
Anhang

A Dürresommer im Schweizer Mittelland seit 1525

(Prof. Dr. Christian Pfister,
unter Mitarbeit von Matthias Rutishauser)

B Trockenheit in der Schweiz: Trends im 20. Jahrhundert und Szenarien für die Zukunft

(Dr. Dimitrios Gyalistras)

Dürresommer im Schweizer Mittelland seit 1525

Unterlagen zum OcCC/ProClim- Workshop vom
4. April 2000 in Bern

Zusammengestellt von: Prof. Dr. Christian Pfister¹
Unter Mitarbeit von: Matthias Rutishauser¹

Inhalt

1	PROBLEMSTELLUNG	A-2
2	DIE ABSCHÄTZUNG VON DÜRREPERIODEN IM SOMMERHALBJAHR	A-3
	2.1 Die Temperatur- und Niederschlagsindizes	A-3
	2.2 Berechnung der Intensität und Dauer von Dürreperioden	A-5
3	DÜRRESOMMER SEIT 1525	A-9
	3.1 Die 24 markantesten Ereignisse und ihre Auswirkungen auf die (Land-) Wirtschaft	A-9
	3.2 Die 20 „extremsten“ Ereignisse	A-11
	3.3 Veränderungen in der Häufigkeit sommerlicher Dürreperioden	A-12
4	FAZIT	A-15
5	BIBLIOGRAPHIE	A-16

¹Abteilung für Wirtschafts- Sozial- und Umweltgeschichte, Historisches Institut der Universität Bern, März 2000

1 Problemstellung

In den vorliegenden Diskussionsgrundlagen zu Handen des OcCC wird eine Problematik aufgegriffen, mit der ich erstmals im Rahmen der Untersuchungen zum „Waldsterben“ in den späten 1980er Jahren konfrontiert worden bin: Die säkularen Schwankungen in der Intensität und Häufigkeit von Dürreereignissen (PFISTER *et al.* 1988). Im Unterschied zu Naturkatastrophen – Überschwemmungen, Lawinen, Winterstürme – sind Trockenperioden im Rahmen des Nationalen Forschungsprogramms «Klimavariationen und Naturkatastrophen» (NFP-31) nicht untersucht worden (BADER, KUNZ 1998).

Die Diskussionsgrundlage umfasst die folgenden Elemente:

- Häufigkeit und Intensität und Länge von Trockenperioden im Sommerhalbjahr
- Sozioökonomische und ökologische Folgen dieser Ereignisse

Das Papier stützt sich im wesentlichen auf vorhandene Daten und greifbares Wissen (PFISTER 1999, PFISTER 1985). Die Trockenperioden wurden anhand eines Dürremodells berechnet. Forschung konnte im gegebenen Kostenrahmen nicht geleistet werden.

Konsequenzen hat diese Einschränkung zunächst einmal für die angeforderte räumliche Rekonstruktion historischer Trockenperioden. Diese setzt die Existenz eines dichten Netzes von Niederschlagsstationen voraus. Ein solches ist jedoch erst im Verlaufe des 20. Jahrhunderts aufgebaut worden. Für die Zeit seit 1901 hat LEMANS (1981) die Daten von 295 Messstationen zusammengefasst. Für die Zeit von 1864 bis 1900 stehen dagegen nur wenige Stationen zur Verfügung, an denen über 1900 hinaus bis zur Gegenwart gemessen worden ist. Daten für die Alpensüdseite fehlen vor 1864 vollständig.

Kontinuierliche Angaben können für die Zeit bis 1525 einzig aus dem Raum des Mittellandes geliefert werden, wobei bis um 1700 die Daten aus dem zentralen und östlichen Teil dominieren. Die Verhältnisse vor 1525 sind noch nicht systematisch untersucht worden. Räumlich kann von den Verhältnissen im Mittelland nicht unbedingt auf jene im kleingekammerten Alpenraum geschlossen werden, wo auf Grund von orographischen Effekten selbst in extremen Trockenjahren wie 1947 bedeutendere Niederschläge fallen können. Von der Alpensüdseite fehlen jegliche Angaben. Eine Klimageschichte dieses Raumes wird sich auf die Auswertung des reichen, für die angrenzenden italienischen Alpen und die nördliche Poebene vorhandenen Archivmaterials stützen müssen. Sie ist für eine den gesamten Alpenraumes umfassende Perspektive unverzichtbar!

Es versteht sich von selbst, dass Aussagen über die sozioökonomischen Folgen von Trockenjahren nur in dem Masse möglich sind, wie sie in den Quellen angesprochen sind. Mit einem bescheidenen Forschungsaufwand könnten auch hier feinmaschigere und räumlich aussagekräftigere Ergebnisse erreicht werden.

2 Die Abschätzung von Dürreperioden im Sommerhalbjahr

2.1 Die Temperatur- und Niederschlagsindizes

Vor dem Hohen Mittelalter (ca. 1100) ist die Klimageschichte Europas vorwiegend auf fossile Zeugnisse der anorganischen und organischen Welt angewiesen. Für die letzten 9 Jahrhunderte können wir zusätzlich auf Witterungsbeobachtungen und erfassbare Auswirkungen des klimatischen Geschehens zurückgreifen, die eine saisonale oder monatsweise Rekonstruktion der Temperatur- und Niederschlagsverhältnisse erlauben. Vom späten 18. Jahrhundert an haben Institutionen wie das Observatoire de Genève vereinzelt kontinuierliche Messreihen des Luftdrucks, der Temperatur und des Luftdrucks aufgezeichnet. Am 1. Dezember 1863 nahm das erste schweizerische meteorologische Messnetz seinen Dienst auf.

Die Klimageschichte der früh- und vorinstrumentellen Periode stützt sich vorwiegend auf Witterungsbeschreibungen in historischen Dokumenten und Sachquellen. Dabei werden direkte und indirekte Beobachtungen unterschieden. Direkte Beobachtungen schildern die Witterungsverhältnisse als solche, z.B. Himmelsbedeckung, Windrichtung und -stärke, Temperaturverhältnisse, Niederschläge. Indirekte Beobachtungen schildern die Auswirkungen der Witterung auf die belebte und unbelobte Umwelt, z.B. die Blüte und Reifezeit von (Kultur-) Pflanzen, die Menge und der Zuckergehalt des geernteten Weinmosts, die Wasserstände von Flüssen und Seen, die Dauer der Schneebedeckung und das Überfrieren von Gewässern. Innerhalb der Instrumentenperiode können diese indirekten Beobachtungen kalibriert und damit für die Abschätzung der Intensität von Anomalien herangezogen werden. Auf Grund der Dichte und Aussagekraft des Datenmaterials lässt sich die Periode seit 1525 in sechs Abschnitte gliedern:

- 1 1496-1549: Anomalien und Naturkatastrophen werden in Chroniken beschrieben und mit Proxidaten charakterisiert.
- 2 1550-1658: Für 98% aller Monate liegt mindestens eine Wettermeldung vor. Lücken verbleiben vorwiegend in den Monaten Oktober und November. Verschiedene Abschnitte des Sommerhalbjahrs sind kontinuierlich mit Proxidaten dokumentiert.
- 3 1659-1683: Für sämtliche Monate liegt mindestens eine Wettermeldung vor. Verschiedene Abschnitte des Sommerhalbjahrs sind kontinuierlich mit Proxidaten dokumentiert.
- 4 1684-1754: Zur Einschätzung der Temperaturverhältnisse stehen für jeden Monat mehrere Berichte zur Verfügung, ausserdem neben anderen Proxidaten durchgehende phänologische Reihen. Das Niederschlagsgeschehen in der Nordostschweiz lässt sich fast vollständig auf Grund von frühen Messungen oder Witterungstagebüchern quantifizieren.
- 5 1755-1863: Die Temperatur ist in der Westschweiz und in Basel, von 1817 an auf dem Grossen St. Bernhard durchgehend gemessen worden. Es sind mehrere Witterungstagebücher parallel geführt worden, und es liegen vielfältige Reihen von Proxidaten vor. Der Niederschlag ist in Genf von 1770 an durchgehend gemessen worden, an einigen Stationen während mehrerer Jahre.
- 6 1864-1995: Temperatur und Niederschlag sind im Rahmen des Schweizer Messnetzes an zahlreichen Stationen mit einheitlichen Instrumenten und nach einheitlichen Instruktionen gemessen worden.

Die raum-zeitliche Verteilung zeigt ein bemerkenswertes Ungleichgewicht zwischen Ost- und Westschweiz: Fast die Hälfte der witterungsgeschichtlich fündigen Chroniken stammen aus der Nordostschweiz, nur gerade ein Zehntel dagegen aus westschweizerischen Archiven. Für eine durchgehende räumliche Differenzierung innerhalb des Mittellandes ist die Dichte des Datenmaterials derzeit nicht ausreichend. Gelegentlich ist eine solche für gut belegte Extremjahre möglich. Weitergehende Resultate wären von einer konsequenten Suche in Regionalarchiven zu erwarten.

Der anspruchsvollste Schritt auf dem Wege von den Schriftquellen zur Schätzung von Temperatur und Niederschlag besteht in der vergleichenden Interpretation des gesamten, aus direkten und indirekten Elementen bestehenden Datenfeldes, das die Verhältnisse in einem bestimmten Monat umschreibt und seiner Umsetzung in einen siebenstufigen Temperatur-, resp. Niederschlagsindex (PFISTER 1999).

Tab. 1: Der Temperaturindex (TIND) und der Niederschlagsindex (NIND); _: Die Messreihen wurden auf Grund von Schwellenwerten der Standardabweichung vom Mittelwert 1901-1960 in Indices umgesetzt (PFISTER 1999).

Index	Umschreibung	TIND	NIND	_
+3	extrem	viel zu warm	viel zu nass	180 %
+2	deutlich übernormal	sehr warm	nass	130 %
+1	leicht-mässig übernormal	zu warm	zu feucht	65 %
0	normal	Normal	normal	
-1	leicht-mässig unternormal	zu kühl	zu trocken	-65 %
-2	deutlich übernormal	Kalt	Trocken	-130 %
-3	extrem	viel zu kalt	viel zu trocken	-180 %

Der Prozess der Umsetzung von Dokumentendaten in Indizes lässt sich mathematisch nicht formalisieren; denn er muss dem stets wechselnden Datenumfeld angepasst werden. Dabei sind quellspezifische, ökologische und individuelle Gesichtspunkte zu berücksichtigen. Die Schweizer Indizes sind seit ihrer erstmaligen Publikation 1984 wiederholt reinterpretiert und verbessert worden (PFISTER 1998). Die Validierung der Indexreihen geschieht dadurch, dass diese statistisch mit solchen aus benachbarten Regionen und/oder Staaten verglichen werden. Es zeigt sich, dass Indexreihen auf der Basis von sorgfältig ausgewerteten Dokumentendaten nicht erheblich schlechter miteinander korreliert sind als solche, die auf instrumentellen Messreihen beruhen (GLASER *et al.*, 1999; PFISTER und BRAZDIL 1999).

2.2 Berechnung der Intensität und Dauer von Dürreperioden

Meteorologisch ist eine Dürreperiode definiert als Aufeinanderfolge von mindestens vier Tagen, an denen das Maximum der Lufttemperatur über dem Regelwert des langjährigen mittleren Maximums und die relative Luftfeuchtigkeit gleichzeitig zum Mittagstermin (14h) nicht über 40% liegt. Ökophysiologisch muss diese Definition um einen monatlichen Reduktionsfaktor erweitert werden, weil die Pflanzen jahreszeitlich unterschiedliche Ansprüche an den Vorrat von Bodenwasser stellen (WESTERMANN, 1968).

VOLZ und RICKLI (1987) haben die Trockenheit von Juli bis Oktober 1985 in diesem Sinne quantitativ und statistisch umschrieben und sie mit anderen Trockenperioden dieses Jahrhunderts verglichen. Als Masse für die klimatologische Beurteilung dienten die Abfolgen von Tagen ohne Niederschlag (> 5mm) und die monatlichen Niederschlagssummen (KUHN 1973).

Nun können aber nicht alle vegetationswirksamen Dürreerscheinungen über meteorologisch definierte Trockenperioden erfasst werden. Ein kurzes Niederschlagsereignis kann eine Trockenperiode unterbrechen und damit zur statistischen Bedeutungslosigkeit herabmindern, aber auf Grundwasserspiegel und Vegetation ohne nennenswerte Wirkung bleiben. Auch eine Wasserbilanz über die ganze Vegetationsperiode ist nicht immer ein zuverlässiger Dürreindikator, weil hohe Niederschläge in den Herbstmonaten Defizite in den Frühjahrs- und Sommermonaten kompensieren können.

