

Workshop GPW-Tagung 2018



Computers and Electronics in Agriculture 89 (2012) 62–69



Contents lists available at SciVerse ScienceDirect

Computers and Electronics in Agriculture

journal homepage: www.elsevier.com/locate/compag



A variable thermal time of the double ridge to flag leaf emergence phase improves the predictive quality of a CERES-Wheat type phenology model

Tobias Johnen, Ulf Boettcher, Henning Kage *

Institute of Crop Science and Plant Breeding, Christian-Albrechts-University, Hermann-Rodewald-Str. 9, D-24118 Kiel, Germany

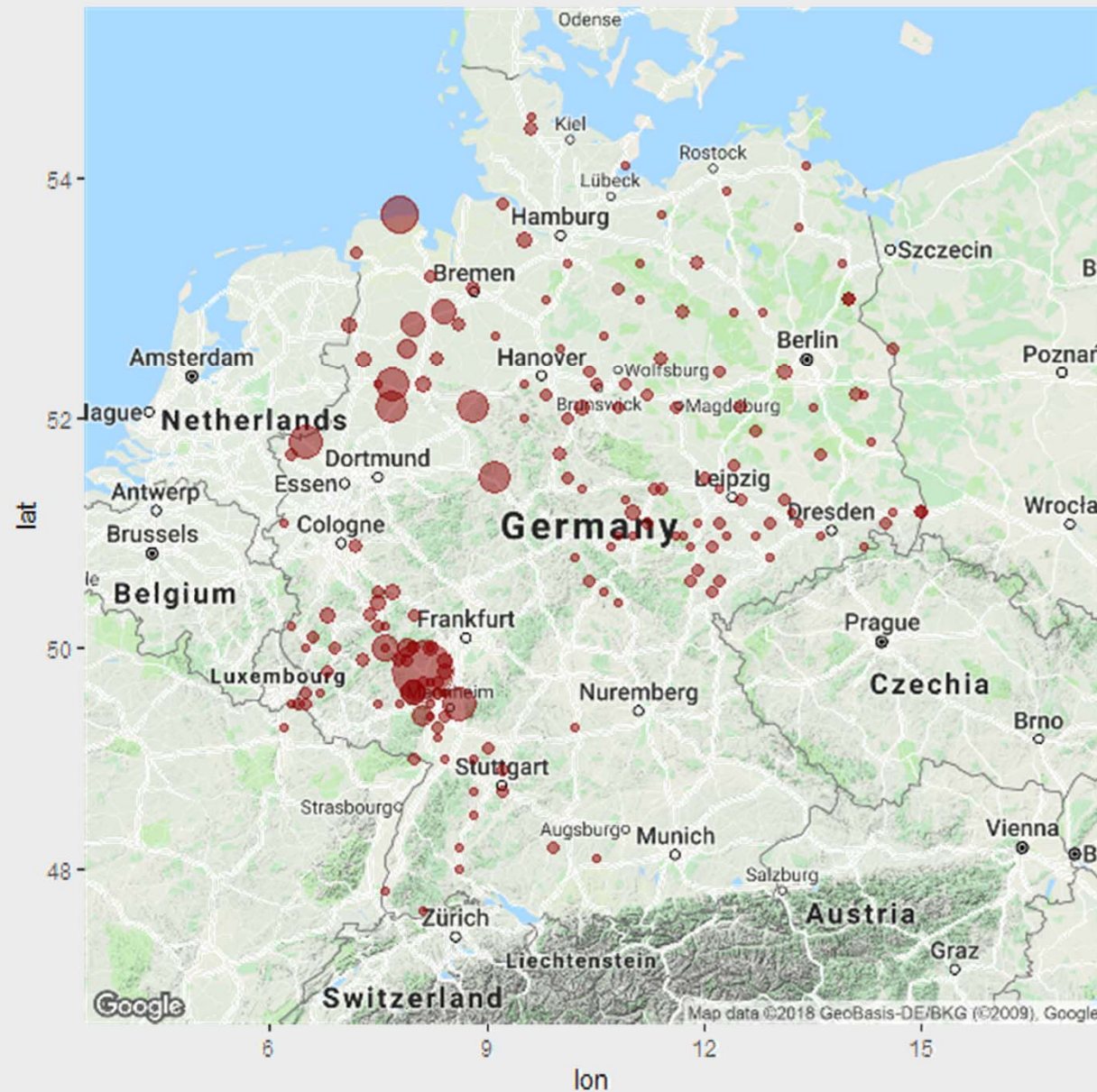


Datensatz

- Nebenprodukt von Phytopathologischen Erhebungen (ZEPP)
 - Begrenzte Güte einzelner Datensätze/Beobachtungen
- 848 Kombinationen Jahr/Ort, Zeitraum 1997-2006
- Von 48.2° bis 54.4° Nord, zwischen 2 and 540 m a.s.l.
- 84 Jahr/Ort Kombinationen für Parametrisierung (1997-2003)
- Rest für unabhängige Evaluierung
- Variables Sortenspektrum



Boniturstandorte



Wachstum vs. Entwicklung

■ Wachstum

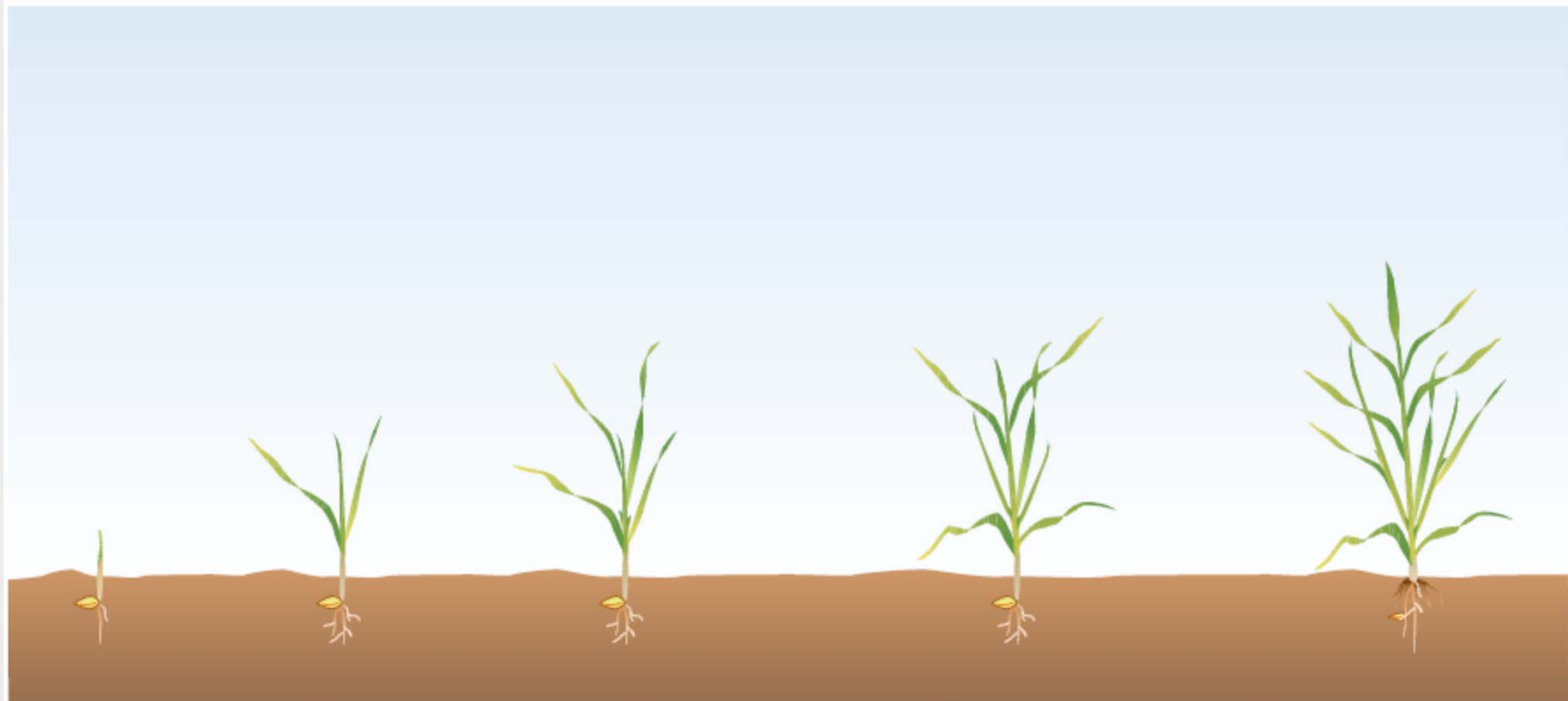
- Dauerhafte Erhöhung der Biomasse von Pflanzen(beständen)

■ Entwicklung

- Anlage (innere Entwicklung) bzw. Erscheinen (äußere Entwicklung) neuer Organe insb. der generativen Organe



Zadoks Growth Stage Development phase



GS 00-09	GS10-19	GS20-29	GS30-39	GS40-49
Germination	Seedling growth	Tillering	Stem elongation	Booting

Zadoks Growth Stage Development phase



GS 50-59

GS60-69

GS70-79

GS80-89

GS90-99

Ear emergence

Flowering

Milk development
(grain fill period)

Dough development
(grain fill period)

Ripening

„Innere“ vs. „äußere“ Entwicklung

■ „Äußere“ Entwicklung

- Einstufung des Entwicklungszustands der Pflanze nach „äußeren“ Merkmalen (ohne Dissektion der Pflanze)
- Blattzahl, Triebzahl, Grannenspitzen

■ „Innere Entwicklung“

- Einstufung des Entwicklungszustands der Pflanze nach „inneren“ Merkmalen (Zustand Vegetationskegel)
- Anlage von Blatt- oder Blütenprimordien



Morphologische Merkmale als Kennzeichen der Entwicklung

- Keimung/Feldaufgang
- Anlage/Erscheinen neuer Blätter (mit Internodien)
 - Zeit zwischen der Anlage zweier Blätter:
Plastochron
 - Zeit zwischen dem Erscheinen zweier Blätter:
Phyllochron
- Anlage/Erscheinen generativer Organe



Faktoren der Entwicklung bei höheren Pflanzen

■ Temperatur

- Optimumreaktion, jedoch in relevanten Bereichen linear

■ Photoperiode

- Kurztag, Langtag, Tagneutral

■ Vernalisationsbedürfnis

- Obligat, fakultativ, ohne



Entwicklung: Temperatursummenkonzept

„Effektive Tagestemperatur“

$$T_{\text{eff}} = \max \{ (T_d - T_B), 0 \}$$

„Temperatursumme“

$$\text{TSUM} = \sum_{d=1}^{d=n} T_{\text{eff}}$$

„Entwicklungsrate“

$$\text{DVR} = f(T) = a \cdot T_{\text{eff}} = \frac{T_{\text{eff}}}{\text{TSUM}}$$

Bei Temperatursummen ist die Angabe der Basistemperatur wichtig!

TSUM: Temperatursumme

Td: Tagesmitteltemperatur

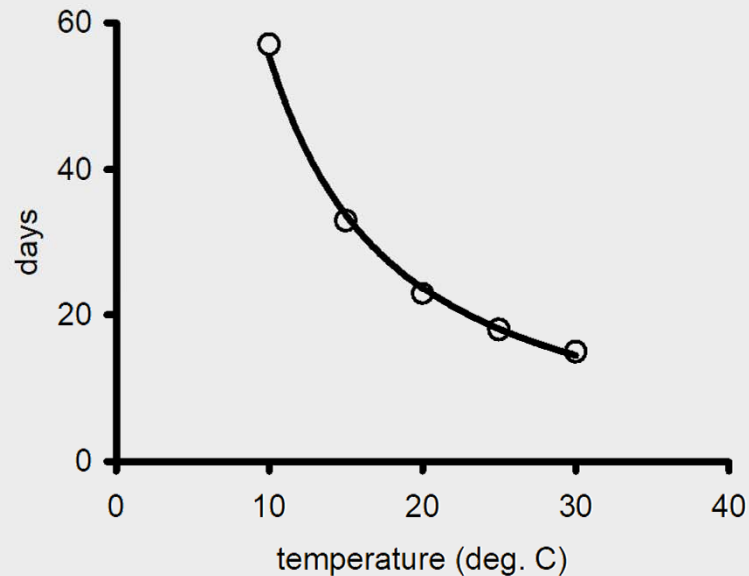
TB: Basistemperatur

Tmax: Tagesmaximaltemperatur

Tmin: Tagesminimaltemperatur

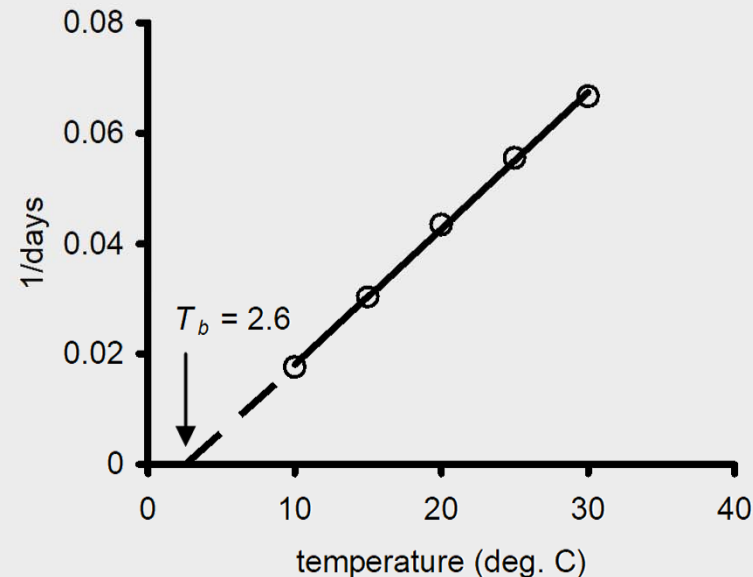
DVR: Entwicklungsrate

Dauer=1/Rate



Dependence of growth duration on air temperature

Rate



Dependence of growth development rate on air temperature

T_b = base temperature, below which there is no growth
(note: no -ve growth)

Einfluss der Temperatur auf die Dauer eines Entwicklungsstadiums und abgeleitete
Beziehung zwischen Entwicklungsrates und Temperatur

Dauer = 1/Rate, beide Funktion der Temperatur:

$$\frac{1}{t} = k_d = f(T)$$

t	=	Zeit zur Vollendung eines Entwicklungsabschnittes	[d]
k_d	=	Entwicklungsrates	[1/d]
T	=	Temperatur	[°K]



Entwicklungsstadium = Summe der Raten:

$$ES(t) = \int_{t=0}^t k_d(T) dt$$

ES(t) = Entwicklungsstadium

[-]

k_d = Entwicklungsrate

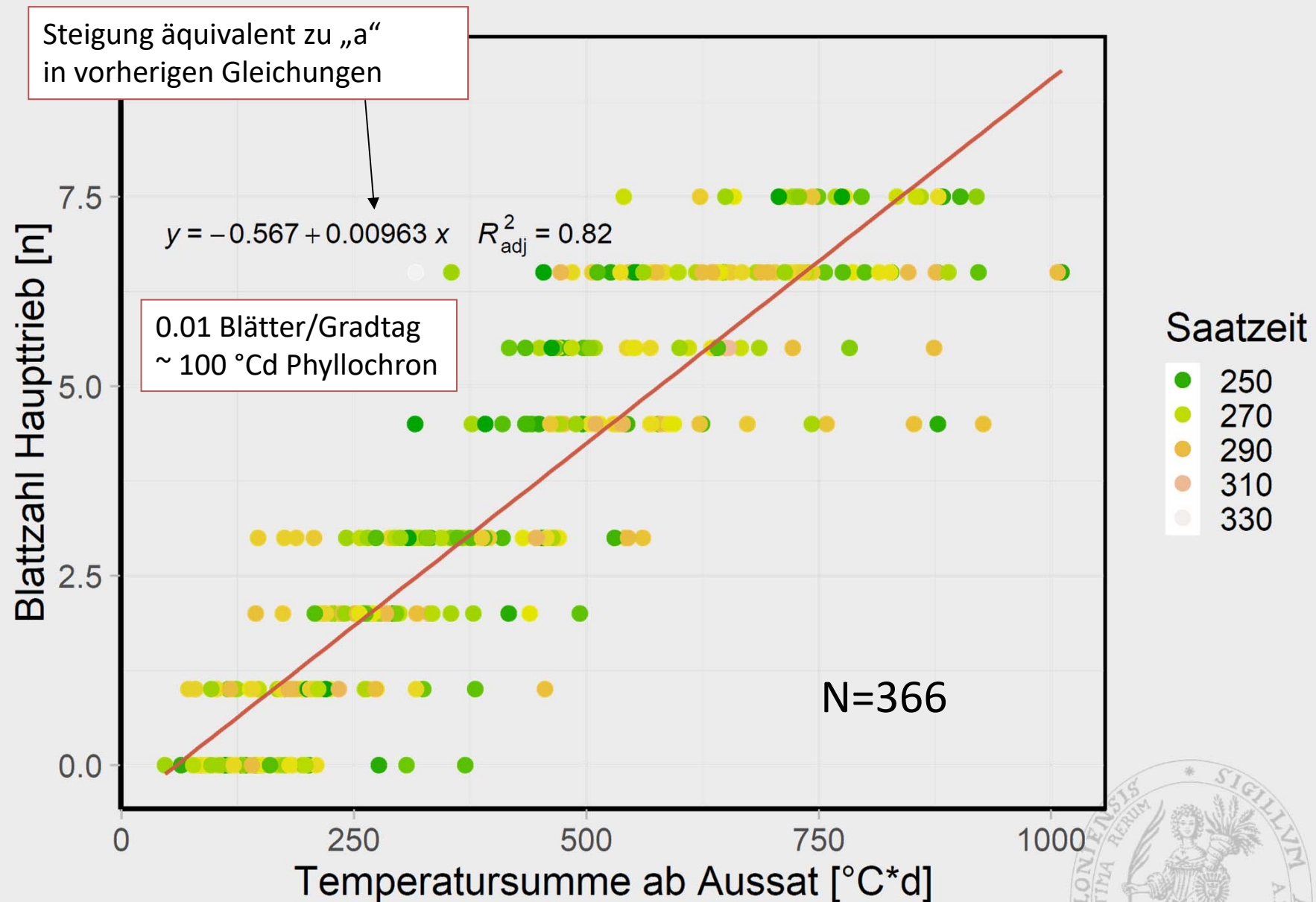
[1/d]

