

Hat sich die Zeitspanne von der Saat bis zur Reife für Sommerkulturen in Mitteldeutschland infolge von Temperaturerhöhung verkürzt?

Max PICKERT, Martina WOLTER, Jürgen DÖRING und Heinz BORG

5 Abbildungen und 3 Tabellen

Abstract

PICKERT, M., WOLTER, M., DÖRING, J., BORG, H.: Did the time span between sowing and maturity of summer crops in central Germany become shorter due to increasing temperatures? - *Hercynia N. F.* 48 (2015): 5 – 20.

At present anthropogenic climate change is a much discussed topic. In Germany the mean annual temperature is said to have increased by 1°C since 1901, the decade from 1990 to 1999 is considered to be the warmest in the 20th century, and the temperatures in the years since were mostly above the long term mean. Our study examines if this temperature pattern is reflected in a shortening of the time span between sowing and maturity (ZSE) of summer crops in Central Germany.

Observed ZSE cannot be used for this purpose, because the growth conditions in the individual years were rarely ideal so that the ZSE were not just affected by temperature, but also by other factors. Furthermore, over the years the varieties planted and their management changed, which affects the ZSE, too. Hence, the growing degree day method was used to calculate the ZSE from 1901 to 2012 (with a look back to 1851). In this method daily temperatures above a plant species specific base temperature and below an upper temperature limit, which a plant is exposed to during its growth, are summed up. From sowing to maturity a given species always requires the same temperature sum (TSE), if no other factors limit its growth. The ZSE results from the number of days passed until the TSE is reached. At warm temperatures it is reached faster than at cool ones so that the ZSE is less.

Calculations were carried out for summer crops with a TSE-requirement of 900, 1300 and 1700 °C d and for two sowing dates (March 15th and April 15th) using temperature data for Halle (Saale). It was assumed that all other growth conditions were ideal and that the only variable affecting plant growth was temperature.

The results for the six scenarios differ in the length of the ZSE, but the variation between 1901 and 2012 is very similar. There are two periods (1943 to 1953 and 1998 to 2012) when the ZSE were mostly quite short and rarely exceeded the mean for 1901 to 2012. In the first period the ZSE were on the whole shorter than in the second, but the second period is longer and probably not over yet. Looking back to 1851 there is an additional period between 1857 and 1880 when the ZSE were mostly below the long term mean. This is the longest such period to date. The ZSE were partly as short as those between 1998 and 2012, but longer on average. Note that before 1851 only mean monthly temperatures were available, which do not allow as precise a calculation of the ZSE as daily means do. There are also two periods (1881 or 1901, respectively, to 1942 and 1954 to 1997) when the ZSE were mostly above the mean of the total observation period. In the second period the ZSE were generally longer than in the first.

Since 1901 the ZSE did not become shorter, which means that crop development was not accelerated by higher temperatures. The claimed temperature rise since 1901 is not recognizable in the ZSE. Since 1998 the ZSE were often rather short, which matches the observation that temperatures since 1998 were mostly above the long term mean. However, between 1943 and 1953 the ZSE were similarly short and at times even shorter, which means that these were the warmest years, at least during the period of crop growth. The years since 1998 exhibit rather short, though not the shortest ZSE for a rather long, though not the longest period. So far, periods with short ZSE were always followed by periods with above average ZSE.

Key words: climate change, growing degree days, growth period, temperature sum

1 Einleitung

Ein zurzeit viel diskutiertes Thema in der Wissenschaft, der Politik und in den Medien ist die anthropogen bedingte Veränderung des Klimas auf der Erde (BEHRINGER 2008, VAHRENHOLT & LÜNING 2012, IPCC 2012). Für Deutschland wird von 1901 bis 2008 von einer Temperaturerhöhung um 1 °C ausgegangen. Die Dekade 1990 bis 1999 gilt als die wärmste des 20. Jahrhunderts. Außerdem waren die ersten Jahre des 21. Jahrhunderts wärmer als das Mittel der so genannten „Klimanormalperiode“ von 1961 bis 1990 (UBA 2012). In Bezug auf diese Aussagen stellt sich unter anderem die Frage, ob und wie sich der eben skizzierte Temperaturverlauf auf das Wachstum von Kulturpflanzen ausgewirkt hat.

Die Entwicklung und das Wachstum einer Kulturpflanze werden von vielen Faktoren beeinflusst. Neben der Versorgung mit Wasser, Nährstoffen und CO₂ sowie der Sonneneinstrahlung hat die Temperatur, die während des Wachstums auf die Pflanze einwirkt, einen sehr großen Einfluss. Steigende Temperaturen über einer pflanzenartspezifischen Basistemperatur und unter einer oberen Temperaturgrenze wirken beschleunigend auf Wachstum und Entwicklung. Die Temperaturen, die während ihrer Vegetationszeit auf eine Pflanze einwirken, können zu einer so genannten Temperatursumme zusammengezählt werden. In der Landwirtschaft werden Temperatursummen unter anderem dazu benutzt, die Entwicklung und das Wachstum von Kultur- und Schadpflanzen sowie von Schädlingen und Nützlingen zu schätzen. In der Klimatologie ist die Temperatursummenmethode ein wertvolles Instrument zur Beurteilung des Klimas. Außerdem kommt sie in der Ökologie und im Bauwesen zum Einsatz.

Das Konzept der Temperatursumme hat eine lange Historie. Schon im 18. Jahrhundert summierte REAUMUR (1735) Tagestemperaturen und verglich sie mit dem Ertrag und Wachstum von Pflanzen, wie z.B. Wein und Weizen. Auch FRITSCH (1861) beschäftigte sich früh mit der Beziehung zwischen Temperatur und Pflanzenentwicklung und stellte pflanzenartspezifische „thermische Konstanten“ auf, die auf der Temperatursumme ab dem 1. Januar bis zur Blüte und Reife beruhen. Dabei summierte er Tagesmittelwerte über dem Gefrierpunkt. In WANG (1960) ist die weitere geschichtliche Entwicklung der Temperatursummenmethode kurz skizziert. Dort werden auch Kritikpunkte an der Methode angesprochen.

In der Pflanzenproduktion beginnt die Summierung der Temperaturen ab dem Vegetationsbeginn, ab der Saat oder Pflanzung oder ab einem bestimmten Entwicklungsstadium einer Kulturpflanze. Dabei sollte eine pflanzenartspezifische Basistemperatur von der jeweiligen Tagesmitteltemperatur abgezogen werden. Außerdem wird manchmal eine pflanzenartspezifische obere Temperaturgrenze verwendet, an der eine Kappung stattfindet, so dass darüber liegende Temperaturen nicht in vollem Umfang mit aufsummiert werden. ZALOM et al. (1983) geben einen Überblick über verschiedene Ansätze zur Berechnung der Temperatursumme. Auch in GILMORE & ROGERS (1958) und MAJOR et al. (1975) sind diverse Berechnungsmethoden zu finden.

Sofern ihr Wachstum nicht durch andere Faktoren (siehe oben) beeinträchtigt wird, braucht eine Kulturpflanze von der Saat bis zur Erntereife stets die gleiche Temperatursumme. Bei warmen Temperaturen wird sie (und damit die Reife) schneller erreicht als bei kühlen. In dieser Arbeit wird untersucht, wie sich der Temperaturverlauf in Mitteldeutschland von 1901 bis 2012 (mit einem Rückblick bis 1851) auf die Zeitspanne von der Saat bis zur Erntereife (ZSE) von Sommerkulturen ausgewirkt hat.

