

# Thermische Eignungskarten für Sorghum in der Schweiz

Nicole Bütikofer<sup>1</sup> Tiziana Vonlanthen<sup>2</sup>, Jürg Hiltbrunner<sup>2</sup>, Annelie Holzkämper<sup>1,3</sup> und Pierluigi Calanca<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Forschungsgruppe Klima und Landwirtschaft, Agroscope, 8046 Zürich, Schweiz

<sup>2</sup>Forschungsgruppe Extension Ackerbau, Agroscope, 8046 Zürich, Schweiz

<sup>3</sup>Forschungsgruppe Gewässerschutz und Stoffflüsse, Agroscope, 8046 Zürich, Schweiz

Auskünfte: Pierluigi Calanca, E-Mail: pierluigi.calanca@agroscope.admin.ch

<https://doi.org/10.34776/afs14-24> Publikationsdatum: 19. April 2023



Sorghum ist eine noch wenig bekannte Kultur, die sich für die menschliche Ernährung und als Futter eignet und mit Trockenheit gut umgehen kann. (Foto: Carole Parodi, Agroscope).

## Zusammenfassung

Der Anbau von Sorghum ist in der Schweiz nicht weit verbreitet. Mit einer Anbaufläche von 299 ha im Vergleich zu 45 667 ha bei Silo- und Grünmais im Jahr 2021 handelt es sich bei Sorghum um eine Nischenkultur. Als C4-Pflanze, welche gut an warme und trockene Bedingungen angepasst ist, könnte Sorghum als Ergänzung zu Mais zukünftig vermehrt von Interesse sein. Nachfolgend werden die Temperaturbedingungen für den Anbau von Silo- und Körnersorghum in der Schweiz untersucht. Als Eckdaten dienen die aus den Anbauversuchen von Agroscope gewonnenen Temperatursummenansprüche der beiden Nutzungsrichtungen. Das Hauptresultat sind Karten des mittleren Datums der Reife und der Wahrscheinlichkeit, dass

die Reife vor Ende Oktober erreicht wird. Die Karten zeigen, in welchen Regionen für Sorghum die besten thermischen Grundvoraussetzungen zu finden sind. Sie verdeutlichen die unterschiedliche Ausdehnung der möglichen Anbauregionen, die aus den tieferen thermischen Ansprüchen von Silosorghum im Vergleich zu Körnersorghum resultiert. Die Resultate unserer Untersuchung unterstreichen das Potential der hier untersuchten Sorghum-Nutzungsrichtungen, die Auswahl an Pflanzen für den Futterbau in der Schweiz zu ergänzen.

**Key words:** Sorghum, thermal requirements, geographic maps, climate suitability, Ecocrop.

## Einleitung

*Sorghum bicolor* (L.) Moench, auch Sorghumhirse genannt, ist eine aus Afrika stammende Pflanze. Sie wird heutzutage als Futter- und Nahrungspflanze angebaut und gilt neben Reis, Weizen, Gerste und Mais als eines der fünf wichtigsten Getreide weltweit (FAO 2023a). Die Körner von Sorghum sind glutenfrei und eignen sich gut für die menschliche Ernährung und die Fütterung. Die ganze Pflanze kann zudem für die tierische Ernährung als frisches oder siliertes Futter verwendet werden. Als Silosorghum wird einmalig geschnittenes Futtersorghum für die Silage bezeichnet. Körnersorghum hingegen bezeichnet einen Sorghumtyp, der für die Körnergewinnung angebaut werden.

Wie auch Mais gehört Sorghum zu den C4-Pflanzen und ist besonders an die Bedingungen trockener und warmer Standorte angepasst. Die Sorghumpflanze sieht ähnlich wie die Maispflanze aus, die Samen sind jedoch an den Rispen und nicht an den Spindeln in Form von Kolben angelegt. Zudem bildet Sorghum Seitentriebe, und seine Wurzeloberfläche und Wurzeltiefe ist grösser als bei Mais (Sanchez-Diaz & Kramer 1971). Sorghum ist wie Mais vielfältig verwertbar, ist allerdings im Vergleich zu Mais resistenter bei Stress durch Trockenheit (Starggenborg *et al.* 2008). Zudem wird Sorghum nicht von Schädlingen wie dem Maiszünsler (*Ostrinia nubilalis*) oder dem Maiswurzelbohrer (*Diabrotica virgifera*) befallen. Bezüglich Nährstoffprofil ist Sorghum dem Mais unterlegen (Fasching 2014; Zeise & Fritz 2012).

Heutzutage ist Sorghum in der Schweiz eine Nischenkultur. Seine Anbaufläche ist klein: Im Jahr 2021 betrug sie lediglich 299 ha (2019: 282 ha, 2020: 336 ha). Im selben Jahr wurden 122 Tonnen Körnersorghum importiert, was einer Anbaufläche von rund 15 ha entspricht (Schweizer Bauernverband 2021). Erfahrungen im Anbau, sowie Erntedaten sind limitiert vorhanden, weshalb in den Jahren 2009 bis 2011 in Zürich-Affoltern und Hüntwangen Anbauversuche mit Körnersorghum sowie 2018 bis 2022 mit Silosorghum in Zürich-Affoltern angelegt wurden. Bereits heute lassen sich weltweit klimatische Veränderungen beobachten. Die Schweiz ist aufgrund ihrer Lage überproportional von einer Erwärmung betroffen (BAFU 2020). Klimamodelle zeigen, dass extreme Witterungsereignisse wie Trockenheit oder Hitzewellen in Zukunft häufiger und intensiver werden könnten. Dies könnte ab Mitte Jahrhundert zur Folge haben, dass Mais an Erntestabilität einbüßen könnte (Holzkämper & Fuhrer 2015). Sorghum kann andauernde Hitze- und Dürreperioden gut überstehen und ist deshalb auch hinsichtlich einer Anpassung an den Klimawandel von Interesse.

Wie bereits erwähnt, werden in der Schweiz nur kleine Flächen mit Sorghum bewirtschaftet, und die Möglichkeiten einer Erweiterung der Anbaufläche wurden noch nicht geprüft. Die nachfolgenden Analysen zu den in der Schweiz vorherrschenden Temperaturbedingungen für den Anbau von Sorghum sind ein erster Schritt in diese Richtung, und dienen als Ergänzung zu den unternommenen Sortenversuchen von Hiltbrunner *et al.* (2012) und den thermischen Eignungskarten zu Mais von Buzzi *et al.* (2021). Anhand von Klimadaten der letzten 20 Jahre und basierend auf Temperatursummen wurde untersucht, wo in der Schweiz der Wärmebedarf von Silo- und Körnersorghum gedeckt, und mit welcher Wahrscheinlichkeit auf dem heutigen Ackerland die Reife der beiden Nutzungsrichtungen bis Ende Oktober erreicht werden kann. Diese Analysen wurden durch eine Bewertung der Klimaeignung für den Anbau von Sorghum mit Hilfe des Modells Ecocrop ergänzt. Für beide Ansätze wurden die relevanten Eckdaten aus den Resultaten der Anbauversuche von Agroscope gewonnen.

