

Forschungsbericht KLIMOPASS

Auswirkungen des Klimawandels auf die Phänologie von Feldfrüchten

VON I. Holz, J. Franzaring, A. Fangmeier

Gefördert mit Mitteln des Ministeriums für Umwelt, Klima und
Energiewirtschaft Baden-Württemberg (UM)

Juni 2013

HERAUSGEBER	LUBW Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg Postfach 100163, 76231 Karlsruhe
KONTAKT	Dr. Kai Höpker, Referat Medienübergreifende Umweltbeobachtung, Klimawandel; Tel.:0721/56001465, Kai.Hoepker@lubw.bwl.de ;
AUFTRAGGEBER	Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg - Forschungsprogramm Klimawandel und modellhafte Anpassung in Baden- Württemberg (KLIMOPASS)
BEARBEITUNG	Dr. Holger Flaig, Landwirtschaftlichen Technologiezentrum Augustenberg Neßlerstr. 23-31 76227 Karlsruhe Dr. Ingo Holz, Dr. Jürgen Franzaring, Prof. Dr. Andreas Fangmeier Universität Hohenheim Institut für Landschafts- und Pflanzenökologie (320) Ökologiezentrum 2 August-von-Hartmann-Str. 3 70599 Stuttgart
BEZUG	http://www.fachdokumente.lubw.baden-wuerttemberg.de/servlet/is/91063/ ID Umweltbeobachtung U81-W03-N13
STAND	Juni 2013, Internetausgabe Juni 2013

ZUSAMMENFASSUNG		9
1	EINLEITUNG	11
2	UNTERSUCHUNGSRAUM UND DATENMATERIAL	13
2.1	Der Untersuchungsraum	13
2.2	Die phänologischen Daten des Deutschen Wetterdienstes	15
2.3	Die Klimadaten des Deutschen Wetterdienstes	24
2.4	Datenmanagement und –analyse	24
3	PHÄNOLOGISCHE PHASEN DER LANDWIRTSCHAFTLICHEN KULTURPFLANZEN	25
4	DETAILLIERTE ANALYSE UND GRAPHISCHE DARSTELLUNG AUSGEWÄHLTER PHÄNOPHASEN	35
4.1	Hafer (<i>Avena sativa</i>) – Beginn des Auflaufens (Phase ,022’)	36
4.2	Hafer (<i>Avena sativa</i>) – Beginn des Rispenschiebens (Phase ,024’)	38
4.3	Hafer (<i>Avena sativa</i>) – Beginn der Gelbreife (Phase ,095’)	40
4.4	Hafer (<i>Avena sativa</i>) – Beginn der Ernte (Phase ,195’)	42
4.5	Winterweizen (<i>Triticum aestivum</i>) – Beginn des Auflaufens (Phase ,094’)	44
4.6	Winterweizen (<i>Triticum aestivum</i>) – Beginn des Ährenschiebens (Phase ,041’)	46
4.7	Winterweizen (<i>Triticum aestivum</i>) – Beginn der Gelbreife (Phase ,090’)	48
4.8	Winterweizen (<i>Triticum aestivum</i>) – Beginn der Ernte (Phase ,194’)	50
4.9	Wintergerste (<i>Hordeum vulgare</i>) – Beginn des Auflaufens (Phase ,081’)	52
4.10	Wintergerste (<i>Hordeum vulgare</i>) – Beginn des Ährenschiebens (Phase ,036’)	54
4.11	Wintergerste (<i>Hordeum vulgare</i>) – Beginn der Gelbreife (Phase ,077’)	56
4.12	Wintergerste (<i>Hordeum vulgare</i>) – Beginn der Ernte (Phase ,191’)	58
4.13	Winterraps (<i>Brassica napus</i>) – Beginn des Auflaufens (Phase ,183’)	60
4.14	Winterraps (<i>Brassica napus</i>) – Beginn der Blüte (Phase ,144’)	62
4.15	Winterraps (<i>Brassica napus</i>) – Beginn der Ernte (Phase ,181’)	64
4.16	Zuckerrübe (<i>Beta vulgaris subsp. vulgaris, Altissima-Gruppe</i>) – Beginn des Auflaufens (Phase ,043’)	66
4.17	Zuckerrübe (<i>Beta vulgaris subsp. vulgaris, Altissima-Gruppe</i>) – Beginn der Ernte (Phase ,099’)	68
4.18	Mais (<i>Zea mays</i>) – Beginn des Auflaufens (Phase ,141’ & ,296’)	70
4.19	Mais (<i>Zea mays</i>) – Beginn des Rispenschiebens (Phase ,142’ & ,298’)	72

4.20	Mais (<i>Zea mays</i>) – Beginn der Ernte (Phase ,196' & ,303')	74
5	PHÄNOLOGISCHE KARTEN	76
6	BEMERKUNGEN ZU DEN PHÄNOLOGISCHEN PHASEN BEIM MAIS	107
7	PHÄNOLOGISCHE UHREN	113
7.1	Phänologische Jahreszeiten	113
7.2	Aufbau der phänologischen Uhren	114
7.3	Phänologische Uhren einzelner Beobachtungsstationen	115
7.4	Phänologische Uhren der Naturräume und Naturraumgruppen	116
8	ZUSAMMENHANG ZWISCHEN PHÄNOLOGISCHEN BEOBACHTUNGEN UND KLIMAMESSUNGEN	119
8.1	Auswahl geeigneter Stationen	119
8.2	Die phänologische Beobachtungsstation „Buchen“ – Ein Beispiel	121
8.3	Überblick über alle ausgewählten phänologischen Beobachtungsstationen	125
9	SCHLUSSBETRACHTUNG	129
10	LITERATUR	136
11	ANHANG	140
12	ANLAGEN	149

Zusammenfassung

Ziel des vorliegenden Berichtes ist die Darstellung und Auswertung phänologischer Langzeit-Beobachtungen des Deutschen Wetterdienstes in Baden-Württemberg im Zeitraum 1951 bis 2011. Im Zentrum der Untersuchungen stand die detaillierte Analyse der phänologischen Phasen der Feldfrüchte (Kulturpflanzen). Den Schwerpunkt bildete der Vergleich der Zeiträume 1961-1990 (Klimanormalperiode der WMO) und 1991-2011.

Viele Entwicklungsphasen landwirtschaftlicher Kulturpflanzen treten heute früher im Jahr auf als in den Jahrzehnten zuvor. Diese Verschiebungen sind in allen Teilen Baden-Württembergs zu beobachten, wobei Regionen mit stärkerer Erwärmung in den letzten Jahrzehnten auch die größten Veränderungen in der Pflanzenphänologie zeigten. Sie wurden mit Hilfe von phänologischen Uhren, phänologischen Kalendern und phänologischen Karten auf lokaler, regionaler und landesweiter Ebene dargestellt. Lokal wurden die einzelnen Beobachtungsstationen, regional ‚naturräumliche Haupteinheiten‘ und ‚Naturraumgruppen‘ betrachtet und verglichen. Besonders gute Einblicke in die Unterschiede und Gemeinsamkeiten bieten die erstellten phänologischen Karten von insgesamt 20 phänologischen Phasen von sechs Kulturpflanzenarten.

Bei den unechten phänologischen Phasen, die nicht nur von Witterung und Klima, sondern auch von Bewirtschaftungsentscheidungen der Landwirte abhängen (z.B. Beginn der Bestellung), oder bei echten phänologischen Phasen, die nachfolgend stark von unechten phänologischen Phasen abhängen (z.B. Beginn des Auflaufens), sind die beobachteten Veränderungen in der Regel geringer als bei den echten phänologischen Phasen der Kulturpflanzen (z.B. Beginn der Gelbreife) oder bei den phänologischen Phasen der Wildpflanzen.

Die Getreidearten Winterweizen, Winterroggen, Wintergerste und Hafer (Sommerung) erreichten im Zeitraum 1991-2011 etwa 14 Tage früher die Gelbreife als noch im Zeitraum 1960-1991. Sie wurden jedoch nur wenige Tage früher geerntet, so dass für die gesamte Länge der Vegetationszeit zwischen Auflaufen und Ernte nur eine Verkürzung um 2 bis 6 Tage zu beobachten ist. Für Winterraps und Zuckerrüben ist die Vegetationszeit sogar etwa eine Woche länger. Beim Winterraps kann sich die Kornbildungsphase (Blüte bis Ernte) um 14 Tage verlängern. Neben dem Einfluss des Klimawandels spielen neue Sorten eine wichtige Rolle für die Verschiebungen bei der Phänologie (vor allem beim Mais). Wie groß dieser Einfluss ist, lässt sich aber aus den vorliegenden Daten nicht ableiten.

Die beobachteten Veränderungen sind zum größten Teil auf die Erwärmung durch den anthropogen verstärkten Treibhauseffekt zurückzuführen. Um die konkreten Ursachen für das Einsetzen bestimmter phänologischer Phasen besser verstehen zu können, wurde eine vertiefte Analyse des Zusammenhangs zwischen dem Eintrittsdatum einer Phase und konkreten Klimamessungen an ausgewählten phänologischen Beobachtungsstationen durchgeführt. Im Ergebnis kommt der Lufttemperatur (vor allem kumulativen Temperatursummen) eine Schlüsselrolle beim Einsetzen vieler phänologischer Phasen zu, denn die Frühlings- und Sommerphasen werden im Wesentlichen von der Temperatur der vorangehenden Tage oder Monate beeinflusst.

1 Einleitung

Der Begriff Phänologie ist dem Griechischen (*phainesthai* ~ erscheinen) entlehnt und bedeutet übersetzt „Lehre von den Erscheinungen“. Heute wird der Begriff meist im Zusammenhang mit der periodischen Wiederkehr biologischer Phänomene (Wachstums- und Entwicklungserscheinungen von Pflanzen und Tieren) verwendet (Schnelle 1955, Seyfert 1960).

Um die Entwicklungsstadien von Tieren und Pflanzen untersuchen zu können, werden biologisch bedeutsame phänologische Phasen definiert. Bei Pflanzen sind dies beispielsweise ‚Beginn der Blattentfaltung‘, ‚volle Blattentfaltung‘, ‚Beginn der Blüte‘, ‚Vollblüte‘, ‚Ende der Blüte‘, ‚Fruchtreife‘, ‚Beginn der Blattfärbung‘ oder ‚Beginn des Blattfalls‘. Bei landwirtschaftlichen Kulturpflanzen kommen Phasen wie ‚Beginn der Bestellung‘, ‚Beginn des Auflaufens‘, ‚Beginn der Gelbreife‘ u.a. hinzu (DWD 1991, BBCH 2006, Bruns et al. 2003).

Über eine reine Beobachtung von Phänomenen hinausgehend, ergründet die Phänologie auch Gesetzmäßigkeiten des periodischen Wachstums. Sie forscht nach Zusammenhängen zwischen der Rhythmik biologischer Phänomene und Umwelteinflüssen, vor allem den Witterungs- und Klimaverhältnissen.

Die Eintrittsdaten phänologischer Phasen stehen oft in enger Beziehung zur Witterung und zum Klima. Da sich im Bereich von 0 bis 30°C die Reaktionsgeschwindigkeit von biochemischen Prozessen bei einer Temperaturzunahme von 10 K (Kelvin) verdoppelt, sind besonders höhere Temperaturen entscheidend für die Geschwindigkeit, mit der sich Pflanzen entwickeln können. Aufgrund der hohen Korrelation mit meteorologischen Parametern (vor allem der Temperatur) kann die Phänologie der Pflanzen als Wirkungsindikator des regionalen Klimas verwendet werden (Erasmí et al. 2003, Chmielewski 2007). Mit Hilfe der Phänologie kann man die natürliche Vegetationszeit einer Region definieren, den Ablauf der jährlichen Pflanzenentwicklung darstellen und die Auswirkungen des Klimawandels aufzeigen (Sherry et al. 2007). Phänologische Daten haben deshalb in den letzten Jahren Eingang in der Klima- und Klimafolgenforschung gefunden (EEA 2008, Hudson & Keatley 2010). Die Klimaüberwachung mit Hilfe der Phänologie ist eine wertvolle und aussagekräftige Methode. Die Vorteile des Verfahrens liegen vor allem in seiner einfachen und mit geringem Aufwand verbundenen Umsetzung (UAK Klima-Biomonitoring 2007).

Die Vegetation Mitteleuropas und auch die bei uns angebaute landwirtschaftlichen Kulturpflanzen sind in ihrer Rhythmik eng an den Wechsel der Jahreszeiten angepasst. Ihr Jahreszyklus mit Wachstum im Frühjahr und Sommer und einer Ruheperiode im Winter ist optimiert, bei möglichst langer Wachstumsperiode das Schädigungsrisiko durch Spätfrost gering zu halten. Diese Anpassung der Pflanzen an das Klima wird durch jahreszeitlichen Photo- und Thermoperiodismus gesteuert. Bei einer Klimaveränderung kann diese Anpassung gestört werden. Durch einen frühen Anstieg der mittleren Tagestemperatur kann eine verlängerte Vegetationsperiode mit verfrühtem Austrieb entstehen, die aber möglicherweise auch mit einer größeren Spätfrostgefahr verbunden ist.

Der Deutsche Wetterdienst (DWD) betreibt ein umfangreiches Programm zur Erfassung phänologischer Beobachtungen und unterhält ein phänologisches Netz von derzeit 1230 Stationen (Stand: Ende 2011). Das Beobachtungsprogramm enthält weit verbreitete Wildpflanzen, Forst- und Ziergehölze, wichtige landwirtschaftliche Kulturen sowie häufig angebaute Obstgehölze und Weinreben. Die an den Pflanzen zu beobach-

tenden Entwicklungsphasen sind über die ganze Vegetationsperiode verteilt. Bei landwirtschaftlichen Kulturpflanzen werden neben ausgesuchten Entwicklungsstadien auch Daten zu Bestellung und Ernte erhoben.

Der 4. Statusbericht des IPCC (4AR) hat deutlich gemacht, dass der Klimawandel bereits begonnen hat und sich im Laufe des 21. Jahrhunderts weiter fortsetzen wird (IPCC 2007). Aufgrund des Anstiegs der CO₂-Konzentration auf 391 ppm im Jahre 2011 (NOAA) und anderer Treibhausgase in der Atmosphäre sind eine Reihe klimatischer Veränderungen schon jetzt nachweisbar. Als mittel- bis langfristige Konsequenz ist damit zu rechnen, dass sich die Verbreitungsgebiete von Pflanzen- und Tierarten verschieben und funktionale Zusammenhänge in Ökosystemen verändern (siehe z.B. Bakkenes et al. 2006, Root et al. 2003, Tamis et al. 2004, Thuiller et al. 2005, Walther et al. 2002).

Um Prognosen über Auswirkungen zukünftiger Klimaveränderungen machen zu können, ist das Wissen über die Reaktionen der Organismen auf die Umweltbedingungen der Vergangenheit wichtig (Sparks & Carey 1995). Als Informationsquelle können langjährige, phänologische Beobachtungen dienen (Chmielewski & Henniges 2007, Menzel 2007).

Ziel dieses durch das LTZ Augustenberg geförderten Projektes ist die Darstellung und Auswertung phänologischer Langzeit-Beobachtungen des Deutschen Wetterdienstes in Baden-Württemberg im Zeitraum 1951 bis 2011. Den Schwerpunkt bilden die phänologischen Daten zu landwirtschaftlichen Kulturpflanzen und der Vergleich der Zeiträume 1961-1990 (Klimanormalperiode der WMO) und 1991-2011. Die Eintrittsdaten phänologischer Phasen und ihre Beziehung zu Witterung und Klima sollen aufgezeigt und analysiert werden.

Der vorliegende Endbericht fasst die Arbeiten zusammen. Er beinhaltet:

- Eine Übersicht über das Untersuchungsgebiet „Baden-Württemberg“ sowie über die für das Projekt vorhandenen phänologischen Daten des Deutschen Wetterdienstes aus dem Zeitraum von 1951 bis 2011.
- Eine Übersicht über die für das Projekt vorhandenen Klimadaten des DWD aus Baden-Württemberg
- Eine detaillierte Analyse der phänologischen Daten der Feldfrüchte (Kulturpflanzen)
- Phänologische Karten ausgewählter Phänophasen im Vergleich der Zeiträume 1961-1990 und 1991-2011
- Phänologische Uhren auf der Grundlage von Feldfrüchten für phänologische Stationen, naturräumliche Haupteinheiten und Naturraumgruppen
- Eine detaillierte Analyse des Zusammenhangs zwischen phänologischen Beobachtungen und gemessenen Klimadaten des DWD

Wesentlicher Bestandteil des Berichtes ist die beiliegende DVD, die eine Vielzahl von Graphiken (z.B. phänologische Uhren und phänologische Karten) für verschiedene Beobachtungsstationen, naturräumliche Haupteinheiten und Naturraumgruppen und phänologische Phasen sowie ergänzende Listen und Tabellen enthält.

2 Untersuchungsraum und Datenmaterial

2.1 DER UNTERSUCHUNGSRAUM

Untersuchungsgebiet der vorliegenden Studie ist das Bundesland Baden-Württemberg im Süd-Westen der Bundesrepublik Deutschland. Die aus der großen Reliefenergie und der geologischen Vielfalt resultierende hohe Diversität der baden-württembergischen Agrarlandschaften in Verbindung mit einer hohen Industrialisierungsrate, Bevölkerungs- und Verkehrsdichte des Landes erfordert eine aufwändige und regional differenzierte Umweltbeobachtung. Veränderungen (z.B. des Klimas) müssen deshalb in möglichst allen charakteristischen Ökosystemen und Landschaften erfasst werden (Gebhardt et al. 2003).

Relief

Der geologische Bau bildet die Basis für die starke orographische Gliederung des Landes (Abb. 1). Das differenzierte Relief (Höchste Erhebung: Feldberg im Schwarzwald 1.493 m ü.NN, Tiefster Punkt: Rheinpegel Mannheim 85 m ü.NN) und die Geologie haben ihrerseits einen großen Einfluss auf die klimatischen, hydrologischen und edaphischen Bedingungen. Sie sind die Grundlage der unterschiedlichen, landwirtschaftlichen Potentiale in den verschiedenen Regionen Baden-Württembergs.

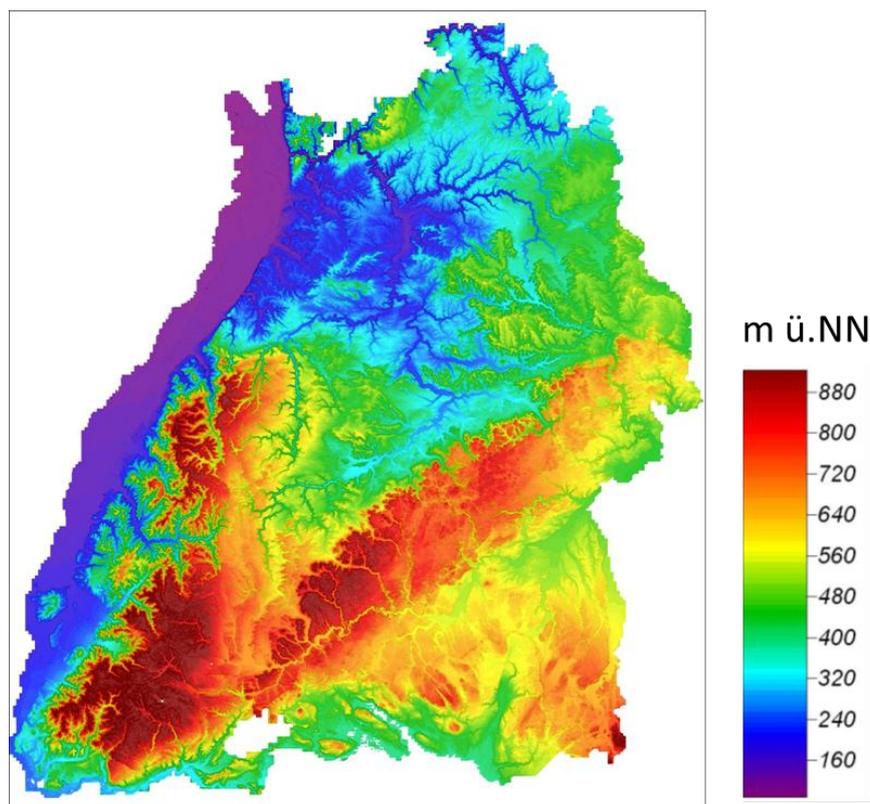


Abbildung 1. Relief von Baden-Württemberg. Datengrundlage: LUBW, RIPS (2007), vorliegende Daten im Projekt: ESRI-AsciiGridFile (Raster 100 x 100 m).

Naturräumliche Gliederung

Eine naturräumliche Gliederung ist die Einteilung der Landschaft in Raumeinheiten aufgrund von geologischen, ökologischen und klimatischen Merkmalen. Naturräumliche Einheiten sind individuelle Naturräume, die sich aufgrund von bestimmten Merkmalen von anderen benachbarten Räumen unterscheiden (Meynen & Schmithüsen 1962, Chen 1994, Gornik & Scharrer 1994).

Die hier verwendete Abgrenzung der Naturräume richtet sich nach dem „Handbuch der naturräumlichen Gliederung Deutschlands“ (Meynen & Schmithüsen 1962, Gornik & Scharrer 1994), die anhand von geologischen, geomorphologischen und klimageographischen Parametern aufgestellt wurde. Der Untersuchungsraum Baden-Württemberg ist in 13 Naturraumgruppen bzw. 66 ‚naturräumliche Haupteinheiten‘ gegliedert (Tabelle 1). Die aufgegliederten Räume sind in ihren ökologischen Bedingungen in gewissen Grenzen homogen.

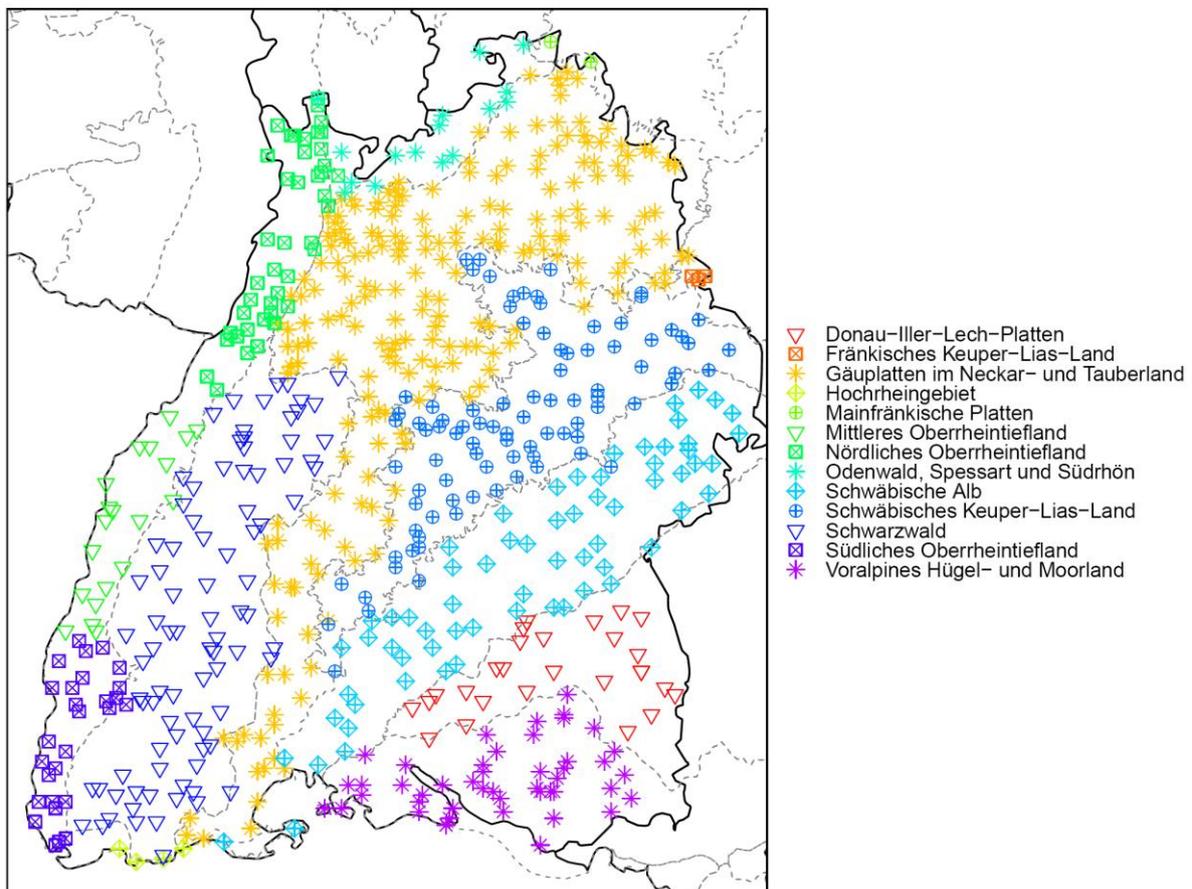


Abbildung 2. Lage der phänologischen Beobachtungsstationen des DWD in Baden-Württemberg und ihre Zuordnung zu den 13 Naturraumgruppen nach Meynen & Schmithüsen (1962).

Tabelle 1. Naturräumliche Haupteinheiten und Naturraumgruppen von Baden-Württemberg nach Meynen & Schmithüsen (1962).

<p>03 Südliches Alpenvorland (Voralpines Hügel- und Moorland) 030 Hegau 031 Bodenseebecken 032 Oberschwäbisches Hügelland 033 Westallgäuer Hügelland 034 Adelegg</p> <p>04 Donau-Iller-Lech-Platte 040 Donau-Ablach-Platten 041 Riß-Aitrach-Platten 042 Hügelland der unteren Riß 043 Holzstöcke 044 Unteres Illertal 045 Donauried</p> <p>20 Südliches Oberrheintiefland 200 Markgräfler Rheinebene 201 Markgräfler Hügelland 202 Freiburger Bucht 203 Kaiserstuhl</p> <p>21 Mittleres Oberrheintiefland 210 Offenburger Rheinebene 211 Lahr-Emmendinger Vorberge 212 Ortenau-Bühler Vorberge</p> <p>22 Nördliches Oberrheintiefland 222 Nördliche Oberrheinniederung 223 Hardtebenen 224 Neckar-Rhein-Ebene 225 Hessische Rheinebene 226 Bergstraße</p> <p>09 Schwäbische Alb 090 Randen (Klettgau- und Randenalb) 091 Hegualb 092 Baaralb und Oberes Donautal 093 Hohe Schwabenalb 094 Mittlere Kuppenalb 095 Mittlere Flächenalb 096 Albuch und Härtsfeld 097 Lonetal-Flächen Alb (Nieder Alb) 098 Riesalb</p>	<p>10 Schwäbisches Keuperland (Schwäbisches Keuper-Lias-Land) 100 Vorland der westlichen Schwäbischen Alb 101 Vorland der mittleren Schwäbischen Alb 102 Vorland der östlichen Schwäbischen Alb 103 Ries 104 Schönbuch und Glemswald 105 Stuttgarter Bucht 106 Filder 107 Schurwald und Welzheimer Wald 108 Schwäbisch-Fränkische Waldberge</p> <p>11 Fränkisches Keuperland 113 Mittelfränkisches Becken 114 Frankenhöhe</p> <p>12 Gäuplatten im Neckar- und Tauberland 120 Alb-Wutach-Gebiet 121 Baar 122 Obere Gäue 123 Neckarbecken 124 Strom- und Heuchelberg 125 Kraichgau 126 Kocher-Jagst-Ebenen 127 Hohenloher und Haller Ebene 128 Bauland 129 Tauberland</p> <p>13 Mainfränkische Platten 130 Ochsenfurter und Gollachgau 132 Marktheidenfelder Platte</p> <p>14 Odenwald, Spessart und Südrhön 141 Sandstein-Spessart 142 Sandstein-Odenwald 145 Kristalliner Odenwald</p> <p>15 Schwarzwald 150 Schwarzwald-Randplatten 151 Grindenschwarzwald und Enzhöhen 152 Nördlicher Talschwarzwald 153 Mittlerer Schwarzwald 154 Südöstlicher Schwarzwald 155 Hochschwarzwald</p> <p>16 Dinkelberg und Hochrheintal (Hochrheingebiet) 160 Hochrheintal 161 Dinkelberg</p>
--	--

Im Rahmen der vorliegenden Arbeit wird Baden-Württemberg als Ganzes und auch in seinen Teilräumen (naturräumliche Einheiten) betrachtet.

2.2 DIE PHÄNOLOGISCHEN DATEN DES DEUTSCHEN WETTERDIENSTES

Erfassung der Daten durch den DWD

Aktuell (Ende 2011) besteht das phänologische Grundbeobachtungsnetz des DWD bundesweit aus 1.230 Beobachtungsstationen, an denen ehrenamtliche Beobachter und Mitarbeiter des Deutschen Wetterdienstes die phänologischen Daten erfassen.

Den Beobachtern wird eine ausführliche „Anleitung für die phänologischen Beobachter des Deutschen Wetterdienstes“ (DWD 1991) zur Verfügung gestellt. In der Anleitung werden die Pflanzen sowohl von ihrer Biologie her als auch von den Hauptanforderungen an die Umwelt, den Boden und die Kultur beschrieben. Jede Pflanze ist durch ein Habitus-Foto und jede Phase durch eine Aufnahme des jeweiligen Entwicklungsstadiums dargestellt. Wann ein Eintrittstermin zu melden ist, steht z.B. für den Beginn des Auflaufens von Getreide wie folgt in der Anleitung des DWD: „Die Phase ist eingetreten, wenn die noch eingerollten Keimblätter die Erdoberfläche durchstoßen und eine Höhe von ca. 1 cm erreicht haben. Die Pflanzenreihen müssen schon erkennbar sein“ (DWD 1991, S. 101).

In einem festgelegten Beobachtungsgebiet, welches zumeist in der Nähe des Wohnortes des ehrenamtlichen Beobachters oder DWD-Mitarbeiters liegt und die Gemeindeflur dieses Ortes umfasst, werden regelmäßige Beobachtungsgänge durchgeführt (2- bis 3-mal pro Woche). Der Beobachter soll dabei den Wuchsort der einzelnen Pflanzen so wählen, dass er für das betreffende Gebiet charakteristisch ist und nicht mehr als 50 m von der vereinbarten mittleren Höhe des Beobachtungsgebietes abweicht, da das Klima und damit auch die Eintrittszeiten der Phasen stark von der Höhenlage geprägt sind. Des Weiteren sollten bestimmte Pflanzenarten nur an den für sie typischen Standorten beobachtet werden. Die phänologischen Beobachtungen sind über die ganze Vegetationszeit an derselben Pflanze (bzw. bei Kulturpflanzen am selben Feld) vorzunehmen, wobei diese(s) über viele Jahre beibehalten werden soll. Nicht für die Beobachtung geeignet sind die Kulturen, die unter Folie angebaut werden oder die eine Zusatzberegnung erhalten.

Die ehrenamtlichen Beobachter übermitteln die entsprechenden Angaben per Meldebogen einmal jährlich an den DWD. Diese Jahresmelder-Daten der phänologischen Stationen für den Zeitraum ab 1951 bis zum derzeitigen Vorjahr sind beim DWD archiviert (DWD 1991, Bruns 2007).

In der DWD-Datenbank finden sich für jede Station Angaben zu den geographischen Koordinaten (Länge, Breite), den Gauß-Krüger Koordinaten, der Höhe (m ü.NN) sowie Stationskennziffer, Beobachtungsort, Landkreis, Kennziffer und Bezeichnung des Naturraums (naturräumliche Haupteinheiten) und der Naturraumgruppe.

Das Beobachtungsprogramm des DWD enthält vier Gruppen von Pflanzen, an denen bestimmte phänologische Phasen (wie z.B. Blüte, Fruchtreife) beobachtet werden.

- Wildpflanzen, Forst- und Ziergehölze
- Landwirtschaftliche Kulturpflanzen
- Obstgehölze
- Weinreben

Diese Auswahl der Pflanzengruppen ergab sich aus ihrem Verbreitungsgrad und ihrer Bedeutung für die Agrarmeteorologie und Ökologie (Bruns 2007).

Das Messnetz des DWD in Baden-Württemberg

Für Baden-Württemberg liegen aus dem Zeitraum 1951 bis 2011 (einschließlich) mehr als 2 Millionen Einzelbeobachtungen von insgesamt 656 Beobachtungsstationen vor.

Abbildung 3 (unten) zeigt die Anzahl der in Baden-Württemberg zwischen 1951 und 2011 besetzten phänologischen Beobachtungsstationen. Während bis Anfang der 90er Jahre noch über 300 Stationen besetzt waren, sind es 2011 nur noch weniger als die Hälfte davon (136). Damit liegt Baden-Württemberg im gleichen rückläufigen Trend wie das gesamte phänologische Beobachtungsnetz des DWD.

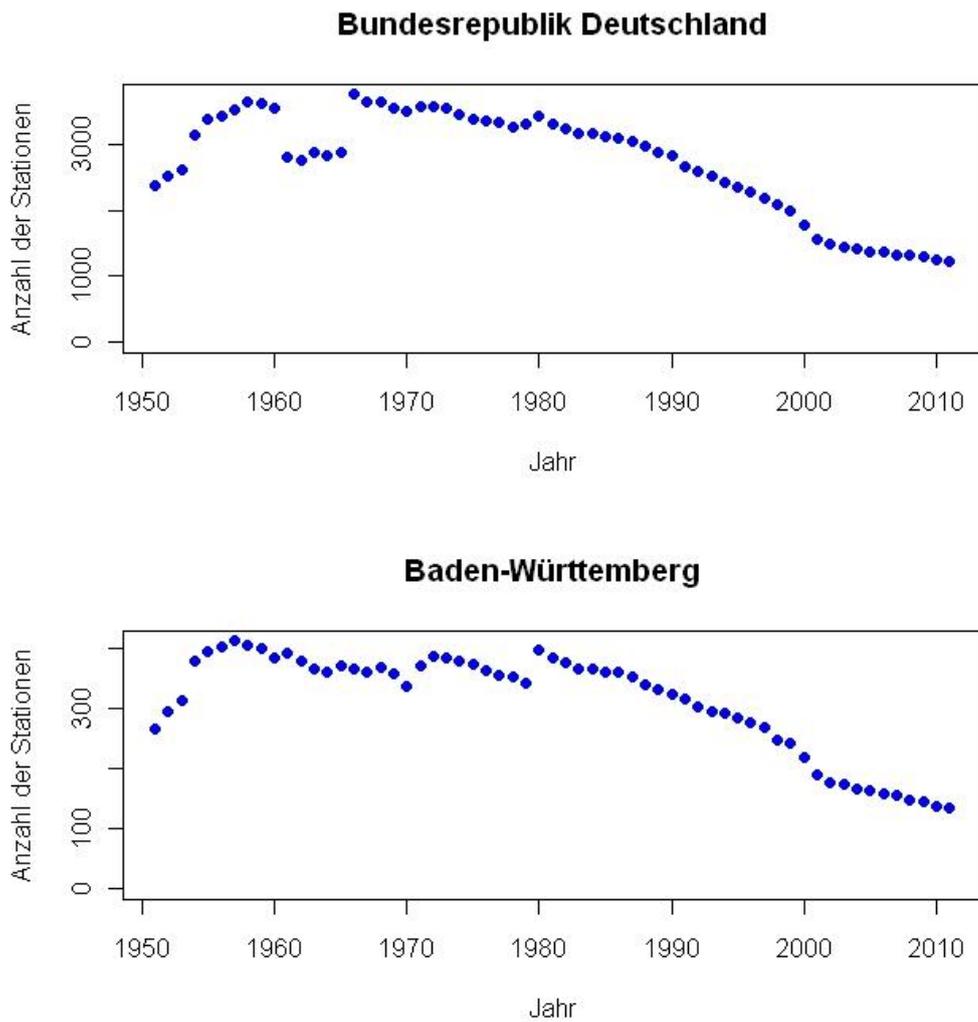


Abbildung 3. Anzahl der in der Bundesrepublik Deutschland (oben) und Baden-Württemberg (unten) zwischen 1951 und 2011 besetzten phänologischen Beobachtungsstationen (,Anzahl aktiver Beobachter').

Einen Überblick über Lage, Verteilung und Höhe (m ü.NN) der phänologischen Beobachtungsstationen des Deutschen Wetterdienstes in Baden-Württemberg gibt Abbildung 4.

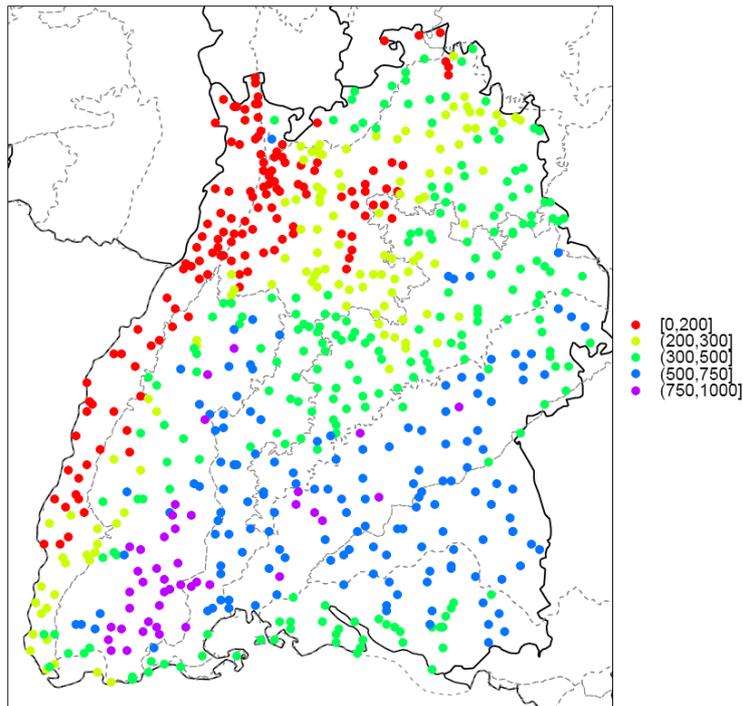


Abbildung 4. Lage, Verteilung und Höhe (m ü.NN) der 656 phänologischen Beobachtungsstationen (Zeitraum: 1951-2011) des Deutschen Wetterdienstes in Baden-Württemberg. Hintergrund: Naturraumgruppen, vereinfacht.

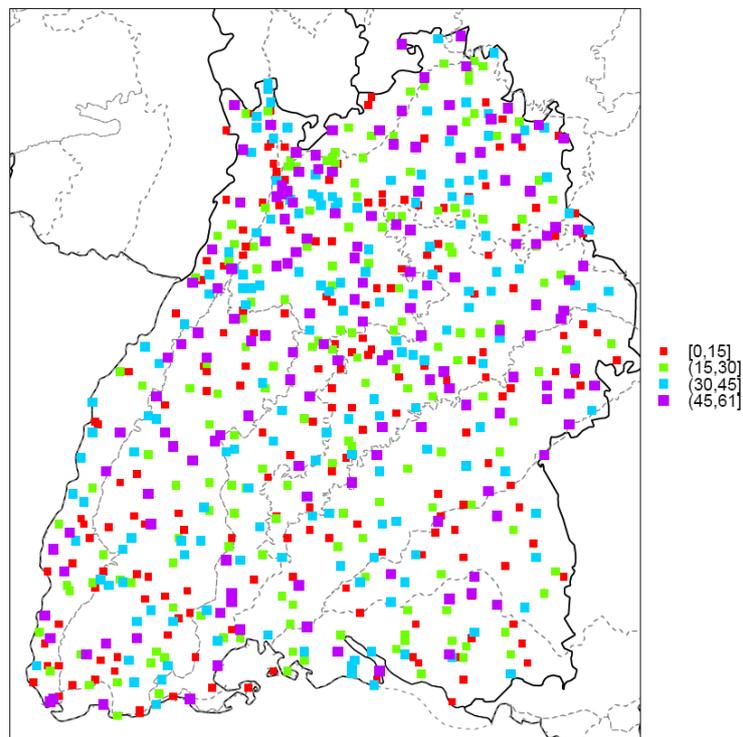


Abbildung 5. Laufzeit (in Jahren) der 656 phänologischen Beobachtungsstationen des Deutschen Wetterdienstes in Baden-Württemberg im Zeitraum 1951 bis 2011. Hintergrund: Naturraumgruppen.

Abbildung 5 vermittelt einen ersten Eindruck über die Beobachtungsdauer (Anzahl der Jahre) an den 656 Stationen des DWD in Baden-Württemberg. Abb. 4 und 5 zeigen eine insgesamt recht homogene Verteilung der Stationen im Untersuchungsgebiet.

Tabelle 2. Übersicht über die phänologischen Beobachtungsstationen des DWD in Baden-Württemberg mit einer Laufzeit von mindestens 50 Jahren.

Station	Ort	Jahre	Station	Ort	Jahre
81120001	Stuttgart-Hohenheim	61	81411180	Bönnigheim	57
81311250	Ellwangen	61	82381530	Sulzfeld	57
81321410	Murrhardt	61	83411390	Oppenau	57
81341620	Waldtann	61	81421350	Mergentheim, Bad	56
81361610	Stötten (DWD)	61	82130000	Mannheim-Gartenstadt	56
81382020	Weinsberg	61	82331390	Neckargemünd	56
81461530	Vellberg	61	83341610	Vogtsburg-Oberrotweil	56
81471520	Langenau/Württ.	61	81381480	Brackenheim-Hausen	55
82311180	Heidelsheim	61	82331380	Mühlhausen/Kraichgau	55
82321200	Buchen	61	82341230	Ettlingen	55
82321740	Schillingstadt	61	82381230	Epfenbach	55
82331190	Eberbach/Baden	61	83321190	Donaueschingen	55
82331550	Tairnbach	61	83361461	Insel Mainau	55
82341220	Eggenstein	61	83381640	Raich	55
82351330	Schriesheim	61	84331490	Gültlingen	55
82361500	Oberschefflenz	61	81311440	Neubronn	54
82371290	Langenalb	61	81371250	Gerstetten	54
82381310	Helmstadt	61	81411160	Bietigheim	54
83381810	Weil a. Rhein	61	83311220	Kappelrodeck	54
81341241	Gerabronn-Rückershagen	60	84331280	Calmbach	54
81411430	Markgröningen	60	84391390	Waldsee, Bad	54
81491590	Schwaikheim	60	81491560	Weinstadt-Schnait	53
82311470	Wiesental	60	82321220	Dornberg	53
82361320	Limbach/Baden	60	82331160	Dielheim	53
82391870	Werbach	60	82391210	Dertingen	53
83110000	Baden-Baden	60	83321180	Döggingen	53
83411410	Peterstal, Bad	60	81382040	Willsbach	52
81321370	Kleinaspach	59	81421450	Pfizingen	52
81421410	Niederrimbach	59	82381150	Berwangen	52
81431290	Kirchheim unter Teck	59	81331260	Herrenberg	51
82341420	Mörsch	59	81431550	Weilheim a. d. Teck	51
83381541	Lörrach-Tüllingen	59	81451360	Schwäbisch Gmünd	51
83471370	Eberfingen	59	82321190	Bieberehren-Buch	51
84461440	Tuttlingen	59	82331570	Waldwimmersbach	51
81391230	Dörzbach	58	82341150	Bretten	51
81401260	Mönsheim	58	83331230	Endingen	51
81471610	Nellingen	58	84321760	Schussenried, Bad	51
81481120	Oberderdingen	58	84431480	Krauchenwies	51
82321110	Adelsheim	58	81130000	Ulm	50
82321310	Gommersdorf	58	81321160	Backnang	50
83401130	Bernau i. Schwarzwald	58	81341180	Crailsheim	50
83421210	Gaggenau	58	81401300	Renningen	50
83481320	Schapbach	58	81471120	Altheim/Alb	50
84311110	Balingen	58	82311360	Odenheim	50
84321450	Ingerkingen	58	82331340	Meckesheim	50
84341230	Ehingen	58	82351120	Brühl/Baden	50
84401190	Genkingen	58	83321160	Blumberg/Baden	50
84401440	Urach, Bad	58	83331481	Elzach-Reichenbach	50
81311240	Ellenberg	57	83411370	Offenburg	50
81371300	Heidenheim a. d. Brenz	57	83461450	Villingen	50

Tabelle 2 gibt eine Übersicht über die phänologischen Beobachtungsstationen des DWD in Baden-Württemberg mit einer Laufzeit von mindestens 50 Jahren. Die Tabelle enthält insgesamt 100 Stationen, von denen lediglich 19 eine maximale Laufzeit von 61 Jahren haben.

Abbildung 6 gibt einen Überblick über die Verteilung der 656 phänologischen Stationen des DWD in Baden-Württemberg auf die ‚naturräumlichen Haupteinheiten‘. Die meisten Beobachtungen werden im Kraichgau durchgeführt, was mit der Bedeutung des Naturraumes für die Landwirtschaft begründet werden kann. Insgesamt werden nur 58 der 66 in Baden-Württemberg vorhandenen naturräumlichen Haupteinheiten durch phänologische Beobachtungsstationen abgedeckt.



Abbildung 6. Verteilung der 656 phänologischen Beobachtungsstationen des Deutschen Wetterdienstes in Baden-Württemberg auf 58 naturräumliche Haupteinheiten.

Die vom DWD erfassten phänologischen Phasen

Die 2.090.894 phänologischen Einzelbeobachtungen aus Baden-Württemberg im Zeitraum 1951 bis 2011 verteilen sich wie folgt auf vier Gruppen:

Anzahl der Einzelbeobachtungen

Wildpflanzen	759.533
Landwirtschaftliche Kulturen	826.180
Obstgehölze	460.288
Wein	44.893
Summe	2.090.894

Insgesamt liegen aus Baden-Württemberg phänologische Beobachtungen von mehr als 300 Phasen vor. Es gibt etwa 320 Phasenkennungen, aber nicht alle Phasenkennungen entsprechen tatsächlich phänologischen Phasen; einige dienen z.B. auch zur Kennzeichnung von Obst- und Weinsorten.

Gemäß der wirtschaftlichen Bedeutung, liegen über landwirtschaftliche Kulturen die meisten Daten vor. Auch Beobachtungen von Obstgehölzen und Wein spielen in Baden-Württemberg eine größere Rolle als in anderen Bundesländern.

Die folgende Tabelle (Tabelle 3) gibt einen Überblick über die in Baden-Württemberg im Zeitraum von 1951 bis 2011 beobachteten phänologischen Phasen der landwirtschaftlichen Kulturen.

Bei den phänologischen Phasen der Kulturpflanzen kann grundsätzlich zwischen echten und unechten phänologischen Phasen unterschieden werden. Unter „unechten phänologischen Phasen“ versteht man solche, die stärker von Managemententscheidungen des jeweiligen Landwirtes abhängig sind (z.B. Beginn der Bestellung, Beginn der Ernte). Allerdings sind auch diese Entscheidungen des Landwirtes oft von der jeweiligen Witterung (vor allem den Niederschlägen) abhängig. Niederschläge beeinflussen z.B. die Befahrbarkeit von Böden oder die Feuchte des Korns.

Tabelle 3. Phänologische Phasen der Landwirtschaftlichen Kulturpflanzen sortiert nach Phasenkenennung.

Nr	Kenn-Phase	Beobachtung
1	21 Hafer - Beginn der Bestellung	14649
2	22 Hafer - Beginn des Auflaufens	14106
3	23 Hafer - Beginn des Schossens	11139
4	24 Hafer - Beginn des Rispschiebens	12500
5	25 Sommergerste - Beginn der Bestellung	11230
6	26 Sommergerste - Beginn des Auflaufens	10798
7	27 Sommergerste - Beginn des Schossens	8244
8	28 Sommergerste - Beginn des Ährenschiebens	10045
9	29 Frühkartoffel, nicht vorgekeimt - Beginn der Bestellung	8844
10	30 Frühkartoffel, nicht vorgekeimt - Beginn des Auflaufens	8275
11	31 Frühkartoffel, nicht vorgekeimt - Bestand geschlossen	7005
12	32 Spätkartoffel - Beginn der Bestellung	11137
13	33 Spätkartoffel - Beginn des Auflaufens	10499
14	34 Spätkartoffel - Bestand geschlossen	8573
15	35 Wintergerste - Beginn des Schossens	8532
16	36 Wintergerste - Beginn des Ährenschiebens	9301
17	37 Winterroggen - Beginn des Schossens	8529
18	38 Winterroggen - Beginn des Ährenschiebens	10192
19	39 Winterroggen - Beginn der Vollblüte	5871
20	40 Winterweizen - Beginn des Schossens	11615
21	41 Winterweizen - Beginn des Ährenschiebens	13308
22	42 Zuckerrübe - Beginn der Bestellung	5873
23	43 Zuckerrübe - Beginn des Auflaufens	5647
24	44 Zuckerrübe - Bestand geschlossen	4635
25	45 Futterrübe - Beginn des Auflaufens	9893
26	46 Feldarbeit - Beginn	10828
27	47 Weidegang - Beginn	7252
28	48 Dauergrünland - 1. Heuschnitt	15030
29	75 Spätkartoffel - Beginn der Blüte	9142
30	76 Spätkartoffel - Beginn der Ernte	11337
31	77 Wintergerste - Beginn der Gelbreife	8219
32	78 Wintergerste - Beginn der Ernte von Hand oder mit einfachem Mähbinder	4166
33	79 Wintergerste - Beginn der Vollreife	5060
34	80 Wintergerste - Beginn der Bestellung	9639
35	81 Wintergerste - Beginn des Auflaufens	9337
36	82 Sommergerste - Beginn der Gelbreife	7238
37	83 Sommergerste - Beginn der Ernte von Hand oder mit einfachem Mähbinder	6745
38	84 Sommergerste - Beginn der Vollreife	6806
39	85 Winterroggen - Beginn der Gelbreife	7159
40	86 Winterroggen - Beginn der Ernte von Hand oder mit einfachem Mähbinder	5610
41	87 Winterroggen - Beginn der Vollreife	4718
42	88 Winterroggen - Beginn der Bestellung	9468
43	89 Winterroggen - Beginn des Auflaufens	9021
44	90 Winterweizen - Beginn der Gelbreife	10282
45	91 Winterweizen - Beginn der Ernte von Hand oder mit einfachem Mähbinder	6825
46	92 Winterweizen - Beginn der Vollreife	6913
47	93 Winterweizen - Beginn der Bestellung	13873
48	94 Winterweizen - Beginn des Auflaufens	12860
49	95 Hafer - Beginn der Gelbreife	10102
50	96 Hafer - Beginn der Ernte von Hand oder mit einfachem Mähbinder	6808
51	97 Hafer - Beginn der Vollreife	6815
52	98 Futterrübe - Beginn der Ernte	11724
53	99 Zuckerrübe - Beginn der Ernte	5788
54	136 Sommerweizen - Beginn der Bestellung	6199
55	137 Sommerweizen - Beginn des Aufgangs	5928
56	138 Sommerweizen - Beginn des Schossens	4530
57	139 Sommerweizen - Beginn des Ährenschiebens	5236
58	140 Mais - Beginn der Bestellung	8480
59	141 Mais - Beginn des Auflaufens	8315
60	142 Mais - Beginn des Rispschiebens	3726
61	143 Mais - Beginn der Vollblüte	1168
62	144 Winterraps - Beginn der Blüte	6706
63	145 Frühkartoffel, vorgekeimt - Beginn der Bestellung	3136
64	146 Frühkartoffel, vorgekeimt - Beginn des Auflaufens	2951
65	147 Frühkartoffel, vorgekeimt - Bestand geschlossen	2538
66	148 Frühkartoffel, vorgekeimt - Beginn der Blüte	2626
67	149 Frühkartoffel, nicht vorgekeimt - Beginn der Blüte	6536
68	150 Futterrübe - Beginn der Bestellung	10039
69	151 Futterrübe - Bestand geschlossen	7036
70	152 Grünpflück-Erbse - Beginn der Bestellung	4500

Tabelle 3. (Fortsetzung)

Nr	Kenn-Phase	Beobach- tungen
71	153 Grünkpfück-Erbse - Beginn des Auflaufens	4287
72	154 Grünkpfück-Erbse - Beginn der Blüte	4029
73	155 Grünkpfück-Bohne - Beginn der Bestellung	4879
74	156 Grünkpfück-Bohne - Beginn des Auflaufens	4646
75	157 Grünkpfück-Bohne - Beginn der Blüte	3163
76	158 Tomate - Beginn des Pflanzens	5766
77	159 Tomate - Beginn der Blüte	4874
78	160 Weißkohl - Beginn des Pflanzens	4470
79	161 Rotklee - 1. Heuschnitt	6393
80	162 Luzerne - 1. Heuschnitt	6348
81	179 Frühkartoffel, vorgekeimt - Beginn der Ernte	3262
82	180 Frühkartoffel, nicht vorgekeimt - Beginn der Ernte	8263
83	181 Winterraps - Beginn der Ernte	6187
84	182 Winterraps - Beginn der Bestellung	6094
85	183 Winterraps - Beginn des Auflaufens	6028
86	184 Rotklee - 2. Heuschnitt	5993
87	185 Luzerne - 2. Heuschnitt	5968
88	186 Dauergrünland - 2. Heuschnitt	11384
89	187 Sommerweizen - Beginn der Gelbreife	4048
90	188 Sommerweizen - Beginn der Ernte von Hand oder mit einfachem Mähbinder	3128
91	189 Sommerweizen - Beginn der Vollreife	3928
92	190 Sommerweizen - Beginn der Ernte mit Mähdrescher	4637
93	191 Wintergerste - Beginn der Ernte mit Mähdrescher	8980
94	192 Sommergerste - Beginn der Ernte mit Mähdrescher	7809
95	193 Winterroggen - Beginn der Ernte mit Mähdrescher	7460
96	194 Winterweizen - Beginn der Ernte mit Mähdrescher	11520
97	195 Hafer - Beginn der Ernte mit Mähdrescher	11081
98	196 Mais - Beginn der Ernte	7917
99	197 Grünkpfück-Erbse - Beginn der Ernte	4275
100	198 Grünkpfück-Bohne - Beginn der Ernte	4796
101	199 Tomate - Beginn der Ernte	5365
102	200 Weißkohl - Beginn der Ernte	4650
103	201 Weidegang - Ende	5917
104	229 Beta-Rübe - Sortenkennung (1 = Zuckerrübe, 2 = Futterrübe)	2256
105	230 Dauergrünland - Beginn des Ergrünens	3723
106	231 Dauergrünland - 1. Silageschnitt	1547
107	232 Dauergrünland - 1. Schnitt, Kennung Ernteverfahren (1 = Heu, 2 = Silage)	2387
108	233 Dauergrünland - 2. Silageschnitt	140
109	234 Dauergrünland - 2. Schnitt, Kennung Ernteverfahren (1 = Heu, 2 = Silage)	850
110	235 Hafer - Beginn der Milchreife	2642
111	236 Mais - FAO-Zahl	1806
112	237 Mais - Beginn des Längenwachstums	1873
113	238 Mais - Beginn der Blüte	1989
114	239 Mais - Beginn der Milchreife	1854
115	240 Mais - Beginn der Teigreife	1788
116	241 Mais - Beginn der Gelbreife	1454
117	242 Mais - Kennung Ernteverfahren (1 = Silo-Ernte, 2 = CornCobMix, 3 = Körner-Ernte)	2857
118	243 Sonnenblume - Bestellung	919
119	244 Sonnenblume - Beginn des Auflaufens	934
120	245 Sonnenblume - Beginn der Blattbildung	883
121	246 Sonnenblume - Beginn der Knospenbildung	906
122	247 Sonnenblume - Beginn der Blüte	1054
123	248 Sonnenblume - Ernte	987
124	249 Winterraps - Beginn des Längenwachstums	2278
125	250 Winterraps - Beginn der Knospenbildung	2352
126	251 Winterraps - Beginn der Vollreife	2256
127	252 Winterraps - Beginn der Rosettenbildung	2011
128	253 Winterroggen - Beginn der Blüte	5604
129	254 Winterweizen - Beginn der Milchreife	2712
130	293 Dauergrünland - 1. Schnitt (Ernteverfahren nicht gemeldet)	102
131	294 Dauergrünland - 2. Schnitt (Ernteverfahren nicht gemeldet)	92
132	295 Mais (Ernteverfahren nicht gemeldet) - Beginn der Bestellung	1141
133	296 Mais (Ernteverfahren nicht gemeldet) - Beginn des Auflaufens	1165
134	297 Mais (Ernteverfahren nicht gemeldet) - Beginn des Längenwachstums	984
135	298 Mais (Ernteverfahren nicht gemeldet) - Beginn des Rispschiebens	1052
136	299 Mais (Ernteverfahren nicht gemeldet) - Beginn der Blüte	1033
137	300 Mais (Ernteverfahren nicht gemeldet) - Beginn der Milchreife	945
138	301 Mais (Ernteverfahren nicht gemeldet) - Beginn der Teigreife	895
139	302 Mais (Ernteverfahren nicht gemeldet) - Beginn der Gelbreife	769
140	303 Mais (Ernteverfahren nicht gemeldet) - Beginn der Ernte	1539

2.3 DIE KLIMADATEN DES DEUTSCHEN WETTERDIENSTES

Neben den phänologischen Beobachtungen des DWD wurden durch die LUBW die Klimadaten von 197 Stationen des sogenannten KL-Messnetzes des DWD (Datenbank MIRAKEL) bereitgestellt. Die Daten, im Zeitraum von 1950 bis 2011, wurden als Tageswerte (Tagesmittelwerte der Temperatur, Tagessummen des Niederschlages, etc.) bereitgestellt.

Eine genaue Übersicht über die vorhandenen Daten gibt Anhang 1. Zur Verteilung der Stationen in Baden-Württemberg siehe auch Abbildung 64.

Im Anhang 2 befindet sich auch eine genaue Übersicht über die vom DWD bereitgestellten Klimaelemente (Satzbeschreibung).

2.4 DATENMANAGEMENT UND –ANALYSE

Im vorliegenden Projekt wurden 2.090.894 phänologische Einzelbeobachtungen, sowie die Klimadaten von etwa 200 Meßstationen aus dem Zeitraum von 1951 bis 2011 ausgewertet (maximal 61 Jahre * 365 Tage * 200 Stationen * Anzahl der Klimaelemente).

Um die Analyse der Daten zu effektivieren, wurden die Daten (soweit möglich) auf Plausibilität geprüft und in relationale Datenbanken eingelesen. Als ‚Relationale Datenbank‘ wurde die ‚Open source-Software‘ SQLite (www.sqlite.org) verwendet (Owens 2006). SQLite nutzt SQL (‚Structured Query Language‘), eine weit verbreitete Datenbanksprache zur Definition, Abfrage und Manipulation von Daten in relationalen Datenbanken.

Alle (geo-)statistischen Analysen sowie die Erstellung von Graphiken und Karten wurden mit der ‚Open source-Software‘ R (www.r-project.org) durchgeführt (Venables & Ripley 2002, R Development Core Team 2010). Dabei kann unter R mit Hilfe verschiedener libraries (DBI, R Special Interest Group on Databases 2009, RSQLite, James 2010) direkt auf die vorhandenen SQLite-Datenbanken zugegriffen werden (siehe z.B. Spector 2008).

Die geostatistische Analyse der Daten mit R basiert auf einer Vielzahl von R-Programmbibliotheken (libraries), die an dieser Stelle nicht detailliert dargestellt werden können. Eine Übersicht über die Analyse und Darstellung geostatistischer Daten mit R bieten Bivand et al. (2008).

Soweit zum Verständnis der Auswertungen, Graphiken und Karten notwendig, wird in den einzelnen Kapiteln näher auf methodische Aspekte der Datenanalyse eingegangen.

3 Phänologische Phasen der landwirtschaftlichen Kulturpflanzen

Im Rahmen dieses Projektes wurden die vom Deutschen Wetterdienst an landwirtschaftlichen Kulturpflanzenarten erfassten phänologischen Phasen eingehend betrachtet und analysiert.

Tabelle 4 gibt einen Überblick über statistische Kennzahlen der phänologischen Phasen der landwirtschaftlichen Kulturpflanzen in Baden-Württemberg im Vergleich der Zeiträume 1961 – 1990 (Klimanormalperiode, KNP) und 1991 – 2011. Für jedes Beobachtungsjahr wurden Mittelwerte über alle Beobachtungsstationen in Baden-Württemberg berechnet. Die statistischen Kennzahlen (Minimum, 1. Quartil, Median, Mittelwert, 3. Quartil, Maximum, Spannweite, Interquartilabstände) beziehen sich auf diese landesweiten, jährlichen Mittelwerte.

Tabelle 5 fasst wichtige Parameter einer linearen Regression zwischen Beobachtungsjahr und Eintrittstag der phänologischen Phasen der landwirtschaftlichen Kulturpflanzen in Baden-Württemberg zusammen. Verglichen werden jeweils die Zeiträume 1951-2011, 1961-2011, 1961-1990 und 1991 - 2011. Angegeben für jede Phase sind Steigung, Bestimmtheitsmaß (R^2), Irrtumswahrscheinlichkeit (p-Wert) und das Vorliegen einer signifikanten Veränderung (* bei $p < 0.05$).

Sowohl Tabelle 4 als auch Tabelle 5 machen deutlich, dass bei sehr vielen Phasen der landwirtschaftlichen Kulturpflanzen ein früheres Auftreten beobachtet werden kann.

Abbildung 7 zeigt einen phänologischen Kalender aller landwirtschaftlichen Kulturpflanzen in Baden-Württemberg. Dargestellt ist ein Vergleich der Zeiträume 1961-1990 (offene, schwarze Kreise) und 1991 bis 2011 (geschlossene, rote Kreise). Verglichen wird der Median über alle phänologischen Beobachtungsstationen (Spalte Median in Tabelle 4). Obwohl der Median über alle Stationen von Baden-Württemberg dargestellt ist (also über ein sehr großes Spektrum an verschiedenen Naturräumen und Höhenstufen) wird deutlich, dass bei fast allen Phasen, für die Beobachtungen aus beiden Zeiträumen (1961-1990 und 1991-2011) vorliegen, eine Verschiebung zu beobachten ist. Meist setzen die Phasen im Zeitraum 1991 bis 2011 mehr oder weniger früher ein.

Abbildung 8 stellt die Daten im Boxplot dar und vermittelt einen Eindruck über die mitunter große Schwankungsbreite. Diese ist im Wesentlichen durch die unterschiedliche Höhenlage der Beobachtungsstationen bedingt.

Für die Analysen in Tabelle 4 und 5 sowie Abbildung 7 und 8 wurden alle aus Baden-Württemberg vorliegenden Daten genutzt. Dies gilt auch für Stationen mit einer nur kurzen Laufzeit.

Tabelle 4. (Fortsetzung)

Nr	Phase	1961-1990								1991-2011								Diff									
		Min.	1st Qu.	Median	Mean	3rd Qu.	Max.	Range	IGR	Min.	1st Qu.	Median	Mean	3rd Qu.	Max.	Range	IGR	Min.	1st Qu.	Median	Mean	3rd Qu.	Max.	Range	IGR		
71	B3	Grünpflück-Erbse - Beginn des Auflaufens	105	117	122	121	126	130	25	8																	
72	B4	Grünpflück-Erbse - Beginn der Blüte	150	155	159	158	161	168	18	6																	
73	B5	Grünpflück-Bohne - Beginn der Bestellung	125	128	129	129	130	133	7	2																	
74	B6	Grünpflück-Bohne - Beginn des Auflaufens	137	141	142	142	143	148	11	2																	
75	B7	Grünpflück-Bohne - Beginn der Blüte	170	176	178	178	179	185	16	3																	
76	B8	Tomate - Beginn des Pflanzens	134	136	137	137	138	141	8	2																	
77	B9	Tomate - Beginn der Blüte	153	155	158	158	161	166	13	5																	
78	B0	Weißkohl - Beginn des Pflanzens	138	141	143	144	145	154	16	4																	
79	B1	Rotklee - 1. Heuschritt	145	155	156	156	158	173	28	3																	
80	B2	Luzerne - 1. Heuschritt	145	154	155	156	157	172	27	3																	
81	B9	Frühkartoffel, vorgekeimt - Beginn der Ernte	189	197	200	201	203	218	29	6																	
82	B0	Frühkartoffel, nicht vorgekeimt - Beginn der Ernte	208	213	215	216	218	232	24	4																	
83	B1	Winterraps - Beginn der Ernte	191	198	201	202	205	221	30	7	191	201	204	204	206	218	27	5	0	3	3	1	1	-3	-3	-2	
84	B2	Winterraps - Beginn der Bestellung	236	241	244	244	246	251	15	5	236	238	239	239	240	246	10	3	-1	-4	-4	-5	-6	-6	-5	-3	
85	B3	Winterraps - Beginn des Auflaufens	247	254	256	256	258	263	16	5	248	251	252	252	253	261	13	2	1	-3	-4	-4	-6	-2	-3	-3	
86	B4	Rotklee - 2. Heuschritt	202	209	212	212	214	220	18	5																	
87	B5	Luzerne - 2. Heuschritt	202	209	212	212	214	221	19	5																	
88	B6	Dauergrünland - 2. Heuschritt	202	214	217	217	221	227	25	7	203	203	205	206	207	209	6	4	1	-11	-12	-11	-11	-10	-19	-3	
89	B7	Sommeweizen - Beginn der Gelbreife	202	214	219	218	221	235	32	8																	
90	B8	Sommeweizen - Beginn der Ernte von Hand oder mit einfachem Mähbinder	213	222	226	226	230	238	25	8																	
91	B9	Sommeweizen - Beginn der Vollreife	212	223	227	227	231	238	25	8																	
92	B0	Sommeweizen - Beginn der Ernte mit Mähdescher	216	227	231	230	234	241	25	8																	
93	B1	Wintergerste - Beginn der Ernte mit Mähdescher	190	199	203	203	208	213	24	9	185	194	195	195	198	205	21	5	-5	-5	-8	-8	-10	-8	-3	-5	
94	B2	Sommengerste - Beginn der Ernte mit Mähdescher	205	217	220	220	223	230	25	6																	
95	B3	Winterroggen - Beginn der Ernte mit Mähdescher	206	217	221	221	225	231	25	7	198	208	211	211	213	222	24	5	-8	-10	-10	-10	-12	-9	-1	-2	
96	B4	Winterweizen - Beginn der Ernte mit Mähdescher	211	223	227	226	230	237	26	7	201	218	216	216	219	228	27	5	-10	-9	-11	-10	-11	-9	1	-2	
97	B5	Hafer - Beginn der Ernte mit Mähdescher	214	226	231	230	235	243	29	9	205	219	221	220	223	230	25	3	-9	-7	-10	-10	-12	-13	-4	-5	
98	B6	Mais - Beginn der Ernte	252	261	266	268	275	291	39	14	243	264	268	267	271	280	37	7	-9	3	2	0	-4	-11	-2	-7	
99	B7	Grünpflück-Erbse - Beginn der Ernte	179	189	191	191	194	202	23	6																	
100	B8	Grünpflück-Bohne - Beginn der Ernte	199	205	208	208	211	218	19	5																	
101	B9	Tomate - Beginn der Ernte	213	218	221	223	228	234	22	10																	
102	B0	Weißkohl - Beginn der Ernte	274	278	280	280	282	287	13	4																	
103	B1	Weidegang - Ende	295	302	305	305	308	311	16	6																	
104	B2	Beta-Rübe - Sortenkennung (1= Zuckerrübe, 2= Futterrübe)																									
105	B3	Dauergrünland - Beginn des Ergrünens									64	72	77	78	83	94	30	11									
106	B4	Dauergrünland - 1. Silageschnitt									125	133	136	137	140	152	27	7									
107	B5	Dauergrünland - 1. Schnitt, Kennung Ernteverfahren (1= Heu, 2= Silage)																									
108	B6	Dauergrünland - 2. Silageschnitt									192	196	199	198	201	201	9	5									
109	B7	Dauergrünland - 2. Schnitt, Kennung Ernteverfahren (1= Heu, 2= Silage)																									
110	B8	Hafer - Beginn der Milchreife									179	187	190	189	191	197	18	4									
111	B9	Mais - FAO-Zahl									221	235	237	236	240	243	21	5									
112	B0	Mais - Beginn des Längenwachstums									151	156	159	159	162	176	25	6									
113	B1	Mais - Beginn der Blüte	161	187	194	191	198	211	49	11	193	200	202	203	206	214	21	6	32	12	8	12	7	3	-29	-5	
114	B2	Mais - Beginn der Milchreife									215	227	229	230	233	237	23	6									
115	B3	Mais - Beginn der Teigreife									223	240	243	243	246	254	31	6									
116	B4	Mais - Beginn der Gelbreife									232	251	255	254	257	267	36	6									
117	B5	Mais - Kennung Ernteverfahren (1= Silo-Ernte, 2= CornCoMix, 3= Körner-Ernte)																									
118	B6	Sonnenblume - Bestellung									101	105	106	107	109	115	14	4									
119	B7	Sonnenblume - Beginn des Auflaufens									118	120	123	123	124	130	12	4									
120	B8	Sonnenblume - Beginn der Blattbildung									128	133	136	136	139	140	12	6									
121	B9	Sonnenblume - Beginn der Knospenbildung									161	167	170	169	173	180	19	5									
122	B0	Sonnenblume - Beginn der Blüte									182	191	192	191	194	198	16	4									
123	B1	Sonnenblume - Ernte									256	262	264	264	265	273	17	3									
124	B2	Winterraps - Beginn des Längenwachstums									83	93	97	97	101	113	30	9									
125	B3	Winterraps - Beginn der Knospenbildung									89	98	102	102	107	115	27	9									
126	B4	Winterraps - Beginn der Vollreife									177	190	192	192	195	207	30	6									
127	B5	Winterraps - Beginn der Rosettenbildung									264	266	268	268	269	280	16	3									
128	B6	Winterroggen - Beginn der Blüte	152	154	158	159	163	166	14	9	137	147	149	149	151	160	23	5	-15	-7	-9	-10	-12	-6	9	-5	
129	B7	Winterweizen - Beginn der Milchreife									169	181	183	183	185	195	26	3									
130	B8	Dauergrünland - 1. Schnitt (Ernteverfahren nicht gemeldet)									148	149	149	149	150	150	2	1									
131	B9	Dauergrünland - 2. Schnitt (Ernteverfahren nicht gemeldet)									194	195	197	197	198	200	6	2									
132	B0	Mais (Ernteverfahren nicht gemeldet) - Beginn der Bestellung									110	114	117	116	118	122	12	5									
133	B1	Mais (Ernteverfahren nicht gemeldet) - Beginn des Auflaufens									124	128	132	131	134	138	15	6									
134	B2	Mais (Ernteverfahren nicht gemeldet) - Beginn des Längenwachstums									148	153	156	156	160	167	19	7									
135	B3	Mais (Ernteverfahren nicht gemeldet) - Beginn des Rispenwachstums									185	187	193	192	195	201	16	8									
136	B4	Mais (Ernteverfahren nicht gemeldet) - Beginn der Blüte									193	196	202	201	204	211	18	8									
137	B5	Mais (Ernteverfahren nicht gemeldet) - Beginn der Milchreife									218	223	226	227	231	236	23	8									
138	B6	Mais (Ernteverfahren nicht gemeldet) - Beginn der Teigreife									222	237	241	240	243	250	29	6									
139	B7	Mais (Ernteverfahren nicht gemeldet) - Beginn der Gelbreife									229	251	256	255	259	268	39	8									
140	B8	Mais (Ernteverfahren nicht gemeldet) - Beginn der Ernte									240	270	273	272	276	289	49	6									

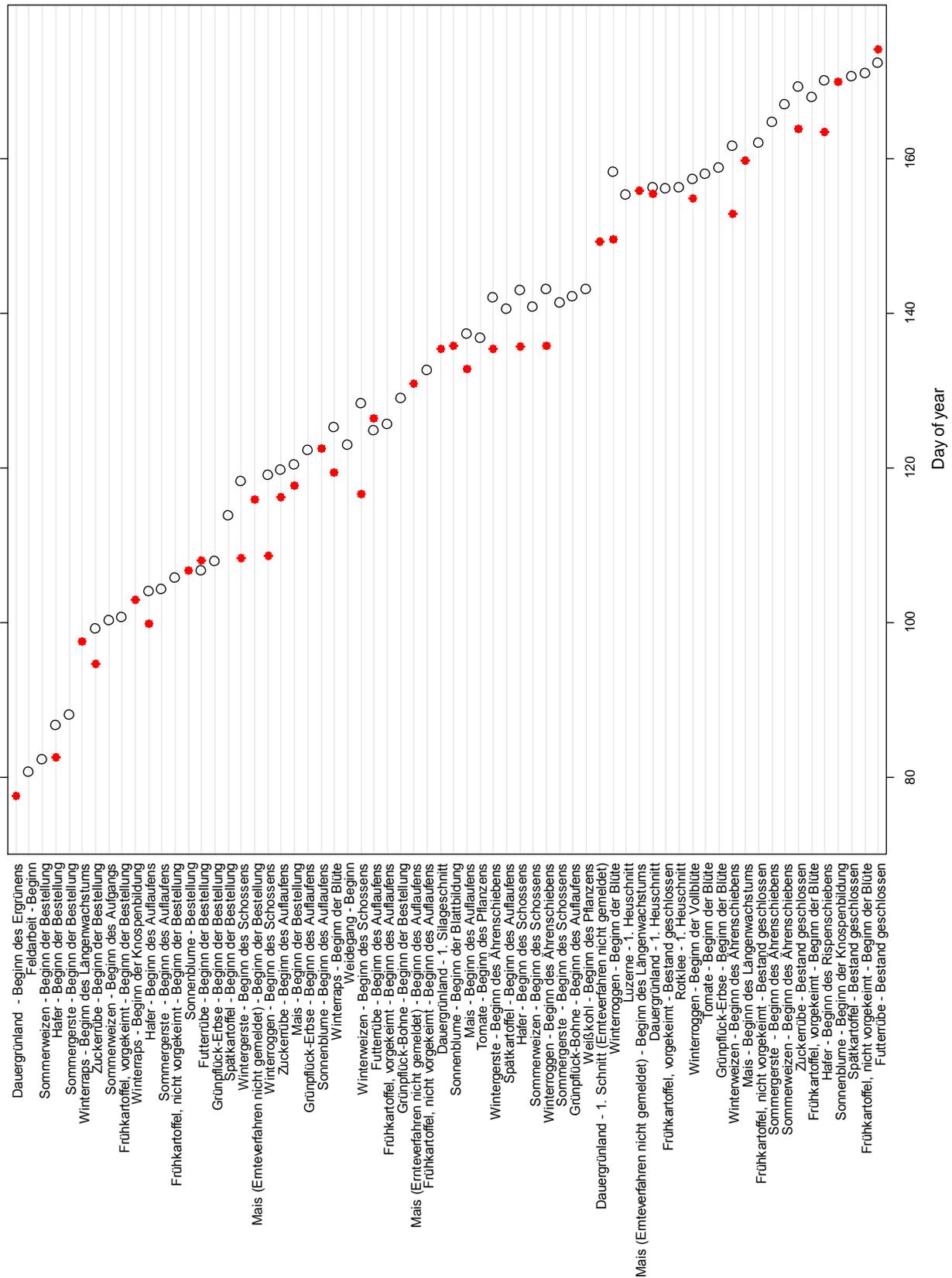


Abbildung 7. Phänologischer Kalender der Kulturpflanzen in Baden-Württemberg – Vergleich der Zeiträume 1961-1990 (offene, schwarze Kreise) und 1991 - 2011 (geschlossene, rote Kreise). Dargestellt ist der Mittelwert über alle phänologischen Beobachtungsstationen.