T = Temperatur

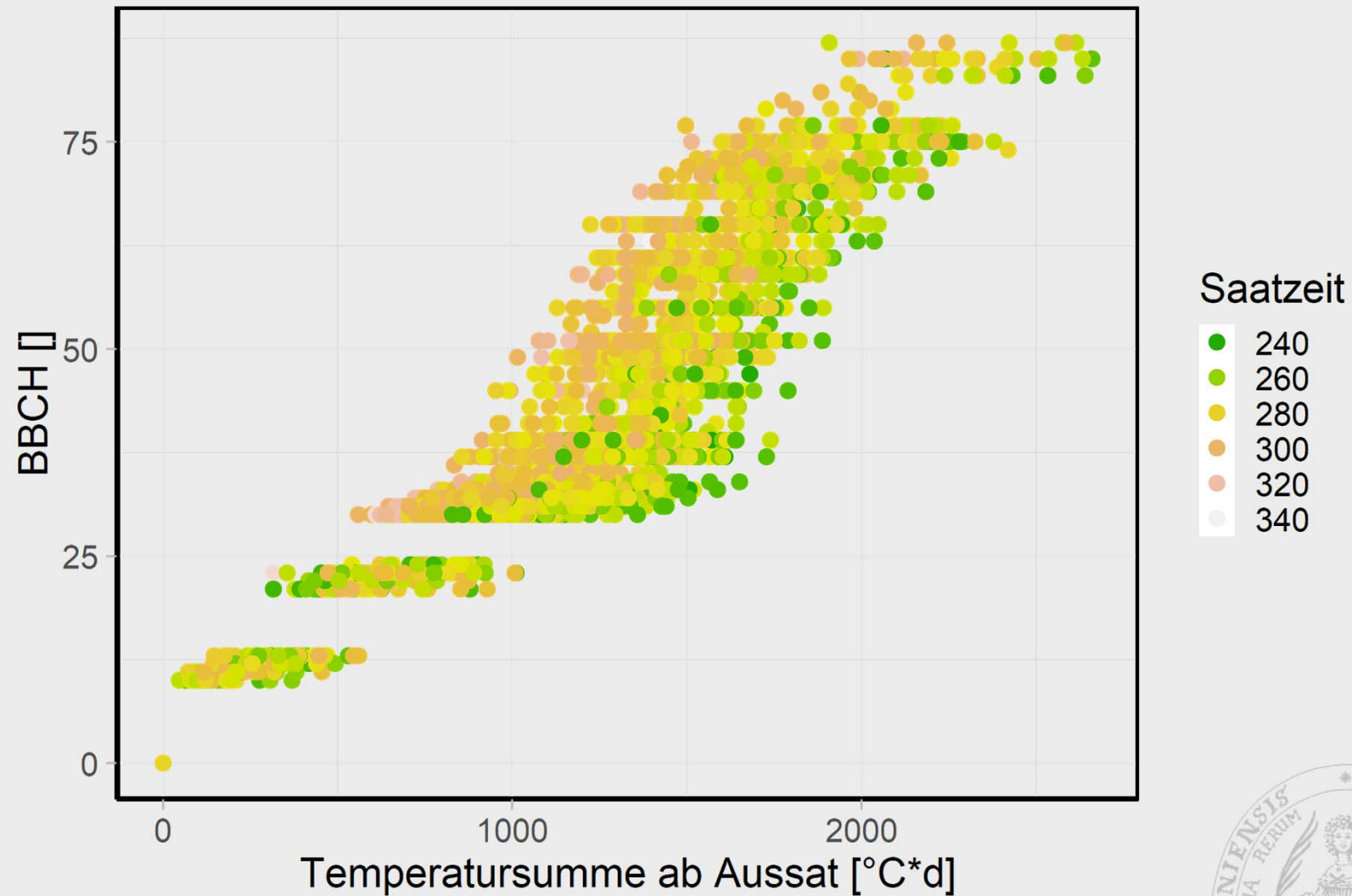
[°K]



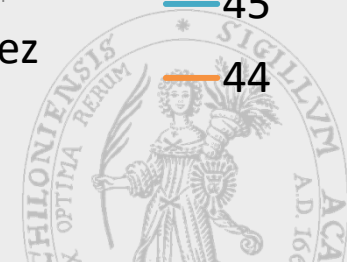
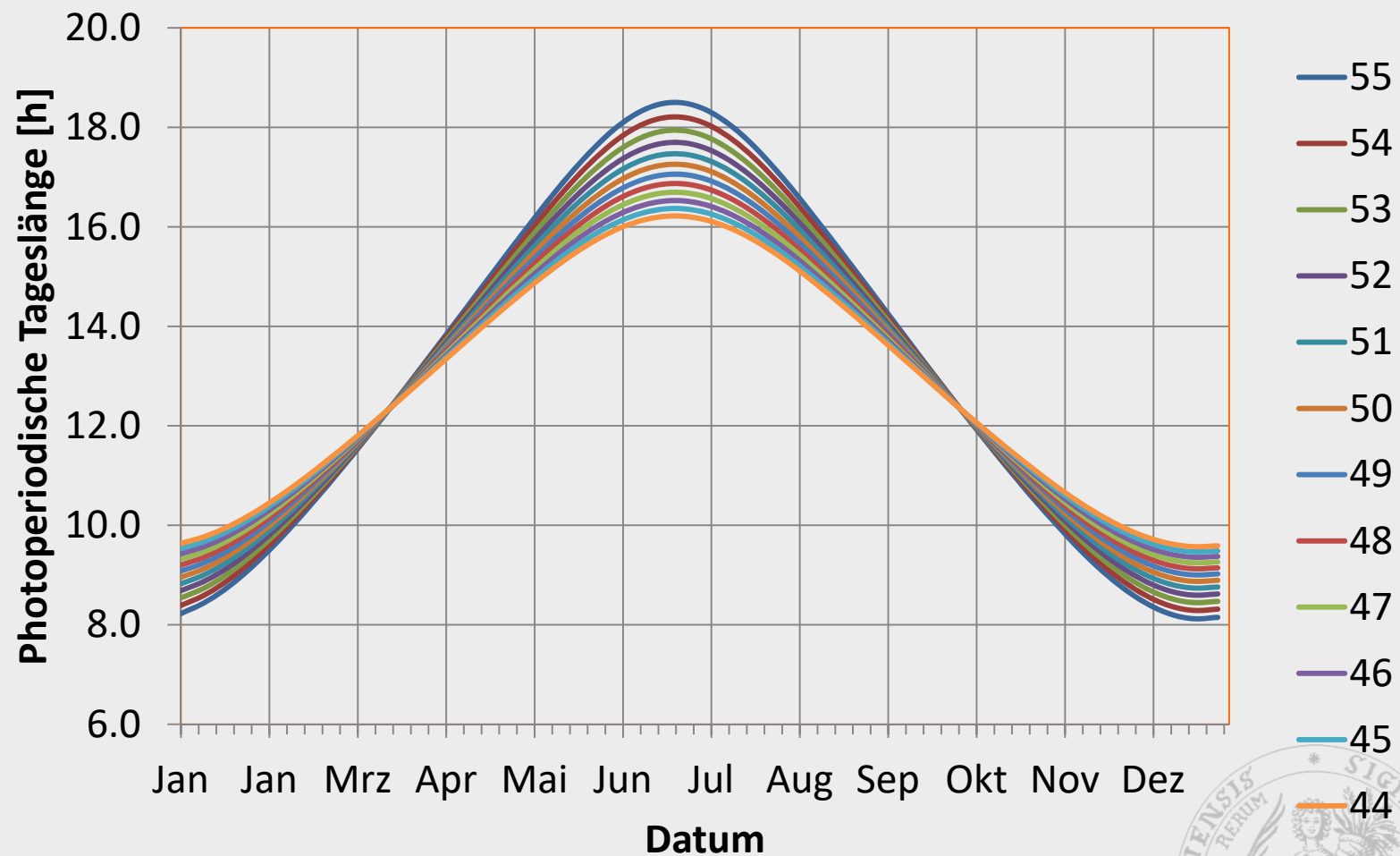
Blattzahl von Weizen als Funktion der Temperatursumme



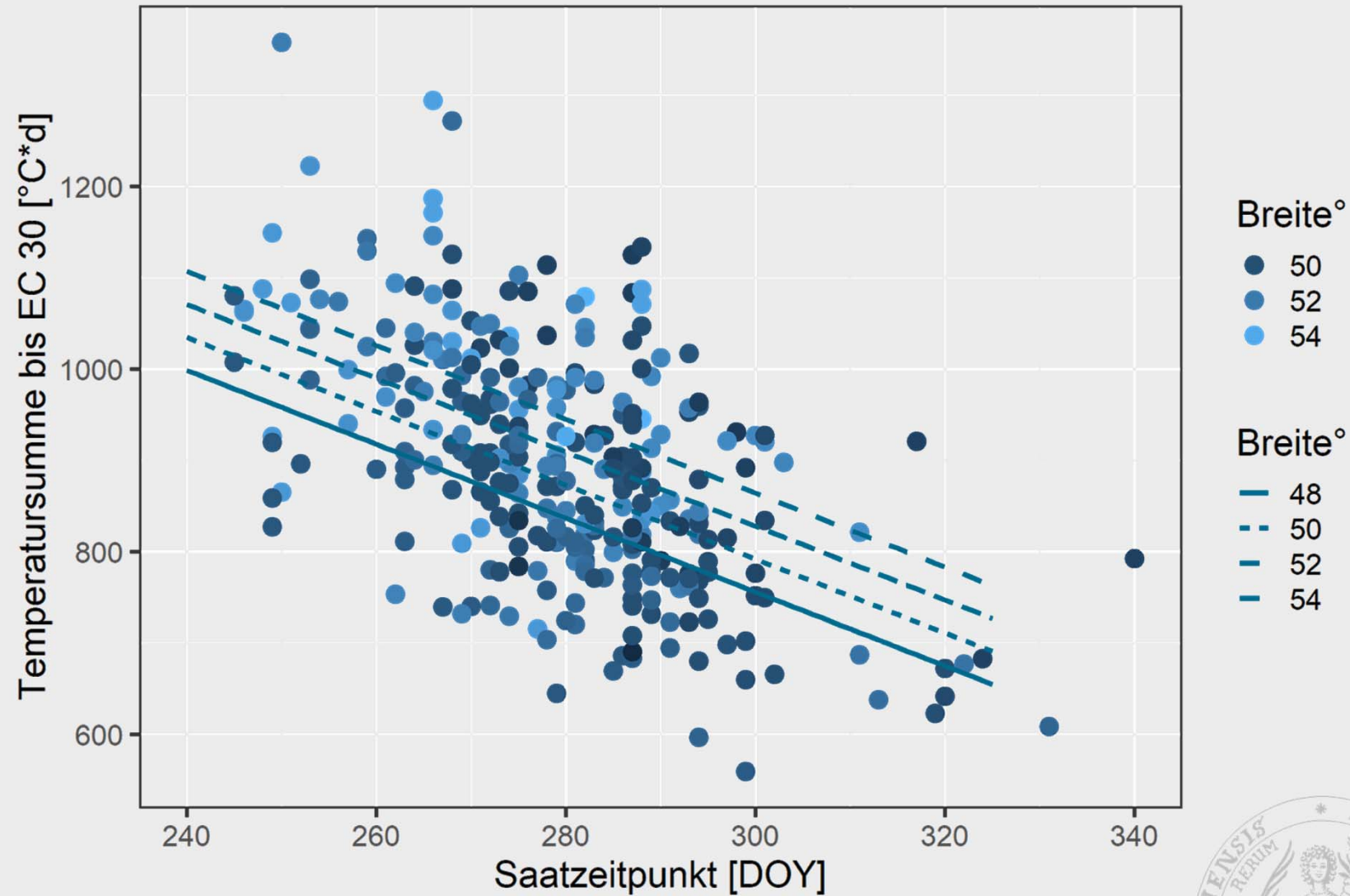
BBCH-Stadien Winterweizen vs. Temperatursumme



Photoperiodische Tageslänge als Funktion des Breitengrades und des Datums



Effekt des Saatzeitpunktes und des Breitengrades auf die Temperatursumme Aussaat-BBCH30



Einflussfaktoren auf die Ontogenese von Winterweizen

- Temperatur $f(T)$
- Vernalisation $f(V)$
- Photoperiode $f(P)$

ES = Entwicklungsstadien

$$ES = \int_{t=t_0}^{t=t_{\text{end}}} \frac{dES}{dt}(T, V, P) dt$$



Nutzungsmöglichkeiten von Phänologiemodellen

■ Management

- Zeitpunkt des Erreichens bestimmter Stadien

■ Grundlagen für die Modellierung von

- Schaderregermodellen
- Pflanzenwachstumsmodellen
 - Ertrag
 - Düngung



Entwicklungsmodell für Weizen (Ceres Wheat, nach Ritchie, 1991)



Computers and Electronics in Agriculture 89 (2012) 62–69



Contents lists available at SciVerse ScienceDirect

Computers and Electronics in Agriculture

journal homepage: www.elsevier.com/locate/compag



A variable thermal time of the double ridge to flag leaf emergence phase improves the predictive quality of a CERES-Wheat type phenology model

Tobias Johnen, Ulf Boettcher, Henning Kage*

Institute of Crop Science and Plant Breeding, Christian-Albrechts-University, Hermann-Rodewald-Str. 9, D-24118 Kiel, Germany



Entwicklungsstadien CERES - BBCH

iStage	≈BBCH	Ereignis
7		Brache bis Aussaat
8		Aussaat bis Keimung
9	0-10	Keimung bis Auflaufen
1	10-30	Auflaufen bis Schossen
2	31-39	Schossen bis vollentwickeltem Fahnenblatt
3	40-57	Ährenscheiden bis Ährenschieben
4	57-70	Ährenschieben und Blüte
5	71-90	Kornfüllung und Kornreife
6	91-100	Absterben und Ernte



Keimung und Aufgang



Sowing to Emergence

■ GS (Ritchie)

– Stadium 8 - 1

$$\frac{dGS}{dt} = \frac{T_{eff}}{P9}$$

■ BBCH

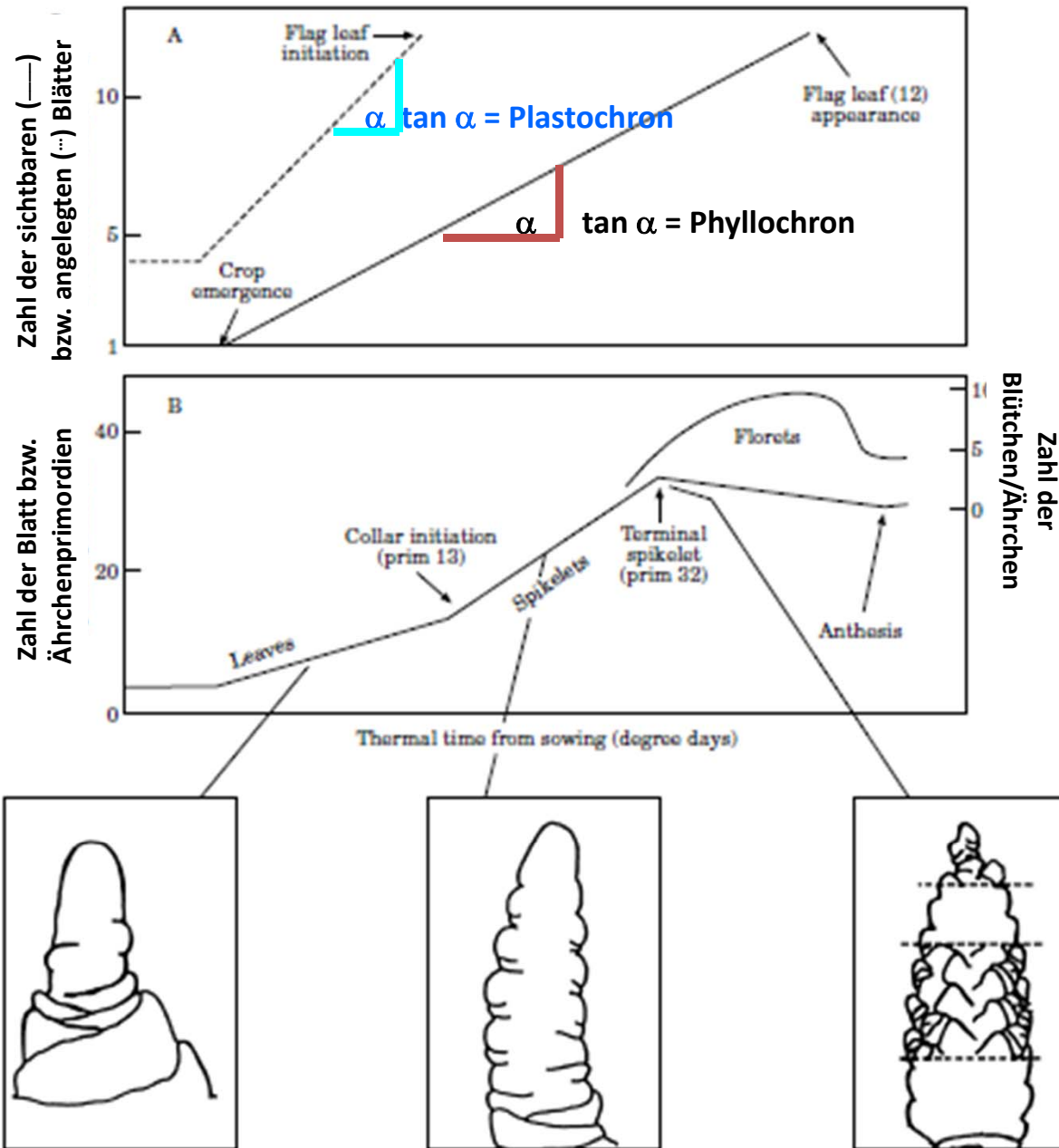
– 0-10

$$\frac{dBBCH}{dt} = 10 \frac{T_{eff}}{P9}$$

$$P9 \approx 139 [^{\circ}\text{Cd}]$$

(Quellung+Keimung)





Blattanlage und
Blatterscheinen

Blatt- und
Ährchenanlagen

Glossar:

Flag leaf: Fahnenblatt
Collar: Doppelring
Emergence: Feldaufgang
Spikelet: Ährchen
Anthesis: Blüte
Florets: Blütchen

FIG. 1. Schematic diagram of the thermal time course of development of a model winter wheat plant (12 mainstem leaves, 19 spikelets per mainstem ear, four grains per spikelet) including relationships between events: A, mainstem leaf initiation and appearance; B, mainstem leaf, spikelet and floret initiation and death (note the change in scale for leaf initiation from A). The three apex stages illustrated are vegetative, 'double ridge' (here around 50% spikelet initiation), and terminal spikelet (adapted from Kirby and Appleyard, 1987; Hay and Kirby, 1991).

