

Agrarmeteorologische Bedingungen im Schweizer Mittelland von 1864 bis 2050

Pierluigi Calanca und Annelie Holzkämper, Forschungsanstalt Agroscope Reckenholz-Tänikon ART, 8046 Zürich
Auskünfte: Pierluigi Calanca, E-Mail: pierluigi.calanca@art.admin.ch, Tel.+41 44 377 75 12



Foto: Gabriela Brändle, ART

Die Pflanzenproduktion wird auch in Zukunft vom Klima abhängig bleiben.

Einleitung

Die Schweizer Landwirtschaft profitiert heute von relativ günstigen klimatischen Bedingungen. Nennenswerte Produktionsverluste auf nationaler Ebene, wie zum Beispiel als Folge der Dürren von 1947, 1949, 1976 (Pfister 1999) und zum Teil auch 2003 (Keller und Fuhrer 2004), sind selten. Auf regionaler Ebene können witterungsbedingte Schäden jedoch relevant sein.

Ob dies auch in der Zukunft der Fall sein wird, steht im Brennpunkt internationaler (Eitzinger *et al.* 2009) und nationaler Forschungsaktivitäten. Allgemeine Überlegungen zu möglichen Auswirkungen einer Temperaturerhöhung und einer Abnahme der Sommerniederschläge auf die Schweizer Landwirtschaft wurden im Bericht «Klimaänderung und die Schweiz 2050» (OcCC/ProClim 2007) diskutiert. Calanca (2007) hat die langfristigen Folgen der Klimaänderung auf die Intensität von Sommerdürren untersucht. Hinweise auf die Relevanz der Sommertrockenheit im Zusammenhang mit der Bewässerungsbedarf von Acker- und Grasland wurden weiter von Fuhrer und Jasper (2009) formuliert.

Vielen dieser Untersuchungen lagen die gleichen Klimaszenarien zu Grunde. Sie stellen eine Synthese der Resultate des Europäischen Forschungsprojektes PRUDENCE dar (Christensen und Christensen 2007).

In der Zwischenzeit wurden im Rahmen des EU-Projektes ENSEMBLES (Hewitt 2005; siehe auch <http://ensemble.eu.metoffice.com/>) neuere Klimaszenarien für Europa vorbereitet. Im Unterschied zu PRUDENCE, wurde in ENSEMBLES zum ersten Mal die Entwicklung des Klimas von 1950 bis 2050, beziehungsweise von 1950 bis 2100 fortlaufend berechnet. Die Ergebnisse von ENSEMBLES werden zurzeit von einer Expertengruppe ausgewertet mit dem Ziel, die Szenarien in OcCC/ProClim (2007) zu aktualisieren.

Auch wenn zu diesem Zeitpunkt keine präzisen Aussagen möglich sind, sollen hier ein paar Einblicke in die Welt von ENSEMBLES gegeben werden, begleitet von Überlegungen zu den möglichen Konsequenzen, welche die darin skizzierten Tendenzen für die agrarmeteorologischen Bedingungen im Acker- und Futterbau haben könnten. Um die Szenarien in eine breitere Perspektive zu setzen, wird die Entwicklung des Klimas in den ver-

gangenen 150 Jahren betrachtet. Dafür kommen homogenisierte Datenreihen für die monatsmittlere Temperatur und die Monatssumme der Niederschläge zur Betrachtung, die auf der Internetseite des Bundesamtes für Meteorologie und Klimatologie (MeteoSchweiz) zur Verfügung gestellt werden (http://www.meteoschweiz.admin.ch/web/de/klima/klima_heute/homogene_reihen.html).

Kulturpflanzen und ihre Ansprüche an das Klima

Optimale Witterungsbedingungen während der gesamten Vegetationszeit sind eine Voraussetzung für eine hohe Pflanzenproduktivität. Wann die Bedingungen optimal sind und wann mit witterungsbedingten Risiken zu rechnen ist, hängt nicht allein vom Klima sondern auch von den klimatischen Ansprüchen der Ackerkulturen ab (Lang und Müller 1999). Diese ändern sich je nach Sorte und Entwicklungsstadium: vegetatives Wachstum, Blühen, Bildung und Füllung der Körner.