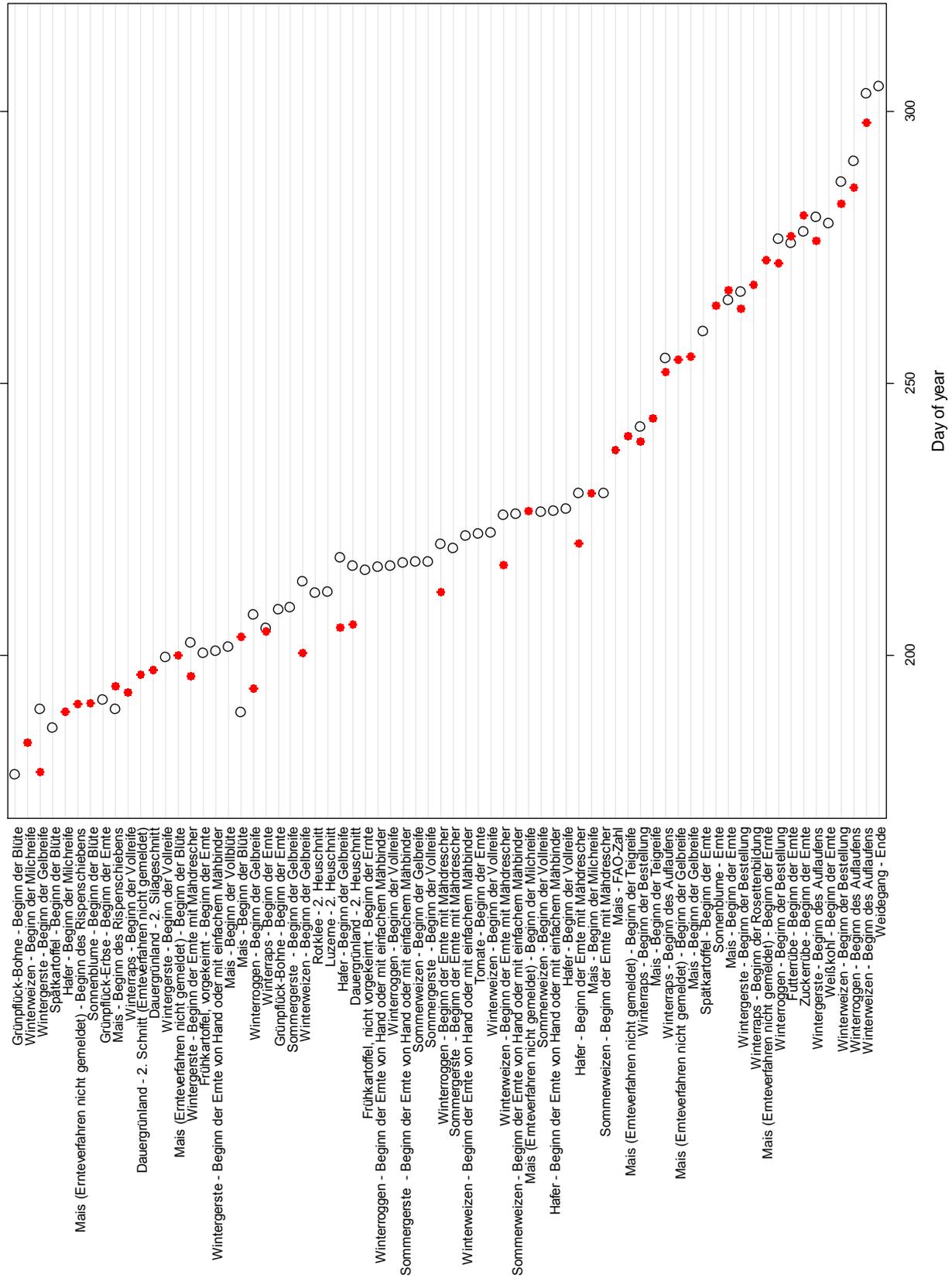


Abbildung 7. (Fortsetzung)

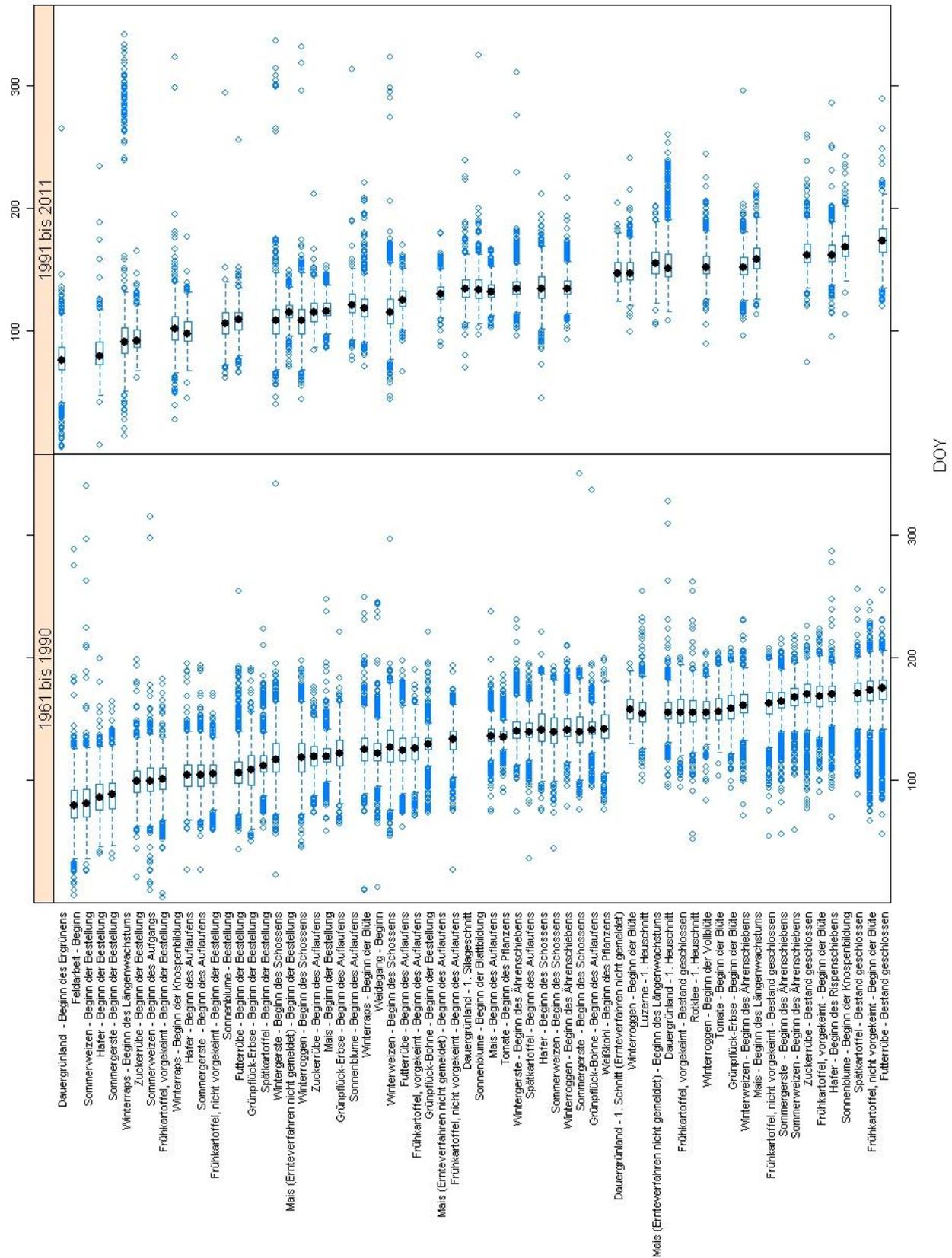


Abbildung 8. Phänologischer Kalender der landwirtschaftlichen Kulturpflanzen in Baden-Württemberg – Vergleich der Zeiträume 1961-1990 (linke Spalte) und 1991-2011 (rechte Spalte). Dargestellt sind Boxplots über alle phänologischen Beobachtungsstationen. Der zentrale schwarze Punkt im Boxplot stellt nicht den Mittelwert, sondern den Median dar.

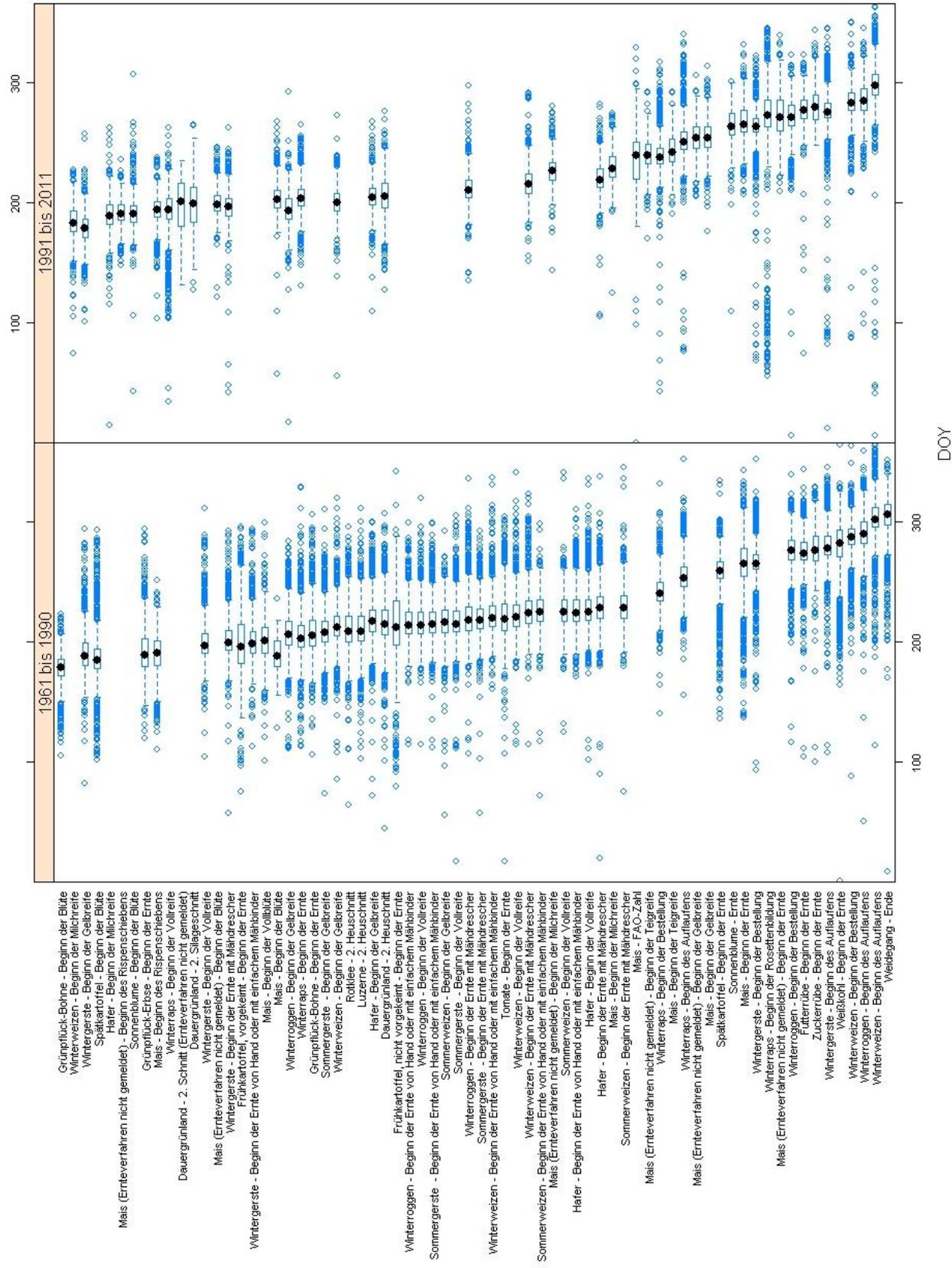


Abbildung 8. (Fortsetzung)

Tabelle 5. Parameter der linearen Regression zwischen Beobachtungsjahr und Eintrittstag der phänologischen Phasen der Kulturpflanzen in Baden-Württemberg. Vergleich der Zeiträume 1951-2011, 1961-2011, 1961-1990 und 1991-2011. Angegeben sind für jede Phase Steigung, Bestimmtheitsmaß (R^2), p-Wert und Signifikanz ($p < 0.05$). Sortiert nach der Phasenkenntung

Nr.	Phase	1951-2011				1961-2011				1961-1990				1991-2011			
		Steigung	R ²	p-Wert	Signifikant	Steigung	R ²	p-Wert	Signifikant	Steigung	R ²	p-Wert	Signifikant	Steigung	R ²	p-Wert	Signifikant
1	21 Hafer - Beginn der Bestellung	-0.04	0.01	0.48		-0.11	0.04	0.17		-0.10	0.01	0.61		0.26	0.06	0.29	
2	22 Hafer - Beginn des Auflaufens	-0.06	0.02	0.26		-0.14	0.07	0.05		-0.13	0.02	0.48		0.08	0.01	0.72	
3	23 Hafer - Beginn des Schossens	-0.19	0.32	0.00 *		-0.25	0.36	0.00 *		-0.10	0.03	0.39		-0.15	0.06	0.30	
4	24 Hafer - Beginn des Rispschiebens	-0.15	0.23	0.00 *		-0.25	0.39	0.00 *		-0.07	0.02	0.44		-0.32	0.15	0.08	
5	25 Sommergerste - Beginn der Bestellung	0.05	0.00	0.70		-0.10	0.01	0.59		-0.10	0.01	0.59					
6	26 Sommergerste - Beginn des Auflaufens	0.05	0.00	0.69		-0.11	0.01	0.54		-0.11	0.01	0.54					
7	27 Sommergerste - Beginn des Schossens	-0.02	0.00	0.79		-0.07	0.02	0.52		-0.07	0.02	0.52					
8	28 Sommergerste - Beginn des Ährenschiebens	0.07	0.03	0.29		-0.03	0.00	0.77		-0.03	0.00	0.77					
9	29 Frühkartoffel, nicht vorgekeimt - Beginn der Bestellung	0.03	0.01	0.63		-0.03	0.00	0.80		-0.03	0.00	0.80					
10	30 Frühkartoffel, nicht vorgekeimt - Beginn des Auflaufens	-0.04	0.01	0.51		-0.09	0.03	0.35		-0.09	0.03	0.35					
11	31 Frühkartoffel, nicht vorgekeimt - Bestand geschlossen	-0.13	0.12	0.03 *		-0.13	0.07	0.16		-0.13	0.07	0.16					
12	32 Spätkartoffel - Beginn der Bestellung	0.05	0.01	0.46		-0.02	0.00	0.86		-0.02	0.00	0.86					
13	33 Spätkartoffel - Beginn des Auflaufens	-0.04	0.01	0.46		-0.12	0.06	0.19		-0.12	0.06	0.19					
14	34 Spätkartoffel - Bestand geschlossen	-0.05	0.03	0.32		-0.07	0.03	0.39		-0.07	0.03	0.39					
15	35 Wintergerste - Beginn des Schossens	-0.31	0.46	0.00 *		-0.40	0.50	0.00 *		-0.30	0.14	0.04 *		-0.18	0.06	0.27	
16	36 Wintergerste - Beginn des Ährenschiebens	-0.21	0.36	0.00 *		-0.30	0.48	0.00 *		-0.21	0.12	0.06		-0.41	0.27	0.02 *	
17	37 Winterroggen - Beginn des Schossens	-0.27	0.41	0.00 *		-0.37	0.50	0.00 *		-0.15	0.05	0.25		-0.26	0.15	0.08	
18	38 Winterroggen - Beginn des Ährenschiebens	-0.18	0.31	0.00 *		-0.29	0.50	0.00 *		-0.14	0.08	0.14		-0.34	0.25	0.02 *	
19	39 Winterroggen - Beginn der Vollblüte	-0.19	0.24	0.00 *		-0.19	0.24	0.00 *		-0.24	0.14	0.08		-0.38	0.23	0.03 *	
20	40 Winterweizen - Beginn des Schossens	-0.31	0.45	0.00 *		-0.43	0.55	0.00 *		-0.23	0.10	0.09		-0.32	0.16	0.07	
21	41 Winterweizen - Beginn des Ährenschiebens	-0.20	0.28	0.00 *		-0.34	0.51	0.00 *		-0.13	0.05	0.23		-0.50	0.29	0.01 *	
22	42 Zuckerrübe - Beginn der Bestellung	-0.15	0.15	0.00 *		-0.17	0.14	0.01 *		-0.13	0.02	0.42		-0.07	0.01	0.73	
23	43 Zuckerrübe - Beginn des Auflaufens	-0.10	0.08	0.02 *		-0.12	0.10	0.02 *		-0.02	0.00	0.86		-0.12	0.03	0.47	
24	44 Zuckerrübe - Bestand geschlossen	-0.21	0.37	0.00 *		-0.23	0.41	0.00 *		-0.23	0.22	0.01 *		-0.14	0.03	0.42	
25	45 Futterrübe - Beginn des Auflaufens	0.05	0.04	0.13		0.02	0.00	0.66		0.13	0.05	0.24		-0.30	0.22	0.03 *	
26	46 Feldarbeit - Beginn	0.13	0.03	0.32		0.01	0.00	0.97		0.01	0.00	0.97					
27	47 Weidegang - Beginn	0.11	0.07	0.10		0.19	0.12	0.06		0.19	0.12	0.06					
28	48 Dauergrünland - 1 Heuschnitt	-0.06	0.03	0.17		-0.05	0.01	0.41		-0.15	0.05	0.25		0.24	0.08	0.21	
29	75 Spätkartoffel - Beginn der Blüte	-0.08	0.05	0.18		-0.19	0.15	0.03 *		-0.19	0.15	0.03 *					
30	76 Spätkartoffel - Beginn der Ernte	-0.14	0.18	0.01 *		-0.20	0.23	0.01 *		-0.20	0.23	0.01 *					
31	77 Wintergerste - Beginn der Gelbreife	-0.39	0.35	0.00 *		-0.59	0.78	0.00 *		-0.64	0.56	0.00 *		-0.57	0.40	0.00 *	
32	78 Wintergerste - Beginn der Ernte von Hand oder mit einfachem Mähbinder	0.02	0.00	0.80		-0.28	0.18	0.02 *		-0.28	0.18	0.02 *					
33	79 Wintergerste - Beginn der Vollreife	-0.27	0.16	0.02 *		-0.24	0.14	0.04 *		-0.24	0.14	0.04 *					
34	80 Wintergerste - Beginn der Bestellung	-0.13	0.41	0.00 *		-0.18	0.60	0.00 *		-0.28	0.60	0.00 *		-0.06	0.03	0.45	
35	81 Wintergerste - Beginn des Auflaufens	-0.17	0.43	0.00 *		-0.24	0.64	0.00 *		-0.32	0.52	0.00 *		-0.15	0.13	0.11	
36	82 Sommergerste - Beginn der Gelbreife	-0.15	0.04	0.24		-0.37	0.25	0.00 *		-0.37	0.25	0.00 *					
37	83 Sommergerste - Beginn der Ernte von Hand oder mit einfachem Mähbinder	0.15	0.07	0.09		-0.10	0.02	0.41		-0.10	0.02	0.41					
38	84 Sommergerste - Beginn der Vollreife	0.12	0.03	0.36		-0.03	0.00	0.80		-0.03	0.00	0.80					
39	85 Winterroggen - Beginn der Gelbreife	-0.53	0.71	0.00 *		-0.58	0.75	0.00 *		-0.50	0.38	0.00 *		-0.57	0.45	0.00 *	
40	86 Winterroggen - Beginn der Ernte von Hand oder mit einfachem Mähbinder	0.10	0.03	0.30		-0.20	0.08	0.12		-0.20	0.08	0.12					
41	87 Winterroggen - Beginn der Vollreife	-0.19	0.06	0.17		-0.14	0.04	0.30		-0.14	0.04	0.30					
42	88 Winterroggen - Beginn der Bestellung	-0.13	0.39	0.00 *		-0.20	0.63	0.00 *		-0.24	0.42	0.00 *		-0.10	0.11	0.14	
43	89 Winterroggen - Beginn des Auflaufens	-0.14	0.34	0.00 *		-0.22	0.62	0.00 *		-0.28	0.41	0.00 *		-0.14	0.21	0.04 *	
44	90 Winterweizen - Beginn der Gelbreife	-0.50	0.64	0.00 *		-0.55	0.69	0.00 *		-0.40	0.26	0.00 *		-0.63	0.44	0.00 *	
45	91 Winterweizen - Beginn der Ernte von Hand oder mit einfachem Mähbinder	0.18	0.08	0.07		-0.10	0.02	0.43		-0.10	0.02	0.43					
46	92 Winterweizen - Beginn der Vollreife	-0.79	0.22	0.01 *		-0.13	0.03	0.37		-0.13	0.03	0.37					
47	93 Winterweizen - Beginn der Bestellung	-0.05	0.07	0.04 *		-0.15	0.36	0.00 *		-0.06	0.02	0.45		-0.15	0.25	0.02 *	
48	94 Winterweizen - Beginn des Auflaufens	-0.10	0.12	0.01 *		-0.24	0.45	0.00 *		-0.15	0.08	0.12		-0.41	0.42	0.00 *	
49	95 Hafer - Beginn der Gelbreife	-0.46	0.60	0.00 *		-0.51	0.65	0.00 *		-0.40	0.24	0.01 *		-0.38	0.24	0.02 *	
50	96 Hafer - Beginn der Ernte von Hand oder mit einfachem Mähbinder	0.17	0.07	0.10		-0.08	0.01	0.55		-0.08	0.01	0.55					
51	97 Hafer - Beginn der Vollreife	0.00	0.00	1.00		-0.08	0.01	0.60		-0.08	0.01	0.60					
52	98 Futterrübe - Beginn der Ernte	0.01	0.00	0.71		0.06	0.06	0.07		-0.15	0.28	0.00 *		0.23	0.15	0.09	
53	99 Zuckerrübe - Beginn der Ernte	0.01	0.00	0.71		0.10	0.19	0.00 *		-0.06	0.06	0.18		0.24	0.14	0.10	
54	136 Sommerweizen - Beginn der Bestellung	0.10	0.01	0.48		0.02	0.00	0.93		0.02	0.00	0.93					
55	137 Sommerweizen - Beginn des Aufgangs	0.08	0.01	0.52		-0.01	0.00	0.96		-0.01	0.00	0.96					
56	138 Sommerweizen - Beginn des Schossens	-0.06	0.02	0.39		-0.04	0.00	0.72		-0.04	0.00	0.72					
57	139 Sommerweizen - Beginn des Ährenschiebens	0.08	0.05	0.18		0.02	0.00	0.83		0.02	0.00	0.83					
58	140 Mais - Beginn der Bestellung	-0.11	0.27	0.00 *		-0.15	0.31	0.00 *		-0.09	0.06	0.20		-0.40	0.40	0.00 *	
59	141 Mais - Beginn des Auflaufens	-0.14	0.30	0.00 *		-0.21	0.42	0.00 *		-0.09	0.05	0.21		-0.47	0.38	0.00 *	
60	142 Mais - Beginn des Rispschiebens	0.44	0.51	0.00 *		0.34	0.37	0.00 *		0.80	0.61	0.00 *		-0.27	0.11	0.14	
61	143 Mais - Beginn der Vollblüte	0.57	0.28	0.01 *		0.57	0.28	0.01 *		0.57	0.28	0.01 *					
62	144 Wintertraps - Beginn der Blüte	-0.11	0.06	0.05		-0.24	0.21	0.00 *		0.01	0.00	0.93		-0.71	0.41	0.00 *	
63	145 Frühkartoffel, vorgekeimt - Beginn der Bestellung	-0.01	0.00	0.91		-0.08	0.02	0.48		-0.08	0.02	0.48					
64	146 Frühkartoffel, vorgekeimt - Beginn des Auflaufens	-0.06	0.02	0.41		-0.15	0.08	0.14		-0.15	0.08	0.14					
65	147 Frühkartoffel, vorgekeimt - Bestand geschlossen	-0.22	0.23	0.00 *		-0.24	0.24	0.01 *		-0.24	0.24	0.01 *					
66	148 Frühkartoffel, vorgekeimt - Beginn der Blüte	-0.18	0.16	0.01 *		-0.37	0.34	0.00 *		-0.37	0.34	0.00 *					
67	149 Frühkartoffel, nicht vorgekeimt - Beginn der Blüte	-0.23	0.24	0.00 *		-0.29	0.21	0.01 *		-0.29	0.21	0.01 *					
68	150 Futterrübe - Beginn der Bestellung	0.06	0.04	0.14		0.03	0.01	0.58		0.06	0.01	0.64		-0.10	0.02	0.58	
69	151 Futterrübe - Bestand geschlossen	-0.19	0.06	0.06		-0.09	0.08	0.04 *		-0.14	0.10	0.09		-0.59	0.33	0.01 *	
70	152 Grünflück-Erbse - Beginn der Bestellung	0.36	0.38	0.00 *		0.32	0.25	0.00 *		0.32	0.25	0.00 *					

Tabelle 5. (Fortsetzung)

Nr.	Phase	1951-2011				1961-2011				1961-1990				1991-2011				
		Steigung	F2	p-Wert	Signifikant	Steigung	F2	p-Wert	Signifikant	Steigung	F2	p-Wert	Signifikant	Steigung	F2	p-Wert	Signifikant	
71	153	Grünpflück-Erbse - Beginn des Auflaufens	0.33	0.36	0.00	*	0.32	0.26	0.00	*	0.32	0.26	0.00	*				
72	154	Grünpflück-Erbse - Beginn der Blüte	0.19	0.20	0.00	*	0.18	0.14	0.04		0.18	0.14	0.04	*				
73	155	Grünpflück-Bohne - Beginn der Bestellung	0.05	0.09	0.05		0.03	0.02	0.47		0.03	0.02	0.47					
74	156	Grünpflück-Bohne - Beginn des Auflaufens	0.05	0.04	0.21		-0.01	0.00	0.90		-0.01	0.00	0.90					
75	157	Grünpflück-Bohne - Beginn der Blüte	0.19	0.40	0.00	*	0.22	0.35	0.00	*	0.22	0.35	0.00	*				
76	158	Tomate - Beginn des Pflanzens	-0.06	0.12	0.05	*	-0.08	0.10	0.15		-0.08	0.10	0.15					
77	159	Tomate - Beginn der Blüte	-0.08	0.06	0.18		-0.10	0.04	0.36		-0.10	0.04	0.36					
78	160	Weißkohl - Beginn des Pflanzens	0.02	0.00	0.76		-0.12	0.08	0.12		-0.12	0.08	0.12					
79	161	Rotklee - 1. Heuschritt	0.03	0.00	0.68		0.00	0.00	0.99		0.00	0.00	0.99					
80	162	Luzerne - 1. Heuschritt	0.04	0.01	0.57		0.03	0.00	0.80		0.03	0.00	0.80					
81	179	Frühkartoffel, vorgekeimt - Beginn der Ernte	-0.25	0.22	0.00	*	-0.39	0.31	0.00	*	-0.39	0.31	0.00	*				
82	180	Frühkartoffel, nicht vorgekeimt - Beginn der Ernte	-0.16	0.15	0.01	*	-0.28	0.25	0.00	*	-0.28	0.25	0.00	*				
83	181	Winterraps - Beginn der Ernte	0.26	0.28	0.00	*	0.09	0.04	0.15		0.42	0.28	0.00	*	-0.43	0.20	0.04	*
84	182	Winterraps - Beginn der Bestellung	-0.09	0.13	0.00	*	-0.19	0.53	0.00	*	-0.24	0.33	0.00	*	-0.17	0.20	0.04	*
85	183	Winterraps - Beginn des Auflaufens	-0.11	0.22	0.00	*	-0.17	0.40	0.00	*	-0.19	0.20	0.01	*	-0.20	0.19	0.05	*
86	184	Rotklee - 2. Heuschritt	0.03	0.01	0.66		-0.03	0.00	0.73		-0.03	0.00	0.73					
87	185	Luzerne - 2. Heuschritt	0.09	0.03	0.25		0.03	0.00	0.77		0.03	0.00	0.77					
88	186	Dauergrünland - 2. Heuschritt	-0.46	0.53	0.00	*	-0.47	0.48	0.00	*	-0.39	0.32	0.00	*	-0.38	0.03	0.83	
89	187	Sommerweizen - Beginn der Gelbreife	0.29	0.02	0.41		-0.41	0.26	0.00	*	-0.41	0.26	0.00	*				
90	188	Sommerweizen - Beginn der Ernte von Hand oder mit einfachem Mähbinder	0.07	0.01	0.49		-0.20	0.07	0.15		-0.20	0.07	0.15					
91	189	Sommerweizen - Beginn der Vollreife	-0.10	0.02	0.42		-0.10	0.02	0.47		-0.10	0.02	0.47					
92	190	Sommerweizen - Beginn der Ernte mit Mährescher	0.02	0.00	0.90		-0.11	0.02	0.43		-0.11	0.02	0.43					
93	191	Wintergerste - Beginn der Ernte mit Mährescher	-0.18	0.15	0.00	*	-0.29	0.40	0.00	*	-0.18	0.07	0.15		-0.47	0.30	0.01	*
94	192	Sommergerste - Beginn der Ernte mit Mährescher	0.26	0.12	0.05	*	0.00	0.00	0.97		0.00	0.00	0.97					
95	193	Winterroggen - Beginn der Ernte mit Mährescher	-0.19	0.16	0.00	*	-0.34	0.42	0.00	*	-0.07	0.01	0.59		-0.46	0.28	0.01	*
96	194	Winterweizen - Beginn der Ernte mit Mährescher	-0.42	0.18	0.00	*	-0.34	0.40	0.00	*	-0.10	0.02	0.49		-0.43	0.20	0.04	*
97	195	Hafer - Beginn der Ernte mit Mährescher	0.11	0.01	0.57		-0.29	0.31	0.00	*	-0.06	0.01	0.71		-0.18	0.03	0.48	*
98	196	Mais - Beginn der Ernte	-0.04	0.01	0.57		-0.07	0.01	0.39		-0.43	0.17	0.02	*	0.37	0.09	0.19	
99	197	Grünpflück-Erbse - Beginn der Ernte	0.28	0.28	0.00	*	0.23	0.17	0.02	*	0.23	0.17	0.02	*				
100	198	Grünpflück-Bohne - Beginn der Ernte	0.11	0.07	0.09		0.06	0.01	0.56		0.06	0.01	0.56					
101	199	Tomate - Beginn der Ernte	0.05	0.01	0.65		-0.25	0.07	0.23		-0.25	0.07	0.23					
102	200	Weißkohl - Beginn der Ernte	0.25	0.29	0.00	*	-0.06	0.03	0.36		-0.06	0.03	0.36					
103	201	Weidegang - Ende	0.20	0.11	0.03	*	0.20	0.20	0.01	*	0.20	0.20	0.01	*				
104	229	Beta-Rübe - Sortenkenntnis (1= Zuckerrübe, 2= Futterrübe)	-0.02	0.92	0.00	*	-0.02	0.92	0.00	*					-0.02	0.92	0.00	*
105	230	Dauergrünland - Beginn des Ergrünnens	0.04	0.00	0.90		0.04	0.00	0.90						0.04	0.00	0.90	
106	231	Dauergrünland - 1. Silageschnitt	-0.56	0.27	0.02	*	-0.56	0.27	0.02	*					-0.56	0.27	0.02	*
107	232	Dauergrünland - 1. Schnitt, Kennung Ernteverfahren (1= Heu, 2= Silage)	-0.03	0.73	0.00	*	-0.03	0.73	0.00	*					-0.03	0.73	0.00	*
108	233	Dauergrünland - 2. Silageschnitt	-0.38	0.01	0.89		-0.38	0.01	0.89						-0.38	0.01	0.89	
109	234	Dauergrünland - 2. Schnitt, Kennung Ernteverfahren (1= Heu, 2= Silage)	0.01	0.95	0.03	*	0.01	0.95	0.03	*					0.01	0.95	0.03	*
110	235	Hafer - Beginn der Milchreife	-0.44	0.30	0.01	*	-0.44	0.30	0.01	*					-0.44	0.30	0.01	*
111	236	Mais - FAO-Zahl	-1.17	0.54	0.01	*	-1.17	0.54	0.01	*					-1.17	0.54	0.01	*
112	237	Mais - Beginn des Längenwachstums	-0.35	0.15	0.08	*	-0.35	0.15	0.08	*					-0.35	0.15	0.08	*
113	238	Mais - Beginn der Blüte	0.38	0.47	0.00	*	0.25	0.18	0.03	*	-0.26	0.00	0.95		-0.31	0.16	0.08	*
114	239	Mais - Beginn der Milchreife	-0.18	0.05	0.33		-0.18	0.05	0.33						-0.18	0.05	0.33	
115	240	Mais - Beginn der Teigreife	-0.24	0.06	0.30		-0.24	0.06	0.30						-0.24	0.06	0.30	
116	241	Mais - Beginn der Gelbreife	-0.21	0.04	0.41		-0.21	0.04	0.41						-0.21	0.04	0.41	
117	242	Mais - Kennung Ernteverfahren (1= Silo-Ernte, 2= CornCobMix, 3= Körner-Ernte)	0.01	0.10	0.17		0.01	0.10	0.17						0.01	0.10	0.17	
118	243	Sonnenblume - Bestellung	0.08	0.02	0.54		0.08	0.02	0.54						0.08	0.02	0.54	
119	244	Sonnenblume - Beginn des Auflaufens	0.06	0.01	0.65		0.06	0.01	0.65						0.06	0.01	0.65	
120	245	Sonnenblume - Beginn der Blattbildung	-0.16	0.08	0.20		-0.16	0.08	0.20						-0.16	0.08	0.20	
121	246	Sonnenblume - Beginn der Knospenbildung	-0.29	0.16	0.08	*	-0.29	0.16	0.08	*					-0.29	0.16	0.08	*
122	247	Sonnenblume - Beginn der Blüte	-0.19	0.06	0.29		-0.19	0.06	0.29						-0.19	0.06	0.29	
123	248	Sonnenblume - Ernte	-0.20	0.09	0.19		-0.20	0.09	0.19						-0.20	0.09	0.19	
124	249	Winterraps - Beginn des Längenwachstums	-0.34	0.07	0.23		-0.34	0.07	0.23						-0.34	0.07	0.23	
125	250	Winterraps - Beginn der Knospenbildung	-0.50	0.21	0.03	*	-0.50	0.21	0.03	*					-0.50	0.21	0.03	*
126	251	Winterraps - Beginn der Vollreife	-0.68	0.37	0.00	*	-0.68	0.37	0.00	*					-0.68	0.37	0.00	*
127	252	Winterraps - Beginn der Rosettenbildung	-0.27	0.21	0.04	*	-0.27	0.21	0.04	*					-0.27	0.21	0.04	*
128	253	Winterroggen - Beginn der Blüte	-0.19	0.41	0.00	*	-0.28	0.54	0.00	*	-0.63	0.06	0.59		-0.41	0.27	0.02	*
129	254	Winterweizen - Beginn der Milchreife	-0.66	0.46	0.00	*	-0.66	0.46	0.00	*					-0.66	0.46	0.00	*
130	293	Dauergrünland - 1. Schnitt (Ernteverfahren nicht gemeldet)	-0.25	0.16	0.60		-0.25	0.16	0.60						-0.25	0.16	0.60	
131	294	Dauergrünland - 2. Schnitt (Ernteverfahren nicht gemeldet)	-0.76	0.16	0.60		-0.76	0.16	0.60						-0.76	0.16	0.60	
132	295	Mais (Ernteverfahren nicht gemeldet) - Beginn der Bestellung	-0.25	0.22	0.03	*	-0.25	0.22	0.03	*					-0.25	0.22	0.03	*
133	296	Mais (Ernteverfahren nicht gemeldet) - Beginn des Auflaufens	-0.26	0.16	0.07		-0.26	0.16	0.07						-0.26	0.16	0.07	
134	297	Mais (Ernteverfahren nicht gemeldet) - Beginn des Längenwachstums	-0.15	0.03	0.45		-0.15	0.03	0.45						-0.15	0.03	0.45	
135	298	Mais (Ernteverfahren nicht gemeldet) - Beginn des Rispenchiebens	0.05	0.00	0.79		0.05	0.00	0.79						0.05	0.00	0.79	
136	299	Mais (Ernteverfahren nicht gemeldet) - Beginn der Blüte	0.06	0.00	0.77		0.06	0.00	0.77						0.06	0.00	0.77	
137	300	Mais (Ernteverfahren nicht gemeldet) - Beginn der Milchreife	-0.07	0.01	0.75		-0.07	0.01	0.75						-0.07	0.01	0.75	
138	301	Mais (Ernteverfahren nicht gemeldet) - Beginn der Teigreife	-0.06	0.00	0.81		-0.06	0.00	0.81						-0.06	0.00	0.81	
139	302	Mais (Ernteverfahren nicht gemeldet) - Beginn der Gelbreife	-0.11	0.01	0.69		-0.11	0.01	0.69						-0.11	0.01	0.69	
140	303	Mais (Ernteverfahren nicht gemeldet) - Beginn der Ernte	-0.31	0.04	0.36		-0.31	0.04	0.36						-0.31	0.04	0.36	

4 Detaillierte Analyse und graphische Darstellung ausgewählter Phänophasen

Im Folgenden wird eine detaillierte Analyse ausgewählter Phänophasen der landwirtschaftlichen Kulturpflanzen vorgenommen.

In Absprache mit dem Auftraggeber wurden insgesamt 20 phänologische Phasen von sechs Kulturpflanzenarten (Hafer – 4 Phasen, Winterweizen – 4 Phasen, Wintergerste – 4 Phasen, Winterraps – 3 Phasen, Zuckerrüben – 2 Phasen und Mais – 3 Phasen) dargestellt. In Kapitel 5 werden phänologische Punkt- und Flächenkarten der hier vorgestellten Phasen für die Zeiträume 1961-1990 und 1991-2011 einander gegenübergestellt.

Für die Analysen in Kapitel 4 wurden alle aus Baden-Württemberg vorliegenden Daten genutzt. Dies gilt auch für Stationen mit einer nur kurzen Laufzeit. Bei der Darstellung der einzelnen Phasen wird auch auf die statistischen Auswertungen aus Kapitel 3 zurückgegriffen. Abweichungen zu den in Kapitel 5 genannten Mittelwerten (unterhalb der Graphiken) ergeben sich aus einer für die Erstellung der Karten notwendigen Reduktion der verwendeten Stationen.

Als erster Schritt der Analyse wurde für jede Phase der Verlauf der Eintrittstage der Phase (DOY, day of year) im Beobachtungszeitraum (i.d.R. 1951 – 2011) sowie die Abhängigkeit des Eintrittstages von der Höhe (m ü.NN) dargestellt. Hierzu wurde für jede Phase der landwirtschaftlichen Kulturpflanzen eine dreiteilige Graphik erstellt (siehe Abbildungen 9 bis 28).

Die erste Teilgraphik (Oben) zeigt den Verlauf der arithmetischen Mittelwerte der Eintrittsdaten einer Phase (DOY, day of year) über alle Stationen in Baden-Württemberg für die einzelnen Beobachtungsjahre (--o--o--). Die Darstellung wird ergänzt durch das laufende 5 bzw. 10 Jahresmittel (rot bzw. grün gestrichelt). Ebenfalls dargestellt sind die Mittelwerte für die Zeiträume 1961-1990 und 1991-2011 (schwarze Linien) sowie der lineare Trend für den gesamten Beobachtungszeitraum (i.d.R. 1951-2011, blau gestrichelt). Desweiteren zeigen die Graphiken den Mittelwert für den gesamten Beobachtungszeitraum (schwarz gestrichelt) sowie die einfache und doppelte Standardabweichung von diesem Mittelwert (grau gestrichelt).

Die zweite Teilgraphik (Mitte) zeigt die Beziehung zwischen der Höhe der Beobachtungsstationen (m ü.NN) und dem Eintrittsdatum einer bestimmten Phase über den gesamten Beobachtungszeitraum. Alle Beobachtungsstationen sind als Einzelpunkte dargestellt. Die blaue Linie stellt den linearen Trend dar.

Die dritte Teilgraphik (Unten) zeigt die gleiche Beziehung wie die zweite Teilgraphik. Allerdings wurde hier nicht jede Beobachtungsstation eingetragen, sondern ein Mittelwert für alle Stationen einer bestimmten Höhenlage berechnet.

Derartige Übersichtsgraphiken wurden für alle Phasen landwirtschaftlicher Kulturpflanzen in Baden-Württemberg erstellt. Die Graphikdateien hierzu befinden sich auf beiliegender DVD (Folder: >PhaenoPhasen\).

4.1 HAFER (*AVENA SATIVA*) – BEGINN DES AUFLAUENS (PHASE ,022')

Hafer wird wegen seiner geringen Widerstandsfähigkeit gegen Kälte fast ausschließlich als Sommergetreide kultiviert. Da die phänologische Beobachtung aller anderen Sommergetreide vom DWD seit 1990 eingestellt wurde, ist der Hafer derzeit die einzige beobachtete Sommergetreideart.

„Diese Phase (...Beginn des Auflaufens...) ist an allen vier Getreidearten zu beobachten.

Die Phase ist eingetreten, wenn die noch eingerollten Keimblätter die Erdoberfläche durchstoßen und die Höhe von ca. 1 cm erreicht haben. Die Pflanzenreihen müssen schon erkennbar sein.

Hafer läßt sich gleich nach dem Auflaufen gut identifizieren. Die schraubenartige Rechtsdrehung der Blätter unterscheidet ihn von allen anderen Getreidearten, die linksdrehend sind.“ (DWD 1991, entspricht ungefähr BBCH-Code 10, eigentlich Blattwachstum).

Die Bodenansprüche von Hafer sind gering. Er eignet sich allerdings wenig für trockene Standorte. Hafer findet Verwendung als Futtermittel (z.B. Pferde) und ist zunehmend wieder bedeutsam in der Nahrungsmittelindustrie.

Abb. 9 (oben) zeigt die Zeitreihe des Beginns des Auflaufens beim Hafer in Baden-Württemberg für den Zeitraum 1951–2011. Mittelwert für den Zeitraum 1951–2011 ist der 13. April (DOY 103). Vergleicht man die Mittelwerte der Zeiträume 1961-1990 und 1991-2011, so setzt die Phase im letzten Zeitraum etwa 4 Tage früher ein. Die starken jährlichen Schwankungen machen es aber sehr schwer, einen Trend zu erkennen.

Der lineare Trend ($y = -0.06246x + 226.06910$, $p = 0.0411$, $R^2 = 0.02166$) zeigt, dass die Phase im Beobachtungszeitraum (1951-2011) eine Verfrühung von 0,6 Tagen pro Dekade aufweist. Folgende Übersicht fasst die Berechnung des linearen Trends zusammen:

```
Call:
lm(formula = DOY ~ Jahr, data = res)

Residuals:
    Min       1Q   Median       3Q      Max
-14.0085  -5.9481   0.3469   6.1679  16.6993

Coefficients:
            Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept) 226.06910  108.26676   2.088  0.0411 *
Jahr        -0.06246   0.05465  -1.143  0.2577
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 7.515 on 59 degrees of freedom
Multiple R-squared:  0.02166, Adjusted R-squared:  0.005078
F-statistic: 1.306 on 1 and 59 DF,  p-value: 0.2577
```

Abb. 9 (Mitte und unten) bestätigt den Zusammenhang des Phaseneintritts mit der Höhe (m ü.NN) der Beobachtungsstationen. Die mittlere Teilgraphik zeigt die starke Streuung der Werte innerhalb einer bestimmten Höhenstufe.

Aufgrund der statistischen Kennwerte (s.o. und Tab. 4 und 5) werden für diese Phase in Kapitel 5 keine landesweiten Punkt- und Flächenkarten dargestellt.

Hafer – Beginn des Auflaufens in Baden-Württemberg

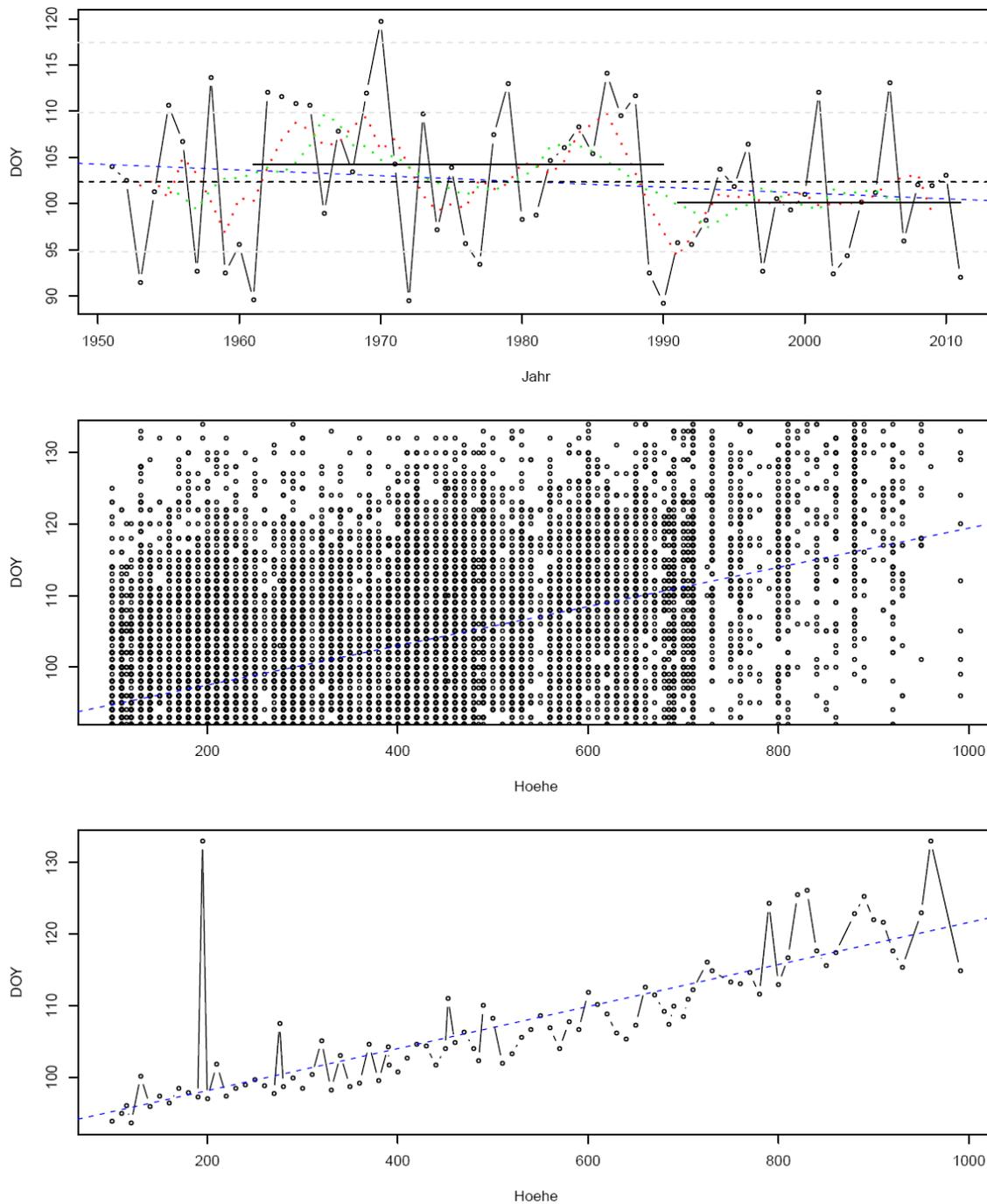


Abbildung 9. Hafer (*Avena sativa*) – Beginn des Auflaufens (DOY, day of year) in Baden-Württemberg. Oben: Verlauf der arithmetischen Mittelwerte für die einzelnen Beobachtungsjahre über alle Stationen in Baden-Württemberg (–o–o–). Laufendes 5 Jahresmittel (rot gestrichelt), laufendes 10 Jahresmittel (grün gestrichelt). Linearer Trend für den Zeitraum 1951-2011 (blau gestrichelt). Mittelwert über alle Jahre (schwarz gestrichelt) und Mittelwerte für die Zeiträume 1961-1990 und 1991-2011 (schwarze Linien). Mittelwert über alle Jahre ± 1 (bzw. 2) * die Standardabweichung (grau gestrichelt). Mitte: Beziehung zwischen Höhe (m ü.NN) der Stationen und dem Eintritt der Phase. Alle Stationen als Punkt dargestellt. Unten: Beziehung zwischen Höhe (m ü.NN) der Stationen und dem Eintritt der Phase. Dargestellt sind die Mittelwerte über alle Stationen einer bestimmten Höhe.

4.2 HAFER (*AVEANA SATIVA*) – BEGINN DES RISPENSCHIEBENS (PHASE ,024')

„Bei normalen Bestellterminen und Entwicklungsbedingungen beginnt im letzten Drittel des Vorfrühlings das Ährenschieben bei Winterroggen und Wintergerste. Im **Frühsommer** folgt die Phase bei Winterweizen und **Hafer**.

Die Phase ist erreicht, wenn sich an etwa 50% der Halme die Spitzen der Ähren bzw. Rispen seitlich aus den Blattscheiden herausdrängen.

In der Zeit zwischen Schossen und Blüte haben die Getreidepflanzen ihren höchsten Wasserbedarf. Deshalb gehen die aktuellen Daten des Ähren- bzw. Rispenschiebens in die agrarmeteorologischen Modelle ein, die der Berechnungsberatung dienen“ (DWD 1991, entspricht BBCH-Code 51).

Abb. 10 (oben) zeigt die Zeitreihe des Beginns des Rispenschiebens beim Hafer in Baden-Württemberg für den Zeitraum 1951–2011. Die Zeitreihe zeigt starke Schwankungen um den Mittelwert. Dieser ist für den Zeitraum 1951–2011 der 16. Juni (DOY 167). Die Einzelwerte können jedoch fast 2 Wochen vom Mittelwert abweichen.

Betrachtet man die Verteilung der Jahre mit relativ frühem und relativ spätem Eintrittsdatum, so treten zwar über den gesamten Zeitraum immer wieder Zeitabschnitte mit frühem und spätem Datum auf, doch offenbar häufen sich die Jahre mit spätem Eintrittsdatum mehr am Beginn des Beobachtungszeitraumes, die Jahre mit sehr frühem Datum dagegen mehren sich am Ende der Reihe. Seit 1988 lag in den meisten Jahren das Eintrittsdatum vor dem Mittelwert. Vergleicht man die Mittelwerte der Zeiträume 1961-1990 und 1991-2011, so setzt die Phase im letzten Zeitraum etwa 7 Tage früher ein.

Der lineare Trend ($y = -0.14859x + 461.64018$, $p = 0.000107$, $R^2 = 0.2263$) zeigt, dass die Phase im Beobachtungszeitraum (1951-2011) eine Verfrühung von 1,5 Tagen pro Dekade aufweist. Folgende Übersicht fasst die Berechnung des linearen Trends zusammen:

```
Call:
lm(formula = DOY ~ Jahr, data = res)

Residuals:
    Min       1Q   Median       3Q      Max
-10.9426  -3.2678   0.3973   3.4249  10.1519

Coefficients:
            Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept) 461.64018   70.86256   6.515 1.78e-08 ***
Jahr        -0.14859    0.03577  -4.154 0.000107 ***
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 4.919 on 59 degrees of freedom
Multiple R-squared:  0.2263,    Adjusted R-squared:  0.2132
F-statistic: 17.26 on 1 and 59 DF,  p-value: 0.0001068
```

Abb. 10 (Mitte und unten) zeigt einen deutlichen Zusammenhang des Phaseneintritts mit der Höhe (m ü.NN) der Beobachtungsstationen. Die mittlere Teilgraphik zeigt die starke Streuung der Werte innerhalb einer bestimmten Höhenstufe. Die Abweichungen vom Trend in der unteren Teilgrafik ergeben sich vor allem aus der Ungleichverteilung der Stationen. Vor allem hochgelegene Stationen sind unterrepräsentiert.

Hafer – Beginn des Rispschiebens in Baden-Württemberg

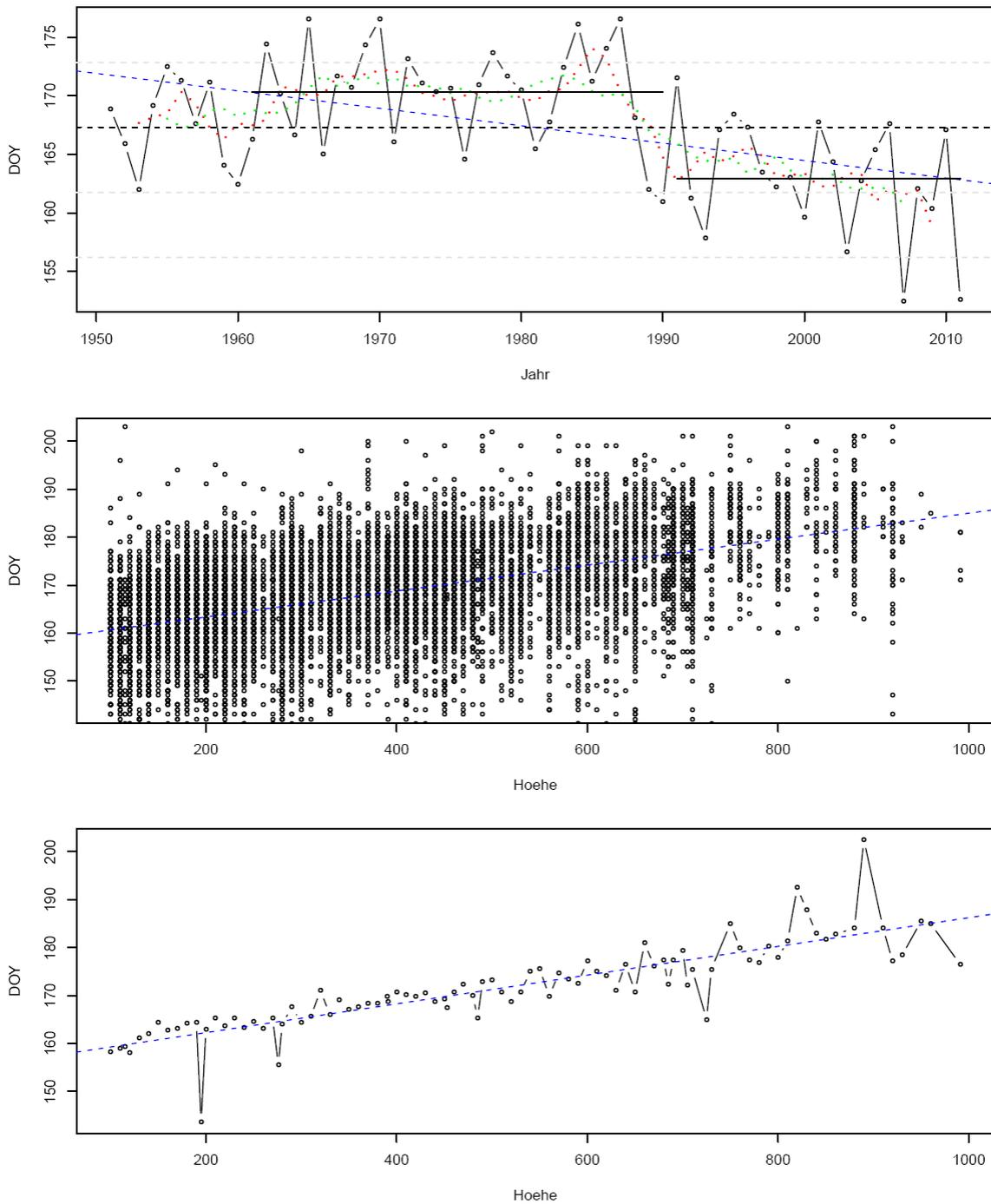


Abbildung 10. Hafer (*Avena sativa*) – Beginn des Rispschiebens (DOY, day of year) in Baden-Württemberg. Oben: Verlauf der arithmetischen Mittelwerte für die einzelnen Beobachtungsjahre über alle Stationen in Baden-Württemberg (--o--o--). Laufendes 5 Jahresmittel (rot gestrichelt), laufendes 10 Jahresmittel (grün gestrichelt). Linearer Trend für den Zeitraum 1951-2011 (blau gestrichelt). Mittelwert über alle Jahre (schwarz gestrichelt) und Mittelwerte für die Zeiträume 1961-1990 und 1991-2011 (schwarze Linien). Mittelwert über alle Jahre ± 1 (bzw. 2) * die Standardabweichung (grau gestrichelt). Mitte: Beziehung zwischen Höhe (m ü.NN) der Stationen und dem Eintritt der Phase. Alle Stationen als Punkt dargestellt. Unten: Beziehung zwischen Höhe (m ü.NN) der Stationen und dem Eintritt der Phase. Dargestellt sind die Mittelwerte über alle Stationen einer bestimmten Höhe.

4.3 HAFER (*AVENA SATIVA*) – BEGINN DER GELBREIFE (PHASE ,095')

„Diese Phase soll wieder bei allen vier Getreidearten beobachtet werden. Während die Gelbreife bei Wintergerste und Winterroggen schon im Hochsommer beginnt, folgt sie beim Winterweizen und Hafer im frühen Spätsommer.

Die Gelbreife beginnt, wenn die ersten Körner in mehreren Ähren bzw. Rispen ihre Verfärbung von grün auf gelb beendet haben und sich leicht aus der Ähre bzw. der Rispe lösen lassen. Das einzelne Korn kann noch über den Daumennagel gebrochen werden, der Korninhalt ist aber schon plastisch bis fest.

Der exakte Termin dieser Phase lässt sich nur schwer feststellen, da die Farbe des Kornes und der Spelzen je nach Getreideart mehr oder weniger gelb gefärbt ist. Mit diesem Reifegrad beginnt eine merkliche Abnahme des Wassergehaltes“ (DWD 1991, entspricht etwa BBCH-Code 87).

Abb. 11 (oben) zeigt die Zeitreihe des Beginns der Gelbreife beim Hafer in Baden-Württemberg für den Zeitraum 1951–2011. Die Zeitreihe zeigt starke Schwankungen um den Mittelwert. Dieser ist für den Zeitraum 1951–2011 der 1. August (DOY 213). Die Einzelwerte können jedoch mehr als 20 Tage vom Mittelwert abweichen.

Betrachtet man die Verteilung der Jahre mit relativ frühem und relativ spätem Eintrittsdatum, so treten zwar über den gesamten Zeitraum immer wieder Zeitabschnitte mit frühem und spätem Datum auf, doch auch hier häufen sich die Jahre mit spätem Eintrittsdatum mehr am Beginn des Beobachtungszeitraumes, die Jahre mit sehr frühem Datum dagegen mehr am Ende der Reihe. Seit 1988 war in allen Jahren das Eintrittsdatum früher als der Mittelwert. Vergleicht man die Mittelwerte der Zeiträume 1961-1990 und 1991-2011, so setzt die Phase im letzten Zeitraum etwa 2 Wochen früher ein.

Der lineare Trend ($y = -0.46461x + 1134.99669$, $p = 0.00000000000715$, $R^2 = 0.5981$) zeigt, dass die Phase im Beobachtungszeitraum (1951-2011) eine Verfrühung von 4,6 Tagen pro Dekade aufweist. Folgende Übersicht fasst die Berechnung des linearen Trends zusammen:

```
Call:
lm(formula = DOY ~ Jahr, data = res)

Residuals:
    Min       1Q   Median       3Q      Max
-16.8321  -3.1290   0.7573   3.3684  12.3850

Coefficients:
            Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept) 1134.99669  104.80691  10.829 6.18e-15 ***
Jahr         -0.46461    0.05281  -8.798 7.15e-12 ***
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 6.049 on 52 degrees of freedom
Multiple R-squared:  0.5981,    Adjusted R-squared:  0.5904
F-statistic: 77.4 on 1 and 52 DF,  p-value: 7.15e-12
```

Abb. 11 (Mitte und unten) zeigt einen klaren Zusammenhang des Phaseneintritts mit der Höhe (m ü.NN) der Beobachtungsstationen. Die mittlere Teilgraphik zeigt die starke Streuung der Werte einer bestimmten Höhenstufe. Die Abweichungen vom Trend in der unteren Teilgrafik ergeben sich vor allem aus der Ungleichverteilung der Stationen. Hochgelegene Stationen sind unterrepräsentiert.

Hafer – Beginn der Gelbreife in Baden-Württemberg

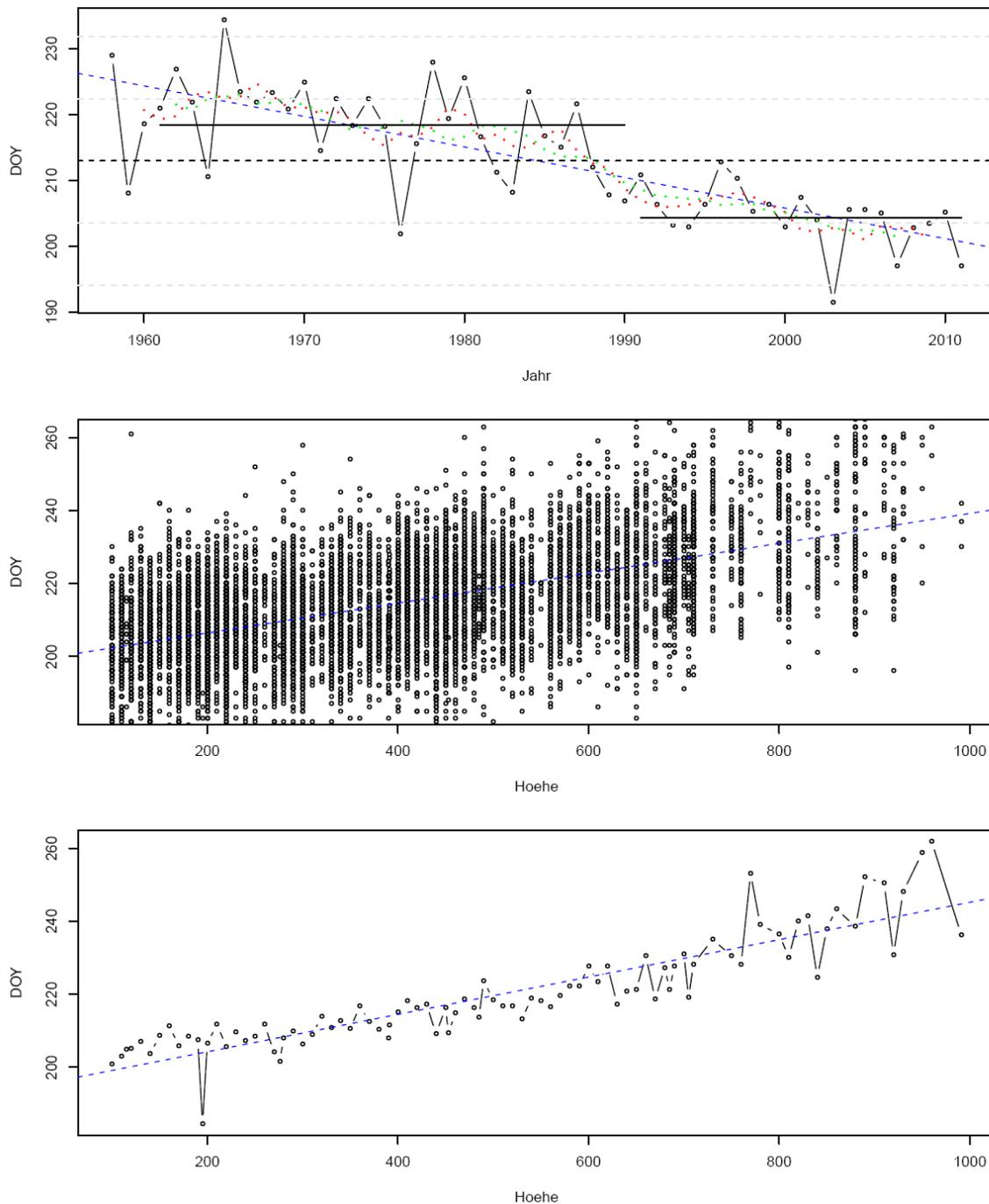


Abbildung 11. Hafer (*Avena sativa*) – Beginn der Gelbreife (DOY, day of year) in Baden-Württemberg. Oben: Verlauf der arithmetischen Mittelwerte für die einzelnen Beobachtungsjahre über alle Stationen in Baden-Württemberg (–o–o–). Laufendes 5 Jahresmittel (rot gestrichelt), laufendes 10 Jahresmittel (grün gestrichelt). Linearer Trend für den Zeitraum 1951-2011 (blau gestrichelt). Mittelwert über alle Jahre (schwarz gestrichelt) und Mittelwerte für die Zeiträume 1961-1990 und 1991-2011 (schwarze Linien). Mittelwert über alle Jahre ± 1 (bzw. 2) * die Standardabweichung (grau gestrichelt). Mitte: Beziehung zwischen Höhe (m ü.NN) der Stationen und dem Eintritt der Phase. Alle Stationen als Punkt dargestellt. Unten: Beziehung zwischen Höhe (m ü.NN) der Stationen und dem Eintritt der Phase. Dargestellt sind die Mittelwerte über alle Stationen einer bestimmten Höhe.