## Methoden und Daten

### Temperatursummen

Wie schon in Buzzi *et al.* (2021) für Mais, wurde die thermische Eignung für den Anbau von Sorghum auf der Basis einer Temperatursummenanalyse beurteilt. Die Temperatursumme zwischen Datum der Aussaat und einem gegebenen Datum  $D$  berechneten wir wie folgt:

$$S_T = \sum_{\text{Aussaat}}^D T_{\text{eff}} \quad 1$$

In dieser Gleichung stellt  $T_{\text{eff}}$  die effektive Temperatur in °C dar. Sie wurde definiert als:

$$T_{\text{eff}} = \max(T_a - T_b, 0) \quad 2$$

wobei  $T_a$  die tagesmittlere Temperatur in °C ist und  $T_b$  die sogenannte Basistemperatur.

Für die Auswertung von Formel (1) wurde der 1. Mai als Datum der Aussaat angenommen<sup>1</sup>. Zusätzlich wurde die Auswirkung einer späteren Aussaat am 15. Mai geprüft. Die effektiven Temperaturen wurden entweder bis

<sup>1</sup> Es ist uns bewusst, dass dies eine starke Vereinfachung darstellt, denn für die Keimung und dementsprechend die Bestimmung des optimalen Aussaatzeitpunkt ist die Bodentemperatur massgebend.

zum Erreichen der Temperatursummenansprüche (siehe unten) oder bis zum 31. Oktober, welcher als spätestes Datum für die Ernte betrachtet wurde, aufsummiert. Die Annahme eines spätesten Erntetermins Ende Oktober stützt sich auf die Beobachtung, dass ab November das Risiko eines erneuten Feuchtigkeitsanstiegs in der Pflanze erhöht ist (Lidea Seeds, 2021).

Die Basistemperatur von Sorghum ist höher als diejenige von Mais. Je nach Sorte liegt sie zwischen 6 und 10°C (Gerik *et al.* 2003; Hiltbrunner *et al.* 2012). Für die Berechnungen wurde sie auf 8°C festgelegt. Unterhalb der Basistemperatur findet kein Wachstum statt, die effektive Temperatur wird gemäss (2) gleich Null gesetzt und somit der Temperatursumme nicht dazuaddiert.

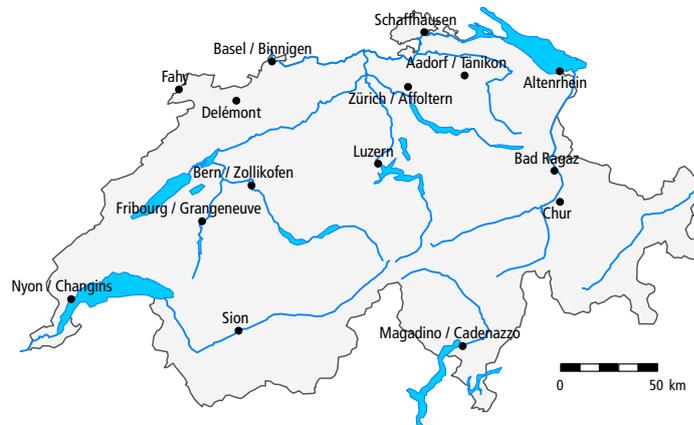
Die Temperatursummenansprüche von Sorghum leiteten wir aus den Ergebnissen der Anbauversuche der Jahre 2018 bis 2022 (Silosorghum) und der Jahre 2009 bis 2011 (Körnersorghum) am Agroscope-Standort Reckenholz in Zürich-Affoltern ab (Hiltbrunner *et al.* 2012). Dazu summierten wir für die einzelnen Jahre und Nutzungsrichtungen die effektiven Temperaturen im jeweiligen Versuch gemäss Gleichung (1) von Aussaat bis Ernte auf, und ermittelten danach entsprechende Durchschnittswerte der Temperatursummenansprüche unter Annahme, dass zum Zeitpunkt der Ernte auf jedem Fall die Reife erreicht wurde<sup>2</sup>. Unsere Berechnungen ergaben einen mittleren Wärmebedarf bis zum Erreichen der Reife von 1150°C (+/-100°C) für Silosorghum und 1350°C (+/-50°C) für Körnersorghum.

### Ecocrop

Ecocrop ist ein einfaches, mechanistisches Modell für die Bewertung der klimatischen Eignung von Nutzpflanzen (Ramirez-Villegas *et al.* 2013; Egbebiyi *et al.* 2020), das als R-Funktion «Ecocrop» im Paket «Dismo» (v. 1.1-4) implementiert ist (Hijmans *et al.* 2001). Es wurde von Heinz *et al.* (2021) mit über 600 Nischenkulturen für die Schweiz getestet, wobei Sorghum nicht Teil dieser Untersuchung war.

Ecocrop quantifiziert in wie weit das Klima eines Standortes die Ansprüche einer Nutzpflanze bezüglich der Länge der Vegetationszeit, der Temperatur und des Niederschlags erfüllt sind. Dabei wird der Monat der Aussaat so gewählt, dass bei gegebener Länge der Vegetationsperiode die maximal mögliche Eignung erreicht wird. Die daraus resultierenden Eignungswerte bewegen sich zwischen 0% («ungeeignet») und 100% («sehr geeignet») (Tab. 1).

<sup>2</sup> In den Anbauversuchen wurde Silosorghum bei einem Anteil Trockensubstanz von 28–30% geerntet, während bei Körnersorghum die Reife der Körner für die Ernte massgebend war.



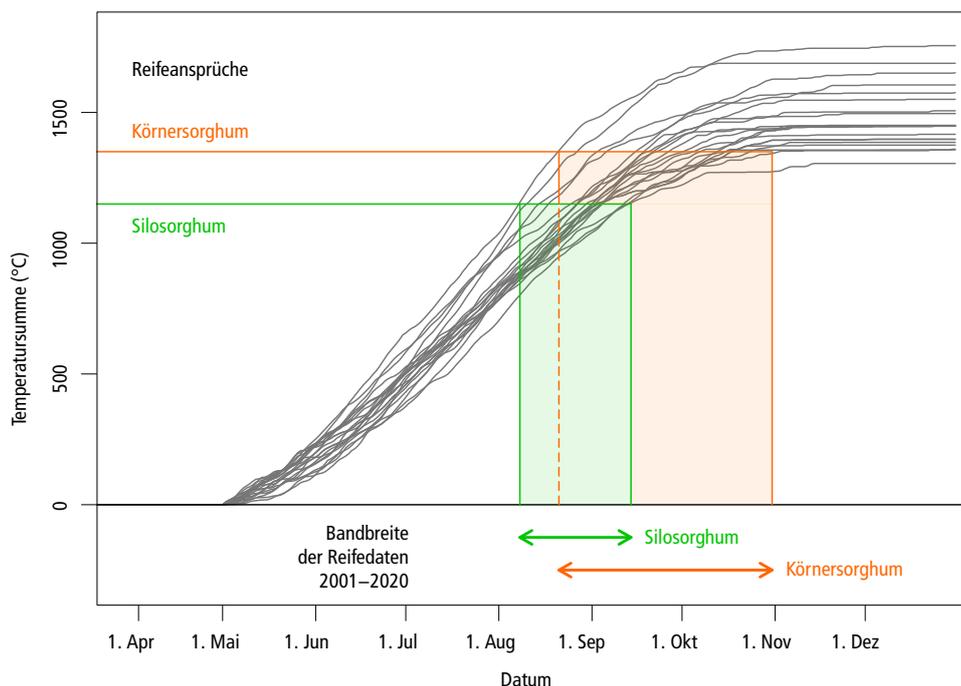
**Abb. 1 |** Lage der 15 untersuchten Messstationen in der Schweiz. Für die Analyse der Temperatursummen der Stationen wurden tägliche Messdaten von 2001-2020 verwendet.

