

Udo Wittchen, Jürgen Schwarz, Bernhard Pallutt

Versuchsfeld Dahnsdorf – 15 Jahre agrarmeteorologische Messungen Teil 2: Lufttemperatur

Trial field Dahnsdorf –
15 years of agrometeorological measurements
Part 2: Air temperature

162

Zusammenfassung

Der Mittelwert der Lufttemperatur des Zeitraumes 1998 bis 2012 auf dem Versuchsfeld in Dahnsdorf lag mit 9,5°C deutlich (+0,8 K) über dem aktuell gültigen Normalwert (1961/90) der nahe gelegenen DWD-Station Wittenberg. Keiner der Monate des Gesamtzeitraums der Dahnsdorfer Messungen war kälter gegenüber dem des Normalwert-Zeitraumes. Die Differenzen betragen zwischen 0,0 K (Juni, Oktober) und +1,6 K (Januar). Vor allem in den Monaten Januar bis April war eine deutliche Erwärmung (+1,0 K bis +1,6 K) gegenüber dem Normalwert-Zeitraum erkennbar. Die Spannweite der Monatsmittel der Lufttemperatur zwischen den einzelnen Jahren war erheblich. Sie war besonders stark in den Monaten Januar (10,5 K) und Dezember (10,2 K).

Auch die mittleren Tagesmittel der Lufttemperatur verzeichnen für die Kalendertage des Zeitraums 1998 bis 2012 überwiegend eine Zunahme: 262 der 366 Tage waren wärmer gegenüber dem Normalwert-Zeitraum. Unabhängig davon lassen sich im Jahresgang der Differenzen zu den Normalwerten Zeitintervalle mit negativen Differenzen lokalisieren. Das gilt z.B. für das Zeitintervall vom 6. bis 20. Oktober, in dem es – über den Gesamtzeitraum gesehen – in Dahnsdorf 1,2 K kälter war als an der Vergleichsstation Wittenberg.

Zwischen den Spannweiten der Tagesmittel eines Kalendertages und dessen Datum ist ein funktionaler

Zusammenhang erkennbar: Große Spannweiten (tlw. > 25 K) im Winter, geringere (tlw. < 10 K) im Sommer.

Ähnliche Aussagen lassen die monatlichen Verteilungen der 10-Minuten-Mittel der Lufttemperatur zu: Extreme Spannweiten in den Wintermonaten (z.B. Februar: 40,0 K), geringere im Sommer: In den Wintermonaten sind sowohl in ihrer Häufigkeit als auch in ihren Beträgen stärkere negative Differenzen zum Monatsmittel zu verzeichnen; im Sommer treten häufiger und mit größeren Beträgen positive Differenzen auf.

Die Auszählung der Tage mit Über- bzw. Unterschreitung definierter Schwellwerte verzeichnet einen Anstieg auf dem Versuchsfeld Dahnsdorf. Das gilt sowohl für Sommertage (Max. $\geq 25,0^{\circ}\text{C}$) und heiße Tage (Max. $\geq 30,0^{\circ}\text{C}$) als auch für Frost- (Min. $< 0,0^{\circ}\text{C}$) und Eistage (Max. $< 0,0^{\circ}\text{C}$). Letzteres steht im Widerspruch zu langjährigen Trends des Zeitraumes 1951 bis 2010.

Die Lufttemperatur variiert in Abhängigkeit von der Messhöhe. Zwischen 2,0 m und 1,0 m Höhe unterscheiden sich die Monatsmittel der Lufttemperatur nur geringfügig (zwischen +0,1 K und +0,2 K). In den Messhöhen 2,0 m und 0,2 m differieren sie deutlicher (zwischen +0,6 K und +0,9 K). In diesem Höhenbereich ist ein Tagesgang der Temperaturdifferenzen erkennbar: In der Nacht geringere Temperaturwerte in Bodennähe, am Tag geringere Werte in 2,0 m Höhe.

Stichwörter: Erwärmung, Normalwert, Schwankung, Temperatur, Versuchsfeld

Institut

Julius Kühn-Institut – Bundesforschungsinstitut für Kulturpflanzen, Institut für Strategien und Folgenabschätzung, Kleinmachnow

Kontaktanschrift

Dr. Udo Wittchen, Julius Kühn-Institut, Bundesforschungsinstitut für Kulturpflanzen, Institut für Strategien und Folgenabschätzung, Stahnsdorfer Damm 81, 14532 Kleinmachnow, E-Mail: udo.wittchen@jki.bund.de

Zur Veröffentlichung angenommen

17. Dezember 2014

Abstract

For the considered period from between 1998 and 2012, the mean air temperature values at the trial field Dahnsdorf amounted to 9.5°C and were therefore well above (+0.8 K) the currently valid normal value of the normal period 1961/90 measured at the DWD weather station Wittenberg. Compared to the normal period, no month of the aggregate Dahnsdorf measurement period was colder. The differences ranged between 0.0 K (June, October) and +1.6 K (January). Especially the period between January and April showed a distinct warming (+1.0 to +1.6 K). The monthly mean air temperatures varied considerably between the individual years, in particular in January (10.5 K) and December (10.2 K).

The means of the daily mean air temperature per calendar day were also mostly increasing from 1998 to 2012. 262 out of 366 days were warmer compared to the normal period. Considering, however, the annual variation of differences to the normal period values, there were also colder periods. This applies for instance to the period from 6th to 20th October, which was 1.2 K colder compared to the same period at the DWD weather station in Wittenberg.

The range of daily mean air temperatures of a calendar day depends functionally on the date: wide range (partially > 25 K) in winter, low range (partially < 10 K) in summer.

The monthly distributions of 10-minute mean air temperatures allow similar conclusions: Extreme ranges in winter (February: 40.0 K), lower ranges in summer. In winter, negative differences on the monthly mean are more frequent and greater. In summer, positive differences on the monthly mean are more frequent and greater.

The number of days exceeding or falling below defined thresholds increased at the experimental field in Dahnsdorf. This was observed for summer days (max. $\geq 25.0^\circ\text{C}$) and hot days (max. $\geq 30.0^\circ\text{C}$) as well as for freezing days (min. $< 0.0^\circ\text{C}$) and ice days (max. $< 0.0^\circ\text{C}$). The last one is contrary to the long term trends of the period 1951–2010.

Air temperature varies with the measuring height. The monthly means vary only slightly between 2.0 m and 1.0 m (from + 0.1 K to + 0.2 K). They are, however, greater at 2.0 m and 0.2 m (from + 0.6 K to + 0.9 K). At these heights, the temperature differences during the day and night periods vary distinctly between 2.0 m and 0.2 m: In the night lower air temperature at ground level, in the day lower values at 2.0 m height.

Key words: Fluctuation, normal value, trial field, temperature, warming

1 Einleitung

Im Jahr 1996 wurde auf dem Versuchsfeld der damaligen Biologischen Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft (heute: Julius Kühn-Institut (JKI), Bundesforschungsinsti-

tut für Kulturpflanzen) in Planetal, OT Dahnsdorf (Landkreis Potsdam-Mittelmark, Land Brandenburg) eine agrarmeteorologische Station installiert. Inzwischen existiert für den Zeitraum 1998 bis 2012 15-jähriges, fast lückenloses Datenmaterial der wichtigsten meteorologischen Größen, das unter verschiedenen Gesichtspunkten und für verschiedene Zeitskalen analysiert wird. Der Teil 2 des vorliegenden Themenheftes realisiert dieses detailliert für die Lufttemperatur. Diese ist sowohl für die Entwicklung der Pflanzen als auch für viele pflanzenbauliche und produktionstechnische Prozesse von großer Bedeutung.

So weist CHMIELEWSKI et al. (2002) einen engen korrelativen Zusammenhang zwischen der Lufttemperatur der Monate Februar bis April und dem zeitlichen Auftreten phänologischer Phasen im Frühjahr für ausgewählte Kulturpflanzen nach.

Andererseits bestimmt die Lufttemperatur die Anbaufähigkeit der Kulturpflanzen: Winterfestigkeit und Vernebelungsbedürfnis seien in diesem Zusammenhang genannt (GEISLER, 1988).

Dass eine eisige Witterung zu erheblichen Ausfällen führen kann, belegen die folgenden Zahlen. Im Jahr 2011/2012 betrug die Auswinterung bei Winterweizen und Wintergerste 12,1 bzw. 12,8%. Im Jahr 2012/2013 waren es dagegen lediglich 1,3 bzw. 0,8% (BMELV, 2013).

Neben den Kulturpflanzen selbst beeinflusst die Lufttemperatur auch die Entwicklung der Schadorganismen (KLUGE et al., 1999) – und letztendlich sogar die Maßnahmen zu deren Bekämpfung. So sollten beispielweise Pflanzenschutzmittelapplikation bei Lufttemperaturen > 25°C vermieden werden (BMELV, 2010).

