
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 gemitteltes Bild, so dass lokale Extremwerte unterdrückt werden.

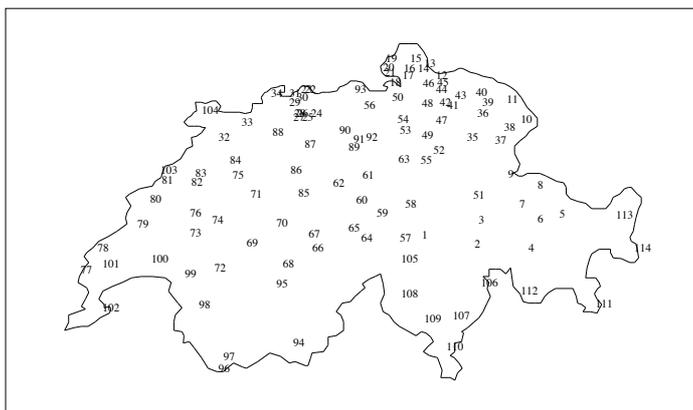


Fig. 1: Standorte von langjährigen schweizerischen Niederschlagsmessstationen, die zur Kartierung von Trockenheitsindikatoren verwendet wurden.

2.1 Niederschlagswahrscheinlichkeit

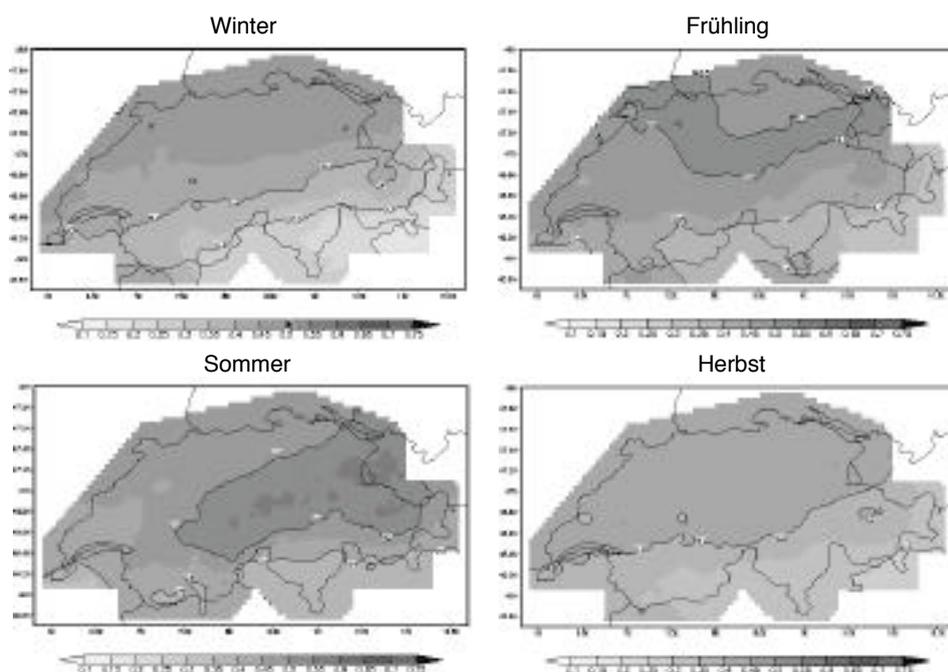


Fig. 2a: Langjährige saisonale Niederschlagswahrscheinlichkeiten in der Schweiz in der Periode 1901-1996. Gezeigt sind die Wahrscheinlichkeiten für Tage mit Niederschlagssumme ≥ 0.1 mm.

