (21)			Sorghum (21)			Sesam (21)			Erdnüsse (21)		
	Hb	r	r	Hb	r	r	Hb	r	r	Hb	r	r
Juni	Mai											
	F	8,5	-0,29									
	T	12,5	0,23									
	V	31,5	0,24									
	N	37,7	-0,12									
Juli	Juni											
	R	34,6	-0,13									
	R	4,9	-0,22	R	9,1	-0,30	T	4,4	0,29	T	5,2	0,23
	T	19,4	-0,22	T	16,9	-0,09	R	13,9	0,06	N	8,2	0,09
August	Juli											
	F	21,8	-0,14	F	19,6	-0,19	N	16,4	-0,21	R	10,6	-0,22
	V	23,6	0,01	V	24,6	0,09	V	17,2	0,26	F	12,2	-0,14
	N	23,8	-0,01	N	29,7	-0,13	V	12,6	0,19			
Sept	August											
	N	14,9	0,38	N	10,7	0,32	R	4,5	0,21	V	3,0	-0,17
	R	47,3	-0,31	R	35,9	-0,28	T	7,6	0,05	N	11,7	-0,09
	T	52,5	-0,33	T	38,0	-0,25	N	8,0	-0,04	F	13,9	0,16
	V	52,6	-0,18	V	39,1	-0,04				T	35,3	0,01
Okto	Sept											
	F	54,3	0,04	V	45,1	-0,08				R	36,1	-0,03
	T	18,0	-0,42	R	6,8	0,26	N	9,9	-0,32	F	14,2	0,35
	R	19,3	-0,07	R	8,8	0,02	N	22,5	0,12	N	12,1	0,20
Nov	Okto											
	N	21,4	0,26	V	9,9	0,01	T	28,1	0,03	V	16,7	-0,28
	F	22,3	0,17	T	10,4	-0,15	V	29,3	-0,12	T	30,1	-0,15
	V	24,9	-0,28	F	15,2	-0,06	F	30,2	0,15			
Nov	Okto											
	T	7,3	-0,27	R	1,0	0,10	F	12,2	0,35	F	5,3	0,23
	R	8,4	0,14	T	1,8	-0,09	R	13,5	0,24	T	7,3	0,15
	N	9,7	0,06	V	2,7	-0,02				V	26,2	0,22
	F	9,9	0,03	F	4,5	0,01				N	40,2	-0,15
Nov	Okto											
	V	10,1	-0,21	N	5,3	0,06				R	41,7	0,01
				T	5,3	-0,23	F	2,8	0,17	F	3,6	0,19
				V	9,1	-0,18	T	3,1	0,01	T	4,8	-0,15
			F	9,3	0,09	V	3,8	0,01	V	38,0	-0,01	

Station: El Geneina

Feldfrüchte:												
Mon.	Millet (21)			Sorghum (21)			Sesam (21)			Erdnüsse (21)		
	Hb	r	r	Hb	r	r	Hb	r	r	Hb	r	r
Juni	Mai											
	T	14,7	-0,38	T	18,8	0,43	N	7,7	-0,27	N	65,0	-0,80
	F	20,7	0,24	N	19,1	-0,26	T	17,2	-0,02	V	66,0	0,63
	N	24,9	-0,03	F	19,4	-0,36	R	31,1	-0,18	R	69,3	-0,39
	N	26,8	0,12	V	20,6	0,39	V	36,4	0,12	T	70,6	0,58
Juli	Juni											
	V	27,1	-0,29	F	36,6	-0,24	F	70,8	0,57			
	T	4,3	0,20	F	10,9	-0,33	N	13,8	-0,37	F	13,6	-0,39
	F	9,7	-0,03	N	41,7	0,18	T	17,0	0,04	V	17,1	0,33
August	Juli											
	F	14,2	-0,18	R	43,9	-0,08	V	24,0	0,26	N	17,4	-0,25
	V	16,7	0,18	V	46,2	0,29	F	33,1	-0,25	R	17,5	-0,19
	N	17,6	-0,16	T	50,5	0,29						
Sept	August											
	F	11,1	-0,22	T	1,5	-0,12	N	5,6	-0,23	N	2,0	0,14
	N	16,8	0,09	R	1,8	0,04	T	15,2	-0,13	R	8,5	-0,11
	V	18,9	0,19	V	2,3	-0,12	R	16,4	-0,10	F	9,2	-0,08
	T	22,3	0,18	F	7,9	0,10	F	16,5	-0,01	V	9,6	0,07
Okto	Sept											
	R	24,4	-0,05	N	8,0	0,06						

Station: En Nahud

Feldfruchte:												
Mon.	Millet (15)			Sorghum (15)			Sesam (15)			Erdnüsse (15)		
	Mb	r	r	Mb	r	r	Mb	r	r	Mb	r	r
Juni	V	25,5	-0,51									
	R	28,0	0,26									
	F	28,5	0,45									
	T	28,7	-0,43									
	N	29,0	0,21									
Juli	F	27,6	0,52	F 41,6	0,64	V 37,2	-0,61	F 51,9	0,72			
	N	32,8	0,02	N 56,5	-0,06	R 47,8	0,53	T 56,8	-0,27			
	R	39,3	0,43	T 58,3	-0,29	T 56,8	-0,34	R 58,9	0,23			
	V	41,0	-0,43	R 59,0	0,30	N 62,5	0,13	V 59,0	-0,37			
	T	41,2	-0,39	V 59,8	-0,39	F 68,2	0,60	N 59,2	0,30			
Augu	V	52,6	-0,72	F 11,4	0,56	F 63,2	0,79	F 34,5	0,59			
	N	54,5	-0,69	V 33,5	-0,50	T 47,8	-0,17	T 47,8	-0,17			
	R	55,9	0,64	R 35,7	0,54	V 67,5	-0,78	N 51,3	0,15			
	N	57,9	0,31	N 37,6	0,29	R 67,8	0,45	R 53,9	0,46			
	V	58,4	0,69	T 38,4	-0,35	T 69,5	0,63	N 55,1	-0,30			
Sept	N	24,1	-0,53	F 17,6	0,41	F 18,7	0,43	F 15,2	0,39			
	V	37,9	-0,21	N 37,0	-0,37	N 35,3	-0,34	T 35,0	0,29			
	R	38,3	-0,16	T 37,9	-0,01	R 35,6	-0,03	V 69,8	-0,07			
	T	39,0	-0,15	V 55,9	-0,28	V 36,2	-0,30	N 51,4	-0,04			
	V	39,1	0,19	R 57,5	0,06	T 36,3	-0,07	N 51,8	0,28			
Okto	T	34,4	-0,59	R 26,4	0,51	R 38,5	0,62	R 10,3	0,32			
	R	41,5	0,56	V 27,0	-0,32	N 44,8	0,38	T 26,8	0,14			
	N	44,2	0,09	T 31,5	-0,24	V 45,4	-0,44	N 28,9	-0,21			
	F	45,4	0,12	F 57,2	0,16	V 30,1	0,06	V 30,1	0,06			
	V	47,3	-0,47	N 57,4	0,04	F 46,6	-0,01					
Nove				T 2,7	-0,16	T 8,5	-0,29	V 15,8	0,40			
				V 9,5	-0,12	V 14,9	-0,25	T 26,7	0,34			
				F 15,8	0,02	F 20,8	0,02	F 30,1	-0,19			

