

Udo Wittchen, Jürgen Schwarz, Bernhard Pallutt

# Witterung und Ertrag

## Weather and yield

Julius Kühn-Institut (JKI), Bundesforschungsinstitut für Kulturpflanzen  
Institut für Strategien und Folgeschätzung im Pflanzenschutz



Berichte aus dem Julius Kühn-Institut

# 207

## **Kontaktadresse/ Contact**

Dr. Udo Wittchen  
Julius Kühn-Institut  
Bundesforschungsinstitut für Kulturpflanzen  
Institut für Strategien und Folgenabschätzung  
Stahnsdorfer Damm 81  
14532 Kleinmachnow  
Germany

Telefon +49 (0) 33203 48-213

Telefax +49 (0) 33203 48-424

Wir unterstützen den offenen Zugang zu wissenschaftlichem Wissen.  
Die Berichte aus dem Julius Kühn-Institut erscheinen daher als OPEN ACCESS-Zeitschrift.

We advocate open access to scientific knowledge.  
Reports from the Julius Kühn Institute are therefore published as open access journal.

Berichte aus dem Julius Kühn-Institut sind online verfügbar unter <https://ojs.openagrار.de/index.php/BerichteJKI>  
Reports from the Julius Kühn Institute are available free of charge under <https://ojs.openagrار.de/index.php/BerichteJKI>

## **Herausgeber / Editor**

Julius Kühn-Institut, Bundesforschungsinstitut für Kulturpflanzen, Braunschweig, Deutschland  
Julius Kühn Institute, Federal Research Centre for Cultivated Plants, Braunschweig, Germany

## **Vertrieb**

Saphir Verlag, Gutsstraße 15, 38551 Ribbesbüttel  
Telefon +49 (0)5374 6576  
Telefax +49 (0)5374 6577

**ISSN 1866-590X**

**DOI 10.5073/berjki.2019.207.000**



© Der Autor/ Die Autorin 2019.

 Dieses Werk wird unter den Bedingungen der Creative Commons Namensnennung 4.0 International Lizenz (CC BY 4.0) zur Verfügung gestellt (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.de>).

© The Author(s) 2019.

 This work is distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.en>)

## **Witterung und Ertrag**

Weather and yield

Udo Wittchen<sup>1</sup>, Jürgen Schwarz<sup>1</sup>, Bernhard Pallutt

<sup>1</sup>Julius-Kühn-Institut, Bundesforschungsinstitut für Kulturpflanzen, Institut für Strategien und Folgeschätzung, Stahnsdorfer Damm 81, 14532 Kleinmachnow

E-Mail: Udo.Wittchen@Julius-Kuehn.de, E-Mail: Juergen.Schwarz@Julius-Kuehn.de

## **Zusammenfassung**

Basierend auf langjährigen (1997 bis 2017) meteorologischen Messungen und landwirtschaftlichen Beobachtungen auf dem Versuchsfeld des Julius Kühn-Institutes – Bundesforschungsinstitut für Kulturpflanzen – in Dahnsdorf (Gemeinde Planetal, Landkreis Potsdam-Mittelmark, Land Brandenburg) wurden – unter Einbeziehung umfangreicher Literaturstudien – die Zusammenhänge zwischen Witterung und Ertrag im Winterweizen analysiert. Ziel war die Ermittlung ertragsrelevanter meteorologischer und Wachstums-Parameter innerhalb des Erntejahres.

Dazu wurde das Erntejahr in zehn, wachstumsorientierte Vegetationsphasen unterteilt.

Für jede Vegetationsphase wurden die für den Ertrag relevanten meteorologischen und Wachstums-Parameter ermittelt. Dieses erfolgte nach zwei Methoden: Einerseits ohne Berücksichtigung der Einflüsse der vorangegangenen Vegetationsphasen (Methode I), andererseits unter deren Einbeziehung (Methode II).

Mit beiden Methoden konnten für die zehn Vegetationsphasen bis zu sechs, für den Ertrag signifikante Parameter nachgewiesen werden. Diese differieren zwischen den Methoden. Meist ist ihre Anzahl in Methode II geringer: Die aus dieser Methode abgeleiteten linearen Ertrags-Modelle sind besser angepasst, werden aber sehr stark durch die die Einflüsse der vorangegangenen Vegetationsphase charakterisierenden Parameter geprägt.

Abhängig von den in die Analysen einbezogenen Daten treten Instabilitäten bezüglich der für den Ertrag signifikanten Parameter sowie der Anpassung des zugehörigen Ertrags-Modells auf. Die Einbeziehung unterschiedlicher (mehrjähriger) Zeiträume führt zu unterschiedlichen signifikanten Parametern. Andererseits kann durch die Auswahl der (Eingangs-)Parameter die Anpassung des Ertrags-Modells verbessert werden. Die Definition „eigener“, sich an das Wachstum der Vegetation und den meteorologischen Bedingungen während der jeweiligen Vegetationsphase anpassender (Eingangs-)Parameter hat sich dabei als sinnvoll erwiesen.

**Stichwörter:** Winterweizen, Vegetation, Modell, Dauerfeldversuche

## **Abstract**

Based on long-term (1997 - 2017) meteorological measurements and agricultural observations on an experimental field of Julius-Kühn-Institute - Federal Institute for Research on cultivated plants - located in Dahnsdorf (municipal of Planetal, administrative district of Potsdam-Mittelmark, federal state of Brandenburg) relationships between weather and yield on winter-wheat were analysed. Enormous studies of literature were included. Aim was to find meteorological and growth parameters that are relevant for yield.

For this reason crop year was divided in ten growth-orientated vegetation phases.

For each vegetation phase meteorological and growth parameters were determined that were relevant for yield. It was carried out by two different methods: in method I effects of preceding vegetation phases were not considered, in method II they were included.

In this mentioned ten vegetation phases up to six parameters could be detected by both methods. These parameters were relevant for yield and differed between mentioned methods. The number of parameters was often lower in method II. Linear models of yield derived from this method are better adapted but they are strongly influenced by previous vegetation phase.

Depending on included data of the analyzing instabilities emerge concerning important yield parameters and fitting a belonging model of yield. Inclusion of different (long-term) periods of time leads to different significant parameters. On the other hand adaption of the model of yield can be improved by selecting of initial parameters. Useful was the predetermination of initial parameters that were adapting to the growth of vegetation and meteorological conditions during respective vegetation phase.

**Keywords:** winter-wheat, vegetation, model, long-term field experiment

## Einleitung

Wer kennt sie nicht, die Sprüche und Redewendungen, die im Volksmund als Bauernregeln bezeichnet, die Witterung und den Ertrag landwirtschaftlicher Kulturen in Zusammenhang zu bringen versuchen. Es gibt sie in vielfältiger Form: Auf einzelne Tage (sogenannte Lostage), auf Monate oder auch auf Zeitabschnitte bezogen. Allen ist eines gemein: Sie spiegeln die Erfahrungen vieler Generationen wider, die zunächst örtlich begrenzt von Mund zu Mund, später in sprachlich verwandten Regionen in gedruckten Büchern und heute weltweit in modernen Medien Verbreitung finden

(<https://www.wetter.de/bauernregeln.html>;  
[https://de.wikipedia.org/wiki/Liste\\_von\\_Bauernregeln](https://de.wikipedia.org/wiki/Liste_von_Bauernregeln)).

Während jedoch in der Vergangenheit nur wenige bzw. sehr arbeitsaufwändige Methoden zur Verfügung standen, den Dingen auf den Grund zu gehen, bietet heute die moderne Rechentechnik und in jahrelanger Kleinarbeit gewonnenes, gut dokumentiertes Datenmaterial umfangreiche Möglichkeiten, dieses zu tun.

Was ist also dran an solchen Sprüchen wie: "Trock'ner März, nasser April, kühler Mai - schreit der Bauer Juchhei" (EISBRENNER, 2008)

Oder konkreter formuliert: Welche Witterung beeinflusst wie die landwirtschaftlichen Erträge? Und welcher Zeitraum ist hierfür entscheidend?

Die nachfolgend beschriebenen Analysen versuchen das, basierend auf Messungen und Beobachtungen auf dem Versuchsfeld des Julius Kühn-Institutes – Bundesforschungsinstitut für Kulturpflanzen – in Dahnendorf sowie unter Nutzung moderner Rechentechnik und statistischer Software zu klären, wobei Aspekte der Produktionstechnik (Bodenbearbeitung, Aussaatmenge, Pflegemaßnahmen) unberücksichtigt bleiben, da diese – trotz erforderlichem Sortenwechsel (siehe Tabelle 1) – als den Anforderungen entsprechend betrachtet werden können. Die sich aus den Analysen ergebenden Resultate werden von erfahrenen, langjährig landwirtschaftlich tätigen Praktikern bewertet und – sofern erforderlich – kommentiert.

## **Material und Methoden**

### **Material**

Grundlage der Analysen sind meteorologische Messwerte und Ertragsdaten des Winterweizens auf dem Versuchsfeld des Julius Kühn-Institutes – Bundesforschungsinstitut für Kulturpflanzen in Dahnendorf (Gemeinde Planetal, Landkreis Potsdam-Mittelmark, Land Brandenburg). Analysiert werden die Erntejahre 1998 bis 2017.

Das Versuchsfeld Dahnendorf umfasst eine 38 ha große, leicht hügelige Fläche im Hohen Fläming in einem Höhenbereich zwischen 77 bis 85 m über NN. Die Bodenzahl variiert zwischen 30 und 55 Bodenpunkten; das Flurstück ist mit einer Bodenzahl von 48 bewertet (57,9 % Sand, 37,5 % Schluff, 4,6 % Ton, 1,4 % organische Substanz, pH-Wert: 5,8) (PALLUTT et al., 2010). Das Jahresmittel der Lufttemperatur für den Zeitraum von 1998 bis 2017 beträgt 9,5 °C, die mittlere Jahressumme der Niederschlagshöhe 598,5 mm: Die Messungen erfolgten mit einer eigenen Wetterstation auf dem Versuchsfeld.

Die meteorologischen Werte (Lufttemperatur in 2,0 m Höhe, Niederschlagshöhe, Globalstrahlung, Bodenfeuchte und –temperatur in verschiedenen Tiefen) wurden im Abstand von einer Minute mit Hilfe eines, auf einer mit kurz geschorenem Rasen bewachsenen Fläche fest installierten Datenloggers ermittelt. Bis zum Austausch des Datenloggers am 15.11.2012 wurden sie zu 10-Minuten-Intervallen, danach zu 15-Minuten-Intervallen verdichtet. Die Standard-Konfiguration des Datenloggers blieb über den gesamten betrachteten Zeitraum (Erntejahre 1998 bis 2017) weitgehend unverändert (WITTCHEN et al., 2015a). In unregelmäßigen Abständen (Lufttemperatur und –feuchte mindestens monatlich) erfolgten Kontrollmessungen und – im Abstand von zwei bis fünf Jahren – die Kalibrierung bzw. der Austausch wesentlicher Messwertgeber. Die gewonnenen Messdaten wurden in Jahresabschnitten einem Plausibilitäts-Test unterzogen, der vorrangig die Prüfung auf Unter- bzw. Überschreitung von Grenzwerten (KUHLMHEY, 1987) beinhaltete. Die geprüften Daten wurden in einer separaten MS-ACCESS-Datenbank sowie einer eigenen ORACLE-Datenbank des Institutes für Strategien und Folgenabschätzung (SF) des Julius Kühn-Institutes, Bundesforschungsinstitut für Kulturpflanzen, gespeichert.

Die Ertragsdaten ergaben sich aus der Variante die der landwirtschaftlichen Praxis am ehesten entspricht. Bedingt durch die Versuchsfragen war dies die „100HF“ (situationsbezogener Einsatz von Herbiziden und Fungiziden) der Erntejahre 1998 bis 2007, ab dem Erntejahr 2008 die Variante „GfP HF“ (Gute fachliche Praxis mit Herbizid- und Fungizideinsatz) und ab dem Erntejahr 2014 die Variante „Allgemeine Grundsätze des Integrierten Pflanzenschutzes“ mit Fungizid- und Herbizideinsatz (HF) (PALLUTT et al., 2010; JAHN et al., 2010; SCHWARZ und MOLL, 2010; DEIKE et al., 2010). Die Erträge der entsprechenden Wiederholungen wurden gemittelt.

Innerhalb des betrachteten Zeitraums erfolgte ein Sortenwechsel (Tabelle 1), der sich als Kompromiss aus einer angestrebten Kontinuität einerseits und der Tatsache der „Alterung“ existierender und der Bereitstellung neuer, leistungsfähigerer Sorten andererseits ergab.

**Tab. 1** Angebaute Winterweizen-Sorten des Dauerfeldversuches

**Tab. 1** Cultivated winter-wheat varieties in the long-term field experiment

Erntejahr	WW1	WW2
1998	Pegassos	Pegassos
1999	Pegassos	Pegassos
2000	Pegassos	Pegassos
2001	Pegassos	Pegassos
2002	Pegassos	Pegassos
2003	Pegassos	Pegassos
2004	Pegassos	Pegassos
2005	Pegassos	Pegassos
2006	Akratos	Paroli
2007	Akratos	Paroli
2008	Brilliant	Skalmeje
2009	Brilliant	
2010	Brilliant	
2011	JB Asano	
2012	JB Asano	
2013	JB Asano	
2014	JB Asano	
2015	JB Asano	
2016	JB Asano	
2017	JB Asano	

## Methoden

Basierend auf Literaturstudien sowie praktischen Erfahrungen wurden auf den Ertrag der landwirtschaftlichen Kultur relevante meteorologische Einflussgrößen und Zeitintervalle ermittelt. Grundsätzlich wurde auf die Nutzung gemessener bzw. aus den Messungen abgeleiteter meteorologischer Größen orientiert. Die gemessenen Werte wurden zu Tagesmittel bzw. –summen und Tagesextremwerten verdichtet. Die Extremwerte ergaben sich aus den extremen 10-Minuten- bzw. 15-Minuten-Mittelwerten eines Tages. Als abgeleitete Größen gelten Wärmesummen sowie Auszählungen „Zahl Tage“ mit Unter- bzw. Überschreitung ausgewählter Schwellwerte.

Standardmäßig wurden die Lufttemperatur in 2,0 m Höhe und die Niederschlagshöhe in die Analysen einbezogen. Diese wurden durch die Globalstrahlung, die Bodentemperatur und die Bodenfeuchte bzw. Saugspannung in verschiedenen Tiefen (0,1 m und 0,2 m) ergänzt.

Die Bodenfeuchte wurde bis zum 15.11.2012 als Saugspannung (in hPa) ermittelt. Deren Werte wurden – basierend auf ein Diagramm

(<http://www.spektrum.de/lexikon/geographie/wasserspannung/8893>,

abgefragt 25.09.2018) – in Bodenfeuchtwerte umgerechnet.

Sowohl die meteorologischen Größen als auch die Andauer einiger Vegetationsphasen wurden variiert und ihr Einfluss auf den Ertrag anhand statistischer Maßzahlen analysiert und bewertet. Grundsätzlich erfolgte dieses in zwei Varianten: Die eine (A) bezog die über den gesamten Zeitraum der Erntejahre von 1998 bis 2017 verfügbaren Parameter (Lufttemperatur, Niederschlagshöhe), die andere (B) zusätzlich – die teilweise zeitlich begrenzt verfügbaren – Parameter der Globalstrahlung, Bodentemperatur und -feuchte ein. Das Primat der Analyse lag auf der Variante B.

Ziel der Analyse war die Ermittlung des Zusammenhanges zwischen landwirtschaftlichem Ertrag und den Witterungsbedingungen innerhalb definierter – ausschließlich wachstumsorientierter (nicht kalendarischer) – Zeitintervalle (Vegetationsphasen) des Erntejahres.

Für jede der Varianten wurden zwei Methoden angewandt: Methode I ermittelte den Zusammenhang zwischen Witterung und Ertrag separat für jede Vegetationsphase; Methode II berücksichtigte mit einem „Vorwert“ die vor der jeweiligen Vegetationsphase herrschende Witterung.

Kleinstes Zeitintervall für die Erstellung der Ertrags-Modelle war die Pentade (5 Tage).

Der Wachstumsverlauf der Pflanzen wurde auf Basis der BBCH-Skala (HACK et al., 1992) charakterisiert. Die landwirtschaftliche Kultur wurde in regelmäßigen Abständen bonitiert. Die dabei ermittelten BBCH-Stadien dienen – in Verbindung mit den auf dem Versuchsfeld gewonnenen meteorologischen Daten – als Stützstellen bzw. Grundlage der Berechnung des Wachstumsverlaufes mit Hilfe des Simulationsprogramms SIMONTO (ROSSBERG et al., 2005)

Grundlage der statistischen Analysen waren die Prozeduren PROC CORR, PROC REG und PROC GLMSELECT des Statistikprogramms SAS®. Ermittelt wurden lineare Regressions-Modelle, die die Zusammenhänge zwischen meteorologischen und Wachstums-Parametern (Eingangs-Parameter) und dem Ertrag beschreiben. Dem Modell wurden jene Eingangs-Parameter zugeordnet, die einen signifikanten Einfluss auf den Ertrag besitzen. Für diese ergaben sich im Rahmen einer Regressionsanalyse Schätzwerte (im SAS: Parameterschätzer).

Die Güte der Ertrags-Modelle beider Methoden wurden, separat für jede Vegetationsphase, anhand von vier – sich aus dem Statistikprogramm SAS® ergebenden – Maßzahlen bewertet:

- Anzahl der zum Ertrag signifikanten (Eingangs-)Parameter ( $p < 0,05$ )
- adjustiertes<sup>1</sup> Bestimmtheitsmaß ( $\text{adj. } R^2$ ) des multiplen linearen Ertrags-Modells
- korrigiertes (second order<sup>2</sup>) Akaike-Kriterium (AICC) des multiplen linearen Ertrags-Modells
- Anzahl signifikanter Parameter des multiplen linearen Ertrags-Modells ( $\alpha = 0,05$ )

Multikollinearitäten zwischen den Parametern eines Modells wurden anhand des „Variance Inflation factors (VIF)“ (Option VIF im MODEL-Statement der Prozedur PROC REG) ermittelt und durch den Austausch bzw. die Eliminierung einzelner Parameter aus dem Modellansatz beseitigt. Als Kriterium für Multikollinearität wurde  $VIF \geq 10$  betrachtet.

Signifikanztests erfolgten einheitlich zum Signifikanzniveau ( $\alpha=0,05$ ).

---

<sup>1</sup> Das adjustierte Bestimmtheitsmaß ( $\text{adj. } R^2$ ) berücksichtigt die in die Modellbildung einfließende Anzahl der Eingangs-Parameter, indem es eine höhere Anzahl „bestraft“.

<sup>2</sup> Das Akaike-Informationskriterium (AIC) ist ein Schätzer der relativen Qualität statistischer Modelle für einen bestimmten Datensatz (Je geringer das AIC, desto besser die Modell-Anpassung). Das AICC berücksichtigt zusätzlich die Anzahl der in die Modellbildung einfließenden Eingangs-Parameter, indem es eine höhere Anzahl „bestraft“.

## Ergebnisse

### Literaturrecherche

Die Witterung stellt einen der wesentlichsten Faktoren der Entwicklung landwirtschaftlicher Kulturpflanzen dar. In Abhängigkeit von der Kultur und dessen Entwicklungsstadium tragen – in unterschiedlichem Umfang – verschiedene Witterungseinflüsse zum Wachstum und Ertrag der Pflanzen bei. Dabei spielen nicht nur die die Photosynthese unmittelbar beeinflussenden meteorologischen Größen Lufttemperatur, Niederschlag und Strahlung (einschließlich der sich daraus ableitenden Größen) eine wichtige Rolle, sondern auch Eigenschaften der Pflanze (z.B. Kältetoleranz) bzw. Reaktionen, die sie unter bestimmten Witterungsbedingungen auslöst (z.B. Keimung, Vernalisation, usw.). Jede dieser Eigenschaften und Reaktionen ist wiederum an definierte Schwellwerte bzw. Wertebereiche der meteorologischen Größen innerhalb eines begrenzten Zeitabschnittes gebunden. Beide, Eigenschaften und Reaktionen einerseits sowie Schwellwerte und Wertebereiche andererseits werden – unter Zuordnung auf relevante Zeitabschnitte – nachfolgend benannt und deren Einfluss auf die Entwicklung des Winterweizens mit dem Ziel der Selektion wesentlicher, für die Ertragsbildung bedeutender meteorologischer Bedingungen charakterisiert. Sofern möglich, erfolgt anschließend deren Bewertung im Hinblick auf die auf dem Versuchsfeld ermittelten Beobachtungsergebnisse.

Zunächst werden einige, von der Fachliteratur für die Analyse des Zusammenhanges zwischen Witterung und Ertrag betrachteten Zeitabschnitte des Erntejahres benannt, um zeitlich relevante Vegetationsphasen zu ermitteln.

In der Vergangenheit gab es eine Vielzahl von Codierungen (FEEKES-Skala, EC-Code, BBA-Code, BBCH-Code), die die Gesamtpflanzenentwicklung in verschiedene Stadien unterteilen (LÜTKE-ENTRUP und OEHMICHEN, 2000). Die gegenwärtig gebräuchlichste ist die BBCH-Codierung der phänologischen Entwicklungsstadien (BLEIHOLDER et al., 1997). Diese ermöglicht die Zuordnung der Aussagen vieler Autoren. Zudem findet sie im analysierten Datenmaterial Anwendung. Entsprechend wird sich die nachfolgende Literaturstudie vorrangig an ihr orientieren.

Die Deutsche Landwirtschafts-Gesellschaft (DLG) benennt optimale Witterungsbedingungen vor und nach der **Saat** (DLG, 1981). Danach gewährleisten geringe Niederschläge vor der Saat die nötige Keimfeuchte und fördern das Absetzen des Saatbeetes. Trockene Witterung zum Saattermin sowie eine warme Witterung mit kurzer Regenperiode nach der Saat werden als günstig betrachtet.

Einen positiven Zusammenhang zwischen trockenen Bedingungen zur Aussaat und einer guten Ernte bestätigt auch HAHN (2011) aus 10-jährigen praktischen Erfahrungen.

Die **Keimung** der Pflanzen wird hauptsächlich durch Temperatur, Sauerstoffversorgung und Wassergehalt des Samens beeinflusst. Bei landwirtschaftlichen Kulturpflanzen beginnt sie bereits bei Temperaturminima von 2 °C (GEISLER, 1988) bzw. 2 °C bis 4 °C und einem Wassergehalt von 30 % bis 35 % (DIEPENBROCK et al., 2005); bei Winterweizen zwischen 3 °C bis 4 °C (DLG, 1981; AUERNHAMMER et al., 1987; LÜTKE-ENTRUP und OEHMICHEN, 2000 ). Gleichmäßige und zügige Keimung erfolgt bei 6 °C bis 8 °C (DIEPENBROCK et al., 2005). Deutlich höher ist die optimale Keimtemperatur: Nach GEISLER (1988) liegt sie für Winterweizen bei etwa 20 °C; nach AUERNHAMMER et al. (1987) zwischen 15 °C und 30 °C. Wesentlich ist zudem

die Wasserversorgung des Keimlings: Einerseits ist dessen regelmäßige Wasseraufnahme eine Voraussetzung der Keimung, andererseits führt Staunässe im Boden (fehlende Sauerstoffversorgung) zu deren Ausbleiben. Als notwendiger Wassergehalt zur Keimung des Korns werden 35 bis 40 % benannt (DLG, 1981).

In unseren Breiten werden nach der Aussaat des Winterweizens die Keimtemperaturen in der Regel erreicht. Differenzierter sind die Feuchteverhältnisse (Niederschlagshöhe, ggf. Bodenfeuchte bzw. Saugspannung) zu betrachten.