Für viele Kulturpflanzen liegen optimale Temperaturen im Bereich 25 bis 30 °C, während sich bei höheren Temperaturen die Ertragsbildung einschränkt (Hess 1991). In unseren Breiten ist dies jedoch selten der Fall. Deshalb haben Minimaltemperaturen im Allgemeinen eine weitaus grössere Bedeutung. Zudem können Frostschäden zu erheblichen Ertragsminderungen bis hin zu totalen Ernteaussfällen führen.

Ein optimales Pflanzenwachstum ist im Weiteren von einer ausreichenden Wasserversorgung abhängig. Durch Transpiration geht deren Pflanzen ständig Wasser verloren und muss über das Wurzelsystem neu aufgenommen werden. Ist zu wenig Wasser im Boden verfügbar, kann es zu Trockenstress kommen. Als Reaktion werden die Spaltöffnungen geschlossen. Dies minimiert die Wasserverluste, führt aber zu einer Änderung des Metabolismus, einer Einschränkung der CO₂-Aufnahme und, bei anhaltender Trockenheit, zu Ertrags- und Qualitätseinbussen. Niederschläge können neben ihrer positiven Auswirkung auf die Wasserversorgung aber auch direkt oder indirekt negative Auswirkungen haben, zum Beispiel in Form von Hagelschäden, Erosion, Überstauung oder Begünstigung von Pilzbefall bei häufiger Blattbefeuchtung.

Agrarmeteorologische Indizes

Eine Möglichkeit, die Beziehungen zwischen Klima und landwirtschaftlichen Systeme zu charakterisieren, bieten agrarmeteorologische Indizes (Eitzinger *et al.* 2008). Diese beschreiben die Effekte verschiedener klimatischer Aspekte auf das Wachstum von Kulturpflanzen. Die phänologische Entwicklung, die Auswirkungen von Trockenheit, Nässe, Hitze und Kälte, aber auch

Zusammenfassung Die agrarmeteorologischen Bedingungen für Acker- und Futterbau werden sich im Zuge des Klimawandels auch in der Schweiz ändern. Das kann zu einer Verbesserung der Produktion, aber auch zur Zunahme witterungsbedingter Risiken führen. Agrarmeteorologische Indizes können helfen, das Zusammenspiel zwischen Klima und Kulturpflanzen besser zu verstehen. Sie können damit die Grundlage liefern, für die Entwicklung von Anpassungsstrategien. Hier wurden zwei wichtige Aspekte der landwirtschaftlichen Pflanzenproduktion untersucht, nämlich die Dauer der Vegetationszeit und das Trockenheitsrisiko. Als Basis für die Auswertung dienten homogenisierte Datenreihen von Temperatur und Niederschlag über dem Zeitraum 1864 bis 2009 einerseits, und die neusten Klimaszenarien aus dem Europäischen Forschungsprojekt ENSEMBLES andererseits. Bezüglich der Vegetationsperiode sind die Ergebnisse konsistent mit den Resultaten früherer Studien, mit einer Vegetationsperiode im Jahr 2050 rund 40 Tage länger als um 1970 im Mittelland. Was das Trockenheitsrisiko anbelangt, zeigen unsere Berechnungen ein etwas weniger dramatisches Bild als bisher angenommen. Dies ist hauptsächlich darauf zurückzuführen, dass die ENSEMBLES-Szenarien für die erste Hälfte des 21. Jahrhunderts im Mittel nur eine geringe Tendenz zu einer Abnahme der Sommerniederschläge zeigen. Allerdings sind auch die neuen Szenarien in diesem Punkt mit grossen Unsicherheiten behaftet.

das Auftreten von Krankheiten und die Ausbreitung von Schädlingen sind Beispiele von Prozessen, die auf diese Weise erfasst werden können.