Station: Er Rahad

Feldfruchte:												
Mon.	Millet (20)			Sorghum (20)			Sesam (20)			Erdnüsse (20)		
	Mb	r	r	Mb	r	r	Mb	r	r	Mb	r	r
Juni	V	8,1	-0,29									
	F	10,0	0,17									
	T	16,5	-0,20									
	R	19,6	0,27									
	N	21,2	-0,01									
Juli	R	25,3	0,50	V 19,6	-0,44	V 17,1	-0,41	N 43,6	0,66			
	V	28,6	-0,49	T 24,0	-0,13	N 38,5	-0,21	T 45,1	-0,17			
	T	36,0	-0,11	F 31,2	0,41	T 59,4	0,00	F 47,1	0,55			
	F	36,2	0,44	N 34,7	0,44	F 60,0	0,39	R 47,8	0,51			
	N	39,1	0,36	R 35,2	0,31	R 60,1	-0,23	V 48,3	-0,51			
Augu	V	40,2	-0,63	T 53,3	-0,73	V 46,0	-0,68	T 27,4	-0,52			
	R	42,7	0,14	R 58,4	0,12	R 59,5	0,56	R 39,3	-0,07			
	F	44,7	0,60	N 59,0	0,03	F 62,1	0,64	F 42,2	0,48			
	T	49,1	-0,57	T 59,2	0,53	T 62,2	-0,65	N 43,0	0,04			
	N	53,8	0,11	V 60,7	-0,61	N 62,3	0,37	V 43,9	-0,52			
Sept	T	16,3	-0,40	T 19,7	-0,44	T 37,5	-0,61	R 16,3	-0,40			
	R	34,2	-0,32	R 27,9	-0,17	N 63,9	-0,39	T 23,2	-0,17			
	F	36,5	0,28	F 28,6	0,33	N 54,5	-0,13	N 23,3	-0,19			
	N	39,2	0,04	V 29,6	-0,39	V 54,6	-0,57					
	V	41,4	-0,35	F 57,1	0,52	F 57,1	0,52					
Okto	T	31,5	-0,56	V 35,3	-0,59	T 43,7	-0,66	F 18,3	0,42			
	V	36,7	-0,45	R 44,9	0,35	N 63,9	0,61	N 41,3	-0,35			
	R	43,8	-0,18	N 54,1	-0,24	V 70,9	-0,45	V 45,2	-0,27			
	F	44,5	0,18	R 54,9	0,10	F 72,4	0,29	R 46,6	-0,18			
				T 55,3	-0,44	T 55,3	-0,44	T 46,9	-0,30			
Nove				V 19,2	-0,43	F 15,9	0,40	F 25,5	0,50			
				F 38,7	0,29	N 32,1	-0,20	T 29,8	-0,05			
				T 40,8	-0,41	R 42,2	-0,16	V 31,3	-0,04			

Station: El Obeid

Feldfruchte:												
Mon.	Millet (14)			Sorghum (14)			Sesam (14)			Erdnüsse (14)		
	Mb	r	r	Mb	r	r	Mb	r	r	Mb	r	r
Juni	V	38,9	-0,62									
	T	48,8	-0,40									
	F	57,1	0,50									
	N	59,0	0,18									
	R	59,6	0,35									
Juli	N	4,9	0,22	R 15,4	0,39	R 11,4	0,34	F 19,3	0,44			
	V	8,6	-0,01	T 16,8	-0,18	V 20,9	-0,00	N 21,4	0,17			
	F	14,7	0,03	V 25,3	-0,19	N 27,3	0,32	R 22,8	0,31			
	R	15,9	0,20	F 26,9	0,18	F 30,2	0,01	V 23,2	-0,41			
	T	17,5	0,05	N 27,4	0,23	T 33,6	0,07	T 24,9	-0,26			
Augu	F	39,1	0,62	T 42,4	-0,65	F 45,7	0,68	T 36,0	-0,60			
	N	39,3	0,51	R 42,7	0,37	T 47,2	-0,54	R 44,8	0,15			
	V	39,5	-0,62	F 42,8	0,56	V 66,0	-0,67	F 45,1	0,49			
	T	41,2	-0,55	V 55,0	-0,61	R 73,7	0,32	V 45,9	-0,54			
	R	41,3	0,37	N 55,5	0,52	N 74,0	0,55					
Sept	V	30,6	-0,55	V 48,7	-0,69	F 34,8	0,59	V 36,9	-0,61			
	N	40,7	-0,03	R 52,0	0,56	T 37,7	-0,37	T 38,4	-0,48			
	R	44,5	0,33	N 55,0	0,26	R 39,4	0,41	F 49,3	0,58			
	T	51,6	-0,41	T 57,1	-0,59	V 42,3	-0,56	V 42,3	-0,56			
	F	51,8	0,54	F 58,0	0,69			N 52,8	0,20			
Okto	V	36,7	0,61	F 34,7	0,59	F 40,6	0,64	T 29,0	-0,54			
	V	41,0	-0,26	T 45,7	-0,58	N 56,0	0,15	F 31,1	0,44			
	T	42,0	-0,29	N 48,9	0,20	R 59,7	0,40	N 51,9	-0,09			
	N	43,8	0,33	F 51,1	0,33	T 59,8	-0,39	V 57,0	-0,15			
	R	44,1	0,43	V 52,0	-0,29	V 59,9	-0,08	R 58,0	0,00			
Nove				F 51,5	0,71	F 41,7	0,65	F 26,7	0,51			
				R 62,8	0,34	R 48,1	0,26	R 43,1	0,40			
				T 66,0	0,28	V 50,4	-0,05	T 46,4	-0,11			
				V 66,3	0,27	T 57,0	-0,02	V 47,1	-0,10			

