

# Phänologie-Journal

## Modellierung des Jahresganges der Grasvergilbung

Annika Bollmann, Institut für Meteorologie und Klimatologie  
der Leibniz Universität Hannover

Deutschland zählt in Mitteleuropa nach Polen zu dem Land mit der höchsten Waldbrandgefahr. Hierbei gelten vor allem die Wälder in den östlichen Bundesländern aufgrund ihrer Bodenbeschaffenheit und dem hohen Kiefernanteil als besonders gefährdet. Allein ein Drittel der Waldbrände in Deutschland werden in Brandenburg gemeldet (Hirschberger, 2016). Um die Bevölkerung und die örtlichen Feuerwehren in Zeiten hoher Waldbrandgefahr zu sensibilisieren, stellt der Deutsche Wetterdienst (DWD) von März bis Oktober den Waldbrandgefahrenindex bereit. Da jedoch fast jeder Waldbrand als Bodenfeuer beginnt, wird über denselben Zeitraum zusätzlich der Graslandfeuerindex (GLFI) berechnet. Der GLFI geht momentan jedoch vereinfachend von vollständig vergilbten Flächen aus und berücksichtigt die jahreszeitliche Veränderung des Gelbanteils nicht. Ziel meiner Masterarbeit zum Thema *Modellierung des Jahresganges der Grasvergilbung* am Zentrum für Agrarmeteorologische Forschung in Braunschweig (ZAMF) war es, den Jahresgang der Grasvergilbung für den Standort Braunschweig zu simulieren und zu einer realistischen Einschätzung der Feueregefährdung zu kommen.

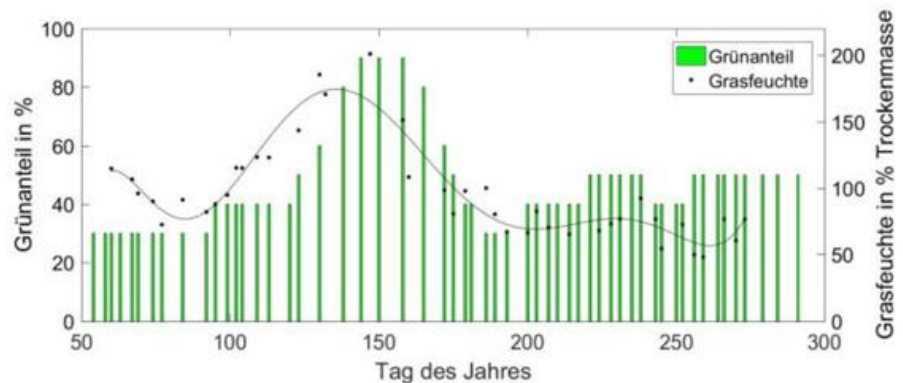
Grundsätzlich ist die Brandgefahr bei Gräsern abhängig vom Gelbanteil an der Gesamtfläche und vom Blattwasser-gehalt. Die Gelbfärbung ist ein völlig natürlicher Prozess und entsteht aufgrund der Seneszenz, dem genetisch gesteuerten Alterungsprozess, oder durch Austrocknungsprozesse während Trockenperioden. Erst ab einem Gelbanteil von über 50 % ist der Wassergehalt des Grases so niedrig, dass Grasfeuer sich kontinuierlich ausbreiten können (Gravey M., 1999). Der Vergilbungsgrad wurde durch Beobachtung bestimmt und als prozentualer Anteil an

der Gesamtfläche angegeben (Wittich K. -P., 2007 bis 2009).

Die Beobachtungsfläche ist eine 30 m x 31 m große, nicht bewirtschaftete wildwachsende Grasfläche auf dem Forschungsgelände des ZAMF. Auf ihr wächst vorrangig der harte Schaf-Schwingel, welcher sich als mehrjährig wachsendes Gras gut für die Beobachtung der Grasvergilbung eignet. Zur Bestimmung der Grasfeuchte wurde parallel zur Bestimmung der Grasvergilbung eine Grasprobe entnommen, das Feuchtgewicht  $m_w$  bestimmt und die Probe für 24 h bei 105 °C getrocknet. Mit dem Trockengewicht  $m_d$  wird dann der Feuchtegehalt des Grases wie folgt bestimmt (Wittich K. -P., 2010):

$$f = \frac{m_w - m_d}{m_d} \cdot 100 \quad (1)$$

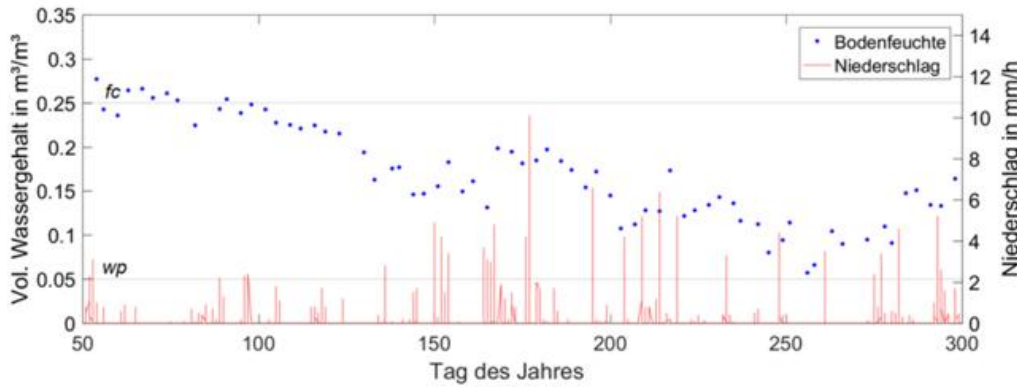
Zusätzlich zu diesen beiden Größen wurde zweimal wöchentlich die Bodenfeuchte gravimetrisch über eine vertikale Bodensäule bis in eine Tiefe von 60 cm bestimmt. In der Abbildung 1 ist der Jahresgang des Grünanteils des Grases und der Grasfeuchte (bezogen auf das Trockengewicht) der beobachteten Grasfläche am ZAMF in Braunschweig für das Jahr 2016 dargestellt.



**Abb. 1:** Jahresgang des Grünanteils (grüne Balken) und der Grasfeuchte (schwarze Punkte) der beobachteten Grasfläche am ZAMF. Das Ausgleichspolynom durch die Messpunkte der Grasfeuchte verdeutlicht den Verlauf (Bollmann, 2017) (Melaas, 2013).



Die Abbildung 2 enthält Messdaten der Bodenfeuchte bis in 60 cm Tiefe und die gemessene Niederschlagsmenge.



**Abb. 2:** Messdaten der Bodenfeuchte bis in 60 cm Tiefe und der Niederschlagsmenge. Die horizontalen Linien zeigen die Feldkapazität *fc* und den Welkepunkt *wp* (Bollmann, 2017).

