

Zusammenfassung

Auf der Datenbasis 10-jähriger Staffelaussaat- und Sortenversuche mit Markerbsen am Sächsischen Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie in Dresden-Pillnitz wurde die jeweils notwendige Temperatursumme bis zum Erreichen wesentlicher Entwicklungsstadien berechnet.

Dabei zeigte sich, dass der häufig beobachtete Anstieg der Temperatursumme (Aussaat bis Ernte) mit zunehmend späterem Aussattermin in erster Linie auf einen entsprechenden Anstieg für den Zeitraum Saat bis Auflaufen zurückgeführt werden kann. Durch Anpassung der Basistemperatur auf einen deutlich geringeren Wert als den 'üblichen' 4,4 °C kann dieser Anstieg, auch für die Temperatursumme der gesamten Kulturzeit, vermieden werden.

Versuchshintergrund u. -frage

Nachdem nunmehr 10-jährige Versuchsdaten zu Markerbsen am Standort Dresden-Pillnitz vorliegen, bot es sich an, anhand dieses Materials die in der Literatur genannten 'Kardinalpunkte' des Temperatursummen-Modells zu überprüfen.

Material und Methoden

In den Jahren 1999 bis 2002 wurden von VOIGTLÄNDER (2001) bzw. VOIGTLÄNDER & LABER (2004) Staffelaussaatversuche mit der frühen Sorte 'Spring' (= 'Avola') und der mittelspäten Sorte 'Tristar' angelegt. Dazu wurden, beginnend mit dem ersten witterungs- bzw. bodenbedingt möglichen Aussattermin wöchentlich 3 (nur 1999) bzw. 2 Sätze mit ca. 20 m² ausgesät (ohne Wiederholungen). Die letzte Aussaat fand jeweils um den 20. Mai statt.

Bonitiert wurden u. a. der Auflauftermin (BBCH 09-10, "Auflaufen: Spross durchbricht Bodenoberfläche" bis "2 schuppenförmige Niederblätter sichtbar") und der Blühbeginn (BBCH 60-61, "vereinzelt erste offene Blüten im Bestand" bis "Beginn der Blüte: 10 % der Blüten offen"). Zur Bestimmung des Erntezeitpunktes wurden in Abständen von einigen Tagen Erbsenpflanzen von Hand gezogen und im hiesigen Verarbeitungswerk mit einem 'Mini Sampling Viner' (Firma Haith, älteres Modell) ausgedroschen. Die Bestimmung des Tenderometerwertes TW erfolgte in 3-facher Messwiederholung mit dem digitalen Tenderometer FMC 4011 (FMC FoodTech, jetzt JBT FoodTech). Als Erntetermin wurde der Tag erfasst, an dem der TW bei ca. 105 lag (BBCH 75). Durch den notwendigen Transport zum Verarbeitungswerk sind allerdings geringfügige Änderungen des TW nicht ganz auszuschließen. Im Jahr 2004 wurde von VOIGTLÄNDER (unveröff.) nochmals ein Staffelaussaatversuch nach dem o. g. Muster durchgeführt, wobei aber nur noch einmal pro Woche ausgesät wurde. Daten zum Auflauftermin und Blühbeginn liegen zu diesem Versuch allerdings nicht vor.

Ab dem Jahr 2005 wurden von LATTASCHKE (LATTASCHKE & VOIGTLÄNDER 2005a,b; Zusammenfassung 2006-2008 bei LATTASCHKE & LABER 2009; LATTASCHKE 2009a-d) jährlich umfangreiche Sortenversuche mit jeweils ca. 40-50 Sorten durchgeführt. Hierzu wurden in 4-facher Wiederholung frühe und mittelfrühe Sorten je nach Witterung Mitte März bis Anfang April, mittelspäte und späte Sorten etwa Mitte April ausgesät. Insgesamt wurden 120 verschiedene Sorten getestet.

Bonitiert wurden u. a. der Blühbeginn und das 1. fertile Nodium (= Anzahl steriler Nodien + 1) an einer Teilprobe von 10 Pflanzen. Diese 10 Pflanzen stammten aus einer 5. Parzelle am Rand der Versuchsfläche. In diesen Randparzellen wurde auch mittels sensorischer und TW-Prüfungen der Reifegrad bestimmt und bei einem TW von rund 120 (BBCH 76-77) die Ernte der eigentlichen Versuchspartzen veranlasst. Dazu wurden die Erbsen von Hand (pro Parzelle 6,25 m², ab 2008 6,0 m²) gezogen und anschließend mit einem 'Mini Sampling Viner' (Firma Haith) zeitnah vor Ort gedroschen. An einer gewaschenen Mischprobe über die 4 Wiederholungen wurde mit 3-facher Messwiederholung mit Hilfe eines Tenderometers mit *Kramer Shear Cell* (Model TM2, Food Technology Corporation) der TW bestimmt.

Abweichend davon musste im Versuchsjahr 2005 die für die TW-Beprobung in den Randparzellen notwendige Erbsenmenge noch durch Auspendeln von Hand gewonnen werden, da nur eine Dreschmaschine älterer Bauart zur Verfügung stand, mit der nur 1-2 Tage angelagerte Ware gedroschen werden konnte. Deshalb mussten hier die Versuchspartzen bereits bei einem TW von gut 100 geerntet werden, da es in den 1-2 Tagen zu einem 'Nachreifen' der Erbsen kam. In dem Erntegut wurde w. o. erläutert nochmals der TW bestimmt, doch ist dieser Wert durch das unterschiedlich lange und witterungsbedingt auch unterschiedlich intensive Welken verfälscht. Deshalb steht hier nur der am Erntetag in den Randparzellen ermittelte TW zur Verfügung.

Im Jahr 2007 wurde von LABER (2007) nochmals ein Staffelsaatversuch mit den Sorten 'Spring' (f), 'Samish' (mf; SVS), 'Ashton' (ms; SVS) und 'Ambassador' (s; WAV) mit jeweils 2-facher Wiederholung durchgeführt. Bonitiert wurden wiederum der Auflauftermin und der Blühbeginn. Alle weiteren Versuchsdetails entsprechen denen der Sortenversuche. Ein weiterer Datensatz für die Sorte 'Spring' entstammt einem Unkrautbekämpfungsversuch (LABER 2009).

Für alle Anbauzeiträume liegen Daten einer Wetterstation des LfULG in Dresden-Pillnitz vor, die nur wenige hundert Meter von den Versuchsflächen entfernt in ähnlichem Gelände steht. Die verwendeten Lufttemperaturen beziehen sich auf einer Messhöhe von 2 m, die Bodentemperatur wurde in 5 cm Bodentiefe gemessen, wobei der Boden allerdings unbearbeitet, durch regelmäßige Herbizidbehandlung aber weitestgehend unkrautfrei war.

Bei der Berechnung der Temperatursummen bis zur Ernte wurde in Anlehnung an Ergebnisse von LABER (2008) der tatsächliche Erntetermin ggf. dann korrigiert, wenn der TW deutlich von 120 abwich. So wurde bei einem TW < 110 1 Tag dazugerechnet. In den wenigen Fällen, in denen der TW 95-100 betrug wurden 2 Tage zum Erntetermin dazugerechnet. Fälle mit einem TW < 95 (einige Sorten in 2005) wurden verworfen.

Bei einem TW > 130 wurde analog die Ernte um 1 Tag, bei einem TW > 140 um 2 Tage 'nach vorn' korrigiert. TW >150 traten nur in 2 Fällen auf; diese Fälle wurden ebenfalls verworfen. Generell wurde die Tagesmitteltemperatur am Tag der Aussaat bzw. des Auflaufens oder des Blühbeginns in die Temperatursumme eingerechnet, die Tagesmitteltemperatur des letzten Tages der beobachteten Periode (Tag des Auflaufs, des Blühbeginns oder der Ernte) nicht mehr.

Ergebnisse

Periode Saat bis Auflauf

Insbesondere aus den Daten der Staffelaussaatversuche von VOIGTLÄNDER lässt sich für eine Vielzahl von Aussatterminen die jeweils notwendige Temperatursumme (Basistemperatur T_{\min} 4,4°C) von der Saat bis zum Auflaufen (BBCH 9-10) errechnen. Dabei zeigt sich (für die Sorte 'Spring') ein Mittelwert von 94°Cd, wobei mit zunehmend späterem Aussattermin ein gewisser Anstieg der Werte zu verzeichnen ist (Abb. 1). (Für die ebenfalls untersuchte Sorte 'Tristar' wurden von VOIGTLÄNDER 1999 maximal um 1 Tag von 'Spring' abweichende Auflauftermine bonitiert, ab 2000 übereinstimmende Auflauftermine. Insgesamt weichen damit die Ergebnisse praktisch nicht von 'Spring' ab.)

Nach OTTOSSON (1958 [zit. in KRUG 2002] bzw. 1975) sind bis BBCH 09-10 (bei $T_{\min} = 4,5^{\circ}\text{C}$) 80-100°Cd notwendig (hier bei $T_{\min} = 4,5^{\circ}\text{C}$: 93°Cd, Variationskoeffizient $cv = 24,8\%$), so dass eine gute Übereinstimmung zu konstatieren ist.