Station: Dilling

Feldfruchte:												
Mon.	Millet (20)			Sorghum (20)			Sesam (23)			Erdnüsse (20)		
	Mb	r	r	Mb	r	r	Mb	r	r	Mb	r	r
Juni	V	22,3	-0,47									
	R	24,2	0,26									
	N	30,2	0,15									
	T	31,3	-0,32									
Juli	V	29,8	-0,54	F 31,6	0,56	N 6,8	-0,26	F 22,1	0,47			
	R	34,6	0,24	N 40,4	0,38	R 11,5	0,21	R 25,2	0,08			
	F	38,5	0,47	T 41,0	-0,23	V 14,2	-0,14	R 27,8	0,24			
	N	42,0	-0,14	V 41,1	-0,41	T 17,5	-0,01	V 28,9	-0,41			
				F 17,6	0,01							
Augu	V	31,6	-0,56	V 36,7	-0,61	T 9,2	-0,30	V 10,9	-0,33			
	F	37,6	0,41	R 42,4	-0,41	R 10,2	0,04	T 17,1	-0,12			
	R	39,7	-0,24	N 43,6	-0,05	N 13,3	-0,02	F 24,9	0,25			
	T	39,9	-0,55	V 14,1	-0,24	V 14,1	-0,24	N 29,0	0,02			
	N	40,0	0,02	F 16,7	0,14	F 16,7	0,14	R 29,6	-0,11			
Sept	N	21,6	-0,47	F 20,7	0,46	N 21,1	-0,45	T 9,7	0,31			
	F	28,2	0,17	R 42,8	-0,45	T 22,6	-0,02	V 22,0	0,02			
	V	31,9	-0,15	T 45,4	-0,14	F 24,5	-0,03	R 32,3	-0,18			
	R	32,9	-0,36	V 51,2	-0,39	V 27,4	0,05	F 35,8	0,10			
	T	33,0	-0,11	R 28,9	0,09	R 28,9	0,09	N 37,1	-0,07			
Okto	T	20,6	-0,45	V 19,7	-0,44	R 23,4	0,48	R 12,3	0,35			
	V	40,7	0,36	R 25,9	0,31							

Station: Kadugli

Table with columns for crop types (Millet, Sorghum, Sesam, Erdnüsse) and months (Juni, Juli, Augu, Sept, Okto, Nov). Each cell contains numerical data with sub-columns for Mb and r.

Station: Ed Duain

Table with columns for crop types (Millet, Sorghum, Sesam, Mais) and months (Juni, Juli, Augu, Sept, Okto, Nov). Each cell contains numerical data with sub-columns for Mb and r.

Station: Kostl

Table with columns for crop types (Millet, Sorghum, Sesam, Mais) and months (Juni, Juli, Augu, Sept, Okto, Nov). Each cell contains numerical data with sub-columns for Mb and r.

Station: Er Renk

Table with columns for crop types (Millet, Sorghum, Sesam, Mais) and months (Juni, Juli, Augu, Sept, Okto, Nov). Each cell contains numerical data with sub-columns for Mb and r.

A III

Station: Tunis I

Mon.	Feldfruchte:											
	Gerste (24)			Hartweizen(24)			Weichweizen(24)			N. ol (25)		
	Hb	r	r	Hb	r	r	Hb	r	r	Hb	r	r
Jkto	Z	17,7	0,42	N	9,3	0,31	T	11,7	-0,34	S	7,5	-0,27
	F	33,5	-0,15	F	30,4	-0,24	N	30,6	0,34	R	9,6	-0,02
	X	36,7	0,22	N	36,7	0,21	F	43,2	-0,11	V	9,7	0,24
	T	41,8	-0,27	T	42,7	-0,30	V	44,9	-0,08	T	10,6	0,03
	V	42,4	-0,00				R	45,3	0,30			
Juve	T	10,5	-0,32	T	14,8	-0,38	T	16,5	-0,41	O	12,7	-0,36
	F	29,1	-0,24	R	37,5	-0,30	R	29,9	-0,19	V	18,0	0,21
	R	33,2	-0,27	F	42,1	-0,24	N	30,5	-0,01	T	20,1	-0,23
	V	36,5	0,03	V	50,6	0,01	F	31,3	-0,06	N	20,7	-0,16
	N	36,7	-0,12	N	51,0	-0,10	V	37,4	-0,14	R	20,8	0,01
Deze	R	16,5	-0,40	R	30,5	-0,55	R	23,7	-0,49	N	12,1	-0,35
	T	23,2	-0,23	N	42,5	0,20	N	32,9	0,16	V	33,7	-0,29
	X	27,0	0,07	T	44,1	-0,09	V	38,4	-0,07	R	35,6	-0,04
	F	27,3	0,03	F	44,3	0,07	T	39,1	-0,19	V	36,8	-0,02
	V	27,7	-0,07	F	44,4	0,13	F	39,3	0,19	F	37,2	-0,14
Janu	R	8,1	-0,28	R	10,0	-0,32	T	6,3	-0,25	D	13,4	-0,37
	T	14,2	-0,09	T	13,0	-0,01	N	9,7	-0,05	N	25,0	0,22
	V	14,3	-0,04				F	11,0	0,17	V	26,1	0,04
	F	15,2	0,01						F	26,5	0,19	
	N	15,3	-0,20						F	26,6	-0,00	
Febr	N	25,4	0,50	N	34,2	0,59	T	28,7	-0,54	J	3,7	-0,19
	T	30,4	-0,39	T	36,5	-0,35	N	34,5	0,42	F	7,3	0,05
	R	31,3	0,29	F	39,0	0,13	R	36,1	0,28	R	9,1	0,02
	F	32,1	0,18	V	46,3	-0,30	F	36,5	-0,26	N	9,7	0,07
	V	36,2	-0,34	R	46,5	0,35	V	37,2	-0,44			
Mars	F	5,2	-0,23	F	2,2	-0,15	F	2,0	-0,14	F	34,0	0,58
	N	5,5	0,01	N	4,7	0,13	N	2,5	0,04	F	35,6	-0,32
	R	5,7	0,02	V	5,2	0,01	R	2,7	0,03	R	36,3	0,29
	T	5,8	-0,05	T	5,7	-0,14						
	V	6,1	0,14	R	5,9	0,13						