In der Phase der **Bestockung** werden die fruchtstandstragenden Halme der Pflanzen gebildet. Positiv wirkt sich dabei eine Verlängerung dieser Phase aus. Das geschieht – neben einer ausreichenden Stickstoffversorgung – durch relativ niedrige Temperaturen, eine gute Wasserversorgung und Tageslängen < 16 Stunden (GEISLER, 1988). Bei Winterweizen kann die Bestockung auch noch im Frühjahr erfolgen, wobei Bestände mit einer zu schwachen Vorwinterentwicklung leichter auswintern (DLG, 1981).

Winterungen können extrem negativen Temperaturen ausgesetzt sein. Ein Maß für ihre Widerstandsfähigkeit ist die sortenspezifische **Winterfestigkeit**. Diese liegt für Winterweizen zwischen -15 °C und -20 °C (GEISLER, 1988; WENKEL und MIRSCHEL, 1995; MAIER, 2009; SCHREIBER und GUDDAT, 2013). Die DLG (1981) differenziert die Winterfestigkeit in Frosthärte und Frühjahrsfestigkeit. Erstgenanntes ist die Fähigkeit, „niedrige Temperaturen kürzere oder längere Zeit ohne Schaden zu überdauern“. Als Schwellwerte gelten – bei fehlender Schneedecke – für Winterweizen Temperaturen bis -20 °C. Die Frühjahrsfestigkeit wird als die Fähigkeit, „das abwechselnde Einfrieren und Auftauen des Bodens ... im Februar und März ohne große Schäden zu überdauern“ benannt. AUERNHAMMER et al. (1987) wählen als Maß der Widerstandsfähigkeit der Pflanzen den Begriff der Kältetoleranz. Diese definieren sie mit -20 °C für Winterweizen. Für Getreide gelten Wechselfröste im Frühjahr als besonders problematisch, da diese die Wurzeln abreißen und die Pflanzen vertrocknen können (DÖRFLER, J., H. HÜFFMEIER, 1998).

Temperaturen < -20 °C wurden auf dem Versuchsfeld Dahnsdorf selten gemessen (WITTCHEN et al., 2015b). In zwei untersuchten Kälteperioden minderte zudem eine bereits geringe Schneedecke deren Wirkung auf die Pflanzen erheblich (WITTCHEN et al., 2015c). Ähnliche Aussagen über den schützenden Einfluss einer Schneedecke trifft auch GUDDAT et al. (2010).

Die für die Winterformen verschiedener Kulturpflanzen notwendige **Vernalisation** verläuft für Wintergetreidearten optimal in einem Temperaturbereich zwischen 0 °C und 3 °C. Dieser muss über 30 bis 40 – auch nicht zusammenhängende Tage – andauern (GEISLER, 1988). Ähnliche Aussagen treffen LÜTKE-ENTRUP und OEHMICHEN (2000), die Temperaturen um 3 °C über mehr als 30 Tage für erforderlich halten. Breitere Temperatur- und Andauerbereiche benennen DLG (1981) sowie AUERNHAMMER et al. (1987). Danach beträgt der optimale Temperaturbereich für den Winterweizen 0 °C bis 8 ° und die Andauer 40 bis 70 Tage. DIEPENBROCK et al. (2005) erachten 1 °C bis 5 °C über einen Zeitraum von 40 bis 80 Tage, DÖRFLER, J., H. HÜFFMEIER (1998) für Winterweizen Temperaturen unter 5 °C über einen Zeitraum von ca. 6 bis 9 Wochen, als wirksam. Die Reaktion (Reiz) wird besonders während der Jugendzeit der Pflanze ausgelöst und in Bezug auf generative Organe deutlich. Daher wird die Wirkung der Vernalisation als Blühbeschleunigung definiert (GEISLER, 1988).

Als **Wachstumsbeginn** gilt für die Winterformen der Getreidearten ein Temperaturbereich zwischen 5 °C und 6 °C (GEISLER, 1988; DIEPENBROCK et al., 2005) bzw. zwischen 3 °C und 5 °C (CHMIELEWSKI, 2015; DLG, 1981). Da derartige Temperaturen auch in den Wintermonaten – ohne dass eine Wachstumsphase eintritt – erreicht werden, wird für den „Zeitabschnitt des

pflanzlichen Wachstums im Sinne eines deutlichen Stoffgewinns durch Photosynthese“ (GEODZ, 2015) häufig der Begriff der Vegetationszeit verwendet. Deren Beginn wird verschieden definiert (u. a. CHMIELEWSKI, 2003; FORMAYER et al., 2007; FRANKE et al., 2007; HOFFMANN, 2006). Einen Vergleich verschiedener Definitionen enthält WITTCHEN et al. (2015a).

Nach dem Wachstums- bzw. Vegetationsbeginn werden mit zunehmender Temperatur – bis zu einem, für die jeweilige Kultur optimalen Wert – die Entwicklungsprozesse der Pflanze beschleunigt. DIEPENBROCK et al. (2005) betrachten Temperaturen zwischen 15 °C und 20 °C für den weiteren Wachstumsverlauf als günstig; MAIER (2009) definiert für Weizen einen optimalen Bereich zwischen 10 °C und 25 °C.

Der Einfluss der Witterung nach Wachstumsbeginn wird differenziert bewertet. GEISLER (1988) unterscheidet zwischen Wachstumsrate und –dauer. Steigende Temperaturen erhöhen die Wachstumsrate, mindern jedoch die Wachstumsdauer. Da Letztgenannte die Ertragsbildung stärker bestimmt, wirken sich niedrigere Temperaturen günstiger auf die Entwicklung der Pflanzen aus. Ähnlich argumentiert die DLG (1981). Sie betrachtet eine kühle, niederschlagsreiche und sonnenscheinarme Witterung im April als fördernd für eine gute **Bestockung** und Bildung der Ährenanlage. Gegen Ende der Bestockung setzen einige Reduktionsvorgänge ein: Die der Ährchen (Ende Bestockung bis Beginn Schossen), die der Anzahl der Bestockungstriebe (Beginn Schossen) und die der Blüten (Übergangsphase zwischen Schossen und Ährenschieben). Die Letztgenannte kann durch günstige Wasserversorgung gemindert werden (GEISLER, 1988).

In der Phase des **Schossens** bis zum **Ährenschieben** fördert eine kühle Witterung (April bis Mai) einen langsamen Wachstumsverlauf (DLG, 1981). Diese wirkt sich günstig auf die Standfestigkeit des Bestandes aus; sie wird durch hohe Strahlung begünstigt (mündliche Mitteilung, SCHWARZ, 2018).

Hohe Temperaturen, insbesondere in Verbindung mit Wassermangel führen dagegen zu einer höheren Anzahl steriler Ährchen (LÜTKE-ENTRUP und OEHMICHEN, 2000).

Heftige Regenfälle kurz vor oder während des Ährenschiebens verursachen das Lagern der Bestände (DLG, 1981).

Ein schneller Übergang von der vegetativen zur generativen Phase (**Blütenbildung**) ist unerwünscht, "... da zunächst genügend vegetative Pflanzenteile ausgebildet werden müssen." (LÜTKE-ENTRUP und OEHMICHEN, 2000).

LÜTTGER und FEIKE (2018) analysieren Stress-Situationen des Winterweizens anhand von Stress-Indizes. Für Blüte und Kornfüllungsphase wählen sie zur Kennzeichnung von Hitze-Stress die Anzahl der Tage mit Maxima der Lufttemperatur  $\geq 25,0$  °C bzw.  $\geq 28,0$  °C. Trockenheit charakterisieren sie anhand der Zahl von fünf, acht bzw. elf aufeinander folgenden Tagen ohne Niederschlag im Zeitraum vom 1. April bis 31. August. Sie weisen darauf hin, dass frühere Untersuchungen – in Abhängigkeit von der Trockenheits-Sensibilität des Weizens in den verschiedenen Wachstumsperioden – zu differenzierten Aussagen geführt haben: Die Trockenheit jedoch in den meistens Studien in den generativen Phasen als kritisch angesehen wird.

In der **Kornfüllungsphase** erfolgt die Einlagerung von Assimilaten. Innerhalb von 3 bis 4 Wochen werden mehr als 150.000 Zellen pro Korn gebildet. "Kühles, feuchtes Wetter begünstigt die Anlage eines großvolumigen Korn." (LÜTKE-ENTRUP und OEHMICHEN, 2000).

Für die Neubildung der Assimilate ist die photosynthetische Aktivität des obersten Pflanzenteils (Fahnenblatt, Internodium unterhalb der Ähre, Ähre) von besonderer

Bedeutung (GEISLER, 1988). Neben dieser (Assimilatangebot) wird die Leistung der Einlagerungsvorgänge vom Assimilattransport und der Einlagerungskapazität bestimmt.

Etwa 3 bis 4 Wochen nach Befruchtung wird in der **Kornwachstumsphase** das Stadium der Milchreife (BBCH 73 bis 77) erreicht. In dieser weist das Korn bereits maximales Volumen auf (GEISLER, 1988). Die Länge der Kornwachstumsphase und die Erträge scheinen nach GEISLER (1988) stark korreliert: Niedrigere Temperaturen und eine gute Wasserversorgung wirken hiernach positiv auf den Ertrag. Die DLG (1981) trifft ähnliche Aussagen: Sie betrachtet eine kühle Witterung, die der Korneinlagerung eine lange Zeit zur Verfügung stellt, als günstig. Gegenteilig wirken extreme Witterungsereignisse (heftige Niederschläge, lange Trockenzeiten) in dieser Phase (Juni und Juli) (GÖMANN et al., 2015).

Die letzten 20 Ausreifetage sollten sonnenscheinreich, die Temperaturen aber nicht extrem hoch sein (DLG, 1981).

Neben den phänologischen Entwicklungsstadien (BBCH-Stadien) beinhaltet die Fachliteratur zeitlich gröbere Unterteilungen des Erntejahres. So definieren RÜTHER und ANSORGE (1959) sowie die DLG (1981) vier, CHMIELEWSKI und KÖHN (2000) fünf phänologische Entwicklungsperioden (Tabelle 2). Andere Autoren verwenden auf Monate bezogene phänologische Phasen (CHMIELEWSKI und KÖHN, 1998; DIXON et al., 1994; LOBELL et al., 2012) bzw. auf Wachstumsphasen angepasste Viertel- bzw. Halbjahressummen (GORNOTT und WECHSUNG, 2015).

**Tab. 2** Einteilung des Jahres in „witterungssensible“ Entwicklungsperioden

**Tab. 2** Classification of the crop year into "weather-sensitive" development periods

DLG (1981)		RÜTHER, H. und H. ANSORGE	
Nr.	Bezeichnung	Nr.	Bezeichnung
1	Saat bis Aufgang	1	Vorwinterentwicklung
2	Frühjahrsbestockung	2	Vegetationsruhe
3	Schossen	3	Vegetative Phase
4	Blüte und Beginn der Korneinlagerung	4	Generative Phase

RÜTHER und ANSORGE (1959) analysieren den Zusammenhang zwischen Witterung und Ertrag des Winterweizens – für das damals angebaute Sortenspektrum – innerhalb dieser Vegetationsabschnitte. Sie betrachten dabei Phasenlängen sowie Temperatur- und Niederschlagssummen in jeweils 3 Jahren mit hohen bzw. geringen Erträgen. Sie stellen fest, dass die „Vorwinterentwicklung“ in Jahren mit hohen Erträgen deutlich kürzer (11 bis 16 Pentaden), die „Vegetationsruhe“ wesentlich länger (22 bis 28 Pentaden) als in Jahren mit geringen Erträgen (22 bis 25 Pentaden bzw. 11 bis 15 Pentaden) andauert.

PALLUTT (2018, mündliche Mitteilung) weist auf eigene, kalendarisch orientierte Analysen hin, in denen er feststellte, dass die Ertragsbildung im Wesentlichen im Zeitintervall vom 1. Mai bis 31. Juli erfolgt. Neben der Tagessumme der Niederschlagshöhe und dem Tagesmittel der Lufttemperatur spielen nach seinen Aussagen auch die Zahl heißer Tage ( $T_{\text{Max}} \geq 30,0 \text{ °C}$ ) eine entscheidende Rolle.

Differenziert werden in der Fachliteratur auch die auf das Wachstum der Pflanzen wirkenden – meist meteorologischen – Einflussgrößen bewertet.

WENKEL UND MIRSCHEL (1995) weisen in Feldexperimenten den Einfluss einer guten Wasserversorgung auf die Erträge nach, in denen sie die Erträge eines berechneten den einen unberechneten Bestandes gegenüberstellen. Demnach ergaben sich bei Winterweizen 43 % bzw. 31 % höhere Erträge in den berechneten Beständen.

In den Pflanzenentwicklungs- und Wachstumsmodellen der AGROSIM-Gruppe (WENKEL UND MIRSCHHEL, 1995) dienen neben dem Tagesmittel der Lufttemperatur, der **photosynthetisch aktiven Strahlung** ( $R_p$ ) und der **Niederschlagshöhe** (RR) die mittlere Lufttemperatur des Zeitintervalls zwischen Sonnenauf- und -untergang (Phototemperatur) sowie die der Nachtstunden (Nachttemperatur) als meteorologische Eingangs-Parameter.

Für die Entwicklung und Testung von Ertragsmodellen, mit denen Ertragsanomalien modelliert und fortgeschrieben werden können, unterteilen GORNOTT und WECHSUNG (2015) die Klimavariablen in zwei Haupteinflussfaktoren: Die Globalstrahlung, die nach MONTEITH (1977) das potentielle Wachstum bestimmt, einerseits und Stressfaktoren, die das Wachstum negativ beeinflussen, andererseits. Zu den Stressfaktoren zählen sie u.a. eine unzureichende Wasserversorgung, die durch den Niederschlag und die **potentielle Evapotranspiration** (ETP) abgebildet wird.

Dass Stressfaktoren territorial unterschiedlich wirken können, stellen LÜTTGER und FEIKE (2018) fest. Während Hitze-Stress (mit temporären Schwankungen) die Winterweizen-Erträge in allen Gebieten Deutschlands beeinflusst, wird Süd-Deutschland vom (ertragswirksamen) Trockenheits-Stress kontinuierlich verschont.

Detaillierte Angaben zu Schwellwerten für agrarrelevante Extremwetterlagen und deren Zuordnung zu definierten Zeiträumen des Erntejahres enthält GÖMANN et al., 2015 (Tabelle 3).

**Tab. 3** Schwellwerte für agrarrelevante Extremwetterlagen nach GÖMANN et al., 2015 ( $T_{\text{Min}}$  = Minimum der Lufttemperatur,  $T_{\text{Max}}$  = Maximum der Lufttemperatur)

**Tab. 3** Thresholds for extreme weather conditions relevant to agriculture (according to GÖMANN et al., 2015)

Agrarrelevante Extremwetterlage	Schwellwert	Zeitraum
Trockenheit	nutzbare Feldkapazität < 50 % (0 bis 60 cm)	01.01. bis 31.12.
Tage ohne Niederschlag	Niederschlagshöhe (Tagessumme) < 0,1 mm	01.03. bis 31.05.
Starkregen	Niederschlagshöhe (Tagessumme) > 20 mm	01.01. bis 31.12.
Dauerregen	Niederschlagshöhe (Tagessumme) > 5 mm	01.06. bis 30.11.
Nässe	nutzbare Feldkapazität > 100 % (0 bis 60 cm)	01.01. bis 31.12.
Winterfrost	$T_{\text{Min}} < -20\text{ °C}; < -15\text{ °C}; < -10\text{ °C}$	01.10. bis 31.05.
Wechselfrost	$T_{\text{Min}} < -3\text{ °C}$ und $T_{\text{Max}} > 3\text{ °C}$	01.01. bis 30.04.
Spätfrost	$T_{\text{Min}} < 0\text{ °C}; T_{\text{Min}} < -2\text{ °C}; T_{\text{Min}} < -4\text{ °C}$	01.04. bis 31.05.
Frühfrost	$T_{\text{Min}} < 0\text{ °C}$	01.09. bis 31.10.
Strahlung	Globalstrahlung (Tagessumme) > 2500 J d <sup>-1</sup> m <sup>-2</sup>	01.04. bis 31.07.
Hitze	$T_{\text{Max}} > 30\text{ °C}$	01.05. bis 31.08.
Wind	Windgeschwindigkeit (Tagesmittel) > 5 m/s	01.01. bis 31.12.
Sturm	Windgeschwindigkeit (Tagesmittel) > 10 m/s	01.01. bis 31.12.

#### Ableitung relevanter Einflussgrößen und Vegetationsphasen

Im Ergebnis der Literaturrecherche wurden die für die Entwicklung des Winterweizens prägnanten Vegetationsphasen definiert (Tabelle 4) und denen die wesentlichsten meteorologischen Einflussgrößen zugeordnet (Tabelle 5).

**Tab. 4** Analyzierte Vegetationsphasen der Entwicklung des Winterweizens

**Tab. 4** Analyzed vegetation phases of the winter-wheat development

<b>Vegetations-phase (Nr.)</b>	<b>ZeitIntervall</b>
1	30; 25; 20; 15; 10 bzw. 5 Tage vor Aussaat bis Aussaat
2	Aussaat bis 5; 10 bzw. 15 Tage nach Aussaat
3	5; 10 bzw. 15 Tage nach Aussaat bis Vegetationsende <sup>3</sup>
4	Vegetationsende bis Vegetationsbeginn <sup>3</sup>
5	Vegetationsbeginn bis Ende Bestockung (BBCH 29)
6	Beginn Schossen (BBCH 30) bis Ende Ährenschieben (BBCH 59)
7	Beginn bis Ende Blüte (BBCH 61 bis 69)
8	Beginn bis Ende Fruchtentwicklung (BBCH 71 bis 77)
9	Beginn bis Ende Frucht- und Samenreife (BBCH 83 bis 89)
10	10 bzw. 5 Tage vor Ernte bis Ernte

Anschließend erfolgte eine Analyse der korrelativen Zusammenhänge der meteorologischen Bedingungen jeder Vegetationsphase und der sich daraus ergebenden landwirtschaftlichen Erträge.

### **Zeitbereiche der Vegetationsphasen**

Die Zeitbereiche der Vegetationsphasen orientieren sich ausschließlich an aktuelle landwirtschaftliche Maßnahmen und Gegebenheiten, die den Entwicklungsstand der Pflanzen charakterisieren. Dazu gehören neben landwirtschaftlich relevanten Terminen (Aussaat, Ernte) durch die Vegetation bestimmte Zeitabschnitte und definierte Entwicklungsstadien des Winterweizens. Für statistische Analysen wurden den Vegetationsphasen, die sich aus landwirtschaftlich relevanten Terminen ergaben, unterschiedliche Zeitbereiche zugeordnet, deren Länge in der Bezeichnung der Vegetationsphase dokumentiert wurde.

Die Zeitbereiche aller Vegetationsphasen variieren von Erntejahr zu Erntejahr und werden entsprechend in ihrer zeitlichen Variabilität betrachtet und analysiert.

---

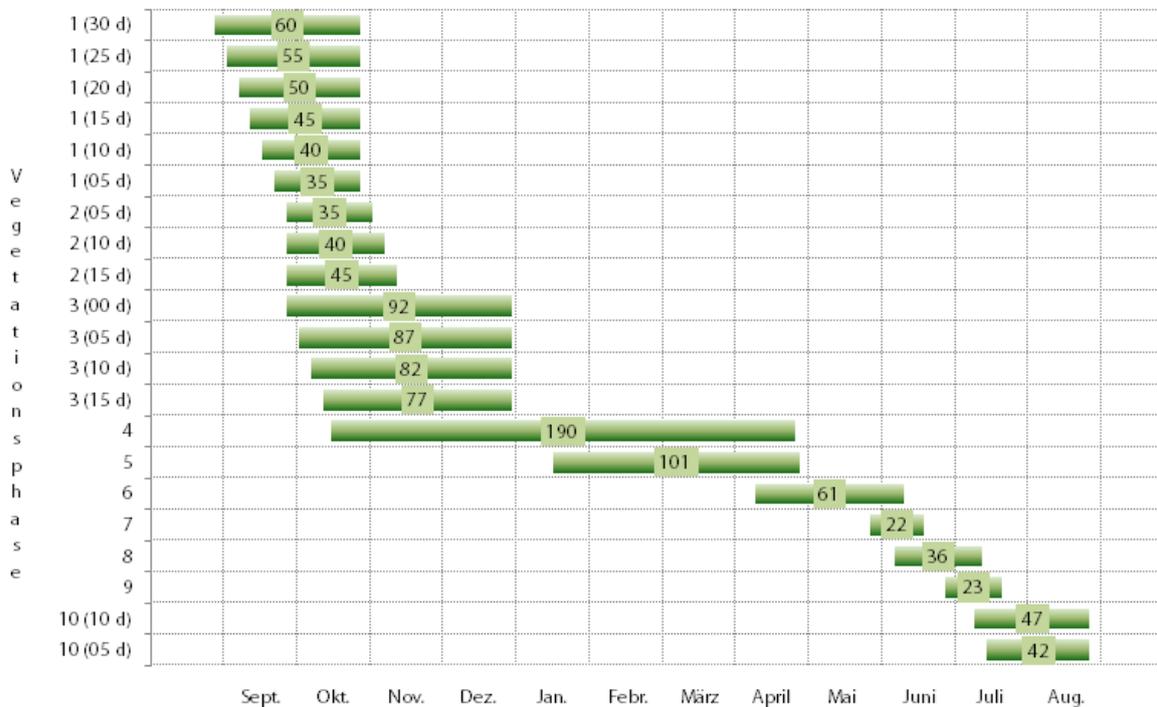
<sup>3</sup> nach CHMIELEWSKI (2003)

**Tab. 5** Zur Ertrags-Modellierung des Winterweizens verwendete meteorologische Parameter, Dahnsdorf, Erntejahre 1998 bis 2017

**Tab. 5** Meteorological parameters used to model the yield of winter-wheat, Dahnsdorf crop years 1998 to 2017

meteorologischer Parameter	Vegetationsphase									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Lufttemperatur (T)										
Tagesmittel (T)	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Extremwerte ( $T_{Min}$ , $T_{Max}$ )	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
WärmeSumme ( $T \geq 3,0$ °C)	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
WärmeSumme ( $T \geq 5,0$ °C)	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Zahl Eistage ( $T_{Max} < 0,0$ °C)				X						
Zahl Frosttage ( $T_{Min} < 0,0$ °C)			X	X	X	X	X			
Zahl Sommertage ( $T_{Max} \geq 25,0$ °C)						X	X	X	X	X
Zahl heiße Tage ( $T_{Max} \geq 30,0$ °C)						X	X	X	X	X
Zahl Tage ( $T \geq 10,0$ °C)					X					
Zahl Tage ( $T < 15,0$ °C)							X	X	X	X
Zahl Tage ( $0,0$ °C $< T \leq 5,0$ °C)				X						
Zahl Tage ( $5,0$ °C $\leq T < 10,0$ °C)					X					
Zahl Tage ( $T_{Min} < -20,0$ °C)				X						
Zahl Tage ( $T_{Min} < 5,0$ °C)	X	X	X				X			
Zahl Tage ( $T_{Min} < 10,0$ °C)									X	X
Zahl Tage ( $T_{Min} \geq 5,0$ °C)	X	X	X	X						
Zahl Tage ( $T_{Min} < -3,0$ °C; $T_{Max} \geq 3,0$ °C)			X	X						
Zahl Tage ( $T_{Min} \geq 0,0$ °C; $T_{Max} < 25,0$ °C)					X					
Zahl Tage ( $T_{Min} \geq 5,0$ °C; $T_{Max} < 25,0$ °C)					X	X	X	X	X	X
Zahl Tage ( $10,0$ °C $\leq T_{Max} < 15,0$ °C)					X					
Zahl Tage ( $10,0$ °C $\leq T_{Max} < 20,0$ °C)					X	X	X	X	X	X
Zahl Tage ( $25,0$ °C $\leq T_{Max} < 30,0$ °C)						X	X		X	X
Zahl Tage ( $T_{Max} \geq 15,0$ °C)	X	X	X	X	X					
Zahl Tage ( $T_{Max} \geq 20,0$ °C)	X				X					
Niederschlagshöhe (RR)										
Tagessumme	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Zahl Tage (RR > 0,0 mm)	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Zahl Tage (RR $\geq 3,0$ mm)	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Zahl Tage ( $3,0$ mm $\leq RR < 5,0$ mm)	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Zahl Tage (RR $\geq 5,0$ mm)	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Zahl Tage ( $5,0$ mm $\leq RR < 10,0$ mm)	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Zahl Tage (RR $\geq 10,0$ mm)	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Zahl Tage (RR $\geq 20,0$ mm)						X	X			
Globalstrahlung ( $R_G$ )										
Tagessumme					X	X	X	X	X	X
Zahl Tage ( $R_G \geq 7000$ W d <sup>-1</sup> m <sup>-2</sup> )						X	X	X	X	X
Sonstiges										
Länge des Intervalls (Tage)			X	X	X	X	X	X	X	
Bodenfeuchte/Saugspannung (Tagesmittel)	10	cm	X	X	X	X				
Bodenfeuchte/Saugspannung (Tagesmittel)	20	cm					X	X	X	X
Bodentemperatur 10 cm (Tagesmittel)			X	X	X	X				
Bodentemperatur 20 cm (Tagesmittel)							X	X	X	X

Abbildung 1 dokumentiert die Zeitbereiche und deren Andauer, über die sich die jeweiligen Vegetationsphasen der Erntejahre 1998 bis 2017 erstreckten: d.h. die Bereichsgrenzen dokumentieren das absolut früheste und absolut späteste Auftreten der Vegetationsphase innerhalb des Gesamtzeitraumes.