Das komplexe Zusammenspiel zwischen Wasserangebot und Wasserbedarf kann empirisch an der Entwicklung von landwirtschaftlichen Kulturen, besonders von Futterpflanzen, abgelesen werden, die als Bio-Indikatoren sensibel auf mangelnde Wasserversorgung reagieren. Sie integrieren sozusagen die Gesamtheit der Wirkungsfaktoren, die in ihrem Zusammenspiel durch Messungen nur approximativ erfasst werden können und sich von Ort zu Ort verändern. Das Ausmass von Schäden hängt neben Dauer und Intensität der Dürrebelastung davon ab, in welcher Wachstumsphase die Kulturen davon betroffen werden. Am grössten ist die Anfälligkeit im Frühjahr und im Frühsommer; verhältnismässig gering ist sie in den Herbstmonaten.

Anhand von Ertragseinbussen in der Landwirtschaft lassen sich sommerliche Dürreperioden am zuverlässigsten ermitteln. Zudem können mathematische Modelle, die sich auf Messdaten stützen, anhand solcher Ereignisse zweckmässig geeicht werden.

Ausgehend von dem von PRIMAULT (1981) entwickelten Ansatz wurde auf der Basis der verfügbaren Indexreihen des Niederschlags und der Temperatur eine Anzahl von Dürre-Modellen hergeleitet (PFISTER *et al.* 1988). Dabei waren die folgenden Überlegungen massgebend:

1. Sofern der Temperaturindex TIND und der Niederschlagsindex NIND den Wert Null annehmen, liegen die entsprechenden Temperaturen und Niederschlagsmengen definitionsgemäss in der Grössenordnung des Mittelwerts 1901-1960. In diesem Falle wurde angenommen, dass sich auch die durchschnittlichen Abfluss- respektive Verdunstungswerte nahe den langjährigen Mittelwerten liegen.

2. Überdurchschnittliche Temperaturen erhöhen die Verdunstung (und damit den Dürreeffekt), unterdurchschnittliche setzen ihn herab. Der Temperaturindex TIND wurde deshalb als Näherungswert für die Verdunstung zum Dürreindex D addiert, gewichtet mit einem von PRIMAULT (1981) für jeden Kalendermonat angegebenen Faktor T.
3. Bei einer allfälligen Vervollkommnung dieses Modells müsste die Gewichtung der Monate mit Hilfe anderer Methoden überprüft und abgesichert werden.
4. Überdurchschnittliche Niederschlagsmengen verringern den Dürreeffekt, unterdurchschnittliche Mengen vergrössern ihn. Somit mussten die Niederschlagsindices (NIND) mit umgekehrtem Vorzeichen zum Dürreindex addiert werden
5. Die Situation des Vormonats musste berücksichtigt werden.
6. Ist der Dürreindex positiv (Trockenheitssituation), fließt weniger als die durchschnittliche Menge ab (die als Null definiert ist); bei einem negativen Dürreindex (Nässesituation) verhält es sich umgekehrt. Dem musste durch einen negativen, respektive positiven Korrekturfaktor KORR für den Wasserabfluss Rechnung getragen werden.

Das Grundmuster für die Berechnung des Dürreindex D sieht wie folgt aus:

$$D = D(\text{Vormonat}) - \text{NIED} + \text{TEMP}_T + \text{KORR}$$

D	Dürreindex
NIED	Dürrerelevanter Niederschlag
TEMP	Dürrerelevante Temperatur
T	Monatsspezifischer Gewichtungsfaktor
KORR	Korrekturfaktor
Bei Beginn jedes Kalenderjahres wird D = 0 gesetzt.	

Positive Werte von D stehen für Wassermangel, negative für Wasserüberschuss im Boden. Je grösser also D, desto schwerer die Dürrewirkung. Von diesem Grundmuster ausgehend wurde durch vielfältige Kombination und Gewichtung der drei Parameter TEMP, NIED und KORR eine breite Palette von Modellen entwickelt und empirisch mit den beobachteten Dürreerscheinungen in der Landwirtschaft verglichen (Tabelle 2).

Die optimale Annäherung erbrachte das Modell mit den folgenden Parametern:

NIED	= NIND (-3 bis + 3)
TEMP	wenn TIND > +1 TEMP = TIND wenn TIND -1 bis +1 TEMP = 0 wenn TIND < -1 TEMP = -1
NIND	Wert des Niederschlagsindex
TIND	Wert des Temperaturindex
KORR	-2 wenn N > +1 0 wenn N -1 bis +1 +1 wenn N < -1

Anhand dieses Modells wurde für jeden Monat zwischen Januar und September ein Dürreindex D berechnet. Innerhalb der Periode April bis September ist der **maximale Wert des Index' D_{MAX}** ausgewiesen. **Perioden von zwei und mehr aufeinanderfolgenden Monaten, in welchen der Dürreindex einen Wert von mehr als 4 erreichte, sind als Dürresequenzen definiert.**

In Tabelle 2 werden die anhand des Modells ermittelten Dürresequenzen nach ihrer Dauer und ihrer maximalen Intensität mit den in landwirtschaftlichen Kulturen beobachteten Dürreerscheinungen verglichen, die als Indikator herangezogen wurden. Dabei ist zu berücksichtigen, dass ackerbauliche Kulturen im Mittelland seit einigen Jahren in zunehmendem Masse bewässert werden, wodurch sie als Trockenheits-Zeiger nicht mehr verwendbar sind. Allerdings gilt dies nicht für das Gras, namentlich im Hügellgebiet, so dass die Ergiebigkeit der Futterernten durch sommerliche Trockenheit nach wie vor beeinträchtigt wird. Um die Aussagekraft des Modells anhand einer genaueren Berechnungsmethode abzuschätzen, wurde als dritter Indikator die hygrische Bilanz der Monate April bis September der Station Zürich SMA in den Vergleich einbezogen.

Als Quelle für die in landwirtschaftlichen Kulturen aufgetretenen Dürreschäden dienten Witterungs- und Ernteberichte in der Bauern-Zeitung (1865), im Statistischen Jahrbuch des Kantons Bern (1866-70), in den «Mitteilungen der Statistischen Bureaus des Kantons Bern» (1885-1927), im Landwirtschaftlichen Jahrbuch der Schweiz (ab 1903), im Staatsverwaltungsbericht des Kantons Bern (ab 1928) sowie in den Geschäftsberichten der schweizerischen Hagelversicherungs-Gesellschaft (ab 1940). Die bernischen und die gesamtschweizerischen Berichte sind in hohem Masse stimmig, so dass die einzig für den Kanton Bern vorliegenden Meldungen für die Zeit von 1860 bis 1903 für das gesamte Mittelland Geltung beanspruchen dürfen.

Die grösste Dürreintensität (D_{MAX}) wurde im bekannten Katastrophenjahr 1947 (SCHORER 1992) erreicht. An zweiter Stelle steht der Sommer 1865, gefolgt vom Trockenjahr 1949, dann von den Jahren 1911 und 1945. Die ungünstigste hygrische Bilanz weisen die Vegetationsperioden der Jahre 1947, 1949, 1911 und 1921 auf. Bei den drei extremsten Jahren ist somit eine gute Übereinstimmung zwischen beiden Methoden festzustellen.

Für die Wirkung auf die Vegetation fällt neben jahreszeitlichen Durchschnitts-, resp. Maximalwerten die zeitliche Lage der Dürrephase innerhalb der Vegetationsperiode ins Gewicht. Dies zeigt sich am Beispiel der extremen Frühjahrsdürre (April, Mai) des Jahres 1893, die gesamthaft gesehen wahrscheinlich schwerwiegendere Auswirkungen zeitigte als jene im Hoch- und Spätsommer 1947, aber in der Statistik nicht hervortritt. Im weiteren werden monatsübergreifende Dürreperioden von Monatsmitte zu Monatsmitte im Schema der Kalendermonate nur unzureichend erfasst. Dies sind Gründe, warum geringfügige Unterschiede von D_{MAX} nicht überinterpretiert werden dürfen. Schliesslich sind Veränderungen in der räumlichen Aussagekraft des Datenmaterials zu beachten. Von 1864 an liegt dem Niederschlagsindex NIND eine aus den instrumentellen Reihen von Neuchâtel, Bern, Zürich und St. Gallen gebildete Gebietssumme „Mittelland“ zugrunde, in der regionale Extremwerte weniger stark gewichtet sind als in der vorangehenden früh- und vorinstrumentellen Periode (vgl. PFISTER 1999, Kap. 6.2.1.).

Tab. 2: Dürreintensität und -dauer in ihrer Wirkung auf landwirtschaftliche Kulturen innerhalb der Periode der Netzbeobachtungen (seit 1864).

Jahr	D (Max)	Dauer (D>4)	HygBil Ap-Sep	Beobachtete Schäden in der Landwirtschaft
1865	10	Mai-Sep	-	Futternot (Schweiz. Bauernzeitung)
1868	6	Mai-Jul	-	Emd; Engerlinge; teilweise Kartoffeln Flachs (SJB).
1870	5	Jun-Jul	-	Heu, Emd; Heustöcke schon im Juli angegriffen; Gerste, Hafer (SJB);
1893	7	Apr-Sep	-	Frühjahr plus Spätsommer; alle Kulturen ausser Kartoffeln, besonders Heu, Emd, Hafer betroffen; Notschlachtungen (MSB).
1904	4		218	Emd, Kartoffeln, Gemüse, Obst, Herbstgras (LJS, MSB); Spätsommer teilw. Heufütterung (MSB)
1906	2		141	Emd, Herbstgras, Wurzelgewächse(LJS) Gemüse; Wassermangel; teilw. Uebergang zur Heufütterung (MSB).
1911	8	Jul-Sep	-121	Emd, Kartoffeln, Getreide (Hafer z.T. notreif) Obst, Gemüse (LJS); Wassermangel auf Alpen; teilweise Übergang zur Heufütterung und Milchausfall (MSB)
1921	4		-12	Emd, Kartoffeln.(LJS, MSB) Grünfütter (LJS)
1934	6	Mai	274	Heu. Jura und Ajoie nur 20% Normalernte. Behörden übernehmen Inlandfracht für Importfutter (SVB).
1945	8	Jun-Sep	162	Futterbau, Kartoffeln (LJS, SVB). Vor dem 8. August 'begann sich hinsichtlich der Futtermittelversorgung und der Kartoffelernte eine eigentliche Katastrophe abzuzeichnen' (SVB). In einzelnen Gebieten erhebliche Dürreschäden (GHV).
1947	17	Mai-Sep	-280	Katastrophenjahr
1949	9	Jul-Sep	-214	Emd; Kartoffeln; Engerlingsschäden; Wassermangel auf den Alpen (SVB, GHV).
1950	6	Jul-Sep	188	keinerlei Schäden (SVB, GHV).
1952	6	Jun-Aug	97	Emd; im Aug vielerorts teilweise Übergang zu Heufütterung (SVB). Futtermittelversorgung, Spätkartoffeln, Runkeln, Zuckerrüben (GHV).
1959	4		22	teilweise Wassermangel und Futterknappheit auf Alpen (SVB). Gemüse, teilweise Emd (GHV).
1964	6	Jul-Sep	112	Emd (SVB); Getreide, Kartoffeln, Zuckerrüben teilweise (GHV).
1976	7	Jun-Sep	249	Emd; teilweise Übergang zur Heufütterung (SVB).
1983	6	Jul-Aug	149	Kartoffeln, Obst, Emd (SVB).

<i>Legende:</i>	D(MAX)	maximaler Dürreindex des Jahres
	Dauer (D>4)	Dauer der Dürreperiode mit Dürreindex >4
	GHV	Geschäftsberichte der schweiz. Hagelversicherung
	HygBil	Durchschnitt der hygrischen Bilanz in Zürich SMA in den Monaten April - September
	LJS	Landwirtschaftliches Jahrbuch der Schweiz
	MSB	Mitteilungen des Statist. Bureaus des Kantons Bern
	SJB	Statistisches Jahrbuch des Kantons Bern
	SVB	Staatsverwaltungsbericht Kanton Bern

3 Dürresommer seit 1525

3.1 Die 24 markantesten Ereignisse und ihre Auswirkungen auf die (Land-) Wirtschaft

In Figur 1 sind die 24 extremsten Dürrejahre seit 1525 (5% aller Jahre) nach der Dauer zusammengestellt. Einen Überblick auf die Auswirkungen der Ereignisse mit $D_{\text{Max}} > 13$ vermittelt Tabelle 3.

3.1.1 Die vier Jahrhundertereignisse

Betrachten wir die Dürrejahre nach Intensität (D_{Max}) tragen vier Jahre (mit D_{Max} von 17) den Charakter von Jahrhundertereignissen. In absteigender Reihenfolge sind dies 1540, 1669, 1603 und 1947. Nur in zwei dieser Jahre (1540, 1603) sind Dürresequenzen von 6 Monaten aufgetreten. Im folgenden werden diese vier Säkularereignisse und ihre Wirkungen auf Wirtschaft und Umwelt näher geschildert.