Station: Kairouan I

Mon.	Feldfruchte:											
	Gerste (II)			Hartweizen (II)			Weichweizen(II)			Mandeln (II)		
	Hb	r	r	Hb	r	r	Hb	r	r	Hb	r	r
Deze	V	39,5	-0,63	V	25,9	-0,51	V	45,6	-0,68	N	13,4	0,37
	T	46,0	-0,48	F	41,8	-0,25	R	55,2	0,10	R	25,4	-0,05
	M	50,3	0,40	R	51,3	-0,08	N	56,0	0,30	F	29,8	0,25
	R	57,9	0,19	N	57,3	0,20	T	57,1	-0,32	T	34,5	-0,07
	F	61,5	0,21	T	59,1	-0,39	F	57,3	0,05	V	34,6	-0,20
Janu	F	26,1	0,51	N	25,2	0,50	V	35,3	-0,59	F	6,9	0,26
	R	27,4	0,27	V	31,3	-0,47	N	39,4	0,49	R	10,6	0,03
	M	27,5	0,16	T	31,8	-0,45	R	40,4	0,39	N	12,7	0,07
	V	27,8	-0,44	F	34,6	0,38	F	43,2	0,54	V	13,8	-0,23
	T	41,5	-0,25	R	45,3	0,41	T	48,3	-0,48	T	50,7	-0,15
Febr	T	36,9	-0,61	R	43,7	0,66	T	45,0	-0,67	N	32,9	0,57
	N	47,9	0,53	F	47,5	0,13	N	55,2	0,55	F	38,1	0,08
	V	71,7	-0,32	N	49,9	0,66	V	71,8	-0,40	T	41,2	-0,37
	R	76,8	0,53	T	54,9	-0,46	F	42,3	-0,05	R	43,2	0,54
	F	78,5	-0,16	V	56,8	-0,42	R	75,5	0,63			
Mars	N	26,2	0,51	N	23,4	0,48	N	29,2	0,54	M	15,0	0,39
	R	36,5	-0,12	R	59,0	-0,39	R	37,4	-0,08	R	22,6	-0,11
	F	51,5	0,07	F	62,9	0,25	F	40,8	0,24	F	29,5	0,14
	V	53,1	-0,23	T	63,2	-0,19	V	62,0	-0,36	V	32,3	-0,20
	T	56,1	-0,34	V	72,5	-0,29	T	59,0	-0,35	T	32,6	-0,20
April	T	15,9	-0,40	N	18,9	0,44	N	15,5	0,39	T	40,0	-0,63
	F	23,1	-0,16	T	24,8	-0,28	T	24,4	-0,33	R	43,9	0,31
	R	32,9	0,18	R	26,5	0,16	R	24,6	0,20	N	58,5	-0,01
	V	35,2	-0,14	F	26,8	0,19	F	26,8	0,19	F	62,9	-0,07
	R	44,0	0,19	V	30,8	-0,31				V	78,0	-0,40
Mai	F	25,7	-0,51	F	13,3	-0,36	F	6,3	-0,25	M	13,9	0,37
	R	42,4	-0,12	N	28,2	0,24	R	14,2	-0,01	F	36,6	-0,13
	T	51,4	0,02	R	34,9	-0,06	T	35,6	0,16	R	39,5	0,08
	V	56,9	0,32	N	59,9	0,21	N	36,8	0,00	T	48,2	0,02
	N	58,5	-0,20				V	37,0	0,24	V	85,4	0,05

Station: Tunis II

Mon.	Feldfruchte:											
	Gerste (24)			Hartweizen(24)			Weichweizen(24)			N. ol (25)		
	Hb	r	r	Hb	r	r	Hb	r	r	Hb	r	r
April	T	11,5	-0,12	V	21,0	-0,48	V	21,4	-0,48	T	28,5	-0,53
	N	20,4	-0,11	N	27,3	-0,01	N	11,2	0,02	M	31,9	-0,47
	V	25,7	-0,10	V	41,8	-0,19	F	15,8	0,14	F	36,3	0,06
	F	27,1	0,15	R	32,9	0,04	F	16,1	-0,45	N	39,0	0,30
	R	27,2	0,05	F	41,2	-0,20				N	39,0	0,11
Mai	T	25,4	-0,50	T	27,8	-0,52	T	16,1	-0,60	N	6,8	-0,26
	N	11,4	0,44	N	11,4	0,16	N	42,8	0,45	V	12,7	-0,05
	R	41,0	0,28	R	36,3	0,29	N	46,8	0,36	R	15,4	-0,22
	F	41,0	0,11	V	36,7	-0,36	V	47,9	-0,40	F	17,3	-0,01
				F	56,0	0,26	T	18,0	-0,11			
Juni	V	18,7	0,43	V	25,3	0,50	V	8,7	0,30	N	12,1	0,34
	F	23,2	0,11	F	27,0	0,01	F	12,3	0,12	T	15,1	-0,29
	T	23,7	0,07	R	27,5	-0,32	T	14,0	0,13	F	15,4	0,27
	R	24,2	-0,27	N	28,3	-0,20	N	14,9	-0,05	V	28,6	-0,26
	N	26,9	-0,12				R	16,2	-0,15			
Juli									T	16,0	-0,40	
									N	20,2	0,19	
									N	21,6	0,08	
									F	22,0	-0,05	
									F	2,5	-0,16	
Augu									J	2,9	0,01	
									T	3,1	-0,02	
									V	4,1	0,13	
									N	4,2	0,00	
									N	8,2	0,29	
Sept									N	23,8	0,16	
									R	25,9	0,19	

Station: Kairouan II

Mon.	Feldfruchte:											
	Mandeln (II)			Weichweizen(II)			Hartweizen (II)			Gerste (II)		
	Hb	r	r	Hb	r	r	Hb	r	r	Hb	r	r
Juni	N	16,4	0,41	F	14,7	-0,18	N	15,7	0,40	V	21,0	0,46
	F	32,6	-0,18	A	27,4	0,18	V	21,9	-0,08	X	30,2	0,15
	V	33,9	0,09	T	27,7	0,23	T	25,7	0,04	N	33,7	-0,70
	T	37,6	0,04	V	32,2	0,34	R	28,1	0,07	F	34,0	-0,45
	R	38,0	0,07				V	30,4	0,01	T	34,8	0,39
Juli	F	37,1	-0,61									
	N	62,0	0,52									
	R	75,1	0,45									
	V	76,8	0,18									
	T	80,7	-0,21									
Augu	F	32,9	-0,57									
	N	55,5	0,56									
	V	73,4	0,02									
	T	78,2	0,01									
	R	78,6	0,16									
Sept	V	58,7	0,77									
	T	67,7	0,53									
	F	77,3	-0,74									
	N	78,9	-0,32									
	R	79,3	-0,16									
Okto	V	13,1	0,36									
	T	31,6	-0,36									
	F	39,9	-0,12					</				

Station: Gabes I

Feldfruchte:												
Mon.	Gerste (23)			Weizen(23)			Suol			(21)		
	Mb	r	r	Mb	r	r	Mb	r	r	Mb	r	r
Deze	F	9,4	-0,31	N	18,5	0,43	N	3,9	0,19	S	27,2	0,52
	M	20,0	0,28	T	20,3	-0,16	V	7,0	-0,19	V	30,7	0,26
	R	20,8	0,14	R	21,6	0,27	F	10,8	-0,13	R	36,3	-0,02
	V	21,3	-0,11	R	23,0	-0,05	R	12,6	0,16	N	37,0	-0,14
Janu	F	10,0	0,31	R	14,2	0,3b	R	7,4	0,27	O	14,6	-0,38
	F	15,4	-0,05	N	22,9	0,05	N	18,6	-0,04	N	33,3	0,19
	V	18,9	0,15	V	24,4	0,05	T	21,3	-0,22	V	38,1	-0,24
	N	20,3	0,08	T	25,2	-0,00	F	22,7	-0,09	T	42,7	-0,10
Febr	R	14,1	0,38	R	10,7	0,32	R	28,7	0,54	N	23,3	-0,48
	F	22,9	-0,27	F	20,8	-0,29	N	36,9	-0,03	T	32,5	-0,01
	V	30,0	-0,01	T	21,0	-0,12	T	45,2	-0,44	V	33,2	-0,09
	T	30,2	0,04	N	21,2	0,03	V	47,7	0,01	N	33,8	-0,26
Mars	N	11,9	0,34	N	9,3	0,30	V	8,5	-0,29	D	28,5	0,53
	F	15,6	-0,10	F	15,7	-0,16	R	13,8	0,27	V	29,3	0,02
	T	17,1	0,07	V	16,9	0,01	F	17,4	-0,06	F	29,9	0,18
	R	17,4	0,10	R	17,1	0,08	N	17,8	0,21	R	30,0	0,23
Apri	T	9,8	-0,31	T	11,7	-0,32	T	15,6	-0,39	J	10,2	0,32
	V	22,3	0,30	F	24,1	-0,32	N	27,3	-0,19	V	18,0	0,22
	R	36,1	-0,15	V	28,2	0,21	V	30,7	0,03	N	26,3	0,06
	F	37,3	0,13	R	33,0	-0,14	R	32,7	0,11	F	34,3	0,25
Mai	F	37,6	-0,12	R	34,5	0,04	T	34,4	-0,03	F	34,4	-0,03
	F	9,9	-0,31	F	4,7	-0,21	T	3,1	-0,18	F	9,6	0,31
	R	14,2	-0,25	R	7,7	-0,20	V	4,9	0,02	V	13,0	-0,03
	N	16,8	-0,03	T	9,0	-0,07	F	5,6	-0,08	F	17,4	0,06
	V	19,1	0,07	N	9,3	-0,08	R	5,9	0,08	R	18,2	0,16
	T	19,9	0,01	V	10,2	0,00	N	6,8	-0,02	R		