4.4 HAFER (*AVENA SATIVA*) – BEGINN DER ERNTE (PHASE ,195')

„Für jede der vier Getreidearten soll diese **unechte phänologische Phase** notiert werden.

Es ist der Tag zu melden, an dem das beobachtete Feld abgeerntet wird.

Als erste Getreideart wird die Wintergerste schon im Hochsommer eingebracht. Die eigentliche Erntezeit für Getreide ist der Spätsommer, wobei Winterweizen und **Hafer** am längsten auf dem Halm stehen“ (DWD 1991, kein BBCH-Code).

Abb. 12 (oben) zeigt die Zeitreihe des Beginns der Ernte beim Hafer in Baden-Württemberg für den Zeitraum 1951–2011. Mittelwert für diesen Zeitraum ist der 14. August (DOY 226). Die Zeitreihe zeigt starke Schwankungen um den Mittelwert (Range = 38 Tage).

Betrachtet man die Verteilung der Jahre mit relativ frühem und relativ spätem Eintrittsdatum, so treten auch bei dieser Phase über den gesamten Zeitraum immer wieder Zeitabschnitte mit frühem und spätem Datum auf, doch offenbar häufen sich auch hier die Jahre mit spätem Eintrittsdatum mehr am Beginn des Beobachtungszeitraumes, die Jahre mit sehr frühem Datum treten dagegen mehr am Ende der Reihe auf. Seit 1988 war in praktisch allen Jahren (außer im kühlen Sommer 1996) das Eintrittsdatum früher als der Mittelwert. Vergleicht man die Mittelwerte der Zeiträume 1961-1990 und 1991-2011, so setzt diese unechte Phase im letzten Zeitraum 10 Tage früher ein.

Der lineare Trend ($y = -0.21513x + 652.61785$, $p = 0.00104$, $R^2 = 0.1884$) zeigt, dass die Phase im Beobachtungszeitraum (1951-2011) eine Verfrühung von 2,1 Tagen pro Dekade aufweist. Folgende Übersicht fasst die Berechnung des linearen Trends zusammen:

```
Call:
lm(formula = DOY ~ Jahr, data = res)

Residuals:
    Min       1Q   Median       3Q      Max
-17.284  -3.333   0.124   4.141  13.709

Coefficients:
              Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept) 652.61785  122.87947   5.311 2.3e-06 ***
Jahr        -0.21513   0.06192  -3.474 0.00104 **
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 7.092 on 52 degrees of freedom
Multiple R-squared:  0.1884,    Adjusted R-squared:  0.1728
F-statistic: 12.07 on 1 and 52 DF,  p-value: 0.001041
```

Abb. 12 (Mitte und unten) zeigt einen klaren Zusammenhang des Erntebeginns mit der Höhe (m ü.NN) der Beobachtungsstationen. Die mittlere Teilgraphik zeigt die starke Streuung der Werte einer bestimmten Höhenstufe. Die Abweichungen vom Trend in der unteren Teilgrafik ergeben sich vor allem aus der Ungleichverteilung der Stationen. An hochgelegenen Stationen findet nur wenig Haferanbau statt.

Hafer – Beginn der Ernte mit Mähdrescher in Baden-Württemberg

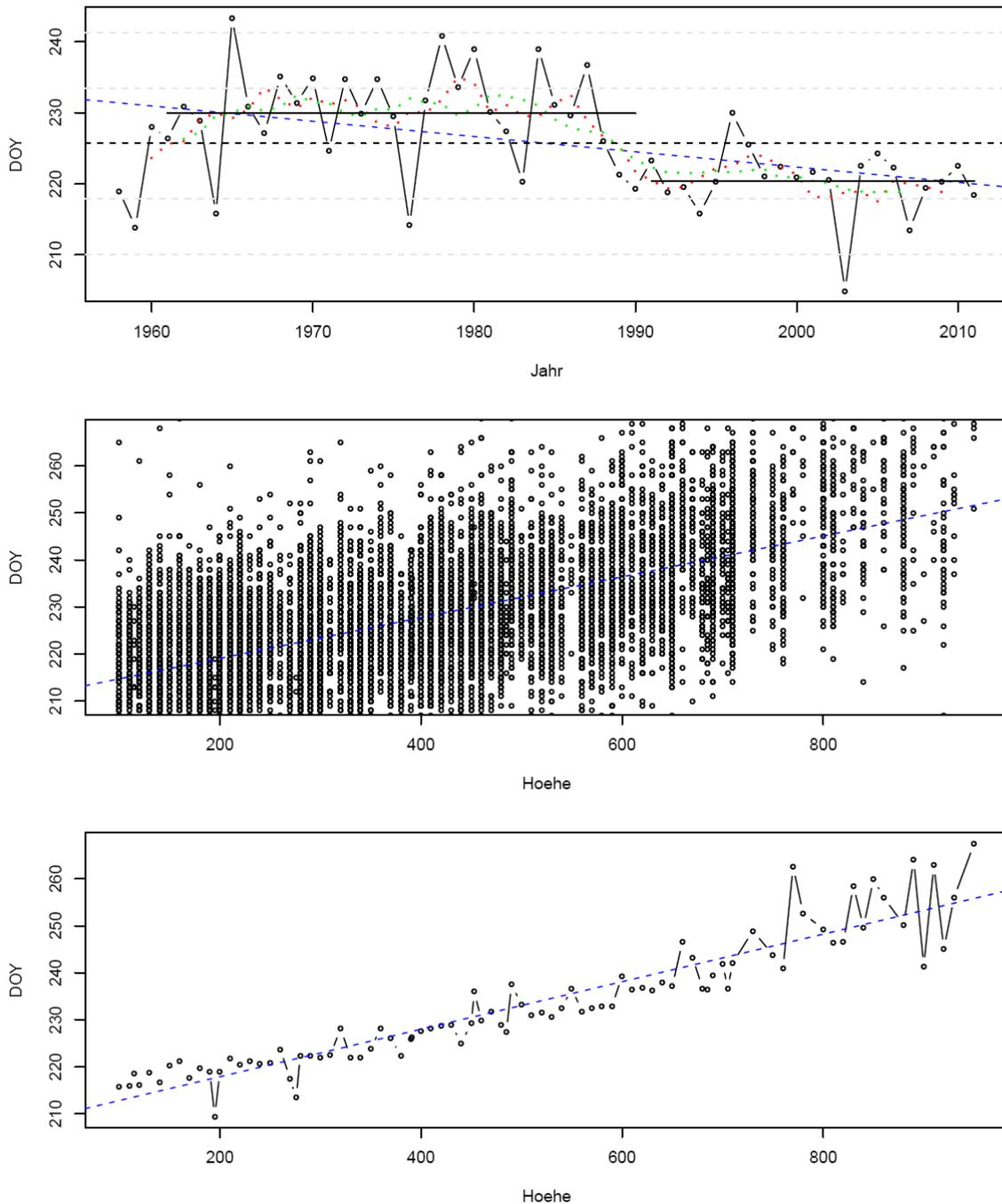


Abbildung 12. Hafer (*Avena sativa*) – Beginn der Ernte (DOY, day of year) in Baden-Württemberg. Oben: Verlauf der arithmetischen Mittelwerte für die einzelnen Beobachtungsjahre über alle Stationen in Baden-Württemberg (--o--o--). Laufendes 5 Jahresmittel (rot gestrichelt), laufendes 10 Jahresmittel (grün gestrichelt). Linearer Trend für den Zeitraum 1951-2011 (blau gestrichelt). Mittelwert über alle Jahre (schwarz gestrichelt) und Mittelwerte für die Zeiträume 1961-1990 und 1991-2011 (schwarze Linien). Mittelwert über alle Jahre \pm 1 (bzw. 2) * die Standardabweichung (grau gestrichelt). Mitte: Beziehung zwischen Höhe (m ü.NN) der Stationen und dem Eintritt der Phase. Alle Stationen als Punkt dargestellt. Unten: Beziehung zwischen Höhe (m ü.NN) der Stationen und dem Eintritt der Phase. Dargestellt sind die Mittelwerte über alle Stationen einer bestimmten Höhe.

4.5 WINTERWEIZEN (*TRITICUM AESTIVUM*) – BEGINN DES AUFLAUENS (PHASE ,094')

„Diese Phase (...Beginn des Auflaufens...) ist an allen vier Getreidearten zu beobachten.

Die Phase ist eingetreten, wenn die noch eingerollten Keimblätter die Erdoberfläche durchstoßen und die Höhe von ca. 1 cm erreicht haben. Die Pflanzenreihen müssen schon erkennbar sein.

Hafer läßt sich gleich nach dem Auflaufen gut identifizieren. Die schraubenartige Rechtsdrehung der Blätter unterscheidet ihn von allen anderen Getreidearten, die linksdrehend sind.“ (DWD 1991, entspricht in etwa BBCH-Code 10, eigentlich Blattwachstum).

Wintergetreide wird im Herbst bestellt. Vor der Vegetationsruhe gehen Wintergerste und -roggen in die Bestockung, bei der sie die größte Winterhärte erreichen. **Winterweizen** kann sich demgegenüber auch nach später Aussaat noch zu Beginn der neuen Vegetationszeit gut bestocken.

Abb. 13 (oben) zeigt die Zeitreihe des Beginns des Auflaufens beim Winterweizen in Baden-Württemberg für den Zeitraum 1951–2011. Mittelwert für den Zeitraum 1951–2011 ist der 28. Oktober (DOY 301). Vergleicht man die Mittelwerte der Zeiträume 1961-1990 und 1991-2011, so setzt die Phase im letzten Zeitraum etwa 6 Tage früher ein. Die starken jährlichen Schwankungen machen es aber schwer, den vorhandenen Trend zu erkennen.

Der lineare Trend ($y = -0.1027x + 504.06425$, $p = 0.00607$, $R^2 = 0.1207$) zeigt, dass die Phase im Beobachtungszeitraum (1951-2011) eine Verfrühung von einem Tag pro Dekade aufweist. Folgende Übersicht fasst die Berechnung des linearen Trends zusammen:

```
Call:
lm(formula = DOY ~ Jahr, data = res)

Residuals:
    Min       1Q   Median       3Q      Max
-10.4217  -2.8702  -0.3503   2.7724  18.5027

Coefficients:
              Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept) 504.06425    71.47956   7.052 2.21e-09 ***
Jahr        -0.10270     0.03608  -2.846 0.00607 **
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 4.962 on 59 degrees of freedom
Multiple R-squared:  0.1207,    Adjusted R-squared:  0.1058
F-statistic: 8.102 on 1 and 59 DF,  p-value: 0.006074
```

Abb. 13 (Mitte und unten) zeigt, dass es bei dieser Phase im Gegensatz zum Sommergetreide Hafer keinen Zusammenhang von Auflaufen und der Höhe (m ü.NN) der Beobachtungsstationen gibt. Die mittlere Teilgraphik zeigt die starke Streuung der Werte in einer bestimmten Höhenstufe.

Aufgrund der statistischen Kennwerte (s.o., Tab. 4 und 5 sowie vor allem Abb. 13 Mitte und unten) werden für diese Phase in Kapitel 5 keine landesweiten Punkt- und Flächenkarten dargestellt.

Winterweizen – Beginn des Auflaufs in Baden-Württemberg

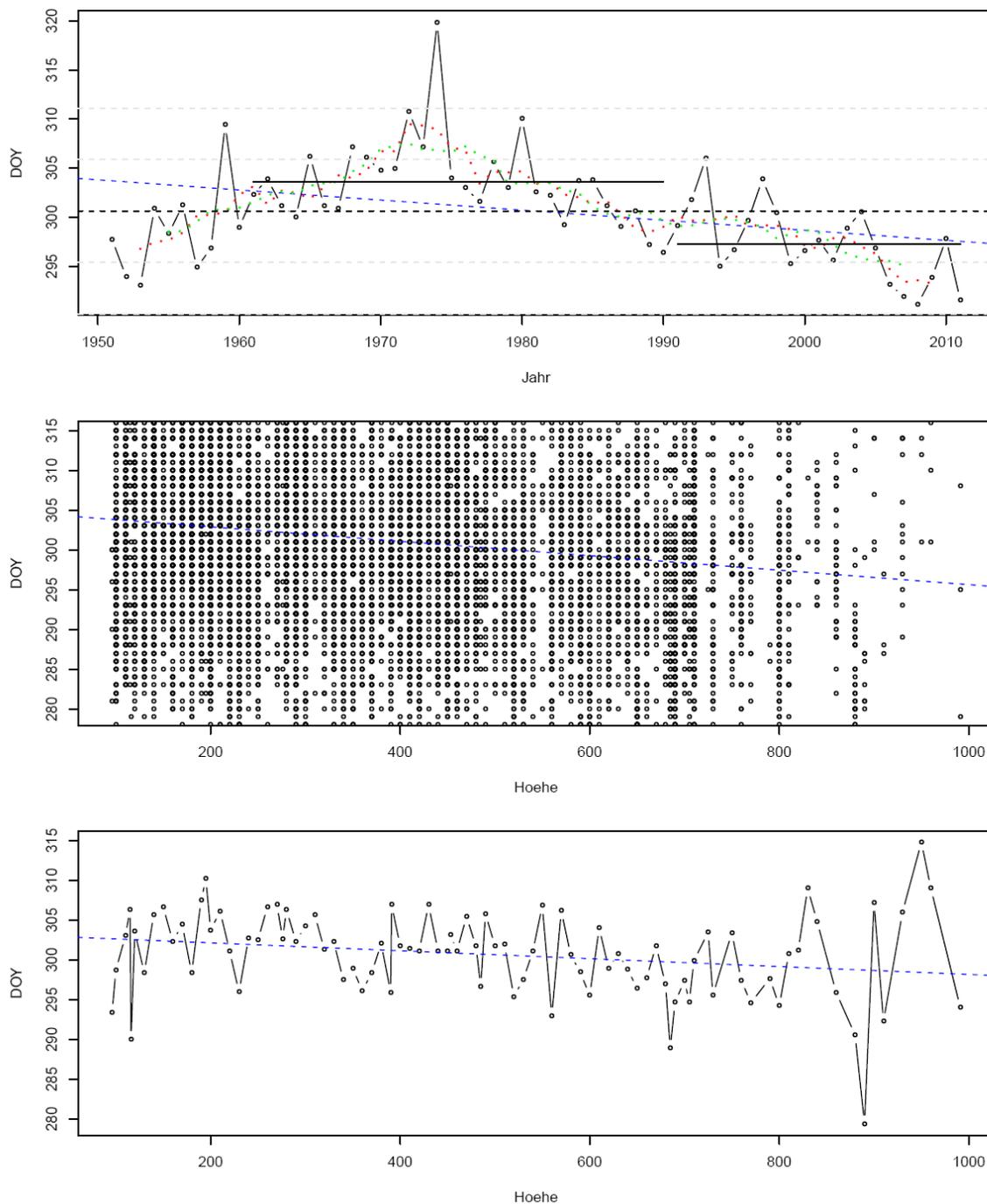


Abbildung 13. Winterweizen (*Triticum aestivum*) – Beginn des Auflaufs (DOY, day of year) in Baden-Württemberg. Oben: Verlauf der arithmetischen Mittelwerte für die einzelnen Beobachtungsjahre über alle Stationen in Baden-Württemberg (–o–o–). Laufendes 5 Jahresmittel (rot gestrichelt), laufendes 10 Jahresmittel (grün gestrichelt). Linearer Trend für den Zeitraum 1951-2011 (blau gestrichelt). Mittelwert über alle Jahre (schwarz gestrichelt) und Mittelwerte für die Zeiträume 1961-1990 und 1991-2011 (schwarze Linien). Mittelwert über alle Jahre ± 1 (bzw. 2) * die Standardabweichung (grau gestrichelt). Mitte: Beziehung zwischen Höhe (m ü.NN) der Stationen und dem Eintritt der Phase. Alle Stationen als Punkt dargestellt. Unten: Beziehung zwischen Höhe (m ü.NN) der Stationen und dem Eintritt der Phase. Dargestellt sind die Mittelwerte über alle Stationen einer bestimmten Höhe.

4.6 WINTERWEIZEN (*TRITICUM AESTIVUM*) – BEGINN DES ÄHRENSCHIEBENS (PHASE ,041')

„Bei normalen Bestellterminen und Entwicklungsbedingungen beginnt im letzten Drittel des Vorfrühlings das Ährenschieben bei Winterroggen und Wintergerste. Im **Frühsommer** folgt die Phase bei **Winterweizen** und Hafer.

Die Phase ist erreicht, wenn sich an etwa 50% der Halme die Spitzen der Ähren bzw. Rispen seitlich aus den Blattscheiden herausdrängen.

In der Zeit zwischen Schossen und Blüte haben die Getreidepflanzen ihren höchsten Wasserbedarf. Deshalb gehen die aktuellen Daten des Ähren- bzw. Rispenschiebens in die agrarmeteorologischen Modelle ein, die der Berechnungsberatung dienen“ (DWD 1991, entspricht BBCH-Code 51).

Im Mittel über den Zeitraum 1951 bis 2011 setzt der Beginn des Ährenschiebens beim Winterweizen in Baden-Württemberg am 7. Juni ein, also etwa eine Woche früher als das Rispenschieben des Hafers. Im Vergleich der Mittelwerte für die Zeiträume 1961-1990 und 1991 bis 2011 ist das Einsetzen dieser Phase etwa 10 Tage früher.

Der lineare Trend ($y = -0.1995x + 553.0112$, $p=0.00001395$, $R^2 = 0.275728$) zeigt, dass die Phase im Beobachtungszeitraum (1951-2011) eine Verfrühung von etwa 2 Tagen pro Dekade aufweist. Folgende Übersicht fasst die Berechnung des linearen Trends zusammen:

```
Call:
lm(formula = DOY ~ Jahr, data = res)

Residuals:
    Min       1Q   Median       3Q      Max
-16.4154  -4.0526   0.4213   3.7415  12.3661

Coefficients:
              Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept)  553.0112     83.4093   6.630 1.14e-08 ***
Jahr         -0.1995      0.0421  -4.739 1.39e-05 ***
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 5.79 on 59 degrees of freedom
Multiple R-squared:  0.2757,    Adjusted R-squared:  0.2635
F-statistic: 22.46 on 1 and 59 DF,  p-value: 1.395e-05
```

Abb. 14 (Mitte und unten) zeigt einen klaren Zusammenhang des Phaseneintritts mit der Höhe (m ü.NN) der Beobachtungsstationen. Die Abweichungen vom Trend in der unteren Teilgrafik ergeben sich vor allem aus der Ungleichverteilung der Stationen, mit nur wenig Winterweizenanbau oberhalb von ca. 700 m üNN.

Winterweizen – Beginn des Ährenschiebens in Baden-Württemberg

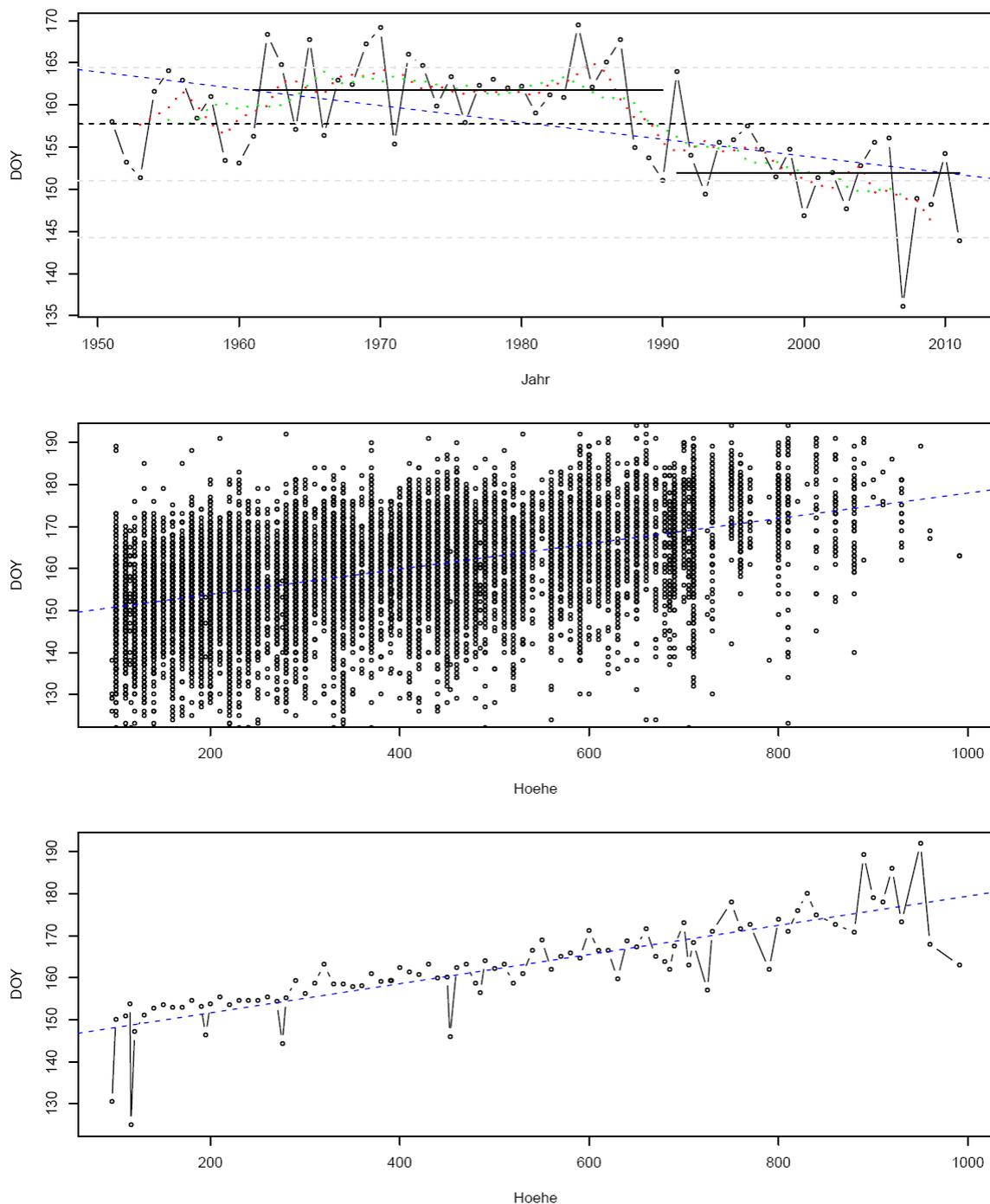


Abbildung 14. Winterweizen (*Triticum aestivum*) – Beginn der Blüte (DOY, day of year) in Baden-Württemberg. Oben: Verlauf der arithmetischen Mittelwerte für die einzelnen Beobachtungsjahre über alle Stationen in Baden-Württemberg (–o–o–). Laufendes 5 Jahresmittel (rot gestrichelt), laufendes 10 Jahresmittel (grün gestrichelt). Linearer Trend für den Zeitraum 1951-2011 (blau gestrichelt). Mittelwert über alle Jahre (schwarz gestrichelt) und Mittelwerte für die Zeiträume 1961-1990 und 1991-2011 (schwarze Linien). Mittelwert über alle Jahre ± 1 (bzw. 2) * die Standardabweichung (grau gestrichelt). Mitte: Beziehung zwischen Höhe (m ü.NN) der Stationen und dem Eintritt der Phase. Alle Stationen als Punkt dargestellt. Unten: Beziehung zwischen Höhe (m ü.NN) der Stationen und dem Eintritt der Phase. Dargestellt sind die Mittelwerte über alle Stationen einer bestimmten Höhe.

4.7 WINTERWEIZEN (*TRITICUM AESTIVUM*) – BEGINN DER GELBREIFE (PHASE ,090')

„Diese Phase soll wieder bei allen vier Getreidearten beobachtet werden. Während die Gelbreife bei Wintergerste und Winterroggen schon im Hochsommer beginnt, folgt sie beim Winterweizen und Hafer im frühen Spätsommer.

Die Gelbreife beginnt, wenn die ersten Körner in mehreren Ähren bzw. Rispen ihre Verfärbung von grün auf gelb beendet haben und sich leicht aus der Ähre bzw. der Rispe lösen lassen. Das einzelne Korn kann noch über den Daumnagel gebrochen werden, der Korninhalt ist aber schon plastisch bis fest.

Der exakte Termin dieser Phase lässt sich nur schwer feststellen, da die Farbe des Kornes und der Spelzen je nach Getreideart mehr oder weniger gelb gefärbt ist. Mit diesem Reifegrad beginnt eine merkliche Abnahme des Wassergehaltes“ (DWD 1991, entspricht etwa BBCH-Code 87).

Abb. 15 (oben) stellt den Verlauf des Beginns der Gelbreife beim Winterweizen in Baden-Württemberg für den Zeitraum 1951–2011 dar. Die Zeitreihe zeigt starke Schwankungen um den Mittelwert. Dieser ist für den Zeitraum 1951–2011 der 27. Juli (DOY 208). Die Einzelwerte können jedoch mehr als 10 Tage vom Mittelwert abweichen.

Betrachtet man die Verteilung der Jahre mit relativ frühem und relativ spätem Eintrittsdatum, so treten zwar über den gesamten Zeitraum immer wieder Zeitabschnitte mit frühem und spätem Datum auf, doch häufen sich die Jahre mit spätem Eintrittsdatum am Beginn des Beobachtungszeitraumes. Jahre mit sehr früher Gelbreife finden sich dagegen am Ende der Reihe. Seit 1988 in fast allen Jahren das Eintrittsdatum vor dem Mittelwert. Vergleicht man auch bezüglich dieser Phase die Mittelwerte der Zeiträume 1961-1990 und 1991-2011, so setzt die Phase im letzten Zeitraum etwa 15 Tage früher ein.

Der lineare Trend ($y = -0.50408x + 1208.65149$, $p = 0.0000000000000396$, $R^2 = 0.64$) zeigt, dass die Phase im Beobachtungszeitraum (1951-2011) eine statistisch gut absicherbare Verfrüfung von mehr als 5 Tagen pro Dekade aufweist. Folgende Übersicht fasst die Berechnung des linearen Trends zusammen:

```
Call:
lm(formula = DOY ~ Jahr, data = res)

Residuals:
    Min       1Q   Median       3Q      Max
-16.6782  -2.9271   0.3751   3.6593  12.3931

Coefficients:
            Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept) 1208.65149  104.03949   11.617 4.57e-16 ***
Jahr         -0.50408    0.05242   -9.615 3.96e-13 ***
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 6.004 on 52 degrees of freedom
Multiple R-squared:  0.64,    Adjusted R-squared:  0.6331
F-statistic: 92.46 on 1 and 52 DF,  p-value: 3.957e-13
```

Abb. 15 (Mitte und unten) zeigt die Abhängigkeit des Gelbreifeintritts von der Höhe (m ü.NN). Die mittlere Teilgraphik zeigt die starke Streuung der Werte einer bestimmten Höhenstufe. Die Abweichungen vom Trend in der unteren Teilgrafik ergeben sich vor allem aus der Ungleichverteilung der Stationen.

Winterweizen – Beginn der Gelbreife in Baden-Württemberg

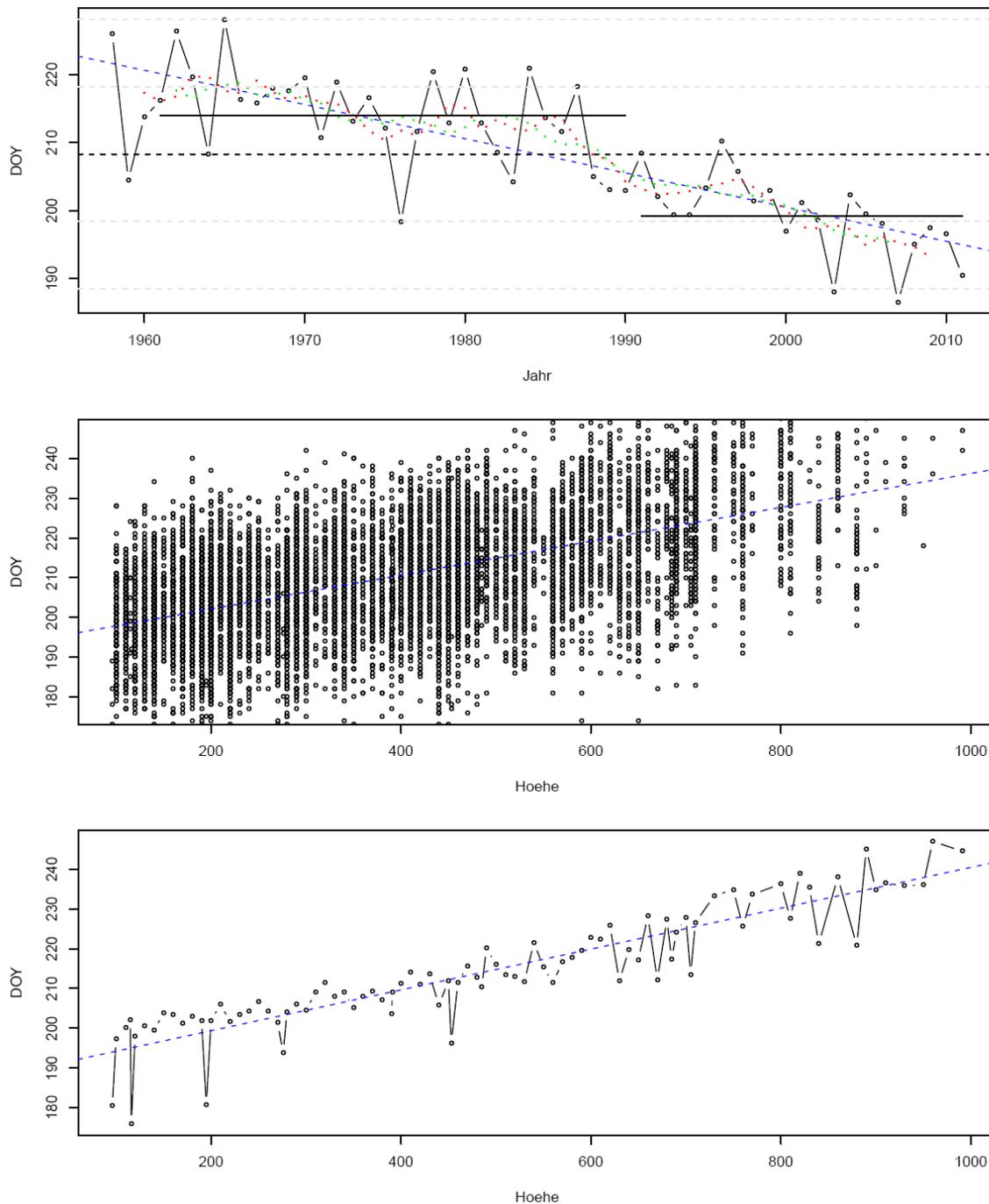


Abbildung 15. Winterweizen (*Triticum aestivum*) – Beginn der Gelbreife (DOY, day of year) in Baden-Württemberg. Oben: Verlauf der arithmetischen Mittelwerte für die einzelnen Beobachtungsjahre über alle Stationen in Baden-Württemberg (–o–o–). Laufendes 5 Jahresmittel (rot gestrichelt), laufendes 10 Jahresmittel (grün gestrichelt). Linearer Trend für den Zeitraum 1951-2011 (blau gestrichelt). Mittelwert über alle Jahre (schwarz gestrichelt) und Mittelwerte für die Zeiträume 1961-1990 und 1991-2011 (schwarze Linien). Mittelwert über alle Jahre \pm 1 (bzw. 2) * die Standardabweichung (grau gestrichelt). Mitte: Beziehung zwischen Höhe (m ü.NN) der Stationen und dem Eintritt der Phase. Alle Stationen als Punkt dargestellt. Unten: Beziehung zwischen Höhe (m ü.NN) der Stationen und dem Eintritt der Phase. Dargestellt sind die Mittelwerte über alle Stationen einer bestimmten Höhe.

4.8 WINTERWEIZEN (*TRITICUM AESTIVUM*) – BEGINN DER ERNTE (PHASE ,194')

“Für jede der vier Getreidearten soll diese **unechte phänologische Phase** notiert werden.

Es ist der Tag zu melden, an dem das beobachtete Feld abgeerntet wird.

Als erste Getreideart wird die Wintergerste schon im Hochsommer eingebracht. Die eigentliche Erntezeit für Getreide ist der Spätsommer, wobei **Winterweizen** und Hafer am längsten auf dem Halm stehen“ (DWD 1991, kein BBCH-Code).

Abb. 16 (oben) zeigt die Zeitreihe des Beginns der Ernte beim Winterweizen in Baden-Württemberg für den Zeitraum 1951–2011. Mittelwert für diesen Zeitraum ist der 10. August (DOY 222). Die Zeitreihe zeigt starke Schwankungen um den Mittelwert (Range = 36 Tage). Die Ernte ist zeitlich sehr variabel, da sie auf Wetterschwankungen reagiert.

Betrachtet man die Verteilung der Jahre mit relativ frühem und relativ spätem Eintrittsdatum, so treten zwar über den gesamten Zeitraum immer wieder Zeitabschnitte mit frühem und spätem Datum auf, doch häufen sich die Jahre mit spätem Eintrittsdatum mehr am Beginn des Beobachtungszeitraumes, die Jahre mit sehr frühem Datum dagegen mehr am Ende der Reihe. Seit 1988 war in praktisch allen Jahren (außer 1991, 1996 und 1997) das Eintrittsdatum früher als der Mittelwert. Vergleicht man die Mittelwerte der Zeiträume 1961–1990 und 1991–2011, so setzt die Phase im letzten Zeitraum 10 Tage früher ein.

Der lineare Trend ($y = -0.21899x + 655.69214$, $p = 0.00156$, $R^2 = 0.1705$) zeigt, dass der Beginn der Ernte beim Winterweizen im Beobachtungszeitraum (1951–2011) eine nur leichte Verfrühung von 2,2 Tagen pro Dekade aufweist. Folgende Übersicht fasst die Berechnung des linearen Trends zusammen:

```
Call:
lm(formula = DOY ~ Jahr, data = res)

Residuals:
    Min       1Q   Median       3Q      Max
-21.7840  -3.3943   0.7557   4.7707  14.7158

Coefficients:
              Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept) 655.69214   130.37100   5.029 5.77e-06 ***
Jahr        -0.21899    0.06573  -3.332 0.00156 **
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 7.981 on 54 degrees of freedom
Multiple R-squared:  0.1705,    Adjusted R-squared:  0.1552
F-statistic: 11.1 on 1 and 54 DF,  p-value: 0.001562
```

Abb. 16 (Mitte und unten) zeigt einen klaren Zusammenhang der Weizenernte mit der Höhe (m ü.NN) der Beobachtungsstationen. Die mittlere Teilgraphik zeigt die starke Streuung der Werte einer bestimmten Höhenstufe. Die Abweichungen vom Trend in der unteren Teilgrafik ergeben sich vor allem aus der Ungleichverteilung der Stationen. Vor allem hochgelegene Stationen sind unterrepräsentiert.

Winterweizen – Beginn der Ernte mit Mähdrescher in Baden-Württemberg

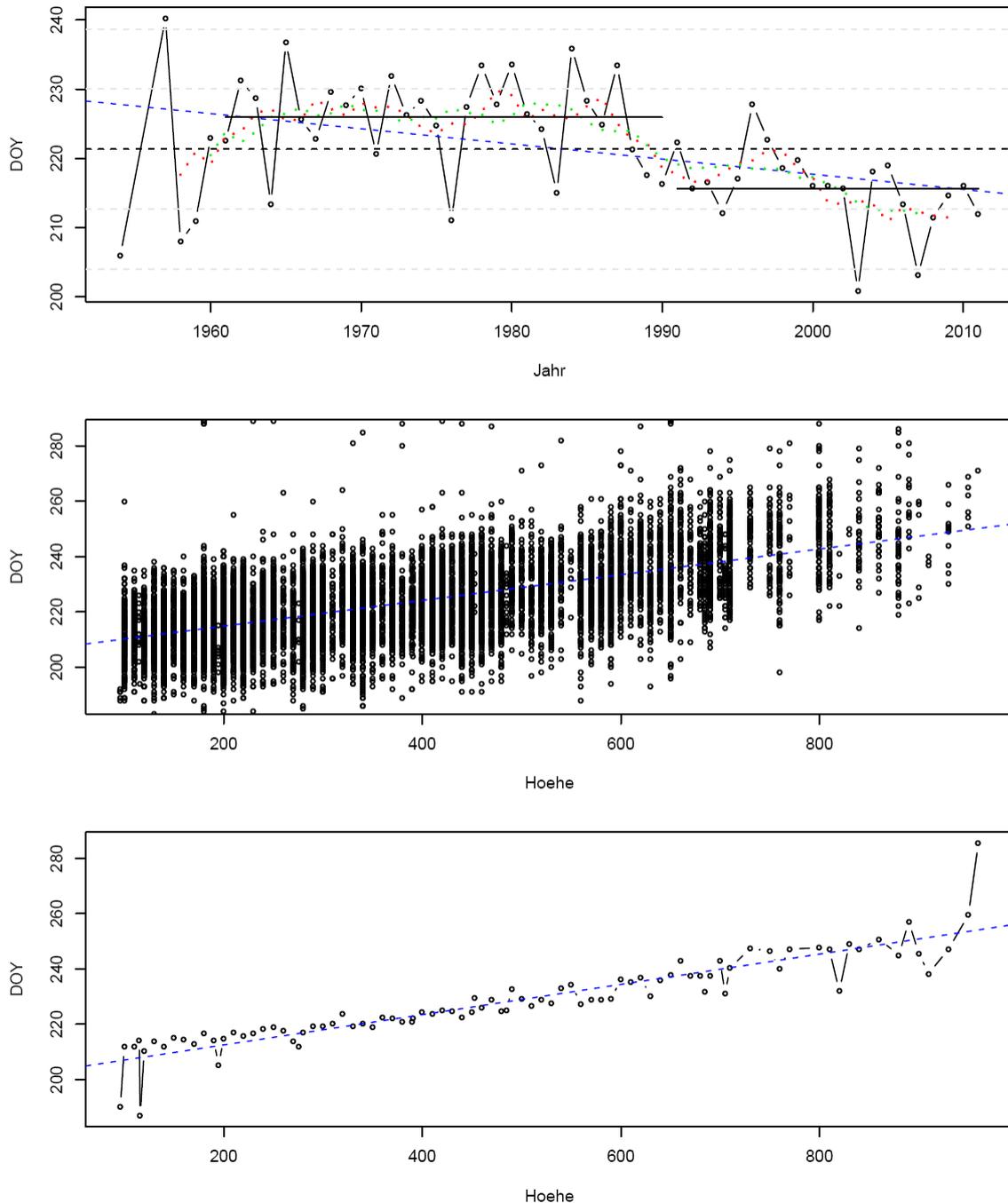


Abbildung 16. Winterweizen (*Triticum aestivum*) – Beginn der Ernte (DOY, day of year) in Baden-Württemberg. Oben: Verlauf der arithmetischen Mittelwerte für die einzelnen Beobachtungsjahre über alle Stationen in Baden-Württemberg (–o–o–). Laufendes 5 Jahresmittel (rot gestrichelt), laufendes 10 Jahresmittel (grün gestrichelt). Linearer Trend für den Zeitraum 1951-2011 (blau gestrichelt). Mittelwert über alle Jahre (schwarz gestrichelt) und Mittelwerte für die Zeiträume 1961-1990 und 1991-2011 (schwarze Linien). Mittelwert über alle Jahre ± 1 (bzw. 2) * die Standardabweichung (grau gestrichelt). Mitte: Beziehung zwischen Höhe (m ü.NN) der Stationen und dem Eintritt der Phase. Alle Stationen als Punkt dargestellt. Unten: Beziehung zwischen Höhe (m ü.NN) der Stationen und dem Eintritt der Phase. Dargestellt sind die Mittelwerte über alle Stationen einer bestimmten Höhe.

4.9 WINTERGERSTE (*HORDEUM VULGARE*) – BEGINN DES AUFLAUENS (PHASE ,081')

„Diese Phase (...Beginn des Auflaufens...) ist an allen vier Getreidearten zu beobachten.

Die Phase ist eingetreten, wenn die noch eingerollten Keimblätter die Erdoberfläche durchstoßen und die Höhe von ca. 1 cm erreicht haben. Die Pflanzenreihen müssen schon erkennbar sein.

Hafer läßt sich gleich nach dem Auflaufen gut identifizieren. Die schraubenartige Rechtsdrehung der Blätter unterscheidet ihn von allen anderen Getreidearten, die linksdrehend sind.“ (DWD 1991, entspricht ungefähr BBCH-Code 10, eigentlich Blattwachstum).

Wintergetreide wird im Herbst bestellt. Vor der Vegetationsruhe gehen **Wintergerste** und -roggen in die Bestockung, bei der sie die größte Winterhärte erreichen.

Abb. 17 (oben) zeigt die Zeitreihe des Beginns des Auflaufens bei der Wintergerste in Baden-Württemberg für den Zeitraum 1951–2011. Mittelwert für den Zeitraum 1951–2011 ist der 6. Oktober (DOY 279) also drei Wochen vor dem Winterweizen. Vergleicht man die Mittelwerte der Zeiträume 1961-1990 und 1991-2011, so setzt die Phase im letzten Zeitraum etwa 6 Tage früher ein.

Der lineare Trend ($y = -0.17313x + 622.66486$, $p = 0.0000000105$, $R^2 = 0.4285$) zeigt, dass die Phase im Beobachtungszeitraum (1951-2011) wie beim Winterweizen eine Verfrühung von einem Tag pro Dekade aufweist. Folgende Übersicht fasst die Berechnung des linearen Trends zusammen:

```
Call:
lm(formula = DOY ~ Jahr, data = res)

Residuals:
    Min       1Q   Median       3Q      Max
-8.3310 -1.8790 -0.1709  2.0212 11.5976

Coefficients:
            Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept) 622.66486   51.57421   12.07 < 2e-16 ***
Jahr        -0.17313    0.02603   -6.65 1.05e-08 ***
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 3.58 on 59 degrees of freedom
Multiple R-squared:  0.4285, Adjusted R-squared:  0.4188
F-statistic: 44.23 on 1 and 59 DF,  p-value: 1.054e-08
```

Abb. 17 (Mitte und unten) zeigt, dass es bei dieser Phase, wie beim Auflaufen des Winterweizens, keinen Zusammenhang von Phaseneintritt und Höhe (m ü.NN) der Beobachtungsstationen gibt. Die mittlere Teilgraphik zeigt die starke Streuung der Werte einer bestimmten Höhenstufe.

Aufgrund der statistischen Kennwerte (s.o., Tab. 4 und 5, sowie Abb. 17 Mitte und unten) werden für diese Phase in Kapitel 5 keine landesweiten Punkt- und Flächenkarten dargestellt. Vor allem hochgelegene Stationen sind unterrepräsentiert.

Wintergerste – Beginn des Auflaufens in Baden-Württemberg

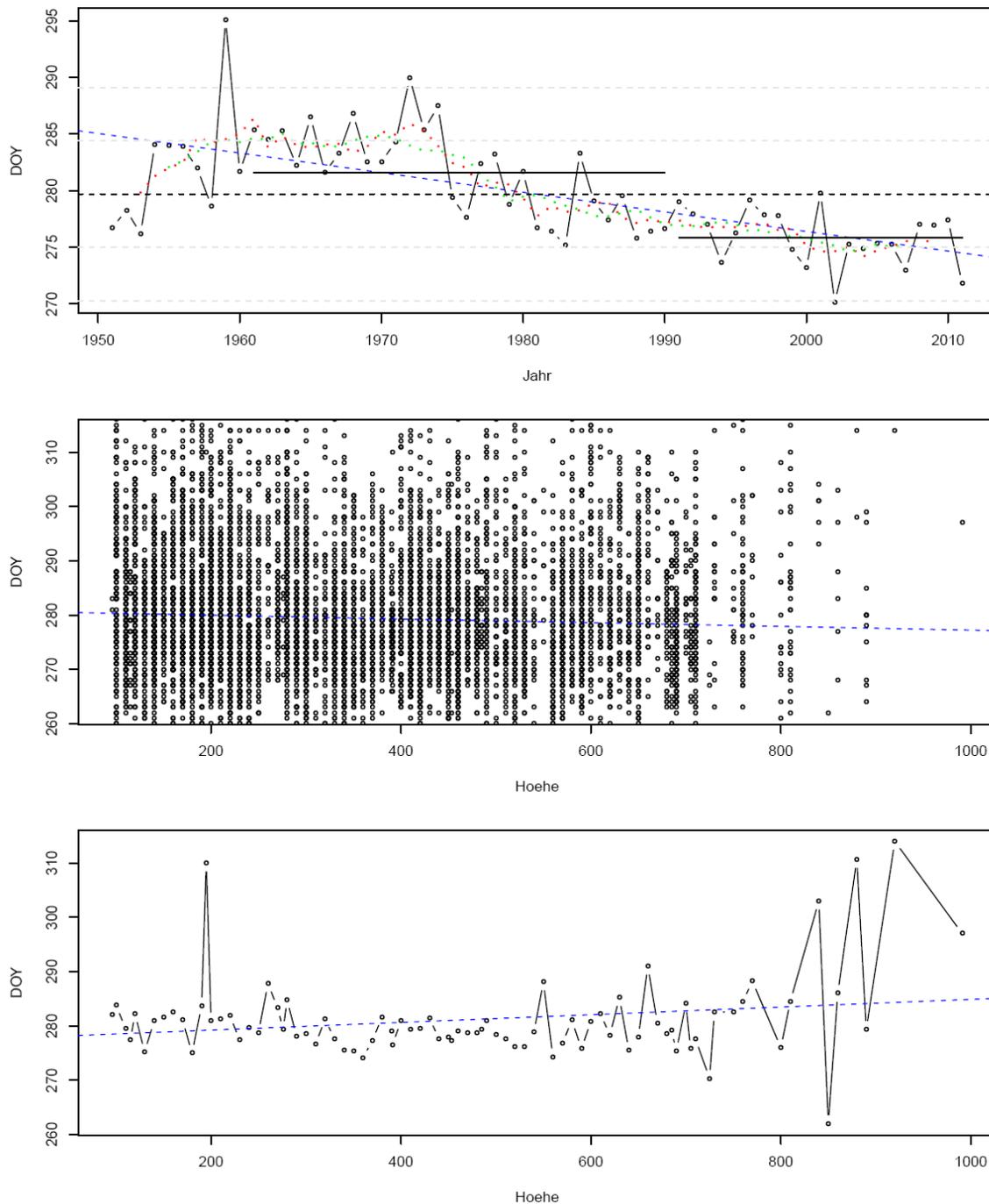


Abbildung 17. Wintergerste (*Hordeum vulgare*) – Beginn des Auflaufens (DOY, day of year) in Baden-Württemberg. Oben: Verlauf der arithmetischen Mittelwerte für die einzelnen Beobachtungsjahre über alle Stationen in Baden-Württemberg (–o–o–). Laufendes 5 Jahresmittel (rot gestrichelt), laufendes 10 Jahresmittel (grün gestrichelt). Linearer Trend für den Zeitraum 1951-2011 (blau gestrichelt). Mittelwert über alle Jahre (schwarz gestrichelt) und Mittelwerte für die Zeiträume 1961-1990 und 1991-2011 (schwarze Linien). Mittelwert über alle Jahre ± 1 (bzw. 2) * die Standardabweichung (grau gestrichelt). Mitte: Beziehung zwischen Höhe (m ü.NN) der Stationen und dem Eintritt der Phase. Alle Stationen als Punkt dargestellt. Unten: Beziehung zwischen Höhe (m ü.NN) der Stationen und dem Eintritt der Phase. Dargestellt sind die Mittelwerte über alle Stationen einer bestimmten Höhe.

4.10 WINTERGERSTE (*HORDEUM VULGARE*) – BEGINN DES ÄHRENSCHIEBENS (PHASE ,036')

„Bei normalen Bestellterminen und Entwicklungsbedingungen beginnt im letzten Drittel des Vorfrühlings das Ährenschieben bei Winterroggen und Wintergerste.

Die Phase ist erreicht, wenn sich an etwa 50% der Halme die Spitzen der Ähren bzw. Rispen seitlich aus den Blattscheiden herausdrängen.

In der Zeit zwischen Schossen und Blüte haben die Getreidepflanzen ihren höchsten Wasserbedarf. Deshalb gehen die aktuellen Daten des Ähren- bzw. Rispenschiebens in die agrarmeteorologischen Modelle ein, die der Berechnungsberatung dienen“ (DWD 1991, entspricht BBCH-Code 51).

Im Mittel über den Zeitraum 1951 bis 2011 setzt der Beginn des Ährenschiebens der Wintergerste in Baden-Württemberg am 20. Mai ein, also etwa 27 Tage früher als das Rispenschieben des Hafers.

Im Vergleich der Mittelwerte für die Zeiträume 1961 bis 1990 und 1991 bis 2011 ist das Einsetzen dieser Phase um etwa 8 Tage verfrüht.

Der lineare Trend ($y = -0.20881 x + 553.52490$, $p=0.000000358$, $R^2 = 0.3577$) zeigt, dass die Phase im Beobachtungszeitraum (1951-2011) eine Verfrüfung von etwa 2,1 Tagen pro Dekade aufweist. Folgende Übersicht fasst die Berechnung des linearen Trends zusammen:

```
Call:
lm(formula = DOY ~ Jahr, data = res)

Residuals:
    Min       1Q   Median       3Q      Max
-12.1356  -2.7336  -0.5852   4.1867   9.7013

Coefficients:
            Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept) 553.52490    72.15998   7.671 1.97e-10 ***
Jahr        -0.20881     0.03642  -5.733 3.58e-07 ***
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 5.009 on 59 degrees of freedom
Multiple R-squared:  0.3577, Adjusted R-squared:  0.3469
F-statistic: 32.86 on 1 and 59 DF,  p-value: 3.576e-07
```

Abb. 18 (Mitte und unten) zeigt einen klaren Zusammenhang des Phaseneintritts mit der Höhe (m ü.NN) der Beobachtungsstationen. Die mittlere Teilgraphik zeigt die starke Streuung der Werte einer bestimmten Höhenstufe. Die Abweichungen vom Trend in der unteren Teilgrafik ergeben sich vor allem aus der Ungleichverteilung der Stationen. Vor allem hochgelegene Stationen sind unterrepräsentiert.

Wintergerste – Beginn des Ährenschiebens in Baden-Württemberg

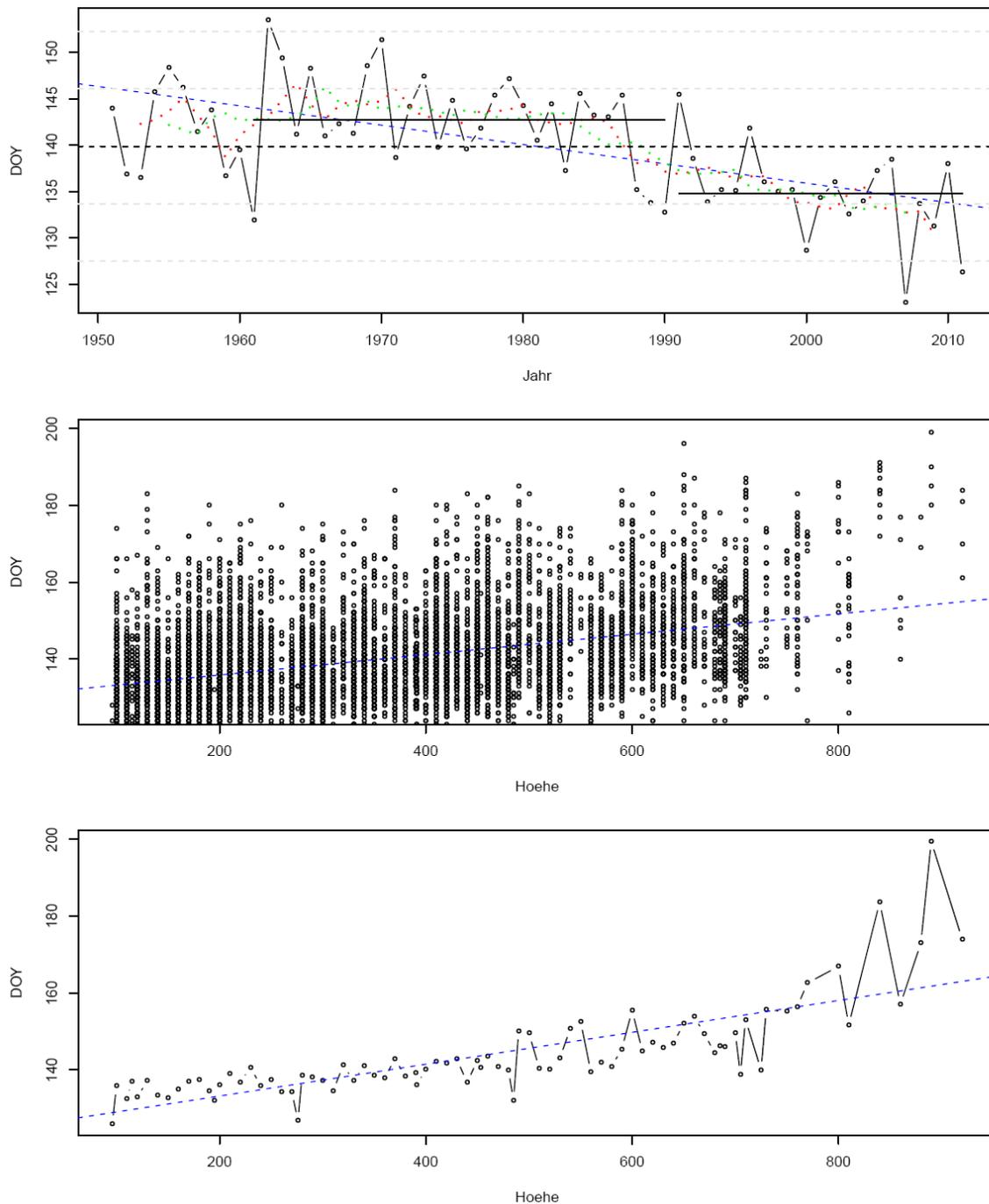


Abbildung 18. Wintergerste (*Hordeum vulgare*) – Beginn des Ährenschiebens (DOY, day of year) in Baden-Württemberg. Oben: Verlauf der arithmetischen Mittelwerte für die einzelnen Beobachtungsjahre über alle Stationen in Baden-Württemberg (–o–o–). Laufendes 5 Jahresmittel (rot gestrichelt), laufendes 10 Jahresmittel (grün gestrichelt). Linearer Trend für den Zeitraum 1951-2011 (blau gestrichelt). Mittelwert über alle Jahre (schwarz gestrichelt) und Mittelwerte für die Zeiträume 1961-1990 und 1991-2011 (schwarze Linien). Mittelwert über alle Jahre ± 1 (bzw. 2) * die Standardabweichung (grau gestrichelt). Mitte: Beziehung zwischen Höhe (m ü.NN) der Stationen und dem Eintritt der Phase. Alle Stationen als Punkt dargestellt. Unten: Beziehung zwischen Höhe (m ü.NN) der Stationen und dem Eintritt der Phase. Dargestellt sind die Mittelwerte über alle Stationen einer bestimmten Höhe.

4.11 WINTERGERSTE (*HORDEUM VULGARE*) – BEGINN DER GELBREIFE (PHASE ,077')

„Diese Phase soll wieder bei allen vier Getreidearten beobachtet werden. Während die Gelbreife bei Wintergerste und Winterroggen schon im Hochsommer beginnt, folgt sie beim Winterweizen und Hafer im frühen Spätsommer.

Die Gelbreife beginnt, wenn die ersten Körner in mehreren Ähren bzw. Rispen ihre Verfärbung von grün auf gelb beendet haben und sich leicht aus der Ähre bzw. der Rispe lösen lassen. Das einzelne Korn kann noch über den Daumnagel gebrochen werden, der Korninhalt ist aber schon plastisch bis fest.

Der exakte Termin dieser Phase lässt sich nur schwer feststellen, da die Farbe des Korns und der Spelzen je nach Getreideart mehr oder weniger gelb gefärbt ist. Mit diesem Reifegrad beginnt eine merkliche Abnahme des Wassergehaltes“ (DWD 1991, entspricht etwa BBCH-Code 87).

Abb. 19 (oben) zeigt die Zeitreihe des Beginns der Gelbreife bei der Wintergerste in Baden-Württemberg für den Zeitraum 1951–2011. Die Zeitreihe zeigt starke Schwankungen um den Mittelwert. Dieser ist für den Zeitraum 1951–2011 der 5. Juli (DOY 186). Die Einzelwerte können jedoch fast 20 Tage vom Mittelwert abweichen.

Betrachtet man die Verteilung der Jahre mit relativ frühem und relativ spätem Eintrittsdatum, so treten zwar über den gesamten Zeitraum immer wieder Zeitabschnitte mit frühem und spätem Datum auf, doch häufen sich auch bei dieser Phase die Jahre mit spätem Eintrittsdatum am Beginn des Beobachtungszeitraumes, die Jahre mit sehr frühem Datum dagegen am Ende der Reihe. Seit 1988 war in praktisch allen Jahren (außer 1991) das Eintrittsdatum früher als der Mittelwert. Vergleicht man die Mittelwerte der Zeiträume 1961-1990 und 1991-2011, so setzt die Phase im letzten Zeitraum etwa 15 Tage früher ein.

Der lineare Trend ($y = -0.45201x + 1084.01541$, $p = 0.000000000000251$, $R^2 = 0.6462$) zeigt, dass die Phase im Beobachtungszeitraum (1951-2011) eine Verfrühung von mehr als 4,5 Tagen pro Dekade aufweist. Folgende Übersicht fasst die Berechnung des linearen Trends zusammen:

```
Call:
lm(formula = DOY ~ Jahr, data = res)

Residuals:
    Min       1Q   Median       3Q      Max
-17.4306  -2.6190   0.1201   3.7811  11.7526

Coefficients:
            Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept) 1084.01541    92.04670   11.777 2.73e-16 ***
Jahr         -0.45201     0.04638   -9.745 2.51e-13 ***
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 5.323 on 52 degrees of freedom
Multiple R-squared:  0.6462,    Adjusted R-squared:  0.6394
F-statistic: 94.97 on 1 and 52 DF,  p-value: 2.513e-13
```

Abb. 19 (Mitte und unten) zeigt einen starken Zusammenhang des Phaseneintritts mit der Höhe (m ü.NN) der Beobachtungsstationen. Die mittlere Teilgraphik zeigt die Streuung der Werte innerhalb einer bestimmten Höhenstufe. Die Abweichungen vom Trend in der unteren Teilgraphik ergeben sich vor allem aus der Ungleichverteilung der Stationen. Vor allem hochgelegene Stationen sind unterrepräsentiert.

Wintergerste – Beginn der Gelbreife in Baden-Württemberg

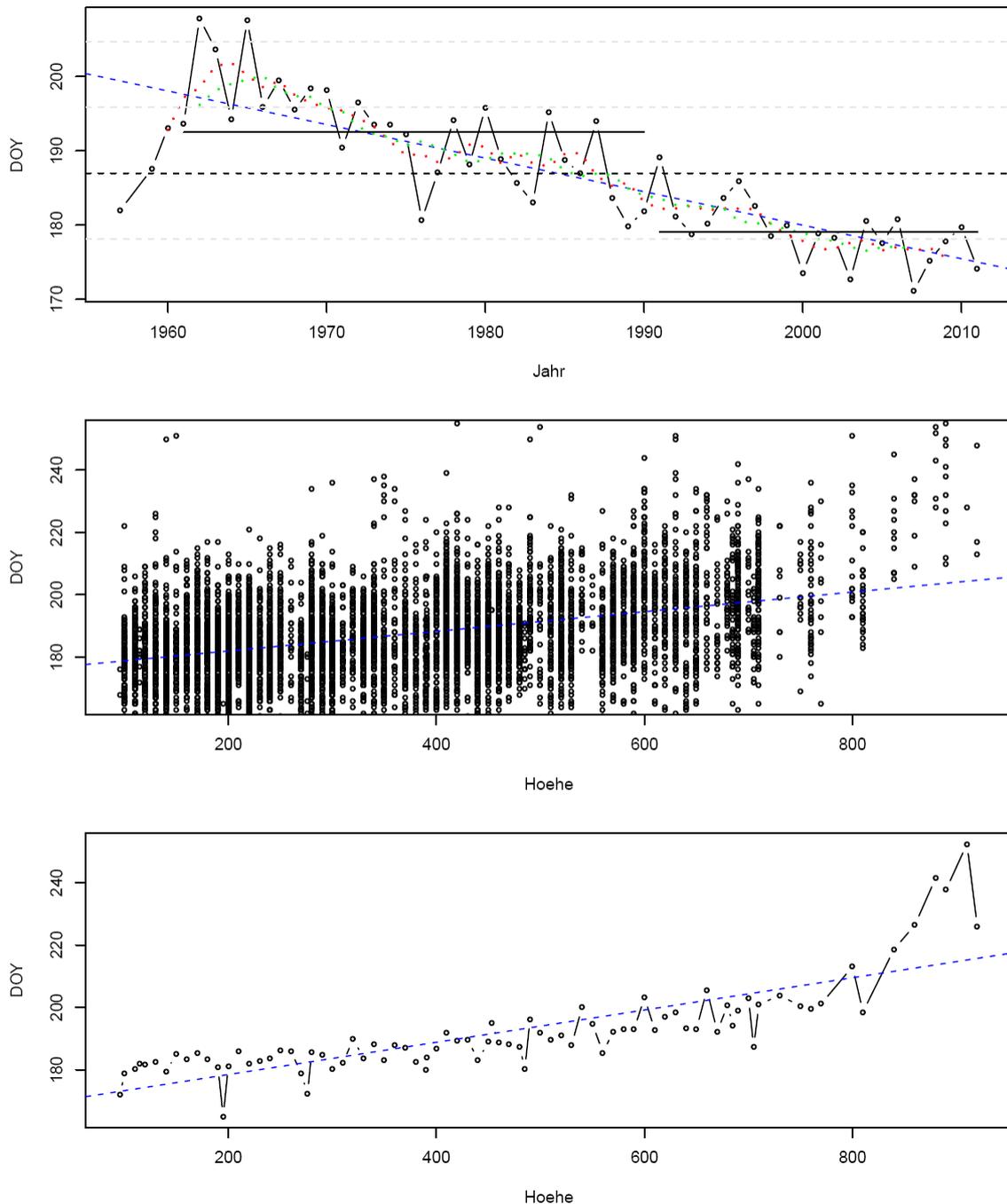


Abbildung 19. Wintergerste (*Hordeum vulgare*) – Beginn der Gelbreife (DOY, day of year) in Baden-Württemberg. Oben: Verlauf der arithmetischen Mittelwerte für die einzelnen Beobachtungsjahre über alle Stationen in Baden-Württemberg (–o–o–). Laufendes 5 Jahresmittel (rot gestrichelt), laufendes 10 Jahresmittel (grün gestrichelt). Linearer Trend für den Zeitraum 1951-2011 (blau gestrichelt). Mittelwert über alle Jahre (schwarz gestrichelt) und Mittelwerte für die Zeiträume 1961-1990 und 1991-2011 (schwarze Linien). Mittelwert über alle Jahre ± 1 (bzw. 2) * die Standardabweichung (grau gestrichelt). Mitte: Beziehung zwischen Höhe (m ü.NN) der Stationen und dem Eintritt der Phase. Alle Stationen als Punkt dargestellt. Unten: Beziehung zwischen Höhe (m ü.NN) der Stationen und dem Eintritt der Phase. Dargestellt sind die Mittelwerte über alle Stationen einer bestimmten Höhe.

4.12 WINTERGERSTE (*HORDEUM VULGARE*) – BEGINN DER ERNTE (PHASE ‚191‘)

„Für jede der vier Getreidearten soll diese **unechte phänologische Phase** notiert werden.

Es ist der Tag zu melden, an dem das beobachtete Feld abgeerntet wird.

Als erste Getreideart wird die **Wintergerste** schon im Hochsommer eingebracht. Die eigentliche Erntezeit für Getreide ist der Spätsommer, wobei Winterweizen und Hafer am längsten auf dem Halm stehen“ (DWD 1991, kein BBCH-Code).

Abb. 20 (oben) zeigt die Zeitreihe des Beginns der Ernte der Wintergerste in Baden-Württemberg für den Zeitraum 1951–2011. Mittelwert für diesen Zeitraum ist der 19. Juli (DOY 200). Die Zeitreihe zeigt starke Schwankungen um den Mittelwert (Range = 29 Tage).

Betrachtet man die Verteilung der Jahre mit relativ früher und relativ später Ernte, so treten zwar über den gesamten Zeitraum immer wieder Zeitabschnitte mit frühem und spätem Datum auf, doch häufen sich die Jahre mit spätem Eintrittsdatum mehr am Beginn des Beobachtungszeitraumes, die Jahre mit sehr frühem Datum treten dagegen mehr am Ende der Reihe auf. Seit 1988 war in praktisch allen Jahren (außer 1991, 1996 und 1997) das Eintrittsdatum früher als der Mittelwert. Vergleicht man die Mittelwerte der Zeiträume 1961-1990 und 1991-2011, so setzt die Phase im letzten Zeitraum 8 Tage früher ein.

Der lineare Trend ($y = -0.23758x + 671.10171$, $p = 0.0000119$, $R^2 = 0.3108$) zeigt, dass die Phase im Beobachtungszeitraum (1951-2011) eine Verfrühung von 2,3 Tagen pro Dekade aufweist. Folgende Übersicht fasst die Berechnung des linearen Trends zusammen:

```
Call:
lm(formula = DOY ~ Jahr, data = res)

Residuals:
    Min       1Q   Median       3Q      Max
-13.0702  -3.4226   0.5144   3.1256  11.0415

Coefficients:
            Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept)  671.10171    97.36869   6.892 7.35e-09 ***
Jahr         -0.23758     0.04906  -4.842 1.19e-05 ***
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 5.619 on 52 degrees of freedom
Multiple R-squared:  0.3108,    Adjusted R-squared:  0.2975
F-statistic: 23.45 on 1 and 52 DF,  p-value: 1.193e-05
```

Abb. 20 (Mitte und unten) zeigt einen klaren Zusammenhang des Phaseneintritts mit der Höhe (m ü.NN) der Beobachtungsstationen. Die mittlere Teilgraphik zeigt die starke Streuung der Werte einer bestimmten Höhenstufe. Die Abweichungen vom Trend in der unteren Teilgrafik ergeben sich aus der Ungleichverteilung der Stationen. Vor allem hochgelegene Stationen sind unterrepräsentiert.

Wintergerste – Beginn der Ernte mit Mähdrescher in Baden-Württemberg

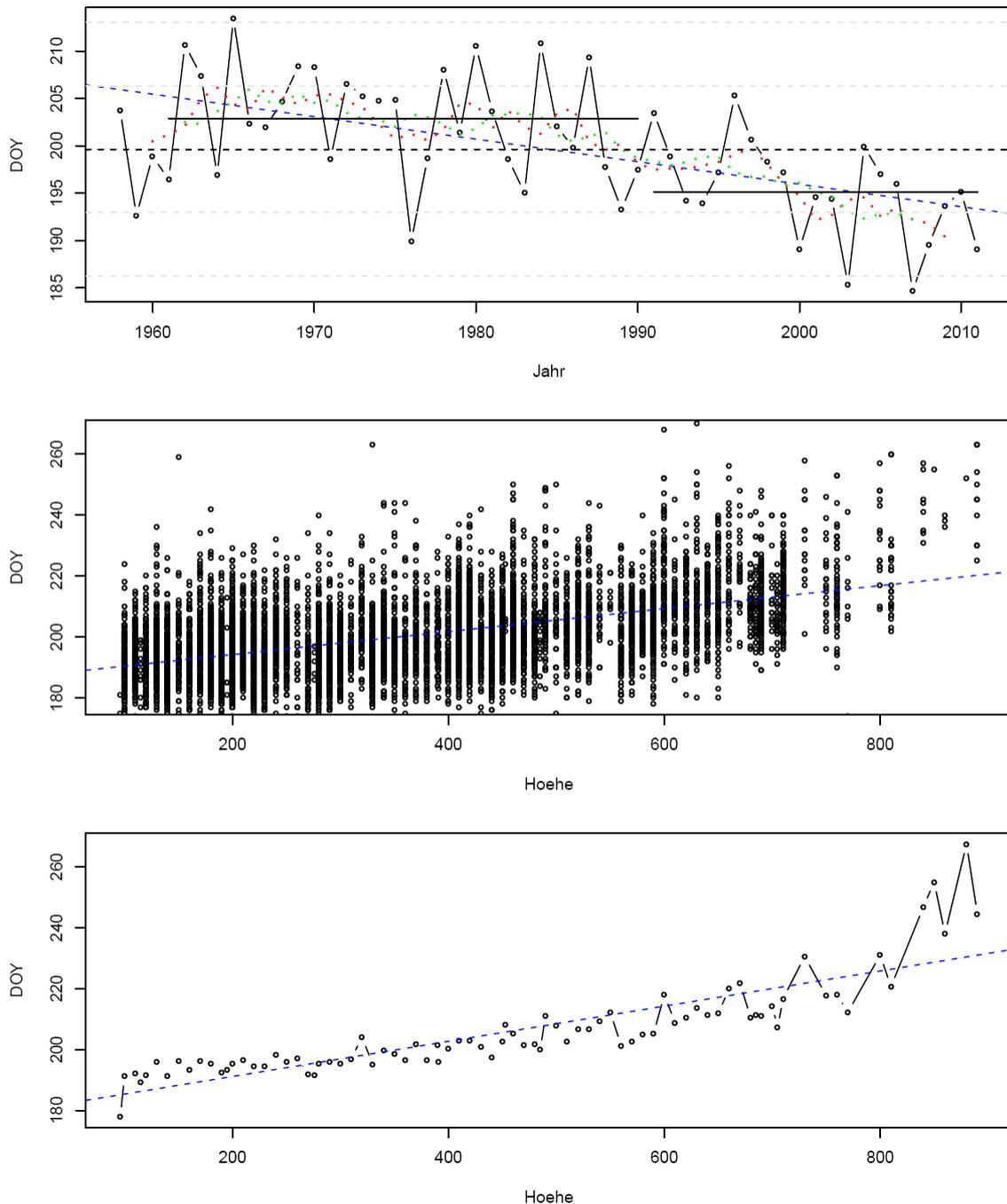


Abbildung 20. Wintergerste (*Hordeum vulgare*) – Beginn der Ernte (DOY, day of year) in Baden-Württemberg. Oben: Verlauf der arithmetischen Mittelwerte für die einzelnen Beobachtungsjahre über alle Stationen in Baden-Württemberg (--o--o--). Laufendes 5 Jahresmittel (rot gestrichelt), laufendes 10 Jahresmittel (grün gestrichelt). Linearer Trend für den Zeitraum 1951-2011 (blau gestrichelt). Mittelwert über alle Jahre (schwarz gestrichelt) und Mittelwerte für die Zeiträume 1961-1990 und 1991-2011 (schwarze Linien). Mittelwert über alle Jahre ± 1 (bzw. 2) * die Standardabweichung (grau gestrichelt). Mitte: Beziehung zwischen Höhe (m ü.NN) der Stationen und dem Eintritt der Phase. Alle Stationen als Punkt dargestellt. Unten: Beziehung zwischen Höhe (m ü.NN) der Stationen und dem Eintritt der Phase. Dargestellt sind die Mittelwerte über alle Stationen einer bestimmten Höhe.