Für die landwirtschaftliche Versuchsstation in Halle liegen beobachtete ZSE-Werte für verschiedene Kulturen vor, die bis ins 19. Jahrhundert zurückreichen. Allerdings kann man sie für den Zweck dieser Studie nicht verwenden. Zum einen waren die Wachstumsbedingungen in den einzelnen Jahren fast nie ideal, so dass die ZSE nicht nur von der Temperatur, sondern auch von anderen Faktoren beeinflusst und dadurch verlängert wurden. Zum anderen haben sich im Lauf der Zeit die angebauten Sorten und die Bewirtschaftung (Bodenbearbeitung, Düngung, Pflanzenschutz) verändert, was sich ebenfalls auf die ZSE auswirkt. Um zu ermitteln, wie sich die ZSE seit 1901 bzw. 1851 als Folge des Temperaturverlaufs entwickelt haben, wird daher mithilfe der Temperatursummenmethode berechnet, wie viele Tage eine Sommerkultur in den einzelnen Jahren gebraucht hätte, um die notwendige Temperatursumme von der

Saat bis zur Erntereife (TSE) zu erreichen. Dabei wird angenommen, dass alle anderen Bedingungen ideal sind und die einzige Variable, die sich auf das Wachstum auswirkt, die Tagesmitteltemperatur ist. Eine kurze ZSE als Ergebnis spricht dabei für ein warmes Jahr, eine lange ZSE für ein kaltes, zumindest während des Wachstums der betrachteten Sommerkultur.

2 Material und Methode

In Anlehnung an CAMPBELL & NORMAN (1998) werden die Temperatursummen hier mit folgender Gleichung berechnet:

$$TSE = \sum [(T_m - T_b) \cdot \Delta t] \quad [1]$$

mit TSE = Temperatursumme von der Saat bis zur Erntereife (°C d), T_m = Tagesmittel der Lufttemperatur (°C), T_b = Basistemperatur (°C) und Δt = Zeitschritt der Summation (hier 1 d). Dies ist eine vereinfachte Gleichung, in der eine obere Temperaturgrenze nicht berücksichtigt wird. Sie ist für das Anliegen dieser Arbeit jedoch ausreichend, da in Mitteldeutschland die obere Temperaturgrenze für die typischen Sommerkulturen selten erreicht wird.

Die Untersuchungen wurden mit Temperaturdaten für Halle (Saale) durchgeführt, weil es dort eine sehr lange Messreihe gibt (DÖRING & BORG 2008). Seit 1901 stehen tägliche Werte zur Verfügung. Solche Daten wurden sogar schon seit 1851 erhoben, aber bis 1901 liegen nur die gemessenen Monatsmittelwerte vor, die Tageswerte sind verschollen.

Nach der derzeitigen Standardmethode des Deutschen Wetterdienstes wird die Tagesmitteltemperatur aus den gemessenen Temperaturen zu jeder vollen Stunde berechnet, also aus 24 Werten. Daten in dieser Auflösung stehen für Halle aber erst seit 1965 zur Verfügung. Zuvor wurde die Temperatur nur zu drei Zeiten gemessen (um 7:30, 14:30 und 21:30 Uhr MEZ) und die Tagesmitteltemperatur daraus nach folgender Formel gebildet:

$$T_m = \frac{T_{7:30} + T_{14:30} + 2 \cdot T_{21:30}}{4} \quad [2]$$

Hier wurden alle Tagesmitteltemperaturen nach dieser Formel berechnet, da sie nur so für den gesamten Betrachtungszeitraum von 1901 bis 2012 auf die gleiche Weise berechnet werden können.

Für die Berechnung der Temperatursummen werden in dieser Arbeit Sommerkulturen betrachtet, die im Frühjahr gesät und im Spätsommer/Frühherbst geerntet werden. Typische Sommerkulturen für Mitteldeutschland sind unter anderem Gerste, Hafer, Roggen, Weizen, Bohnen, Erbsen, Linsen, Kartoffeln, Flachs, Lein und Zuckerrüben. Als Saattermin wird zum einen der 15. März angesetzt, der sich für Mitteldeutschland aus den Empfehlungen von Landwirtschaftskammern und Landwirtschaftsämtern für eine Reihe von Sommerkulturen ableitet. Zum anderen wurde der 15. April herangezogen, der in Mitteldeutschland einem späten Saattermin für Sommerkulturen entspricht.

Wie aus Gleichung 1 hervorgeht, spielt die Basistemperatur (T_b) eine wesentliche Rolle bei der Berechnung der Temperatursumme. Per Definition ist T_b die Temperatur, unterhalb der kein Wachstum mehr stattfindet. Sie hängt von der betrachteten Pflanzenart ab, was in den Daten von ANGUS et al. (1981) gut zu erkennen ist. Besonders deutlich wird das, wenn man Kulturpflanzen vergleicht, die aus unterschiedlichen Klimaten stammen. Für solche aus gemäßigten Klimaten, z.B. Erbsen oder Weizen, geben ANGUS et al. (1981) Werte zwischen 1,4 und 2,6 °C an, während sie für Kulturen aus warmen Klimaten (z.B. Erdnuss oder Mais) bei 7,4 bis 15,9 °C liegen. Die T_b für Kulturen aus gemäßigten Klimaten sind also wesentlich niedriger und haben eine wesentlich geringere Spannweite als die aus warmen Klimaten.

Eine Abhängigkeit von der Sorte ist denkbar, aber es liegen nicht genügend Daten vor, um dazu eine abschließende Aussage zu treffen. LABER (2007) ermittelte zwar für vier Erbsensorten die gleiche Basistemperatur, aber daraus sollte man nicht schließen, dass das bei allen Kulturen so ist.

Der Wert der Basistemperatur hängt in einem gewissen Maß auch davon ab, wie er ermittelt wird (ARNOLD 1959). In einigen Quellen ist daher nicht ein einzelner Wert, sondern eine Spannweite angegeben (z.B. OLIVIER & ANNANDALE 1998, SHARRATT 1999, IANNUCCI et al. 2008). Außerdem ist zu bedenken, dass das Wachstum nicht nur von der Temperatur abhängt, sondern auch von anderen Faktoren, wie z.B. Wasserversorgung, Ernährungszustand, Einstrahlung, Tageslänge oder Schädlingsbefall (NUTTONSON 1948, 1955, COLVILLE & FREY 1986). Es ist daher möglich, dass sich für die gleiche Kultur am selben Standort, aber in verschiedenen Jahren, oder für die gleiche Kultur im selben Jahr, aber an verschiedenen Standorten, eine abweichende Basistemperatur ergibt. Aus den gleichen Gründen gilt das auch für die TSE, die später besprochen wird.

In Tabelle 1 sind für einige Sommerkulturen, die auch in Mitteldeutschland (Raum Halle) angebaut werden, die in den eben zitierten Studien angegebenen Basistemperaturen zusammengestellt. Betrachtet man zunächst nur die Daten aus ANGUS et al. (1981) kann man folgern, dass unterschiedliche Kulturen aus der gemäßigten Klimazone eine unterschiedliche Basistemperatur aufweisen, je nach Kultur zwischen 1,4 und 2,6 °C. Zieht man nun die Daten aus den anderen Quellen hinzu, so sieht man, dass für die gleiche Kultur unterschiedliche T_b ermittelt wurden, für Erbsen z.B. zwischen 0 und 3 °C und für Gerste zwischen 0 und 2,6 °C. Die Spannweite für T_b , die sich aus verschiedenen Quellen für die gleiche Kultur ergibt, ist also größer als die Spannweite für die verschiedenen Kulturen aus gemäßigten Klimaten in ANGUS et al. (1981). Der Grund dafür liegt vermutlich in der Kombination aus unterschiedlichen pflanzenrelevanten Umweltbedingungen bei den Experimenten (die Temperatur außer Acht gelassen) und der unterschiedlichen Vorgehensweise bei der Bestimmung der Basistemperatur. ANGUS et al. (1981) haben alle ihre Werte zwar auf dieselbe Weise bestimmt, aber nicht alle im selben Jahr oder am selben Standort. Ihre unterschiedlichen T_b beruhen daher nicht nur auf der Kulturart, sondern zum Teil auch auf den Umweltbedingungen bei den Versuchen. Unter diesem Hintergrund ist es für diese Arbeit nicht sinnvoll, verschiedene Basistemperaturen für die diversen Sommerkulturen anzusetzen. Stattdessen wird das Mittel der T_b aus Tabelle 1 verwendet, welches rund 2 °C beträgt.