Station: Souse

Feldfruchte:												
Mon.	Gerste (19)			Hartweizen(19)			Weizen(19)					
	Mb	r	r	Mb	r	r	Mb	r	r	Mb	r	r
Deze	N	30,7	0,55	T	21,9	-0,47	N	10,4	0,32			
	T	49,4	-0,54	R	27,4	-0,11	R	14,8	0,01			
	R	50,2	0,30	N	45,9	0,32	T	15,9	-0,13			
	N	30,5	0,55	N	24,5	0,49	N	15,9	0,40			
Janu	R	31,4	0,33	T	26,7	-0,28	T	23,9	-0,38			
	T	31,6	-0,18				R	24,2	0,17			
	N	17,1	0,41	N	26,9	0,52	T	34,7	-0,59			
	R	19,2	0,16	R	27,6	0,28	N	45,0	0,50			
Febr	T	23,5	-0,25	T	28,0	-0,19	R	45,3	0,44			
	N	28,9	0,54	N	24,8	0,50	N	12,8	0,36			
	R	55,4	-0,10	R	60,8	0,81	R	24,1	-0,07			
	T	55,5	-0,31	T	61,1	-0,23	T	24,7	-0,19			
Mars	T	24,5	-0,49	T	12,6	-0,36	T	17,7	-0,42			
	R	30,1	0,17	R	13,8	0,17	N	16,7	0,14			
	N	30,4	0,02	N	13,9	0,03	R	19,2	0,26			
	T	7,7	-0,28	T	2,5	-0,16	T	10,6	-0,33			
Apr	N	25,6	-0,28	R	4,5	-0,03	N	14,3	-0,04			
	R	28,0	-0,16				R	14,4	0,06			
	R	9,2	-0,30	N	1,2	0,11	R	8,9	-0,29			
	N	13,9	-0,10	R	4,3	-0,02	N	9,1	-0,21			
Maj	T	15,1	-0,01				T	9,2	0,00			

Station: Gabes II

Feldfruchte:												
Mon.	Gerste (23)			Hartweizen(23)			Weizen(23)			Suol (21)		
	Mb	r	r	Mb	r	r	Mb	r	r	Mb	r	r
Juni	R	2,2	-0,15	V	4,4	-0,21	R	18,6	-0,43	V	11,1	0,33
	V	5,6	0,15	R	6,7	-0,13	T	23,8	0,13	M	19,5	0,19
	R	6,9	-0,01	N	10,8	0,08	V	25,8	0,01	F	20,0	0,08
	N	8,0	-0,00	F	12,2	-0,02	N	26,3	-0,18	T	20,3	-0,19
	F	8,1	0,00	T	13,0	-0,01				R	20,6	0,06
									R	7,9	-0,28	
									V	19,2	0,27	
									V	21,9	0,07	
									F	22,4	-0,27	
									T	23,0	0,11	
									V	8,2	-0,24	
									T	14,7	0,07	
									F	15,7	-0,10	
									F	16,6	0,08	
									N	3,5	0,18	
									V	6,0	0,16	
									R	8,1	-0,10	
									T	10,9	-0,01	
									R	11,7	0,06	
									N	24,3	0,44	
									R	31,2	0,09	
									F	39,1	-0,27	
									T	39,3	0,19	
									V	15,5	0,39	
									F	18,4	-0,23	
									V	19,8	0,11	
									N	20,7	0,03	
									R	23,1	0,11	

Station: Sfax

Feldfruchte:												
Mon.	Gerste (24)			Hartweizen (24)			Weizen (24)			Cs Ol (25)		
	Mb	r	r	Mb	r	r	Mb	r	r	Mb	r	r
Dez	N	18,0	0,42	T	9,9	-0,32	N	6,5	0,26	N	11,7	0,34
	T	37,3	-0,35	N	19,8	0,25	T	11,3	-0,17	T	13,1	-0,05
	R	38,1	0,29	V	19,9	0,16	R	11,7	0,07	R		
	R	5,0	0,22	N	5,7	0,24	T	6,5	-0,25	R	23,5	0,49
Jan	N	5,3	0,18	R	5,8	0,17	N	7,5	0,11	N	30,1	0,09
	T	5,5	-0,06	T	6,0	-0,11	N	7,6	0,13	T	36,5	0,18
	N	17,3	0,42	N	28,1	0,53	T	31,4	-0,56	R	25,1	0,50
	T	26,5	-0,24	T	29,5	-0,21	N	36,9	0,32	N	25,3	0,35
Feb	R	26,8	0,41				R	37,1	0,44			
	N	9,4	0,31	R	3,5	0,38	R	15,9	0,39	R	11,5	0,34
	N	9,9	0,11	T	3,7	-0,02	T	17,6	-0,03	T	12,1	-0,20
	T	10,3	-0,16				N	18,3	0,15	N	12,8	0,11
Mars	T	27,3	-0,52	T	17,3	-0,42	T	18,1	-0,43	T	9,2	0,30
	N	30,8	-0,06	N	19,3	-0,04	N	21,0	-0,07	R	18,5	0,22
	R	30,9	0,04				R	22,7	0,14			
	N	4,7	-0,21	N	4,0	-0,20	R	2,3	0,15	R	3,7	0,19
Maj	N	8,6	-0,03	N	8,6	-0,01	N	16,3	-0,13	N	13,2	-0,05
	T	9,8	-0,09	T	8,6	0,03	T	16,9	-0,14			
	R	4,4	-0,21	N	5,7	0,23	R	7,5	-0,27	N	0,6	0,07
	N	7,1	0,01	R	17,3	-0,13	N	16,9	0,08	R	1,3	-0,01
							T	18,0	-0,12	T	1,5	0,02
										T	3,0	0,17
										N	6,4	0,15
										R	9,7	0,01
Okto	T	4,3	-0,21				N	6,1	-0,23			
	N	4,4	0,00				T	6,1	0,06			
	R	4,9	0,04				R	6,3	-0,15			
Nov	T	11,0	-0,34				T	9,0	0,11			
	N	18,5	-0,26				N	10,5	0,32			
	R	20,2	-0,15				R	10,2	0,07			

