

Udo Wittchen, Jürgen Schwarz, Bernhard Pallutt

Versuchsfeld Dahnsdorf – 15 Jahre agrarmeteorologische Messungen Teil 4: Extreme Witterungsereignisse

Trail field Dahnsdorf –
15 years of agrometeorological measurements
Part 4: Extreme weather events

184

Zusammenfassung

Basierend auf 15-jährigen meteorologischen Beobachtungen auf dem Versuchsfeld in Dahnsdorf wurden extreme Witterungsereignisse analysiert und ihre Wirkung auf die Erträge verschiedener landwirtschaftlicher Kulturen (Winterweizen, Winterroggen, Wintergerste, Winterrap, Kartoffeln) untersucht. Die Definition der extremen Witterungsereignisse erfolgte auf der Basis von in der Meteorologie gebräuchlichen Schwellwerten (Zahl der Tage) und Zeitfolgen, in denen – über mehrere Tage andauernd – für das betrachtete Gebiet ungewöhnliche Witterungsbedingungen herrschten. Analysiert wurden zwei Hitzeperioden (15.07. bis 14.08.2003 und 15.07. bis 01.08.2006), zwei Kälteperioden (01.01. bis 31.01.2010 und 28.01. bis 14.02.2012), Perioden mit anhaltender Trockenheit (04.04. bis 06.05.2007 und 05.10. bis 25.10.2007) sowie Tage mit Starkregen.

Die beiden Hitzeperioden währten 31 bzw. 18 Tage. Die Mittelwerte der Lufttemperatur betragen 22,7°C bzw. 23,4°C; die maximalen Tagesmittel lagen bei 27,9°C bzw. 27,0°C, die Tages-Maxima bei 34,7°C bzw. 36,6°C; das waren bis zu 10,0 K mehr gegenüber dem langjährigen Mittelwert. An 15 von 31 bzw. 12 von 18 Tagen passierte das Quecksilber des Thermometers die 30°C-Marke (heiße Tage).

In den Kälteperioden sanken die Tages-Minima der Lufttemperatur auf –18,7°C bzw. –23,6°C, die Tagesmittel auf –13,1°C bzw. –19,5°C. Die Perioden dauerten

31 bzw. 18 Tage und verzeichneten Durchschnittstemperaturen von –5,2°C bzw. –10,0°C. Die extremste Abweichung zum langjährigen Mittelwert betrug –18,2 K. An 29 von 31 bzw. 18 von 18 Tagen verharrte das Quecksilber des Thermometers ganztägig unterhalb der 0°C-Marke (Eistage).

Im betrachteten Zeitraum von 1998 bis 2012 wurden auf dem Versuchsfeld in Dahnsdorf drei, mehr als 20 Tage andauernde niederschlagsfreie und vier weitere Perioden mit sehr geringem Niederschlag registriert. Die längste niederschlagsfreie Periode dauerte 33 Tage (04.04. bis 06.05.2007).

Starkniederschläge mit Tagessummen $\geq 50,0$ mm wurden an vier Tagen registriert. Im Normalwertzeitraum (1961/90) war es an der Vergleichs-Messstelle in Treuenbrietzen in 30 Jahren lediglich ein Tag.

Der Einfluss extremer Witterungsereignisse wurde anhand definierter Merkmale, die sich aus Auszählungen (z.B. Anzahl der heißen Tage) bzw. Zeitfolgen (z.B. aufeinander folgende Tage $\leq 0,2$ mm Niederschlag, Kälteperioden) ergaben und zu vier Merkmalsgruppen (eisige Winter, heiße Sommer, geringe Niederschläge während der (Haupt-)Vegetationszeit, starke Niederschläge während der Erntezeit) zusammengefasst wurden, analysiert. Die Analyse basierte auf dem Vergleich der Erträge verschiedener Kulturen. Verglichen wurden die Erträge des Jahres mit dem extremen Witterungsereignis und der Mittelwert der Erträge der restlichen Jahre.

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

11. Januar 2015

Extreme Witterungsereignisse der Merkmalsgruppe „heiße Sommer“ führten im Jahr 2003 zu Ertragseinbußen in allen Kulturen (Winterweizen: 41%; Winterroggen: 27%; Wintergerste: 40%; Winterraps: 45%; Kartoffeln: 58%). Deutlich dezentere Verluste traten dagegen – bei ähnlichem Witterungsverlauf, aber höheren Niederschlägen in der Vegetationszeit – im Jahr 2006 auf.

Ertragsverluste konnten auch für das Merkmal „aufeinander folgende Tage mit $\leq 0,2$ mm Niederschlag“ für das Jahr 2007 (33 aufeinander folgende Tage ohne Niederschlag) nachgewiesen werden.

Keinen bzw. einen nur geringen Einfluss scheint die Merkmalsgruppe „eisige Winter“ zu besitzen, sofern diese nur allein auftritt. Obwohl in beiden Jahren (2010 und 2012) zum Zeitpunkt des Auftretens dieser Merkmalsgruppe eine Schneedecke existierte, ist eine hohe Variabilität hinsichtlich der Erträge erkennbar: Während im Jahr 2010 nach einem eisigen Winter teilweise noch Ertragsverluste zu verzeichnen waren, lagen die Erträge des Jahres 2012 bei ähnlichem Witterungsverlauf über den mittleren Erträgen der restlichen Jahre. Daher scheinen weitere, nachfolgende Witterungsereignisse im weiteren Jahresverlauf ertragswirksam geworden zu sein.

Stichwörter: Ertrag, Extreme Witterungsereignisse, Lufttemperatur, Niederschlag, Normalwerte, Versuchsfeld

Abstract

15 years of meteorological observations at the trial field in Dahnsdorf were used to analyze extreme weather events and their effect on the yields of various crops (winter wheat, winter rye, winter barley, winter oilseed rape, potatoes). The definition of extreme weather events was based on common meteorology threshold values (number of days) and time sequences in which – constantly over several days – the considered area was prevailed by unusual weather conditions. Two hot spells (from 15th July to 14th August 2003 and from 15th July to 01st August 2006), two cold spells (from 01st to 31st January 2010 and from 28th January to 14th February 2012), periods of prolonged drought (from 04th April to 06th May 2007 and from 05th to 25th October 2007) and days with downpour were analyzed.

The heat spells lasted 31 and 18 days, respectively. The average air temperature was 22.7°C and 23.4°C, respectively; the maximum daily average was 27.9°C and 27.0°C, respectively, the daily maxima were at 34.7°C and 36.6°C, respectively, which were up to 10.0 K above the long-term average. 15 out of 31 and 12 out of 18 days, respectively, were hot days (maxima $\geq 30.0^\circ\text{C}$).

In the cold periods, the daily minimum air temperatures decreased to -18.7°C and -23.6°C , respectively, the daily average to -13.1°C and -19.5°C , respectively. The periods lasted 31 and 18 days, respectively; the recorded average temperatures were -5.2°C and -10.0°C ,

respectively. The most extreme deviation from the long-term average was -18.2 K. 29 out of 31 and 18 out of 18 days were ice days (maxima $< 0.0^\circ\text{C}$).

The considered period from 1998 to 2012 saw three periods with more than 20 days without any rain and another four periods with very low precipitation at the trial field in Dahnsdorf. The longest rainless period lasted 33 days (from 04th April to 06th May 2007).

Downpours with daily totals ≥ 50.0 mm were recorded on four days. In the normal value period (1961/90), the reference point at Treuenbrietzen saw only one day in these 30 years.

Effects of extreme weather events were analyzed according to defined features resulting from counts (e.g. number of hot days) or time series (e.g. consecutive days ≤ 0.2 mm precipitation, cold periods). They were summarized in four feature groups (icy winters, hot summers, low precipitation during the (main) growing season, heavy precipitation during harvest). The analysis compared the yields of individual crops in the year with the extreme weather event with the respect mean yield of the remaining years.

In 2003, extreme weather events of the “Hot Summer” group led to a substantial loss of yields in all crops (winter wheat: 41%; winter rye: 27%; winter barley: 40%; winter oilseed rape: 45%; potatoes: 58%). Significantly lower losses occurred – in similar weather conditions, but with higher precipitation in the (main) growing season – in 2006.

Yield losses were also found for the “consecutive days with ≤ 0.2 mm precipitation” group in 2007 (33 consecutive rainless days).

The “Icy Winter” group seems to have no or only a slight effect, if it occurs alone. Although both years (2010 and 2012) had a snow cover at the icy winter, the yield was highly variable: While in 2010 after an icy winter some yield losses were still recorded, the yields of the year 2012 with similar weather conditions exceeded the average of the remaining years. Therefore, subsequent weather events in the rest of the year seem to have taken effect on the yield.

Key words: Air temperature, extreme weather events, normal value, precipitation, trial field, yield

1 Einleitung

In den letzten Jahren wurde vorrangig im Zusammenhang mit dem Klimawandel über die Zunahme extremer Witterungsereignisse diskutiert. Die Ansätze sind vielfältig: Sie reichen von der Beschreibung der das Klimasystem beeinflussenden Zusammenhänge und Wechselwirkungen (JACOBEIT, 2007), die Änderung der Klimatypverteilung in Deutschland innerhalb des letzten Jahrhunderts (GERSTENGARBE und WERNER, 2007), über die Definition von Extremwerten anhand der Wahrscheinlichkeitsdichtefunktionen meteorologischer Werte (SCHÖNWIESE, 2007; JONAS et al., 2005) bzw. ausgewählter Perzentile

(SCHÖNWIESE und TRÖMEL, 2006) und der Analyse der Wachstumsbedingungen der Pflanzen und deren Befall durch Schadorganismen (CHMIELEWSKI, 2007) bis hin zur Diskussion von Verfahren des Risikomanagements (IPCC, 2012).

Im Rahmen dieser Arbeit wird es bei der Betrachtung von Witterungsextremen ausschließlich um die auf dem Versuchsfeld in Dahnsdorf im Zeitraum von 1998 bis 2012 gemessenen Werte gehen, wobei die Extremwerte anhand von Schwellwerten definiert werden, die in der Regel der Meteorologie entlehnt sind, aber auch die Entwicklung der Pflanzen und Schadorganismen wesentlich beeinflussen können: Schlagworte wie „Winterfestigkeit“, „Hitzetoleranz“ und „Bodenerosion“ seien in diesem Zusammenhang genannt. Neben der Beschreibung dieser Extremereignisse aus meteorologischer Sicht, werden – soweit möglich – die Folgen dieser Ereignisse für die Entwicklung der Pflanzen analysiert (vgl. TISCHNER, 2006). Ersteres wird vorrangig über Zeitfolgen geschehen; Letzteres auf den Erträgen ausgewählter Kulturen basierend.

2 Material und Methoden

Grundlage der Betrachtungen sind die Messergebnisse einer fest auf dem Versuchsfeld in Dahnsdorf installierten agrarmeteorologischen Station. Deren Kern bildete ein Datenlogger der Firma Delta-T-Devices Ltd., Cambridge, England (Delta-T., 1990) mit den ihm zugehörigen Messwertgebern (siehe Teil 1 – Allgemeines, Tab. 1 dieses Themenheftes). Alle Messwertgeber wurden in jeder Minute abgefragt (Abfrage-Intervall) und auf 10-Minu-

ten-Werte verdichtet (Mess-Intervall). Bis Februar 1999 wurde jeweils nur ein Messwert, danach jeweils sechs Messwerte pro Stunde ermittelt: Die Lufttemperatur mittels eines SKH 2040 (Thermistor) in 2,0 m Höhe, die Niederschlagshöhe mit einem RG100 (Kippwaage) mit 500 cm² Auffangfläche in 1,2 m Höhe und die Globalstrahlung mit einem Sternpyranometer 8101 (Spektralbereich 0,3 ... 3,0 µm) in 2,0 m Höhe.

Die Messgeräte wurden im Abstand von maximal zwei Jahren kalibriert bzw. ausgetauscht. Datenergänzungen und Korrekturen fehlerhafter Werte erfolgten unter Nutzung eines in unmittelbarer Nähe in einer Thermometerhütte befindlichen Thermohygrographen (Lufttemperatur) bzw. eines HELLMANN-Niederschlagsgebers mit 200 cm² Auffangfläche; Globalstrahlungswerte wurden nicht ergänzt.

Für die Messungen im Boden standen fest installierte SKTS 200 Boden-/Wassertemperatur-Sensoren (Bodentemperatur) sowie Watermark Granular Matrix Sensoren (Saugspannung) zur Verfügung.