■ Anlage

- Rate
 - Effektive Temperatur/
Plastochron
- Initialwert (Feldaufgang)
 - 4(-5)
- Ende
- $GS > GS_{\text{flip}}$

$$\frac{d\text{inL}_{\text{MS}}}{dt} = \frac{T_{\text{eff}}}{\text{Plast}}$$

■ Erscheinen

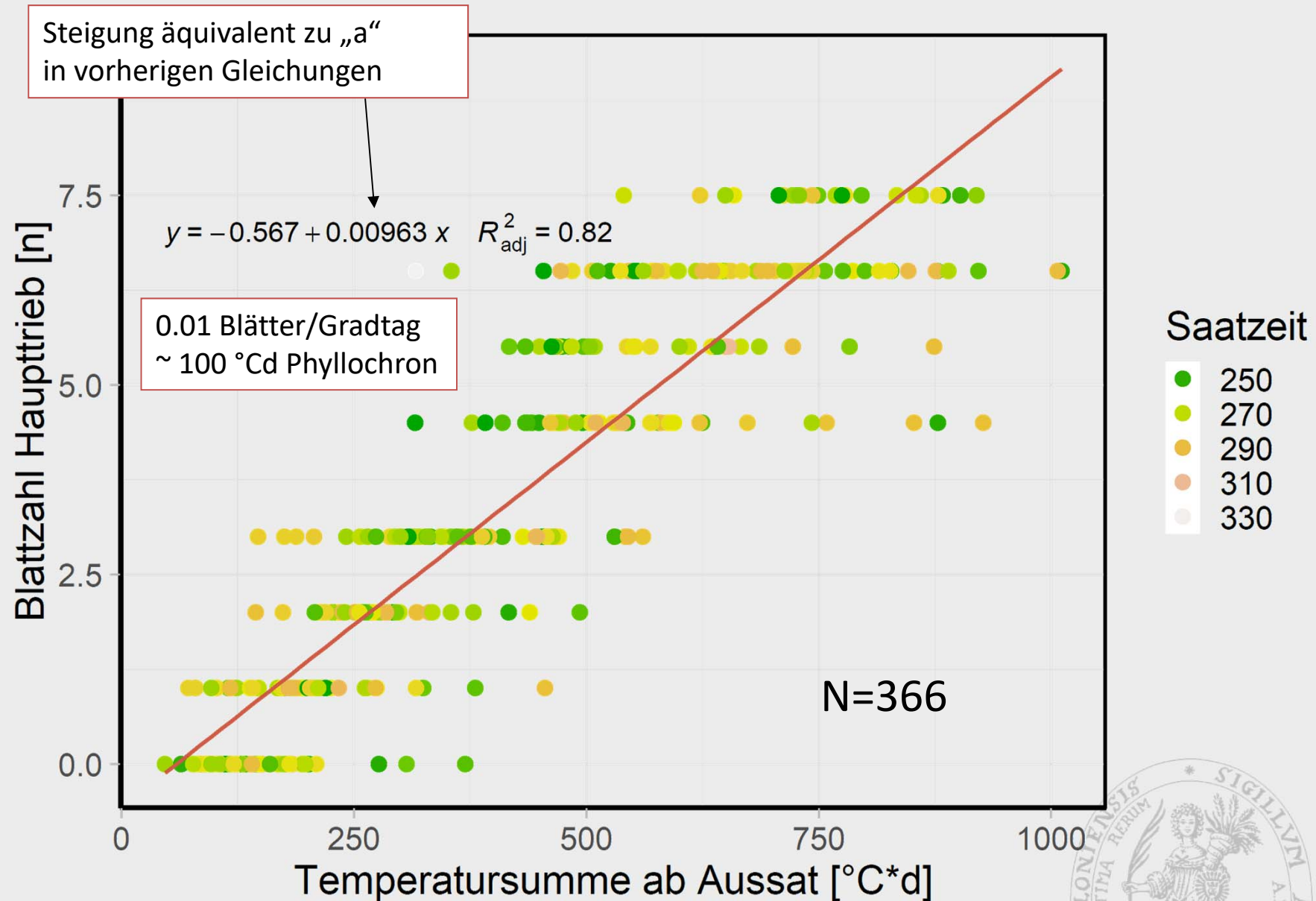
- Rate
 - Effektive Temperatur/
Phyllochron
- Initialwert (Feldaufgang)
 - 0
- Ende
- $nL_{\text{MS}} \geq \text{inL}_{\text{MS}} - 2$

$$\frac{dnL_{\text{MS}}}{dt} = \frac{T_{\text{eff}}}{\text{Phyll}}$$

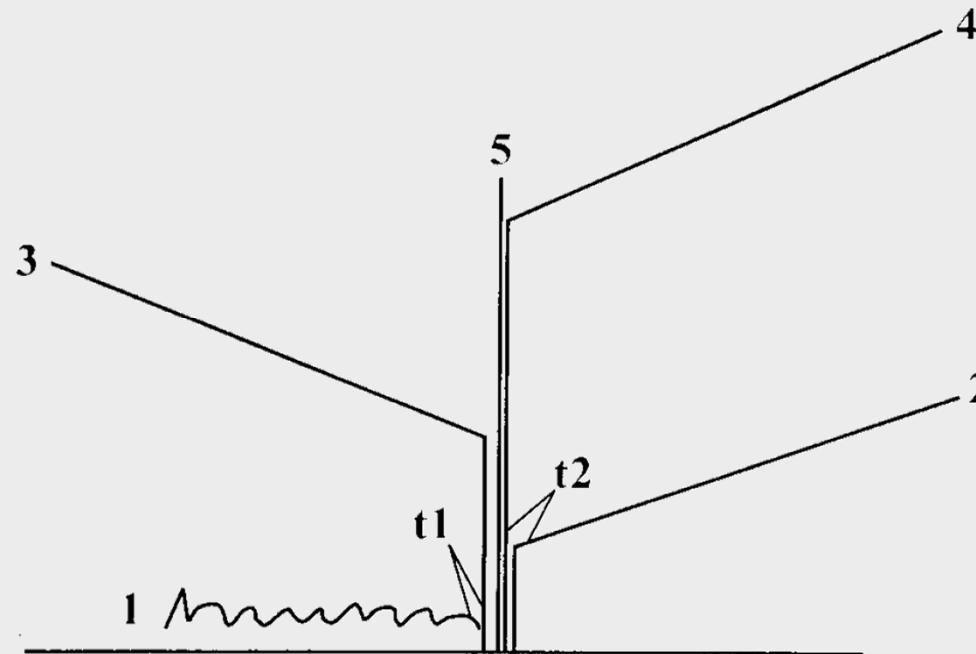
GS = growth stage, GS_{flip} = GS bei Anlage des letzten Blattes, inL_{MS} = angelegte Blätter am Haupttrieb (main stem), nL_{MS} = Zahl der Blätter am Haupttrieb, Plast = Plastochron, Phyll = Phyllochron



Blattzahl von Weizen als Funktion der Temperatursumme



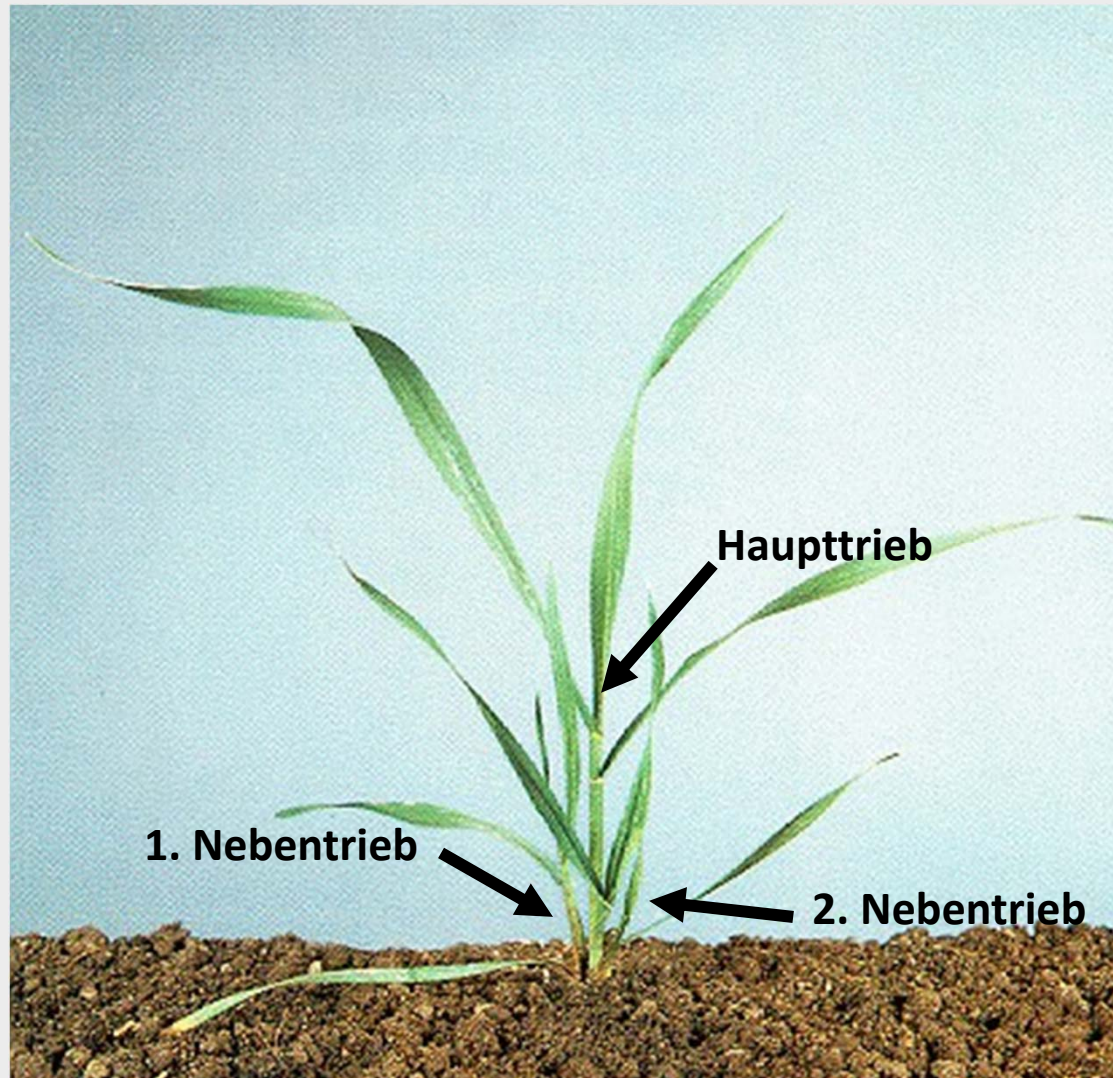
Blatt-/Triebbildung bei Weizen als Zeichen äußerer Entwicklung



**Schematic diagram of a wheat plant shortly after the (tip) appearance of leaf 5.
Note that leaf 1 has senesced and *t1*, *t2* indicate primary tillers in the axils of
mainstem leaves 1 and 2**

Bestockung





Einflussfaktoren auf die Ontogenese von Winterweizen

- Temperatur $f(T)$
- Vernalisation $f(V)$
- Photoperiode $f(P)$

ES = Entwicklungsstadien

$$ES = \int_{t=t_0}^{t=t_{\text{end}}} \frac{dES}{dt}(T, V, P) dt$$

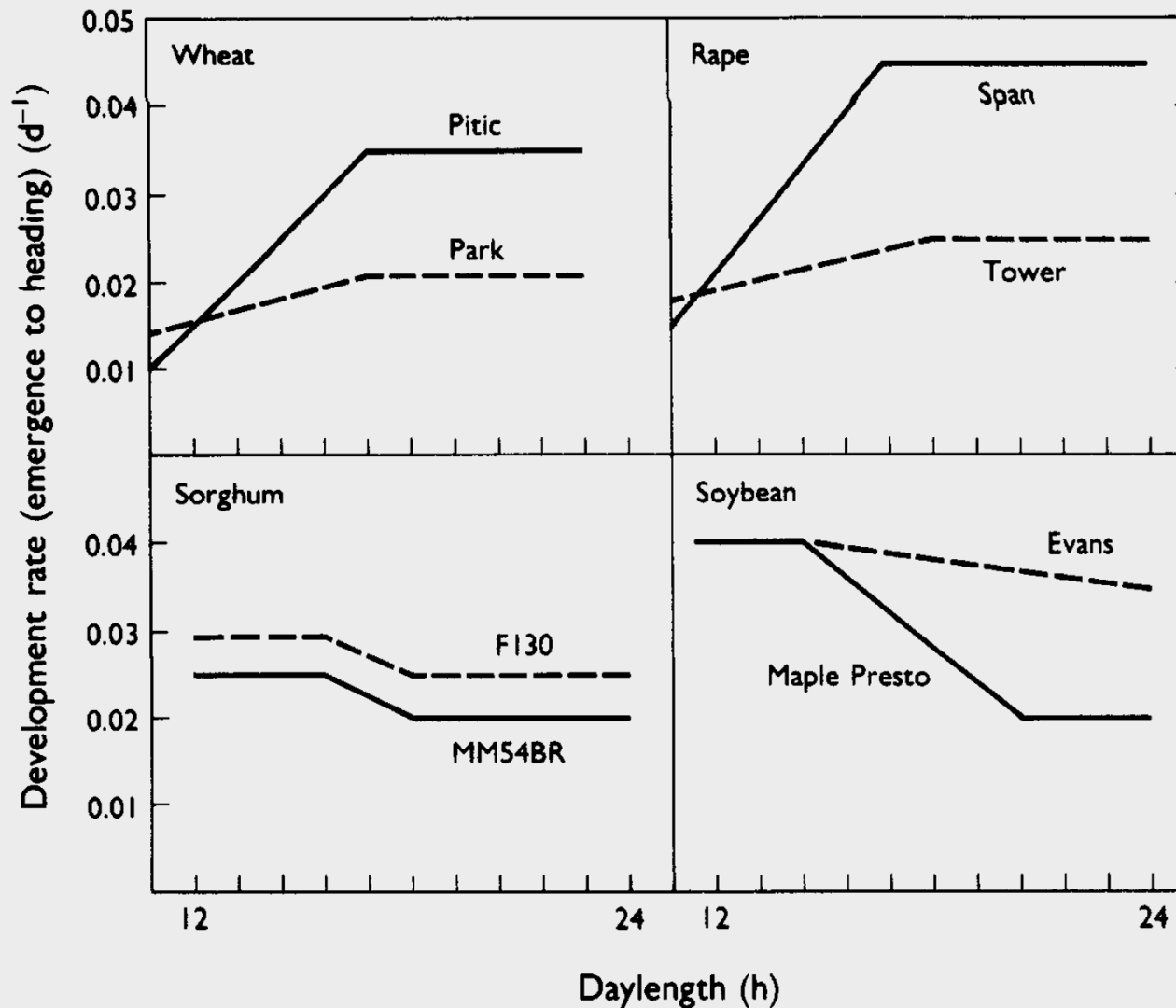


Entwicklung: Photoperiode

- **Steuerung des Übergangs in generative Phase und Morphogenese**
- **Klassifizierung**
 - Langtagspflanzen: obligat/quantitativ
 - Kurztagspflanzen: obligat/quantitativ
 - Tagneutrale Pflanzen
- **Basisphotoperiode**
 - Photoperiode, unterhalb der bei Langtagspflanzen keine Blühinduktion erfolgt
- **Optimale Photoperiode**
 - Photoperiode, oberhalb der bei Langtagspflanzen die Zeit bis zur Blüte minimal ist
- **Kritische Photoperiode**
 - Photoperiode, oberhalb der bei Kurztagspflanzen keine Blühinduktion mehr erfolgt



Entwicklung: Photoperiode

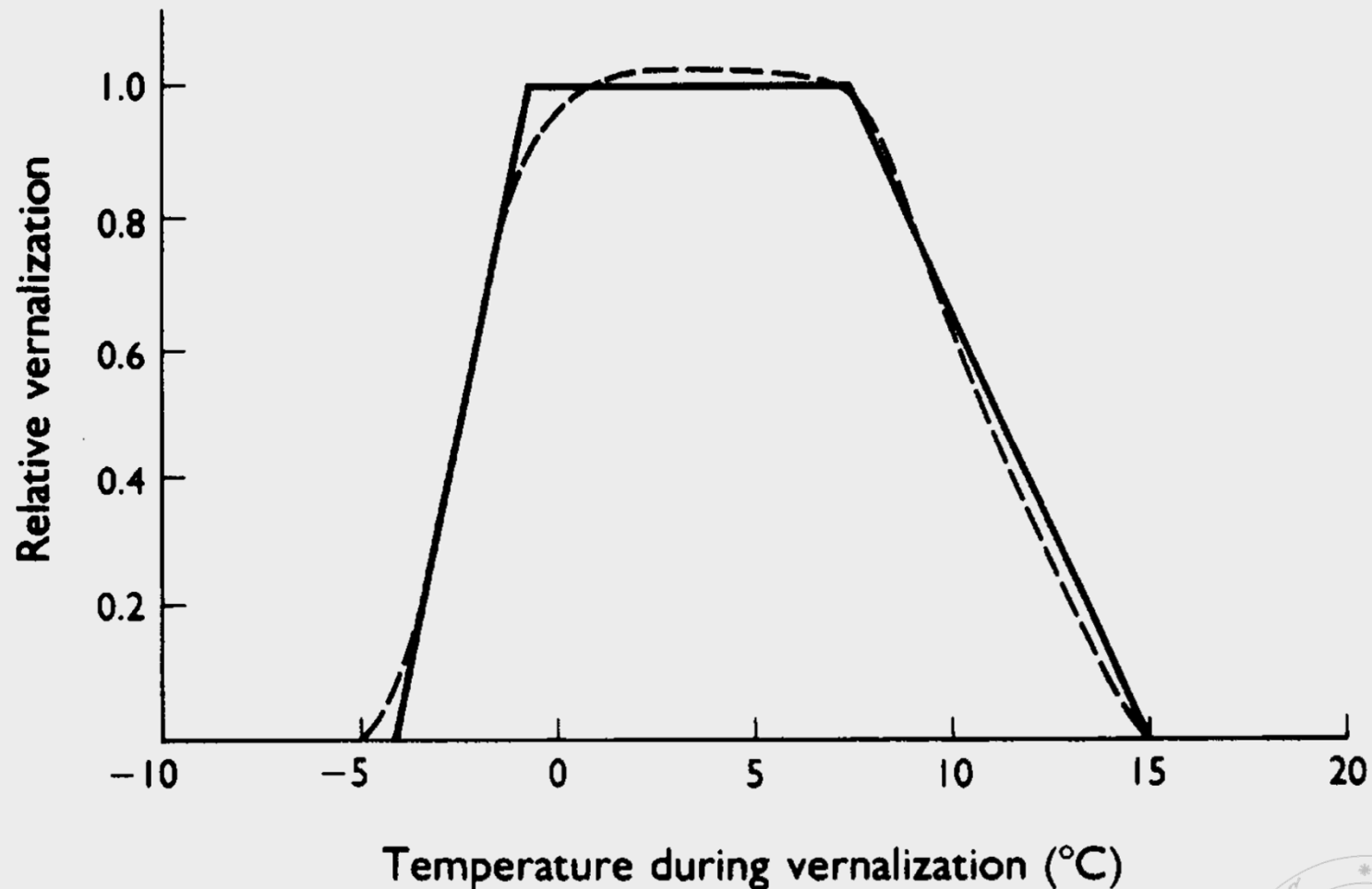


Photoperiodic responses of wheat and rape (LDP) and sorghum and soybean (SDP) cultivars (after Major 1980)

