

- RAUH, W.: Beitrag zur Kenntnis der peruanischen Kakteenvegetation. Sitzber. Heidelberg. Akad. Wiss. (math. nat. Kl.), 1. Abh., Heidelberg 1958.
- : Die Wuchs- und Lebensformen der tropischen Hochgebirgsregionen und der Subantarktis, ein Vergleich. In: C. TROLL, W. LAUER (Hrsg.): Geoökologische Beziehungen zwischen der temperierten Zone der Südhalbkugel und den Tropengebirgen. Erdwissenschaftliche Forschung, Bd. XI, S. 62–92, Wiesbaden 1978.
- RICHTER, M.: Beobachtungen zum Mikroklima und zur Vegetation am Kilimanjaro. Die Erde, H. 4, Berlin 1980, S. 247–262.
- SCHMIEDECKEN, W.: Die Bestimmung der Humidität und ihre Abstufung mit Hilfe von Wasserhaushaltsberechnungen – ein Modell (mit Beispielen aus Nigeria). In: W. LAUER (Hrsg.): Klimatologische Studien in Mexiko und Nigeria. Colloquium Geographicum, Bd. 13, S. 135–159, Bonn 1978.
- TROLL, C.: Die tropischen Gebirge. Bonner Geographische Abhandlungen, H. 25, Bonn 1959.
- : Ökologische Landschaftsforschung und vergleichende Hochgebirgsforschung. Erdkundliches Wesen, Heft 11, Wiesbaden 1966.
- : Rasenabschälung (Turf Exfoliation) als periglaziales Phänomen der subpolaren Zonen und der Hochgebirge. Zeitschrift f. Geomorphologie, N. F. Suppl.-Bd. 17, S. 1–32, Berlin 1973.
- WALTER, H.: Die Vegetation der Erde in ökophysiologischer Betrachtung. Stuttgart 1973.
- WALTER, H., MEDINA, E.: Die Bodentemperatur als ausschlaggebender Faktor für die Gliederung der subalpinen und alpinen Stufe in den Anden Venezuelas. Ber. Dtsch. Bot. Ges. 82, S. 275–281, Stuttgart 1969.
- WEBERBAUER, A.: Die Pflanzenwelt der peruanischen Anden. Die Vegetation der Erde, Bd. XII, Leipzig 1911.
- : Vegetationskarte der peruanischen Anden zwischen 5° und 17° s. Br. Petersmann geogr. Mitt., S. 89–91, Gotha 1922.
- WEISCHET, W.: Klimatologische Regeln zur Vertikalverteilung der Niederschläge in Tropengebirgen. Die Erde, H. 2–4, S. 287–305, Berlin 1969.

NIEDERSCHLAGSVERHÄLTNISSE UND AGRARMETEOROLOGISCHE BEDINGUNGEN FÜR DIE LANDWIRTSCHAFT IM EINZUGSGEBIET DES TITICACASEES

Mit 2 Abbildungen und 6 Tabellen

RUDOLF SCHRÖDER

Summary: Circumstances of precipitation and agro-meteorological conditions for agriculture in the Lake Titicaca catchment area

The hydrological catchment area of Lake Titicaca, which comprises about 60,000 km², is of special agro-meteorological significance with its mean annual temperature of 8 °C., since temperature total here is no longer sufficient for most of the more demanding cultivated plants. The region is situated in the zone of summer precipitation of the southern part of the continent. The annual means fluctuate between 500 and 1,000mm, with the highest values occurring in the vicinity of the lake or on islands. The probability of almost 500 mm falling annually in the vicinity of the lake is about 80 per cent. The water supply in the catchment area of the lake is sufficient for cultivation only in the summer rainy season (November to March). All plant development phase occur during this period. The other months produce a negative balance. Since temperatures fall below freezing point on most days between April and October, temperature too imposes a temporal limit for cultivation. Apart from indigenous tuber and root crops, grains and legumes the imported wheat, barley and large field beans are the most important plants cultivated for nutritional purposes, which are able to grow and mature under these extreme conditions.

Der Titicacasee und sein Einzugsgebiet sind eine der bemerkenswerten Landschaften auf der Erde. Aus der Sicht des Agrarmeteorologen bietet sich ein besonders anregendes Forschungsfeld. Einmal werden die Höhengrenzen des landwirtschaftlichen Anbaus für alle Kulturen erreicht, dann ist der tägliche Frostwechsel in den Wintermonaten von besonderer Bedeutung beim Anbau der wichtigsten Kulturpflanzen. Der Frostwechsel als unerlässlich für die Konservierung der Knollen- und Wurzelfrüchte war schon den Inkas be-

kannt, die diese Kenntnis wahrscheinlich auch von den früheren Bewohnern übernommen haben. Diese klimatisch bedingte Methode der Vorratshaltung ermöglichte nicht nur eine dichte Besiedlung, sondern auch die Schaffung eines Großreiches.

Vor über 25 Jahren (1954) bereiste F. MONHEIM das zentrale Andengebiet und besonders das Titicacabecken. Die Ergebnisse seiner Reise legte er als „Beiträge zur Klimatologie und Hydrologie des Titicacabeckens“ vor (1956). Durch einen in späteren Jahren erfolgten Ausbau der klimatologischen und hydrologischen Beobachtungsnetze, insbesondere aber der Niederschlagsmeßstellen, zunächst in Peru, später auch in Bolivien, erschien eine zahlen- und wertmäßige Berichtigung gegeben. In weiteren Studien, zum Teil mit A. KESSLER (1968) wurden dann die neueren Ergebnisse vorgelegt.

Eine von den drei Sonderorganisationen der Vereinten Nationen (FAO, UNESCO und WMO) gebildete Kommission sammelte an Ort und Stelle Material und verfaßte einen umfangreichen Bericht über die agrarmeteorologischen Bedingungen der andinen Region von Venezuela bis Bolivien (1975). Die Autoren, M. FRÈRE und I. Q. RIJKS als Agrarmeteorologen und J. REA als Agronom trugen viele relevante Daten zusammen. Durch die Mitarbeit des bolivianischen Landwirts war es wohl zum ersten Mal möglich, eine umfassende Darstellung der außerhalb der Anden und besonders im südlichen Altiplano, mit Zentrum des Titicacasees, nur wenigen Spezialisten bekannten Feldfrüchte zu geben, die aber gerade für die innerandine Region von sehr großer Bedeutung sind.

Hier soll an Hand neuerer Unterlagen eine knappe Darstellung der Niederschlagsverhältnisse, des Wasserbedarfs und der Abhängigkeit des Anbaus von Temperatur und Niederschlag vorgelegt werden.

Das Einzugsgebiet des Titicacasees ist das nördlichste und in jeder Hinsicht bedeutendste der größeren Becken des andinen Altiplano. Bei einer Höhe des Seespiegels von 3808 m wird eine mittlere Wasseroberfläche von 8170 km² angenommen (VEGA CEDANO 1973). Der gesamte Einzugsbereich umfaßt nach Angaben des SENAMHI (Servicio Nacional de Meteorología 1972) in Peru und Bolivien rund 60 000 km², einschließlich Wasserflächen.

Die Landschaft gehört sowohl in Peru als auch noch zum Teil in Bolivien zu den dichtbesiedeltsten beider Länder. Im peruanischen Teil beträgt die Siedlungsdichte etwa 150 Einwohner/km². Entsprechend eng sind auch die neuen Beobachtungsnetze. Für den Teil von Peru errechnet sich eine Dichte von 1 Regenmeßstelle auf etwa 700 km². Für Bolivien ist das Ergebnis nicht so günstig. Der hydrographische Einzugsbereich endet an der Südgrenze des Sees, dort wo der Rio Desaguadero austritt und zum Lago Poopo entwässert.

Das gesamte Titicacabecken liegt innerhalb der Wendekreise (14°–17°), dabei beträgt der Unterschied in der Tageslänge zwischen Dezember und Juni maximal 2 Stunden. Die Temperaturschwankung während des Tages überwiegt die jahresperiodische. Der jahreszeitliche Witterungsablauf wird also primär durch die Niederschläge und erst davon abhängig durch die Temperatur bestimmt. Trotzdem widersprechen Jahrestemperaturmittel zwischen 7° und 9 °C dem Begriff „tropisches Klima“. Nach W. LAUER (1975) haben wir es hier mit einer typischen Region der „Kaltropen“ zu tun. Klimatisch und nach der Vegetation liegt das Einzugsgebiet des Titicacasees in der Feucht-Puna, die sich nach C. TROLL in geschlossener Zone von Abancay-Cuzco über La Paz bis Sucre erstreckt (1959).

Für praktische klimatische Vergleiche der Anbauzonen im eigentlichen Titicacabecken erscheint es gegeben, noch vier unterschiedliche Klimabereiche abzugrenzen. (FAO 1975, S. 283). Diese Bereiche werden nach Entfernung vom See, nach der Meereshöhe, nach den sommerlichen Extremtemperaturen (Nov. – April) und nach den Niederschlägen von November – April bestimmt.

Klimabereiche	Höhe	mittl. Max.	mittl. Min.	Niederschl.
1. erweiterte Uferzone	3808–3870 m	16,0 °C	3,1 °C	600 mm
2. seeferne Flußniederrg.	3950–4100 m	15,9 °C	4,0 °C	480 mm
3. seeferne Hochflächen	3870–4100 m	17,9 °C	0,3 °C	680 mm
4. Höhenlage (Puna)	4100 m	13,3 °C	–1,7 °C	640 mm

Diese nur als Anhalt gedachte Einteilung soll genauere Bestimmungen natürlich nicht ersetzen.

Greift beispielsweise in Afrika die eigentliche ITC mit einem Zweig weit auf die Südhemisphäre über, so schwankt sie in Südamerika praktisch nur um etwa 8–10 Breitengrade,

ähnlich ihrer Ausdehnung auf dem östlichen Pazifik und dem Atlantik. Durch ein ausgedehntes sommerliches thermisches Tiefdruckgebiet über dem gesamten zentralen Teil Südamerikas wird die wetterbestimmende Aktivität weit nach Süden verschoben. Die eigentliche ITC verschwindet über dem Amazonasbecken und vereint sich mit dem sommerlichen Zentraltief mit dem Maximum der Ausdehnung über Paraguay und dem östlichen Bolivien (H. Lessmann et al. 1969, S. 115). Im Westen bilden die langgestreckten Ketten der Kordillere dann die Grenze. Die erhöhte Instabilität umfaßt damit das gesamte Innere des Kontinents und reicht bis über den Ostrand in die andinen Hochflächen der Kordillere. Die Wirksamkeit greift gelegentlich sogar bis zur Pazifikküste über. Sie kann dort große Schäden verursachen (sehr starke Niederschläge, 2 Tage um 30 mm, Ende Januar 1970 in Lima). Im Winterhalbjahr füllt sich das kontinentale Tiefdruckgebiet langsam auf. Die ITC verschwindet in diesem Teil Südamerikas, um sich im Norden neu zu bilden.