**Abb. 1** Zeitbereich zwischen frühestem Beginn und spätestem Ende der Vegetationsphasen, d = Tage

**Fig. 1** Time range between earliest beginning and latest end of vegetation phases

### Zusammenhang zwischen meteorologischen Parametern der Vegetationsphasen und dem Ertrag des Erntejahres (Methode I)

Der Zusammenhang zwischen den meteorologischen Parametern und dem Ertrag wurde separat für jede Vegetationsphase ermittelt. Einbezogen wurden die Erträge aller Parzellen (Wiederholungen) des Zeitraums 1997 bis 2017 (Erntejahre 1998 bis 2017), für den auch – mit Einschränkungen – die wesentlichsten meteorologischen Daten existierten. Die Einschränkungen betrafen Globalstrahlung (teilweise) sowie Bodenfeuchte und Bodentemperatur. Deren Werte standen für die Erntejahre 2004 bis 2010 und 2014 bis 2017 zur Verfügung. Entsprechend reduzierten sich die Analysen vorrangig auf diese Zeiträume.

In einem ersten Schritt erfolgte mit Hilfe der SAS-Prozedur PROC CORR die Berechnung der Korrelationskoeffizienten zwischen dem Ertrag einerseits und jedem meteorologischen bzw. Eingangs-Parameter andererseits. Anschließend wurde ( $\alpha=0,05$ ) mit Hilfe der Prozedur PROC GLMSELECT deren linearer Zusammenhang mit dem Ertrag modelliert. Bei der Erarbeitung des Ertrags-Modells wurde grundsätzlich auf die Vermeidung von Multikollinearität<sup>4</sup> zwischen den meteorologischen und Eingangs-Parametern geachtet und diese – sofern möglich – durch die Auswahl anderer Parameter beseitigt.

<sup>4</sup> Multikollinearität liegt vor, wenn zwei oder mehr erklärende Variablen stark miteinander korrelieren. Bei der Regressionsanalyse kann das zu Problemen bei der Auswahl der erklärenden Variablen führen.

## Vegetationsphase 1 (VorAussaat)

Dieser (vegetationslosen) Phase wurden verschieden lange Zeitintervalle, beginnend mit 30 Tagen vor Aussaat bis zur Aussaat und endend mit dem Zeitintervall 5 Tage vor Aussaat bis zur Aussaat, zugeordnet. Der Beginn des Zeitintervalls variierte jeweils um 5 Tage (Pentade).

Die in die Analysen einbezogenen meteorologischen Parameter (Tabelle 5) wurden teilweise variiert.

In Abhängigkeit vom betrachteten Zeitintervall sind sehr unterschiedliche (signifikante) Einflussgrößen auf das Ertragsmodell zu verzeichnen (Tabelle 6). Das gilt vor allem für die kürzeren Zeitabschnitte. Hier variieren sowohl die Anzahl der in das Ertrags-Modell einfließenden (signifikanten) Parameter (1 bis 6) als auch die Parameter selbst, die in der Regel neben der Bodentemperatur ( $T_B$ ) sowohl Werte der Lufttemperatur ( $T$ ) als auch der Niederschlagshöhe ( $RR$ ) beinhalten.

**Tab. 6** Parameter des Ertrags-Modells in Abhängigkeit des Zeitintervalls, Dahnsdorf, Erntejahre 2005 bis 2010 und 2014 bis 2017, Winterweizen, Vegetationsphase 1 (VorAussaat), Variante B, Methode I, T = Lufttemperatur, RR = Niederschlagshöhe, grün = ertragsfördernd, rot = ertragsmindernd

**Tab. 6** Parameters of the yield model depending on the time interval

Parameter	Zeitintervall (Zahl Tage vor Aussaat bis Aussaat)					
	05	10	15	20	25	30
Lufttemperatur (Tagesmittel)		grün				
$T_{Min}$ (mittleres tägliches Minimum)		rot				
$T_{Max}$ (mittleres tägliches Maximum)			grün			
Zahl Tage ( $T_{Min} \geq 5,0 \text{ }^\circ\text{C}$ )		grün				
Zahl Tage ( $T_{Max} \geq 15,0 \text{ }^\circ\text{C}$ )		rot	rot	rot	rot	rot
Niederschlagshöhe (Gesamtsumme)				rot	rot	rot
Zahl Tage ( $3,0 \text{ mm} \leq RR < 5,0 \text{ mm}$ )	rot	rot	rot	rot	rot	rot
Zahl Tage ( $5,0 \text{ mm} \leq RR < 10,0 \text{ mm}$ )		grün				
Zahl Tage ( $RR \geq 10,0 \text{ mm}$ )		rot			rot	rot
Bodentemperatur <sup>5</sup> (0,1 m Tiefe)					rot	grün
Anzahl Parameter mit $p < 0,05$ zum Ertrag	6	11	7	10	10	11
Adj. $R^2$	0,1937	0,3417	0,3773	0,3838	0,3441	0,3506
AICC-Kriterium	762,0	744,4	734,3	733,1	741,5	740,3

Das Ertrags-Modell mit der besten Anpassung ist das des 20-tägigen Zeitintervalls vor Aussaat (AICC = 733,1). Ab dem 15-tägigen Zeitintervall stabilisieren sich die Einflussgrößen des Ertrags-Modells. Danach wirkt eine hohe Zahl Tage mit Maxima der Lufttemperatur ( $T_{Max}$ )  $\geq 15,0 \text{ }^\circ\text{C}$ , eine hohe Gesamtsumme des Niederschlages sowie eine hohe Zahl Tage mit mittleren bis stärkeren Niederschlägen ( $3,0 \text{ mm} \leq RR < 5,0 \text{ mm}$ ) negativ auf den Ertrag.

Bei der Betrachtung längerer Zeitintervall (25 bzw. 30 Tage) gewinnt zusätzlich die Zahl Tage mit starken Niederschlägen ( $RR \geq 10,0 \text{ mm}$ ) einen negativen Einfluss auf den Ertrag.

<sup>5</sup> vegetationslos

## Vegetationsphase 2 (NachAussaat)

Analysiert wurden die Zeitintervalle zwischen der Aussaat und den darauf folgenden fünf, zehn bzw. 15 Tagen.

**Tab. 7** Parameter des Ertrags-Modells in Abhängigkeit des Zeitintervalls, Dahnsdorf, Erntejahre 2005 bis 2010 und 2014 bis 2017, Winterweizen, Vegetationsphase 2 (NachAussaat), Variante B, Methode I, T = Lufttemperatur, RR = Niederschlagshöhe, grün = ertragsfördernd, rot = ertragsmindernd, umrahmt: Multikollinearität

**Tab. 7** Parameters of the yield model depending on the time interval

Parameter	Zeitintervall (Aussaat bis Zahl Tage nach Aussaat)			
	05	10 a	10 b	15
WärmeSumme ( $T \geq 3,0 \text{ }^\circ\text{C}$ )				
WärmeSumme ( $T \geq 5,0 \text{ }^\circ\text{C}$ )				
$T_{\text{Min}}$ (mittleres tägliches Minimum)				
Zahl Tage ( $T_{\text{Min}} < 5,0 \text{ }^\circ\text{C}$ )				
Zahl Tage ( $T_{\text{Min}} \geq 5,0 \text{ }^\circ\text{C}$ )				
Zahl Tage ( $T_{\text{Max}} \geq 15,0 \text{ }^\circ\text{C}$ )				
Niederschlagshöhe (Gesamtsumme)				
Zahl Tage ( $RR > 0,0 \text{ mm}$ )				
Zahl Tage ( $3,0 \text{ mm} \leq RR < 5,0 \text{ mm}$ )				
Zahl Tage ( $5,0 \text{ mm} \leq RR < 10,0 \text{ mm}$ )				
Zahl Tage ( $RR \geq 10,0 \text{ mm}$ )				
Bodentemperatur (vegetationslos; 0,1 m Tiefe)				
Anzahl Parameter mit $p < 0,05$ zum Ertrag	4	7	6	8
Adj. $R^2$	0,3355	0,3824	0,3656	0,3350
AICC-Kriterium	745,5	737,0	738,8	744,3

Das 10-tägige Modell weist die beste Anpassung auf. Nach Beseitigung der Multikollinearität aus dem Ansatz des ursprünglichen Ertrags-Modells (Tabelle 7, Spalte 10a) kann dieses (Tabelle 7, Spalte 10b) wie folgt interpretiert werden: Eine hohe Wärmesumme ( $T \geq 5,0 \text{ }^\circ\text{C}$ ) bei einer gleichzeitig geringen Zahl Tage mit Minima der Lufttemperatur ( $T_{\text{Min}} \geq 5,0 \text{ }^\circ\text{C}$ ) fördert den Ertrag. Ebenfalls ertragsfördernd wirken eine hohe Zahl Tage mit Niederschlag ( $RR > 0,0 \text{ mm}$ ), bevorzugt mit mittleren bis stärkeren Tagessummen ( $3,0 \text{ mm} \leq RR < 5,0 \text{ mm}$ ). Eine hohe Zahl Tage mit starkem Niederschlag ( $RR \geq 10,0 \text{ mm}$ ) mindert den Ertrag.

## Vegetationsphase 3 (VorVegetationsruhe)

Betrachtet wird das nach der Aussaat beginnende und dem Vegetationsende (CHMIELEWSKI, 2003) endende Zeitintervall, das sich in den Analysen teilweise mit der Vegetationsphase 2 (NachAussaat) überschneidet. Die Vegetationsphase 3 variiert sehr stark in seiner Andauer; sie währte zwischen 16 Tagen im Jahr 1997 (Erntejahr 1998) und 79 Tagen im Jahr 2015 (Erntejahr 2016). Der Beginn dieses Zeitintervalls wurde – in 5-Tage-Schritten – zwischen dem Aussaat-Termin und 15 Tage nach Aussaat verschoben. In den Modell-Ansätzen wurden – mit dem Ziel einer besseren Anpassung der Modelle – einzelne meteorologische Parameter, jeweils einheitlich für alle Zeitintervalle, variiert.

**Tab. 8** Parameter des Ertrags-Modells in Abhängigkeit des Zeitintervalls, Dahnsdorf, Erntejahre 2005 bis 2010 und 2014 bis 2017, Winterweizen, Vegetationsphase 3 (VorWinter), Variante B, Methode I, T = Lufttemperatur, RR = Niederschlagshöhe, grün = ertragsfördernd, rot = ertragsmindernd

**Tab. 8** Parameters of the yield model depending on the time interval

Parameter	Beginn des Zeitintervalls (Zahl Tage nach Aussaat)			
	00	05	10	15
T <sub>Min</sub> (mittleres tägliches Minimum)				
T <sub>Max</sub> (mittleres tägliches Maximum)				
Zahl Tage (T <sub>Min</sub> ≥ 5,0 °C)				
Niederschlagshöhe (Gesamtsumme)				
Zahl Tage (3,0 mm ≤ RR < 5,0 mm)				
Zahl Tage (RR ≥ 5,0 mm)				
Zahl Tage (5,0 mm ≤ RR < 10,0 mm)				
Bodenfeuchte (vegetationslos, 0,1 m Tiefe)				
Bodentemperatur (vegetationslos; 0,1 m Tiefe)				
Anzahl Parameter mit p < 0,05 zum Ertrag	8	9	7	7
Adj. R <sup>2</sup>	0,1624	0,2620	0,1296	0,3688
AICC-Kriterium	768,7	755,2	772,0	737,0

In dieser Vegetationsphase ist eine hohe Variabilität der signifikanten Modell-Parameter erkennbar. Das gilt sowohl für die Parameter selbst und deren Anzahl sowie für die Güte der Anpassung.

Das bevorzugte Modell ist das 15-tägige. Dieses bewertet einerseits hohe mittlere Minima der Lufttemperatur als ertragsmindernd, andererseits eine hohe Zahl Tage mit Minima der Lufttemperatur (T<sub>Min</sub> ≥ 5,0 °C) als ertragsfördernd. Eine differenzierte Analyse der beiden Parameter der Lufttemperatur zeigt sehr hohe Erträge bei geringem mittleren Minima der Lufttemperatur und einer geringen Zahl Tage mit Minima der Lufttemperatur (T<sub>Min</sub> ≥ 5,0 °C) (Tabelle 9).

Geringe Erträge sind dagegen bei hohen mittleren Minima der Lufttemperatur zu verzeichnen. Gleichfalls ertragsmindernd wirken mittlere bis starke Niederschläge mit Tagessummen zwischen 3,0 mm und 10,0 mm (Tabelle 8).

**Tab. 9** Ertrag in Abhängigkeit des mittleren Minimums der Lufttemperatur und der Zahl Tage mit Minima der Lufttemperatur (T<sub>Min</sub> ≥ 5,0 °C), Dahnsdorf, Erntejahre 2005 bis 2010 und 2014 bis 2017, Winterweizen, Vegetationsphase 3, Ertrag: <70 dt/ha, 70 dt/ha ... < 80 dt/ha, 80 dt/ha ... < 90 dt/ha, ≥ 90 dt/ha

**Tab. 9** Yield depending on the mean minimum of air temperature and the number of days with minima of air temperature T<sub>Min</sub> ≥ 5.0 °C

Mittleres Minimum der Lufttemperatur	Zahl Tage T <sub>Min</sub> ≥ 5,0 °C				Gesamt
	< 10	10 bis 19	20 bis 29	≥ 30	
< 3,0 °C	95,2				95,2
3,0 °C bis < 4,0 °C	84,9		86,9		85,9
4,0 °C bis < 5,0 °C	90,0	72,5		80,9	81,1
≥ 5,0 °C	66,0	85,7			75,9
Gesamt	84,0	79,1	86,9	80,9	

## Vegetationsphase 4 (Vegetationsruhe)

Diese Vegetationsphase beinhaltet die Vegetationsruhe (Winter), die als Zeitintervall zwischen Vegetationsende des Vorjahres und Vegetationsbeginn des Erntejahres entsprechend CHMIELEWSKI (2003) definiert ist. In Einzelfällen treten innerhalb eines Jahres mehrere, die Definition erfüllende Termine auf. In diesem Fall wurde dem Vegetationsende dessen erstes, dem Vegetationsbeginn dessen letztes Auftreten zugeordnet.

Diese Vegetationsphase umfasst 67 (Erntejahr 2008) bis 162 Tage (Erntejahr 2003).

Auch in dieser Phase erfolgten Analysen mit variierenden meteorologischen Parametern.

Die Anpassung des Ertrags-Modells ist relativ gering. Es definiert nur eine signifikante Einflussgröße: Eine hohe Zahl Tage mit Maxima der Lufttemperatur ( $T_{\text{Max}} \geq 15,0 \text{ °C}$ ) – d.h. einer für diese Jahreszeit relativ hohen Lufttemperatur – mindert den Ertrag (Tabelle 10).

**Tab. 10** Parameter des Ertrags-Modells, Dahnsdorf, Erntejahre 2005 bis 2010 und 2014 bis 2017, Winterweizen, Vegetationsphase 4 (Vegetationsruhe), Variante B, Methode I, T = Lufttemperatur, rot = ertragsmindernd

**Tab. 10** Parameters of the yield model

Parameter	Parameterschätzer
Zahl Tage ( $T_{\text{Max}} \geq 15,0 \text{ °C}$ )	-28,318750
Anzahl Parameter mit $p < 0,05$ zum Ertrag	12
Adj. $R^2$	0,2326
AICC-Kriterium	756,2

## Vegetationsphase 5 (Bestockung)

Die Vegetationsphase umfasst das Zeitintervall zwischen Vegetationsbeginn entsprechend CHMIELEWSKI (2003) und dem Ende der Bestockung des Winterweizens (BBCH 29). In dieser Vegetationsphase existiert in Einzelfällen ein „doppelter“ Vegetationsbeginn. Die Länge dieser Phase differiert erheblich zwischen den einzelnen Jahren. Sie erstreckt sich zwischen 12 (Erntejahr 2003) und 95 Tage (Erntejahr 2008).

**Tab. 11** Parameter des Ertrags-Modells, Dahnsdorf, Erntejahre 2004 bis 2010 und 2014 bis 2017, Winterweizen, Vegetationsphase 5 (Bestockung), Variante B, Methode I, T = Lufttemperatur, RR = Niederschlagshöhe, grün = ertragsfördernd, rot = ertragsmindernd

**Tab. 11** Parameters of the yield model

Parameter	Parameterschätzer
Zahl Tage ( $5,0 \text{ °C} \leq T < 10,0 \text{ °C}$ )	4,431734
Zahl Frosttage ( $T_{\text{Min}} < 0,0 \text{ °C}$ )	-9,656410
Zahl Tage ( $3,0 \text{ mm} \leq \text{RR} < 5,0 \text{ mm}$ )	-20,980466
Zahl Tage ( $\text{RR} \geq 10,0 \text{ mm}$ )	-24,985000
Bodenfeuchte (vegetationslos, 0,1 m Tiefe)	4,026029
Globalstrahlung (Tagessumme)	0,345598
Anzahl Parameter mit $p < 0,05$ zum Ertrag	8
Adj. $R^2$	0,5088
AICC-Kriterium	662,8

Die aus der Witterung dieser Vegetationsphase resultierenden Erträge werden von vier meteorologischen Größen geprägt: Lufttemperatur, Niederschlagshöhe, Bodenfeuchte und Globalstrahlung. Eine hohe Zahl Tage mit moderaten Tagesmittelwerten ( $5,0\text{ °C} \leq T < 10,0\text{ °C}$ ) wirkt ertragsfördernd, eine hohe Zahl Frosttage ( $T_{\text{Min}} < 0,0\text{ °C}$ ) ertragsmindernd.

Geringere Erträge sind zudem bei einer hohen Zahl Tage mit mittlerem bis stärkerem ( $3,0\text{ mm} \leq RR < 5,0\text{ mm}$ ) und starkem ( $RR \geq 10,0\text{ mm}$ ) Niederschlag zu verzeichnen; eine hohe Bodenfeuchte und hohe Globalstrahlung steigern dagegen den Ertrag (Tabelle 11).

### Vegetationsphase 6 (Wachstum)

Die Vegetationsphase, die zwischen 38 (Erntejahr 2003) und 54 Tage (Erntejahr 2017) andauerte, beinhaltet das Zeitintervall zwischen Beginn des Schossen (BBCH 30) und Ende Ährenschieben (BBCH 59).

Ertragsfördernd wirken eine hohe Zahl Tage mit starkem Niederschlag ( $RR \geq 10,0\text{ mm}$ ) sowie eine hohe Zahl Tage mit starker Strahlungsintensität ( $R_G \geq 7000\text{ W m}^{-2}\text{ d}^{-1}$ ) (Tabelle 12).

Eine hohe Bodenfeuchte wird dagegen als ertragsmindernd ausgewiesen. Letztgenanntes ist kritisch zu bewerten. Ursache dessen könnte der lineare Ansatz des Ertrags-Modells sein:

**Tab. 12** Parameter des Ertrags-Modells, Dahnsdorf, Erntejahre 2004 bis 2009 und 2014 bis 2017, Winterweizen, Vegetationsphase 6 (Wachstum), Variante B, Methode I, RR = Niederschlagshöhe,  $R_G$  = Globalstrahlung grün = ertragsfördernd, rot = ertragsmindernd

**Tab. 12** Parameters of the yield model

Parameter		Parameterschätzer
Zahl Tage ( $RR \geq 10,0\text{ mm}$ )		9,043322
Bodenfeuchte (vegetationslos, 0,2 m Tiefe)		-4,363473
Zahl Tage ( $R_G \geq 7000\text{ W m}^{-2}\text{ d}^{-1}$ )		1,704061
Anzahl Parameter mit $p < 0,05$ zum Ertrag	9	
Adj. $R^2$	0,5448	
AICC-Kriterium	530,7	

Einzelanalysen zwischen dem Ertrag einerseits und jedem der signifikanten Parameter weisen für alle drei Parameter jeweils einen konvexen, leicht polynomialen Zusammenhang mit dem Ertrag aus (Polynom 2. Grades). Die Maxima des Ertrages werden danach bei maximaler Zahl Tage mit hoher Strahlungsintensität ( $R_G \geq 7000\text{ W m}^{-2}\text{ d}^{-1}$ ), bei einer Bodenfeuchte von 20 % und drei Tagen mit starkem Niederschlag ( $RR \geq 10,0\text{ mm}$ ) erreicht.

### Vegetationsphase 7 (Blüte)

Das Zeitintervall zwischen BBCH 61 und BBCH 69 definiert diese Vegetationsphase, die im betrachteten Zeitraum zwischen 7 (Erntejahr 2006) und 10 Tage (Erntejahr 2005 und 2009) währte.

Ihr Ertrags-Modell wird durch die Parameter mehrerer meteorologischer Größen beeinflusst (Tabelle 13). Eine hohe Zahl heißer Tage ( $T_{\text{Max}} \geq 30,0\text{ °C}$ ) mindert den Ertrag. Ertragsfördernd wirken hohe Tagessummen der Globalstrahlung sowie eine hohe Zahl Tage mit Niederschlag ( $RR \geq 0,0\text{ mm}$ ), wobei Tage mit mindestens mittlerem Niederschlag ( $RR \geq 3,0\text{ mm}$ ) zusätzliche positive Effekte verzeichnen.

**Tab. 13** Parameter des Ertrags-Modells, Dahnsdorf, Erntejahre 2004 bis 2009 und 2014 bis 2017, Winterweizen, Vegetationsphase 7 (Blüte), Variante B, Methode I, T = Lufttemperatur, RR = Niederschlagshöhe, grün = ertragsfördernd, rot = ertragsmindernd

**Tab. 13** Parameters of the yield model

Parameter		Parameterschätzer
Zahl heiße Tage ( $T_{Max} \geq 30,0$ °C)		-3,652378
Zahl Tage ( $RR > 0,0$ mm)		2,322676
Zahl Tage ( $RR \geq 3,0$ mm)		5,103936
Globalstrahlung (Tagessumme)		2,604501
Anzahl Parameter mit $p < 0,05$ zum Ertrag	12	
Adj. $R^2$	0,5520	
AICC-Kriterium	530,6	

### Vegetationsphase 8 (Fruchtentwicklung)

Die Vegetationsphase der Fruchtentwicklung beinhaltet die BBCH-Stadien 71 bis 77 (Feld-Bonituren) bzw. – bei Nutzung des Modells SIMONTO – 79. Sie umfasst ein Zeitintervall zwischen 21 und 23 Tagen.