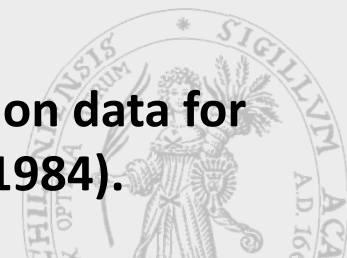
Entwicklung: Vernalisation

- **Obligates Vernalisationsbedürfnis**
 - Einige Winterformen
- **Quantitative Reaktion auf niedrige Temperaturen**
 - Viele Winterformen
 - Auch: Beschleunigung der Entwicklung bei Sommerformen



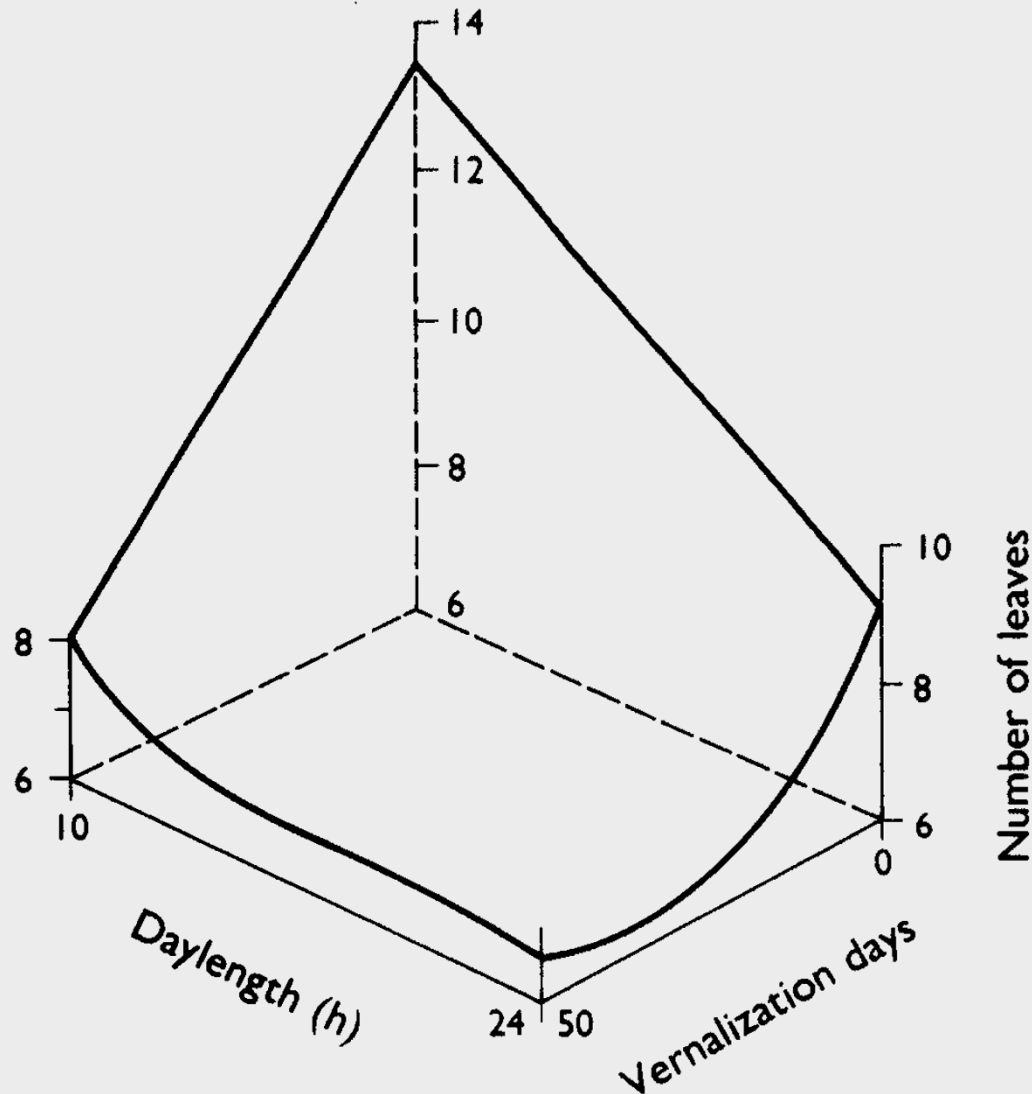


Vernalization response of flowering in winter cereals (based on data for 'Petkus' rye from Salisbury (1963); see also Weir et al. 1984).



Entwicklung

Kombination von Tageslänge und Vernalisation



Effect of duration of seed vernalization on leaf number in wheat grown at constant temperature over a range of daylengths (after Levi & Petterson 1972).



Weizen



BB=Blattbildungsstadium (EC21)

Gerste

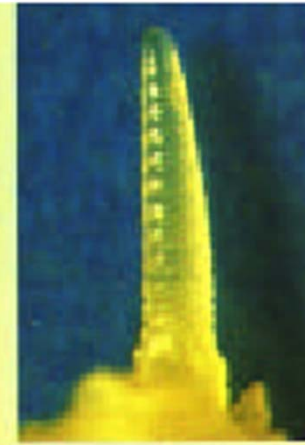


Weizen



DR=Doppelringstadium (EC 25)

Gerste



Weizen



SpÄ=Spitzenährchenstadium (EC 30)

Weizen



GP=Große Periode (EC 32)

Gerste



■ GS (Ritchie)

Innere Entwicklung

- Stadium 1-2

$$\frac{dGS}{dt} = \frac{T_{eff} \cdot \min(f(V), f(P))}{400 \cdot Phyll / 95}$$

Phyllochron ≈ 92 [°Cd]

■ BBCH

Äußere Entwicklung

- 11-<30

$$\frac{dBBCH}{dt} = \frac{T_{eff}}{Phyll}$$

■ Angelegte Blätter

- (inL)

$$\frac{d_inL}{dt} = \frac{T_{eff}}{Plast}$$

Wenn BBCH ≥ 13.5

↗ BBCH = BBCH + 7.5

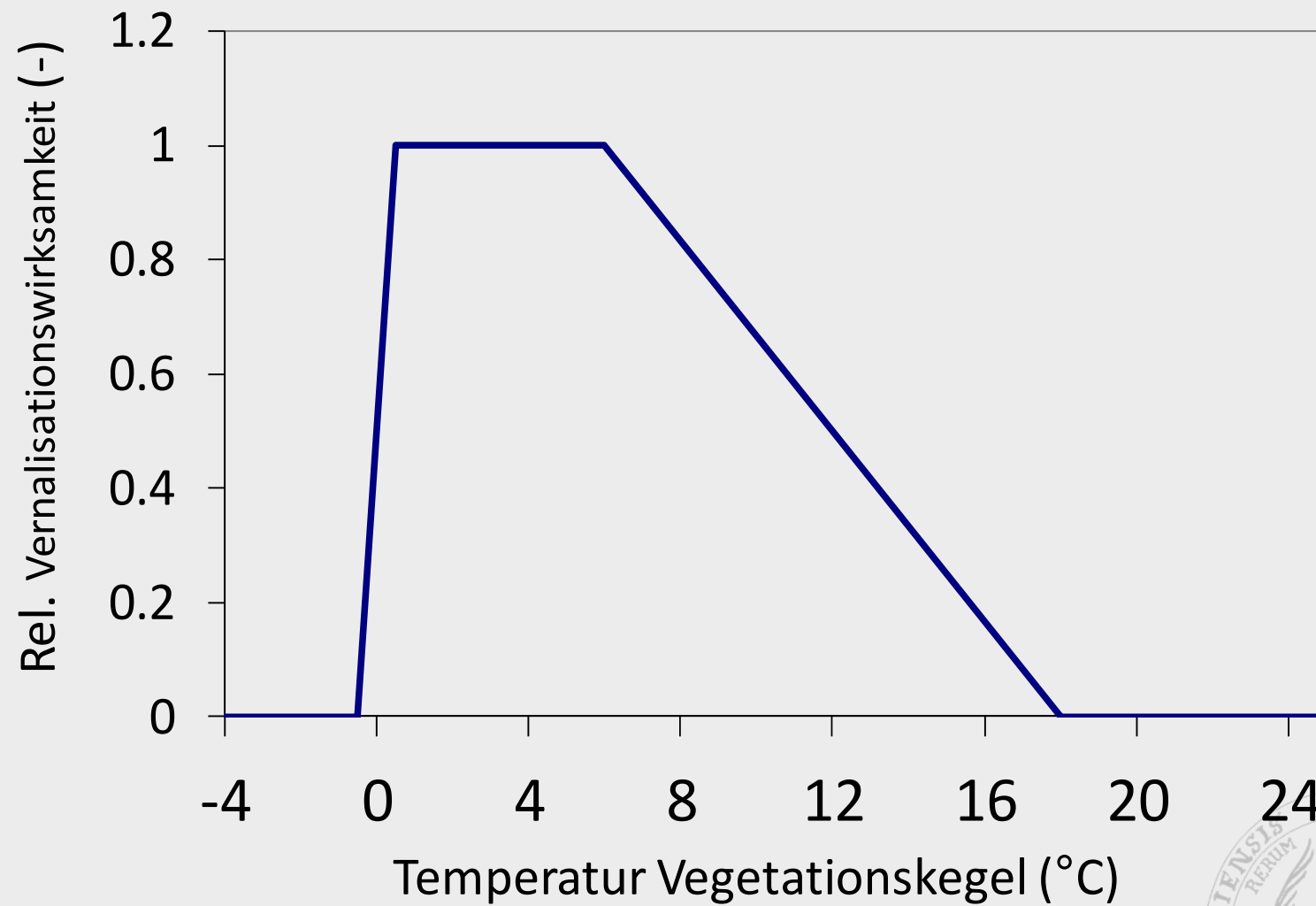
„Event“ Bestockungsbeginn



Vernalisationsanspruch Winterweizen

- Vernalisationsgrad beschleunigt Entwicklungsfortschritt (relativer Vernalisationsanspruch)
- 50 Vernalisationstage nötig für *vollständige* Vernalisation
 - Temperaturabhängigkeit





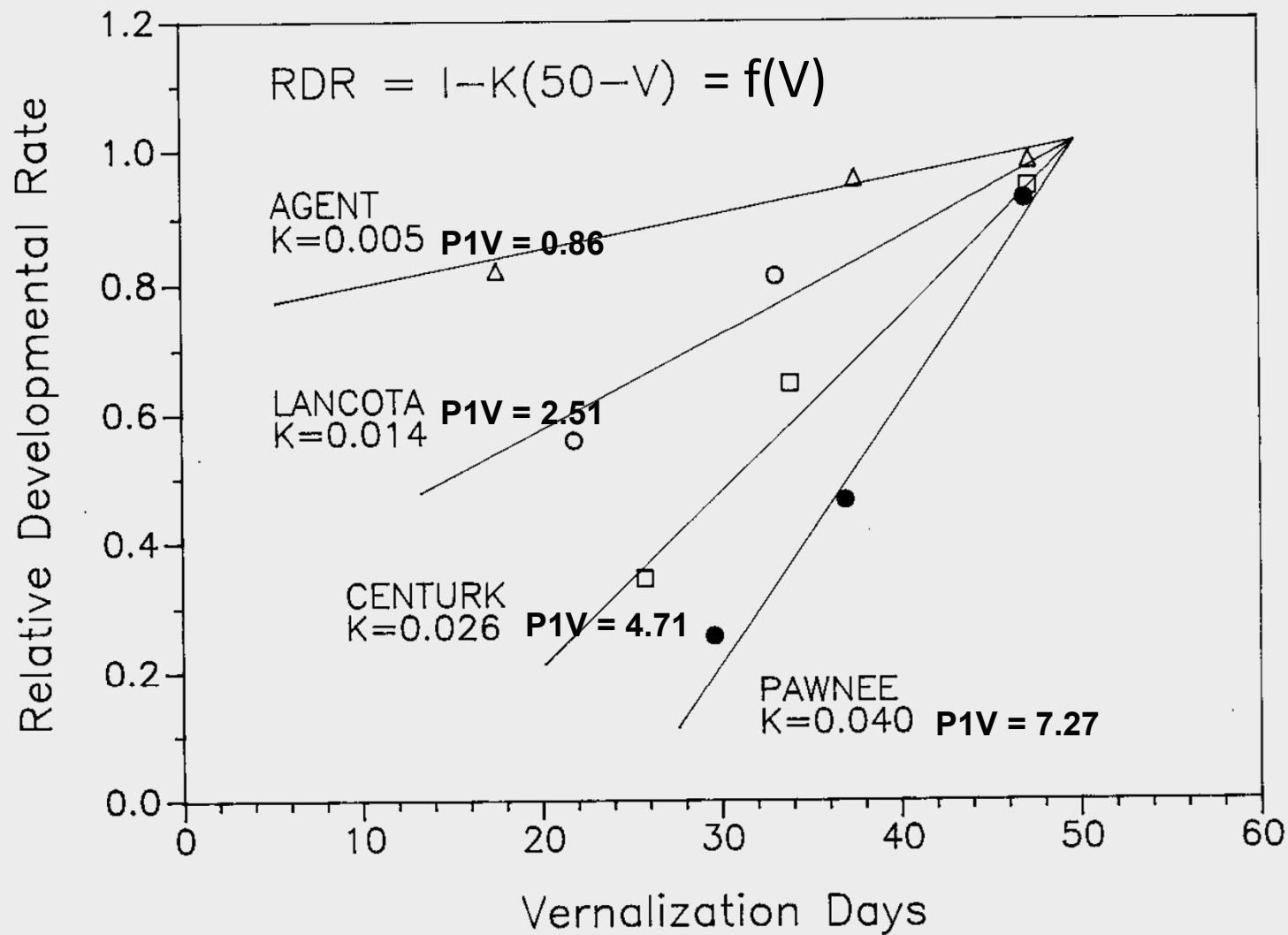


Fig. 3-2. The relationships used to predict the influence of vernalization days for specific genotypes on the relative development rate of wheat during Stage 1 growth.

Vernalisationanspruch

- Temperaturabhängigkeit korrigiert um genetischen Faktor
(k bzw. $P1V$, $P1V = k \cdot 183 - 0.55$)

Table 3-2. The genetic vernalization coefficients for 12 winter wheat varieties. Values are for the vernalization constant (K) in the equation $RDR = 1 - K(50 - V)$. The scaled values are the ones used as model inputs to provide a more useful scale of 0 to 8. The transformation equation used is $P1V = K \times 183 - 0.55$.

Variety	$K \times 10^{-2}$	Scaled value P1V
Agent	0.5	0.86
Lancota	1.4	2.51
Centurk	2.6	4.71
Sage	2.7	4.89
Scout 66	2.9	5.26
Sturdy	3.0	5.44
Nugaines	3.0	5.44
Triumph	3.1	5.62
Bezastaya	3.1	5.62
Coker 68-15	3.1	5.62
Arthur 71	3.2	5.81
Pawnee	4.0	7.27



Einfluss der Photoperiode

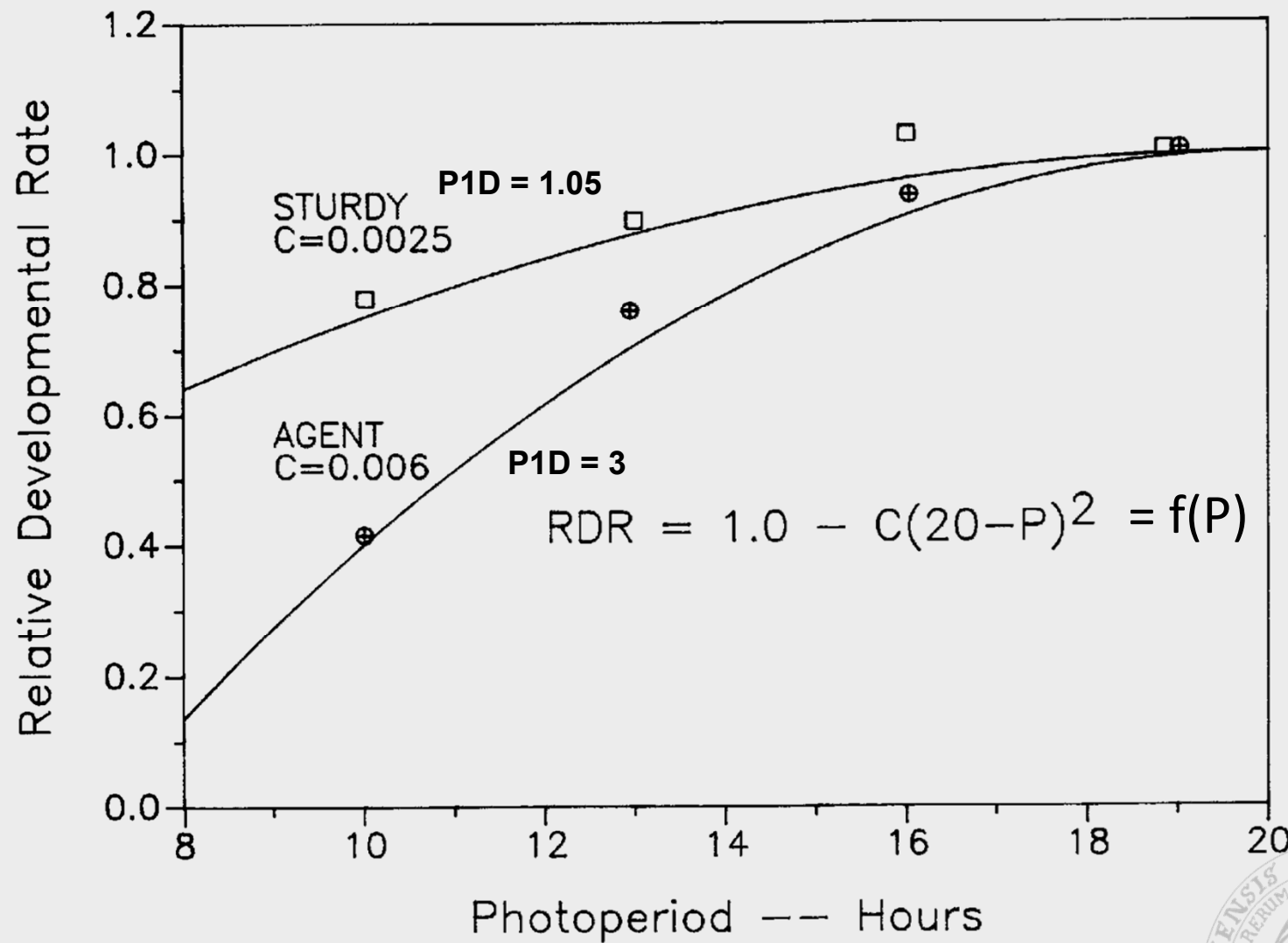


Table 3-3. The genetic photoperiod coefficients for 12 winter wheat varieties. Values are for the photoperiod constant (C) in the equation $RDR = 1 - C(20 - P)^2$. The scaled values are the ones used as model inputs to provide a more useful scale of 0 to 3. The scaling equation used is $P1D = C \times 500$.