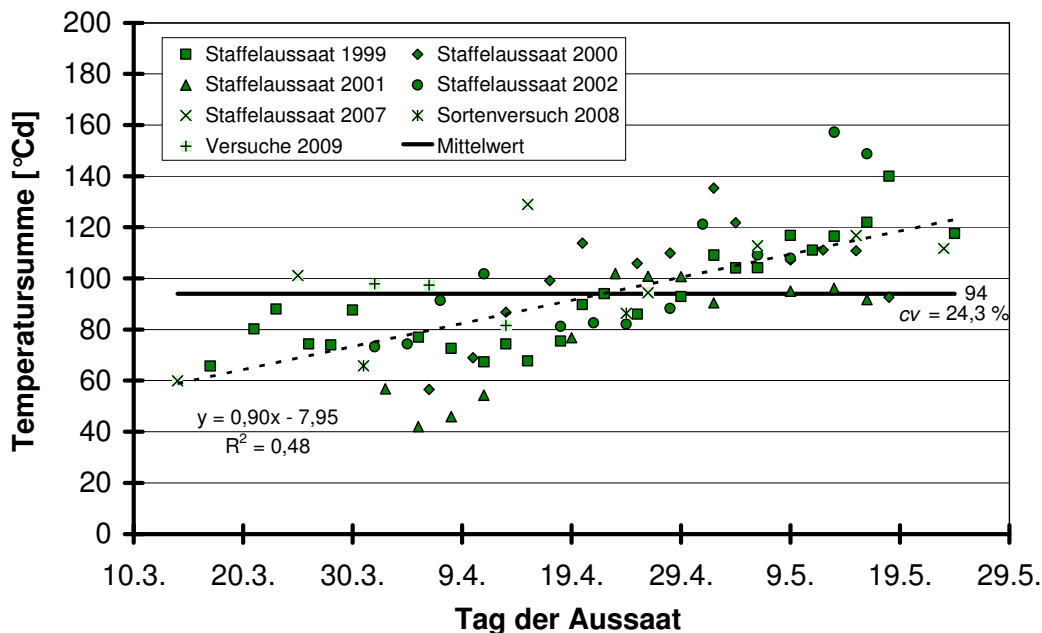


Abb. 1: Temperatursumme (Lufttemperatur, $T_{\min} = 4,4^{\circ}\text{C}$) **von der Aussaat bis zum Auflaufen der Erbsen** (Sorte 'Spring')

Der mit zunehmend späterer Aussaat zu beobachtende Anstieg der Temperatursumme wurde (bezüglich der gesamten Kulturzeit) bereits bei LABER (2007) diskutiert und auf eine ggf. mit $4,4^{\circ}\text{C}$ zu hoch 'angesetzte' T_{\min} zurückgeführt. In den Niederlanden (NEUVEL 1992) kalkuliert man (daher) in der Keimphase mit einem T_{\min} von 1°C , wobei Temperaturen zwischen 1 und $4,5^{\circ}\text{C}$ aber nur zur Hälfte angerechnet werden. Mit diesem Modell ergibt sich für die vorliegenden Versuche eine Temperatursumme von durchschnittlich 114°Cd ($cv = 17,9\%$), die damit leicht über den von NEUVEL angegebenen $90-100^{\circ}\text{Cd}$ für die Phase "Saat bis 50 % Auflauf" liegt. Aber auch mit diesem Modell ist noch ein gewisser Anstieg der Temperatursumme mit zunehmend späterem Aussattermin zu beobachten (Abb. 2). Erst bei einem T_{\min} von $-1,9^{\circ}\text{C}$ (mit $cv = 12,3\%$ geringster Variationskoeffizient entsprechend dem Verfahren nach ARNOLD 1959) ist kein Anstieg der Temperatursumme mit zunehmend späterer Aussaat mehr zu beobachten (Abb. 3, s. a. Abb. 7).

Im Gegensatz zu diesen Ergebnissen ermittelten BOURGEOIS et al. (2000) in Kanada (45°N ; zum Vergleich: Dresden 51°N) nach Auswertung 6-jähriger Versuchsergebnisse eine 'optimale' Basistemperatur für diese Phase von $5,1^{\circ}\text{C}$. Allerdings wurde in den zugrunde liegenden Versuchen jeweils pro Jahr nur eine Aussaat im Mai durchgeführt ($n = 6$), so dass die Erbsen keinen 'kühleren' Temperaturen ausgesetzt waren. So lag die tiefste (Tagesmittel?)temperatur bei knapp 10°C , während in den Versuchen am Standort Pillnitz Tagesmitteltemperaturen im März bis Mitte April von nicht selten unter 5°C zu verzeichnen waren (geringster Stundenmittelwert: $-4,1^{\circ}\text{C}$), so dass auch diesbezüglich die Ergebnisse der Autoren auf einer relativ 'schmalen' Datenbasis basieren. Wurde allerdings die gesamte Phase Aussaat bis Blühbeginn betrachtet, so ergaben sich (wie auch für die Phase Auflauf bis Blühbeginn; s. u.) mit $0,0$ bis $3,3^{\circ}\text{C}$ (je nach Sorte) relativ geringe T_{\min} -Werte.

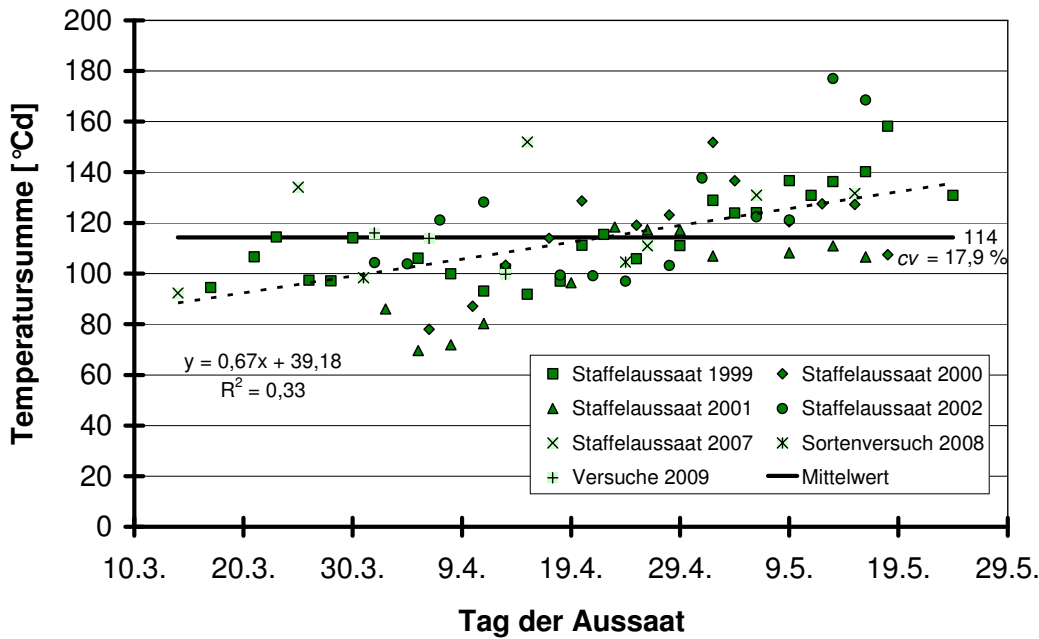


Abb. 2: Temperatursumme (Lufttemperatur, $T_{\min} = 1$ bzw. $4,5^{\circ}\text{C}$, Modell nach NEUVEL 1992) **von der Aussaat bis zum Auflaufen der Erbsen** (Sorte 'Spring')

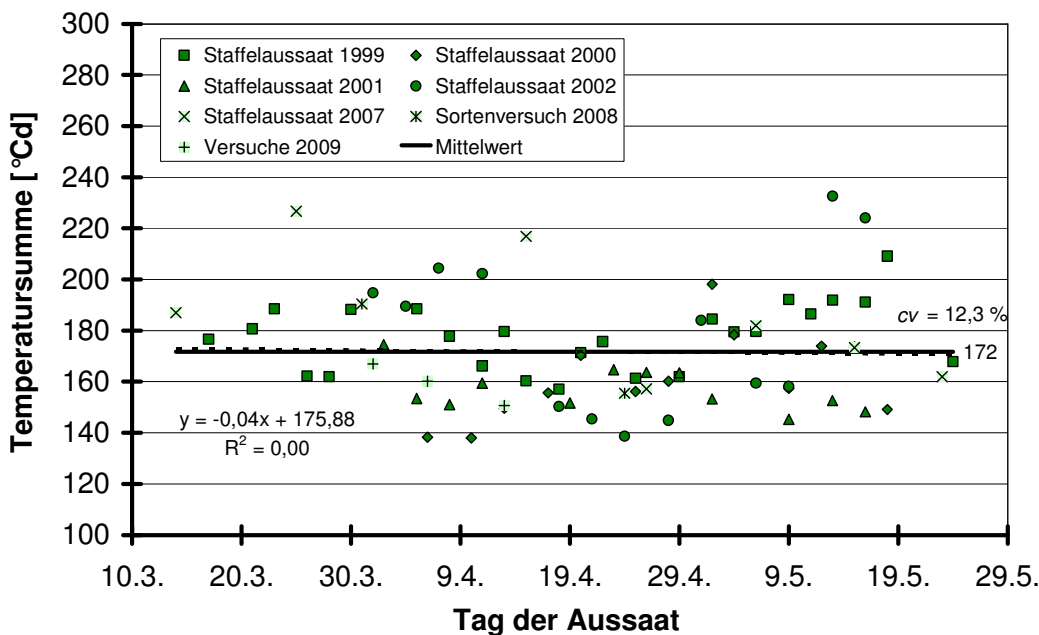


Abb. 3: Temperatursumme (Lufttemperatur, $T_{\min} = -1,9^{\circ}\text{C}$) **von der Aussaat bis zum Auflaufen der Erbsen** (Sorte 'Spring')