Die zeitliche Dimension des Wachstums wird üblicherweise auf der Basis der laufenden Temperatursumme (Engl. *Growing Degree Days*) dargestellt. Für viele Kulturpflanzen liegen zuverlässige Angaben vor (z. B. Lang und Müller 1999), die eine relativ genaue Datierung von Entwicklungsstadien erlauben. Bezüglich des Futterbaus werden oft die Anzahl Tage bestimmt, an denen die mittlere Tagestemperatur 5 °C überschreitet. Um Kälte-Einflüsse ebenfalls abzubilden, wird in manchen Studien zusätzlich ein Minimalwert für die Tagesminimumtemperatur von –2 °C festgelegt.

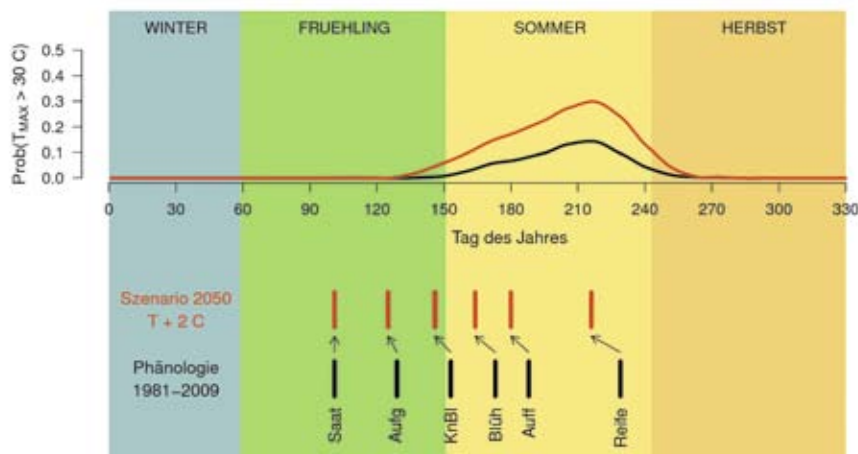


Abb. 1 | Auswirkung einer Temperaturerhöhung um 2 °C auf die Entwicklung von Kartoffeln und das Risiko von hitzebedingtem Einstellen der Knollenfüllung am Standort Reckenholz. Dabei wurde die Annahme getroffen, dass keine Anpassung des Saattermins vorgenommen wird. In der unteren Hälfte der Abbildung sind wichtige phänologische Stadien aufgetragen: Saat; Aufgang (Aufg); Knollenbildung (KnBl); Blüte (Blüh); Auffüllung (Auff); Reife. Diese wurden auf Grund von Schwellenwerten der laufenden Temperatursumme bestimmt. Die obere Hälfte ist eine graphische Darstellung der Wahrscheinlichkeit, dass die tagesmaximale Temperatur 30 °C übersteigt. Schwarz: Resultate einer Auswertung der täglichen Meteorologie im Zeitraum 1981–2009. Rot: Resultate für eine Zunahme der Temperatur um 2 °C, wie sie von den Klimaszenarien des ENSEMBLES-Projekts für 2050 skizziert wird.

Für Hitze können unterschiedliche Schwellenwerte gebraucht werden. Sommertage sind zum Beispiel Tage, an denen die maximale Tagestemperatur über 25 °C steigt, während für tropische beziehungsweise Hitzetage der Schwellenwert bei 30 respektive 35 °C liegt. Frost lässt sich auf Grund der Tagesminimumtemperatur erfassen.

Im Zusammenhang mit Trockenheit ist die Auswahl an agrarmeteorologischen Indizes breit. Dies lässt sich damit erklären, dass die Entstehung von Trockenheit und trockenheitsbedingtem Stress ein relativ komplexes Phänomen ist. Meteorologisch gesehen ist Trockenheit primär eine Folge des Ausbleibens von signifikanten Niederschlägen. Schwankungen im Wasserangebot werden aber vom Boden zum grossen Teil gepuffert, vor allem wenn der Wurzelraum im Kontakt mit dem Grundwasser steht. Zudem haben Pflanzen mit tiefgehenden Wurzelsystemen die Möglichkeit, Wasser aus tiefer liegenden Bodenschichten zu nutzen, und können somit niederschlagsarme Perioden besser überstehen.