Variety	$C \times 10^{-3}$	Scaled value P1D
Sturdy	2.1	1.05
Coker 68-15	2.6	1.30
Bezastaya	3.2	1.60
Arthur 71	3.4	1.70
Centurk	3.7	1.85
Triump	3.9	1.95
Lancota	4.0	2.00
Nugaines	4.4	2.20
Scout 66	4.9	2.45
Pawnee	5.2	2.60
Sage	5.5	2.75
Agent	6.0	3.00



Terminal spikelet to end of leaf growth and beginning of ear growth

■ GS (Ritchie)

– Stadium 2-3

$$\frac{dGS}{dt} = \frac{T_{eff}}{fL \cdot Phyll + Ph39}$$

$fL = inL_MS - 2 - nL_MS$ at the moment of $GS=2$
“number of leaves still have to appear”

■ BBCH

– 30-40

$$\frac{dBBCH}{dt} = \frac{T_{eff}}{TSum_{Internode}}$$

Event:

If $nL_MS > inL_MS - 2$ and If $BBCH < 37$ then
 $BBCH = 37$

nL_MS = Zahl der Blätter am Haupttrieb

inL_MS = Zahl der angelegten Blätter am Haupttrieb

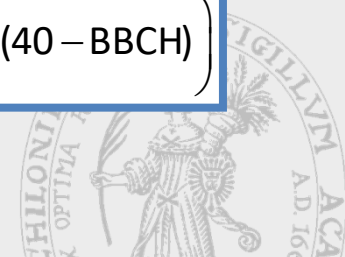
Plast = Plastochron ($\approx 82^\circ Cd$)

GS_{flip} = Stadium, nachdem keine Blattprimordien
 mehr angelegt werden

$TSum_{Internode}$ = Gradtage zwischen Ersch. Internodien ($\approx 97^\circ Cd$)

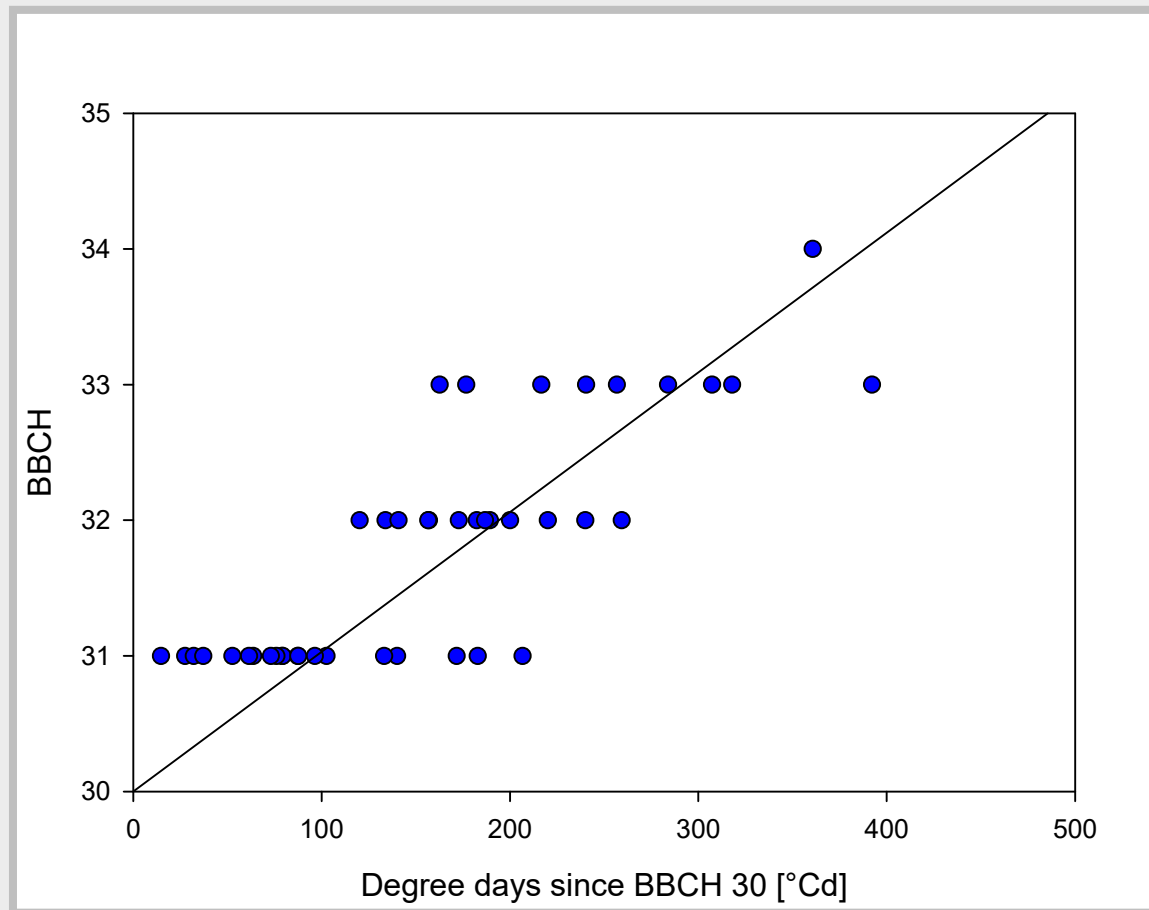
$Ph39$ = Phyllochron 37-39 ($\approx 101^\circ Cd$)

$$\frac{dBBCH}{dt} = 2 \cdot \min\left(\frac{T_{eff}}{Ph39}, (40 - BBCH)\right)$$



Weizen EC 33





Relationship between the BBCH values within the interval of 30 to 37 and the cumulative degree days from BBCH 30
($y = 0.0103x + 30$, $r^2 = 0.92^{***}$, SE slope = $4.7 \cdot 10^{-4}$).



End of leaf growth and beginning of ear growth to end of pre-anthesis ear growth

■ GS (Ritchie)

– Stadium 3-4

$$\frac{dGS}{dt} = \frac{T_{eff}}{2 \cdot Phyll}$$

■ BBCH

– 40-57

$$\frac{dBBCH}{dt} = (4 + 1.7(GS - 3)) \cdot 10 - BBCH$$



Anthese bis Ende Blüte (Phase 4)

- Dauer der Phase:
 - 200 °C·d
- Assimilateinlagerung hauptsächlich in Reservepools
(Stängel, Blätter)



End of pre-anthesis ear growth to beginning of grain filling

■ GS (Ritchie)

– Stadium 4-5

$$\frac{dGS}{dt} = \frac{T_{eff}}{200}$$

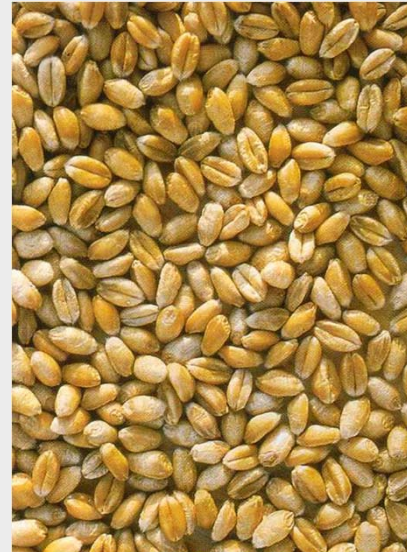
■ BBCH

– 57-71

$$\frac{dBBCH}{dt} = (5.7 + 1.4 \cdot (GS - 4)) \cdot 10 - BBCH$$



Kornwachstum



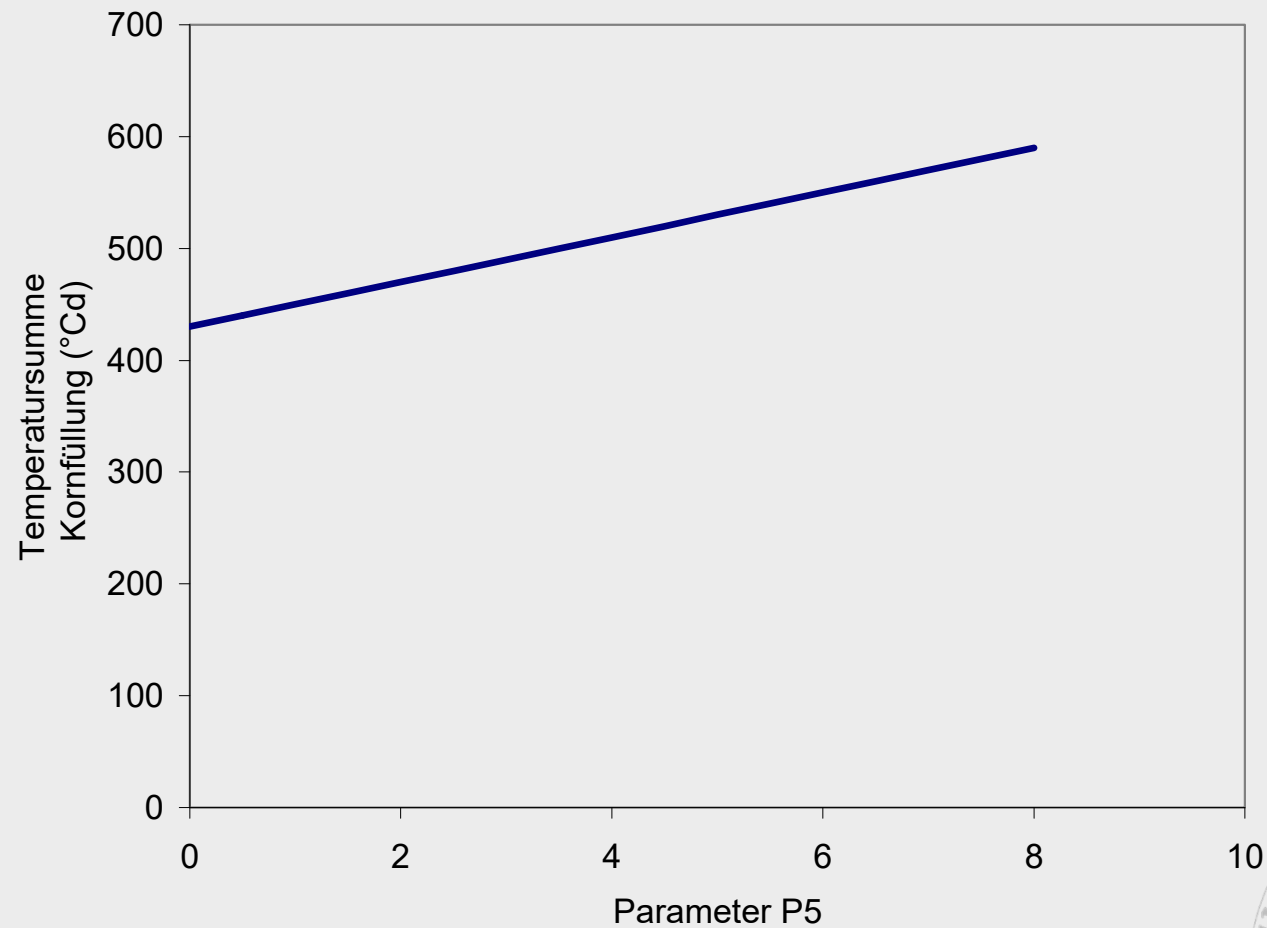
Kornfüllungsphase (Phase 5)

■ Dauer

- Genotypabhängig (Faktor P5)
- $\approx 500 \text{ }^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}$
- $P5 = (0.05 \cdot \text{TTM} - 21.5)$
- TTM = Gradtage für Kornfüllung



Kornfüllungsphase (Phase 5)



Grain filling

■ GS (Ritchie)

– Stadium 5-6

$$\frac{dGS}{dt} = \frac{T_{eff} - 1}{Tsum_{GF}}$$

$$Tsum_{GF} = \frac{(P5 + 21.5)}{0.05}$$

■ BBCH

– 71-90

$$\frac{dBBCH}{dt} = (7.1 + 1.9 \cdot (GS - 5)) \cdot 10 - BBCH$$



Phase 6 (Vollreife bis Totreife)

- Dauer ca. $250^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}$



End of grain filling to harvest

■ GS (Ritchie)

– Stadium 6-7

$$\frac{dGS}{dt} = \frac{T_{eff}}{250}$$

■ BBCH

– 90-100

$$\frac{dBBCH}{dt} = (9 + (GS - 6)) \cdot 10 - BBCH$$



Computers and Electronics in Agriculture 89 (2012) 62–69



Contents lists available at SciVerse ScienceDirect

Computers and Electronics in Agriculture

journal homepage: www.elsevier.com/locate/compag



A variable thermal time of the double ridge to flag leaf emergence phase improves the predictive quality of a CERES-Wheat type phenology model

Tobias Johnen, Ulf Boettcher, Henning Kage *

Institute of Crop Science and Plant Breeding, Christian-Albrechts-University, Hermann-Rodewald-Str. 9, D-24118 Kiel, Germany



Parametrisierung

■ Datensatz

- Nebenprodukt von Phytopathologischen Erhebungen (ZEPP)
- 848 Kombinationen Jahr/Ort, Zeitraum 1997-2006
- Von 48.2° bis 54.4° Nord, zwischen 2 and 540 m a.s.l.
- 84 Jahr/Ort Kombinationen für Parametrisierung (1997-2003)
- Rest für unabhängige Evaluierung
- Variables Sortenspektrum



Parameteridentifikation

- **Schrittweiser Prozess**
- **Ausschließliche Nutzung der jeweils relevanten Daten**
- **Methoden**
 - **Temperatursummenmittelwerte**
 - **Regressionsanalyse**
 - **Modellinterne Parameterschätzung (Levenberg-Marquard)**



Parametrisierung

■ P9

- Temperatursumme Aussaat-Auflaufen (Änderung gegenüber CERES-Wheat)
- Mittelwert der beobachteten Temperatursummen

■ Phyllochron

- Regressionsanalyse Blattzahl (aus BBCH-Bonituren geschätzt) und Temperatursumme
- Kehrwert der Steigung entspr. Phyllochron



Parametrisierung

■ P1D

- (Sortenspezifische) Sensitivität gegenüber Photoperiode

■ P1V

- (Sortenspezifische) Sensitivität gegenüber Vernalisation

■ Gemeinsame Schätzung

- Nur Datensätze mit Beobachtungen von BBCH 10 und BBCH 30 (n=12)
- BBCH 10 Bonitur notwendig, um “carryover” Fehler aus der Feldaufgangsphase zu eliminieren
- Schätzung mit GS Daten (kontinuierliche Skala)



Parametrisierung

■ 'Tsum_{Internode}'

- Regressionsanalyse Internodienzahl (aus BBCH-Bonituren geschätzt) und Temperatursumme
- Kehrwert der Steigung entspr. 'TsumInternode'
- Datensatz
 - Alle Datensätze mit BBCH 30 und zumindest einem zusätzlichen BBCH-Wert zwischen 30 und 34 (n=43)

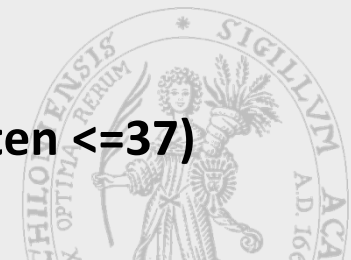


Parametrisierung

■ GS_{flip} (GS Stadium der Anlage des letzten Blattes) und

■ Plastochron

- Modellinterne Parameterschätzung (Levenberg-Marquardt-Algorithmus)
- 1. Schritt
 - $Plastochron = 0.5 * Phyllochron$
 - Schätzung GS_{flip}
- 2. Schritt
 - Schätzung Plastochron
- Datensatz
 - Alle Datensätze, Berücksichtigung nur von BBCH-Werten ≤ 37)



Parametrisierung

■ PH39 (Temperatursumme BBCH 37-39)

- Mittelwert der beobachteten Temperatursumme zwischen BBCH 37 und 39

■ P5 (Kornfüllungsdauer)

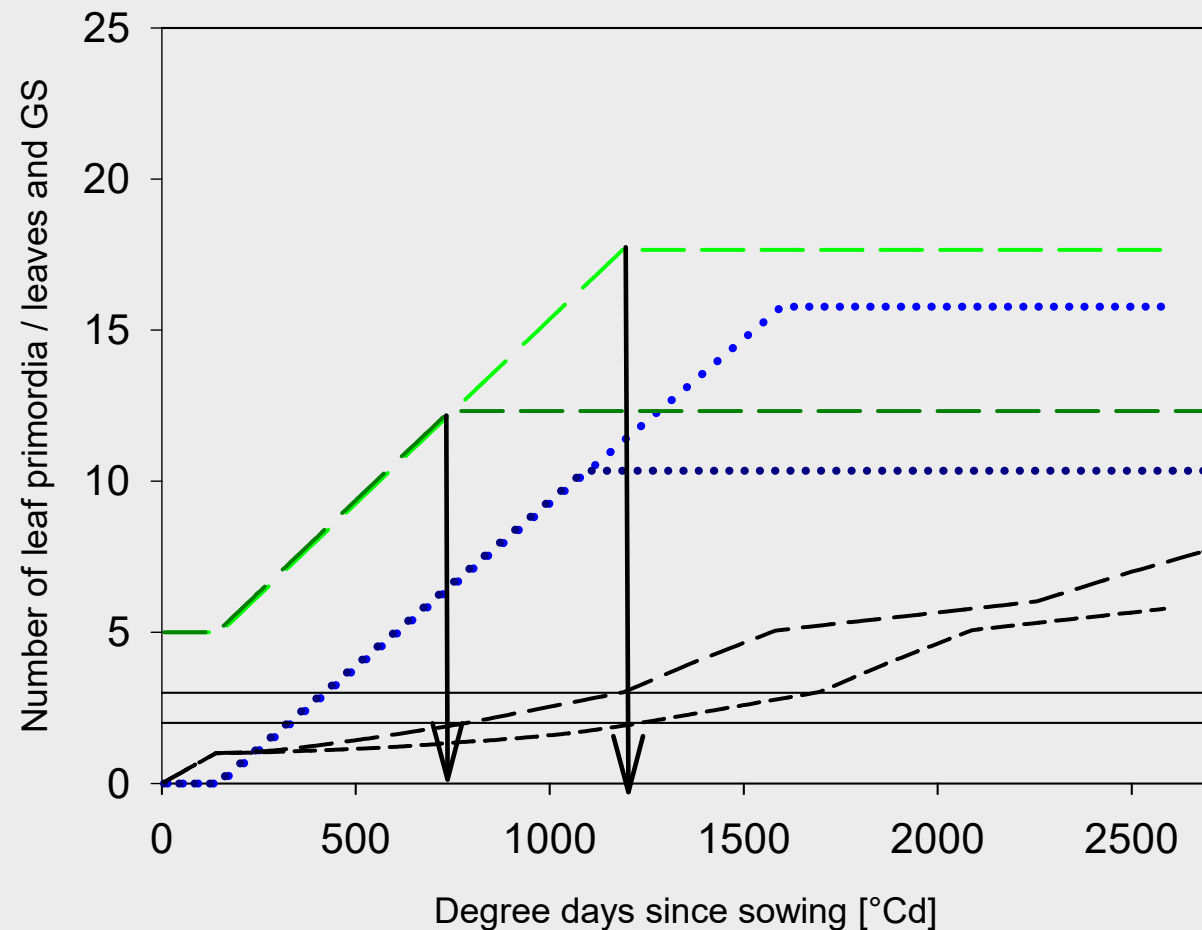
- Modellinterne Parameterschätzung
- Datensatz
 - Alle Datensätze mit BBCH > 69 (n=55)