Tab. 1 In verschiedenen Studien ermittelte Basistemperaturen (T_b) für einige Sommerkulturen, die in Mitteldeutschland angebaut werden.

Tab. 1 Base temperatures (T_b) for various summer crops cultivated in Central Germany as determined in different studies.

Kultur	T_b (°C)	Quelle
Gerste	2,6	ANGUS et al. (1981)
Gerste (2 Sorten)	0 - 2,5	SHARRATT (1999)
Hafer	2,6	ANGUS et al. (1981)
Weizen	2,2	ANGUS et al. (1981)
Weizen (im Feld)	2,4	DAVIDSON & CAMPBELL (1983)
Bohne	1,3 - 2,4	IANNUCCI et al. (2008)
Erbse	1,4	ANGUS et al. (1981)
Erbse	1,7 - 2,5	IANNUCCI et al. (2008)
Erbse (4 Sorten)	1,3	LABER (2007)
Erbse	0 - 3,0	OLIVIER & ANNANDALE (1998)
Linse	1,4	ANGUS et al. (1981)
Lein	1,9	ANGUS et al. (1981)
Raps	2,6	ANGUS et al. (1981)

Die TSE hängt zum einen von der betrachteten Gattung und Art ab, wie der Arbeit von LOPEZ-CASTANEDA & RICHARDS (1994) oder MILLER et al. (2001) zu entnehmen ist. Zum anderen gibt es auch Unterschiede zwischen Sorten (LOPEZ-CASTANEDA & RICHARDS 1994, LABER 2007). In der Arbeit hier muss daher eine Bandbreite von TSE-Werten betrachtet werden.

Für die Festlegung der Bandbreite kann man die meisten TSE-Daten aus der Literatur gar nicht oder nicht direkt verwenden, da die Autoren bei der Bestimmung der TSE oft keine experimentell begründete Basistemperatur für die jeweils betrachtete Kultur verwendet haben, sondern einen „runden Wert“. Am häufigsten wird $T_b = 0\text{ °C}$ gesetzt (z.B. FRITSCH 1861, NEY & TURC 1993, MILLER et al. 2001). In den USA wird für T_b auch oft $40\text{ °F} = 4,4\text{ °C}$ angenommen (z.B. MADARIAGA & KNOTT 1951, KATZ 1952, COLVILLE & FREY 1986). Diesen Wert hat auch LABER (2007) bei seinen Versuchen mit Erbsen zunächst angesetzt, dann aber festgestellt, dass er zu hoch ist und $T_b = 1,3\text{ °C}$ bessere Ergebnisse liefert. Für Mais sind $50\text{ °F} = 9\text{ °C}$ und 10 °C gängige Werte.

Wenn für die Bestimmung der TSE eine zu niedrige T_b verwendet wird, ergibt sich eine zu hohe TSE. Umgekehrt fällt die TSE zu niedrig aus, wenn die verwendete T_b zu hoch ist. Das sei an einem einfachen Beispiel illustriert: Eine Pflanzenart braucht auf Basis ihrer korrekten T_b von 2 °C insgesamt 1450 °C d von der Saat bis zur Erntereife. Wenn sie am Untersuchungsort am 15. März ausgesät wird, erreicht sie diese 1450 °C d genau nach 120 Tagen. Mit $T_b = 0\text{ °C}$ errechnet sich für diese 120 Tage eine Temperatursumme von $TSE = 1450\text{ °C d} + 120\text{ d} \cdot 2\text{ °C} = 1690\text{ °C d}$. Bei $T_b = 4\text{ °C}$ ergibt sich auf die gleiche Weise eine Temperatursumme von $TSE = 1450\text{ °C d} - 120\text{ d} \cdot 2\text{ °C} = 1210\text{ °C d}$. Hier wurde angenommen, dass an allen 120 Tagen die mittlere Lufttemperatur mindestens 4 °C betrug. Eine falsche T_b führt auch noch zu anderen Problemen, auf die in der Diskussion eingegangen wird.

In der Literatur angegebene TSE (TSE_{erm}), die mit einer falschen T_b (T_{bf}) hergeleitet wurden, sind also nur zu gebrauchen, wenn die Anzahl der Tage bis zum Erreichen der „falschen“ TSE (ZSE_{erm}) auch angegeben ist. Dann können falsche in korrekte TSE wie folgt umgerechnet werden:

$$TSE_k = TSE_{erm} - (T_{bk} - T_{bf}) \cdot ZSE_{erm} \quad [3]$$

mit TSE_k = Temperatursumme von der Saat bis zur Erntereife (°C d) mit der korrekten Basistemperatur (T_{bk}).

In Tabelle 2 sind TSE-Daten aus zwei Literaturquellen wiedergegeben, wo neben der zu ihrer Berechnung verwendeten T_b auch die ZSE angegeben sind. T_b wurde von LABER (2007) experimentell bestimmt, LOPEZ-CASTANEDA & RICHARDS (1994) setzten einfach $T_b = 0\text{ °C}$. Diese TSE wurden mit Gleichung 3 auf entsprechende TSE bei $T_b = 2\text{ °C}$ umgerechnet ($TSE_{2\text{°C}}$). Die berechneten, normierten TSE-Werte (letzte Spalte in Tabelle 2) liegen zwischen rund 900 und 1700 °C d . Wie bereits erwähnt, gibt es in der Literatur viele Angaben zu TSE, die auf Basis einer falschen T_b ermittelt wurden und für die die dazugehörigen ZSE nicht vermerkt sind (z.B. MILLER et al. 2001). Rechnet man diese TSE mit geschätzten ZSE für $T_b = 2\text{ °C}$ um, fallen die Werte ebenfalls in den Bereich von 900 bis 1700 °C d . Um diese Bandbreite abzudecken, wurden Berechnungen für TSE von 900, 1300 und 1700 °C d durchgeführt. (Wir haben auch Berechnungen für 1100 bzw. 1500 °C d durchgeführt, die aber hier nicht besprochen werden, weil sie die gleichen Ergebnisse zeigen.) Durch die Kombination dieser drei TSE mit den zwei Saatterminen ergeben sich insgesamt sechs Szenarien.

Tab. 2 Experimentell ermittelte Temperatursummen von der Saat bis zur Erntereife (TSE_{erm}), die dafür zugrunde gelegte Basistemperatur (T_b), die beobachtete Zeitspanne von der Saat bis zur Erntereife (ZSE_{erm}) und die nach der Gleichung $TSE_{2°C} = TSE_{erm} - (2 °C - T_b) \cdot ZSE_{erm}$ auf eine T_b von 2 °C umgerechnete TSE ($TSE_{2°C}$) aus zwei Quellen.

Tab. 2 Experimentally determined temperature sums from sowing to maturity (TSE_{erm}), the base temperature (T_b) used to obtain them, the observed duration from sowing to maturity (ZSE_{erm}), and the TSE converted to a T_b of 2 °C ($TSE_{2°C}$) using the equation $TSE_{2°C} = TSE_{erm} - (2 °C - T_b) \cdot ZSE_{erm}$ from two sources.