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

Es 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: Diese ergaben sich für die Lufttemperatur bis Februar 1999 aus dem Zeitintervall von 9 Minuten vor der vollen Stunde

Tab. 1. Tagesmittel und Tagessummen ausgewählter meteorologischer Größen während zweier Hitzeperioden (Dahnsdorf, 15.07. bis 14.08.2003 und 15.07. bis 01.08.2006)

	Periode 1		Periode 2	
	15.07.–30.07.	31.07.–14.08.	15.07.–14.08.	15.07.–01.08.
Lufttemperatur (in °C)	21,9	23,5	22,7	23,4
• Maximum ¹	28,8	30,8	29,8	30,7
• Minimum ¹	15,0	14,8	14,9	14,7
Niederschlagshöhe (in mm)	30,2	0,6	30,8	10,8
Tage mit Niederschlag	10	1	11	1
Globalstrahlung (in kW/m ²)	4,97	5,58	5,26	5,92
Bodentemperatur in 5 cm Tiefe (in °C)	24,7	26,6	25,6	27,7
Temperaturdifferenz zwischen 2,0 m und 0,2 m Höhe (in K)	-0,2	-0,2	-0,2	3,2
• Maximum	1,5	2,0	1,7	5,3
• Minimum	-2,0	-2,3	-2,2	1,1
Windgeschwindigkeit (m/s)			1,8	1,7
nächtliche Bewölkung (Achtel) ²	4,4	2,5	3,5	3,0

¹ 10-Minuten-Mittel

² 15.07.–14.08.2003: Wittenberg (00, 04, 05 Uhr); 15.07.–01.08.2006: Wiesenburg (00, 04, 05 Uhr)

(h-9°) bis zur vollen Stunde (h), ab März 1999 aus dem Zeitintervall 9 Minuten vor der vollen Stunde bis 50 Minuten nach der vollen Stunde (h+50°): Die Stundensummen der Niederschlagshöhe ergaben sich einheitlich aus dem letztgenannten Zeitintervall.

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

3 Ergebnisse und Diskussion

Die extremen Witterungsereignisse wurden über zwei meteorologische Größen definiert: Die Lufttemperatur und den Niederschlag. Analysiert wurden einerseits Zeitfolgen, in denen – über mehrere Tage andauernd – eine für das betrachtete Gebiet ungewöhnliche Witterung zu verzeichnen war (Hitze, Kälte, Trockenheit) bzw. entsprechende Einzelereignisse auftraten (Starkniederschlag). Dabei umschließt der Begriff „ungewöhnlich“ sowohl den statistischen Aspekt im Sinne einer geringen Häufigkeit des Auftretens (ohne dabei jedoch theoretische Verteilungen entsprechend JONAS et al., 2005, heranzuziehen) als auch den wertmäßigen Aspekt, der sich in dieser Arbeit an den in der Meteorologie üblichen Schwellwerten orientiert.

Sofern neben den genannten gleichzeitig andere, für das Ereignis relevante meteorologische Größen beobachtet wurden, wurden diese in die Betrachtungen mit einbezogen.

3.1 Hitzeperioden

Es wurden zwei Zeitabschnitte betrachtet:

Vom 15.07. bis 14.08.2003 überschritten die Tagesmittel der Lufttemperatur den Wert von 20,0°C an 27 von 31 Tagen (Abb. 1). Der Mittelwert dieses Zeitraums betrug 22,7°C, als geringstes Tagesmittel wurden 19,8°C und

als höchstes 27,9°C registriert. Die Hälfte aller Tage dieses Zeitraums waren „heiße Tage“ (Max. $\geq 30,0^\circ\text{C}$). Mit 34,7°C war der 12.08.2003 der wärmste Tag; der darauffolgende mit 10,0 K jener mit der größten Abweichung vom Normalwert (Wittenberg, 1961/90).

Innerhalb dieses Zeitraums fielen mit 30,8 mm Niederschlag nur ca. 60% der für die Monate Juli (44,7 mm) und August (51,0 mm) üblichen Niederschlagsmenge. Die Niederschlagstage waren ungleichmäßig verteilt: In der Julihälfte waren es zehn, in der Augusthälfte nur einer.

Der gesamte Zeitraum war mit wenigen Ausnahmen durch eine überdurchschnittliche, angesichts der hohen Temperaturen aber nicht extreme Globalstrahlung gekennzeichnet. Sie betrug im Mittel des Zeitraums mit 5,1 $\text{kWm}^{-2}\text{d}^{-1}$ etwa die Hälfte der astronomisch möglichen von ca. 11 $\text{kWm}^{-2}\text{d}^{-1}$ (KUTTLER, 2009). Die niederschlagsintensive Julihälfte und die niederschlagsarme Augusthälfte unterschieden sich dabei nur unwesentlich: Von den 18 Tagen mit mehr als 5 $\text{kWm}^{-2}\text{d}^{-1}$ traten acht im Juli und zehn im August auf.

Die relativ hohe Globalstrahlung führte sowohl zu einer starken Erwärmung der Luftschicht oberhalb des mit Rasen bewachsenen Messfeldes als auch der oberen Schicht des vegetationslosen Bodens. Mit 25,6°C übertraf der Mittelwert der Tagesmittel der Bodentemperaturen in 5 cm Tiefe jene der Lufttemperatur in 2,0 m Höhe um 2,9 K; in 20 cm Tiefe war es 1,4 K wärmer. Als Maximalwerte (10-Minuten-Mittel) der Bodentemperatur wurden 33,7°C (5 cm Tiefe) bzw. 28,4°C (20 cm Tiefe) registriert. Diese Werte lagen unter den Extremwerten der Lufttemperatur.

Abb. 2 zeigt den zeitlichen Verlauf der Tagesmittelwerte bzw. Tagessummen der genannten meteorologischer Größen des Zeitraumes vom 15.07. bis 14.08.2003.

Genau drei Jahre nach der ersten Hitzeperiode, begann am 15.07.2006 eine zweite, die 18 Tage bis zum 01.08.2006 andauerte (Abb. 3). Mit Ausnahme der beiden ersten

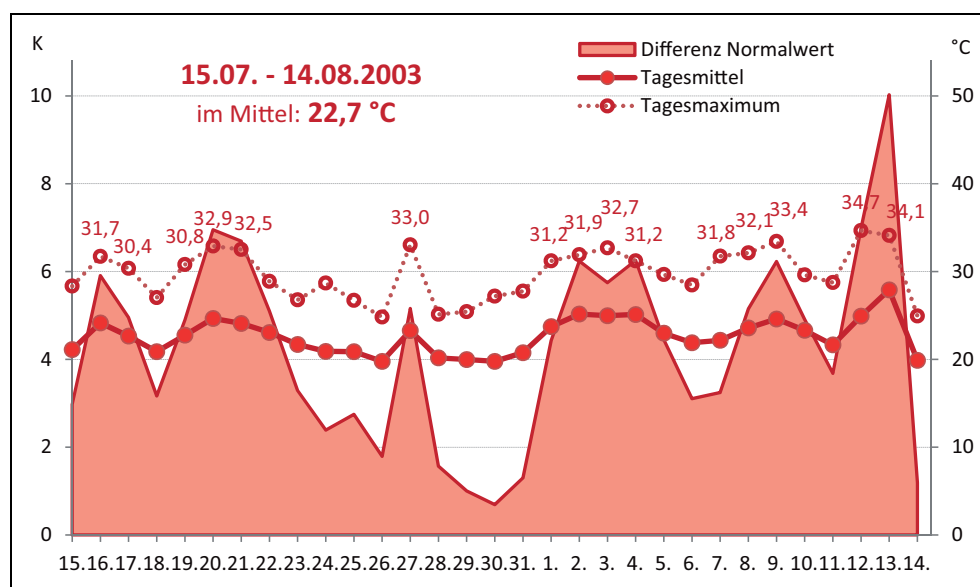


Abb. 1. Tagesmittel und Tagesmaximum der Lufttemperatur (rechte Achse) sowie Abweichung des Tagesmittels vom Normalwert (linke Achse) (Dahnsdorf, 15.07. bis 14.08.2003).

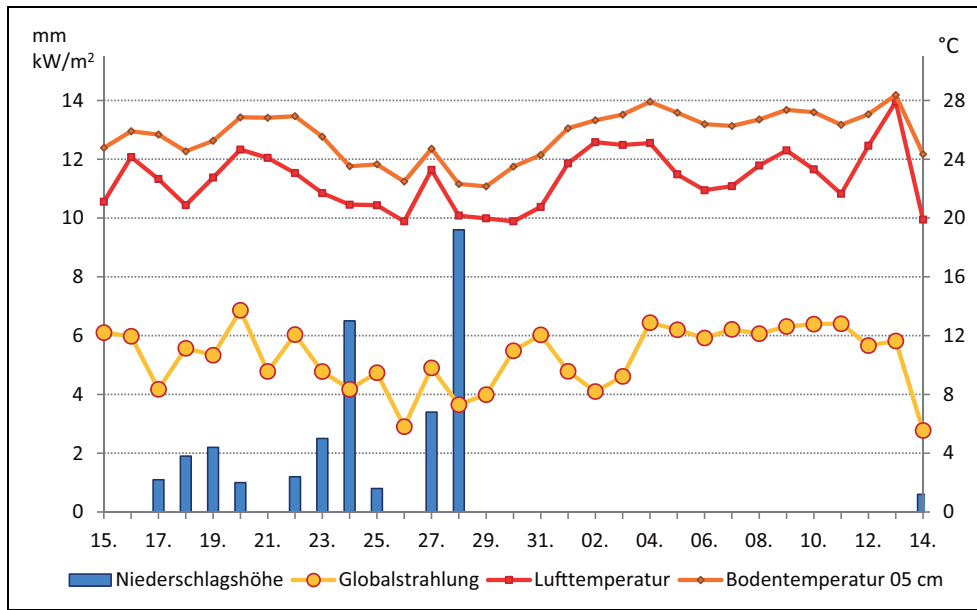


Abb. 2. Zeitlicher Verlauf der Tagesmittel bzw. Tagessummen ausgewählter meteorologischer Parameter (Dahnsdorf, 15.07. bis 14.08.2003) Rechte Achse: Lufttemperatur (in°C) und Bodentemperatur in 5 cm Tiefe (in°C) Linke Achse: Niederschlagshöhe (in mm) und Globalstrahlung (in kW/m²).

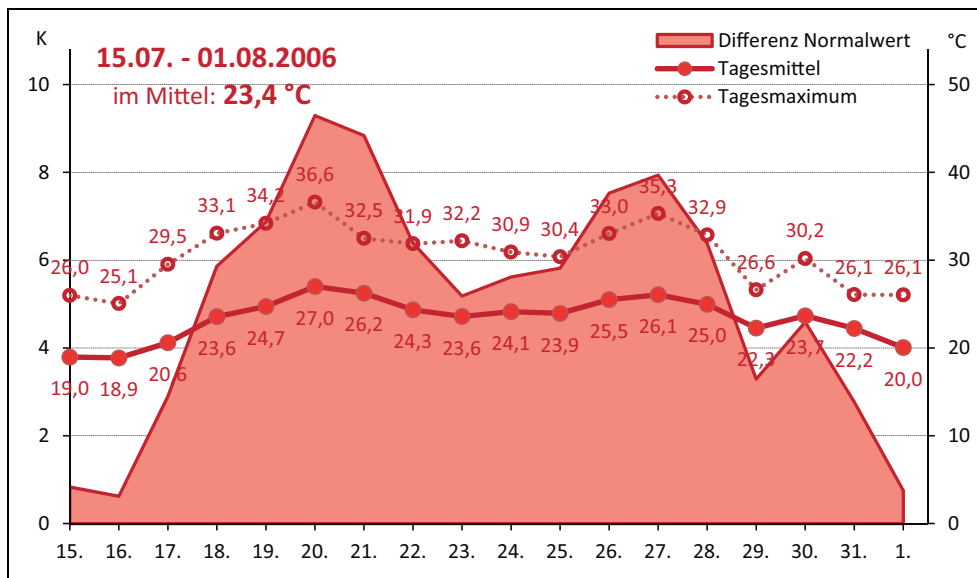


Abb. 3. Tagesmittel und Tagesmaximum der Lufttemperatur (rechte Achse) sowie Abweichung des Tagesmittels vom Normalwert (linke Achse) (Dahnsdorf, 15.07. bis 01.08.2006).

Tage überstieg das Tagesmittel die 20°C-Marke; der Mittelwert des gesamten Zeitraums betrug 23,4°C. Zwei Drittel der Tage waren „heiße Tage“ (Max. ≥ 30,0°C). Am 20.07.2006 kletterte das Quecksilber des Thermometers auf 36,6°C und übertraf den langjährigen Normalwert um 9,3 K. Die täglichen Extremwerte erreichten im Mittel 30,7°C (Maximum) bzw. 14,7°C (Minimum).

In diesem Zeitraum fiel nur an einem Tag Niederschlag: Am 29.07.2006 waren es 10,8 mm.

Die Tagessummen der Globalstrahlung lagen zwischen 4,2 kWm⁻² und 7,4 kWm⁻², wobei speziell in der ersten Hälfte ungewöhnlich hohe Werte gemessen wurden. Verantwortlich waren mehrere Hochdruckgebiete, die vor allem in den ersten Tagen des betrachteten Zeitraums zu einem schnellen Anstieg der Lufttemperatur führten (AgrarMet, 2006a).