Ecocrop stellt standardmässig Eckdaten zu den klimatischen Ansprüchen von 1710 Taxa zur Verfügung. Bezüglich Sorghum sind sechs Typen parametrisiert, davon drei Varianten von *Sorghum bicolor* (L.) Moench. Eine vorläufige Bewertung der Eignung von *Sorghum bicolor* (L.) Moench basierend auf Resultaten der Sortenversuche von Hiltbrunner *et al.* (2012) ergab, dass sich die Standardwerte der Parameter für eine Anwendung des Modells in der Schweiz nicht eignen, denn bisher wurde in Ecocrop Sorghum mit Blick auf tropische und subtropische Regionen betrachtet.

Aus diesem Grund wurde hier in einem ersten Schritt eine Parametrisierung für zwei neue Varianten etabliert, die als repräsentativ für die in der Schweiz verbreitete Sorghum-Nutzungsrichtungen angesehen werden können (hier Körner- und Silosorghum genannt). Die Minimaltemperatur von 8°C wurde dabei beibehalten, die optimale Temperaturspanne von 27–35 zu 16–24°C und die Maximaltemperatur von 34 zu 30°C angepasst. Die Vegetationsdauer für Silosorghum wurde auf 110 Tage und für Körnersorghum auf 160 Tage festgelegt. Durch diese Kalibrierung erreichte das Modell Eignungswerte, die mit den Ergebnissen der Experimente vergleichbar waren.

**Tabelle 1 |** Interpretation der Eignungswerte von Ecocrop gemäss Ramirez-Villegas (2013). Ab 60% kann von einer guten, respektive sehr guten Eignung ausgegangen werden.

< 20 %	Ungeeignet
20 – 39 %	Sehr bedingt geeignet
40 – 59 %	Bedingt geeignet
60 – 79 %	Geeignet
> 80 %	Sehr geeignet



**Abb. 2 |** Kumulierte Temperatursummen der Jahre 2001 bis 2020 am Standort Reckenholz (Zürich-Affoltern). Als Datum für die Aussaat wurde der 1. Mai gewählt. Das spätmöglichste Datum für die Ernte wurde auf dem 31. Oktober festgelegt. Das grüne Polygon zeigt die Spanne der berechneten Erntedaten von Silosorghum an, das orange diejenige der berechneten Erntedaten von Körnersorghum. Die Temperatursummenansprüche für die beiden Nutzungsrichtungen sind als horizontale Linien eingetragen.

### Klimadaten und -szenarien

Für die Berechnung der Temperatursummen an ausgewählten Standorten wurden tägliche Messdaten von MeteoSchweiz über die letzten 20 Jahre verwendet (MeteoSchweiz, 2022). Fehlende Messdaten wurden interpoliert. In einem ersten Schritt wurde die thermische Eignung von Sorghum am Standort Reckenholz in Zürich-Affoltern untersucht. In einem zweiten Schritt wurden weitere 14 Messstationen in verschiedenen klimatischen Regionen der Schweiz betrachtet (Abb. 1). Das ergab 13 Stationen auf der Alpennordseite<sup>3</sup> (von Westen nach Osten): Nyon/Changins (CGI), Fahy (FAH), Fribourg/Grangeneuve (GRA), Delémont (DEM), Bern/Zollikofen (BER), Basel/Binningen (BAS), Luzern (LUZ), Zürich/Affoltern (REH), Schaffhausen (SHA), Aadorf/Tänikon (TAE), Altenrhein (ARH), Bad Ragaz (RAG), Chur (CHU). Zusätzlich berücksichtigten wir Sion (SIO) und Magadino (MAG). Die insgesamt 15 Standorte liegen zwischen 316 und 651 Metern über Meer.

Für die exemplarische Darstellung der Auswirkungen des Klimawandels auf die Temperatursummen von Sorghum am Standort Reckenholz in Zürich-Affoltern, wurden

die Klimaszenarien CH2018 für die Schweiz beigezogen (NCCS 2018). Betrachtet wurden der Zeitraum 2021–2060 und die Emissionsszenarien RCP 4.5 und RCP 8.5. Das Szenario RCP 4.5 geht von der Annahme aus, dass die globalen Emissionen ab Mitte Jahrhundert stabilisiert werden können, wodurch die maximale Erwärmung auf 2.6°C bis zum Ende des Jahrhunderts begrenzt werden kann. Für das Szenario RCP 8.5 wurde angenommen, dass keine Massnahmen zur Reduktion von Treibhausgasen erfolgen, der Ausstoss von Treibhausgasen bis Ende Jahrhundert weiter zunimmt und die globale Erwärmung (ebenfalls Ende des Jahrhunderts) um die 5.0°C beträgt (IPCC 2022). Für das Szenario RCP 4.5 standen aus NCCS (2018) 17 Modellketten zur Verfügung, für das Szenario RCP 8.5 22 Modellketten.

Für die Erstellung von Eignungskarten für Silo- und Körnersorghum für die Schweiz verwendeten wir die Temperaturgitterdaten von MeteoSchweiz, welche aus Messdaten und mit Hilfe einer Interpolationsmethode nach Frei (2014) berechnet wurden. Diese Daten sind täglich in einer räumlichen Auflösung von 1 km × 1 km verfügbar. Zur Abgrenzung des Ackerlandes verwendeten wir die Arealstatistik 2013–2018 (BFS 2021). Es wurden nur Rasterzellen berücksichtigt, die in der Arealstatistik als offenes Ackerland ausgewiesen wurden.

<sup>3</sup> Die Bezeichnungen hier und in Abb. 1 entsprechen derjenigen vom Bundesamt für Meteorologie und Klimatologie (MeteoSchweiz). Ansonsten wird für Zürich-Affoltern die übliche Schreibweise verwendet.