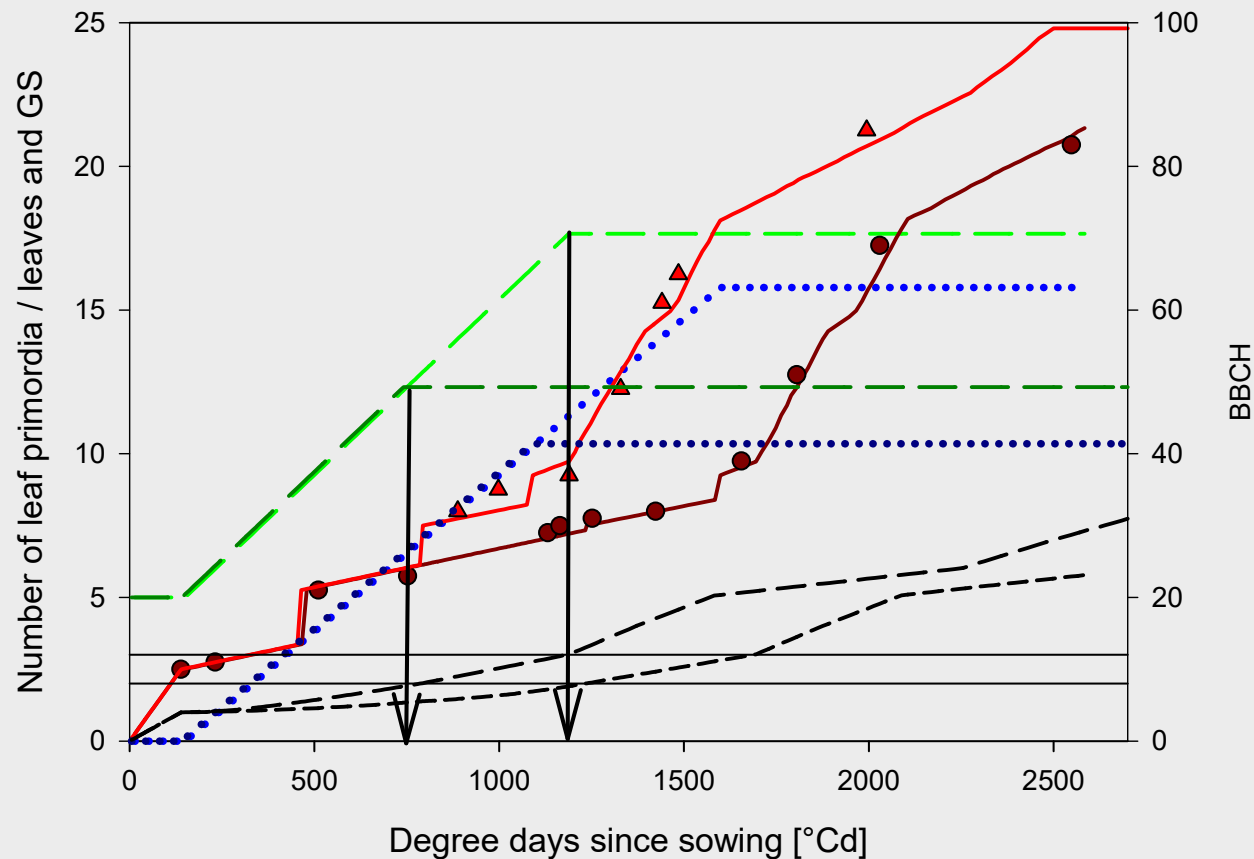
Parameter values of **CERES-wheat (CW)** as given by Ritchie (1991) except plastochron (Baker and Gallagher 1983; Delécolle et al. 1989; Kirby et al. 1987) and **CW_m** in order of the successive steps of their parameterization. Standard errors ($\pm$ SE) are given where the parameterization approach gave estimates for them. P9 = in CW: thermal time from germination to emergence in CW_m: thermal time from sowing to emergence, P1D = variety specific sensibility to photoperiod, P1V = variety specific sensibility to vernalisation, GS_{flp} = GS at which formation of leaf primordia is finished, TSumInternode = thermal time interval between the formation of two nodes, PH39 = thermal time interval from BBCH 37 to 39, P5 = thermal time for grain filling and maturity.

Parameter-ization	Step 1	Step2	Step 3	Step 4		Step 5	Step 6	Step 7	
	P9 [°Cd]	Phyllo-chron [°Cd]	P1d	P1v	Plasto-chron [°Cd]	GS _{flp}	TSum-Internode [°Cd]	PH39 [°Cd]	P5
CW	90-140	95	0-3	0-8	appro x. 50	---	---	95	0-8
CW _m	139.9	91.74	2.76	2.84	56.2	1.57	97.09	101.56 *	11.67
Calibration		(±5.5)	(±1.4)	(±4.4)			(±4.2)		

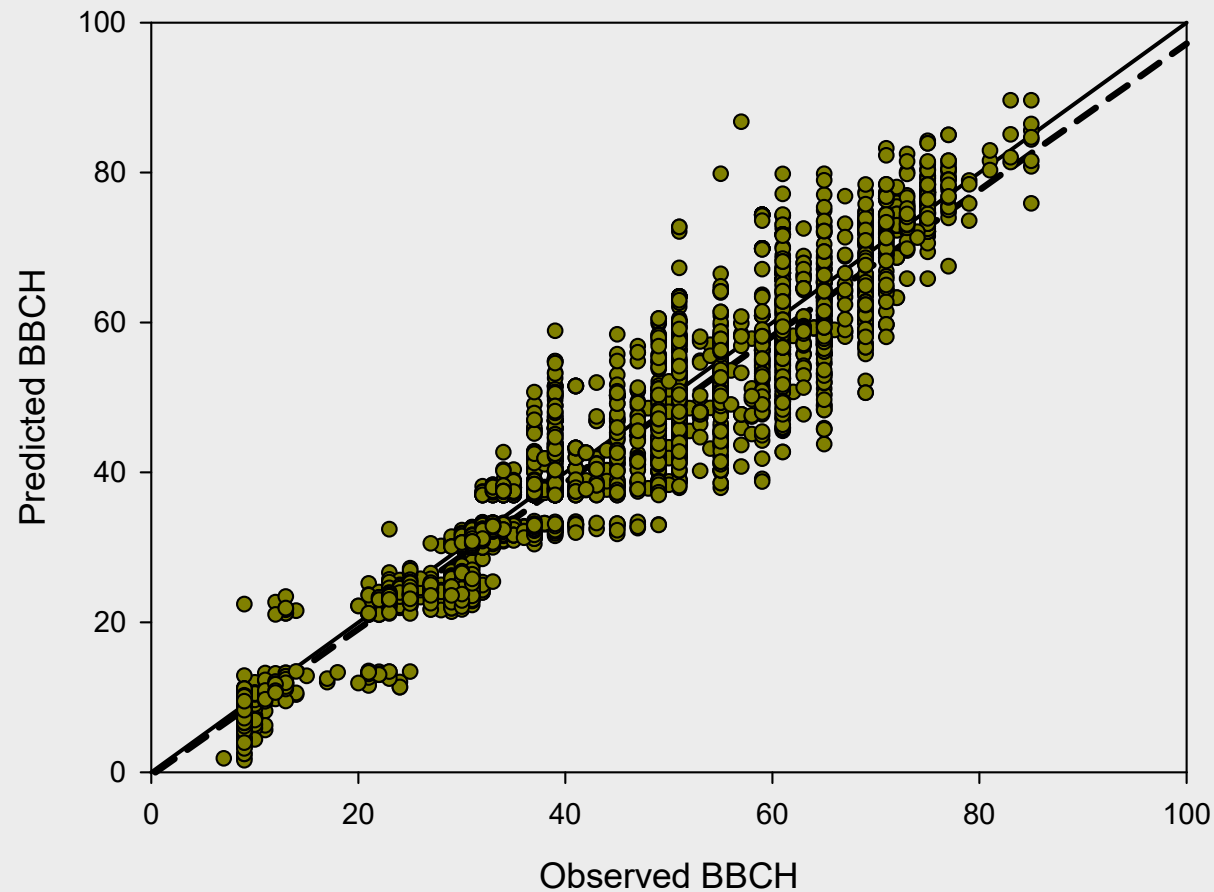




Number of leaf primordia, leaves, growing stages (GS) and BBCH in relation to temperature sum since sowing of two locations (a = Kaakstedt 2002 sowing date 6th of September, b = Buehl 1999 sowing date 6th of November) by comparison. Depending of the number of formed leaf primordia and leaves the thermal time between GS 2 and GS 3 differ between the two locations (— predicted BBCH, — — predicted number of leaf primordia, predicted leaf number, --- GS, ▲ observed BBCH Kaakstedt 2002, ● observed BBCH Buehl 1999)



Number of leaf primordia, leaves, growing stages (GS) and BBCH in relation to temperature sum since sowing of two locations (a = Kaakstedt 2002 sowing date 6th of September, b = Buehl 1999 sowing date 6th of November) by comparison. Depending of the number of formed leaf primordia and leaves the thermal time between GS 2 and GS 3 differ between the two locations (— predicted BBCH, — — predicted number of leaf primordia, predicted leaf number, --- GS, ▲ observed BBCH Kaakstedt 2002, ● observed BBCH Buehl 1999)



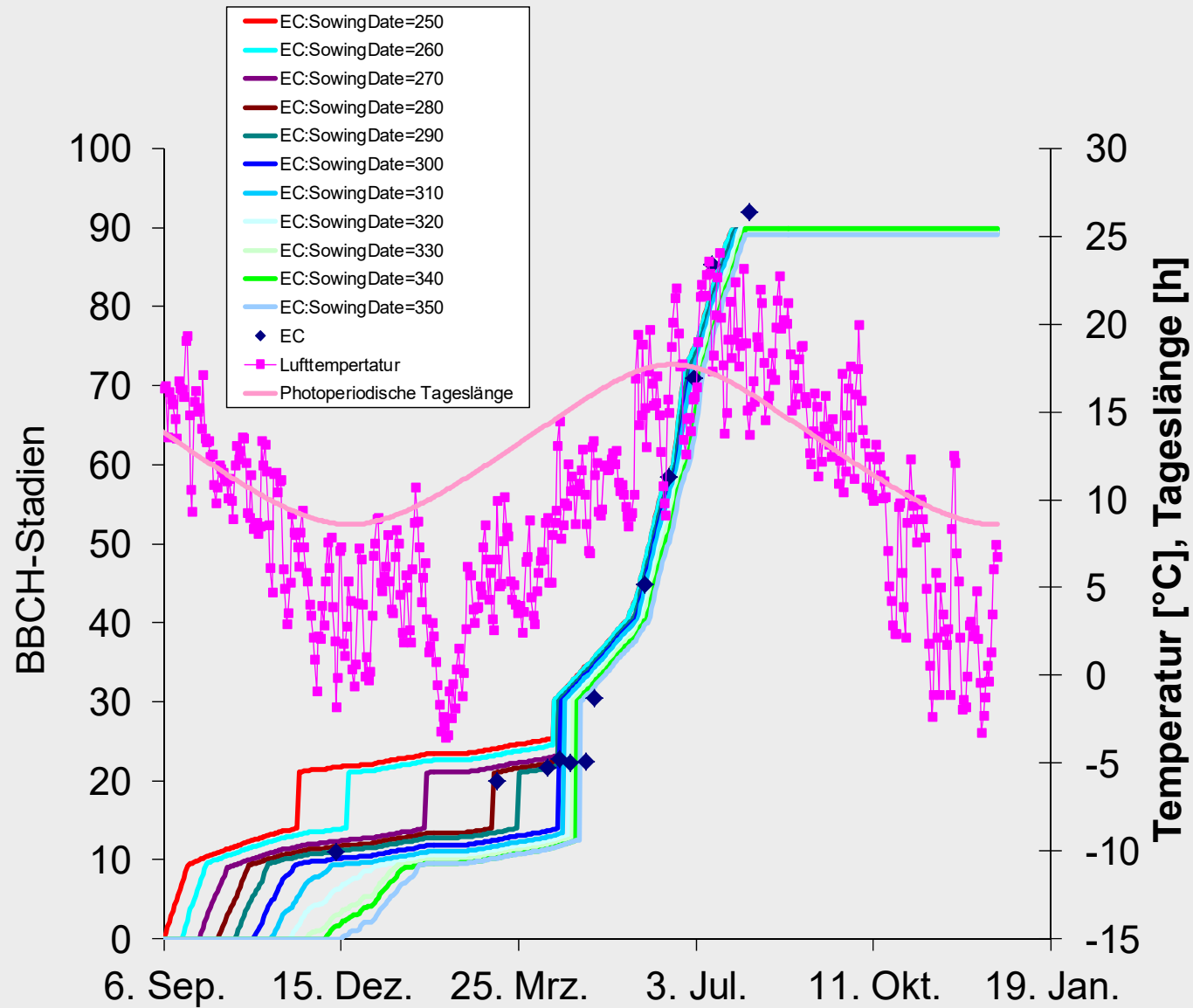
The predicted vs. observed BBCH stage of validation data of CERES wheat modified, data from different locations in Germany during the years 2002-2006, $n = 5764$, — 1:1 plot, — — regression line, $y = 0.98x - 0.41$, $r^2 = 0.93^{***}$, SE slope = 0.004, SE intercept = 0.156.



Comparison of CERES wheat and the modified CERES wheat phenology model with accuracy of predicted BBCH stages. Average prediction errors are given as the root mean squared error of estimated dates of BBCH within the range of BBCH 30 to 39 in days as well as the difference between the measured day and simulated days of BBCH values.

BBCH	CERES wheat		CERES wheat modified	
	RMSE days	Average of the difference of meas. day – sim. day	RMSE days	Average of the difference of meas. day – sim. day
30	8.5	-3.7	8.5	3.7
31	11.2	-8.9	7.5	3.6
32	7.3	-3.0	8.3	4.7
33	6.5	1.5	10.0	7.6
34	8.4	5.0	8.3	4.5
35	9.6	5.6	8.6	3.1
37	8.4	5.1	6.5	1.4
39	11.5	9.4	6.5	2.7
average 30-39	9.1		7.9	

Sensitivitätsanalyse Saatzeit/Entwicklung

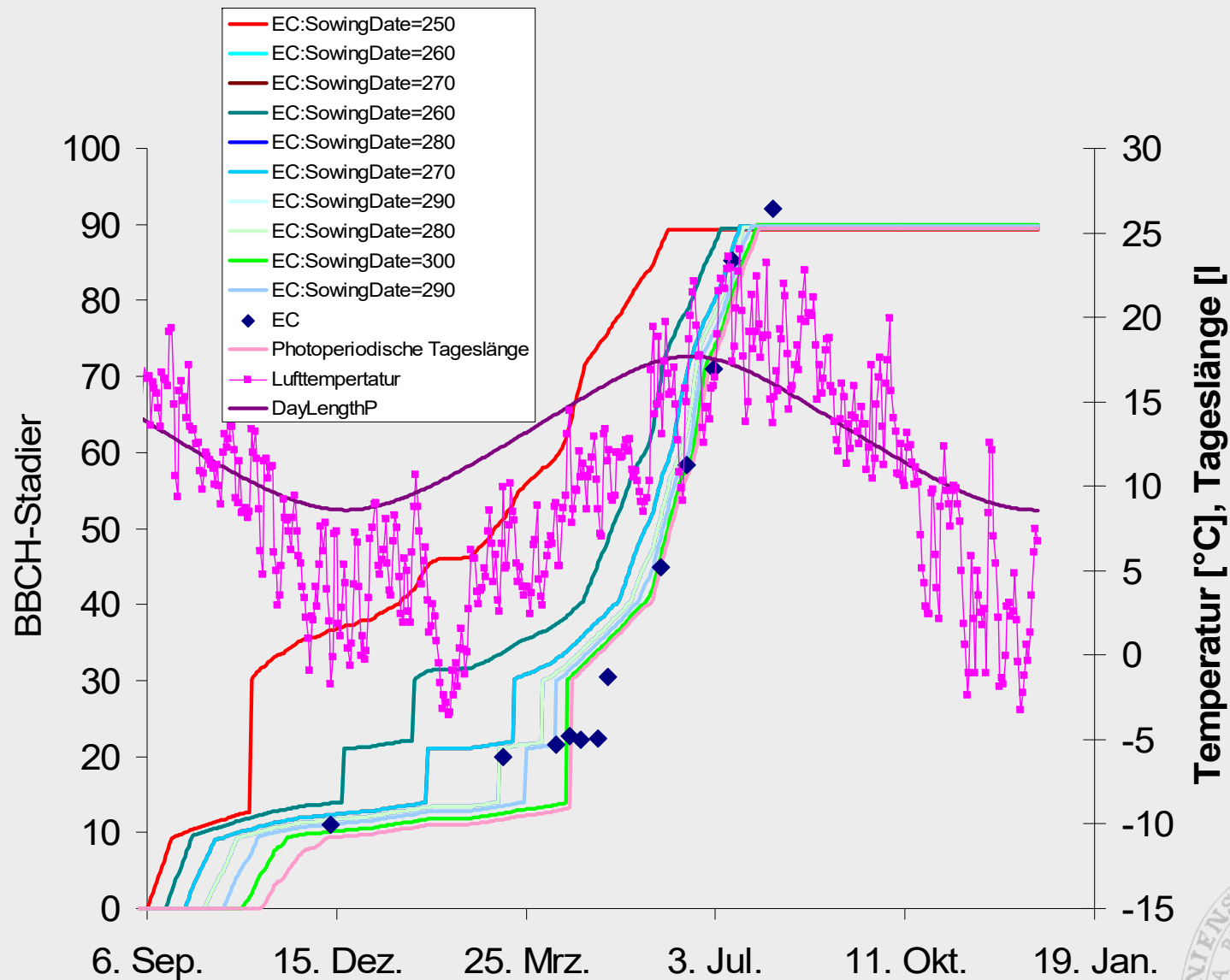


Sensitivitätsanalyse Saatzeit/Entwicklung

- Synchronisation der Entwicklung
- Trotz gestaffelter Aussaattermine nur geringe Auswirkungen auf Erntetermin