3.1.1.1 Dauer und Intensität der Trockenheit

Das Jahr 1540 ist, was Dauer und Intensität der Dürre betrifft, bei weitem das extremste Ereignis der letzten 500 Jahre: *Zehn Monate* lang prägten blockierende warme Hochdrucklagen die Witterung in Mitteleuropa bis nach Polen hinein. Konnten zur Seltenheit einmal Störungen in den Kontinent eindringen, baute sich dahinter gleich wieder ein neues Hoch auf (GLASER *et al.* 1999). In den 26 Wochen zwischen Mitte März und Ende September 1540 zählte der Zürcher Geistliche Heinrich Bullinger nur gerade sechs Niederschlagsereignisse - Anfang und Mitte Mai, Mitte Juni und Anfang August - von denen keines vegetationswirksam wurde, da es nie einen ganzen Tag oder eine ganze Nacht durchregnete. In Luzern regnete es Anfang August etwas intensiver als in Zürich. Der Juli blieb ohne einen einzigen Niederschlagstag. Am wenigsten scheint das Alpengebiet gelitten zu haben. Fazit: Das Klima dieses Jahres trug mediterrane Züge.

Die Dürreperiode im Jahr 1669 fiel in die *zweite Hälfte der Vegetationsperiode*. Auf eine (wenig ergiebige) Regenperiode im mittleren Drittel Juni folgte vom 20. Juni bis zum 10. Juli eine in der Zentral- und Nordschweiz völlig regenlose Hitzeperiode. In St. Gallen fiel in den folgenden drei Wochen, wohl im Gefolge lokaler Gewitterherde, dann und wann etwas Niederschlag. Im August setzte die wüstenhafte Witterung wieder ein. Sie hielt das (Mittel-?) Land bis in den Oktober in ihrem Griff.

Im Jahre 1603 stand die Trockenperiode, namentlich im Frühjahr, wie der Luzerner Wissenschaftler und Politiker Renward Cysat feststellte, im Zeichen einer ausserordentlichen Häufigkeit von Föhnlagen. Mit diesem Befund stimmt die Beobachtung eines Chronisten aus dem Alpenraum (Thusis) überein, dem ein markanter Vorsprung bei der Kirschenblüte auffiel, ferner die Bemerkung Renward Cysats, wonach (im Unterschied zu 1540 und 1947) der Alpenraum in besonderem Masse unter Wassermangel litt.

Im Sommer 1947 wichen die mittleren *Temperaturen* in den Monaten April bis Oktober an den meisten Messstationen um 2°C bis 4°C vom Mittel der Jahre 1901 bis 1960 ab. Der Wärmeüberschuss blieb bis in den Dezember hinein bestehen und setzte sich im Jahr 1948 bis in den Mai hinein fort. Die Extremsituation zeigt sich weniger in absoluten Hitzerekorden als in der langen Dauer der Warmphase. *Niederschläge*: Im April traten auf dem gesamten Gebiet der Schweiz

Niederschlagsdefizite in der Grössenordnung von 40-50% auf. Im Mai dauerte die Trockenheit in etwas abgeschwächter Form an. Im Juni traf Trockenheit vorwiegend die nördlichen Landesteile. Im Juli wurde nirgends ein markantes Niederschlagsmanko gemessen. Allerdings konzentrierten sich die Niederschläge auf die erste Hälfte; in der zweiten fiel mancherorts kein Tropfen. Die spärlichen Regen im August stammten grösstenteils aus Gewittern. Im September intensivierte sich die Trockenperiode nördlich der Alpen. Im Oktober dehnte sich die Trockenheit auf das ganze Land aus. Im November setzten weit überdurchschnittliche Niederschlagsmengen der Trockenheit ein Ende (SCHORER 1992).

3.1.1.2 Auswirkungen auf Wasserhaushalt, Trinkwasser- und Energieversorgung

Wasserhaushalt und Trinkwasserversorgung: Kennzeichnend für die vier Jahrhundertereignisse sind die niedrigen Wasserstände von grösseren Flüssen aus vergletscherten Gebieten und das vollständige (1540) oder teilweise (1669) Austrocknen kleinerer Flüsse. Extreme Ausmasse nahm der Wassermangel im Sommer 1540 an: In Basel «wart ouch der Rin so klein, dasz man uff dem grien oder boden usz der kleinnen stat [aus Kleinbasel] bisz [...] zur halben brucken trocken gon mocht underhalb und oberhalb der brucken» (Chronik RYFF). Das heisst: Von Kleinbasel her gelangte man auf den Steinen im Flussbett trockenen Fusses bis zur Mitte der Brücke. Der stolze Fluss war - wie dies in trockenen Wintern der Fall zu sein pflegt - zu einem dünnen Rinnsal verkümmert, das nicht einmal mehr halb beladene Schiffe trug und durch das man bei Rheinweiler hindurchreiten konnte. Kleinere Flüsse wie die Wiese bei Basel und die Suhre (Kantone Luzern und Aargau) waren schon im Juli vollständig ausgetrocknet. In Sursee «grub man bei der Badstube nach Wasser über mannstief, fand aber kein solches» (HANS SALAT). Im aargauischen Rapperswil kämpften die Dorfbewohner mit den Herren VON HALLWYL vor Gericht um das Wasser im junkerlichen Weiher. Die von Gletscher gespiesenen Flüsse und die Alpenrandseen wurden für die Bewohner höher gelegener Orte zum alleinigen Trinkwasserreservoir. Nachts pilgerten sie mit Karren über weite Distanzen zum Wasser und schöpften das kostbare Nass in Fässer.

1669: In der Nordostschweiz war die Trockenheit in diesem Jahr extremer als 1947. Nicht zuletzt zeigt sich dies anhand der Töss, die im Spätsommer 1669 vollständig trocken lag, während sie 1947 noch ein wenig Wasser führte (SCHORER 1992).

Im „Föhnjahr“ 1603 musste Trinkwasser für Mensch und Vieh auf manchen Alpen mit Saumtieren herantransportiert werden.

Energieversorgung: Kennzeichnend für Jahrhundertereignisse ist im weiteren der Energienotstand. Mit der Wasserkraft versiegte in der Agrargesellschaft die wichtigste Quelle von mechanischer Energie. Die Mühlen standen still, was den Preis des Mehls und des Brotes in die Höhe trieb. Im Sommer 1540 wurde Mehl von Schaffhausen nach Konstanz, Lindau, ja nach St. Gallen geführt. Zur Mühle von St. Alban bei Basel drängten sich Leute aus der ganzen Markgrafschaft, die bis zu 30 Kilometer weit hergekommen waren. In Zürich führte die Limmat so wenig Wasser, dass man sie aufstauen musste, damit sich die Mühlräder überhaupt noch drehten. Im Elsass hungerte ein Teil der Bevölkerung.

Im Sommer 1947 wurden die Stauseen der Bundesbahnen als Folge der anhaltenden Trockenheit nur unzureichend gefüllt. Um den Bahnbetrieb längerfristig sicherzustellen, mussten die SBB deshalb im Herbst den reduzierten Inhalt ihrer Speicher bewirtschaften: Vom 10. November an wurden die Reisezüge um 5% eingeschränkt, und die Zahl der mitgeführten Wagen wurde reduziert («Der Bund», 6. Nov. 1947).

3.1.1.3 Auswirkungen auf die Vegetation

Unter der Trockenheit litt in erster Linie der Graswuchs und damit die Heuernte, in zweiter Linie das Sommergetreide (Hafer, Gerste), in extremen Jahren auch das Obst und die Reben.

1540: Die Heuernte war wenig ergiebig. Das Wintergetreide kam drei bis vier Wochen früher zur Reife als üblich, zu einem Zeitpunkt, als die Dürre ihr Maximum noch lange nicht erreicht hatte. Ein zweiter Schnitt des Heus konnte im Mittelland kaum mehr eingebracht werden, die Gartengewächse trockneten allmählich ein. Fussbreite Spalten klafften im staubtrockenen und steinharten Erdreich auf. Erwähnt wird der Tod von Nutztieren (vor Hunger oder Durst?), Obstbäume warfen ihr Laub und die unreifen Früchte ab, desgleichen teilweise die Reben und an trockenen Standorten die Eichen. Ende Juli entzündeten sich an vielen Orten die Wälder, die Atmosphäre war mit Rauch angefüllt, der die Berge vernebelte. Ähnliche Beobachtungen liegen aus Polen vor, was darauf hindeutet, dass der ganze Kontinent brannte.

Für 1947 lässt sich generell feststellen, dass die Kulturen um so weniger Schaden erlitten, je früher sie zur Reife gelangten. Im Mittelland brachte der zweite Schnitt bei Natur- und Kunstwiesen (Emd) sozusagen keinen Ertrag. Auch mangelte das Gras zur Grünfütterung. Die Getreidehalme blieben kurz und der Körnerertrag unterdurchschnittlich. Die Frühkartoffeln brachten zufriedenstellende Erträge, die mittelspäten und späten Sorten litten unter der Trockenheit. Die Austrocknung und Verkrustung des Bodens wurde im Spätsommer so stark, dass Regenfälle, die sich sonst bis in zwei Meter Tiefe bemerkbar machen, nur die obersten 25 cm aufzuweichen vermochten (DWD, 1949).

3.2 Die 20 „extremen“ Ereignisse

Neben diesen vier Jahrhundertereignissen lassen sich innerhalb des 5 % Perzentils weitere 20 Ereignisse ermitteln, deren Dürreindex D_{Max} zwischen 11 und 15 liegt:

- D_{Max} 15: 1822, 1728, 1706, 1536
- D_{Max} 14: 1567, 1645, 1718
- D_{Max} 13: 1559, 1611, 1616, 1719
- D_{Max} 12: 1590, 1666, 1676, 1686, 1753, 1807
- D_{Max} 11: 1563, 1723, 1724

In den meisten dieser Jahre berichten die Chronisten von Einbussen in der Ergiebigkeit der Heu- und Spätheuernten, 1645, 1559 und 1719 auch von Obst und Reben.

Drei dieser Ereignisse - die Jahre 1559, 1719 und 1724 - hatten auf Wasserversorgung und Vegetation ebenso extreme Auswirkungen wie eine Jahrhundertdürre: Mühlen standen verbreitet still, 1719 und 1724 prägte sich ausserdem ein akuter Mangel an Trinkwasser aus. Im August 1719 ging die Ergiebigkeit der Brunnen auf der Basler Landschaft so stark zurück, dass diese Tag und Nacht bewacht werden mussten, damit sich kein Unbefugter das kostbare Nass aneignete. 1724 fiel die Emme bei Ranflüh vollständig trocken, desgleichen die grosse Brunnenquelle des Dorfes. «Überall herrscht ein schrecklicher Mangel an Wasser. Die Quellen versiegen, das Vieh brüllt vor Durst, die Mühlen stehen still, weswegen der Preis

des Getreides steigt», schildert der Zürcher Naturwissenschaftler JOHANN JAKOB SCHEUCHZER die Situation. In allen drei Jahren waren dem trockenen Sommer regenarme und weitgehend schneelose Winter und Frühjahrsperioden vorangegangen. 1718/19 und 1723/24 folgten ausserdem zwei Trockensommer unmittelbar aufeinander. Dieser kumulative Effekt, so ist anzunehmen, führte jeweils im zweiten Trockenjahr zu einer dramatischen Absenkung des Grundwasserspiegels.

3.3 Veränderungen in der Häufigkeit sommerlicher Dürreperioden

Sommerliche Dürreperioden sind wie Naturkatastrophen Medienereignisse mit schwerwiegenden Auswirkungen für betroffene Bevölkerungen und Implikationen für die Politik. Um allfällige hausgemachte Einflüsse erkennen zu können, muss die Schwankungsbreite solcher Ereignisse in einem natürlichen Klima ausreichend bekannt sein. Das 20. Jahrhundert, für das die Messungen ausreichend sind, steht möglicherweise bereits unter der Einwirkung des Treibhauseffekts, so dass Ergebnisse aus der Messperiode für ein rein natürliches Klima nicht aussagekräftig sind.

Im Rahmen des NFP-31 hat sich der Verfasser um die Frage bemüht, ob Überschwemmungen, Lawinen und Winterstürme in der Schweiz in gewissen Klimaperioden deutlich häufiger oder seltener aufgetreten sind als im langjährigen Durchschnitt des 20. Jahrhunderts. Dabei hat es sich gezeigt, dass zwischen 1500 und 1900, also in den letzten vierhundert Jahre eines natürlichen Klimas, erhebliche Variationen in der Häufigkeit und Schwere dieser Naturkatastrophen aufgetreten sind, die es schwierig machen, im 20. Jahrhundert anthropogene und natürliche Risikofaktoren auseinander zu halten (PFISTER 1999).

Eine entsprechende Untersuchung soll im folgenden für die Dürreperioden nach Jahrhunderten geleistet werden. Dabei wird zwischen dürrern Sommern (5% Perzentil) und trockenen Sommern (10% Perzentil) unterschieden.

