

KLIMATOLOGISCHE UND KLIMA-ÖKOLOGISCHE ASPEKTE DER DÜRRE IM SAHEL

VON

DIETER KLAUS

MIT 99 ABBILDUNGEN UND 13 TABELLEN



FRANZ STEINER VERLAG GMBH · WIESBADEN

1981

INHALTSVERZEICHNIS

Vorwort	XI
Zusammenfassung	XIII

Teil I

Klimatologische Aspekte der Dürre im Sahel	1
1. Einleitung	1
a) Folgen der Dürre	1
b) Problemstellung, Datenmaterial und Methode	2
2. Allgemeine Kennzeichnung der mittleren Niederschlagsbedingungen im Sahel	5
3. Klimatologische Ursachen der mittleren Niederschlagsbedingungen	9
4. Die zeitlichen Änderungen der monatlichen und jährlichen Niederschlagssummen im Sahel seit Beginn der meteorologischen Beobachtungsperiode	17
a) Interpretation der längsten vorliegenden Zeitreihen	17
b) Die Zeitreihen der täglichen Niederschlagssummen	20
c) Zeitreihen der monatlichen Niederschlagssummen	24
d) Änderungen der jahreszeitlichen Verteilung der Niederschlagssummen	28
e) Häufigkeitsverteilungen der jährlichen Niederschlagssummen	30
f) Gleich- und entgegengerichtete Niederschlagsänderungen im Vergleich zum Vorjahr.	32
g) Trend- und Periodenanalyse der jährlichen Niederschlagssummen.	33
5. Die raum-zeitlichen Niederschlagsverteilungen der monatlichen und jährlichen Nieder- schlagssummen	44
a) Die raum-zeitlichen Änderungen der monatlichen und jährlichen Niederschlagssummen für die Periode 1934–1973	44
b) Die Raumstruktur der Niederschlagsverteilungen während der Dürre von 1968–1973	47
c) Die räumlichen Kreuzkorrelationen der jährlichen Niederschlagssummen.	49
d) Hauptkomponentenanalyse zur Extraktion charakteristischer raum-zeitlicher Verbrei- tungsmuster der monatlichen und jährlichen Niederschlagssummen	52
6. Analyse möglicher zirkulationsdynamischer Ursachen der Dürre im Sahel	62
a) Die Höhenströmung während der Dürre 1968–1973	62
b) Korrelative Zusammenhänge zwischen der Niederschlagsverteilung im Sahel und der Zirkulationsstruktur im europäisch-atlantischen Sektor	66
c) Zusammenhänge zwischen den Niederschlagsbedingungen im Sahel und der Fronthäufig- keit im europäisch-atlantischen Sektor.	82
d) Beziehungen zwischen den Niederschlagsfluktuationen Westafrikas und den solaren Akti- vitätsschwankungen	89
7. Die Saheldürre in ihrer Beziehung zu den weltweiten Klimaanomalien der sechziger und beginnenden siebziger Jahre.	97

Teil II

Positive Rückkopplungsprozesse, die Dürrepersistenz und Wüstenexpansion auslösen könnten . . .	103
1. Einleitung	103
a) Die Staubhypothese	103
b) Die Albedohypothese	104
c) Die Bodenwasserhypothese	105
d) Die organische Eisnukleihypothese	105
2. Persistenzverhalten niederschlagsdefizitärer Jahre	106
3. Die Vegetationsänderung in der Sahelzone als Folge der Dürre von 1968–1973/4	107
a) Methodische Vorüberlegungen	107
b) Wasserhaushalt im Dünensystem	108
c) Die Vegetationsassoziationen im Dünensystem	111
d) Dürrebedingte Vegetationsänderungen	118
e) Folgerungen für die Sahelzone	120
4. Die Vegetationsänderungen in der Sahelzone als Folge der Überweidung	121
a) Tragfähigkeitspotential.	121
b) Überweidungsbedingte Vegetationsänderungen.	126
5. Folgerungen für die Staubhypothese	133
a) Ausbreitungscharakteristik der saharischen Wüstenstäube	134
b) Die Änderungen saharischen Staubausstößes im Zeitraum 1961–1975	137
c) Folgen der saharischen Wüstenstäube für den Energiehaushalt der tropischen Troposphäre	140
d) Beziehungen zwischen den Raummustern der Niederschlagshöhen und der Aerosolkonzentration.	144
e) Seetemperaturanomalien im tropischen Atlantik in ihrer möglichen Beziehung zu den saharischen Staublufmassenausbrüchen.	147
6. Folgerungen für die Albedohypothese	148
7. Folgerungen für die Bodenfeuchtehypothese	153
8. Organische Eisnukleihypothese.	156