Zu dessen Ende stiegen die täglichen Maxima der Lufttemperatur in Bodennähe (0,2 m Höhe) über mit Rasen bewachsenem Boden auf Werte bis 33°C; die Bodentemperaturen in 5 cm Tiefe auf Werte zwischen 25°C und 30°C bzw. zwischen 23°C und 27°C in 20 cm Tiefe. Besonders markant: In 5 cm Tiefe wurden in der Hälfte der Tage Tagesmittel über 28,0°C registriert (Abb. 4).

Interessante Aspekte offenbart der Vergleich der beiden Hitzeperioden (Tab. 1). Den Einfluss der Globalstrahlung auf Luft- und Bodentemperatur dokumentieren die beiden Phasen der Periode 1 sowie der Vergleich der beiden Perioden: Hohe Globalstrahlung führt zu hohen Temperaturwerten.

Keine deutliche Aussage gestattet die Betrachtung der Temperaturdifferenzen zwischen 2,0 m und 0,2 m Höhe.

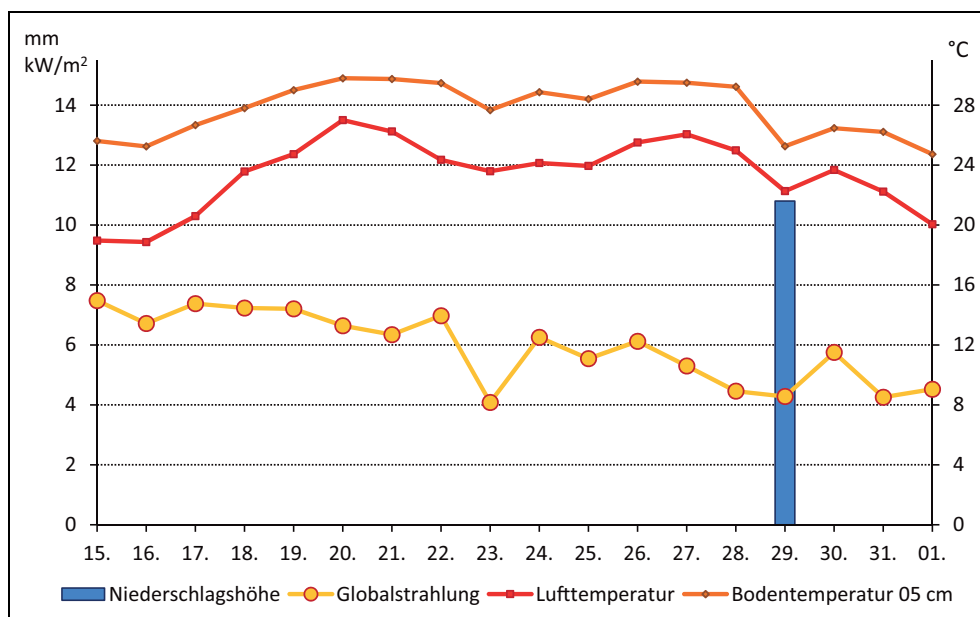


Abb. 4. Zeitlicher Verlauf der Tagesmittel bzw. Tagessummen ausgewählter meteorologischer Parameter (Dahnsdorf, 15.07. bis 01.08.2006) Rechte Achse: Lufttemperatur (in°C) und Bodentemperatur in 5 cm Tiefe (in°C) Linke Achse: Niederschlagshöhe (in mm) und Globalstrahlung (in kW/m²).

Hier existieren erhebliche und überraschende Unterschiede zwischen den beiden Hitzeperioden, die durch die Globalstrahlung allein nicht zu erklären sind.

Abb. 5 verdeutlicht dieses anhand des Tagesganges der mittleren Temperaturdifferenzen zwischen den beiden Messhöhen: Grundsätzlich gilt, dass tagsüber in Folge der kurzwelligen Strahlung (Globalstrahlung) die Schicht unmittelbar über dem Erdboden (0,2 m Höhe) – im weiteren Text als bodennahe Bereich bezeichnet – stärker erwärmt wird als die in 2,0 m Höhe. Bei fehlender Einstrahlung (nachts) überwiegt die langwellige Ausstrahlung der Erdoberfläche; der bodennahe Bereich kühlt sich stärker als der in 2,0 m Höhe ab. Im Ergebnis entsteht ein Tagesgang der Temperaturdifferenzen, der tagsüber höhere Temperaturen in 0,2 m Höhe, nachts in

2,0 m Höhe ausweist. Die Beträge der Differenzen erhöhen sich tags mit zunehmender Einstrahlung, nachts mit zunehmender Ausstrahlung.

Für den Gesamtzeitraum von 1998 bis 2012 ergab sich in 2,0 m Höhe im Mittel eine um 0,8 K höhere Lufttemperatur (siehe Teil 2 – Lufttemperatur, Abschnitt 3.8 dieses Themenheftes) als in 0,2 m Höhe; die mittleren Differenzen der einzelnen Stunden bewegten sich zwischen +1,5 K (nachts) und -0,3 K (tags).

Der Tagesgang der mittleren Temperaturdifferenzen der Periode 1 (15.07. bis 14.08.2003) folgte in seinem Verlauf annähernd dem des Gesamtzeitraums: Tagsüber erwärmte sich, durch die hohe Globalstrahlung bedingt, der bodennahe Bereich stärker (Max: -1,9 K) als im Gesamtzeitraum; nachts waren die Differenzen geringer (Max: 1,2 K).

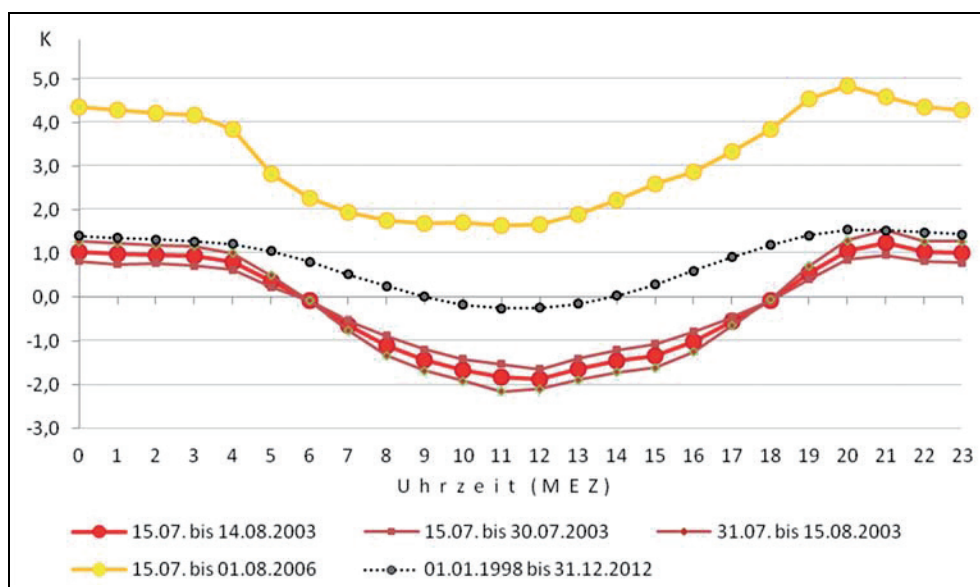


Abb. 5. Tagesgang der Temperaturdifferenzen zwischen 2,0 m und 0,2 m Höhe in den Hitzeperioden (Dahnsdorf, 15.07. bis 14.08.2003 sowie 15.07. bis 01.08.2006)

In dieser Periode war auf Grund der häufigen Niederschläge der ersten Phase von einem feuchten Boden auszugehen, der bei hohen Bodentemperaturen über eine hohe Wärmekapazität verfügte und damit die nächtliche Abkühlung des bodennahen Bereiches reduzierte. Entsprechend war ein im Mittel dieser Periode um 0,2 K wärmerer bodennaher Bereich (0,2 m) nachvollziehbar.

Ein anderes Bild bot sich für die Periode 2: Noch höhere Globalstrahlung und eine geringere nächtliche Bewölkung müssten die Differenzen (tags die negativen, nachts die positiven) noch verschärfen. Für die mittleren Differenzen der Nachtstunden galt dieses auch (Max: +4,9 K). Im Gegensatz zu den anderen Zeitabschnitten (Perioden) waren allerdings auch tagsüber höhere Lufttemperaturen in 2,0 m Höhe zu verzeichnen: Das heißt, dass eine forcierte Erwärmung des bodennahen Bereiches ausblieb. Ursache dessen war offensichtlich ein extrem trockener Boden, bei dem „... stellenweise sogar schon ausgeprägte Bodendürre (Feuchtevorrat unter 10% nutzbarer Feldkapazität) auf(trat)“ (AgrarMet, 2006b). Die spezifische Wärmekapazität dieses Bodens beträgt nur die Hälfte eines nassen Lehm- oder Sandbodens (KUTTLER, 2009). Das ermöglichte eine schnelle Erwärmung und führte tagsüber zu einer „Ableitung“ der bodennahen Wärme in den Boden und damit zu deutlich höheren Bodentemperaturen im Vergleich zu einem feuchten Boden (HEYER, 1998). Nachts kühlte dagegen der Boden und die darüber liegende Luftschicht schneller aus. Abb. 6 zeigt die Zusammenhänge: In der zweiten Nachthälfte (0 bis 4 Uhr) war der Boden deutlich (ca. 10 K) wärmer als der bodennahe Bereich. Dieser erwärmte sich mit beginnender Einstrahlung rascher als die Lufttemperatur in 2,0 m Höhe und die Bodentemperatur. Gegen 8 Uhr fand ein Temperatur„ausgleich“ statt: Die drei Temperaturen näherten sich am stärksten an.

Während anschließend die Luft in beiden Höhenniveaus nur noch geringfügig (ca. 1 K h^{-1}) erwärmt wurde, erhöhte sich die Bodentemperatur in der obersten Schicht des Bodens um den doppelten Wert. Offensichtlich erfolgte ein Wärmetransport vom bodennahen Bereich in den Boden. Die Tagesmaxima wurden im Mittel zwischen 13 Uhr (bodennaher Bereich) und 15 Uhr (Luftschicht in 2,0 m Höhe) registriert: Der Energiefluss zur und von der Bodenoberfläche befand sich kurzzeitig in einem Gleichgewichtszustand, der allmählich zu Gunsten der Ausstrahlung aufgelöst wurde. Die Temperaturen sanken: Im bodennahen Bereich (0,2 m Höhe) und der oberen Schicht des Bodens etwa in gleichem, in 2,0 m Höhe in etwas geringerem Maße. Mit stetig flacher werdendem Einstrahlungswinkel gelangte immer weniger kurzwellige Strahlung in den bodennahen Bereich. Zwischen 18 Uhr und 21 Uhr sanken die Lufttemperaturen rasant (0,2 m Höhe: $-7,8 \text{ K}$; 2,0 m Höhe: $-7,0 \text{ K}$), im Boden etwas moderater ($-4,8 \text{ K}$). In der ersten Nachthälfte (ab 20 Uhr) schien der bodennahe Bereich vom – noch immer warmen – Boden ($28,6^\circ\text{C}$) zu profitieren.

Interessant in diesem Zusammenhang war das Niederschlagsereignis am 29.07.2006: Die Niederschlagsmenge von 10,8 mm, die zwischen 02:40 und 04:50 Uhr fiel, beeinflusste die Saugspannung in 10 cm Tiefe (trotz extrem trockenem Boden) nur unwesentlich: Sowohl unter vegetationslosem Boden als auch unter Rasen verringerte sie sich mit einer zeitlichen Verzögerung von drei bis fünf Stunden lediglich um ca. 5%.

3.2 Kälteperioden

Der Vergleich der Monatsmittelwerte der Lufttemperatur mit langjährigen Normalwerten (siehe Teil 2 – Lufttemperatur, Abschnitt 3.2 dieses Themenheftes) zeigte vor

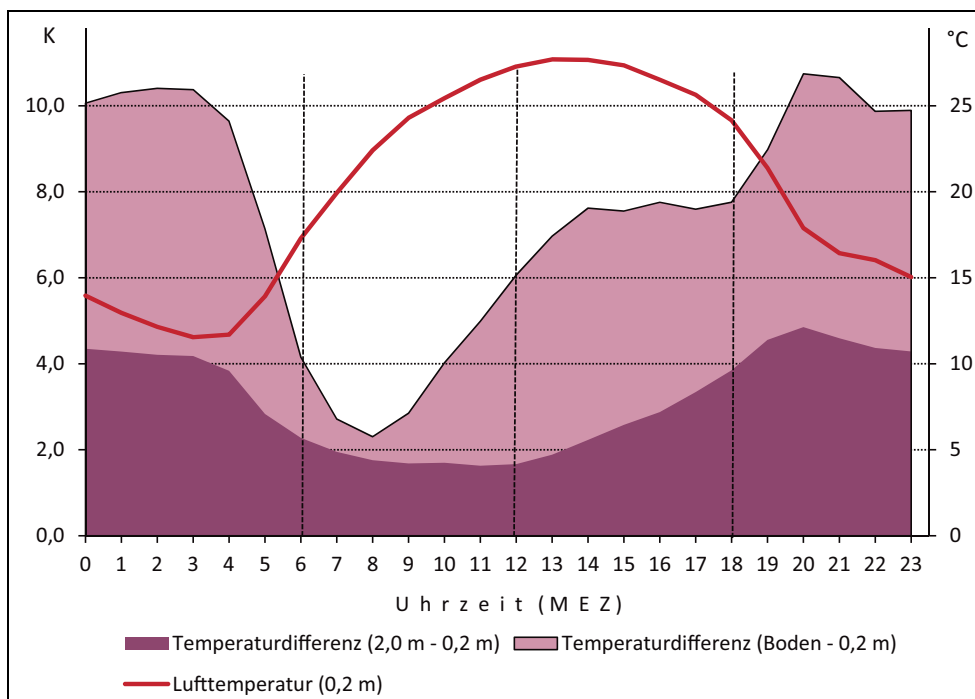


Abb. 6. Tagesgang der Lufttemperatur in 0,2 m Höhe (rechte Achse), der Differenzen der Lufttemperatur in 2,0 m und 0,2 m Höhe sowie der Differenzen der Bodentemperatur in 0,05 m Tiefe und der Lufttemperatur in 0,2 m Höhe (linke Achse) (Dahnsdorf, 15.07. bis 01.08.2006).