Die Niederschlagsverteilung

In der gesamten Region des Titicacabeckens zeigt die Niederschlagsverteilung einen ausgesprochen modalen Typ (Abb. 1). Die Jahresmengen im Einzugsgebiet schwanken zwischen etwas unter 500 mm als unterste Grenze und etwas über 1000 mm. Das Maximum mit 1135 mm findet sich über dem als Lago Grande benannten mittleren Teil des Sees mit den Inseln Taquili und Soto. Dies stimmt mit den Angaben von KESSLER und MONHEIM (1968) überein und läßt sich auch durch die nach Osten weniger ansteigende Kordillere erklären. Die von den beiden Autoren angegebenen Isohyetenwerte für die große Ebene im Nordwesten vom See und von Puno sind dagegen nach neueren Berechnungen zu hoch. In diesem Gebiet übersteigen die meist als Regen fallenden Niederschläge nur örtlich die Marke von 600 mm. Bei der doch relativ großen Ungenauigkeit der Beobachtungswerte und Kürze der zur Verfügung stehenden Reihen für ein Problemgebiet in der Niederschlagsverteilung wurde hier von einer Isohyetendarstellung abgesehen (Abb. 1). Auf Tabelle 1 sind die freundlicherweise vom SENAMHI zur Verfügung gestellten Monats- und Jahreswerte und der Beobachtungszeitraum angegeben.

Nach W. SCHWERDTFEGER (1976, S. 195) zeigen sowohl die Oberflächen- als auch Höhenwinde 2000 m über Grund von La Paz-El Alto (4103 m) im Sommerhalbjahr eine beständige Ostkomponente, die relativ feuchte Luft mitführt und damit die advektiven und konvektiven Niederschläge dieser Jahreszeit bewirkt. Im Winter bewegen sich dagegen trockene Luftmassen aus Süd bis West in das Einzugsgebiet des Sees.

Unter agrarmeteorologischen Gesichtspunkten, besonders für die Wasserbedarfsplanung, ist aber neben der regionalen noch die Kenntnis der zeitlichen Verteilung besonders wichtig. Die monatliche Verteilung der Regen ergibt sich aus Tabelle 2. Die Anteile des Winterhalbjahres (April – Oktober) übersteigen kaum die 20-Prozent-Marke der Jahressummen, wobei dieser Anteil bei den Inselstationen im See am höchsten ist. Diese Werte bestätigen damit die auch schon von KESSLER und MONHEIM (1968) geäußerte Meinung,

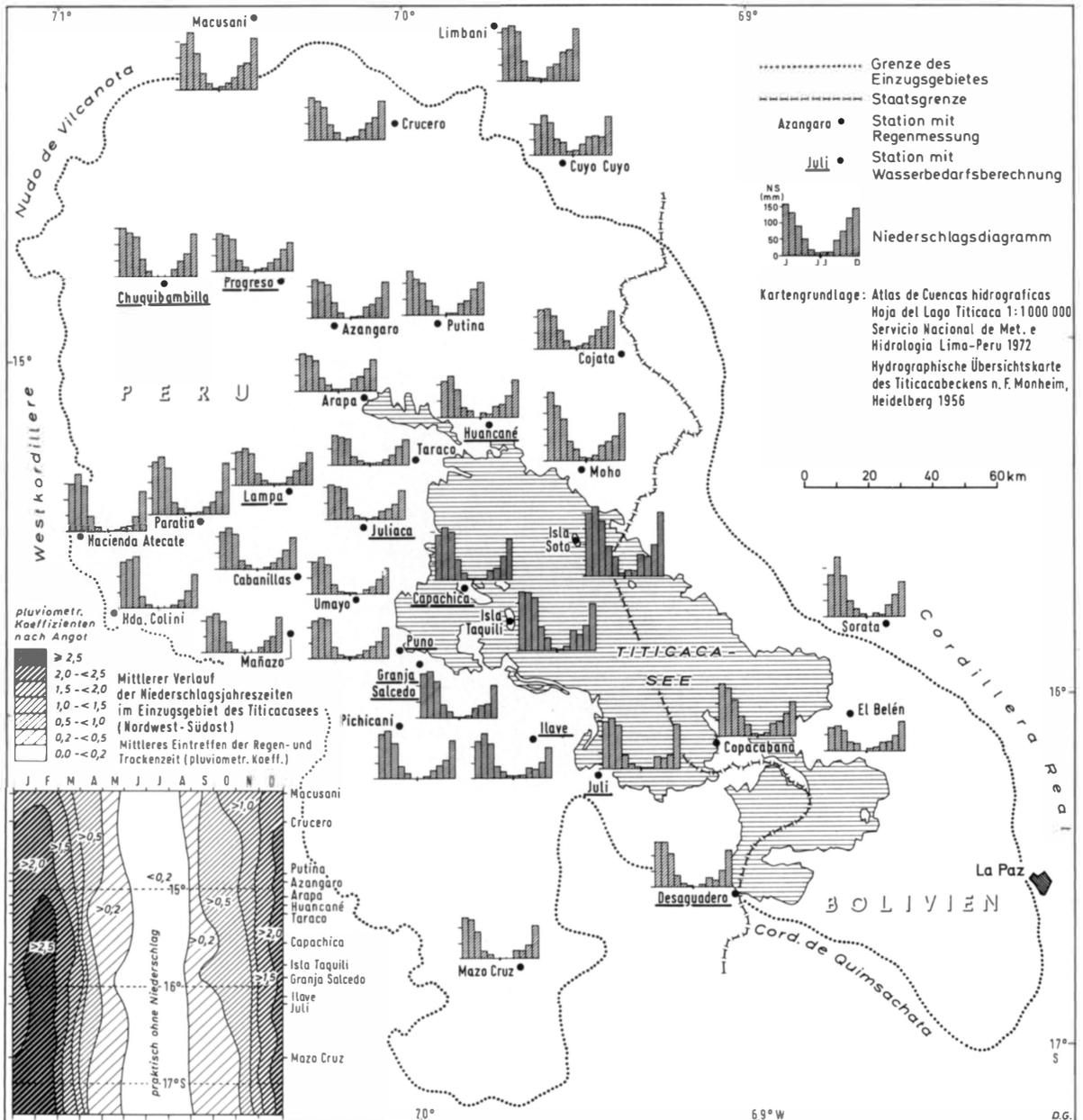


Abb. 1: Niederschlagsverhältnisse des Untersuchungsgebietes
Precipitation of the area under investigation

daß durch die starke Verdunstung über dem See bei höherer Luftfeuchte in den Trockenmonaten größere Niederschlagsmengen zu erwarten sind. Im Westen des hydrographischen Einzugsgebietes geht der winterliche Anteil dann weiter zurück.

Einen guten Überblick der zeitlichen Niederschlagsverteilung, unabhängig von der absoluten Menge, zeigt eine Dar-

stellung nach dem relativen pluviometrischen Koeffizienten (pl. K.) nach ANGOT (Schröder, 1958). Dieses Verfahren gibt auch die Möglichkeit einer graphischen Darstellung des Jahresganges. Damit lassen sich örtliche Verschiebungen in der zeitlichen Anordnung gut ausmachen (Abb. 1, Nebenkarte).

Auf Grund der Berechnungen des pl. K. ergeben sich acht Klassen der Einteilung:

Tabelle 1: Mittlere Monats- und Jahresniederschläge
Mean monthly and annual precipitation

Station	Höhe m	Jan.	Febr.	März	April	Mai	Juni	Juli	Aug.	Sept.	Okt.	Nov.	Dez.	Jahr	Beobachtungs- periode
Macusani*	4450	133	171	106	46	12	7	9	14	36	72	75	154	835	1964–1972
Limbani*	3360	168	173	155	62	15	13	14	44	53	93	96	164	1050	1964–1972
Crucero	4595	127	114	95	40	17	3	7	8	25	46	62	113	659	1958–1972
Cuyo Cuyo*	3414	98	126	104	50	41	14	16	34	52	51	52	118	756	1964–1972
Chuquibambilla	3916	145	130	121	50	12	2	3	2	23	43	65	129	725	1952–1972
Progreso	3950	111	109	95	31	10	0	5	6	25	36	62	85	575	1964–1972
Azangaro	3860	119	110	100	49	13	1	3	6	32	39	59	107	638	1957–1972
Putina	3875	140	112	99	46	24	2	6	5	39	45	79	102	699	1957–1972
Cojata	4300	120	123	106	59	26	5	8	12	39	58	66	111	733	1957–1972
Arapa	3880	118	107	92	38	17	1	5	7	34	40	65	92	616	1964–1972
Huancané	3860	108	126	84	25	17	1	7	6	30	34	62	112	612	1964–1972
Moho	3890	211	165	121	56	31	5	5	13	48	56	72	141	924	1951–1969
Lampa	3898	102	112	99	32	11	1	2	1	21	40	62	95	578	1964–1972
Hda. Atecate	4340	148	174	140	42	14	1	2	3	15	17	45	121	722	1963–1972
Parátia	4300	160	177	142	38	18	2	5	4	20	34	69	156	825	1964–1972
Taraco	3815	91	87	81	22	9	1	2	3	17	30	53	73	469	1964–1972
Juliaca	3823	102	98	93	32	8	1	3	2	22	27	47	86	521	1962–1972
Isla Soto	3850	195	217	164	88	55	3	12	11	54	52	90	194	1135	1958–1969
Hda. Colini	4280	139	145	158	32	9	0	1	1	8	19	47	100	659	1963–1972
Cabanillas	3850	109	125	105	26	10	1	2	2	15	27	52	92	566	1964–1972
Umayo	3850	93	114	89	26	7	2	2	1	9	18	41	78	460	1964–1972
Capachica	3868	141	165	150	62	21	3	3	5	26	29	68	122	795	1957–1972
Mañazo	3920	110	120	98	32	10	1	1	2	16	35	45	108	578	1957–1972
Puno	3875	120	125	122	33	10	2	3	6	21	31	47	90	609	1964–1972
Isla Taquili	3850	184	183	166	75	34	7	5	9	60	47	79	148	997	1957–1972
Granja Salcedo	3825	132	143	110	35	11	3	3	6	26	34	37	93	633	1932–1972
Sorata*	2647	127	181	127	45	21	5	2	8	6	33	68	106	730	1958–1970
Pichicani	4180	140	148	110	36	17	3	3	5	26	40	58	121	707	1957–1972
Ilave	3850	112	139	106	35	18	4	3	6	26	23	48	95	615	1964–1972
Copacabana	3841	159	146	107	58	31	6	4	10	41	43	70	106	781	1954–1968
El Belén*	3820	89	79	59	31	30	1	5	12	29	31	52	97	515	1960–1970
Juli	3852	147	155	133	42	13	6	6	6	34	31	42	136	751	1957–1972
Desaguadero	3868	134	135	105	36	14	5	3	6	29	19	50	113	649	1963–1972
Mazo Cruz	4090	125	117	81	21	12	0	1	3	18	15	33	93	519	1958–1972