Demzufolge kann Trockenheit je nach Standpunkt der Betrachtung mit Hilfe von reinen Niederschlagsindikatoren untersucht werden, wie zum Beispiel mit dem von McKee *et al.* (1993) eingeführten standardisierten Niederschlagsindex (Engl. *Standardized Precipitation Index* oder SPI), oder mit Hilfe von Indizes, welcher die Wasserbilanz des Bodens und den Wasserverbrauch durch die Pflanze abbilden, wie dem Dürre-Index von Palmer (1965; Engl. *Palmer Drought Severity Index* oder PDSI), die relative Evapotranspiration (Fuhrer und Jasper 2009) oder die durchschnittliche Wasserverfügbarkeit im Wurzelraum (Milly 1993; siehe auch Keller und Fuhrer

2004). Von Bedeutung ist bei vielen Anwendungen nicht nur die Intensität der Trockenheit sondern auch deren Dauer. Deswegen wird häufig auch die Länge von Trockenheitsphasen als Index verwendet.

Agrarmeteorologische Indizes können sowohl für die gesamte Vegetationszeit als auch für bestimmte Entwicklungsphasen berechnet werden. Letztere Berechnung hat den Vorteil, dass beispielsweise eine durch höhere Temperaturen hervorgerufene Verschiebung der Phänologie berücksichtigt werden kann. Wie in Abbildung 1 am Beispiel der Entwicklung von Kartoffeln schematisch dargestellt, ist diese Option bei der Risikobeurteilung von Vorteil, da sie zu genaueren Angaben führt.

Resultate

Entwicklung der Phänologie

Erste Auswertungen der ENSEMBLES-Szenarien zeigen, dass im Alpenraum die Temperatur bis 2050 um rund 2 °C zunehmen könnte. Für den Sommerniederschlag sind, anders als in den Szenarien des OcCC/ProClim (2007), bis zu diesem Zeitpunkt keine klaren negativen Tendenzen auszumachen.

Was bedeuten diese Zahlen für die agrarmeteorologischen Bedingungen im Acker- und Futterbau? Es sei zunächst die Phänologie betrachtet. Die Dauer der Vegetationszeit von Wiesen und Weiden und deren Entwicklung im Zeitraum 1864 bis 2050 ist in Abbildung 2 dargestellt. In dieser Abbildung deutlich zu erkennen ist die Tendenz zu einer Verlängerung der Vegetationszeit, die vor allem nach 1960 einsetzt. Klar festzustellen sind aber auch die kurz- und mittelfristigen Schwankungen. So lagen um

1860 die Werte in günstigen Jahren schon auf einem ähnlichen Niveau wie um 1940, während die Jahre zwischen 1890 und 1910 als überdurchschnittlich kalt und für den Futterbau ungünstig erscheinen. Die jährliche Variabilität war zwischen 1900 und 1930 deutlich geringer als in der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts und wiederum ab 1940.

Gemäss Ergebnisse des ENSEMBLES-Projekts, setzt sich die ab 1980 beobachtete Tendenz bis 2050 fort. Die Länge der Vegetationszeit wird 2050 im Durchschnitt 250 Tage betragen, das heisst rund 40 Tage mehr als 1970. Dies würde bei produktiven Wiesen grob einem zusätzlichen Schnitt pro Jahr entsprechen.

Entwicklung der Trockenheit

Für die Darstellung der Trockenheit dient hier der SPI. Wie in McKee *et al.* (1993) erklärt, stellt das SPI eine Standardisierung des kumulierten Niederschlags über einen Zeitraum dar, der je nach Fragestellung drei bis 24 Monate betragen kann. Hier wurde eine Integrationszeit von sechs Monaten gewählt und die Niederschlagssumme für April bis September betrachtet, denn diese ist repräsentativ für lang anhaltende Trockenheitsphasen, die zu Ertragseinbussen führen können. Als Referenzperiode für die Standardisierung traf die Wahl auf die Jahre 1981 bis 2009. Negative Werte des SPI deuten auf Trockenheit hin, bei Werten kleiner als $-1,5$ sogar auf schwere Dürre. Die Daten in Abbildung 3 zeigen deutlich, dass in der Vergangenheit die kumulierten Niederschlagsmengen in den Monaten April bis September zeitlich stark variierten. Von der Trockenheit besonders betroffen waren die 1860er, die 1890er sowie die 1940er Jahre. Die schwerste Dürre traf die Schweizer Landwirtschaft im Jahr 1947