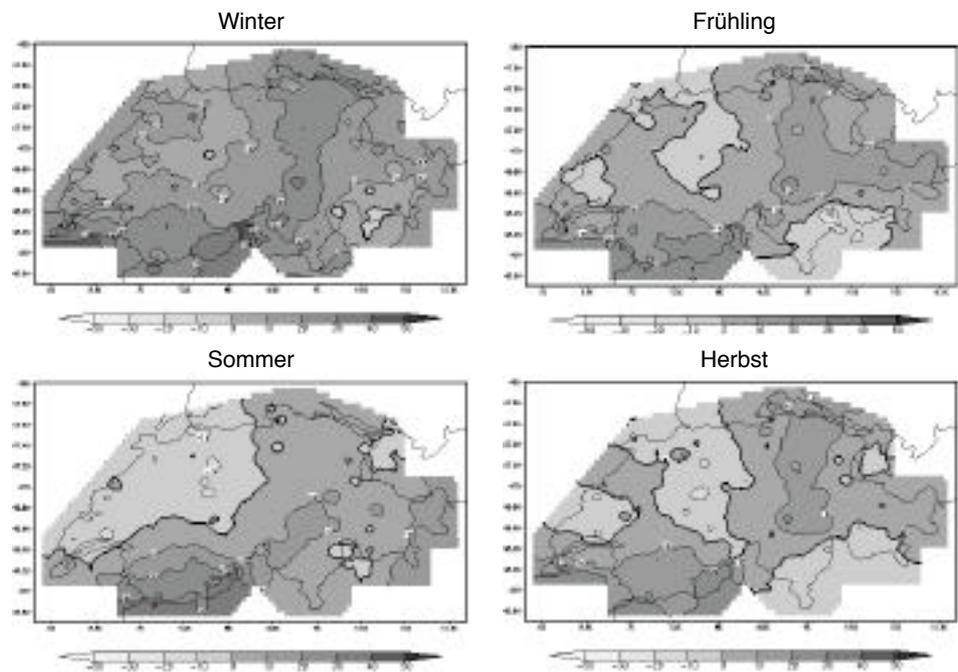


Fig. 2b: Trends der saisonalen Niederschlagswahrscheinlichkeiten in der Schweiz in der Periode 1901-1996 (in % per 96 Jahre). Die Prozentangaben beziehen sich auf die langjährigen saisonalen Niederschlagswahrscheinlichkeiten für die Periode 1901-1996 (siehe Fig. 2a).

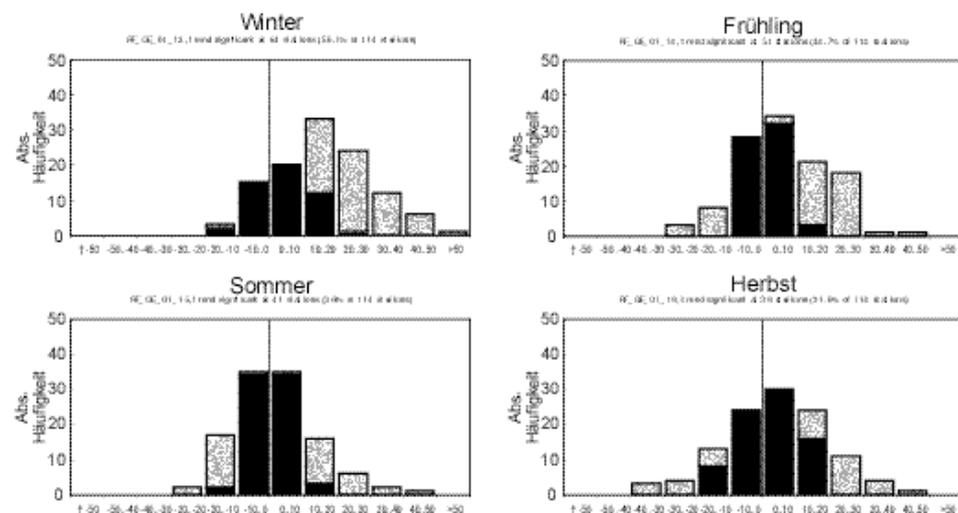


Fig. 2c: Häufigkeitsverteilungen der Trends (in % per 96 Jahre, siehe Fig. 2b) der saisonalen Niederschlagswahrscheinlichkeiten aus 114 schweizerischen Klimastationen. *Schwarz*: statistisch nicht signifikante Trends; *grau*: statistisch signifikante Trends (F-Test, Hypothese H_0 : Steigung der Trendgeraden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