4.13 WINTERRAPS (*BRASSICA NAPUS*) – BEGINN DES AUFLAUFENS (PHASE ,183')

„Bei optimalen Keimbedingungen (warmer, feuchter Boden) kann schon 5 bis 6 Tage nach der Saat mit dem Auflaufen gerechnet werden.

Die Phase ist eingetreten, wenn die Pflanzen mit ihren beiden herzförmigen Keimblättern die Erdoberfläche durchbrochen und die Höhe von etwa 1 cm erreicht haben. Die Pflanzenreihen sind beim genauen Hinsehen schon erkennbar“

(DWD 1991, entspricht ungefähr BBCH-Code 10, eigentlich Blattwachstum).

Abb. 21 (oben) zeigt die Zeitreihe des Beginns des Auflaufens beim Winterraps in Baden-Württemberg für den Zeitraum 1951–2011. Mittelwert für den Zeitraum 1951–2011 ist der 11. September (DOY 254). Vergleicht man die Mittelwerte der Zeiträume 1961-1990 und 1991-2011, so setzt die Phase im letzten Zeitraum etwa 4 Tage früher ein.

Der lineare Trend ($y = -0.10612x + 464.60034$, $p = 0.000114$, $R^2 = 0.2246$) zeigt, dass die Phase im Beobachtungszeitraum (1951-2011) eine Verfrüfung von einem Tag pro Dekade aufweist. Folgende Übersicht fasst die Berechnung des linearen Trends zusammen:

```
Call:
lm(formula = DOY ~ Jahr, data = res)

Residuals:
    Min       1Q   Median       3Q      Max
-9.9274 -1.6939 -0.0599  1.8673  8.0327

Coefficients:
            Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept) 464.60034   50.85524   9.136 6.79e-13 ***
Jahr        -0.10612    0.02567  -4.134 0.000114 ***
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 3.53 on 59 degrees of freedom
Multiple R-squared:  0.2246, Adjusted R-squared:  0.2115
F-statistic: 17.09 on 1 and 59 DF,  p-value: 0.0001143
```

Abb. 21 (Mitte und unten) zeigt, dass es bei dieser Phase keinen Zusammenhang von Phaseneintritt und der Höhe (m ü.NN) der Beobachtungsstationen gibt. Die mittlere Teilgraphik zeigt die erhebliche Streuung der Werte einer bestimmten Höhenstufe.

Aufgrund der statistischen Kennwerte (s.o., Tab. 4 und 5 sowie Abb. 21 Mitte und unten) werden für diese Phase in Kapitel 5 keine landesweiten Punkt- und Flächenkarten dargestellt.

Winterraps – Beginn des Auflaufens in Baden-Württemberg

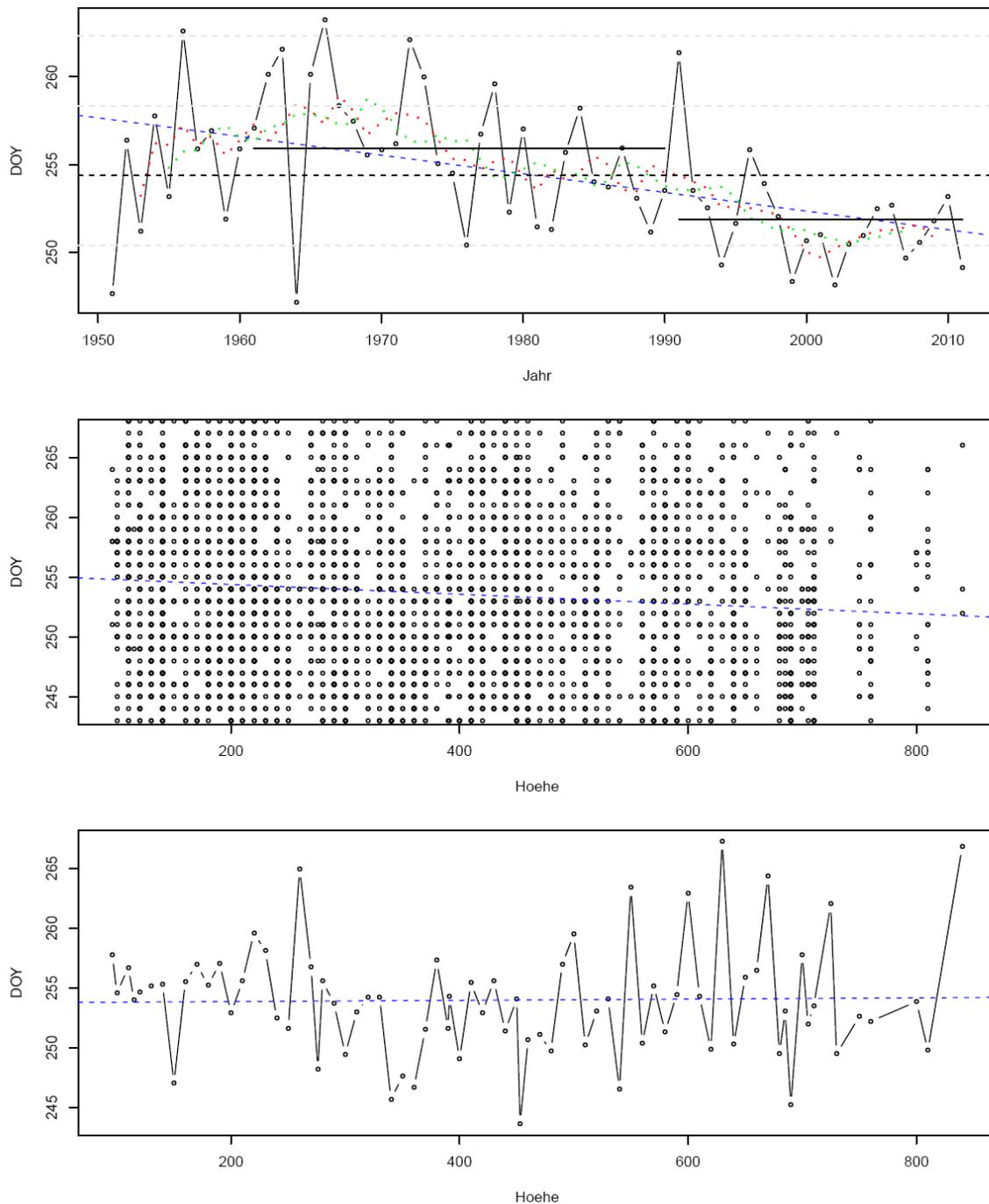


Abbildung 21. Winterraps (*Brassica napus*) – Beginn des Auflaufens (DOY, day of year) in Baden-Württemberg. Oben: Verlauf der arithmetischen Mittelwerte für die einzelnen Beobachtungsjahre über alle Stationen in Baden-Württemberg (–o–o–). Laufendes 5 Jahresmittel (rot gestrichelt), laufendes 10 Jahresmittel (grün gestrichelt). Linearer Trend für den Zeitraum 1951-2011 (blau gestrichelt). Mittelwert über alle Jahre (schwarz gestrichelt) und Mittelwerte für die Zeiträume 1961-1990 und 1991-2011 (schwarze Linien). Mittelwert über alle Jahre ± 1 (bzw. 2) * die Standardabweichung (grau gestrichelt). Mitte: Beziehung zwischen Höhe (m ü.NN) der Stationen und dem Eintritt der Phase. Alle Stationen als Punkt dargestellt. Unten: Beziehung zwischen Höhe (m ü.NN) der Stationen und dem Eintritt der Phase. Dargestellt sind die Mittelwerte über alle Stationen einer bestimmten Höhe.

4.14 WINTERRAPS (*BRASSICA NAPUS*) – BEGINN DER BLÜTE (PHASE ,144')

„Am Anfang des phänologischen Vollfrühlings kann diese charakteristische Phase beobachtet werden.

Die Phase ist zu melden, wenn etwa 5% der gelben Blüten geöffnet sind.

Die Phase ist noch nicht erreicht, wenn die ersten Einzelblüten im Bestand aufblühen.“ (DWD 1991, entspricht etwa BBCH-Code 61).

Im Mittel über den Zeitraum 1951 bis 2011 setzt der Beginn der Blüte beim Winterraps in Baden-Württemberg am 2. Mai (DOY 122) ein. Im Vergleich der Mittelwerte für die Zeiträume 1961-1990 und 1991 bis 2011 ist das Einsetzen dieser Phase etwa 7 Tage früher.

Für den gesamten 61-jährigen Zeitraum (1951-2011) ist ein leichter linearer Trend zu einem früheren Eintrittsdatum zu verzeichnen. Der lineare Trend ($y = -0.11148x + 342.73111$, $p=0.05202$, $R^2 = 0.06249$) zeigt, dass die Phase im Beobachtungs-zeitraum eine Verfrüfung von 1,1 Tagen pro Dekade aufweist. Das Bestimmtheitsmaß ist aber im Vergleich zu den Getreidearten sehr gering. Folgende Übersicht fasst die Berechnung des linearen Trends zusammen:

```
Call:
lm(formula = DOY ~ Jahr, data = res)

Residuals:
    Min       1Q   Median       3Q      Max
-16.5642  -4.7105  -0.1736   5.9105  14.0805

Coefficients:
            Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept) 342.73111  111.36435   3.078  0.00316 **
Jahr        -0.11148   0.05621  -1.983  0.05202 .
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 7.73 on 59 degrees of freedom
Multiple R-squared:  0.06249,    Adjusted R-squared:  0.0466
F-statistic: 3.933 on 1 and 59 DF,  p-value: 0.05202
```

Abb. 22 (Mitte und unten) zeigt einen klaren Zusammenhang des Blühbeginns beim Winterraps mit der Höhe (m ü.NN) der Beobachtungsstation. Die Abweichungen vom Trend in der unteren Teilgrafik ergeben sich auch beim Raps aus der Ungleichverteilung der Stationen.

Winterraps – Beginn der Blüte in Baden-Württemberg

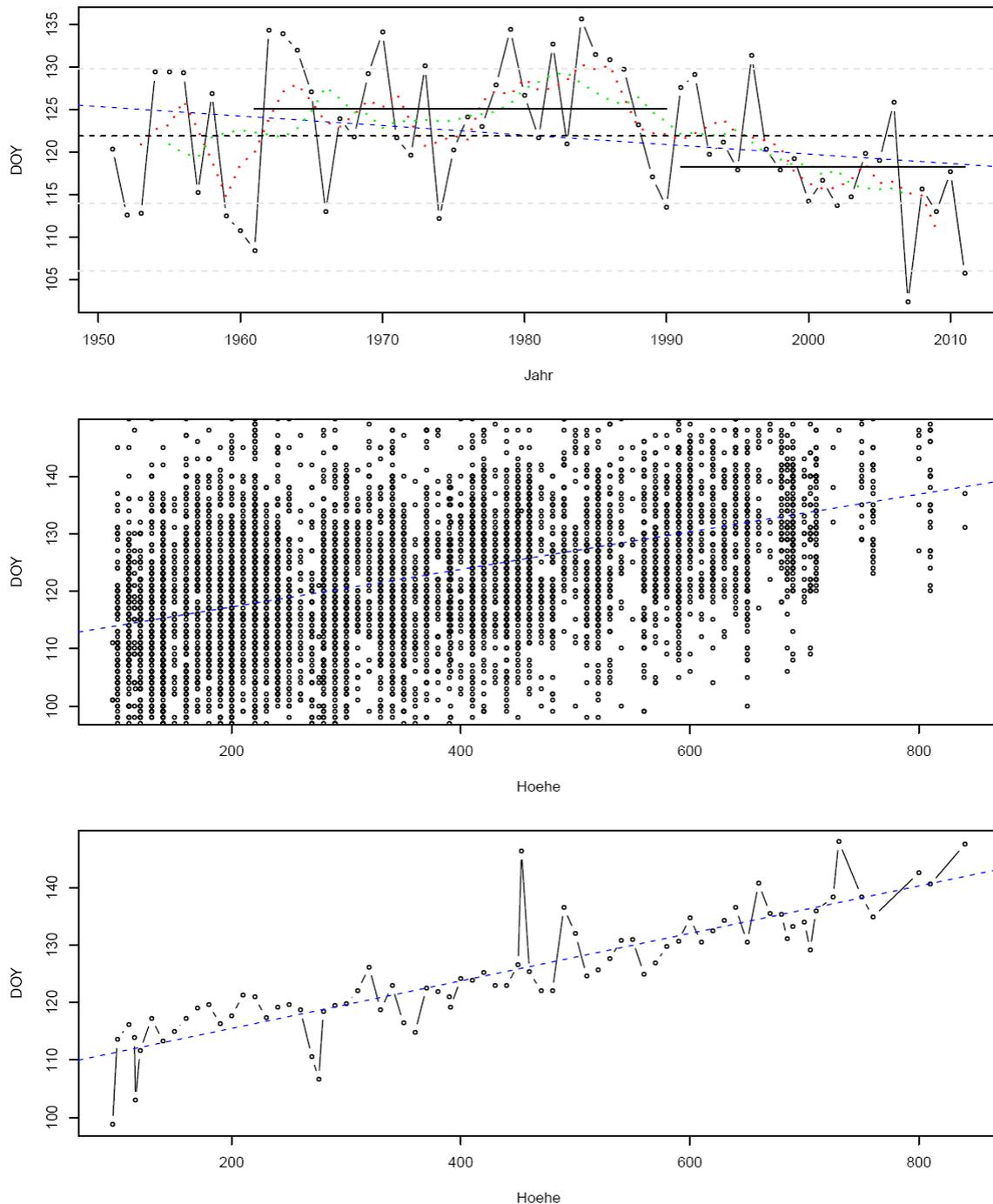


Abbildung 22. Winterraps (*Brassica napus*) – Beginn der Blüte (DOY, day of year) in Baden-Württemberg. Oben: Verlauf der arithmetischen Mittelwerte für die einzelnen Beobachtungsjahre über alle Stationen in Baden-Württemberg (--o--o--). Laufendes 5 Jahresmittel (rot gestrichelt), laufendes 10 Jahresmittel (grün gestrichelt). Linearer Trend für den Zeitraum 1951-2011 (blau gestrichelt). Mittelwert über alle Jahre (schwarz gestrichelt) und Mittelwerte für die Zeiträume 1961-1990 und 1991-2011 (schwarze Linien). Mittelwert über alle Jahre ± 1 (bzw. 2) * die Standardabweichung (grau gestrichelt). Mitte: Beziehung zwischen Höhe (m ü.NN) der Stationen und dem Eintritt der Phase. Alle Stationen als Punkt dargestellt. Unten: Beziehung zwischen Höhe (m ü.NN) der Stationen und dem Eintritt der Phase. Dargestellt sind die Mittelwerte über alle Stationen einer bestimmten Höhe.

4.15 WINTERRAPS (*BRASSICA NAPUS*) – BEGINN DER ERNTE (PHASE ,181')

„Der Beginn der Vollreife ist dann eingetreten, wenn die meisten Raps-körner halbseitig schwarz sind. Die Zeiten für Beginn der Vollreife und Ernte liegen unter normalen Umständen etwa 10-14 Tage auseinander.

Der phänologische Beobachter wird feststellen können, daß Raps - im Gegensatz zu Getreide - vermehrt in den Morgenstunden oder sogar nach leichten Regenfällen gemäht wird, da bei höherer Luftfeuchte die Körner nicht so rasch ausfallen.

Diese **unechte phänologische Phase** ist zu melden, wenn das beobachtete Winter-rapsfeld mit dem Mährescher abgeerntet wird“

(DWD 1991, kein BBCH-Code).

Abb. 23 (oben) zeigt die Zeitreihe des Beginns der Ernte beim Winterraps in Baden-Württemberg für den Zeitraum 1951–2011. Mittelwert für diesen Zeitraum ist der 22. Juli (DOY 203). Die Zeitreihe zeigt starke Schwankungen um den Mittelwert (Range = 30 Tage).

Vergleicht man die Mittelwerte der Zeiträume 1961-1990 und 1991-2011, so setzt die Phase im letzten Zeitraum nur um einen Tag später ein.

Der lineare Trend ($y = 0.25825x - 311.13922$, $p = 0.0000111$, $R^2 = 0.2811$) zeigt, dass die Phase über den gesamten Beobachtungszeitraum (1951-2011) keine Verfrüfung wie bei den Getreiden sondern eine **Ver-spätung** von 2,6 Tagen pro Dekade aufweist. Folgende Übersicht fasst die Berechnung des linearen Trends zusammen:

```
Call:
lm(formula = DOY ~ Jahr, data = res)

Residuals:
    Min       1Q   Median       3Q      Max
-16.1716  -3.3743  -0.4371   3.5151  19.5150

Coefficients:
            Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept) -311.13922   106.51415  -2.921  0.00494 **
Jahr          0.25825     0.05377   4.803 1.11e-05 ***
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 7.394 on 59 degrees of freedom
Multiple R-squared:  0.2811, Adjusted R-squared:  0.2689
F-statistic: 23.07 on 1 and 59 DF,  p-value: 1.110e-05
```

Während es im Zeitraum 1951 bis etwa 1995 einen auffallenden Trend zu immer späteren Ernteterminen beim Raps gab, ist dieser späte Erntetermin seit 1995 eher rückläufig (siehe auch Tabelle 5).

Abb. 23 (Mitte und unten) zeigt einen klaren Zusammenhang des Phaseneintritts mit der Höhe (m ü.NN) der Beobachtungsstationen. Die mittlere Teilgraphik zeigt die starke Streuung der Werte einer bestimmten Höhenstufe. Die Abweichungen vom Trend in der unteren Teilgrafik ergeben sich vor allem aus der Ungleichverteilung der Stationen. Dabei sind auch beim Rapsanbau hochgelegene Stationen unterrepräsentiert.

Winterraps – Beginn der Ernte in Baden-Württemberg

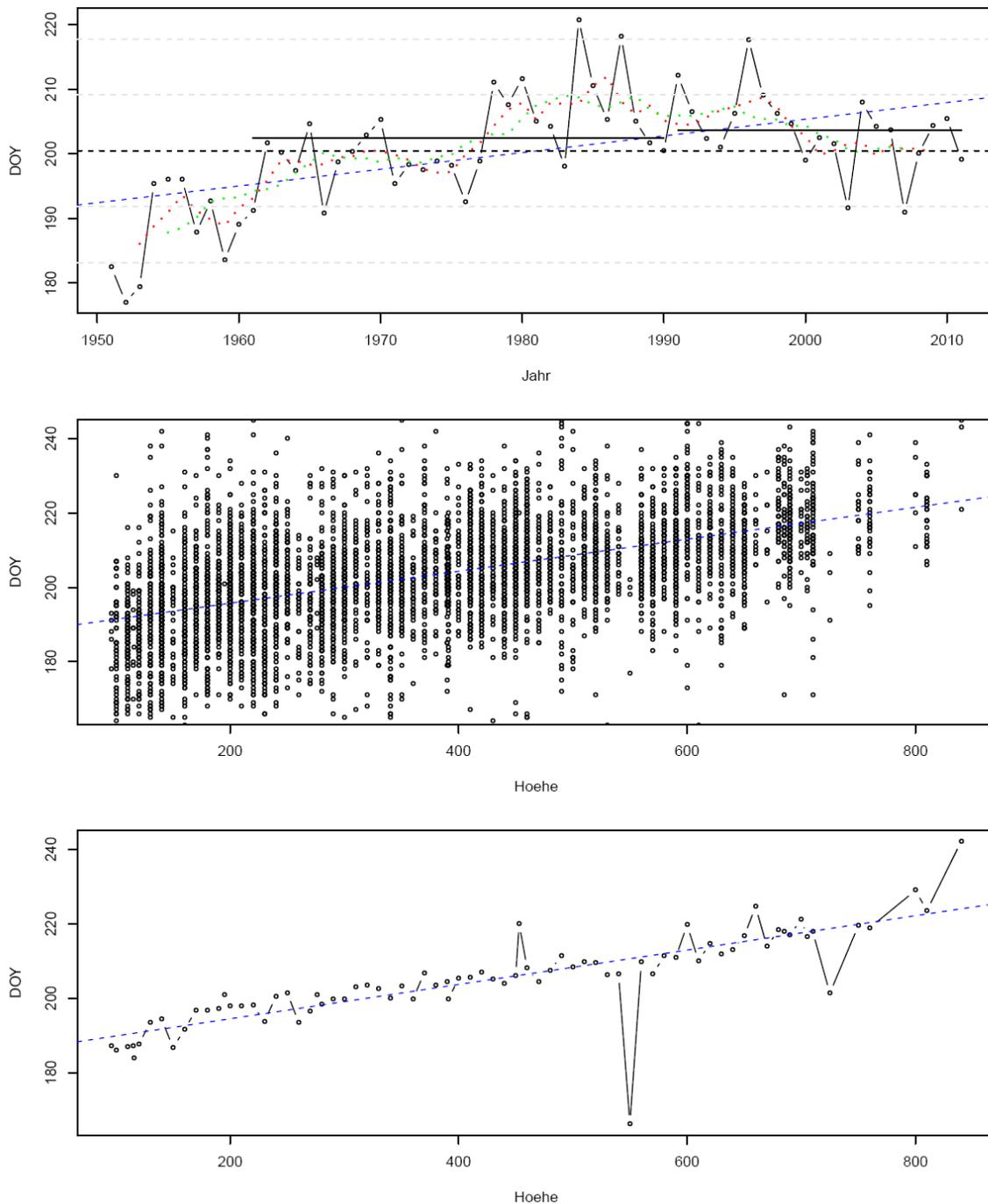


Abbildung 23. Winterraps (*Brassica napus*) – Beginn der Ernte (DOY, day of year) in Baden-Württemberg. Oben: Verlauf der arithmetischen Mittelwerte für die einzelnen Beobachtungsjahre über alle Stationen in Baden-Württemberg (–o–o–). Laufendes 5 Jahresmittel (rot gestrichelt), laufendes 10 Jahresmittel (grün gestrichelt). Linearer Trend für den Zeitraum 1951-2011 (blau gestrichelt). Mittelwert über alle Jahre (schwarz gestrichelt) und Mittelwerte für die Zeiträume 1961-1990 und 1991-2011 (schwarze Linien). Mittelwert über alle Jahre ± 1 (bzw. 2) * die Standardabweichung (grau gestrichelt). Mitte: Beziehung zwischen Höhe (m ü.NN) der Stationen und dem Eintritt der Phase. Alle Stationen als Punkt dargestellt. Unten: Beziehung zwischen Höhe (m ü.NN) der Stationen und dem Eintritt der Phase. Dargestellt sind die Mittelwerte über alle Stationen einer bestimmten Höhe.

4.16 ZUCKERRÜBE (*BETA VULGARIS* SUBSP. *VULGARIS*, *ALTISSIMA*-GRUPPE) – BEGINN DES AUFLAUENS
(PHASE ,043')

„Diese Phase ist erreicht, wenn die Keimblätter den Erdboden durchbrochen und die Pflanzen eine Höhe von ca. 1 cm erreicht haben. Die einzelnen Reihen sind bei näherem Hinsehen schon erkennbar.

Das Auflaufen der Beta-Rüben erfolgt in der Regel ziemlich gleichmäßig. Nach starker Bodenverschlammung kann es in manchen Jahren jedoch Schwierigkeiten bei der Beobachtung geben.“ (DWD 1991, entspricht ungefähr BBCH-Code 10, eigentlich Blattwachstum).

Abb. 24 (oben) zeigt die Zeitreihe des Beginns des Auflaufens bei der Zuckerrübe in Baden-Württemberg für den Zeitraum 1951–2011. Mittelwert für den Zeitraum 1951–2011 ist der 28. April (DOY 118). Vergleicht man die Mittelwerte der Zeiträume 1961-1990 und 1991-2011, so setzt die Phase im letzten Zeitraum etwa 4 Tage früher ein.

Der lineare Trend ($y = -0.09659x + 309.92514$, $p = 0.024413$, $R^2 = 0.08293$) zeigt, dass die Phase im Beobachtungszeitraum (1951-2011) eine Verfrühung von weniger als einem Tag pro Dekade aufweist. Folgende Übersicht fasst die Berechnung des linearen Trends zusammen:

```
Call:
lm(formula = DOY ~ Jahr, data = res)

Residuals:
    Min       1Q   Median       3Q      Max
-13.4576  -3.3203   0.6742   3.6654  13.7883

Coefficients:
            Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept) 309.92514    82.83886   3.741 0.000417 ***
Jahr        -0.09659     0.04182  -2.310 0.024413 *
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 5.75 on 59 degrees of freedom
Multiple R-squared:  0.08293, Adjusted R-squared:  0.06739
F-statistic: 5.335 on 1 and 59 DF,  p-value: 0.02441
```

Abb. 24 (Mitte und unten) zeigt einen klaren Zusammenhang des Phaseneintritts mit der Höhe (m ü.NN) der Beobachtungsstationen. Die mittlere Teilgraphik zeigt die starke Streuung der Werte einer bestimmten Höhenstufe. Die Abweichungen vom Trend in der unteren Teilgrafik ergeben sich vor allem aus der Ungleichverteilung der Stationen. Hochgelegene Stationen eignen sich nicht für den Anbau von Zuckerrüben.

Aufgrund der **Ungleichverteilung** der Beobachtungsstationen in Baden-Württemberg sowie der statistischen Kennwerte (s.o. und Tab. 3, 4 und 5) werden für diese Phase in Kapitel 5 keine landesweiten Punkt- und Flächenkarten dargestellt.

Zuckerrübe – Beginn des Auflaufens in Baden-Württemberg

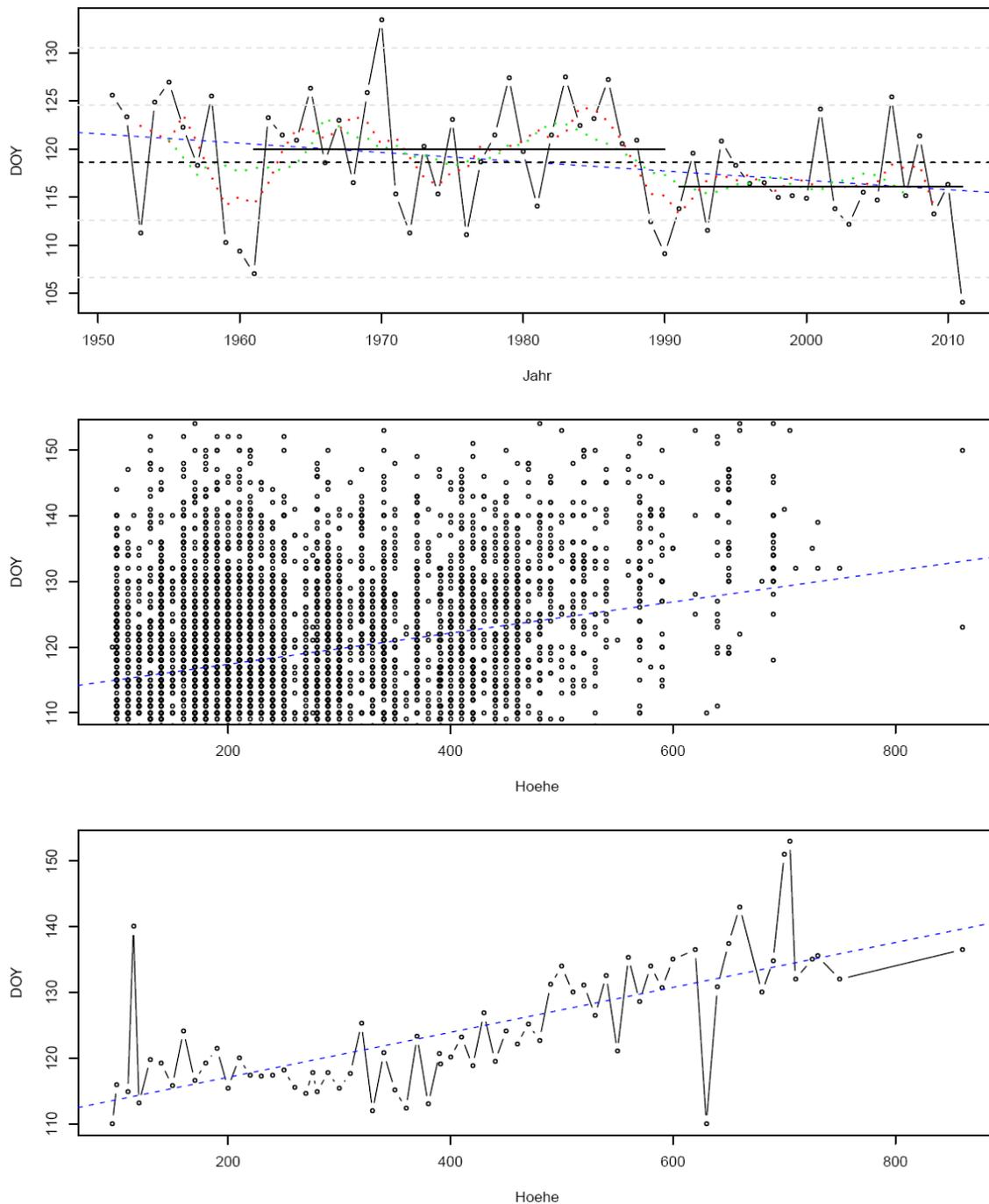


Abbildung 24. Zuckerrübe (*Beta vulgaris subsp. vulgaris*, *Altissima*-Gruppe) – Beginn des Auflaufens (DOY, day of year) in Baden-Württemberg. Oben: Verlauf der arithmetischen Mittelwerte für die einzelnen Beobachtungsjahre über alle Stationen in Baden-Württemberg (–o–o–). Laufendes 5 Jahresmittel (rot gestrichelt), laufendes 10 Jahresmittel (grün gestrichelt). Linearer Trend für den Zeitraum 1951-2011 (blau gestrichelt). Mittelwert über alle Jahre (schwarz gestrichelt) und Mittelwerte für die Zeiträume 1961-1990 und 1991-2011 (schwarze Linien). Mittelwert über alle Jahre ± 1 (bzw. 2) * die Standardabweichung (grau gestrichelt). Mitte: Beziehung zwischen Höhe (m ü.NN) der Stationen und dem Eintritt der Phase. Alle Stationen als Punkt dargestellt. Unten: Beziehung zwischen Höhe (m ü.NN) der Stationen und dem Eintritt der Phase. Dargestellt sind die Mittelwerte über alle Stationen einer bestimmten Höhe.

4.17 ZUCKERRÜBE (*BETA VULGARIS SUBSP. VULGARIS, ALTISSIMA-GRUPPE*) – BEGINN DER ERNTE (PHASE ,099')

„Mit dem Beginn der Zuckerrübenkampagne ist in Anpassung an die Verträge der Zuckerrübenfabriken ab der zweiten Septemberdekade zu rechnen. Futterrüben bleiben dagegen oft weitaus länger im Boden, weil sie bei Tagesmitteltemperaturen von über 6°C noch Nährstoffe einlagern.

Diese **unechte phänologische Phase** ist zu melden, wenn das beobachtete Feld abgeerntet wird“

(DWD 1991, kein BBCH-Code).

Abb. 25 (oben) zeigt die Zeitreihe des Beginns der Ernte bei der Zuckerrübe in Baden-Württemberg für den Zeitraum 1951–2011. Mittelwert für den Zeitraum 1951–2011 ist der 6. Oktober (DOY 279). Vergleicht man die Mittelwerte der Zeiträume 1961-1990 und 1991-2011, so setzt die Phase im letzten Zeitraum etwa 3 Tage später ein.

Der lineare Trend ($y = -0.01029x + 259.54632$, $p = 0.715$, $R^2 = 0.002277$) zeigt, dass die Phase im Beobachtungszeitraum (1951-2011) eine Verfrüfung von 0.1 Tagen pro Dekade aufweist. Der Trend für diese unechte phänologische Phase ist nicht signifikant. Folgende Übersicht fasst die Berechnung des linearen Trends zusammen:

```
Call:
lm(formula = DOY ~ Jahr, data = res)

Residuals:
    Min       1Q   Median       3Q      Max
-5.6571 -2.8693 -0.6239  1.6520 13.5619

Coefficients:
              Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept) 259.54632    55.56047   4.671 1.78e-05 ***
Jahr          0.01029     0.02805   0.367  0.715
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 3.857 on 59 degrees of freedom
Multiple R-squared:  0.002277, Adjusted R-squared: -0.01463
F-statistic: 0.1347 on 1 and 59 DF,  p-value: 0.715
```

Aufgrund der **Ungleichverteilung** der Beobachtungsstationen in Baden-Württemberg sowie der statistischen Kennwerte (s.o. und Tab. 3, 4 und 5) werden für diese Phase bzw. für die Zuckerrübe gesamt in Kapitel 5 keine landesweiten Punkt- und Flächenkarten dargestellt.

Zuckerrübe – Beginn der Ernte in Baden-Württemberg

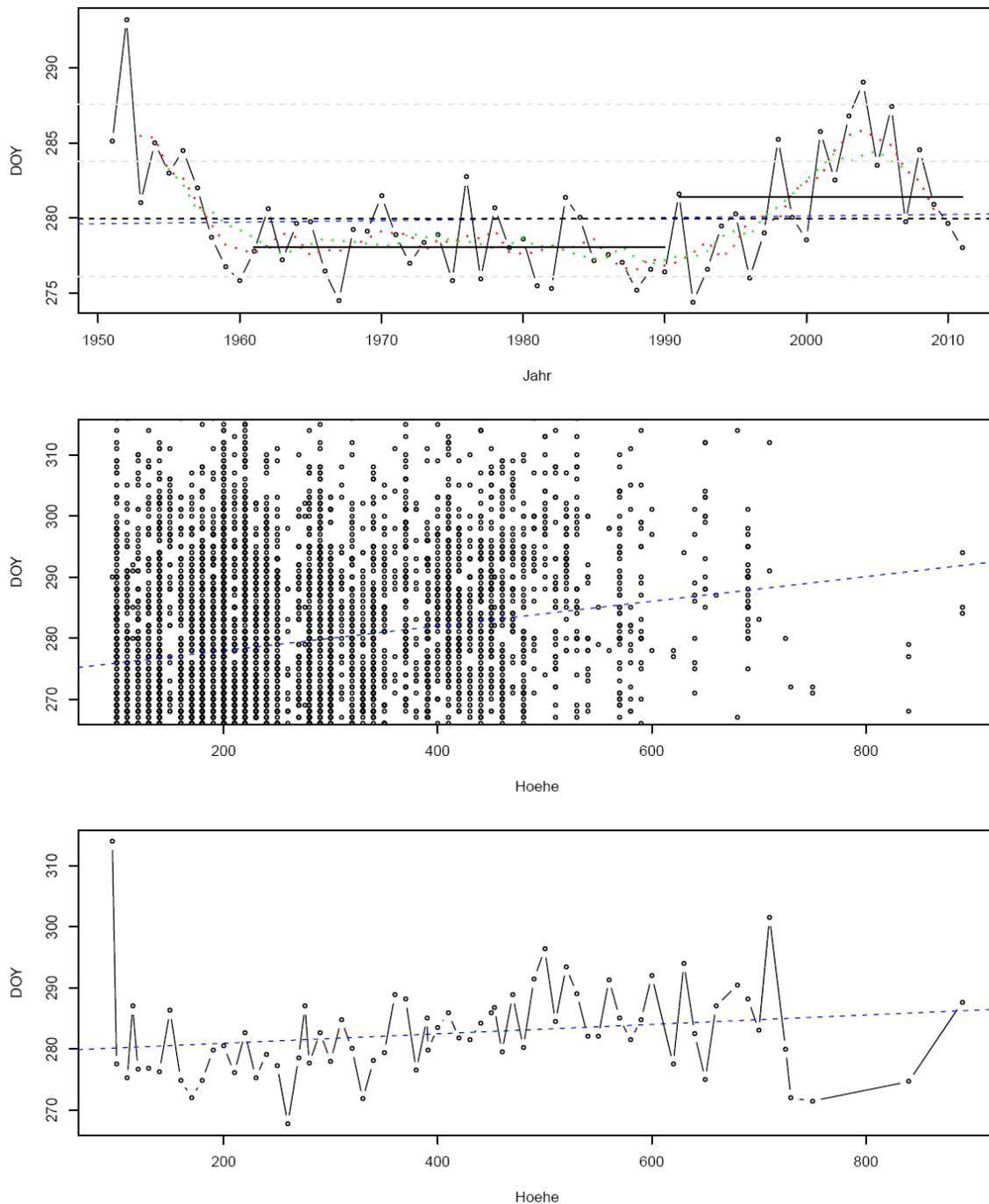


Abbildung 25. Zuckerrübe (*Beta vulgaris subsp. vulgaris*, *Altissima*-Gruppe) – Beginn der Ernte (DOY, day of year) in Baden-Württemberg. Oben: Verlauf der arithmetischen Mittelwerte für die einzelnen Beobachtungsjahre über alle Stationen in Baden-Württemberg (--o--o--). Laufendes 5 Jahresmittel (rot gestrichelt), laufendes 10 Jahresmittel (grün gestrichelt). Linearer Trend für den Zeitraum 1951-2011 (blau gestrichelt). Mittelwert über alle Jahre (schwarz gestrichelt) und Mittelwerte für die Zeiträume 1961-1990 und 1991-2011 (schwarze Linien). Mittelwert über alle Jahre ± 1 (bzw. 2) * die Standardabweichung (grau gestrichelt). Mitte: Beziehung zwischen Höhe (m ü.NN) der Stationen und dem Eintritt der Phase. Alle Stationen als Punkt dargestellt. Unten: Beziehung zwischen Höhe (m ü.NN) der Stationen und dem Eintritt der Phase. Dargestellt sind die Mittelwerte über alle Stationen einer bestimmten Höhe.

4.18 MAIS (*ZEAMAYS*) – BEGINN DES AUFLAUENS (PHASE ,141' & ,296')

„Bei günstigen Bodenverhältnissen beginnt der Mais schon eine Woche nach der Saat aufzulaufen.“

Die Phase ist erreicht, wenn die Pflänzchen die Erdoberfläche durchbohren und die Höhe von etwa 1 cm erreicht haben. Die ursprünglich noch völlig eingerollten Keimblätter beginnen sich zu entfalten.

“ (DWD 1991, entspricht etwa BBCH-Code 10).

Im Mittel über den Zeitraum 1951 bis 2011 läuft der Mais in Baden-Württemberg am 15. Mai (DOY 135) auf. Das sind etwa zwei Wochen nach dem Beginn der Bestellung (Phase ,140'). Im Vergleich der Mittelwerte für die Zeiträume 1961-1990 und 1991 bis 2011 setzt das Auflaufen des Mais etwa 6 Tage früher ein.

Der lineare Trend ($y = -0.14596x + 424.61648$, $p=1.506e-06$, $R^2 = 0.3266$) zeigt, dass die Phase im Beobachtungszeitraum (1951-2011) eine Verfrühung von 1,4 Tagen pro Dekade aufweist. Folgende Übersicht fasst die Berechnung des linearen Trends zusammen:

```
Call:
lm(formula = DOY ~ Jahr, data = res)

Residuals:
    Min       1Q   Median       3Q      Max
-7.3773 -3.0847  0.5002  2.5950  8.5309

Coefficients:
            Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept) 424.61648   54.05325    7.856 9.61e-11 ***
Jahr        -0.14596    0.02728   -5.349 1.51e-06 ***
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 3.752 on 59 degrees of freedom
Multiple R-squared:  0.3266,    Adjusted R-squared:  0.3152
F-statistic: 28.62 on 1 and 59 DF,  p-value: 1.506e-06
```

Abb. 26 (Mitte und unten) zeigt auch für den Mais einen Zusammenhang des Phaseneintritts mit der Höhe (m ü.NN) der Beobachtungsstation. Die starken Abweichungen vom Trend in der unteren Teilgrafik ergeben sich vor allem aus der Ungleichverteilung der Stationen. Maisanbau konzentriert sich auf Lagen unterhalb von 600 m üNN.

Der Mais zeigt damit eine der wenigen „Auflauf-Phasen“, die einen klaren Zusammenhang mit der Höhe (m ü.NN) zeigen.

Zur Erstellung der Abb. 26 und zur Berechnung des linearen Trends wurden die Daten zur Phäno-Phase 296 „*Mais (Ernteverfahren nicht gemeldet) – Beginn des Auflaufens*“ bei dieser Phase (141) integriert. Dies gilt auch für die phänologischen Karten in Kapitel 5. Weitere Anmerkungen zum Mais finden sich in Kapitel 6.

Mais – Beginn des Auflaufens in Baden-Württemberg

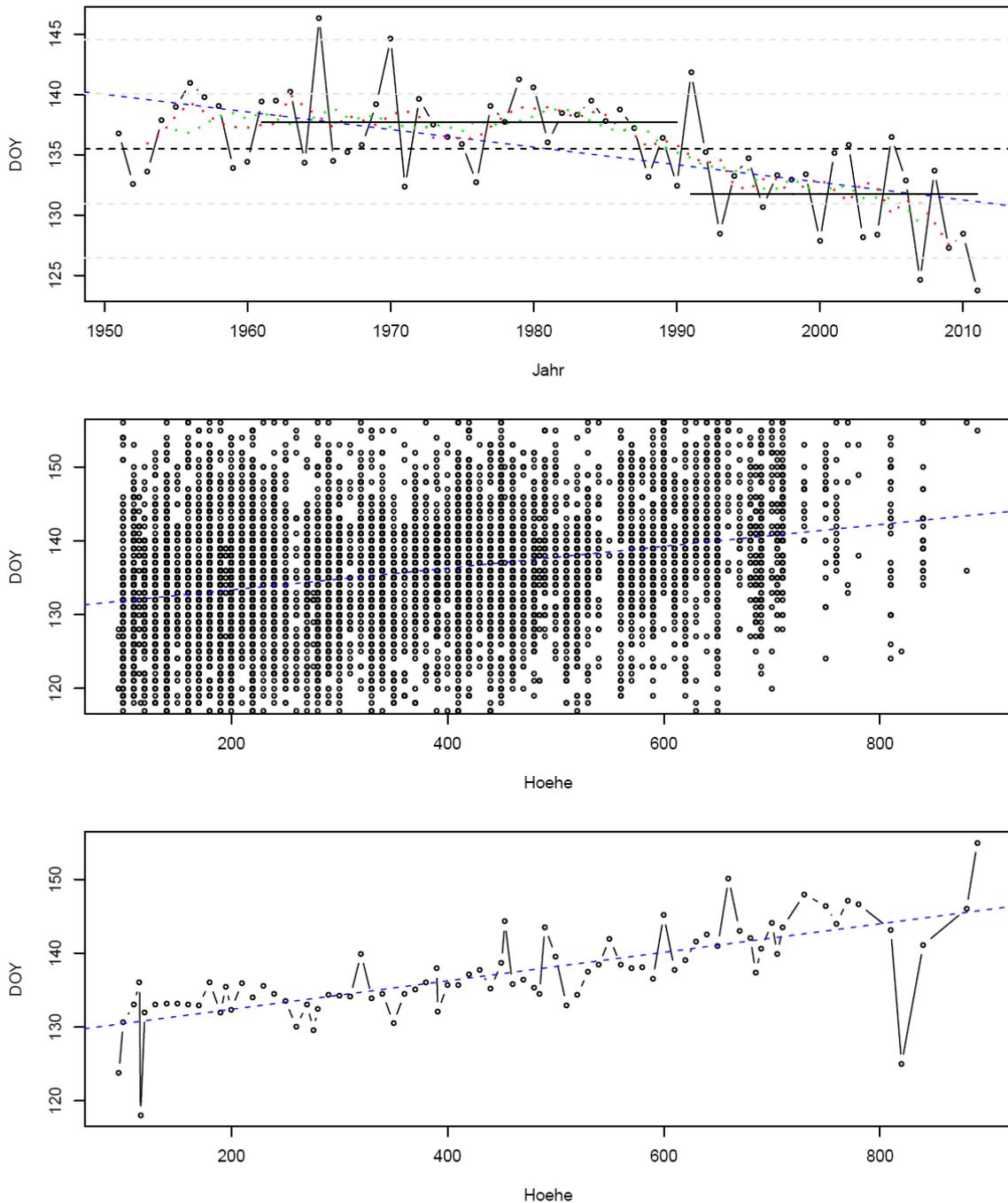


Abbildung 26. Mais (*Zea mays*) – Beginn der Blüte (DOY, day of year) in Baden-Württemberg. Oben: Verlauf der arithmetischen Mittelwerte für die einzelnen Beobachtungsjahre über alle Stationen in Baden-Württemberg (--o--o--). Laufendes 5 Jahresmittel (rot gestrichelt), laufendes 10 Jahresmittel (grün gestrichelt). Linearer Trend für den Zeitraum 1951-2011 (blau gestrichelt). Mittelwert über alle Jahre (schwarz gestrichelt) und Mittelwerte für die Zeiträume 1961-1990 und 1991-2011 (schwarze Linien). Mittelwert über alle Jahre ± 1 (bzw. 2) * die Standardabweichung (grau gestrichelt). Mitte: Beziehung zwischen Höhe (m ü.NN) der Stationen und dem Eintritt der Phase. Alle Stationen als Punkt dargestellt. Unten: Beziehung zwischen Höhe (m ü.NN) der Stationen und dem Eintritt der Phase. Dargestellt sind die Mittelwerte über alle Stationen einer bestimmten Höhe.

4.19 MAIS (*ZEAMAYS*) – BEGINN DES RIPSENSCHIEBENS (PHASE ,142' & ,298')

„Die Daten für den Beginn des Rispenschiebens werden in ein agrarmeteorologisches Modell eingespeist, das den Wasserbedarf der Maispflanze simuliert. Mit Hilfe des Modells kann dann berechnet werden, welche künstlichen Wassergaben unter Berücksichtigung der aktuellen Witterungsverhältnisse und der Bestandsentwicklung sinnvoll sind.

Wenn bei etwa 50% der Pflanzen am Ende des Stengels die Rispe, auch Fahne genannt, gerade sichtbar wird, ist diese Phase eingetreten.

“ (DWD 1991, entspricht etwa BBCH-Code 53).

Im Mittel über den Zeitraum 1951 bis 2011 schiebt der Mais in Baden-Württemberg am 6. Juli (DOY 187) die Fahne. Das sind etwa 66 Tage nach dem Beginn der Bestellung (Phase ,140'). Im Vergleich der Mittelwerte für die Zeiträume 1961-1990 und 1991 bis 2011 setzt das Rispenschieben des Mais etwa 7 Tage später ein. Ursache für diesen ungewöhnlichen Trend im Zeitraum 1950 bis 1990 könnte die Verwendung spätblühender Sorten sein.

Der lineare Trend ($y = 0.43209x - 669.73422$, $p = 2.983e-10$, $R^2 = 0.5044$) zeigt, dass die Phase im Beobachtungszeitraum (1951-2011) eine Verspätung von von 4,3 Tagen pro Dekade aufweist. Folgende Übersicht fasst die Berechnung des linearen Trends zusammen:

```
Call:
lm(formula = DOY ~ Jahr, data = res)

Residuals:
    Min       1Q   Median       3Q      Max
-14.4969  -4.2277  -0.5414   3.4078  21.1789

Coefficients:
            Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept) -669.73422  112.42450  -5.957 1.69e-07 ***
Jahr          0.43209   0.05673   7.617 2.98e-10 ***
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 7.6 on 57 degrees of freedom
Multiple R-squared:  0.5044,    Adjusted R-squared:  0.4957
F-statistic: 58.02 on 1 and 57 DF,  p-value: 2.983e-10
```

Abb. 27 (Mitte und unten) zeigt auch für den Mais einen Zusammenhang des Phaseneintritts mit der Höhe (m ü.NN) der Beobachtungsstation. Die starken Abweichungen vom Trend in der unteren Teilgrafik ergeben sich vor allem aus der Ungleichverteilung der Stationen. Vor allem hoch gelegene Stationen sind aufgrund thermischer Grenzen deutlich unterrepräsentiert.

Zur Erstellung der Abb. 27 und zur Berechnung des linearen Trends wurden die Daten zur Phäno-Phase 298 „*Mais (Ernteverfahren nicht gemeldet) – Beginn des Rispenschiebens*“ bei dieser Phase (142) integriert. Dies gilt auch für die phänologischen Karten in Kapitel 5.

Mais – Beginn des Rispschiebens in Baden-Württemberg

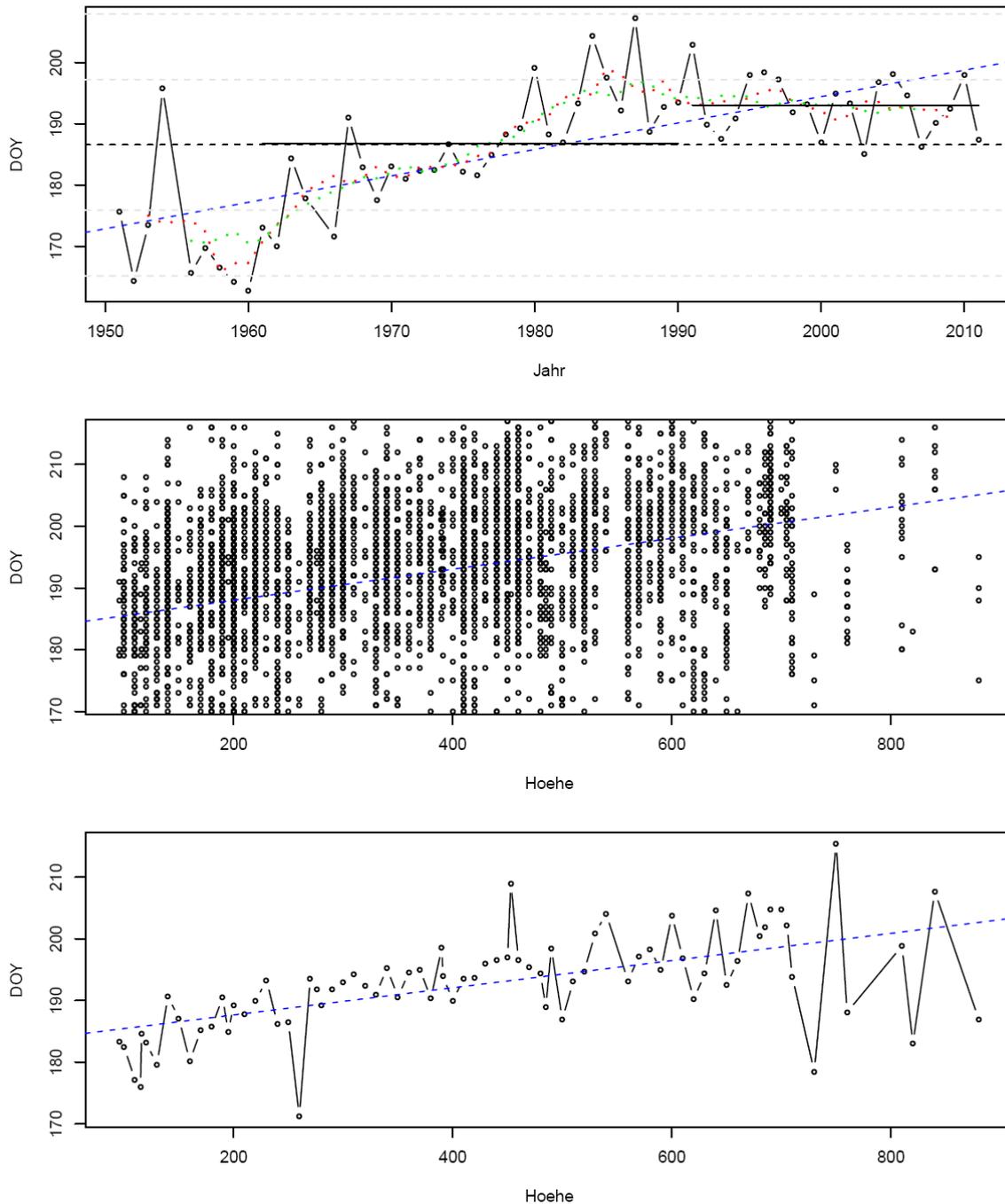


Abbildung 27. Mais (*Zea mays*) – Beginn des Rispschiebens (DOY, day of year) in Baden-Württemberg. Oben: Verlauf der arithmetischen Mittelwerte für die einzelnen Beobachtungsjahre über alle Stationen in Baden-Württemberg (--o--o--). Laufendes 5 Jahresmittel (rot gestrichelt), laufendes 10 Jahresmittel (grün gestrichelt). Linearer Trend für den Zeitraum 1951-2011 (blau gestrichelt). Mittelwert über alle Jahre (schwarz gestrichelt) und Mittelwerte für die Zeiträume 1961-1990 und 1991-2011 (schwarze Linien). Mittelwert über alle Jahre ± 1 (bzw. 2) * die Standardabweichung (grau gestrichelt). Mitte: Beziehung zwischen Höhe (m ü.NN) der Stationen und dem Eintritt der Phase. Alle Stationen als Punkt dargestellt. Unten: Beziehung zwischen Höhe (m ü.NN) der Stationen und dem Eintritt der Phase. Dargestellt sind die Mittelwerte über alle Stationen einer bestimmten Höhe.

4.20 MAIS (ZEA MAYS) – BEGINN DER ERNTE (PHASE ,196' & ,303')

“

Es ist der Tag zu melden, an dem das beobachtete Maisfeld abgeerntet wird.

“ (DWD 1991).

Im Mittel über den Zeitraum 1951 bis 2011 wird der Mais in Baden-Württemberg am 24. September (DOY 267) geerntet. Im Vergleich der Mittelwerte für die Zeiträume 1961-1990 und 1991 bis 2011 setzt die Ernte beim Mais etwa 2 Tage später ein.

Der lineare Trend ($y = -0.008131x + 252.1$, $p=0.8988$, $R^2 = 0.0002766$) zeigt, dass die Phase im Beobachtungszeitraum (1951-2011) eine Verspätung von weniger als 0,1 Tagen pro Dekade aufweist. Folgende Übersicht fasst die Berechnung des linearen Trends zusammen:

```
Call:
lm(formula = DOY ~ Jahr, data = res)

Residuals:
    Min       1Q   Median       3Q      Max
-26.5933  -5.8701   0.7269   6.3532  22.4543

Coefficients:
            Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept)  2.521e+02  1.261e+02   2.000  0.0502 .
Jahr          8.131e-03  6.364e-02   0.128  0.8988
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 8.751 on 59 degrees of freedom
Multiple R-squared:  0.0002766,    Adjusted R-squared:  -0.01667
F-statistic: 0.01632 on 1 and 59 DF,  p-value: 0.8988
```

Abb. 28 (Mitte und unten) zeigt auch für den Mais einen Zusammenhang des Phaseneintritts mit der Höhe (m ü.NN) der Beobachtungsstation. Die starken Abweichungen vom Trend in der unteren Teilgrafik ergeben sich vor allem aus der Ungleichverteilung der Stationen.

Obwohl die Ernte beim Mais einen Zusammenhang mit der Höhe ü.NN aufweist kann keine Verfrühung bzw. Verspätung der Maisernte über den Beobachtungszeitraum festgestellt werden. Ursache hierfür ist sicherlich die Verwendung anderer Sorten im Laufe der Zeit (siehe hierzu auch Kapitel 6).

Zur Erstellung der Abb. 28 und zur Berechnung des linearen Trends wurden die Daten zur Phäno-Phase 303 „Mais (Ernteverfahren nicht gemeldet) – Beginn der Ernte“ bei dieser Phase (196) integriert. Dies gilt auch für die phänologischen Karten in Kapitel 5.

Mais – Beginn der Ernte in Baden-Württemberg

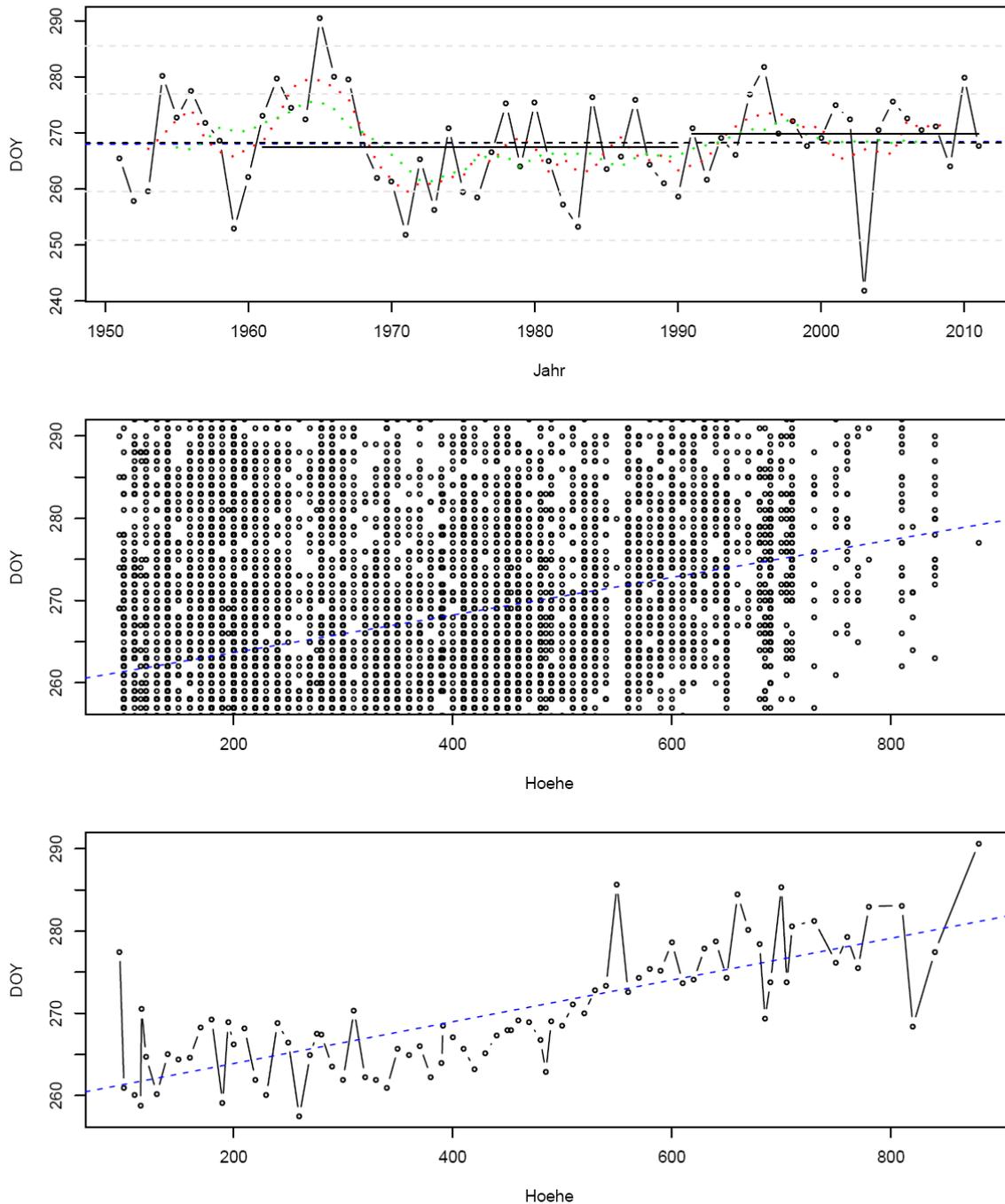


Abbildung 28. Mais (*Zea mays*) – Beginn der Ernte (DOY, day of year) in Baden-Württemberg. Oben: Verlauf der arithmetischen Mittelwerte für die einzelnen Beobachtungsjahre über alle Stationen in Baden-Württemberg (--o--o--). Laufendes 5 Jahresmittel (rot gestrichelt), laufendes 10 Jahresmittel (grün gestrichelt). Linearer Trend für den Zeitraum 1951-2011 (blau gestrichelt). Mittelwert über alle Jahre (schwarz gestrichelt) und Mittelwerte für die Zeiträume 1961-1990 und 1991-2011 (schwarze Linien). Mittelwert über alle Jahre ± 1 (bzw. 2) * die Standardabweichung (grau gestrichelt). Mitte: Beziehung zwischen Höhe (m ü.NN) der Stationen und dem Eintritt der Phase. Alle Stationen als Punkt dargestellt. Unten: Beziehung zwischen Höhe (m ü.NN) der Stationen und dem Eintritt der Phase. Dargestellt sind die Mittelwerte über alle Stationen einer bestimmten Höhe.

5 Phänologische Karten

Für die in Kapitel 4.1 bis 4.20 dargestellten Phasen werden an dieser Stelle phänologische Karten präsentiert. Dabei werden jeweils die Zeiträume 1961-1990 (KNP) und 1991 bis 2011 gegenübergestellt. Grundlage aller Karten sind die Mittelwerte der jeweiligen Phasen an den einzelnen Beobachtungsstationen im entsprechenden Beobachtungszeitraum.

Für jede Phase werden jeweils vier Karten abgebildet. Die ersten beiden Karten jeder Phase sind Punktkarten und stellen die Stationsmittelwerte für die beiden Zeiträume dar. Es sind die tatsächlich beobachteten Werte für die Stationen.

Die letzten beiden Karten stellen flächendeckende Verbreitungskarten der Phasen für ganz Baden-Württemberg dar. Diese Karten wurden aus den Punktkarten interpoliert. Die Karten sind das Ergebnis einer Flächen- und Höheninterpolation. Sie beruhen auf den Stationsmittelwerten und einem digitalen Höhenmodell (DHM) mit einer Rasterauflösung von 500 m x 500 m.

Für die Interpolation der Karten werden zwei Methoden in Kombination genutzt:

- die **höhenabhängige Regression** mit Ausgleich der Residuen durch eine Trendfläche als vertikale Interpolation;
- die **abstandsgewichtende Interpolation** (IDW – Inverse-Distance-Weighting Interpolation) als horizontale Interpolation.

Die höhenabhängige Regression bietet sich für alle Größen an, die eine ausgeprägte Höhenabhängigkeit aufweisen. Gerade in gebirgigen Einzugsgebieten sind die höhenbedingten Änderungen dieser Größen im Allgemeinen weit wichtiger und deutlicher als die horizontalen Änderungen.

Für jede Station wird die sogenannte Anomalie berechnet. Sie ist die Differenz zwischen dem Messwert (tatsächlicher Stationsmittelwert) und dem sich aus der Regressionsbeziehung ergebenden Schätzwert. Es handelt sich also um die Residuen der linearen Regression.

Die abstandsgewichtende Interpolation geht davon aus, dass der Wert einer Messgröße an einer Interpolationsstelle durch die Entfernungen der Interpolationsstelle zu den verschiedenen Stützstellen – in der Praxis also zu den phänologischen Beobachtungsstationen – und deren Messwerte beschrieben werden kann. Die Abhängigkeit des Interpolationswertes von der Entfernung der Stützstellen ist umgekehrt proportional, d.h. mit größer werdender Entfernung der Stützstelle zur Interpolationsstelle nimmt deren Einfluss auf den Interpolationswert ab. Durch die Potenzierung der inversen Entfernung mit einem festzulegenden Exponenten kann die Abnahme des Gewichtes mit der Entfernung gesteuert werden. Der Interpolationswert ergibt sich aus der Summe aller beitragenden gewichteten Stützstellenwerte.

Mit Hilfe der abstandsgewichteten Interpolation (IDW) werden die Anomalien in die Fläche übertragen. Der abschließende Schritt prägt jedem Gitterpunktwert, entsprechend seiner Höhe, den Regressionswert wieder auf.

Das hier angewandte Verfahren kann als „local trend surface prediction“ bezeichnet werden (Bivandt et al. 2008). ‚Local‘ bedeutet dabei, dass für die Erstellung der Regressionsgeraden (Höheninterpolation) nicht alle Stationen (Stützstellen) des Gesamtgebietes, sondern nur eine Auswahl von in der Nähe des Betrachtungspunktes liegenden Stationen genutzt wird. Dieses Vorgehen führt zu einer lokalen/regionalen Differenzierung des Höhengradienten. Dies erlaubt eine realistischere Abbildung lokaler/regionaler Klimagradienten. Es bedeutet konkret, dass der Gradient im westlichen Schwarzwald nicht notwendigerweise der Gleiche ist wie östlich der Schwäbischen Alb.

Unter den dargestellten Punkt- bzw. Flächenkarten werden jeweils die Mittelwerte für die betrachteten Phasen aufgeführt. Diese Mittelwerte sind nicht identisch. Bei den Mittelwerten unterhalb der Punktkarten handelt es sich um das arithmetische Mittel aller Beobachtungsstationen. Bei den Mittelwerten unterhalb der Flächenkarten jedoch um einen mit den Flächenanteilen der einzelnen Höhenlagen gewichteten Mittelwert.

Abweichungen zu den in Kapitel 4 genannten Mittelwerten ergeben sich aus einer für die Erstellung der Karten notwendigen Reduktion der verwendeten Stationen. So konnten für die Erstellung der Karten nur Stationen verwendet werden, die im betrachteten Zeitraum über mindestens die Hälfte der Jahre besetzt waren.

Die Graphikdateien aller erstellten Karten befinden sich auf beiliegender DVD (Folder: >PhaenoKarten\).

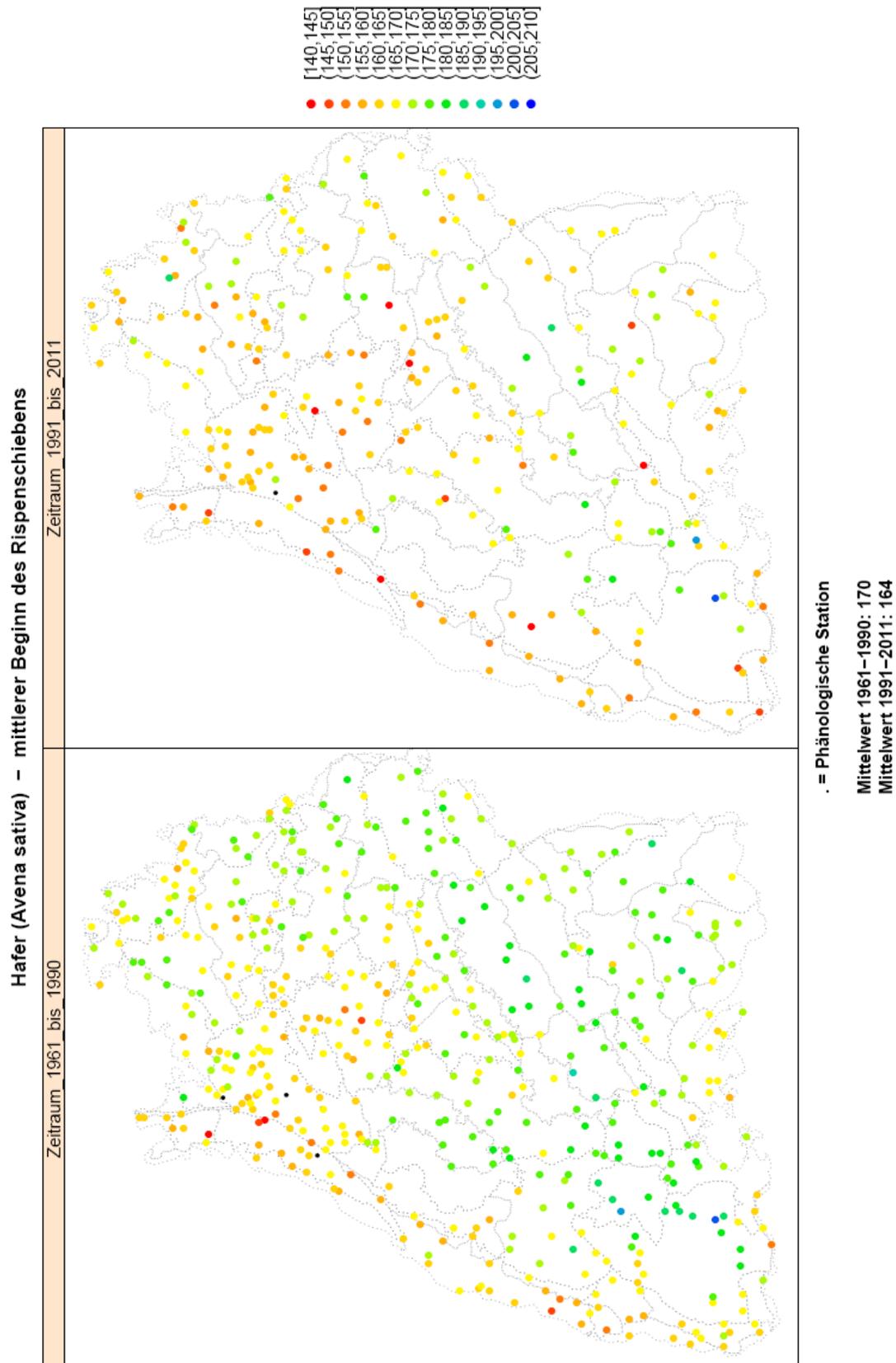


Abbildung 29. Phänologische Punktkarten für den Beginn des Rispenschiebens beim Hafer (*Avena sativa*) – Dargestellt sind die Stationsmittelwerte der Eintrittsdaten der Phase (DOY, day of year) für die Zeiträume 1961 – 1990 und 1991 – 2011. Schwarze Punkte liegen ausserhalb des in der Legende dargestellten Wertebereiches. Die angegebenen Mittelwerte sind die Mittelwerte über alle Stationen.