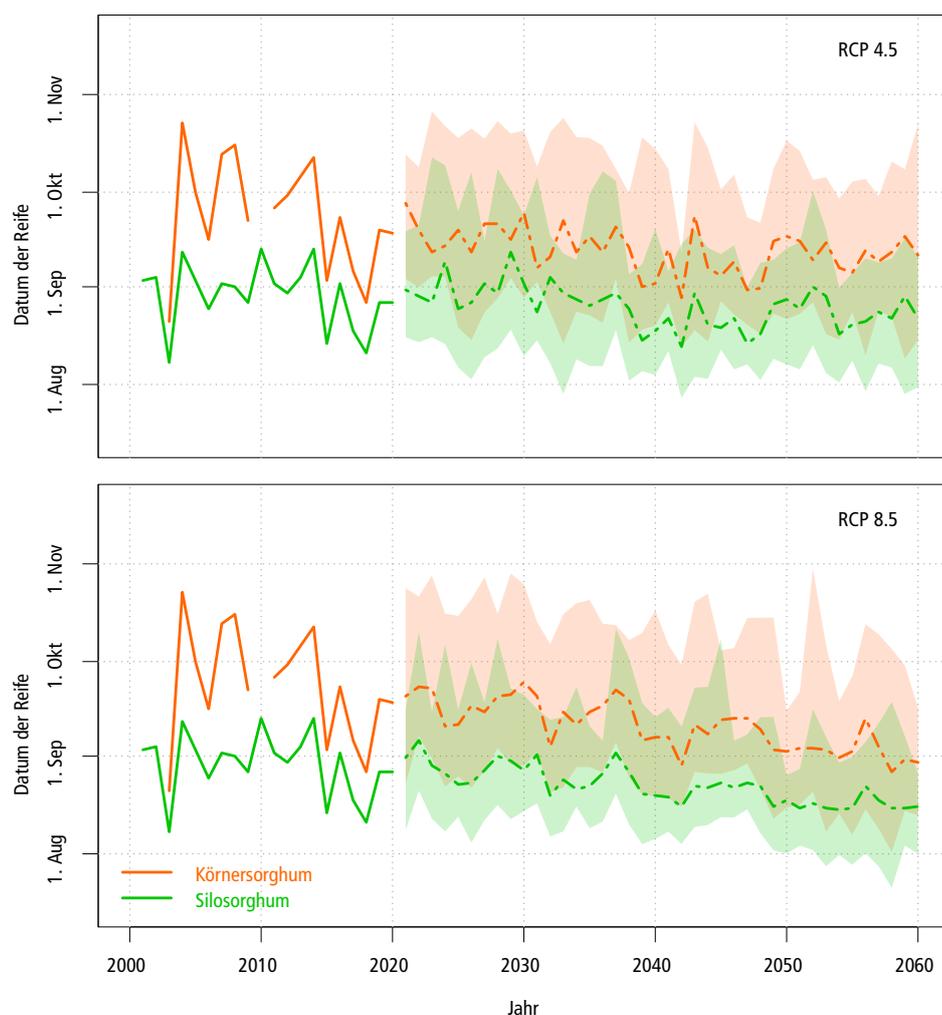
## Resultate

### Temperatursummenanalysen am Standort Reckenholz in Zürich-Affoltern.

In Abbildung 2 ist der Verlauf der Temperatursumme am Standort Reckenholz in Zürich-Affoltern in den Jahren 2001 bis 2020 veranschaulicht. Der Anstieg der Temperatursummen beginnt am 1. Mai, den wir als Datum der Aussaat annahmen, und die Kurven haben eine maximale Steigung über die Sommermonate, gefolgt von einer Abflachung ab September. Die Abbildung zeigt, dass die Temperatursummen in den Monaten November und Dezember nur noch minim zunehmen. Dies untermauert die Entscheidung, die Temperatursummenberechnungen für die Beurteilung der thermischen Eignung bis Ende Oktober zu beschränken.

An diesem Standort wird die Reife im Mittel der 20 untersuchten Jahre am 31. August (Silosorghum), bzw. am 27. September (Körnersorghum) erreicht, wobei die Variabilität der ermittelten Reifedaten von Jahr zu Jahr beachtlich ist. Für Silosorghum erstrecken sich die möglichen Daten grob zwischen der ersten Woche August und Mitte September; Körnersorghum könnte seine Reife in günstigen Jahren bereits in der zweiten Hälfte August erreichen, während in ungünstigen Jahren die Wärmeansprüche gar nicht erfüllt werden können.

Die Abbildung 3 zeigt das Datum der Reife von Körner- und Silosorghum in den letzten 20 Jahren, sowie die mögliche Entwicklung bis 2060 für die zwei gewählten Emissionsszenarien RCP 4.5. und RCP 8.5. Der Verlauf



**Abb. 3 |** Erntedatum für Silo-, bzw. Körnersorghum in den Jahren 2001-2020 am Standort Reckenholz in Zürich-Affoltern (durchgezogene Linien), sowie Entwicklung bis 2060 unter den Klimaszenarien RCP 4.5 (oben) und RCP 8.5 (unten). Die ab 2021 gestrichelte Linie stellt den Median der Modellketten dar. Die gefärbten Flächen zeigen die Bandbreite der einzelnen Modellketten anhand des 5. und des 95. Perzentils. Die Unterbrüche in der Datenreihe 2002–2020 von Körnersorghum zeigen Jahre, in denen die Reife erst nach dem 31. Oktober berechnet wurde.

**Tabelle 2 | Mittleres Datum der Reife und Wahrscheinlichkeit des Erreichens der Reife bis Ende Oktober an den 15 Standorten von Abb. 1, basierend auf den Auswertungen für 2001–2020, unter Annahme einer Aussaat am 1. Mai (links) oder am 15. Mai (rechts). Für die Bestimmung des mittleren Reifedatums wurden Daten nach dem 1. November nicht berücksichtigt. Die Standorte nördlich der Alpen sind ihrer Lage nach von Westen nach Osten aufgelistet, gefolgt von Sion (inneralpiner Standort) und Magadino (Standort auf der Alpensüdseite). Die farbliche Abstufung wiedergibt die Einteilung in drei Wahrscheinlichkeitsklassen (0–50 %, hellgrün; 50–80 %, grün; und, 80–100 %, dunkelgrün) und entspricht derjenigen in Abb. 5.**