(Pfister 1999). Grosse Verluste gab es aber auch im Sommer 2003 (Keller und Fuhrer 2004). Der wesentliche Unterschied zwischen den beiden Ereignissen liegt darin, dass 1947 die Phase negativer Niederschlagsanomalien bereits im vorhergehenden Winter anfang und Ende Sommer den Höhepunkt erreichte. Im Jahr 2003 waren vor allem die Monate April, Juni und August von Trockenheit betroffen. Integriert über die ganze Zeit zwischen April und September führte das zu einer deutlich kleineren Anomalie als 1947.

Bezüglich der zukünftigen Entwicklung von Trockenheit ist bis 2050 keine signifikante negative Tendenz im Niederschlagsregime zu erkennen. Der Unsicherheitsbereich ist aber in etwa so breit wie der Bereich der jährlichen Variabilität im heutigen Klima. Das könnte so interpretiert werden, dass Ereignisse, wie zum Beispiel 2003 der Trockenheit, auch in der nahen Zukunft immer wieder vorkommen können.

Diskussion

Eine quantitative Erfassung der agrarmeteorologischen Bedingungen im Acker- und Futterbau ist vor dem Hintergrund eines sich stets ändernden Klimas nötig, um Risiken rechtzeitig zu erkennen und Anpassungsstrategien zu entwickeln. Eine Analyse mit Hilfe von agrarmeteorologischen Indizes hat den Vorteil, dass sie erstens ohne komplizierte Modellrechnungen durchgeführt werden kann und zweitens leicht interpretierbare Resultate liefert. Die unterschiedliche Bedeutung klimatischer Aspekte in Abhängigkeit der phänologischen Entwicklung einer Pflanze kann berücksichtigt werden, indem man agrarmeteorologischen Indizes gezielt für kritische Entwicklungsphasen berechnet. ➤