Die fünf Stationen mit * liegen außerhalb des Einzugsgebiets

Klasse 1, pl. K. 0,0–0,2 Monat praktisch ohne Niederschlag

Klasse 2, pl. K. 0,2–0,5 Monat mit geringem Anteil

Klasse 3, pl. K. 0,5–1,0 Monat mit annähernd durchschn. Anteil

Klasse 4, pl. K. 1,0 (0,95–1,04) Monat mit durchschn. Anteil

Klasse 5, pl. K. 1,0–1,5 Monat mit wenig überdurchschn. Anteil

Klasse 6, pl. K. 1,5–2,0 Monat mit weit überdurchschn. Anteil

Klasse 7, pl. K. 2,0–2,5 Monat mit sehr hohem Anteil

Klasse 8, pl. K. >2,5 Monat mit äußerst hohem Anteil

Natürlich werden sich, bei der für meteorologische Vorgänge relativ begrenzten Ausdehnung des Gebiets, keine besonders bemerkenswerten Ergebnisse erwarten lassen. Ebenso wird diese Klassifizierung nichts über die wirkliche Regenmenge aussagen, wengleich in der Praxis immer eine Beziehung zwischen dem relativen und absolutem Niederschlag bestehen wird.

Aus der Nebenkarte (Abb. 1) geht hervor, daß bei den Stationen etwa ab Westufer des Sees die mittlere Monatsverteilung extremer wird. Das ausgesprochene Maximum des Anteils in der Regenzeit liegt zunächst im Februar und greift dann bei den südlichen Stationen auch noch auf den Januar über. Die Trockenmonate verändern sich dagegen längs des Schnittes um den 70. Längengrad kaum.

Als agrarmeteorologisch wichtiges Element sei noch die mittlere Zahl der Niederschlagstage $\geq 0,1$ mm für eine Reihe von Stationen angegeben. Leider liegen diese Angaben nicht für alle Stellen in entsprechend genauer Form vor (Tab. 3). Von der schon jenseits der Wasserscheide gelegenen Station Macusani mit 142,8 Tagen jährlich abgesehen, schwanken die Zahlen zwischen 134,4 (Cojata) und 82,7 (Mazo Cruz) Tagen. Auffällig ist, daß die Inselstationen mit den höchsten Jahresmengen in der Zahl ihrer Niederschlagstage nicht über das Mittelmaß hinauskommen. Im Durchschnitt fallen an etwa 30% aller Tage des Jahres Regen mit mindestens

Tabelle 2: Jahres- und Halbjahressummen des Niederschlags mit Anteilen in Prozent

Annual and semi-annual totals of precipitation with percentage proportions

Station	Jahr		Sommerhalbjahr						Winterhalbjahr								
	mm	Okt.	Nov.	Dez.	Jan.	Febr.	März	mm	%	April	Mai	Juni	Juli	Aug.	Sept.	mm	%
Crucero	659	46	62	113	127	114	97	559	84.8	40	17	3	7	8	25	100	15.2
Chuquibamb.	725	43	65	129	145	130	121	633	87.3	50	12	2	3	2	23	92	12.7
Azangaro	638	39	59	107	119	110	100	534	83.7	49	13	1	3	6	32	104	16.3
Putina	699	45	79	102	140	112	99	577	82.5	46	24	2	6	5	39	122	17.5
Cojata	733	58	66	111	120	123	106	584	79.7	59	26	5	8	12	39	149	20.3
Moho	924	56	72	141	211	165	121	766	82.9	56	31	5	5	13	48	158	17.1
Atecate	722	17	45	121	148	174	140	645	89.3	42	14	1	2	3	15	77	10.7
Juliaca	521	27	47	86	102	98	93	453	86.9	32	8	1	3	2	22	68	13.1
Isla Soto	1135	52	90	194	195	217	164	912	80.4	88	55	3	12	11	54	223	19.6
Colini	659	19	47	100	139	145	158	608	92.3	32	9	0	1	1	8	51	7.7
Capachica	795	29	68	122	141	165	150	675	84.9	62	21	3	3	5	26	120	15.1
Mañazo	578	35	45	108	110	120	98	516	89.3	32	10	1	1	2	16	62	10.7
Isla Taquili	997	47	79	148	184	183	166	807	80.9	75	34	7	5	9	60	190	19.1
Granj. Salcedo	633	34	37	93	132	143	110	549	86.7	35	11	3	3	6	26	84	13.3
Sorata*	730	33	68	106	127	181	127	642	87.9	45	21	5	2	8	7	88	11.9
Pichicani	707	40	58	121	140	148	110	617	87.3	36	17	3	3	5	26	90	12.7
Ilave	615	23	48	95	112	139	106	523	85.0	35	18	4	3	6	26	92	15.0
Copacabana	781	43	70	106	159	146	107	631	80.8	58	31	6	4	10	41	150	19.2
El Belén*	482	30	45	90	74	78	63	380	78.8	29	28	1	6	11	27	102	21.2
Juli	751	31	42	136	147	155	133	644	85.8	42	13	6	6	6	34	107	14.2
Desaguadero	649	19	50	113	134	135	105	556	85.7	36	14	5	3	6	29	93	14.3
Mazo Cruz	519	15	33	93	125	117	81	464	89.4	21	12	0	1	3	18	55	10.6

* Die Stationen Sorata und El Belén liegen außerhalb des Einzugsgebiets

Tabelle 3: Zahl der Niederschlagstage ≥ 0.1 mmNumber of days with precipitation of ≥ 0.1 mm

Station	Jan.	Febr.	März	April	Mai	Juni	Juli	Aug.	Sept.	Okt.	Nov.	Dez.	Jahr	Beobachungs- periode
Macusani	20.9	22.4	18.3	11.1	2.6	1.6	2.5	4.0	7.5	13.1	16.5	22.5	142.8	1965–1972
Crucero	17.7	16.8	15.3	8.1	6.3	0.9	1.3	2.9	5.9	8.7	10.7	17.5	112.1	1958–1972
Putina	20.9	18.2	15.1	9.6	5.4	0.8	0.9	2.3	8.5	10.1	13.9	18.1	123.8	1957–1972
Cojata	18.9	16.8	16.4	12.0	6.7	1.8	1.8	4.4	11.1	13.5	13.1	17.9	134.4	1957–1972
Azangaro	19.6	17.9	17.4	9.9	3.9	1.0	1.0	2.9	8.3	10.3	11.8	17.4	121.4	1957–1972
Juliaca	16.0	15.3	14.7	6.2	2.2	0.5	0.9	1.2	6.0	5.6	8.5	14.8	91.8	1962–1972
Parátia	21.3	21.1	21.0	9.2	3.0	1.0	1.9	2.1	7.4	10.4	11.6	17.7	127.7	1964–1972
Atecate	20.4	21.1	21.0	9.7	3.1	0.6	0.6	1.2	4.0	5.6	9.5	16.2	113.0	1963–1972
Cabanillas	16.3	18.1	16.0	4.4	2.7	0.4	1.0	1.3	5.0	5.6	8.9	16.7	96.4	1965–1972
Isla Soto	16.7	17.0	15.7	8.9	5.9	0.6	1.4	2.0	7.0	7.5	8.6	16.9	108.2	1958–1969
Isla Taquili	18.2	17.5	17.8	9.1	4.4	1.2	0.9	1.3	7.0	7.2	10.3	15.8	110.7	1957–1972
Colini	20.4	20.4	21.4	8.1	2.8	0.2	0.4	0.6	2.2	4.5	9.5	14.9	105.4	1963–1972
Mañazo	18.0	19.2	18.1	7.5	6.6	0.4	0.6	1.0	5.9	6.9	10.7	15.3	110.2	1957–1972
Pichicani	18.7	19.1	18.3	10.9	4.7	0.8	1.0	1.9	6.3	6.1	8.1	17.2	113.1	1957–1972
Mazo Cruz	17.9	16.6	13.4	3.4	1.3	0.0	0.2	0.8	3.7	3.0	6.9	15.5	82.7	1958–1972

0,1 mm. Kontinuierlich erhöht sich die Anzahl der Niederschlagstage mit dem Ausgang des Winters. Vom September an mit Maximum im Januar oder bei den westlich vom See gelegenen Plätzen im Februar gehen die Tage mit Regen dann an allen Stationen bis zum März langsam zurück. Im April sinkt die Zahl dann stärker ab und erreicht das Minimum meist im Juni, um erst wieder im gesamten Einzugsgebiet im September anzusteigen.

Das langjährige Jahresmittel und die Verteilungsfunktion der Einzelwerte

Das Fehlen längerer Beobachtungsreihen im Gebiet des Titicacasees erweist sich als großes Hindernis für eine statistische Bearbeitung. Viele Stationen werden kurzfristig aufgegeben, andere neu gegründet. Monate, auch Jahre fallen vielfach aus oder die Werte sind oft unglaubwürdig. Mir

stand nur eine Reihe mit längeren Beobachtungen zur Verfügung, die der Station Granja Salcedo bei Puno. Dort wurde 1932 mit Regenschneidungen begonnen. Um eine gewisse Einheitlichkeit mit den übrigen Meßwerten der Region zu wahren, wurde die Verteilungsfunktion der Einzelwerte von Granja Salcedo auf die Zeit von 1943 bis 1972 beschränkt. Die Schwankung innerhalb der einzelnen Jahre ist erheblich, jedoch nicht die typische eines Regenmangelgebiets. Einem Minimum von 356 mm 1956 steht 1963 ein Jahresmaximum von 979 mm gegenüber; dies bei einem Mittel für diese Periode von 663 mm.*) Der Medianwert ist dabei etwas niedriger. Es ergibt sich also eine negative Schiefe, die Zahl der trockenen Jahre überwiegt geringfügig (Abb. 2). Immerhin liegt die Wahrscheinlichkeit, daß mehr als 491 mm jährlich fallen, bei 80%. Dies besagt, daß die in dieser Gegend praktizierte Landwirtschaft – auf Basis der natürlichen Niederschläge während der Vegetationsperiode – durchaus möglich ist, wenn die zeitliche Verteilung nicht von der normalen abweicht.