Der Beobachtungszeitraum beginnt Mitte Februar (Tag 50) und endet im Oktober (Tag 300). Über den Winter hinweg ist die Biomasse aufgrund des Frostes abgestorben, wodurch der Vergilbungsgrad im Frühjahr einen Wert von 70 % aufweist. Folglich liegt der Grünanteil des Grases bei 30 %. Die Grasfeuchte nimmt zu Beginn der Messungen aufgrund des Grasabsterbens leicht ab. Sobald das Tagesmittel der Lufttemperatur die +5 °C überschreitet und somit definitionsgemäß die Vegetationsperiode beginnt, fängt auch das Gras an zu wachsen. Erkennbar ist dies am Anstieg des Grünanteils auf 40 %. Zu diesem Zeitpunkt liegt die Bodenfeuchte nahe der Feldkapazität *fc*. Folglich steht dem Gras genügend Wasser für das Wachstum zur Verfügung. Bis zum Tag 150 (Ende Juni) nimmt der Grünanteil weiter zu und erreicht sein Maximum von 90 %. Nahezu zeitgleich, am Tag 153, wurde durch den phänologischen Beobachter der Beginn der Grasblüte gemeldet. Die Grasfeuchte nimmt, beginnend mit dem Graswachstum, ebenfalls zu und erreicht zur gleichen Zeit ihr Maximum. Aufgrund des Graswachstums bis zur Blüte, dem damit einhergehenden gesteigerten Wasserbedarf des Grases und den geringen Niederschlägen im Frühjahr 2016, nimmt die Bodenfeuchte (Abb. 2) ab und erreicht um den Tag der Grasblüte einen Wert von 0,15 m³/m³. Dieses entspricht gerade einmal 50 % der nutzbaren Feldkapazität.

Nach der Grasblüte setzt die Seneszenz ein. Der Grünanteil des Grases und die Grasfeuchte nehmen rasch ab und erreichen um den Tag 185 fast ihre Ausgangswerte vom Frühjahr. Nach dem lokalen Minimum im Sommer folgt typischerweise eine zweite kleinere Grünwelle. In der Abbildung 1 ist diese jedoch nur schwach ausgeprägt zu erkennen. Der Grund dafür ist die zu diesem Zeitpunkt geringe Bodenfeuchte von weniger als 50 % der nutzbaren Feldkapazität. Dieses ist nicht ausreichend für ein erneutes vollständiges Ergrünen des Grases. Es ist um den Tag 240 sogar ein leichter Rückgang des Grünanteils auf 40 % zu

erkennen. Die Ursache hierfür war ein sehr warmer und trockener September im Jahr 2016. Hierbei war der Rückgang der Bodenfeuchte sogar so stark, dass kurzzeitig der Welkepunkt von 0,05 m³/m³ erreicht wurde. Erst durch den sehr feuchten Oktober im Jahr 2016 nahm der Grünanteil wieder leicht zu, blieb aber durch die niedrigeren Tagesmitteltemperaturen unterhalb von 10 °C bis zum Ende der Beobachtungen konstant bei 50 %.

Unter Betrachtung der 50 %-Schwelle lag durch das Absterben des Grases im Winter bis Anfang Mai (Tag 130) eine Brandgefährdung vor. Bis Mitte Juni (Tag 170) wurde ein Grünanteil oberhalb von 50 % gemeldet, welches definitionsgemäß mit einer sehr geringen Gefahr der Grasentzündung einhergeht. Erst durch Einsetzen der Seneszenz und der lang anhaltenden Trockenheit im September lag beginnend ab Ende Juni bis Ende der Vegetationsperiode wieder eine Brandgefährdung vor.

### Grasvergilbungsmodell

Wichtig für die Simulation des Gelbanteils ist, den Tag des Ergrüens und den Tag der Grasblüte zu bestimmen, da diese beiden Entwicklungsstadien wichtige Phasen im Jahresgang der Grasvergilbung voneinander abgrenzen. Der Tag des Ergrüens ist eine bereits durch phänologische Beobachtungen erfasste Phase. Für den Tag der Grasblüte wurde die phänologisch beobachtete Vollblüte des Wiesenknäuelgrases verwendet, da diese Grasart ebenfalls auf dem beobachteten Dauergrünland wächst und fast zeitgleich mit dem harten Schaf-Schwingel blüht. Für den Programmablauf ist es jedoch notwendig, dass beide Tage rechnerisch bestimmt werden. Grundlage des Verfahrens für die Bestimmung der beiden phänologischen Ereignisse ist die folgende Gleichung (Melaas, 2013) (Yang, 1995):

$$S_f(t) = \sum_{t_0}^t \max(T_a - T_f, 0) > S_{f,p} \quad t = t_p \quad (2)$$

Hierbei ist  $T_a$  die gemessene Tagesmitteltemperatur und  $T_f$  die sogenannte Basistemperatur. Es werden nur Temperaturdifferenzen oberhalb von 0 °C berücksichtigt, da phänologisch relevante Tage eine bestimmte Mindesttemperatur aufweisen sollen. Sobald die Temperatursumme  $S_f(t)$  am Tag  $t$  einen bestimmten, ortsabhängigen Grenzwert  $S_{f,p}$  überschreitet, ist der phänologisch beobachtete Tag  $t_p$  erreicht. Folglich kann anhand der gemessenen Tagesmitteltemperatur der Tag des Ergrüens und der Tag der Grasblüte abgeschätzt werden. Bevor jedoch eine Aussage getroffen werden kann, müssen die beiden ortsabhängigen Konstanten  $S_{f,p}$  und  $T_f$  für die jeweilige Phase bestimmt werden. Hierfür wurden lückenlose Datenreihen über die