Teil III

Die Vergangenheit und ihr Aussagewert für die Zukunft	159
a) Zusammenfassende Wertung der Ergebnisse	159
b) Die letzten 500 Jahre	159
c) Die saharische Südgrenze im Ablauf der letzten 20000 Jahre	162
d) Erklärungsversuch der Klimafluktuationen am Südrand der Sahara	162
Literaturverzeichnis	167

VERZEICHNIS DER ABBILDUNGEN

TEIL I	
1 Mittlere Niederschlagsverteilung Westafrikas.	6
2 Variabilität der Niederschläge	7
3 Interannuelle Variabilität.	8
4 Jahreszeitliche Niederschlagsänderung	9
5 Luftdruck- und Windverteilung.	10
6 Tägliche Änderung einiger Klimaparameter.	11
7 Zirkulation im 200- und 850mb-Niveau.	12
8 Profildarstellung der ITC	14
9 Schematische Entwicklung der „ligne de grain“.	16
10 Modell der „ligne de grain“	17
11 Zeitreihen der Jahresniederschläge.	18
12 Lagekarte der senegalesischen Stationen.	20
13 Power Spektrum der täglichen Niederschlagssummen	21
14 Power Spektrum der täglichen Niederschlagssummen	22
15 Varianzerklärung auf den Perioden 2–50 Tage	23
16 Varianzerklärung auf den Perioden 2–50 Tage	24
17 Zeitreihen der zonalen Mittelwerte	25
18 Zeitreihen der zonalen Mittelwerte	26
19 Jahreszeitliche Verteilung der Niederschläge	29
20 Jahreszeitliche Verteilung der Niederschläge	30
21 Häufigkeitsverteilung der jährlichen Niederschläge	31
22 Aufeinanderfolge positiver/negativer Abweichungen.	32
23 Power Spektrum der jährlichen Niederschlagssummen.	35
24 Raummuster signifikanter Periodizitäten	36
25 Varianzanteile in % auf 2–3jähriger Periode.	37
26 Bandpaßgefilterte Zeitreihen.	38
27 Biannuelle Oszillation in den Höhenwinden	39
28 Raummuster der Amplitudenänderungen	40
29 Varianzanteile in % für verschiedene Periodenlängen	41
30 Varianzanteile in % für verschiedene Periodenlängen	42
31 Abflußzeitreihen: Nil, Niger und Senegal.	43
32 Niederschlag in Abhängigkeit zur geographischen Breite	45
33 Raummuster des Niederschlags für 1965, 68, 72, 73.	46
34 Häufigkeit signifikanter Korrelationskoeffizienten	51
35 Räumliche Korrelationen	51
36 Raummuster der Eigenvektorladungen ohne Rotation	53
37 Eigenvektorladungen nach orthogonaler Rotation	54
38 Eigenvektorladungen für den Monat August	58
39 Schema zur Deutung der Niederschlagsfluktuationen	60
40 Absolute Topographie 200mb Monat Juli	62
41 Absolute Topographie 200mb Monat August.	64
42 Gradienten der 500mb-Fläche	65
43 Grenze zwischen Höhenost- und Höhenwestwinden	65
44 Jahreszeitliche Häufigkeit der Großwetterlagen	67
45 Prozentualer Anteil der monatlichen GWL-Häufigkeiten an der Jahressumme	67
46 Zeitreihen der GWL-Häufigkeiten für Sommer und Winter	68
47 Zeitreihen der GWL-Häufigkeiten gefiltert.	69
48 Korrelationskoeffizienten zwischen GWL-Häufigkeit und Niederschlag im Sahel	69