2.2 Mittlere Andauer von Trockenperioden

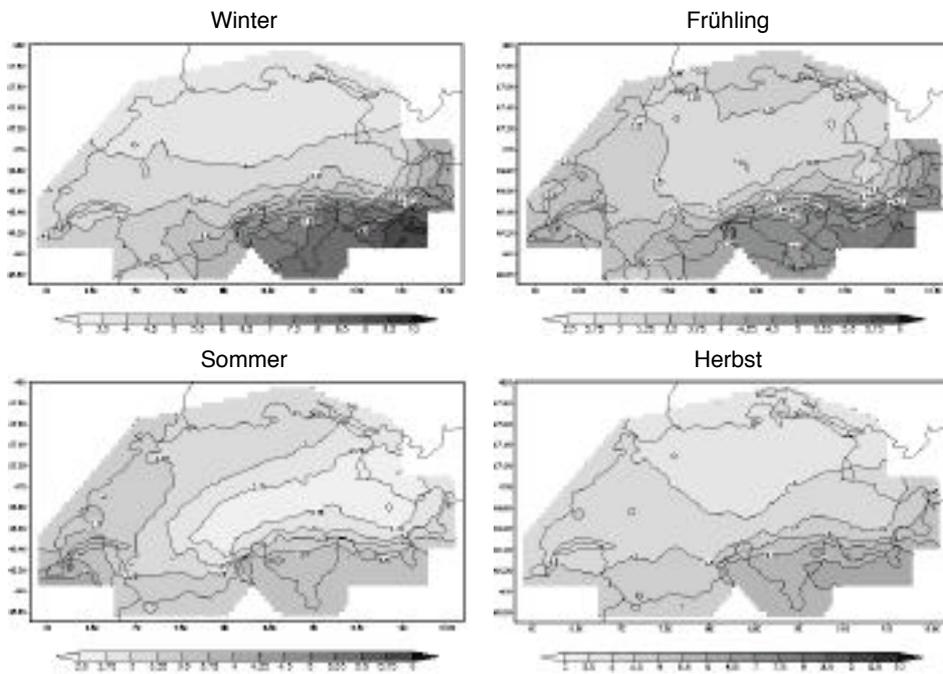


Fig. 3a: Mittlere Andauern von Trockenperioden in der Schweiz in der Periode 1901-1996 (in Tagen). Trockenperioden wurden definiert als aufeinanderfolgende Tage mit Niederschlagssumme < 0.1 mm. Man beachte die unterschiedlichen Wertebereiche für den Winter und den Herbst vs. den Frühling und den Sommer.

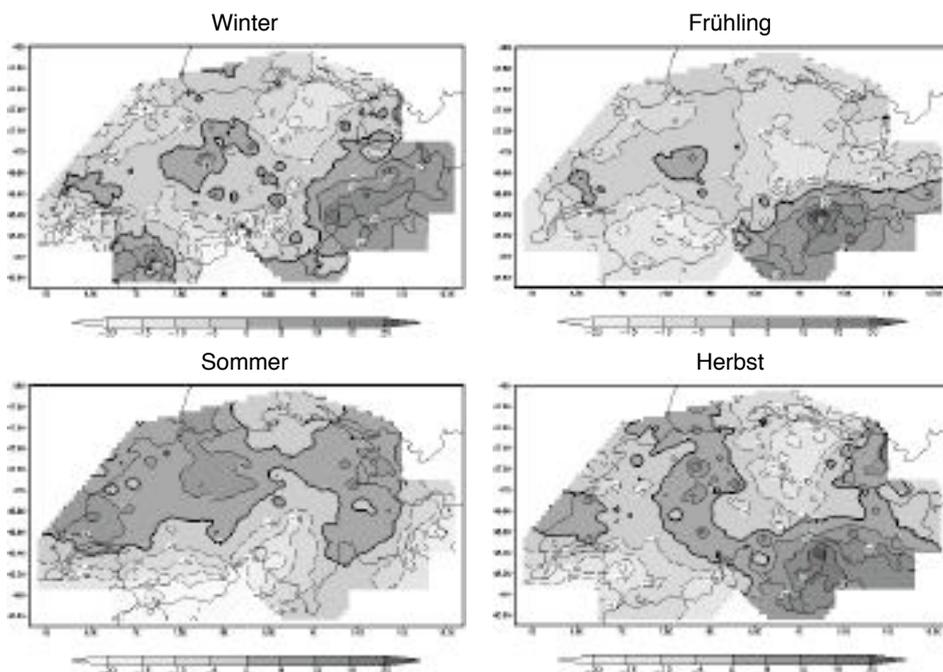


Fig. 3b: Trends der mittleren Andauern von Trockenperioden in der Schweiz in der Periode 1901-1996 (in % per 96 Jahren). Die Prozentangaben beziehen sich auf die langjährigen mittleren Andauern für die Periode 1901-1996 (siehe Fig. 3a).