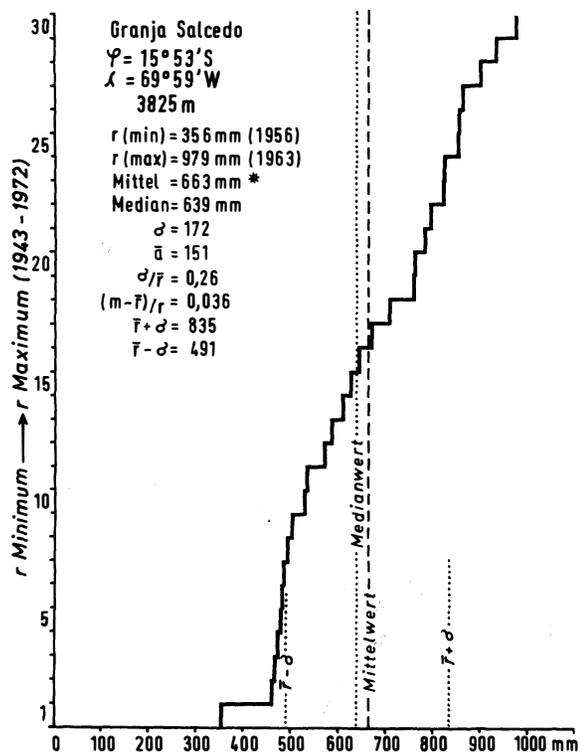


Abb. 2: Zusammensetzung des Jahresmittels*) der Niederschläge aus 30 Einzelwerten

Combination of the mean annual precipitation derived from 30 single values

*) Das in Tab. 1 genannte Mittel von 633 mm erklärt sich aus dem um 11 Jahre längeren Beobachtungszeitraum mit ausgesprochen niedrigen Werten von 1936, 37, 38, 40, 41 und 42. 1942 wird eine Jahresmenge von nur 286 mm angegeben!

Der Wasserbedarf

Die agrarmeteorologische Beurteilung einer Region wird neben der genauen Kenntnis der Klimaelemente noch die Bestimmung des Wasserbedarfs einschließen müssen. In der erwähnten umfangreichen Arbeit der FAO-UNESCO-WMO über den innerandinen Raum liegen für das Seegebiet die Berechnungen nach den Methoden von PENMAN und THORNTHWAITE der drei Stationen Chuquibambilla, Puno (Granja Salcedo) und Desaguadero vor. Die Autoren vergleichen dabei auch die nach beiden Methoden gewonnenen Werte und kommen zu dem Schluß, daß für diese geographische Breite und Meereshöhe die potentielle Evapotranspiration nach THORNTHWAITE mit Leichtigkeit eine Unterbewertung von über 50% im Vergleich zur Methode PENMAN ergeben kann (FAO, 1975, S. 127).

Die in die Evapotranspiration (ET) und damit in den tatsächlichen Wasserbedarf der Pflanzen eingehenden Klimaelemente sind: Temperatur, Strahlung (Sonnenschein-Bewölkung), Luftfeuchte, Luftdruck (für die tropischen Breiten weitgehend mit der Meereshöhe identisch) und die Luftbewegung. Während verschiedene Formeln zur Berechnung der ET, wie die von PENMAN, TURC und auch noch THORNTHWAITE wegen zum Teil schwer erhältlicher Meßwerte in der Praxis mit größeren Vereinfachungen arbeiten müssen, gehen die hier von mir nach H. OLIVIER (1961) vorgenommenen Berechnungen einen weniger komplizierten Weg. OLIVIER (1972) bezeichnet das Ergebnis als „cropland duty“, um darzulegen, daß es sich nicht um die Berechnung der ET zur klimatischen Abgrenzung oder um eine Ariditätsbestimmung handelt, sondern daß Pflanzenanbau und Boden als Einheit gelten müssen.

Das unter den gegebenen Voraussetzungen für den Landbau benötigte Wasser ist folgendermaßen bestimmt:

$$CU_{\varphi} = d W_{\varphi}$$

dabei ist CU (Pflanze/Boden Einheit, cropsoil-unit) die Wassermenge in mm/Tag, die an einem Ort der Breite φ für einen Tag des jeweiligen Monats erforderlich ist.

d ist die mittlere Psychrometerdifferenz in $^{\circ}C$

W_{φ} ist ein dimensionsloser Faktor (Strahlung/Breite).

Die Werte von d müssen entweder den Beobachtungen entnommen oder aus den Tagesmitteln von Temperatur und Luftfeuchte zurückgerechnet werden. Die Angaben von W_{φ} sind bei OLIVIER (1972) tabelliert und hier übernommen worden (Tabelle 4).

Der nach dieser Formel berechnete Wasserbedarf von 9 Stationen des Einzugsgebiets zeigt, daß vom Herbstanfang (April) bis zum späten Frühjahr (November) die Wasserbilanz negativ ist. Während im April und Mai die Feldkulturen in der Vollreife und Erntezeit kein Wasser mehr benötigen, liegt die kritische Zeit in den Monaten Oktober/November. Zur Aussaat wird bei schon steigenden Temperaturen und weitgehender Frostfreiheit eine gute Durchfeuchtung des Bodens vorausgesetzt. Hier kann eine gewisse Verlegung des Zeitraums helfen; denn eine Bewässerung, wie sie im heute zerstörten System der Inkaterrassen vorhanden war, ist kaum wieder einzurichten und andere Formen wie Beregnung sind

Tabelle 4: Konstanten $W\varphi$ zur Berechnung des monatlichen Wasserbedarfs (s. Br.) n. OLIVIER
 $W\varphi$ constants for calculation of monthly water requirements after OLIVIER

südl. Breite Monat	0°	5°	10°	15°	20°	25°	30°	35°	40°	45°	50°
Januar	0.62	.67	.70	.74	.76	.79	.82	.83	.85	.86	.84
Februar	.69	.71	.72	.72	.73	.72	.73	.70	.71	.71	.66
März	.73	.73	.74	.73	.72	.70	.68	.67	.66	.63	.57
April	.72	.69	.66	.64	.62	.60	.54	.49	.46	.41	.35
Mai	.66	.61	.58	.54	.50	.45	.39	.34	.29	.24	.17
Juni	.61	.57	.53	.47	.43	.37	.32	.27	.21	.17	.10
Juli	.64	.61	.56	.52	.47	.42	.38	.32	.26	.21	.15
August	.69	.66	.64	.60	.56	.50	.46	.42	.37	.32	.25
September	.74	.73	.71	.70	.67	.64	.62	.60	.56	.52	.46
Oktober	.72	.74	.74	.75	.75	.75	.75	.73	.73	.73	.68
November	.64	.69	.73	.74	.77	.79	.80	.83	.83	.84	.82
Dezember	.61	.65	.70	.74	.76	.79	.83	.83	.86	.89	.85

wirtschaftlich nicht vertretbar. Das Problem liegt darin, den Zeitpunkt der Aussaat so zu legen, daß die ersten Frühjahrsregenfälle die Keimung anregen und das erste Überleben der aufgegangenen Saat bis zum Einsetzen der sommerlichen Regen im Dezember ermöglichen. Eine Verschiebung der Vegetationszeit zum Sommer ist nur sinnvoll, wenn der Beginn der Reife nicht mit dem Auftreten der Nachtfröste in den ersten klaren Nächten des Winterhalbjahres zusammen fällt. Die Niederschlagsmenge, die in der eigentlichen Vegetationszeit etwa 80% der Jahressumme ausmacht, ist für alle Kulturen ausreichend (Tabelle 5).

Da besonders der Faktor Boden (Art, Struktur, Rückhaltevermögen) nicht immer in allen Einzelheiten bekannt ist, wird die Berechnung der Wasserbedarfsbilanz naturgemäß eine gewisse Toleranz erfordern.

Beim Durcharbeiten der Angaben aus verschiedenen Quellen (MONHEIM, KESSLER-MONHEIM, FAO-Studie, SENAMHI) wird man bei allen Elementen unterschiedliche, manchmal bis zu 10% abweichende Werte antreffen. Dies liegt nach meiner Kenntnis sowohl an unterschiedlichen Beobachtungszeiträumen als auch an den Aufzeichnungen verschiedener Organisationen, z. B. hydrologische Dienste, Eisenbahnen, die im Einzugsgebiet für ihre Zwecke Beobachtungsnetze eingerichtet haben, zum Teil mit unterschiedlichen Meßskalen- und systemen.

Die Temperatur

Ähnlich wie beim Niederschlag müssen auch bei den Temperaturangaben verschiedene Veröffentlichungen unterschiedlicher Werte vorgelegen haben. Vielleicht läßt sich dies durch ungleiche Aufstellung bezogen auf die Bodenhöhe und Hindernisse, in der Mittelbildung und noch in der Thermometergraduierung (halbe, fünftel und zehntel Grad) erklären, die dann zu groben Ablesefehlern führt. Immerhin ist es – bei aller notwendigen Kritik – erstaunlich, daß sich aus den monatlichen Mittelwerten Unterschiede zwischen seenahen und seefernen Orten zeigen.

Für eine agrarmeteorologische Beurteilung der Region ist es notwendig, die Lufttemperatur und besonders die Minimaltemperatur am Boden zu kennen. Gerade diese Werte liegen aber nur ganz vereinzelt und erst aus den letzten Jahren vor. Die Ablesefehler dürften dabei sehr hoch sein. Grundsätzlich sind die Messungen in 5 cm über dem Boden vorgesehen. Durch Taufall, überschattendes Gras und Unkraut werden die Werte aber oft verfälscht. Dazu kommt noch ein durch häufiges Überdestillieren der Thermometerflüssigkeit verursachtes Versagen.

Es wird die grobe Annahme zulässig sein, daß die Temperatur der unteren Bodenschicht – besonders in den klaren Winternächten – bis zu 5° C von der Hüttentemperatur abweicht. Daher werden – besonders in einiger Entfernung von den verschiedenen größeren Wasserflächen des Seegebiets, die meisten Kulturpflanzen bei ihrer niedrigen Wuchshöhe öfteren und stärkeren Nachtfrösten ausgesetzt sein als die Temperaturwerte angeben.