Neben einem 'überschätzten' T_{\min} könnte auch eine geringe Übereinstimmung der Lufttemperatur (2 m) mit der sicherlich für die Keimung eher relevanten Bodentemperatur die Ursache für die Abweichungen sein. Allerdings zeigte sich eine überraschend gute Übereinstimmung der Luft- und Bodentemperaturen (5 cm Bodentiefe), wobei allerdings zu beachten ist, dass die Bodentemperatur im unbearbeiteten Boden ermittelt wurde. Dieser dürfte durch eine vermutlich höhere Wärme- bzw. Kälteleitfähigkeit aber auch Wasserleitfähigkeit im Frühjahr eher kälter als der für die Aussaat der Erbsen bearbeitete Boden gewesen sein. Aber auch im unbearbeiteten Boden wurden im Frühjahr (geringe Lufttemperaturen) ca. $1,5^{\circ}\text{C}$ höhere Temperaturen als in der Luft beobachtet (Abb. 4).

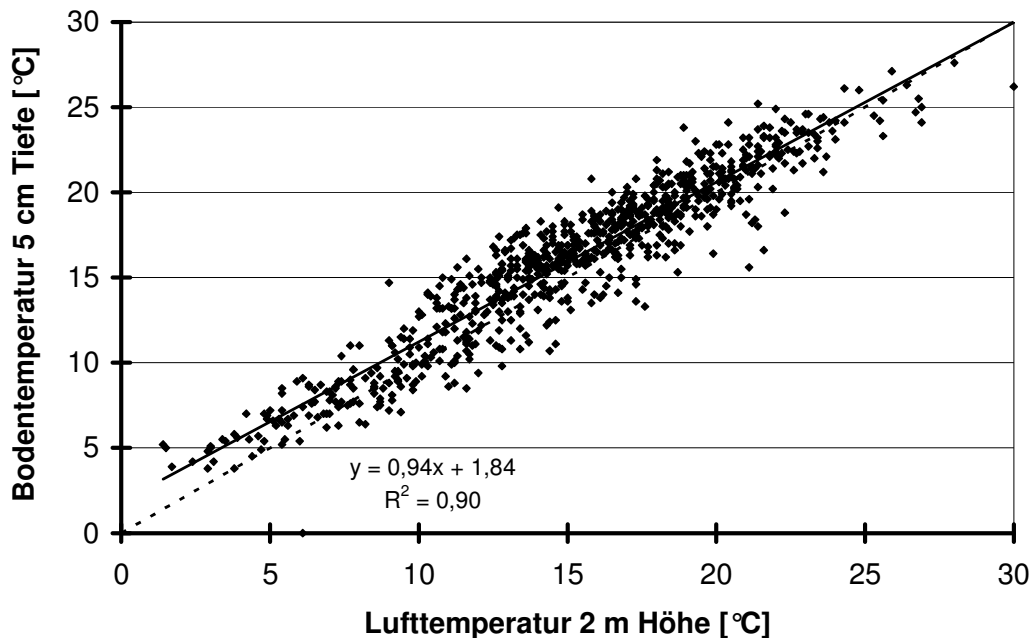


Abb. 4: Luft- und Bodentemperaturen während der Erbsenkulturzeit-räume in den Versuchen mit vorliegendem Auflaufdaten (1999-2002, 2007-2009)

Berechnet man mit diesen Bodentemperaturen die Temperatursumme bis zum Auflaufen, so ergibt sich bei $T_{\min} = 4,4^{\circ}\text{C}$ ein noch deutlicherer Anstieg der Temperatursumme mit zunehmend späterer Aussaat als bei Verwendung der Lufttemperaturen (Abb. 5). Der geringste Variationskoeffizient wird auch hier bei einem T_{\min} von $-1,9^{\circ}\text{C}$ erreicht, wobei er mit 13,2 % höher als bei Verwendung der Lufttemperaturen ausfällt.

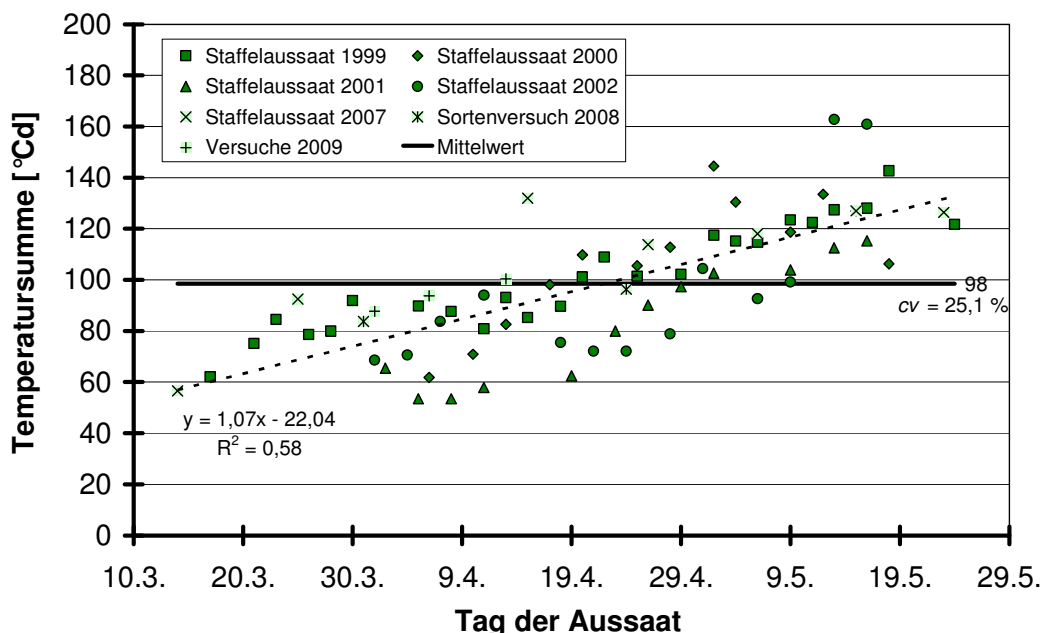


Abb. 5: Temperatursumme (Bodentemperatur, $T_{\min} = 4,4^{\circ}\text{C}$) von der Saat bis zum Auflaufen der Erbsen (Sorte 'Spring')

Periode Auflauf bis Blühbeginn

Für den Zeitraum Auflauf bis Blühbeginn zeigte sich für die Sorte 'Spring' mit einem Mittel der Temperatursumme von 287°Cd ein recht 'konstanter' Wert, der keine Abhängigkeit vom Aussaattermin zeigte (Abb. 6). Durch eine Anpassung von T_{\min} (auf $1,5^{\circ}\text{C}$) konnte die Streuung mit dann $cv = 6,8\%$ allerdings noch etwas vermindert werden (Abb. 7). Für die

mittelspäte Sorte 'Tristar' betrug die Temperatursumme vom Auflaufen bis Blühbeginn 442°Cd, bei ebenfalls relativ geringer Streuung. Eine Abhängigkeit vom Aussattermin lag nicht vor. Durch eine Anpassung von T_{min} (auf 1,0°C) konnte die Streuung mit $cv = 5,3\%$ hier nur noch wenig vermindert werden.

Optimiert man für diese beiden Sorten sowie für die u. a. auch im Staffelaussaatversuch 2007 getesteten Sorten 'Ambassador', 'Ashton' und 'Samish' T_{min} gleichzeitig (auf Basis des gewichteten [n] Mittels der Variationskoeffizienten der Sorten), so ergibt sich ein T_{min} von 1,10°C (Abb. 7). Auch BOURGEOIS et al. (2000) ermittelten für die Phase relativ geringe 'optimale' T_{min} -Werte, die, je nach Sorte, bei 0,0 bis 1,5°C lagen ($n = 4$ bis $n = 6$).