In dieser Phase sind die Zahl der Sommertage ( $T_{Max} \geq 25,0$  °C) sowie die Zahl Tage mit stärkerem ( $RR \geq 5,0$  mm) und starkem ( $RR \geq 10,0$  mm) Niederschlag die für den Ertrag relevanten Parameter: Eine hohe Zahl Sommertage mindert, eine hohe Zahl Tage mit mindestens stärkerem Niederschlag erhöht diesen (Tabelle 14).

**Tab. 14** Parameter des Ertrags-Modells, Dahnsdorf, Erntejahre 2004 bis 2009 und 2014 bis 2017, Winterweizen, Vegetationsphase 8 (Fruchtentwicklung), Variante B, Methode I, T = Lufttemperatur, RR = Niederschlagshöhe, grün = ertragsfördernd, rot = ertragsmindernd

**Tab. 14** Parameters of the yield model

Parameter		Parameterschätzer
Zahl Sommertage ( $T_{Max} \geq 25,0$ °C)		-3,625873
Zahl Tage ( $RR \geq 5,0$ mm)		4,954777
Zahl Tage ( $RR \geq 10,0$ mm)		4,312240
Anzahl Parameter mit $p < 0,05$ zum Ertrag	17	
Adj. $R^2$	0,5920	
AICC-Kriterium	466,9	

Da die beiden Niederschlags-Parameter des Ertrags-Modells teilweise einander bedingen – ein Tag mit starkem Niederschlag ( $RR \geq 10,0$  mm) ist auch immer einer mit stärkerem Niederschlag ( $RR \geq 5,0$  mm) – ist Multikollinearität zu erwarten. Diese bestätigt sich nicht. Im Gegenteil: Wird der Parameter „Zahl Tage mit starkem Niederschlag ( $RR \geq 10,0$  mm)“ aus dem Modell-Ansatz entfernt, tritt – bei gleichem Bestimmtheitsmaß – der Parameter „Zahl Tage mit stärkerem bis starkem Niederschlag ( $5,0$  mm  $< RR \leq 10,0$  mm)“ an seine Stelle: In diesem Fall aber mit negativer Wirkung auf den Ertrag. Bei einem Verzicht des Parameters „Zahl Tage mit stärkerem Niederschlag ( $RR \geq 5,0$  mm)“ im Modell-Ansatz ergibt sich ein Ertrags-Modell, das ausschließlich Parameter der Lufttemperatur beinhaltet, die allerdings teilweise multikollinear sind.

Einzelanalysen des linearen Zusammenhanges zwischen Ertrag und signifikanten Parametern des ursprünglichen Ertrags-Modell entsprechend Tabelle 14 zeigen einen engen (negativen) Zusammenhang zwischen Ertrag und Zahl der Sommertage ( $R^2 = 0,8580$ ) einerseits und keinen ( $R^2 < 0,1$ ) bzw. einen sehr geringen ( $R^2 = 0,2922$ ) Zusammenhang zwischen Ertrag und Zahl Tage mit stärkerem ( $RR \geq 5,0$  mm) bzw. starkem ( $RR \geq 10,0$  mm) Niederschlag. Letztgenannter ist negativ und kontrahiert die Modell-Aussage eines positiven Einflusses einer hohen Zahl Tage mit starkem Niederschlag auf den Ertrag. In diesem Fall verbessert ein polynomialer Ansatz (Polynom 2. Grades) das Bestimmtheitsmaß deutlich ( $R^2 = 0,4560$ ). Die sich daraus ableitende Ertrags-Funktion verzeichnet für den Ertrag ein Maximum bei null und ein Minimum bei 2 Tagen mit starkem Niederschlag.

Auch die gemeinsame Analyse zweier Parameter gestattet keine klare Aussage hinsichtlich der Niederschlags-Parameter: Tabelle 15 dokumentiert die Erträge in den Kreuzungspunkten des in Klassen eingeteilten Parameters der Lufttemperatur „Zahl Sommertage“ sowie dem des Niederschlages „Zahl Tage ( $RR \geq 5,0$  mm)“. Während bei Erstgenanntem eine deutliche Minderung des Ertrages bei einer zunehmenden Zahl Sommertage erkennbar ist (letzte Spalte), ist dieses beim Niederschlags-Parameter nicht gegeben (letzte Zeile).

**Tab. 15** Mittlerer Ertrag in Abhängigkeit der Zahl der Sommertage ( $T_{Max} \geq 25,0$  °C) und der Zahl Tage mit mindestens stärkerem Niederschlag ( $RR \geq 5,0$  mm), Dahnsdorf, Erntejahre 2004 bis 2009 und 2014 bis 2016, Winterweizen, Vegetationsphase 8 (Fruchtentwicklung), Ertrag:  $< 60$  dt/ha,  $60$  dt/ha ...  $< 70$  dt/ha,  $70$  dt/ha ...  $< 80$  dt/ha,  $80$  dt/ha ...  $< 90$  dt/ha,  $90$  dt/ha ...  $< 100$  dt/ha,  $\geq 100$  dt/ha

**Tab. 15** Yield depending on the number of summer days ( $T_{Max} \geq 25.0$  °C) and the number of days with at least more precipitation ( $RR \geq 5.0$  mm)

Zahl Sommertage	Zahl Tage ( $RR \geq 5,0$ mm)				Gesamt
	2	3	4	5	
0 bis 3	95,2		101,2		98,2
4 bis 7			88,3		88,3
8 bis 11	66,0			80,9	73,5
12 bis 15			55,6		55,6
Gesamt	80,6		81,7	80,9	

Dass die Auswahl eines Parameters die im Ergebnis einer Analyse getroffene Aussage wesentlich beeinflussen kann, dokumentiert Tabelle 16. In ihr wurden die mittleren Erträge in Abhängigkeit der Zahl Tage mit definierten Niederschlagshöhen ermittelt. Zeile 1 beinhaltet das Gesamtkollektiv, das in Zeile 2 und 3 in zwei Teilbereiche gesplittet wurde.

**Tab. 16** Mittlerer Ertrag in Abhängigkeit der Zahl Tage definierter Niederschlagshöhen, Dahnsdorf, Erntejahre 2004 bis 2009 und 2014 bis 2016, Winterweizen, Vegetationsphase 8 (Fruchtentwicklung), Ertrag:  $70$  dt/ha ...  $< 80$  dt/ha,  $80$  dt/ha ...  $< 90$  dt/ha,  $90$  dt/ha ...  $< 100$  dt/ha,  $\geq 100$  dt/ha

**Tab. 16** Average yield depending on the number of days of defined precipitation heights

Zeile Nr.	Tagessumme der Niederschlagshöhe	Zahl Tage mit Tagessummen der Niederschlagshöhe ...					
		0	1	2	3	4	5
1	$\geq 5,0$ mm			80,6		82,9	80,9
2	5,0 mm bis $< 10,0$ mm	80,6		73,8	89,7	101,2	
3	$\geq 10,0$ mm	101,2	89,7	75,0	80,9		

Während sich im Gesamtkollektiv die Erträge in Abhängigkeit der Zahl Tage nur unwesentlich unterscheiden, verhalten sich diese – die höchsten Erträge betreffend – in den Teilbereichen konträr: In einem treten die Höchsterträge bei (fast) maximaler, im anderen bei minimaler Zahl Tage auf. Ursache ist ein einzelnes (sehr ertragreiches) Jahr, in dem die

Tagessummen der stärkeren Niederschläge alle im Bereich zwischen 5,0 mm und < 10,0 mm lagen; keine jedoch 10,0 mm erreichte.

Das weist auf ein grundsätzliches Problem der Analysen hin: Durch die begrenzte Anzahl verfügbarer Daten (Jahre), gewinnen Einzeljahre – in diesem Fall jene mit geringen bzw. hohen Erträgen – deutlich an Gewicht.

### Vegetationsphase 9 (Frucht- und Samenreife)

Diese Vegetationsphase beinhaltet die BBCH-Stadien 83 bis 89 (Feld-Bonituren) bzw. 80 bis 89 (Simulationsmodell SIMONTO). Sie währte 7 (Erntejahr 2000 und 2005) bis 10 Tage (Erntejahr 1998).

Sie wird durch Parameter sämtlicher, in die Analyse einbezogener meteorologischen Größen (Lufttemperatur, Niederschlagshöhe, Bodenfeuchte, Bodentemperatur, Globalstrahlung) geprägt (Tabelle 17). Das ursprüngliche – mit den (Eingangs-)Parametern entsprechend Tabelle 5 berechnete – Modell (Modell 1) weist Multikollinearität auf. Diese wurde beseitigt, indem die Parameter „Wärmesumme ( $T \geq 3,0 \text{ }^\circ\text{C}$ )“ und „Wärmesumme ( $T \geq 5,0 \text{ }^\circ\text{C}$ )“ (Modell 2) bzw. „ $T_{\text{Min}}$  (mittleres tägliches Minimum)“ und „Zahl heiße Tage ( $T_{\text{Max}} \geq 30,0 \text{ }^\circ\text{C}$ )“ (Modell 3) aus dem Modellansatz entfernt wurden. Beide – aus dieser Änderung resultierenden – Ertrags-Modelle sind gut interpretierbar: Im Modell 2 wirken eine hohe Zahl Tage mit (geringen) Tagesmitteltemperaturen ( $T < 15,0 \text{ }^\circ$ ), eine hohe Zahl Tage mit mindestens mittleren Niederschlägen ( $RR \geq 3,0 \text{ mm}$ ), hohe Bodenfeuchte und hohe Bodentemperatur sowie eine hohe Zahl Tage mit hoher Intensität der Globalstrahlung ( $R_G \geq 7000 \text{ W d}^{-1} \text{ m}^{-2}$ ) ertragsfördernd. Im Modell 3 sind es eine hohe Zahl Tage mit mittleren bis stärkeren Niederschlägen ( $3,0 \text{ mm} \leq RR < 5,0 \text{ mm}$ ), hohe Bodenfeuchte und hohe Bodentemperatur.

**Tab. 17** Parameter des Ertrags-Modells, Dahnsdorf, Erntejahre 2004 bis 2009 und 2014 bis 2016, Winterweizen, Vegetationsphase 9 (Frucht- und Samenreife), Variante B, Methode I, T = Lufttemperatur, RR = Niederschlagshöhe,  $R_G$  = Globalstrahlung, grün = ertragsfördernd, rot = ertragsmindernd, umrahmt: Multikollinearität

**Tab. 17** Parameters of the yield model

Parameter	Modell 1	Modell 2	Modell 3
WärmeSumme ( $T \geq 3,0 \text{ }^\circ\text{C}$ )			
Zahl Tage ( $T < 15,0 \text{ }^\circ\text{C}$ )			
Zahl Sommertage ( $T_{\text{Max}} \geq 25,0 \text{ }^\circ\text{C}$ )			
Zahl heißeTage ( $T_{\text{Max}} \geq 30,0 \text{ }^\circ\text{C}$ )			
Zahl Tage ( $RR \geq 3,0 \text{ mm}$ )			
Zahl Tage ( $3,0 \text{ mm} \leq RR < 5,0 \text{ mm}$ )			
Bodenfeuchte (vegetationslos, 0,2 m Tiefe)			
Bodentemperatur (vegetationslos; 0,2 m Tiefe)			
Zahl Tage ( $R_G \geq 7000 \text{ W d}^{-1} \text{ m}^{-2}$ )			
Anzahl Parameter mit $p < 0,05$ zum Ertrag	21	19	19
Adj. $R^2$	0,5528	0,5478	0,5448
AICC-Kriterium	544,0	545,0	544,3

### Vegetationsphase 10 (VorErnte)

Betrachtet werden die Zeitintervalle fünf bzw. zehn Tage vor der Ernte bis zur Ernte.

Die Ertrags-Modelle beider Zeitintervalle unterscheiden sich hinsichtlich ihrer relevanten meteorologischen Größen (Tabelle 18). Beiden gemein ist der positive Einfluss der Zahl Tage mit mittleren bis stärkeren Niederschlägen ( $3,0 \text{ mm} \leq \text{RR} < 5,0 \text{ mm}$ ) und die ertragsmindernde Wirkung einer hohen Zahl Tage mit starkem Niederschlag ( $\text{RR} \geq 10,0 \text{ mm}$ ).

**Tab. 18** Parameter des Ertrags-Modells in Abhängigkeit des Zeitintervalls, Dahnsdorf, Erntejahre 2004 bis 2009 und 2014 bis 2016, Winterweizen, Vegetationsphase 10 (VorErnte), Variante B, Methode I, T = Lufttemperatur, RR = Niederschlagshöhe,  $R_G$  = Globalstrahlung, grün = ertragsfördernd, rot = ertragsmindernd

**Tab. 18** Parameters of the yield model depending on the time interval

Parameter	Beginn des Zeitintervalls (Zahl Tage vor Ernte)	
	05 Tage	10 Tage
Zahl Tage ( $T < 15,0 \text{ }^\circ\text{C}$ )		11,647833
Zahl Tage ( $10,0 \text{ }^\circ\text{C} \leq T_{\text{Max}} < 20,0 \text{ }^\circ\text{C}$ )		-7,329805
Zahl Tage ( $3,0 \text{ mm} \leq \text{RR} < 5,0 \text{ mm}$ )	3,002629	12,874319
Zahl Tage ( $\text{RR} \geq 10,0 \text{ mm}$ )	-35,082947	-40,273630
Globalstrahlung (Tagessumme)	3,958030	
Zahl Tage ( $R_G \geq 7000$ )	-19,978707	
Anzahl Parameter mit $p < 0,05$ zum Ertrag	8	15
Adj. $R^2$	0,5154	0,5564
AICC-Kriterium	549,8	542,0

Die Unterschiede betreffen Lufttemperatur und Globalstrahlung: Im 10-tägigen Zeitintervall beeinflusst – neben der Niederschlagshöhe – die Lufttemperatur den Ertrag, im 5-tägigen ist es die Globalstrahlung. Beide meteorologische Größen treten mit jeweils zwei Parametern in Erscheinung: Im 5-tägigen Intervall erhöht eine hohe Tagessumme der Globalstrahlung den Ertrag, eine hohe Zahl Tage mit intensiver Strahlung ( $R_G \geq 7000 \text{ W m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ ) verringert ihn. Im 10-tägigen Intervall ist eine hohe Zahl geringer Tagesmittel der Lufttemperatur ( $T < 15,0 \text{ }^\circ\text{C}$ ) ertragsfördernd, eine hohe Zahl Tage mit geringen Maxima ( $10,0 \text{ }^\circ\text{C} \leq T_{\text{Max}} < 20,0 \text{ }^\circ\text{C}$ ) dagegen ertragsmindernd.

In der Analyse der mittleren Erträge in Abhängigkeit der beiden Parameter sind deutliche Unterschiede erkennbar (Tabelle 19).

**Tab. 19** Mittlerer Ertrag (in dt/ha) in Abhängigkeit ausgewählter meteorologischer Parameter, Dahnsdorf, Erntejahre 2004 bis 2009 und 2014 bis 2016, Winterweizen, Vegetationsphase 10, T = Tagesmittel der Lufttemperatur,  $T_{\text{Max}}$  = Tages-Maximum der Lufttemperatur

**Tab. 19** Average yield depending on selected meteorological parameters

Parameter	Zahl Tage mit Eintritt des meteorologischen Parameters			
	0	1	2	3
Zahl Tage ( $T < 15,0 \text{ }^\circ\text{C}$ )	81,0	79,7	-	80,9
Zahl Tage ( $10,0 \text{ }^\circ\text{C} \leq T_{\text{Max}} < 20,0 \text{ }^\circ\text{C}$ )	73,6	90,9	66,0	80,9

Während sich die Erträge in Abhängigkeit der Zahl Tage  $T < 15,0 \text{ }^\circ\text{C}$  kaum unterscheiden, variieren jene in Abhängigkeit der Zahl Tage  $10,0 \text{ }^\circ\text{C} \leq T_{\text{Max}} < 20,0 \text{ }^\circ\text{C}$  erheblich. Allerdings gilt auch hier der Hinweis, dass für die Analyse nur eine begrenzte Anzahl Jahre zur Verfügung stand.

### **Stabilität der Ergebnisse der Analysen**

Die Ergebnisse der Analysen basieren ausschließlich auf langjährigen Mess- und Beobachtungsergebnissen. Mit Ausnahme des Modells SIMONTO, das einer – eine 7-tägige, stichpunktartigen Beobachtung nutzend – differenzierteren Festlegung der BBCH-Stadien des Winterweizens diene, wurde gezielt auf die Einbeziehung von Modellen und eine darauf basierende Ergänzung fehlender Werte verzichtet. Daraus ergeben sich Einschränkungen.

Die wesentlichste betrifft den analysierten Zeitraum. Grundsätzlich steht Datenmaterial für den Zeitraum der Erntejahre 1998 bis 2017 zur Verfügung. Die Ausnahme bilden – in unterschiedlichem Maße – Globalstrahlung, Bodentemperatur und Bodenfeuchte. Vor allem die Bodenfeuchte konnte nur innerhalb einer begrenzten Anzahl von Jahren (2004 bis 2010 und 2013 bis 2017) ermittelt werden. Da jedoch jeder dieser Parameter in einigen der analysierten Vegetationsphasen den Ertrag beeinflussen, wurden sie – der Vergleichbarkeit halber – in allen Vegetationsphasen berücksichtigt: Daraus ergibt sich die Reduzierung des analysierten Zeitraums, und damit ggf. die Zuverlässigkeit der Ergebnisse der statistischen Auswertungen.

Eine weitere Einschränkung der Aussagen kann sich aus der Wahl der in die Analysen einbezogenen meteorologischen Parameter ergeben. Grundsätzlich wurden Parameter gewählt, die in der Klimatologie üblich sind bzw. die in der Literatur (Literaturrecherche) als für den Ertrag relevant benannt wurden. Das führte nicht immer zu interpretierbaren Ergebnissen; teilweise sogar zu Widersprüchen. Als Stichwort sei Multikollinearität zwischen den ausgewählten meteorologischen Parametern genannt. Um diese einerseits zu vermeiden und andererseits eine optimale Anpassung des Ertrags-Modells zu erreichen, wurden die Parameter variiert: Ohne garantieren zu können, den wirklich optimalsten Parameter gewählt zu haben.

Da es den Autoren als wichtig erscheint, den Einfluss beider Aspekte quantifizieren zu können, wurden nachfolgend einige vergleichende Analysen vorgenommen.

### **Einfluss des analysierten Zeitraums**

Die Witterungsbedingungen – und damit auch die Wachstums- und Ertrags-Parameter der Pflanzen – variieren zwischen den Jahren. Das kann zu differierenden Aussagen hinsichtlich der signifikanten Parameter des Ertrags-Modells führen. Um deren Stabilität in Abhängigkeit vom analysierten Zeitraum zu prüfen, wurden – beispielhaft für eine Vegetationsphase – fünf verschiedene Zeiträume (Z1 bis Z5) betrachtet. Die meteorologischen Parameter blieben unverändert. Ausgewählt wurde die Vegetationsphase 8 (Fruchtentwicklung). Diese bietet folgende Vorteile:

- Globalstrahlung, Bodentemperatur und –feuchte besitzen in dieser Phase keinen Einfluss auf den Ertrag, so dass der Gesamtzeitraum (Erntejahre 1998 bis 2017) betrachtet und gesplittet werden konnte,
- sie erstreckt sich über ein relativ eng begrenztes Zeitintervall (2. Juni-Dekade bis Mitte Juli) mit gering variierender Länge (21 bis 23 Tage),

- in ihr sind deutliche Einflüsse der meteorologischen Parameter auf den Ertrag zu erwarten.

Die Ergebnisse der Analyse zeigen, dass der betrachtete Zeitraum wesentlich die in das Ertrags-Modell einfließenden (signifikanten) meteorologischen und Wachstums-Parameter, deren Anzahl und Wirkung sowie die Anpassung des Modells beeinflussen (Tabelle 20).

**Tab. 20** Parameter der Ertrags-Modelle in Abhängigkeit des analysierten Zeitraums (Z.), Dahnsdorf, Winterweizen, Vegetationsphase 8 (Fruchtentwicklung), Variante A, Methode I, Z1 = 1998 – 2017, Z2 = 1998 – 2010, Z3 = 2005 – 2017, Z4 = 2009 – 2015, Z5 = 2004 – 2009; 2013 – 2016, T = Lufttemperatur, RR = Niederschlagshöhe, grün = ertragsfördernd, rot = ertragsmindernd, umrahmt: Multikollinearität

**Tab. 20** Parameters of the yield model depending on the analyzed period (Z.)

Parameter	Analysierter Zeitraum (Z.)				
	Z1	Z2	Z3	Z4	Z5
Länge der Vegetationsphase (Tage)		grün		grün	
Lufttemperatur (Tagesmittel)	rot				
WärmeSumme ( $T \geq 3,0 \text{ °C}$ )					
WärmeSumme ( $T \geq 5,0 \text{ °C}$ )			rot		
Zahl Tage ( $T < 15,0 \text{ °C}$ )					
$T_{\text{Min}}$ (mittleres tägliches Minimum)		rot			
Zahl Sommertage ( $T_{\text{Max}} \geq 25,0 \text{ °C}$ )	grün	grün			rot
Zahl heiße Tage ( $T_{\text{Max}} \geq 30,0 \text{ °C}$ )		grün			
Zahl Tage ( $T_{\text{Min}} \geq 5,0 \text{ °C}; T_{\text{Max}} < 25,0 \text{ °C}$ )		rot			
Zahl Tage ( $10,0 \text{ °C} \leq T_{\text{Max}} < 20,0 \text{ °C}$ )		rot		grün	
Niederschlagshöhe (Gesamtsumme)		grün			
Zahl Tage ( $RR > 0,0 \text{ mm}$ )		grün			
Zahl Tage ( $RR > 3,0 \text{ mm}$ )		rot			
Zahl Tage ( $3,0 \text{ mm} \leq RR < 5,0 \text{ mm}$ )				rot	
Zahl Tage ( $RR \geq 5,0 \text{ mm}$ )	grün				grün
Zahl Tage ( $RR \geq 10,0 \text{ mm}$ )		grün			
Anzahl Parameter mit $p < 0,05$ zum Ertrag	16	17	11	14	14
Adj. $R^2$	0,3274	0,6107	0,1911	0,4157	0,5920

Letztendlich ist für die verschiedenen Zeiträume keine einheitliche Aussage hinsichtlich der den Ertrag beeinflussenden meteorologischen Parameter möglich. Sie variieren sehr stark. Modell Z2 weist erhebliche Multikollinearität auf, so dass es zunächst nicht weiter in die Betrachtungen einbezogen wird. Bei den verbleibenden Modellen werden lediglich zwei Parameter in mehr als einem Modell berücksichtigt; einer davon mit entgegengesetzter Wirkung. Die Anzahl der in die Modelle einfließenden signifikanten Parameter schwankt zwischen einem und drei, das adjustierte Bestimmtheitsmaß (adj.  $R^2$ ) zwischen 0,1911 und 0,5920.

Auch die Länge des analysierten Zeitraumes ist offensichtlich unbedeutend. Es ist kein Zusammenhang zwischen ihr und der Güte der Anpassung des zugehörigen Modells zu erkennen. So gelingt z.B. dem Modell des Gesamtzeitraumes (Erntejahre 1998 bis 2017) lediglich die zweitschlechteste Anpassung: Modelle kürzerer Zeiträume verzeichnen dagegen teilweise deutlich höhere Bestimmtheitsmaße.

Die Multikollinearität des Modells Z2 konnte durch die Eliminierung der Parameter „Zahl Tage ( $T_{\text{Min}} \geq 5,0 \text{ °C}; T_{\text{Max}} < 25,0 \text{ °C}$ )“ und „Zahl Sommertage ( $T_{\text{Max}} \geq 25,0 \text{ °C}$ )“ aus dem Modellansatz beseitigt werden. In diesem Fall reduziert sich das Modell – bei einem Bestimmtheitsmaß  $R^2 = 0,4284$  – auf fünf signifikante Parameter.