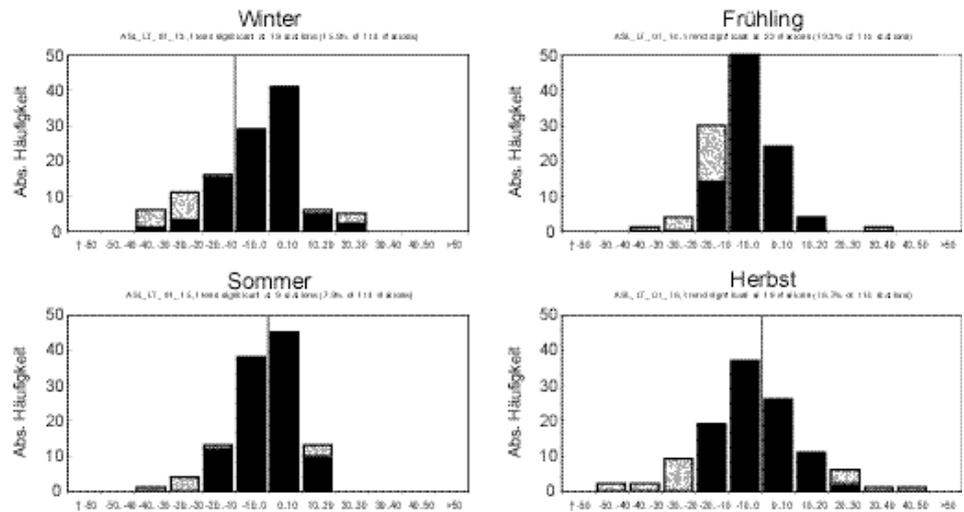


Fig. 3c: Häufigkeitsverteilungen der Trends (in % per 96 Jahre, siehe Fig. 3b) der mittleren Andauern von Trockenperioden aus 114 schweizerischen Klimastationen. *Schwarz*: statistisch nicht signifikante Trends; *grau*: statistisch signifikante Trends (F-Test, Hypothese H_0 : Steigung der Trendgeraden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

2.3 Häufigkeit von längeren Trockenperioden

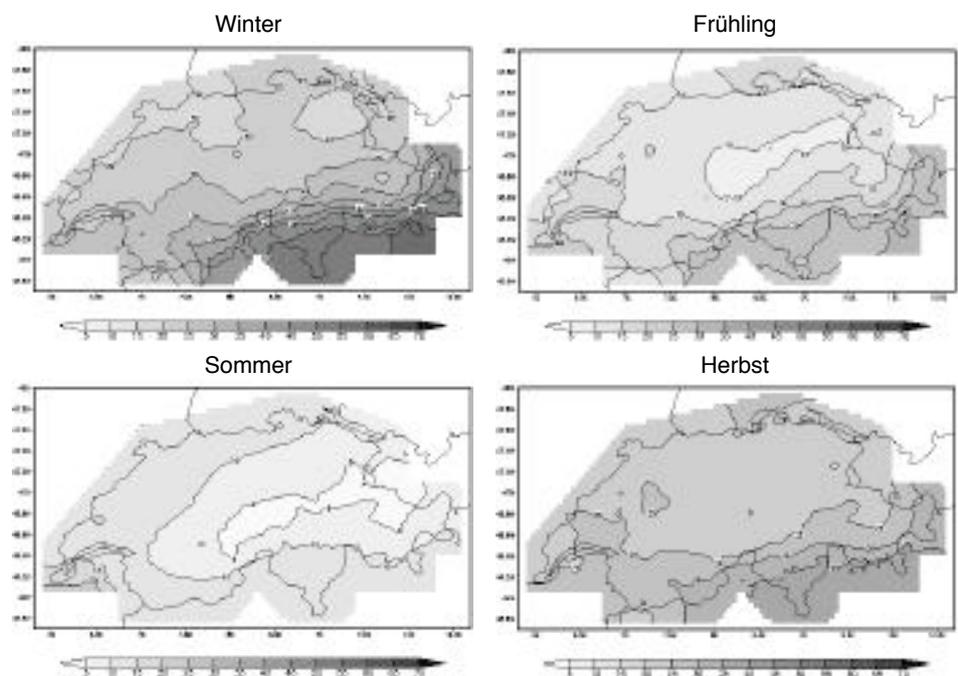


Fig. 4a: Langjährig gemittelte Prozentanteile von Tagen innerhalb von längeren Trockenperioden in der Periode 1901-1996. Trockenperioden wurden definiert als mindestens 10 aufeinanderfolgende Tage mit Niederschlagssumme < 0.5 mm.