Sensitivitätsanalyse Saatzeit/Entwicklung "Abschalten der Vernalisationsanspruches"



Sensitivitätsanalyse Saatzeit/Entwicklung

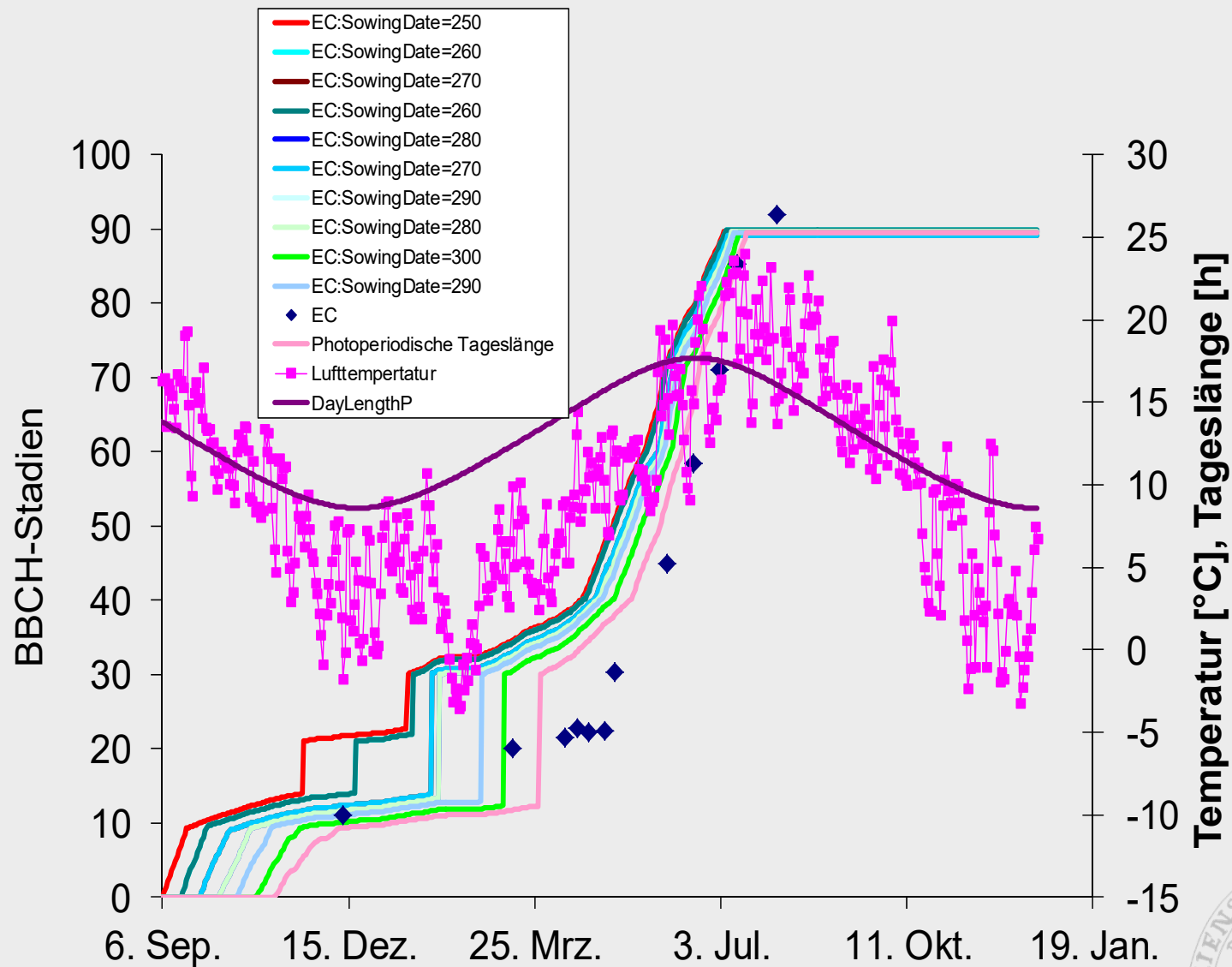
"Abschalten der Vernalisation"

- **Entwicklung im Herbst unter Langtag wird nicht mehr gehemmt**
 - Zu früher Übergang in die generative Phase (Schossen)
 - Geringe Winterfestigkeit
 - Kornfüllung (wenn nicht erfroren) zu früh, bei zu geringem Strahlungsangebot



Sensitivitätsanalyse Saatzeit/Entwicklung

"Abschalten der Photoper. Reaktion"



Sensitivitätsanalyse Saatzeit/Entwicklung

"Abschalten der Photoper. Reaktion"

- Entwicklungsfortschritt nach kühlen Temperaturen aber noch nicht beendetem Winter beginnt zu früh
 - Frostgefährdung
- Reifezeitpunkte variieren stärker



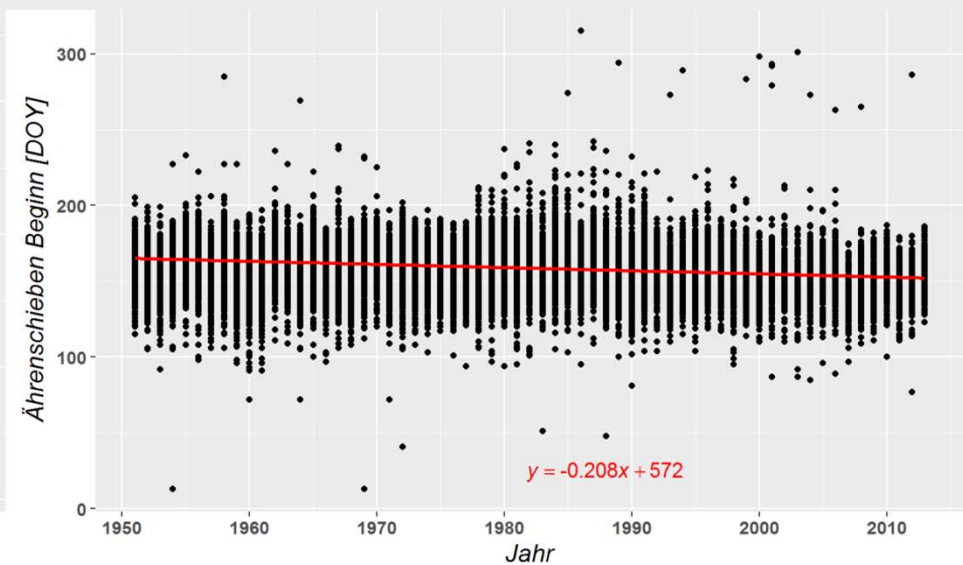
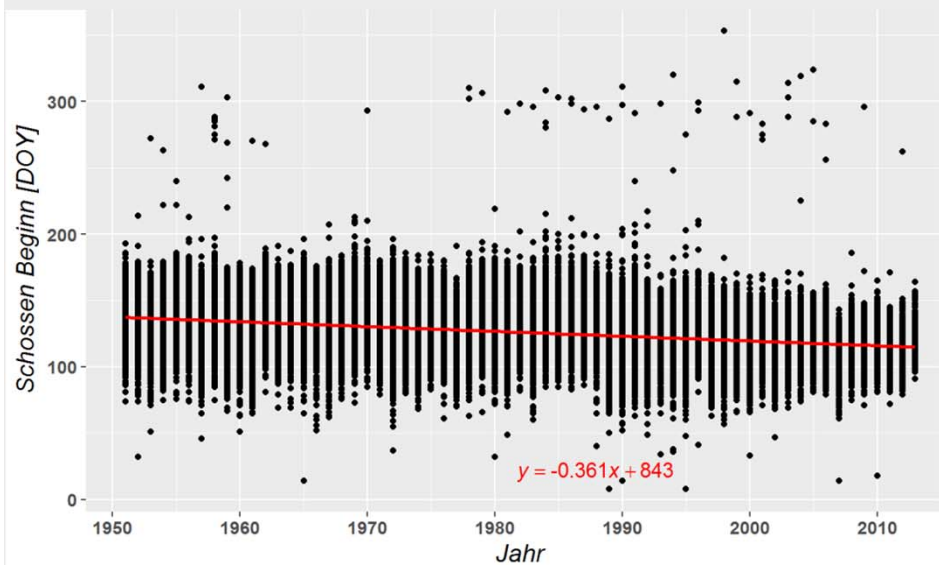
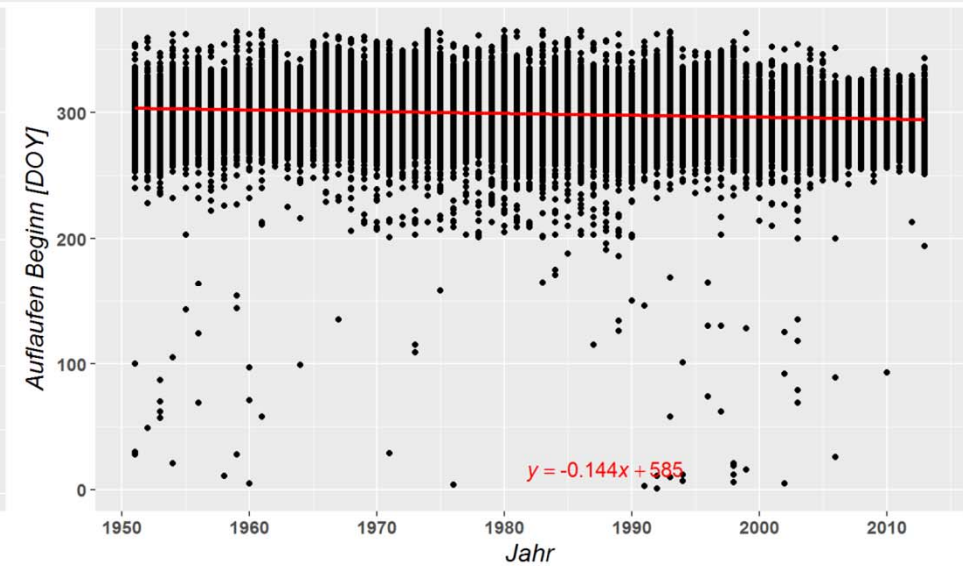
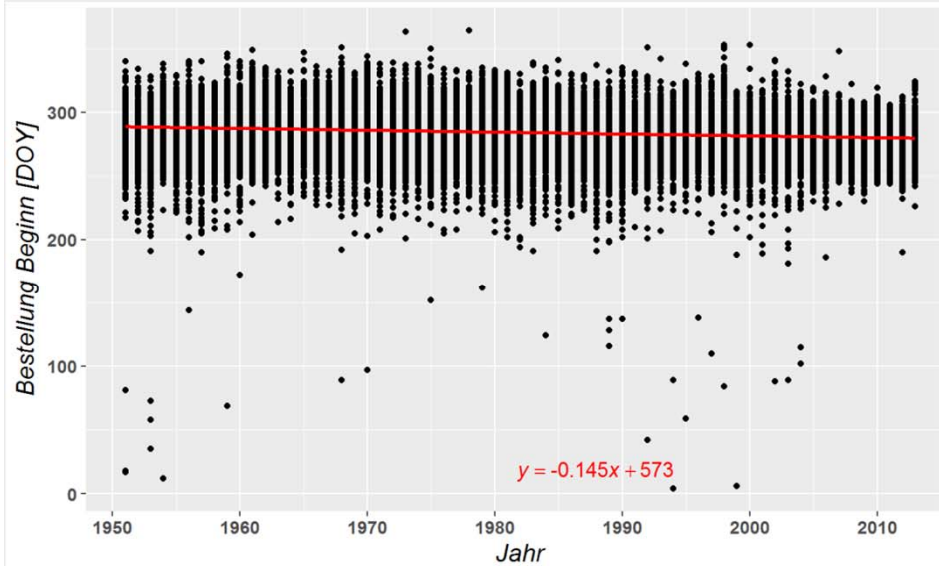
Analyse des Klimawandels auf Entwicklung von Winterweizen in Deutschland

■ Datenbasis

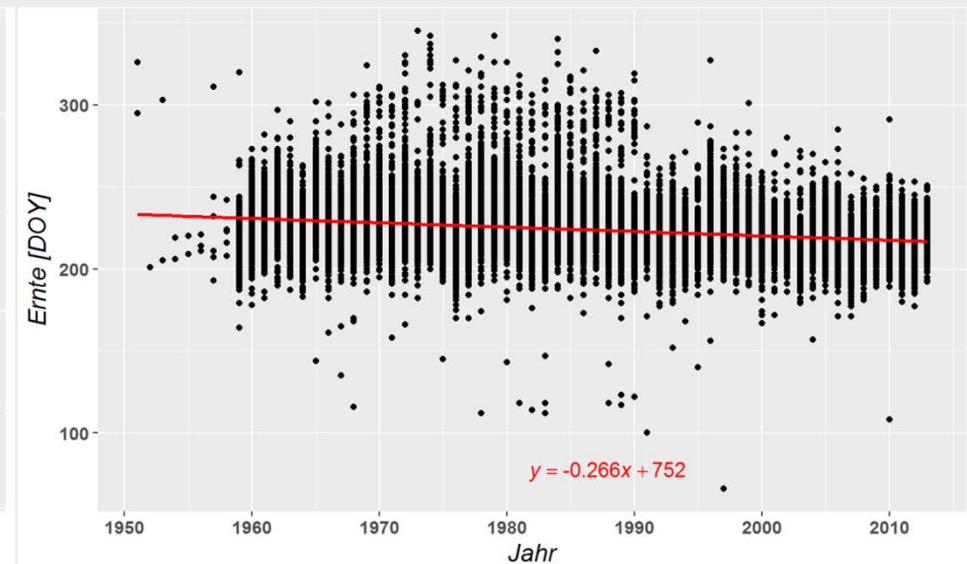
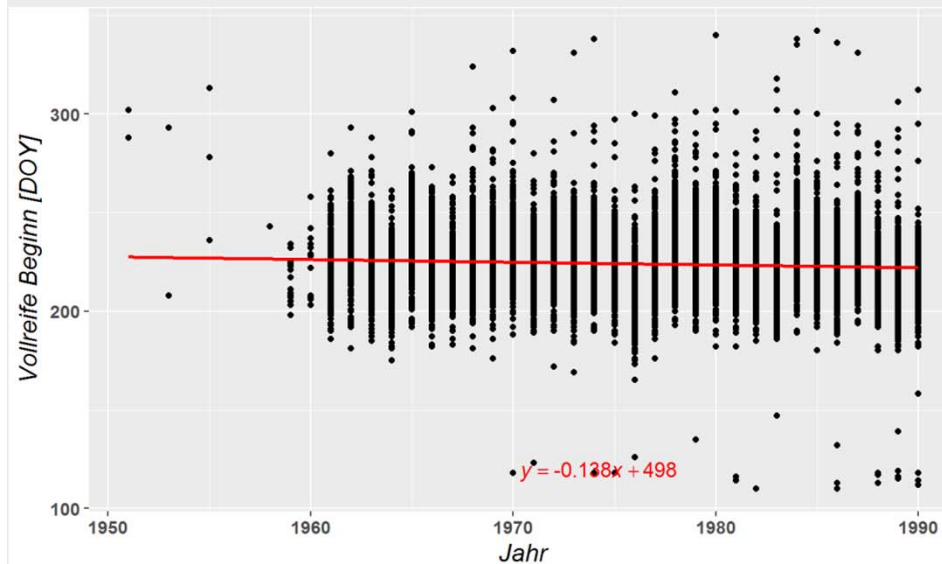
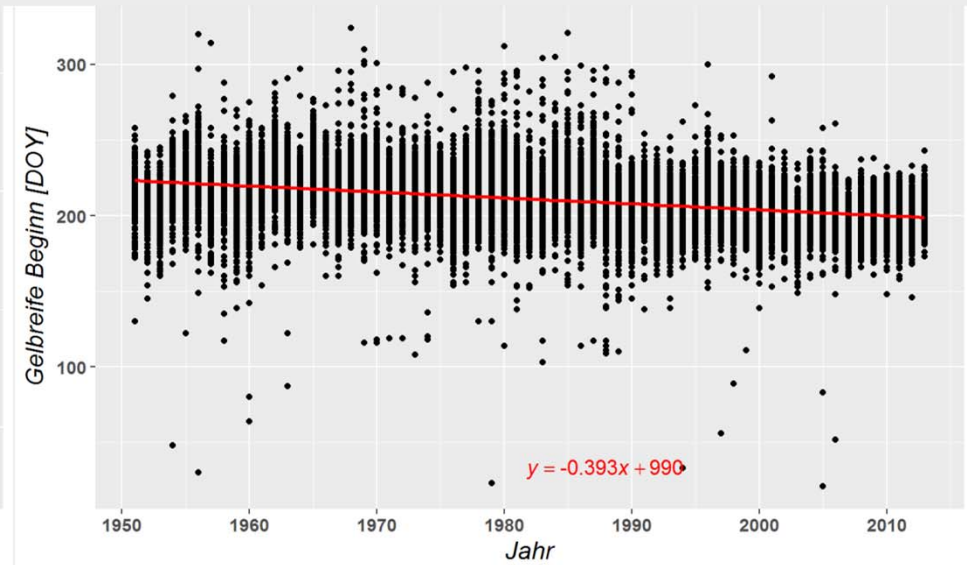
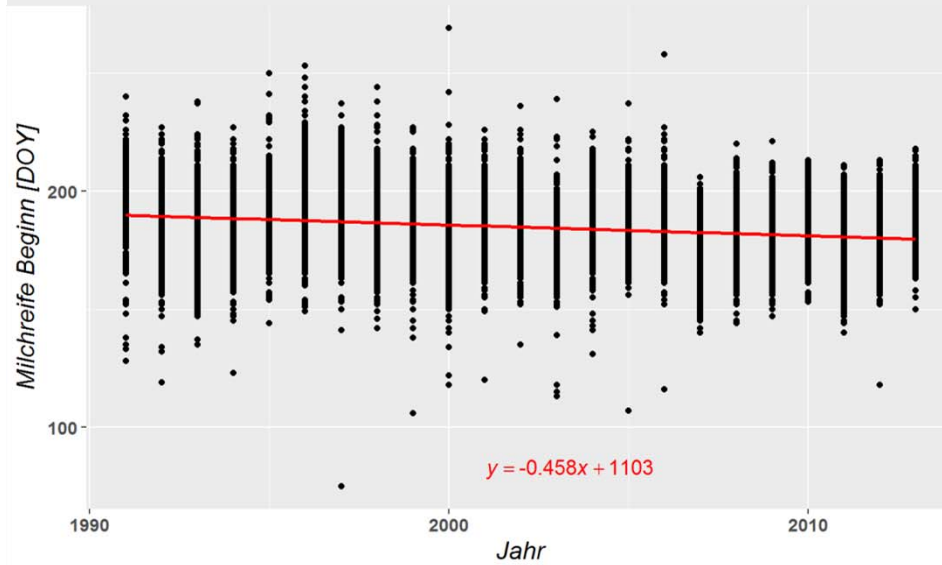
- Bonituren freiwilliger Melder im phänologischen Meldenetz des Deutschen Wetterdienstes