## Einfluss der analysierten meteorologischen Größen und Parameter

In der Klimatologie ist es üblich, neben Mittel- und Extremwerten Auszählungen der Tage definierter Ereignisse (Zahl Tage) vorzunehmen. Diese Ereignisse orientieren sich meist an Schwellwerten; d.h. an deren Über- bzw. Unterschreitung. Verschiedene Schwellwerte für eine meteorologische Größe erweisen sich dabei für statistische Auswertungen durchaus als sinnvoll. Sie bergen aber auch die Gefahr einer starken Korrelation untereinander in sich. So ist z.B. ein Tag mit einem Maximum der Lufttemperatur ( $T_{\text{Max}} \geq 30,0 \text{ °C}$ ) (heißer Tag) auch immer ein Tag mit  $T_{\text{Max}} \geq 25,0 \text{ °C}$  (Sommertag). In der Landwirtschaft ist aber wesentlich, zwischen einem „heißen Tag“ und einem „Sommertag“ zu unterscheiden. Um durch die Wahl beider meteorologischen Parameter Multikollinearität zu vermeiden, wurden „nicht übliche“ meteorologische Parameter definiert, die sich nicht an Schwellwerten, sondern an Schwellwert-Bereichen (z.B.  $25,0 \text{ °C} \leq T_{\text{Max}} < 30,0 \text{ °C}$ ) orientieren. Derartige Parameter wurden in die Analysen mit einbezogen.

Ihre Auswahl erfolgte unter zwei Aspekten: Zum Einen wurden die in die Analyse einbezogenen meteorologischen Größen, zum Anderen die Parameter ausgewählter meteorologischer Größen variiert.

## Einfluss der analysierten meteorologischen Größen

Im Rahmen dieser Arbeit standen für den kompletten Zeitraum (Erntejahre 1998 bis 2017) Daten der meteorologischen Größen Lufttemperatur und Niederschlagshöhe (Variante A), für einen eingeschränkten Zeitraum (Erntejahre 2004 bis 2009 und 2013 bis 2016) zusätzlich die der Globalstrahlung, Bodentemperatur und Bodenfeuchte (Variante B) zur Verfügung. Für den Zeitraum der Variante B, in dem in vier der zehn Vegetationsphasen mindestens eine zusätzliche meteorologische Größe den Ertrag signifikant mitbestimmte, wurde – unter Verwendung gleicher Parameter der Lufttemperatur und Niederschlagshöhe – der Einfluss der Einbeziehung dieser zusätzlichen meteorologischen Größen auf die Ertrags-Modelle untersucht (Tabelle 21).

**Tab. 21** Maßzahlen der Ertrags-Modelle in Abhängigkeit der analysierten meteorologischen Größen, Dahnsdorf, Erntejahre 2004 bis 2009 und 2013 bis 2016, Winterweizen, Methode I, Adj.R<sup>2</sup> = adjustiertes Bestimmtheitsmaß, Anz. p<0,05 = Anzahl Parameter mit p<0,05 zum Ertrag, Anz. sig. Param. = Anzahl signifikanter Parameter des Ertrags-Modells, umrahmt: Multikollinearität

**Tab. 21** Measures of the yield models depending on the analyzed meteorological variables

Vegetationsphase	Variante A			Variante B		
	Adj. R <sup>2</sup>	Anz. p<0,05	Anz. sig. Param.	Adj. R <sup>2</sup>	Anz. p<0,05	Anz. sig. Param.
1 (Zeitintervall: 20 Tage)	0,3838	9	3	0,3838	10	3
2 (Zeitintervall: 10 Tage <sup>6</sup> )	0,3656	4	5	0,3656	6	5
3 (Zeitintervall: 15 Tage)	0,3688	5	4	0,3688	7	4
4	0,2326	10	1	0,2326	12	1
5	0,0904	8	1	0,5088	8	5
6	0,5641	7	4	0,5448	9	3
7				0,5520	12	4
8	0,5920	14	3	0,5920	17	3
9 <sup>7</sup>	0,5284	17	6	0,5478	19	5
10 (Zeitintervall: 10 Tage)	0,5564	12	4	0,5564	15	4

<sup>6</sup> Angepasstes Modell (Tab. 7, Spalte 10b)

<sup>7</sup> Angepasstes Modell (Tab. 17, Modell 2)

In zwei dieser vier Vegetationsphasen ist ein hoher Informationsgewinn zu verzeichnen: Das Bestimmtheitsmaß des Modells der Vegetationsphase 5 erhöht sich erheblich, in der Vegetationsphase 7 wird durch die Beseitigung der Multikollinearität eine Modellbildung erst ermöglicht. Andererseits verringert sich das Bestimmtheitsmaß des Ertrags-Modells der Vegetationsphase 6 durch die Einbeziehung dieser: Die Parameter der Lufttemperatur und der Niederschlagshöhe erfassen – in diesem Fall – den Zusammenhang zwischen Ertrag und Witterung besser als das mit den zusätzlichen meteorologischen Größen möglich ist (Tabelle 22).

**Tab. 22** Parameter der Ertrags-Modelle in Abhängigkeit der analysierten meteorologischen Größen, Dahnsdorf, Erntejahre 2004 bis 2009 und 2014 bis 2017, Winterweizen, Vegetationsphase 6 (Wachstum), Methode I, T = Lufttemperatur, RR = Niederschlagshöhe, R<sub>G</sub> = Globalstrahlung, grün = ertragsfördernd, rot = ertragsmindernd

**Tab. 22** Parameters of the yield models depending on the analyzed meteorological variables

Parameter	Variante A	Variante B	
		Parameter-schätzer	Parameter-schätzer
WärmeSumme ( $T \geq 5,0 \text{ }^\circ\text{C}$ )		-0,851935	
Zahl Frosttage ( $T_{\text{Min}} < 0,0 \text{ }^\circ\text{C}$ )		3,918568	
Zahl Tage ( $10,0 \text{ }^\circ\text{C} \leq T_{\text{Max}} < 20,0 \text{ }^\circ\text{C}$ )		1,061851	
Zahl Tage ( $RR \geq 10,0 \text{ mm}$ )		11,95408	9,043322
Bodenfeuchte (vegetationslos, 0,2 m Tiefe)			-4,363473
Zahl Tage ( $R_G \geq 7000 \text{ W m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ )			1,704061
Anzahl Parameter mit $p < 0,05$ zum Ertrag		7	9
Adj. R <sup>2</sup>		0,5641	0,5448

Entsprechend ergibt sich eine andere Interpretation des Ertrags-Modells der Variante A gegenüber dem der Variante B. Demnach sind kühle Tage (einschließlich Frosttage) mit (relativ) geringen Maxima und eine hohe Zahl Tage mit starkem Niederschlag ( $RR \geq 10,0 \text{ mm}$ ) ertragsfördernd; eine hohe Wärmesumme ( $T \geq 5,0 \text{ }^\circ\text{C}$ ) ertragsmindernd.

Insgesamt bietet die Einbeziehung zusätzlicher meteorologischer Größen (in diesem Fall: Globalstrahlung, Bodentemperatur und Bodenfeuchte) in die Analysen Vorteile. Diese werden – im Gegensatz zu den „Standardgrößen“ (Lufttemperatur und Niederschlagshöhe) – jedoch nur eingeschränkt verfügbar sein. Das könnte – auch wenn die erforderlichen Werte durch Modelle ergänzt werden – Probleme hervorrufen.

### Einfluss der analysierten meteorologischen Parameter

Der Einfluss der Auswahl der Parameter wurde für sieben verschiedene Versionen (V1 bis V7) untersucht. Betrachtet wurde die Vegetationsphase 8 (Fruchtentwicklung), in der kein Einfluss der zusätzlichen meteorologischen Größen auf den Ertrag signifikant nachweisbar ist. Das ermöglichte Analysen sowohl des Gesamtzeitraumes (Erntejahre 1998 bis 2017) als auch des Zeitraumes der besten Anpassung des Modells (Erntejahre 2004 bis 2009 sowie 2014 bis 2016). Allen Versionen wurde einheitlich eine feste Anzahl Parameter zugeordnet (Tabelle 23), die – für die jeweilige Version unterschiedlich – durch variable Parameter (Tabelle 24) ergänzt wurden.

**Tab. 23** Parameter der analysierten Versionen (V1 bis V7), Dahnsdorf, Winterweizen, Vegetationsphase 8 (Fruchtentwicklung), Methode I

**Tab. 23** Parameters of the analyzed versions (V1 to V7)

Parameter	Parameter
Ertrag (dt/ha)	WärmeSumme (T > 3,0 °C)
Länge der Vegetationsphase	WärmeSumme (T > 5,0 °C)
Lufttemperatur T (Tagesmittel)	Niederschlagshöhe RR (Gesamtsumme)
T <sub>Min</sub> (mittleres tägliches Minimum)	Zahl Tage mit Niederschlag (RR > 0,0 mm)
T <sub>Max</sub> (mittleres tägliches Maximum)	Zahl Tage (RR ≥ 10,0 mm)

**Tab. 24** Zusätzliche (variable) meteorologische Parameter der analysierten Versionen (V1 bis V7), Dahnsdorf, Winterweizen, Vegetationsphase 8 (Fruchtentwicklung), Variante A, Methode I, X = Parameter berücksichtigt, O = Parameter nicht berücksichtigt

**Tab. 24** Additional (variable) meteorological parameters of the analyzed versions (V1 to V7)

Parameter	Version						
	V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7
Zahl Tage (T < 15,0 °C)	X	X	X	X	O	X	X
Zahl Sommertage (T <sub>Max</sub> ≥ 25,0 °C)	X	O	X	X	X	X	X
Zahl heiße Tage (T <sub>Max</sub> ≥ 30,0 °C)	X	O	X	X	X	X	X
Zahl Tage (T <sub>Min</sub> ≥ 5,0 °C; T <sub>Max</sub> < 25,0 °C)	X	X	X	X	X	O	X
Zahl Tage (10,0 °C ≤ T <sub>Max</sub> < 20,0 °C)	X	X	X	X	X	X	O
Zahl Tage (RR ≥ 3,0 mm)	X	X	O	X	X	X	X
Zahl Tage (RR ≥ 5,0 mm)	X	X	O	X	X	X	X
Zahl Tage (3,0 mm ≤ RR < 5,0 mm)	X	X	X	O	X	X	X
Zahl Tage (5,0 mm ≤ RR < 10,0 mm)	X	X	X	O	X	X	X

Für den Gesamtzeitraum (Erntejahre 1998 bis 2017) ergibt sich ein sehr einheitliches Bild (Tabelle 25). Mit Ausnahme der Versionen V2 und V3 werden stets dieselben Parameter mit jeweils gleicher Orientierung in das Ertrags-Modell aufgenommen. Aus dem Ansatz der Modelle der beiden genannten Versionen wurden jeweils zwei, in der Klimatologie gebräuchliche Schwellwerte entfernt. Das führte zu Multikollinearität einzelner Parameter.

**Tab. 25** Parameter der Ertrags-Modelle in Abhängigkeit der für den Gesamtzeitraum in die Modellierung einbezogenen Parameter (Version V1 bis V7), Dahnsdorf, Winterweizen, Vegetationsphase 8 (Fruchtentwicklung), Erntejahre 1998 bis 2017, Variante A, Methode I, T = Lufttemperatur, RR = Niederschlagshöhe, V1 bis V7: entsprechend Tab. 23 und Tab. 24, grün = ertragsfördernd, rot = ertragsmindernd, umrahmt: Multikollinearität

**Tab. 25** Parameters of the yield models depending on the parameters included in the modeling for the entire period (version V1 to V7)

Parameter	Version						
	V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7
Lufttemperatur T (Tagesmittel)							
T <sub>Max</sub> (mittleres tägliches Maximum)							
Zahl Sommertage (T <sub>Max</sub> ≥ 25,0 °C)							
Zahl Tage (RR > 0,0 mm)							
Zahl Tage (RR ≥ 5,0 mm)							
Zahl Tage (5,0 mm ≤ RR < 10,0 mm)							
Zahl Tage (RR ≥ 10,0 mm)							
Anzahl Parameter mit p < 0,05 zum Ertrag	16	14	14	15	15	15	15
Adj. R <sup>2</sup>	0,327	0,357	0,357	0,327	0,327	0,327	0,327

Hinsichtlich der Stabilität der Modell-Parameter lassen sich für den Zeitraum der Erntejahre 2004 bis 2009 und 2014 bis 2016 ähnliche Aussagen wie für den Gesamtzeitraum 1998 bis 2017 ableiten (Tabelle 26). Auch hier unterscheiden sich die Parameter und deren Orientierung nur unwesentlich zwischen den Versionen. Das höchste Bestimmtheitsmaß wird für die Modelle dieses Zeitraums von einer „reduzierten“ Version erreicht: In der Version V2 blieben im Modell-Ansatz die – auf Schwellwerte basierenden – Zahl Sommertage und Zahl heiße Tage unberücksichtigt. Sie werden innerhalb des Modells durch andere Parameter der Lufttemperatur kompensiert.

**Tab. 26** Parameter der Ertrags-Modelle in Abhängigkeit der für die Erntejahre 2004 bis 2009 und 2014 bis 2016 in die Modellierung einbezogenen Parameter (Version V1 bis V7), Dahnsdorf, Winterweizen, Vegetationsphase 8 (Fruchtentwicklung), Erntejahre 2004 bis 2009 sowie 2014 bis 2016, Variante A, Methode I, T = Lufttemperatur, RR = Niederschlagshöhe, V1 bis V7: entsprechend Tab. 23 und Tab. 24, grün = ertragsfördernd, rot = ertragsmindernd, umrahmt: Multikollinearität

**Tab. 26** Parameters of the yield models depending on the parameters included in the modelling for the crop years 2004 to 2009 and 2014 to 2016 (version V1 to V7)

Parameter	Version						
	V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7
WärmeSumme ( $T > 3,0\text{ °C}$ )		rot	rot				
$T_{\text{Min}}$ (mittleres tägliches Minimum)		grün	grün				
Zahl Sommertage ( $T_{\text{Max}} \geq 25,0\text{ °C}$ )	rot		rot	rot	rot	rot	rot
Zahl Tage ( $RR \geq 5,0\text{ mm}$ )	grün			grün	grün	grün	grün
Zahl Tage ( $RR \geq 10,0\text{ mm}$ )				grün	grün	grün	grün
Anzahl Parameter mit $p < 0,05$ zum Ertrag	14	12	14	13	13	13	13
Adj. $R^2$	0,592	0,597	0,596	0,592	0,592	0,592	0,592

Ein Vergleich der Modell-Parameter der beiden verschiedenen Zeiträume bestätigt – obwohl die Modell-Parameter für die verschiedenen Versionen innerhalb der jeweiligen Zeiträume recht stabil sind – die getroffene Aussage eines Einflusses des in die Analysen einbezogenen Zeitraumes auf die Modell-Parameter (Abschnitt „Einfluss des analysierten Zeitraumes“). Zwar werden in beiden Zeiträumen zwei analoge Parameter in das Ertrags-Modell übernommen, einer von Ihnen (Zahl Sommertage) wirkt jedoch innerhalb der Zeiträume entgegengesetzt.

Grundsätzlich ist festzustellen, dass sich die Ertrags-Modelle der variierenden Eingangs-Parameter deutlich stabiler gegenüber jenen mit variierenden Zeiträumen erweisen. Das gilt sowohl hinsichtlich der (signifikanten) meteorologischen Parameter, deren Anzahl, als auch deren Wirkung und dem Grad ihrer Anpassung.

### Zusammenhang zwischen meteorologischen Parametern und Ertrag unter Berücksichtigung der Witterung vorangegangener Vegetationsphasen

Die Ertragsbildung erfolgt über die gesamte Vegetationsperiode (Erntejahr): Günstige Witterungsbedingungen während einer Vegetationsphase können durch weniger günstige in einer der folgenden Phasen zu einer potentiellen Ertragsminderung führen. Daraus ergibt sich innerhalb jeder Vegetationsphase eine Abhängigkeit von den vorangegangenen. Dem wird in diesem Abschnitt Rechnung getragen, indem neben den meteorologischen Parametern der aktuell betrachteten Vegetationsphase ein „Vorwert“ in die Analysen einbezogen wird, der den Einfluss der Witterung der vorangegangenen Phase(n) auf die Ertragsbildung charakterisiert. Das geschieht durch den sich aus dem Ertrags-Modell der vorangegangenen Vegetationsphase potentiell ergebenden Ertrag (pot.Ertrag), der durch das jeweilige adjustierte Bestimmtheitsmaß (adj.  $R^2$ ) gewichtet wird.

Vorwert =  $\text{adj}R^2 \cdot \text{pot. Ertrag}$

mit

adj.R<sup>2</sup>            adjustiertes R<sup>2</sup> der Regressionsgleichung der vorangegangenen Vegetationsphase

pot.Ertrag        potentieller Ertrag entsprechend der Regressionsgleichung der vorangegangenen Vegetationsphase

### Vegetationsphase 1 (VorAussaat)

Für diese Vegetationsphase existiert kein Vorwert. Entsprechend gelten die für Methode I getroffenen Aussagen hinsichtlich des Zusammenhanges zwischen meteorologischen Parametern und Ertrag.

Für nachfolgende Analysen wird der sich aus der Regressionsgleichung für das 20-tägige Zeitintervall ergebende und mit dem adjustierten Bestimmtheitsmaß gewichtete potentielle Ertrag als Vorwert verwendet.

### Vegetationsphase 2 (NachAussaat)

Analysiert wurden drei verschiedene Zeitintervalle nach Aussaat: fünf, zehn bzw. 15 Tage.

**Tab. 27** Parameter des Ertrags-Modells in Abhängigkeit des Zeitintervalls, Dahnsdorf, Erntejahre 2005 bis 2010 und 2014 bis 2017, Winterweizen, Vegetationsphase 2 (NachAussaat), Variante B, Methode II, grün = ertragsfördernd

*Tab. 27 Parameters of the yield model depending on the time interval*

Parameter	Zeitintervall (Aussaat bis Zahl Tage nach Aussaat)		
	05	10	15
Vorwert			
Anzahl Parameter mit $p < 0,05$ zum Ertrag	5	8	9
Adj. R <sup>2</sup>	0,3946	0,3946	0,3946
AICC-Kriterium	728,7	728,7	728,7

In allen betrachteten Zeitintervallen besitzt der Vorwert – als einziger Parameter – einen signifikanten Einfluss auf den Ertrag (Tabelle 27). Die Anpassung des Modells der Methode II verbessert sich gegenüber der der Methode I.

### Vegetationsphase 3 (VorWinter)

Für die Vegetationsphase zwischen Aussaat und Vegetationsende<sup>8</sup> wurden vier Zeitintervalle betrachtet, die hinsichtlich des Beginns dieser Vegetationsphase um jeweils fünf Tage (null bis 15 Tage nach Aussaat) variieren (Tabelle 28). Diese Zeitintervalle überschneiden sich teilweise mit denen der Vegetationsphase 2.

<sup>8</sup> entsprechend CHMIELEWSKI, 2003

**Tab. 28** Parameter des Ertrags-Modells in Abhängigkeit des Zeitintervalls, Dahnsdorf, Erntejahre 2005 bis 2010 und 2014 bis 2017, Winterweizen, Vegetationsphase 3 (VorWinter), Variante B, Methode II, grün = ertragsfördernd

**Tab. 28** Parameters of the yield model depending on the time interval

Parameter	Beginn des Zeitintervalls (Zahl Tage nach Aussaat)			
	00	05	10	15
Vorwert				
Anzahl Parameter mit $p < 0,05$ zum Ertrag	9	10	8	8
Adj. $R^2$	0,3946	0,3946	0,3946	0,3946
AICC-Kriterium	728,7	728,7	728,7	728,7

Die Modelle der einzelnen Zeitintervalle unterscheiden sich nicht voneinander. Einziger signifikanter Parameter ist erneut der sich aus der vorangegangenen Vegetationsphase ergebende Vorwert, der einen positiven Einfluss auf den Ertrag ausübt.

Das Bestimmtheitsmaß des Ertrags-Modells entsprechend Methode II erhöht sich gegenüber dem der Methode I.

### Vegetationsphase 4 (Vegetationsruhe)

Auch in dieser Vegetationsphase, die das Zeitintervall zwischen Vegetationsende<sup>9</sup> des Vorjahres und Vegetationsbeginn<sup>9</sup> des Erntejahres umfasst, ist der Vorwert der einzige, den Ertrag signifikant beeinflussende Parameter (Tabelle 29).

**Tab. 29** Parameter des Ertrags-Modells, Dahnsdorf, Erntejahre 2005 bis 2010 und 2014 bis 2017, Winterweizen, Vegetationsphase 4 (Vegetationsruhe), Variante B, Methode II, grün = ertragsfördernd

**Tab. 29** Parameters of the yield model

Parameter	Parameterschätzer
Vorwert	
Anzahl Parameter mit $p < 0,05$ zum Ertrag	13
Adj. $R^2$	0,3946
AICC-Kriterium	728,7

Das Bestimmtheitsmaß des Ertrags-Modells entsprechend Methode II erhöht sich deutlich gegenüber dem der Methode I.

### Vegetationsphase 5 (Bestockung)

Die Vegetationsphase umfasst das Zeitintervall zwischen Vegetationsbeginn entsprechend CHMIELEWSKI (2003) und dem Ende der Bestockung des Winterweizens (BBCH 29). In dieser Vegetationsphase existiert in Einzelfällen ein „doppelter“ Vegetationsbeginn. Im Rahmen der Analysen wird in diesem Fall der spätere Vegetationsbeginn berücksichtigt.

<sup>9</sup> entsprechend CHMIELEWSKI, 2003

**Tab. 30** Parameter des Ertrags-Modells, Dahnsdorf, Erntejahre 2004 bis 2010 und 2014 bis 2017, Winterweizen, Vegetationsphase 5 (Bestockung), Variante B, Methode II, T = Lufttemperatur, RR = Niederschlagshöhe, grün = ertragsfördernd, rot = ertragsmindernd

**Tab. 30** Parameters of the yield model

Parameter		Parameterschätzer
Zahl Tage ( $5,0\text{ °C} \leq T < 10,0\text{ °C}$ )		4,431734
Zahl Frosttage ( $T_{\text{Min}} < 0,0\text{ °C}$ )		-9,656410
Zahl Tage ( $3,0\text{ mm} \leq \text{RR} < 5,0\text{ mm}$ )		-20,980466
Zahl Tage ( $\text{RR} \geq 10,0\text{ mm}$ )		-24,985000
Bodenfeuchte (vegetationslos, 0,1 m Tiefe)		4,026029
Globalstrahlung (Tagessumme)		0,345598
Anzahl Parameter mit $p < 0,05$ zum Ertrag	8	
Adj. $R^2$	0,5088	
AICC-Kriterium	662,8	

In dieser Vegetationsphase besitzt der Vorwert keinen signifikanten Einfluss. Es gibt – trotz eines erkennbar engen Zusammenhanges zwischen Vorwert und Ertrag ( $p < 0,001$ ) – andere Parameter, die den Ertrag in dieser Vegetationsphase intensiver beeinflussen als die Witterung der vorangegangenen Vegetationsphase (Tabelle 30). Dem Ertrags-Modell entsprechend sind das eine hohe Zahl Tage mit mittleren Tagesmitteltemperaturen ( $5,0\text{ °C} \leq T < 10,0\text{ °C}$ ), eine hohe Globalstrahlung und eine hohe Bodenfeuchte, die ertragsfördernd wirken, während eine jeweils hohe Zahl Frosttage ( $T_{\text{Min}} < 0,0\text{ °C}$ ), Tage mit mittlerem bis starkem ( $3,0\text{ mm} \leq \text{RR} < 5,0\text{ mm}$ ) sowie Tage mit starkem Niederschlag ( $\text{RR} \geq 10,0\text{ mm}$ ) den Ertrag mindern.