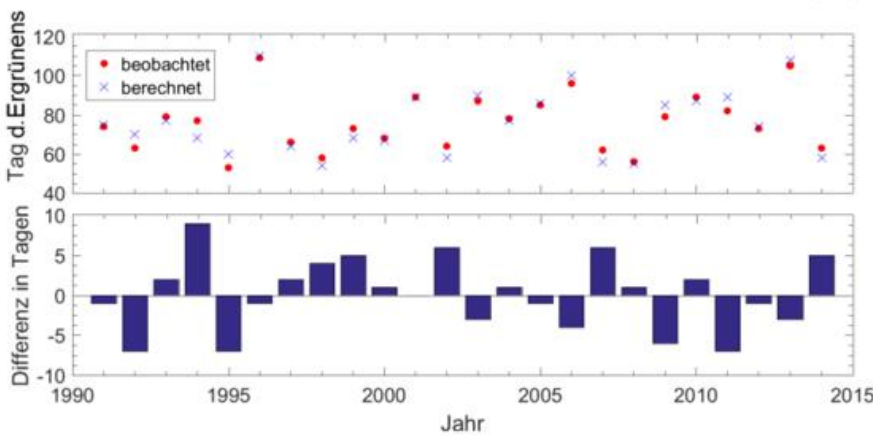
Jahre 1991 bis 2014 verwendet. Zu Beginn wurden die Temperatursummen, beginnend von einem Startdatum  $t_o$ , bis zum phänologisch beobachteten Tag  $t_p$  berechnet. Die Basistemperatur variierte zwischen  $-10,0^\circ\text{C}$  bis  $10,0^\circ\text{C}$  in  $0,1^\circ\text{C}$ -Schritten. Der Beginn der Rechnungen kann frei gewählt werden und wirkt sich auch auf die Konstanten aus, da mehr oder weniger Tage berücksichtigt werden. Durch Bildung des Variationskoeffizienten  $V$  aus den Quotienten des Mittelwertes und der Standardabweichung, berechnet über alle Jahre, kann die Basistemperatur bestimmt werden, die die geringste Streuung in der Berechnung der Temperatursumme aufweist (Yang, 1995). Die Ergebnisse können der Tabelle 1 entnommen werden.

Phänologischer Tag	$t_o$	$T_f$ in $^\circ\text{C}$	$S_{f,p}$ in $^\circ\text{C}$
Beginn des Ergrüens	1. Januar	-4,5	540,1
Beginn der Blüte	Beginn des Ergrüens	2,9	498,9

**Tab. 1:** Angegeben sind die Werte der Basistemperaturen mit den dazugehörigen Temperatursummen. Die angegebenen Werte gelten für Braunschweig.

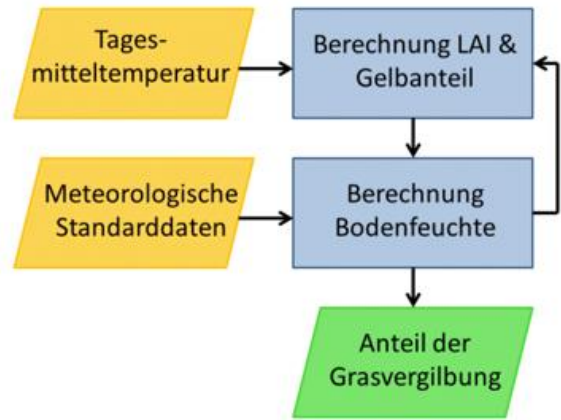
Unter Anwendung der Formel (2) mit  $T_f = -4,5^\circ\text{C}$  und  $S_{f,p} = 540,1^\circ\text{C}$  wurde rechnerisch zur Überprüfung der Beginn des Ergrüens für die Jahre 1991 bis 2014 rückwirkend bestimmt und in der Abbildung 3 dargestellt. Der Korrelationskoeffizient zwischen berechneter und beobachteter Zeitreihe liegt bei 0,94.

Zusätzlich enthält die Abbildung 3 die Differenz zwischen beobachteten und berechneten Tagen. Im Mittel ergibt sich eine Abweichung von 3,8 Tagen. Im Jahr 2001 konnte der Beginn des Ergrüens sogar exakt datiert werden. Nach den eben beschriebenen Verfahren werden der Tag des Ergrüens und die Grasblüte im Grasvergilbungsmodell bestimmt.



**Abb. 3:** Tag des Ergrüens in Braunschweig, berechnet vom Beginn des Jahres, und die Differenz zwischen phänologisch beobachtetem und berechnetem Tag für die Jahre 1991 bis 2014.

Bevor jedoch erklärt wird, welche Bedeutung diese berechneten Tage haben, soll erst einmal die Funktionsweise des Grasvergilbungsmodells allgemein beschrieben werden. In Abbildung 4 ist der schematische Aufbau des Grasvergilbungsmodells dargestellt.



**Abb. 4:** Schematischer Aufbau des Grasvergilbungsmodells, wobei als Eingangsdaten stündliche meteorologische Standarddaten und Tagesmitteltemperaturen verwendet werden. Zu Jahresbeginn werden Startwerte für den LAI und die Bodenfeuchte benötigt. Die Ausgabegröße ist der Gelbanteil des Grasses.

Es ist ersichtlich, dass das Modell aus zwei Modulen besteht. Das erste Modul ist für die Berechnung des Blattflächenindex LAI (Leaf Area Index) und die Bestimmung des Gelbanteils zuständig. Als Eingangsdaten für dieses Modul werden Tagesmitteltemperaturen verwendet. Das zweite Modul beinhaltet die Berechnung der Bodenfeuchte und verwendet stündliche meteorologische Standarddaten als Eingangswerte, wozu die Lufttemperatur, die relative

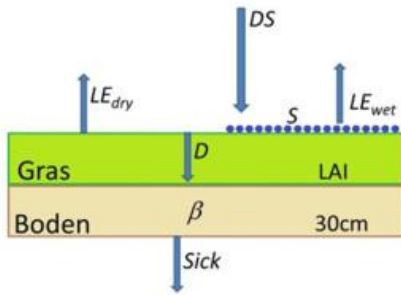
Feuchte, der Niederschlag, die Windgeschwindigkeit und die kurzweilige beziehungsweise die langweilige Einstrahlung zählen. Die Ausgabegröße des Modells ist der Anteil der Grasvergilbung. Da für die Berechnung des LAI und der Bodenfeuchte der jeweils andere Wert benötigt wird, sind zu Beginn der Simulationen Messwerte als Startwerte vorzugeben.

Durch die Simulation der Bodenfeuchte soll der natürliche Einfluss der Wasserverfügbarkeit auf das Graswachstum berücksichtigt werden. Das Gras kann gut wachsen, wenn genügend Wasser im Boden zur Verfügung steht.

Ist die Pflanze jedoch in Dürreperioden Wasserstress ausgesetzt, so kann sie welken und sogar absterben. Folglich ist die Simulation der Bodenfeuchte ein wichtiger Teil der Simulation der Grasvergilbung.



Schematisch ist der Aufbau zur Berechnung der Bodenfeuchte in Abbildung 5 dargestellt.



**Abb. 5:** Schematischer Aufbau zur Berechnung der Bodenfeuchte. Die Regenmenge  $DS$  ist die einzige Messgröße, denn alle anderen Größen werden berechnet. Zu den berechneten Größen gehören die latenten Wärmeströme der trockenen  $LE_{dry}$  und nassen  $LE_{wet}$  Oberfläche, die Interzeptionshöhe  $S$ , die von den Blättern abtropfende Wassermenge  $D$ , die Bodenfeuchte  $\beta$  und die in tiefere Bodenschichten versickernde Wassermenge  $Sick$  (Bollmann, 2017).