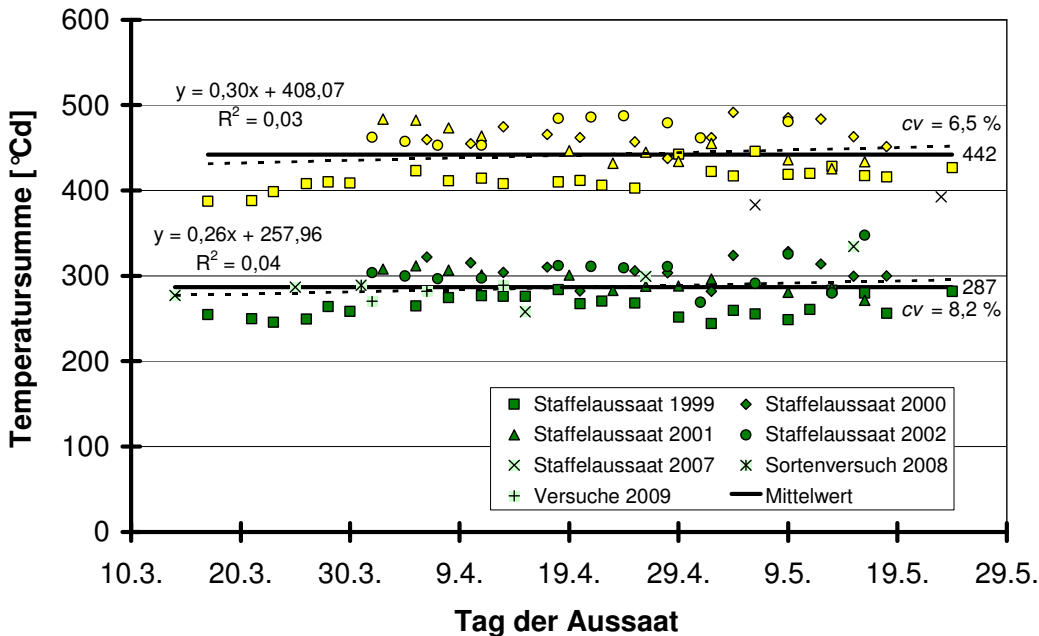


Abb. 6: Temperatursumme (Lufttemperatur, $T_{min} = 4,4^{\circ}\text{C}$) vom Auflauf bis Blühbeginn bei der Sorte 'Spring' (unten, dunkle Symbole, die beiden 'Ausreißer' im Jahr 2007 [nicht hinterlegt] wurden nicht mit einberechnet) und 'Tristar' (oben, helle Symbole)

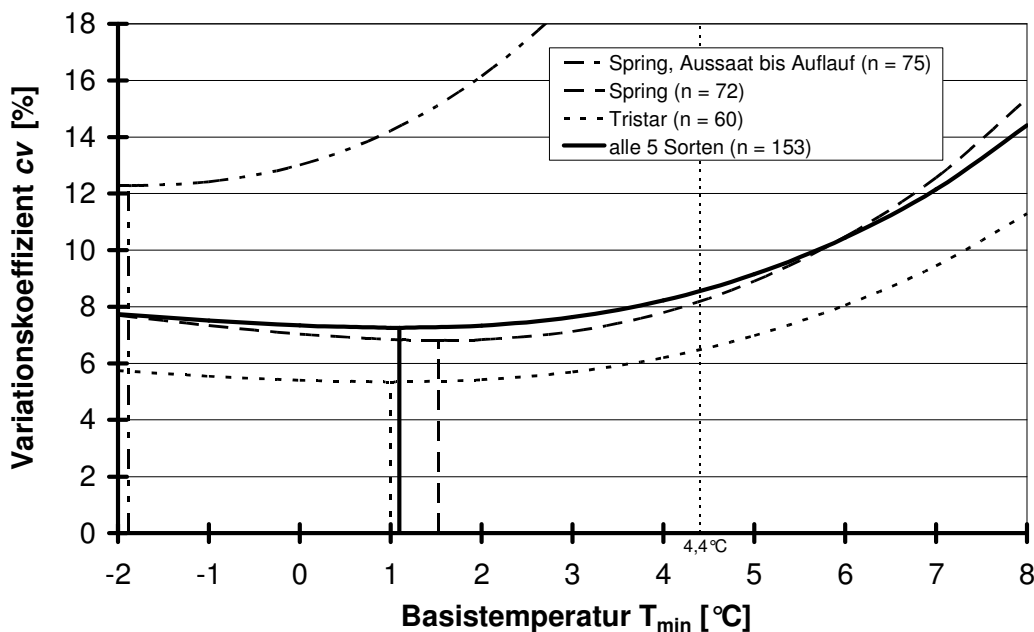


Abb. 7: Variationskoeffizient der Temperatursumme vom Auflauf bis Blühbeginn ('Spring' auch Aussaat bis Auflauf) in Abhängigkeit von der Basistemperatur (Sorten 'Spring' und 'Tristar' sowie 'Ambassador', 'Ashton' und 'Samish')

Periode Blühbeginn bis Ernte

Für den Zeitraum Blühbeginn bis Ernte betrug die Temperatursumme bei der Sorte 'Spring' bei sehr geringer Streuung im Mittel 337°Cd (Abb. 8). (Mittlere Dauer dieser Periode 26 Tage, Spannweite 18-35 Tage.) Bei der Sorte 'Tristar' zeigte sich mit 346°Cd ein ähnlicher Wert, allerdings fiel die Streuung deutlich größer aus, was vor allem auf die nur 1999 zu beobachtende Zunahme der Temperatursumme mit zunehmend späterem Aussattermin zurückzuführen ist (Abb. 9).

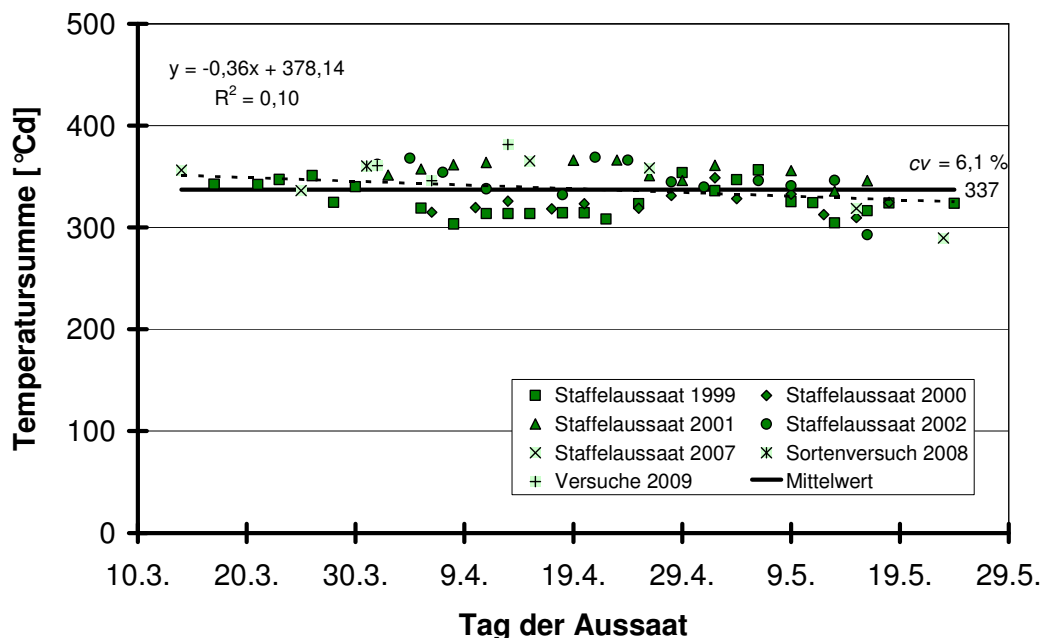


Abb. 8: Temperatursumme (Lufttemperatur, $T_{\min} = 4,4^{\circ}\text{C}$) von Blühbeginn bis Ernte bei der Sorte 'Spring'

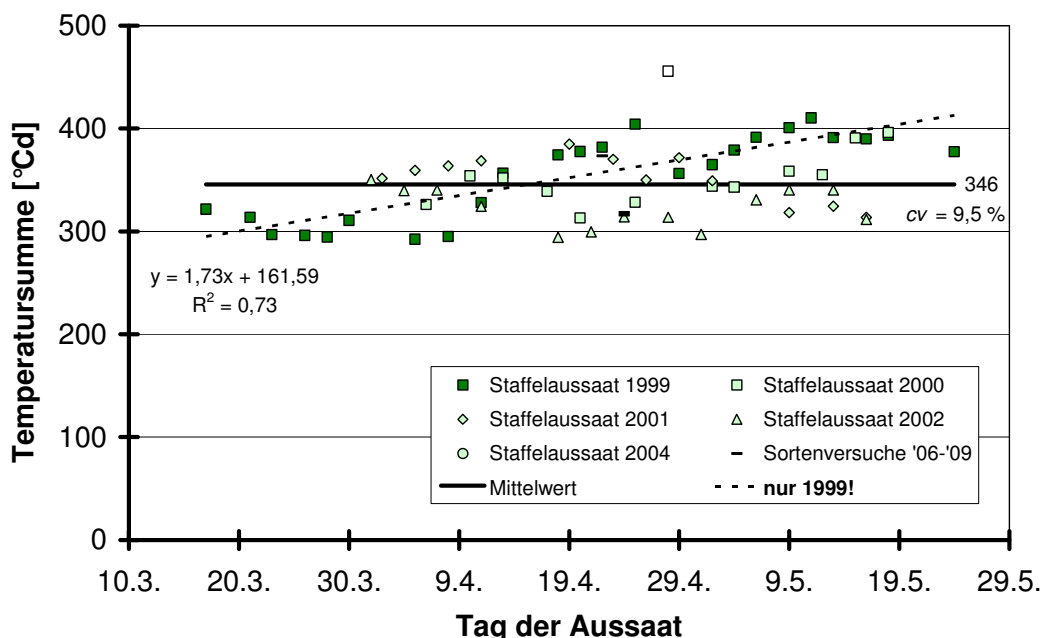


Abb. 9: Temperatursumme (Lufttemperatur, $T_{\min} = 4,4^{\circ}\text{C}$) von Blühbeginn bis Ernte bei der Sorte 'Tristar' (der 'Ausreißer' der Staffelaussaat 2000 [456°Cd] wurde nicht in die Auswertung einbezogen)