Station	Standortinformation		Mittlere Temperatur Mai–September (°C)	Reifedatum und Wahrscheinlichkeit bei Aussaat 01.05.				Reifedatum und Wahrscheinlichkeit bei Aussaat 15.05.			
	CH-Koordinaten	Höhe ü.M.		Silosorghum		Körnersorghum		Silosorghum		Körnersorghum	
CGI	2506878 / 1139574	458	17,72	24.08.	100 %	15.09.	100 %	31.08.	100 %	22.09.	90 %
FAH	2562465 / 1252676	596	15,95	24.09.	85 %	02.10.	40 %	25.09.	80 %	10.10.	30 %
GRA	2575184 / 1180076	651	16,20	15.09.	95 %	26.09.	35 %	24.09.	90 %	04.10.	25 %
DEM	2593270 / 1244543	439	16,77	05.09.	100 %	30.09.	75 %	12.09.	100 %	10.10.	55 %
BER	2601934 / 1204410	553	16,52	08.09.	100 %	02.10.	65 %	16.09.	95 %	06.10.	35 %
BAS	2610909 / 1265612	316	17,86	22.08.	100 %	12.09.	100 %	29.08.	100 %	23.09.	100 %
LUZ	2665545 / 1209850	454	17,19	29.08.	100 %	24.09.	95 %	06.09.	100 %	02.10.	80 %
REH	2681433 / 1253548	444	17,02	31.08.	100 %	27.09.	90 %	09.09.	100 %	03.10.	70 %
SHA	2688704 / 1282803	438	17,13	29.08.	100 %	25.09.	90 %	07.09.	100 %	01.10.	70 %
TAE	2710518 / 1259824	539	16,18	16.09.	100 %	02.10.	40 %	22.09.	85 %	09.10.	25 %
RAG	2756911 / 1209351	496	17,42	27.08.	100 %	19.09.	100 %	04.09.	100 %	02.10.	100 %
CHU	2759467 / 1193153	556	17,34	27.08.	100 %	22.09.	100 %	06.09.	100 %	30.09.	80 %
ARH	2760387 / 1261382	397	17,13	29.08.	100 %	26.09.	95 %	06.09.	100 %	01.10.	70 %
SIO	2591633 / 1118584	482	18,47	16.08.	100 %	02.09.	100 %	23.08.	100 %	12.09.	100 %
MAG	2715480 / 1113161	203	19,57	07.08.	100 %	22.08.	100 %	15.08.	100 %	30.08.	100 %

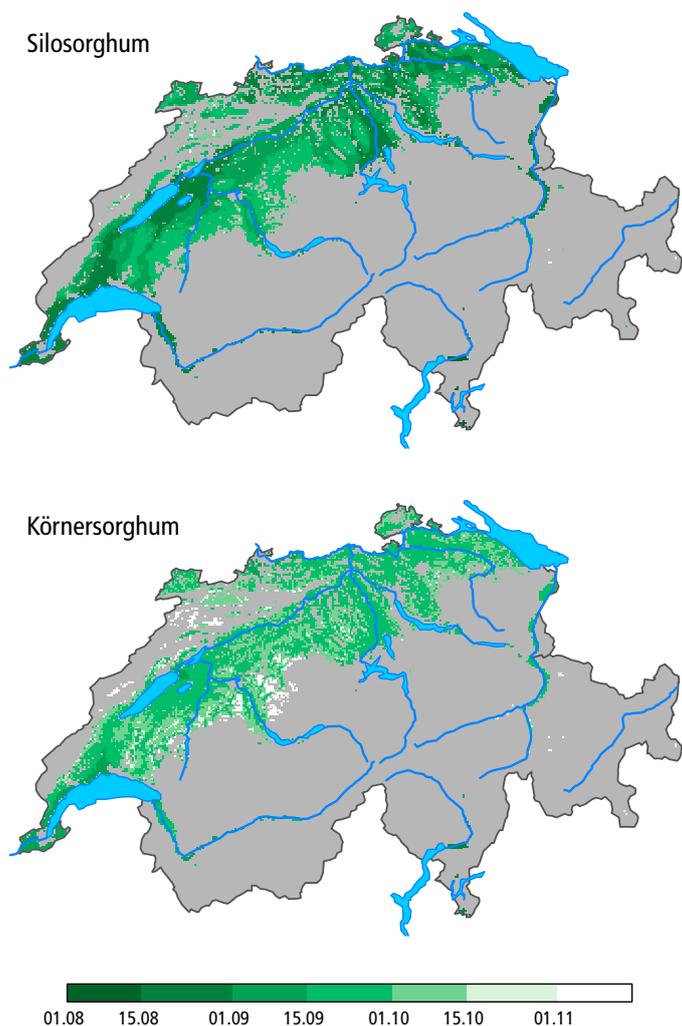
der berechneten Erntedaten bis 2020 zeigt eine Verschiebung zu früheren Terminen als Folge der aktuellen Klimaerwärmung. Die Trends sind auf Grund der kurzen Zeitspanne und der hohen zwischenjährlichen Variabilität statistisch nicht signifikant. Nichtsdestotrotz deuten sie darauf hin, dass sich der Erntetermin von Silosorghum um ca. vier Tage pro Jahrzehnt verschoben hat, jener von Körnersorghum um ca. zwölf Tage pro Jahrzehnt. Gemäss Berechnungen setzten sich diese Trends in Zukunft fort, wobei sie erwartungsgemäss unter dem Emissionsszenario RCP 8.5 deutlicher sind als unter dem Emissionsszenario RCP 4.5.

Ergebnisse der Untersuchung der thermischen Eignung für den Anbau von Silo- und Körnersorghum an allen 15 Standorten von Abb. 1 sind in Tab. 1 zusammengefasst. Silosorghum ist bei einer frühen Aussaat am 1. Mai gemäss unseren Resultaten für alle Standorte sehr gut geeignet, denn die Wahrscheinlichkeit des Erreichens der Reife bis Ende Oktober beträgt fast überall 100 % (einzige Ausnahmen sind die etwa höher gelegenen Standorte Fahy und Fribourg / Grangeneuve). Auch eine Aussaat Mitte Mai hätte an den meisten Standorten in

fast jedem Jahr zur Reife geführt, obwohl bei dieser späteren Aussaat die Ernte erst eine Woche später als bei der früheren Aussaat erfolgen würde.

Im Vergleich zu Silosorghum, benötigt Körnersorghum bis zur Reife eine rund 200 °C höhere Temperatursumme und ist deshalb nicht für alle Standorte gleichermaßen geeignet. Im Mittel aller untersuchten Standorte beträgt die Wahrscheinlichkeit, dass die Reife vor Ende Oktober eintritt, 82 %. Bei einer Verschiebung der Aussaat um 15 Tage reduziert sich diese Wahrscheinlichkeit im Mittel auf 69 %.