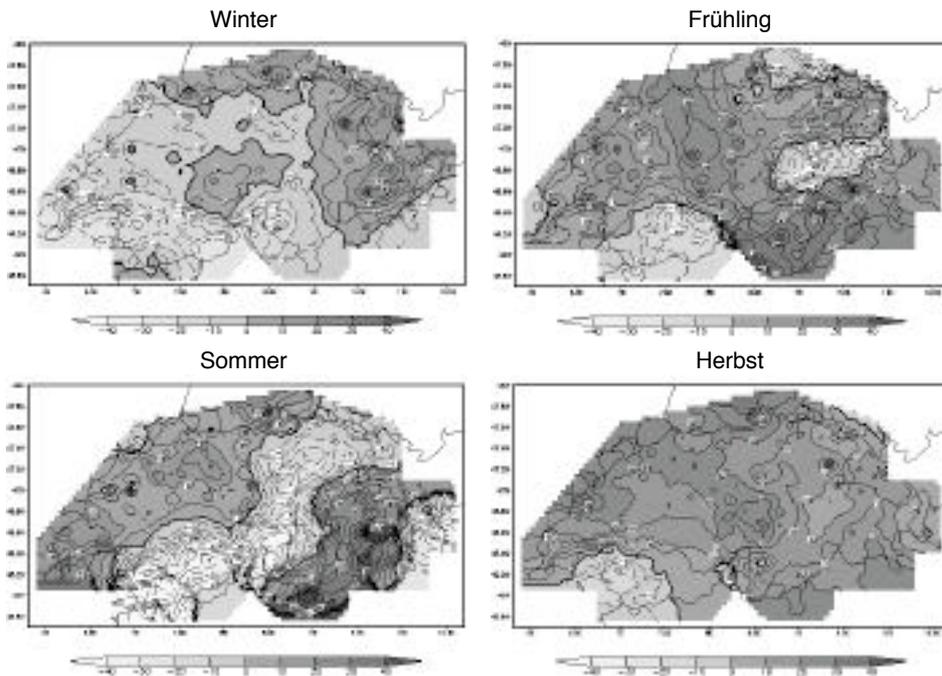


Fig. 4b: Trends der Prozentanteile von Tagen innerhalb von längeren Trockenperioden in der Periode 1901-1996 (in % per 96 Jahre). Die Prozentangaben beziehen sich auf die langjährig gemittelten Prozentanteile für die Periode 1901-1996 (siehe Fig. 4a).

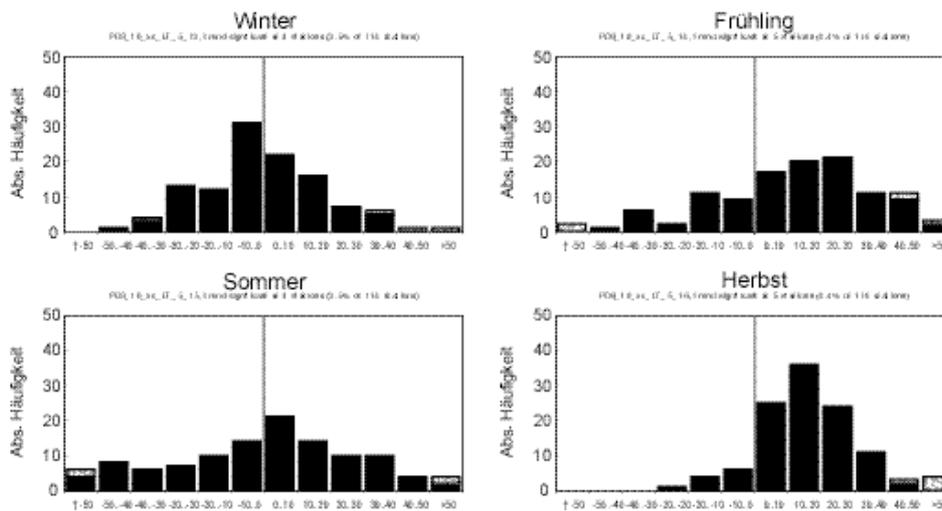


Fig. 4c: Häufigkeitsverteilungen der Trends (in % per 96 Jahre, siehe Fig. 4b) der Prozentanteile von Tagen innerhalb einer längeren Trockenperiode aus 114 schweizerischen Klimastationen. *Schwarz*: statistisch nicht signifikante Trends; *grau*: statistisch signifikante Trends (F-Test, Hypothese H_0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