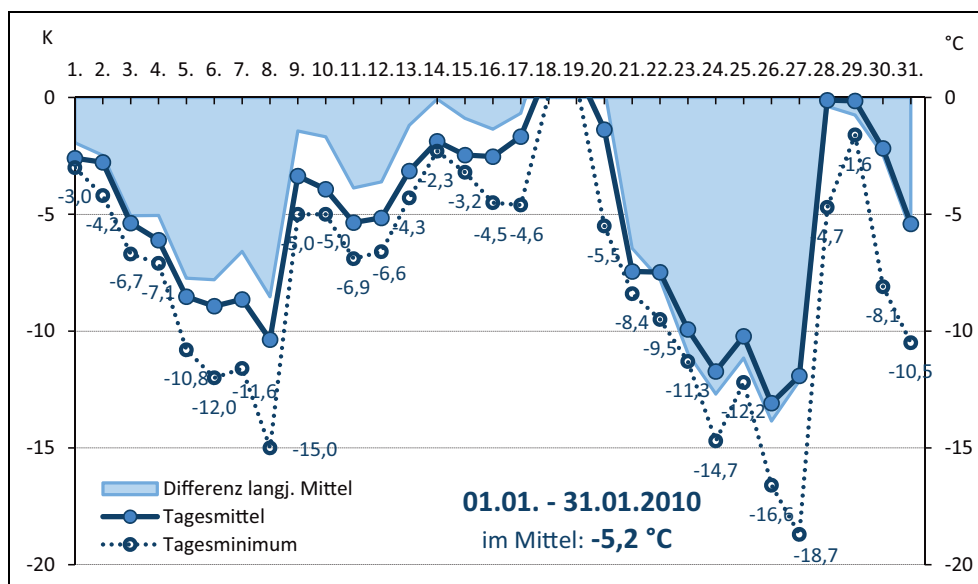


Abb. 7. Tagesmittel und Tagesminimum der Lufttemperatur (rechte Achse) sowie Abweichung des Tagesmittels vom Normalwert (linke Achse) (Dahnsdorf, 01.01. bis 31.01.2010).

allem in den Monaten Januar bis April eine deutliche Erwärmung um mehr als 1 K. Gleichzeitig traten in den Wintermonaten Dezember bis Februar die größten Spanne zwischen dem Tagesmaximum und -minimum der Lufttemperatur auf. Beides dokumentiert, dass neben der vor allem für die Wintermonate prognostizierten Erwärmung (GERSTENGARBE et al., 2003) unverändert frostige Zeitabschnitte auftreten. Zwei von ihnen werden nachfolgend analysiert.

Der erste beinhaltet den kompletten Januar 2010 (Abb. 7). Dieser präsentierte sich ungewöhnlich eisig: Mit einem Monatsmittel von $-5,2^{\circ}\text{C}$ wich er um $-4,4\text{ K}$ vom langjährigen Normalwert ab. 24 der 31 Tage waren „Eistage“, an denen zu keinem Zeitpunkt die 0°C -Marke des Thermometers überschritten wurde; der gesamte Monat verzeichnete nur zwei frostfreie Tage (18./19.01.). Die Tagesmittelwerte sanken auf $-13,1^{\circ}\text{C}$ (26.01.); damit unterschritten sie den langjährigen Normalwert um fast 14 K. Am gleichen Tag wurde mit $-18,7^{\circ}\text{C}$ auch das niedrigste Stundenmittel der Lufttemperatur registriert.

Der komplette Zeitraum wies eine geschlossene Schneedecke¹ auf. Deren Höhe schwankte zwischen 15 cm (01.01.) und 35 cm (11.01.) und erreichte damit für das Land Brandenburg ungewöhnlich hohe Werte. Die Schneedecke verhinderte ein intensives Eindringen des Frostes in den Boden. So wurden in den ersten beiden Dekaden in 5 cm Tiefe lediglich Bodentemperaturen¹ zwischen $0,0^{\circ}\text{C}$ und $-0,4^{\circ}\text{C}$ registriert. Erst mit der zunehmenden Verdichtung und Vereisung der Schneedecke in der dritten Dekade verschlechterte sich deren Isolationswirkung (AgrarMet, 2010); die Bodentemperaturen sanken bis $-3,8^{\circ}\text{C}$ (5 cm Tiefe) bzw. $-1,8^{\circ}\text{C}$ in 20 cm Tiefe (27.01.) bevor Neuschnee zum Monatsende die Situation entschärfte.

Trotz sehr geringer Lufttemperaturen waren auf dem Versuchsfeld in Dahnsdorf, begründet durch die bereits genannten isolierenden Eigenschaften der Schneedecke,

keine nennenswerten Auswinterungsschäden zu verzeichnen.

Noch extremere Lufttemperaturen herrschten vom 28.01. bis 14.02.2012 (Abb. 8). Der gesamte Zeitraum war – bei einem Mittelwert von $-10,0^{\circ}\text{C}$ – von strengstem Frost geprägt; zu keiner Zeit wurden positive Lufttemperaturen gemessen. Der kälteste Tag war der 06.02.2012: Bei einem Tagesmittel von $-17,4^{\circ}\text{C}$ (Abweichung vom Normalwert: $-18,2\text{ K}$) und einem Minimum von $-23,6^{\circ}\text{C}$. An weiteren fünf Tagen sank das Thermometer unter -20°C .

Über den gesamten Zeitraum lag eine dünne, geschlossene Schneedecke¹ mit einer Höhe zwischen 3 cm (28.01.) und 12 cm (11./12.02.). Auch dieser gelang es, das Eindringen des Frostes in den Boden zu beschränken. Auf dem Versuchsfeld in Dahnsdorf wurden in 5 cm Tiefe Bodentemperaturen zwischen $0,3^{\circ}\text{C}$ und $-1,4^{\circ}\text{C}$ und in 10 cm Tiefe zwischen $0,4^{\circ}\text{C}$ und $-0,8^{\circ}\text{C}$ registriert; die maximale Frosttiefe betrug ca. 25 cm.

Trotz extrem niedriger Temperaturen und einer teilweise nur geringen Schneedecke kam es auf dem Versuchsfeld in Dahnsdorf zu keinen nennenswerten Auswinterungsschäden.

Auch für die Kälteperioden lohnt ein Blick auf den Tagesgang der Temperaturdifferenzen zwischen 2,0 m und 0,2 m Höhe (Abb. 9). In den Stunden mit Einstrahlung (tagsüber) beeinflusste die Schneedecke die Temperaturdifferenzen. Schnee reflektiert einen hohen Anteil der einfallenden kurzwelligigen Strahlung: Dessen Albedo liegt zwischen 75% und 95% für Neuschnee bzw. zwischen 40% und 70% für Altschnee (Ackerboden: 7% bis 17%) (KUTTLER, 2009). Das führte zu keiner (im Mittelwert) bzw. zu einer nur geringfügig stärkeren Erwärmung (einzelne 10-Minuten-Mittel) des bodennahen Bereiches.

Bei fehlender Einstrahlung bzw. geringer Sonnenhöhe überwogen tiefere Temperaturen des bodennahen Bereiches, wobei die Extremwerte (Differenzen $> 8\text{ K}$) zum Sonnenuntergang zu verzeichnen waren.

¹ DWD-Station Wiesenburg

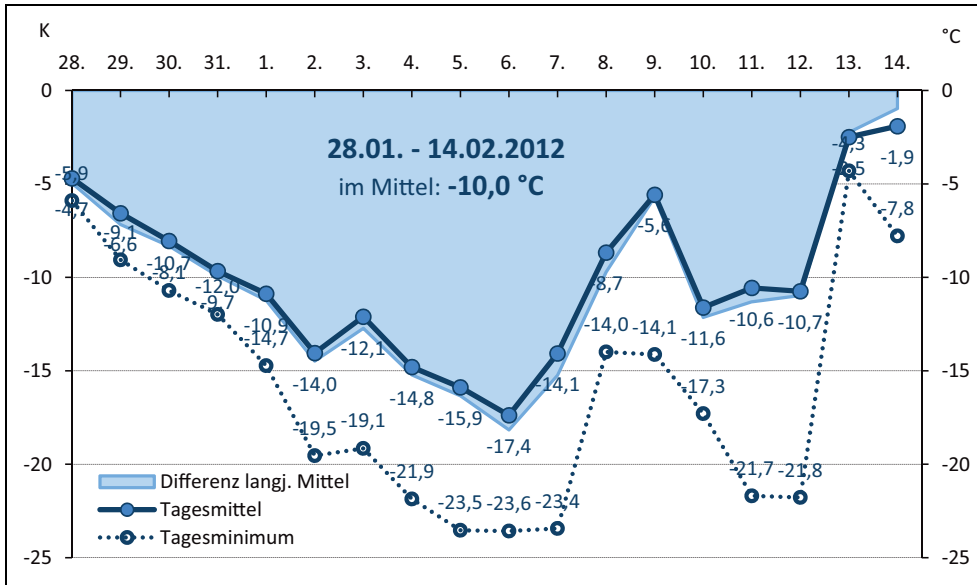


Abb. 8. Tagesmittel und Tagesminimum der Lufttemperatur (rechte Achse) sowie Abweichung des Tagesmittels vom Normalwert (linke Achse) (Dahnsdorf, 28.01. bis 14.02.2012).

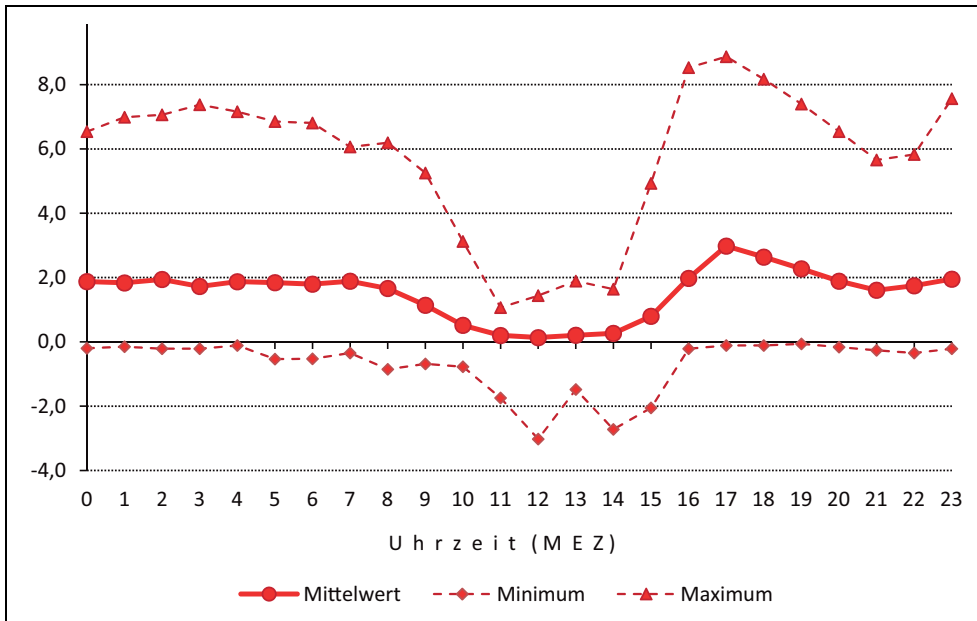


Abb. 9. Tagesgang der mittleren und extremen Differenzen der 10-Minuten-Mittel der Lufttemperatur in 2,0 m und 0,2 m Höhe (Dahnsdorf, 28.01. bis 14.02.2012).