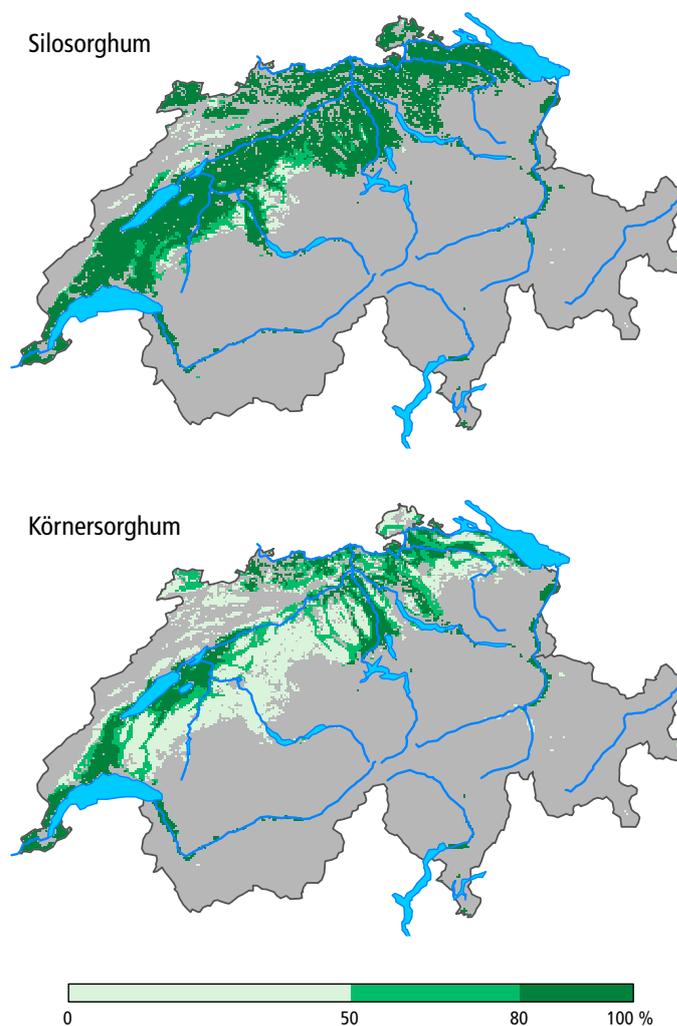
An sehr warmen Standorten wie Sion oder Magadino erreicht Körnersorghum bei einer Aussaat am 1. Mai im Mittel zwischen Mitte August und Anfang September die notwendige Temperatursumme, während dies an den anderen Standorten erst in der zweiten Hälfte September oder im Oktober der Fall ist. Bei einer Aussaat am 15. Mai wird das Reifedatum bei Körnersorghum um rund zwölf Tage später erreicht. An den Standorten mit den verhältnismässig tiefen Sommertemperaturen ist die Wahrscheinlichkeit zur Erreichung der Temperatursumme von 1350 °C geringer, und fällt unter 50 %.



**Abb. 4 |** Karte des mittleren Reifedatums von Silo- (oben) und Körnersorghum (unten) auf der Ackerfläche der Schweiz. Grau eingefärbt sind Gebiete ausserhalb des heutigen Ackerlands. Weiss eingefärbt sind Gebiete, in denen Sorghum, gemäss Berechnungen für das heutige Klima, die Reife erst nach dem 31. Oktober oder gar nicht erreichen würde.

### Temperatursummenkarten

Die Karten in Abbildung 4 zeigen die Reifedaten von Silo- und Körnersorghum auf Ackerflächen in der Schweiz. Dunkelgrüne Werte zeigen Gebiete an, in denen die notwendigen Temperatursummen von 1150, respektive 1350 °C früh erreicht werden und Sorghum somit bereits im Spätsommer geerntet werden könnte. Hellgrüne Bereiche indizieren eine späte Reife und damit eine grössere Wahrscheinlichkeit, dass insbesondere Körnersorghum nicht in jedem Jahr die Reife erreicht. Da vor allem trockene und warme Standorte für Sorghum sehr gut geeignet sind, bieten sich föhnreiche Regionen wie das Rheintal besonders an.



**Abb. 5 |** Wahrscheinlichkeit, dass Silo- (oben), respektive Körnersorghum (unten) die für die Reife nötigen Temperatursummen bis spätestens am 31. Oktober erreichen. Grau eingefärbt sind Gebiete ausserhalb des heutigen Ackerlands.

Die Karten in Abbildung 5 stellen die Wahrscheinlichkeit dar, mit welcher Silo-, bzw. Körnersorghum im Schnitt zwischen 2001 und 2020 die Reife bis Ende Oktober unter den gegebenen Angaben erreicht hätten. Mit der einzigen Ausnahme von Randgebieten (höher gelegene Standorte) im Jura und den Voralpen, beträgt diese Wahrscheinlichkeit bei Silosorghum auf dem grössten Teil des heutigen Ackerlandes mehr als 80%. Das heisst, dass praktisch überall das Risiko einer unvollständigen Abreife bis am 31. Oktober in maximal einem von fünf Jahren besteht. Wie bereits in Tabelle 2 ersichtlich, ist die Wahrscheinlichkeit der Abreife bei Körnersorghum deutlich geringer als bei Silosorghum. Auf rund der Hälfte der Ackerfläche der Schweiz sinkt diese Wahrscheinlichkeit sogar auf unter 50%.

**Tabelle 3 |** Resultate der Berechnungen mit Ecocrop. Eignung von Sorghum an 15 Standorten in der Schweiz. Werte ab 60 % (grün und dunkelgrün eingefärbt) zeigen eine gute Eignung an. An Standorten mit einer Eignung unter 60 % (hellgrün) wäre der Anbau zwar nicht unmöglich, jedoch mit Unsicherheiten verbunden.

Station	Standortinformation		Mittlere Temperatur Mai–September (°C)	Silosorghum		Körnersorghum	
	CH-Koordinaten	Höhe ü.M.		Eignung unbewässert	Eignung bewässert	Eignung unbewässert	Eignung bewässert
CGI	2506878 / 1139574	458	17,72	95 %	97 %	78 %	78 %
FAH	2562465 / 1252676	596	15,95	76 %	76 %	57 %	57 %
GRA	2575184 / 1180076	651	16,20	75 %	75 %	61 %	61 %
DEM	2593270 / 1244543	439	16,77	69 %	83 %	69 %	69 %
BER	2601934 / 1204410	553	16,52	79 %	79 %	66 %	66 %
BAS	2610909 / 1265612	316	17,86	69 %	95 %	77 %	84 %
LUZ	2665545 / 1209850	454	17,19	87 %	87 %	77 %	77 %
REH	2681433 / 1253548	444	17,02	83 %	83 %	75 %	75 %
SHA	2688704 / 1282803	438	17,13	68 %	85 %	76 %	76 %
TAE	2710518 / 1259824	539	16,18	73 %	73 %	64 %	64 %
RAG	2756911 / 1209351	496	17,42	91 %	91 %	83 %	83 %
CHU	2759467 / 1193153	556	17,34	82 %	88 %	82 %	82 %
ARH	2760387 / 1261382	397	17,13	85 %	85 %	77 %	77 %
SIO	2591633 / 1118584	482	18,47	0 %	100 %	11 %	93 %
MAG	2715480 / 1113161	203	19,57	97 %	100 %	87 %	100 %

### Ecocrop

Als Vergleich zur Temperatursummenanalyse wurde die klimatische Eignung für die 15 Standorte von Abbildung 1 auch anhand des Modells Ecocrop bewertet, und zwar für einen Anbau ohne und mit Bewässerung, wobei die Schätzungen mit Bewässerung allein zur Plausibilisierung der geschätzten Trockenheitseinflüsse dienen (Tab. 3).