- *16. Jahrhundert: D_{Max} :* Dürresommer sind im Durchschnitt alle 15 Jahre aufgetreten. Es lassen sich drei Gruppen unterscheiden, aus denen jeweils 1-2 extreme Ereignisse herausragen, besonders prononciert 1536 und 1540. *Dauer:* 6-monatige Dürresequenzen sind 1540, 1559 und 1567 zu verzeichnen.
- *17. Jahrhundert: D_{Max} :* Dürresommer sind im Durchschnitt alle 12 Jahre aufgetreten. In der Periode 1602 bis 1617 und 1666 bis 1686 häuften sich solche Ereignisse. 1660-1662 trat sommerliche Trockenheit (10% Perzentil) in drei aufeinanderfolgenden, 1602/03 sowie 1636/37 in zwei aufeinanderfolgenden Jahren auf. *Dauer:* 6-monatige Dürresequenzen sind 1603, 1607, 1636, 1676 und 1686 zu verzeichnen.
- *18. Jahrhundert: D_{Max} :* Dürresommer sind im Durchschnitt alle 14 Jahre aufgetreten. Nicht weniger als 5 der 7 Ereignisse fallen in die Jahre 1718 bis 1728, die unter anderem durch sorgfältige Niederschlagsmessungen von JOHANN JAKOB SCHEUCHZER (Zürich) und ab 1721 durch erstklassigen Augenbeobachtungen quasi rund um die Uhr aus der Feder von JOHANN RUDOLF RIETTER (Winterthur) belegt sind. In jedem zweiten Sommer litt die Wirtschaft in diesen 11 Jahren unter Dürreerscheinungen. 1718/19 und 1723/24 folgten

zwei Dürresommer mit Einschluss von regenarmen Wintern und Frühjahrsperioden unmittelbar aufeinander. Diese Zweijahresdürren sind in den vergangenen 500 Jahre einzigartig. Im zweiten Trockenjahr wuchs sich die Regenarmut jeweils zu einem eigentlichen Trinkwasser- und Energienotstand aus, wie er für Jahrhundertereignisse typisch ist (vgl. 3.2). Nach 1730 wurden Trockensommer auffallend selten. *Dauer*: 6-monatige Dürresequenzen sind 1723, 1728 und 1753 zu verzeichnen.

- *19. Jahrhundert: D_{Max}*: Dürresommer sind im Durchschnitt nur noch alle 50 Jahre (1807, 1822) aufgetreten. Auch Trockensommer waren wesentlich seltener als in der Periode vor 1730. *Dauer*: Eine 6-monatige Dürresequenzen ist nur gerade 1822 zu verzeichnen.
- *20. Jahrhundert: D_{Max}*: Im 20. Jahrhundert ist nur noch gerade ein einziger Dürresommer (1947) zu verzeichnen. Abgesehen vom bekannten Jahrzehnt 1943-1952 waren trockene Sommern ebenso selten wie in der Periode 1730-1900. Im Vergleich zu den Verhältnissen vor 1730 verliert das trockene Jahrzehnt 1943-1952 seine in der Literatur oft hervorgehobene Einzigartigkeit. *Dauer*: Eine 6-monatige Dürresequenz ist nicht einmal 1947 zu verzeichnen.

Häufigkeit von Dürresequenzen im Sommerhalbjahr (April - September) 1500 - 1995

Anzahl Jahre mit 2 bis 6 aufeinanderfolgenden Monaten mit Dürre

(Frequency of Drought Periods of different duration in the summer half-year)

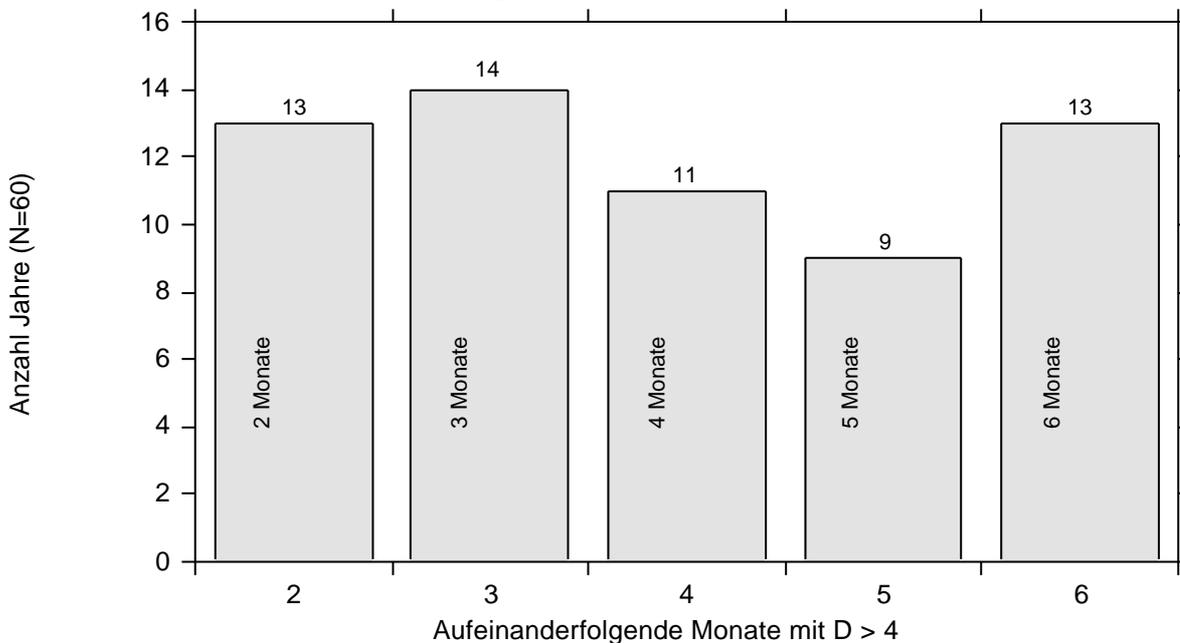


Fig. 1: Häufigkeit von Dürresequenzen im Sommerhalbjahr (April - September) zwischen 1500 und 1995. Angegeben ist die Anzahl Jahre mit 2 bis 6 aufeinanderfolgenden Monaten mit Dürre.

Tab. 3: Die 16 extremsten Dürreperioden im Sommerhalbjahr seit 1500.

Jahr	D _{Max}	Monate mit Dürre	Wasserführung Gewässer, Wasserversorgung	Landwirtschaftliche Kulturen			Wald	betroffene (dokumentierte) Räume
				Heu Ernte	Spätheu Ernte	Sommer Getreide		
1540	29	Ap bis Ende Jahr	Flüsse aus Gletschergebieten extrem niedrig nur noch Mühlen an grossen Flüssen in Betrieb kleinere Flüsse und Quellen meist trocken	keine	spärlich	gering	Dürre- Schäden	verbreitet Waldränder Mittelland
1669	19	20. Jun bis Jan 1670	Rhein bei Basel extrem niedrig Töss trocken, viele Mühlen stillgelegt		spärlich			(Ostschweiz)
1603	19	März bis Nov	extremer Wassermangel, auch auf Alpen viele Mühlen stillgelegt	gering				(Zentralschweiz)
1947	17	Ap Ma Jn Ag Se Ok	Töss: Abfluss im Herbst sehr gering Rhein: stark unternormaler Abfluss im Se Ok		spärlich	gering		Borkenkäfer Mittelland ohne Alpen
1536	15	Jl Ag Se	Wassermangel für Vieh, Mühlen stillgelegt		spärlich			(Zentralschweiz)
1706	15	(Jn) (Jl) Ag			spärlich			(Nordostschweiz)
1728	15	Ap Ma Jn Ag						Mittelland
1822	15	Mz Ap Jn						
1567	14	Ap Ma Jn Jl		gering		gering		Mittelland
1645	14	Ma Jn Jl Ag		gering			Schaden	(Nordostschweiz)
1718	14	Mz Ap Ma Jn Ag		gering				Mittelland
1559	13	(Jn) Jl Ag	Mühlen stillgelegt				Schaden	(N und NE Schweiz)
1611	13	Mz Ap Ma						(Zentralschweiz)
1616	13	Jn Jl (Ag)			spärlich			(Nordostschweiz)
1719	13	Ma Jn Ag	Mühlen stillgelegt, Trinkwassermangel	gering			Schaden	mehr im westl. Mittelland
1724	11	Mz Ap Ma Jn Ag	Mühlen stillgelegt, Emme trocken, Quellen versiegen					va. westl. Mittel- land

4 Fazit

Die bisherigen Forschungen zu sommerlichen Trockenperioden in Mitteleuropa haben sich bisher stark am Beispiel der Periode 1943 bis 1952 mit ihrem Höhepunkt im Dürresommer 1947 orientiert, die vielfach als einzigartig in den letzten Jahrhunderten betrachtet worden sind. Die vorliegenden Ergebnisse tragen dazu bei, diese Ansicht zu relativieren: Sie unterstreichen nicht nur den seit einiger Zeit bekannten Tatbestand, dass die Dürre des Sommers 1540 jene von 1947 punkto Dauer und Intensität buchstäblich in den Schatten stellte. Sie deuten auch darauf hin, dass, was die Häufigkeit von Dürresommern betrifft, die letzten fünf Jahrhunderte in zwei unterschiedliche Perioden von annähernd gleicher Länge gegliedert werden können, indem sommerliche Trockenperioden in den zwei Jahrhunderten 1525 bis 1730 wesentlich häufiger auftraten als seither. Bei der Interpretation dieser Zahlen ist allerdings zu berücksichtigen, dass die Daten in der älteren Periode fast ausschliesslich aus der Zentral- und Nordostschweiz stammen, wodurch regionale Effekte stärker ins Gewicht fallen, während die Daten von 1780 und vor allem von 1864 an die westlichen Landesteile mit berücksichtigen. Ihren Höhepunkt erreichte die Tendenz zur Häufung von sommerlichen Dürreperioden in den Jahren 1718 bis 1728, als jeder zweite Sommer wesentlich zu trocken war. Zwar trat in diesen 11 Jahren kein Jahrhundertereignis hervor, aber zweimal (1718/19 und 1723/24) kamen unmittelbar aufeinanderfolgende Trockensommer und dazwischenliegende regenarme Winter und Frühjahrsperioden in ihrer kumulativen Wirkungen auf den Wasserhaushalt einem solchen gleich. Die Auswirkungen dieser langen Dürreperiode auf Ökosysteme wäre zu untersuchen.

Gesamthaft gesehen war die Belastung des 20. Jahrhunderts durch Dürresommer bemerkenswert gering, wie dies bereits für Naturkatastrophen (Lawinen, Überschwemmungen) festgestellt worden ist. Auch in dieser Hinsicht trägt das zu Ende gehende Jahrhundert seine Bezeichnung als Gunstjahrhundert offensichtlich zu Recht.

5 Bibliographie

- BADER, S., KUNZ, P., 1998: Klimarisiken - Herausforderung für die Schweiz. Wissenschaftlicher Schlussbericht des Nationalen Forschungsprogrammes "Klimaänderungen und Naturkatastrophen", NFP31. Zürich (VdF).
- GHEZZI, C., 1926: Die Abflussverhältnisse des Rheins in Basel. Bern.
- GLASER, R., BRAZDIL, R., PFISTER, C., BARRIENDOS, M., CAMUFFO, D., DEUTSCH, M., DOBROVOLNY, P., ENZI, S., GUIDOBONI, E., KOTYZA, O., MILITZER, S., RACZ, L., RODRIGO, F. S., 1999: Seasonal Temperature and Precipitation fluctuations in Selected parts of Europe, in: Pfister, C., Brazdil, R. Glaser, R. (eds.), Climatic Variability in Sixteenth Century Europe and its Social Dimension. Kluwer, Dordrecht, 169-200.
- GURTZ, J., BALTENSWELER, A., LANG, H., MENZEL, L., SCHULLA, J., 1997: Auswirkungen von klimatischen Variationen auf Wasserhaushalt und Abfluss im Flussgebiets des Rheins. Projektabschlussbericht im Rahmen des nationalen Forschungsprogramms "Klimaänderung und Naturkatastrophen in der Schweiz" NFP31. Zürich.
- KUHN, 1973: Frequenzen von Trockenperioden und ihre ökologische Bedeutung. Vierteljahresschrift der Naturforschenden Gesellschaft in Zürich, 118/3: 257-298.
- LEMANS, A. M., 1981: Niederschlag. Klimatologie der Schweiz, 13. Teil. In: Annalen der Schweizerischen Meteorologischen Anstalt, 80/27E, Beiheft.
- PFISTER, C., BÜTIKOFER, N., SCHULER, A., VOLZ, R., 1988: Witterungsextreme und Waldschäden in der Schweiz. Eine historisch-kritische Untersuchung von Schadenmeldungen aus schweizerischen Wäldern in ihrer Beziehung zur Klimabelastung, insbesondere durch sommerliche Dürreperioden. In: Schriften des Bundesamtes für Forstwesen, Bern.
- PFISTER, C., 1998: Raum-zeitliche Rekonstruktion von Witterungsanomalien und Naturkatastrophen 1496-1995. Unter Mitarbeit von Daniel Brändli, Beat Brodbeck; Jürg Luterbacher. Schlussbericht des Nationalen Forschungsprogrammes "Klimaänderungen und Naturkatastrophen", NFP31. Zürich.
- PFISTER, C., 1999: Wetternachhersage. 500 Jahre Klimavariationen und Naturkatastrophen 1496-1995. Bern (Paul Haupt).
- BRAZDIL, R., 1999: Climatic Variability in Sixteenth Century Europe and its Social Dimension. A synthesis, in: dieselben, Climatic Variability in Sixteenth Century Europe and its Social Dimension. "Climatic Change" 1/43, pp 5-53, zugleich in Buchform bei Kluwer, Dordrecht.
- PRIMAULT, B., 1981: Extension de la validité de la formule suisse de calcul de l'évapotranspiration. Arbeitsberichte der Schweiz. Meteor. Zentralanstalt, Nr. 103, Zürich.
- SCHORER, M., 1992: Extreme Trockensommer in der Schweiz im 20. Jh. und ihre Folgen für Natur und Wirtschaft. Geographica Bernensia, G 40.
- SCHRÖDER, U., 1992: Zur Abschätzung von Niedrigwasserabflüssen im Schweizer Mittelland. Dissertation, Geographisches Institut, Universität Bern.
- WESTERMANN, 1968, 1970: W'Lexikon der Geographie, Braunschweig.