Quelle	Kultur (Sorte)	TSE_{erm} (°C d)	T_b (°C)	ZSE_{erm} (Tage)	$TSE_{2°C}$ (°C d)
LABER 2007	Erbse (<i>Avola</i>)	951	1,3	61	908
	Erbse (<i>Samish</i>)	1092	1,3	68	1044
	Erbse (<i>Ashton</i>)	1122	1,3	69	1074
	Erbse (<i>Ambassador</i>)	1185	1,3	72	1135
LOPEZ-CASTANEDA & RICHARDS 1994	Gerste (<i>Galleon</i>)	1642	0	154	1334
	Gerste (<i>O'Connor</i>)	1740	0	160	1420
	Gerste (<i>Malebo</i>)	1772	0	161	1450
	Gerste (<i>Ulandra</i>)	1925	0	170	1585
	Hafer (<i>Echidna</i>)	1843	0	164	1515
	Hafer (<i>Hakea</i>)	1910	0	169	1572
	Triticale (<i>Dua</i>)	1916	0	168	1580
	Triticale (<i>Currency</i>)	1959	0	171	1617
	Weizen (<i>Altar 84</i>)	1913	0	170	1573
	Weizen (<i>Kulin</i>)	1920	0	170	1580
	Weizen (<i>Carcomun</i>)	1926	0	170	1586
	Weizen (<i>Meteor</i>)	1965	0	172	1621
	Weizen (<i>M 3344</i>)	2024	0	174	1676
	Weizen (<i>Rosella</i>)	2048	0	176	1696

3 Ergebnisse

Betrachtungszeitraum von 1901 bis 2012

In Abbildung 1 sind die berechneten ZSE für den Betrachtungszeitraum von 1901 bis 2012 für eine TSE von 900, 1300 bzw. 1700 °C d und eine Basistemperatur von 2 °C für den Saattermin 15. März als Säulen dargestellt. Die horizontalen Linien kennzeichnen den Mittelwert der ZSE des jeweiligen Szenarios über den Betrachtungszeitraum, die gezackten Linien stellen das 5-jährige gleitende Mittel dar. Abbildung 2 zeigt das Gleiche für den Saattermin 15. April.

Wie den Diagrammen zu entnehmen ist, unterscheiden sich die Ergebnisse für die verschiedenen Szenarien zwar durch die Länge der ZSE, aber deren Variation zwischen 1901 und 2012 ist sehr ähnlich. Mit Blick auf diesen Zeitraum fallen zwei Abschnitte auf, in denen die ZSE überwiegend unter dem Mittelwert von 1901 bis 2012 liegen. Der erste liegt zwischen 1943 und 1953. In diesen Jahren wird der Gesamtmittelwert in jedem Szenario höchstens einmal erreicht oder übertroffen. Der zweite Abschnitt geht von 1998 bis 2012, wie nach UBA (2012) zu erwarten war. Hier wird das Mittel von 1901 bis 2012 in einem Szenario gar nicht, in zweien nur einmal, in zwei anderen zweimal und in einem dreimal überschritten. Im fünfjährigen gleitenden Mittel liegen die kürzesten ZSE im ersten Abschnitt oft noch weiter unter dem Mittelwert von 1901 bis 2012 als im zweiten. Dafür ist der zweite Abschnitt länger (und wahrscheinlich noch nicht zu Ende).

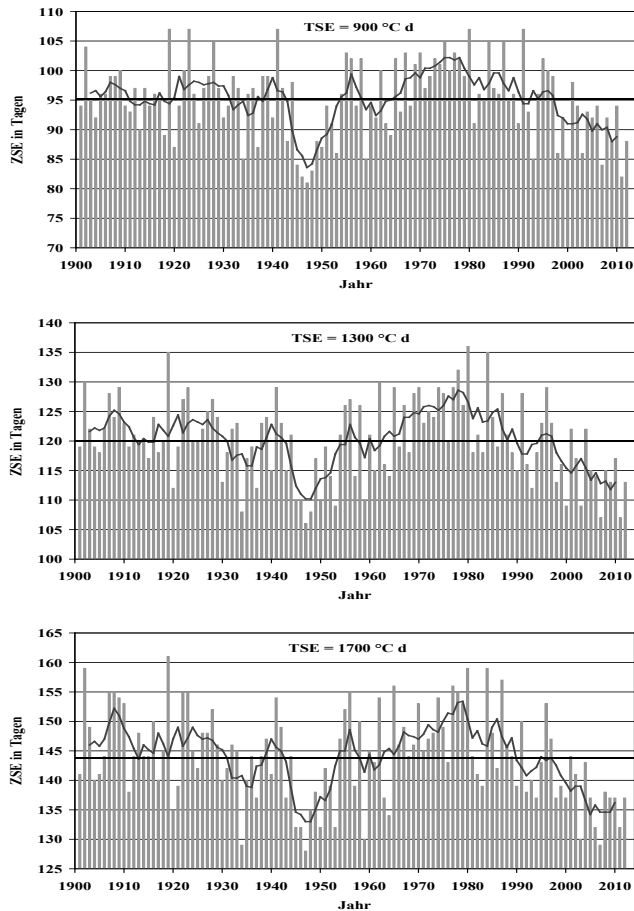


Abb. 1 Berechnete Zeitspanne von der Saat bis zur Erntereife (ZSE) für eine am 15. März gesäte Sommerkultur, die ihre Erntereife nach einer Temperatursumme (TSE) von 900, 1300 bzw. 1700 °C d über einer Basistemperatur von 2°C erreicht, für die Jahre 1901 bis 2012 (Säulen) sowie der Mittelwert der ZSE für diese Jahre (horizontale Linie) und das 5-jährige gleitende Mittel (gezackte Linie).

Fig. 1 Calculated duration from sowing to maturity (ZSE) for a summer crop sown on March 15th which reaches maturity after a temperature sum (TSE) of 900, 1300 and 1700 °C d, respectively, above a base temperature of 2°C for the years 1901 to 2012 (columns). Also shown are the mean ZSE for these years (horizontal line) and the 5-year moving average (jagged line).

Ebenso treten zwei fast gleich lange Abschnitte hervor, in denen die ZSE meist über dem Mittel des Gesamtzeitraums liegen. Dies sind zum einen die Jahre 1901 bis 1942, zum anderen die Jahre 1954 bis 1997. Am fünfjährigen gleitenden Mittel ist zu erkennen, dass im zweiten Abschnitt (1954 bis 1997) die ZSE insgesamt länger sind als im ersten (1901 bis 1942).

In Tabelle 3 ist die Rangfolge der fünf kürzesten ZSE zwischen 1901 und 2012 für die verschiedenen Szenarien zusammengestellt sowie die Jahre, in denen sie aufgetreten sind. Daraus geht ebenfalls hervor, dass die seit 1998 beobachteten kurzen ZSE für die Jahre von 1901 bis 2012 nicht ungewöhnlich sind. Solch niedrige ZSE-Werte gab es schon zwischen 1943 bis 1953, sie waren zum Teil sogar noch niedriger. Auch außerhalb dieses und des Abschnitts von 1998 bis 2012 gab es gelegentlich niedrige Werte (z.B. 1934 und 1993).