2 Material und Methoden

Die Messungen erfolgten mit Hilfe eines Datenloggers der Firma Delta-T-Devices Ltd., Cambridge, England (Delta-T, 1990) auf einem mit Rasen bewachsenen Messfeld. Alle angeschlossenen Messwertgeber wurden minütlich (Abfrage-Intervall: 1 Minute) abgefragt und auf 10-Minuten-Werte (Mittelwert bzw. Summe) verdichtet. Bis Februar 1999 wurde jeweils nur ein 10-Minuten-Wert (Messwert) pro Stunde ermittelt, danach sechs. Über den gesamten betrachteten Zeitraum wurde ein Standardprogramm realisiert (siehe auch Teil 1 – Allgemeines dieses Themenheftes). Die Lufttemperatur wurde in drei verschiedenen Höhen (2,0 m; 1,0 m und 0,2 m) gemessen. Verwendet wurden Lufttemperatur- und Luftfeuchtesensoren SKH 2040 mit dem Messprinzip 'Thermistor standard Fenwal type 10 K'. Alle Geber waren mit einem Strahlungsschutz ausgerüstet. Sie wurden regelmäßig im Abstand von zwei Jahren kalibriert bzw. ausgetauscht. Als Ersatzgerät diente ein in einer Thermometerhütte auf dem Messfeld befindlicher Thermohygrograph. Mit ihm wurden fehlende Werte ergänzt bzw. fehlerhafte Werte korrigiert. In äußerst seltenen Ausnahmefällen wurden die Messergebnisse der Meteorologischen Station Wittenberg des Deutschen Wetterdienstes (DWD) einbezogen.

Die Daten wurden jährlich auf Plausibilität, im Wesentlichen auf Über- bzw. Unterschreitung definierter Schwellwerte geprüft.

Sie wurden in einer separaten ACCESS-Datenbank sowie der ORACLE-Datenbank „Schadorganismen und Folgenabschätzung“ des Instituts „Strategien und Folgenabschätzung“ gespeichert.

Die statistischen Auswertungen erfolgten mit dem Statistikprogramm SAS®; Signifikanztests wurden stets zum Signifikanzniveau $\alpha = 0,05$ durchgeführt.

Grundsätzlich wurden Stundenwerte verwendet: Das heißt, dass unabhängig von der Anzahl der Messwerte, auf die jeweilige Stunde (h) bezogene Mittel- und Extremwerte berechnet und analysiert wurden. In Abhängigkeit von der Anzahl der Messwerte variierte das Bezugs-Intervall für die Stundenwerte: Bis Februar 1999 waren es die letzten 10 Minuten vor jeder vollen Stunde, ab März 1999 das Zeitintervall von 9 Minuten vor der vollen Stunde (h-9') bis 50 Minuten nach der vollen Stunde (h+50').

Für Vergleiche mit Klimadaten wurden die langjährigen Normalwerte des Normalwert-Zeitraums 1961/90 der DWD-Station Wittenberg (MÜLLER-WESTERMEIER, 1996) genutzt.

3 Ergebnisse und Diskussion

Betrachtet werden die Mittel- und Extremwerte der Lufttemperatur für unterschiedliche Zeitskalen. Sofern nicht separat auf anderes verwiesen, wird auf die Lufttemperatur in 2,0 m Höhe Bezug genommen.

3.1 Gesamtzeitraum und Einzeljahre

Der 15-jährige Mittelwert (1998 bis 2012) der Lufttemperatur des Versuchsfeldes Dahnsdorf beträgt $9,5^{\circ}\text{C}$ und liegt damit deutlich ($+0,8\text{ K}$) über dem langjährigen Normalwert der nahe gelegenen DWD-Station Wittenberg. Mit einer Ausnahme (2010: $7,8^{\circ}\text{C}$) waren alle Jahre zwischen $0,3\text{ K}$ und $1,5\text{ K}$ wärmer als im Normalwert-Zeitraum an der Vergleichsstation. Das höchste Jahresmittel war mit $10,2^{\circ}\text{C}$ im Jahr 2008 zu verzeichnen.

Detaillierte Informationen über die Lufttemperatur des Gesamtzeitraums und der Einzeljahre auf dem Versuchsfeld in Dahnsdorf enthält der 1. Teil – Allgemeines dieses Themenheftes.

3.2 Monatswerte

Jahreswerte bieten meist nur unzureichende Anhaltspunkte für die Charakterisierung der Wachstumsbedingungen der Pflanzen in Abhängigkeit von der Witterung. Wesentliche, das Pflanzenwachstum beeinflussende meteorologische Größen unterliegen einem Jahresgang. In gleicher Weise gestaltet sich das Pflanzenwachstum jahreszeitlich verschieden.

Die zeitliche Differenzierung der Lufttemperatur erfolgt zunächst anhand der Monatsmittel und deren Extremwerten. Diese werden mit den langjährigen Normalwerten verglichen (Abb. 1).

Im Mittel aller Jahre des Zeitraumes von 1998 bis 2012 waren – mit Ausnahme des Juni und Oktober (jeweils $\pm 0,0\text{ K}$) – alle Monate in Dahnsdorf wärmer als die des Normalwert-Zeitraumes in Wittenberg (Abb. 1). Die höchsten Differenzen verzeichneten die Monate Januar bis April. In diesem Zeitraum erreichten sie Werte zwischen $+1,0\text{ K}$ und $+1,6\text{ K}$.

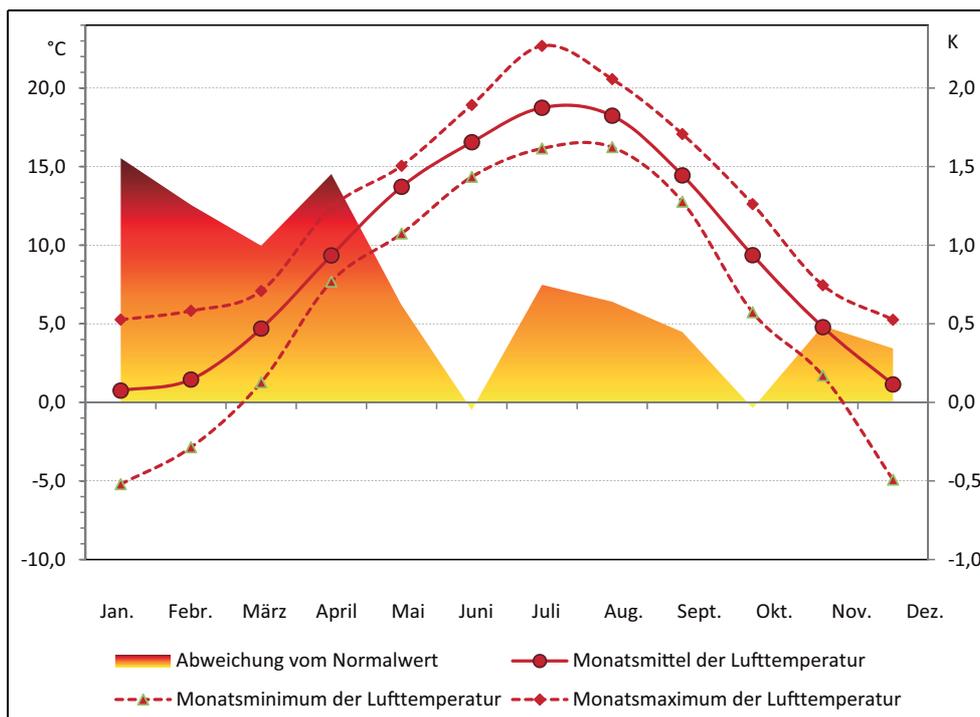


Abb. 1. Monatsmittel- und-extremwerte der Lufttemperatur (in °C) (Dahnsdorf, 1998 bis 2012) sowie Abweichung der Monatsmittel vom Normalwert (in K) (Wittenberg, 1961/90).

Besonders in den Wintermonate (Dezember bis Februar) schwankten die Monatsmittel der Einzeljahre erheblich. Die Spannweite zwischen den einzelnen Jahren überschritt teilweise 10,0 K (Tab. 1).

Deutlich stabiler zeigten sich dagegen die Monate der Jahresmitte. Von Mai bis September betragen – mit Ausnahme des Juli (6,5 K) – die Differenzen zwischen den einzelnen Jahren weniger als 5,0 K.

3.3 Tageswerte

In vielen, mit der Entwicklung der Pflanzen im Zusammenhang stehenden Fragestellungen ist die Aussagekraft von Monatswerten beschränkt: Zeitlich höher aufgelöste Daten werden erforderlich. Eine Möglichkeit bieten Tageswerte. Für das Dahnsdorfer Versuchsfeld wurden die Ta-

gesmittelwerte aus jeweils 24 Stundenwerten (23:51 Uhr MEZ des Vortages bis 23:50 Uhr MEZ des Messtages) berechnet.

Tab. 2 dokumentiert – für die einzelnen Monate – die an Hand der Tagesmittelwerte berechneten statistischen Maßzahlen (Mittelwert, Standardabweichung) sowie die im Gesamtzeitraum (1998 bis 2012) ermittelten Extremwerte.