Trockenheit in der Schweiz: Trends im 20. Jahrhundert und Szenarien für die Zukunft

Unterlagen zum OcCC/ProClim- Workshop vom
4. April 2000 in Bern

Autor: Dr. Dimitrios Gyalistras¹

Inhalt

1	EINLEITUNG	B-2
2	TRENDS IM 20. JAHRHUNDERT	B-3
	2.1 Niederschlagswahrscheinlichkeit	B-3
	2.2 Mittlere Andauer von Trockenperioden	B-5
	2.3 Häufigkeit von längeren Trockenperioden	B-6
3	KLIMASZENARIEN	B-8
	3.1 Überblick	B-8
	3.2 Alpine Temperaturszenarien	B-9
	3.3 Alpine Niederschlagsszenarien	B-10
	3.4 Alpine Szenarien für mehrere Klimaparameter	B-11
4	ZITIERTE LITERATUR	B-13

¹Geographisches Institut der Universität Bern, Hallerstr. 12, CH-3012 Bern.
E-Mail: gyalistras@giub.unibe.ch

1 Einleitung

Übliche monatliche bis annuelle Indikatoren für Trockenheit:

- a) Basierend auf Angaben für den Niederschlag ($N = \text{Regen} + \text{Schnee}$) allein:
 - N-Summe
 - N-Wahrscheinlichkeit
 - Mittlere Andauer von Trockenperioden, definiert als aufeinanderfolgende Tage mit täglicher N-Summe $<$ Schwellenwert
 - Wahrscheinlichkeit, dass ein Tag zu einer Trockenperiode der Länge L gehört, wobei $l_1 \leq L < l_2$, mit $0 < l_1 < l_2$
- b) Basierend auf Angaben für mehrere Wettervariablen, z.B.:
 - Palmer Drought Severity Index (PDI; PALMER, 1964; ALLEY, 1984)
 - Trockenheitsstress-Indikator nach BUGMANN & CRAMER (1998)
 - Dürre-Index (D) nach PFISTER & RUTISHAUSER (2000)

Neuere relevante Arbeiten für die Schweiz:

- WIDMANN & SCHÄR (1997) untersuchten an 113 schweizerischen Messstationen die Trends der saisonalen Niederschlagssummen während des 20. Jahrhunderts. Im Norden und Westen der Schweiz fanden sie für den Winter Niederschlagszunahmen um bis zu 30% pro hundert Jahren. Für die anderen Jahreszeiten wurden keine signifikanten Trends gefunden.
- REBETEZ (1999) untersuchte die Trends von Trockenheitsindikatoren an acht ausgewählten schweizerischen Standorten auf der Alpennord- und südseite. Sie fand für Lugano und Locarno im 20. Jahrhundert signifikante Zunahmen in der Andauer und Häufigkeit von längeren Trockenperioden (definiert als mehr als 60 Tage mit täglicher N-Summe ≤ 10 mm).

In diesem Dokument präsentieren wir, erstens, einige neue statistische Analysen zur Trockenheit in der Schweiz im 20. Jahrhundert. Zweitens stellen wir kurz den Wissensstand zu möglichen zukünftigen Veränderungen der Trockenheit in Europa vor. Schliesslich geben wir einen Überblick über die momentan für den Alpenraum zur Verfügung stehenden, im Hinblick auf die Trockenheitsproblematik relevanten Klimaszenarien.

2 Trends im 20. Jahrhundert

Für die Analyse von Trockenheitsindikatoren in der Schweiz stützten wir uns auf tägliche Niederschlagssummen aus 114 langjährigen (Periode 1901-1996) schweizerischen Messstationen (Fig. 1). Alle berechneten Statistiken wurden auf ein reguläres Gitter mit einer Auflösung von $0.05^\circ \times 0.05^\circ$ interpoliert. Dabei verwendeten wir invers-distanzgewichtete Interpolation mit Gewichten $\sim (1/r)^a$, wobei $a = 1$. Für jeden Gitterpunkt wurden alle vorhandenen Messstationen im Umkreis von 40 km verwendet. Es wurden keine Abhängigkeiten der interpolierten Parameter von der Höhe oder vom Relief berücksichtigt. Die interpolierten Karten zeigen ein räumlich gemittelttes Bild, so dass lokale Extremwerte unterdrückt werden.

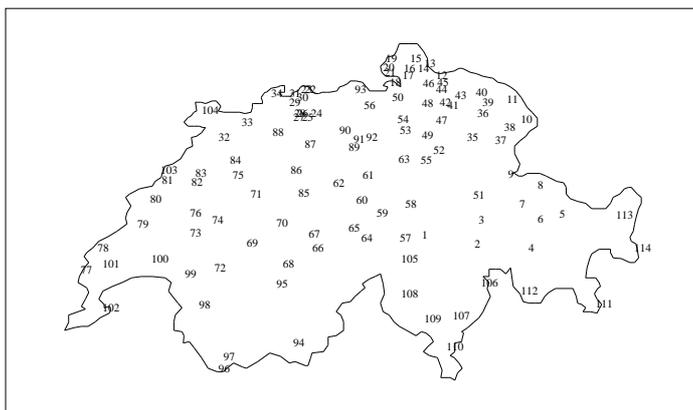


Fig. 1: Standorte von langjährigen schweizerischen Niederschlagsmessstationen, die zur Kartierung von Trockenheitsindikatoren verwendet wurden.

2.1 Niederschlagswahrscheinlichkeit

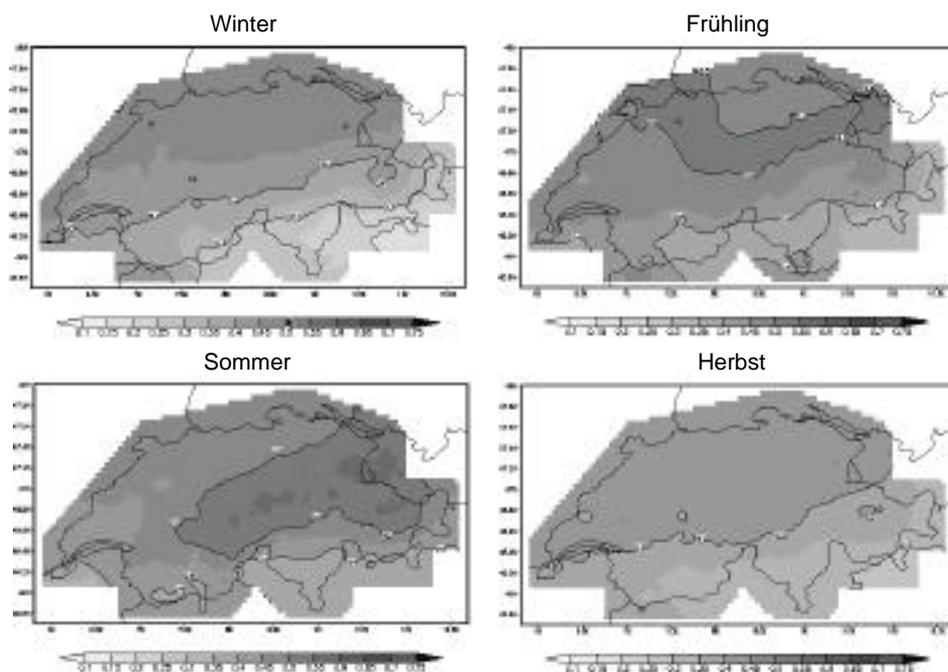


Fig. 2a: Langjährige saisonale Niederschlagswahrscheinlichkeiten in der Schweiz in der Periode 1901-1996. Gezeigt sind die Wahrscheinlichkeiten für Tage mit Niederschlagssumme 0.1 mm.

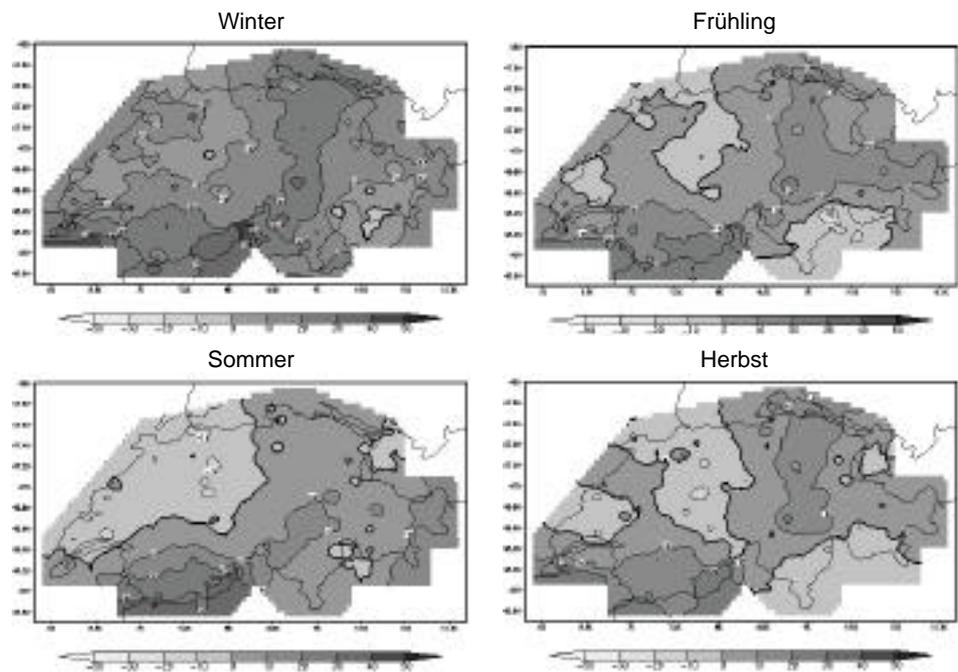


Fig. 2b: Trends der saisonalen Niederschlagswahrscheinlichkeiten in der Schweiz in der Periode 1901-1996 (in % per 96 Jahre). Die Prozentangaben beziehen sich auf die langjährigen saisonalen Niederschlagswahrscheinlichkeiten für die Periode 1901-1996 (siehe Fig. 2a).

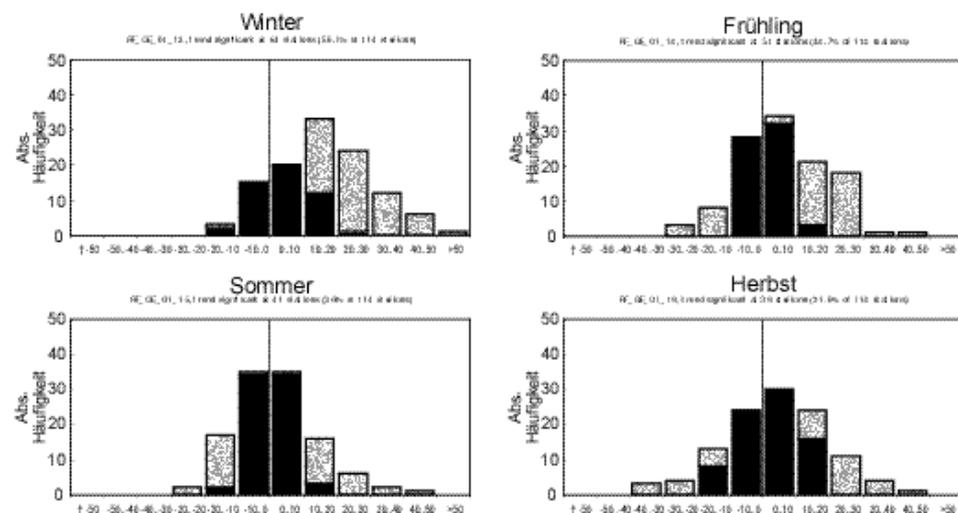


Fig. 2c: Häufigkeitsverteilungen der Trends (in % per 96 Jahre, siehe Fig. 2b) der saisonalen Niederschlagswahrscheinlichkeiten aus 114 schweizerischen Klimastationen. *Schwarz*: statistisch nicht signifikante Trends; *grau*: statistisch signifikante Trends (F-Test, Hypothese H_0 : Steigung der Trendgeraden = 0, $\alpha = 10\%$).