Das Modul ist aufgebaut aus einer 30 cm tiefen Bodenschicht und einer darauf aufliegenden Grasschicht, deren Dichte abhängig vom LAI ist und nur die photosynthetisch aktive grüne Blattfläche berücksichtigt, welche jahreszeitlichen Schwankungen unterliegt. Das Gras kann eine bestimmte Menge  $S$  des fallenden Niederschlages  $DS$  zurückhalten. Die maximal mögliche Wassermenge, die von den Blättern zurückgehalten werden kann, ist abhängig von der Blattfläche und wird durch

$$SC_G = 0,4 \cdot (0,13 \cdot LAI) \quad (3)$$

berechnet (Couturier, 1973). Wird die maximal mögliche Menge durch auf die Blätter auftreffenden Niederschlag überschritten, so tropft die überflüssige Menge  $D$  ab. Die Verdunstung des Wassers von der Blattoberfläche wird durch den latenten Wärmestrom  $LE$  berücksichtigt. Da jedoch die Blattoberfläche nicht immer vollständig mit Wasser benetzt ist, muss der latente Wärmestrom noch nach der Hypothese 2 von Nigel Hancock aufgeteilt werden (Hancock, 1983). Bei dieser Hypothese gibt sowohl die nasse als auch die trockene Oberfläche mit der gleichen Oberflächentemperatur einen latenten Wärmestrom ab. In der Abbildung 5 ist diese Aufteilung mit  $LE_{wet}$  und  $LE_{dry}$  gekennzeichnet. Die Berechnung erfolgt nach den Angaben in der Veröffentlichung.

Die Berechnung der Bodenfeuchte ist zusätzlich noch von der Bodenart abhängig. Für den Standort Braunschweig wurde lehmiger Sand als Bodenart festgelegt. Nach der folgenden Formel kann die Sickerung berechnet werden:

$$Sick = K_{sat} \cdot \left(\frac{\beta}{\beta_{sat}}\right)^{2a+3} \quad (4)$$

Hierbei ist  $K_{sat} = 156,3 \cdot 10^{-6} \text{ m/s}$  die hydraulische Leitfähigkeit,  $\beta_{sat} = 0,41 \text{ m}^3/\text{m}^3$  die Porosität und  $a = 4,38$  ein Exponent (Clapp, 1978). Alle Werte wurden der Literatur entnommen und gelten für die Bodenart lehmiger Sand. Wasser kann jedoch nur versickern, wenn der aktuelle Wert der Bodenfeuchte oberhalb dem Wert der Feldkapazität von  $fc = 0,25 \text{ m}^3/\text{m}^3$  liegt.

Das Abtropfen  $D$  ist abhängig von der Interzeptionshöhe  $S$ , der Niederschlagsmenge  $DS$  und der maximal möglichen Wassermenge  $SC_G$ , die auf den Blättern gespeichert werden kann. Daraus kann folgende Formel bestimmt werden:

$$D = S + DS - SC_G \quad (5)$$

Die Berechnung der zeitlichen Änderung  $d\beta/dt$  der Bodenfeuchte erfolgt über die vereinfachte Wasserhaushaltsgleichung (Carson, 1987):

$$\frac{d\beta}{dt} = D - LE_{dry} - Sick \quad (6)$$

Folglich kann die Bodenfeuchte zum aktuellen Zeitpunkt  $t$  aus dem Wert des letzten Zeitschrittes  $t - 1$  und der zeitlichen Änderung der Bodenfeuchte bestimmt werden:

$$\beta(t) = \beta(t - 1) + \frac{d\beta}{dt} \cdot \Delta t \quad (7)$$

Eingegliedert in das Grasvergilbungsmodell wird über das zweite Modul die Bodenfeuchte bestimmt. Die aktuelle Bodenfeuchte wird für jeden Zeitschritt  $\Delta t = 3600 \text{ s} = 1 \text{ h}$  für eine 30 cm tiefe Bodenschicht berechnet.

Für die Berechnung des LAI im zweiten Modul des Grasvergilbungsmodells werden Tagesmittelwerte der Temperatur verwendet, da der LAI nicht wie die Bodenfeuchte stündlich, sondern nur einmal zu Beginn eines neuen Tages bestimmt wird. Grundlage für die Simulation des LAI und des Gelbanteils ist das am Anfang beschriebene Temperatursummenverfahren. Mit der zuvor bestimmten Basistemperatur und der dazugehörigen Temperatursummen, welche in Tabelle 1 aufgeführt sind, kann nun der grüne LAI wie folgt bestimmt werden:

$$\frac{LAI_{grün} - LAI_{min}}{LAI_{max} - LAI_{min}} = \frac{k}{S_{f,p}} \cdot \sum_{t_0}^t \max(T_a - T_f, 0) \quad (8)$$

Sobald rechnerisch der Tag des Ergrünens erreicht ist, wird der grüne LAI entsprechend der obigen Formel bis zum Tag der Grasblüte berechnet. Der Simulation wird ein maximaler LAI von  $LAI_{max} = 5$  und ein minimaler LAI von  $LAI_{min} = 1,5$  zugrunde gelegt. Für den minimalen LAI wurden vom Anfang des Jahres verwendet und für den maximalen LAI wurde der Wert der Literatur entnommen (Couturier, 1973). In der obigen Gleichung (8) stellt  $k$  den Einfluss der Bodenfeuchte dar, denn je geringer die Bodenfeuchte, desto geringer das Wachstum des Grasses. Sinkt die Bodenfeuchte auf 80 % der Feldkapazität ab,



so nimmt der Faktor den Wert  $k = 0,6$  an. Unterschreitet die Bodenfeuchte einen Wert von  $0,175 \text{ m}^3/\text{m}^3$ , beträgt der Wert nur noch  $k = 0,3$ . Ab einem Wert unterhalb von  $0,15 \text{ m}^3/\text{m}^3$  wird das Graswachstum so stark gehemmt, dass  $k$  einen Wert von  $0,18$  annimmt. Der Grünanteil kann entsprechend berechnet werden:

$$\text{Grünanteil} = \frac{LAI_{grün}}{LAI_{max}} \quad (9)$$

Um den gewünschten Gelbanteil des Grases zu berechnen, wird der grüne LAI wie folgt ins Verhältnis zum maximalen LAI gesetzt:

$$\text{Gelbanteil} = 1 - \frac{LAI_{grün}}{LAI_{max}} \quad (10)$$

Sobald das Gras in voller Blüte steht, d.h. die Temperatursumme in Tabelle 1 erreicht wird, setzt die genetisch bedingte Seneszenz ein. Das Absterben des Grases kann durch Trockenheit zusätzlich verstärkt werden. Diese Veränderung kann durch das leicht veränderte Temperatursummenverfahren wiedergegeben werden:

$$\frac{LAI_{grün} - LAI_{min}}{LAI_{max} - LAI_{min}} = 1 - \frac{k}{S_{f,p}} \cdot \sum_{t_0}^t \max(T_a - T_f, 0) \quad (11)$$