Station: Jendouba

Feldfruchte:

	Gerste (25)		Weichweizen (24)		Hartweizen (24)		Mb	r	
	Mb	r	Mb	r	Mb	r			
Okt	R	23,4	0,48	R	12,5	0,35	R	23,4	0,48
	N	20,2	-0,15	T	13,8	-0,22	T	25,9	-0,29
	N	21,1	-0,11	N	14,2	0,21	N	17,0	0,42
Nov	T	12,4	-0,35	T	17,5	-0,41	T	19,1	-0,44
	N	20,2	-0,15	N	25,4	-0,14	R	22,3	-0,04
	R	21,1	-0,11	R	27,1	-0,13	N	22,4	0,01
Dez	T	11,3	-0,34	R	14,0	-0,37	R	18,9	-0,43
	R	25,6	-0,32	T	22,5	-0,24	T	31,0	-0,27
	N	26,2	-0,11	N	22,8	-0,15	N	33,2	-0,10
Janu	R	8,9	-0,30	R	14,3	-0,38	T	3,7	-0,19
	N	14,4	-0,09	N	22,1	-0,13	R	11,6	-0,17
	T	16,6	-0,09	T	23,2	-0,03	N	17,0	0,05
Febr	R	18,7	0,43	R	20,3	0,45	R	26,2	0,51
	T	18,9	-0,30	T	22,2	-0,26	N	27,6	0,46
	N	19,0	0,33	N	23,7	0,36			
Mars	R	3,6	0,19	R	8,9	0,30	R	0,9	0,09
	N	5,2	-0,02	N	9,6	0,05	N	1,7	-0,03
	T			T	11,1	0,14			
Apri	T	7,8	-0,28	T	15,8	-0,40	T	12,2	-0,35
	R	9,4	0,01	R	18,7	0,03	N	12,8	0,02
	N	9,5	-0,02	N	19,0	-0,04	R	12,8	0,10
Mai	T	10,4	-0,32	T	8,0	-0,28	T	18,9	-0,43
	N	10,9	0,04	R	8,8	0,25	N	19,6	0,06
	R	11,3	0,22	N	10,1	0,04			
Juni	R	6,8	-0,26	R	7,5	-0,27	T	3,6	0,19
	T	10,3	0,17	T	8,8	0,09	N	5,4	-0,11
	N	12,2	-0,07	N	9,6	-0,09	N	8,9	0,04

Station: Bizerte

Feldfruchte:

	Gerste (19)		Hartweizen (19)		Weichweizen (19)		Mb	r	
	Mb	r	Mb	r	Mb	r			
Okt	T	27,3	-0,52	T	26,4	-0,51	T	23,3	-0,48
	N	31,0	0,24	N	27,1	0,12	R	26,6	0,34
	R	31,3	0,31	R	28,3	0,19	N	26,9	0,21
Nov	R	17,6	-0,42	T	21,0	-0,46	R	12,1	-0,35
	T	36,6	-0,31	R	54,5	-0,43	T	31,5	-0,33
	N	37,6	-0,39	N	55,3	-0,40	N	31,7	-0,30
Dez	R	29,8	-0,54	R	46,2	-0,68	R	32,4	-0,57
	T	60,9	-0,44	T	72,6	-0,38	T	45,9	-0,25
	N	61,0	-0,26	N	72,9	-0,29	N	48,0	-0,15
Janu	T	7,3	-0,27	R	6,7	-0,26	T	11,2	-0,34
	N	18,7	-0,16	T	15,5	-0,23	N	13,1	0,04
	N			N	20,2	-0,22	R	13,4	-0,01
Febr	N	23,3	0,46	N	33,7	0,57	N	26,0	0,50
	T	29,0	0,27	T	45,0	-0,16	R	31,0	0,29
	R			R	46,0	0,30	T	31,3	-0,27
Mars	N	2,2	-0,15	T	6,1	-0,25	R	1,2	0,11
	R	6,5	0,08	R	7,4	0,22	T	1,4	-0,01
	T	6,7	-0,08	N	8,7	0,05	N	1,6	0,08
Apri	T	5,4	-0,23	T	12,3	-0,35	T	4,4	-0,21
	R	11,1	-0,14	R	16,1	-0,05	R	4,8	0,01
	N	12,2	-0,18	N	16,3	-0,08			
Mai	T	6,0	-0,24	T	5,0	-0,22	T	6,4	-0,25
	N	6,9	0,18	N	5,1	0,10	N	6,9	0,16
	R	7,9	0,13	R			R	7,3	0,15
Juni	R	12,4	-0,35	R	20,0	-0,45	R	8,9	-0,29
	T	17,7	-0,10	T	29,6	-0,12	N	24,7	0,04
	N	18,0	-0,01	T	32,6	-0,09	T	24,6	0,09

Station: Gafsa

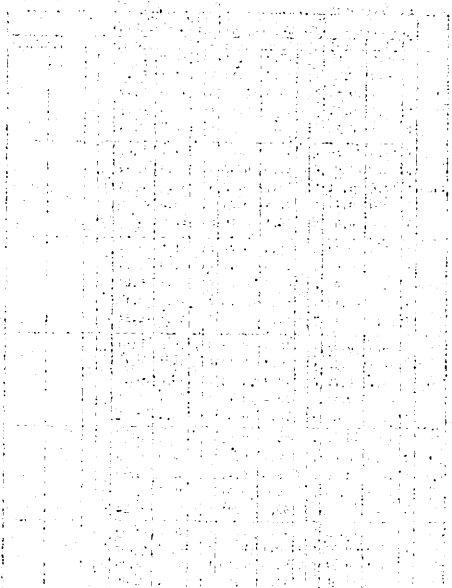
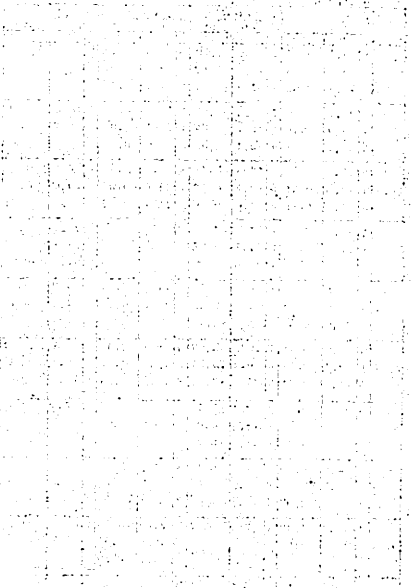
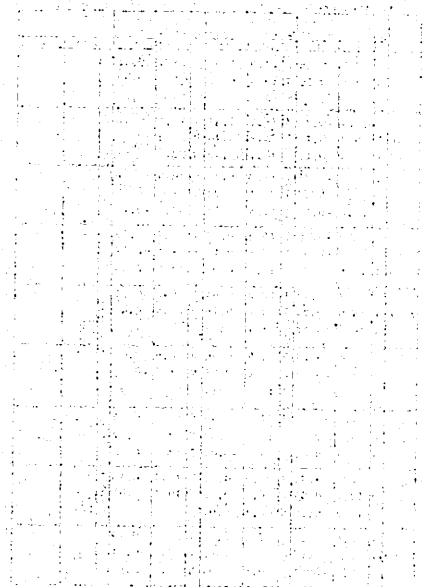
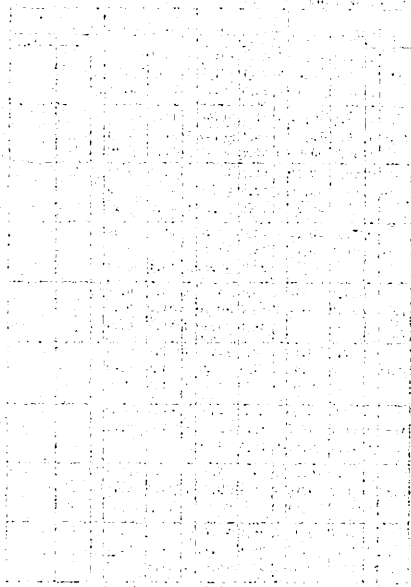
Feldfruchte:

Mon.	Gerste (10)		Hartweizen (10)		Weichweizen (10)		Mb	r	
	Mb	r	Mb	r	Mb	r			
Dez	R	36,8	0,60	R	17,2	0,41	R	46,1	0,68
	V	44,0	-0,53	T	21,5	0,19	T	53,8	0,26
	T	52,1	0,01	V	30,6	-0,28	N	59,8	0,22
	N	75,1	0,31	N	52,6	0,17	V	82,8	-0,28
Janu	F	76,5	0,59	F			F	82,9	0,44
	F	43,3	0,66	V	44,2	-0,66	V	39,1	-0,62
	N	48,8	-0,05	F	45,6	0,55	R	46,9	0,42
	R	62,6	0,21	T	49,7	-0,47	N	50,2	0,24
Febr	T	63,0	-0,17	R	72,8	0,24	T	50,8	-0,38
	V	78,0	-0,61	N	78,1	0,19	F	68,9	0,58
	N	6,4	-0,25	R	5,6	0,24	R	11,5	0,34
	R	17,5	0,09	N	22,5	-0,17	R	32,9	-0,14
Mars	F	32,3	0,05	F	45,7	0,15	F	47,3	0,06
	V	33,2	-0,13	V	61,4	-0,13	V	48,5	-0,17
	T	33,8	-0,18	T	62,0	-0,08	T	48,7	-0,26
	N	26,4	0,51	N	18,7	0,43	N	26,6	0,51
Apri	F	34,4	0,16	F	19,3	0,22	F	34,1	0,17
	R	42,1	0,20	F	19,7	0,28	V	35,0	-0,42
	V	42,3	-0,43	T	20,4	-0,13	T	41,1	-0,35
	T	48,6	-0,35	V	60,8	-0,32	R	43,4	0,42
Mai	V	29,9	-0,54	V	25,7	-0,51	V	11,4	-0,34
	T	43,9	0,08	T	54,4	0,24	T	37,3	0,29
	R	47,2	-0,20	F	58,9	0,49	F	39,4	0,32
	F	47,8	0,33	R	59,5	0,01	R	39,7	-0,01
Juni	N	60,5	0,31	N			N	41,2	0,24
	R	38,3	-0,62	R	46,7	-0,68	R	20,3	-0,45
	N	47,5	-0,51	N	50,1	-0,42	F	27,2	-0,33
	F	54,7	-0,24	T	53,5	0,40	N	33,6	-0,30
Juli	V	54,9	0,26	F	54,7	-0,20	T	37,4	0,39
	T	68,0	0,28	V	58,8	0,34	V	46,7	0,39
	R	17,3	-0,42	R	3,2	-0,17	R	17,7	-0,42
	T	29,2	0,30	N	5,0	-0,03	T	27,0	0,26
Aug	F	49,9	0,13	F	5,7	0,13	F	32,4	0,06
	N	58,3	-0,25	V	10,9	0,08	V	35,6	0,14
	V			V	12,7	-0,06	N	37,3	-0,26

Station: Tozeur Madenine Nabeul

Feldfruchte:

Mon.	Tozeur (10)		Madenine (14)		Madenine (15)		Nabeul (17)		
	Mb	r	Mb	r	Mb	r	Mb	r	
Sept	N	68,7	0,83	T	49,6	-0,70	N	8,6	0,29
	R	71,1	0,66	N	49,9	-0,15	T	29,4	0,01
	T	71,8	-0,62	R	52,3	-0,03	T	34,1	0,28
Okt	R	21,2	0,48	T	36,5	-0,60	N	18,5	0,43
	N	29,9	0,20	N	39,2	-0,04	T	20,3	-0,03
	N	31,2	0,14	R	40,1	0,05	R	20,9	0,10
Nov	N	26,2	0,51	T	55,4	-0,74	R	23,1	-0,48
	T	41,8	0,41	N	60,7	0,52	T	23,9	-0,05
	R	53,6	0,26	R	61,0	0,49	N	24,4	-0,33
Dez	T	31,0	-0,56	T	57,1	-0,76			
	R	31,7	0,03	N	72,7	0,67			
	R			R	73,0	0,38			
Mars	T	2,8	-0,17	R	50,7	-0,71	N	11,9	0,34
	N	16,0	-0,08	T	54,4	0,22	T	12,1	-0,17
	R	25,0	0,09	N	55,4	-0,44	R	4,0	0,17
Apri	T	13,0	0,36	T	20,3	-0,45	N	9,7	0,31
	R	19,1	-0,34	R	26,2	0,01	T	25,3	0,22
	N	21,0	-0,31	N	26,5	-0,08	R	26,6	0,14
Mai	N	66,5	-0,68	N	3,8	-0,19	R	1,7	-0,13
	R	50,7	-0,59	T	11,5	-0,01	N	7,9	0,44
	T	51,5	0,20	R	11,6	-0,09			
Juni	N	4,0	-0,20	N	1,2	0,11	R	2,5	-0,15
	R	5,9	-0,07	T	1,9	0,02	N	0,14	0,63
	T	6,3	-0,09	T	2,2	0,05	T	-0,08	6,6
Juli	T	14,9	0,39	T	2,9	-0,17	T	23,8	-0,49
	N	18,2	0,01				N	26,8	0,44
							R	27,2	0,29
Aug	R	38,6	-0,62	T	8,6	0,29	T	7,8	-0,28
	T	47,7	0,40	R	8,8	0,04	R	11,4	-0,16
						N	32,3	0,19	