2.2 Mittlere Andauer von Trockenperioden

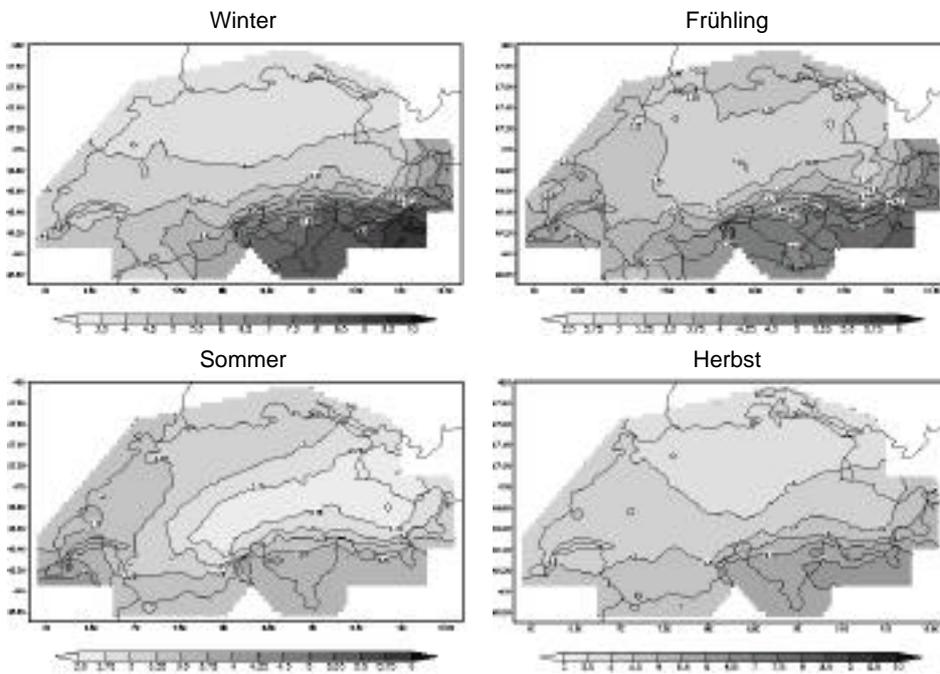


Fig. 3a: Mittlere Andauern von Trockenperioden in der Schweiz in der Periode 1901-1996 (in Tagen). Trockenperioden wurden definiert als aufeinanderfolgende Tage mit Niederschlagssumme < 0.1 mm. Man beachte die unterschiedlichen Wertebereiche für den Winter und den Herbst vs. den Frühling und den Sommer.

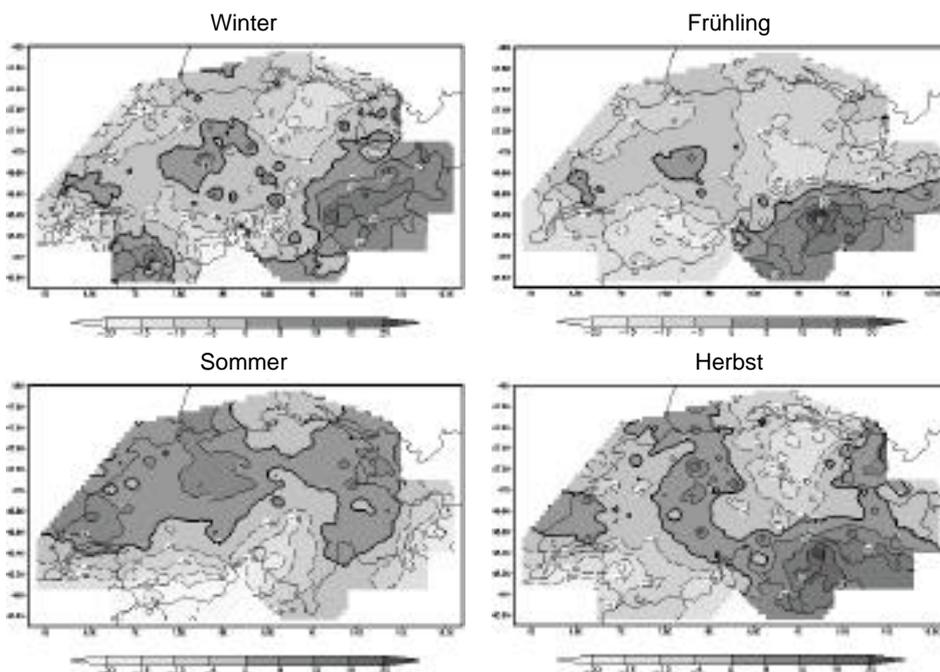


Fig. 3b: Trends der mittleren Andauern von Trockenperioden in der Schweiz in der Periode 1901-1996 (in % per 96 Jahren). Die Prozentangaben beziehen sich auf die langjährigen mittleren Andauern für die Periode 1901-1996 (siehe Fig. 3a).

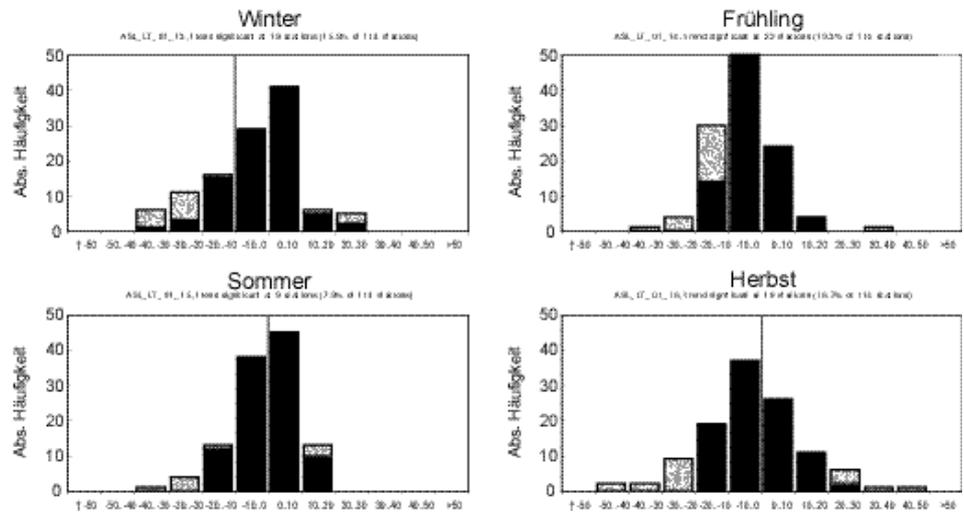


Fig. 3c: Häufigkeitsverteilungen der Trends (in % per 96 Jahre, siehe Fig. 3b) der mittleren Andauern von Trockenperioden aus 114 schweizerischen Klimastationen. *Schwarz*: statistisch nicht signifikante Trends; *grau*: statistisch signifikante Trends (F-Test, Hypothese H_0 : Steigung der Trendgeraden = 0, $\alpha = 10\%$).

2.3 Häufigkeit von längeren Trockenperioden

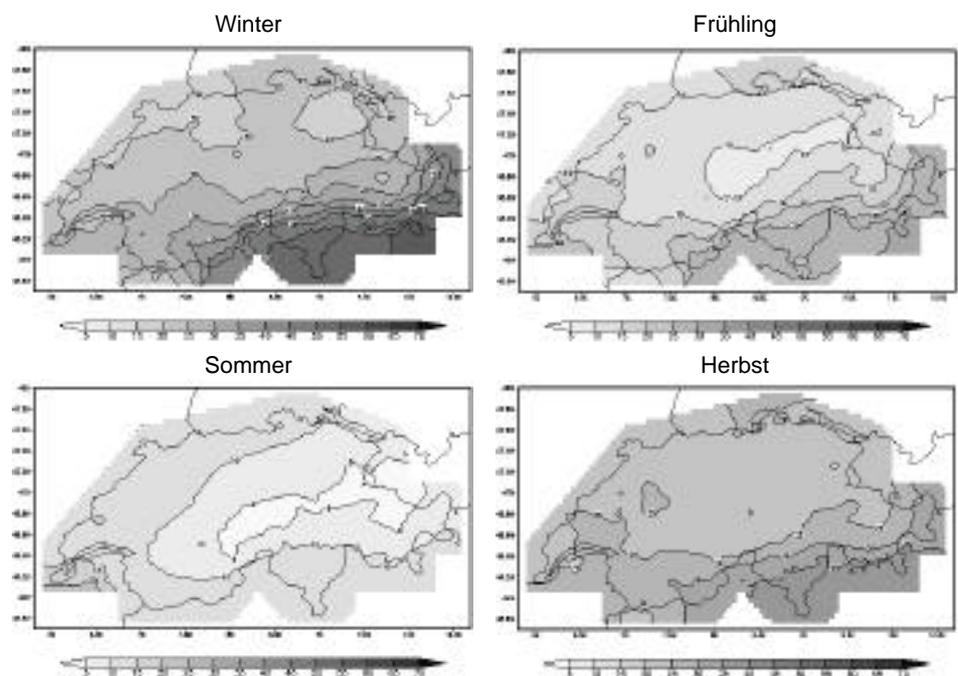


Fig. 4a: Langjährig gemittelte Prozentanteile von Tagen innerhalb von längeren Trockenperioden in der Periode 1901-1996. Trockenperioden wurden definiert als mindestens 10 aufeinanderfolgende Tage mit Niederschlagssumme < 0.5 mm.

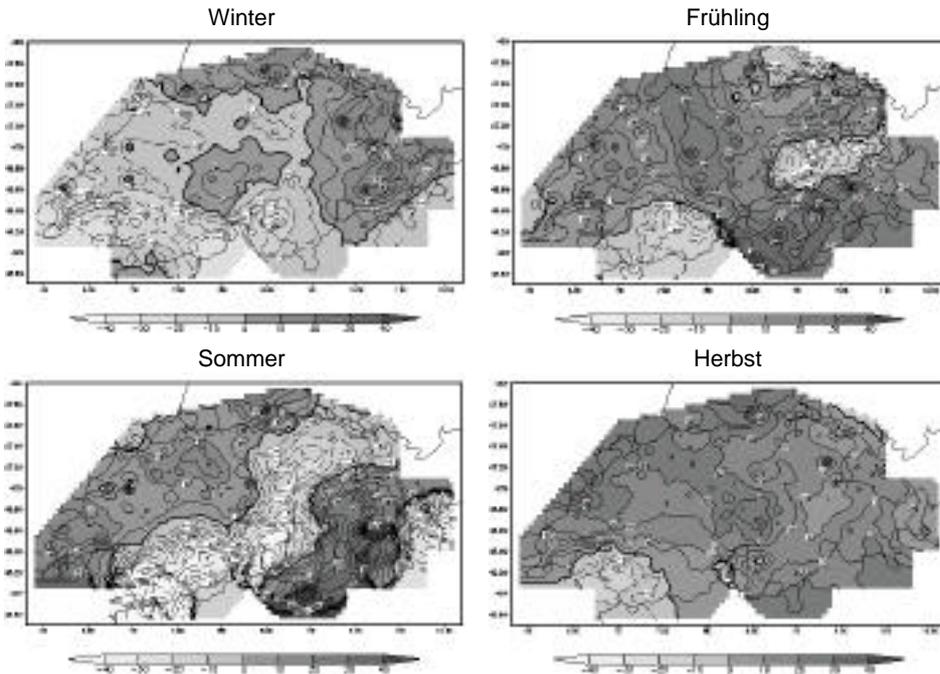


Fig. 4b: Trends der Prozentanteile von Tagen innerhalb von längeren Trockenperioden in der Periode 1901-1996 (in % per 96 Jahre). Die Prozentangaben beziehen sich auf die langjährig gemittelten Prozentanteile für die Periode 1901-1996 (siehe Fig. 4a).