Nach dieser Formel kann der LAI bis zu dem Tag berechnet werden, an welchem der maximale Gelbanteil des Grases erreicht wird. Dieser Tag kann noch nicht rechnerisch bestimmt werden, weshalb er momentan noch beobachtet und dann für das jeweilige Jahr festgesetzt werden muss. Sobald der maximale LAI erreicht wurde, ist es dem Gras möglich sich zu regenerieren und nochmals zu ergünen. Dieses Verhalten wird durch folgende Temperatursumme veranschaulicht:

$$\frac{LAI_{grün} - LAI_{min}}{LAI_{max} - LAI_{min}} = \frac{0,2 \cdot k}{S_{f,p}} \cdot \sum_{t_0}^t \max(T_a - T_f, 0) \quad (12)$$

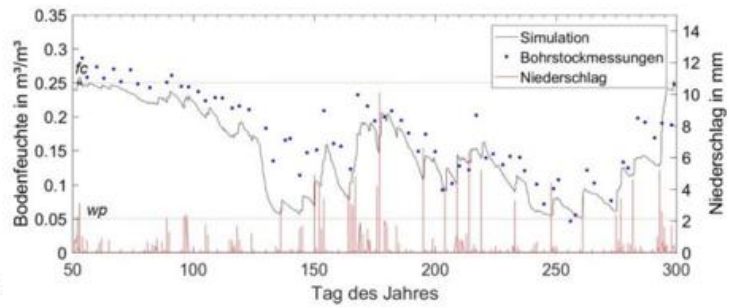
Der Faktor  $0,2$  stellt das gehemmte Wachstum des Grases dar. Bei dem dritten Temperatursummenverfahren wird die Summenbildung wie am Anfang des Jahres neu begonnen. Bei dem zweiten Summenverfahren wird jedoch auf die zuvor bestimmte Temperatursumme zurückgegriffen. Unter Anwendung der genannten Formeln kann nun täglich der LAI und der Gelbanteil unter Berücksichtigung der berechneten Bodenfeuchte aus dem ersten Modul des Grasvergilbungsmodells bestimmt werden.

## Validierung

Im Folgenden sollen die berechneten Daten mit den Messdaten verglichen werden, um zu überprüfen, ob die Modelldaten realistische Ergebnisse liefern. Darüber hinaus soll mit Hilfe des Gelbanteils die Brandgefahr wildwachsender Grasflächen für das Jahr 2016 in Braunschweig abgeschätzt werden.

Die Abbildung 6 zeigt den Vergleich zwischen der simulierten Bodenfeuchte und den Bohrstockmessungen für die

Vegetationsperiode 2016 in Braunschweig. Zusätzlich enthält die Grafik den gefallenene Niederschlag.



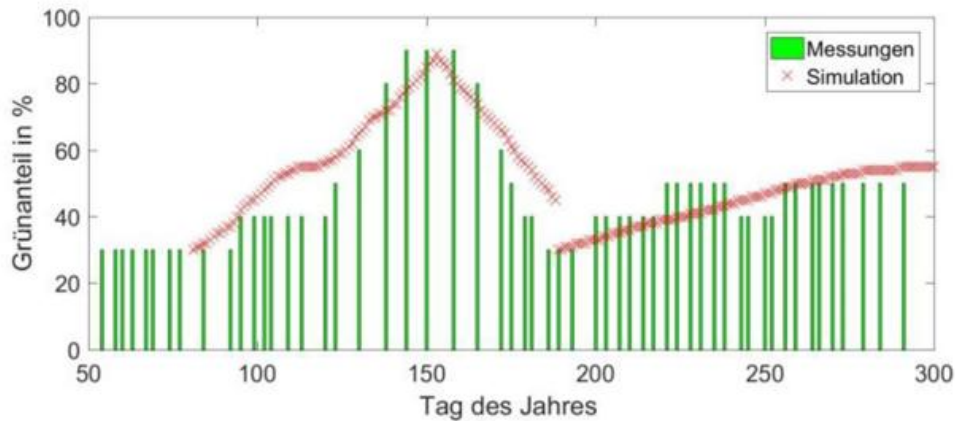
**Abb. 6:** Vergleich zwischen der simulierten und der gemessenen Bodenfeuchte in Braunschweig für die Vegetationsperiode 2016. Zusätzlich ist der stündlich gefallene Niederschlag in mm aufgetragen. Die beiden gestrichelten Linien markieren die Feldkapazität  $fc = 0,25 \text{ m}^3/\text{m}^3$  und den Welkepunkt  $wp = 0,05 \text{ m}^3/\text{m}^3$ .

Zu Anfang der Messperiode liegen sowohl die Simulation als auch die gemessene Bodenfeuchte nahe der Feldkapazität. Ab Beginn des Ergrüens am Tag 81 nehmen beide Kurven aufgrund des gesteigerten Wasserbedarfes des wachsenden Grases ab. Das Minimum der Bodenfeuchte wird in beiden Fällen kurz vor der Grasblüte am Tag 153 erreicht. Die Bohrstockmessungen ergaben einen Wert von  $0,15 \text{ m}^3/\text{m}^3$ . Die simulierten Werte hingegen liegen nahe des Welkepunktes. Eine mögliche Ursache hierfür könnte ein im Vergleich zur realen Grasfläche höherer simulierter LAI sein, denn je mehr Blattfläche vorhanden ist, desto mehr Wasser entzieht die Pflanze dem Boden. Nach der Grasblüte nähern sich die beiden Kurven aufgrund der Niederschläge wieder an. Zwischen Tag 155 und 165 ist wieder eine leichte Abnahme aufgrund ausbleibender Niederschläge in beiden Datensätzen zu erkennen, bevor sich durch vermehrte Niederschläge um Tag 180 ein lokales Maximum ausbildet. Dieses Maximum erreicht einen Wert von ungefähr  $0,2 \text{ m}^3/\text{m}^3$ .

Im weiteren Verlauf der Vegetationsperiode für das Jahr 2016 zeigen sich sowohl in den Messungen als auch in den Simulationen lokale Extrema aufgrund wechselnder Niederschlags- und Trockenperioden. Beide Datensätze können den wechselhaften Verlauf gut wiedergeben, wobei tendenziell eher eine Abnahme der Bodenfeuchte erkennbar ist. Im Oktober, beginnend am Tag 144, erreicht die Bodenfeuchte infolge einer längeren Trockenperiode Werte, die sehr nahe am Welkepunkt liegen. Erst im Oktober nähert sich die Bodenfeuchte durch vermehrte Niederschläge wieder der Feldkapazität an.