Für alle untersuchten Sorten ergibt sich eine mittlere Temperatursumme von 347°Cd (Abb. 10). Dieser Wert stimmt nahezu exakt mit dem vom NEUVEL (1992) "für alle Sorten" genannten Wert von 350°Cd von Blühbeginn bis zu einem TW von 120 überein. Allerdings rechnet man in den Niederlanden mit einem T_{\min} von 4,5°C, so dass dieser Wert bei einer Umrechnung auf ein T_{\min} von 4,4°C bei einer durchschnittlichen Dauer der Periode von Blühbeginn bis Ernte in den etwas kühleren Niederlanden von schätzungsweise 30 Tagen ca. 353°Cd betragen würde. Nach OTTOSSON (1958 [zit. in KRUG 2002] bzw. 1969) benötigen Erbsen vom ersten "vollentwickelten Blütenknoten" bis zur Erntereife (TW 110) nur 310°Cd (bei Umrechnung auf TW 120 ca. 324°Cd).

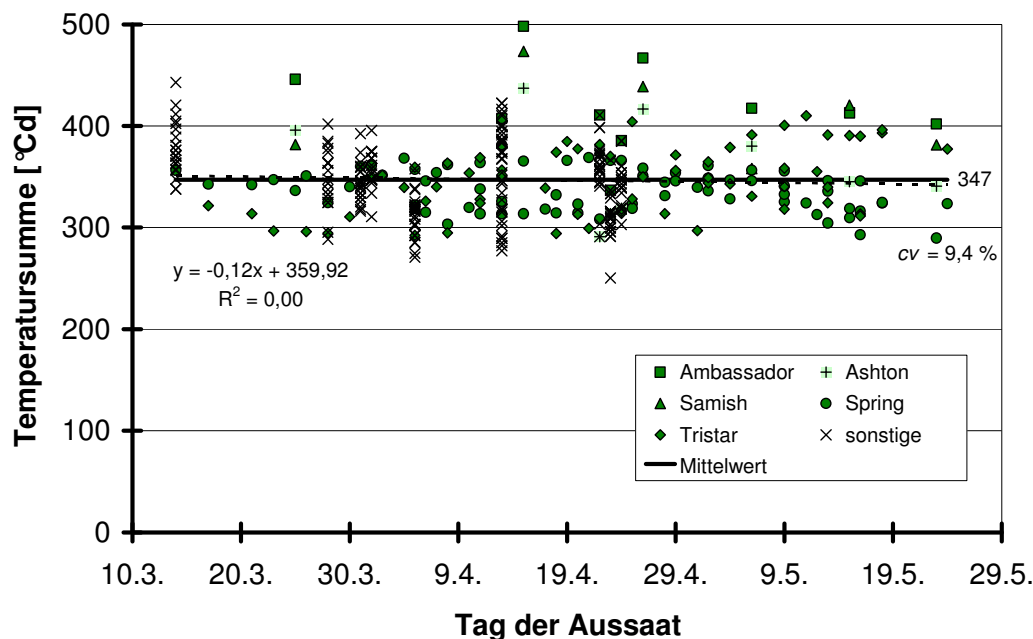


Abb. 10: Temperatursumme (Lufttemperatur, $T_{\min} = 4,4^{\circ}\text{C}$) von Blühbeginn bis Ernte für alle Staffel- und Sortenversuche 1999-2009

Optimiert man T_{\min} für die Phase Blühbeginn bis Ernte so zeigt sich, dass gegenüber einem T_{\min} von 4,4°C nur noch geringfügige Verbesserungen möglich sind (Abb. 11). Für alle vorliegenden Daten ergab sich ein T_{\min} von 5,2°C ($cv = 9,3\%$). Auch BOURGEOIS et al. (2000) errechneten für die Phase mit (je nach Sorte) 5,4 bis 10,0°C relative hohe 'optimale' T_{\min} -Werte ($n = 4$ bis $n = 6$).

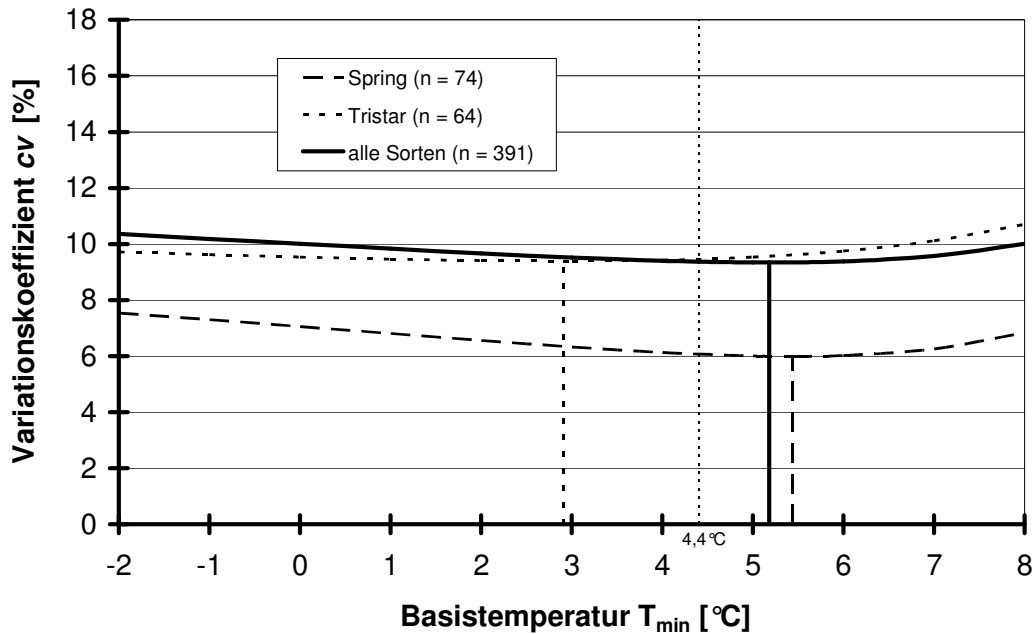


Abb. 11: Variationskoeffizient der Temperatursumme vom Blühbeginn bis zur Ernte in Abhängigkeit von der Basistemperatur

Gesamte Kulturperiode

Die Temperatursumme von der Aussaat bis zur Ernte variiert 'naturgemäß' mit der Kulturzeit der verschiedenen Sorten, die wiederum eng mit der Anzahl ausgebildeter steriler Nodien einhergeht. So zeigt sich eine enge Korrelation des in den Sortenversuchen erfassten Nodiums mit der ersten Blüte ("1. fertiles Nodium") und der Temperatursumme, wobei jedes weitere (sterile) Nodium mit einer Erhöhung der Temperatursumme von gut 31°Cd verbunden war (Abb. 12). Dieser Wert deckt sich wiederum mit den Angaben von NEUVEL (1992), der "für die Ausbildung einer Blattetage" eine Temperatursumme von 30 bis 35°Cd angibt. OTTOSSON (1958 [zit. in KRUG 2002] bzw. 1969) rechnete dagegen mit 40°Cd "für die Entwicklung jedes Knotens".

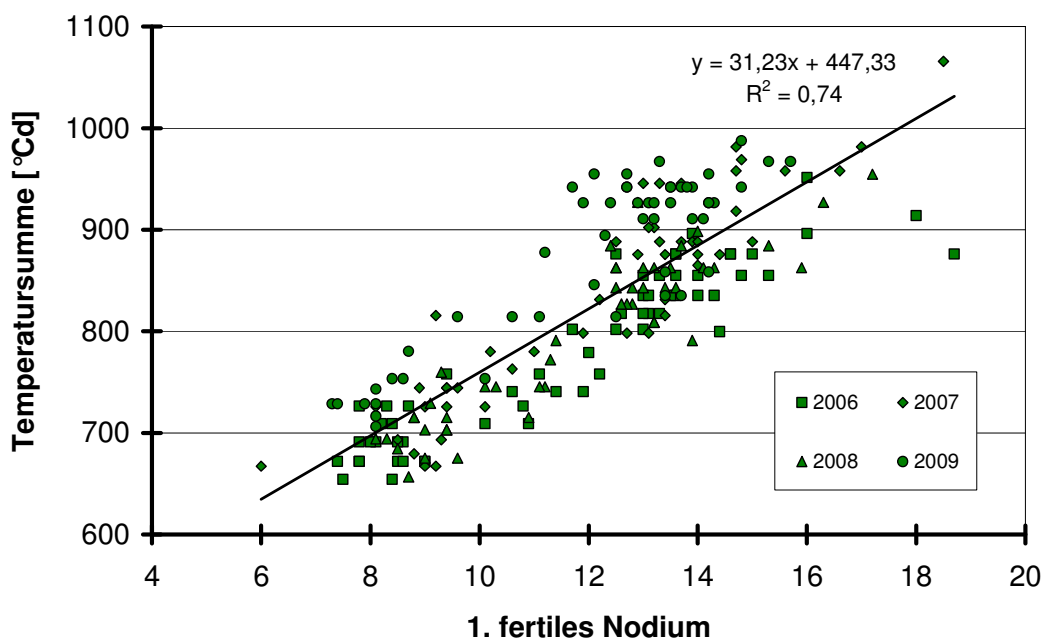


Abb. 12: Temperatursumme (Lufttemperatur, $T_{\min} = 4,4^{\circ}\text{C}$) von der Aussaat bis zur Ernte in Abhängigkeit von der Ordnungszahl des 1. fertilen Nodiums

(Aus den vorliegenden Daten des Sortenversuches 2005 errechnet sich nur eine Temperatursummen-Zunahme von 12,4°Cd pro Nodium; vermutlich wurden hier u. a. die Anzahl der Nodien durch [teilweises] Nicht-Einberechnen der ersten unbeblätterten Nodien nicht immer richtig erfasst.)