Die Standardabweichung der Tagesmittel der Lufttemperatur (StAbw(m)) unterliegt einem Jahresgang. Dieser kann – bezogen auf die Monate (m, m = 1...12) – mit der Funktion

$$\text{StAbw}(m) = 0,0557 m^2 - 0,8147 m + 6,037 \quad (R^2 = 0,9051)$$

beschrieben werden.

Tab. 1. Normalwerte der Monatsmittel der Lufttemperatur (Wittenberg, 1961/90) sowie Monatsmittel der Lufttemperatur, deren Extremwerte und Spannweiten (Dahnsdorf, 1998 bis 2012)

	Normalwert [°C]	Mittelwert [°C]	Stand.-abw.	Min. [°C]	Jahr	Max. [°C]	Jahr	Spannweite [K]
Januar	-0,8	0,8	2,94	-5,2	2010	5,3	2007	10,5
Februar	0,2	1,5	2,87	-2,9	2012	5,8	1998	8,7
März	3,7	4,7	1,42	1,3	2006	7,1	2012	5,8
April	7,9	9,4	1,39	7,7	2001	12,4	2011	4,7
Mai	13,1	13,7	1,19	10,7	2010	15,1	2008	4,4
Juni	16,6	16,6	1,34	14,4	2001	18,9	2003	4,5
Juli	18,0	18,7	1,73	16,2	2000	22,7	2006	6,5
August	17,6	18,2	1,22	16,2	2005	20,6	2003	4,4
September	14,0	14,4	1,34	12,8	2001	17,1	2006	4,3
Oktober	9,4	9,4	1,80	5,7	2003	12,6	2001	6,9
November	4,3	4,8	1,50	1,7	1998	7,5	2009	5,8
Dezember	0,8	1,1	2,50	-4,9	2010	5,3	2006	10,2

Tab. 2. Tagesmittel der Lufttemperatur und deren Extremwerte (Dahnsdorf, 1998 bis 2012)

	Mittelwert	Stand.-abw.	Min.	Datum	Max.	Datum
Januar	0,8	5,11	-17,0	06.01.2009	11,6	10.01.2007
Februar	1,5	4,96	-17,4	06.02.2012	12,8	05.02.2004
März	4,7	3,80	-5,0	13.03.2006	13,6	04.03.1998
April	9,4	3,66	-0,9	09.04.2003	19,7	23.04.2000
Mai	13,7	3,38	5,9	10.05.2005	23,2	31.05.2008
Juni	16,6	3,37	8,6	01.06.2006	27,5	21.06.2000
Juli	18,7	3,30	11,5	02.07.2011	28,8	12.07.2010
August	18,2	2,79	11,1	29.08.2007	27,9	13.08.2003
September	14,4	2,88	7,5	30.09.2010	22,6	01.09.2009
Oktober	9,4	3,57	-0,7	23.10.2003	19,0	04.10.2011
November	4,8	3,69	-7,0	22.11.1998	13,4	05.11.2010
Dezember	1,1	4,40	-14,2	19.12.2009	11,8	05.12.2006

Die hohe Variabilität der Tagesmittel der Lufttemperatur dokumentiert deren Jahresgang (Abb. 2). Vor allem in den Wintermonaten sind erhebliche Schwankungen zwischen den Extremwerten eines Tages erkennbar. Das gilt sowohl für die Tage mit gleichem Datum innerhalb der Jahre des Gesamtzeitraums als auch für aufeinander folgende Tage. So betragen die Spannweiten zwischen den Extremwerten Anfang Januar (05.01. bis 09.01.) und Ende Januar bis Anfang Februar (23.01. bis 07.02.) häufig mehr als 20 K, teilweise über 25 K; in den Monaten Juli bis September meist deutlich weniger (häufig < 10 K). An zwei aufeinander folgenden Tagen sind Differenzen > 1,0 K nicht selten: Der zeitliche Verlauf sowohl der Tagesmittel als auch der Tages-Extremwerte ist unregelmäßig. Ursache dessen sind kurze, nur wenige Tage an-

dauernde Zeitabschnitte mit extremen Tagesmittelwerten in einzelnen Jahren. So verringerten die niedrigen Werte des Zeitraums vom 23.01.2010 bis zum 27.01.2010 (-9,9 ... -13,1°C) die Mittelwerte des Gesamtzeitraums um -0,6 bis -0,9 K.

Trotz extremer Schwankungen lassen die Spannweiten der Tagesmittel der Lufttemperatur (SpW(d), d = 1 ... 366) einen funktionalen Zusammenhang mit der Tagesnummer (d) erkennen (Abb. 3). Dieser folgt der Funktion

$$SpW(d) = 0,0002 d^2 - 0,0961 d + 19,466 \quad (R^2 = 0,4476)$$

Der Vergleich mit den Normalwerten der DWD-Station Wittenberg ermöglicht eine zeitliche Zuordnung der Differenzen der Tagesmittel der Lufttemperatur (Abb. 4).

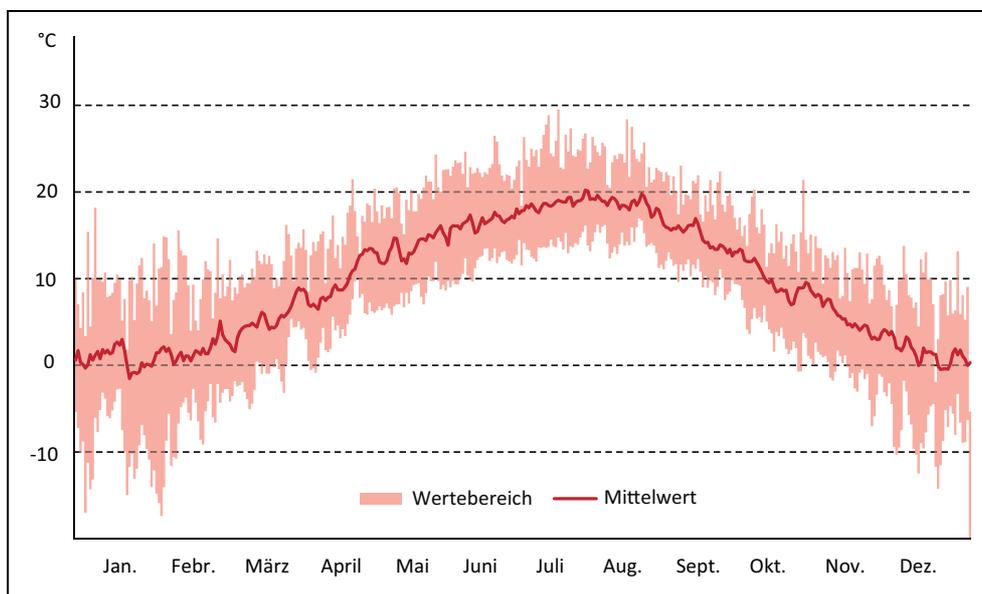


Abb. 2. Tagesmittel der Lufttemperatur und deren Wertebereich (Dahnsdorf, 1998 bis 2012).

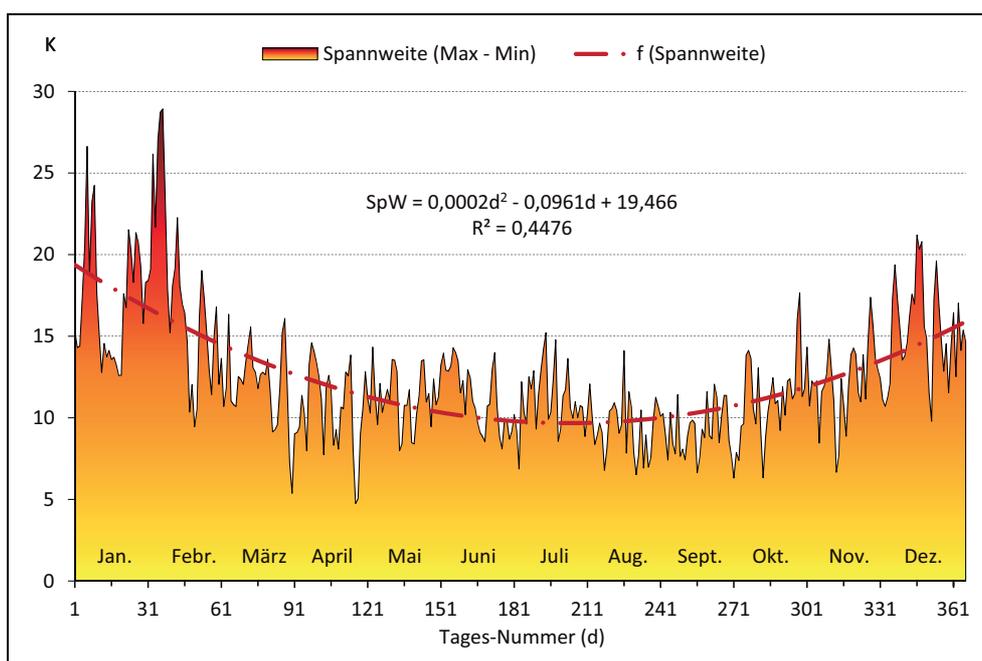


Abb. 3. Spannweiten (SpW) der Tagesmittel der Lufttemperatur (Dahnsdorf, 1998 bis 2012) mit d = Nummer des Tages im Jahr (d = 1 ... 366).