Die Bestimmtheitsmaße der beider Methoden (Methode I und II) entsprechen einander.

### Vegetationsphase 6 (Wachstum)

Die Vegetationsphase beinhaltet das Zeitintervall zwischen Beginn des Schossen (BBCH 30) und Ende Ährenschieben (BBCH 59). In ihr ist der sich aus der vorangegangenen Phase ergebende Vorwert der einzig signifikante Parameter für den Ertrag (Tabelle 31).

**Tab. 31** Parameter des Ertrags-Modells, Dahnsdorf, Erntejahre 2004 bis 2009 und 2014 bis 2017, Winterweizen, Vegetationsphase 6 (Wachstum), Variante B, Methode II, grün = ertragsfördernd

**Tab. 31** Parameters of the yield model

Parameter		Parameterschätzer
Vorwert		1,955225
Anzahl Parameter mit $p < 0,05$ zum Ertrag	10	
Adj. $R^2$	0,5731	
AICC-Kriterium	522,8	

Das Bestimmtheitsmaß des Ertrags-Modells entsprechend Methode II erhöht sich gegenüber dem der Methode I dieser Vegetationsphase.

### Vegetationsphase 7 (Blüte)

Auch in dieser Vegetationsphase, die die BBCH-Stadien 61 bis 69 umfasst und zwischen 7 und 10 Tage andauert, wird der Ertrag wesentlich durch den Vorwert bestimmt, der als einziger signifikanter Parameter im Ertrags-Modell Berücksichtigung findet (Tabelle 32).

**Tab. 32** Parameter des Ertrags-Modells, Dahnsdorf, Erntejahre 2004 bis 2009 und 2014 bis 2017, Winterweizen, Vegetationsphase 7 (Blüte), Variante B, Methode II, grün = ertragsfördernd

**Tab. 32** Parameters of the yield model

Parameter	Parameterschätzer
Vorwert	1,744874
Anzahl Parameter mit $p < 0,05$ zum Ertrag	12
Adj. $R^2$	0,5731
AICC-Kriterium	522,8

Das Bestimmtheitsmaß des Ertrags-Modells entsprechend Methode II erhöht sich gegenüber dem der Methode I.

### Vegetationsphase 8 (Fruchtentwicklung)

In der Phase der Fruchtentwicklung (BBCH 71 bis 77) ist der Vorwert der einzig in das Ertrags-Modell einfließende Parameter. Unabhängig davon verweisen sehr viele andere Parameter (18 von 23 berücksichtigten) auf einen engen Zusammenhang ( $p < 0,05$ ) mit dem Ertrag (Tabelle 33).

**Tab. 33** Parameter des Ertrags-Modells, Dahnsdorf, Erntejahre 2004 bis 2009 und 2014 bis 2017, Winterweizen, Vegetationsphase 8 (Fruchtentwicklung), Variante B, Methode II, grün = ertragsfördernd

**Tab. 33** Parameters of the yield model

Parameter	Parameterschätzer
Vorwert	1,744874
Anzahl Parameter mit $p < 0,05$ zum Ertrag	12
Adj. $R^2$	0,5731
AICC-Kriterium	522,8

Das Bestimmtheitsmaß des Ertrags-Modells dieser Vegetationsphase entsprechend Methode II erhöht sich gegenüber dem der Methode I.

### Vegetationsphase 9 (Frucht- und Samenreife)

In dieser Vegetationsphase bestimmt vorrangig – als einziger signifikanter Parameter – der sich aus der vorangegangenen Vegetationsphase ergebende Vorwert den Ertrag (Tabelle 34). Das gilt trotz einer hohen Anzahl anderer Parameter (22 von 25), die jeweils in einem engen Zusammenhang ( $p < 0,05$ ) mit dem Ertrag stehen.

**Tab. 34** Parameter des Ertrags-Modells, Dahnsdorf, Erntejahre 2004 bis 2009 und 2014 bis 2016, Winterweizen, Vegetationsphase 9 (Frucht- und Samenreife), Variante B, Methode II, grün = ertragsfördernd

**Tab. 34** Parameters of the yield model

Parameter	Parameterschätzer
Vorwert	1,649033
Anzahl Parameter mit $p < 0,05$ zum Ertrag	22
Adj. $R^2$	0,5570
AICC-Kriterium	538,3

Das Bestimmtheitsmaß des Ertrags-Modells entsprechend Methode II erhöht sich gegenüber dem der Methode I.

## Vegetationsphase 10 (VorErnte)

Die Vegetationsphase vor der Ernte wurde anhand zweier Zeitintervalle, die die letzten fünf bzw. zehn Tage vor der Ernte beinhalten, charakterisiert. In beiden Zeitintervallen ist der Vorwert der einzig signifikant den Ertrag bestimmende Parameter (Tabelle 35).

**Tab. 35** Parameter des Ertrags-Modells in Abhängigkeit des Zeitintervalls, Dahnsdorf, Erntejahre 2004 bis 2009 und 2014 bis 2016, Winterweizen, Vegetationsphase 10 (VorErnte), Variante B, Methode II, grün = ertragsfördernd

*Tab. 35 Parameters of the yield model depending on the time interval*

Parameter	Beginn des Zeitintervalls (Zahl Tage vor Ernte)	
	05 Tage	10 Tage
	Parameterschätzer	Parameterschätzer
Vorwert	1,795332	1,795332
Anzahl Parameter mit $p < 0,05$ zum Ertrag	9	16
Adj. $R^2$	0,5570	0,5570
AICC-Kriterium	538,3	538,3

Das Bestimmtheitsmaß des Ertrags-Modells entsprechend Methode II erhöht sich geringfügig gegenüber dem der Methode I.

## Vergleich der Methoden

Die Charakterisierung des Zusammenhanges zwischen meteorologischen und Wachstums-Parametern einerseits und dem Ertrag andererseits erfolgte nach zwei unterschiedlichen Methoden. Beiden liegt die Unterteilung des Erntejahres in zehn Vegetationsphasen, die in ihrer Gesamtheit das komplette Erntejahr abdecken, zu Grunde.

Bei der Methode I wird der Zusammenhang zwischen den Parametern und dem Ertrag separat für jede einzelne Vegetationsphase – ohne Berücksichtigung der vorangegangenen Vegetationsphase(n) – ermittelt. Das ermöglicht, die für die Ertragsbildung in dieser Phase entscheidenden Parameter zu definieren. Der wesentlichste Nachteil dieser Methode ergibt sich aus der Tatsache, dass sich die Analysen immer auf den Ertrag am Ende des Erntejahres beziehen. Das heißt, dass aus den Gegebenheiten der vorangegangenen Vegetationsphasen resultierende Ertragsverluste oder –gewinne, im Modell für die jeweilige Vegetationsphase nicht verifizierbar sind. Das könnte – vor allem für die späteren Vegetationsphasen – von Bedeutung sein.

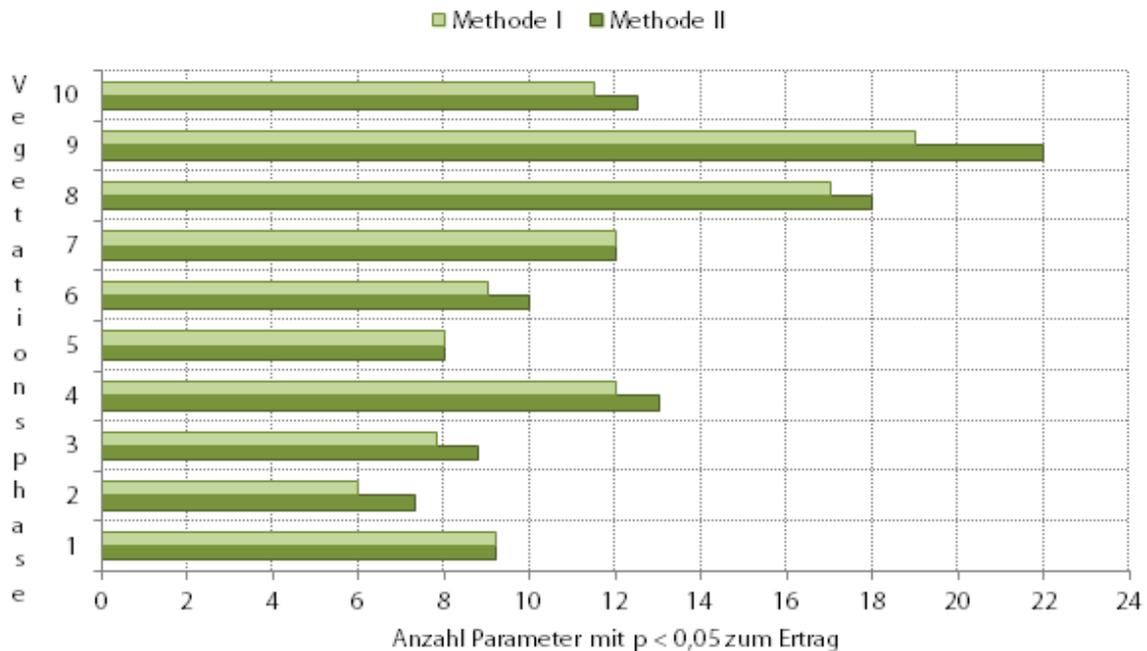
Methode II berücksichtigt diese „Vorgeschichte“. Die Modellfindung des Zusammenhanges zwischen den Parametern und dem Ertrag in den einzelnen Vegetationsphasen erfolgt unter Einbeziehung des zusätzlichen Parameters „Vorwert“, der als – mit dem Bestimmtheitsmaß des Ertrags-Modells der vorangegangenen Phase gewichtete – potentieller Ertrag der vorangegangenen Vegetationsphase definiert ist. Der Nachteil dieser Methode liegt in der äußerst markanten Bedeutung dieses Parameters, die durch ein hohes Bestimmtheitsmaß des Ertrags-Modells der vorangegangenen Vegetationsphase noch verstärkt wird. Das führt zu einer eingeschränkten Berücksichtigung anderer Parameter im Ertrags-Modell der aktuellen Vegetationsphase und verhindert praktisch eine gezielte Interpretation der Einflüsse der meteorologischen und Wachstums-Bedingungen in den einzelnen Vegetationsphasen auf den Ertrag.

## Maßzahlen der Ertrags-Modelle

Der Vergleich der Methoden erfolgt – separat für jede Vegetationsphase – auf der Basis von vier Maßzahlen (Abschnitt Methoden).

Die **Anzahl der zum Ertrag signifikanten (Eingangs-)Parameter** variiert – auch abhängig von der Anzahl der in die Modellbildung einbezogenen Parameter – stark zwischen den einzelnen

Vegetationsphasen (Abbildung 2). Teilweise existiert für 2/3 der (Eingangs-)Parameter ein signifikanter Zusammenhang zum Ertrag ( $p < 0,05$ ). Unterschiede zwischen den Methoden ergeben sich vorrangig – aber nicht ausschließlich – aus der zusätzlichen Berücksichtigung des Vorwertes in Methode II.

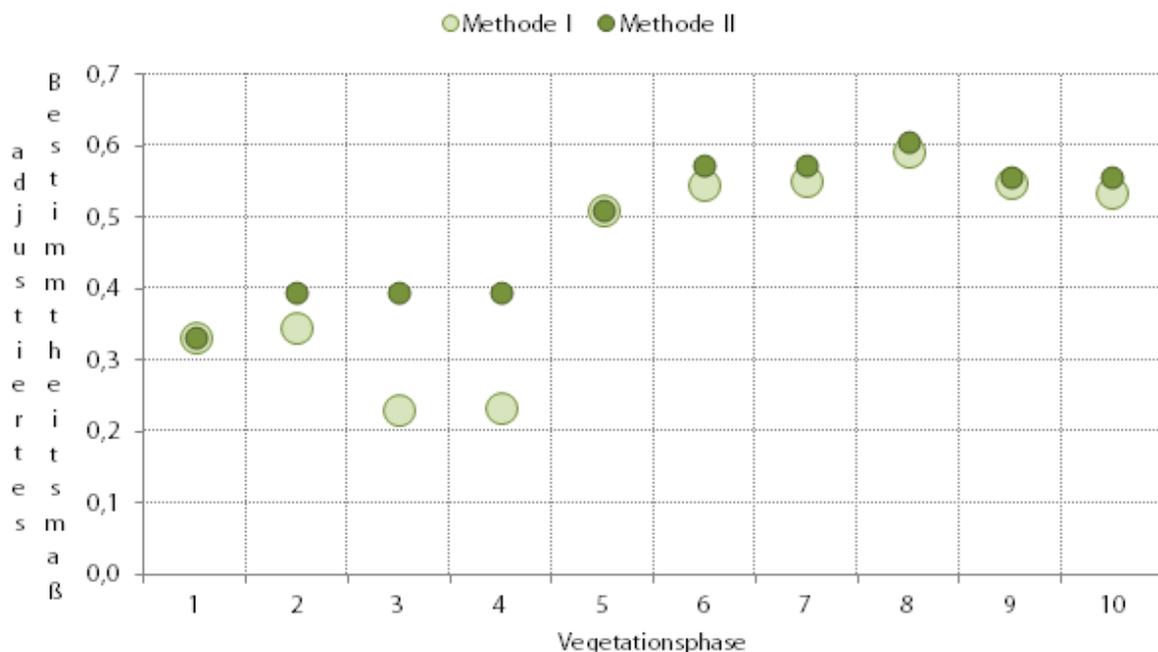


**Abb. 2** Anzahl der zum Ertrag signifikanten ( $p < 0,05$ ) (Eingangs-)Parameter für die Ertrags-Modelle

**Fig. 2** Number of (input) parameters significant to the yield ( $p < 0.05$ ) for the yield models

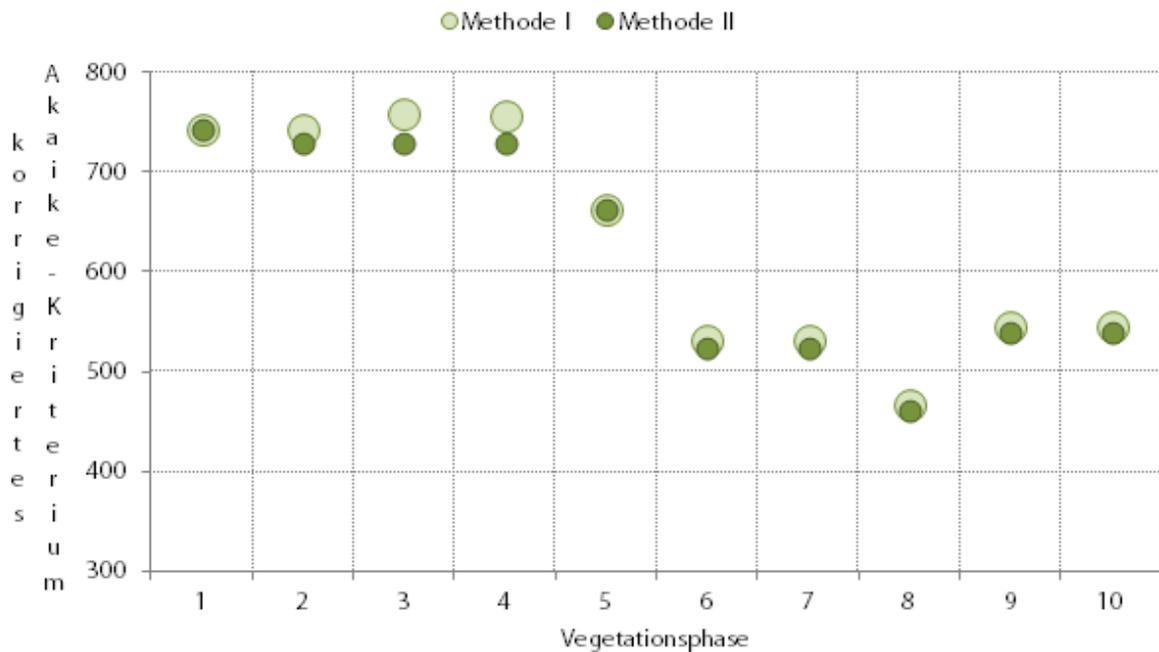
Hinsichtlich der Güte des Ertrags-Modells sind Vorteile bei denen der Methode II erkennbar. Sowohl das **adjustierte Bestimmtheitsmaß  $R^2$**  (Abbildung 3) **als auch das korrigierte Akaike-Kriterium AICC** (Abbildung 4) weisen (meist) günstigere Werte (höhere  $R^2$ , geringere AICC) für das Modell der Methode II aus.

Das präferiert die Berücksichtigung des Vorwertes in den Ertrags-Modellen.



**Abb. 3** Adjustiertes Bestimmtheitsmaß ( $R^2$ ) der Ertrags-Modelle

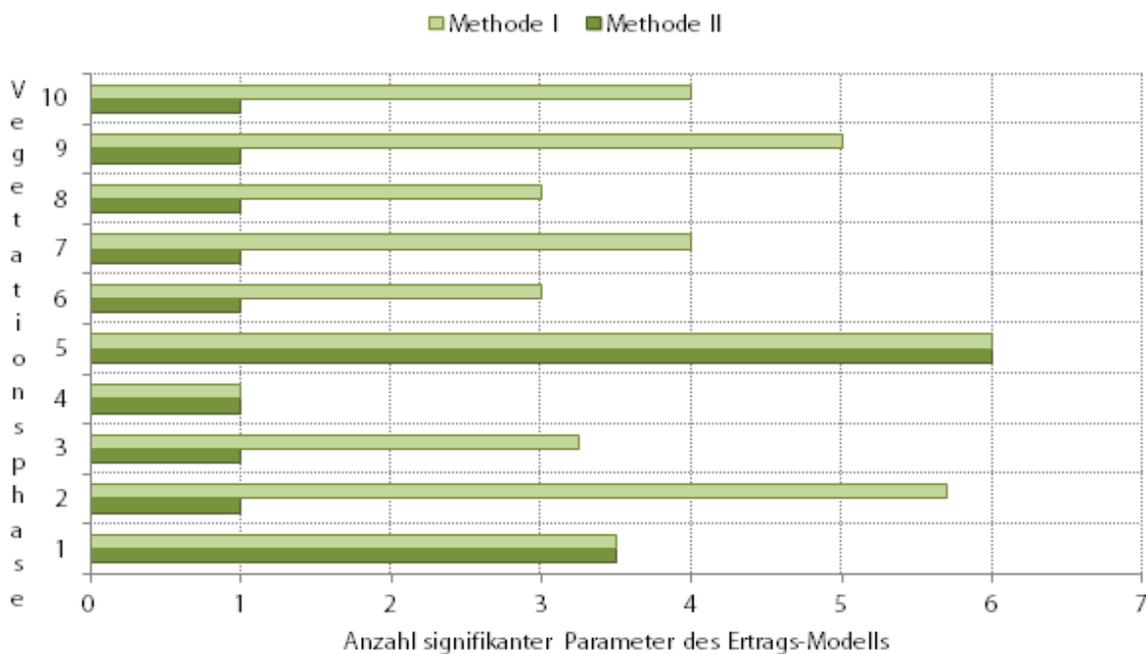
**Fig. 3** Adjusted coefficient of determination ( $R^2$ ) of the yield models



**Abb. 4** Korrigiertes Akaike-Kriterium (AICC) der Ertrags-Modelle

**Fig. 4** Corrected Akaike-criterion (AICC) of the yield models

Vorteile der Methode II sind auch hinsichtlich der **Anzahl der im Ertrags-Modell enthaltenen signifikanten Parameter** erkennbar (Abbildung 5). Sie ist in der Regel in den Modellen der Methode II deutlich geringer; erschwert aber die Interpretation der Modelle, da meist der Vorwert, der einen zeitlichen Verlauf über die vorangegangene und aktuelle Vegetationsphase repräsentiert, in diesen Modellen als **einzig** Parameter auftritt.



**Abb. 5** Anzahl der in den Ertrags-Modellen enthaltenen signifikanten ( $p < 0,05$ ) Parameter

**Fig. 5** Number of significant parameters ( $p < 0.05$ ) contained in the yield models

## Parameter der Ertrags-Modelle

Die Parameter der Ertrags-Modelle unterscheiden sich in Abhängigkeit der verwendeten Methode. Sie zeigen teilweise deutliche Unterschiede hinsichtlich der Parameter selbst und deren Anzahl (Tabelle 36a, Tabelle 36b).

**Tab. 36a** Signifikante Parameter ( $p < 0,05$ ) des multiplen linearen Ertrags-Modells, Dahnsdorf, Erntejahre 2004 bis 2010 und 2014 bis 2017, Winterweizen, Variante B, Vegetationsphasen 1 bis 5, Methode I: ohne Berücksichtigung der vorangegangenen Vegetationsphase, Methode II: mit Berücksichtigung der vorangegangenen Vegetationsphase, T = Lufttemperatur, RR = Niederschlagshöhe,  $R_G$  = Globalstrahlung, grün = ertragsfördernd, rot = ertragsmindernd

**Tab. 36a** Significant parameters ( $p < 0.05$ ) of the multiple linear yield models

Parameter	Methode I					Methode II				
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
VorWert							grün	grün	grün	grün
$T_{Min}$ (mittleres tägliches Minimum)			rot							
WärmeSumme ( $T \geq 5,0 \text{ }^\circ\text{C}$ )		grün								
Zahl Tage ( $T < 15,0 \text{ }^\circ\text{C}$ )		grün								
Zahl Tage ( $5,0 \text{ }^\circ\text{C} \leq T < 10,0 \text{ }^\circ\text{C}$ )					grün					grün
Frosttage ( $T_{Min} < 0,0 \text{ }^\circ\text{C}$ )					rot					rot
Sommertage ( $T_{Max} \geq 25,0 \text{ }^\circ\text{C}$ )										
heiße Tage ( $T_{Max} \geq 30,0 \text{ }^\circ\text{C}$ )										
Zahl Tage ( $T_{Min} \geq 5,0 \text{ }^\circ\text{C}$ )		rot	grün							
Zahl Tage ( $10,0 \text{ }^\circ\text{C} \leq T_{Max} < 20,0 \text{ }^\circ\text{C}$ )										
Zahl Tage ( $T_{Max} \geq 15,0 \text{ }^\circ\text{C}$ )	rot			rot		rot				
Tagessumme Niederschlagshöhe (RR)	rot					rot				
Zahl Tage ( $RR > 0,0 \text{ mm}$ )		grün								
Zahl Tage ( $RR \geq 3,0 \text{ mm}$ )										
Zahl Tage ( $RR \geq 5,0 \text{ mm}$ )										
Zahl Tage ( $3,0 \text{ mm} \leq RR < 5,0 \text{ mm}$ )	rot	grün	rot		rot	rot				rot
Zahl Tage ( $5,0 \text{ mm} \leq RR < 10,0 \text{ mm}$ )			rot							
Zahl Tage ( $RR \geq 10,0 \text{ mm}$ )		rot			rot					rot
Tagessumme Globalstrahlung ( $R_G$ )					grün					grün
Zahl Tage ( $R_G \geq 7000 \text{ W m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ )					grün					grün
Bodentemperatur (vegetationslos; 0,2 m Tiefe)										
Bodenfeuchte (vegetationslos; 0,1m Tiefe)					grün					grün

Grundsätzlich ist eine Verringerung der Parameter der Methode II gegenüber der Methode I sowie eine markante Fixierung der Methode II auf den Parameter „Vorwert“ erkennbar. Diese Methode bietet auch die bessere Anpassung gegenüber der Methode I.