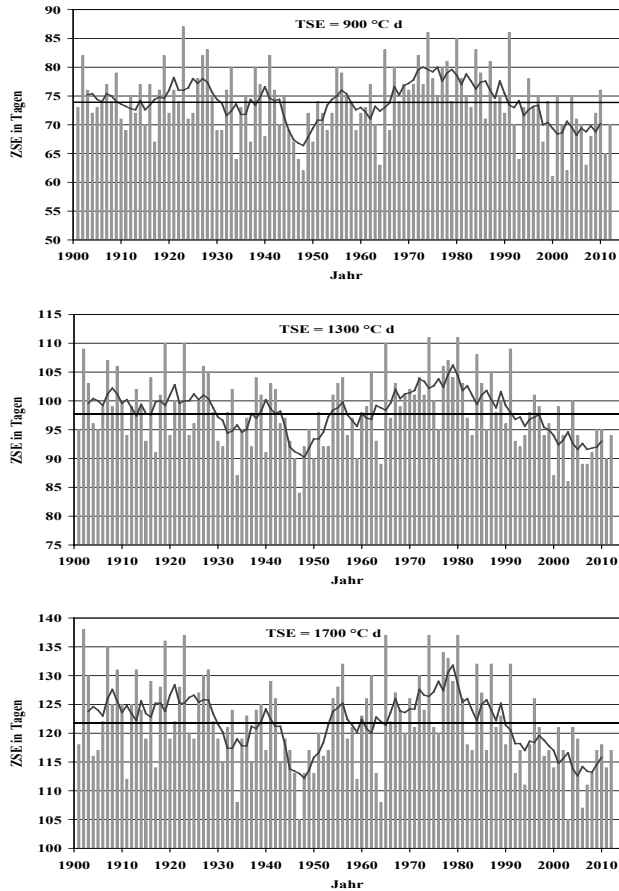


Abb. 2 Berechnete Zeitspanne von der Saat bis zur Erntereife (ZSE) für eine am 15. April gesäte Sommerkultur, die ihre Erntereife nach einer Temperatursumme (TSE) von 900, 1300 bzw. 1700 °C d über einer Basistemperatur von 2°C erreicht, für die Jahre 1901 bis 2012 (Säulen) sowie der Mittelwert der ZSE für diese Jahre (horizontale Linie) und das 5-jährige gleitende Mittel (gezackte Linie).

Fig. 2 Calculated duration from sowing to maturity (ZSE) for a summer crop sown on April 15th which reaches maturity after a temperature sum (TSE) of 900, 1300 and 1700 °C d, respectively, above a base temperature of 2°C for the years 1901 to 2012 (columns). Also shown are the mean ZSE for these years (horizontal line) and the 5-year moving average (jagged line).

In allen Szenarien tritt die fünfjährige Periode mit der kürzesten mittleren ZSE im Abschnitt von 1943 bis 1953 auf. Die zehnjährige Periode mit der kürzesten mittleren ZSE fällt in zwei Szenarien alleine in diesen Abschnitt, in drei Fällen auch in den Abschnitt von 1998 bis 2012, und einmal alleine in den letztgenannten Abschnitt. Erst die fünfzehnjährige Periode mit der kürzesten mittleren ZSE ist mit einer Ausnahme stets alleine im Abschnitt von 1998 bis 2012 zu finden. Dieses Bild ergibt sich daraus, dass die ZSE im ersten Abschnitt zwar kürzer sind, der zweite dafür länger ist.

Es stellt sich also die Frage, warum soviel davon gesprochen wird, dass die Temperaturen seit 1990 ungewöhnlich hoch waren. Dabei spielt der Betrachtungszeitraum eine große Rolle und kann möglicherweise Ursache für diese Sichtweise sein. Der Einfluss des Betrachtungszeitraums auf die Interpretation der Daten wird im Folgenden an einem der sechs Szenarien verdeutlicht.

Betrachtungszeitraum von 1965 bis 2012

In Abbildung 3 sind die ZSE für den Saattermin 15. März und TSE = 1300 °C d aus den gleichen Daten wie in Abbildung 1 dargestellt, aber nur für die Jahre 1965 bis 2012. Ebenfalls eingezeichnet sind der Mittelwert für diese Jahre und das fünfjährige gleitende Mittel.

Bei der Betrachtung dieser Abbildung fällt auf, dass die ZSE seit den 1980er Jahren zum Jahr 2012 abfallen. Während die Werte vor 1988 nur vereinzelt unter dem Mittelwert für 1965 bis 2012 liegen, wird er seit 1998 nur noch zweimal überschritten. Die vier kürzesten ZSE sowie sieben der neun kürzesten ZSE treten in den Jahren ab 2000 auf. Die Ausnahmen bilden die Jahre 1993 und 1998. Dementsprechend liegen in diesem Betrachtungszeitraum auch die fünf- und zehnjährige Periode mit der kürzesten mittleren ZSE im 21. Jahrhundert (Tab. 3).

Rückblick bis 1851

Wie die vorangegangenen Ausführungen zeigen, hängen die Schlussfolgerungen, die man aus dem ZSE-Verlauf ziehen kann, vom Betrachtungszeitraum ab. Daher ist ein Rückblick auf die ZSE vor 1901 interessant. Vor 1901 liegen für Halle leider keine täglichen Temperaturwerte mehr vor. Sie wurden zwar gemessen, aber die Daten sind verschollen. Es kann jedoch auf Monatsmittelwerte der Temperatur ab 1851 zurückgegriffen werden. Aus diesen lassen sich zwar keine genauen ZSE berechnen, Annäherungswerte jedoch schon. Abbildung 4 zeigt solche Annäherungswerte für den Zeitraum von 1851 bis 2012 sowie den Mittelwert der ZSE aus diesen Jahren und das fünfjährige gleitende Mittel für die Variante Saattermin 15. März und TSE = 1300 °C d. Betrachtet man die Jahre 1901 bis 2012 in Abbildung 4 und vergleicht die Werte mit denen aus Abbildung 1, die mit Tageswerten berechnet wurden, sieht man, dass sie recht gut übereinstimmen. Man kann daher auf Basis der aus Monatsmitteln berechneten ZSE mit gewisser Zuverlässigkeit in die weitere Vergangenheit blicken.

Wie schon in Abbildung 1, lassen sich auch in Abbildung 4 bei der Betrachtung der Jahre 1901 bis 2012 die zwei gleichen Abschnitte mit überwiegend kurzen ZSE identifizieren, zum einen 1998 bis 2012 und zum anderen 1943 bis 1953. Geht man nun bis 1851 zurück, zeigt sich zusätzlich ein dritter Abschnitt von 1857 bis 1880, in dem die ZSE überwiegend unter dem Gesamtmittelwert liegen und zum Teil ähnlich niedrig sind wie die zwischen 1998 und 2012. Der dritte Abschnitt ist länger als die beiden anderen. Allerdings sind auch die ZSE insgesamt länger, was das fünfjährige gleitende Mittel gut illustriert.

Tab. 3 Die fünf kürzesten berechneten Zeitspannen von der Saat bis zur Erntereife (ZSE) zwischen 1901 und 2012 und die Jahre in denen sie aufgetreten sind für eine am 15. März bzw. 15. April gesäte Sommerkultur, die ihre Erntereife nach einer Temperatursumme (TSE) von 900, 1300 bzw. 1700 °C d über einer Basistemperatur von 2 °C erreicht. In den letzten drei Zeilen sind der 5-, 10- und 15-jährige Zeitraum mit der kürzesten mittleren ZSE benannt.

Tab. 3 The five shortest calculated time spans from sowing to maturity (ZSE) between 1901 to 2012 and the years in which they occurred for a summer crop sown on March 15th or April 15th which reaches maturity after a temperature sum (TSE) of 900, 1300 and 1700 °C d, respectively, above a base temperature of 2 °C. The last three rows show the 5-, 10- and 15-year period with the shortest mean ZSE.