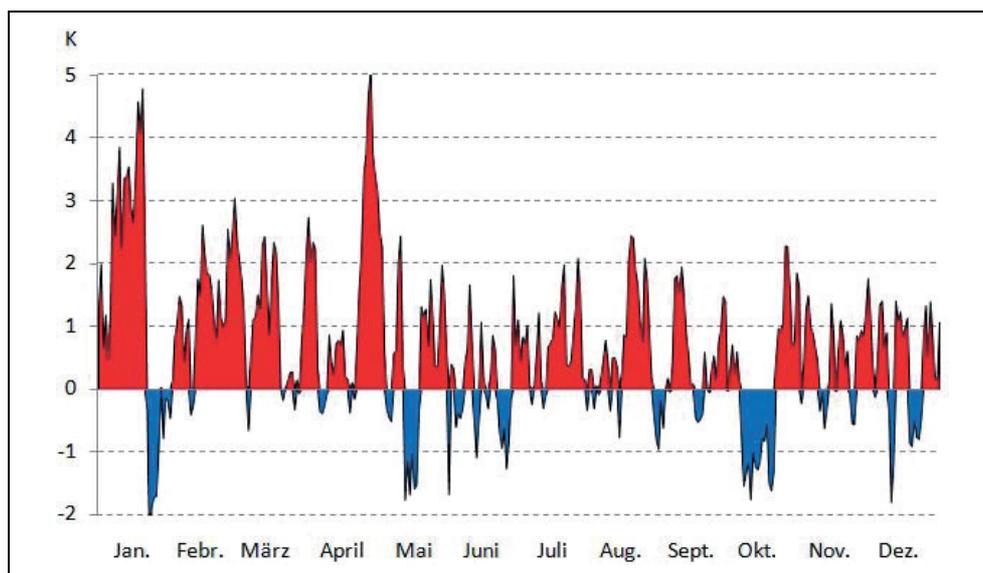


Abb. 4. Abweichung der Tagesmittel der Lufttemperatur (Dahnsdorf, 1998 bis 2012) von den Normalwerten (Wittenberg, 1961/90).

An 262 von 366 Tagen lagen die Tagesmittel des betrachteten Zeitraums über denen des Normalwert-Zeitraums der Vergleichsstation. Neben Zeitintervallen mit deutlich höheren Temperaturen in Dahnsdorf (09.01.–23.01.: > 2 K; 13.02.–18.03.: 1 bis 3 K; 24.04.–04.05.: 2 bis 5 K) existierten aber auch kurze Zeitintervalle, in denen es in Dahnsdorf kälter war (23.01.–27.01.: –1 bis –2 K; 13.05.–18.05.: ca. –1,5 K; 06.10.–20.10.: ca. –1 K).

3.4 Stunden- und 10-Minuten-Werte

Moderne Wachstums-, Befalls- und Ertragsmodelle, wie z.B. SIMONTO (ROSSBERG et al., 2005), SIMBLIGHT (KLEINHENZ et al., 2007) nutzen Stundenwerte als meteorologische Eingangsgrößen. Diese werden meist vom DWD zur Ver-

fügung gestellt oder im Rahmen agrarmeteorologischer Messnetze der Pflanzenschutzdienste der Bundesländer, teilweise auf Basis von 10-Minuten-Werten, gewonnen.

In Abhängigkeit der Methodik der Datengewinnung unterscheiden sich die Messwerte: Die Verdichtung über ein längeres Zeitintervall gleicht Extremwerte innerhalb dieses Intervalls stärker aus. Entsprechend ändert sich der Wertebereich.

Tab. 3 zeigt dieses an Hand der gemessenen 10-Minuten-Mittel und der daraus berechneten Stunden-Mittel der Lufttemperatur in Dahnsdorf. Fehlende 10-Minuten-Mittel wurden nicht ergänzt, die entsprechenden Stunden-Mittel nicht berücksichtigt. Dadurch ergeben sich geringfügige Unterschiede in den Mittelwerten.

Tab. 3. Stunden- und 10-Minuten-Mittel der Lufttemperatur und deren Extremwerte (Dahnsdorf, 1998 bis 2012)

Monat	Stunden-Mittel ¹				10-Minuten-Mittel ¹			
	Mittelwert	Stand.-abw.	Min.	Max.	Mittelwert	Stand.-abw.	Min.	Max.
Januar	0,7	5,45	–21,3	14,3	0,8	5,37	–21,7	14,3
Februar	1,6	5,37	–22,9	16,3	1,6	5,35	–23,6	16,4
März	4,7	4,70	–11,0	20,5	4,7	4,71	–11,6	20,7
April	9,1	5,29	–5,1	27,1	9,1	5,35	–5,4	28,3
Mai	13,7	5,32	–0,7	30,8	13,6	5,29	–1,3	30,8
Juni	16,5	5,27	1,2	35,8	16,4	5,34	0,7	36,2
Juli	18,9	5,26	4,7	36,7	19,0	5,29	4,4	36,9
August	18,2	4,87	3,9	34,6	18,3	4,87	3,5	34,8
September	14,4	4,70	0,5	32,4	14,4	4,76	–0,1	32,5
Oktober	9,3	4,47	–5,6	24,8	9,4	4,56	–5,8	25,2
November	4,9	4,14	–8,9	17,6	5,0	4,07	–9,2	18,0
Dezember	0,9	4,72	–16,8	14,4	1,0	4,62	–18,1	14,4

¹ Fehlende 10-Minuten-Mittel wurden nicht ergänzt. In den Auswertungen wurden nur gemessene Werte (10'-Mittel) bzw. aus denen berechnete Werte (Stundenmittel) berücksichtigt.



Abb. 5. Wertebereich der 10-Minuten-Mittel der Lufttemperatur (Dahnsdorf, 1998 bis 2012).

Abb. 5 dokumentiert den Wertebereich der gemessenen 10-Minuten-Mittel, d.h. den der Daten mit der kleinsten Zeitskala.

In den Beträgen und der Verteilung der Werte sind jahreszeitliche Unterschiede erkennbar: In den Wintermonaten traten extrem niedrige Lufttemperaturen auf, deren Differenzen zum Mittelwert deutlich über denen des Vergleiches mit ungewöhnlich hohen Temperaturen im Winter liegen. Besonders intensiv zeigte sich dieses im Februar: Die Spannweite zwischen geringstem und höchstem 10'-Mittel der Lufttemperatur betrug genau 40,0 K: Das tiefste 10'-Mittel lag 25,2 K unter, das höchste „nur“ 14,8 K über dem Monatsmittel. 63% der Werte waren kälter gegenüber dem Mittelwert. Die Sommermonate zeigten eine entgegengesetzte, aber nicht so markante Ausprägung. Hier war es der Monat Juni, der mit 35,5 K die größte Spannweite aufwies: Das höchste 10'-Mittel lag 19,8 K über, das tiefste „nur“ 15,7 K unter dem Monatsmittel. Die positiven Differenzen umfassten rund 56% der Werte.

Zwischen Monatsmitteltemperatur und dem prozentualen Anteil negativer bzw. positiver Differenzen der 10'-Mittel der Lufttemperatur gegenüber dem Monatsmittel ist ein Zusammenhang erkennbar (Abb. 6). Grundsätzlich kann formuliert werden: Im Sommer ist eher mit positiven, im Winter mit negativen Differenzen zu den Mittelwerten zu rechnen.

3.5 Schwellwerte

In der Klimatologie ist es üblich, die Zahl der Tage mit Über- bzw. Unterschreitung definierter Schwellwerte zu ermitteln und zu analysieren. Bei der Lufttemperatur werden meist vier auf einen einzelnen Tag bezogene

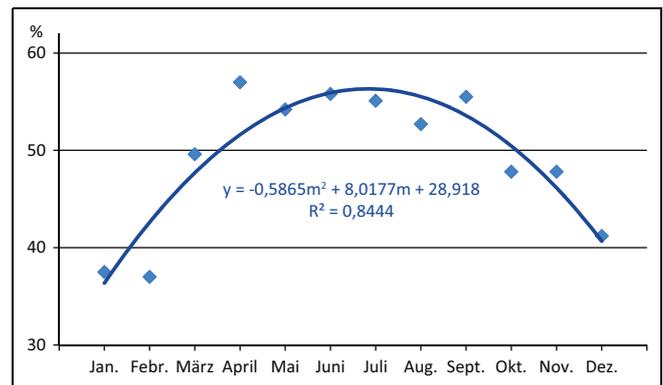


Abb. 6. Prozentualer Anteil positiver Differenzen der 10-Minuten-Mittel der Lufttemperatur eines Monats (m, m = 1 ... 12) gegenüber dem Monatsmittel (Dahnsdorf, 1998 bis 2012).