Die extremen Temperaturverhältnisse erlauben nur den Anbau einiger, weniger empfindlichen Feldfrüchte. Dabei sind die Knollen- und Wurzelgewächse bevorzugt. Der besonders im Winterhalbjahr, hauptsächlich in Bodennähe, während einiger Nachtstunden fast täglich vorkommende Temperaturrückgang unter den Gefrierpunkt (tageszeitl. Frostwechselklima nach C. TROLL (1959)) ermöglicht durch eine besondere Art der Zubereitung die Vorratshaltung von Wurzelknollen und damit deren Gleichstellung als weniger verderbliches Nahrungsmittel zu den Körnerfrüchten. Diese konservierende Verarbeitung durch Ausnutzen der Nachtfröste (Chunoherstellung) ist von C. TROLL ausführlich beschrieben worden (1943).

Die Strahlung

Neben Niederschlag und Temperatur in dieser Gegend liegen mir vom agrarmeteorologisch gleich wichtigen Element der Strahlung für das gesamte Gebiet nur die Werte von Puno vor.

Tabelle 5: Berechnung des Wasseranspruchs im Titicacabecken
Calculation of water requirements in the Titicaca Basin

		Chuquibambilla						Arapa						Huancané							
		14° 47' s 70° 43' w						15° 08' s 70° 07' w						15° 12' s 69° 45' w							
Monat	T °C	d °C	w φ s	cu φ d	cu φ m	RR (mm)	RR-cu φ m	T °C	d °C	w φ s	cu φ d	cu φ m	RR (mm)	RR-cu φ m	T °C	d °C	w φ s	cu φ d	cu φ m	RR (mm)	RR-cu φ m
Jan.	9.0	2.7	0.74	2.9	62	145	+83	10.1	2.7	0.74	1.8	56	118	+62	9.1	2.3	0.74	1.7	53	108	+55
Febr.	8.9	2.4	.72	1.7	48	130	+82	10.1	2.5	.72	1.8	50	107	+57	9.1	2.2	.72	1.6	44	126	+82
März	8.7	2.5	.73	1.8	56	121	+65	9.9	2.5	.73	1.8	57	92	+35	8.6	2.3	.73	1.7	52	84	+32
April	7.3	2.9	.64	1.9	56	50	-6	9.4	3.1	.64	2.0	60	38	-22	8.1	2.4	.64	1.5	46	25	-21
Mai	5.2	2.8	.54	1.5	47	12	-35	8.1	3.6	.54	1.9	60	17	-43	6.6	2.8	.54	1.5	47	17	-30
Juni	3.4	3.0	.47	1.4	42	2	-40	6.9	3.8	.47	1.8	54	1	-53	5.3	2.7	.47	1.3	38	1	-37
Juli	3.2	2.8	.52	1.5	45	3	-42	6.8	3.5	.52	1.8	56	5	-51	4.4	2.7	.52	1.4	44	7	-37
Aug.	4.9	3.4	.60	2.9	91	2	-89	8.0	3.7	.60	2.2	69	7	-62	5.6	3.6	.60	2.2	67	6	-61
Sept.	6.6	3.8	.70	2.7	80	23	-57	9.1	3.6	.70	2.5	76	34	-42	7.1	3.0	.70	2.1	63	30	-33
Okt.	8.1	3.7	.75	2.8	86	43	-43	9.5	3.7	.75	2.8	86	40	-46	8.5	3.3	.75	2.5	77	34	-43
Nov.	8.5	3.9	.74	2.9	87	65	-22	9.6	3.8	.74	2.8	84	65	-19	9.1	3.4	.74	2.5	75	62	-13
Dez.	9.1	3.1	.74	2.3	71	129	+58	10.4	3.8	.74	2.4	76	92	+16	9.2	2.6	.74	1.9	60	112	+52
Jahr	6.9				771	725	-46	9.0	3.4				616	-168	7.6	2.7			666	612	-54

		Lampa						Juliaca						Granja Salcedo							
		15° 21' s 70° 21' w						15° 20' s 70° 09' w						15° 53' s 69° 59' w							
Monat	T °C	d °C	w φ s	cu φ d	cu φ m	RR (mm)	RR-cu φ m	T °C	d °C	w φ s	cu φ d	cu φ m	RR (mm)	RR-cu φ m	T °C	d °C	w φ s	cu φ d	cu φ m	RR (mm)	RR-cu φ m
Jan.	9.5	3.0	0.74	2.2	69	102	+33	9.8	3.2	0.74	2.4	74	102	+28	9.5	2.5	0.74	1.8	57	132	+75
Febr.	9.6	2.5	.72	1.8	50	112	+62	9.8	3.0	.72	2.2	60	98	+38	9.2	2.2	.72	1.6	44	143	+99
März	9.3	2.3	.73	1.7	52	99	+47	9.2	3.0	.73	2.2	68	93	+25	9.1	2.4	.73	1.7	53	110	+57
April	8.2	3.1	.64	2.0	60	32	-28	8.0	3.3	.64	2.1	63	32	-31	8.1	3.0	.64	1.9	58	35	-23
Mai	6.4	3.3	.54	1.8	55	11	-44	5.9	3.9	.54	2.1	65	8	-57	7.2	3.5	.54	1.9	59	11	-48
Juni	4.5	3.3	.47	1.6	47	1	-46	3.7	3.8	.47	1.8	54	1	-53	5.9	3.7	.47	1.7	52	3	-49
Juli	4.2	3.4	.52	1.8	55	2	-53	3.6	4.0	.52	2.1	64	3	-61	5.5	4.1	.52	2.1	66	3	-63
Aug.	5.5	3.6	.60	2.2	67	1	-66	5.1	4.3	.60	2.6	80	2	-78	6.3	3.7	.60	2.2	69	6	-63
Sept.	7.4	3.9	.70	2.7	82	21	-61	7.5	4.4	.70	3.1	92	22	-70	7.6	3.6	.70	2.5	76	26	-50
Okt.	8.9	4.0	.75	3.0	93	40	-53	8.9	5.0	.75	3.8	116	27	-89	9.2	3.9	.75	2.9	91	34	-57
Nov.	9.6	3.5	.74	2.6	78	62	-16	9.7	4.9	.74	3.6	108	47	-61	9.5	3.7	.74	2.7	82	37	-45
Dez.	9.7	3.6	.74	2.7	83	95	+12	9.9	3.8	.74	2.8	87	86	-1	9.3	3.1	.74	2.3	71	93	+22
Jahr	7.7	3.3			791	578	-213	7.8	4.0			931	521	-410	8.0	3.4			778	633	-145

		Ilave						Juli						Desaguadero							
		16° 16' s 69° 39' w						16° 12' s 69° 26' w						16° 34' s 69° 03' w							
Monat	T °C	d °C	w φ s	cu φ d	cu φ m	RR (mm)	RR-cu φ m	T °C	d °C	w φ s	cu φ d	cu φ m	RR (mm)	RR-cu φ m	T °C	d °C	w φ s	cu φ d	cu φ m	RR (mm)	RR-cu φ m
Jan.	9.3	1.8	0.74	1.3	41	112	+71	9.5	2.5	0.74	1.9	57	147	+90	10.3	3.9	0.74	2.9	89	134	+45
Febr.	9.0	1.8	.72	1.3	36	139	+103	9.3	2.4	.72	1.7	48	155	+107	10.5	3.7	.72	2.7	75	135	+60
März	8.9	2.5	.73	1.8	57	106	+49	9.2	2.4	.73	1.8	54	133	+79	10.2	3.8	.73	2.8	86	105	+19
April	8.1	2.5	.64	1.6	48	35	-13	9.0	3.1	.64	1.9	60	42	-18	8.8	4.0	.64	2.6	77	36	-41
Mai	6.3	2.8	.54	1.5	47	18	-29	7.4	3.7	.54	2.0	62	13	-49	6.6	3.8	.54	2.0	64	14	-50
Juni	4.6	3.1	.47	1.5	44	4	-40	6.5	4.1	.47	1.9	58	6	-52	4.2	3.8	.47	2.0	60	5	-55
Juli	4.2	2.9	.52	1.5	47	3	-44	6.1	4.0	.52	2.1	64	6	-58	3.6	3.6	.52	1.9	58	3	-55
Aug.	5.3	3.1	.60	1.9	58	6	-52	6.7	3.8	.60	2.3	71	6	-65	4.9	4.0	.60	2.4	74	6	-68
Sept.	7.3	3.4	.70	2.4	71	26	-45	8.1	3.8	.70	2.7	80	34	-46	7.4	4.3	.70	3.0	90	29	-61
Okt.	8.3	3.8	.75	2.9	88	23	-65	9.3	4.3	.75	3.2	99	31	-68	8.7	4.7	.75	3.5	109	19	-90
Nov.	8.8	3.7	.74	2.7	82	48	-34	9.3	4.2	.74	3.1	93	42	-51	9.6	4.9	.74	3.6	109	50	-59
Dez.	9.0	2.9	.74	2.1	67	95	+28	9.4	2.7	.74	2.0	62	136	+74	10.0	4.4	.74	3.3	100	113	+13
Jahr	7.4	2.9			686	615	-71	8.3	3.5			808	751	-57	7.9	4.1			991	649	-342

T = Lufttemp.; d = Psychrometerd.; w φ s Konstante n. OLIVIER; cu φ d = Wasserbedarf täglich; cu φ m monatlich; RR = Niederschlag; RR-cu φ = Wasserüberschuß/Defizit in mm

Im FAO-UNESCO-WMO Bericht (1975) wird ein Verfahren nach ÅNGSTRÖM beschrieben, durch das sich, von den Sonnenscheinregistrierungen ausgehend, das monatliche Mittel der Globalstrahlung errechnen läßt. Nach diesem Verfahren sind für das Titicacagebiet für die Stationen Chuquibambilla, Puno-Granja Salcedo, Desaguadero und El Belén die Strahlungswerte angegeben (S. 31, 48). Als Ergänzungsstationen seien noch Arequipa und La Paz angeführt (Tabelle 6).

Nach diesen Angaben ist

$$\frac{RG}{RGO} = a + b \frac{n}{N}$$

wobei RG die Globalstrahlung

RGO die Globalstrahlung an einem wolkenlosen Tag

n die Zahl der gemessenen Sonnenscheinstunden

N die Zahl der astronomisch mögl. Sonnenscheinstd.

a und b Regressionskoeffizienten sind.