Nachdem gezeigt wurde, dass die simulierten Werte der Bodenfeuchte gut zu den Bohrstockmessungen passen, soll nun der Grünanteil betrachtet werden. In der Abbildung 7 ist der simulierte Grünanteil im Vergleich zum phänologisch beobachteten Grünanteil dargestellt. Vor Beginn des Ergrüens liegt der gemessene Grünanteil konstant bei 30 %, da das Graswachstum noch nicht eingesetzt hat.





**Abb. 7:** Vergleich zwischen simuliertem und berechnetem Grünanteil in Braunschweig während der Vegetationsperiode 2016.

Sobald der Tag des Ergrünens am Tag 81 überschritten wurde, wird durch die Simulation ebenfalls ein Grünanteil von 30 % bestimmt. Bis zur Grasblüte macht sich der bereits erwähnte höher simulierte LAI bemerkbar, indem der simulierte Grünanteil zu Beginn des Graswachstums ein wenig schneller zunimmt als der gemessene Grünanteil. Ab dem Tag 125 gleichen sich die beiden Datensätze wieder an und erreichen um die Grasblüte am Tag 153 ihr Maximum bei 90 %. Nach der Grasblüte setzt die Seneszenz ein. Der Grünanteil erreicht dadurch fast wieder seinen Ausgangswert von 30 % am Tag 188. Die Abnahme des Grünanteils kann durch die Simulation gut wiedergegeben werden.

Der kleine Sprung in der simulierten Datenreihe lässt sich durch die neu beginnende Summenbildung nach dem maximalen Gelbanteil erklären. Eigentlich folgt nach dem Maximum des Gelbanteils ein erneutes Ergrünen, welches im Jahr 2016 jedoch stark durch die lang anhaltende Trockenperiode im September gehemmt wurde. Es ist um den Tag 240 sogar eine leichte Abnahme auf 40 % zu erkennen, welches mit der geringen Bodenfeuchte nahe dem Welkepunkt zusammenhängt. Die Abnahme kann durch das monoton steigende Summenverfahren, auf welchem die Simulation beruht, nicht wiedergegeben werden.

### Brandgefährdung

Nachdem gezeigt wurde, dass die simulierten Werte gut zu den Messungen am ZAMF in Braunschweig passen, soll nun eine Abschätzung der Brandgefährdung für das Jahr 2016 erfolgen.

In Abb.3 ist ersichtlich, dass sich zu Beginn des Jahres der Grünanteil unterhalb von 50% befand und folglich war eine Grasantzündung möglich. Erst Anfang Mai (Tag 130) wurde der Schwellenwert überschritten, was die Brandgefährdung erheblich minimiert. Bis zur Grasblüte (Tag 153) nimmt der Grünanteil weiter zu und macht eine Entzündung nahezu unmöglich. Erst durch einsetzende Seneszenz konnte der Gelbanteil so stark zunehmen, dass ab Tag 184 die 50% überschritten wurden. Aufgrund der Trockenheit im September bis Ende der Vegetationsperiode lag der Grünanteil dann unter 50%. Folglich lag im Spätsommer und Herbst 2016 eine Brandgefährdung vor.

Das hier vorgestellte Grasvergilbungsmodell und dessen Ergebnisse im Vergleich zu den phänologischen Beobachtungen zeigen, dass es für den Standort Braunschweig möglich ist, mittels üblicher meteorologischer Standarddaten den Vergilbungsgrad einer wildwachsenden Grasfläche zu simulieren und zu einer realistischen Einschätzung der Feuergefährdung zu kommen.

### Literatur

- Bollmann, A. (Januar 2017). Modellierung des Jahresganges der Grasvergilbung.
- Carson, D. J. (1987). An introduction to the parametrization of land-surface processes. *The Meteorological Magazine*.
- Clapp, R. B. (1978). Empirical equations for some soil hydraulic properties. *Water Resources Research*.
- Couturier, D. E. (1973). Rainfall interception in mixed grass prairie. *Canadian Journal of Plant Science*.
- Gravey M., M. S. (1999). *Grassland Curing Guide*. Victoria (USA): Country Fire Authority.
- Hancock, N. (1983). Evaporation from a partially wet canopy. *Annales Geophysicae*.
- Hirschberger, P. (2016). Wälder in Flammen - Ursachen und Folgen der weltweiten Waldbrände. WWF Deutschland.
- Melaas, E. K. (2013). Using FLUXNET data to improve models of springtime vegetation activity onset in forest ecosystems. *Agricultural and Forest Meteorology*.
- Wittich, K. -P. (2007 bis 2009). *Farbphänologie: Beobachtungen der Grasvergilbung Teil I bis IV*. Phänologie- Journal Nr. 28/29/31/33.
- Wittich, K. -P. (2010). Phenological observations of grass curing in Germany. *International Journal of Biometeorology*.
- Yang, S. (1995). Mathematical formulae for calculation the base temperature for growing degree days. *Agricultural and Forest Meteorology*. ■



# Robinienblüte im Juli in Leipzig-Holzhausen

Anja Zirnstein, Abteilung Agrarmeteorologie, DWD

Mitte Juli konnte bei den Robinienbäumen in Leipzig-Holzhausen ein zweites Mal die Blüte beobachtet werden. Das Bild wurde am 13. Juli 2017 aufgenommen.

Laut unserem phänologischen Beobachter in Leipzig, Roland Lebe, wurden aber bereits um den 21. Mai die ersten Robinienblüten im Gebiet beobachtet. Die 1. Blühphase dauerte aufgrund der vorherrschenden Wärme mit Maximumtemperaturen von 25 bis 31 °C in der letzten Maidekade (Abb. 1) und einer seit mindestens 11 Tagen herrschenden Niederschlagsfreiheit nicht sehr lange an.

Nach Betrachtung der Messwerte der Wetterstation Leipzig-Holzhausen konnten keine Auffälligkeiten bzw. extreme Abweichungen im Vergleich zu den langjährigen Mittelwerten (1971-2000) festgestellt werden. Einzig die oben erwähnte länger andauernde Trockenheit zur 1. Blütezeit ist nennenswert. Die Bodenfeuchte unter Gras unterschritt jedoch nicht den für Pflanzen kritischen Wert von 30% nutzbarer Feldkapazität (nFK). Eine leichte Trockenstresssituation kann man erst kurz vor der zweiten Blüte erkennen, die jedoch in der nahen Folgezeit durch einige Starkniederschlagsereignisse behoben wurde (Abb. 2). So wurden als Tagessummen für den 11.07.2017 52,1 l/m<sup>2</sup> und für den 13.07.2017 16,0 l/m<sup>2</sup> registriert.