Schwellwerte betrachtet (siehe auch Teil 1 – Allgemeines, Tab. 2 dieses Themenheftes):

- Eistage: Maximum der Lufttemperatur < 0,0°C
- Frosttage: Minimum der Lufttemperatur < 0,0°C
- Sommertage: Maximum der Lufttemperatur ≥ 25,0°C
- heiße Tage: Maximum der Lufttemperatur ≥ 30,0°C

Die Auszählung der Dahnsdorfer Werte erfolgte auf Basis der 10-Minuten-Mittel der Lufttemperatur. Betrachtet wurden die einzelnen Jahre innerhalb des Gesamtzeitraums (Tab. 4).

Alle Auszählungen dokumentieren eine hohe Variabilität zwischen den einzelnen Jahren. Dieses gilt vor allem für die markanteren Ereignisse „Eistage“ und „heiße Tage“.

Tab. 4. Zahl der Tage mit Über- bzw. Unterschreitung definierter Schwellwerte, Einzeljahre (Dahnsdorf, 1998 bis 2012)

Jahr	Eistage	Frosttage	Sommertage	heiße Tage
1998	22	71	27	8
1999	12	75	49	4
2000	10	62	36	5
2001	18	92	35	10
2002	23	83	44	7
2003	23	111	65	21
2004	16	93	34	4
2005	18	101	46	7
2006	25	86	59	19
2007	9	62	40	6
2008	7	47	35	15
2009	30	83	39	6
2010	64	114	41	14
2011	16	80	43	6
2012	28	89	34	7
Mittelwert	21,4	83,3	41,8	9,3
Standardabweichung	13,7	18,3	10,0	5,4

Im zeitlichen Verlauf der die Schwellwerte der Lufttemperatur betreffenden Auszählungen traten überraschende Ergebnisse zu Tage: Während die Normalwerte auf eine Verringerung der Eis- und Frosttage und eine Erhöhung der Sommertage und der heißen Tage hindeuten, wiesen die Dahnsdorfer Werte für den betrachteten Zeitraums (1998 bis 2012) einen Trend zur Erhöhung aller Merkmale auf (Tab. 5). Dabei war der Anstieg der Sommertage und der heißen Tage unwesentlich, der der Eis- und Frosttage deutlicher.

Tab. 5. Zahl der Tage (n.) eines Jahres mit Über- bzw. Unterschreitung definierter Schwellwerte der Lufttemperatur (Dahnsdorf, 1998 bis 2012)

	Funktion
Eistage	$n_E = 1,1321 \cdot \text{Jahr} - 2248,5$
Frosttage	$n_F = 0,5964 \cdot \text{Jahr} - 1112,6$
Sommertage	$n_S = 0,0071 \cdot \text{Jahr} + 27,479$
heiße Tage	$n_H = 0,1536 \cdot \text{Jahr} - 298,64$

Ein signifikanter Anstieg der Zahl der Tage (n.) mit Über- bzw. Unterschreitung der Schwellwerte konnte allerdings für keinen der Schwellwerte nachgewiesen werden.

3.6 Temperatursummen

Temperatursummen bieten gegenüber Mittelwerten häufig bessere Möglichkeiten, die Wachstumsbedingungen der Pflanzen zu charakterisieren und physiologische Vorgänge bei Pflanzen abzubilden (FORMAYER et al., 2007), da sie Temperaturbereiche ausschließen, die diese nicht oder nur unwesentlich beeinflussen. In der Regel werden sie durch Summierung der positiven Differenzen zwischen realem Temperaturwert (T_i) und dem Schwellwert (T_S) berechnet. Dabei kann sowohl die Zeitskala des Temperaturwertes (Tageswert, Stundenwert, ...) als auch der Schwellwert variabel definiert werden. In gemäßigten Zonen wird für das Wachstum der Kulturpflanzen häufig der Schwellwert 5°C , für Wintergetreide 3°C (CHMIELEWSKI, 2003) verwendet.

Die Variabilität dieser Temperatursummen soll für die Dahnsdorfer Daten am Beispiel des Wintergetreides dargestellt werden: Ermittelt wurde – ausgehend vom 1. Januar – der Tag des Erreichens einer Wärmesumme (Tagesmittel der Lufttemperatur $T_S \geq 3,0^\circ\text{C}$) von 200 K (Abb. 7).

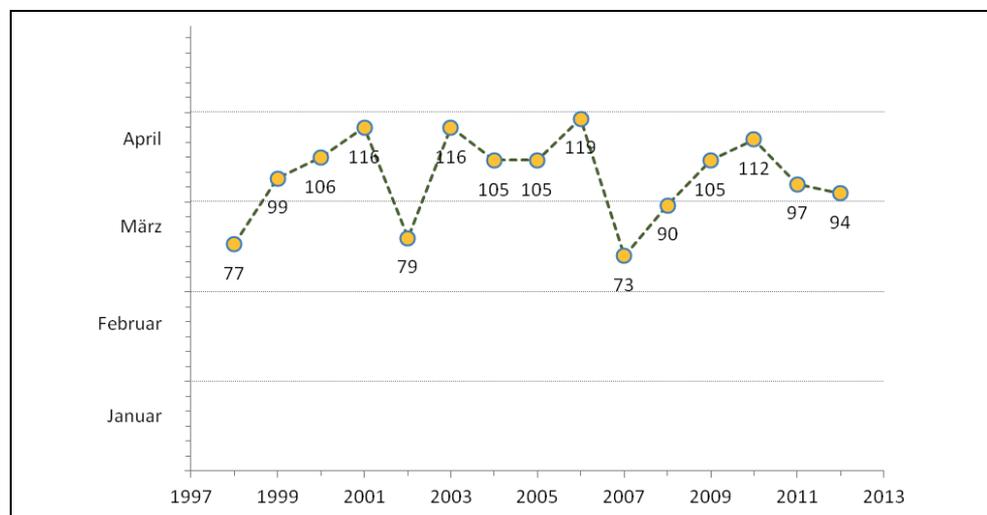


Abb. 7. Tages-Nummer des Erreichens einer Wärmesumme ≥ 200 , beginnend ab 1. Januar für $T_S = 3^\circ\text{C}$ (Dahnsdorf, 1998 bis 2012).

Zwischen den einzelnen Jahren sind deutliche Unterschiede erkennbar: Im Zeitraum von 1998 bis 2012 wurde die Wärmesumme 200 ($T_S = 3^\circ\text{C}$) im Mittel am 100. Tag des Jahres (10. April) erreicht. Die Extrema traten in zwei aufeinander folgenden Jahren auf: Das späteste Eintrittsdatum am 29. April 2006, das früheste am 14. März 2007: 46 Tage Unterschied innerhalb der ersten vier Monate der Jahre.

3.7 Andauerstatistiken

Die Pflanzen sind permanent den Witterungseinflüssen ausgesetzt, die deren Wachstum und Entwicklung fördern bzw. einschränken. Wesentliche Wirkungen, z.B. Schädigungen, werden häufig erst nach einer zeitlichen Andauer der schädigenden Bedingungen hervorgerufen. Nachfolgend werden einige dieser Witterungsbedingungen benannt und die Häufigkeit ihres Auftretens auf dem Versuchsfeld in Dahnsdorf dargestellt.

Warme und heiße Zeitabschnitte.

Tagesmittel der Lufttemperatur $\geq 20,0^\circ\text{C}$ traten im gesamten Zeitraum von 1998 bis 2012 an 377 von 5479 Tagen (6,9%) auf. Diese verteilten sich auf insgesamt 139 Zeitabschnitte mit einer Dauer zwischen einem (45,6%) und 16 Tagen (0,7%). Fünf dieser Abschnitte währten mindestens 10 Tage (Tab. 6). Als C3-Pflanzen sind bei den heimischen Getreidearten (nicht jedoch Mais) für hohe Wachstumsleistungen Temperaturen $< 25^\circ\text{C}$ als günstig

anzusehen (GEISLER, 1983); Lufttemperaturen $> 25^\circ\text{C}$ als ungünstig. Bei Tagesmittelwerten $> 20^\circ\text{C}$ ist von mehreren Stundenmittel $> 25^\circ\text{C}$ auszugehen, so dass diese Zeitspannen den Ertrag negativ beeinflussen dürften.

Stundenmittel der Lufttemperatur $\geq 30,0^\circ\text{C}$ wurden 630-mal registriert; das sind 0,48% aller Werte. Sie verteilten sich auf 123 Tage, wobei sie maximal 12 aufeinander folgende Stunden umfassten. An acht Tagen waren es mindestens 10 Stunden (Tab. 7).

Die heißesten Stunden waren jene zwischen 14 Uhr und 17 Uhr MEZ (Abb. 8). Sie beinhalteten fast 45% der Stundenmittel der Lufttemperatur $\geq 30,0^\circ\text{C}$; jede einzelne Stunde ca. 15%.