Rang	Saattermin 15. März			Saattermin 15. April		
	900 °C d	1300 °C d	1700 °C d	900 °C d	1300 °C d	1700 °C d
	<i>81 d</i>	<i>106 d</i>	<i>128 d</i>	<i>61 d</i>	<i>84 d</i>	<i>105 d</i>
1	1947	1947	1947	2000	1947	1947
						2003

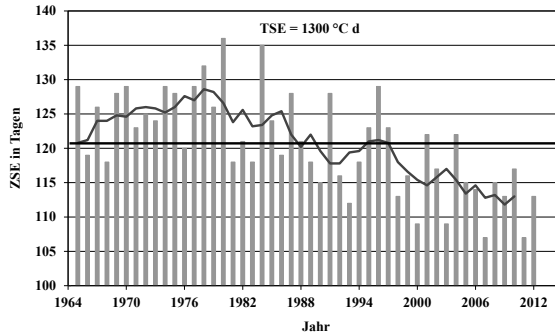


Abb. 3 Berechnete Zeitspanne von der Saat bis zur Erntereife (ZSE) für eine am 15. März gesäte Sommerkultur, die ihre Erntereife nach einer Temperatursumme (TSE) von 1300 °C d über einer Basistemperatur von 2 °C erreicht, für die Jahre 1965 bis 2012 (Säulen) sowie der Mittelwert der ZSE für diese Jahre (horizontale Linie) und das 5-jährige gleitende Mittel (gezackte Linie).

Fig. 3 Calculated duration from sowing to maturity (ZSE) for a summer crop sown on March 15th which reaches maturity after a temperature sum (TSE) of 1300 °C d above a base temperature of 2 °C for the years 1965 to 2012 (columns). Also shown are the mean ZSE for these years (horizontal line) and the 5-year moving average (jagged line).

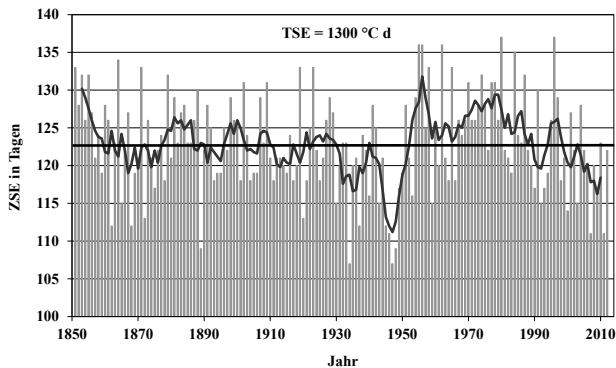


Abb. 4 Berechnete Zeitspanne von der Saat bis zur Erntereife (ZSE) für eine am 15. März gesäte Sommerkultur, die ihre Erntereife nach einer Temperatursumme (TSE) von 1300 °C d über einer Basistemperatur von 2 °C erreicht, für die Jahre 1851 bis 2012 (Säulen) sowie der Mittelwert der ZSE für diese Jahre (horizontale Linie) und das 5-jährige gleitende Mittel (gezackte Linie).

Fig. 4 Calculated duration from sowing to maturity (ZSE) for a summer crop sown on March 15th which reaches maturity after a temperature sum (TSE) of 1300 °C d above a base temperature of 2 °C for the years 1851 to 2012 (columns). Also shown are the mean ZSE for these years (horizontal line) and the 5-year moving average (jagged line).

4 Diskussion

Bei alleiniger Betrachtung des Zeitraums von 1965 bis 2012 kann festgestellt werden, dass die Sommerkulturen zum Jahr 2012 hin mit leichten Schwankungen ihre Erntereife immer schneller erreichten, die Temperaturen also stetig zunahmen, zumindest in der für das Wachstum relevanten Zeit. Von 1998 bis 2012 lagen die ZSE überwiegend unter dem Durchschnitt. Betrachtet man jedoch den Zeitraum von 1901 an, stellt man fest, dass zwischen 1943 und 1953 auch überwiegend ZSE auftraten, die unter dem Mittel des Gesamtzeitraums lagen. In diesen Abschnitt fallen sogar die kürzesten ZSE überhaupt. Beim Rückblick bis 1851 erscheint ein weiterer Abschnitt (1857 bis 1880) mit zum Teil ähnlich niedrigen ZSE wie zwischen 1998 und 2012. Es ist der bisher längste Abschnitt mit überwiegend unterdurchschnittlichen ZSE. Eine Beschränkung auf die Jahre nach 1965 ist also nicht sinnvoll, denn sie vermittelt kein korrektes Bild der ZSE seit 1851. Sowohl die kürzesten ZSE als auch der längste Abschnitt mit meist unterdurchschnittlichen ZSE liegen vor 1965. Bemerkenswert für den Zeitraum nach 1965 ist jedoch, dass es bisher noch keine so lange Phase mit so unterdurchschnittlichen ZSE gab wie von 1998 bis 2012.

Der Verlauf der ZSE von 1851 bis 2012 zeigt insgesamt eine wellenartige Form. Abschnitte mit überwiegend kurzen und überwiegend langen ZSE wechseln sich ab. Da noch weiter zurückliegende Temperaturwerte für Halle nicht vorliegen, konnte eine Fortsetzung dieses wellenartigen Verlaufs weiter in die Vergangenheit nicht überprüft werden. Es ist aber denkbar, dass er auch in den Jahren und Jahrhunderten vor 1851 zu finden gewesen wäre.

Der Verlauf der ZSE ist nicht genau periodisch. Mit Blick auf die Abschnitte mit überwiegend kurzen ZSE liegen zwischen der Mitte des ersten solchen Abschnitts (1857 bis 1880) und der Mitte des zweiten (1943 bis 1953) 79 Jahre. Von da bis zur Mitte des dritten Abschnitts (1998 bis 2012) sind es jedoch nur 57 Jahre. Der jüngste Abschnitt mit überwiegend kurzen ZSE trat also früher ein als der vorherige. Für die Beurteilung von Klimaveränderungen ist der betrachtete Zeitraum von 1851 bis 2012 immer noch relativ kurz. Daher ist nicht klar, ob die Länge des Zeitabschnitts von 1881 bis 1942, in dem die ZSE meist über dem Durchschnitt lagen, für „normal“ gehalten werden kann. Außerdem ist der dritte Abschnitt mit kurzen ZSE noch nicht zu Ende.

Eine Temperaturerhöhung um 1 °C seit 1901 ist den hier berechneten ZSE nicht zu erkennen. Dass die Dekade 1990 bis 1999 die wärmste des gesamten 20. Jahrhunderts war, kann aus den hier gewonnenen Ergebnissen zumindest für Mitteldeutschland angezweifelt werden. Die Dekade mit der kürzesten mittleren ZSE im 20. Jahrhundert war nämlich nicht diese, sondern die Dekade von 1940 bis 1949. Auch die Dekaden von 1930 bis 1939 und von 1950 bis 1959 hatten mit Ausnahme des Szenarios Saattermin 15. April und TSE = 1700 °C d eine kürzere mittlere ZSE. Außerdem zeigen die Temperaturdaten in DÖRING & BORG (2008), dass die 1930er und 1940er Jahre in Halle wärmer waren als die 1990er.

Die Aussage des Umweltbundesamtes (UBA 2012), dass es in den Jahren 2000 bis 2012 bereits wärmer war als in der Klimaperiode von 1961 bis 1990, ist richtig. Sie relativiert sich aber dadurch, dass die Periode von 1961 bis 1990 eine der kältesten in den Aufzeichnungen war. Das zeigt Abbildung 5, in der das Mittel der Temperatur für Halle für aufeinander folgende 30-jährige Klimaperioden (d.h. 1851 – 1880, 1881 – 1910, ..., 1981 – 2010) dargestellt ist. Es kommt auch darin zum Ausdruck, dass zwischen 1961 und 1990 meistens überdurchschnittliche ZSE berechnet wurden (Abb. 4).