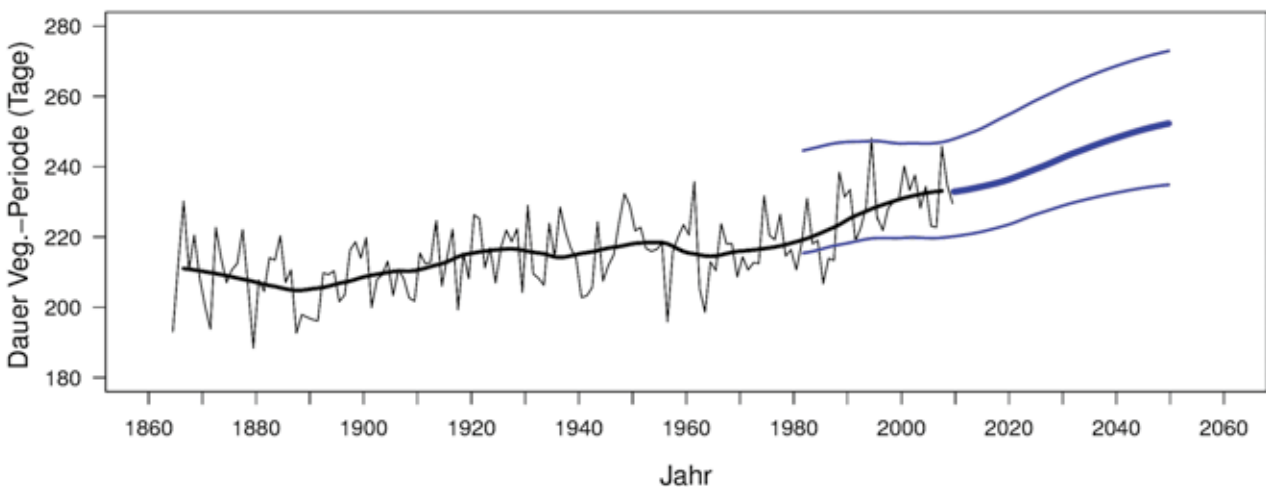


Abb. 2 | Dauer der Vegetationszeit bei Wiesen und Weiden am Standort Bern, im Zeitraum 1864 bis 2050. Schwarz: historische Rekonstruktion auf der Basis homogenisierter Temperaturdaten von MeteoSchweiz. Die dünne Linie zeigt die Jahreswerte an, während die dicke Linie die mittelfristigen Tendenzen wiedergibt. Blau: Entwicklung bis 2050, wie sie aufgrund von 15 ENSEMBLES-Szenarien berechnet wurde. In diesem Fall stellt die dicke Linie die wahrscheinlichste Entwicklung dar, während die dünnen Linien den Unsicherheitsbereich abgrenzen.

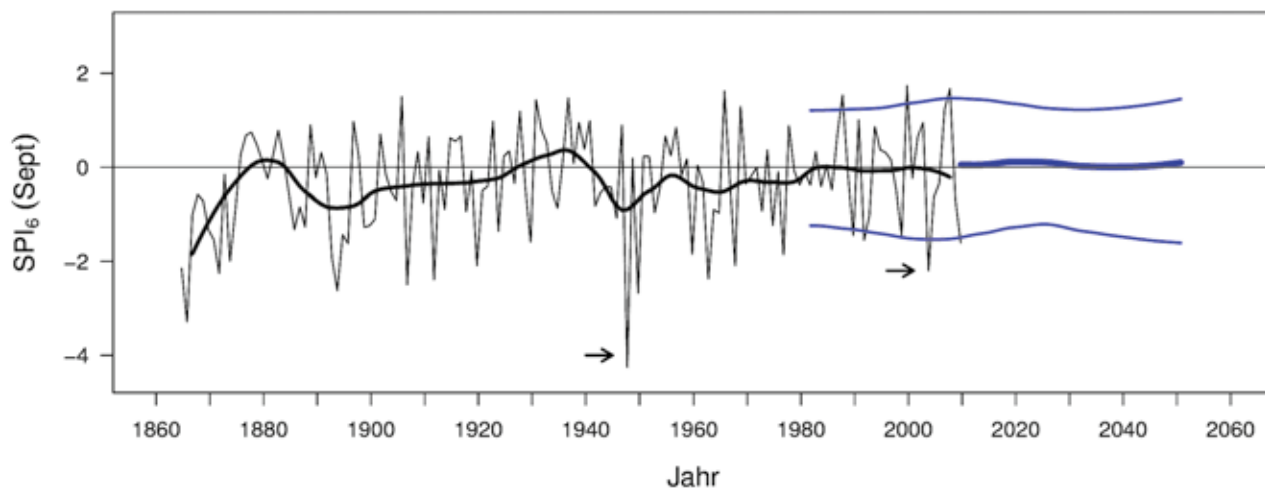


Abb. 3 | Ähnlich wie Abbildung 2, aber bezüglich der Entwicklung des SPI an der Beobachtungsstation Bern im Zeitraum 1864 bis 2050. Es handelt sich hier um die Werte des 6-monatigen SPI für September, welche die Anomalien des kumulierten Niederschlags in den Monaten April bis September wiedergeben. Wie im Text erklärt, deuten negative Werte des SPI auf Trockenheit hin. Bei Werten unter $-1,5$ kann von anhaltender Dürre ausgegangen werden. Die zwei Pfeile kennzeichnen die Jahre 1947 und 2003.

In dieser Arbeit wurde die Entwicklung der agrarmeteorologischen Bedingungen im Schweizer Mittelland mit Hilfe zweier derartigen Indizes für die Jahre zwischen 1864 und 2050 skizziert. Dabei dienten historische Wetterbeobachtungen und Klimaszenarien als Datengrundlage, wobei es sich bei Letzteren um die Ergebnisse des EU-Forschungsprojekts ENSEMBLES handelt.