Unter Annahme eines unbewässerten Anbaus werden für Silosorghum an praktisch allen Standorten (mit der einzigen Ausnahme von Sion) Eignungswerte von rund 70 % oder mehr erreicht, bei der Hälfte der Standorte sogar von 80 % oder mehr. Diese Ergebnisse zeigen, dass in vielen Regionen der Niederschlag die Wasseransprüche hinreichend abdeckt. Die Eignungswerte unter Annahme eines bewässerten Anbaus sind im Mittel um 11 % höher; an eher trockenen Standorten (Schaffhausen, Basel, Delémont) sowie an sehr trockenen Standorten (Sion), führt die Bewässerung dennoch zu einer deutlicheren Erhöhung der Klimaeignung. Dort wo die Bewässerung zu keiner Verbesserung der Eignung führt (bei einem Eignungswert von <100 %), ist die Eignung allein durch die Temperatur eingeschränkt.

Wie bereits im Zusammenhang mit den Temperatursummen ersichtlich war, ist die Eignung für den An-

bau von Körnersorghum geringer als für Silosorghum. Unter Annahme eines unbewässerten Anbaus beträgt die Eignung im Mittel 69 % (gegenüber 75 % für Silosorghum), unter Annahme eines bewässerten Anbaus im Mittel 76 % (gegenüber 86 % für Silosorghum). In diesem Fall erhöht die Bewässerung die Eignung im Mittel um ca. 7 %.

Die Gegenüberstellung der Resultate in Tabelle 3 und derjenigen in Tabelle 2 zeigt, dass beide Beurteilungsansätze zu einer ähnlichen Klassierung der Schweizer Anbauggebiete führen. Wenn die Wahrscheinlichkeit des Erreichens der Reife vor dem 31. Oktober gemäss Temperatursummenberechnung mindestens 70 % erreicht, so kann auch gemäss Ecocrop mit einem Wert von über 60 % von einer guten Eignung gesprochen werden. Bei einer Wahrscheinlichkeit des Erreichens der Reife vor dem 31. Oktober von 90 bis 100 %, ergeben sich auch bei Ecocrop Werte im Bereich der «sehr guten» Eignung.

### Diskussion und Schlussfolgerungen

Sorghum stellt als Ergänzung zu Mais und anderen Futterpflanzen eine interessante Nischenkultur dar. Sein Potential hinsichtlich Ertrag, Qualität, Resistenz gegen Krankheiten, etc. wird seit mehr als zehn Jahren im

Rahmen von Anbauversuchen bei Agroscope und in der Praxis auch durch einige Landwirte untersucht. In der vorliegenden Arbeit wurde basierend auf Temperatursummen nachgeprüft, welche Regionen den Wärmeansprüchen von Silo- und Körnersorghum gerecht werden. Auch wenn weitere ökologische Faktoren wie beispielsweise Niederschlag und Bodenbeschaffenheit für eine abschliessende Beurteilung wichtig sind, so liefert die Analyse der Temperatursummen erste konkrete Informationen über die mögliche Abgrenzung von günstigen Anbauflächen.

In den vorliegenden Analysen wurde mit Temperatursummen gearbeitet, welche nur nach unten beschränkt waren. Eine Einschränkung für sehr warme Temperaturen wurde nicht gemacht. Gemäss FAO (2023b) können erst Temperaturen von über 35 °C die Pflanzenentwicklung beeinflussen und den Ertrag reduzieren. Einige Studien schlagen jedoch bereits eine obere Grenze von 30 °C vor (z.B. Arvalis 2021). Wie wichtig die Berücksichtigung einer oberen Temperaturgrenze ist, sollte bei einer Neuauflegung unserer Untersuchungen eruiert werden. Eine weitere, bedeutende Vereinfachung war die Annahme eines fixen Aussaatdatums. Diese Annahme sollte bei weiterführenden Arbeiten genauer angeschaut werden. Da gemäss Literatur Sorghum empfindlicher als Mais auf tiefere Temperaturen reagiert und für einen erfolgreichen Anbau einer optimalen Bodentemperatur bei der Aussaat von 12 °C im Minimum benötigt (Steduto *et al.* 2012, Hiltbrunner *et al.* 2012), sollte die Möglichkeit einer variablen Aussaat in Abhängigkeit der Bodentemperatur bewertet werden.

Trotzdem sollte die Aussaat nicht zu spät stattfinden, denn die Wahrscheinlichkeit einer vollständigen Abreife vor dem 31. Oktober sinkt mit der Hinausschiebung der Aussaat. Die Ergebnisse in Tabelle 1 zeigen, dass eine Verzögerung der Aussaat um zwei Wochen (vom 1. zum 15. Mai) bei Silosorghum diese Wahrscheinlichkeit nur minim verändert, jedoch bei Körnersorghum die Wahrscheinlichkeit von 82 % auf 69 % im Durchschnitt der 15 untersuchten Standorte reduziert. Diesem Trend könnte mit der Züchtung und Einführung von frühreifen Sorghumsorten entgegengewirkt werden.

Nebst der Temperatursummenanalyse, wurde die Klimateignung für den Anbau von Sorghum in der Schweiz mit Ecocrop bewertet (Hijmans *et al.* 2001). Die gute Übereinstimmung der beiden Methoden hinsichtlich der Gesamtbewertung ist ein Hinweis dafür, dass unsere Analyse plausibel ist und, wie schon die Arbeit von Buzzi *et al.* (2021) zu den Temperatursummen-Karten für die Sortenwahl im Maisanbau, nützliche Informationen für die Praxis liefern kann.

Für ihre Auswertungen nahmen Buzzi *et al.* (2021) Temperatursummenansprüche für Mais an, die höher sind als diejenigen für Sorghum in der vorliegenden Arbeit. Dafür wurde von Buzzi *et al.* (2021) für Mais eine niedrigere Basistemperatur gewählt (6 °C) als von uns hier für Sorghum (8 °C). Das Gegenspiel von tieferen Temperatursummenansprüchen einerseits, aber höherer Basistemperatur andererseits, führt im Endeffekt dazu, dass unsere Karten für Silosorghum ähnlich aussehen wie diejenigen von mittelfrühen Maissorten in Buzzi *et al.* (2021), und für Körnersorghum ähnlich wie diejenigen von mittelspäten Maissorten.

Im Gegensatz zu Mais kommt Sorghum mit weniger Niederschlag zurecht. Laut FAO Crop Datenbank (FAO 2023b), benötigt Sorghum im Schnitt über das Jahr insgesamt mindestens 300 mm Niederschlag und wächst optimal bei 500 bis 1000 mm Niederschlag. Mais benötigt im Mittel mindestens 400 mm Niederschlag und ist für ein optimales Wachstum auf vorzugsweise 600 bis 1200 mm Niederschlag angewiesen. Trotzdem zeigte sich in den Analysen mit Ecocrop, dass an trockenen Standorten der Schweiz, wie beispielsweise in Sion und Magadino, der Wasserbedarf von Sorghum ein limitierender Faktor sein könnte, und dass an solchen Standorten Bewässerung die Eignung deutlich erhöhen könnte. Da es sich allerdings um provisorische Ergebnisse handelt, sollte die Frage der Notwendigkeit einer Bewässerung in zukünftigen Arbeiten eingehender analysiert werden. ■

#### Dank

Wir bedanken uns beim Bundesamt für Meteorologie und Klimatologie (MeteoSchweiz) für die Bereitstellung der räumlichen Klimaanalysen.