Abschließend soll noch einmal auf die Bedeutung der Basistemperatur eingegangen werden. Neben dem in der Vorgehensweise schon erläuterten offensichtlichen Problem, dass die Verwendung einer falschen T_b zu einer zu hohen bzw. zu niedrigen TSE führt, gibt es ein weiteres, das nicht auf den ersten Blick zu erkennen ist. Es wurde bereits von ARNOLD (1959) beschrieben und von PICKERT (2014) eindrucksvoll illustriert: Setzt man T_b zu gering an, wird die ermittelte TSE umso kleiner, je wärmer die Zeit von der Saat bis zur Erntereife ist. Umgekehrt führt eine zu hohe T_b dazu, dass die ermittelte TSE umso größer wird, je wärmer die Zeit von der Saat bis zur Erntereife ist. Da unterschiedliche Jahre meist auch unterschiedlich warm sind, ist eine mit falscher T_b ermittelte TSE von Jahr zu Jahr anders. Das kommt z.B. in den Daten von LANA & HABER (1952) zum Ausdruck.

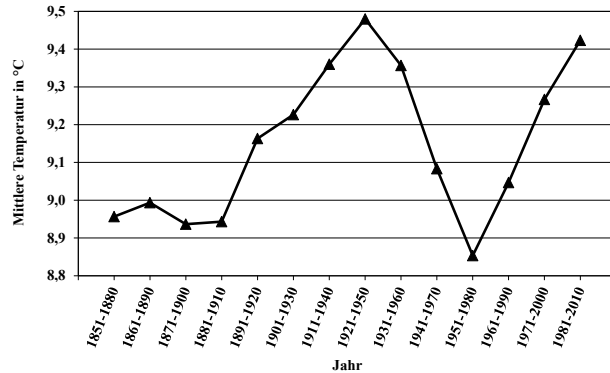


Abb. 5 Mittlere Temperatur in Halle (Saale) für aufeinander folgende 30-jährige Perioden (1851 – 1880, 1881 – 1910, ... , 1981 – 2010) von 1851 bis 2010.

Fig. 5 Mean temperature in Halle (Saale) for successive 30-year periods (1851 – 1880, 1881 – 1910, ... , 1981 – 2010) from 1851 to 2010.

Eine falsche T_b beeinflusst auch die TSE, die man bei gestaffelter Aussaat erhält. Da es vom Frühjahr zum Sommer hin in der Regel wärmer wird, werden die TSE umso kleiner, je später der Saattermin liegt, wenn eine zu geringe T_b verwendet wird, bzw. umso größer, wenn eine zu hohe T_b verwendet wird. Letzteres ist z.B. in der Arbeit von Laber (2007) für Erbsen zu sehen, in der er anfänglich mit einem T_b -Wert aus der Literatur von 4,4 °C gearbeitet hat, bevor er mit seinen eigenen Daten die korrekte T_b von 1,3 °C ermittelte.

Man kann TSE-Werte, die auf einer falschen Basistemperatur (T_{bf}) beruhen, also nicht anwenden. Wenn allerdings neben dem damit ermittelten TSE-Wert (TSE_{em}) die korrekte Basistemperatur für die betrachtete Kultur (T_{bk}) und die beobachtete Zeitspanne von der Saat bis zur Erntereife (ZSE_{em}) vorliegen, kann man den TSE-Wert mit Gleichung 3 korrigieren.

5 Schlussfolgerungen

Anhand der hier vorgelegten Ergebnisse kann festgestellt werden, dass sich in Mitteleuropa, repräsentiert durch die Temperaturen von Halle (Saale), seit Anfang des letzten Jahrhunderts die Pflanzenentwicklung temperaturbedingt nicht beschleunigt hat. Kurze ZSE und die damit verbundenen höheren Temperaturen in der Wachstumsperiode, wie sie seit 1998 häufig auftraten, kamen in den 40er und 50er Jahren des 20. Jahrhunderts schon einmal vor. Die ZSE waren damals sogar oft noch kürzer. Durch die näherungsweise Berechnung der ZSE mit Monatsmitteltemperaturen konnte sogar noch ein Abschnitt von den späten 50er bis späten 70er Jahren des 19. Jahrhunderts ermittelt werden, in dem die ZSE zum Teil ähnlich kurz waren wie oft nach 1998, es in der Anbauperiode also ähnlich warm war wie heute. Es war der bisher längste Zeitraum in dem die ZSE überwiegend unter dem langjährigen Mittel lagen. Es gab seit 1851 allerdings keine so lange Phase, wenn auch nicht die längste, in der so kurze ZSE vorkamen, wenn auch nicht die kürzesten, wie von 1998 bis 2012. Sie dauert wahrscheinlich noch an.

6 Zusammenfassung

PICKERT, M., WOLTER, M., DÖRING, J., BORG, H.: Hat sich die Zeitspanne von der Saat bis zur Reife für Sommerkulturen in Mitteldeutschland infolge von Temperaturerhöhung verkürzt? - *Hercynia N. F.* 48 (2015): 5–20.

Ein zurzeit viel diskutiertes Thema ist der anthropogene Klimawandel. In Deutschland soll die Jahresmitteltemperatur seit 1901 um 1 °C gestiegen sein, die Dekade von 1990 bis 1999 gilt als die wärmste des 20. Jahrhunderts und auch danach lagen die Temperaturen meist über dem langjährigen Mittel. In unserer Arbeit wird untersucht, ob dieser Temperaturverlauf in einer Verkürzung der Zeitspanne von der Saat bis zur Erntereife (ZSE) bei Sommerkulturen in Mitteldeutschland zu erkennen ist.

Beobachtete ZSE kann man für diesen Zweck nicht verwenden, da die Wachstumsbedingungen in den einzelnen Jahren fast nie ideal waren, so dass die ZSE nicht nur von der Temperatur, sondern auch von anderen Faktoren beeinflusst wurden. Außerdem haben sich im Lauf der Zeit die angebauten Sorten und die Bewirtschaftung verändert, was sich ebenfalls auf die ZSE auswirkt. Daher wurden die ZSE von 1901 bis 2012 (mit einem Rückblick bis 1851) mithilfe der Temperatursummenmethode berechnet.

Bei dieser Methode werden Temperaturen über einer pflanzenartspezifischen Basistemperatur und unter einer oberen Temperaturgrenze, die während ihrer Vegetationszeit auf eine Pflanze einwirken, zu einer Temperatursumme zusammengezählt. Von der Saat bis zur Erntereife braucht eine gegebene Kulturpflanzart stets die gleiche Temperatursumme (TSE), wenn ihr Wachstum nicht durch andere Faktoren eingeschränkt wird. Die ZSE ergibt sich daraus, wie viele Tage es dauert bis diese TSE erreicht wird. Bei warmen Temperaturen wird sie schneller erreicht als bei kühlen und die ZSE ist dementsprechend kürzer.

Die Berechnungen wurden für Sommerkulturen, die eine TSE von 900, 1300 bzw. 1700 °C d benötigen, und je zwei Saattermine (15. März und 15. April) durchgeführt. Grundlage waren Temperaturdaten für Halle (Saale). Es wurde angenommen, dass alle anderen Bedingungen ideal waren und die somit einzige Variable, die sich auf das Wachstum auswirkte, die Temperatur war.

Die Ergebnisse für die sechs Szenarien unterscheiden sich durch die Länge der ZSE, aber ihre Variation zwischen 1901 und 2012 ist sehr ähnlich. Es gibt zwei Abschnitte (1943 bis 1953 und 1998 bis 2012) in denen die ZSE meist recht kurz waren und das Mittel von 1901 bis 2012 nur selten übertrafen, wobei die ZSE im ersten Abschnitt zum Teil noch kürzer waren als im zweiten. Der zweite Abschnitt ist allerdings länger und dauert wahrscheinlich noch an. Geht man bis 1851 zurück, zeigt sich zusätzlich ein Abschnitt von 1857 bis 1880 in dem die ZSE meist unter dem langjährigen Mittel lagen. Dies ist bisher der längste derartige Abschnitt. Darin waren die ZSE manchmal ähnlich kurz wie zwischen 1998 und 2012, aber im Durchschnitt länger. Vor 1901 standen allerdings nur Monatsmitteltemperaturen zur Verfügung, mit denen die ZSE nicht so genau bestimmt werden können wie mit Tagesmitteln. Ebenso gibt es zwei Abschnitte (1881 bzw. 1901 bis 1942 und 1954 bis 1997), in denen die ZSE oft über dem Mittel des Gesamtzeitraums lagen. Im zweiten Abschnitt waren die ZSE insgesamt länger als im ersten.