3.3 Trockenheit

Eine ausreichende Wasserversorgung stellt eines der wesentlichsten Kriterien für das Wachstum der Pflanzen dar. Ihr Wasserbedarf unterscheidet sich in Abhängigkeit der Kulturart; teilweise sogar innerhalb einer Kulturart zwischen den einzelnen Sorten. Sofern keine künstliche Bewässerung vorhanden ist (auf dem Versuchsfeld in Dahnsdorf wird nur für wenige, ausgewählte Projekte bewässert, z.B. Salat) sind die Pflanzen ausschließlich auf die Niederschläge angewiesen. Daher können längere Trockenperioden erhebliche Schäden anrichten. GEISLER (1988) beschreibt dieses an drei Beispielen einer unterbrochenen im Vergleich zu einer ständig günstigen Wasserversorgung: Danach wird das Längenwachstum der Stängel und die Blütenbildung von Erdnusspflanzen sowie die Photosyntheserate von Weinreben deutlich eingeschränkt, wobei Teilkompensationen möglich sind, blei-

bende Schädigungen aber häufig nicht vermieden werden können. Gleichzeitig weist er darauf hin, dass für die Keimung von Getreide neben anderem eine Wasseraufnahme unbedingt erforderlich ist.

Auf dem Versuchsfeld in Dahnsdorf sind im betrachteten Zeitraum (1998 bis 2012) drei, mehr als 20 Tage andauernde niederschlagsfreie und vier weitere Perioden mit geringem Niederschlag (siehe auch Teil 3 – Niederschlagshöhe, Tab. 6 dieses Themenheftes) dokumentiert. Zwei, für das Wachstum und die Keimung der Pflanzen relevante, sollen nachfolgend analysiert werden.

Die eine beinhaltet den Zeitraum vom 04.04. bis 06.05.2007 (Abb. 10). In diesem fiel in 33 aufeinander folgenden Tagen kein Niederschlag.

Die ersten drei Monate dieses Jahres waren außergewöhnlich mild und niederschlagsreich. Sowohl die Monatsmittel der Lufttemperatur (Jan.: +6,2 K; Feb.: +4,1 K;

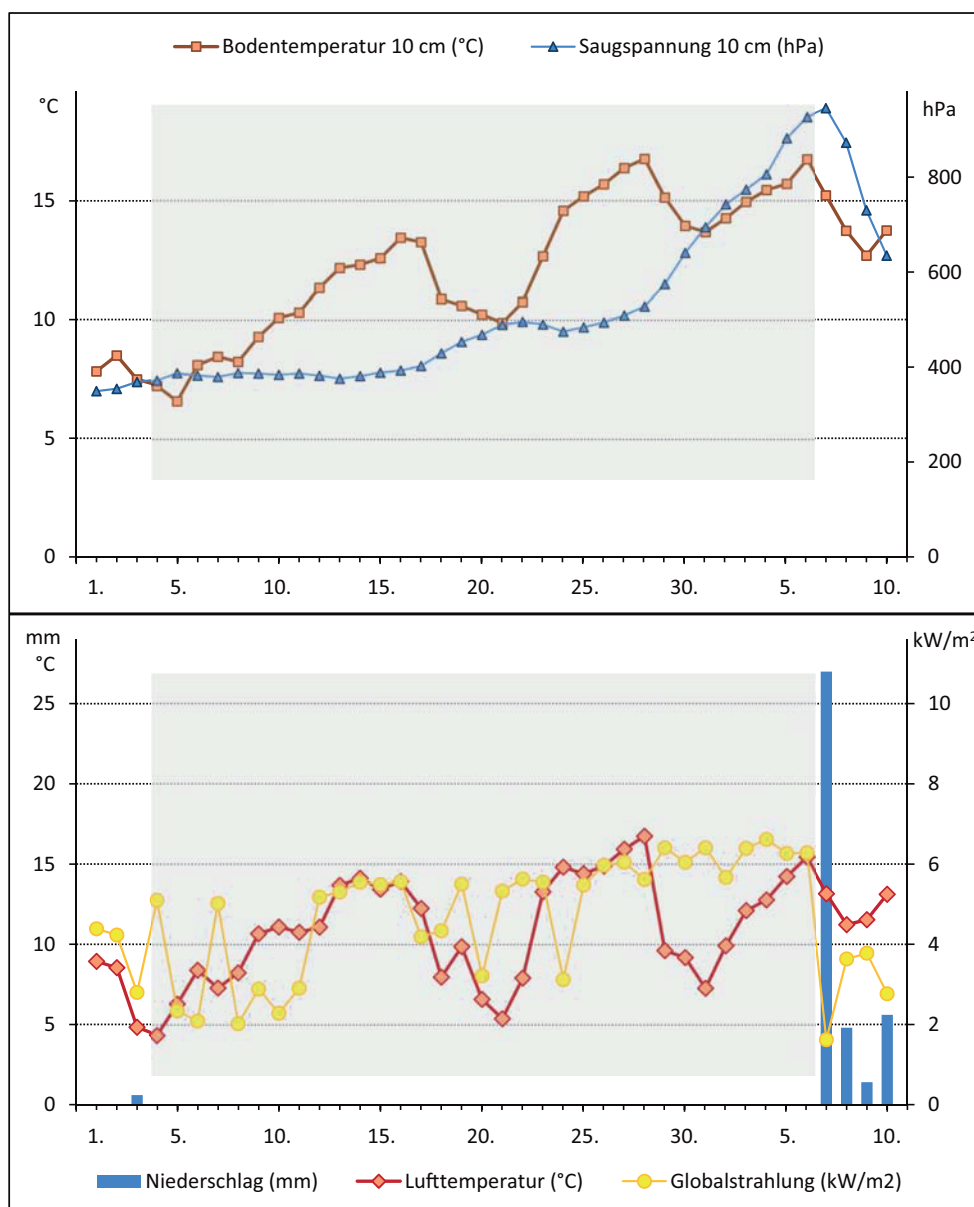


Abb. 10. Tagesmittel der Lufttemperatur, Tagessumme der Niederschlagshöhe und Tagessumme der Globalstrahlung (unten) sowie Tagesmittel der Bodentemperatur und Tagesmittel der Saugspannung in jeweils 10 cm Tiefe (oben) (Dahnsdorf, 01.04. bis 10.05.2007).

März: +3,7 K) als auch die Monatssummen der Niederschlagshöhe (Jan.: 276%; Feb.: 143%; März: 204%) lagen deutlich über den langjährigen Normalwerten. Der Vegetationsbeginn des Jahres 2007 datierte – unabhängig von der verwendeten Methode (siehe auch Teil 1 – Allgemeines, Abschnitt 3.3. dieses Themenheftes) – bereits auf Anfang Januar. Die seit Jahresbeginn sehr günstigen Wachstumsbedingungen wurden vor der betrachteten Trockenperiode durch wenige Eis- (3 von 60) und einige Frosttage (23 von 60) ein wenig geschmälert. Zudem sorgte eine niederschlagsarme Phase unmittelbar vor der Trockenperiode (25.03. bis 03.04.: 0,6 mm) bereits für eine negative klimatische Wasserbilanz (Berliner Umfeld: -23 mm) (AgrarMet, 2007), so dass trotz der hohen Niederschläge der Vormonate nicht von einer Sättigung des Bodens ausgegangen werden kann.

Während der Trockenperiode lagen die Lufttemperaturen ca. 2 K über dem langjährigen Mittel, wobei sechs Frosttage zu verzeichnen waren. Die Globalstrahlung

variierte in der ersten Hälfte der betrachteten Periode sehr stark, in der zweiten Hälfte erreichte sie fast durchgängig sehr hohe Werte.

Abb. 10 dokumentiert den Verlauf der in der Atmosphäre wirkenden meteorologischen Einflussgrößen (unten) sowie den daraus resultierenden Verlauf der für das Wachstum und die Entwicklung der Pflanzen wesentlichen Bodentemperatur und Saugspannung (oben) für die grau untersetzte und um einige Tage erweiterte Trockenperiode.

Für beide, jeweils in 10 cm Tiefe ermittelte Größen, sind deutliche Zusammenhänge erkennbar: Während die unter vegetationslosem Boden gemessene Bodentemperatur wesentlich durch die Lufttemperatur beeinflusst wurde, war für die unter Rasen bestimmte Saugspannung, vor allem bei fehlenden Niederschlägen, die Globalstrahlung und die damit verbundene Photosynthese der Pflanzen von entscheidender Bedeutung. Selbstverständlich verbesserten aber vor allem stärkere Nieder-

schläge nach dem Ende der Trockenperiode die Wasserversorgung der Böden und sorgten damit für die Verringerung der Saugspannung.

Im Jahr 2007 trat eine weitere, über 21 Tage andauernde Trockenperiode auf, in der lediglich an zwei Tagen jeweils 0,2 mm Niederschlag registriert wurden. Sie währte vom 5. bis 25. Oktober 2007. Sie soll vor allem unter dem Aspekt der Wasserversorgung der Getreidesaat während oder kurz nach der Keimung betrachtet werden. Deren Bedeutung betont GEISLER (1988), in dem er darauf hinweist, dass „... eine ausreichende Wasseraufnahme des Korns, wobei etwa 30–50% des Eigengewichtes benötigt werden,“ eine Voraussetzung für die Keimung ist.

Auch für diese Periode soll zunächst die Ausgangssituation charakterisiert werden: Die Lufttemperatur der drei davor liegenden Monate entsprach in etwa dem langjährigen Mittel (Juli: +0,2 K; Aug.: +0,3 K; Sept.: -0,2 K), die Niederschlagshöhe lag deutlich über diesem (Juli: 222%; Aug.: 69%; Sept.: 206%). Unmittelbar vor Beginn dieser Periode gab es teilweise heftige Niederschläge (51,8 mm in 8 Tagen). Diese führten zu sehr geringen Saugspannungen (ca. 200 hPa), die sich jedoch trotz niedriger Temperaturen und geringer, stark variierender Globalstrahlung stetig auf mehr als das Doppelte erhöhten. Auch diese Periode verzeichnete heftige Korrelationen zwischen Luft- und Bodentemperatur (Abb. 11), während ein unmittelbarer Einfluss der Globalstrahlung auf eine der anderen meteorologischen Größen nicht erkennbar war.

3.4 Starkniederschläge

Starkniederschläge werden in Abhängigkeit von der Fragestellung unterschiedlich definiert. So verwendet

der Deutsche Wetterdienst die Begriffe „Starkregen“ und „Dauerregen“ für Wetterwarnungen in Abhängigkeit von der Niederschlagsmenge, die in einer definierten Zeiteinheit fällt (Tab. 2).

Andere nutzen Schwellwerte, die teilweise willkürlich festgelegt werden (<http://wiki.bildungsserver.de/Klimawandel>) bzw. statistische Ansätze, z.B. 5%-Perzentile der Verteilungsfunktion der Tagessummen der Niederschlagshöhe eines Standortes in einem definierten Zeitintervall (SCHÖNWIESE et al., 2006).

Für das Versuchsfeld in Dahnsdorf sollen Schwellwerte betrachtet werden: An vier Tagen des Gesamtzeitraumes (1998 bis 2012) fielen mehr als 50 mm (l/m^2) Niederschlag; an der DWD-Vergleichs-Messstelle Treuenbrietzen war es im 30-jährigen Normalwert-Zeitraum (1961/90) nur ein Tag.

Tab. 2. Kriterien für Wetterwarnungen des Deutschen Wetterdienstes (DWD) für Stark- und Dauerregen (nach <http://www.dwd.de>)

Bezeichnung	Kriterien	
Starkregen	15 bis 25 l/m^2	in 1 Stunde
	20 bis 35 l/m^2	in 6 Stunden
Dauerregen	25 bis 40 l/m^2	in 12 Stunden
	30 bis 50 l/m^2	in 24 Stunden
	40 bis 60 l/m^2	in 48 Stunden
	60 bis 90 l/m^2	in 72 Stunden

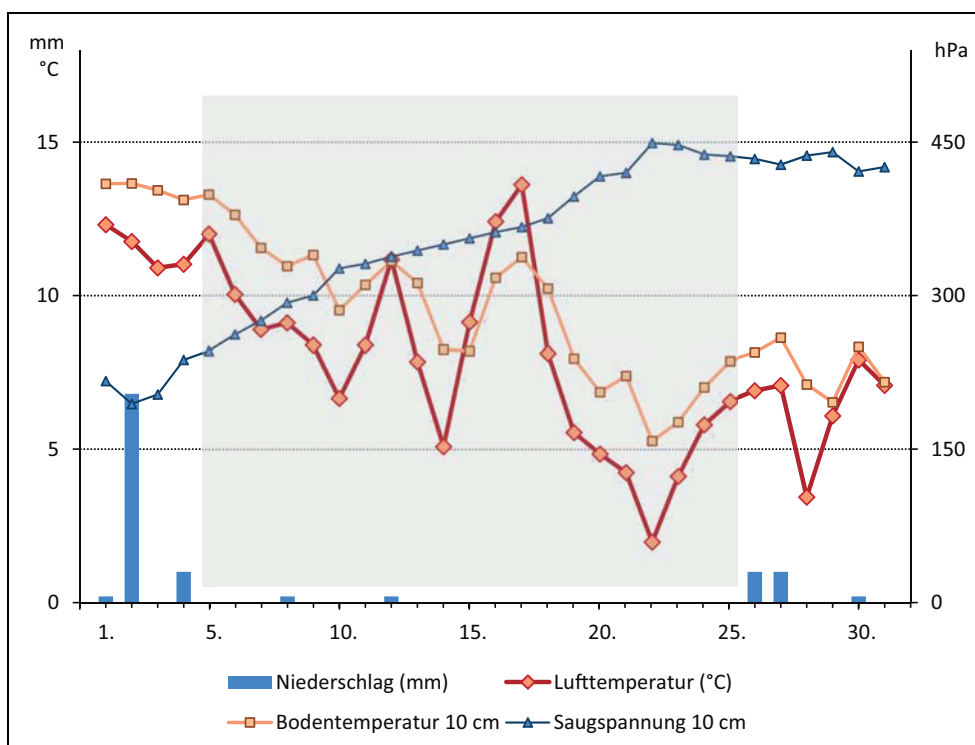


Abb. 11. Tagesmittel der Lufttemperatur, Tagessumme der Niederschlagshöhe sowie Tagesmittel der Bodentemperatur und Tagesmittel der Saugspannung in jeweils 10 cm Tiefe (Dahnsdorf, 01.10. bis 31.10.2007).