- Heft 41: *Monheim, Rolf*: Die Agrostadt im Siedlungsgefüge Mittelsiziliens. Erläutert am Beispiel Gangi. 1969. 196 S. DM 21,—
- Heft 42: *Heine, Klaus*: Fluß- und Talgeschichte im Raum Marburg. Eine geomorphologische Studie. 1970. 195 S. DM 20,—
- Heft 43: *Eriksen, Wolfgang*: Kolonisation und Tourismus in Ostpatagonien. Ein Beitrag zum Problem kulturgeographischer Entwicklungsprozesse am Rande der Ökumene. 1970. 289 S. DM 29,—
- Heft 44: *Rother, Klaus*: Die Kulturlandschaft der tarentinischen Golfküste. Wandlungen unter d. Einfluß der italienischen Agrarreform. 1971. 246 S. DM 28,—
- Heft 45: *Bahr, Wolfgang*: Die Marismas des Guadalquivir und das Ebrodelta. 1972. 282 S. DM 26,—
- Heft 47: *Golte, Winfried*: Das südchilenische Seengebiet. Besiedlung und wirtschaftliche Erschließung seit dem 18. Jahrhundert. 1973. 183 S. DM 28,—
- Heft 48: *Stephan, Johannes*: Die Landschaftsentwicklung des Stadtkreises Karlsruhe und seiner näheren Umgebung. 1974. 190 S. DM 40,—
- Heft 49: *Thiele, Adelbert*: Luftverunreinigung und Stadtklima im Großraum München. 1974. 175 S. DM 39,—
- Heft 50: *Bähr, Jürgen*: Migration im Großen Norden Chiles. 1975. 286 S. DM 30,—
- Heft 51: *Stitz, Volker*: Studien zur Kulturgeographie Zentraläthiopiens. 1974. 395 S. DM 29,—
- Heft 52: *Braun, Cornel*: Teheran, Marrakesch und Madrid. Ihre Wasserversorgung mit Hilfe v. Quananen. Eine stadtgeographische Konvergenz auf kulturhistorischer Grundlage. 1974. 160 S. DM 32,—
- Heft 53: *Klaus, Dieter*: Niederschlagsgenese u. Niederschlagsverteilung im Hochbecken von Puebla-Tlaxcala. 1975. 172 S. DM 32,—
- Heft 54: *Banco, Irmela*: Studien zur Verteilung und Entwicklung der Bevölkerung von Griechenland. 1976. 297 S. DM 38,—
- Heft 55: *Selke, Wolf*: Die Ausländerwanderung als Problem der Raumordnungspolitik in der Bundesrepublik Deutschland. 1977. 167 S. DM 28,—
- Heft 56: *Sander, Hans-Jörg*: Sozialökonomische Klassifikation der kleinbäuerlichen Bevölkerung im Gebiet von Puebla-Tlaxcala (Mexiko). 1977. 169 S. DM 24,—
- Heft 57: *Wiek, Klaus*: Die städtischen Erholungsflächen. Eine Untersuchung ihrer gesellschaftlichen Bewertung und ihrer geographischen Standorteigenschaften — dargestellt an Beispielen aus Westeuropa und den U.S.A. 1977. 216 S. DM 19,—
- Heft 58: *Frankenberg, Peter*: Florengographische Untersuchungen im Raume d. Sahara. Ein Beitrag zur pflanzengeographischen Differenzierung des nordafrikanischen Trockenraumes. 1978. 136 S. DM 48,—
- Heft 60: *Liebhold, Eike*: Zentralörtlich-funktionalräumliche Strukturen im Siedlungsgefüge der Nordmeseta in Spanien. 1979. 202 S. DM 29,—
- Heft 61: *Leusmann, Christoph*: Strukturierung eines Verkehrsnetzes. Verkehrsgeographische Untersuchungen unter Verwendung graphentheoretischer Ansätze am Beispiel des süddeutschen Eisenbahnnetzes. 1979. 158 S. DM 32,—
- Heft 62: *Seibert, Paul*: Die Vegetationskarte des Gebietes von El Bolsón, Prov. Rio Negro, u. ihre Anwendung in der Landnutzungsplanung. 1979. 96 S. DM 29,—
- Heft 63: *Richter, Michael*: Geoökologische Untersuchungen in einem Tessiner Hochgebirgstal. Dargestellt am Val Vegorness im Hinblick auf planerische Maßnahmen. 1979. 209 S. DM 33,—
- Heft 65: *Böhm, Hans*: Bodenmobilität und Bodenpreisgefüge in ihrer Bedeutung für die Siedlungsentwicklung. 1980. 261 S. DM 29,—
- Heft 66: *Lauer, Wilhelm und Frankenberg, Peter*: Untersuchungen zur Humidität und Aridität von Afrika — Das Konzept einer potentiellen Landschaftsverdunstung. 1981. 127 S. DM 32,—
- Heft 67: *Höllermann, Peter*: Blockgletscher als Mesoformen d. Periglazialstufe — Studien aus europäischen und nordamerikanischen Hochgebirgen. 1983. 84 S. DM 26,—
- Heft 68: *Krings, Wilfried*: Innenstädte in Belgien — Gestalt, Veränderung, Erhaltung (1860 — 1978). 1984. 321 S. DM 46,—

BONNER GEOGRAPHISCHE ABHANDLUNGEN (Fortsetzung)

- Heft 69: *Graafen, Rainer*: Die rechtlichen Grundlagen der Ressourcenpolitik in der Bundesrepublik Deutschland - Ein Beitrag zur Rechtsgeographie. 1984. 201 S. DM 28,—
- Heft 70: *Freiberg, Horst-Michael*: Vegetationskundliche Untersuchungen an südchilenischen Vulkanen. 1985. 170 S. DM 33,—
- Heft 71: *Yang, Tsung-hui*: Die landwirtschaftliche Bodennutzung Taiwans. 1985. 178 S. DM 26,—
- Heft 72: *Gaskin-Reyes, Camille E.*: Der informelle Wirtschaftssektor in seiner Bedeutung für die neuere Entwicklung in der nordperuanischen Regionalstadt Trujillo und ihrem Hinterland. 1986. 214 S. DM 29,—
- Heft 73: *Brückner, Christel*: Untersuchungen zur Bodenerosion auf der Kanarischen Insel Hierro. 1987. 194 S. DM 32,—
- Heft 74: *Frankenberg, Peter und Klaus, Dieter*: Studien zur Vegetationsdynamik Südosttunesiens. 1987. 110 S. DM 29,—
- Heft 75: *Siegburg, Werner*: Großmaßstäbige Hangneigungs- u. Hangformanalyse mittels statistischer Verfahren. Dargestellt am Beispiel der Dollendorfer Hardt (Siebengebirge). 1987. 243 S. DM 38,—
- Heft 76: *Kost, Klaus*: Die Einflüsse der Geopolitik auf Forschung und Theorie der Politischen Geographie von ihren Anfängen bis 1945. 1988. 467 S. DM 46,—

In Kommission bei Ferd. Dummlers Verlag, Bonn

* Johnson Reprint Corp.; im Buchhandel erhältlich.
Nicht genannte Nummern sind vergriffen.