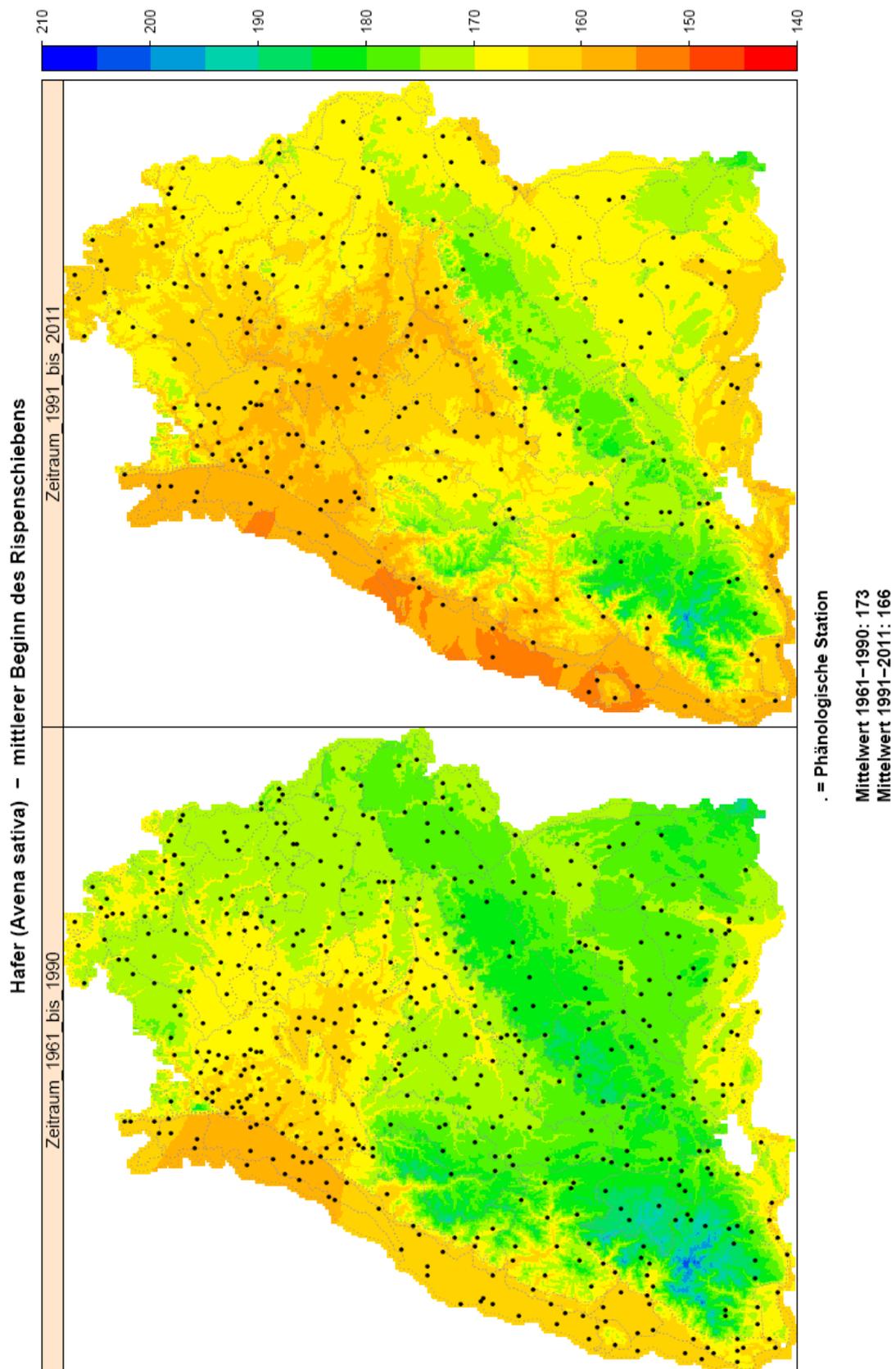


Abbildung 30. Phänologische Flächenkarten für den Beginn des Rispenschiebens beim Hafer (*Avena sativa*) – Dargestellt sind die Eintrittsdaten der Phase (DOY, day of year) für die Zeiträume 1961 – 1990 und 1991 – 2011. Schwarze Punkte markieren die Lage der zugrundeliegenden Beobachtungsstationen. Die angegebenen Mittelwerte sind die Flächenmittelwerte für Baden-Württemberg.

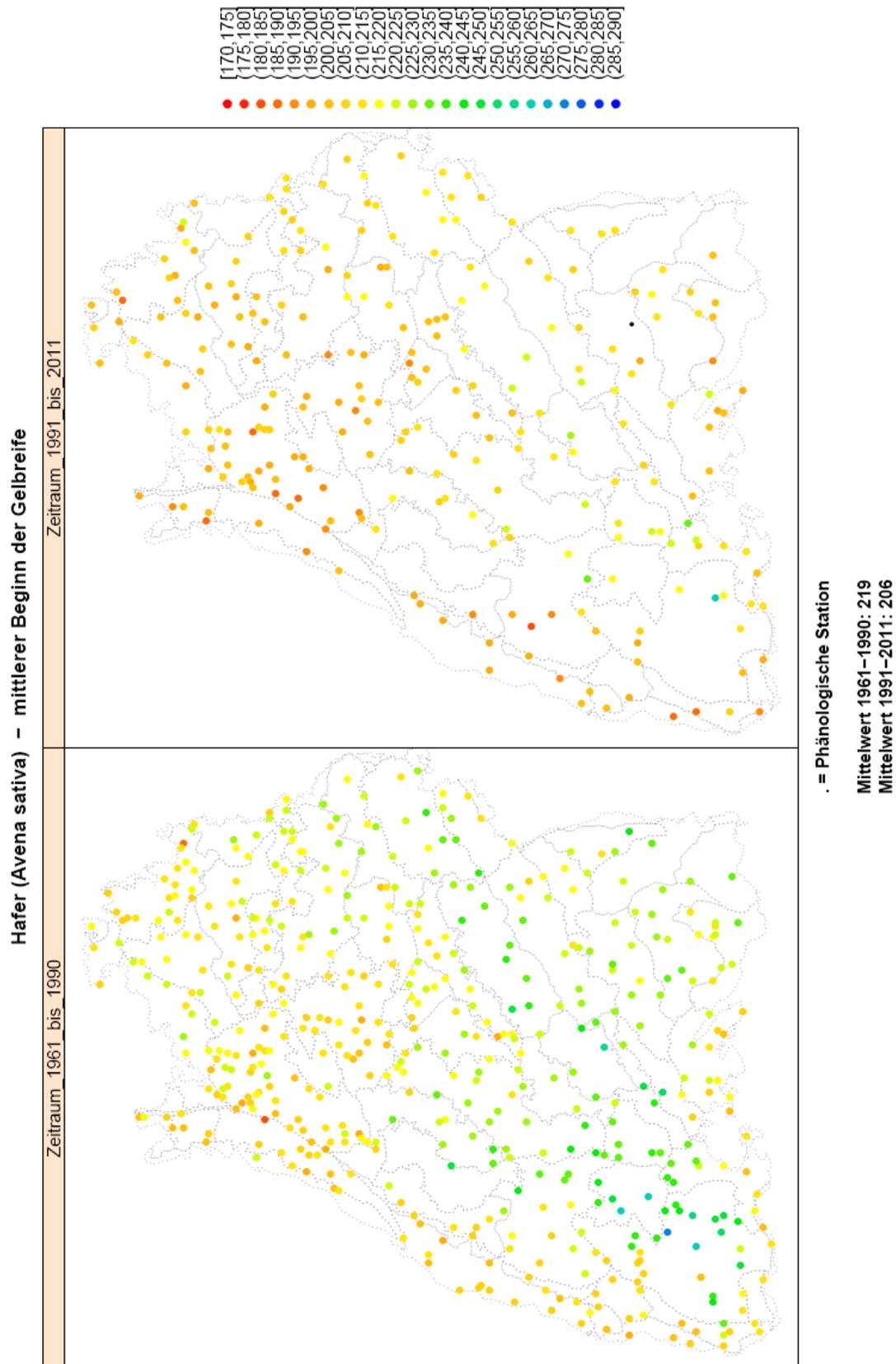


Abbildung 31. Phänologische Punktkarten für den mittleren Beginn der Gelbreife beim Hafer (*Avena sativa*) – Dargestellt sind die Stationsmittelwerte der Eintrittsdaten der Phase (DOY, day of year) für die Zeiträume 1961 – 1990 und 1991 – 2011. Schwarze Punkte liegen ausserhalb des in der Legende dargestellten Wertebereiches. Die angegebenen Mittelwerte sind die Mittelwerte über alle Stationen.

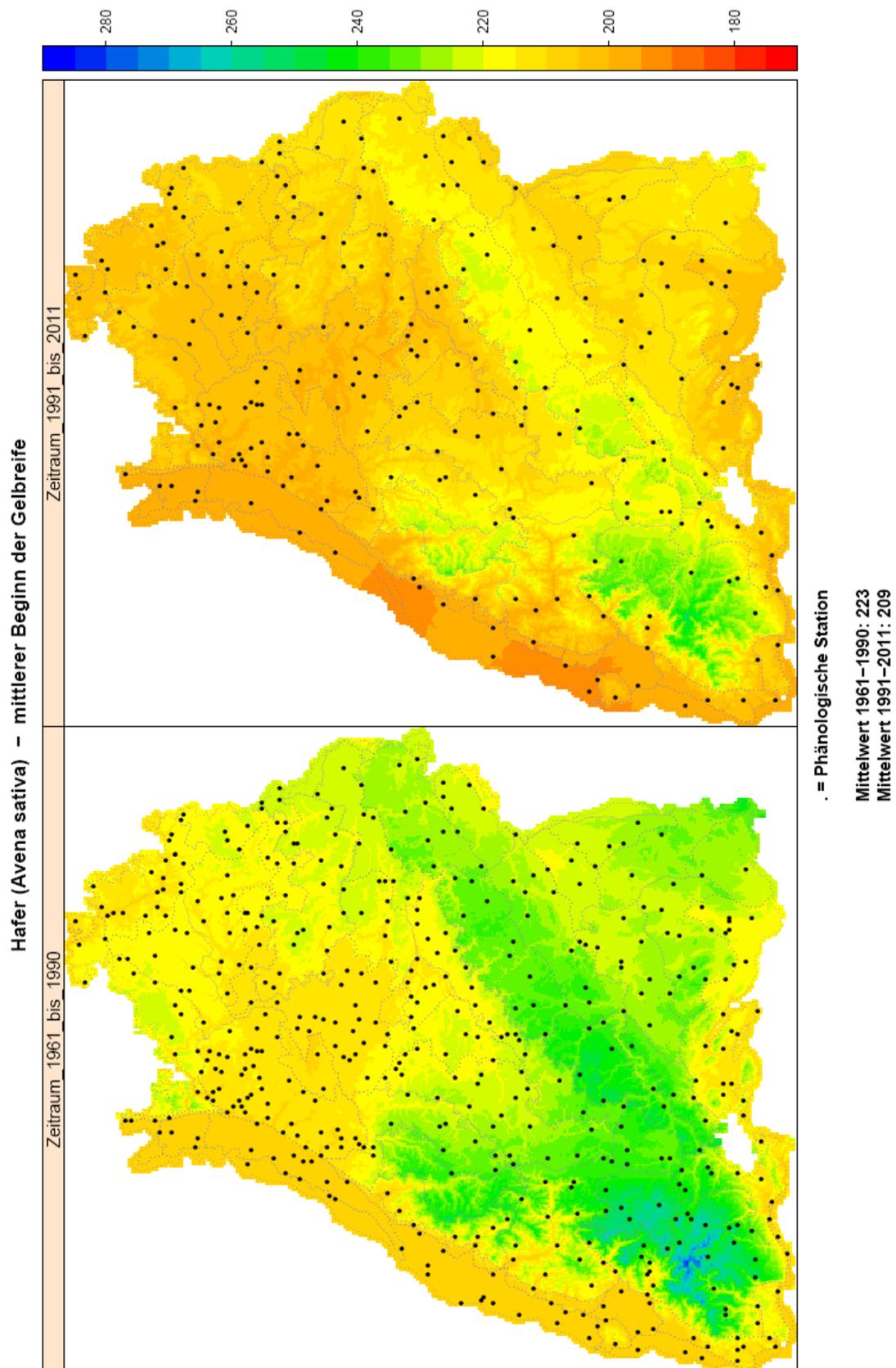


Abbildung 32. Phänologische Flächenkarten für den mittleren Beginn der Gelbreife beim Hafer (*Avena sativa*) – Dar- gestellt sind die Eintrittsdaten der Phase (DOY, day of year) für die Zeiträume 1961 – 1990 und 1991 – 2011. Schwar- ze Punkte markieren die Lage der zugrundeliegenden Beobachtungsstationen. Die angegebenen Mittelwerte sind die Flächenmittelwerte für Baden-Württemberg.

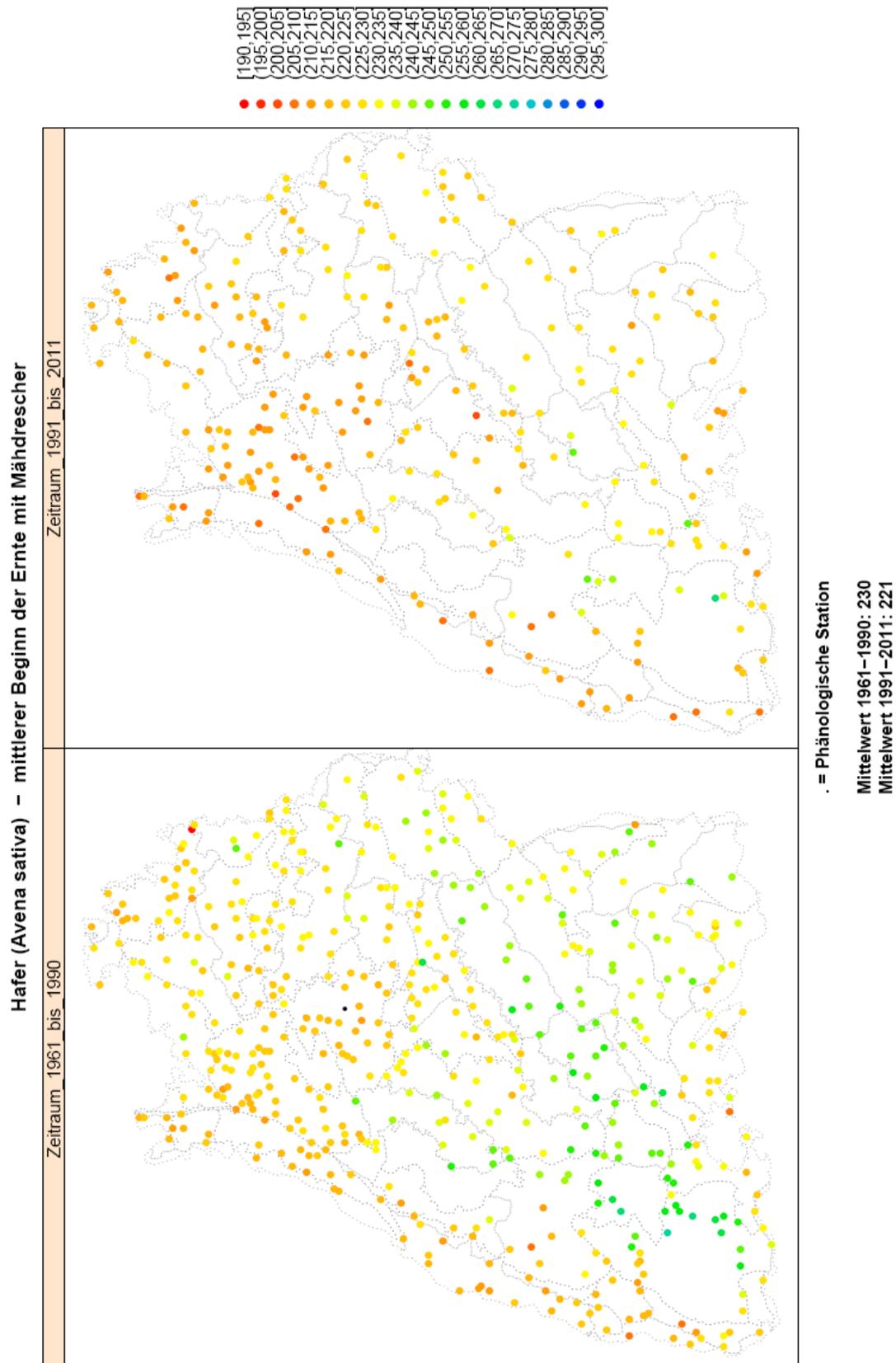


Abbildung 33. Phänologische Punktkarten für den mittleren Beginn der Ernte beim Hafer (*Avena sativa*) – Dargestellt sind die Stationsmittelwerte der Eintrittsdaten der Phase (DOY, day of year) für die Zeiträume 1961 – 1990 und 1991 – 2011. Schwarze Punkte liegen ausserhalb des in der Legende dargestellten Wertebereiches. Die angegebenen Mittelwerte sind die Mittelwerte über alle Stationen.

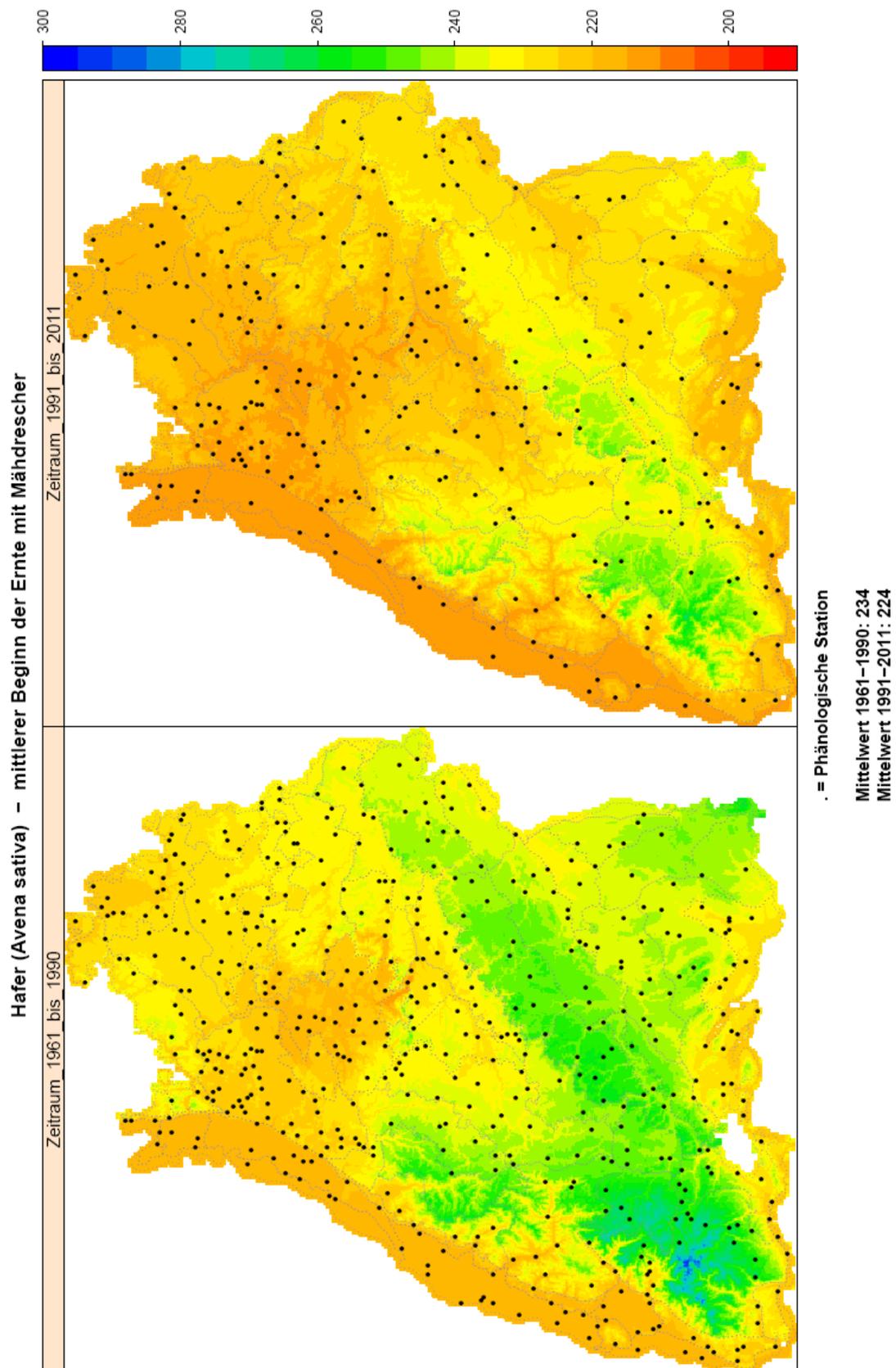


Abbildung 34. Phänologische Flächenkarten für den mittleren Beginn der Ernte beim Hafer (*Avena sativa*) – Dargestellt sind die Eintrittsdaten der Phase (DOY, day of year) für die Zeiträume 1961 – 1990 und 1991 – 2011. Schwarze Punkte markieren die Lage der zugrundeliegenden Beobachtungsstationen. Die angegebenen Mittelwerte sind die Flächenmittelwerte für Baden-Württemberg.

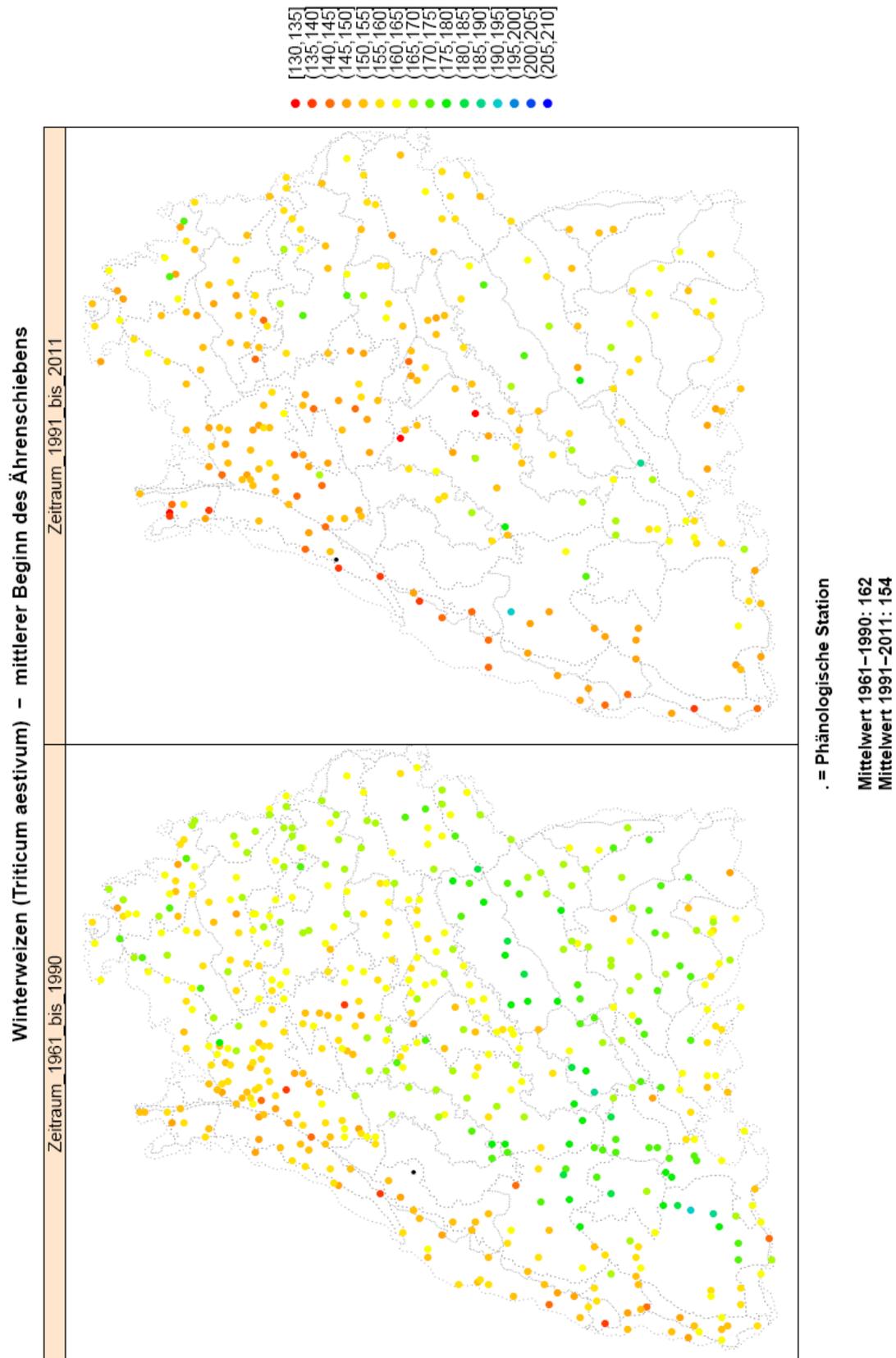


Abbildung 35. Phänologische Punktkarten für den mittleren Beginn des Ährenschiebens beim Winterweizen (*Triticum aestivum*) – Dargestellt sind die Stationsmittelwerte der Eintrittsdaten der Phase (DOY, day of year) für die Zeiträume 1961 – 1990 und 1991 – 2011. Schwarze Punkte liegen ausserhalb des in der Legende dargestellten Wertebereiches. Die angegebenen Mittelwerte sind die Mittelwerte über alle Stationen.

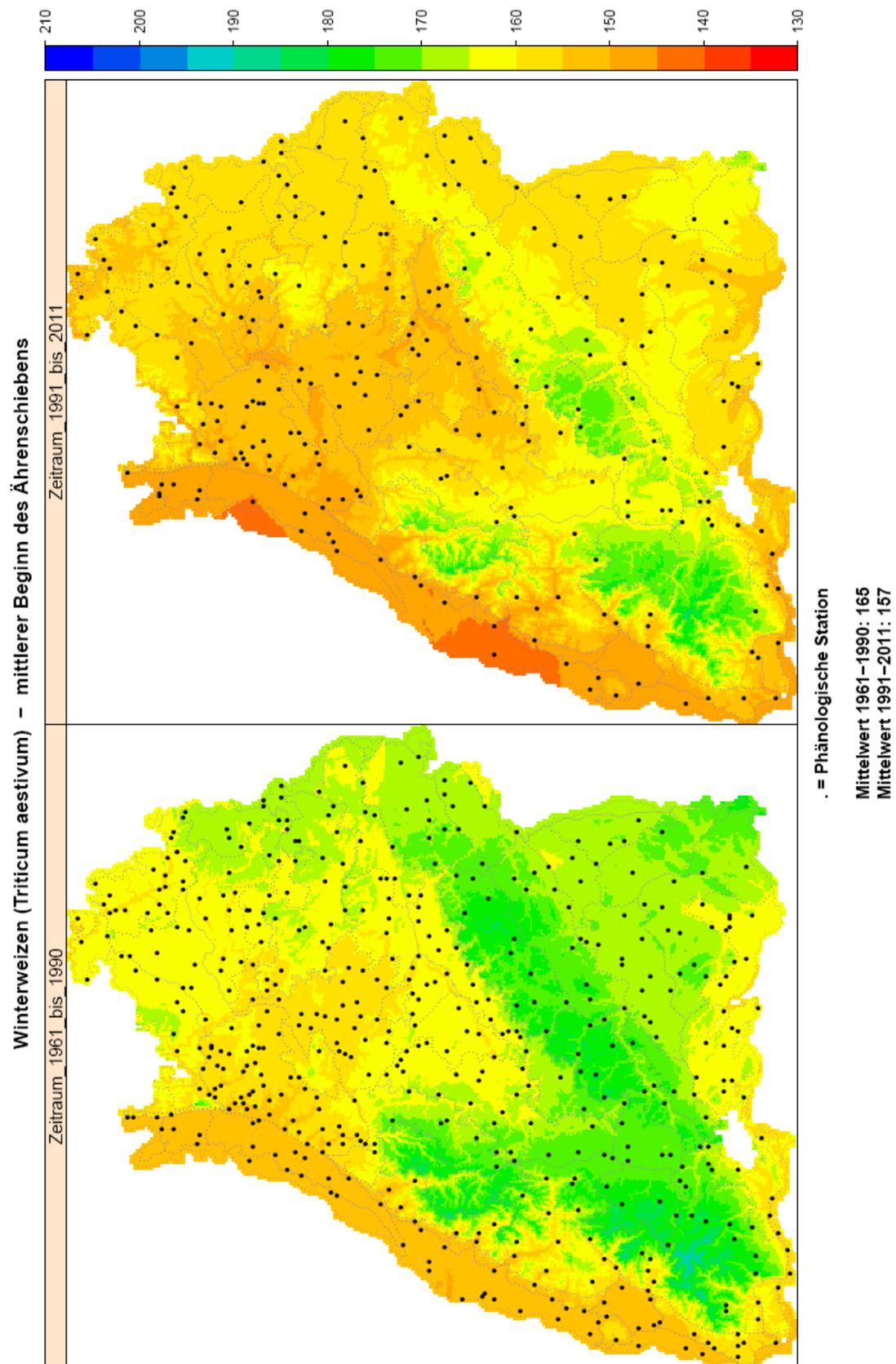


Abbildung 36. Phänologische Flächenkarten für den mittleren Beginn des Ährenschiebens beim Winterweizen (*Triticum aestivum*) – Dargestellt sind die Eintrittsdaten der Phase (DOY, day of year) für die Zeiträume 1961 – 1990 und 1991 – 2011. Schwarze Punkte markieren die Lage der zugrundeliegenden Beobachtungsstationen. Die angegebenen Mittelwerte sind die Flächenmittelwerte für Baden-Württemberg.

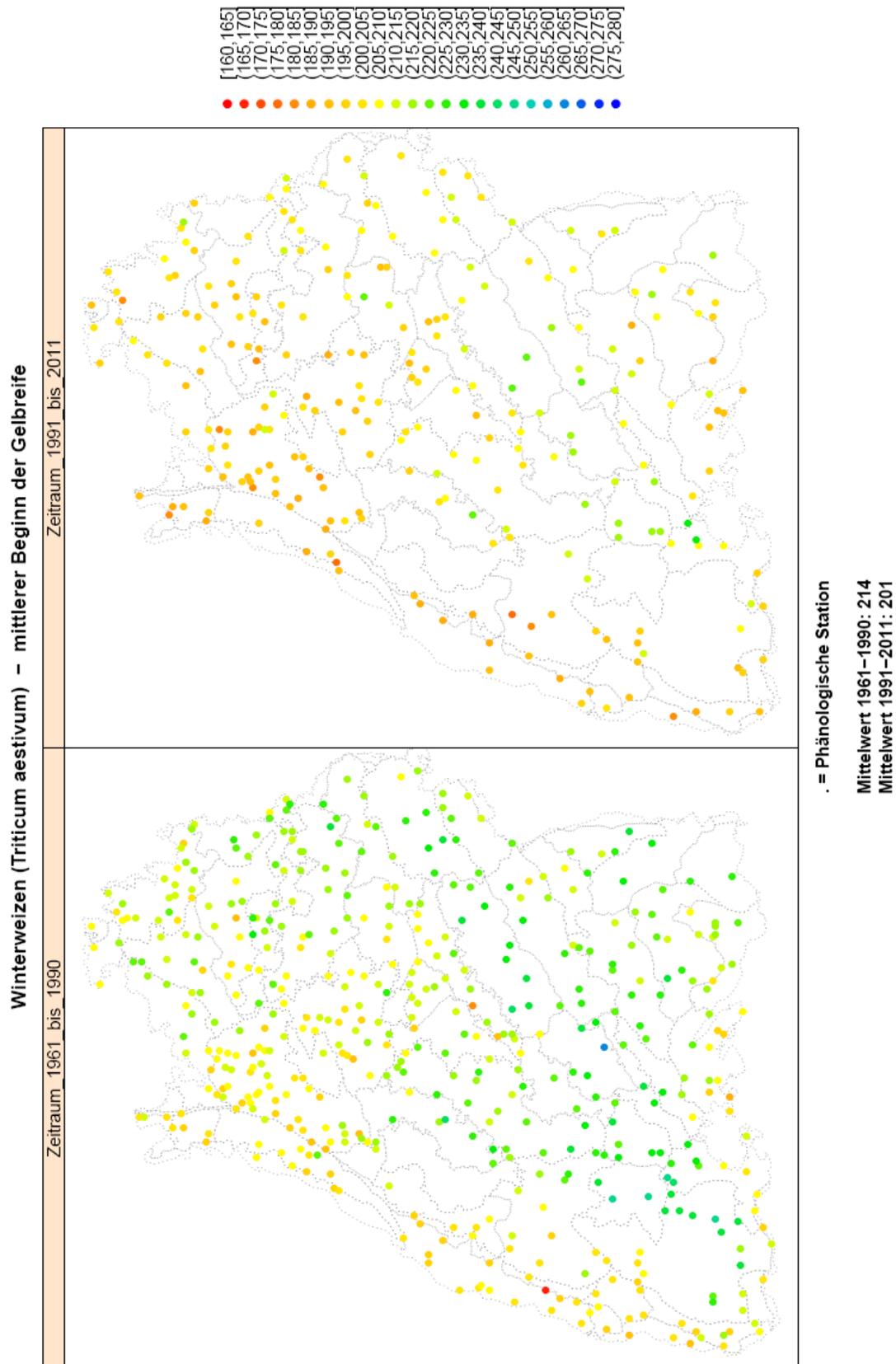


Abbildung 37. Phänologische Punktkarten für den mittleren Beginn der Gelbreife beim Winterweizen (*Triticum aestivum*) – Dargestellt sind die Stationsmittelwerte der Eintrittsdaten der Phase (DOY, day of year) für die Zeiträume 1961 – 1990 und 1991 – 2011. Schwarze Punkte liegen ausserhalb des in der Legende dargestellten Wertebereiches. Die angegebenen Mittelwerte sind die Mittelwerte über alle Stationen.

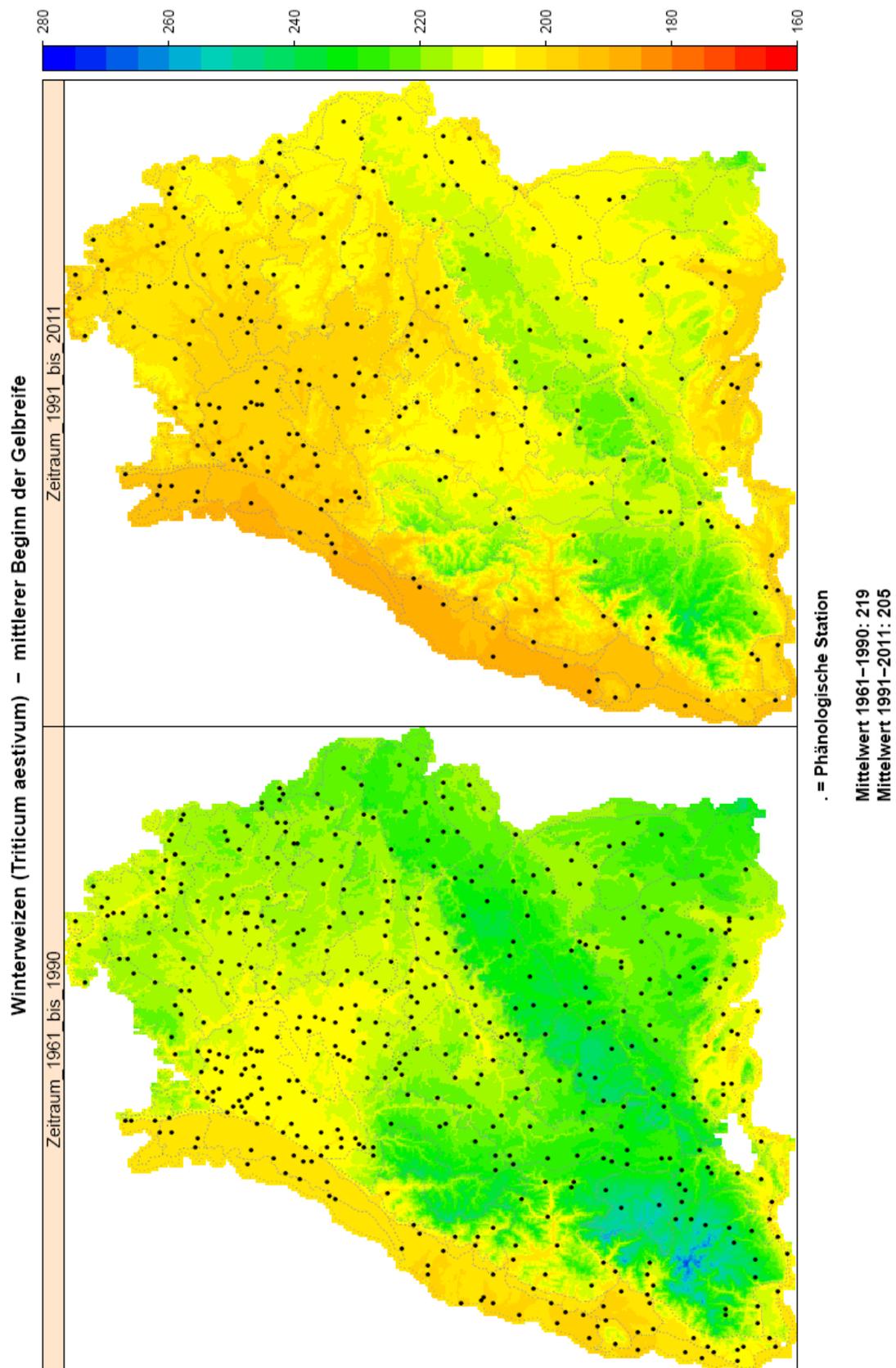


Abbildung 38. Phänologische Flächenkarten für den mittleren Beginn der Gelbreife beim Winterweizen (*Triticum aestivum*) – Dargestellt sind die Eintrittsdaten der Phase (DOY, day of year) für die Zeiträume 1961 – 1990 und 1991 – 2011. Schwarze Punkte markieren die Lage der zugrundeliegenden Beobachtungsstationen. Die angegebenen Mittelwerte sind die Flächenmittelwerte für Baden-Württemberg.

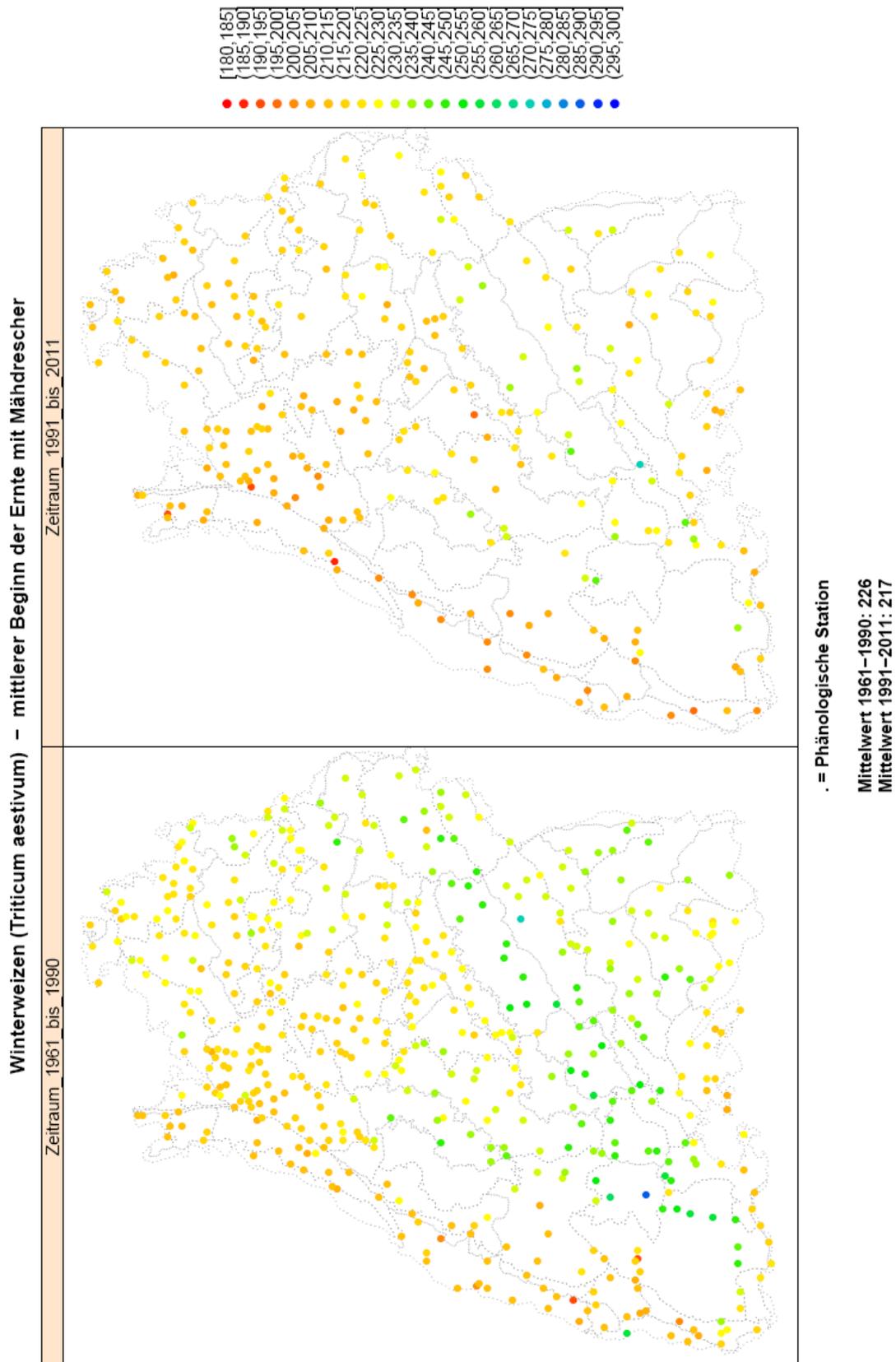


Abbildung 39. Phänologische Punktkarten für den mittleren Beginn der Ernte beim Winterweizen (*Triticum aestivum*) – Dargestellt sind die Stationsmittelwerte der Eintrittsdaten der Phase (DOY, day of year) für die Zeiträume 1961 – 1990 und 1991 – 2011. Schwarze Punkte liegen ausserhalb des in der Legende dargestellten Wertebereiches. Die angegebenen Mittelwerte sind die Mittelwerte über alle Stationen.

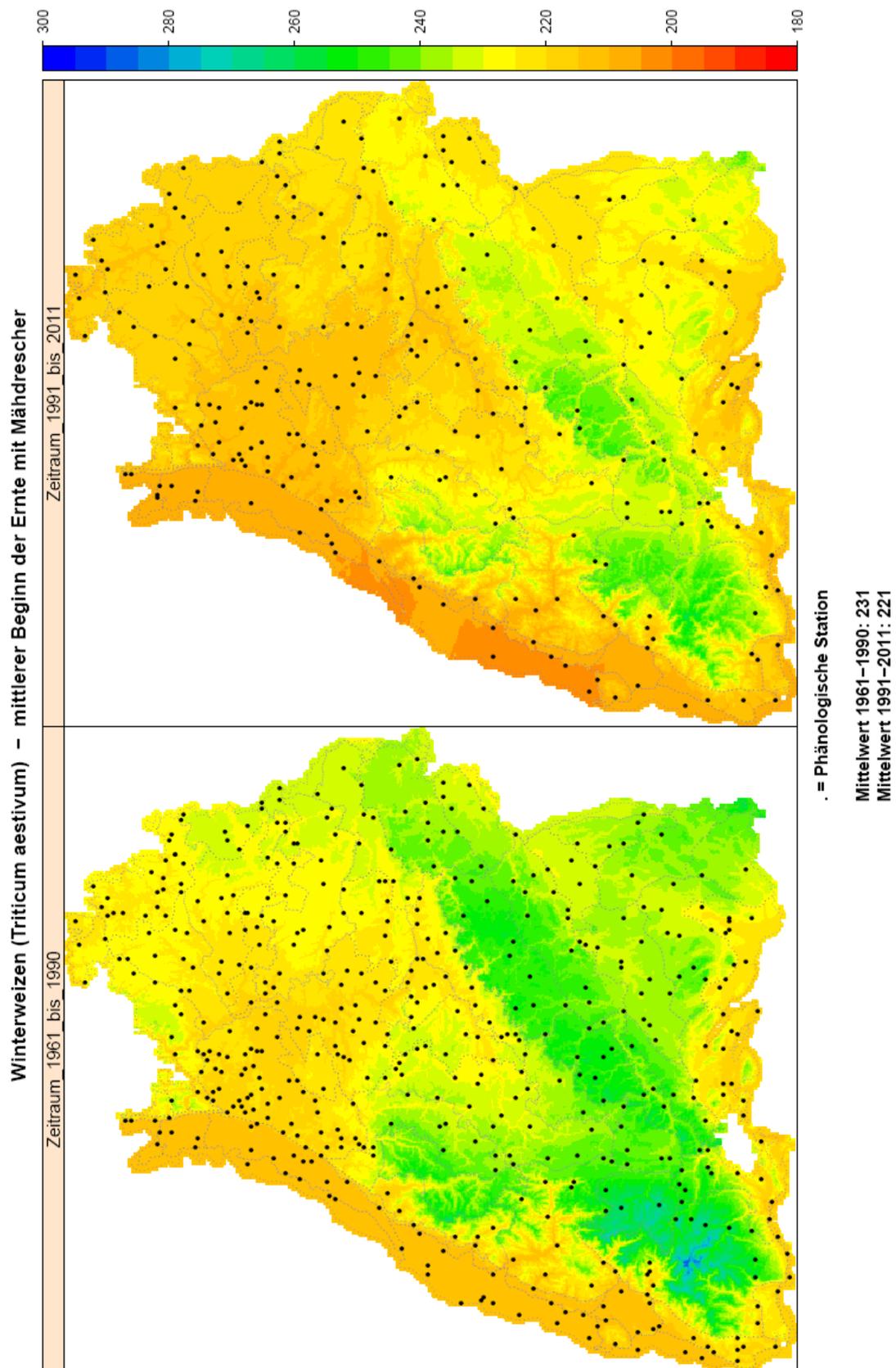


Abbildung 40. Phänologische Flächenkarten für den mittleren Beginn der Ernte beim Winterweizen (*Triticum aestivum*) – Dargestellt sind die Eintrittsdaten der Phase (DOY, day of year) für die Zeiträume 1961 – 1990 und 1991 – 2011. Schwarze Punkte markieren die Lage der zugrundeliegenden Beobachtungsstationen. Die angegebenen Mittelwerte sind die Flächenmittelwerte für Baden-Württemberg.

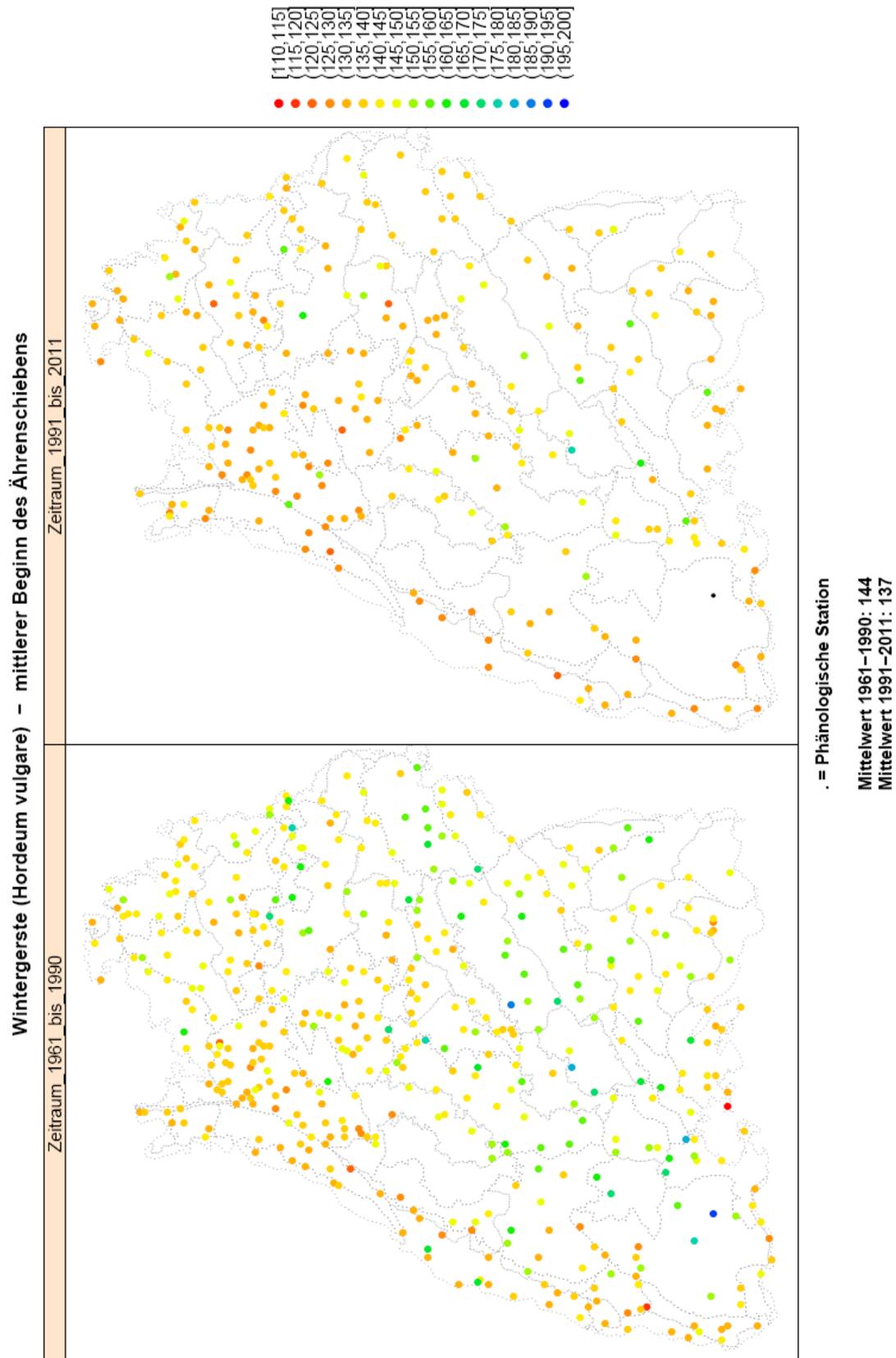


Abbildung 41. Phänologische Punktkarten für den Beginn des Ährnschiebens bei der Wintergerste (*Hordeum vulgare*) – Dargestellt sind die Stationsmittelwerte der Eintrittsdaten der Phase (DOY, day of year) für die Zeiträume 1961 – 1990 und 1991 – 2011. Schwarze Punkte liegen ausserhalb des in der Legende dargestellten Wertebereiches. Die angegebenen Mittelwerte sind die Mittelwerte über alle Stationen.

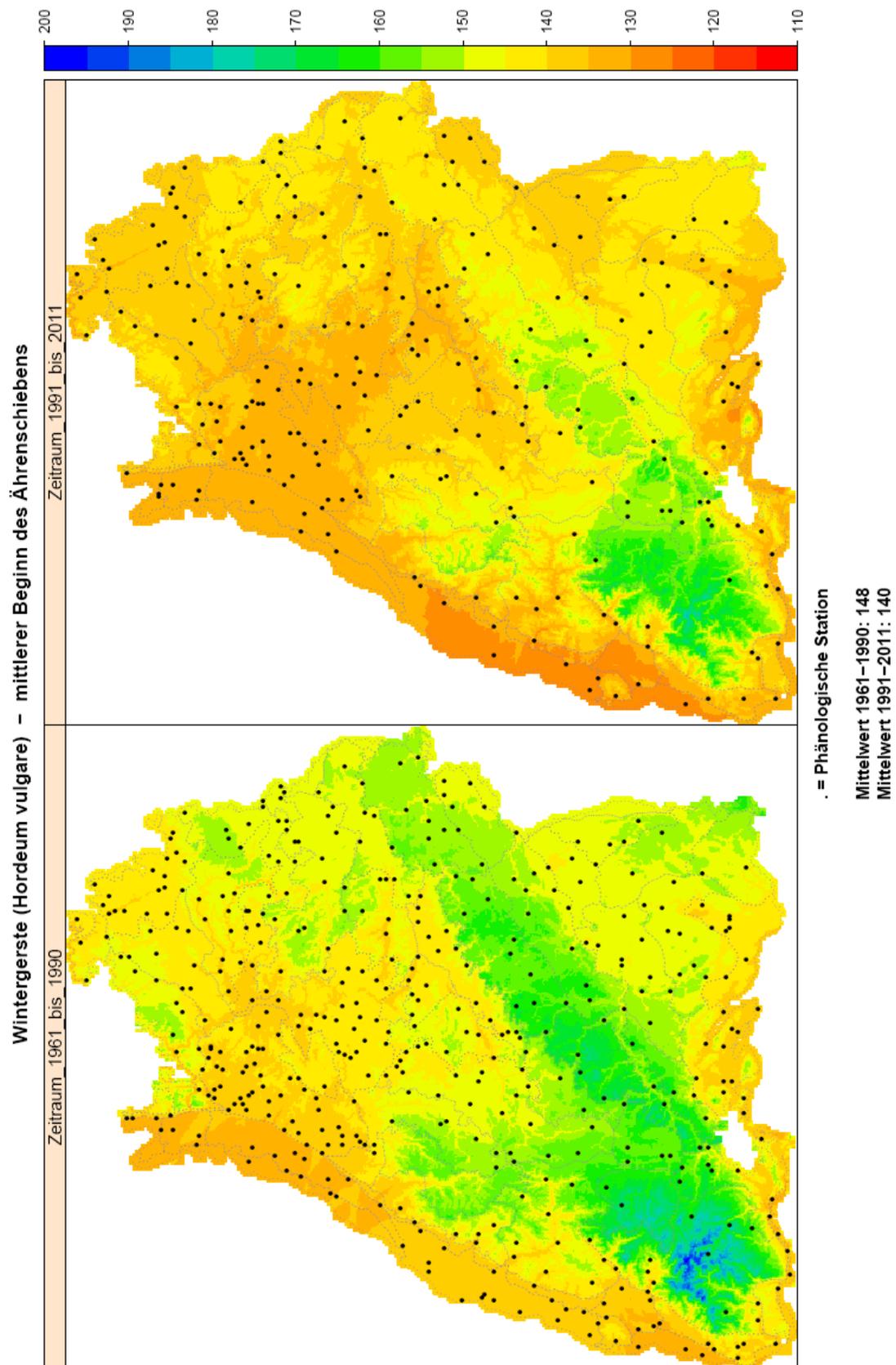


Abbildung 42. Phänologische Flächenkarten für den Beginn des Ährenschiebens bei der Wintergerste (*Hordeum vulgare*) – Dargestellt sind die Eintrittsdaten der Phase (DOY, day of year) für die Zeiträume 1961 – 1990 und 1991 – 2011. Schwarze Punkte markieren die Lage der zugrundeliegenden Beobachtungsstationen. Die angegebenen Mittelwerte sind die Flächenmittelwerte für Baden-Württemberg.

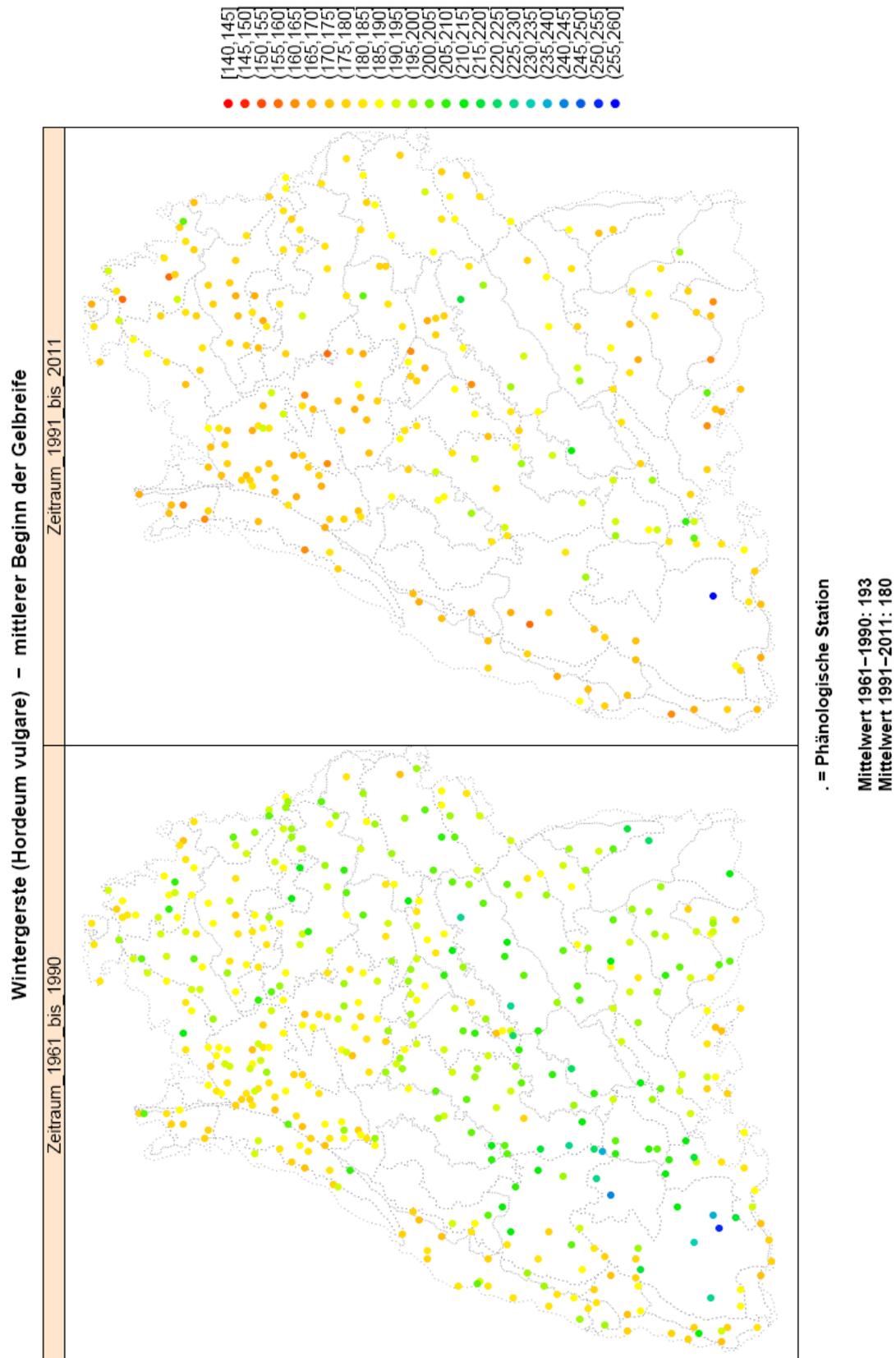


Abbildung 43. Phänologische Punktkarten für den mittleren Beginn der Gelbreife bei der Wintergerste (*Hordeum vulgare*) – Dargestellt sind die Stationsmittelwerte der Eintrittsdaten der Phase (DOY, day of year) für die Zeiträume 1961 – 1990 und 1991 – 2011. Schwarze Punkte liegen ausserhalb des in der Legende dargestellten Wertebereiches. Die angegebenen Mittelwerte sind die Mittelwerte über alle Stationen.

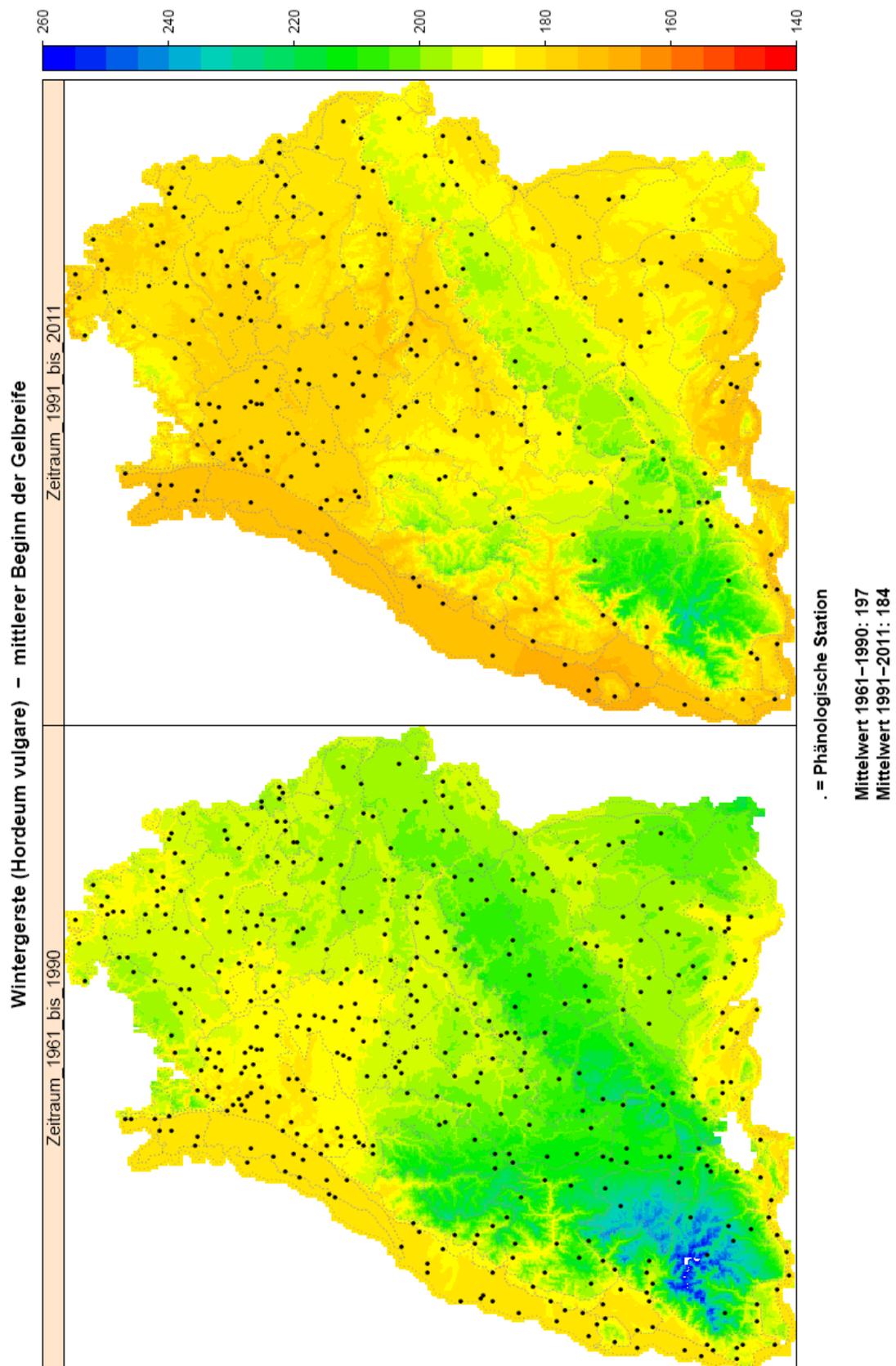


Abbildung 44. Phänologische Flächenkarten für den mittleren Beginn der Gelbreife bei der Wintergerste (*Hordeum vulgare*) – Dargestellt sind die Eintrittsdaten der Phase (DOY, day of year) für die Zeiträume 1961 – 1990 und 1991 – 2011. Schwarze Punkte markieren die Lage der zugrundeliegenden Beobachtungsstationen. Die angegebenen Mittelwerte sind die Flächenmittelwerte für Baden-Württemberg.

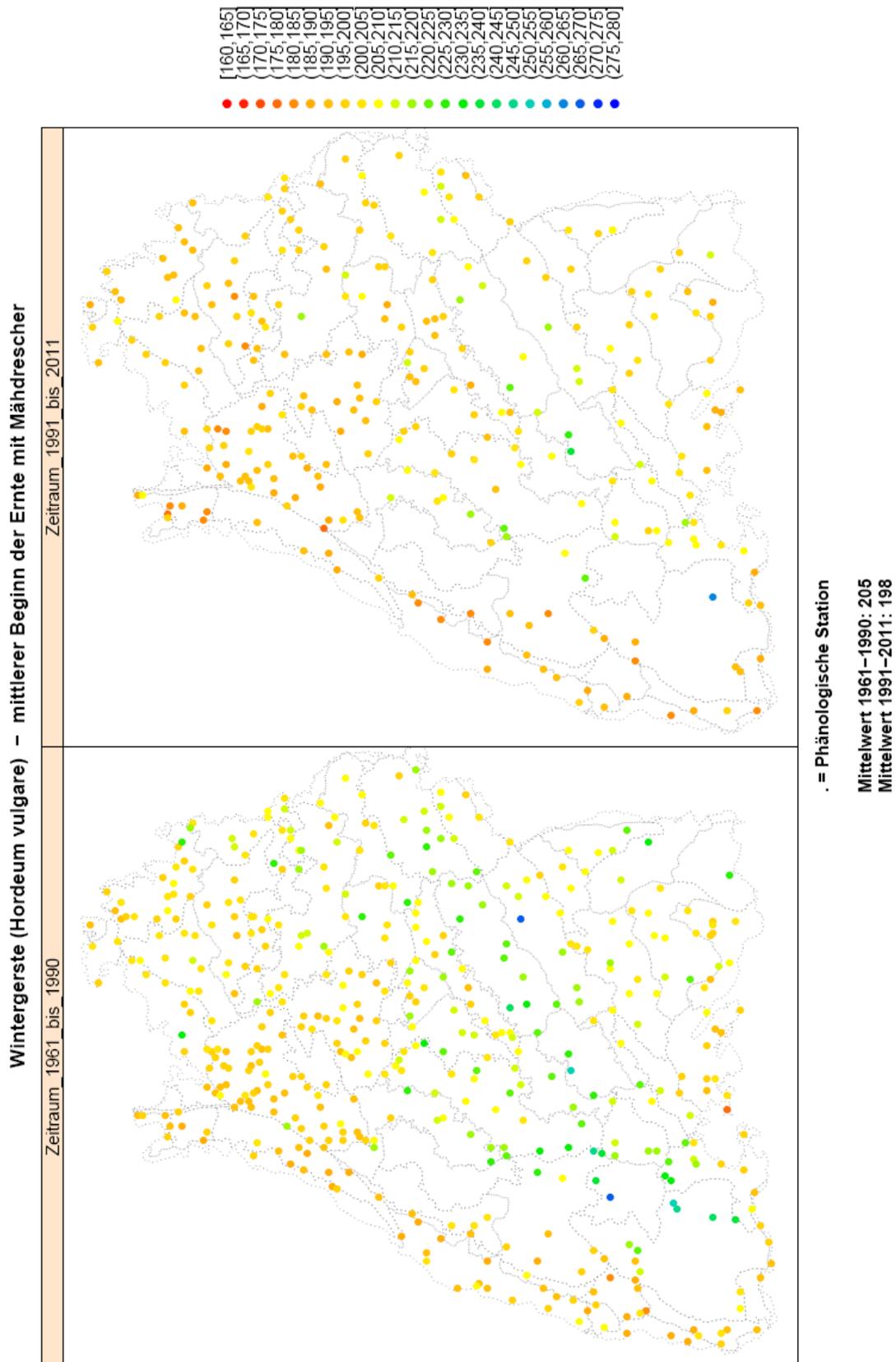


Abbildung 45. Phänologische Punktkarten für den mittleren Beginn der Ernte bei der Wintergerste (*Hordeum vulgare*) – Dargestellt sind die Stationsmittelwerte der Eintrittsdaten der Phase (DOY, day of year) für die Zeiträume 1961 – 1990 und 1991 – 2011. Schwarze Punkte liegen ausserhalb des in der Legende dargestellten Wertebereiches. Die angegebenen Mittelwerte sind die Mittelwerte über alle Stationen.

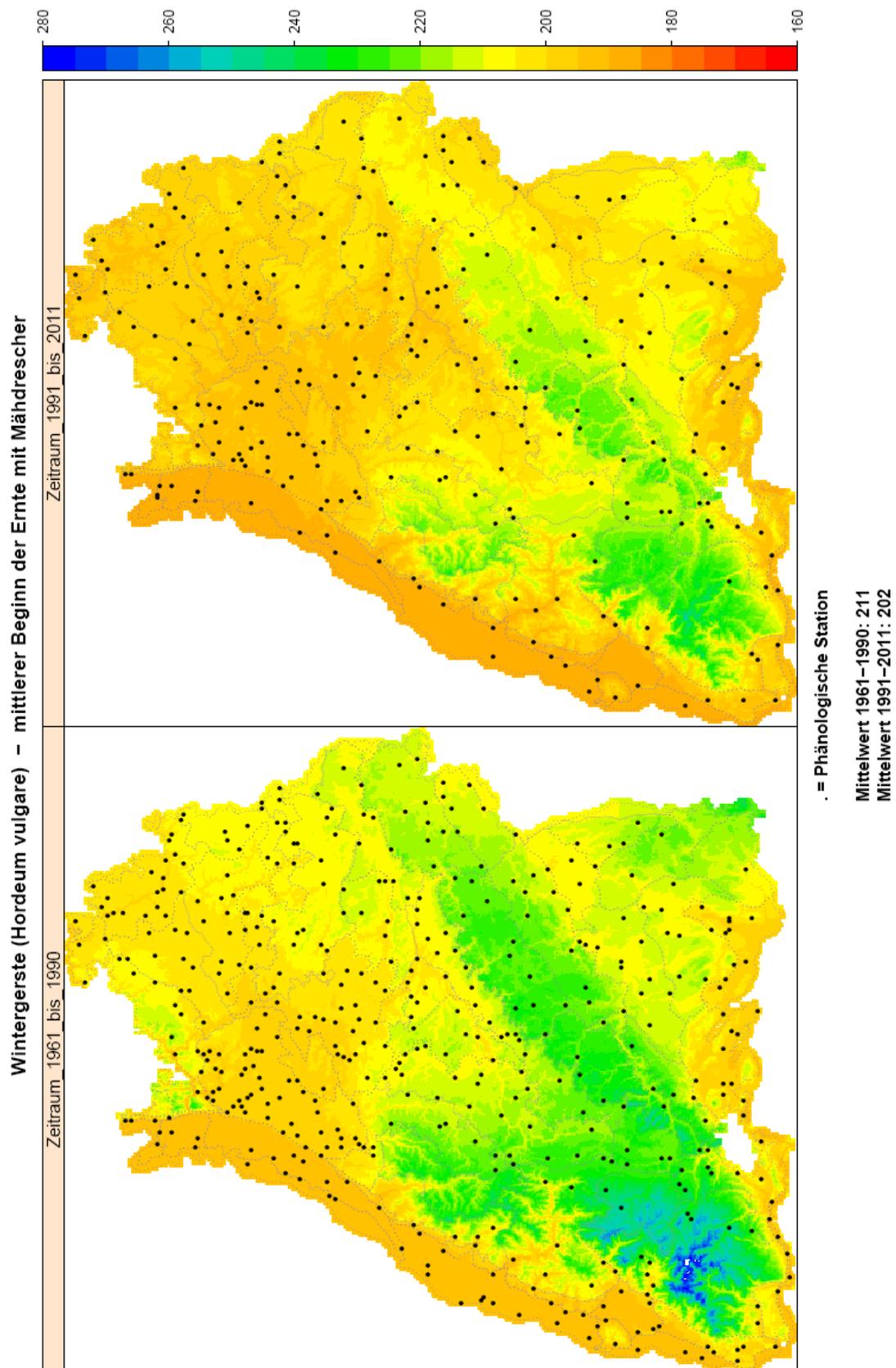


Abbildung 46. Phänologische Flächenkarten für den mittleren Beginn der Ernte bei der Wintergerste (*Hordeum vulgare*) – Dargestellt sind die Eintrittsdaten der Phase (DOY, day of year) für die Zeiträume 1961 – 1990 und 1991 – 2011. Schwarze Punkte markieren die Lage der zugrundeliegenden Beobachtungsstationen. Die angegebenen Mittelwerte sind die Flächenmittelwerte für Baden-Württemberg.