In Anlehnung an die Definitionen des DWD für Stark- bzw. Dauerregen ließen sich auch für diese Ereignisse hinsichtlich ihrer Intensität und Andauer zwei Kategorien unterscheiden: Kurze, aber extrem heftige Niederschläge mit Stundensummen $> 40 \text{ l/m}^2$ und 10-Minuten-Summen $> 20 \text{ l/m}^2$ im Zusammenhang mit Schauer oder Gewitter (Abb. 12 oben) bzw. über mehrere Stunden anhaltende Niederschläge mit maximalen Stundensummen zwischen fünf und zehn Liter pro m^2 (Abb. 12 unten), wobei mehrtägige Niederschläge unberücksichtigt blieben.

Das Schadpotential von Starkniederschlägen definiert sich auf sehr unterschiedlichen Ebenen: Sie beeinträchtigen durch Bodenerosion die Fruchtbarkeit der Böden, gefährden deren Befahrbarkeit und können – speziell vor der Ernte – durch Lagerbildung und hohe Kornfeuchte-werte des Getreides zu ökonomischen Verlusten führen (vgl. TISCHNER, 2006).

Andererseits füllen Starkniederschläge auch den Bodenwasservorrat, sofern diese in den Boden infiltriert werden und sichern somit die Versorgung der Pflanzen mit Wasser.

Abb. 13 und 14 dokumentieren die Intensität und den zeitlichen Ablauf, nach dem die Saugspannung in verschiedenen Tiefen (unter Rasen) beeinflusst wird: Abb. 13 zeigt dieses für Tageswerte. Selbst für diese „grobe“ Zeitskala waren schnelle und intensive Reaktionen in der

oberen Bodenschicht (10 cm Tiefe) zu erkennen; moderatere und zeitlich verzögerte in den darunter liegenden (20 cm und 30 cm Tiefe). In 60 cm Tiefe blieben selbst bei ergiebigen Niederschlägen (21.07.: 38,8 mm) die Veränderungen sehr gering.

Einen Eindruck von der wahren Dynamik der Prozesse liefert Abb. 14. Diese stellt die Stundenwerte für das Zeitintervall vom 18. bis 24.08.2005 dar. Die wesentlichste Aussage dieser Darstellung bezieht sich auf den ergiebigen Niederschlag des 21.08.2005 (38,8 mm): An diesem Tag sank die Saugspannung in 10 cm Tiefe innerhalb einer Stunde nach insgesamt 18,6 mm Niederschlag von 503 hPa (14 Uhr) auf 195 hPa (15 Uhr). Bereits eine Stunde später wurde in dieser Schicht eine annähernde Wassersättigung des Bodens erreicht, die jedoch – trotz weiterer Niederschläge – lediglich einen Tag Bestand hatte.

Tiefer gelegene Schichten profitierten deutlich geringer von den ergiebigen Niederschlägen: In 20 cm Tiefe halbierte sich, sechs Stunden verzögert und über ca. 12 Stunden andauernd, die Saugspannung von 400 hPa auf 200 hPa; bereits in 30 cm Tiefe vollzogen sich nur noch unwesentliche Veränderungen.

3.5 Auswirkungen auf landwirtschaftliche Erträge

Extreme Witterungsereignisse waren und bleiben trotz ihrer prognostizierten Zunahme für viele Phänomene

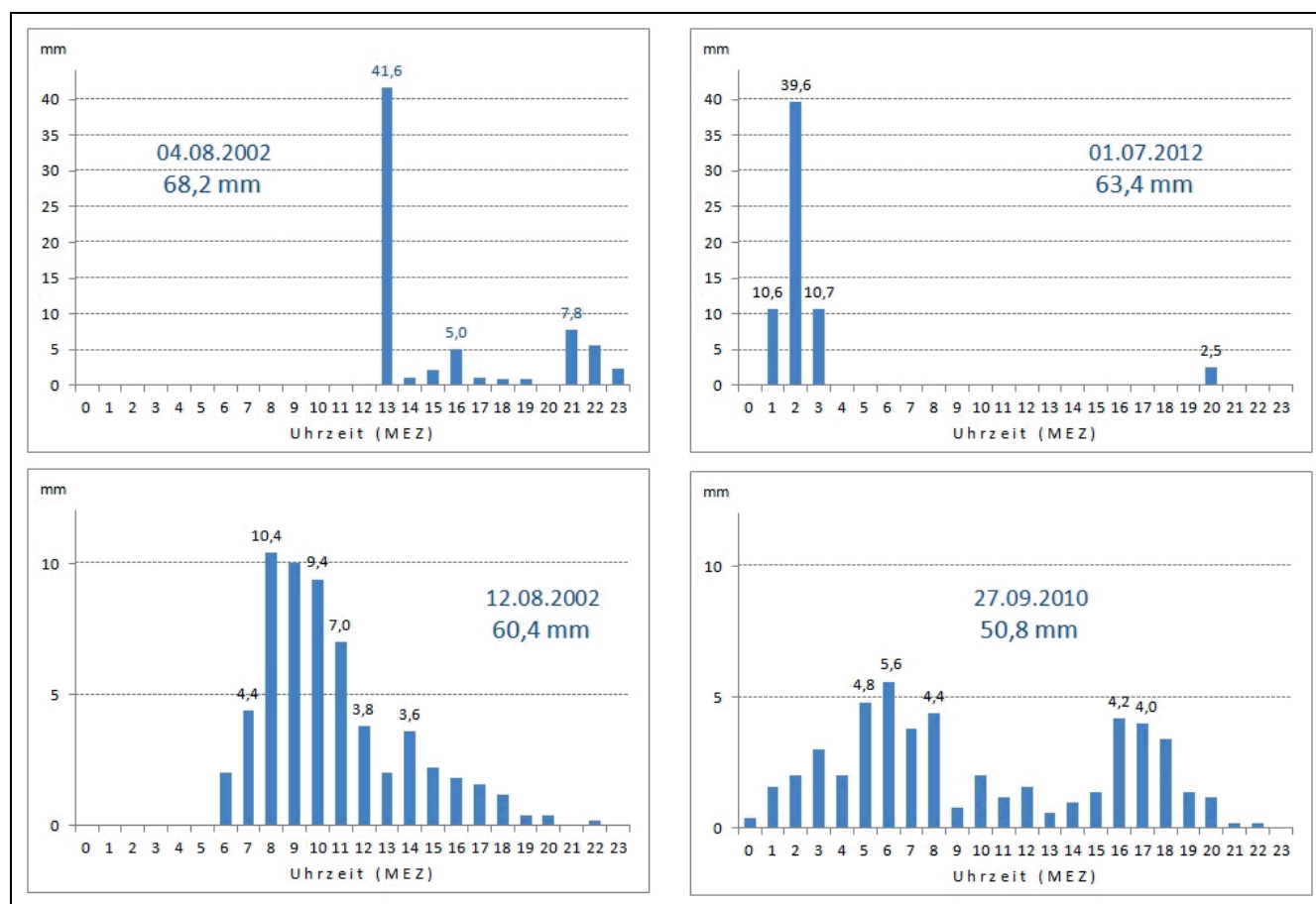


Abb. 12. Niederschlagsverlauf an Tagen mit Tagessummen $\geq 50 \text{ mm}$ Niederschlag (Dahnsdorf, 1998 bis 2012).

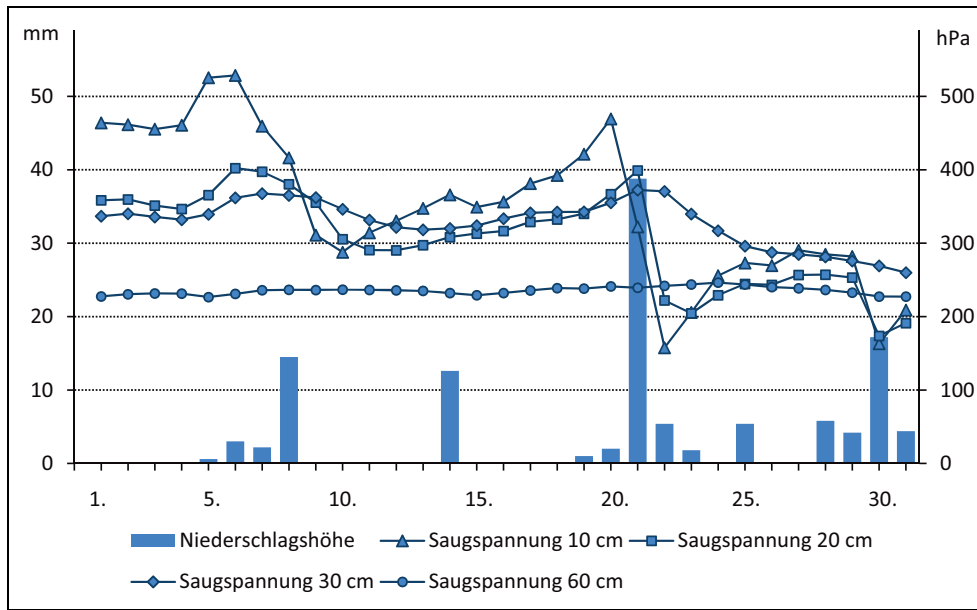


Abb. 13. Tagessummen der Niederschlagshöhe (linke Achse) und Tagesmittel der Saugspannung in verschiedenen Tiefen (rechte Achse) (Dahnsdorf, 01.07. bis 31.07.2005).

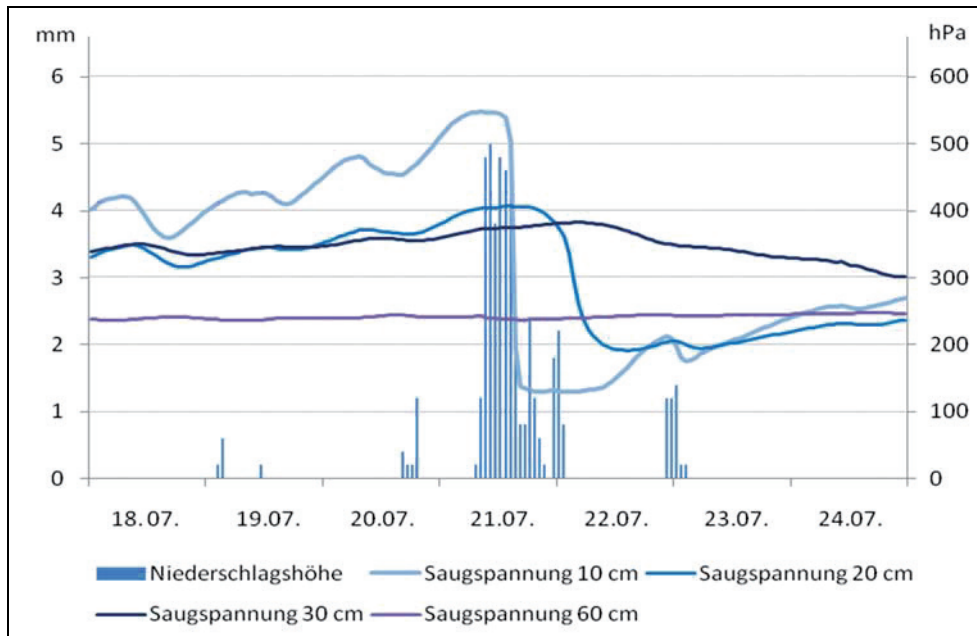


Abb. 14. Stundensummen der Niederschlagshöhe (linke Achse) und Stundenmittel der Saugspannung in verschiedenen Tiefen (rechte Achse) (Dahnsdorf, 18.07. bis 24.07.2005).

(IPCC, 2013) seltene Ereignisse. Dieses gilt umso mehr für ein räumlich eng begrenztes Territorium wie das Versuchsfeld in Dahnsdorf und einen auf 15 Jahre zeitlich eng begrenzten Bereich (1998 bis 2012). Entsprechend können keine allgemeingültigen Aussagen über die Auswirkungen extremer Witterungsereignisse auf landwirtschaftliche Erträge getroffen werden, zumal diese nur einen Teil wirkender Einflussfaktoren darstellen. Daher werden sich die Aussagen im Wesentlichen auf einen Vergleich des Gesamtzeitraums und dem Jahr mit dem extremen Witterungsereignis bzw. der extremen Witterung beschränken.