Ersetzt man RGO durch RA, d. h. die Strahlungsmenge oberhalb der Atmosphäre, dann ist

$$RG = a + b \frac{n}{N} RA.$$

RA entspricht dabei der Strahlungsmenge für 1 mm verdunstbarem Wasser (1 mm = 59 cal).

Die Werte von RA und N sind tabelliert. Nach M. FRÈRE (1979) ist für diese Breite der Wert von a = 0.25 der von b = 0.45. Beide Koeffizienten sind dimensionslos.

Die Basiswerte für die Berechnung der Globalstrahlung sind aber manchmal recht unterschiedlich. So zeigt auch ein Vergleich der Strahlung von Arequipa nach FAO (1975) mit den von A. M. JOHNSON, W. SCHWERDTFEGER (1976, S. 18) angeführten Zahlen eine erhebliche Abweichung.

Die Werte von JOHNSON sind zwischen 26% (Januar) und 15% (Juli) höher. Als für das Seegebiet verbindlich möchte ich die im großen Bericht der FAO-UNESCO-WMO erwähnten Strahlungsmittel ansehen. Die von mir nach den Sonnenscheinstunden (1969–1972) der Station Puno-Stadt errechneten Werte stimmen, bis auf geringe Abweichungen, mit denen des FAO Berichtes (1975) von Granja Salcedo überein (Tabelle 6).

Daß die Strahlung für die Pflanzen des Altiplano von erhöhter Bedeutung ist, zeigt sich in einer großen Empfindlichkeit der ausgesprochen autochthonen Kurztagspflanzen

gegen vermehrten Tageslicht- und damit Strahlungsgewinn. Daher gibt es bisher keine Ausdehnung der Anbauzonen der wichtigen Knollengewächse (außer anderer Kartoffelrassen) in höheren Breiten mit ähnlichen Temperatur- und Niederschlagsverhältnissen.

Die Kulturpflanzen

Im Einzugsbereich des Titicacasees läßt sich praktisch für jede Form der Landwirtschaft die Höhengrenze festlegen. Die niedrigen Tagesmitteltemperaturen, bei tiefen Werten in den Nacht- und Morgenstunden, verhindern, daß oberhalb einer bestimmten Höhenstufe die zum Wachstum und zur Reife benötigten Temperatursummen erreicht werden.

Die seit Jahrhunderten für die einheimische und sich jetzt langsam entwickelnde moderne Landwirtschaft wichtige Frage heißt: Welche Produkte – gleich ob es sich dabei um Körnerfrüchte, Knollen- und Wurzelgewächse, Hülsenfrüchte, Blattgemüsearten und auch Futterpflanzen handelt – können in dieser Höhenlage ohne größere Verluste nicht nur gepflanzt, sondern auch geerntet, aufbereitet und gelagert werden?

Die unterste Grenze ist durch das Seespiegelniveau gegeben, die obere variiert je nach Entfernung zum See und nach Art der Pflanzen. Dabei übersteigt die Breite dieses landwirtschaftlich nutzbaren Höhengürtels nirgendwo 700 m. Berichte über Anbau in noch größeren Höhen beziehen sich auf nur ganz vereinzelte, lokalklimatisch bevorzugte Lagen. Andererseits geht aus solchen Angaben (F. MONHEIM 1956, S. 42) nicht hervor, ob es sich nur um den Anbau von Viehfutter handelt.

Der niedrige Siedepunkt des Wassers bei etwa 86 °C erschwert zum Teil die Zubereitung, besonders beim Kochen von Hülsenfrüchten.

Für die im hydrologischen Einzugsgebiet des Sees angebauten wirtschaftlich wichtigen Nutzpflanzen sollen – soweit bisher untersucht – agrarmeteorologische Tatsachen angegeben werden. Dabei gibt es einige besondere Merkmale, die durch die extremen Klimabedingungen zum Teil nur für diese begrenzte Region charakteristisch sind. Es geht einmal um die Kälteresistenz, die niedrige während der Vegetationszeit überhaupt zur Verfügung stehende Wärmemenge (Temperatursumme) und eine für diese Breite intensive Son-

Tabelle 6: Mittlere monatliche und jährliche Werte der Globalstrahlung (cal/cm²/Tag)
Mean monthly and annual values of global radiation (cal/cm²/day)

Station	Jan.	Febr.	März	April	Mai	Juni	Juli	Aug.	Sept.	Okt.	Nov.	Dez.	Jahr
Chuquibambilla	463	452	420	428	412	407	422	460	464	535	535	500	458
Puno (Gr. Salcedo)	492	452	456	469	390	394	390	447	485	522	549	501	462
Desaguadero	520	504	502	485	419	413	422	461	492	534	538	519	484
El Belén	595	572	520	509	450	421	430	475	531	582	604	566	521
La Paz	454	440	418	433	394	387	394	432	437	485	486	438	433
Arequipa (FAO)	533	491	478	499	443	425	441	484	539	596	616	570	510
Arequipa (Johns.)	720	637	634	608	529	505	520	583	650	703	726	685	625
Puno-Stadt	410	465	439	453	429	376	430	459	497	540	530	477	459

neneinstrahlung. Dazu kommt noch ein zwischen Sommer und Winter nur um höchstens 2 Stunden schwankender Photoperiodismus, während das Niederschlagsangebot in der Vegetationsperiode für die annualen Pflanzen durchaus dem anderer Gebiete entspricht.

Als wichtigste für Nahrungszwecke angebaute autochthone Knollen- und Wurzelgewächse gelten neben der Kartoffel noch Oca aus der Familie der Sauerkleegewächse, *Ullucus* und die knollige Kapuzinerkresse auch unter dem Namen Mashuar (*Tropaeolum tuberosum*) bekannt. Die wirtschaftlich bedeutendste Körnerfrucht ist die Quinoa und in ihrer kleineren Form Cañihua, eine Melde aus der Familie der Gänsefußgewächse. Weiterhin bedeutend ist die eingeführte Gerste. Der in einer besonders klimaresistenten Art angebaute Mais und der eingeführte Weizen spielen nur unmittelbar am wärmebegünstigten Seeufer eine bescheidene Rolle.

Von Bedeutung sind noch in dieser Höhe die große Ackerbohne (Haba) und Tarwi, eine proteinreiche Lupinenart.

Fragen der Rentabilität spielen im ganzen Gebiet eine weniger wichtige Rolle, da es ja zunächst auf die Ernährung der Bevölkerung ankam. Dieser Gesichtspunkt hat sich auch heute bei den bäuerlichen Menschen wenig geändert.

Kartoffel (*Solanum tuberosum* L.)

Das Domestizieren der wilden Kartoffel ist eine der größten Kulturleistungen der Andenvölker, die im Bereich des Titicacasees noch gesteigert wurde, als es möglich war, den extremen Klimabedingungen dieser Gegend gerecht werdende Arten herauszuzüchten und dies lange vor der modernen Kartoffelforschung! Die Kartoffel ist bei der einheimischen Bevölkerung des Altiplano das wichtigste stärkehaltige Nahrungsmittel.

Den häufigen Nachtfrösten schon während der eigentlichen Vegetationszeit, den großen täglichen Temperaturschwankungen, der starken Einstrahlung und der niedrigen Luftfeuchte, besonders in der Trockenzeit gegen Ende der Vegetationsperiode, widerstehen nur ausgewählte Arten. Die Spezie *Solanum andigenum* Juz. et Buk. entspricht den dort herrschenden Umweltbedingungen (FAO 1975, S. 290). Dazu kommt eine große Selbstverträglichkeit.

Während im Seegebiet die gewöhnlichen Kartoffelvarietäten ihre Höhengrenzen zwischen 3900 und 4100 m finden, können bittere Unterarten, die aber nur für die Chuñobereitung zu verwenden sind, noch in größeren Höhen angebaut werden. Dabei entzieht man ähnlich anderen Früchten die Bitterstoffe durch das bei der Konservierung notwendige Auswaschen.

Die Zeit vom Auslegen bis zur Ernte beträgt bei den dort heimischen Kartoffelsorten in 3900 m etwa 220 Tage. Während dieser Vegetationsperiode liegt die mittlere Hüttemperatur bei etwa 9,5 °C. Für je 100 m Höherrücken verlängert sich – gleiche Sorte vorausgesetzt – die Vegetationszeit um etwa 10 Tage, dies bei Niederschlägen von ungefähr 500 mm zwischen Oktober und April.

Die Aussaat erfolgt ab Mitte Oktober und kann sich, je nach der Niederschlagspende, bis Mitte November hinzie-

hen. Die Ernte fällt dann in den April/Mai, wenn die ersten stärkeren Nachtfröste einsetzen. Häufige Hagelunwetter können das Ergebnis oft in Frage stellen. Der Ertrag selbst ist mit ungefähr 6000 kg/ha außerordentlich niedrig.

Oca (*Oxalis tuberosa*)

Die Sauerkleart Oca ist neben der Kartoffel, auch wegen des angenehmen Geschmacks, die in den Anden am häufigsten angebaute Pflanze mit stärkehaltigen Wurzeln. Oca ist eine uralte Kulturpflanze im Titicacabecken. Sie wird nur vegetativ fortgepflanzt und meist in Gemeinschaft mit Kartoffeln angebaut. Die Höhengrenze schwankt, je nach lokalklimatischen Besonderheiten, zwischen 4000 und 4100 m. Die Vegetationszeit dauert 6–7 Monate. Die Hüttemperatur während dieser Monate soll im Mittel 9,5 °C betragen. Die Niederschläge sind überall ausreichend. Die Oca ist etwas frostresistenter als die Kartoffel. Die essbaren Teile der Pflanze sind die verdickten Rhizome, die in der Größe zwischen 3–20 cm Länge variieren und in der Form runden oder langgestreckten schuppenbedeckten Zapfen ähneln.

Geschmacklich bieten die Ocawurzeln eine große Vielfalt. Neben bitteren Unterarten, gleichfalls frostresistenter, gibt es auch solche, die ohne weitere Vorbereitung essbar sind. Die Frostkonservierung (Chuño) ist auch für die Oca, insbesondere für die bitteren Arten, weit verbreitet. Der Hektarertrag ist, ähnlich dem der Kartoffel, mit etwa 3500 kg/ha nicht hoch.