Der Gesamtzeitraum beinhaltete 139 **heiße Tage** (Maxima der 10^e-Mittel $\geq 30,0^\circ\text{C}$). Diese erstreckten sich über 77 Zeitabschnitte von einem bis fünf Tagen sowie einem Zeitabschnitt von 11 Tagen Länge. Letzterer währte vom 18.07. bis 28.07.2006; die Tagesmittel schwankten in diesem Zeitraum zwischen $23,6^\circ\text{C}$ und $27,0^\circ\text{C}$.

Kalte und eisige Zeitabschnitte. Eisige Lufttemperaturen sind vor allem hinsichtlich der Winterfestigkeit der Kulturarten von Bedeutung. Häufig verursachen sie – vor allem im Zusammenhang mit Kahlfrösten – Schäden in den Pflanzenbeständen, die bis zu deren Totalausfall führen können. Während Wintergerste und Wintererbsen (in Abhängigkeit vom Vegetationskegel) ihren Grenzwert

Tab. 6. Zeitfolgen ≥ 10 Tage mit Tagesmittel der Lufttemperatur $\geq 20,0^\circ\text{C}$ (Dahnsdorf, 1998 bis 2012)

Zeitraum	Anzahl Tage	Tagesmittel der Lufttemperatur [$^\circ\text{C}$]		
		Mittelwert	Minimum	Maximum
22.07. – 31.07.2001	10	22,2	20,5	25,1
15.07. – 25.07.2003	11	22,4	20,9	24,7
31.07. – 13.08.2003	14	23,8	20,8	27,9
16.07. – 01.08.2006	16	23,9	20,0	27,0
08.07. – 17.07.2010	10	24,6	21,3	28,8

Tab. 7. Zeitfolgen ≥ 10 Stunden mit Stundenmittel der Lufttemperatur $\geq 30,0^\circ\text{C}$ (Dahnsdorf, 1998 bis 2012)

Datum	Anzahl Stunden	Stundenmittel der Lufttemperatur [$^\circ\text{C}$]		
		Mittelwert	Minimum	Maximum
21.07.1998	11	32,7	30,0	34,6
05.07.1999	10	32,4	30,1	33,9
20.06.2000	11	33,6	30,9	34,9
21.06.2000	12	34,2	30,5	35,8
20.07.2006	10	34,7	32,7	36,0
16.07.2007	12	34,7	30,8	36,7
11.07.2010	10	34,5	30,4	36,5
12.07.2010	11	34,3	30,4	36,1

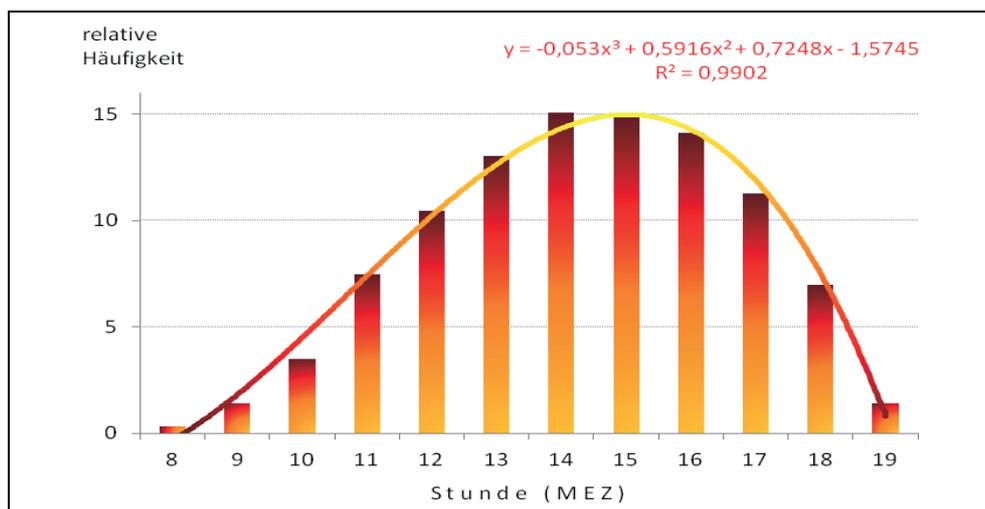


Abb. 8. Tagesgang der relativen Häufigkeit des Auftretens von Stundenmittel der Lufttemperatur $\geq 30,0^\circ\text{C}$ (Dahnsdorf, 1998 bis 2012).

bereits bei -15°C erreichen, gilt Winterweizen noch bis -20°C , Winterroggen teilweise bis unter -25°C als robust (GEISLER, 1988). Eine Schneedecke mildert diese Effekte, da sie als Strahlungsfläche wirkt und den Erdboden schützt.

Derart geringe Lufttemperaturen wurden in Dahnsdorf selten gemessen: Ihr Anteil an der Gesamtzahl der Messwerte lag deutlich unter 0,1% (Tab. 8).

Im betrachteten Zeitraum wurden 321 **Eistage** (Maxima der 10^4 -Mittel $< 0,0^\circ\text{C}$) registriert. Das sind 5,8% aller Tage. Sie verteilten sich auf 93 Zeitabschnitte, die einen bis 19 aufeinander folgende Tage umfassten. Sechs Zeitabschnitte währten mindestens 10 Tage (Tab. 9).

Frosttage (Minima der 10^4 -Mittel $< 0,0^\circ\text{C}$) traten in 289 Zeitabschnitten, die bis 44 Tage andauerten, insgesamt 1249-mal auf. Sechs Zeitabschnitte beinhalteten mindestens 25 aufeinander folgende Tage (Tab. 10).

3.8 Vergleich verschiedener Messhöhen

Die Lufttemperatur wurde in drei verschiedenen Messhöhen ermittelt: In der Standardhöhe von 2,0 m, in 1,0 m Höhe und unmittelbar über dem mit Rasen bewachsenen Erdboden in 0,2 m Höhe. Nachfolgend werden die Werte der verschiedenen Messhöhen miteinander verglichen.

Tab. 8. Absolute Häufigkeit der Unterschreitung definierter Schwellwerte der Stunden- bzw. Tagesmittel der Lufttemperatur (Dahnsdorf, 1998 bis 2012)

	Anzahl Werte	Lufttemperatur		
		$< -15,0^\circ\text{C}$	$< -20,0^\circ\text{C}$	$< -25,0^\circ\text{C}$
Stundenmittel	716460	213 (0,03%)	32 ($< 0,01\%$)	0
Tagesmittel	5479	3 (0,05%)	0	0

Dieses erfolgte ausschließlich an Hand der 10^4 -Mittel der Lufttemperatur.

Die Differenzen der Lufttemperatur zwischen 2,0 m Höhe und 1,0 m Höhe waren relativ gering (Tab. 11). Im Mittel war es in 2,0 m Höhe um 0,15 K wärmer als in 1,0 m Höhe.

Zwischen den einzelnen Monaten existierten nur geringe Unterschiede: Die mittleren Differenzen lagen – mit Ausnahme des April (+0,27 K) – zwischen +0,1 K und +0,2 K.

Tab. 9. Zeitfolgen ≥ 10 aufeinander folgender Eistage (Dahnsdorf, 1998 bis 2012)

Zeitraum	Anzahl Tage	mittleres Tagesmittel der Lufttemperatur [$^\circ\text{C}$]	Tagesminimum (10^4 -Mittel) der Lufttemperatur [$^\circ\text{C}$]		
			Mittelwert	Minimum	Maximum
06.12.2002 – 15.12.2002	10	-7,1	-9,6	-13,9	-2,4
28.12.2008 – 12.01.2009	16	-6,2	-11,7	-21,7	-2,3
29.12.2009 – 16.01.2010	19	-4,5	-6,1	-15,0	-0,9
07.02.2010 – 16.02.2010	10	-4,3	-5,6	-7,2	-2,8
13.12.2010 – 22.12.2010	10	-6,0	-10,2	-18,1	-4,2
27.01.2012 – 13.02.2012	18	-10,0	-15,6	-23,6	-3,7

Tab. 10. Zeitfolgen ≥ 25 aufeinander folgender Frosttage (Dahnsdorf, 1998 bis 2012)

Zeitraum	Anzahl Tage	mittleres Tagesmittel der Lufttemperatur [°C]	Tagesminimum (10'-Mittel) der Lufttemperatur [°C]		
			Mittelwert	Minimum	Maximum
29.01.2003 – 08.03.2003	39	-1,6	-5,1	-12,9	-0,3
11.02.2005 – 07.03.2005	25	-1,7	-4,9	-10,7	-0,5
25.12.2005 – 06.02.2006	44	-3,7	-7,1	-17,4	-0,2
19.02.2006 – 19.03.2006	29	-1,3	-4,3	-11,1	-0,1
20.01.2010 – 19.02.2010	31	-4,2	-6,8	-18,7	-0,5
20.02.2011 – 08.03.2011	25	-1,9	-5,3	-13,7	-1,4

Tab. 11. Statistische Parameter der Differenzen der 10'-Mittel der Lufttemperatur in 2,0 m und 1,0 m Höhe (Dahnsdorf, 1998 bis 2012) (P5 = 5.Perzentil, Q1 = 1.Quartil, Med.=Median, Q3 = 3.Quartil, P95 = 95.Perzentil)