**Tab. 36b** Signifikante Parameter ( $p < 0,05$ ) des multiplen linearen Ertrags-Modells, Dahnsdorf, Erntejahre 2004 bis 2010 und 2014 bis 2017, Winterweizen, Variante B, Vegetationsphasen 6 bis 10, Methode I: ohne Berücksichtigung der vorangegangenen Vegetationsphase, Methode II: mit Berücksichtigung der vorangegangenen Vegetationsphase, T = Lufttemperatur, RR = Niederschlagshöhe,  $R_G$  = Globalstrahlung, grün = ertragsfördernd, rot = ertragsmindernd

**Tab. 36b** Significant parameters ( $p < 0.05$ ) of the multiple linear yield models

Parameter	Methode I					Methode II				
	6	7	8	9	10	6	7	8	9	10
VorWert						grün	grün	grün	grün	grün
$T_{Min}$ (mittleres tägliches Minimum)						grün	grün	grün	grün	grün
WärmeSumme ( $T \geq 5,0$ °C)										
Zahl Tage ( $T < 15,0$ °C)				grün	grün					
Zahl Tage ( $5,0$ °C $\leq T < 10,0$ °C)										
Frosttage ( $T_{Min} < 0,0$ °C)										
Sommertage ( $T_{Max} \geq 25,0$ °C)			rot	rot						
heiße Tage ( $T_{Max} \geq 30,0$ °C)		rot	rot							
Zahl Tage ( $T_{Min} \geq 5,0$ °C)										
Zahl Tage ( $10,0$ °C $\leq T_{Max} < 20,0$ °C)					rot					
Zahl Tage ( $T_{Max} \geq 15,0$ °C)										
Tagessumme Niederschlagshöhe (RR)										
Zahl Tage ( $RR > 0,0$ mm)		grün	grün							
Zahl Tage ( $RR \geq 3,0$ mm)		grün	grün	grün						
Zahl Tage ( $RR \geq 5,0$ mm)			grün	grün						
Zahl Tage ( $3,0$ mm $\leq RR < 5,0$ mm)					grün					
Zahl Tage ( $5,0$ mm $\leq RR < 10,0$ mm)										
Zahl Tage ( $RR \geq 10,0$ mm)	grün		grün		rot					
Tagessumme Globalstrahlung ( $R_G$ )		grün	grün							
Zahl Tage ( $R_G \geq 7000$ W m <sup>-2</sup> d <sup>-1</sup> )	grün			grün	grün					
Bodentemperatur (vegetationslos; 0,2 m Tiefe)					grün					
Bodenfeuchte (vegetationslos; 0,1m Tiefe)	rot				grün					

Eine Übersicht der über das gesamte Erntejahr den Ertrag bestimmenden meteorologischen und Wachstums-Parameter für die bevorzugte Kombination der Variante B (Lufttemperatur, Niederschlagshöhe, Globalstrahlung, Bodentemperatur, Bodenfeuchte) mit der Methode II (Berücksichtigung des Vorwertes) bietet Tabelle 37.

**Tab. 37** Signifikante Parameter ( $p < 0,05$ ) der multiplen linearen Ertrags-Modelle (Methode II), Dahnsdorf, Erntejahre 2004 bis 2010 und 2014 bis 2017, Winterweizen, Variante B, Methode II, T = Lufttemperatur, RR = Niederschlagshöhe,  $R_G$  = Globalstrahlung, grün = ertragsfördernd, rot = ertragsmindernd

**Tab. 37** Significant parameters ( $p < 0.05$ ) of the multiple linear yield models (method II)

Parameter	Vegetationsphase									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
VorWert		grün								
Zahl Tage ( $5,0$ °C $\leq T < 10,0$ °C)					grün					
Frosttage ( $T_{Min} < 0,0$ °C)					rot					
Zahl Tage ( $T_{Max} \geq 15,0$ °C)		rot	rot							
Tagessumme Niederschlagshöhe (RR)		rot	rot							
Zahl Tage ( $3,0$ mm $\leq RR < 5,0$ mm)		rot	rot							
Zahl Tage ( $RR \geq 10,0$ mm)					rot					
Tagessumme Globalstrahlung ( $R_G$ )					grün					
Bodenfeuchte (vegetationslos; 0,1 m Tiefe)					grün					

In dieser Kombination reduziert sich die Anzahl der signifikanten Parameter erheblich. Der Einfluss des Vorwertes ist sehr markant. Mit Ausnahme der Vegetationsphase 1 (VorAussaat) und der Vegetationsphase 5 (Bestockung) ist der Vorwert jeweils der einzige signifikante Parameter des Ertrags-Modells der jeweiligen Vegetationsphase. Das bedeutet einerseits, dass der Grundstein für die Ertragsbildung bereits durch die Witterungsbedingungen vor Aussaat gelegt wird, die Vegetationsruhe (Vegetationsphase 4) einen Ausgleich herbeiführt und die Witterungsbedingungen zwischen Vegetationsbeginn und dem Ende der Bestockung (Vegetationsphase 5) endgültig über die Höhe des Ertrages entscheidet.

### Zusammenhang zwischen meteorologischen Parametern und Ertrag für definierte Zeitintervalle

Die bisherige Analyse konzentrierte sich auf Vegetationsphasen, die sich im Wesentlichen an der Entwicklung und dem Wachstum der Pflanzen orientierten. Daraus ergaben sich – bedingt durch den Witterungsverlauf und den daraus resultierenden agrartechnischen Maßnahmen – zeitliche Unterschiede hinsichtlich Beginn, Andauer und Ende dieser Phasen in den jeweiligen Erntejahren. Das unterscheidet diese Analyse nicht nur von den eingangs erwähnten Bauernregeln, die sich in der Regel auf einen festen Zeitpunkt (Datum) beziehen, sondern auch von vorangegangenen Untersuchungen, in denen häufig ein auf das Datum fixiertes Zeitintervall orientiert wurde. Einem dieser Hinweise, nach dem mit relativ hohem Bestimmtheitsmaß ( $R^2 \approx 0,45$ ) ein Zusammenhang zwischen der Witterung (Lufttemperatur und Niederschlagshöhe) der Monate Mai bis Juli und dem Ertrag festgestellt wurde (PALLUTT, 2018, mündliche Mitteilung) wurde nachgegangen und im Folgenden für verschiedene Teilintervalle innerhalb dieses definierten Zeitintervalls analysiert. Da dieses Zeitintervall im Wesentlichen die Vegetationsphasen 6 bis 9 beinhaltet, wurden in einem ersten Modell-Ansatz jene Parameter vereinbart, die in allen vier Vegetationsphasen Verwendung fanden (Tabelle 38).

**Tab. 38** Parameter der Ertrags-Modelle fixierter Zeitintervalle, Dahnsdorf, Winterweizen, Erntejahre 1998 bis 2017, Variante A, Methode I, T = Lufttemperatur, RR = Niederschlagshöhe, grün = ertragsfördernd, rot = ertragsmindernd, umrahmt: Multikollinearität

**Tab. 38** Parameters of the yield models for fixed time intervals

Parameter	Zeitintervall					
	Mai	Juni	Juli	Mai/ Juni	Juni/ Juli	Mai - Juli
Lufttemperatur T (Tagesmittel)						
WärmeSumme ( $T > 3,0\text{ °C}$ )						
WärmeSumme ( $T > 5,0\text{ °C}$ )						
$T_{\text{Min}}$ (mittleres tägliches Minimum)						
$T_{\text{Max}}$ (mittleres tägliches Maximum)						
Zahl Tage ( $T < 15,0\text{ °C}$ )						
Zahl Sommertage ( $T_{\text{Max}} \geq 25,0\text{ °C}$ )						
Zahl heiße Tage ( $T_{\text{Max}} \geq 30,0\text{ °C}$ )						
Zahl Tage ( $T_{\text{Min}} \geq 5,0\text{ °C}; T_{\text{Max}} < 25,0\text{ °C}$ )						
Zahl Tage ( $10,0\text{ °C} \leq T_{\text{Max}} < 20,0\text{ °C}$ )						
Niederschlagshöhe (Gesamtsumme)						
Zahl Tage ( $RR > 0,0\text{ mm}$ )						
Zahl Tage ( $3,0\text{ mm} \leq RR < 5,0\text{ mm}$ )						
Zahl Tage ( $RR \geq 5,0\text{ mm}$ )						
Zahl Tage ( $5,0\text{ mm} \leq RR < 10,0\text{ mm}$ )						
Zahl Tage ( $RR \geq 10,0\text{ mm}$ )						
Anzahl Parameter mit $p < 0,05$ zum Ertrag	5	14	6	14	15	15
Adj. $R^2$	0,1807	0,3789	0,1922	0,3389	0,2843	0,3426

Im Ergebnis ergibt sich ein differenziertes Bild, das erneut die Abhängigkeit der signifikanten Parameter des Ertrags-Modells vom gewählten Zeitraum dokumentiert. In drei der sechs Modelle mit fixiertem Zeitintervall tritt Multikollinearität auf: Am intensivsten im Modell des Gesamtintervalls (Mai bis Juli). Um diese zu beseitigen, wurden – für den Gesamtzeitraum (Erntejahre 1998 bis 2017) – einzelne Parameter aus dem ursprünglichen Modell-Ansatz entfernt<sup>10</sup>. Daraus entstanden vier Ertrags-Modelle (Modell 1 bis Modell 4) für das fixierte Zeitintervall Mai bis Juli (Tabelle 39).

**Tab. 39** Parameter der angepassten Ertrags-Modelle fixierter Zeitintervalle (Mai bis Juli) Dahnsdorf, Winterweizen, Erntejahre 1998 bis 2017, Variante A, Methode I, T = Lufttemperatur, RR = Niederschlagshöhe, grün = ertragsfördernd, rot = ertragsmindernd

**Tab. 39** Parameters of (adjusted) yield models for fixed time intervals (May to July)

Parameter	Modell 1	Modell 2	Modell 3	Modell 4
Lufttemperatur T (Tagesmittel)				
Zahl Tage (T < 15,0 °C)				
Zahl heiße Tage (T <sub>Max</sub> ≥ 30,0 °C)				
Zahl Tage (T <sub>Min</sub> ≥ 5,0 °C; T <sub>Max</sub> < 25,0 °C)				
Zahl Tage (10,0 °C ≤ T <sub>Max</sub> < 20,0 °C)				
Niederschlagshöhe (Gesamtsumme)				
Zahl Tage (3,0 mm ≤ RR < 5,0 mm)				
Zahl Tage (RR ≥ 5,0 mm)				
Anzahl Parameter mit p < 0,05 zum Ertrag	14	14	13	13
Adj. R <sup>2</sup>	0,3129	0,2989	0,2989	0,2182

Deren signifikanten Modell-Parameter sind ähnlich. Ihre Interpretation ist jedoch hinsichtlich der Parameter der Lufttemperatur schwierig. Ursache sind deren Wertebereiche, die sich innerhalb des betrachteten Zeitintervalls (Mai bis Juli) erheblich voneinander unterscheiden (Tabelle 40). Am Deutlichsten wird es bei den Parametern „Zahl heiße Tage (T<sub>Max</sub> ≥ 30,0 °C)“ und „Zahl Tage (10,0 °C ≤ T<sub>Max</sub> < 20,0 °C)“. Beim Erstgenannten unterscheiden sich die Monate Mai und Juli um den Faktor 10, beim Zweitgenannten um den Faktor ein Drittel. Eine Mittelung über die drei Monate muss die Zusammenhänge „verschleiern“, da sie in den einzelnen Monaten innerhalb des Zeitintervalls (Mai bis Juli) sehr verschiedene Stellenwerte einnehmen.

**Tab. 40** Monatsmittelwerte und –summen ausgewählter meteorologischer Parameter, Dahnsdorf, Winterweizen, Erntejahre 1998 bis 2017, Mai bis Juli

**Tab. 40** Monthly averages and sums of selected meteorological parameters

Parameter	Mai	Juni	Juli
Lufttemperatur T (Tagesmittel)	13,6 °C	16,6 °C	18,9 °C
Zahl heiße Tage (T <sub>Max</sub> ≥ 30,0 °C)	9	41	92
Zahl Tage (T <sub>Min</sub> ≥ 5,0 °C; T <sub>Max</sub> < 25,0 °C)	389	421	333
Zahl Tage (10,0 °C ≤ T <sub>Max</sub> < 20,0 °C)	328	189	100
Anzahl Werte	620	600	620

Analog dem fixierten Zeitintervall (Mai bis Juli) wurden für dessen vier Ertrags-Modelle (Modell 1 bis Modell 4) – mit jeweils gleichen Eingangs-Parametern – Ertrags-Modelle der Vegetationsphasen 6 bis 9, entwickelt. Ziel war ein Vergleich der Maßzahlen der Modelle mit fixiertem Zeitintervall einerseits und denen der im gleichen Zeitintervall befindlichen Vegetationsphasen andererseits.

<sup>10</sup> Modell 1: T<sub>Max</sub> (mittleres tägliches Maximum) entfernt

Modell 2: Zahl Tage (T > 15,0 °C) entfernt

Modell 3: T<sub>Max</sub> (mittleres tägliches Maximum) und Zahl Tage (T > 15,0 °C) entfernt

Modell 4: T<sub>Max</sub> (mittleres tägliches Maximum) und Zahl Tage (10,0 °C ≤ T<sub>Max</sub> < 20,0 °C) entfernt

Tabelle 41 zeigt die Ergebnisse dessen. Ein direkter Vergleich der Maßzahlen, der sich ohnehin nur auf die Variante A, Methode I beschränken kann, ist faktisch nicht möglich. Sofern gleiche Eingangsparameter verwendet werden, führt das – bezüglich des Versuches einer Modellbildung – in den jeweiligen Vegetationsphasen zu erheblich differierenden Resultaten. Diese beinhalten sowohl die – unter den vereinbarten Bedingungen – unrealistische Modellbildung (Vegetationsphase 9), die Erzeugung multikollinear Modelle (Vegetationsphasen 6 und 7) als auch – im Gegensatz dazu – die Bildung von Modellen mit (fast) analogen Maßzahlen (Vegetationsphase 8).

**Tab. 41** Maßzahlen der Ertrags-Modelle der Vegetationsphasen 6 bis 9, Dahnsdorf, Winterweizen, Erntejahre 1998 bis 2017, Variante A, Methode I, grau: kein Modell, umrahmt: Multikollinearität, Werte: Anzahl Parameter mit  $p < 0,05$  zum Ertrag / Bestimmtheitsmaß  $R^2$  / Anzahl signifikanter Parameter des Ertrags-Modells

**Tab. 41** Measures of the yield models of the vegetation phases 6 to 9

	Vegetationsphase			
	6	7	8	9
Modell 1			14 / 0,3274 / 3	
Modell 2	10 / 0,1911 / 3		14 / 0,3274 / 3	
Modell 3	9 / 0,2703 / 5		13 / 0,3274 / 3	
Modell 4			13 / 0,3274 / 3	

## Diskussion

Die vorliegende Arbeit analysiert den Zusammenhang zwischen meteorologischen und Wachstumsparametern einerseits und dem Ertrag im Winterweizen andererseits. Grundlage der Auswertungen bilden langjährige Messungen und Beobachtungen auf dem Versuchsfeld des Julius Kühn-Institutes, Bundesforschungsinstitut für Kulturpflanzen in Dahnsdorf, Gemeinde Planetal, Land Brandenburg (siehe Abschnitt „Methoden“).

Ziel war – basierend auf Literaturrecherchen (siehe Abschnitt „Literaturrecherche“) und dem Fachwissen langjährig praktizierender Wissenschaftler – jene meteorologischen und Wachstumsbedingungen zu ermitteln, die den Ertrag des Winterweizens positiv bzw. negativ beeinflussen. Um jahreszeitlich bedingte Unterschiede berücksichtigen zu können, wurde das Erntejahr in zehn Vegetationsphasen unterteilt (siehe Abschnitt „Zeitbereiche der Vegetationsphasen“), die – zusammenhängend – das gesamte Erntejahr abbilden.

In separaten Analysen wurden Modelle des Zusammenhanges zwischen meteorologischen und Wachstumsparametern einerseits und dem Ertrag andererseits entwickelt.

Grundlage der Analysen bildete die mathematische Statistik, die durch das Statistikpaket SAS® (siehe Abschnitt „Methoden“) zur Anwendung kam.

### Charakterisierung der Varianten

Eines der ursprünglichen Anliegen der Analyse richtete sich auf das Erreichen einer möglichst guten Anpassung der Ertrags-Modelle. Diese wurde durch die – zunächst für den Gesamtzeitraum (Erntejahr 1998 bis 2017) – praktizierte alleinige Berücksichtigung der meteorologischen Größen Lufttemperatur und Niederschlagshöhe (Variante A) verfehlt. Die Einbeziehung der zusätzlichen meteorologischen Größen Globalstrahlung, Bodentemperatur und –feuchte (Variante B) führte zu einer Verbesserung dieser Modelle. Aufgrund der im Laufe der Analyse gewonnene Erkenntnis, dass die Länge der Datenreihe offensichtlich keinen Einfluss auf die Güte der Anpassung der Ertrags-Modelle besitzt, wurde die zeitlich eingeschränkte Verfügbarkeit dieser zusätzlichen Daten in Kauf genommen. Entsprechend basierte die Analyse bevorzugt auf den meteorologischen Daten der Variante B.

### Auswahl der Vegetationsphasen

Im Rahmen dieser Analyse wurde das Vegetationsjahr in zehn wachstumsorientierte Vegetationsphasen unterteilt. Daraus resultieren – in ihrer Andauer – teilweise stark differierende (Vegetationsphasen 3 bis 6) bzw. begrenzte (Vegetationsphasen 7 bis 9) Zeitintervalle. Diese

wiederum beeinträchtigen – im erstgenannten Fall – die Parameter „Zahl Tage“; im zweitgenannten Fall gewinnen Einzelereignisse erheblich an Bedeutung.

In beiden Fällen könnte (und wird es zum Teil) zu Verfälschungen der Aussagen führen. Trotzdem wurde im erstgenannten Fall auf eine zeitliche Normierung der Andauer der Vegetationsphase – entsprechend WITTCHEN (2002) – verzichtet, da die Aussage einer absoluten „Zahl Tage“ für die Entwicklung der Pflanzen aussagekräftiger erschien als eine, auf die Andauer bezogene, relative „Zahl Tage“. Ähnliches gilt hinsichtlich der zeitlich begrenzten Vegetationsphasen. Deren Verlängerung reduziert die „Probleme“ nicht wesentlich, da sich innerhalb längerer Zeitabschnitte die Witterungsbedingungen teilweise erheblich voneinander unterscheiden und die Aussagen nur „glätten“ würden (siehe Abschnitt „Zusammenhang zwischen meteorologischen Parametern und Ertrag für definierte Zeitintervalle“, Tabelle 40).

#### Charakterisierung der Methoden

Die Analysen erfolgten für jede einzelne Vegetationsphase nach zwei Methoden: (I) ohne Berücksichtigung der Bedingungen (und damit des Einflusses) der vorangegangenen Vegetationsphase(n) (siehe Abschnitt „Zusammenhang zwischen meteorologischen Parametern der Vegetationsphasen und dem Ertrag des Erntejahres (Methode I)“) und (II) unter deren Berücksichtigung (siehe Abschnitt „Zusammenhang zwischen meteorologischen Parametern und Ertrag unter Berücksichtigung der Witterung vorangegangener Vegetationsphasen“).

In der erstgenannten Methode wurden die Parameter mit dem Ziel einer möglichst hohen Anpassung des Modells variiert. Diese wurden – erweitert durch den Parameter „Vorwert“, der der Charakterisierung der Witterung der jeweils vorangegangenen Vegetationsphase(n) diene – in die zweite Methode übernommen.

Beiden Methoden wohnen Vor- und Nachteile inne:

Methode I diene der Ermittlung der für den Ertrag – in der jeweiligen Vegetationsphase – relevanten Einflussgrößen. Dabei blieb der Einfluss vorangegangener Vegetationsphasen unberücksichtigt. Vorteil dieser Methode ist die direkte Zuordnung der wesentlichsten Einflussgrößen genau dieser (einen) Phase auf den Ertrag. Nachteilig wirkt dagegen die zeitliche Differenz zwischen der Vegetationsphase und dem Erntezeitpunkt. Dieser Nachteil wird sich mit der Länge der Zeitspanne zwischen beiden „Ereignissen“ – und damit den, der jeweiligen Vegetationsphase nicht zuordenbaren Einflüssen auf den Ertrag – verstärken.

Methode II berücksichtigt den Einfluss der Witterungsbedingungen der vorangegangenen Vegetationsphase(n). Das geschieht durch die Einbeziehung des – durch das Bestimmtheitsmaß des Ertrags-Modells der vorangegangenen Vegetationsphase gewichteten – potentiellen Ertrages der vorangegangenen Vegetationsphase (Vorwert) als zusätzlichen (Eingangs-)Parameter des Ertrags-Modells der aktuellen Vegetationsphase. „Nachteilig“ wirkt bei dieser Methode die Güte der Anpassung des Ertrags-Modells der vorangegangenen Vegetationsphase. Ein hohes Bestimmtheitsmaß dieses Modells verleiht dem Vorwert eine derart starke Bedeutung, dass in den meisten Fällen alle anderen (Eingangs-)Parameter keine Signifikanz erreichen: Und daher im Ertrags-Modell unberücksichtigt bleiben.

#### Einfluss des Analyse-Zeitraums

Der Zeitraum, für den die Ertrags-Modelle erstellt werden, spielt eine entscheidende Rolle (siehe Abschnitt „Einfluss des analysierten Zeitraums“). Aufgrund der Variabilität der Witterung in der Vegetationszeit der jeweiligen Erntejahre können einzelne (extreme) Jahre einen erheblichen Einfluss auf den betrachteten Gesamtzeitraum ausüben (siehe Abschnitt „Vegetationsphase 8 (Fruchtentwicklung)“ der Methode I). Die Aussage, dass die Wahl eines umfangreicheren Analyse-Zeitraumes die Güte der Ergebnisse (in diesem Fall der Ertrags-Modelle) erhöht, kann für den hier untersuchten Sachverhalt nicht bestätigt werden (siehe Abschnitt „Einfluss des analysierten Zeitraums“). Im Gegenteil: Die im Rahmen dieser Analyse erzielten Ergebnisse fokussieren auf die Aussage, dass jedem Ertrags-Modell der Zeitraum, für den es ermittelt wurde, zugeordnet werden muss. Allgemeingültige Aussagen sind problematisch: Selbst wenn längere Zeiträume – z.B. der Gesamtzeitraum (Erntejahre 1998 bis 2017) – in die Analysen einbezogen werden.

### Einfluss der in die Analyse einbezogenen (Eingangs-)Parameter

In diesem Punkt sind Differenzierungen erforderlich: Einerseits gilt es die Einbeziehung der Parameter unterschiedlicher meteorologischer Größen und andererseits unterschiedliche Parameter einer meteorologischen Größe zu betrachten.

Werden Parameter unterschiedlicher meteorologischer Größen einbezogen, sind – sofern die Parameter der differierenden meteorologischen Größen signifikant sind – zumindest teilweise deutliche Unterschiede hinsichtlich der Güte der Anpassung der Ertrags-Modelle erkennbar (siehe Abschnitt „Einfluss der analysierten meteorologischen Größen“). Die Ergebnisse der beiden Varianten A und B belegen dieses. Grundsätzlich sollten möglichst viele meteorologische Größen betrachtet werden. Begrenzend könnte allerdings – sofern auf die Nutzung von Modellen zu deren Berechnung verzichtet wird – deren territoriale Verfügbarkeit wirken.

Variationen sind hinsichtlich unterschiedlicher Parameter einer meteorologischen Größe möglich. Die Nutzung der in der Klimatologie „üblichen“ Parameter ist, sowohl aus Gründen ihrer hohen Verfügbarkeit als auch im Interesse der Vergleichbarkeit der Ergebnisse sinnvoll. Sie decken aber nicht immer das komplette Spektrum der meteorologischen Bedingungen eines Zeitintervalls ab. Um dieses zu ermöglichen, erwies sich die Definition „eigener“ Parameter von Vorteil (siehe Abschnitt „Einfluss der analysierten meteorologischen Parameter“). Diese Parameter können – sofern Originaldaten vorliegen – sehr leicht aus diesen abgeleitet werden; z.B. indem deren Wertebereich im Vorfeld analysiert wird. Derartige Parameter erhalten in Ertrags-Modellen durchaus hohe Signifikanz (siehe Abschnitt „Parameter der Ertrags-Modelle“).