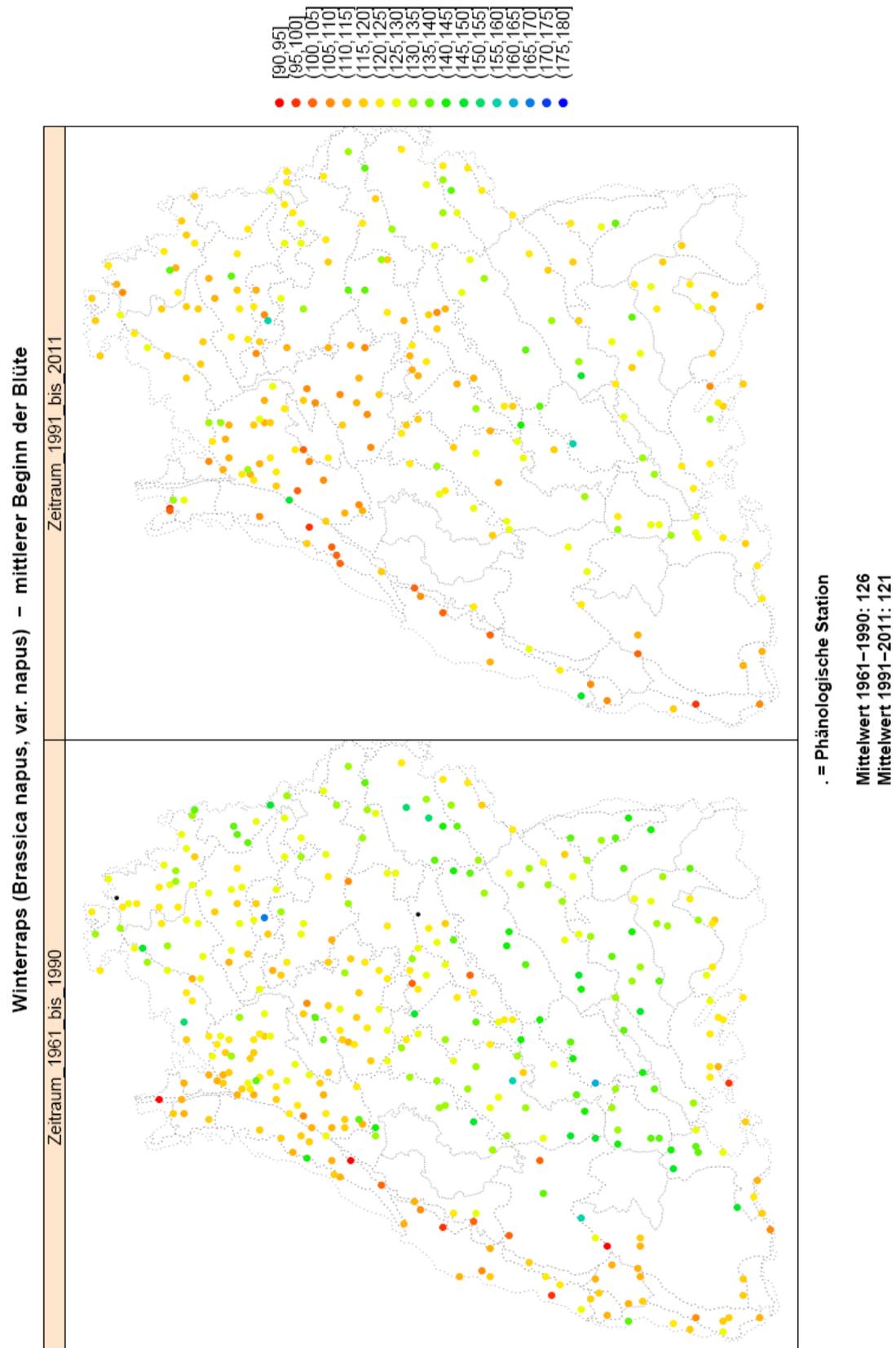


Abbildung 47. Phänologische Punktkarten für den mittleren Beginn der Blüte beim Winterraps (*Brassica napus*) – Dargestellt sind die Stationsmittelwerte der Eintrittsdaten der Phase (DOY, day of year) für die Zeiträume 1961 – 1990 und 1991 – 2011. Schwarze Punkte liegen ausserhalb des in der Legende dargestellten Wertebereiches. Die angegebenen Mittelwerte sind die Mittelwerte über alle Stationen.

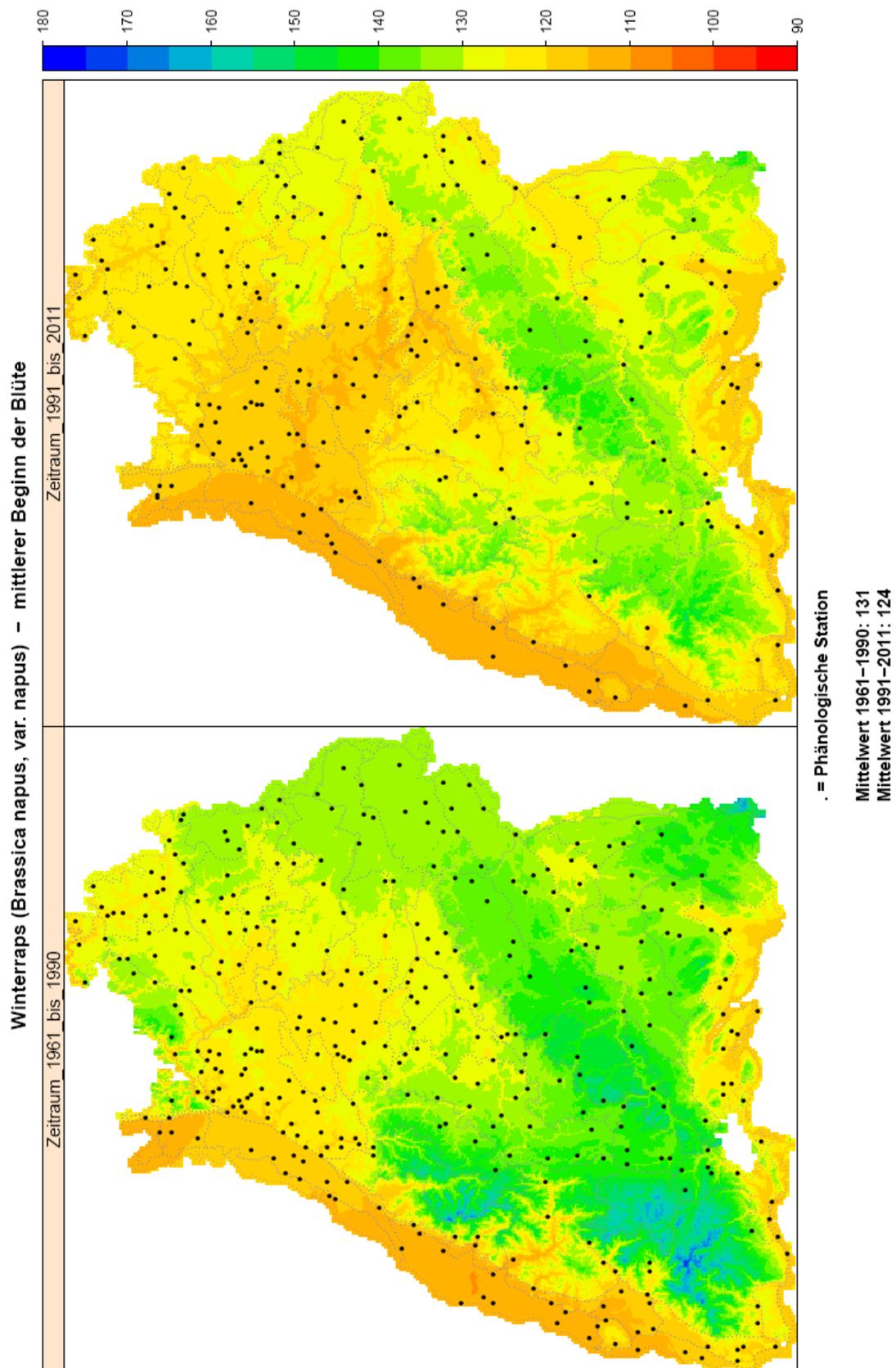


Abbildung 48. Phänologische Flächenkarten für den mittleren Beginn der Blüte beim Winterraps (*Brassica napus*) – Dargestellt sind die Eintrittsdaten der Phase (DOY, day of year) für die Zeiträume 1961 – 1990 und 1991 – 2011. Schwarze Punkte markieren die Lage der zugrundeliegenden Beobachtungsstationen. Die angegebenen Mittelwerte sind die Flächenmittelwerte für Baden-Württemberg.

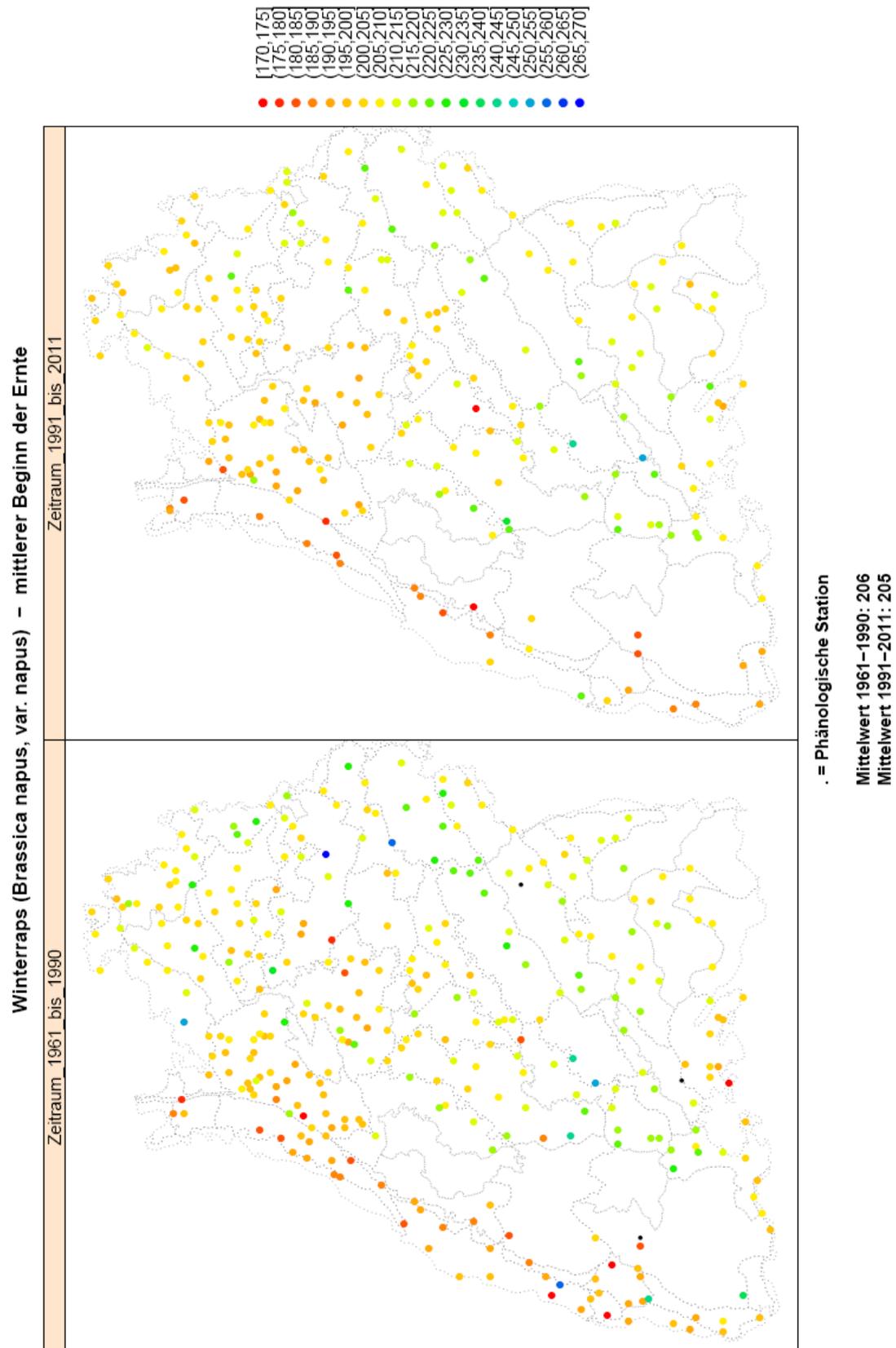


Abbildung 49. Phänologische Punktkarten für den mittleren Beginn der Ernte beim Winterraps (*Brassica napus*) – Dargestellt sind die Stationsmittelwerte der Eintrittsdaten der Phase (DOY, day of year) für die Zeiträume 1961 – 1990 und 1991 – 2011. Schwarze Punkte liegen ausserhalb des in der Legende dargestellten Wertebereiches. Die angegebenen Mittelwerte sind die Mittelwerte über alle Stationen.

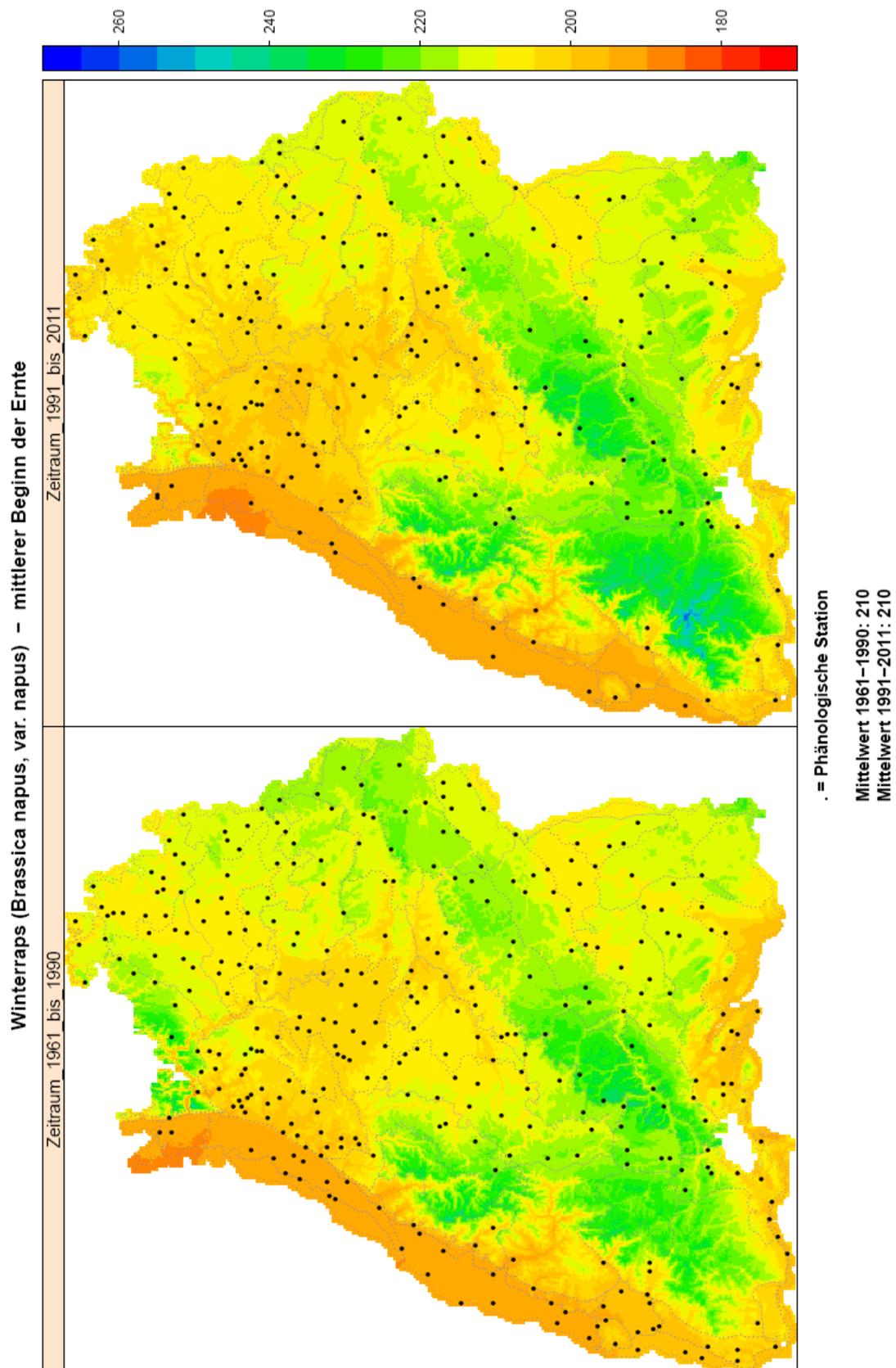


Abbildung 50. Phänologische Flächenkarten für den mittleren Beginn der Ernte beim Winterraps (*Brassica napus*) – Dargestellt sind die Eintrittsdaten der Phase (DOY, day of year) für die Zeiträume 1961 – 1990 und 1991 – 2011. Schwarze Punkte markieren die Lage der zugrundeliegenden Beobachtungsstationen. Die angegebenen Mittelwerte sind die Flächenmittelwerte für Baden-Württemberg.

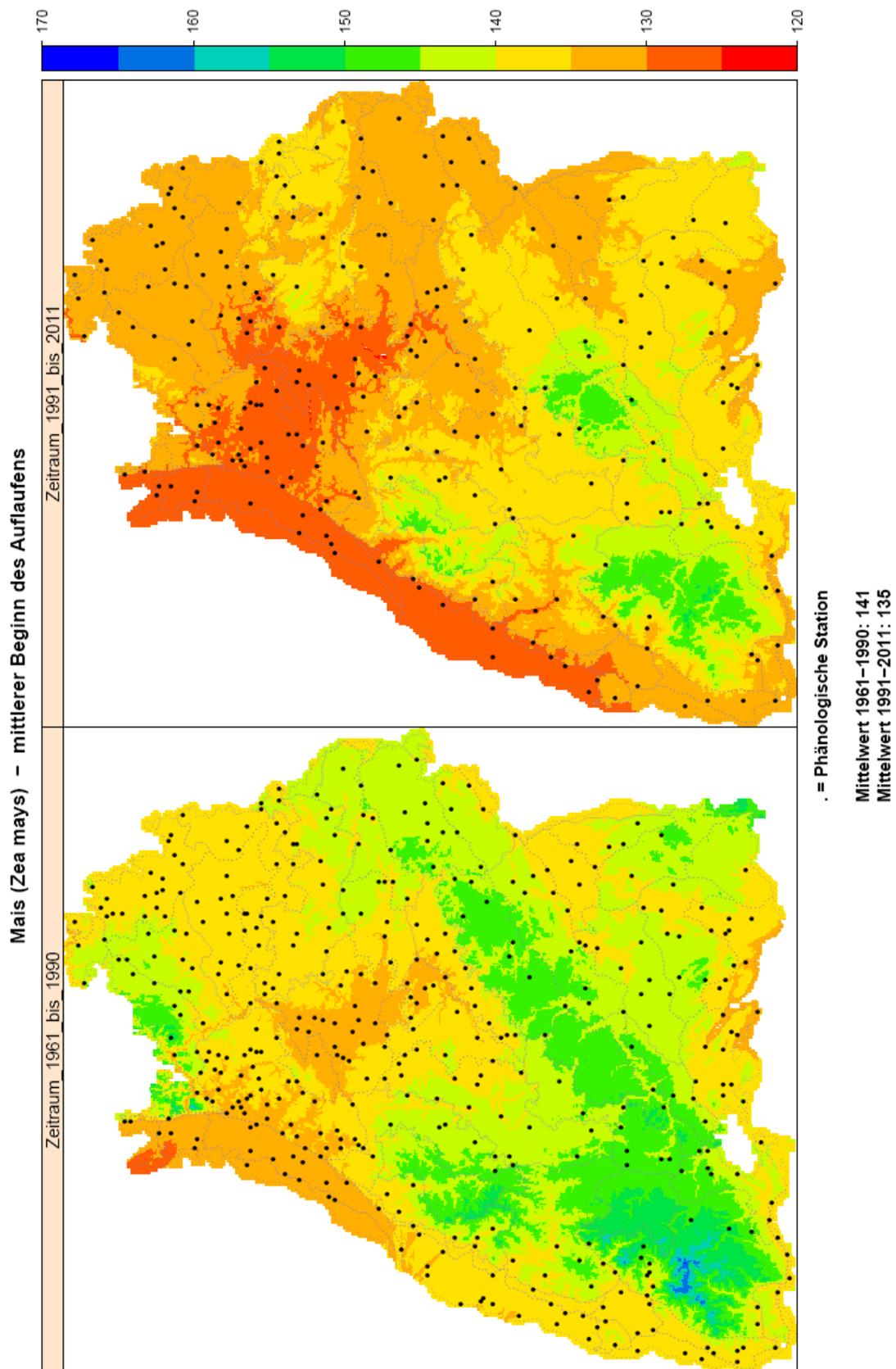


Abbildung 52. Phänologische Flächenkarten für den mittleren Beginn des Auflaufens beim Mais (*Zea mays*) – Dargestellt sind die Eintrittsdaten der Phase (DOY, day of year) für die Zeiträume 1961 – 1990 und 1991 – 2011. Schwarze Punkte markieren die Lage der zugrundeliegenden Beobachtungsstationen. Die angegebenen Mittelwerte sind die Flächenmittelwerte für Baden-Württemberg.

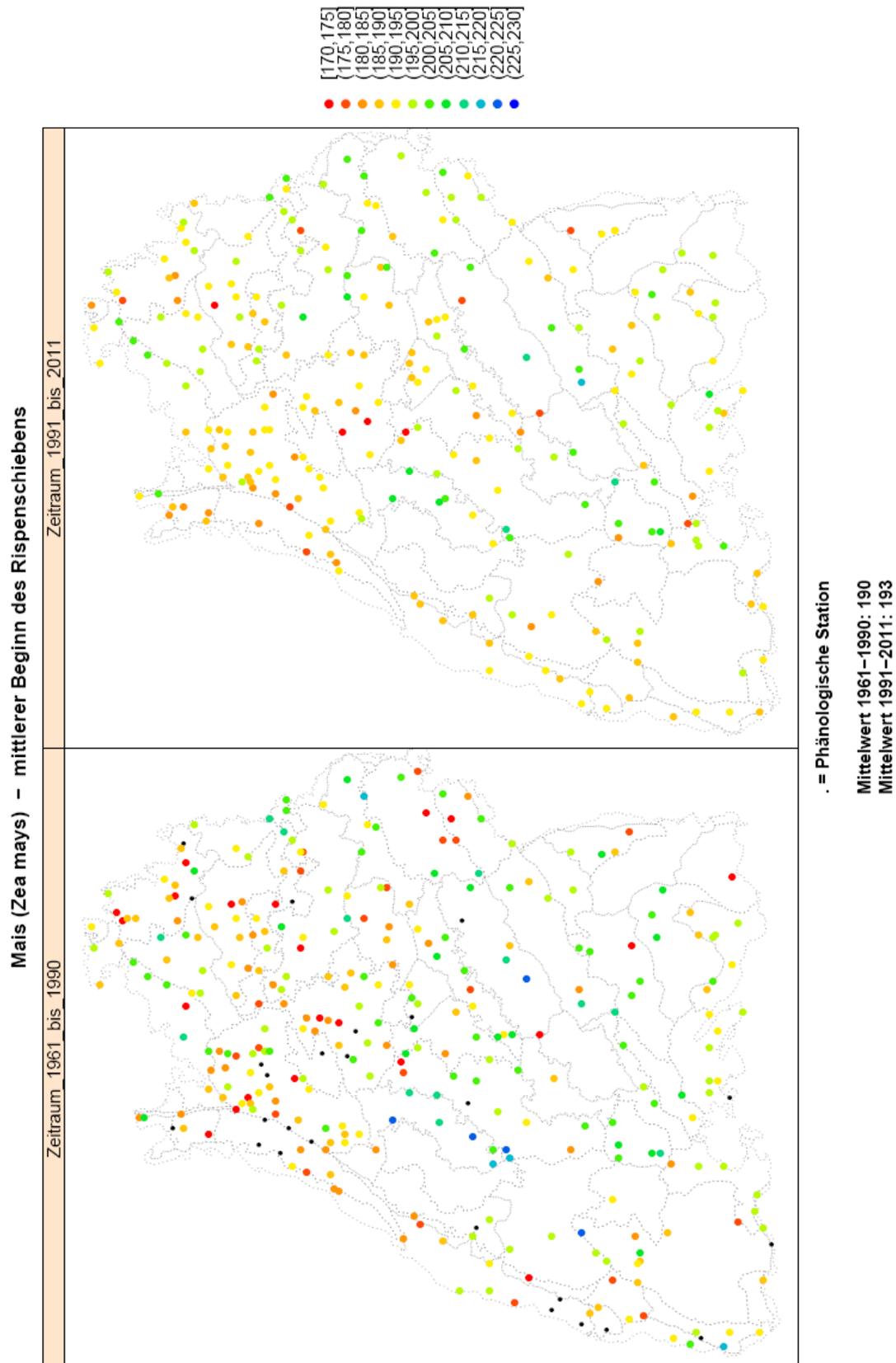


Abbildung 53. Phänologische Punktkarten für den mittleren Beginn des Rispenschiebens beim Mais (*Zea mays*) – Dargestellt sind die Stationsmittelwerte der Eintrittsdaten der Phase (DOY, day of year) für die Zeiträume 1961 – 1990 und 1991 – 2011. Schwarze Punkte liegen ausserhalb des in der Legende dargestellten Wertebereiches. Die angegebenen Mittelwerte sind die Mittelwerte über alle Stationen.

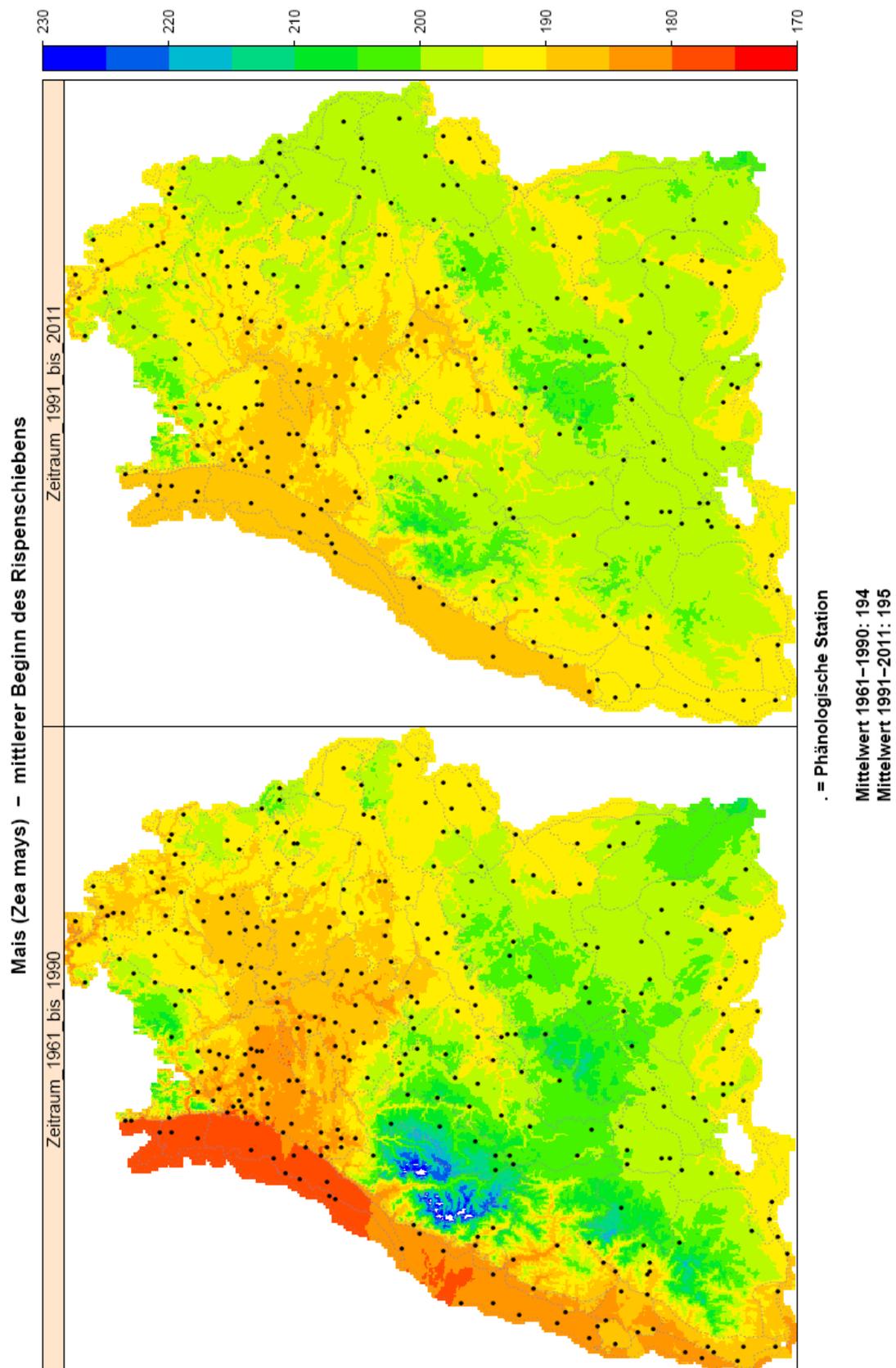


Abbildung 54. Phänologische Flächenkarten für den mittleren Beginn des Rispschiebens beim Mais (*Zea mays*) – Dargestellt sind die Eintrittsdaten der Phase (DOY, day of year) für die Zeiträume 1961 – 1990 und 1991 – 2011. Schwarze Punkte markieren die Lage der zugrundeliegenden Beobachtungsstationen. Die angegebenen Mittelwerte sind die Flächenmittelwerte für Baden-Württemberg.

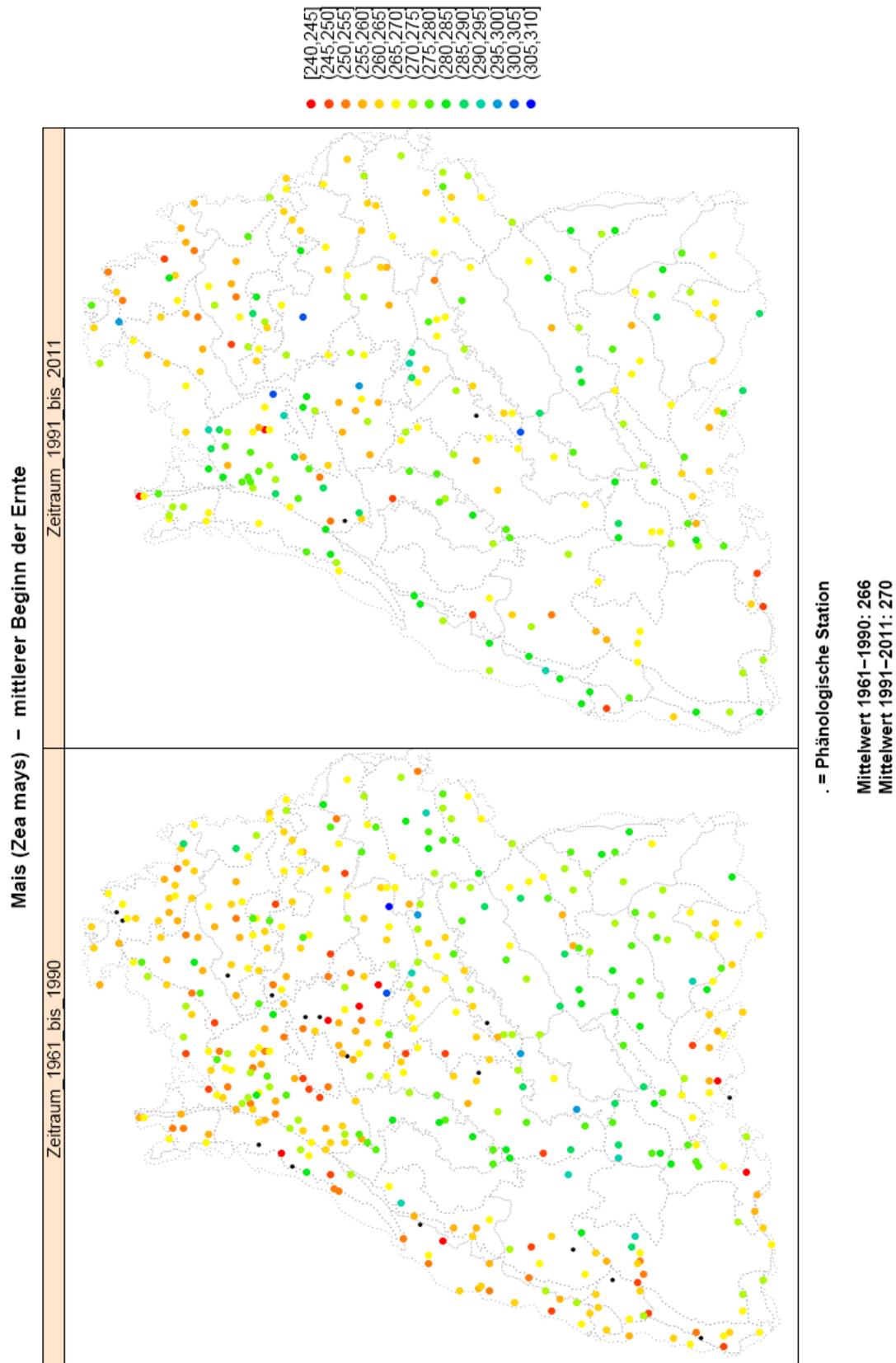


Abbildung 55. Phänologische Punktkarten für den mittleren Beginn der Ernte beim Mais (*Zea mays*) – Dargestellt sind die Stationsmittelwerte der Eintrittsdaten der Phase (DOY, day of year) für die Zeiträume 1961 – 1990 und 1991 – 2011. Schwarze Punkte liegen ausserhalb des in der Legende dargestellten Wertebereiches. Die angegebenen Mittelwerte sind die Mittelwerte über alle Stationen.

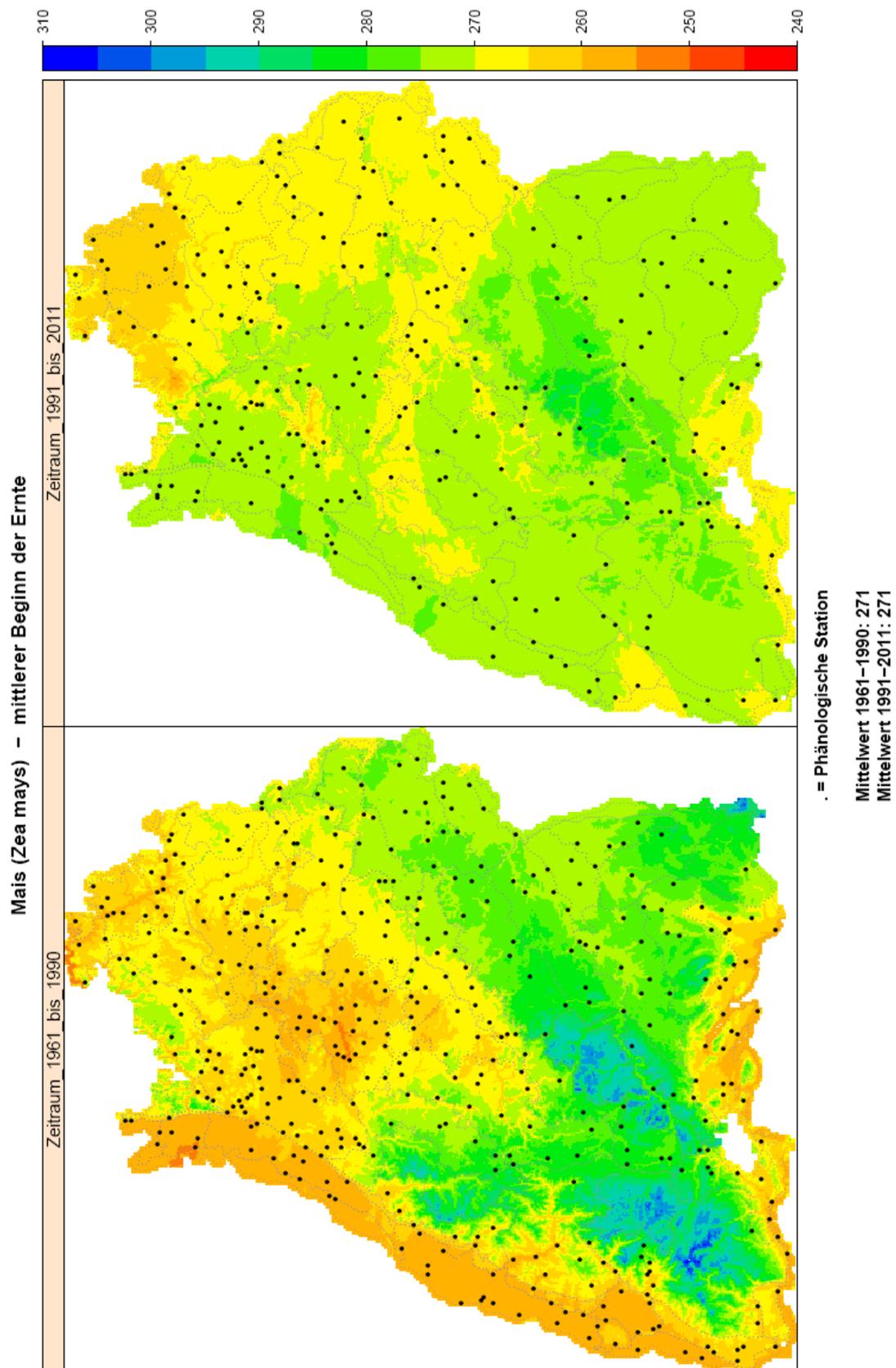


Abbildung 56. Phänologische Flächenkarten für den mittleren Beginn der Ernte beim Mais (*Zea mays*) – Dargestellt sind die Eintrittsdaten der Phase (DOY, day of year) für die Zeiträume 1961 – 1990 und 1991 – 2011. Schwarze Punkte markieren die Lage der zugrundeliegenden Beobachtungsstationen. Die angegebenen Mittelwerte sind die Flächenmittelwerte für Baden-Württemberg.

6 Bemerkungen zu den phänologischen Phasen beim Mais

Der Mais unterscheidet sich in seiner Morphologie, Anatomie und Physiologie deutlich von allen heimischen Getreidearten. Als sogenannte C₄-Pflanze kann er die Sonnenstrahlung und den Kohlendioxidgehalt der Luft besser ausnutzen als unsere heimischen Getreidearten (C₃-Pflanzen) und zeichnet sich zudem durch seine höhere Wassernutzungseffizienz (WUE) aus. Die von vollentwickelten Maisbeständen gelieferte Trockenmasse pro Fläche liegt daher höher als bei allen anderen Kulturpflanzen.

Wegen seines hohen Wärmebedarfs verbreitete sich der Mais in Deutschland nur langsam. Durch Züchtung wurden jedoch Sorten geschaffen, die im mitteleuropäischen Klima gut gedeihen. In Baden-Württemberg wird vor allem in den wärmebegünstigten Gebieten des Oberrheins und des Neckarraumes mehr Körnermais angebaut, während in den montanen Lagen die Silierung ganzer Pflanzen überwiegt (Silomais). Neben den Körnern haben auch die Maisspindel (Achsen des Kolbens) und die Lieschen (Hüllblätter der Kolben) einen beträchtlichen Futterwert.

Übersicht über die Phäno-Phasen und ihre Kennung

Die Erfassung und Nummerierung der phänologischen Phasen beim Mais (Phasen-Kennung) ist (vermutlich aus historischen Gründen) etwas unübersichtlich. Deshalb wurden in Tabelle 6 nochmals alle Phasen-Kennungen von Mais zusammengestellt.

Tabelle 6. Übersicht über alle Phasen-Kennungen bei der Kulturart Mais (*Zea mays*). Angegeben werden die Anzahl der Beobachtungen aus Baden-Württemberg, der Erfassungszeitraum (vor 1991 bzw. nach 1990) sowie sich entsprechende Phasen.

Phase	Bezeichnung	vor 1991	nach 1990	entspricht Phase	Beobachtungen in BW
140	Mais - Beginn der Bestellung	x	x	295	8480
141	Mais - Beginn des Auflaufens	x	x	296	8315
142	Mais - Beginn des Rispschiebens	x	x	298	3726
143	Mais - Beginn der Vollblüte	x		--	1168
196	Mais - Beginn der Ernte	x	x	303	7917
236	Mais - FAO-Zahl		x	--	1806
237	Mais - Beginn des Längenwachstums	x		297	1873
238	Mais - Beginn der Blüte	x	x	299	1989
239	Mais - Beginn der Milchreife		x	300	1854
240	Mais - Beginn der Teigreife		x	301	1788
241	Mais - Beginn der Gelbreife		x	302	1454
242	Mais - Kennung Ernteverfahren (1 = Silo-Ernte, 2 = CornCobMix, 3 = Körner-Ernte)		x	--	2857
295	Mais (Ernteverfahren nicht gemeldet) - Beginn der Bestellung		x	140	1141
296	Mais (Ernteverfahren nicht gemeldet) - Beginn des Auflaufens		x	141	1165
297	Mais (Ernteverfahren nicht gemeldet) - Beginn des Längenwachstums		x	237	984
298	Mais (Ernteverfahren nicht gemeldet) - Beginn des Rispschiebens		x	142	1052
299	Mais (Ernteverfahren nicht gemeldet) - Beginn der Blüte		x	238	1033
300	Mais (Ernteverfahren nicht gemeldet) - Beginn der Milchreife		x	239	945
301	Mais (Ernteverfahren nicht gemeldet) - Beginn der Teigreife		x	240	895
302	Mais (Ernteverfahren nicht gemeldet) - Beginn der Gelbreife		x	241	769
303	Mais (Ernteverfahren nicht gemeldet) - Beginn der Ernte		x	196	1539

Ernteverfahren

Seit 1991 erfolgt die Erfassung von Kennungen für das Ernteverfahren (Phasen-Kennung 242). Seit diesem Zeitpunkt erfolgt auch die getrennte Erfassung von Phasen, für die das Ernteverfahren nicht gemeldet wurde (Phasenkennung 295-303). Als Ernteverfahren werden ‚Silo-Ernte‘, ‚CornCobMix‘ und ‚Körner-Ernte‘ unterschieden.

In der Phasen-Kennung ‚196‘ wird deshalb der Beginn der Ernte vor 1991 ohne Erfassung des Ernteverfahrens und nach 1990 mit der Erfassung des Ernteverfahrens abgespeichert.

Der DWD (1991) macht folgende weiteren Angaben zu den erfassten Nutzungsarten (Ernteverfahren):

Körnermais: Das Korn wird geerntet, wenn es eine Kornfeuchte von weniger als 45% erreicht hat und gedroschen werden kann.

Corn-Cob-Mix (CCM): Die Kornspindelsilage, wird schon ab 55% Kornfeuchte geerntet. Zusätzlich zum Korn wird auch die Spindel zerkleinert (gehäckselt) und siliert.

Silomais: Der nicht ausgereifte Körnermais ist die häufigste Nutzungsform des Maises. Es werden die oberirdischen Pflanzenteile abgeerntet, gehäckselt und siliert. Der günstigste Zeitpunkt liegt zur Zeit der Teigreife bei ca. 65 bis 75 % Kornfeuchte.

Grünmais oder **Futtermais** ist von der phänologischen Beobachtung ausgeschlossen.

FAO-Zahl (Reifezahl)

Unter der Phasen-Kennung ‚236‘ erfolgt die Erfassung der sogenannten FAO-Zahl.

Die Reifebestimmung einer Maissorte wird durch eine Reifezahl, üblicherweise als FAO-Zahl bezeichnet, beschrieben. Das weltweite Maissortiment wird durch diese dreistellige Zahl in neun Reifegruppen von 100 (früh) bis 900 (spät) untergliedert. Die Hunderterstelle kennzeichnet die Reifegruppen, während die Zehnerziffer zur weiteren Unterteilung innerhalb der Reifegruppe herangezogen wird. Die in Deutschland stets mit einer ‚0‘ ausgefüllte Einerstelle steht für ein gelbschaliges Korn.

Die Differenz von 10 Reife-Einheiten gibt unter mitteleuropäischen Verhältnissen im Allgemeinen einen Reifeunterschied von 1-2 Tagen oder 1-2 % im Trockensubstanzgehalt der Körner zum Zeitpunkt der Reife wieder.

Zur Berechnung der FAO-Zahl wurde vom Bundessortenamt (BSA) langjährig der Trockensubstanzgehalt (TS-Gehalt) des Kolbens herangezogen. Zwischen Silo- und Körnermais wurde hierbei nicht unterschieden.

Eine treffendere Reifebeschreibung ist mit der Einführung einer nutzungsspezifischen Reifebeschreibung im August 1998 erzielt worden. Für Silomais wird neben dem Kolben auch die Abreife der Restpflanze in Form

des Trockensubstanzgehaltes der Gesamtpflanze (GTS) berücksichtigt. Für Körnermais wird der Trockensubstanzgehalt des Kornes zur Berechnungsgrundlage erhoben.

Die Kennzeichnung zwischen den Nutzungsrichtungen erfolgt, indem der Reifezahl für Silomais ein S, und für Körnermais ein K vorangestellt wird.

(Quelle: Deutsches Maiskomitee, <http://www.maiskomitee.de>)

Erfassungszeitraum

Ernteverfahren und FAO-Zahl werden vom DWD erst seit 1991 erfasst. Deshalb konnte kein Vergleich zwischen den Perioden 1961-1990 und 1991-2011 durchgeführt werden.

Abbildung 57 zeigt die Abhängigkeit des Beginns der Ernte (Phasen ,196‘ & ,303‘) beim Mais (*Zea mays*) vom Ernteverfahren und vom Erfassungszeitraum (1961-1990, 1991-2011). Abbildung 58 zeigt die Abhängigkeit des Beginns der Ernte beim Mais (*Zea mays*) vom Jahr der Beobachtung (1951-2011) differenziert nach dem Ernteverfahren.

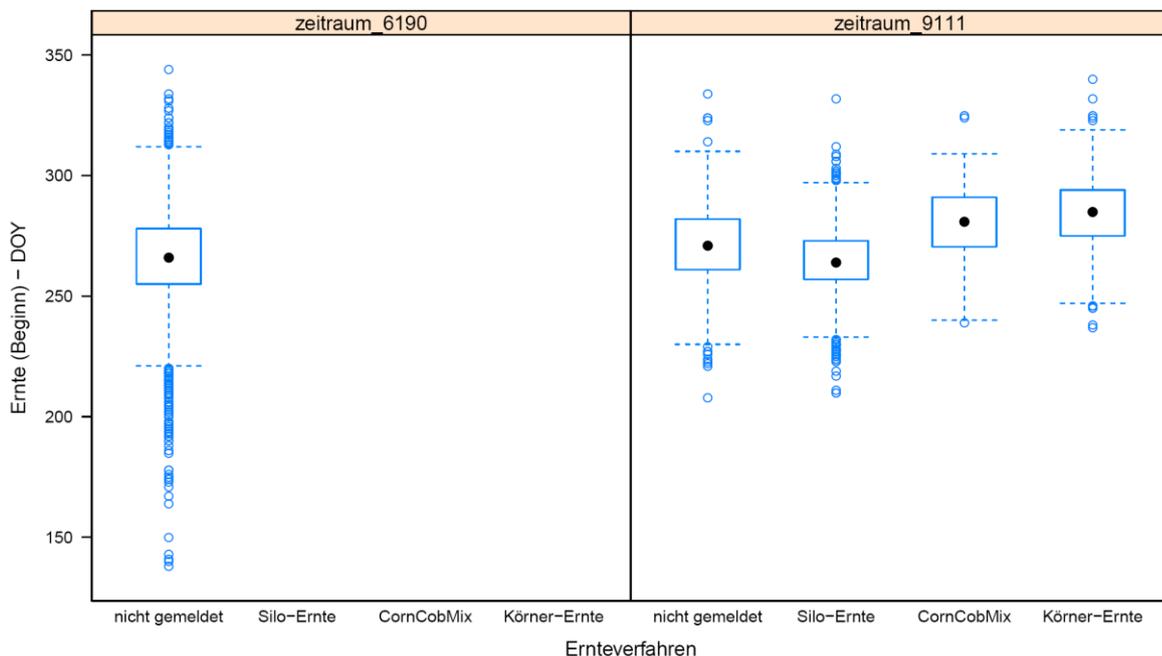


Abbildung 57. Abhängigkeit des Beginns der Ernte (Phasen ,196‘ & ,303‘) beim Mais (*Zea mays*) vom Ernteverfahren und vom Erfassungszeitraum (1961-1990, 1991-2011).

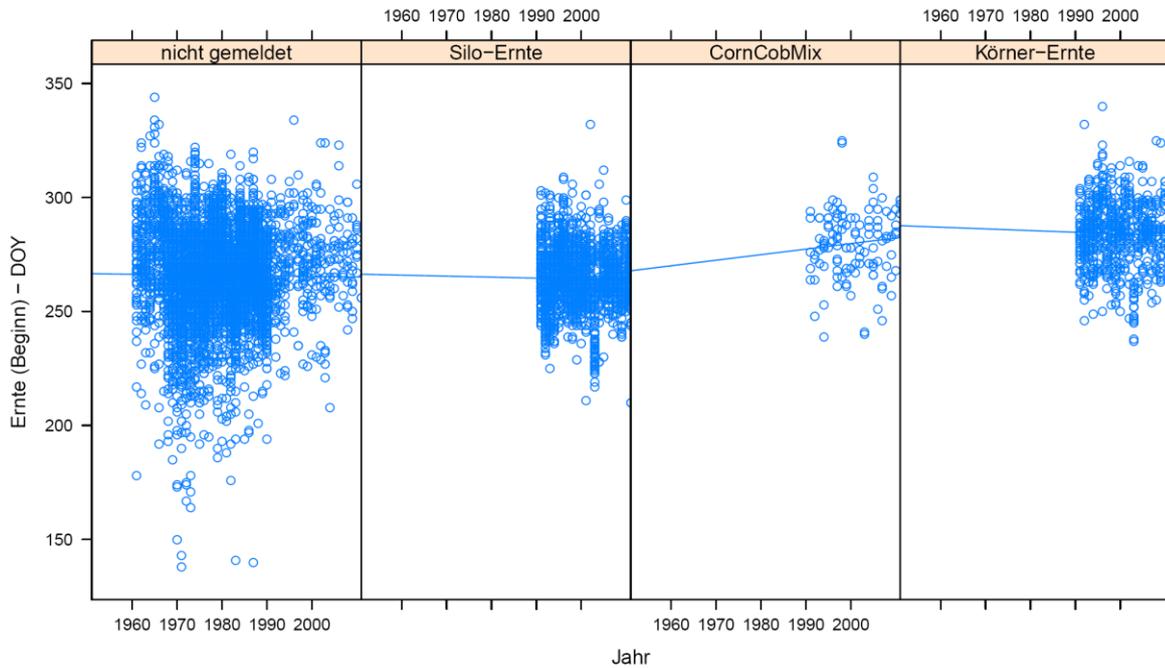


Abbildung 58. Abhängigkeit des Beginns der Ernte (Phasen ,196‘ & ,303‘) beim Mais (*Zea mays*) vom Jahr der Beobachtung (1951-2011) und vom Ernteverfahren.

Ernteverfahren, Erntetermin und Höhe üNN

Abbildung 59 zeigt die Abhängigkeit des Beginns der Ernte beim Mais (*Zea mays*) von der Höhe über NN und vom Ernteverfahren.

Mais wird in Baden-Württemberg generell bis in Höhen von maximal 850 m üNN angebaut. Körner-Ernte und Corn-Cob-Mix findet aber nur bis ca. 600 m üNN statt. Bei der Körner-Ernte liegt der Schwerpunkt des Anbaus unterhalb von 400 m üNN.

Bei den Gruppen „Ernteverfahren nicht gemeldet“, „Silo-Ernte“ und „Körner-Ernte“ zeigt sich eine deutliche Abhängigkeit des Erntetermins von der Höhe über NN. Silomais wird deutlich früher geerntet als Körnermais. Beim „Corn-Cob-Mix“ ist kein klarer Trend erkennbar.

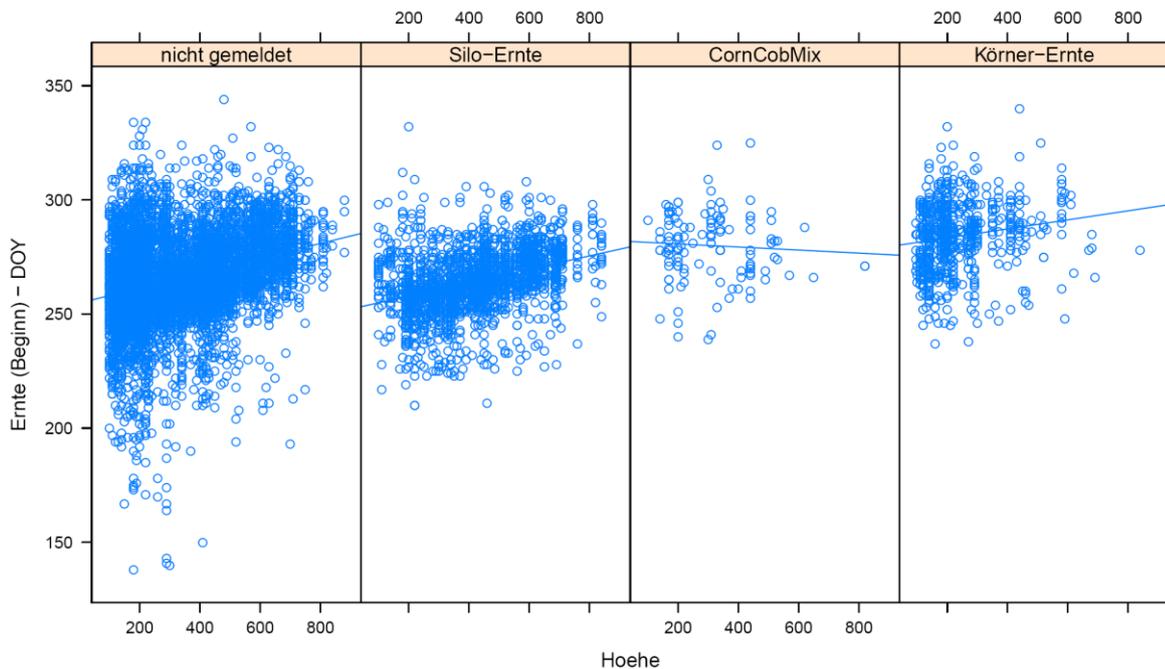


Abbildung 59. Abhängigkeit des Beginns der Ernte (Phasen ,196' & ,303') beim Mais (*Zea mays*) von der Höhe über NN differenziert nach den Ernteverfahren.

Reifegruppe nach FAO-Zahl

Über die Reifezahl (bzw. FAO-Zahl) können Reifegruppen beim Mais definiert werden (nach Deutsches Maiskomitee e.V.):

Reifegruppe	Reifezahl	tägl. Durchschnittstemperatur (Mai-Sept.)
Früh	170-220	14,0 – 15,0
Mittel früh	230-250	15,0 – 15,5
Mittel spät	260-290	15,6 – 16,4
Spät	300-350	16,5 – 17,4

Im Folgenden wird für Reifezahlen < 170 zusätzlich die Reifegruppe ,Sehr früh' verwendet.

Abbildung 60 zeigt die Abhängigkeit des Beginns der Ernte beim Mais (*Zea mays*) von der Höhe über NN und der Reifegruppe (nach FAO-Zahl).

Während sich über den gesamten Datensatz (Beginn der Ernte beim Mais) eine deutliche Abhängigkeit von der Höhe üNN erkennen lässt (Abb. 28 und 60), zeigen die nach Reifegruppen aufgegliederten Teildatensätze nur bei den frühen (sehr früh, früh, mittel früh) Reifegruppen eine leichte Abhängigkeit des Erntetermins von der Höhe üNN. Wie bereits erläutert, werden die späten Reifegruppen in der Regel als Körnermais geerntet und überwiegend in den tieferen Lagen (bis 400 m üNN) angebaut.

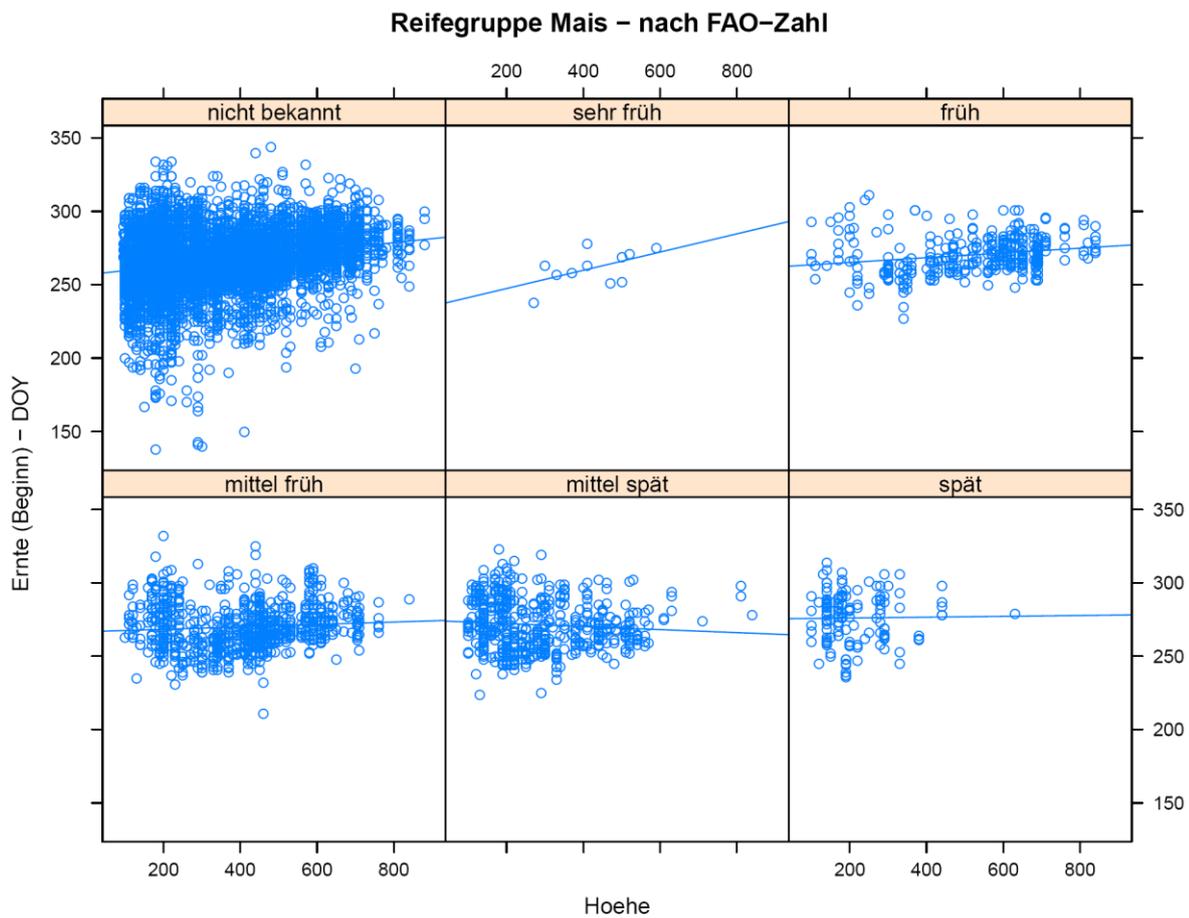


Abbildung 60. Abhängigkeit des Beginns der Ernte (Phasen ,196‘ & ,303‘) beim Mais (*Zea mays*) von der Höhe über NN differenziert nach fünf Reifegruppen (nach FAO-Zahl). Erläuterung im Text.

7 Phänologische Uhren

7.1 PHÄNOLOGISCHE JAHRESZEITEN

Das phänologische Jahr wird vom Deutschen Wetterdienst in zehn physiologisch-biologisch begründete "phänologische Jahreszeiten" eingeteilt. In einem phänologischen Kalender werden die Eintrittszeiten charakteristischer Entwicklungsphasen (sogenannte phänologische Phasen oder kurz Phänophasen) festgehalten.

Pflanzenarten, die den Beginn phänologischer Jahreszeiten anzeigen, werden vom DWD als sog. Zeigerpflanzen definiert (Tabelle 7). Diese ‚Leitphasen‘ sind gut sichtbare Veränderungen der Pflanze als Ausdruck eines Wechsels in ihrem physiologischen Zustand. Dabei werden vom DWD vorwiegend Wildpflanzen herangezogen.

Im Rahmen dieses Projektes wurde versucht, die phänologischen Jahreszeiten durch Leitphasen der Feldfrüchte (Kulturpflanzen) zu charakterisieren. Eine Phase zur Charakterisierung des Vorfrühlings liegt bei den Feldfrüchten nicht vor. Der Erstfrühling wurde deshalb in Erstfrühling I und Erstfrühling II unterteilt. Bei den Leitphasen der Feldfrüchte mussten auch sog. unechte Phasen (z.B. Beginn der Bestellung) aufgenommen werden. Insgesamt sind die phänologischen Phasen der Kulturpflanzen auch von Gewohnheiten und arbeitstechnischen Notwendigkeiten (z.B. Zeitpunkt der Aussaat) der Landwirte abhängig, während die phänologischen Phasen der Wildpflanzen vom Menschen nicht direkt beeinflusst werden.

Tabelle 7. Phänologische Jahreszeiten und ihre Zeigerpflanzen

Phänologische Jahreszeit

	Leitphase Wildpflanzen	Leitphase Feldfrüchte	
Vorfrühling	Hasel (Blüte)	Hafer (Bestellung)	Erstfrühling I
Erstfrühling	Forsythie (Blüte)	Hafer (Auflaufen)	Erstfrühling II
Vollfrühling	Apfel (Blüte)	Futtermübe (Auflaufen)	
Frühsommer	Schwarzer Holunder (Blüte)	Winterweizen (Ährenschieben)	
Hochsommer	Sommer-Linde (Blüte)	Wintergerste (Gelbreife)	
Spätsommer	Apfel, frühreifend (Früchte)	Hafer (Ernte, Mähdrescher)	
Frühherbst	Schwarzer Holunder (Früchte)	Winterraps (Auflaufen)	
Vollherbst	Stiel-Eiche (Früchte)	Futtermübe (Ernte)	
Spätherbst	Stiel-Eiche (Blattverfärbung)	Winterweizen (Bestellung)	
Winter	Stiel-Eiche (Blattfall)	Winterweizen (Auflaufen)	

Jede phänologische Jahreszeit beginnt mit dem Eintritt der entsprechenden Phase und endet mit dem Beginn der nächsten phänologischen Jahreszeit. Im Gegensatz zu den astronomischen oder kalendarischen Jahreszeiten ist das Eintreten der phänologischen Jahreszeiten lokal deutlich unterschiedlich und variiert auch in den verschiedenen Jahren. Die phänologischen Jahreszeiten sind abhängig von den Jahr für Jahr zu unterschiedlichen Terminen einsetzenden Entwicklungen in der Natur. Der Deutsche Wetterdienst charakterisiert den Beginn der landwirtschaftlichen Vegetationsperiode durch den Blühbeginn der Salweide, das Ende der Saison durch die Blattverfärbung der Stieleiche indiziert. Beide Phasen gehören zur Wildpflanzen-Phänologie.

7.2 AUFBAU DER PHÄNOLOGISCHEN UHREN

Wie bereits in Abschnitt 7.1 erläutert, wird das Jahr in zehn ‚*phänologische Jahreszeiten*‘ eingeteilt. Diese phänologischen Jahreszeiten lassen sich übersichtlich als ‚*phänologische Uhren*‘ darstellen (siehe Abb. 61).

Phänologische Uhren können für einzelne Beobachtungsstationen, aber auch für größere Gebiete (z.B. Naturräume), erstellt werden. Voraussetzung für die Darstellung der Mittelwerte eines Ortes als phänologische Uhr ist, dass die Daten vollständig für alle notwendigen Phasen vorliegen. Für die Darstellung von etwaigen Veränderungen ist es sinnvoll, Mittelwerte eines möglichst langen Zeitraumes zu wählen, weil sich die mittleren Verhältnisse eines Ortes bzw. Gebietes nur dann wirklich beschreiben lassen (Bissolli et al. 2007).

Obwohl eine phänologische Uhr nur eine Auswahl der vom Deutschen Wetterdienst erfassten Phänophasen enthält, ist ihre Aussagekraft sehr groß. Zugrunde gelegt für einen 30-jährigen Zeitraum (z.B. die Klimanormalperiode) werden immerhin „30 * 10 * Anzahl der Stationen“ Einzeldaten (ergibt z.B. 300 Daten für eine einzelne Beobachtungsstation). Dieser Datensatz beschreibt zuverlässig die phänologischen Jahreszeiten und somit den chronologischen Vegetationsverlauf.

In der Regel werden „phänologische Uhren“ vom Deutschen Wetterdienst für die Vergleichsperiode 1961 bis 1990 (die aktuelle Klimanormalperiode der WMO) erstellt, aber auch andere Zeiträume sind möglich.

Zur Verdeutlichung von Klimaänderungen, wie sie sich etwa in den letzten beiden Jahrzehnten ergeben haben, kann eine so genannte ‚*Doppelte phänologische Uhr*‘ verwendet werden (vgl. Abb. 61). In dieser ‚Doppelten phänologischen Uhr‘ werden zwei Zeiträume gegenübergestellt, z.B. die Jahre 1961-1990 und 1991-2011.

Da im Zentrum der ‚Doppelten phänologischen Uhr‘ oft auch zum Vergleich die Monate des Jahres und die klimatologischen Jahreszeiten dargestellt werden, wird gelegentlich auch von ‚*Dreifachen phänologischen Uhren*‘ gesprochen (z.B. Henniges et al. 2005).

Im Rahmen dieses Projektes werden für Baden-Württemberg ‚Doppelte phänologische Uhren‘ für zahlreiche phänologische Beobachtungsstationen, alle Naturräume und alle Naturraumgruppen erstellt.

Phänologische Jahreszeiten

Station Aalen
1961–1990 (äusserer Ring) und
1991–2011 (innerer Ring)

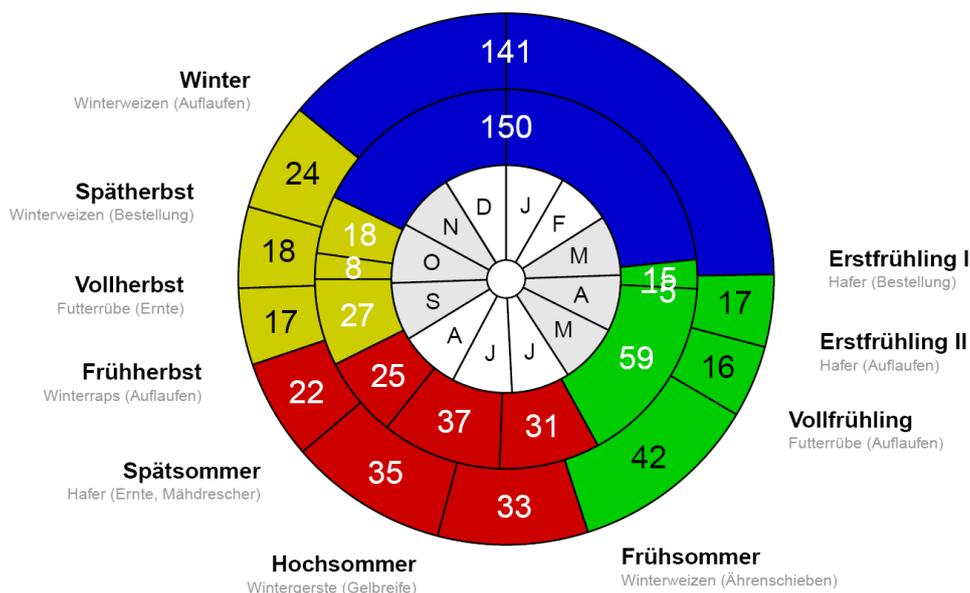


Abbildung 61. Doppelte phänologische Uhr der phänologischen Beobachtungsstation ‚Aalen‘ (Stations-Nr. 81311110) für die Zeiträume 1961-1990 (Klimanormalperiode, äußerer Ring) und 1991 bis 2011 (innerer Ring). Weitere Erläuterungen im Text.