Bezüglich Temperatur waren unsere Aussagen konsistent mit den Schlussfolgerungen aus früheren Arbeiten. Bezüglich Sommertrockenheit gab es aber merkliche Diskrepanzen, die im Rahmen weiterer Arbeiten zu erklären sind. In diesem Kontext ist zum Beispiel zu beachten, dass in PRUDENCE explizite Simulationen mit regionalen Klimamodellen nur für den Zeitraum 2071 bis 2100 durchgeführt wurden, und dass für den Bericht OcCC/ProClim (2007) diese Resultate mit einem statistischen Verfahren auf die Jahre 2030, 2050 und 2070 skaliert wurden. Es gilt nun, die dafür getroffenen Annahmen auf der Basis des heutigen Wissens zu überprüfen. Die weitere Auseinandersetzung mit den Resultaten von ENSEMBLES wird zeigen, inwiefern und ab welchem Zeitpunkt ein zunehmender Wassereinsatz zur Bewässerung nötig sein wird (Fuhrer und Jasper 2009).

Schlussfolgerungen und Ausblick

Die Beurteilung der Szenarien aus der Sicht der Schweizer Landwirtschaft wird ART auch in den kommenden Jahren beschäftigen. Ein wichtiges Ziel wird es sein, die Analyse des Zusammenspiels zwischen Witterung und

Pflanzenwachstum in Richtlinien für die Praxis umzusetzen. Konkret geht es um die Aktualisierung der Klimaeignungskarte (<http://www.agri-gis.admin.ch/index.php>), die aus einer Bewertung der Klimaeignung für die Landwirtschaft in der Schweiz von Jeanneret und Vautier (1977) entstand.

Die bis heute verwendete Klimaeignungskarte basiert auf klimatischen Daten aus dem Zeitraum 1901 bis 1960. Abbildungen 2 und 3 zeigen jedoch, dass sich das Klima seitdem verändert hat. Eine Aktualisierung der Klimaeignungsbewertung mit neuen Daten wäre schon aus diesem Grund angezeigt.

Allerdings ist die von Jeanneret und Vautier entwickelte Methode nur teilweise reproduzierbar. Deshalb soll auch die Bewertungsmethodik neu ausgelegt werden. Dies wird von ART zurzeit im Rahmen der Nationalen Forschungsschwerpunkt Klima gemacht (<http://www.nccr-climate.unibe.ch>).

Im Kern wird die neue Methodik auf eine expertenbasierte Bewertung kulturarten-spezifischer Klimaeignungen zurückgreifen. Die Quantifizierung der Klimasensitivitäten wird dabei auf der Basis agrarmeteorologischer Indizes vorgenommen, die für kritische Phänologiephasen berechnet werden. Die neue Methodik wird leicht nachvollziehbar und modifizierbar sein, so dass die Berechnung der Klimaeignung jederzeit aktualisiert und erweitert werden kann und den Entwicklungen in der Züchtung von neuen Sorten Rechnung trägt. Auch wird eine Bewertung der Klimaeignung für verschiedene Klimaszenarien möglich sein. ■

Riassunto**Condizioni agrometeorologiche sull'Altipiano svizzero dal 1864 al 2050**

I cambiamenti climatici si ripercuoteranno anche in Svizzera sulle le condizioni agrometeorologiche per la campicoltura e la foraggicoltura. Ciò potrà comportare un miglioramento della produzione, ma anche un aumento dei rischi legati alle intemperie. L'esame degli indici agrometeorologici può aiutare a meglio comprendere l'interazione tra clima e colture, nonché a creare le basi per lo sviluppo di strategie di adattamento. In questo ambito sono stati analizzati due aspetti importanti della produzione vegetale, cioè la durata del periodo di vegetazione e il rischio di siccità, basandosi su dati meteorologici per gli anni 1864-2009 e sui più recenti scenari climatici emersi dal progetto europeo di ricerca ENSEMBLES. Riguardo al periodo di vegetazione sull'Altipiano, i risultati si sono rivelati coerenti con quelli di studi precedenti, indicando per il 2050 un prolungamento di circa 40 giorni rispetto al 1970. Riguardo al rischio di siccità il quadro emerso è meno drammatico di quanto prospettato finora, poichè negli scenari ENSEMBLES la tendenza al calo delle precipitazioni estiva è minima nella prima metà del XXI secolo. A questo proposito rimangono però notevoli incertezze.