Ullucus tuberosis

Neben Kartoffel und Oca ist Ulluco eine weitere häufige kultivierte Knollenpflanze des andinen Hochlands mit großer Verbreitung im Einzugsgebiet des Sees. Als niedrigwachsend, nur etwa 20–30 cm hoch, ist Ulluco eine kompakte am Boden verzweigt kriechende Pflanze mit großer Frostresistenz. Sie wird bis maximal 4300 m Höhe angebaut. Das unterste tolerierte Temperaturmittel während der Vegetationszeit liegt bei 8 °C. Die Niederschläge sollen in dieser Periode mindestens 400 mm betragen. Die Pflanzzeit liegt im November, nach den ersten ergiebigen Frühjahrsregen: die Ernte kann sich dann von Mai bis Juni hinziehen. Das Dickenwachstum der Wurzelknollen kann noch etwas zunehmen, auch nachdem die Blätter durch Nachtfröste geschädigt wurden. Die Konservierung erfolgt ebenfalls durch das Gefrierenlassen, Auftauen, Waschen, Wiedergefrieren, bis eine völlig trockene reine Stärke entstanden ist. Sie wird Mehl oder Suppen beigemischt. Der Ertrag mit etwa 4000 kg/ha ähnelt dem der anderen angebaute stärkehaltigen Wurzelknollen.

Tropaeolum tuberosum

Eine weitere knollenbildene Pflanze im Gebiet des Titicacasees ist noch eine Kapuzinerkressenart (*Tropaeolum*), auch bekannt als Mashuar (C. TROLL 1943). Sie hat indessen nicht die große Verbreitung und Bedeutung in der Ernährung erlangt wie die anderen stärkebildenden Knollen- und Wur-

zelpflanzen. *Tropaeolum* ist eine krautige Pflanze, die auf die gleichen agrarmeteorologischen Bedingungen wie Oca anspricht, bezogen auf Anbauhöhengrenze, Temperatur, Niederschlag und Einstrahlung. Über die Erträge, die sehr gering sind, liegen kaum Angaben vor.

Tarwi (*Lupinus mutabilis*)

Der Anbau von Tarwi ist bis heute von geringer Bedeutung. Der Tarwi, eine in der Andenregion domestizierte Lupine, hat sich den extremen Bedingungen des Höhenklimas gut angepaßt (FAO 1975). Er wird mehr auf kleinen Flächen zum Teil als Art Schutzhecke um Kartoffel- und andere Felder angepflanzt. Das Vieh meidet die bis etwa 1,5 m hohe wenig verzweigte Pflanze wegen ihrer Bitterstoffe. Die Vegetationszeit der im Titicacagebiet wachsenden Varietäten ist mit ungefähr 300 Tagen recht ausgedehnt. Tarwi wird bereits im August gesät und dann im April/Mai geerntet. In der ersten Entwicklungsphase – bis zur Blütenbildung – ist die Pflanze weniger frostempfindlich als während der Blüte und wenn die Schoten noch grün sind. Die geernteten Samen von der Größe mittlerer Bohnen werden in Säcken etwa eine Woche in fließendes Wasser gelegt um die enthaltenen Gift- und Bitterstoffe zu entfernen. Die Samen werden gekocht als Brei oder geröstet, ähnlich wie Puffmais, gegessen. Der bis 40% hohe Proteingehalt macht Tarwi zu einem wertvollen Nahrungsmittel.

Haba (*Vicia faba*)

Gleichfalls wegen des hohen Proteingehalts sind die Habas (Ackerbohnen, Pferdebohnen) sehr geschätzt. Sie wachsen im Seegebiet bis zu 4000 m Höhe. Ursprünglich aus Vorderasien stammend, hat sich diese Art, ähnlich der Gerste, gut den extremen Bedingungen des Höhenklimas angepaßt. Die Habas sind außerordentlich klimaresistent. Temperaturen bis -4°C schaden ihnen kaum. Die Aussaat erfolgt gewöhnlich zwischen Oktober bis Dezember, je nach den vorgegangenen Regenfällen. Geerntet wird nach einer Vegetationszeit von etwa 190 Tagen von März über April bis Mai. Die meist in der zweiten Aprilhälfte stärker einsetzenden Nachtfröste schaden den Schoten nicht, die schon in der Reife stehen. Werden die Schoten dagegen noch völlig unreif vom Frost getroffen, dann können sie nur noch als Viehfutter Verwendung finden. Die Habas werden vielfach geröstet und als Beilage zu den Mahlzeiten an den Straßenecken verkauft. Die Erträge sind erwartungsgemäß recht gering.

Quinoa (*Chenopodium Quinoa Willd.*)

Die besonders im südlichen Teil der Anden angetroffene autochthone Getreidepflanze Quinoa, ein Kraut von etwa 1 m Höhe und ihre kleinere Form Cañihua (*Chenopodium pallidicaule*) von ungefähr 20 bis 30 cm, ist nicht nur die verbreitetste Körnerfrucht des Altiplano, sondern auch für die einheimische Bevölkerung, außer den Knollen und Wurzeln, eines der wichtigsten Nahrungsmittel. Der Proteingehalt der Körner und Blätter ist höher als der anderer Getrei-

dearten. Die Blätter werden zum Teil als Gemüse verzehrt und auch, trotz des im Rohzustand bitteren Geschmacks als Viehfutter verwendet. Die Asche der verbrannten Halme und ausgedroschenen Rispen wird mit Wasser vermengt und als unentbehrliche Beigabe zum Kokakauen gebraucht. Die bitteren, an Saponin reichen, zarten Samenschalen werden durch Auswaschen oder auch nur mechanisch durch Reiben entfernt.

In beiden Formen gibt es verschiedene Rassen, die auch unterschiedliche Saponingehalte aufweisen. Mit Weizenmehl gemischt läßt sich gemahlene Quinoa auch zu Brot verarbeiten. Nach W. FRANKE (1976) wird auch Chicha aus Quinoa hergestellt.

Die beiden Quinoaspezies sind, im Vergleich mit anderen im Altiplano angepflanzten Getreidesorten und anderen zur Ernährung dienenden Pflanzen, die klimawiderstandsfähigsten. Sie kommen in Meereshöhen von über 4000 m gut fort, die Cañihua bis 4500 m oder in begünstigten Lagen noch darüber. Es ist also vom Klima her möglich, *Chenopodium* im gesamten besiedelten Bereich der Titicacaregion anzubauen.

Die Niederschlagsmenge im Seegebiet stellt für den Anbau von Quinoa nirgendwo eine Begrenzung dar. Diese ist aber durch sommerliche Nachtfröste gegeben, die in dieser Höhe gelegentlich in allen Monaten möglich sind. Quinoa wird häufig auf den schlecht drainierten Böden der Schwemmlandebenen in geringen Höhen über dem Seespiegel angebaut. Hier ist die Gefahr von Schadfrösten meist größer als in den höheren Hanglagen, bei denen die nächtliche Kaltluft leichter abfließen kann. Eine Frostgefahr ist dann gegeben, wenn die Samen vor der Reife noch in einem weichen Zustand sind.

Quinoa ist eine auf Unterschiede der Tageslänge besonders reagierende Kurztagspflanze. Man hat experimentell nachgewiesen, was der einheimische Indianer seit Jahrhunderten wußte, daß die Pflanze während der Keimung bis zur Blütenbildung und dann noch zur Reife kürzere Tageslängen braucht.

Das agrarmeteorologische Problem liegt also darin, die Aussaat nach den ersten den Boden durchfeuchtenden Regen so zu legen, daß die Vollreife nach einer Vegetationszeit, die je nach Sorte und Meereshöhe zwischen 180 und 200 Tage beträgt, noch vor den ersten winterlichen Nachtfrösten im April/Mai beendet ist.

Mais (*Zea mays L.*)

Der Mais, obwohl im Andengebiet bodenständig und in zahllosen Rassen und über die gesamte Region verbreitet, findet im Einzugsbereich des Titicacabeckens seine Wachstumsgrenze. Von den vielen Arten kommen in diesem Gebiet nur noch niedrig wachsende, knapp über 1 m hoch mit dünnen Stengeln vor. In der Bearbeitung wird Mais hier oft wie eine Hackfrucht behandelt. Es ist auch nur eine Aussaat und Ernte jährlich möglich. Mais ist recht empfindlich gegen Frost und nicht trockenresistent, allerdings genügsam in der ständigen Wasserversorgung, wobei nach G. FRANKE die kritische Periode für die ausreichende Wasserspende einen

Zeitraum von etwa 10 Tagen vor bis 20 Tagen nach dem Fahrenschieben umfaßt (1967, II).

Die Höhengrenze für den Anbau liegt zwischen 3810 und 3850 m und nur in unmittelbarer Seenähe in geschützten Lagen, besonders auf den Inseln und schmalen Halbinseln, wird Mais gelegentlich noch bis zu 4000 m angepflanzt. Die bevorzugten Anbauzonen liegen daher am nördlichen Seeufer, wo in den unteren Teilen flache Hänge ein Abfließen der nächtlichen Kaltluft ermöglichen. Hier wird Mais seit altersher angepflanzt (Gärten des Inca), wengleich das wichtigere Maisgebiet im Urubambatal nördlich von Cuzco gelegen hat.

Mais ist für die Vorratshaltung das ideale Getreide, da es nach der Reife nicht ausfällt und in vielen Fällen bis zum Verbrauch auf dem Feld stehen bleiben kann. Dieser Verbrauch schließt die Zubereitung als Gemüse, als ganze gekochte Kolben, gemahlen und geröstet als Maiskuchen und zu einem bedeutenden Teil als Chicha und Viehfutter ein.

Die am Titicacasee wachsenden Maisarten benötigen eine Mindesttemperatursumme von 1400 °C während ihrer Vegetationszeit, die damit bis zum Erreichen dieses Wertes zeitlich etwas variieren kann. Die Aussaat erfolgt, nach der ersten Durchfeuchtung des Bodens, von etwa Mitte Oktober ab. Die Zeit bis zur Vollreife dauert dann bis Ende März und soll vor Beginn des Einsetzens der winterlichen Nachtfröste enden.

Agrarmeteorologisch wichtig ist es also, die Aussaat nach den ersten spätwinterlichen oder Frühjahrsregen so zu legen, daß die Reife nach einer Vegetationszeit, die je nach Sorte und durchschnittlicher Witterung zwischen 180–200 Tage beträgt, noch vor den ersten Nachtfrösten im April abgeschlossen ist.

Weizen (*Triticum spec.*)

Da die autochthonen Getreidearten kein voll backfähiges Mehl liefern, mußten die Spanier, um einmal ihren Brotbedarf und um auch nach der Christianisierung den großen Verbrauch an Oblaten für die Messen zu decken, Weizen einführen und aussäen. Die aus Quinoa, Mais oder Kartoffelstärke hergestellten Oblaten sind leicht verderblich und daher für ihren Zweck nur bedingt geeignet. Die ursprünglich aus Spanien eingeführten Weichweizenrassen (*Triticum aestivum*) sind aber heute verschwunden und durch andere Stämme ersetzt.