49	Wie 48 für monatliche Werte.	70
50	Niederschlag in Abhängigkeit zur meridionalen Zirkulationsform.	71
51	Wie 50, aber in Abhängigkeit zur zonalen und gemischten Zirkulationsform	72
52	Wie 50, aber in Abhängigkeit zu verschiedenen GWL	73
53	Lage der Höhenträge in Abhängigkeit zu den GWL	74
54	Lage der Höhenträge in Abhängigkeit zu den GWL	75
55	Zeitreihen verschiedener Großwetterlagen	76
56	Power Spektrum der GWL-Häufigkeiten.	78
57	Dürren im Sahel und Abkühlungsphasen in Grönland	79
58	Fronthäufigkeit für Juli und Januar im europäisch-atlantischen Bereich	83
59	Zeitreihen der Positionsänderungen der Frontalzone.	84
60	Südgrenze des Auftretens der Fronten.	85
61	Fronten südlich von 25° N	85
62	Fronthäufigkeit in Abhängigkeit zur geographischen Breite	86
63	Fronthäufigkeit in Abhängigkeit zur geographischen Länge	87
64	Korrelationskoeffizienten zwischen Fronthäufigkeit und Niederschlagshöhe im Sahel	88
65	Korrelationskoeffizienten zwischen Sonnenfleckenzahl und Niederschlagsbedingungen im Sahel	90
66	22jährige Variation der Niederschlagssummen	91
67	Höhenänderung der 500mb-Fläche bei Flare Ereignissen.	92
68	Maximale und minimale Niederschläge in Abhängigkeit zur solaren Aktivitätsschwankung	93
69	22jährige Oszillation in gefilterten Zeitreihen.	94
70	Maxima und Minima des Niederschlags in Abhängigkeit zum Sonnenfleckenzyklus und zur geographischen Breite	95
71	Wie 70, aber in Abhängigkeit zur geographischen Länge	96
72	Trend der weltweiten Niederschlagsänderung	98
73	Zeitreihenvergleich zwischen dem Niederschlag im Sahel und den südhemisphärischen Luftdruckwerten.	100

TEIL II

1	Häufigkeit aufeinanderfolgender Niederschlagsänderungen	106
2	Fossile Dünengebiete in Westafrika	108
3	Bodenwassergehalt im Dünensystem	110
4	Pflanzenarten in Abhängigkeit zu den ökologischen Gradienten.	113
5	Vegetations- und Bodenprofil durch ein Dünensystem.	114
6	Vegetationsänderung bei Dürren	118
7	Zeitreihen des Viehbestands im Vergleich zu den Humiditätsbedingungen	122
8	Nomadische Wanderwege	126
9	Überweidung in Brunnennähe.	131
10	Brunnendichte im Senegal	132
11	Zugbahnen der Staubstürme	134
12	Staubfrontverlagerung über dem Atlantik.	136
13	Strömung und Trübung über Westafrika und dem angrenzenden Atlantik	136
14	Staubindex für El Fasher und Barbados	138
15	Strahlungsänderungen in staubangereicherter Luft	141
16	Korrelationskoeffizienten zwischen Niederschlag und Aerosolkonzentration	145
17	Kreuzkorrelation zwischen Niederschlag und Aerosolkonzentration bei einjähriger Zeitversetzung	146
18	Wie 17, aber bei zweijähriger Zeitversetzung	146
19	Korrelation zwischen Juni- und Juliniederschlag	150
20	Wie 19, aber zwischen Juli- und Augustniederschlag	151
21	Wie 19, aber zwischen August- und Septemberniederschlag	152
22	Bodenfeuchte in Sandböden	154
23	Bodenwasser bei Vegetationsbesatz und bei fehlender Vegetation	155

TEIL III

1	Zeitreihenvergleich 1400–1970	160
2	Zeitreihenvergleich 0–20 000 BP für den Südrand der Sahara	161
3	Zeitreihenvergleich 0–20 000 BP für den Südrand der Sahara und die arktischen und antarktischen Temperaturbedingungen	163

VERZEICHNIS DER TABELLEN

TEIL I

1 Liste der berücksichtigten Stationen	2
2 Intensitätsklassen des Niederschlags	7
3 Varianzspektren für die sahelischen Stationen	34
4 Korrelationskoeffizienten zwischen den zonalen Mittelwerten	49
5 Varianzanteile in % für die verschiedenen Periodenintervalle der Zeitreihen der Eigenvektorkoeffizienten.	57

TEIL II

1 Bodenparameter für ein Dünensystem	109
2 Wasserhaushalt im Dünensystem	111
3 Assoziationen der Vegetation	115
4 Dürrebedingte Baumverluste im Dünensystem	119
5 Hitzeresistenz der Blätter	119
6 Abschätzungen zum Tragfähigkeitspotential.	123
7 Vegetationsänderung in Abhängigkeit zur Brunnendistanz	129
8 Produktivität einiger Sahel-Assoziationen	130