7.3 PHÄNOLOGISCHE UHREN EINZELNER BEOBACHTUNGSSTATIONEN

Im Rahmen des Projektes sollten Doppelte phänologische Uhren möglichst vieler Beobachtungsstationen aus Baden-Württemberg erstellt werden. Um die verschiedenen Stationen vergleichen zu können, wurden für ganz Baden-Württemberg die gleichen Leitphasen der phänologischen Uhr gewählt (siehe 7.1).

Die Doppelten phänologischen Uhren beziehen sich auf die Zeiträume 1961-1990 (Klimanormalperiode) und 1991-2011.

Insgesamt konnten Doppelte phänologische Uhren für 121 phänologische Beobachtungsstationen erstellt werden. Voraussetzung für die Erstellung einer Doppelten phänologischen Uhr war, dass aus jedem der betrachteten Zeiträume von jeder Leitphase Beobachtungen aus mindestens einem Jahr vorlagen. Je mehr Beobachtungsjahre vorhanden waren, desto aussagekräftiger ist der gebildete Mittelwert für die Beobachtungsjahre. Um die Qualität der Mittelwerte besser beurteilen zu können, wurde zu jeder Doppelten phänologischen Uhr eine Rapport-Datei erstellt, die Auskunft über die Anzahl der verwendeten Beobachtungsjahre je Leitphase gibt (siehe Tabelle 8).

Tabelle 8. Aufbau einer Rapport-Datei über die Ausgangsdaten einer Doppelten phänologischen Uhr am Beispiel der Station Aalen (Stations-Nr. 81311110).

```

$titel
[1] "Station Aalen"

$nr
[1] "Station Nr. 81311110"

$tit.in
[1] "1991-2011"

$tit.au
[1] "1961-1990"

$daten
  innen aussen      art      phase innen.n aussen.n
1     86     91     Hafer     Bestellung     10     27
2    101    108     Hafer     Auflaufen     10     27
3     96    124 Futterrübe     Auflaufen     2     27
4    155    166 Winterweizen     Ährenschieben     10     27
5    186    199 Wintergerste     Gelbreife     10     23
6    223    234     Hafer Ernte, Mähdrescher     10     26
7    248    256 Winterraps     Auflaufen     9      8
8    275    273 Futterrübe     Ernte     2     26
9    283    291 Winterweizen     Bestellung     9     26
10   301    315 Winterweizen     Auflaufen     8     25

```

Erläuterungen für den Abschnitt: Daten

innen = Mittelwert (DOY, day of year) der Phase für den Zeitraum des inneren Kreises
 innen.n = Anzahl der vorhandenen Beobachtungen im Zeitraum des inneren Kreises
 aussen = Mittelwert (DOY, day of year) der Phase für den Zeitraum des äusseren Kreises
 aussen.n = Anzahl der vorhandenen Beobachtungen im Zeitraum des äusseren Kreises
 art, phase = Name der Art und die Phänophase für die Phasen der phänologischen Uhr

Die erstellten Doppelten phänologischen Uhren wurden in verschiedenen Graphikformaten gespeichert (*.eps, *.wmf, *.pdf). Ausserdem existiert zu jeder Station eine Rapport-Datei im Textformat (siehe Tabelle 8, *.txt).

Die Graphik- und Rapport-Dateien der einzelnen phänologischen Beobachtungsstationen befinden sich auf beiliegender DVD (Folder: >PhaenoUhren\Stationen\). Die einzelnen Dateien sind mit dem Namen der Station benannt.

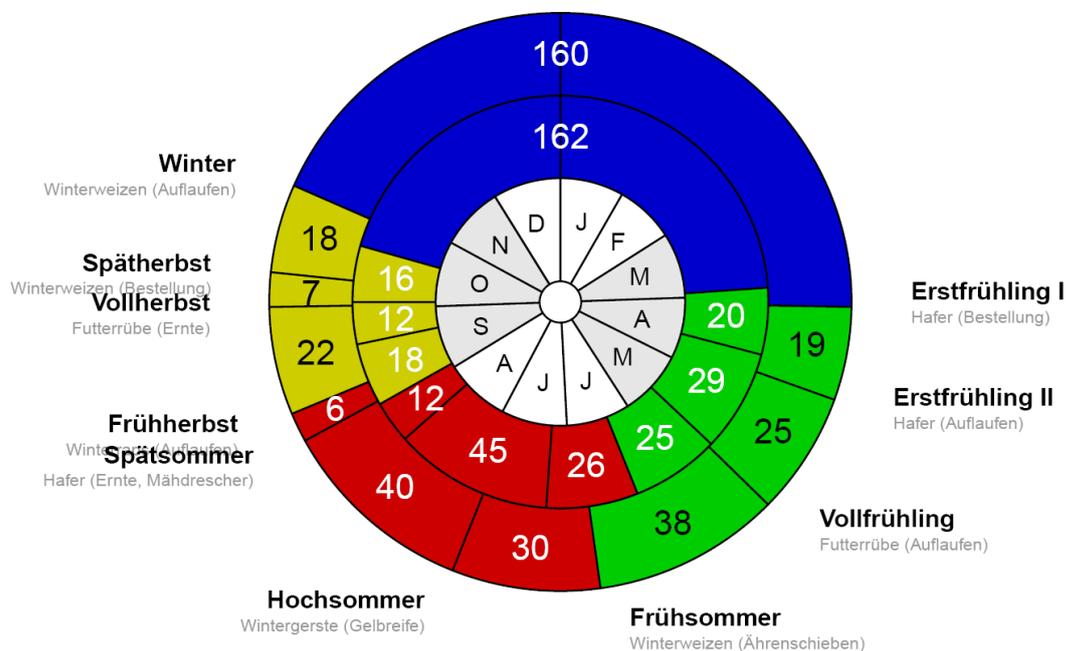
7.4 PHÄNOLOGISCHE UHREN DER NATURRÄUME UND NATURRAUMGRUPPEN

Ähnlich wie für die einzelnen phänologischen Beobachtungsstationen können phänologische Uhren auch für größere Räume, z.B. Naturräume oder Naturraumgruppen, erstellt werden. Einen Überblick über die naturräumliche Gliederung von Baden-Württemberg gibt Kap. 2.1.

Insgesamt wurden Doppelte phänologische Uhren für 47 (der 66) naturräumlichen Haupteinheiten und für alle 13 Naturraumgruppen erstellt. Für die nicht durch phänologische Uhren dargestellten naturräumlichen Haupteinheiten liegen nicht ausreichende Daten (Phasen) zur Darstellung einer phänologischen Uhr vor.

Bei der Betrachtung der Doppelten phänologischen Uhren für die Naturraumgruppen ist zu erkennen, dass sich die Jahreszeiten allgemein verschoben haben und die phänologischen Erscheinungen früher besser mit den klimatologisch definierten Jahreszeiten übereingestimmt haben. In allen Gebieten von Baden-Württemberg verschieben sich die phänologischen Jahreszeiten.

**NR 94 Mittlere Kuppenalb
1961–1990 (äusserer Ring) und
1991–2011 (innerer Ring)**



**NRG 9 Schwäbische Alb
1961–1990 (äusserer Ring) und
1991–2011 (innerer Ring)**

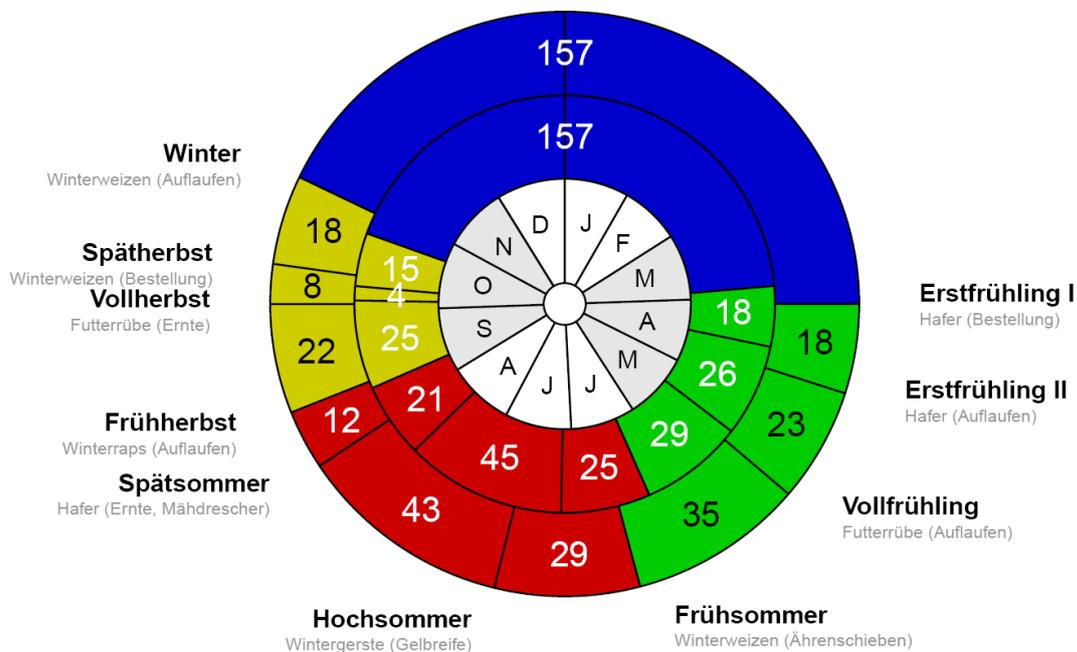
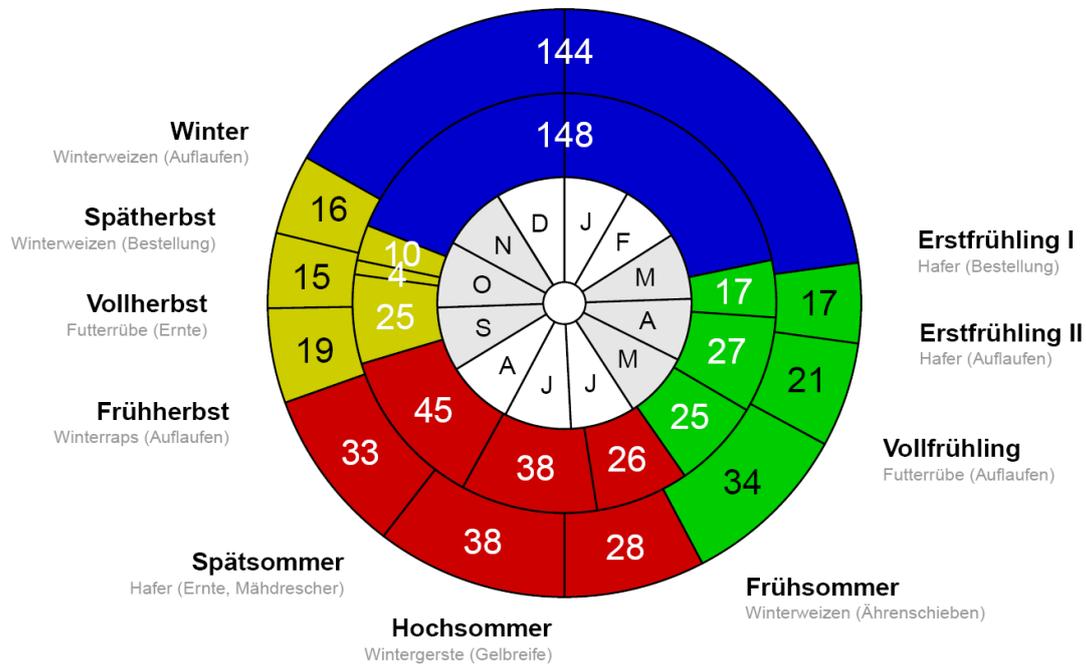


Abbildung 62. Doppelte phänologische Uhren des Naturraumes 94 „Mittlere Kuppenalb“ (oben) und der Naturraumgruppe 9 „Schwäbische Alb“ (unten) für die Zeiträume 1961-1990 (Klimanormalperiode, äusserer Ring) und 1991 bis 2011 (innerer Ring). Leitphasen, mittlerer Beginn und Dauer der phänologischen Jahreszeiten.

**NR 125 Kraichgau
1961–1990 (äusserer Ring) und
1991–2011 (innerer Ring)**



**NRG 12 Gäuplatten im Neckar- und Tauberland
1961–1990 (äusserer Ring) und
1991–2011 (innerer Ring)**

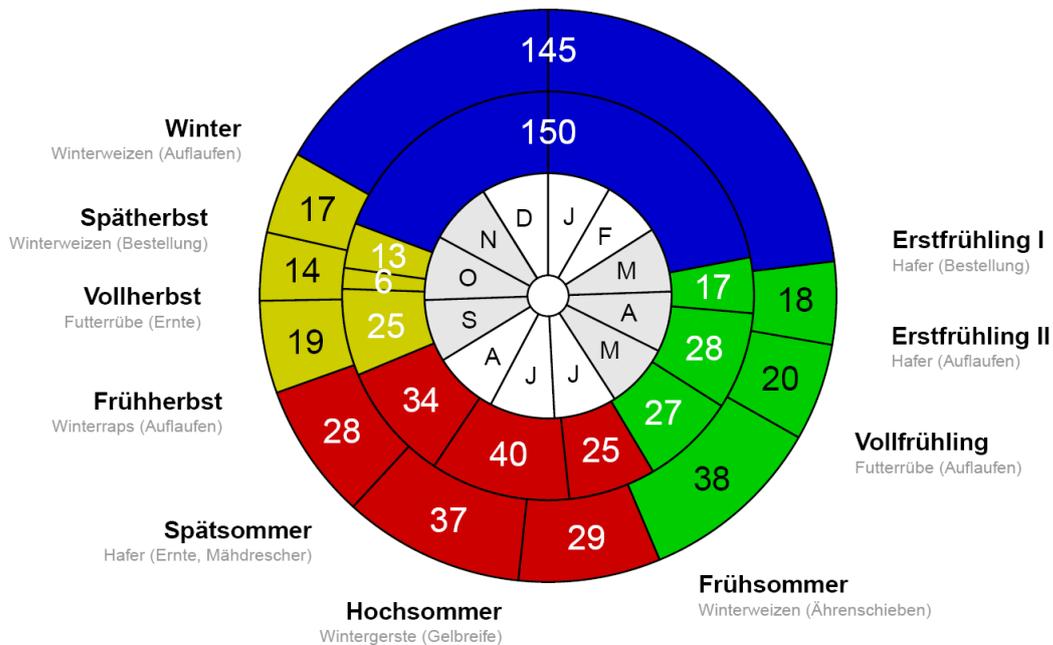


Abbildung 63. Doppelte phänologische Uhren des Naturraumes 125 „Kraichgau“ (oben) und der Naturraumgruppe 12 „Gäuplatten im Neckar- und Tauberland“ (unten) für die Zeiträume 1961-1990 (Klimanormalperiode, äußerer Ring) und 1991 bis 2011 (innerer Ring). Leitphasen, mittlerer Beginn und Dauer der phänologischen Jahreszeiten.

8 Zusammenhang zwischen phänologischen Beobachtungen und Klimamessungen

8.1 AUSWAHL GEEIGNETER STATIONEN

Insgesamt liegen aus Baden-Württemberg Beobachtungen von 656 phänologischen Stationen und 197 Klimastationen (KL-Messnetz des DWD) vor. Um geeignete Stationen für die Untersuchung des Zusammenhangs zwischen phänologischen Beobachtungen und konkreten Klimamesswerten auffinden zu können, wurden folgende Auswahlkriterien festgelegt:

- In der Nähe (maximale Distanz: 2 km) der phänologischen Station soll eine Klimastation vorhanden sein.
- Die phänologische Station soll eine Mindestlaufzeit von 40 Jahren haben.
- Von der phänologischen Station sollen mindestens Beobachtungen von 50 verschiedenen phänologischen Phasen der Feldfrüchte vorliegen.

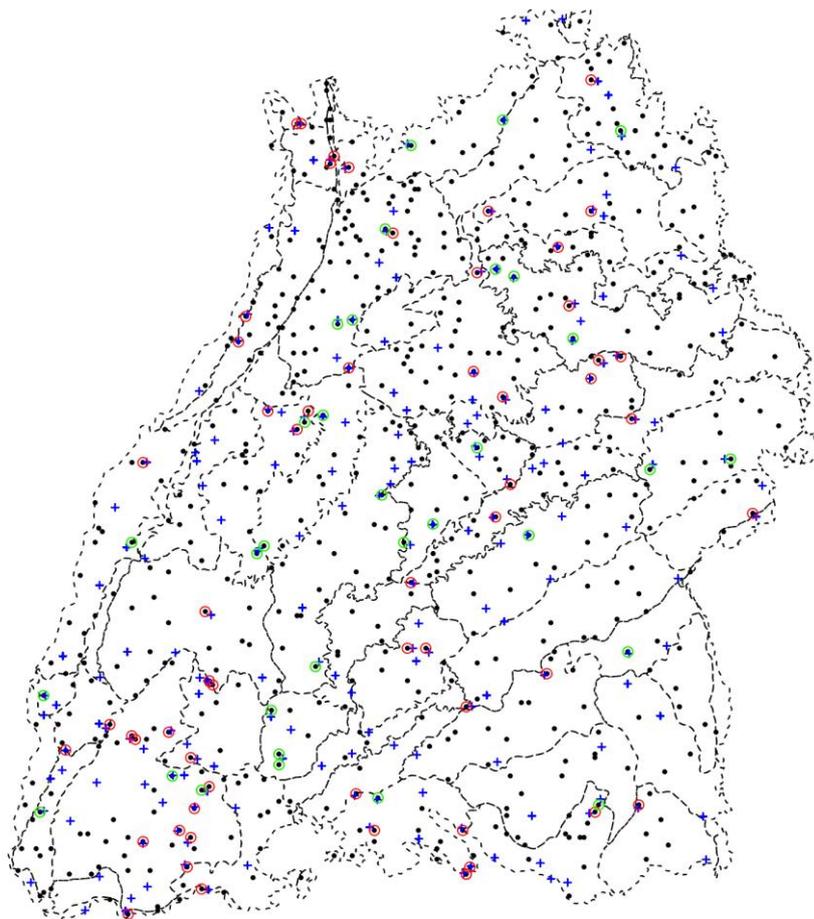


Abbildung 64. Lage von phänologischen Beobachtungsstationen und Klimastationen des DWD in Baden-Württemberg. Blaue Kreuze – Klimastation des DWD, schwarze Punkte – phänologische Beobachtungsstation mit einer Entfernung von mehr als 2 km zur nächsten Klimastation, offene rote Kreise – phänologische Beobachtungsstation mit einer Entfernung von weniger als 2 km zur nächsten Klimastation, offene grüne Kreise – wie offene rote Kreise, phänologische Beobachtungsstation mit einer Beobachtungsreihe von mindestens 40 Jahren (vgl. Tabelle 2).

Das Ergebnis dieser Selektion zeigt Abb. 64. Die ausgewählten phänologischen Stationen und die zugehörigen Klimastationen werden in Tabelle 9 zusammengefasst.

Tabelle 9. Für die Untersuchung des Zusammenhangs von Klimamessungen und phänologischen Beobachtungen potentiell geeignete phänologische Stationen. Die Tabelle enthält alle phänologischen Stationen mit einer Laufzeit von mindestens 40 Jahren, die nicht weiter als 2 km von einer Klimastation des DWD entfernt sind. Die phänologischen Stationen sind sortiert nach der Länge ihrer Laufzeit (Spalte ‚Jahre‘). Für Phäno- und Klimastationen wird die Höhe (m ü.NN) angegeben. In der Spalte ‚Hoehe.diff‘ wird der Höhenunterschied angegeben (Höhenunterschiede mit weniger als 20 m wurden blau hervorgehoben). Für die Klimastationen wird die Laufzeit der Station (von / bis) angegeben. In der Spalte ‚OK‘ sind 16 geeignet erscheinende Stationen ausgewiesen.

Station	Phänostation	Hoehe	Jahre	ID	Klimastation	DWDNr	Hoehe	von	bis	Jahre	Distanz	Hoehe.diff	OK
81120001	Stuttgart-Hohenheim	391	61	4931	Stuttgart-Echterdingen	2746	371	1953	2011	58	643	-20	1
81321410	Murrhardt	290	61	3425	Murrhardt	2721	344	1951	2004	53	686	-54	
81361610	Stötten (DWD)	685	61	4887	Stötten	2728	734	1950	2011	61	1573	-49	
81382020	Weinsberg	220	61	5429	Weinsberg	2511	219	1953	1984	31	381	1	
82321200	Buchen	340	61	755	Buchen, Kr. Neckar-Odenwald	2685	340	1950	2011	61	376	0	2
82331190	Eberbach/Baden	130	61	1093	Eberbach (LUBW)	2680	131	1951	2005	54	1005	-1	3
84321450	Ingerkingen	520	58	4433	Schemmerhofen-Ingerkingen	2960	519	1987	2004	17	640	1	
84401440	Urach, Bad	460	58	5174	Urach, Bad	2749	471	1975	2005	30	361	-11	
81371300	Heidenheim a. d. Brenz	490	57	2088	Heidenheim/Brenz	4102	498	1950	2005	55	1663	-8	4
81421350	Mergentheim, Bad	250	56	3257	Mergentheim, Bad-Neunkirchen	2679	250	1950	2011	61	1492	0	5
83341610	Vogtsburg-Oberrotweil	220	56	5250	Vogtsburg-Oberrotweil	2305	223	1950	2003	53	413	-3	6
83321190	Donaueschingen	690	55	1018	Donaueschingen	2780	677	1951	2004	53	1701	13	7
84331280	Calmbach	400	54	5559	Wildbad, Bad-Calmbach	2709	385	1950	2001	51	1343	15	8
81382040	Willsbach	200	52	3734	Obersulm-Willsbach	2828	230	2004	2011	7	569	-30	
81331260	Herrenberg	440	51	2159	Herrenberg	2920	430	1978	1985	7	700	10	
82341150	Bretten	180	51	710	Bretten	2703	185	1983	2003	20	1054	-5	
83411370	Offenburg	160	50	3777	Offenburg	2301	153	1958	2003	45	1961	7	9
83461450	Villingen	710	50	5229	Villingen-Schwenningen	2739	720	1950	2011	61	1854	-10	10
81481290	Knittlingen	200	49	2654	Knittlingen	2697	200	1951	1983	32	246	0	
83321380	Hüfingen	690	49	1018	Donaueschingen	2780	677	1951	2004	53	1989	13	11
83391380	Müllheim	270	49	259	Müllheim	2322	273	1950	2011	61	1140	-3	12
84351261	Freudenstadt (DWD)	800	49	1468	Freudenstadt	2751	797	1950	2011	61	709	3	13
84351260	Freudenstadt (Ost)	650	48	1467	Freudenstadt-Kurgarten	2750	736	1950	2005	55	1418	-86	
83441110	Aach	480	46	1	Aach	2783	478	1950	1986	36	679	2	
84331900	Schömburg	630	46	4517	Schömburg, Kr. Calw	2741	635	1950	2004	54	550	-5	14
82381500	Sinsheim	150	45	4719	Sinsheim	2823	169	1998	2007	9	635	-19	
83401330	Hinterzarten	880	45	2228	Hinterzarten	2771	883	1950	2005	55	204	-3	15
83401370	Lenzkirch	810	45	2953	Lenzkirch-Ruhbühl	2773	852	1961	2011	50	1553	-42	
84411500	Rottweil	600	44	4300	Rottweil	2757	588	1957	2011	54	1531	12	16
84391120	Baienfurt	460	43	273	Baindt	2966	467	1986	1990	4	1640	-7	
84451560	Tübingen	340	43	5120	Tübingen	2748	370	1950	1982	32	242	-30	
84451500	Rottenburg a. Neckar	350	41	4294	Rottenburg-Kiebingen	2923	360	1979	2002	23	1895	-10	
81371400	Niederstotzingen	470	40	3605	Niederstotzingen	4104	451	1951	1980	29	1301	19	
83341740	Stegen	390	40	4837	Stegen	2313	363	1985	1990	5	1553	27	
83431550	Todtmoos	820	40	5059	Todtmoos	2325	781	1982	2002	20	648	39	

Tabelle 9 enthält Informationen zu 35 potentiell geeigneten phänologischen Stationen und den in ihrer Nähe liegenden Klimastationen. Da bereits geringe Höhenunterschiede einen Einfluss auf phänologische Beobachtungen haben können, wurde die Höhendifferenz zwischen der phänologischen Station und der Klimastation (Spalte ‚Hoehe.diff‘) berechnet. Bei einigen Klimastationen ist die Laufzeit (Spalten ‚von‘, ‚bis‘) für eine Analyse zu kurz. Die nächstgelegene DWD Klimastation zur phänologischen Station Stuttgart-Hohenheim ist eigentlich die Klimastation Stuttgart-Hohenheim. Diese wird aber seit 1977 nicht mehr vom DWD betrieben. Deshalb wurde hier die Station Stuttgart-Echterdingen als Referenzstation genutzt.

Basierend auf den Auswahlkriterien konnten 16 phänologischen Stationen ausgewählt werden, die für die Analyse des Zusammenhangs zwischen phänologischen Beobachtungen und konkreten Klimamesswerten als geeignet erscheinen. Die Stationen wurden in Tabelle 9, Spalte ‚OK‘ mit einer laufenden Nummer versehen.

8.2 DIE PHÄNOLOGISCHE BEOBACHTUNGSSTATION „BUCHEN“ – EIN BEISPIEL

Für jede der 16 in Kapitel 8.1 (siehe Tabelle 9, Spalte ‚OK‘) ausgewählten phänologischen Stationen wurden mit Hilfe linearer Regressionen detaillierte Analysen des Zusammenhangs zwischen dem Eintritt der phänologischen Phasen und vorhandenen Klimaparametern durchgeführt. Hierbei wurden folgende Klimaparameter berücksichtigt:

Tabelle 10. Untersuchte Klimaparameter

Kurz	Beschreibung des Parameters
Tmit	Tagesmitteltemperatur beim Eintritt der Phase
cumTmit	kumulative Summe der mittleren Tagestemperaturen bis zum Eintritt der Phase
cumTmit0	kumulative Summe der mittleren Tagestemperaturen über 0°C bis zum Eintritt der Phase
cumTmit5	kumulative Summe der mittleren Tagestemperaturen über 5°C bis zum Eintritt der Phase
cumTmax0	kumulative Summe der maximalen Tagestemperaturen über 0°C bis zum Eintritt der Phase
Frosttage	Anzahl der Tage mit Frost bis zum Eintritt der Phase Frosttag: $T_{min} \leq 0^{\circ}C$
FfTage	Anzahl der Tage ohne Frost bis zum Eintritt der Phase Frostfreier Tag: $T_{min} > 0^{\circ}C$
Eistage	Anzahl der Eistage bis zum Eintritt der Phase Eistag: $T_{max} \leq 0^{\circ}C$
Sommertage	Anzahl der Sommertage bis zum Eintritt der Phase Sommertag: $T_{max} > 25^{\circ}C$
HeißeTage	Anzahl der heißen Tage bis zum Eintritt der Phase Heißer Tag: $T_{max} > 30^{\circ}C$
NN1	Anzahl der Tage mit mindestens 1 mm Niederschlag bis zum Eintritt der Phase (Regentage)
NN10	Anzahl der Tage mit mindestens 10 mm Niederschlag bis zum Eintritt der Phase (Starkregentage)

Das Ergebnis dieser Analysen soll hier am Beispiel der phänologischen Station Buchen dargestellt werden (Tabelle 11).

Die Tabelle 11 enthält ca. 130 an der phänologischen Station Buchen (Bauland) erfasste phänologische Phasen der Kulturpflanzen. Für jede Phase werden Artname (Art), Bezeichnung der Phase (Phase_txt), Nummer der Phase (Phase), Anzahl der Beobachtungsjahre (Jahre) sowie das mittlere Eintrittsdatum der Phase als Tag des Jahres (DOY, day of year) angeben. Darüber hinaus enthält die Tabelle die Bestimmtheitsmaße (R^2) einer linearen Regression zwischen dem Eintrittstag der Phase (DOY) und den in Tabelle 10 dargestellten Klimaparametern.

Derartige Tabellen wurden für alle 16 ausgewählten phänologischen Stationen zusammengestellt. Die einzelnen Tabellen sind diesem Bericht auf der beiliegenden DVD (Folder: >Auswahl) zugefügt. Die auf der DVD beigefügten Tabellen enthalten neben dem Bestimmtheitsmaß (R^2) auch die Steigungen der jeweiligen Regressionsgeraden.

Tabelle 11. (Fortsetzung)

Art	Phase_txt	Phase	Jahre	meanDOY	R ²												
					Tmit.R2	cumTmit.R2	cumTmit0.R2	cumTmit5.R2	cumTmit10.R2	Frosttage.R2	FTage.R2	Eistage.R2	SommerTage.R2	HeisseTage.R2	NN1.R2	NN10.R2	
66	Grünpflück-Bohne	Beginn der Blüte	157	8	182	0.09	0.14	0	0.35	0.29	0.24	0.07	0.4	0.44	0.18	0.53	0.25
67	Wintergerste	Beginn der Gelbreife	77	45	186.7	0.01	0.05	0.13	0.15	0.09	0.1	0.14	0.02	0.02	0.1	0.1	0
68	Winterweizen	Beginn der Milchreife	254	21	192.3	0.02	0.11	0.44	0.61	0.33	0.25	0.14	0.21	0.02	0.04	0.08	0
69	Spätkartoffel	Beginn der Blüte	75	31	192.8	0.04	0.44	0.68	0.7	0.62	0.07	0.34	0	0.09	0	0.21	0.07
70	Dauergrünland	2. Silageschnitt	233	3	193	0.05	0.83	0.89	0.85	0.84	0.99	0.99	0.93	1	0.96	0.99	0.72
72	Hafer	Beginn der Milchreife	235	21	196.3	0.03	0.09	0.3	0.41	0.21	0.12	0.16	0.09	0.03	0.01	0.05	0.01
73	Grünpflück-Erbse	Beginn der Ernte	197	9	196.8	0.09	0.12	0.64	0.73	0.55	0.64	0.05	0.57	0.35	0.47	0.33	0.05
74	Winterraps	Beginn der Vollreife	251	21	197.2	0.01	0.32	0.51	0.61	0.44	0	0.42	0.02	0.2	0	0.07	0.01
75	Wintergerste	Beginn der Vollreife	79	22	199.3	0.16	0.02	0.04	0.01	0.02	0	0.12	0	0.03	0	0.33	0.06
76	Wintergerste	Beginn der Ernte mit Mähdscher	191	45	199.4	0.03	0	0.03	0.01	0.01	0.05	0.14	0.05	0.21	0.07	0.16	0.01
77	Wintergerste	Beginn der Ernte von Hand oder mit	78	14	199.6	0.09	0.02	0	0.21	0.02	0.34	0.03	0.18	0.08	0.05	0.43	0.1
78	Mais	Beginn des Rispschiebens	142	22	200.7	0.01	0.01	0.09	0.12	0.03	0.04	0.1	0.13	0	0.03	0.01	0.02
79	Frühkartoffel, vorgekeimt	Beginn der Ernte	179	4	201	0.03	0.85	0.92	0.97	0.78	0.75	0.29	0.47	0.22		0.01	0.17
81	Winterroggen	Beginn der Gelbreife	85	46	205.5	0.19	0.57	0.74	0.71	0.69	0.04	0.63	0.06	0.05	0	0.21	0.13
82	Mais	Beginn der Blüte	238	20	206.6	0.04	0	0.09	0.15	0.04	0.1	0.06	0.21	0.01	0.09	0.07	0.02
83	Grünpflück-Bohne	Beginn der Ernte	198	12	207.2	0.07	0	0.19	0.22	0.1	0.12	0.08	0.47	0.03	0.15	0.13	0
85	Winterraps	Beginn der Ernte	181	44	207.6	0.02	0	0.07	0.07	0.02	0.16	0.07	0.18	0.07	0.02	0.04	0
86	Rotklee	2. Heuschnitt	184	30	210.1	0.11	0.4	0.54	0.52	0.47	0.01	0.32	0	0.11	0.02	0.33	0.15
87	Sommergerste	Beginn der Gelbreife	82	31	211.2	0.17	0.16	0.33	0.26	0.29	0	0.28	0	0	0	0.3	0.1
88	Winterweizen	Beginn der Gelbreife	90	52	211.4	0.15	0.03	0.18	0.12	0.1	0.09	0.24	0.04	0.17	0.08	0.18	0.04
89	Dauergrünland	2. Heuschnitt	186	31	212.9	0.15	0.5	0.71	0.64	0.66	0.12	0.43	0	0.07	0	0.22	0.1
90	Luzerne	2. Heuschnitt	185	30	213.6	0.01	0.48	0.61	0.61	0.54	0.01	0.33	0	0.23	0.01	0.19	0.1
91	Hafer	Beginn der Gelbreife	95	52	214.1	0.06	0.12	0.36	0.3	0.26	0.06	0.35	0.06	0.07	0.06	0.24	0.1
92	Sommergerste	Beginn der Vollreife	84	30	214.5	0.11	0.68	0.84	0.82	0.82	0.05	0.66	0.06	0.17	0.01	0.27	0.25
93	Sommergerste	Beginn der Ernte von Hand oder mit	83	18	216	0.23	0.17	0.36	0.4	0.27	0	0.25	0	0.06	0.11	0.33	0.18
94	Winterroggen	Beginn der Ernte mit Mähdscher	193	46	218.4	0.14	0.23	0.39	0.31	0.33	0.04	0.41	0.03	0.04	0.12	0.2	0.01
95	Winterroggen	Beginn der Ernte von Hand oder mit	86	18	220.1	0.14	0.12	0.35	0.36	0.27	0.11	0.12	0.01	0.01	0.07	0.23	0.2
96	Sommergerste	Beginn der Ernte mit Mähdscher	192	31	220.3	0.08	0	0.1	0.07	0.04	0.06	0.1	0.06	0.03	0.09	0.34	0.15
97	Winterroggen	Beginn der Vollreife	87	24	221.7	0.06	0.12	0.29	0.2	0.17	0.01	0.2	0.01	0	0.14	0.21	0.12
98	Winterweizen	Beginn der Ernte mit Mähdscher	194	51	221.9	0.23	0	0.07	0.02	0.04	0.1	0.18	0.1	0.17	0.26	0.11	0.01
99	Winterweizen	Beginn der Ernte von Hand oder mit	91	19	222.7	0.32	0.07	0.14	0.06	0.11	0.06	0.1	0	0.03	0.16	0.33	0.2
100	Winterweizen	Beginn der Vollreife	92	29	223.4	0.25	0	0.04	0.01	0.03	0	0.17	0.01	0.19	0.22	0.22	0.05
101	Hafer	Beginn der Ernte von Hand oder mit	96	18	224.2	0.56	0.19	0.43	0.42	0.36	0.04	0.21	0.01	0.01	0.06	0.23	0.23
102	Sommerweizen	Beginn der Gelbreife	187	28	224.4	0.13	0.3	0.45	0.2	0.48	0.06	0.48	0	0.06	0.03	0.24	0.25
103	Hafer	Beginn der Ernte mit Mähdscher	195	51	225.3	0.33	0.02	0.14	0.06	0.08	0.08	0.26	0.09	0.22	0.22	0.18	0.06
104	Frühkartoffel, nicht vorge	Beginn der Ernte	180	21	225.6	0.59	0.66	0.8	0.73	0.8	0	0.76	0	0.21	0.14	0.33	0.1
107	Hafer	Beginn der Vollreife	97	30	230.1	0.65	0.48	0.71	0.51	0.7	0.06	0.69	0.03	0.09	0.03	0.29	0.08
108	Tomate	Beginn der Ernte	199	19	230.6	0.22	0.37	0.61	0.57	0.57	0	0.49	0.08	0.04	0.07	0.21	0.04
109	Sommerweizen	Beginn der Vollreife	189	27	231.4	0	0.08	0.22	0.05	0.21	0	0.28	0.01	0.13	0.02	0.27	0.31
110	Sommerweizen	Beginn der Ernte von Hand oder mit	188	16	231.5	0.03	0.38	0.39	0.02	0.38	0.18	0.54	0.15	0.32	0.4	0.14	0.35
111	Sommerweizen	Beginn der Ernte mit Mähdscher	190	28	233.2	0	0.08	0.2	0.02	0.18	0.01	0.34	0	0.17	0.08	0.2	0.13
112	Winterraps	Beginn der Bestellung	182	45	234.7	0.05	0.08	0.14	0.12	0.12	0	0.13	0.03	0	0	0	0.03
113	Mais	Beginn der Milchreife	239	20	237.3	0.54	0.19	0.3	0.25	0.31	0.03	0.25	0.01	0.01	0	0.35	0.04
115	Winterraps	Beginn des Auflaufens	183	45	246.6	0.25	0.21	0.29	0.21	0.29	0	0.36	0.01	0.01	0	0	0.04
116	Mais	Beginn der Teigreife	240	20	247.6	0.49	0.04	0.11	0.02	0.18	0.17	0.15	0.07	0.16	0.12	0.2	0.01
118	Mais	Beginn der Gelbreife	241	20	256.1	0.54	0.04	0.1	0	0.19	0.13	0.23	0.07	0.21	0.15	0.23	0.01
119	Spätkartoffel	Beginn der Ernte	76	31	262.8	0.1	0.02	0.05	0	0.12	0.01	0.23	0.02	0.08	0.08	0.03	0.03
121	Mais	Beginn der Ernte	196	42	263.1	0.45	0.09	0.13	0.01	0.11	0	0.5	0	0.25	0.16	0.15	0.01
122	Wintergerste	Beginn der Bestellung	80	45	264.1	0.18	0.03	0.02	0	0.03	0.02	0.26	0.03	0.04	0	0.01	0.01
123	Winterroggen	Beginn der Bestellung	88	45	269.5	0.17	0.02	0	0.04	0	0.08	0.17	0.05	0.12	0.06	0.05	0
124	Winterraps	Beginn der Rosettenbildung	252	21	269.9	0.51	0.19	0.28	0.18	0.27	0.03	0.39	0.01	0	0	0.02	0.08
125	Futterrübe	Beginn der Ernte	98	43	271.9	0.24	0.09	0.14	0.06	0.17	0	0.32	0	0	0.05	0.11	0.1
126	Zuckerrübe	Beginn der Ernte	99	23	276.3	0.3	0.38	0.43	0.25	0.41	0	0.63	0.02	0.06	0.17	0.14	0.26
127	Weißkohl	Beginn der Ernte	200	19	276.3	0.58	0.48	0.66	0.58	0.66	0.02	0.55	0.02	0.14	0.11	0.24	0.16
128	Wintergerste	Beginn des Auflaufens	81	45	276.5	0.34	0.04	0.03	0	0.05	0	0.31	0.03	0.02	0	0.04	0
129	Winterweizen	Beginn der Bestellung	93	52	282.4	0.51	0.08	0.09	0.23	0.06	0.03	0.2	0.01	0.23	0.12	0.07	0.01
130	Winterroggen	Beginn des Auflaufens	89	45	283.2	0.24	0.04	0.01	0.05	0	0.11	0.22	0.12	0.06	0.01	0.01	0
131	Winterweizen	Beginn des Auflaufens	94	50	295	0.54	0.37	0.45	0.25	0.51	0	0.68	0	0.01	0.01	0.02	0
132	Weidegang	Ende	201	29	305.1	0.16	0.01	0.03	0	0.06	0.24	0.16	0.18	0.01	0	0.22	0.02

In Tabelle 11 sollten Phasen mit weniger als 15 Beobachtungsjahren (Spalte ‚Jahre‘) grundsätzlich nicht weiter interpretiert werden (zu geringe Beobachtungsmenge).

Die Analyseergebnisse in Tabelle 11 ergeben folgendes Bild:

- Insgesamt besteht erwartungsgemäß bei allen frühen Frühlingsphasen (Beginn der Bestellung, Beginn des Auflaufens) ein starker Zusammenhang zur Anzahl der Frosttage (je mehr Frosttage, desto später tritt die Phase ein).
- Viele Phasen des späten Frühlings und Sommers zeigen starke Beziehungen zu den berechneten kumulativen Temperatursummen. Dies gilt vor allem für den ‚Beginn des Schossens‘ und den ‚Beginn der Blüte‘.
- Bei den späteren Reife- (‚Beginn der Gelbreife‘, ‚Beginn der Vollreife‘) und Erntephase nimmt der Zusammenhang zu den kumulativen Temperatursummen tendenziell wieder ab.
- Ein stärkerer Zusammenhang mit der mittleren Temperatur (T_{mit}) besteht vor allem bei den späten Phasen (Erntephase, Beginn des Auflaufens bei Wintergetreiden).
- Nur sehr wenige Phasen zeigen einen leichten Zusammenhang mit den berechneten Niederschlagsparametern (z.B. Sommerweizen - Beginn der Bestellung).

Insgesamt zeigen die berechneten kumulativen Temperatursummen bis zum Eintritt der Phase einen wesentlich stärkeren Zusammenhang mit dem Eintritt der jeweiligen Phase als die in anderen Untersuchungen häufig verwendeten Mitteltemperaturen.

Verglichen mit den phänologischen Phasen bei Wildpflanzen (Holz et al. 2010) zeigen sich bei den Kulturpflanzen insgesamt weniger starke Beziehungen zu den untersuchten Klimaparametern. Ursache hierfür ist sicherlich die Tatsache, dass viele phänologische Phasen bei den Kulturpflanzen stärker von Anbauverfahren und Managemententscheidungen des Landwirts abhängen.

Auch die in den letzten 60 Jahren erfolgten Änderungen des Sortenspektrums, z.B. mit Tendenz zu früher reifenden Getreidesorten, dürfte sich in den phänologischen Veränderungen niedergeschlagen haben. Eine Auswertung solcher Effekte ist aber mit dem vorliegenden Datenmaterial nicht möglich.

8.3 ÜBERBLICK ÜBER ALLE AUSGEWÄHLTEN PHÄNOLOGISCHEN BEOBACHTUNGSSTATIONEN

Nach der Betrachtung der einzelnen ausgewählten phänologischen Beobachtungsstationen wurden die Daten aller Stationen zusammengefasst, um einen Vergleich der einzelnen Phasen über alle untersuchten Stationen durchführen zu können.

Eine Vergleichstabelle über alle 16 ausgewählten phänologischen Beobachtungsstationen und alle phänologischen Phasen der Kulturpflanzen findet sich auf der dem Bericht beiliegenden DVD (Folder: >Auswahl/) in der Excel-Datei „Vergleich.xls“. Dieser Vergleich wird in Tabelle 12 auszugsweise am Beispiel der phänologischen Phase 36 (Wintergerste, Beginn des Ährenschiebens) wiedergegeben.

Tabelle 12. Vergleich der Untersuchungen zum Zusammenhang von phänologischen Beobachtungen und Klimamessungen an verschiedenen Stationen am Beispiel der Phase 36 (Wintergerste, Beginn des Ährenschiebens). Die Spalte ‚Jahre‘ enthält die Anzahl der Beobachtungsjahre für die Phase 36 an der jeweiligen Station. Die Spalte ‚meanDOY‘ enthält das mittlere Eintrittsdatum der Phase (DOY, day of year) an der jeweiligen Station. Die Tabelle enthält die Bestimmtheitsmaße (R^2) einer linearen Regression zwischen dem Eintrittstag der Phase und dem jeweiligen Klimaparameter. Zur Erläuterung der Klimaparameter siehe Tabelle 10.

Station	Art	Phase_txt	Phase	Jahre	meanDOY	Tmit.R2	cumTmit.R2	cumTmit0.R2	cumTmit5.R2	cumTmax0.R2	Frosttage.R2	FTTage.R2	Eistage.R2	Sommerfage.R2	HeisseTage.R2	NN1.R2	NN10.R2
Buchen	Wintergerste	Beginn des Ährenschiebens	36	44	141	0.04	0.01	0.01	0.06	0	0.14	0.06	0.19	0.01	0	0.1	0
Donaueschingen	Wintergerste	Beginn des Ährenschiebens	36	42	145	0	0.03	0.09	0.17	0	0.47	0.01	0.35	0	NA	0.16	0.03
Eberbach_Baden	Wintergerste	Beginn des Ährenschiebens	36	21	141	0.02	0.04	0.17	0.29	0.21	0.39	0.02	0.14	0.26	0	0.14	0.01
Heidenheim_Brenz	Wintergerste	Beginn des Ährenschiebens	36	22	151	0	0.47	0.71	0.72	0.58	0.06	0.6	0.01	0.25	0	0.39	0.01
Hohenheim	Wintergerste	Beginn des Ährenschiebens	36	53	136	0.08	0.08	0	0.01	0	0.34	0	0.12	0	0	0.14	0.09
Hüfingen	Wintergerste	Beginn des Ährenschiebens	36	42	146	0.03	0.01	0.14	0.2	0.05	0.3	0.02	0.32	0	NA	0.07	0.04
Mergentheim_Bad	Wintergerste	Beginn des Ährenschiebens	36	39	138	0.04	0.08	0.32	0.32	0.31	0.14	0.17	0.03	0.01	0	0.08	0
Müllheim	Wintergerste	Beginn des Ährenschiebens	36	40	129	0.02	0.07	0.01	0.03	0.07	0.11	0.01	0.22	0.08	0	0.28	0.15
Offenburg	Wintergerste	Beginn des Ährenschiebens	36	48	129	0.03	0.18	0.16	0.16	0.12	0.32	0.06	0.14	0.04	0	0.01	0.03
Rottweil	Wintergerste	Beginn des Ährenschiebens	36	39	153	0.08	0.25	0.51	0.61	0.37	0.04	0.3	0.01	0.32	0	0.04	0.02
Schömberg	Wintergerste	Beginn des Ährenschiebens	36	10	141	0.01	0.23	0.7	0.66	0.71	0.06	0.4	0.07	0.14	NA	0.19	0
Villingen	Wintergerste	Beginn des Ährenschiebens	36	32	152	0	0.02	0.25	0.3	0.18	0.47	0	0.1	0.02	NA	0.06	0.03
Vogtsburg-Oberrotweil	Wintergerste	Beginn des Ährenschiebens	36	8	130	0.78	0.38	0.73	0.84	0.74	0	0.5	0.16	0.09	NA	0.39	0.54

Insgesamt zeigt der Vergleich, dass es trotz genereller Übereinstimmungen erhebliche Unterschiede zwischen den einzelnen Stationen gibt. So zeigen z.B. die Station Vogtsburg-Oberrotweil, Schömberg und Heidenheim (Brenz) einen starken Zusammenhang mit den kumulativen Temperatursummen, während die Stationen Buchen oder Hohenheim kaum einen Zusammenhang zeigen. Ursache dieser Unterschiede sind vermutlich lokale Klimaphänome (Mikroklima). Trotz der Nähe zwischen Phäno- und Klimastation führen diese lokalen Phänomene (z.B. Exposition, Beschattung, lokale Kältesenken, etc.) bei einigen Stationen zu Abweichungen zwischen den Klima- und Phäno-Stationen.

In einem letzten Schritt wurden die Daten aller ausgewählten phänologischen Beobachtungsstationen zusammengeführt und gemeinsam analysiert. Das Ergebnis dieser Analyse zeigt Tabelle 13.

Bei der Betrachtung der Analyseergebnisse in Tabelle 13 zeigen sich ähnliche Resultate wie bei der Betrachtung der Tabelle 11 für die Station Buchen (siehe Kapitel 8.2). Insgesamt sind die Beziehungen zwischen dem Eintrittsdatum einer Phase und einem bestimmten Klimaparameter jedoch schwächer. Dies ist in der größeren Varianz über alle Standorte und ggf. vorhandenen lokalklimatischen und agrartechnischen Besonderheiten begründet.

Tabelle 13. Zusammenhang zwischen dem Eintrittsdatum verschiedener phänologischer Phasen der Kulturpflanzen an allen ausgewählten phänologischen Beobachtungsstationen (siehe Tabelle 9) mit gemessenen Klimaparametern. Die Spalte ‚meanDOY‘ enthält das mittlere Eintrittsdatum der Phase (DOY). Die Spalten ‚meanWGT‘ bzw. ‚sdWGT‘ enthalten den Mittelwert bzw. die Standardabweichung der sogenannten Wachstumsgradtage (cumTmit5). Die Tabelle enthält die Bestimmtheitsmaße (R²) einer linearen Regression zwischen dem Eintrittstag der Phase und dem jeweiligen Klimaparameter. Zur Erläuterung der Klimaparameter siehe Tabelle 10.

Phänologische Beobachtungstation 'alle ausgewählten Stationen'				R ²														
Art	Phase_txt	Phase	meanDOY	meanWGT	sdWGT	Tmit. R2	cumTmit.R2	cumTmit0.R2	cumTmit5.R2	cumTmax0.R2	Frosttage.R2	FTTage.R2	Eistage.R2	Sommerstage.R2	HeisseTage.R2	NN1.R2	NN10.R2	
105	Dauergrünland	Beginn des Ergrünnens	230	78.5	49.1	28.6	0	0.01	0.07	0	0.46	0.75	0	0.17	0.02		0.29	0.07
26	Feldarbeit	Beginn	46	82.7	24.7	24.4	0.05	0.07	0.02	0	0.22	0.71	0	0.22			0.59	0.37
54	Sommerweizen	Beginn der Bestellung	136	85.4	30.6	31.3	0.11	0.06	0.02	0.01	0.14	0.57	0.01	0.22	0.03		0.54	0.28
1	Hafer	Beginn der Bestellung	21	87.8	43.1	37.3	0.05	0.04	0.01	0	0.12	0.51	0	0.17	0.01		0.45	0.24
5	Sommergerste	Beginn der Bestellung	25	90.1	42.0	31.1	0.08	0.07	0.01	0	0.15	0.61	0	0.23	0.01		0.51	0.3
124	Winterraps	Beginn des Längenwachstums	249	100.0	83.9	363.1	0.04	0.77	0.83	0.8	0.89	0.16	0.78	0.05	0.76	0.63	0.68	0.48
22	Zuckerrübe	Beginn der Bestellung	42	100.9	92.1	61.5	0.08	0.03	0.17	0.14	0.29	0.28	0.12	0.09	0.09		0.36	0.15
125	Winterraps	Beginn der Knospenbildung	250	101.1	111.8	44.8	0.03	0	0.1	0.01	0.5	0.62	0.01	0.16	0.02		0.18	0.06
63	Frühkartoffel, vorgekeimt	Beginn der Bestellung	145	101.6	85.2	54.8	0.04	0	0.14	0.08	0.38	0.54	0.04	0.07	0.12		0.27	0.16
55	Sommerweizen	Beginn des Aufgangs	137	104.8	77.0	47.0	0.03	0.02	0.02	0.12	0.45	0	0.15	0.02			0.43	0.26
2	Hafer	Beginn des Aufaufens	22	105.2	90.0	47.8	0.03	0.05	0	0	0.08	0.48	0	0.17	0.03	0	0.39	0.21
6	Sommergerste	Beginn des Aufaufens	26	107.0	88.4	44.1	0.01	0.06	0.01	0.11	0.55	0.01	0.2	0.04			0.44	0.26
118	Sonnenblume	Bestellung	243	107.5	159.5	71.9	0.04	0.02	0.1	0.06	0.39	0.29	0	0.01	0.06		0.17	0.06
68	Futtermübe	Beginn der Bestellung	150	109.2	94.3	53.8	0.07	0	0.09	0.06	0.23	0.34	0.02	0.1	0.03		0.32	0.17
9	Frühkartoffel, nicht vorgekeimt	Beginn der Bestellung	29	110.0	93.7	50.6	0.01	0.01	0.02	0	0.11	0.38	0	0.09	0		0.45	0.25
132	Mais (Ernteverfahren nicht vorgekeimt)	Beginn der Bestellung	295	111.0	220.6	74.4	0	0.15	0.23	0.18	0.31	0	0.2	0	0		0.1	0.05
70	Grünpflück-Erbse	Beginn der Bestellung	152	112.2	91.3	66.1	0.07	0.1	0.29	0.27	0.47	0.28	0.12	0	0.07		0.5	0.3
17	Winterroggen	Beginn des Schossens	37	113.7	126.9	55.5	0.11	0	0.18	0.14	0.42	0.55	0.03	0.21	0.07		0.37	0.2
15	Wintergerste	Beginn des Schossens	35	114.4	133.2	59.8	0.12	0.02	0.23	0.18	0.46	0.54	0.05	0.14	0.08		0.34	0.15
12	Spätkartoffel	Beginn der Bestellung	32	116.4	117.2	69.9	0.03	0	0.04	0.03	0.11	0.18	0.01	0.06	0.06	0.08	0.3	0.19
58	Mais	Beginn der Bestellung	140	120.6	151.2	77.6	0	0	0.05	0.04	0.11	0.12	0.03	0.05	0.02	0.01	0.26	0.17
20	Winterweizen	Beginn des Schossens	40	121.4	175.4	81.8	0.22	0.15	0.49	0.45	0.65	0.55	0.2	0.15	0.16	0	0.46	0.26
23	Zuckerrübe	Beginn des Aufaufens	43	121.4	186.1	70.9	0.06	0.01	0.09	0.08	0.18	0.27	0.04	0.08	0.06	0.02	0.28	0.13
62	Winterraps	Beginn der Blüte	144	121.8	182.2	68.2	0.07	0	0.16	0.12	0.38	0.55	0.03	0.19	0.09	0	0.26	0.13
119	Sonnenblume	Beginn des Aufaufens	244	122.6	263.6	66.4	0.05	0.07	0.23	0.19	0.57	0.39	0	0.02	0.06		0.31	0.14
27	Weidegang	Beginn	47	124.2	141.1	71.1	0.02	0	0.05	0.05	0.18	0.36	0	0.09	0.03	0.03	0.28	0.19
71	Grünpflück-Erbse	Beginn des Aufaufens	153	125.9	157.6	80.7	0.15	0.11	0.29	0.3	0.44	0.2	0.11	0	0.09		0.52	0.31
133	Mais (Ernteverfahren nicht vorgekeimt)	Beginn des Aufaufens	296	126.3	337.2	83.6	0.02	0.1	0.17	0.12	0.21	0	0.13	0	0		0.02	0
64	Frühkartoffel, vorgekeimt	Beginn des Aufaufens	146	128.5	216.5	71.1	0.17	0.03	0.15	0.13	0.4	0.41	0.03	0.04	0.08	0.01	0.15	0.1
25	Futtermübe	Beginn des Aufaufens	45	129.2	193.2	78.8	0.1	0.01	0.11	0.11	0.22	0.24	0.03	0.07	0.02	0	0.29	0.16
73	Grünpflück-Bohne	Beginn der Bestellung	155	131.3	189.2	81.4	0	0	0.05	0.07	0.11	0.16	0	0.07	0.04		0.27	0.11
120	Sonnenblume	Beginn der Blattbildung	245	136.9	372.6	102.6	0.1	0.35	0.57	0.57	0.76	0.49	0.1	0.05	0.4	0.13	0.49	0.2
10	Frühkartoffel, nicht vorgekeimt	Beginn des Aufaufens	30	137.7	247.9	70.1	0.07	0	0.09	0.09	0.22	0.36	0.01	0.09	0.02	0	0.36	0.19
59	Mais	Beginn des Aufaufens	141	137.9	272.4	83.9	0	0	0.02	0.02	0.07	0.21	0.01	0.09	0	0.01	0.24	0.12
76	Tomate	Beginn des Pflanzens	158	137.9	259.7	91.1	0	0	0.03	0.07	0.1	0.23	0	0.05	0.07	0	0.21	0.09
106	Dauergrünland	1. Silageschnitt	231	138.0	298.3	106.6	0.01	0.06	0.19	0.16	0.26	0.16	0.17	0.13	0	0.04	0.24	0.06
16	Wintergerste	Beginn des Ährenschlebens	36	140.7	302.0	76.3	0	0	0.04	0.06	0.14	0.42	0	0.14	0.03	0.01	0.17	0.04
18	Winterroggen	Beginn des Ährenschlebens	38	141.8	294.2	81.3	0	0.01	0.03	0.05	0.12	0.39	0	0.14	0.04	0.01	0.25	0.15
7	Sommergerste	Beginn des Schossens	27	142.3	286.3	91.0	0.13	0.04	0.32	0.37	0.48	0.48	0.04	0.2	0.12	0	0.43	0.26
3	Hafer	Beginn des Schossens	23	142.6	314.8	95.8	0.05	0.05	0.27	0.29	0.41	0.41	0.05	0.17	0.07	0	0.39	0.23
13	Spätkartoffel	Beginn des Aufaufens	33	143.2	287.9	75.8	0	0.01	0	0.01	0.05	0.33	0.01	0.12	0	0	0.31	0.2
78	Weißkohl	Beginn des Pflanzens	160	143.5	275.9	126.4	0.12	0.19	0.39	0.44	0.4	0.04	0.18	0.03	0.22	0.01	0.09	0
74	Grünpflück-Bohne	Beginn des Aufaufens	156	144.5	294.9	87.4	0	0	0.02	0.02	0.08	0.16	0	0.05	0	0	0.28	0.19
56	Sommerweizen	Beginn des Schossens	138	146.8	305.5	103.6	0.13	0.11	0.39	0.41	0.52	0.39	0.11	0.15	0.12	0	0.37	0.29
128	Winterroggen	Beginn der Blüte	253	152.9	415.8	86.2	0.01	0	0.06	0.05	0.14	0.32	0.01	0.18	0	0	0.3	0.14
134	Mais (Ernteverfahren nicht vorgekeimt)	Beginn des Längenwachstums	297	153.4	617.2	125.3	0.02	0.2	0.33	0.36	0.38	0.17	0.09	0.09	0.08	0.04	0.11	0.03
19	Winterroggen	Beginn der Vollblüte	39	156.9	446.7	98.5	0.01	0	0.05	0.06	0.13	0.34	0	0.13	0.01	0	0.24	0.12
77	Tomate	Beginn der Blüte	159	158.3	447.6	120.0	0.04	0.15	0.35	0.39	0.45	0.26	0.1	0.05	0.12	0.02	0.16	0.05
28	Dauergrünland	1. Heuschnitt	48	158.4	425.6	133.1	0	0.02	0.11	0.13	0.21	0.3	0.01	0.12	0.05	0.04	0.3	0.18
21	Winterweizen	Beginn des Ährenschlebens	41	160.0	486.5	87.9	0.01	0	0.11	0.12	0.23	0.43	0	0.16	0	0	0.33	0.17
65	Frühkartoffel, vorgekeimt	Bestand geschlossen	147	160.9	484.6	153.8	0.1	0.25	0.43	0.47	0.55	0.2	0.19	0.06	0.37	0.11	0.36	0.24
80	Luzerne	1. Heuschnitt	162	161.8	430.7	100.6	0.01	0.01	0.1	0.13	0.17	0.28	0	0.07	0.01	0	0.27	0.17
79	Rotklee	1. Heuschnitt	161	162.4	426.9	103.4	0.02	0.03	0.17	0.21	0.23	0.25	0.01	0.07	0.08	0	0.22	0.13
112	Mais	Beginn des Längenwachstums	237	164.9	602.2	127.4	0.03	0.11	0.22	0.22	0.31	0.16	0.09	0.06	0.05	0.05	0.25	0.07
8	Sommergerste	Beginn des Ährenschlebens	28	167.3	517.2	91.9	0.03	0	0.08	0.1	0.18	0.42	0	0.15	0.01	0	0.37	0.21
72	Grünpflück-Erbse	Beginn der Blüte	154	168.3	492.4	107.7	0	0.07	0.31	0.36	0.42	0.39	0.04	0.05	0.04	0	0.37	0.21
11	Frühkartoffel, nicht vorgekeimt	Bestand geschlossen	31	169.7	545.9	122.1	0.05	0.06	0.2	0.21	0.29	0.22	0.05	0.08	0.06	0.01	0.33	0.17
66	Frühkartoffel, vorgekeimt	Beginn der Blüte	148	169.9	578.8	104.5	0	0.05	0.25	0.28	0.4	0.33	0.03	0.08	0.09	0	0.16	0.1
4	Hafer	Beginn des Rispenwachstums	24	171.2	587.7	100.2	0	0	0.04	0.03	0.1	0.36	0	0.12	0	0	0.32	0.16
24	Zuckerrübe	Bestand geschlossen	44	172.2	641.5	107.6	0	0.04	0.13	0.11	0.18	0.23	0.05	0.03	0	0.01	0.12	0.05
57	Sommerweizen	Beginn des Ährenschlebens	139	173.1	572.6	88.2	0.01	0	0.05	0.04	0.14	0.31	0	0.06	0	0	0.29	0.19
121	Sonnenblume	Beginn der Knospenbildung	246	173.2	760.4	182.8	0.04	0.63	0.75	0.73	0.85	0.49	0.32	0.02	0.57	0.22	0.43	0.11
67	Frühkartoffel, nicht vorgekeimt	Beginn der Blüte	149	174.3	618.4	170.7	0.2	0.33	0.55	0.53	0.62	0.19	0.33	0.07	0.16	0.03	0.43	0.19

Tabelle 13 (Fortsetzung).

Art	Phase_txt	Phase	meanDOY	meanWGT	sdWGT	Tmit.R2	cumTmit.R2	cumTmit0.R2	cumTmit5.R2	cumTmax0.R2	Frosttage.R2	FTTage.R2	Eistage.R2	Sommertage.R2	HeisseTage.R2	NN1.R2	NN10.R2
14 Spätkartoffel	Bestand geschlossen	34	174.6	600.5	141.4	0.01	0.1	0.21	0.23	0.3	0.14	0.06	0.03	0.11	0.12	0.18	0.07
69 Futterrübe	Bestand geschlossen	151	178.8	662.3	146.1	0.02	0.17	0.33	0.32	0.43	0.17	0.13	0.03	0.11	0.1	0.16	0.11
75 Grünpflock-Bohne	Beginn der Blüte	157	180.7	690.1	139.3	0.01	0.08	0.25	0.26	0.39	0.24	0.04	0.07	0.11	0.02	0.14	0.11
129 Winterweizen	Beginn der Milchreife	254	189.8	908.3	119.2	0	0.1	0.24	0.22	0.41	0.38	0.04	0.13	0	0	0.17	0.06
29 Spätkartoffel	Beginn der Blüte	75	190.2	740.2	156.2	0.02	0.11	0.27	0.26	0.39	0.19	0.1	0.07	0.05	0.02	0.27	0.12
31 Wintergerste	Beginn der Gelbreife	77	190.3	809.7	119.0	0.05	0.04	0.19	0.17	0.29	0.42	0.04	0.13	0	0	0.24	0.08
135 Mais (Ernteverfahren nicht)	Beginn des Rispenschiebens	298	190.6	1096.8	139.2	0	0.04	0.09	0.08	0.1	0.13	0.02	0.18	0.01	0.02	0.06	0.05
108 Dauergrünland	2. Silageschnitt	233	191.3	853.0	388.7	0.71	0.92	0.94	0.93	0.97	0.18	0.82	0.21	0.83	0.55	0.03	0
110 Hafer	Beginn der Milchreife	235	195.1	956.9	124.4	0	0.1	0.22	0.18	0.36	0.29	0.07	0.08	0	0	0.21	0.08
126 Wintererbsen	Beginn der Vollreife	251	195.7	983.9	123.2	0.01	0.1	0.24	0.2	0.41	0.39	0.05	0.13	0	0	0.17	0.06
60 Mais	Beginn des Rispenschiebens	142	196.8	966.2	153.7	0	0.06	0.14	0.1	0.18	0.12	0.09	0.05	0.01	0.01	0.2	0.08
122 Sonnenblume	Beginn der Blüte	247	198.2	1095.4	155.9	0.06	0.45	0.59	0.55	0.77	0.42	0.24	0	0.45	0.06	0.52	0.17
136 Mais (Ernteverfahren nicht)	Beginn der Blüte	299	198.6	1178.1	175.6	0	0.18	0.25	0.24	0.29	0.07	0.08	0.07	0	0.02	0	0
93 Wintergerste	Beginn der Ernte mit Mähdr	191	202.1	957.3	126.2	0.14	0.01	0.08	0.05	0.19	0.4	0.02	0.11	0.01	0.02	0.19	0.06
99 Grünpflock-Erbse	Beginn der Ernte	197	203.4	841.3	173.3	0.02	0.32	0.5	0.48	0.58	0.14	0.27	0.01	0.15	0.03	0.28	0.1
32 Wintergerste	Beginn der Ernte von Hand c	78	204.5	903.8	131.4	0.07	0.05	0.2	0.16	0.25	0.26	0.09	0.11	0	0	0.33	0.17
33 Wintergerste	Beginn der Vollreife	79	204.5	904.4	115.3	0.13	0.03	0.19	0.18	0.33	0.48	0.01	0.1	0.02	0.01	0.16	0.03
113 Mais	Beginn der Blüte	238	204.6	1074.6	113.2	0.02	0	0.02	0	0.08	0.35	0.01	0.15	0.02	0.02	0.2	0.05
83 Wintererbsen	Beginn der Ernte	181	205.3	1039.8	136.4	0.06	0.05	0.18	0.13	0.31	0.36	0.07	0.1	0	0	0.22	0.08
81 Frühkartoffel, vorgekeimt	Beginn der Ernte	179	206.8	979.0	218.3	0.12	0.43	0.58	0.54	0.68	0.31	0.39	0.01	0.22	0.05	0.27	0.18
61 Mais	Beginn der Vollblüte	143	207.8	1021.6	193.9	0	0.3	0.47	0.39	0.58	0.29	0.33	0.01	0.03	0.01	0.33	0.15
39 Winterroggen	Beginn der Gelbreife	85	208.1	1029.0	115.9	0.12	0.02	0.15	0.08	0.29	0.4	0.09	0.14	0.04	0.06	0.32	0.19
36 Sommergerste	Beginn der Gelbreife	82	212.9	1031.7	126.1	0.19	0.08	0.29	0.22	0.46	0.5	0.09	0.12	0	0	0.4	0.26
44 Winterweizen	Beginn der Gelbreife	90	213.1	1110.2	104.5	0.25	0.01	0.14	0.08	0.28	0.49	0.04	0.16	0.04	0.07	0.31	0.12
100 Grünpflock-Bohne	Beginn der Ernte	198	215.7	1026.7	179.9	0.07	0.25	0.4	0.34	0.52	0.11	0.24	0	0.09	0.04	0.26	0.11
86 Rotklee	2. Heuschnitt	184	217.2	1015.2	169.6	0.27	0.2	0.4	0.34	0.47	0.21	0.22	0.04	0.05	0	0.3	0.21
87 Luzerne	2. Heuschnitt	185	217.9	1020.4	196.6	0.11	0.29	0.46	0.4	0.54	0.09	0.31	0.01	0.09	0.01	0.27	0.16
49 Hafer	Beginn der Gelbreife	95	218.6	1147.6	127.6	0.3	0.04	0.17	0.08	0.34	0.41	0.13	0.1	0.05	0.07	0.4	0.25
40 Winterroggen	Beginn der Ernte von Hand c	86	219.9	1080.9	102.7	0.3	0	0.05	0	0.15	0.28	0.08	0.08	0.19	0.2	0.44	0.34
37 Sommergerste	Beginn der Ernte von Hand c	83	220.2	1083.0	120.6	0.38	0.02	0.15	0.06	0.34	0.45	0.1	0.13	0.03	0.09	0.51	0.38
38 Sommergerste	Beginn der Vollreife	84	220.7	1121.9	120.8	0.26	0.05	0.2	0.11	0.39	0.42	0.09	0.1	0.01	0.04	0.35	0.21
95 Winterroggen	Beginn der Ernte mit Mähdr	193	220.8	1175.6	115.2	0.36	0	0.04	0	0.13	0.35	0.08	0.15	0.22	0.17	0.34	0.21
88 Dauergrünland	2. Heuschnitt	186	221.0	1073.0	264.3	0.15	0.26	0.38	0.33	0.47	0.04	0.28	0.02	0.12	0.04	0.15	0.08
41 Winterroggen	Beginn der Vollreife	87	222.0	1115.4	96.0	0.45	0	0.06	0	0.27	0.43	0.05	0.12	0.14	0.11	0.29	0.19
82 Frühkartoffel, nicht vorge	Beginn der Ernte	180	223.1	1122.2	232.2	0.22	0.4	0.58	0.49	0.65	0.23	0.46	0.05	0.07	0.01	0.39	0.22
94 Sommergerste	Beginn der Ernte mit Mähdr	192	224.0	1151.8	116.3	0.31	0.03	0.17	0.09	0.33	0.43	0.08	0.11	0.04	0.06	0.42	0.25
137 Mais (Ernteverfahren nicht)	Beginn der Milchreife	300	224.5	1578.7	183.0	0.24	0.11	0.18	0.16	0.27	0.19	0.05	0.18	0.03	0.01	0.05	0.01
101 Tomate	Beginn der Ernte	199	225.4	1219.3	200.0	0.2	0.49	0.66	0.55	0.74	0.28	0.56	0.04	0.02	0	0.34	0.13
96 Winterweizen	Beginn der Ernte mit Mähdr	194	226.0	1245.7	117.5	0.44	0	0.03	0	0.14	0.47	0.05	0.18	0.23	0.21	0.33	0.14
45 Winterweizen	Beginn der Ernte von Hand c	91	226.5	1171.1	125.9	0.29	0.01	0.11	0.03	0.2	0.32	0.11	0.11	0.08	0.14	0.42	0.19
46 Winterweizen	Beginn der Vollreife	92	227.1	1200.8	114.6	0.42	0	0.06	0.01	0.24	0.5	0.02	0.13	0.07	0.11	0.29	0.12
89 Sommerweizen	Beginn der Gelbreife	187	227.1	1183.7	104.0	0.36	0	0.08	0.02	0.27	0.47	0.04	0.1	0.08	0.1	0.29	0.15
111 Mais	FAO-Zahl	236	227.3	1329.7	509.0	0.01	0.77	0.8	0.76	0.85	0.08	0.82	0	0.57	0.32	0.41	0.12
97 Hafer	Beginn der Ernte mit Mähdr	195	230.6	1282.2	133.0	0.41	0	0.02	0	0.11	0.41	0.06	0.15	0.2	0.2	0.35	0.16
50 Hafer	Beginn der Ernte von Hand c	96	231.1	1195.0	152.9	0.4	0.04	0.14	0.03	0.33	0.31	0.18	0.05	0.08	0.09	0.49	0.39
51 Hafer	Beginn der Vollreife	97	232.4	1240.9	130.9	0.48	0.01	0.07	0	0.26	0.41	0.1	0.1	0.17	0.16	0.35	0.18
90 Sommerweizen	Beginn der Ernte von Hand c	188	232.8	1228.7	118.4	0.33	0	0.05	0	0.14	0.31	0.09	0.08	0.17	0.21	0.37	0.19
91 Sommerweizen	Beginn der Vollreife	189	235.7	1266.3	104.7	0.47	0	0.06	0	0.31	0.49	0.09	0.11	0.21	0.19	0.35	0.19
114 Mais	Beginn der Milchreife	239	238.2	1489.7	144.4	0.53	0.05	0.12	0.05	0.28	0.27	0.13	0.07	0.02	0.12	0.3	0.07
92 Sommerweizen	Beginn der Ernte mit Mähdr	190	238.9	1300.9	108.9	0.43	0.01	0.08	0	0.32	0.45	0.11	0.08	0.19	0.17	0.32	0.17
138 Mais (Ernteverfahren nicht)	Beginn der Teigreife	301	240.4	1779.4	165.5	0.24	0.01	0.03	0	0.12	0.21	0.03	0.1	0.03	0.11	0.17	0.04
84 Wintererbsen	Beginn der Bestellung	182	241.2	1483.5	253.5	0.24	0.13	0.17	0.12	0.19	0	0.25	0	0	0	0.11	0.02
115 Mais	Beginn der Teigreife	240	251.0	1630.7	144.8	0.65	0.01	0	0.05	0.04	0.39	0.06	0.18	0.24	0.27	0.21	0.06
85 Wintererbsen	Beginn des Auflaufens	183	253.3	1602.2	255.4	0.21	0.09	0.14	0.08	0.2	0	0.26	0.01	0	0.01	0.08	0
116 Mais	Beginn der Gelbreife	241	256.4	1782.2	186.4	0.44	0.09	0.15	0.07	0.19	0.06	0.23	0.12	0.04	0.1	0.17	0.05
123 Sonnenblume	Ernte	248	257.5	1892.7	213.2	0.01	0.03	0.01	0.3	0.24	0.02	0.03	0.05	0.09	0.01	0.01	0.01
139 Mais (Ernteverfahren nicht)	Beginn der Gelbreife	302	257.7	1969.5	186.4	0.31	0.02	0.04	0.01	0.07	0.07	0.14	0.06	0.08	0.2	0.21	0.07
30 Spätkartoffel	Beginn der Ernte	76	261.5	1503.0	238.2	0.21	0.02	0.05	0.01	0.13	0.13	0.12	0.04	0.02	0.01	0.19	0.1
34 Wintergerste	Beginn der Bestellung	80	267.0	1664.8	288.4	0.22	0.11	0.14	0.07	0.2	0	0.25	0	0	0	0.05	0.01
98 Mais	Beginn der Ernte	196	270.5	1646.5	234.1	0.41	0.03	0.07	0	0.17	0.15	0.31	0.04	0.14	0.1	0.24	0.08
127 Wintererbsen	Beginn der Rosettenbildung	252	271.4	1820.5	267.3	0.18	0.17	0.24	0.15	0.36	0.02	0.36	0.05	0.01	0	0.11	0.01
140 Mais (Ernteverfahren nicht)	Beginn der Ernte	303	274.1	2108.2	239.8	0.56	0.34	0.36	0.19	0.43	0.02	0.62	0.01	0.07	0.11	0.26	0.17
102 Weißkohl	Beginn der Ernte	200	274.5	1556.6	274.1	0.28	0.26	0.35	0.19	0.51	0.22	0.49	0.04	0	0	0.34	0.13
42 Winterroggen	Beginn der Bestellung	88	275.2	1684.3	305.0	0.05	0.15	0.19	0.1	0.26	0.01	0.34	0.01	0	0	0.16	0.05
52 Futterrübe	Beginn der Ernte	98	278.2	1640.1	259.9	0.22	0.03	0.04	0.01	0.12	0.02	0.13	0	0.01	0	0.1	0.04
35 Wintergerste	Beginn des Auflaufens	81	279.8	1744.2	297.5	0.3	0.05	0.06	0.01	0.14	0.02	0.2	0	0	0	0.08	0.01
53 Zuckerrübe	Beginn der Ernte	99	281.2	1817.0	252.2	0.28	0.01	0.02	0	0.06	0.09	0.07	0.02	0.01	0	0.04	0
47 Winterweizen	Beginn der Bestellung	93	284.5	1747.7	302.0	0.31	0.05	0.07	0.02	0.08	0	0.23	0	0.02	0.01	0.08	0.02
43 Winterroggen	Beginn des Auflaufens	89	289.4	1751.7	299.9	0.25	0.01	0.02	0	0.05	0.02	0.13	0.02	0.02	0.01	0.1	0.05
103 Weidegang	Ende	201	299.6	1666.7	310.4	0.2	0.07	0.1	0.03	0.16	0	0.3	0.01	0	0.01	0.19	0.1
48 Winterweizen	Beginn des Auflaufens	94	300.5	1808.7	314.7	0.22	0.01	0.03	0	0.06	0.05	0.15	0.02	0.02	0.02	0.09	0.01

In Tabelle 13 kommt auch deutlich zum Ausdruck, dass die Niederschläge hauptsächlich bei Bestellung und Ernte wichtig sind oder aber bei Sommerungen, die nicht mehr so sehr auf die Winterfeuchte bauen können.