Die Definition eines solchen Jahres erfolgte auf der Grundlage vereinbarter Merkmale, von denen eine Relevanz auf landwirtschaftliche Erträge erwartet wurde

(Tab. 3). Sie orientierte sich an zwei Kriterien: Einerseits an der Über- bzw. Unterschreitung des für den Gesamtzeitraum ermittelten Wertebereiches $\bar{x} \pm 2s$ (\bar{x} Mittelwert, s Standardabweichung) durch den Wert x_i des Jahres i ($i = 1998 \dots 2012$), andererseits an einer Zeitfolge mehrerer aufeinander folgender Tage mit einer (frei gewählten) Eigenschaft. Erstgenanntes konnte dabei sowohl aus einer Auszählung, z.B. Zahl der Tage (siehe auch Teil 1 – Allgemeines, Tab. 2 dieses Themenheftes) als auch einem berechneten Wert resultieren.

Über den Vergleich des Extrembereiches mit dem real beobachteten Wert eines Jahres wurden Jahre mit extremen Witterungsereignissen definiert. Tab. 4 zeigt dieses für einige Merkmale, deren Werte auf der Grundlage der auf dem Versuchsfeld in Dahnsdorf durchgeführten Beob-

Tab. 3. Merkmale zur Definition eines Jahres mit extremem Witterungsereignis

Merkmalsgruppe	Merkmale	Bemerkung
1 eisige Winter	Zahl der Eistage (Okt.–März)	Max. < 0,0°C
	Kälteperioden	
	aufeinander folgende Eistage aufeinander folgende Frosttage	Max. < 0,0°C Min. < 0,0°C
2 heiße Sommer	Zahl der heißen Tage Hitzeperioden	Max. ≥ 30,0°C
3 geringe Niederschläge während der Vegetationszeit	Zahl der Tage = 0,0 mm (Okt.)	Aufgang Getreide
	Zahl der Tage = 0,0 mm (März–Juni)	Winterungen
	Niederschlagshöhe (März–Juni) in mm	Winterungen
	aufeinander folgende Tage mit ≤ 0,2 mm Niederschlag am Tag	
4 Starke Niederschläge während der Erntezeit	Niederschlagshöhe (Juli–Aug.) in mm	Getreide

Tab. 4. Auswahl der Jahre mit extremen Witterungsereignissen auf Basis verschiedener Merkmale (Dahnsdorf, 1998 bis 2012) (x_i = real beobachteter Wert)

Merkmale	Extrembereich ¹	Jahr/Zeitraum (i)	x_i
Zahl der Eistage (Okt.–März)	> 47	2010	49
Zahl der Eistage (Okt.–März)	> 47	2011	43
Zahl der heißen Tage	> 20	2003	21
Zahl der Tage = 0,0 mm (Okt.)	> 24	2007	23
Zahl der Tage = 0,0 mm (März–Juni)	> 87	2011	87
Niederschlagshöhe (März–Juni) in mm	< 90	2011	90,9
Niederschlagshöhe (Juli–Aug.) in mm	> 275	2011	256,2
Kälteperioden		01.01.2010–31.01.2010 18.01.2012–14.02.2012	
aufeinander folgende Eistage		29.12.2009–16.01.2010 27.01.2012–13.02.2012	19 18
aufeinander folgende Frosttage		29.01.2003–08.03.2003 25.12.2005–06.02.2006	39 44
Hitzeperioden		15.07.2003–14.08.2003 15.07.2006–01.08.2006	
aufeinander folgende Tage mit Niederschlag ≤ 0,2 mm		05.09.2006–26.09.2006 04.04.2007–06.05.2007 05.10.2007–25.10.2007	22 33 21

¹ Zahlenbereich ober- bzw. unterhalb des Wertebereiches $\bar{x} \pm 2s$ des Gesamtzeitraumes

achtungen ermittelt wurden. Als Extrembereich gilt jener außerhalb des Wertebereiches $\bar{x} \pm 2s$ liegende Zahlenbereich; x_i ist der im dokumentierten Jahr bzw. Zeitraum (i) real beobachtete Wert.

Die Erträge der Jahre mit extremen Witterungsereignissen wurden für verschiedene Kulturen mit den Durchschnittserträgen der restlichen Jahre verglichen.

Die Interpretation der Ergebnisse ist schwierig: Einerseits handelt es sich in der Regel nur um die Ergebnisse eines einzelnen Jahres, andererseits können in einem Jahr mehrere extreme Witterungsereignisse auftreten, die sich einander überlagern können.

Trotzdem sollen nachfolgend einige Ergebnisse kommentiert werden.

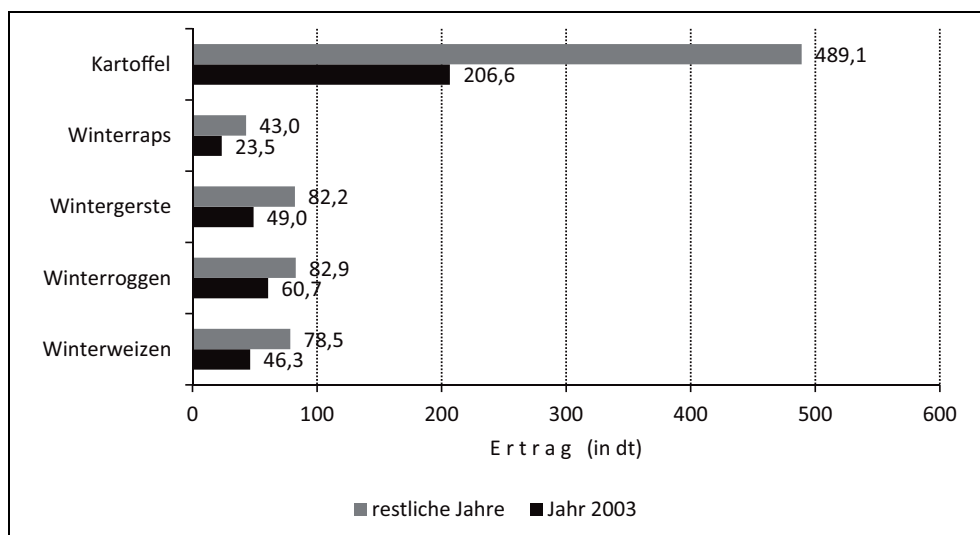


Abb. 15. Erträge des Jahres 2003 sowie mittlere Erträge der restlichen Jahre (Winterweizen, Winterroggen, Winterraps: 1998 bis 2012; Wintergerste, Kartoffeln: 2004 bis 2012) (Dahnsdorf, 1998 bis 2012).

Tab. 5. Erträge des Jahres 2006 sowie mittlere Erträge der restlichen Jahre* (in dt) (Dahnsdorf, 1998 bis 2012)

	Winterweizen		Winterroggen		Wintergerste		Winterraps		Kartoffeln	
	2006	Rest	2006	Rest	2006	Rest	2006	Rest	2006	Rest
Ertrag	59,4	77,6	82,4	81,4	75,1	79,3	42,9	41,6	488,9	457,8

* Winterweizen, Winterroggen, Winterraps: 1998 bis 2012; Wintergerste, Kartoffeln: 2004 bis 2012

Tab. 6. Erträge der Jahre 2010 und 2012 (Merkmalsgruppe „kalte Winter“) sowie mittlere Erträge Eder restlichen Jahre* (in dt) (Dahnsdorf, 1998 bis 2012)

Jahr	Winterweizen		Winterroggen		Wintergerste		Winterraps	
	Einzeljahr	restliche Jahre	Einzeljahr	restliche Jahre	Einzeljahr	restliche Jahre	Einzeljahr	restliche Jahre
2010	75,6	76,4	75,1	81,9	60,6	80,9	46,5	41,3
2012	86,3	75,6	88,0	81,0	100,4	76,5	54,3	40,8

* Winterweizen, Winterroggen, Winterraps: 1998 bis 2012; Wintergerste, Kartoffeln: 2004 bis 2012

Eine sehr klare Aussage ermöglicht das Jahr 2003. Dieses war durch einen eisigen Winter mit 39 **aufeinander folgenden Frosttagen** und einem extrem heißen Sommer mit einer **Hitzeperiode** vom 15. Juli bis 14. August und 21 **heißen Tagen** geprägt (Abb. 1). Die Erträge dieses Jahres unterschieden sich für alle betrachteten Kulturen signifikant vom Mittelwert der restlichen Jahre¹ (Abb. 15). Dabei muss davon ausgegangen werden, dass die Ursachen vorrangig der Merkmalsgruppe „heiße Sommer“ zuzuordnen sind.

Ein ähnlicher Witterungsverlauf prägte das Jahr 2006. Einer Periode von 44 **aufeinander folgenden Frosttagen**

im Winter folgte eine 18-tägige **Hitzeperiode** (Abb. 3) mit einer Durchschnittstemperatur von 23,4°C und 12 heißen Tagen im Sommer. Die Erträge dieses Jahres sind differenzierter zu betrachten (Tab. 5). Signifikante Ertragsunterschiede zwischen dem Jahr 2006 und den restlichen Jahren traten lediglich bei Winterweizen (-23%) auf; in den anderen Kulturen waren die Erträge ähnlich. Als Ursache der erheblichen Ertragsdifferenzen gegenüber dem Jahr 2003 ist die Niederschlagssumme der Monate März bis Juni zu vermuten: Im Jahr 2006 wurden 91%, im Jahr 2003 dagegen nur 64% des langjährigen Normalwertes registriert.

Einen nur geringen Einfluss auf die Erträge scheint die Merkmalsgruppe „**eisige Winter**“ zu besitzen. Beleg hierfür sind die Jahre 2010 und 2012 (Tab. 6). Beide Jahre

¹ Winterweizen, Winterroggen, Winterraps: 1998 bis 2012; Wintergerste, Kartoffeln: 2004 bis 2012

wiesen ausschließlich extreme Witterungserscheinungen der genannten Merkmalsgruppe auf. Während der kalte Winter des Jahres 2010 im Vergleich zum Mittelwert der restlichen Jahre mit Ausnahme des Winterapses noch geringere Erträge zur Folge hatte (signifikant nur bei Wintergerste), lagen jene der Winterungen des Jahres 2012 signifikant über denen der restlichen Jahre. Die erhebliche Variabilität wurde vor allem bei der Wintergerste deutlich: Im Jahr 2010 waren 26% geringere, im Jahr 2012 dagegen 31% höhere Erträge gegenüber den restlichen Jahren zu verzeichnen.

Für das Merkmal „**aufeinander folgende Tage mit Niederschlag $\leq 0,2$ mm**“ konnte dagegen nur für Winteraps ein signifikanter Einfluss nachgewiesen werden. 33 aufeinander folgende Tage ohne Niederschlag im Zeitraum vom 4. April bis 5. Mai 2007 führten bei drei der vier Winterungen (Winterroggen: -8%, Wintergerste: -10%, Winteraps: -30%) zu Mindererträgen gegenüber den restlichen Jahren; bei Winterweizen wurden leicht höhere Erträge (+3%) erzielt (Tab. 7).

Extreme Witterungsereignisse mehrerer Merkmalsgruppen traten im Jahr 2011 auf. Während sie im Winter die Lufttemperatur betrafen (43 Eistage), waren es im Frühjahr und Sommer vor allem die Niederschläge, die extreme Werte zu verzeichnen hatten: In der Vegetationszeit von März bis Juni sehr geringe (49% des langjährigen Mittels bei 87 Tagen ohne Niederschlag), in der Erntezeit vom Juli bis August extrem hohe (264% des langjährigen Mittels). Während die Winterungen in diesem Jahr – vermutlich auf Grund der fehlenden Niederschläge in den Monaten März bis Juni – signifikante Einbußen gegenüber den mittleren Erträgen der restlichen Jahre zu verzeichnen hatten, profitierten die Kartoffeln offensichtlich noch von den hohen Niederschlägen der Monate Juli und August (Tab. 8).

Die hohe **Zahl der Eistage** (43) schien in diesem Jahr von geringerem Einfluss, da eine noch höhere Anzahl

(49) im Jahr 2010, in dem alle extremen Witterungsereignisse ausschließlich der Merkmalsgruppe „Eisige Winter“ zuzuordnen waren, keine signifikanten Unterschiede in den Erträgen ergaben (Tab. 6).

Eine Gesamtübersicht der mittels 1-Stichproben-WILCOXON-Test (SUMPFF und MOLL, 2003) ermittelten Signifikanzen zwischen den Erträgen des Jahres mit extremen Witterungsereignissen und dem Mittelwert der restlichen Jahre enthält Tab. 9. Gelistet wurden die Überschreitungswahrscheinlichkeiten (p) für die Annahme der Nullhypothese H_0 , dass sich der Ertrag des Jahres mit dem extremen Witterungsereignis (μ_0) vom mittleren Ertrag der restlichen Jahre (\bar{x}) nicht unterscheidet.