Monat	Anzahl	Mittelwert	Stand.-Abw.	Min.	P5	Q1	Med.	Q3	P95	Max.
Januar	52468	0,13	0,25	-0,7	-0,2	-0,1	0,1	0,3	0,5	3,2
Februar	49715	0,13	0,31	-1,1	-0,3	-0,1	0,1	0,3	0,6	4,1
März	62470	0,15	0,33	-4,1	-0,3	-0,1	0,2	0,3	0,7	2,4
April	55602	0,27	0,50	-2,0	-0,4	-0,1	0,3	0,5	1,2	5,7
Mai	62125	0,18	0,46	-4,9	-0,4	-0,2	0,1	0,4	0,9	4,8
Juni	59774	0,14	0,40	-3,4	-0,4	-0,2	0,1	0,4	0,8	3,2
Juli	58296	0,10	0,41	-4,8	-0,5	-0,2	0,0	0,4	0,8	4,8
August	59584	0,19	0,42	-1,9	-0,4	-0,1	0,1	0,5	0,9	3,8
September	60462	0,17	0,41	-4,7	-0,4	-0,1	0,1	0,4	0,8	7,9
Oktober	57504	0,12	0,34	-5,8	-0,4	-0,1	0,1	0,4	0,6	5,1
November	52292	0,11	0,29	-3,3	-0,3	-0,1	0,1	0,3	0,5	1,9
Dezember	59477	0,11	0,27	-1,5	-0,2	-0,1	0,1	0,3	0,5	4,8
Jahr	689769	0,15	0,38	-5,8	-0,4	-0,1	0,1	0,4	0,8	7,9

Es ist ein Tagesgang erkennbar, der mit hohem Bestimmtheitsmaß ($R^2 = 0,9907$) einem Polynom 4. Grades folgt:

$$\Delta T_{21} = -0,00003 d^4 + 0,0014 d^3 - 0,0194 d^2 + 0,0682 d + 0,1849$$

mit ΔT_{21} Differenz der Lufttemperatur zwischen 2,0 m und 1,0 m Höhe
d Tages-Nummer im Jahr ($d = 1 \dots 366$)

Deutlich stärker differierten die Werte der Lufttemperatur zwischen 2,0 m und 0,2 m Höhe. Sie betragen im Mittel der Monate zwischen + 0,6 K und + 0,9 K (Abb. 9) und übertrafen damit die Differenzen zwischen 2,0 m und 1,0 m Höhe um mindestens 0,5 K. Die extremsten Einzelwerte wurden im Mai (-9,9 K) bzw. im Februar (+8,9 K) ermittelt. Grundsätzlich ist ein Jahresgang erkennbar: Die höchsten Spannweiten zwischen dem 5%- und dem 95%-Perzentil traten in den Sommer- und den daran angrenzenden Monaten auf, wobei innerhalb dieser Monate nur geringe Unterschiede zu verzeichnen waren.

Einen wesentlich markanteren Verlauf zeigt der Tagesgang der Differenzen der Lufttemperatur der beiden Höhen: Deutlich positiven Differenzen in den Nachtstunden stehen geringfügig negative Differenzen in den Mittagsstunden gegenüber (Abb. 10). Ursache dessen sind vorrangig die Strahlungsverhältnisse. In den Mittagsstunden erwärmt die kurzwellige Einstrahlung die Erdoberfläche und die unmittelbar darüber liegende Luftschicht stärker als jene in 2,0 m Höhe, in der zudem auf dem landschaftlich frei gelegenen Versuchsfeld bereits Durchmischungsvorgänge stattfinden. In den Nachtstunden kühlt die bodennahe Luftschicht dagegen stärker aus.

Dass neben den Strahlungsverhältnissen noch andere Faktoren die Temperaturunterschiede zwischen 2,0 m und 0,2 m Höhe beeinflussen, zeigt die Analyse des zeitlichen Auftretens (Tages- und Jahreszeit) extremer Differenzen. Betrachtet wurden Differenzen $\geq 5,0$ K sowie Differenzen $\leq -3,0$ K. Die Tageszeit wurde in acht Zeitintervalle unterteilt, die Jahreszeit an Hand der Monate unterschieden.

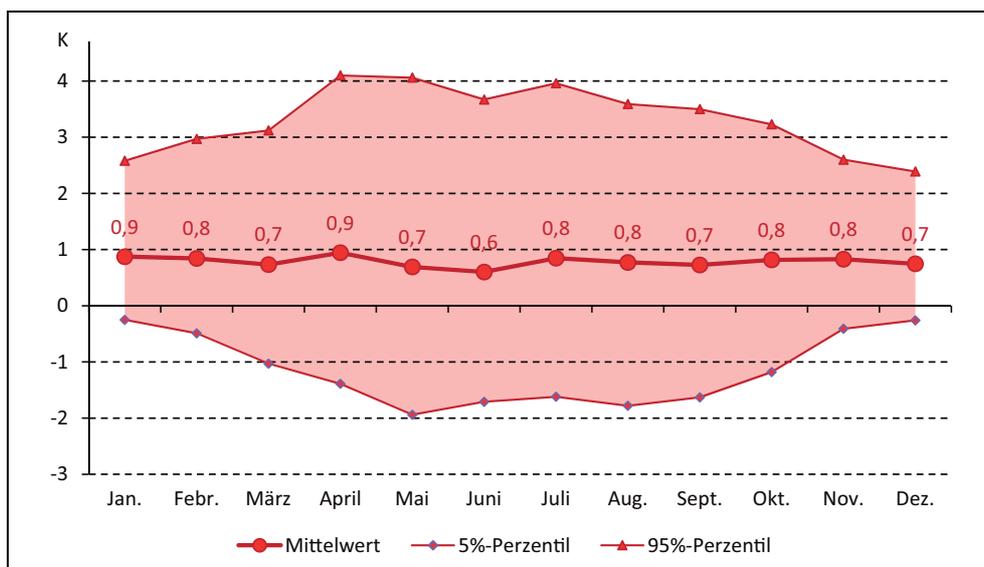


Abb. 9. Monatliche Mittelwerte und Wertebereich zwischen dem 5% – und dem 95% – Perzentil der Differenzen der Lufttemperatur in 2,0 m und 0,2 m Höhe (Dahnsdorf, 1998 bis 2012).

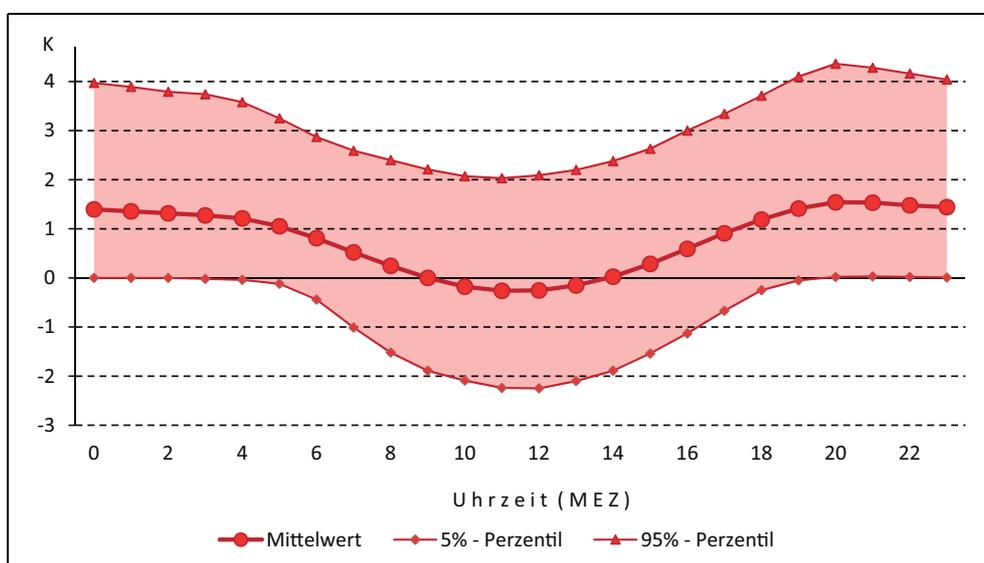


Abb. 10. Stündliche Mittelwerte und Wertebereich zwischen dem 5% – und dem 95% – Perzentil der Differenzen der Lufttemperatur in 2,0 m und 0,2 m Höhe (Dahnsdorf, 1998 bis 2012).

Extrem positive Temperaturdifferenzen (in 2,0 m Höhe wärmer) traten überwiegend in den Nachtstunden auf (Abb. 11): Im Zeitraum von 17:51 Uhr bis 05:50 Uhr waren es – über das gesamte Jahr gesehen – 92,8 Prozent der betrachteten Fälle. Ursache war die bereits erwähnte nächtliche Ausstrahlung der Erdoberfläche, die für deren Abkühlung sorgte. Im Frühjahr, vor allem im April und Mai, verstärkten die noch geringen Bodentemperaturen diesen Effekt.