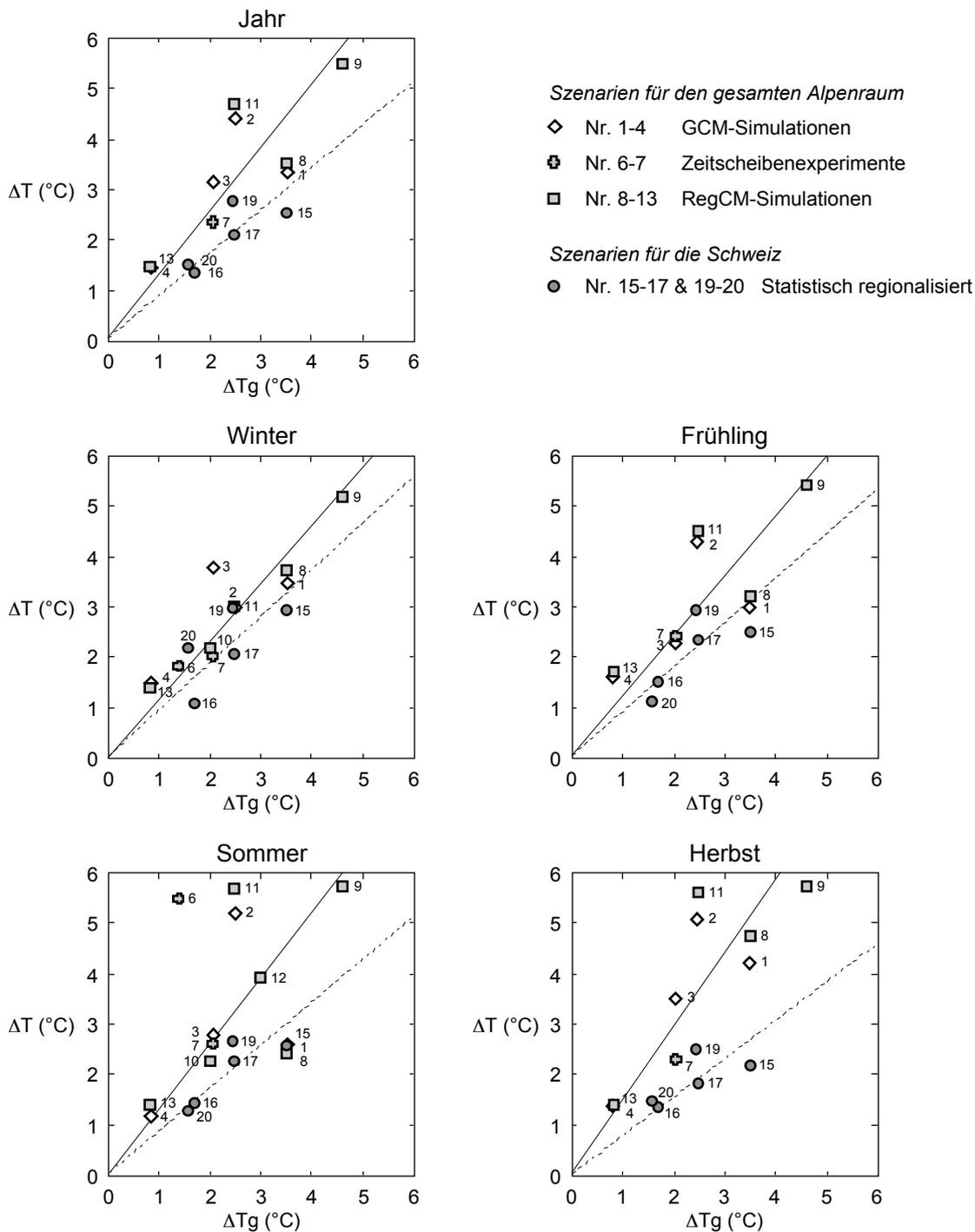


Fig. 5: Vergleich von Temperaturszenarien für den Alpenraum (Szenarien Nr. 1-13) und die Schweiz (Szenarien Nr. 15-17 und 19-20). Alle Angaben sind Gebietsmittel über dem entsprechenden Gebiet. Die Szenarien basieren auf unterschiedlichen Ausgangsannahmen und beziehen sich auf unterschiedliche zukünftige Zeitpunkte. ΔT : Abweichung des unter Szenariobedingungen simulierten langjährigen Temperaturmittels vom Mittel der jeweiligen Kontrollsimulation (heutiges Klima). ΔT_g : 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 ΔT_g . Aus GYALISTRAS (2000).