DWD Phänologie Daten Bundesweit

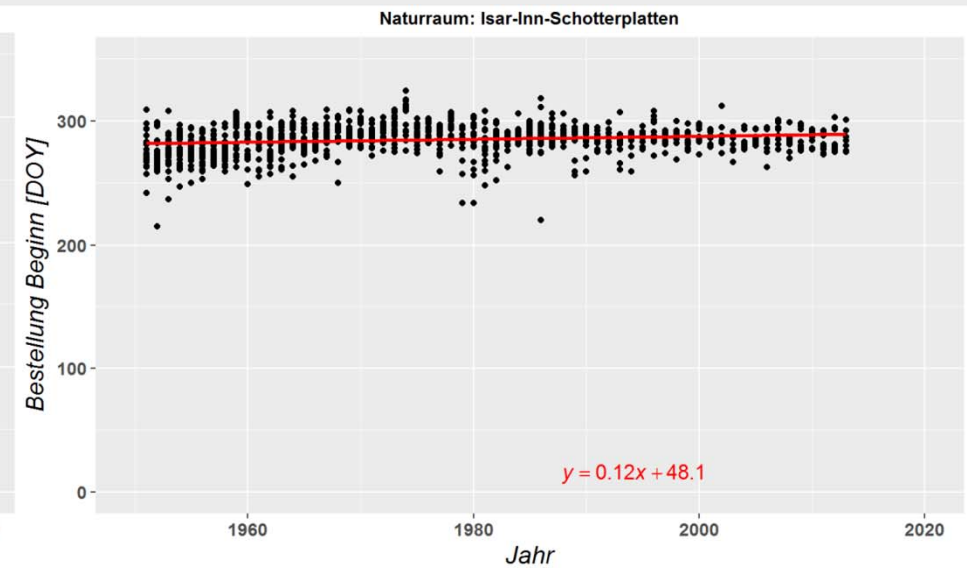
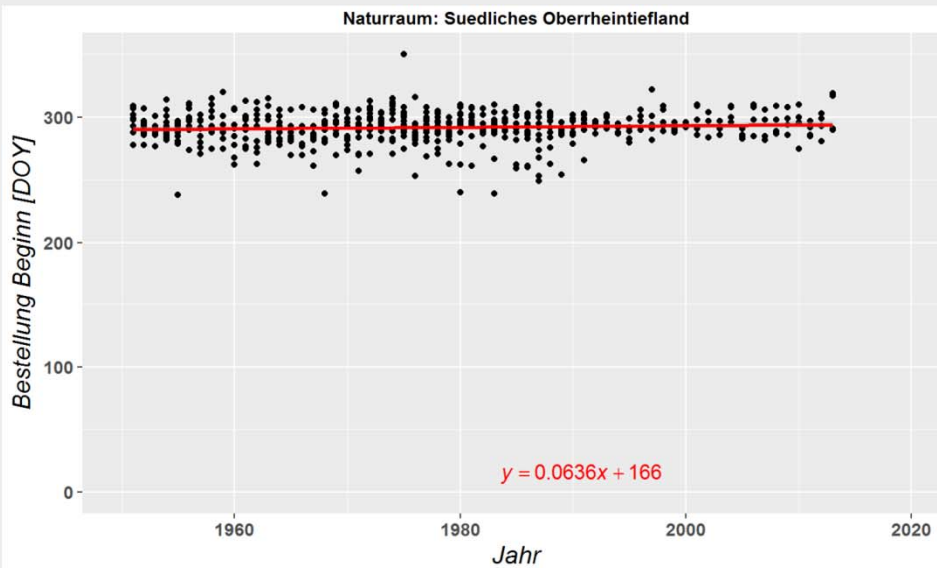
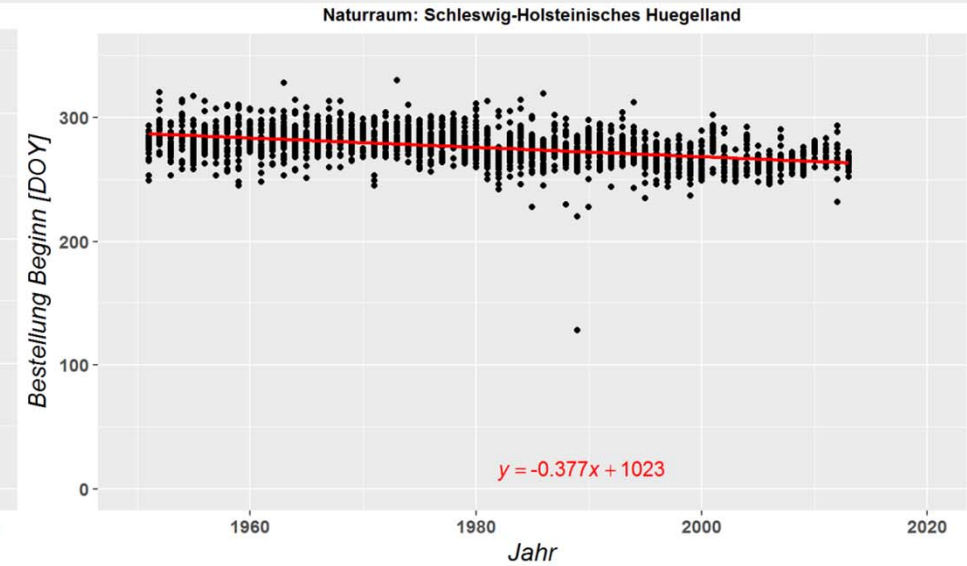
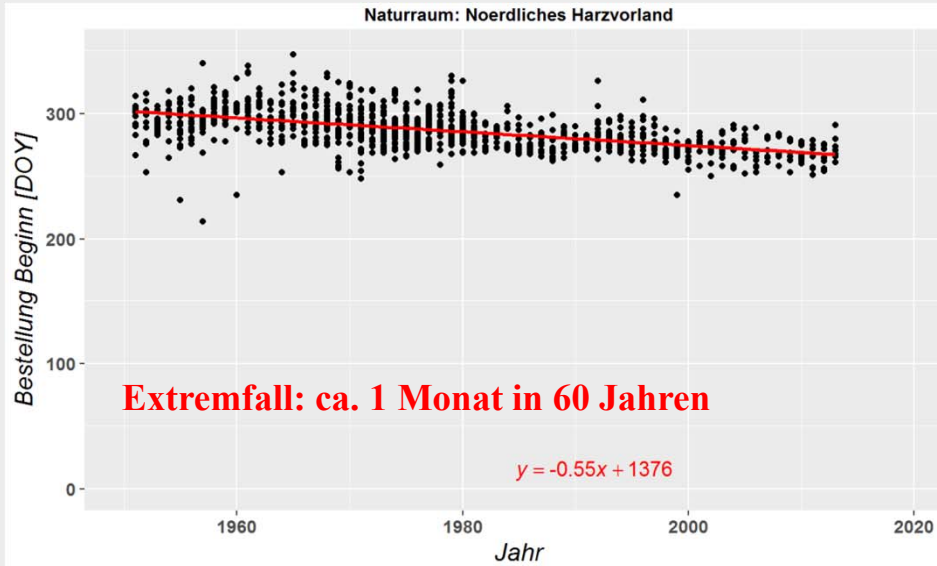


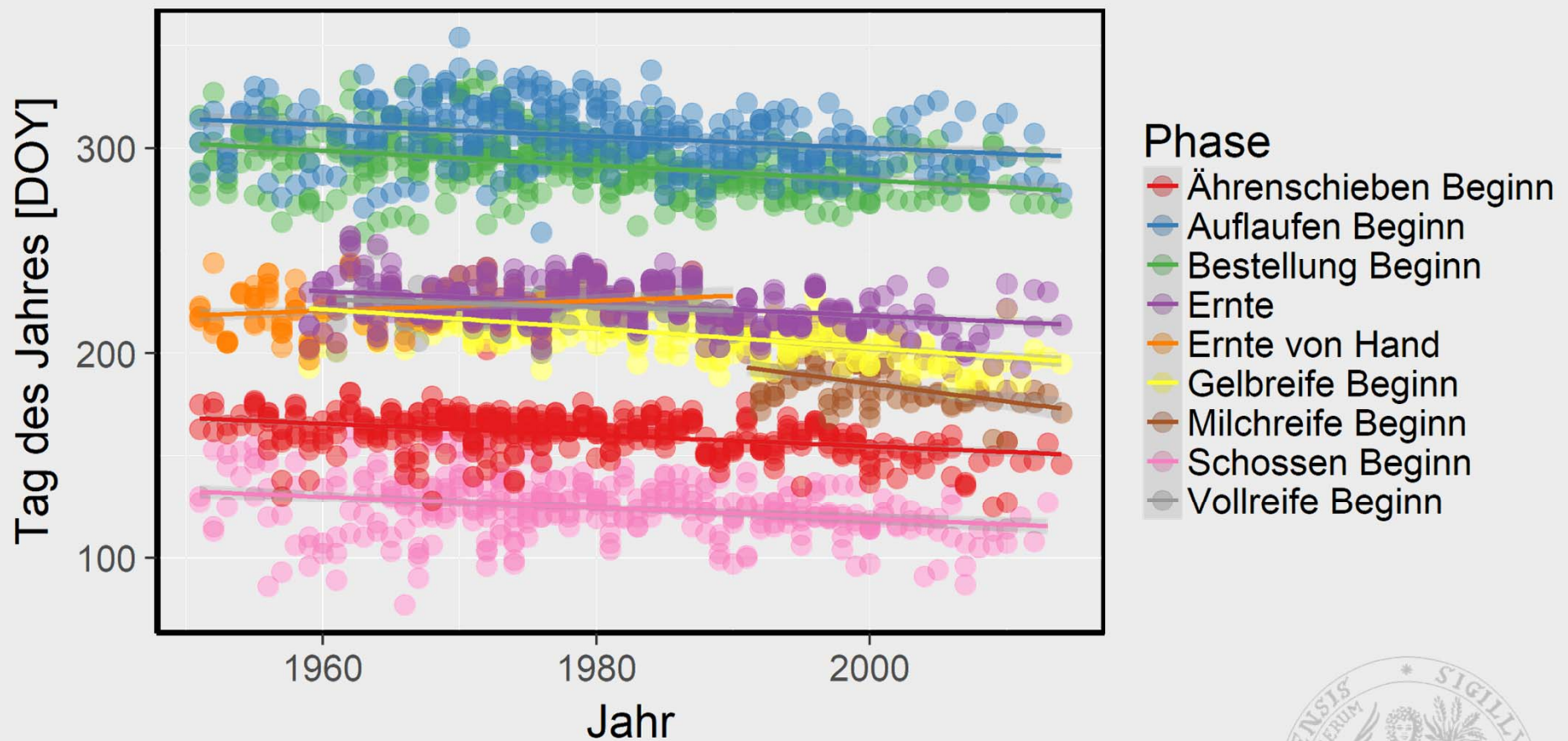
DWD Phänologie Daten Bundesweit

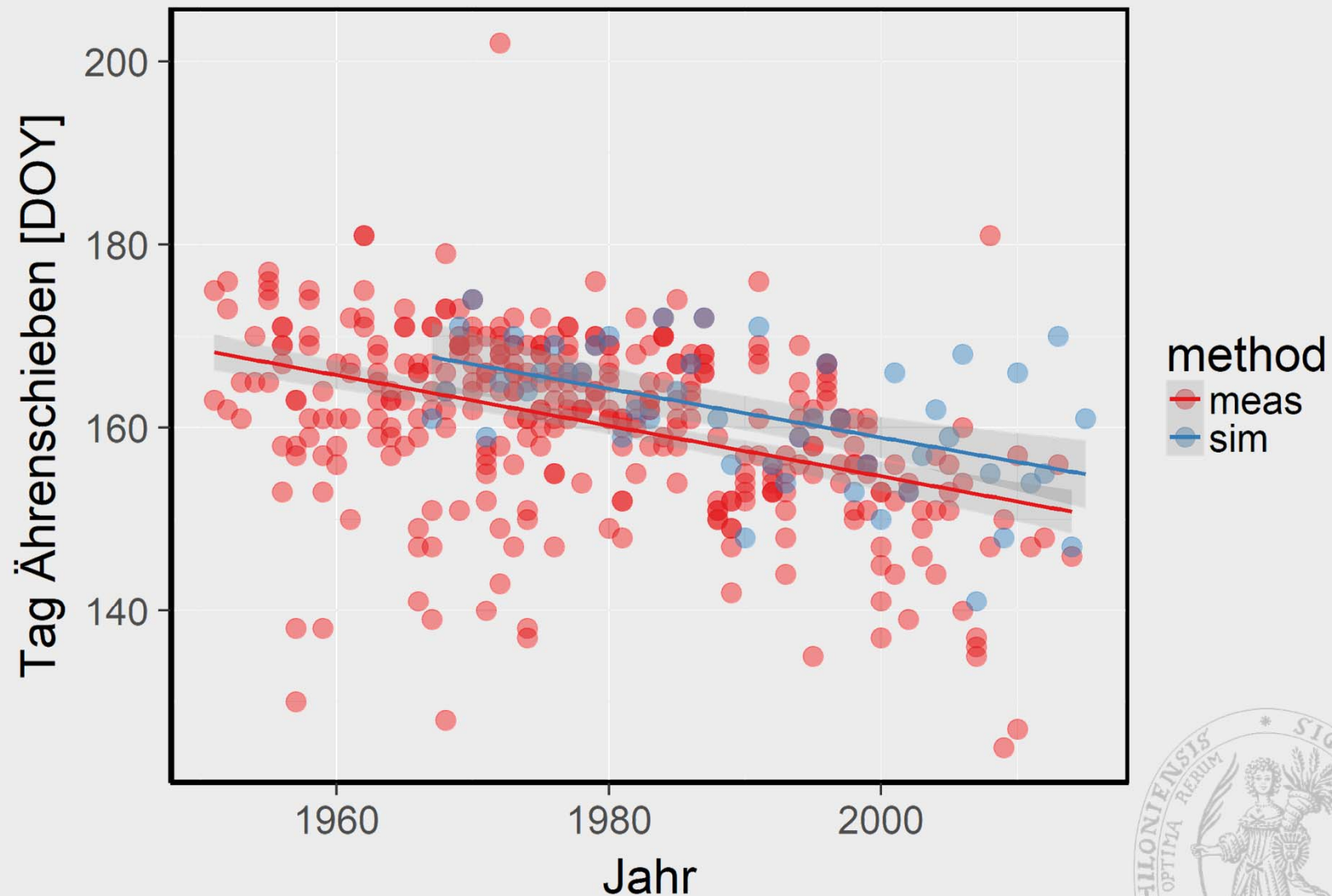


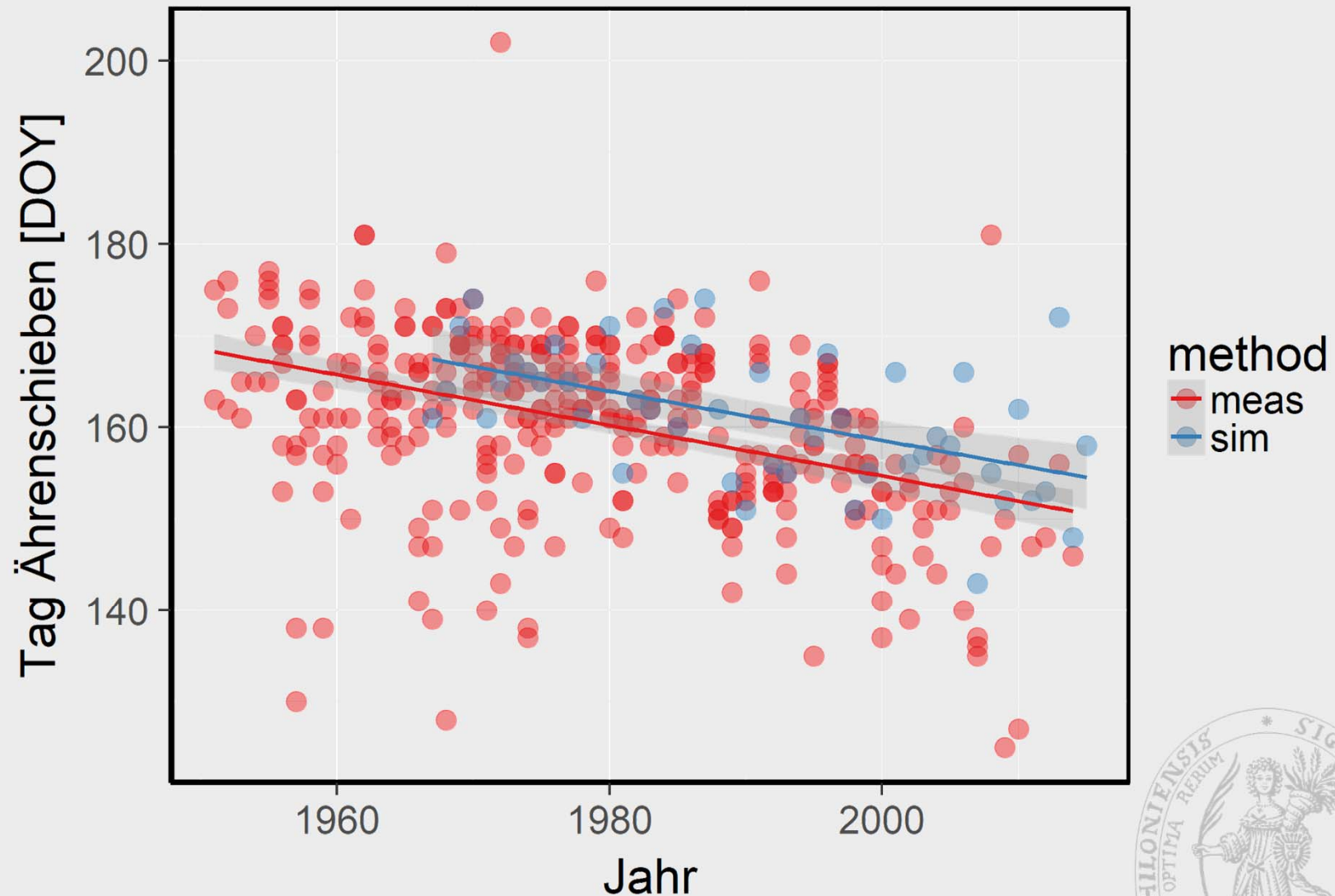
DWD Phänologie Daten

Bestellung Beginn









Analyse des Klimawandels auf Entwicklung von Winterweizen in Deutschland

- Deutliche Verfrühung bei Winterweizen in den letzten 50 Jahren
- Effekte zu großen Teilen durch Klimawandel verursacht
- Züchtung hat nur geringfügig frühere Sorten selektiert
- Trennung der Effekte durch Phänologiemodell möglich



Ende