Im Einzugsgebiet des Beckens wächst der Weizen bis etwa 3900 m Höhe. Nach G. FRANKE (1967 II, S. 283) benötigt Sommerweizen als Minimum eine Temperatursumme von 1350 °C. Der Weizen ist in dieser Höhenlage sehr anfällig für Witterungsschäden. Dieses sind einmal die Fröste, dann aber noch Hagelunwetter und Trockenschäden während der Vegetationsperiode. Sie beträgt für diese Meereshöhe um 190–200 Tage (FAO 1975, S. 243). Gesät wird je nach Einsetzen der Niederschläge von September bis Anfang Dezember. Die Ernte erfolgt dann im April und Mai.

Man ist neuerdings bemüht, Winterweizen ebenso wie Hafer und Gerste auf den flachen Niederungen am See an-

zubauen. Dabei werden in der Zeit der Regenmonate Januar und Februar die Felder gepflügt, um das Eindringen des Wassers in tiefere Bodenschichten zu ermöglichen. Im März wird dann geeggt, um die Kapillarität des Bodens zu zerstören. Ausgesät wird Mitte April. Keimung und Wachstum fallen somit in die trockenen Wintermonate. Die Pflanzen selbst sind einigermaßen frostresistent. Vor der Blüte wird in der trockenen Jahreszeit dieser Weizen zum Teil als Grünfutter verwertet, das heißt, man treibt das Vieh auf die Felder. Für den zur Fruchtreife kommenden Weizen vollendet sich die Vegetationsperiode nach Eintritt der Sommerregen. Mit Ende der Regenzeit im April wird dann geerntet. Die Erträge stehen sowohl bei Sommer- als auch Winterweizen bisher in keinem Verhältnis zur aufgewandten Arbeit und sind mit weniger als 4000 kg/ha nicht allzu hoch.

Gerste (*Hordeum vulgare L.*)

Vom nach der spanischen Eroberung eingeführten Getreide ist die Gerste das bedeutendste. Während der Anbau des ebenfalls nach der Besetzung verbreiteten Hafers heute praktisch verschwunden ist, konnte sich die Gerste nicht nur behaupten, sondern dank ihrer Klimafestigkeit hat sich ihre Anbauzone noch erweitert. Die ursprünglich ins Land gebrachten Gerstenrassen sind aber ebenfalls jetzt durch fortwährende Einkreuzungen und Auslese in neuen Varietäten aufgegangen. Der Landschaftscharakter des Altiplano ähnelt dem Hochasiens, dem ursprünglichen Herkunftsland der Gerste. Sie hat sich im Einzugsgebiet des Titicacasees gut angepaßt und ist ein wichtiger Teil der landwirtschaftlichen Produktion geworden.

Der Anbau reicht von der Seespiegelhöhe bis etwa 4300 m. Vereinzelt Aussaaten in größeren Höhen sind nur noch als frische Futterpflanzen, beziehungsweise als Heu verwertbar. Die Körner selbst werden nicht reif.

Länger andauernde Regenfälle beeinflussen das Wachstum in gleicher Weise wie längere Trockenzeiten. Es läßt sich sagen, daß die Gerste Trockenheit besser als Weizen trägt. Genügende Bodenfeuchtigkeit wird aber während der Keimung und besonders während der Halm- und Ährenbildung verlangt. Es gibt im Jahresablauf nur eine Ernte.

Die Vegetationszeit beträgt für die Kurztaggerste im Anbaugebiet, je nach Meereshöhe, zwischen 210–240 Tage. Die Vegetationszeit ist damit noch etwas länger als die von Quinoa, die mit der Gerste oft angepflanzt wird. Die Temperatursumme soll dabei etwa 1880 °C betragen (FAO 1975, S. 271).

Erstaunlich ist die lange Vegetationsperiode, wenn man bedenkt, daß Sommergerste (Langtagspflanze) im Norden Europas und Amerikas nur 95 Tage von der Aussaat bis zur Reife benötigt (C. TROLL 1943). Gerste ist nicht allzu empfindlich und trägt durchaus einige mäßige Frostnächte.

Zusammenfassend läßt sich sagen, daß die agrarmeteorologischen Probleme im Einzugsgebiet des Titicacabeckens nicht allein von der Niederschlagsmenge, Lufttemperatur und Strahlung abhängen. Durch das extreme Klima kommt dem Ausnutzen des Zusammenwirkens der zeitlichen Verteilung von Niederschlag, Bewölkung und Temperatur die

beherrschende Rolle beim Anbau aller Feldfrüchte zu. Das Regenangebot im Sommerhalbjahr reicht für ihr normales Gedeihen aus. Das trockene Winterhalbjahr bringt durch stark verminderte Bewölkung neben einem geringfügigen Temperaturrückgang eine starke Gefahr von Strahlungsnachtfrosten. Das Auspflanzen und Säen muß daher zeitlich so gelegt werden, daß nach den Frühjahrsregen die Bodenfeuchte genutzt werden kann, damit die zur Reife notwendige Wärmemenge (Temperatursumme) vor den zu erwartenden täglichen Nachtfrosten erreicht wird, um ohne Verluste ernten zu können. Beginnt die Regenzeit zu spät, dann ist vielfach ein Ausreifen nicht mehr möglich und die angebauten Feldfrüchte sind oft nur noch als Viehfutter verwertbar. Das gleiche Risiko besteht auch bei normalen Witterungsbedingungen, wenn der Anbau in größeren Höhen durchgesetzt werden soll.

Literatur

- FAO, UNESCO, WMO (FRERE, M.; REA, I.; RIJKS, I. Q.): Estudio agroclimatológico de la zona andina. (FAO, Roma 1975)
- FRANKE, G. et al.: Nutzpflanzen der Tropen und Subtropen, Bd. II. (S. Hirzel, Leipzig 1967)
- FRANKE, W.: Nutzpflanzenkunde. Nutzbare Gewächse der gemäßigten Breiten, Subtropen und Tropen. (G. Thieme, Stuttgart 1976)
- FRERE, M.: A method for the practical application of the Penman Formula for the estimation of Potential Evapotranspiration and Evaporation from a freewatersurface. (AGP: Ecol/1979/1 FAO, Rome 1979)
- KESSLER, A. und MONHEIM, F.: Der Wasserhaushalt des Titicacasees nach neuen Messergebnissen. (Erdkunde, Bd. 22, S. 275–283, Bonn 1968)
- LAUER, W.: Vom Wesen der Tropen, klimaökologische Studien zum Inhalt und zur Abgrenzung eines irdischen Landschaftsgürtels. (Abh. der Math.-naturw. Klasse, der Akademie der Wissenschaft und Literatur Mainz, Nr. 3, Wiesbaden Jahrg. 1975)
- LESSMANN, H. et al: Cuenca del Rio de la Plata. Estudio para su planificación y desarrollo. Inventario de datos hidrológicos y climatológicos. (Secretaría General de la Organización de los Estados Americanos, Washington DC. 1969)
- MONHEIM, F.: Beiträge zur Klimatologie und Hydrologie des Titicacabeckens. (Heidelb. Geogr. Arbeiten, Heft 1, Heidelberg 1956)
- OLIVIER, H.: Irrigation and climate. (Edw. Arnold, London 1961)
- : Irrigation and water resources engineering. (Edw. Arnold, London 1972)
- SCHRÖDER, R.: Die Niederschlagsjahreszeiten Brasiliens. (Pet. Geogr. Mittlg. 102, S. 264–270, Gotha 1958)
- : Effektiver Regenfall und Wasseranspruch für die Landwirtschaft am Beispiel Kameruns. (Pet. Geogr. Mittlg., Gotha, im Druck)
- SCHWERDTFEGER, W.: Appendix II zu A. M. Johnson. The climate of Peru, Bolivia and Ecuador. In Climates of Central and South America. (World Survey of Climatology, Vol. 12, Amsterdam 1976)
- SENAMHI: Atlas de cuencas hidrograficas del Perú. Hoya del Lago Titicaca. (Lima 1972).
- TROLL, C.: Die Stellung der Indianer-Hochkulturen im Landschaftsaufbau der tropischen Anden. (Zeitschr. Gesellsch. f. Erdkunde, 3/4, Berlin 1943)
- : Die tropischen Gebirge. (Bonner geogr. Abh. Heft 25, Bonn 1959)
- VEGA CEDANO, L.: Estudio de niveles del lago Titicaca. (SENAMHI, (Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología), Vol. 1, Nr. 1, S. 24–28, Lima 1973)

PALU (SULAWESI): PROBLEMATIK DER LANDNUTZUNG IN EINEM KLIMATISCHEN TROCKENTAL AM ÄQUATOR¹⁾

Mit 7 Abbildungen und 2 Photos

JOACHIM METZNER

Summary: Palu (Sulawesi): Problems of land utilization in a climatic dry valley on the equator

Palu, located less than one degree south of the equator on the island of Sulawesi (Celebes), has the lowest rainfall recorded in the Malay Archipelago. Looking at Palu's dry grass-savannas with their scattered cactus thickets the visitor finds it hard to believe that he is in Central Sulawesi, a province which is known for its dense tropical forest.

This peculiarity, which is due to the preponderance of local wind systems over the monsoons, is conditioned by high chains of mountains that flank the Palu valley on either side. An extremely low and erratic rainfall regime enhanced by highly unstable geomorphological conditions make the utilization of the rather fertile valley floor a gamble.

In fact, by trying to overcome these difficulties through irrigated agriculture, man has decisively contributed to upset the valley's delicate ecological conditions and has thereby set in motion a spiral of environmental deterioration. As a result of uncontrolled *ladang* cultivation in the mountains the irrigation of paddyfields in the

valley was seriously impaired. On the abandoned *sawabs* a pioneer plant from South America (*Opuntia nigricans*) spread unchecked in the valley's dry northern portion and within a short period also forced the farmers to give up valuable pasture and farming land. Only in the thirties did the government succeed in keeping this pest at bay through the application of entomological means.

¹⁾ Für Hilfe und Auskunft in Palu ist der Autor Herrn B. L. Siwy, Inspeksi Pertanian Propinsi Sulawesi Tengah zu Dank verbunden. Der Dank gilt auch seinen Kollegen am Institut für Geographie, Südasien Institut der Universität Heidelberg, Frau Dipl. Met. M. Bührlein und Herrn W. Werner für Anregungen und Literaturhinweise sowie Frau Ing. grad. H. Nischk für ihre Hilfe bei der kartographischen Gestaltung.