Nach Jörg Fleischer vom Staatsbetrieb Sachsenforst kann es sich um eine sogenannte „Notblüte“ handeln, ausgelöst durch biotische (Schaderreger: Pilze, Insekten) oder



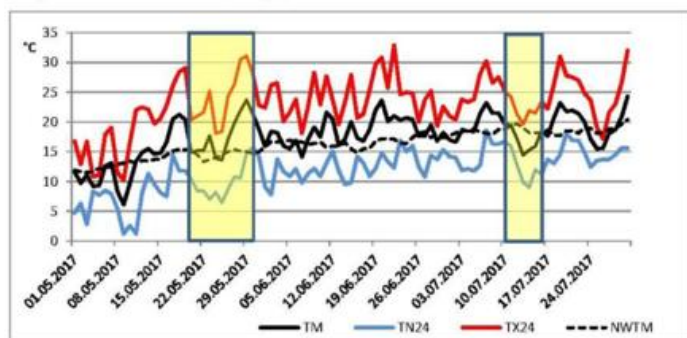
Foto: Anja Zirnstein

abiotische (stressverursachendes Wetter, massive mechanische Baum- und Wurzelbeschädigungen) Faktoren.

Nicht unerwähnt soll auch das Phänomen des „Johannistriebes“ bleiben, wo Bäume nach einer kurzen Ruhephase erneut Blätter austreiben, um Fraßschäden zu kompensieren. Später folgen dann auch Blüten (je nach Baumart). Da dies meist um den 24. Juni, dem Johannistag, geschieht, spricht man vom Johannistrieb.

Was nun aber wirklich die Ursache für eine neue Blütezeit der Robinien in Leipzig war, kann nicht benannt werden. ■

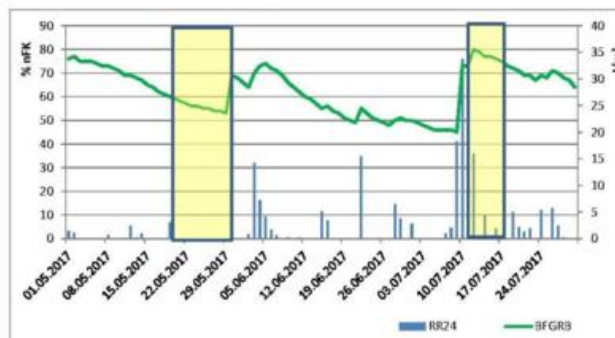
Temperaturen in °C, Mai bis Juli 2017, Leipzig-Holzhausen



TM – Tagesmittel der Lufttemperatur, TN24 – Tagesminimum der Lufttemperatur, TX – Tagesmaximum der Lufttemperatur, NWTM – Langjähriger Mittelwert der tägl. Lufttemperatur 1971-2000,  – Blütezeit der Robinie

Abb. 1

Wasserhaushaltsdaten, Mai bis Juli 2017, Leipzig-Holzhausen



RR24 – Tagessumme der Niederschlagsmenge in l/m<sup>2</sup>, BFGRB – Bodenfeuchte unter Gras bei Boden vor Ort in %nFK,  – Blütezeit der Robinie

Abb. 2



# Prognose des Blühbeginns der Süßkirsche

Ursula Heidrich und Wolfgang Janssen  
Abteilung Agrarmeteorologie Offenbach, DWD

Gärten sowie Balkon- und Terrassenbegrünungen bekommen in Zeiten einer zunehmenden Verdichtung der Städte für den Menschen und dessen Wohlbefinden sowie für das städtische Mikroklima eine immer größere Bedeutung. Die Abteilung Agrarmeteorologie des DWD betreibt daher ein Internetportal für Freizeitgärtner, in dem viele interessante phänologische Produkte dargestellt werden.

[https://www.dwd.de/DE/fachnutzer/freizeitgaertner/\\_node.html](https://www.dwd.de/DE/fachnutzer/freizeitgaertner/_node.html)

Das Portal soll nun noch um weitere Inhalte erweitert werden. Eines davon ist der Blühbeginn der Süßkirsche in Deutschland.

Grundlage der Prognose waren die Forschungsergebnisse aus Berlin-Dahlem für die Kirschart „Summit“, die uns freundlicherweise von Herrn Prof. Chmielewski zur Verfügung gestellt wurden (Chmielewski et al., 2016). In dem Forschungsprojekt wurde ein Modell für den Blühbeginn der Süßkirsche entwickelt, welches zwei grundlegende physiologische Gesetzmäßigkeiten der Pflanzenentwicklung berücksichtigt. Das ist zuerst der sortenspezifische Kältereiz (Chill), der erforderlich ist, damit der Baum in die winterliche Ruhephase kommt. Ohne diese Ruhephase kann sich die Pflanze nicht auf den Beginn der neuen Vegetationsperiode einstellen. Ist die Ruhephase einmal eingetreten, so wird die Wärme im Frühjahr zum entscheidenden Faktor und schiebt die Entwicklung an, das bezeichnet man als Forcing.

Bei der untersuchten Kirschart ist der notwendige Kältereiz sehr gering, so dass dessen Modellierung nach Aussagen von Prof. Chmielewski vernachlässigt werden kann. Die Entwicklung wird deshalb ohne Berücksichtigung des Kältereizes schon allein durch einen Forcing-Ansatz hinreichend genau beschrieben. Für die Kirschart „Summit“ wurde ein Photothermal-Time Modell (Gleichung 1) empfohlen, welches einmal die Tagesmitteltemperaturen ( $T_i$ ) und die Tageslängen ( $DL$ ) berücksichtigt.

$$S_f(t) = \sum_{i=t_1}^t \max(0, T_i - T_{BF}) * \left(\frac{DL}{10h}\right)^{EXPO} \quad \text{Gleichung 1}$$

Dabei werden tägliche Wachstumsgradtage (growing-degree-days) ab einem Starttermin ( $t_1$ ) aufsummiert. Die Einheit dieser täglich aufsummierten Wachstumsgradtage ( $S_f$ ) wird in PTU (Photothermal Units) angegeben. Neben dem Starttag gibt es noch die Basistemperatur ( $T_{BF}$ ), die überschritten sein muss, damit das Forcing einsetzen kann.

Außerdem kann der Einfluss der Tageslänge noch durch einen Exponenten ( $EXPO$ ) für die lokalen Gegebenheiten justiert werden.

Aus den Versuchen in Berlin-Dahlem ergaben sich optimale Werte von:

$t_1 = 3.$  Februar  
 $T_{BF} = 3,99$  °C  
 $EXPO = 0,907$

Der Tag  $t$ , an dem die Summe von  $S_f(t) = 212,6$  PTU erreicht wird, ist der prognostizierte Blühbeginn der Kirschart „Summit“.

Zur Probe wurde diese Beziehung in Geisenheim angewendet und mit den tatsächlichen Beobachtungen verglichen. In Geisenheim wurden geringfügig frühere Blühtermine festgestellt, was darauf zurückzuführen war, dass hier eine frühere Sorte beobachtet wurde.