## Literatur

- Arvalis, 2021: Sorgho – Variétés et interventions. Synthèse nationale 2020–2021. Choisir et Décider, 12–21. [https://www.arvalis.fr/sites/default/files/imported\\_files/choisir\\_sorgho\\_2020\\_640509390769534226.pdf](https://www.arvalis.fr/sites/default/files/imported_files/choisir_sorgho_2020_640509390769534226.pdf) [24.03.2023]
- Bundesamt für Meteorologie und Klimatologie (MeteoSchweiz), 2022: Automatisches Messnetz. <https://www.meteoschweiz.admin.ch/home/mess-und-prognosesysteme/bodenstationen/automatisches-messnetz.html> [07.02.2023]
- Bundesamt für Statistik (BFS), 2021: Datenbeschreibung: Geodaten in Hektarauflösung zur Arealstatistik nach Nomenklatur 2004. Bundesamt für Statistik, Neuchâtel.
- Bundesamt für Umwelt (BAFU) *et al.*, 2020: Klimawandel in der Schweiz. Indikatoren zu Ursachen, Auswirkungen, Massnahmen. Umwelt-Zustand Nr. 2013: 105 S. <https://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/klima/publikationen-studien/publikationen/klimaaenderung-schweiz.html> [07.02.2023]
- Buzzi, F., Hiltbrunner, J., Holzkämper, A., Calanca, P., 2021: Temperatursummen-Karten für die Sortenwahl im Maisanbau. *Agrarforschung Schweiz*, **12**, 1–8.
- Egbebiyi, T. S., Crespo, O., Lennard, C., Zaroug, M., Nikulin, G., Harris, I., Price, J., Forstenhäusler, N., Warren, R., 2020: Investigating the potential impact of 1.5, 2 and 3 °C global warming levels on crop suitability and planting season over West Africa. *PeerJ*, **8** (3), 1–34.
- Fasching, C., 2014: Futterwert von Sorghum-Hirse und deren Verwendung in der Milchproduktion. 41. Viehwirtschaftliche Fachtagung, 129–140, Lehr- und Forschungszentrum für Landwirtschaft Raumberg-Gumpenstein, ISBN: 978-3-902849-05-2.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), 2023a: Statistical Databases (FAOSTAT). <http://faostat.fao.org/default.aspx?lang=en> [07.02.2023]
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), 2023b: Crop Datenbank. <https://www.fao.org/land-water/databases-and-software/crop-information/sorghum/en/> [07.02.2023]
- Frei, C., 2014: Interpolation of temperature in a mountainous region using non-linear profiles and non-Euclidean distances. *Int. J. Climatol.*, **34**, 1585–1605. doi: 10.1002/joc.3786.
- Gerik, T., Bean, B., Vanderlip, R. L., 2003: Sorghum Growth and Development. Hg. v. Texas A. & M. University System Texas Cooperative Extension. University of Texas (B-6137 7-03).
- Heinz, M., Romppainen-Martius, O., and Holzkämper, A., 2021: Alternative crops for a changing climate in Switzerland, EGU General Assembly 2021, online, 19–30 Apr 2021, EGU21-14699. <https://doi.org/10.5194/egusphere-egu21-14699> [07.02.2023]
- Hijmans, R.J., Guarino, L., Cruz, M., Rojas, E., 2001: Computer tools for spatial analysis of plant genetic resources data. 1. DIVA-GIS Plant Genetic Resources Newsletter, 127 (2001), 15–19.
- Hiltbrunner, J., Buchmann, U., Vogelgsang, S., Gutzwiller, A., Ramseier H., 2012: Körnersorghum – eine in der Schweiz noch unbekannte, interessante Ackerkultur. *Agrarforschung Schweiz*, **3** (11–12), 542–531.
- Holzkämper, A., Fuhrer J., 2015: Wie sich der Klimawandel auf den Maisanbau in der Schweiz auswirkt. *Agrarforschung Schweiz*, **6** (10), 440–447.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), 2022: Climate Change 2022: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, M. Tignor, E.S. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Craig, S. Langsdorf, S. Lösschke, V. Möller, A. Okem, B. Rama (eds.)]. Cambridge University Press. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, 3056 pp., doi:10.1017/9781009325844.
- Lidea Seeds, 2021: Panicles at maturity, leaves stayed green: the secret of sorghum harvest. <https://lidea-seeds.com/news/sorghum/panicles-at-maturity-leaves-stayed-green-the-secret-of-sorghum-harvest> [07.02.2023]
- National Centre for Climate Services (NCCS) (Hrsg.), 2018: CH2018 – Klimaszenarien für die Schweiz. National Centre for Climate Services, Zürich. 24 S. ISBN-Nummer 978-3-9525031-0-2. <https://www.nccs.admin.ch/nccs/de/home/klimawandel-und-auswirkungen/schweizer-klimaszenarien.html> [07.02.2023]
- Ramirez-Villegas, J., Jarvis, A., Läderach, P., 2013: Empirical approaches for assessing impacts of climate change on agriculture: The EcoCrop model and a case study with grain sorghum. *Agricultural and Forest Meteorology* **170**, 67–78.
- Sanchez-Diaz, M. F., Kramer, P. J., 1971: Behavior of Corn and Sorghum under Water Stress and during Recovery. *Plant Physiol.*, **48** (5), 613–616. doi: 10.1104/pp.48.5.613
- Schweizer Bauernverband (SBV), 2021: Statistische Erhebungen und Schätzungen über Landwirtschaft und Ernährung (SES), Kapitel 2, Pflanzenbau (September 2022) und Aussenhandel (August 2022). <https://www.sbv-usp.ch/de/services/agristat-statistik-der-schweizer-landwirtschaft/statistische-erhebungen-und-schaetzungen-ses> [07.02.2023]
- Starggenborg, S. A., Dhuyvetter, K. C., Gordon, B. W. 2008. Grain sorghum and corn comparisons: Yield, economic, and environmental responses. *Agron.* **100**, 1600–1604
- Steduto, P., Hsiao, T. C., Fereres, E., Raes, D., 2012: FAO Irrigation and Drainage Paper 66, Crop Yield Response to Water. Food and Agriculture Organization (FAO) of the United Nations, S. 144–151. <https://www.fao.org/3/i2800e/i2800e.pdf> [07.02.2023]
- Zeise, K., Fritz, M., 2012: Sorghum als Energiepflanze - Optimierung der Produktionstechnik. Berichte aus dem TFZ. Straubing: Technologie- und Förderzentrum im Kompetenzzentrum für Nachwachsende Rohstoffe. [https://www.tfz.bayern.de/mam/cms08/rohstoffpflanzen/dateien/130125\\_abschlussbericht\\_sorghum\\_ii\\_web.pdf](https://www.tfz.bayern.de/mam/cms08/rohstoffpflanzen/dateien/130125_abschlussbericht_sorghum_ii_web.pdf) [07.02.2023]