Mit der von OTTOSSON angegebenen Formel (120°Cd [bis zum 5. Nodium] + weitere Nodien bis 1. fertiles Nodium \times 40°Cd + 310°Cd [1. fertiles Nodium bis Ernte bei TW 110]) kommt es, auch bei Einrechnung von weiteren 14°Cd (= 1 Tag) für die Anpassung an TW 120, zu einer Unterschätzung der Temperatursumme von durchschnittlich ca. 100°Cd, wobei die Abweichung bei den frühen Sorten stärker als bei den späten Sorten ausfällt (Abb. 13). So blühte z. B. die Sorte 'Spring' in Mittel der Versuche 2006-2009 am 8.2. Nodium, wonach sich nach OTTOSSON eine Temperatursumme von 572°Cd (inkl. 14°Cd für Umrechnung auf TW 120) ergibt. Tatsächlich betrug die Temperatursumme ($T_{\min} = 4,4^{\circ}\text{C}$) der Sorte im Mittel der 4 Versuchsjahre aber 707°Cd.

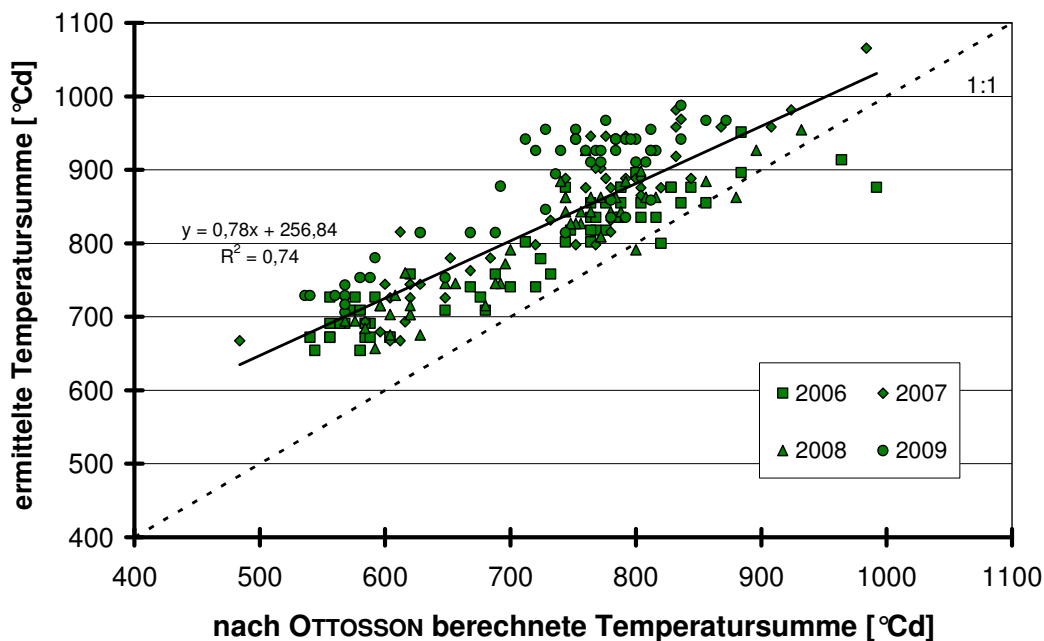


Abb. 13: Temperatursumme (berechnet nach dem Modell von OTTOSSON 1958) **versus tatsächlich in den Versuchen ermittelte Temperatursumme** (Lufttemperatur, $T_{\min} = 4,4^{\circ}\text{C}$) **von der Aussaat bis zur Ernte**

Insgesamt belief sich die Temperatursumme ($T_{\min} = 4,4^{\circ}\text{C}$) der vor allen in den Staffelaussaatversuchen getesteten Sorten 'Spring' und 'Tristar' auf 722 bzw. 880°Cd (Abb. 14). Während bei 'Spring' nur eine geringe Abhängigkeit vom Aussaattermin zu verzeichnen ist, ist diese bei 'Tristar' relativ ausgeprägt. Allerdings beruht sie, neben der generell zu beobachtenden Zunahme der Temperatursumme mit zunehmend späterer Aussaat in der Phase Aussaat bis Auflaufen (vgl. Abb. 1), in erster Linie auf den Ergebnissen des Staffelaussaatversuches im Jahr 1999, wo ja auch für den Zeitraum Blühbeginn bis Ernte eine entsprechende Zunahme beobachtet wurde (vgl. Abb. 9).

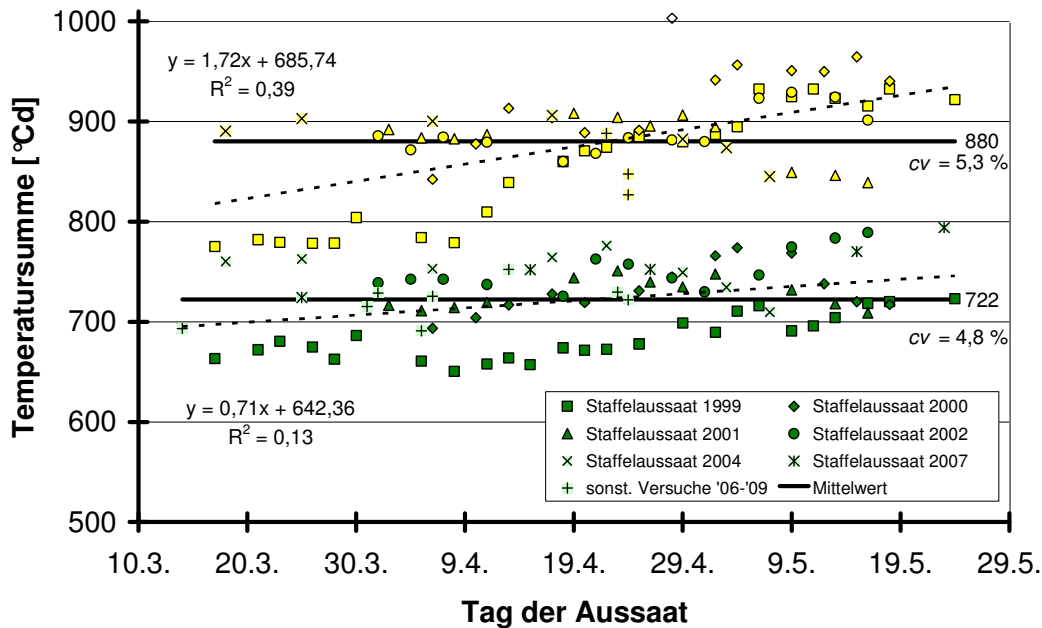


Abb. 14: Temperatursumme (Lufttemperatur, $T_{\min} = 4,4^{\circ}\text{C}$) **von der Aussaat bis zur Ernte bei der Sorte 'Spring' (unten, dunkle Symbole) und 'Tristar' (oben, helle Symbole; der 'Ausreißer' der Staffelaussaat 2000 [1003°Cd] wurde nicht in die Auswertung einbezogen)**

Der geringste Variationskoeffizient ($cv = 4,06$) ergibt sich bei der Sorte 'Spring' mit einem T_{\min} von $2,46^{\circ}\text{C}$. Für 'Tristar' liegt dieser Wert bei $0,99^{\circ}\text{C}$. Für die anderen insbesondere auch im Staffelaussaatversuch 2007 getesteten Sorten liegt die 'optimale' Basistemperatur bei $0,2$ bis $2,0^{\circ}\text{C}$ (Abb. 15, Tab. 1).

Optimiert man für alle diese 5 Sorten T_{\min} gleichzeitig (auf Basis des gewichteten [n] Mittels der Variationskoeffizienten der Sorten), so ergibt sich ein T_{\min} von $1,79^{\circ}\text{C}$. Mit dieser 'allgemeinen' Basistemperatur zeigt sich praktisch keine Abhängigkeit der Temperatursumme vom Aussaattermin mehr (Abb. 16).