Signifikanzen wurden mit einem Stern (*) gekennzeichnet. Kursive p-Werte symbolisieren einen signifikant höheren Ertrag des Jahres mit extremem Witterungsereignis; in Klammern gesetzte p-Werte kennzeichnen extreme Witterungsereignisse, deren Einfluss auf die Erträge der jeweiligen Kultur (in der Regel aufgrund ihres zeitlichen Auftretens) begrenzt sein dürfte.

4 Resümee

Die Definition extremer Witterungsereignisse wird uneinheitlich gehandhabt. Verschiedene Herangehensweisen, die teilweise durch die Fragestellung bestimmt werden, sind möglich. Für das vom Versuchsfeld Dahnsdorf zur Verfügung stehende Datenmaterial wurden vorrangig in der Meteorologie übliche Schwellwerte sowie Zeitfolgen, in denen – über mehrere Tage andauernd – eine für das betrachtete Gebiet ungewöhnliche Witterung zu verzeichnen war, die wesentliche Einflüsse auf landwirtschaftliche Prozesse erwarten ließ, betrachtet. Diese Schwellwerte (in der Regel Zahl der Tage) und Zeitfolgen wurden analysiert und ihre Auswirkungen auf die Erträge verschiedener Kulturen untersucht.

Tab. 7. Erträge des Jahres 2007 sowie mittlere Erträge der restlichen Jahre* (in dt) (Dahnsdorf, 1998 bis 2012)

	Winterweizen		Winterroggen		Wintergerste		Winteraps	
	2007	restliche Jahre	2007	restliche Jahre	2007	restliche Jahre	2007	restliche Jahre
Ertrag	78,8	76,2	75,1	81,9	71,9	79,7	30,0	42,5

* Winterweizen, Winterroggen, Winteraps: 1998 bis 2012; Wintergerste, Kartoffeln: 2004 bis 2012

Tab. 8. Erträge des Jahres 2011 sowie mittlere Erträge der restlichen Jahre* (in dt) (Dahnsdorf, 1998 bis 2012)

	Winterweizen		Winterroggen		Wintergerste		Winteraps		Kartoffeln	
	2011	Rest	2011	Rest	2011	Rest	2011	Rest	2011	Rest
Ertrag	56,7	77,8	54,3	83,4	56,8	81,4	29,9	42,5	581,9	447,4

* Winterweizen, Winterroggen, Winteraps: 1998 bis 2012; Wintergerste, Kartoffeln: 2004 bis 2012

Tab. 9. Überschreitungswahrscheinlichkeit p für die Annahme der Nullhypothese $H_0: \mu_0 = \bar{x}$ mit μ_0 Ertrag des Jahres mit extremem Witterungsereignis und \bar{x} mittlerer Ertrag der restlichen Jahre

Jahr	Merkmalsgruppe				Kultur				
	1	2	3	4	Winterweizen	Winterroggen	Wintergerste	Winterraps	Kartoffeln
2003	x	x			0,0001*	0,0002*	0,0039*	0,0004*	0,0039*
2006	x	x			0,0012*	0,7148	0,6533	0,6698	1,0000
2007			x		0,6253	0,1927	0,3008	0,0085*	(0,0117)*
2010	x				0,8552	0,1626	0,0273*	0,2166	(0,0117)*
2011	x		x	x	0,0009*	0,0001*	0,0117*	0,0067*	0,0039*
2012	x				0,0295*	0,0153*	0,0117*	0,0067*	(0,0547)

* signifikant ($\alpha = 0,05$)

Bei der Analyse erwies sich die Einbeziehung weiterer meteorologischer (Globalstrahlung, Bodentemperatur) und pflanzenbaulicher Größen (Saugspannung) als sinnvoll.

Hinsichtlich des Einflusses extremer Witterungsereignisse auf landwirtschaftliche Erträge waren keine allgemeingültigen Aussagen möglich. Die Ursachen lagen einerseits im begrenzten Datenmaterial (15 Jahre) und der sich daraus ergebenden geringen Anzahl von Ereignissen und andererseits in der Tatsache, dass in manchen Jahren mehrere dieser Ereignisse auftraten, die in ihrer Wirkung nicht differenziert zu betrachten waren.

Handlungsbedarf besteht auch hinsichtlich der Definition extremer Witterungsereignisse und deren Bewertung. Ersteres betrifft die Festlegung des ihnen zugeordneten Wertebereiches, unabhängig davon, ob dieses unter Nutzung statistischer Ansätze, in Form von (regional unterschiedlichen) Schwellwerten oder anderen Methoden erfolgt, Letzteres z.B. die Wirkung, die diese Ereignisse (unter bestimmten Voraussetzungen) erzielen. Hierbei wird der Zeitpunkt ihres Eintretens, aber auch der Betrachtungsgegenstand eine entscheidende Rolle spielen: So werden z.B. in der Landwirtschaft extreme Niederschläge im Juli und August für Getreide und Winterraps vermutlich nachteilig wirken, für Mais und Kartoffeln dagegen von Vorteil sein; eine Umkehrung der Vorzeichen dürfte dagegen Trockenheit in diesen Monaten verursachen.

Mit dem 4. Teil des vorliegenden Themenheftes wurde unter Nutzung der Ergebnisse umfangreicher wissenschaftlicher Untersuchungen zu verschiedensten landwirtschaftlichen Aspekten einerseits und der Messergebnisse der agrarmeteorologischen Station auf dem Versuchsfeld in Dahnsdorf andererseits ein Anfang gemacht. Der auch künftig zu erwartende Vorteil dieser Konstellation dürfte in dessen Spezifik liegen: Der räumlichen und zeitlichen Nähe beider Faktoren, die die effektive Verknüpfung der landwirtschaftlichen Forschung mit den unmittelbar „vor Ort“ herrschenden meteorologischen Bedingungen (WITTCHE et al., 2011) ermöglicht.

Literatur

- AgrarMet, 2006a: Agrarmeteorologischer Wochenbericht für Brandenburg, Sachsen-Anhalt, Thüringen und Sachsen 29, Deutscher Wetterdienst, Abt. Agrarmeteorologie, Außenstelle Leipzig.
- AgrarMet, 2006b: Agrarmeteorologischer Wochenbericht für Brandenburg, Sachsen-Anhalt, Thüringen und Sachsen 30, Deutscher Wetterdienst, Abt. Agrarmeteorologie, Außenstelle Leipzig.
- AgrarMet, 2007: Agrarmeteorologischer Wochenbericht für Brandenburg, Sachsen-Anhalt, Thüringen und Sachsen 13, Deutscher Wetterdienst, Abt. Agrarmeteorologie, Außenstelle Leipzig.
- AgrarMet, 2010: Agrarmeteorologischer Wochenbericht für Brandenburg, Sachsen-Anhalt, Thüringen und Sachsen 4, Deutscher Wetterdienst, Abt. Agrarmeteorologie, Außenstelle Leipzig.
- CHMIELEWSKI, F.M., 2003: Phenology and Agriculture. *Agrarmeteorologische Schriften* 12, 1-13, 2003.
- CHMIELEWSKI, F.-M., 2007: Folgen des Klimawandels für Land- und Forstwirtschaft. In: ENDLICHER, W., F.-W. GERSTENGARBE (Hrsg.): *Der Klimawandel: Einblicke, Rückblicke und Ausblicke*. Potsdam, Potsdam-Institut für Klimaforschung, S. 75-85.
- Delta-T, 1990: *User Manual Delta Logger*. Delta-T Devices Ltd Cambridge, 120 S.
- Deutscher Wetterdienst (DWD), 2012: *Deutscher Wetterdienst, Wetter und Klima aus einer Hand. Jahresbericht 2012*. 102 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.
- GERSTENGARBE, F.-W., F. BADECK, F. HATTERMANN, V. KRYSANOVA, W. LAHMER, P. LASCH, M. STOCK, F. SUCKOW, F. WECHSUNG, P.C. WERNER, 2003: Studie zur klimatischen Entwicklung im Land Brandenburg bis 2055 und deren Auswirkungen auf den Wasserhaushalt, die Forst- und Landwirtschaft sowie die Ableitung erster Perspektiven. Potsdam Institute for Climate Impact Research, PIK-Report 83, 77 S.
- GERSTENGARBE, F.-W., P.C. WERNER, 2007: Klimaänderungen zwischen 1901 und 2000. In: ENDLICHER, W., F.-W. GERSTENGARBE (Hrsg.): *Der Klimawandel: Einblicke, Rückblicke und Ausblicke*. Potsdam, Potsdam-Institut für Klimaforschung, S. 34-43.
- HEYER, E., 1998: *Witterung und Klima: eine Einführung in die Meteorologie und Klimatologie/begr. von Ernst HEYER*, Hrsg. von Peter HUPFER und Wilhelm KUTTLER. – 10., völlig neubearb. Aufl./neu bearb. von F.M. Chmielewski, P. Hupfer, W. Kuttler und H. Pethe. Stuttgart, Leipzig, B.G. Teubner, 413 S.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change), 2012: *Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation. A Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (Field, C.B., V. Barros, T.F. Stocker, D. Qin, D.J. Dokken, K.L. Ebi, M.D. Mastrandrea, K.J. Mach, G.-K. Plattner, S.K. Allen, M. Tignor, P.M. Midgley, eds.), Cambridge, U.K., New York, NY, USA, Cambridge University Press, 582 pp.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change), 2013: *Zusammenfassung für politische Entscheidungsträger*. In: *Klimaänderung 2013: Wissenschaftliche Grundlagen*. Beitrag der Arbeitsgruppe 1 zum Fünften Sachstandsbericht des Zwischenstaat-

- lichen Ausschusses für Klimaänderungen (IPCC), (Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex, P.M. Midgley, Hrsg.), Cambridge, U.K., New York, NY, USA, Cambridge University Press, 1535 S. (Deutsche Übersetzung durch ProClim, Deutsche IPCC-Koordinierungsstelle, Österreichisches Umweltbundesamt, Bern/Bonn/Wien, 2014).
- JACOBET, J., 2007: Zusammenhänge und Wechselwirkungen im Klimasystem. In: ENDLICHER, W., F.-W. GERSTENGARBE (Hrsg.): Der Klimawandel: Einblicke, Rückblicke und Ausblicke. Potsdam, Potsdam-Institut für Klimaforschung, S. 1-15.
- JONAS, M., T. STAEGER, C.-D. SCHÖNWIESE, 2005: Berechnung der Wahrscheinlichkeit für das Eintreten von Extremereignissen durch Klimaänderungen – Schwerpunkt Deutschland – Kurzbericht zum Forschungsvorhaben 201 41 254, Umweltforschungsplan des Bundesministers für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit.
- KUTTNER, W., 2009: Klimatologie. Paderborn, Verlag Ferdinand Schöningh, 260 S., ISBN 978-3-506-76576-5.
- MD (Meteorologischer Dienst), 1987: Klimadaten der Deutschen Demokratischen Republik – Ein Handbuch für die Praxis – Reihe B, Bd. 14 „Klimatologische Normalwerte 1951/80“, Potsdam, Meteorologischer Dienst der Deutschen Demokratischen Republik, 111 S.
- MÜLLER-WESTERMEIER, G., 1996: Klimadaten von Deutschland, Zeitraum 1961–1990 (Lufttemperatur, Luftfeuchte, Niederschlag, Sonnenschein, Bewölkung). Offenbach am Main, Selbstverlag des Deutschen Wetterdienstes, 431 S.
- SCHÖNWIESE, C.-D., S. TRÖMEL, 2006: Mehr extreme Niederschläge in Deutschland? Naturwissenschaftliche Rundschau **59** (4), 194-198.
- SCHÖNWIESE, C.-D., 2007: Wird das Klima extremer? Eine statistische Perspektive. In: ENDLICHER, W.; F.-W. GERSTENGARBE (Hrsg.): Der Klimawandel: Einblicke, Rückblicke und Ausblicke. Potsdam, Potsdam-Institut für Klimaforschung, S. 60-66.
- SCHÖNWIESE, C.-D., T. STAEGER, M. JONAS, 2006: INKLIM 2012, Baustein II. Auftreten und Andauer extremer Witterungsereignisse in Hessen (1951–2000) Abschlussbericht. Universität Frankfurt/Main, Institut für Atmosphäre und Umwelt, Arbeitsgruppe Klimaforschung. März 2006, 41 S.
- SUMPF, D., E. MOLL, 2003: Einführung in die Biometrie 2. Schätzen eines Parameters und Vergleich von bis zu zwei Parametern. Senat der Bundesforschungsanstalten des Bundesministeriums für Verbraucherschutz, Ernährung und Landwirtschaft. Ribbesbüttel, Saphir Verlag, 134 S., ISBN 3-930037-04-1.
- TISCHNER, H., 2006: Agrarmeteorologie. In: MUNZERT, M., J. FRAHM: Pflanzliche Erzeugung. 12. Aufl., München, BLV Verlag, S. 123-134.
- 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.