Das verwendete Modell gilt für eine mittlere Sorte, wobei für andere frühe bis späte Sorten eine Korrektur in Tagen anzubringen ist (Tab. 1).

Sorte	Korrektur
sehr früh	-5
früh	-3
mittel früh	-1
mittlere	0
mittel spät	1
spät	3
sehr spät	5

**Tab. 1:**  
Anzusetzende Korrekturen in Tagen für verschiedene Kirscharten

Um die Übertragbarkeit des Modells auf ganz Deutschland zu überprüfen, wurden die Berechnungen für die Jahre 1992 bis 2017 ohne Sortenkorrektur für alle Wetterstationen in Deutschland durchgeführt und die so berechneten Eintrittstermine für den Blühbeginn mit den Beobachtungen der Sofortmelder verglichen. Dieser Vergleich über alle Jahre wird in Abb. 1 als Deutschlandkarte dargestellt. Dabei zeigt sich im Mittel der Jahre eine räumlich gute Übereinstimmung, wobei die Beobachtungen im Schnitt 3,7 Tage vor den Berechnungen lagen. Dieses war zu erwarten, da bei den Sofortmeldern eher die früh reifenden Kirscharten beobachtet werden.



Süßkirsche Beginn der Blüte berechnet—beobachtet  
Mittelwerte der Jahre 1992–2017



**Abb. 1:** Räumliche Verteilung der mittleren Abweichung in Tagen zwischen berechnetem und beobachtetem Blühbeginn der Süßkirsche über die Jahre 1992 bis 2017.

Das Mittel über alle Jahre bedeutet aber nicht automatisch, dass die Berechnung in jedem Jahr gut funktioniert. Daher wurde noch einmal eine Analyse für jedes Einzeljahr durchgeführt, um zu sehen, inwieweit es hier Unterschiede gibt. Das Ergebnis ist in Tab. 2 dargestellt und zeigt für jedes Jahr die Abweichung zwischen berechneten und beobachteten Terminen. Bei positiven Werten ist der berechnete Termin später als bei den Beobachtungen. Die Spanne der mittleren jährlichen Abweichung reicht von -0.6 Tagen im Jahre 1998 bis zu +8,1 Tagen im Jahre 2008, was erfreulich gering ist und die Brauchbarkeit des verwendeten Ansatzes unterstreicht. Bei den Abweichungen war keine Systematik zwischen den Jahren mit früher und später Entwicklung festzustellen.

Jahr	Abw.	Datum	Jahr	Abw.	Datum	Jahr	Abw.	Datum	Jahr	Abw.	Datum
1992	3.5	25.04.	1999	5.5	17.04.	2006	-0.1	29.04.	2013	2.2	28.04.
1993	2.6	22.04.	2000	3.1	19.04.	2007	2.0	12.04.	2014	5.3	04.04.
1994	4.1	21.04.	2001	1.0	27.04.	2008	8.1	19.04.	2015	6.8	19.04.
1995	3.2	23.04.	2002	6.3	14.04.	2009	3.7	14.04.	2016	6.5	19.04.
1996	3.1	27.04.	2003	4.9	20.04.	2010	2.3	21.04.	2017	4.0	08.04.
1997	6.0	18.04.	2004	4.6	17.04.	2011	3.4	12.04.			
1998	-0.6	16.04.	2005	0.8	19.04.	2012	5.5	16.04.			

**Tab. 2:** Mittlere Eintrittstermine (Datum) und deren Abweichungen zu den Beobachtungen (rosa sind späte Jahre, grün sind frühe Jahre)

Eine Bereitstellung der beschriebenen Blühvorhersage für Kirschen im Portal der Freizeitgärtner ist für 2018 geplant, wobei eine Sortenkorrektur von 4 Tagen für die berechneten Termine vorgenommen werden soll. Neben den zurückliegenden Messwerten werden die Vorhersagen der nächsten 10 Tage und anschließend die langjährigen Mittelwerte der Temperatur an den Stationen für die Prognose verwendet, so dass schon früh im Jahr mit einer Prognose begonnen werden kann. Mit Überschreitung des prognostizierten Termins ändern sich die Ergebnisse nicht mehr, da dann ausschließlich mit Messwerten und nicht mit den ungenaueren Prognosen bzw. Mittelwerten im Ansatz gerechnet wird.

#### Literatur:

Frank-M. Chmielewski, Klaus-Peter Götz (2016):  
Performance of models for the beginning of sweet cherry blossom under current and changed climate conditions. Agricultural and Forest Meteorology 218-219, 85-91.■



## Kreuz und quer

Carola Grundmann

Zentrum für Medizin-Meteorologische Forschung Freiburg, DWD

### Wichtig:

Die Faxnummer in Leipzig für Ihre Sofortmeldungen ändert sich. Die neue Faxnummer lautet ab sofort:

**069 8062 11941**

Sie können Ihre Sofortmeldungen aber auch gern per E-Mail senden oder wie bisher auf der bekannten Telefonnummer anrufen:

**069 8062 9899**

Auf dieser Nummer ist auch der Anrufbeantworter geschaltet. Sie können also jederzeit anrufen und sicher sein, dass Ihre Meldung ankommt.

### Neu:

Im SOFORTmeldeprogramm gibt es in der neuen Saison 2018 eine kleine Änderung. Neu eingeführt wird die Phase **Hasel (alle Arten), Ende der Blüte im Beobachtungsgebiet, EBB**.

Diese pollenrelevante Phase dient primär dem Polleninformationsdienst.

### Zu guter Letzt:

Ab 2018 erhöht sich für alle phänologischen Beobachter die Aufwandsentschädigung. Genauere Informationen entnehmen Sie bitte dem Rundbrief, der dem Jahresversand beiliegt. ■

Wir wünschen allen Lesern eine besinnliche Weihnachtszeit und alles Gute für das neue Jahr 2018!

Ihre *Carola Grundmann*



### Herausgeber:

Deutscher Wetterdienst, Abteilung Agrarmeteorologie KU 3

Auflage: 1.300 Exemplare

### Redaktion:

Carola Grundmann

Stefan-Meier-Str. 4

79104 Freiburg

Tel.: 069 8062 9601

E-Mail: [carola.grundmann@dwd.de](mailto:carola.grundmann@dwd.de)

### Netzverwaltung:

Anja Engels

Frankfurter Straße 135

63067 Offenbach

Tel.: 069 8062 2946

Fax: 069 8062 11942

E-Mail: [phaenologie@dwd.de](mailto:phaenologie@dwd.de)

Twitter: [www.twitter.com/dwd\\_agrar](https://www.twitter.com/dwd_agrar)

[www.dwd.de/phaenologie](http://www.dwd.de/phaenologie) [www.agrowetter.de](http://www.agrowetter.de)