Summary**Agrometeorological conditions on the Swiss Plateau from 1864 to 2050**

Climate change will affect the agrometeorological conditions for crop and forage farming also in Switzerland. This can improve agricultural production but also increase weather-related risks. In this context, agrometeorological indices can help to better understand the interactions between crops and climate and thus serve as a basis for the development of adaptation strategies. This study investigates two important aspects of crop production, namely the length of vegetation period and drought risks. Our investigation relies on homogenized data series for temperature and precipitation spanning the period 1864–2009 and the latest climate scenarios from the European research project ENSEMBLES. Concerning the length of vegetation period, our results are consistent with the findings of earlier studies. For the Plateau, they suggest by 2050 an extension of about 40 days relative to the reference in the 1970s. Regarding drought risks the picture is less dramatic than previously assumed. This can be explained by the fact that for the first half of the 21st century the ENSEMBLES scenarios show on average only a small tendency toward reduced summer precipitation. On this aspect, however, even the new scenarios are fraught with uncertainty.

Key words: climate change, agrometeorological indices, growing season's length, drought risk.

Literatur

- Calanca P., 2007. Climate change and drought occurrence in the Alpine region: How severe are becoming the extremes? *Global and Planetary Change* **57**, 151–160.
- Christensen J.H. & Christensen O.B., 2007. A summary of the PRUDENCE model projections of changes in European climate by the end of this century. *Climatic Change* **81**, 7–30.
- Eitzinger, J., Kersebaum C.K. & Formayer H., 2009. *Landwirtschaft im Klimawandel*. Agrimedia Verlag, Clenze (<http://de.agrimedia.com/>).
- Eitzinger J., Thaler S., Orlandini S. & 13 weitere Ko-Autoren, 2008. Agrometeorological indices and simulation models. In: Nejedlik P. & Orlandini S. (Eds.) *Survey of Agrometeorological practices and Applications in Europe Regarding Climate Change Impacts*. European Science Foundation, COST, Brussels.
- Fuhrer J. & Jasper K., 2009. Bewässerungsbedürftigkeit von Acker- und Grasland im heutigen Klima. *Agrarforschung* **16**, 396–401.
- Hess D., 1991. Pflanzenphysiologie. 9. Auflage, Verl. Eugen Ulmer, Stuttgart.
- Hewitt C.D., 2005: The ENSEMBLES Project: Providing ensemble-based predictions of climate changes and their impacts. EGGs Newsletter, 13, 22–25. Zugang: <http://www.the-eggs.org/?issueSel=24>.
- Jeanneret F. & Vautier P. (1977). Kartierung der Klimaeignung für die Landwirtschaft in der Schweiz – Levé cartographique des aptitudes climatique pour l'agriculture en Suisse. *Jahrbuch der Geographischen Gesellschaft von Bern, Beiheft*; 4 G. I. d. U. Bern. Bern: 108, Anhang, Beilagen.
- Keller F. & Fuhrer J., 2004. Die Landwirtschaft im Hitzesommer 2003. *Agrarforschung* **11**, 403–411.
- Lang & Müller, 1999. CropData – Kennwerte und ökologische Ansprüche der Ackerkulturen (CD-ROM). uismedia, Freising.
- McKee T.B., Doesken N.J. & Kliest J., 1993. The relationship of drought frequency and duration to time scales. In: *Proceedings of the 8th Conference on Applied Climatology*, 17–22 January, Anaheim, CA. American Meteorological Society: Boston, MA; 179–184.
- Milly P.C.D., 1993. An analytic solution of the stochastic storage problem applicable to soil water. *Water Resources Research* **29**, 3755–3758.
- OcCC/ProClim, 2007. Klimaänderung und die Schweiz 2050. Bern.
- Palmer W.C., 1965. *Meteorological drought*. Research Paper No. 45. U.S. Weather Bureau, Washington, D.C.
- Pfister C., 1999. Witternachhersage: 500 Jahre Klimavariationen und Naturkatastrophen. Verlag Paul Haupt, Bern. 304 S.