3.3 Alpine Niederschlagsszenarien

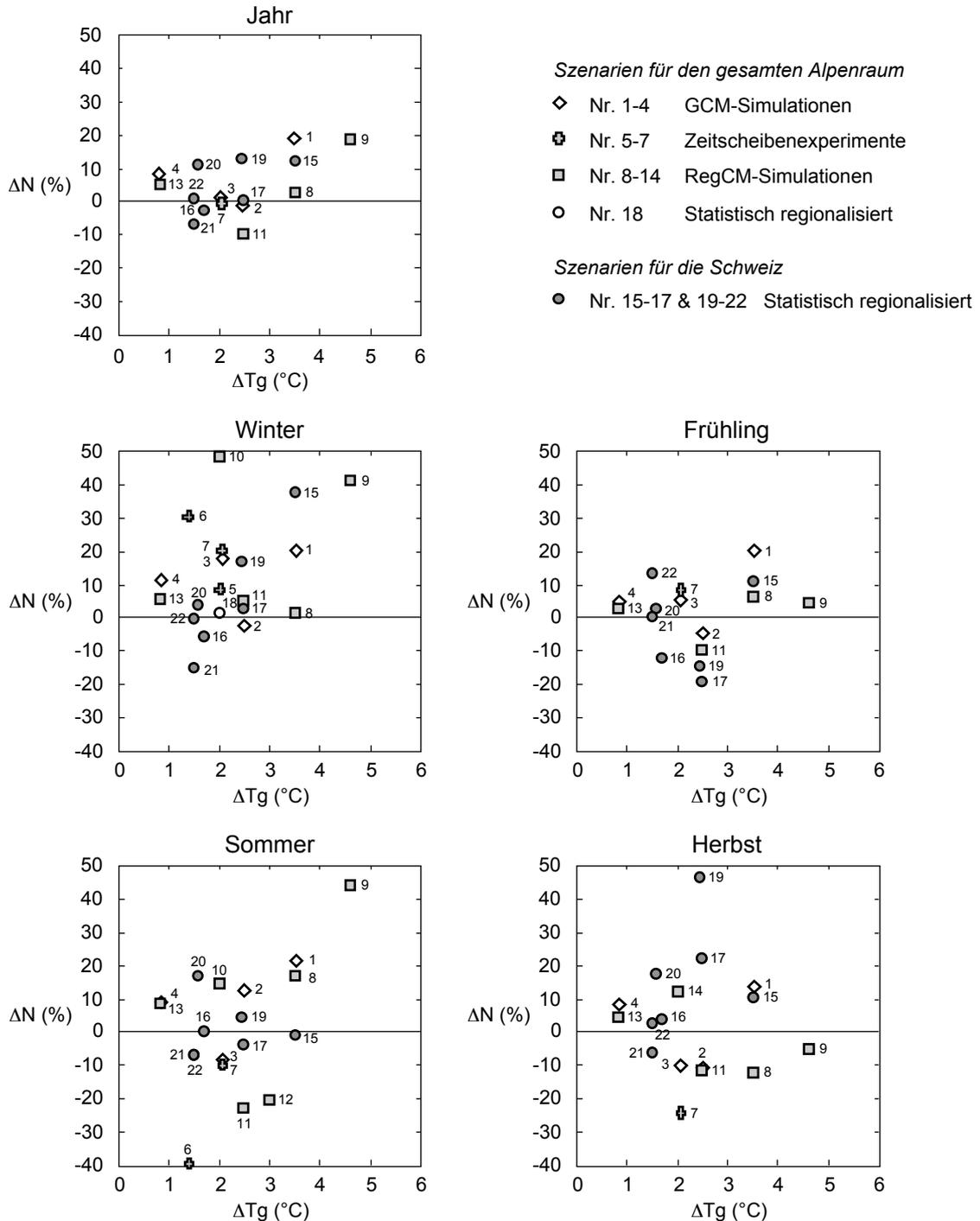


Fig. 6: Vergleich von Niederschlagsszenarien für den Alpenraum (Szenarien Nr. 1-14 und 18) und die Schweiz (Szenarien 15-17 und 19-22). Alle Angaben sind Gebietsmittel über dem entsprechenden Gebiet. Die Szenarien basieren auf unterschiedlichen Ausgangsanahmen und beziehen sich auf unterschiedliche zukünftige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