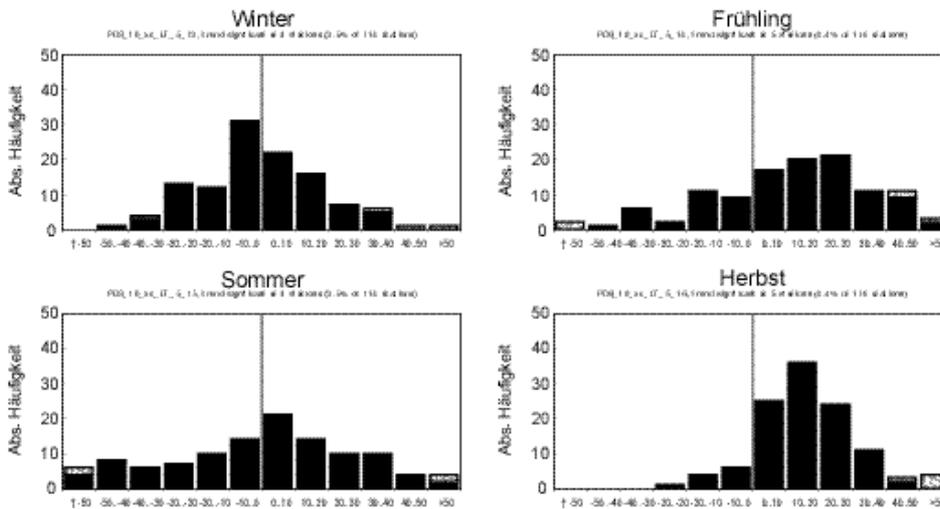


Fig. 4c: Häufigkeitsverteilungen der Trends (in % per 96 Jahre, siehe Fig. 4b) der Prozentanteile von Tagen innerhalb einer längeren Trockenperiode aus 114 schweizerischen Klimastationen. *Schwarz*: statistisch nicht signifikante Trends; *grau*: statistisch signifikante Trends (F-Test, Hypothese H_0 : Steigung der Trendgeraden = 0, $\alpha = 10\%$).

3 Klimaszenarien

3.1 Überblick

Überblick der wichtigsten uns bekannten, neueren (1995) Arbeiten zu möglichen Veränderungen der Trockenheit unter einer globalen Erwärmung:

KATTENBERG *et al.* (1996 = IPCC-Bericht '95): Unter "Business-As-Usual"-Annahmen ergaben verschiedene globale Klimamodelle je nach Region, Jahreszeit und Modell recht unterschiedliche Resultate. Mehrere globale Modelle simulierten eine Abnahme der Bodenfeuchte in den mittleren Breiten, insbesondere über Zentral- und Südeuropa im Sommer.

CUBASCH *et al.* (1995, 1996): Verschiedene Simulationen mit globalen Klimamodellen aus der ECHAM-Modellfamilie ergaben im Mittel über Zentral- und Südeuropa für alle Jahreszeiten eine Abnahme der Anzahl Niederschlagstage.

JONES *et al.* (1996), GREGORY *et al.* (1997): Eine transiente "Business-As-Usual"-Simulation mit dem UKMO-GCM ergab ein häufigeres Auftreten von Trockenperioden und eine Verstärkung der Bodentrockenheit über Zentraleuropa (generell negativer Trend im PDI).

HENNESY *et al.* (1997): Zwei globale Klimamodelle (UKHI und CSIRO9) zeigten unter "2xCO₂"-Bedingungen für die mittleren Breiten eine Zunahme der mittleren Niederschlagsintensität bei gleichzeitiger Abnahme der Niederschlagswahrscheinlichkeit (weniger häufige, dafür aber intensivere Niederschläge).

GYALISTRAS *et al.* (1997, 1998) und GYALISTRAS (2000): Regionale Klimaszenarien für den Alpenraum zeigten für die saisonal gemittelten Temperaturen und Niederschläge sowie weitere trockenheitsrelevante Parameter räumlich wie jahreszeitlich sehr komplexe und zum Teil gegensätzliche Veränderungsmuster.

3.2 Alpine Temperaturszenarien

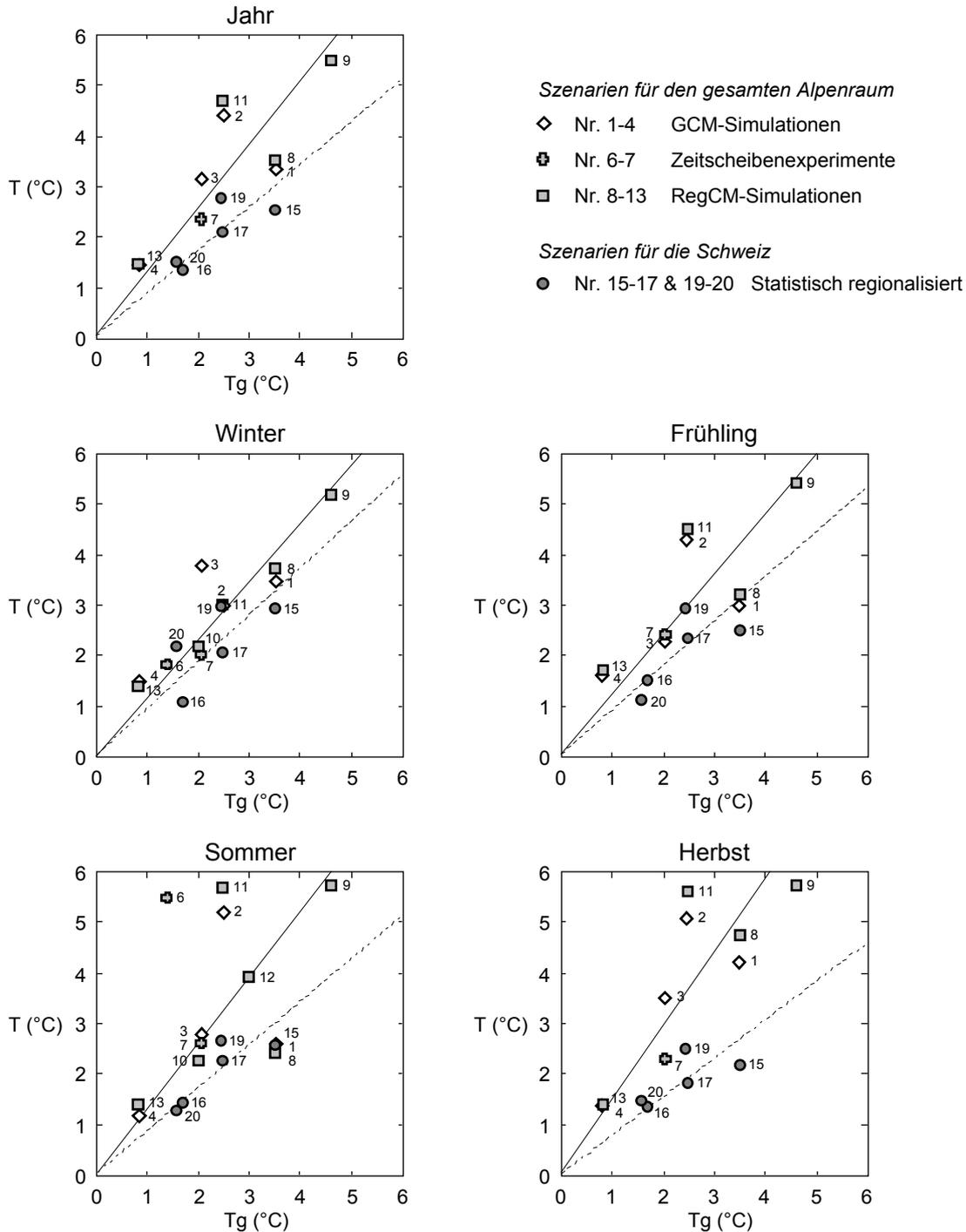


Fig. 5: Vergleich von Temperaturszenarien für den Alpenraum (Szenarien Nr. 1-13) und die Schweiz (Szenarien Nr. 15-17 und 19-20). Alle Angaben sind Gebietsmittel über dem entsprechenden Gebiet. Die Szenarien basieren auf unterschiedlichen Ausgangsannahmen und beziehen sich auf unterschiedliche zukünftige Zeitpunkte. T: Abweichung des unter Szenariobedingungen simulierten langjährigen Temperaturmittels vom Mittel der jeweiligen Kontrollsimulation (heutiges Klima). Tg: Veränderung der global und annuell gemittelten bodennahen Lufttemperatur im jeweils zugrundegelegten globalen Klimaszenario. Gezeigt sind auch die durch den Ursprung gehenden Regressionsgeraden für den gesamten Alpenbogen (durchgezogen) und die Schweiz (gestrichelt) in Abhängigkeit von Tg. Aus GYALISTRAS (2000).

3.3 Alpine Niederschlagsszenarien

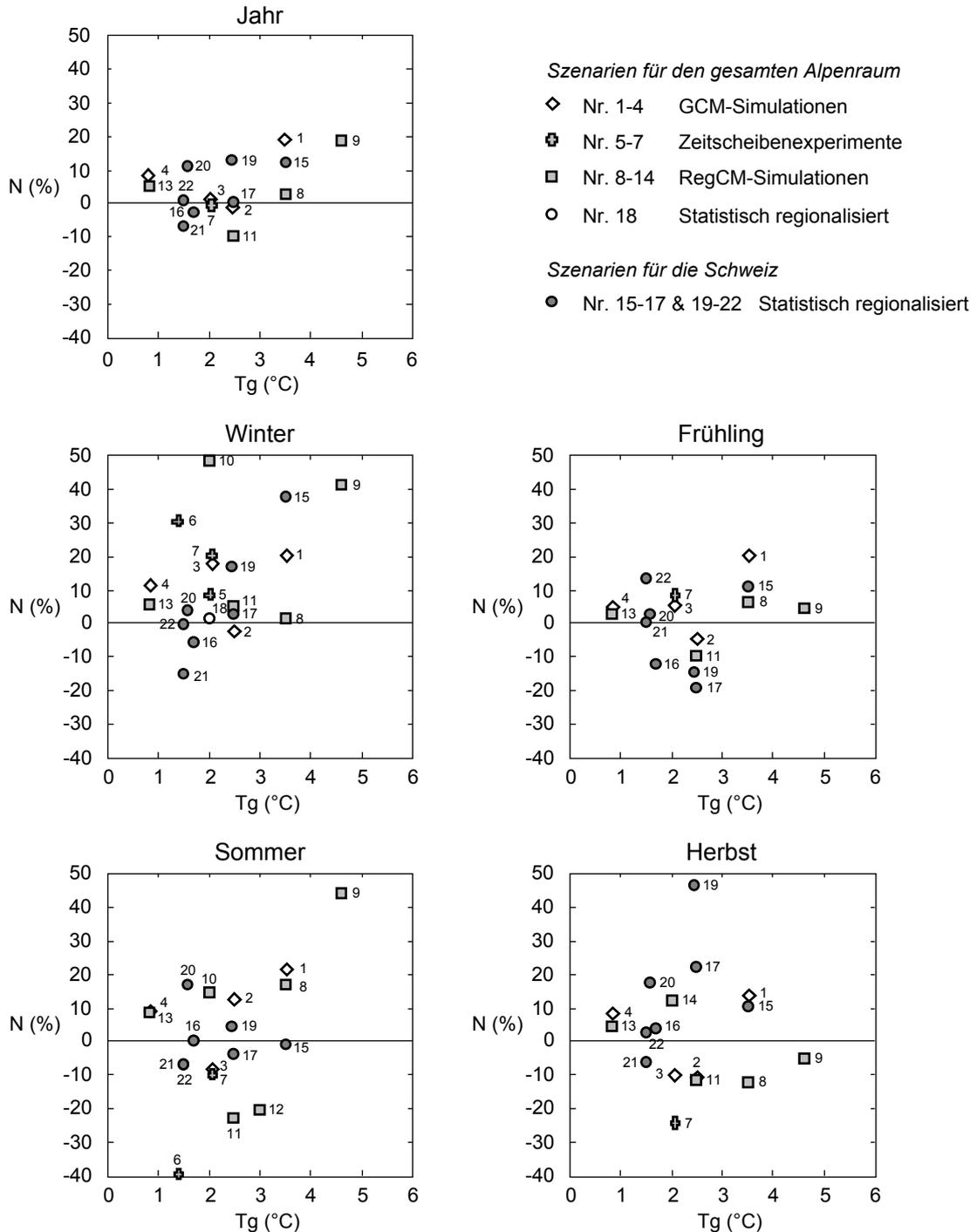


Fig. 6: Vergleich von Niederschlagsszenarien für den Alpenraum (Szenarien Nr. 1-14 und 18) und die Schweiz (Szenarien 15-17 und 19-22). Alle Angaben sind Gebietsmittel über dem entsprechenden Gebiet. Die Szenarien basieren auf unterschiedlichen Ausgangsanahmen und beziehen sich auf unterschiedliche zukünftige Zeitpunkte. N: Abweichung des unter Szenariobedingungen simulierten langjährigen Niederschlagsmittels vom Mittel der jeweiligen Kontrollsimulation (heutiges Klima). Tg: Veränderung der global und annuell gemittelten bodennahen Lufttemperatur im jeweils zugrundegelegten globalen Klimaszenario. Aus GYALISTRAS (2000).