Zusätzlich sind in Tabelle 13 die mittleren Eintrittstage der Phasen (meanDOY) sowie die mittleren Wachstumsgradtage (cumTmit5) und ihre Standardabweichungen über alle Stationen berechnet worden.

Abb. 65 zeigt die Beziehung zwischen den mittleren Wachstumsgradtagen (WGT) der Eintrittsdaten der phänologischen Phasen der Wildpflanzen (meanWGT) und dem Verhältnis der Standardabweichungen der WGT zum Mittelwert der WGT ($sdWGT/meanWGT$).

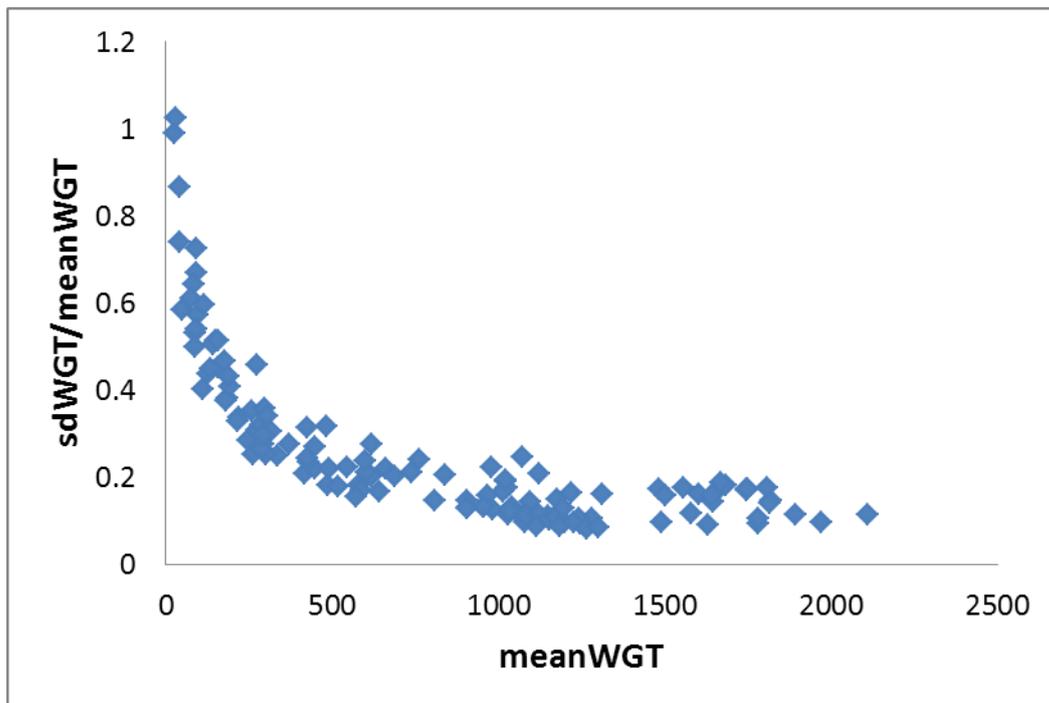


Abbildung 65. Beziehung zwischen den mittleren Wachstumsgradtagen (WGT) der Eintrittsdaten der phänologischen Phasen der Kulturpflanzen (meanWGT) und dem Verhältnis der Standardabweichungen der WGT zum Mittelwert der WGT ($sdWGT/meanWGT$, s.g. Varianzkoeffizient).

Die Abbildung macht deutlich, dass kumulative Temperatursummen, wie z.B. die hier dargestellten Wachstumsgradtage, grundsätzlich zur Prognose des Phaseneintritts geeignet sind. Der relative Prognosefehler (Varianzkoeffizient) wird mit zunehmender ‚meanWGT‘ geringer.

Die Abbildung zeigt ferner, dass bei früheren Phänophasen bzw. geringen Temperatursummen große Unterschiede in den phänologischen Entwicklungen möglich sind, die sich im Laufe des Jahres bei späteren Phasen verringern.

9 Schlussbetrachtung

Das Einsetzen der Jahreszeiten und das Eintreten der phänologischen Entwicklungsstadien, so wie sie in unserer Natur- und Kulturlandschaft zu beobachten sind, haben sich in den letzten Jahrzehnten verändert. Pflanzen sind integrierende biologische Messinstrumente für Witterung und Klima. Einer der besten Bioindikatoren für den Anstieg der Temperaturen sind die Veränderungen des Eintrittszeitpunktes von phänologischen Phasen.

Ziel des Projekts war die Darstellung und Auswertung phänologischer Langzeit-Beobachtungen des Deutschen Wetterdienstes in Baden-Württemberg im Zeitraum 1951 bis 2011. Den Schwerpunkt bildete der Vergleich der Zeiträume 1961-1990 (Klimanormalperiode der WMO) und 1991-2011. Im Zentrum der Untersuchungen stand die detaillierte Analyse der phänologischen Phasen der Feldfrüchte (Kulturpflanzen).

Der Bericht liefert eine detaillierte Übersicht über die vorhandenen Klima- und Phänologiedaten in Baden-Württemberg im Zeitraum 1951-2011. Die vorhandenen Ressourcen werden dargestellt und durch ihre Aufarbeitung für eine wissenschaftliche Analyse erschlossen.

Die bereits sichtbaren Veränderungen wurden mit Hilfe von phänologischen Uhren, phänologischen Kalendern und phänologischen Karten auf lokaler, regionaler und landesweiter Ebene dargestellt. Lokal wurden die einzelnen Beobachtungsstationen betrachtet und verglichen; regional sind ‚naturräumliche Haupteinheiten‘ und ‚Naturraumgruppen‘ Gegenstand der Betrachtung.

In den Tabellen 14 und 15 erfolgt ein direkter Phasenvergleich bei landwirtschaftlich bedeutender Kulturpflanzen (Feldfrüchte) in Baden-Württemberg anhand von Mittelwerten und wichtigen Parametern einer linearen Regression für verschiedene Zeiträume.

In Tabelle 14 wurden die mittleren Eintrittstage (DOY) verschiedener phänologischer Phasen im Jahr und die daraus berechneten Längen der Vegetationszeit (Auflaufen bis Ernte) und der Kornbildungsphase (Ährenschieben bis Ernte) in den Zeitintervallen 1961-1990 und 1991-2011 bei verschiedenen Ackerkulturen vergleichend zusammengestellt (Daten aus Tabelle 4).

Im Vergleich der beiden Zeiträume ist außer bei der Futterrübe bei allen Arten ein 4 bis 5 Tage früheres Bestellen der Felder, sowie ein 4 bis 7 Tage früheres Auflaufen zu beobachten. Bis zum Schossen haben alle Getreidearten einen Vorsprung von 7 bis 13 Tagen. Mit einer Verfrühung von 13 Tagen profitiert vor allem der Winterweizen. Bis zum Ährenschieben verkürzt sich dieser Vorsprung bei allen Wintergetreiden wieder um etwa 3 Tage. Bis zur Gelbreife können aber alle Getreide den Vorsprung beim Schossen noch um 1-2 Tage auf 14 bis 15 Tage ausbauen. Vor allem das einzige enthaltene Sommergetreide, der Hafer, legt hier nochmals stark zu. Bei der Ernte haben alle Getreidearten einen Vorsprung von 8 bis 10 Tagen. Für die gesamte Länge der Vegetationszeit (Zeitraum zwischen Auflaufen und Ernte) ist aber nur eine Verkürzung um 2 bis 6 Tage zu beobachten. Bei der Gerste sind es nur 2 Tage, beim Hafer 6.

Tabelle 14. Phasenvergleich bei verschiedenen Kulturpflanzen (Feldfrüchten) in Baden-Württemberg nach den Daten aus Tabelle 4 (Statistische Kennzahlen).

Spalte		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	2 bis 13	6 bis 13
		DOY	DOY	DOY	DOY	DOY	DOY	DOY	DOY	DOY	DOY	DOY	DOY	DOY	Tage	Tage
Art/Phase	Zeitraum	Bestellung	Auflaufen	Rosettenbildung	Schossen / Längenwachstum	Bestand geschlossen	Ähren- /Rispen- schieben bzw. Knospenbildung	Blüte	Vollblüte	Milchreife	Teigreife	Gelbreife	Vollreife	Ernte	Vegetationszeit	Kornbildungsphase
Winterweizen	1961-1990	287	304		129		162					214	223	226	287	64
	1991-2011	283	297		116		152			183		199		216	284	64
	diff	-4	-7		-13		-10					-15		-10	-3	0
Winterroggen	1961-1990	277	291		119		143	159	158			208	217	221	295	78
	1991-2011	272	286		108		135	149	154			193		211	290	76
	diff	-5	-5		-11		-8	-10	-4			-15		-10	-5	-2
Wintergerste	1961-1990	268	282		119		143					192	200	203	286	60
	1991-2011	264	276		108		135					178		195	284	60
	diff	-4	-6		-11		-8					-14		-8	-2	0
Winterraps	1961-1990	244	256					125						202	311	
	1991-2011	239	252	268	97		102	118					192	204	317	102
	diff	-5	-4					-7						2	6	
Hafer (Sommerung)	1961-1990	87	104		143		170					219	227	230	126	60
	1991-2011	83	100		136		163			189		204		220	120	57
	diff	-4	-4		-7		-7					-15		-10	-6	-3
Zuckerrüben	1961-1990	100	120			170								278	158	
	1991-2011	95	116			164								281	165	
	diff	-5	-4			-6								3	7	
Futterrüben	1961-1990	107	125			173								276	151	
	1991-2011	108	125			172								278	153	
	diff	1	0			-1								2	2	
Mais	1961-1990	121	138				187	191	201					268	130	81
	1991-2011	117	132		159		194	203		230	243	254		267	135	73
	1) 1991-2011	116	131		156		192	201		227	240	255		272	141	80
	diff	-5	-7				5	10						4	11	-1

1) Ernteverfahren nicht gemeldet

Auf die Länge der Kornbildungsphase des Getreides wirken sich die phänologischen Verschiebungen kaum aus. Während bei Winterweizen und Wintergerste keinerlei Veränderungen feststellbar sind, verläuft die Entwicklung von Winterroggen und Hafer (Sommerung) 2 bis 3 Tage schneller.

Der Winterraps wird im Durchschnitt fünf Tage früher gesät, läuft aber nur 4 Tage früher auf. Bis zur Blüte hat er einen Vorsprung von 7 Tagen. Er wird aber erst 2 Tage später geerntet. Seine Vegetationszeit hat sich damit insgesamt um 6 Tage verlängert. Auch die Kornbildungsphase (hier: Zeitraum Blüte bis Ernte) kann sich von 186 auf 199 Tage, also um 13 Tage, verlängern.

Die Zuckerrüben werden heute früher gesät und später geerntet. Ihre Vegetationszeit verlängert sich insgesamt um 7 Tage. Kaum verändert erwiesen sich jedoch die Phasen bei den Futterrüben.

Auch der Mais wird etwa 5 Tage früher gesät und kann etwas früher auflaufen (7 Tage). Allerdings schiebt er seine Rispen 5 Tage später und blüht erst 10 Tage später. Seine Vegetationszeit wird somit um 11 Tage länger. Die Kornbildungsphase verkürzt sich aber gleichzeitig um einen Tag.

Die Veränderungen beim Mais sind auf Grund unterschiedlicher Erntefahren und dem Einsatz neuer Sorten schwer zu interpretieren (vgl. Kapitel 6) und nur teilweise auf die Veränderungen durch den Klimawandel zurückzuführen. Veränderte Entwicklungsgeschwindigkeiten bei neueren Sorten spielen hier vermutlich eine entscheidende Rolle.

Es stellt sich die Frage, warum alle C₃-Getreidearten (Weizen, Roggen, Gerste und Hafer) den enormen Vorsprung (im Durchschnitt 14 Tage) bis zur Ernte wieder verlieren. Leider liegen für die echte Phase „Beginn der Vollreife“ keine Beobachtungsdaten aus dem Zeitraum 1991-2011 vor. Deshalb musste hier zur Bestimmung der Länge der Kornbildungsphase auf die unechte Phase „Beginn der Ernte“ zurückgegriffen werden. Es kann vermutet werden, dass die oft höheren Niederschläge im Juli (siehe Abb. 66) das Abtrocknen und damit die Ernte der Getreide herauszögern. Es könnte aber auch sein, dass die Bauern die Getreide aus anderen Gründen länger als eigentlich notwendig auf dem Feld lassen.

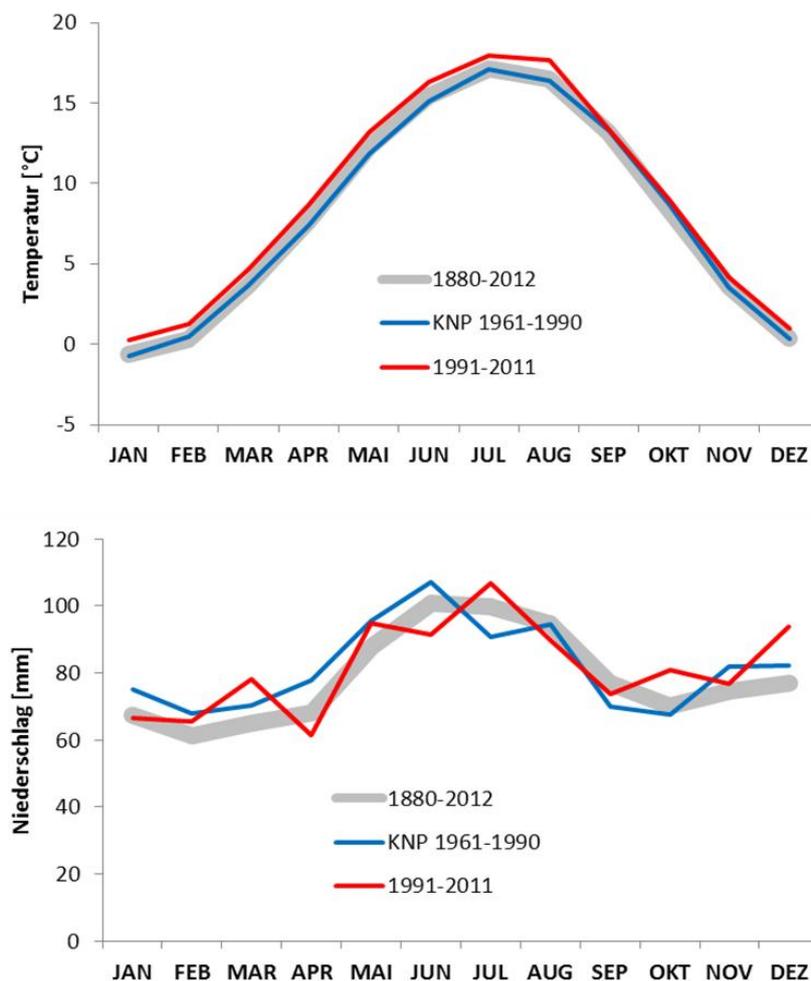


Abbildung 66. Mittlere monatliche Gebietsmittelwerte der Temperatur (oben) und monatliche Niederschlagssummen (unten) in Baden-Württemberg für die Zeiträume 1961-1990 und 1991-2011 sowie 1880-2012. Datengrundlage: DWD.

Insgesamt spielen auch die Managemententscheidungen der Landwirte eine wichtige Rolle für das Eintreten der phänologischen Phasen bei Feldfrüchten (Menzel et al. 2006). Sie sind der wesentliche Grund, warum sich phänologische Veränderungen durch den Klimawandel bei den Wildpflanzen insgesamt deutlicher darstellen als bei unseren Kulturpflanzen. Zu diesen Managemententscheidungen gehören auch die Beurteilung der Befahrbarkeit von Böden oder noch zu erwartende Spätfröste. Beides sind Faktoren, die zu einer relativ späten Bestellung der Felder durch den Landwirt führen können, obwohl bei einigen Feldfrüchten eine frühe-

re Aussaat durchaus zu höheren Erträgen führen könnte (Van Oort et al. 2012, Karpenstein-Machan & von Buttlar 2012).

Obwohl sich die potentielle Vegetationszeit (Anzahl der Tage mit $T_{mit} > 5^{\circ} C$) für die hier dargestellten Getreide (Winterweizen, Winterroggen, Wintergerste und Hafer) deutlich verlängert hat, können die angebauten Sorten diesen Vorteil kaum nutzen. Ihre tatsächliche Vegetationszeit (Zeitraum von Auflaufen bis Vollreife) hat sich vermutlich nur relativ wenig, die Länge der Kornbildungsphase gar nicht oder nur wenig verändert. Es scheint sinnvoll, auf die klimatischen Entwicklungen mit dem Einsatz (bzw. der Züchtung) neuer Sorten, sowie mit agrartechnischen Maßnahmen (Bestandsführung) zu reagieren.

Vor allem Winterraps und Zuckerrübe sind in der Lage, von der verlängerten Vegetationsperiode zu profitieren und diese in Ertragssteigerungen umzusetzen (Karpenstein-Machan & von Buttlar 2012).

Während Tabelle 14 einen Vergleich zwischen den Mittelwerten der Zeiträume 1961 – 1990 und 1991 – 2011 erlaubt, gibt Tabelle 15 einen Überblick über die linearen Trends innerhalb der betrachteten Zeiträume (s = Veränderung pro Jahr) und ihre Signifikanz (p). Die aus Tabelle 14 abgeleiteten Aussagen werden hierdurch ergänzt. Die Zusammenstellungen in Tabelle 14 und 15 machen aber auch deutlich, dass das phänologische Beobachtungsprogramm des DWD bzgl. der Feldfrüchte heterogen und zeitlich lückenhaft ist. Es fällt z.B. auf, dass seit 1991 außer dem Hafer kein Sommergetreide mehr darin enthalten ist oder dass viele echte Phasen heute nicht mehr erhoben werden. Zur Beurteilung der Auswirkungen des Klimawandels auf unsere Kulturpflanzen wären solche Daten heute sehr wichtig.

Die beobachteten Veränderungen, vor allem bei den echten phänologischen Phasen der Kulturpflanzen (z.B. Beginn der Gelbreife), sind sicherlich zum größten Teil auf die Erwärmung durch den anthropogen verstärkten Treibhauseffekt zurückzuführen. Sie sind in allen Teilen Baden-Württembergs zu beobachten, wobei Regionen mit stärkerer Erwärmung in den letzten Jahrzehnten auch die größten Veränderungen in der Pflanzenphänologie zeigen. Bei den unechten phänologischen Phasen (z.B. Beginn der Bestellung), oder bei echten phänologischen Phasen, die nachfolgend stark von unechten phänologischen Phasen abhängen (z.B. Beginn des Auflaufens), sind die beobachteten Veränderungen in der Regel geringer als bei den echten phänologischen Phasen der Kulturpflanzen (z.B. Beginn der Gelbreife) oder bei den phänologischen Phasen der Wildpflanzen.

Ein weiterer wichtiger Faktor für das frühere Eintreten der phänologischen Phasen sind die sich durch Züchtung stetig verändernden Sorten einer bestimmten Kulturpflanzenart. Während in den 1960er Jahren beim Bundessortenamt etwa 60 verschiedene Weizensorten zugelassen waren, sind es heute etwa 140. Außerdem hat sich die mittlere Zulassungsdauer einer Sorte im gleichen Zeitraum wesentlich verkürzt (Abb. 67). Trotz der Vielzahl der auf dem Markt verfügbaren Sorten, wird der tatsächliche Anbau in einem bestimmten Jahr aber oft nur von wenigen gut vermarkteten Sorten dominiert.

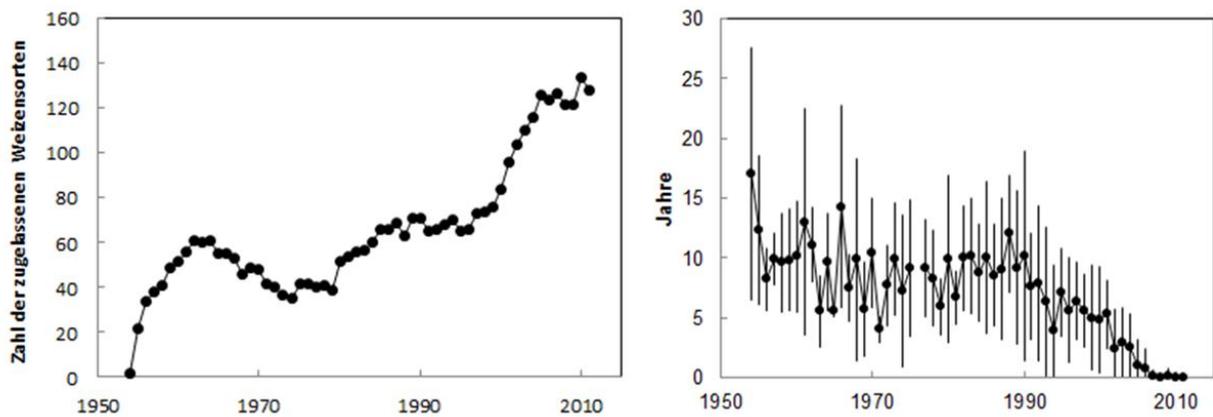


Abbildung 67. Zahl der seit 1954 in einem Jahr beim Bundessortenamt (BSA) registrierten Winterweizensorten (links). Mittlere Zulassungsdauer (mit Standardabweichungen) der seit 1954 beim BSA registrierten 455 Winterweizensorten (rechts). Bei den ab ca. 2000 zugelassenen Sorten sind bislang nur wenige Zulassungen erloschen (Grafiken erstellt nach Daten des BSA Hannover).

Mit der Einkürzung der Getreide durch das Einkreuzen sogenannter *rht*-Gene und durch die Verwendung sogenannter Halmverkürzer, können sich die modernen Getreide etwas schneller entwickeln als die langstrohigen Landsorten, was insgesamt auch zu einer Verkürzung der Kornfüllungsphase führen kann. Mit der verringerten Pflanzenlänge haben neue Sorten zudem auch eine verringerte atmosphärische Kopplung erhalten, so dass sich die Bestände neuer Sorten stärker als diejenigen alter Sorten aufheizen können. Höhere Bestandestemperaturen bei modernen Sorten wurden z.B. von Giunta et al. (2008) und Sadras & Lawson (2011) gefunden. Dies könnte indirekt auch für die schnellere Entwicklung heutiger Kulturpflanzen verantwortlich sein.

Es ist daher davon auszugehen, dass sich die heute insgesamt schnellere Entwicklung der modernen Getreide im Vergleich zu den alten Sorten im Datenmaterial zur Phänologie widerspiegelt. Im Getreideanbau muss allgemein davon ausgegangen werden, dass durch die Pflanzenzüchtung in den letzten Jahrzehnten vor allem Sorten mit einer verkürzten Vegetationszeit aber kaum verkürzter Kornbildungsphase bereitgestellt wurden. Über eine eventuelle Verlängerung der Kornbildungsphase und damit verbundene Ertragsteigerungen liegen kaum zuverlässige Angaben vor.

Bezogen auf Baden-Württemberg, mit seinen sehr unterschiedlichen Naturräumen, spielen aber beim Anbau der Sorten auch regionale Unterschiede eine wichtige Rolle. So werden von den Landwirten warm-trockener Regionen (z.B. Oberrhein, Kraichgau) sicherlich verstärkt frühe Sorten nachgefragt und angebaut, während man sich im Schwarzwald oder auf der Schwäbischen Alb gegenüber dem Anbau früher Sorten eher konservativ verhält. Diese regionalen Unterschiede müssen bei der Beurteilung landesweiter Trends unbedingt berücksichtigt werden.

Bei den hier ausgewerteten Daten des DWD zu den phänologischen Phasen der Kulturpflanzen liegen jedoch keine Angaben zu den jeweils angebauten Sorten vor. Lediglich beim Mais wird seit 1991 die sogenannte FAO- oder Reife-Zahl erfasst (siehe Kapitel 6), aus der indirekt auf früh- bzw. spätreifende Sorten geschlossen werden kann.

Es ist davon auszugehen, dass der bereits stattfindende Klimawandel eine wichtige Ursache für die zu beobachtenden Verschiebungen der phänologischen Phasen bei den Kulturpflanzen ist. Diese Feststellung steht im Einklang mit den Beobachtungen an Wildpflanzen. Der Anbau neuer bzw. anderer Sorten kommt aber als

weiterer Faktor hinzu und kann zumindest zum Teil bereits als eine Anpassung an den Klimawandel gewertet werden.

Besonders gute Einblicke in die lokalen, regionalen und landesweiten Unterschiede und Gemeinsamkeiten bieten die erstellten phänologischen Karten (siehe Kapitel 5). Im Vergleich der Zeiträume 1961-1990 und 1991-2011 werden die Veränderungen augenfällig. Die Karten zeigen lokale Beobachtungen (phänologische Punktkarten) und regional differenzierte Trends für ganz Baden-Württemberg (phänologische Flächenkarten). Verglichen mit Norddeutschland ist in Baden-Württemberg das Einsetzen phänologischer Phasen wesentlich stärker von den großen Reliefunterschieden zwischen und innerhalb bestimmter Naturräume und des gesamten Landes abhängig (Siebert & Ewert 2012).

Um die konkreten Ursachen für das Einsetzen bestimmter phänologischer Phasen besser verstehen zu können, ist die vertiefte Analyse des Zusammenhangs zwischen dem Eintrittsdatum einer Phase und konkreten Klimamessungen notwendig. Die Nutzbarkeit des vorhandenen Datenmaterials für derartige Untersuchungen wird jedoch durch Lücken in den phänologischen und klimatischen Beobachtungsreihen eingeschränkt. Viele phänologische Beobachtungsstationen werden ehrenamtlich betreut und bestehen deshalb nur über relativ kurze Zeiträume. Auch die Aufgabe zahlreicher Klimastationen des DWD in den 1980er und 1990er Jahren ist hier zu erwähnen.

Der Lufttemperatur (vor allem kumulative Temperatursummen) kommt eine Schlüsselrolle beim Einsetzen vieler phänologischer Phasen zu, denn die Frühlings- und Sommerphasen werden im Wesentlichen von der Temperatur der vorangehenden Tage oder Monate beeinflusst. Andererseits gibt es auch Phasen, die kaum einen Zusammenhang mit den gemessenen Klimadaten zeigen.

Die vorliegenden Analysen des Zusammenhangs zwischen dem Eintrittsdatum einer Phase und konkreten Klimamessungen bilden eine wichtige Grundlage für die Entwicklung von artspezifischen Prognosemodellen bei einer Weiterführung des Projektes.

10 Literatur

- Bakkenes, M., Eickhout, B., Alkemade, R. (2006): Impacts of different climate stabilisation scenarios on plant species in Europe. *Global Environmental Change* 16: 19–28.
- BBCH, Biologische Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft, Bundessortenamt und Chemische Industrie (2006): BBCH – Phänologische Entwicklungsstadien wichtiger landwirtschaftlicher Kulturen einschließlich Blattgemüse und Unkräuter.- Verlag Agromedia GmbH, Clenze.
- Bissolli, P., Müller-Westermeier, G. & C. Polte-Rudolf (2007): Aufbereitung und Darstellung phänologischer Daten.- *Promet* 33 (1/2): 14-19.
- Bivand, R.S., Pebesma, E.J. & V. Gómez-Rubio (2008): *Applied Spatial Data Analysis with R.*- 374 Seiten, Springer Verlag, New York.
- Bruns, E., Chmielewski, F.-M. & Van Vliet, A.J.H. (2003): The global phenological monitoring concept – towards international standardisation of phenological networks.- In: Schwartz, M. D. (ed.) *Phenology: An Integrative Environmental Science*, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, Boston, London, 93-104.
- Bruns, E. (2007): Phänologische Beobachtungsnetze heute und gestern.- *Promet* 33 (1/2): 2-6.
- Chen, X. (1994): Untersuchungen zur zeitlich-räumlichen Ähnlichkeit von phänologischen und klimatologischen Parametern in Westdeutschland und zum Einfluss geoökologischer Faktoren auf die phänologische Entwicklung im Gebiet des Taunus. *Berichte des Deutschen Wetterdienstes*, Nr. 189, Offenbach am Main.
- Chmielewski, F.-M. (2007): Phänologie – ein Indikator zur Beurteilung der Auswirkungen von Klimaänderungen auf die Biosphäre.- *Promet* 33 (1/2): 28
- Chmielewski, F.-M. & Henniges, Y. (2007): Phänologische Modelle als Grundlage zur Abschätzung des Klimaimpakts.- In: Matzarakis, A. & Mayer, H. (Hrsg.): *Proceedings zur 6. Fachtagung BIOMET des Fachausschusses 35 Biometeorologie der Deutschen Meteorologischen Gesellschaft e.V. Berichte des Meteorologischen Institutes der Universität Freiburg*, 16, 229-235..
- DWD, Deutscher Wetterdienst (1991): *Anleitung für die phänologischen Beobachter des Deutschen Wetterdienstes (BAPH).*- Vorschriften und Betriebsunterlagen Nr. 17 (VuB 17), 3. Aufl., Selbstverlag des DWD, Offenbach am Main.
- EEA (2008): *Impacts of Europe's changing climate - 2008 indicator-based assessment.* EEA Report No 4/2008; http://reports.eea.europa.eu/eea_report_2008_4/en.

- Erasmi, S., Feiden, K. & M. Kappas (2003): Wild- und Kulturpflanzen als Indikatoren für das Regionalklima.- In: Leibniz-Institut für Länderkunde (Hrsg.): Nationalatlas Bundesrepublik Deutschland. Bd. 3: Klima, Pflanzen- und Tierwelt. Heidelberg, Berlin, S. 64-65.
- Gebhardt, H., Broecker, F. & K.T. von der Trenk (2003): Aufbau eines Systems zur medienübergreifenden Umweltbeobachtung für Baden-Württemberg.- In: Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg (Hrsg.): Medienübergreifende Umweltbeobachtung, Stand und Perspektiven.- Tagungsband, Karlsruhe, S. 61-63.
- Giunta, F., Motzo, R., Pruneddu, G. (2008): Has long-term selection for yield in durum wheat also induced changes in leaf and canopy traits? *Field Crops Research* 106: 68-76.
- Gornik, W. & Scharrer, H. (1994): Naturräumliche Gliederung für die Bundesrepublik Deutschland. Offenbach/Main: DWD.
- Henniges, Y., Danzeisen, H. & R.-D. Zimmermann (2005): Regionale Klimatrends mit Hilfe der phänologischen Uhr, dargestellt am Beispiel von Rheinland-Pfalz.- *Umweltwissenschaften und Schadstoff-Forschung – Zeitschrift für Umweltchemie und Ökotoxikologie* 17: 28-34.
- Holz, I., Franzaring, J. & A. Fangmeier (2010): Die Eintrittsdaten phänologischer Phasen und ihre Beziehung zu Witterung und Klima. Darstellung und Auswertung phänologischer Langzeit-Beobachtungen des Deutschen Wetterdienstes in Baden-Württemberg.- Abschlussbericht zum Projekt im Auftrag der LUBW, Stuttgart, 115 Seiten.
- Hudson, I.L. & M.R. Keatly (2010) (Hrsg.): *Phenological Research. Methods for Environmental and Climate Change Analysis.*- 521 Seiten, Springer Verlag, New York.
- IPCC, Intergovernmental Panel on Climate Change (2007): *Fourth Assessment Report.*- Cambridge University Press.
- James, D.A. (2010): RSQLite: SQLite interface for R. R package version 0.9-1. <http://CRAN.R-project.org/package=RSQLite>.
- Karpenstein-Machan, M. & Chr. v. Buttler (2012): Auswirkungen auf die Phänologie der landwirtschaftlichen Kulturen in Niedersachsen – Möglichkeiten der Anpassung am Beispiel des Energiepflanzenbaus.- *Berichte über Landwirtschaft* 90:335-353
- Menzel, A. (2007): Phänologische Modelle.- *Promet* 33 (1/2): 20-27.
- Menzel, A., von Vopelius, J., Estrella, N., Schleip, C. & V. Dose (2006): Farmers' annual activities are not tracking the speed of climate change.- *Climate Research* 32: 201-207.
- Meynen, E. & J. Schmithüsen (1953-1962): *Handbuch der naturräumlichen Gliederung Deutschlands.* - Selbstverlag der Bundesanstalt für Landeskunde, Remagen, 1339 S.
- Owens, M. (2006): *The Definitive Guide to SQLite.*- 440 Seiten, Apress, New York.

- R Development Core Team (2010): R: A language and environment for statistical computing.- R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. ISBN 3-900051-07-0, URL <http://www.R-project.org>.
- R Special Interest Group on Databases (R-SIG-DB) (2009). DBI: R Database Interface. R package version 0.2-5. <http://CRAN.R-project.org/package=DBI>.
- RIPS (2007): Daten aus dem Räumlichen Informations- und Planungssystem (RIPS) der Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg (LUBW), 28.11.2007, <http://www.lubw.baden-wuerttemberg.de>.
- Root, T.L., Price, J.T., Hall, K.R. et al. (2003): Fingerprints of global warming on wild animals and plants.- *Nature* 421: 57–60.
- Sadras, V.O., Lawson, C. (2011): Genetic gain in yield and associated changes in phenotype, trait plasticity and competitive ability of South Australian wheat varieties released between 1958 and 2007. *Crop & Pasture Science* 62: 533-549.
- Sherry, R.A., Zhou, X., Gu, S., Arnone, J.A., Schimel, D.S., Verburg, P.S. (2007): Divergence of reproductive phenology under climate warming. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 104:198-202.
- Schnelle, F. (1955): Pflanzen-Phänologie. Akademische Verlagsgesellschaft Geest & Porting K.-G., Leipzig.
- Seyfert, F. (1960): Phänologie.- A. Ziemsen-Verlag, Wittenberg Lutherstadt.
- Siebert, S. & F. Ewert (2012): Spatio-temporal patterns of phenological development in Germany in relation to temperature and day length.- *Agricultural and Forest Meteorology* 152: 44-57.
- Sparks, T.H. & Carey, P.D. (1995): The responses of species to climate over two centuries: an analysis of the Marsham phenological record, 1736-1947. *Journal of Ecology* 83, 321-329.
- Spector, Ph. (2008): Data Manipulation with R.- 152 Seiten, Springer Verlag, New York.
- Tamis, W.L.M., van't Zelfde, M., van der Meijden, R., de Haas, H.A.U. (2004): Changes in vascular plant biodiversity in the Netherlands in the 20th century explained by their climatic and other environmental characteristics. *Climatic Change* 72:37-56.
- Thuiller, W., Lavorel, S., Araújo, M.B., Sykesand, M.T., Prentice, I.C. (2005): Climate change threatens plant diversity in Europe. *The Proceedings of the National Academy of Sciences US* 102: 8245–8250.
- UAK Klima-Biomonitoring (2007): Monitoring von Klimaveränderungen und deren Auswirkungen mit Bioindikatoren (Klima-Biomonitoring). Konzept, Bestandsaufnahme, Ergebnisse, Empfehlungen.- Konzept des UAK Klima-Biomonitoring des Arbeitskreises Bioindikation / Wirkungsermittlung der Landesämter und –anstalten für Umweltschutz.

- Van Oort, P.A.J., Timmermanns, B.G.H. & A.C.P.M. van Swaaij (2012): Why farmers' sowing dates hardly change when temperature rises.- *European Journal of Agronomy* 40: 102-111.
- Venables, W.N. & B.D. Ripley (2002): *Modern Applied Statistics with S*.- 4. Auflage, 495 Seiten, Springer Verlag, New York.
- Walther, G.R., Post, E., Convey, P. et al. (2002): Ecological responses to recent climate change. *Nature*, 416, 389–395.

11 Anhang

Seite

Anhang 1:

Liste der im Rahmen dieses Berichtes ausgewerteten Klimastationen des DWD 141

Anhang 2:

Satzbeschreibung für die Klimadaten nach DWD 146

Anhang 3:

Jahrestagszahlen 148

Anhang 1:

Liste der im Rahmen dieses Berichtes ausgewerteten Klimastationen des DWD

ID	Stationsname	R	H	Hoehe	DWD	alte.NR	von	bis
1	1 Aach	3488796	5300352	478	1	2783	1950	1986
2	70 Albstadt-Ebingen	3502832	5340800	712	70	2755	1973	1986
3	71 Albstadt-Badkap	3498469	5341945	759	71	2928	1986	2011
4	72 Albstadt-Onstmettingen	3500082	5348738	794	72	2926	1978	1995
5	238 Aulendorf-Spiegler	3549894	5314855	560	238	2764	1951	2004
6	257 Baden-Baden-Geroldsau	3444587	5399079	240	257	2701	1950	2011
7	259 Müllheim	3398085	5297347	273	259	2322	1950	2011
8	268 Baiersbronn-Obertal	3446357	5377100	622	268	2752	1954	1996
9	273 Baidt	3549524	5300554	467	273	2966	1986	1990
10	474 Warthausen-Birkenhard	3556942	5332188	599	474	2765	1959	1986
11	576 Böblingen	3498100	5393146	445	576	2913	1987	2003
12	594 Boll, Bad (KKst)	3545300	5389400	425	594	2874	1993	2000
13	604 Bonndorf/Schwarzwald	3450260	5298120	875	604	2761	1971	2005
14	634 Boxberg-Seehof	3546910	5478780	373	634	2515	1980	1991
15	706 Eschbach	3399938	5306156	234	706	2326	1971	2004
16	710 Bretten	3478063	5432052	185	710	2703	1983	2003
17	755 Buchen, Kr. Neckar-Odenwald	3523349	5486859	340	755	2685	1950	2011
18	757 Buchenbach	3425249	5314290	445	757	2315	1990	2011
19	772 Bühlertal	3439297	5395676	190	772	2702	1950	1986
20	773 Bühlertal-Obertal	3439677	5393292	478	773	2903	1986	2004
21	881 Crailsheim-Alexandersreut	3580260	5440708	423	881	4099	1950	2003
22	931 Deggenhausertal-Azenweiler	3530852	5295921	708	931	2967	1989	2003
23	998 Dobel	3462760	5406710	696	998	2707	1950	2001
24	1018 Donaueschingen	3463069	5311678	677	1018	2780	1951	2004
25	1076 Dürrheim, Bad	3465340	5319580	692	1076	2740	1950	2000
26	1093 Eberbach (LUBW)	3497057	5480349	131	1093	2680	1951	2005
27	1102 Ebersbach/Fils	3539279	5398198	300	1102	2865	1987	2002
28	1146 Ehningen	3493599	5391304	487	1146	2919	1985	1987
29	1169 Eimeldingen	3394545	5277672	264	1169	2341	1976	1999
30	1197 Ellwangen-Rindelbach	3582828	5428612	460	1197	4100	1950	2011
31	1214 Elzach-Fisnacht	3433829	5340749	440	1214	2930	1987	2011
32	1224 Emmendingen-Mundingen	3413350	5333950	201	1224	2304	1975	2011
33	1239 Engen/Hegau	3482662	5301513	540	1239	2785	1986	2008
34	1243 Eningen	3522467	5370675	705	1243	2759	1976	1985
35	1254 Eppingen	3493980	5443721	210	1254	2691	1950	2002
36	1255 Eppingen-Elsenz	3489303	5447709	220	1255	2846	2002	2011
37	1276 Eriskirch-Mariabrunn	3540597	5277637	408	1276	2980	1980	2002
38	1346 Feldberg/Schwarzwald	3425557	5304557	1490	1346	2320	1950	2011
39	1347 Feldberg-Altglashütten	3425555	5304555	962	1347	2939	1980	1987
40	1440 Freiamt-Ottoschwanden	3420787	5340982	481	1440	2318	1971	2003
41	1443 Freiburg	3413136	5321232	236	1443	2311	1950	2011
42	1447 Freiburg im Breisgau-Herdern	3414938	5320060	255	1447	2310	1950	1985
43	1467 Freudenstadt-Kurgarten	3456730	5369370	736	1467	2750	1950	2005

44	1468	Freudenstadt	3456365	5368608	797	1468	2751	1950	2011
45	1481	Friedenweiler	3444370	5309530	928	1481	2766	1971	1998
46	1490	Friedrichshafen	3536105	5278653	394	1490	2793	1950	1980
47	1492	Malsburg-Marzell-Friedrichsheim	3405261	5294512	852	1492	2323	1958	2003
48	1584	Geisingen	3473705	5309607	672	1584	NA	2009	2011
49	1602	Ohlsbach	3425538	5366616	176	1602	2731	1970	2011
50	1875	Gschwend, Kr. Ostalb	3554026	5422263	492	1875	2723	1951	2002
51	2074	Hechingen	3498600	5359701	522	2074	2754	1950	2011
52	2080	Heidelberg	3475959	5476019	110	2080	2693	1950	2011
53	2081	Königstuhl	3480121	5473500	561	2081	2692	1950	1960
54	2083	Heidelberg-Grenzhof	3471424	5475885	110	2083	2694	1950	1958
55	2088	Heidenheim/Brenz	3583346	5393831	498	2088	4102	1950	2005
56	2095	Heilbronn	3517099	5445312	167	2095	2689	1950	2003
57	2158	Herrenalb, Bad	3459160	5407540	350	2158	2706	1951	2005
58	2159	Herrenberg	3489327	5383805	430	2159	2920	1978	1985
59	2228	Hinterzarten	3433193	5307065	883	2228	2771	1950	2005
60	2244	Höchenschwand	3437280	5288600	1008	2244	2777	1950	1999
61	2349	Hornisgrinde	3441329	5386502	1119	2349	2705	1953	2005
62	2352	Hottingen	3426240	5276500	712	2352	2768	1957	1971
63	2388	Ihringen	3398070	5323548	193	2388	2355	1990	2003
64	2406	Ingelfingen	3547497	5462393	209	2406	2509	1980	2002
65	2423	Isny	3578270	5283970	712	2423	4138	1950	2004
66	2477	Jungholz (Kühmoos)	3421830	5273310	728	2477	2331	1970	2007
67	2485	Kaisersbach-Cronhütte	3550440	5420194	489	2485	NA	2011	2011
68	2522	Karlsruhe	3453578	5433626	112	2522	2698	1950	2008
69	2546	Kehl-Odelshofen	3417418	5380597	141	2546	2309	1988	2003
70	2575	Kirchberg/Jagst-Herboldshausen	3571519	5449708	426	2575	2838	2007	2011
71	2638	Klippeneck	3481816	5329744	973	2638	2758	1950	2011
72	2654	Knittlingen	3482187	5432159	200	2654	2697	1951	1983
73	2677	Königsfeld/Schwarzwald	3457550	5333874	730	2677	2738	1951	2000
74	2712	Konstanz	3514348	5282138	443	2712	2795	1972	2011
75	2713	Konstanz (Stadtgärtnerei)	3512350	5280260	398	2713	2790	1950	1974
76	2757	Krozingen, Bad	3403045	5308530	238	2757	2334	1961	1983
77	2775	Künzelsau	3550460	5460507	225	2775	2681	1950	1980
78	2812	Lahr	3413237	5359218	155	2812	2303	1950	2011
79	2814	Merklingen	3556557	5375216	685	2814	2729	1951	2011
80	2879	Lauda-Königshofen-Gerlachsheim	3551724	5493727	199	2879	2678	1951	1985
81	2886	Laupheim	3567591	5342556	539	2886	9039	2000	2011
82	2949	Lenningen-Schopfloch	3539028	5378126	758	2949	2717	1950	2002
83	2953	Lenzkirch-Ruhbühl	3442518	5302673	852	2953	2773	1961	2011
84	2996	Liebenzell, Bad	3480135	5403933	352	2996	2742	1950	1960
85	3001	Liliental	3401474	5326325	284	3001	2306	1965	1990
86	3135	Mainhardt-Ziegelbronn	3542605	5436498	473	3135	2699	1955	1983
87	3223	Meersburg	3520743	5284503	460	3223	2789	1950	1977
88	3253	Sankt Blasien-Menzenschwand	3430427	5299615	885	3253	2774	1961	2006
89	3257	Mergentheim, Bad-Neunkirchen	3555308	5482541	250	3257	2679	1950	2011
90	3268	Meßstetten	3499442	5338420	920	3268	9054	2000	2011
91	3278	Metzingen	3520261	5377805	355	3278	2863	2003	2011
92	3362	Mühlacker	3490806	5426089	244	3362	2870	1998	2011

93	3402	Münsingen-Apfelstetten	3535873	5360959	750	3402	2753	1950	2011
94	3425	Murrhardt	3541864	5426328	344	3425	2721	1951	2004
95	3432	Nagold	3479293	5381020	380	3432	2745	1950	1995
96	3486	Neudenau	3519877	5461824	212	3486	2687	1950	2004
97	3518	Neuhausen ob Eck Neuhausen ob Eck-	3493364	5315321	793	3518	2934	1981	1993
98	3519	Unterschwandorf	3499582	5312671	663	3519	2929	1993	2003
99	3603	Niederstetten	3570057	5473912	473	3603	9075	2000	2011
100	3605	Niederstotzingen	3591889	5378049	451	3605	4104	1951	1980
101	3671	Nürtingen	3524114	5388327	280	3671	2726	1955	1991
102	3672	Nufringen	3492422	5387013	457	3672	2713	1950	1954
103	3702	Münstertal-Obermünstertal	3412470	5305080	515	3702	2336	1972	2006
104	3705	Oberndorf/Neckar-Aistaig	3468438	5353061	480	3705	2924	1982	2004
105	3734	Obersulm-Willsbach	3525804	5443466	230	3734	2828	2004	2011
106	3751	Ochsenhausen-Mittelbuch	3565850	5323355	626	3751	2885	1988	1997
107	3761	Öhringen	3537784	5452343	276	3761	2684	1950	2011
108	3777	Offenburg	3420608	5369619	153	3777	2301	1958	2003
109	3924	Pforzheim-Eutingen	3481103	5418752	246	3924	2711	1950	2005
110	3925	Pforzheim-Ispringen	3477795	5421645	333	3925	2857	2005	2011
111	3927	Pfullendorf	3521501	5310732	630	3927	2786	1958	2011
112	3929	Philippsburg	3459418	5457267	100	3929	2696	1950	1985
113	4053	Radolfzell-Markelfingen	3500127	5289725	407	4053	2784	1953	1996
114	4077	Rastatt	3440352	5412467	114	NA	NA	NA	NA
115	4094	Weingarten, Kr. Ravensburg	3546561	5296638	440	4094	2791	1950	2011
116	4152	Remetschwil	3436454	5282567	760	4152	2799	1971	1977
117	4160	Renningen-Ihinger Hof	3494485	5400565	478	4160	2918	2004	2011
118	4166	Reutlingen-Betzingen	3513624	5374171	360	4166	2868	1988	2002
119	4169	Rheinau-Memprechtshofen	3426033	5392988	131	4169	2316	1958	2011
120	4175	Rheinfelden	3409287	5270073	287	4175	2328	1953	2011
121	4177	Rheinstetten	3451036	5426353	116	4177	2710	1950	2011
122	4189	Altheim, Kreis Biberach	3534284	5334543	533	4189	2880	2004	2011
123	4294	Rottenburg-Kiebingen	3497760	5370297	360	4294	2923	1979	2002
124	4300	Rottweil	3472943	5338206	588	4300	2757	1957	2011
125	4330	Rutesheim	3496820	5407235	449	4330	2712	1952	1980
126	4349	Sachsenheim	3505287	5424383	248	4349	2855	1987	2011
127	4350	Säckingen, Bad	3420304	5269807	339	4350	2338	1966	2007
128	4386	Sankt Blasien	3434460	5291800	795	4386	2776	1950	2006
129	4390	Sankt Märgen	3432680	5319380	896	4390	2781	1963	2004
130	4419	Schallstadt-Mengen	3403979	5313871	212	4419	2314	1950	2004
131	4433	Schemmerhofen-Ingerkingen	3557313	5340442	519	4433	2960	1987	2004
132	4477	Schluchsee	3439125	5298390	993	4477	2775	1957	2005
133	4517	Schömburg, Kr. Calw	3474000	5405450	635	4517	2741	1950	2004
134	4549	Schönwald/Schwarzwald	3440260	5329430	1021	4549	2915	1977	2009
135	4556	Schonach	3440475	5333865	904	4556	2735	1973	2000
136	4557	Schopfheim-Eichen	3413188	5279310	400	4557	2329	1953	2002
137	4581	Schwäbisch Gmünd-Strassdorf	3559055	5404677	415	4581	2727	1951	2002
138	4582	Schwäbisch Hall-Bibersfeld	3550260	5438508	349	4582	2724	1983	2001
139	4702	Sigmaringen (Flugplatz)	3518618	5329033	645	4702	9053	2000	2007
140	4703	Sigmaringen-Laiz	3514552	5325997	580	4703	2760	1951	2011

141	4719	Sinsheim	3491242	5456413	169	4719	2823	1998	2007
142	4837	Stegen	3421448	5317065	363	4837	2313	1985	1990
143	4881	Stockach	3501227	5302321	532	4881	2798	1977	1994
144	4887	Stötten	3563766	5392374	734	4887	2728	1950	2011
145	4926	Stuttgart (Neckartal)	3516002	5405811	224	4926	2715	1950	2011
146	4927	Stuttgart-Stadt	3513414	5403547	286	4927	2720	1951	1984
147	4928	Stuttgart (Schnarrenberg)	3514763	5410100	314	4928	2743	1958	2011
148	4931	Stuttgart-Echterdingen	3516586	5394538	371	4931	2746	1953	2011
149	4933	Stuttgart-Hohenheim	3515474	5397370	401	4933	2716	1950	1977
150	4987	Tauberbischofsheim-Dittigheim	3548833	5497493	179	4987	2832	1986	2004
151	5047	Titisee-Neustadt-Langenordnach	3439805	5311562	870	5047	2772	1950	1995
152	5049	Titisee-Neustadt-Titisee	3436220	5307105	846	5049	2767	1957	2005
153	5059	Todtmoos	3425018	5288352	781	5059	2325	1982	2002
154	5094	Triberg	3442635	5332900	683	5094	2737	1950	2001
155	5095	Triberg (Kurpark)	3442980	5332580	700	5095	2931	1975	1988
156	5105	Trochtelfingen	3518414	5352848	700	5105	2756	1950	1973
157	5107	Trochtelfingen-Wilsingen	3523353	5349308	769	5107	2875	1988	2003
158	5120	Tübingen	3503878	5375791	370	5120	2748	1950	1982
159	5127	Tuttlingen	3486489	5318924	649	5127	2932	1991	2003
160	5128	Tuttlingen-Möhringen	3481890	5313033	675	5128	2933	1981	1990
161	5138	Überlingen/Bodensee	3511781	5292571	446	5138	2787	1950	2003
162	5155	Ulm	3570645	5361096	567	5155	2730	1950	2011
163	5174	Urach, Bad	3529660	5373120	471	5174	2749	1975	2005
164	5229	Villingen-Schwenningen	3459870	5323151	720	5229	2739	1950	2011
165	5250	Vogtsburg-Oberrotweil	3398412	5328980	223	5250	2305	1950	2003
166	5275	Waghäusel-Kirrlach	3466387	5456508	105	5275	2840	1985	2011
167	5284	Waiblingen	3523779	5410098	224	5284	2910	1978	1991
168	5289	Waldachtal-Lützenhardt	3467640	5372750	595	5289	2908	1983	2007
169	5291	Waldau-Jostal	3437048	5315661	1005	5291	2770	1950	1961
170	5320	Waldshut	3442852	5275708	330	5320	2778	1953	1991
171	5429	Weinsberg	3521379	5446039	219	5429	2511	1953	1984
172	5435	Weissach	3493314	5412053	455	5435	2917	1981	2003
173	5453	Weisweil-Waldeckhof	3403251	5339739	173	5453	2352	1992	2003
174	5460	Wellendingen	3477412	5334451	655	5460	2935	1978	1984
175	5498	Wertheim-Eichel	3539178	5514598	140	5498	2677	1950	2004
176	5559	Wildbad, Bad-Calmbach	3468934	5405341	385	5559	2709	1950	2001
177	5560	Wildbad, Bad-Sommerberg	3466000	5401485	740	5560	2708	1950	2003
178	5562	Neubulach-Oberhaugstett	3476506	5390482	570	5562	2871	1995	2011
179	5609	Winterbach, Rems-Murr-Kreis	3534580	5407408	240	5609	2893	1994	2002
180	5664	Wolfach	3443617	5351085	291	5664	2736	1958	2011
181	5665	Wolfegg	3559760	5298050	677	5665	2947	1979	2004
182	5731	Wutöschingen-Oftringen	3453512	5282373	398	5731	2769	1961	2011
183	5840	Enzklösterle	3461020	5392280	600	5840	2734	1974	2005
184	5885	Kirchheim/Teck-Ötlingen	3531041	5391264	289	5885	2718	1951	1977
185	5898	Ludwigsburg	3515180	5417440	287	5898	2714	1950	1984
186	5906	Mannheim	3467776	5485881	96	5906	2695	1950	2011
187	5971	Welzheim (A)	3546592	5415890	510	5971	2719	1951	1963
188	6258	Friedrichshafen-Unterraderach	3533173	5282993	459	6258	2794	2003	2011
189	6259	Großerlach-Mannenweiler	3544186	5431684	523	6259	2877	2004	2011

190	6260	Ingelfingen-Stachenhausen	3551234	5466408	385	6260	2844	2002	2011
191	6262	Schwäbisch Gmünd-Weiler	3564311	5403934	413	6262	2900	2002	2011
192	6263	Singen	3486721	5292853	445	6263	2957	2004	2011
193	6275	Notzingen	3534141	5392671	325	6275	2866	2004	2011
194	7187	Freudenberg/Main-Boxtal	3529276	5514190	193	7187	2833	2004	2011
195	7331	Hermaringen-Allewind	3593594	5386552	468	7331	4101	2005	2011
196	7403	Leutkirch-Herlazhofen	3577426	5295767	672	7403	4397	2007	2011
197	13674	Waibstadt	3493193	5461914	237	13674	2824	2007	2011

Erläuterungen zur Liste der Klimastationen:

ID	laufende Nummer in der Liste neue Stationsnummer des DWD (DWD-ID) Stationsname
R	R-Wert (geographische Breite)
H	H-Wert (geographische Länge)
Höhe	Höhe der Station über Normalnull (m ü.NN)
DWD	neue Stationsnummer des DWD (DWD-ID)
alte Nr.	alte Stationsnummer des DWD
von	Beginn der Messreihe (Jahr)
bis	Ende der Messreihe (Jahr)

Innerhalb der einzelnen Messreihen gibt es (vereinzelt) fehlende Werte, die hier nicht näher ausgewiesen werden.

Anhang 2:

Satzbeschreibung für die Klimadaten nach DWD

```
*****
* SATZBESCHREIBUNG FUER DIE DATEIEN KL_XXXXXXXXX_DAT*
* -----
* INHALT : KLIMADATEN
* STAT.  : SIEHE BITTE BESTAND
* ZEITR. : 01.01.1950 - 31.12.2011
*****
CODE = ASCII
```

```
-----
I FELD.NR.:CHAR.VON-BIS:Z.D.CHAR.: I N H A L T I
I-----I
I 1 : 1 - 5 : 5 :STATIONSNUMMER I
I 2 : 6 - 9 : 4 :JAHR I
I 3 : 10 - 11 : 2 :MONAT I
I 4 : 12 - 13 : 2 :TAG I
I 5 : 14 : 1 :LEERSPALTE I
I 6 : 15 - 18 : 4 :TAEGL.MAXIMUM DER LUFTTEMPERATUR IN 0.1 C I
I 7 : 19 : 1 :LEERSPALTE I
I 8 : 20 - 23 : 4 :TAEGL.MINIMUM DER LUFTTEMPERATUR IN 0.1 C I
I 9 : 24 : 1 :LEERSPALTE I
I 10 : 25 - 28 : 4 :LUFTTEMPERATUR TAGESMITTEL IN 0.1 C I
I 11 : 29 : 1 :LEERSPALTE I
I 12 : 30 - 33 : 4 :LUFTTEMPERATUR AM ERDBODEN IN 0.1 C I
I 13 : 34 : 1 :LEERSPALTE I
I 14 : 35 - 37 : 3 :REL. FEUCHTE TAGESMITTEL IN % I
I 15 : 38 : 1 :LEERSPALTE I
I 16 : 39 - 40 : 2 :SICHTWEITE TERMIN 1 CODE ,SIEHE TABELLE I
I 17 : 41 : 1 :LEERSPALTE I
I 18 : 42 - 43 : 2 :SICHTWEITE TERMIN 2 CODE ,SIEHE TABELLE I
I 19 : 44 : 1 :LEERSPALTE I
I 20 : 45 - 46 : 2 :SICHTWEITE TERMIN 3 CODE ,SIEHE TABELLE I
I 21 : 47 : 1 :LEERSPALTE I
I 22 : 48 - 49 : 2 :WETTERERSCHEINUNGEN TERMIN 1 SIEHE TABELLE I
I 23 : 50 : 1 :LEERSPALTE I
I 24 : 51 - 52 : 2 :WETTERERSCHEINUNGEN TERMIN 2 SIEHE TABELLE I
I 25 : 53 : 1 :LEERSPALTE I
I 26 : 54 - 55 : 2 :WETTERERSCHEINUNGEN TERMIN 3 SIEHE TABELLE I
I 27 : 56 : 1 :LEERSPALTE I
I 28 : 57 - 59 : 3 :TAGESSUMME DER SONNENSCHINDAUER IN 0.1 STDI
I 29 : 60 : 1 :LEERSPALTE I
I 30 : 61 - 64 : 4 :TAEGL. NIEDERSCHLAGSHOEHE IN 0.1 MM I
I 31 : 65 : 1 :ART DES NIEDERSCHLAGS I
I : : :0 = KEIN REGEN I
I : : :1 = REGEN I
I : : :7 = SCHNEE I
I : : :8 = GEFALL. FEST+FLUESSIGER NIEDERSCHLAG I
I : : :9 = FEHLKENNUNG I
I-----I
```

Die Klimatermine entsprachen vom MESSBEGINN - 31.03.2001:
Termin 1 07:30 MEZ, Termin 2 14:30 MEZ, Termin 3 21:30 MEZ
Tageswerte von 07:30 Vortag bis 07:30 MEZ

Seit 01.04.2001 entsprechen die Klimatermine:
Termin 1 07 MEZ , Termin 2 13 MEZ, Termin 3 19 MEZ
Tageswerte von 07 MEZ Vortag bis 07 MEZ

WENN IM FELD ART DES NIEDERSCHLAGS EINE 0 STEHT UND IM FELD SUMME EINE 1,
ist die Menge des Niederschlages <0.01 MM

WENN IM FELD ART DES NIEDERSCHLAGS EINE 4 STEHT UND IM FELD SUMME EIN WERT,
IST DIE ART NICHT FESTSTELLBAR

Vom Anfang bis 12/1985 werden Hagel, Griesel und Graupel als Regen gewertet,
ab 01/1986 als Schnee

TABELLE FUER DIE SICHTWEITE

0	SICHTWEITE < 50 M
1	50 M <= SICHTWEITE < 200 M
2	200 M <= SICHTWEITE < 500 M
3	500 M <= SICHTWEITE < 1 KM
4	1 KM <= SICHTWEITE < 2 KM
5	2 KM <= SICHTWEITE < 4 KM
6	4 KM <= SICHTWEITE < 10 KM
7	10 KM <= SICHTWEITE < 20 KM
8	20 KM <= SICHTWEITE < 50 KM
9	SICHTWEITE >= 50 KM
-9	NICHT BESTIMMBAR

Codetabelle fuer Wettererscheinungen aus Klima

0	kein signifikantes Wetter
4	Nebel
5	Spruehregen
6	Regen
7	Schnee
8	Schauer
9	Gewitter
45	Spruehregen und Nebel
46	Regen und Nebel
47	Schnee und Nebel
48	Schauer und Nebel
49	Gewitter und Nebel
-9	Fehlkenntung

Anhang 3:

Jahrestagszahlen

Jahrestagszahlen

Januar		Februar		März		April		Mai		Juni		Juli		August		September		Oktober		November		Dezember	
1	1	1	32	1	60	1	91	1	121	1	152	1	182	1	213	1	244	1	274	1	305	1	335 (-31)
2	2	2	33	2	61	2	92	2	122	2	153	2	183	2	214	2	245	2	275	2	306	2	336 (-30)
3	3	3	34	3	62	3	93	3	123	3	154	3	184	3	215	3	246	3	276	3	307	3	337 (-29)
4	4	4	35	4	63	4	94	4	124	4	155	4	185	4	216	4	247	4	277	4	308	4	338 (-28)
5	5	5	36	5	64	5	95	5	125	5	156	5	186	5	217	5	248	5	278	5	309	5	339 (-27)
6	6	6	37	6	65	6	96	6	126	6	157	6	187	6	218	6	249	6	279	6	310	6	340 (-26)
7	7	7	38	7	66	7	97	7	127	7	158	7	188	7	219	7	250	7	280	7	311	7	341 (-25)
8	8	8	39	8	67	8	98	8	128	8	159	8	189	8	220	8	251	8	281	8	312	8	342 (-24)
9	9	9	40	9	68	9	99	9	129	9	160	9	190	9	221	9	252	9	282	9	313	9	343 (-23)
10	10	10	41	10	69	10	100	10	130	10	161	10	191	10	222	10	253	10	283	10	314	10	344 (-22)
11	11	11	42	11	70	11	101	11	131	11	162	11	192	11	223	11	254	11	284	11	315	11	345 (-21)
12	12	12	43	12	71	12	102	12	132	12	163	12	193	12	224	12	255	12	285	12	316	12	346 (-20)
13	13	13	44	13	72	13	103	13	133	13	164	13	194	13	225	13	256	13	286	13	317	13	347 (-19)
14	14	14	45	14	73	14	104	14	134	14	165	14	195	14	226	14	257	14	287	14	318	14	348 (-18)
15	15	15	46	15	74	15	105	15	135	15	166	15	196	15	227	15	258	15	288	15	319	15	349 (-17)
16	16	16	47	16	75	16	106	16	136	16	167	16	197	16	228	16	259	16	289	16	320	16	350 (-16)
17	17	17	48	17	76	17	107	17	137	17	168	17	198	17	229	17	260	17	290	17	321	17	351 (-15)
18	18	18	49	18	77	18	108	18	138	18	169	18	199	18	230	18	261	18	291	18	322	18	352 (-14)
19	19	19	50	19	78	19	109	19	139	19	170	19	200	19	231	19	262	19	292	19	323	19	353 (-13)
20	20	20	51	20	79	20	110	20	140	20	171	20	201	20	232	20	263	20	293	20	324	20	354 (-12)
21	21	21	52	21	80	21	111	21	141	21	172	21	202	21	233	21	264	21	294	21	325	21	355 (-11)
22	22	22	53	22	81	22	112	22	142	22	173	22	203	22	234	22	265	22	295	22	326	22	356 (-10)
23	23	23	54	23	82	23	113	23	143	23	174	23	204	23	235	23	266	23	296	23	327	23	357 (-9)
24	24	24	55	24	83	24	114	24	144	24	175	24	205	24	236	24	267	24	297	24	328	24	358 (-8)
25	25	25	56	25	84	25	115	25	145	25	176	25	206	25	237	25	268	25	298	25	329	25	359 (-7)
26	26	26	57	26	85	26	116	26	146	26	177	26	207	26	238	26	269	26	299	26	330	26	360 (-6)
27	27	27	58	27	86	27	117	27	147	27	178	27	208	27	239	27	270	27	300	27	331	27	361 (-5)
28	28	28	59	28	87	28	118	28	148	28	179	28	209	28	240	28	271	28	301	28	332	28	362 (-4)
29	29			29	88	29	119	29	149	29	180	29	210	29	241	29	272	29	302	29	333	29	363 (-3)
30	30			30	89	30	120	30	150	30	181	30	211	30	242	30	273	30	303	30	334	30	364 (-2)
31	31			31	90			31	151			31	212	31	243			31	304			31	365 (-1)

12 Anlagen

Alle Anlagen auf der dem Bericht beiliegenden DVD

Anlage 1:

Graphiken zu den phänologischen Phasen der Wildpflanzen in Baden-Württemberg
Auf DVD im Folder: >PhaenoPhasen\ (557 Dateien)

Anlage 2:

Karten zu ausgewählten phänologischen Phasen in Baden-Württemberg (incl. Vegetationsperiode)
Auf DVD im Folder: >PhaenoKarten\ (139 Dateien)

Anlage 3:

Phänologische Uhren für die Beobachtungsstationen in Baden-Württemberg
Auf DVD im Folder: >PhaenoUhren\Stationen\ (485 Dateien)

Anlage 4:

Phänologische Uhren für die naturräumlichen Haupteinheiten in Baden-Württemberg
Auf DVD im Folder: >PhaenoUhren\NR\ (188 Dateien)

Anlage 5:

Phänologische Uhren für die Naturraumgruppen in Baden-Württemberg
Auf DVD im Folder: >PhaenoUhren\NRG\ (52 Dateien)

Anlage 6:

Tabellen und Karten zu ausgewählten phänologischen Beobachtungsstationen (zu Kapitel 8)
Auf DVD im Folder: >Auswahl\ (37 Dateien)