### Einbeziehung eines „Vorwertes“ in die Analysen

Die Ertragsbildung eines landwirtschaftlichen Bestandes vollzieht sich in einer Zeitfolge unterschiedlichster – nicht nur meteorologischer – Bedingungen, die einerseits von Jahr zu Jahr, aber auch innerhalb eines Jahres – sowohl hinsichtlich ihrer Werte als auch in ihrer zeitlichen Abfolge – erheblich variieren. Um dieser Variabilität Rechnung zu tragen, wurde den meist meteorologischen Parametern ein weiterer Parameter hinzugefügt, der der Charakterisierung des Einflusses der dem aktuellen Betrachtungszeitraum vorangegangenen Witterung dienen sollte. Dieser „Vorwert“ wurde als Produkt des sich aus dem Ertrags-Modell der vorangegangenen Vegetationsphase ergebenden potentiellen Ertrages und dem Bestimmtheitsmaß dieses Ertrags-Modells definiert (siehe Abschnitt „Zusammenhang zwischen meteorologischen Parametern und Ertrag unter Berücksichtigung der Witterung vorangegangener Vegetationsphasen“). Diese Definition erscheint logisch, da sie sowohl das (potentielle) Ergebnis der Witterung beinhaltet als auch dessen Zuverlässigkeit bewertet und berücksichtigt. Die Wahl der Variante B, die fünf meteorologische Größen in die Analyse einbezieht, aber auch den analysierten Zeitraum reduziert, führte zu teilweise hohen Bestimmtheitsmaßen der Ertrags-Modelle. Daraus resultierten hohe Vorwerte, die die Einflüsse anderer Parameter weitestgehend in den Hintergrund drängten. Das führt dazu, dass die Zielstellung, für die Entwicklungsphasen der Pflanzen günstige Witterungsbedingungen zu benennen, nur bedingt erreicht werden konnte. Andererseits beweisen Analysen, die nach Variante A (Lufttemperatur und Niederschlagshöhe) für den Gesamtzeitraum (Erntejahre 1998 bis 2017) durchgeführt wurden, dass bei geringerem Bestimmtheitsmaß der Ertrags-Modelle der vorangegangenen Vegetationsphase, in das Modell der aktuellen Vegetationsphase neben dem Vorwert auch meteorologische Parameter aufgenommen werden.

### **Resümee**

Im Rahmen dieser Analyse ist es nicht gelungen, allgemeingültige Aussagen über die für die Ertragsbildung in den einzelnen Vegetationsphasen günstigen Witterungsbedingungen zu treffen. Der wesentlichste Grund dürfte in der Variabilität der Witterung in den jeweiligen Jahren liegen. Diese beeinflusst die Ergebnisse deutlich in Abhängigkeit des betrachteten Zeitraums. Dabei ist dessen Länge offensichtlich unerheblich für die Zuverlässigkeit der Aussagen. Das gilt zumindest für den in dieser Analyse betrachteten 20-jährigen Zeitraum. Bauernregeln besitzen gewöhnlich ein längeres Leben. Sie wachsen im Laufe vieler Generationen. Doch dürften auch sie wesentlich von der

Zeit bestimmt sein: Sowohl von jener, in der sie „gewachsen“ sind, als auch von jener, für die sie gelten. Denn nicht nur das Klima ändert sich.

Wenn im Ergebnis dieser Analyse eine Regel abgeleitet werden kann, dann ist es jene, dass in den einzelnen Vegetationsphasen nur in seltenen Fällen definierte meteorologische Parameter einen signifikanten Einfluss auf den Ertrag ausüben: Vielmehr ist es der als „Vorwert“ definierte potentielle Ertrag der aktuellen Vegetationsphase. Dessen Berechnung basiert zwar auf der Witterung der vorangegangenen Vegetationsphase(n), ermöglicht aber nur eine indirekte Zuordnung des Beitrags ausgewählter meteorologischer Parameter zur Ertragsbildung. Andererseits bietet er die Möglichkeit weiterer Analysen. Sollte es gelingen, ihn – z.B. durch andere Berechnungsvorschriften – zu differenzieren bzw. anzupassen, wäre wahrscheinlich eine Wertung der „alten“ Bauernregeln unter den „neuen“ Bedingungen möglich.

So wäre in späteren Untersuchungen gegebenenfalls eine Splittung des Vorwertes, der sich in der Regel aus den Einflüssen mehrerer meteorologischer Parameter ergibt, in dessen Anteile denkbar, die dann ihrerseits als Vorwerte in die Betrachtungen einbezogen werden.

## Literatur

- AUERNHAMMER, H., J.H. BENZLER, U. DEECKE, H. HÄCKEL, H.-H. IMHOLZE, K.-H. MANN, K.-H. OELKERS, H. SCHÖNBERGER, J. SCHWARZER, W. MUTZ, E. OEHM, K. SCHLÖSSER, M. STEIN, 1987: Pflichtenheft für die Datenverarbeitung in der Pflanzenproduktion. Expertenwissen für Landwirte, Berater und Programmierer, Deutsche Landwirtschaftsgesellschaft, Frankfurt am Main, 307 S.
- BLEIHOLDER, H., L. BUHR, C. FELLER, H. HACK, M. HESS, R. KLOSE, U. MEIER, R. STAUSS, T. VAN DEN BOOM, E. WEBER, D. LANCASHIRE, P. MUNGER, 1997: Kompendium der phänologischen Entwicklungsstadien mono- und dikotyler Pflanzen. Erweiterte BBCH-Skala, 2. Auflage, elektr. Version bearb. von M. Enz und Ch. Dachler, ISBN 3-9520749-2-6
- CHMIELEWSKI, F.M., W. KÖHN, 1998: The impact of weather on the yield formation of spring cereals. *Agrarmeteorologische Schriften* **4**, 1-11
- CHMIELEWSKI, F.M., W. KÖHN, 2000: The impact of weather on yield components of winter rye over 30 years. *Agriculture and Forest Meteorology* **102**, 253-261
- CHMIELEWSKI, F.M., 2003: Phenology and Agriculture. *Agrarmeteorologische Schriften* **12**, 1-13
- CHMIELEWSKI, F.M., 2015: Folgen des Klimawandels für Land- und Forstwirtschaft, <https://edoc.hu-berlin.de/bitstream/handle/18452/2630/75.pdf?sequence=1&isAllowed=y> (abgerufen 21.08.2019)
- DEIKE, ST., B. PALLUTT, O. CHRISTEN, 2010: Untersuchungen zur Energieeffizienz im Integrierten und Ökologischen Landbau am Beispiel eines Langzeitversuches auf einem lehmigen Sandboden. *Journal für Kulturpflanzen* **62**, 259-263
- DLG – DEUTSCHE LANDWIRTSCHAFTS-GESELLSCHAFT, 1981: Weizen aktuell. - bearb. von L. Reiner [Mitverf.]. DLG-Verlag, Frankfurt am Main. 174 S., ISBN 3-7690-0371-3
- DÖRFLER, J., H. HÜFFMEIER, 1998: Pflanzliche Erzeugung: Grundlagen des Acker- und Pflanzenbaus, Grundlagen des Integrierten Landbaus, Produktionstechnik der Kulturpflanzen, Dauergrünland, Nachwachsende Rohstoffe, Ökologischer Landbau, Naturschutz, Landschaftspflege. 11. völlig neubearb. und erw. Aufl., München: BLV-Verl.-Ges. Die Landwirtschaft: Lehrbuch für Landwirtschaftsschulen. Band 1, 744 S., ISBN 3-405-15445-6
- DIEPENBROCK, W., F. ELLMER, J. LÉON, 2005: Ackerbau, Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung. UTB Grundwissen Bachelor, 3. völlig neu bearb. und erw. Aufl., Stuttgart, Verlag Eugen Ulmer, 364 S.
- DIXON, D.L., S.E. HOLLINGER, P. GARCIA, V. TIRUPATTUR, 1994: Estimating Corn Yield Response Models to Predict Impacts of Climate Change. *Journal of Agricultural and Resources Economics* **19** (1), 58-68.
- EISBRENNER, R., 2008: Das große Buch der Bauernregeln. 3333 Sprichwörter, Redensarten und Wetterregeln. Anaconda, Köln, ISBN 978-3-86647-209-9.
- 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.
- FRANKE, J., M. SURKE, M. LANGROCK, 2007: Handbuch zur „Klimadatenbank Mitteldeutschland“ (<http://www.climate-service-center.de>) (abgerufen 24.09.2015)
- GEISLER, G., 1988: Pflanzenbau. Ein Lehrbuch – Biologische Grundlagen und Technik der Pflanzenproduktion, 2. neubearb. und erw. Aufl., Verlag Paul Parey, Berlin und Hamburg. 530 S.

- GEODZ, 2015: <http://geodz.com/deu/d/Vegetationszeit> (abgerufen 24.09.2015)
- GORNOTT, CH., F. WECHSUNG, 2015: Niveauneutrale Modellierung der Ertragsvolatilität von Winterweizen und Silomais auf mehreren räumlichen Ebenen in Deutschland. *Journal für Kulturpflanzen* **67** (6), 205-223, ISSN/ISBN: 1867-0911
- GÖMANN, H., A. BENDER, A. BOLTE, W. DIRKSMEYER, H. ENGLERT, J.-H. FEIL, C. FRÜHAUF, M. HAUSCHILD, S. KRENGEL, H. LILIENTHAL, F.-J. LÖPMEIER, J. MÜLLER, O. MUßHOFF, M. NATKHIN, F. OFFERMANN, P., SEIDEL, M. SCHMIDT, B. SEINTSCH, J. STEIDL, K. STROHM, Y. ZIMMER, 2015: Agrarrelevante Extremwetterlagen und Möglichkeiten des Risikomanagements Studie im Auftrag des Bundesministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (BMELV); Abschlussbericht: Stand 03.06.2015. (Thünen Report **30**). Braunschweig, 312 S.
- GUDDAT, CH., E. SCHREIBER, M. FARACK, 2010: Aktuelle Hinweise zur Winterfestigkeit von Winterweizen – Langversion, 2. geänderte Auflage. Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft, Abteilung Pflanzenproduktion. (<http://www.db-thueringen.de/servlets/DerivateServlet/Derivate-0914/Aktuelle%20Hinweise%20Winterfestigkeit%20Winterweizen%20lang.pdf>) (abgerufen: 17.09.2015)
- HACK ET AL., 1992: Kompendium der phänologischen Entwicklungsphasen mono- und dikotyler Pflanzen. Erweiterte BBCH-Skala. 2. Auflage. Elektronische Version bearbeitet von M. Enz und Ch. Dachler, Novartis.
- HAHN, E., 2011: Ackerbauliche Praxis in einem Trockengebiet. 43. Pflanzenbauliche Vortragsstagung in Sindelfingen 17. November 2011. Kurzfassung der Referate, 5-6
- HOFFMANN, J., 2006: Flora des Naturparks Märkische Schweiz. 1. Auflage. Cuvillier Verlag, Göttingen. 578 S.
- JAHN, M., CH. WAGNER, E. MOLL, B. PALLUTT, 2010: Auftreten und Bekämpfung von Krankheiten in Wintergetreide in einem Dauerfeldversuch auf dem Versuchsfeld Dahnsdorf. *Journal für Kulturpflanzen* **62**, 248-258
- KUHLMEY, R., 1987: Prüfmethode und –algorithmen der Qualitäts- und Vollständigkeitskontrolle der meteorologischen Daten im MD der DDR (Stand: April 1987), unveröffentlicht
- LOBELL, D.B., W. SCHLENKER, J. COSTA-ROBERTS, 2012: Climate trends and global crop production since 1980. *Science* **333** (6042), 616-620
- LÜTKE ENTRUP, N., J. OEHMICHEN, 2000: Lehrbuch des Pflanzenbaus. Band 1: Grundlagen. Verlag Th. Mann, Gelsenkirchen. 798 S. ISBN 3-7862-0119-6
- LÜTTGER, A.B., T. FEIKE, 2018: Development of heat and drought related extreme weather events and their effect on winter wheat yields in Germany. *Theor Appl Climatol* **132**:15–29
- MAIER, H., 2009: Das Klima und die Landwirtschaft. Klimastatusbericht 2009. [http://www.dwd.de/GGTSPU-styx2.jki.bund.de-26234-1120535-jRd7xw44vFgqxXzQ-DAT/bvbw/generator/DWDWWW/Content/Oeffentlichkeit/KU/KU2/KU22/klimastatusbericht/einzelne\\_berichte/ksb2009\\_pdf/artikel1,templateId=raw,property=publicationFile.pdf/artikel1.pdf](http://www.dwd.de/GGTSPU-styx2.jki.bund.de-26234-1120535-jRd7xw44vFgqxXzQ-DAT/bvbw/generator/DWDWWW/Content/Oeffentlichkeit/KU/KU2/KU22/klimastatusbericht/einzelne_berichte/ksb2009_pdf/artikel1,templateId=raw,property=publicationFile.pdf/artikel1.pdf) (abgerufen 16.09.2015)
- MONTEITH, J.L., 1977: Climate and the efficiency of crop production in Britain. *Philosophical transactions of the Royal Society of London* **281**, 277-294
- PALLUTT, B., M. JAHN, B. FREIER, E. MOLL, 2010: Dauerfeldversuche auf dem Versuchsfeld Dahnsdorf unter besonderer Berücksichtigung der Unkrautbekämpfung. *Journal für Kulturpflanzen* **62**, 238-247
- ROSSBERG, D., E. JÖRG, K. FALKE, 2005: SIMONTO – ein neues Ontogenesemodell für Wintergetreide und Winterraps. *Nachrichtenbl. Deut. Pflanzenschutzd.* **57** (4), 74-80, Eugen Ulmer GmbH & Co., Stuttgart. ISSN 0027-7479
- RÜTHER, H., H. ANSORGE, 1959: Ein halbes Jahrhundert „Statischer Versuch“ Lauchstädt. In: *Zeitschrift für landwirtschaftliches Versuchs- und Untersuchungswesen*. Band 5 (1959), S. 99-121  
[http://peterkanther.de/mediapool/146/1468567/data/Neuer\\_Ordner/Neuer\\_Ordner/2013\\_11\\_08\\_14\\_59\\_19\\_01.pdf](http://peterkanther.de/mediapool/146/1468567/data/Neuer_Ordner/Neuer_Ordner/2013_11_08_14_59_19_01.pdf) (abgerufen 22.09.2015)
- SCHREIBER, E.; CH. GUDDAT, 2013: Aktuelle Einschätzung der Winterfestigkeit von Wintergerstensorten 2013. Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft, Abteilung Pflanzenproduktion. [http://www.tll.de/GGTSPU-styx2.jki.bund.de-23854-77676-c9rsgFn0YRALOLGc-DAT/ainfo/pdf/lv\\_wwg.pdf](http://www.tll.de/GGTSPU-styx2.jki.bund.de-23854-77676-c9rsgFn0YRALOLGc-DAT/ainfo/pdf/lv_wwg.pdf) (abgerufen 17.09.2015)
- SCHWARZ, J., E. MOLL, 2010: Entwicklung der Verunkrautung in Abhängigkeit von Fruchtfolge und Herbizidintensität. *Journal für Kulturpflanzen* **62**, 317-325
- WENKEL, K.-O., W. MIRSCHEL, 1995: Agroökosystemmodellierung. Grundlage für die Abschätzung von Auswirkungen möglicher Landnutzungs- und Klimaänderungen. ZALF-Bericht Nr. 24, 187 S.
- WITTCHEN, U., 2002: Beschreibung und Modellierung des Mikroklimas in Wintergetreide-Beständen unter besonderer Berücksichtigung langjähriger Messungen in Berlin-Dahlem und Dahnsdorf. Logos-Verlag Berlin, 142 S., ISBN: 3-8325-0136-3

- WITTCHEN, U., J. SCHWARZ, B. PALLUTT, 2015A: Versuchsfeld Dahnsdorf – 15 Jahre agrarmeteorologische Messungen. Teil 1: Allgemeines. Journal für Kulturpflanzen, **67** (5), 153-161, ISSN/ISBN: 1867-0911
- WITTCHEN, U., J. SCHWARZ, B. PALLUTT, 2015B: Versuchsfeld Dahnsdorf – 15 Jahre agrarmeteorologische Messungen. Teil 2: Lufttemperatur. Journal für Kulturpflanzen, **67** (5), 162-174, ISSN/ISBN: 1867-0911
- WITTCHEN, U., J. SCHWARZ, B. PALLUTT, 2015C: Versuchsfeld Dahnsdorf – 15 Jahre agrarmeteorologische Messungen. Teil 4: Extreme Witterungsereignisse. Journal für Kulturpflanzen, **67** (5), 184-201, ISSN/ISBN: 1867-0911



„Berichte aus der Biologischen Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft“  
erscheinen seit 1995 in zwangloser Folge

Seit 2008 werden sie unter neuem Namen weitergeführt:  
„**Berichte aus dem Julius Kühn-Institut**“

- Heft 181, 2015      Achtes Nachwuchswissenschaftlerforum 2015, 19. - 21. Oktober in Quedlinburg - Abstracts -, 42 S.
- Heft 182, 2015      Netz Vergleichsbetriebe Pflanzenschutz, Jahresbericht 2014, Analyse der Ergebnisse der Jahre 2007 bis 2014. Bearbeitet von Bernd Freier, Jörg Sellmann, Jörn Strasse Meyer, Jürgen Schwarz, Bettina Klocke, Silke Dachbrodt-Saaydeh, Hella Kehlenbeck, Wolfgang Zornbach, 42 S.
- Heft 183, 2016      Pflanzen für die Bioökonomie – Welche Herausforderungen ergeben sich für die Qualität nachwachsender Rohstoffe? 50. Vortragstagung - Abstracts -, 94 S.
- Heft 184, 2016      23rd International Symposium of the International Scientific Centre of Fertilizers Plant nutrition and fertilizer issues for the cold climates. Bearbeitet von/ Compiled by Silvia Haneklaus, Peder Lombnæs, Ewald Schnug. Son (Norway), September 8-10, 2015, 30 S.
- Heft 185, 2016      24th International Symposium of the International Scientific Centre of Fertilizers Plant nutrition and fertilizer issues for specialty crops. Bearbeitet von/ Compiled by Silvia Haneklaus, Eduardo Rosa, Ewald Schnug. Coimbra (Portugal), September 6-8, 2016, 65 S.
- Heft 186, 2016      9th Young Scientists Meeting 2016, 9th - 11th November in Quedlinburg – Abstracts –, 2016, 59 S.
- Heft 187, 2017      Handlungsempfehlung zur Anwendung von Glyphosat im Ackerbau und der Grünlandbewirtschaftung der Bund-Länder-Expertengruppe. 11 S.
- Heft 188, 2017      2. Symposium Zierpflanzenzüchtung 13./14. März 2017 in Quedlinburg – Abstracts –, 2017, 48 S.
- Heft 189, 2017      Bericht über Erkenntnisse wissenschaftlicher Untersuchungen über mögliche direkte und indirekte Einflüsse des Pflanzenschutzes auf die Biodiversität in der Agrarlandschaft. Bearbeitet von/ Compiled by Bernd Freier, Sandra Krengel, Christine Kula, Stefan Kühne, Hella Kehlenbeck, 2017, 72 S.
- Heft 190, 2017      Schlussbericht zum Vorhaben Thema des Verbundprojektes: Untersuchung zur Epidemiologie bodenbürtiger Viren in Triticale mit dem Ziel der Entwicklung von virusresistenten Sorten mit hohen Biomasseerträgen für die Biogas- und Ethanolgewinnung. Ute Kastirr, Angelika Ziegler, 2017, 50 S.
- Heft 191, 2017      25th International Symposium of the Scientific Centre for Fertilizers "Significance of Sulfur in High-Input Cropping Systems" Groningen (Netherlands), September 5-8, 2017. Bearbeitet von/ Compiled by: Luit J. De Kok, Silvia Haneklaus, Ewald Schnug, 2017, 58 S.
- Heft 192, 2017      9th Young Scientists Meeting 2017, 6th – 7th November in Siebeldingen - Abstracts -, 2017, 80 S.
- Heft 193, 2018      Sekundäre Pflanzenstoffe – Rohstoffe, Verarbeitung und biologische Wirksamkeiten, 52. Vortragstagung, 2018, 65 S.
- Heft 194, 2018      Netz Vergleichsbetriebe Pflanzenschutz, Zwei-Jahresbericht 2015 und 2016, Analyse der Ergebnisse der Jahre 2007 bis 2016. Bearbeitet von/ Compiled by: Silke Dachbrodt-Saaydeh, Jörg Sellmann, Jörn Strasse Meyer, Jürgen Schwarz, Bettina Klocke, Sandra Krengel, Hella Kehlenbeck, 2018.
- Heft 195, 2018      Abschätzung der Habitatwirkung veränderter Produktionsverfahren auf Indikatorvogelarten der Ackerbaugelände im Forschungsvorhaben „Maisanbau für hohen Ertrag und biologische Vielfalt“ am Beispiel der Feldlerche (*Alauda arvensis*). Jörg Hoffmann, Udo Wittchen, 2018, 48 S.
- Heft 196, 2018      SPISE 7, 7th European Workshop on Standardized Procedure for the Inspection of Sprayers in Europe Athens, Greece, September 26-28, 2018. Bearbeitet von/ Compiled by: Paolo Balsari, Hans-Joachim Wehmann, 2018, 302 S.
- Heft 197, 2018      Schlussbericht zum Vorhaben Vorkommen und Schädigung des *Soil-borne wheat mosaic virus* (SBWMV) in Winterweizen. Dr. Ute Kastirr, Dr. Angelika Ziegler, 2018, 34 S.
- Heft 198, 2018      Schlussbericht zum Vorhaben Monitoring zum Vorkommen bodenbürtiger Viren in Weizen, Triticale und Roggen in den wichtigsten Getreideanbaugeländen Deutschlands. Dr. Ute Kastirr, Dr. Angelika Ziegler, Dr. Annette Niehl, 2018, 58 S.
- Heft 199, 2018      NEPTUN-Gemüsebau 2017. Dietmar Roßberg, Martin Hommes, 2018, 42 S.
- Heft 200, 2018      11th Young Scientists Meeting 2018, 14th – 16th November in Braunschweig, - Abstracts -, 86 S.
- Heft 201, 2018      Schlussbericht zum Vorhaben Untersuchung von Interaktionen zwischen bodenbürtigen Zuckerrübenviren und deren Auswirkung auf die Rizomania. Dr. Ute Kastirr, Dr. Katja Richert-Pöggeler, 2018, 52 S.
- Heft 202, 2018      Trial Report – Closed Transfer Systems (CTS). Matthias Kemmerling, Jens Karl Wegener, Dirk Rautmann, Jan-Philip Pohl, Eckhard Immenroth, Dieter von Hörsten, 2018, 52 S.
- Heft 203, 2018      Statusbericht Biologischer Pflanzenschutz 2018. Eckhard Koch, Annette Herz, Regina G. Kleespies, Annegret Schmitt, Dietrich Stephan, Johannes A. Jehle, 2018, 126 S.
- Heft 204, 2019      2nd International Plant Spectroscopy Conference (IPSC) 2019. Hartwig Schulz, Catharina Blank, Christoph Böttcher, Benjamin Fürstenau, Andrea Krähmer, Torsten Meiners, David Riewe (Eds.), 137 S.
- Heft 205, 2019      Auswertung der Anzahl Resistenzklassen von Wirkstoffen für Pflanzenschutzmittelanwendungen - Evaluation of the number of resistance classes of active ingredients for crop protection applications. Frank Jeske, 45 S.
- Heft 206, 2019      12th Young Scientists Meeting 2019, 6th – 8th November in Kleinmachnow - Abstracts -, 2019, 56 S.