Ein vollständig anderes Bild bietet sich bei stark negativen Temperaturdifferenzen, d.h. einer höheren Lufttemperatur über dem Erdboden (Abb. 12). Diese Differenzen treten vorrangig in den Vormittags- und Nachmittagsstunden (08:51 Uhr bis 14:50 Uhr), dem Zeitintervall mit der stärksten Sonneneinstrahlung auf. Über das gesamte Jahr betrachtet betrifft das 89,0% der Temperaturdifferenzen $\leq -3,0$ K. Auch hier ist der Monat Mai besonders exponiert: Die Sonneneinstrahlung bewirkt, nach – im Vergleich zu den Sommermonaten – noch relativ geringen

gen Nachttemperaturen, die intensivste Erwärmung der unmittelbar über dem Erdboden befindlichen Schicht.

4 Resümee

Der Teil 2 des vorliegenden Themenheftes dokumentiert die Ergebnisse der Messungen der Lufttemperatur auf dem Versuchsfeld in Dahnsdorf im Zeitraum von 1998 bis 2012. Die Messwerte wurden für verschiedene Zeitskalen (Monats-, Tages- und Stundenwerte) und unterschiedliche Aspekte (Messwerte, Schwellwerte, Temperatursummen, Andauerstatistiken, verschiedene Messhöhen) dargestellt. Mit dieser Arbeit sollen neben der Präsentation der Ergebnisse vor allem auf die Vielfalt möglicher Analysen der Lufttemperatur im Zusammenhang mit der Charakterisierung der Wachstumsbedingungen der Pflanzen hingewiesen und Anregungen zu deren Nutzung für entsprechende wissenschaftliche Analysen gegeben werden.

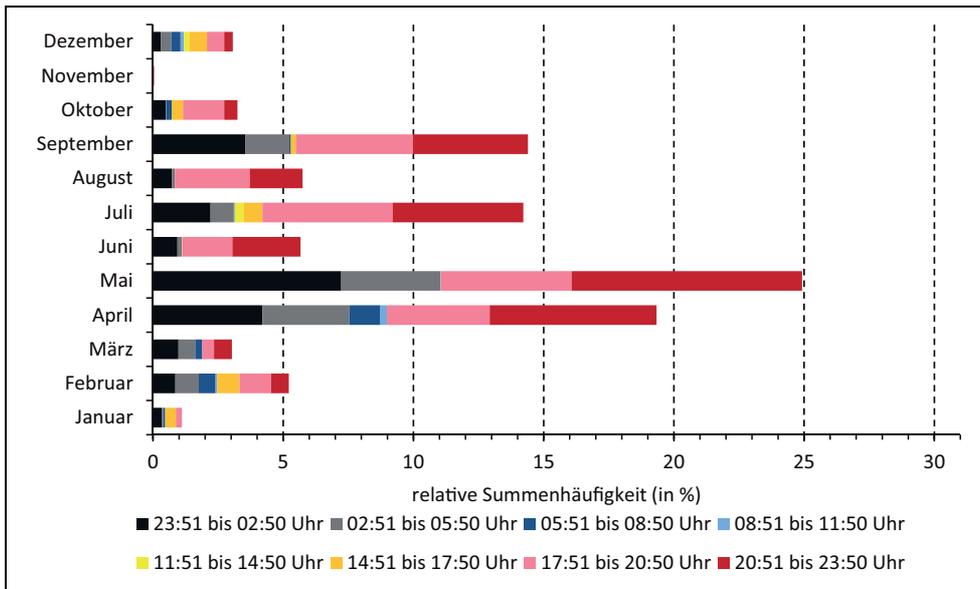


Abb. 11. Relative Summenhäufigkeit des Auftretens von Differenzen der Lufttemperatur in 2,0 m und 0,2 m Höhe $\geq 5,0$ K (Dahnsdorf, 1998 bis 2012).

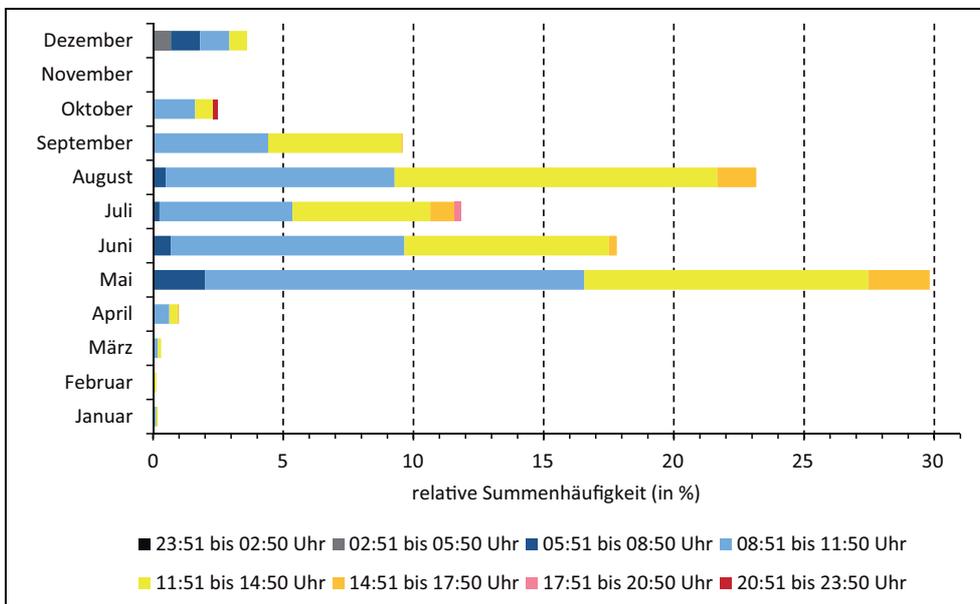


Abb. 12. Relative Summenhäufigkeit des Auftretens von Differenzen der Lufttemperatur in 2,0 m und 0,2 m Höhe $\leq -3,0$ K (Dahnsdorf, 1998 bis 2012).

Literatur

BMELV (Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz, Hrsg.), 2010: Gute fachliche Praxis im Pflanzenschutz, 69 S.
 BMELV (Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz, Hrsg.), 2013: Statistisches Jahrbuch über Ernährung, Landwirtschaft und Forsten der Bundesrepublik Deutschland 2013, Münster-Hiltrup, Landwirtschaftsverlag, 592 S.
 CHMIELEWSKI, F.M., A. MÜLLER, E. BRUNS, 2002: Climate changes and trends in phenology of fruit trees and field crops in Germany, 1961-2000. Agrarmeteorologische Schriften 10, 1-11.
 CHMIELEWSKI, F.M., 2003: Phenology and Agriculture. Agrarmeteorologische Schriften 12, 1-13.
 Delta-T, 1990: User Manual Delta Logger. Delta-T Devices Ltd., Cambridge, 120 S.
 FORMAYER, H., P. HAAS, M. HOFSTÄTTER, S. RADANOVICS, H. KROMP-KOLB, 2007: Räumlich und zeitlich hochaufgelöste Temperaturszenarien für Wien und ausgewählte Analysen bezüglich Adaptionsstrategien. BOKU-Met Bericht, 82 S.
 GEISLER, G., 1983: Ertragsphysiologie von Kulturarten des gemäßigten Klimas. Berlin und Hamburg, Verlag Paul Parey, 205 S.

GEISLER, G., 1988: Pflanzenbau. Ein Lehrbuch – Biologische Grundlagen und Technik der Pflanzenproduktion. 2., neubearb. und erw. Aufl., Berlin und Hamburg, Verlag Paul Parey, 530 S.
 KLUGE, E., S. ENZIAN, V. GUTSCHE, 1999: Befallsatlas. Atlas der potentiellen Gefährdung durch wichtige Schadorganismen im Ackerbau Deutschlands. Hrsg.: Biologische Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft, Berlin und Braunschweig, 160 S.
 KLEINHENZ, B., K. FALKE, J. KAKAU, D. ROSSBERG, 2007: SIMBLIGHT1 – A new model to predict first occurrence of potato late blight. Bulletin OEPP/EPP Bulletin 37 (2), 339-343.
 MÜLLER-WESTERMEIER, G., 1996: Klimadaten von Deutschland, Zeitraum 1961-1990 (Lufttemperatur, Luftfeuchte, Niederschlag, Sonnenschein, Bewölkung). Offenbach am Main, Selbstverlag des Deutschen Wetterdienstes, 431 S.
 ROSSBERG, D., E. JÖRG, K. FALKE, 2005: SIMONTO – ein neues Ontogenesemodell für Wintergetreide und Wintererbsen. Nachrichtenblatt des Deutschen Pflanzenschutzdienstes 57 (4), 74-80.
 WITTCHEN, U., J. SCHWARZ, E. MOLL, 2011: Agrarmeteorologische Stationen: Vergleich der „vor Ort“ gewonnenen Wetterdaten mit denen umliegender offizieller Wetterstationen. Journal für Kulturpflanzen 63 (8), 259-269.