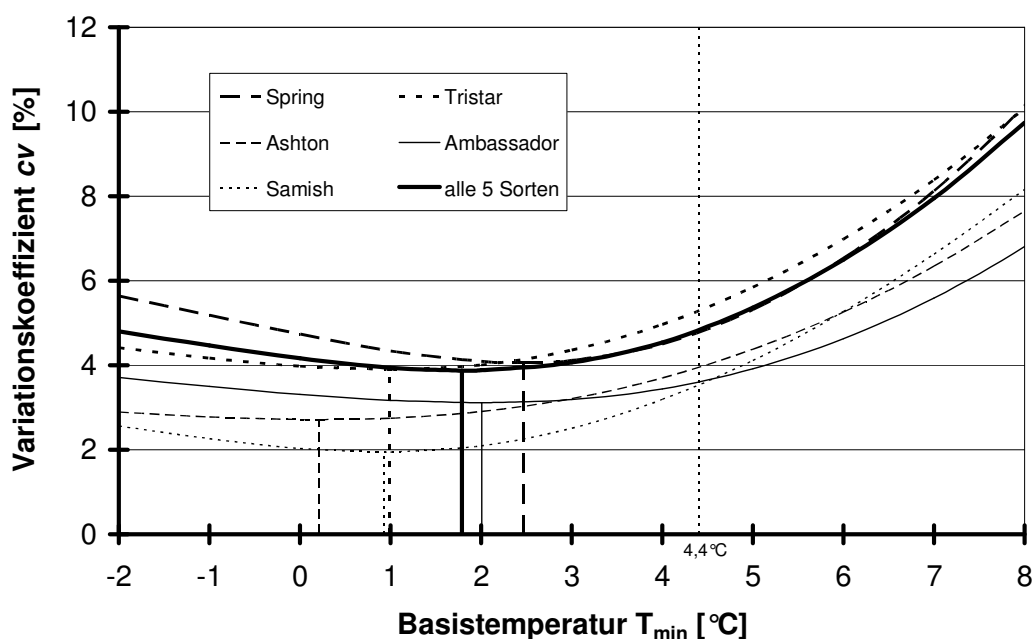


Abb. 15: Variationskoeffizient der Temperatursumme von der Aussaat bis zur Ernte in Abhängigkeit von der Basistemperatur

Tab. 1: Temperatursumme (Aussaat bis Ernte) und Variationskoeffizient der in Staffelaussaat- und Sortenversuchen getesteten Sorten bei verschiedenen Basistemperaturen (fett: Basistemperatur mit dem geringsten Variationskoeffizienten)

| | Basistemperatur T_{\min} [°C] | Temperatursumme [°Cd] | Variationskoeffizient cv [%] | n |
|---------------|---------------------------------|-----------------------|--------------------------------|-----|
| Spring | 4,40 | 722 | 4,77 | 84 |
| | 2,46 | 851 | 4,06 | |
| | 1,79 | 896 | 4,13 | |
| Tristar | 4,40 | 880 | 5,28 | 72 |
| | 1,79 | 1082 | 3,96 | |
| | 0,99 | 1144 | 3,90 | |
| Samish | 4,40 | 881 | 3,53 | 6 |
| | 1,79 | 1057 | 2,04 | |
| | 0,93 | 1115 | 1,94 | |
| Ashton | 4,40 | 885 | 3,95 | 9 |
| | 1,79 | 1066 | 2,86 | |
| | 0,21 | 1175 | 2,71 | |
| Ambassador | 4,40 | 953 | 3,60 | 10 |
| | 2,01 | 1132 | 3,11 | |
| | 1,79 | 1148 | 3,11 | |
| alle 5 Sorten | 4,40 | | 4,83 | 181 |
| | 1,79 | | 3,87 | |

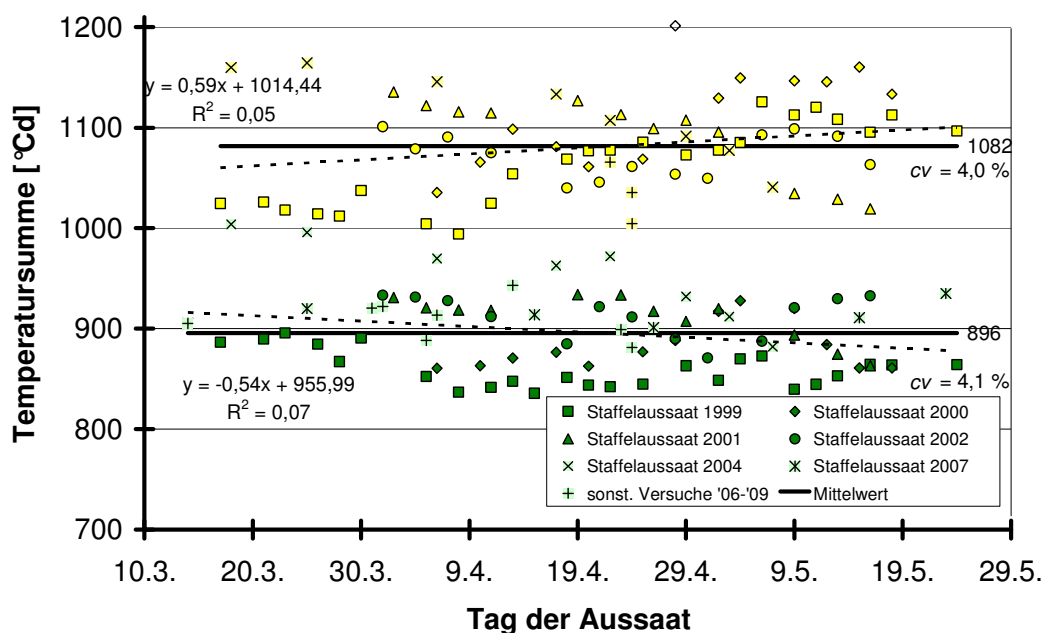


Abb. 16: Temperatursumme (Lufttemperatur, $T_{\min} = 1,79^\circ\text{C}$) von der Aussaat bis zur Ernte bei der Sorte 'Spring' (unten, dunkle Symbole) und 'Tristar' (oben, helle Symbole; der 'Ausreißer' der Staffelaussaat 2000 [1201°Cd] wurde nicht in die Auswertung einbezogen)

BOURGEOIS et al. (2000) errechneten nach Auswertung 12-jähriger Versuchsergebnisse mit bis zu 4 Sorten 'optimale' T_{\min} für die Phase Saat bis Ernte je nach Sorte von 0,0 bis 4,0 °C. Gemittelt (gewichtet) über die Sorten errechneten sie eine T_{\min} von 3,0 °C. Allerdings wurde auch hier in den zugrunde liegenden Versuchen jeweils pro Jahr nur eine Aussaat zwischen dem 9. Mai und 1. Juni durchgeführt, so dass die Erbsen wie bereits oben erwähnt keinen kühleren Temperaturen ausgesetzt waren. Insofern basieren die Ergebnisse der Autoren auch hier bezüglich des Temperaturspektrums auf einer relativ 'schmalen' Datenbasis.

Ähnlich wie NEUVEL (1992) mit einer unterschiedlichen T_{\min} für die Auflauf- bzw. der weiteren Kulturphase (s. o.) untersuchten auch BOURGEOIS et al. (2000) entsprechende Modelle, kamen aber zu dem Schluss, dass eine einheitliche T_{\min} von 3°C die besten Ergebnisse lieferte.

Da bei den eigenen Daten insbesondere für die Auflaufphase (-1,9°C, schnelle Erhöhung des Variationskoeffizienten bei steigender T_{\min} ; vgl. Abb. 7) eine deutlich geringere 'optimale T_{\min} als in den weiteren Phasen ermittelt wurde, wurde für die vorliegenden Daten (leider liegen nicht für alle Datensätze die jeweiligen Auflauftermine vor) entsprechend geteilte Modelle mit unterschiedlichen T_{\min} für die Auflauf- und weitere Phase gerechnet. Dabei zeigte sich, dass, bei mit einem T_{\min} von 1,16/1,13°C über alle vorliegenden Ergebnisse die geringste Variation der Temperatursumme erzielt wird (Tab. 2). Eine einheitliche T_{\min} von 1,14°C führte für diese Daten aber praktisch zu keinem höheren cv, so dass eine Teilung der Kulturzeit (wie auch bei BOURGEOIS et al. 2000) keine Verbesserung zeigte. Auch die für alle vorliegenden Daten (inkl. derer, für die keine Auflauf- bzw. Blühtermine vorliegen) errechnete optimale Basistemperatur von 1,79°C (vgl. Tab. 1) führte nur zu einem unbedeutenden Anstieg der Variation.