Die ZSE sind seit 1901 nicht kürzer geworden, die Pflanzenentwicklung hat sich temperaturbedingt also nicht beschleunigt. Der postulierte Temperaturanstieg seit 1901 ist in den ZSE nicht zu erkennen. Seit 1998 waren die ZSE häufig recht kurz, was sich damit deckt, dass die Temperaturen seit diesem Jahr meist über dem langjährigen Mittel lagen. Allerdings waren zwischen 1943 und 1953 die ZSE ähnlich kurz und zum Teil sogar noch kürzer. Es war also in diesen Jahren zumindest in der Wachstumsperiode der Pflanzen am wärmsten. Die Jahre seit 1998 zeigen recht kurze, aber nicht die kürzesten ZSE für eine lange, aber nicht die längste Periode. Sie dauert wahrscheinlich noch an. Nach den Perioden mit kurzen ZSE folgten bisher immer ausgedehnte Perioden mit überdurchschnittlich langen ZSE.

7 Literatur

- ANGUS, J. F., CUNNINGHAM, R. B., MONCUR, M. W., MACKENZIE, D. H. (1981): Phasic development in field crops. I. Thermal response in the seedling phase. - *Field Crops Res.* 3: 365 – 378.
- ARNOLD, C. Y. (1959): The determination and significance of the base temperature in a linear heat unit system. - *Proc. Am. Soc. Hort. Sci.* 74: 430 – 445.
- BEHRINGER, W. (2008): Kulturgeschichte des Klimas. Von der Eiszeit bis zur globalen Erwärmung. - Beck, München.
- CAMPBELL, G. S., NORMAN, J. M. (1998): An introduction to environmental biophysics, 2nd ed. - Springer, New York.
- COLVILLE, D. C., FREY, K. J. (1986): Development rate and growth duration of oats in response to delayed sowing. - *Agron. J.* 78: 417 – 421.
- DAVIDSON, H. R., CAMPBELL, C. A. (1983): The effect of temperature, moisture and nitrogen on the rate of development of spring wheat as measured by degree days. - *Can. J. Plant Sci.* 63: 833 – 846.
- DÖRING, J., BORG, H. (2008): Ist das Klima von Halle (Saale) noch normal? Betrachtungen anhand der Temperatur- und Niederschlagsreihen von 1851 bis heute. - *Hercynia N. F.* 41: 3 – 21.
- FRITSCH, K. (1861): Thermische Constanten für die Blüthe und Fruchtreife von 889 Pflanzenarten, abgeleitet aus zehnjährigen Beobachtungen im k. k. botanischen Garten zu Wien. - *Sitzungsber. d. Kaiserlichen Akad. d. Wiss., mathem.-naturwiss. Classe, Abteilung I, 44_2*, Wien: 711 – 718.
- GILMORE, E. C., ROGERS, J. S. (1958): Heat units as a method of measuring maturity in corn. - *Agron. J.* 50: 611 – 615.
- IANNUCCI, A., TERRIBILE, M. R., MARTINIELLO, P. (2008): Effects of temperature and photoperiod on flowering time of forage legumes in a mediterranean environment. - *Field Crops Res.* 106: 156 – 162.
- IPCC (INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE) ent of the risks of extreme events or disasters to advance climate change adaption. - Cambridge University Press, Cambridge.
- KATZ, Y. H. (1952): The relationship between heat unit accumulation and the planting and harvesting of canning peas. - *Agron. J.* 44: 74 – 78.
- LABER, H. (2007): Temperatursummenmodell bewährte sich bei der Aussaatstaffelung von Erbsen; Basistemperatur von 4,4°C zu hoch? - *Versuche im deutschen Gartenbau. Sächs. Landesanstalt f. Landwirtschaft, Fachbereich Gartenbau, Dresden-Pillnitz.*
- LANA, E. P., HABER, E. S. (1952): Seasonal variability as indicated by cumulative degree hours with sweet corn. - *Proc. Am. Soc. Hort. Sci.* 59: 389 – 392.
- LOPEZ-CASTANEDA, C., RICHARDS, R. A. (1994): Variation in temperate cereals in rainfed environments. II. Phasic development and growth. - *Field Crops Res.* 37: 63 – 75.
- MADARIAGA, F. J., KNOTT, J. E. (1951): Temperature summations in relation to lettuce growth. - *Proc. Am. Soc. Hort. Sci.* 58: 147 – 152.
- MAJOR, D. J., JOHNSON, D. R., LUEDDERS, V. D. (1975): Evaluation of eleven thermal unit methods for predicting soybean development. - *Crop Sci.* 15: 172 – 174.
- MILLER, P., LANIER, W., BRANDT, S. (2001): Using growing degree days to predict plant stages. - *Field Crops. Montana State University Extension Service, Bozeman, MT.*
- NEY, B., TURC, O. (1993): Heat-unit-based description of the reproductive development of pea. - *Crop Sci.* 33: 510 – 514.
- NUTTONSON, M. Y. (1948): Some preliminary observations of phenological data as a tool in the study of photoperiodic and thermal requirements of various plant material. - In: Murneek, A. E., Whyte, R. O.: Vernalization and photoperiodism, a symposium. - *Chronica Botanica Company, Waltham, MA:* 129 – 143.
- NUTTONSON, M. Y. (1955): Wheat-climate relationships and the use of phenology in ascertaining the thermal and photo-thermal requirements of wheat. - *American Institute of Crop Ecology, Washington, D.C.*
- OLIVIER, F. C., ANNANDALE, J. G. (1998): Thermal time requirements for the development of green pea (*Pisum sativum* L.). - *Field Crops Res.* 56: 301 – 307.
- PICKERT, M. (2014): Untersuchungen zur Anwendung von Temperatursummen in der Pflanzenproduktion. - *Masterarb., Univ. Halle-Wittenberg.*
- REAUMUR, M. (1735) : Observations du Thermometre. - *Histoire de L'Academie Royale des Sciences, Jahrgang 1735.*
- SHARRATT, B. (1999): Thermal requirements for barley maturation and leaf development in interior Alaska. - *Field Crops Res.* 63: 179 – 184.
- UBA (UMWELTBUNDESAMT) (2012): Globale Erwärmung im letzten Jahrzehnt. - http://www.umweltbundesamt.de/stes/default/files/medien/377/publikationen/hgp_globale_erwaermung_im_letzten_jahrzehnt_0.pdf.
- VAHRENHOLT, F., LÜNING, S. (2012): Die kalte Sonne. - Hoffmann und Campe, Hamburg.
- WANG, T. Y. (1960): A critique of the heat unit approach to plant response studies. - *Ecol.* 41: 785 – 790.

ZALOM, F. G., GOODELL, P. B., WILSON, L. T., BARNETT, W. W., BENTLEY, W. J. (1983): Degree-days: The calculation and use of heat units in pest management. - Division of Agriculture and Natural Resources, University of California, Davis, CA, Leaflet 21273.

Manuskript angenommen: 1. Februar 2015

Anschrift der Autoren:

Max Pickert (M.Sc.), Martina Wolter, Dr. Jürgen Döring, Prof. Dr. Heinz Borg
Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg, Naturwissenschaftliche Fakultät III
Institut für Agrar- und Ernährungswissenschaften, Julius-Kühn-Str. 23, D - 06112 Halle (Saale)
E-Mail: lkkt@landw.uni-halle.de