3.4 Alpine Szenarien für mehrere Klimaparameter

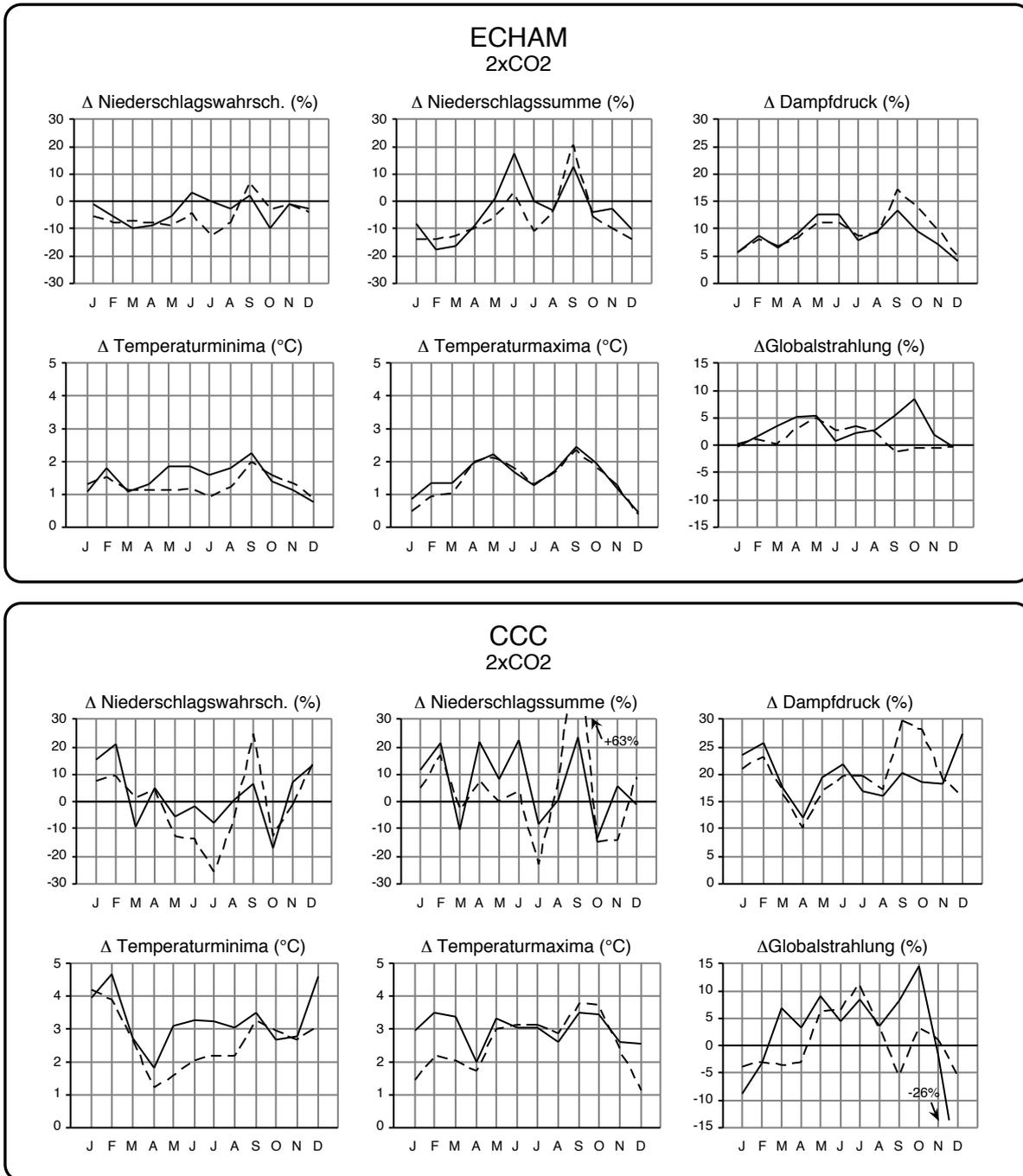


Fig. 7: Zwei Szenarien für mögliche Veränderungen (D) der Erwartungswerte ausgewählter monatlicher Klimaparameter in Bern (durchgezogen) und La Chaux-de-Fonds (gestrichelt) unter "2xCO₂"-Bedingungen. Alle Veränderungen beziehen sich auf das Klima der Periode 1901-1980. Die Szenarien wurden mittels der 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).

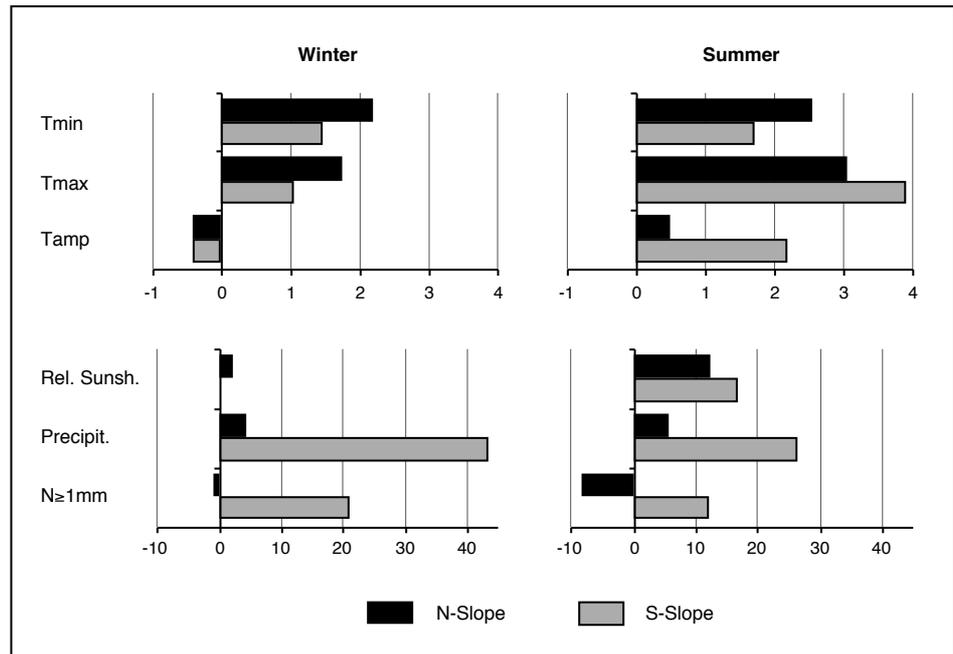


Fig. 8: Ein "Business-As-Usual" Klimaszenario für die Schweiz in der Periode 2075-2084. Das Szenario wurde mittels der statistischen Regionalisierungsmethode von GYALISTRAS *et al.* (1994) aus einer zeitabhängigen Simulation mit dem ECHAM1-T21/LSG-GCM (CUBASCH *et al.* 1992) berechnet. N-Slope und S-Slope 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 $^{\circ}\text{C}$, 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.