Tab. 2: Temperatursumme (Aussaat bis Ernte) und Variationskoeffizient der in Staffelaussaat- und Sortenversuchen getesteten Sorten bei verschiedenen Basistemperaturen für die Phase Aussaat bis Auflauf und Auflauf bis Ernte (fett: Basistemperatur mit dem geringsten Variationskoeffizienten)

| | Basistemperatur T_{\min} [°C] | | Temperatursumme [°Cd] | Variationskoeffizient cv [%] | n |
|----------------------|---------------------------------|--------------|-----------------------|------------------------------|-----|
| | bis Auflauf | ab Auflauf | | | |
| Spring | 1,40 | 1,98 | 884 | 3,50 | 74 |
| | 1,16 | 1,13 | 932 | 3,57 | |
| Tristar | 0,46 | -0,31 | 1230 | 3,57 | 59 |
| | 1,16 | 1,13 | 1128 | 3,74 | |
| Samish | 6,10 | -6,42 | 1461 | 1,73 | 6 |
| | 1,16 | 1,13 | 1101 | 1,95 | |
| Ashton | 7,10 | -7,05 | 1516 | 2,02 | 7 |
| | 1,16 | 1,13 | 1119 | 2,61 | |
| Ambassador | -1,38 | 4,63 | 1013 | 2,44 | 8 |
| | 1,16 | 1,13 | 1204 | 3,03 | |
| alle 5 Sorten | 1,16 | 1,13 | | 3,50 | 154 |
| | 1,14 ^{*)} | | | 3,50 | |
| | 1,79 | | | 3,55 | |

*) : die über die gesamte Kulturzeit einheitliche Basistemperatur von 1,14°C führt bei allen einzelnen Sorten zu (auf 2 Kommastellen gerundet) gleichen Ergebnissen wie die Basistemperatur 1,16/1,13°C

Fazit

Eine Basistemperatur von 1,8°C vermindert die Variation der Temperatursumme (einer Sorte), die bei der sonst 'üblichen' Basistemperatur im Bereich von 4,4 bis 5,0°C zumeist mit zunehmend späterem Aussaattermin einen Anstieg zeigt. Damit kann, unabhängig vom Aussaattermin, mit größerer Genauigkeit der notwendige Abstand zwischen den Aussaaten (meist entsprechend dem Entwicklungsfortschritt von einem Tag zur Erntezeit) errechnet werden.

Bei einer Basistemperatur von 1,8°C ist von der Saat bis zum Auflaufen im Mittel (bei allerdings großer Streuung, vgl. Abb. 7) mit einer Temperatursumme von 126°Cd zu rechnen. Für die Phase Blühbeginn bis Ernte beträgt die Temperatursumme dann 414°Cd. Die Zunahme der Temperatursumme einer Sorte mit zunehmender Anzahl steriler Nodien (vgl. Abb. 12) verändert sich mit 30,7°Cd/Nodium dagegen nur wenig.

Randbemerkung

In 'älteren' Arbeiten zum Temperatursummen-Modell wird (sicherlich in Ermangelung höher aufgelöster Daten) die Tagesmitteltemperatur allgemein als Mittel aus dem Tagesmaxima und -minima berechnet. Moderne Wetterstationen bieten die Möglichkeit, die Tagesmitteltemperatur mit deutlich besserer Auflösung zu erfassen. So berechnet die hiesige Wetterstation Stundenmittelwerte auf Basis von Messungen im Minutenintervall. Die hier verwendeten Tagesmittelwerte werden wiederum aus den Stundenmittelwerten berechnet. Stellt man diesen Tagesmittelwerten den sich jeweils aus Tagesmaxima und -minima ergebenden Werten gegenüber, so zeigt sich (für den Standort Pillnitz) eine erstaunliche Übereinstimmung, wobei die maximale Abweichung 2,6°C betrug. Im Mittel betrug die aus den Tagesmaxima bzw. -minima berechnete Temperatur 14,70°C, die auf Basis der Stundenmittelwerte 14,84°C.

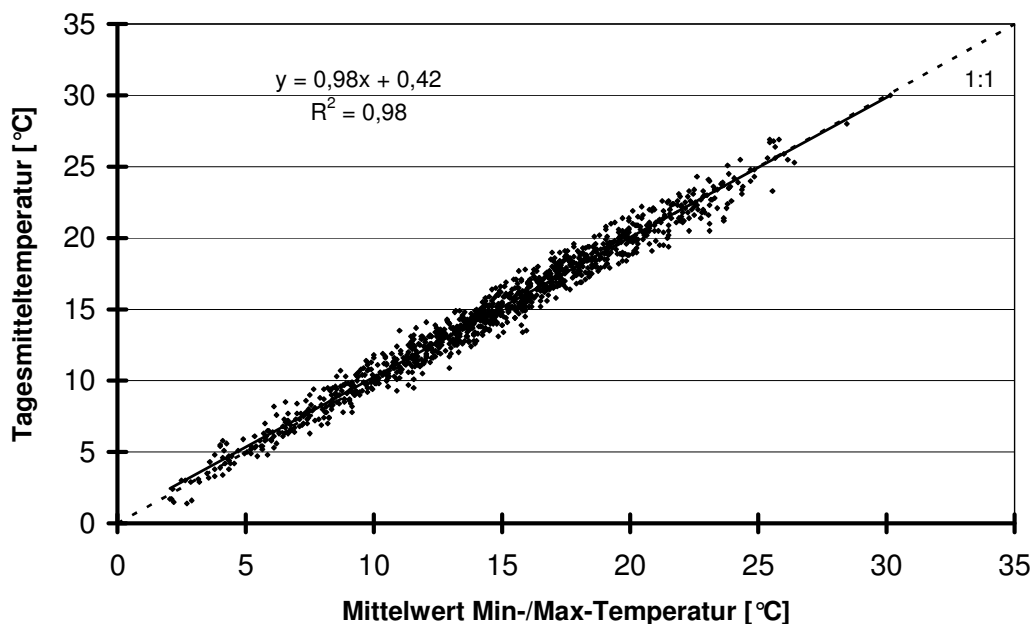


Abb. 14: Tagesmitteltemperatur (Berechnet aus Stundenmittelwerten) **versus Mittelwert aus Tagesmaxima und -minima** (Lufttemperatur 2 m Höhe, Erbsen-Kulturzeiträume der Versuche 1999-2009)

Literatur:

- ARNOLD, C.Y. 1959: The determination and significance of base temperature in a linear heat unit system. Proc. Amer. Soc. Hort. Sci. **74**, S. 430-445
- BOURGEOIS, G., S. JENNI, H. LAURENCE und N. TREMBLAY 2000: Improving the prediction of processing pea maturity based on the growing-degree day approach. HortScience **35** (4), S. 611-614
- KRUG, H. 2002: Fabaceae. In: KRUG, H., H.-P. LIEBIG und H. STÜTZEL [Hrsg.]: Gemüseproduktion. Eugen Ulmer, Stuttgart
- LABER, H. 2007: Temperatursummenmodell bewährte sich bei der Aussaatstaffelung von Erbsen; Basistemperatur von 4,4°C zu hoch? www.hortigate.de
- LABER, H. 2008: Abreifeverhalten bei den verschiedenen Markerbsen-Sortentypen praktisch gleich. www.hortigate.de
- LABER, H. 2009: Sehr hoher Unkraut-Bekämpfungserfolg beim Anhäufeln von Markerbsen; Aussaat in Furchen brachte keine Vorteile. www.hortigate.de
- LATTAUSCHKE, G. und H. LABER, 2009: Optimierung der Anbauverfahren von in Sachsen bedeutsamen Industriegemüsearten. Schriftenreihe des Landesamtes für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie, Heft 7/2009 (Anbau von Industriegemüse), S. 1-200 (auch www.hortigate.de)
- LATTAUSCHKE, G. 2009:
a: Besonders in der mittelfrühen Reifegruppe wurde ein sehr hohes Ertragsniveau erreicht.
b: Im frühen, mittelfeinen Bereich konnten die Spitzensorten der letzten Jahre ihre Position festigen.
c: Hohe Erträge trotz komplizierter Wachstumsbedingungen bei späten Erbsen.
d: Nach wie vor sehr kleine Auswahl an leistungsfähigen mittelspäten, mittelfeinen Markerbsensorten. www.hortigate.de
- LATTAUSCHKE, G. und B. VOIGTLÄNDER 2005:
a: Frühe und mittelfrühe Markerbsen in feiner Sortierung in ausreichender Zahl vorhanden.
b: Breites Sortiment feiner Markerbsen der mittelspäten und späten Reifegruppe für die Tiefkühlindustrie. www.hortigate.de
- NEUVEL, J.J. [Zusammenstellung] 1992: Teelt van Doperwten. Teelthandleiding Nr. 48. Proefstation voor de Akkerbouw en de Groenteteelt in de Vollegrond, Lelystad (NL)
- OTTOSSON, L. 1969: Neue Erkenntnisse über den Anbau von Erbsen. Gemüse **5** (7 u. 8), S. 182-183 u. 197-200
- OTTOSSON, L. 1975: Wie das Klima Drescherbsen beeinflusst. Industrielle Obst- und Gemüseverwertung **60**, S. 106-109
- VOIGTLÄNDER, B. 2001: Untersuchungen zur Anwendung des Temperatursummen-Modells der Gemüseerbse für die Anbauplanung und Ernteprognose. Infodienst für Beratung und Schule der Sächsischen Agrarverwaltung 4/01, S. 106-115
- VOIGTLÄNDER, B. und H. LABER 2004: Staffelung der Aussaattermine bei Grünerbsen mit Hilfe des Temperatursummenmodells. Infodienst für Beratung und Schule der Sächsischen Agrarverwaltung 05/2004, S. 94-103