3.4 Alpine Szenarien für mehrere Klimaparameter

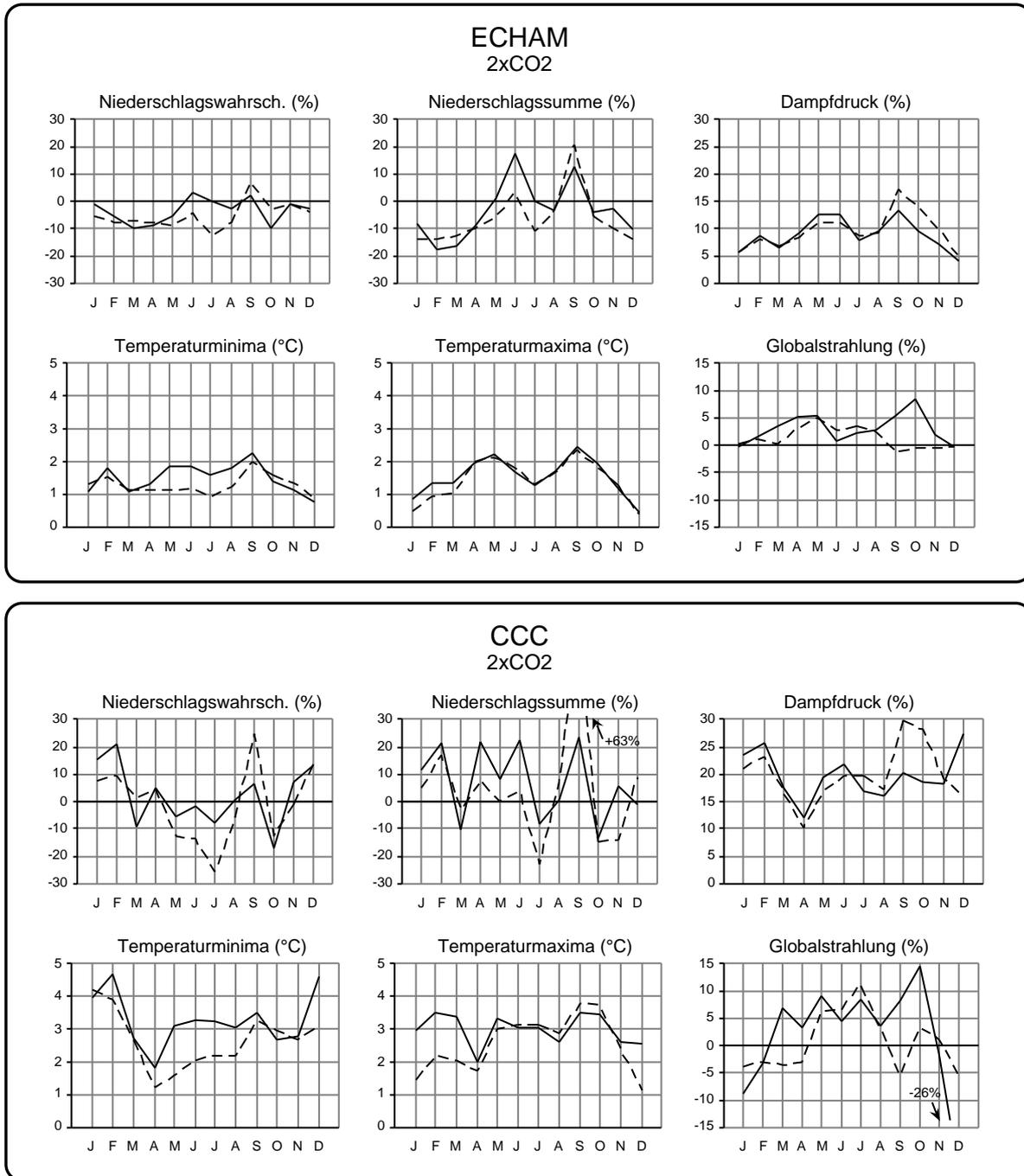


Fig. 7: Zwei Szenarien für mögliche Veränderungen (D) der Erwartungswerte ausgewählter monatlicher Klimaparameter in Bern (durchgezogen) und La Chaux-de-Fonds (gestrichelt) unter "2xCO₂"-Bedingungen. Alle Veränderungen beziehen sich auf das Klima der Periode 1901-1980. Die Szenarien wurden mittels der statistischen Regionalisierungsmethode von GYALISTRAS *et al.* (1994) aus zwei "2xCO₂"-Simulationen mit dem ECHAM1-T21/LSG-GCM (CUBASCH *et al.* 1992; oben), bzw. dem CCC-GCMII (BOER *et al.* 1992; unten) berechnet. Aus GYALISTRAS *et al.* (1997).

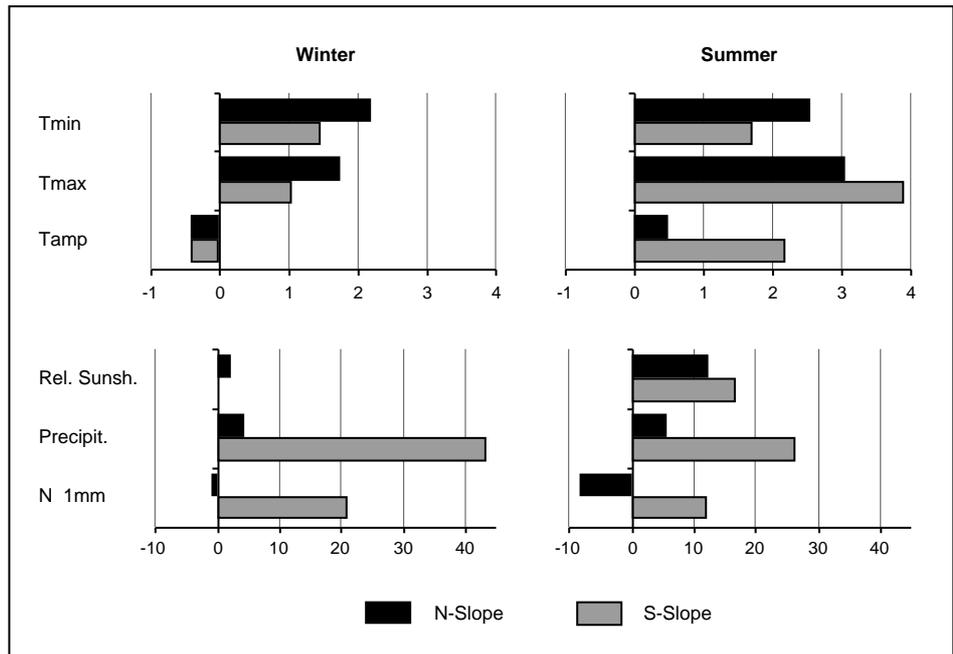


Fig. 8: Ein "Business-As-Usual" Klimaszenario für die Schweiz in der Periode 2075-2084. Das Szenario wurde mittels der statistischen Regionalisierungsmethode von GYALISTRAS *et al.* (1994) aus einer zeitabhängigen Simulation mit dem ECHAM1-T21/LSG-GCM (CUBASCH *et al.* 1992) berechnet. N-Slope und S-Slope bezeichnen die mittleren berechneten Veränderungen für drei Standorte auf der schweizerischen Alpennordseite (Bern, Davos, Saentis), bzw. zwei Standorte auf der Alpensüdseite (Bever, Lugano). *Tmin / Tmax*: Saisonales Mittel der Tagestemperaturminima bzw. -maxima; *Tamp*: Saisonales Mittel der Tagestemperaturamplitude; *Rel. Sunsh.*: mittlere relative Sonnenscheindauer (ohne Saentis); *Precipit.*: mittlere Niederschlagssumme (ohne Saentis); *N 1*: Anzahl Tage mit Niederschlagssumme 1 mm (ohne Saentis). Die Veränderungen für die Temperaturparameter sind in °C, für alle anderen Klimaparameter in % des Mittels der Jahre 1901-1980 angegeben. Aus GYALISTRAS *et al.* (1998).

4 Zitierte Literatur

- ALLEY, W.M. (1984). The Palmer drought severity index: Limitations and assumptions. *Journal of Climate and Applied Meteorology* **23**: 1100–1109.
- BOER, G.J., MCFARLANE, N.A. & LAZARE, M. (1992). Greenhouse gas-induced climate change simulated with the CCC second-generation general circulation model. *Journal of Climate* **5**: 1045-1077.
- BUGMANN, H. & CRAMER, W. (1998). Improving the behaviour of forest gap models along drought gradients. *Forest Ecology and Management* **103**: 247-263.
- CUBASCH, U., HASSELMANN, K., HÖCK, H., MAIER-REIMER, E., MIKOLAJEWICZ, U., SANTER, B.D. & SAUSEN, R. (1992). Time-dependent greenhouse warming computations with a coupled ocean-atmosphere model. *Climate Dynamics* **8**(55): 55-69.
- CUBASCH, U., WASZKEWITZ, J., HEGERL, G. & PERLWITZ, J. (1995). Regional climate changes as simulated in time-slice experiments. *Climatic Change* **31**: 273-304.
- CUBASCH, U., VON STORCH, H., WASZKEWITZ, J. & ZORITA, E. (1996). Estimates of climate change in Southern Europe derived from dynamical climate model output. *Climate Research* **7**: 129-149.
- GREGORY, J.M., MITCHELL, J.F.B. & BRADY, A.J. (1997). Summer drought in northern midlatitudes in a time-dependent CO₂ climate experiment. *Journal of Climate* **10**: 662-686.
- GYALISTRAS, D., VON STORCH, H., FISCHLIN, A. & BENISTON, M. (1994). Linking GCM-simulated climatic changes to ecosystem models: case studies of statistical down-scaling in the Alps. *Climate Research* **4**(3): 167-189.
- GYALISTRAS, D., FISCHLIN, A. & RIEDO, M. (1997). Herleitung stündlicher Wetterszenarien unter zukünftigen Klimabedingungen. In: Fuhrer, J. (ed.): *Klimaänderung und Grünland - eine Modellstudie über die Auswirkungen zukünftiger Klimaveränderungen auf das Dauergrünland in der Schweiz*, vdf, Hochschulverlag AG an der ETH Zuerich, Zürich, pp 207-276.
- GYALISTRAS, D., SCHÄR, C., DAVIES, H.C. & WANNER, H. (1998). Future Alpine climate. In: Cebon, P., Dahinden, U., Davies, H.C., Imboden, D. & Jäger, C. (eds.): *Views from the Alps: regional perspectives on climate change*, MIT Press, Boston, pp 171-223.
- GYALISTRAS, D. (2000). Klimaszenarien für den Alpenraum und die Schweiz: Neuester Stand und Vergleich. In: Wanner, H., Gyalistras, D., Luterbacher, J., Rickli, R., Salvisberg, E. & Schmutz, C.: *Klimawandel im Schweizer Alpenraum*, vdf, Hochschulverlag AG an der ETH Zürich, Zürich, pp 197-236.
- HENNESSY, K.J., GREGORY, J.M. & MITCHELL, J.F.B. (1997). Changes in daily precipitation under enhanced greenhouse conditions. *Climate Dynamics* **13**: 667-680.
- JONES, P.D., HULME, M., BRIFFA, K.R., JONES, C.G., MITCHELL, J.F.B. & MURPHY, J.M. (1996). Summer moisture availability over Europe in the Hadley Centre General Circulation Model based on the Palmer Drought Severity Index. *International Journal of Climatology* **16**: 155-172.
- KATTENBERG, A., GIORGI, F., GRASSL, H., MEEHL, G.A., MITCHELL, J.F.B., STOUFFER, R.J., TOKIOKA, T., WEAVER, A.J. & WIGLEY, T.M.L. (1996). Climate models - projections of future climate. In: Houghton, J.T., Meira Filho, L.G., Callander, B.A., Harris, N., Kattenberg, A. & Maskell, K. (eds.): *Climate Change 1995: The Science of Climate Change. Contribution of Working Group I to the Second Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Cambridge and New York, Cambridge University Press, pp 289-357.
- PALMER, W.C. (1965). *Meteorological drought*. Research Paper 45. U.S. Department of Commerce, Weather Bureau, Washington, D.C., 58 pp.
- PFISTER, C. & RUTISHAUSER, M. (2000). *Dürresommer im Schweizer Mittelland seit 1525*. Unterlagen zum OcCC/ProClim- Workshop vom 4. April 2000 in Bern. Abt. für Wirtschafts- Sozial- und Umweltgeschichte, Historisches Institut der Universität Bern, Schweiz, 15 pp.

Layout:
Alexander Reichenbach, Gabriele Müller-Ferch, ProClim-