

Neuartige Phänologische Karten von Bayern und deren Anwendungsmöglichkeiten in der Landschaftsökologie und Landschaftsplanung

Thomas RÖTZER und Roland WÜRLÄNDER

Inhaltsübersicht:	Seite
1. Einleitung	131
2. Datengrundlage	131
2.1. Phänologische Daten	
2.2. Topographische Daten	
3. Methodik	134
3.1. Vorverarbeitung der Stationsdaten	
3.2. Regressionsanalyse	
3.3. Regionalisierung	
3.4. Kartographische Gestaltung	
4. Beurteilung der Ergebnisse	136
4.1. Simulation	
4.2. Geographische Abhängigkeiten (Regressionen)	
5. Anwendungsmöglichkeiten der neuartigen agrarklimatologischen Karten	139
6. Ausblick	139
7. Zusammenfassung / Summary	139
8. Literaturübersicht	145

1. Einleitung

Unter Pflanzenphänologie versteht man die periodische Änderung der äußerlich sichtbaren Entwicklungsstufen und Wachstumsphasen der Pflanzen im Jahresablauf. Beeinflusst werden diese Stadien sowohl durch meteorologische Faktoren wie Wetter, Witterung und Klima, als auch durch Bodenfaktoren, Umgebung und andere Umwelteinflüsse (SCHIFF, 1989; DEUTSCHER WETTERDIENST, 1991).

Durch die Auswertung phänologischer Daten kann daher die pflanzenrelevante Umgebung eines Standorts oftmals genauer als durch physikalisch gemessene Größen wie Temperatur, Niederschlag oder Bodenwassergehalt beschrieben werden, da in den phänologischen Werten alle maßgeblichen Einflußfaktoren enthalten sind.

Wie bedeutend und aussagekräftig solche Beobachtungen sind, zeigt auch die Tatsache, daß phänologische Entwicklungsphasen seit Jahrhunderten aufgezeichnet werden. Der Beginn der Kirschblüte wird in Japan seit 812 n.Chr. archiviert (DEUTSCHER WETTERDIENST, 1990), aus Norfolk bei Norwich in England liegen phänologische Daten seit 1720 vor, und in Genf wird die Laubentfaltung der Roßkastanie seit 1808 kontinuierlich beobachtet (SCHNELLE, 1981). Aber erst der schwedische Botaniker Karl von Linné baute Mitte des 18. Jahrhunderts ein Beobachtungsnetz für die Phänologie auf. Deswegen wird er auch als Begründer der Phänologie bezeichnet.

In Deutschland setzten die ersten systematischen Beobachtungen gegen Ende des 18. Jahrhunderts ein. Ab 1936 wurden diese Aufgaben vom Wetterdienst übernommen. Mittels der archivierten Daten konnten so für den bayerischen Klimaatlas von 1952 phänologische Karten erstellt werden.

Diese beruhen jedoch auf einem kurzen Datenzeitraum (1936-1945) und wenigen Stationen. Neben einer größeren Datenbasis durch längere Zeiträume und durch erheblich mehr Stationen erreicht man bei den neuen Phänologiekarten vor allem durch den Übergang von der Isolinien- auf die Rasterdarstellung eine bessere Auflösung, eine erhöhte Aussagekraft und weniger subjektive Fehler in den Karten. Aus diesen Gründen und wegen der Flexibilität der Programme können differenzierte Anforderungen verschiedener flächendeckend arbeitenden Wissenschaften (Landschaftsökologie, Geographie, Vegetationskunde) und der Landschaftsplanung besser berücksichtigt werden. Phänologische Eintrittstermine können zum Beispiel als Mittelwerte für beliebige Zeiträume ermittelt und als Karte ausgegeben werden, desweiteren können einzelne Jahre wie z.B. Extremjahre kartographisch dargestellt werden; somit ist eine genaue Ausrichtung auf einzelne Gesichtspunkte möglich.

2. Datengrundlage

2.1 Phänologische Daten

Phänologische Eintrittsdaten werden vom Deutschen Wetterdienst seit 1936 archiviert. Für die hier vorgestellten Karten standen sämtliche 1093 bayerischen Phänologiestationen, die im Zeitraum 1951 bis 1990 Beobachtungen meldeten, zur Verfügung. Da nicht alle Stationen kontinuierlich über den gesamten Zeitraum besetzt waren und auch nicht jede Station alle 212 Entwicklungsphasen der 72 Pflanzenarten aufzeichnete, reduzierte sich die Anzahl der Stationen je nach Phase auf 400 bis 800. Grundsätzlich kann aber für jedes aufgezeichnete Entwicklungsstadium eine Karte erstellt werden. Einschränkungen bestehen nur bei Phasen von Pflanzen, die nicht flächendeckend beobachtet werden (z.B. die Phasen des Weins).

Tabelle 1 zeigt (aufgeteilt nach landwirtschaftlichen, gartenbäulichen und wildwachsenden Pflanzen) für welche Arten und Entwicklungsphasen eine kartographische Darstellung möglich ist.

2.2 Topographische Daten

Für das Gebiet von Bayern steht ein digitales Geländemodell (DGM) mit einer Gitterweite von 500 Metern zur Verfügung. Erhoben wurden die Daten des DGMs bei der Firma Industrie-Anlagen-Betriebsgesellschaft, Ottobrunn, mittels einer Digitalisierung der topographischen Karten (Maßstab 1:50.000) des bayerischen Landesvermessungsamtes und einer anschließenden Interpolation der Gitterpunkte aus den Höhenlinienpunkten. Es wurden Daten in verschiedenen Gitterweiten ab 100 Meter angeboten, aus Kostengründen konnten jedoch nur die Daten mit 500 m Gitter-

Tabelle1

Aufgezeichnete Phänologische Phasen

LANDWIRTSCHAFTLICHE KULTUREN					
PKZ	PHASE	PFLANZE	PKZ	PHASE	PFLANZE
021	BE	Hafer	022	AU	Hafer
023	BS	Hafer	024	AE	Hafer
025	BE	Sommergerste	026	AU	Sommergerste
027	BS	Sommergerste	028	AE	Sommergerste
029	BE	N-Frühkartoffeln	030	AU	N-Frühkartoffeln
031	BG	N-Frühkartoffeln	032	BE	Spätkartoffeln
033	AU	Spätkartoffeln	034	BG	Spätkartoffeln
035	BS	Wintergerste	036	AE	Wintergerste
037	BS	Winterroggen	038	AE	Winterroggen
039	VB	Winterroggen	040	BS	Winterweizen
041	AE	Winterweizen	042	BE	Zuckerrübe
043	AU	Zuckerrübe	044	BG	Zuckerrübe
045	AU	Futterrübe	046	B	Feldarbeit
047	B	Weidegang	048	SC	Wiese-Heu-Schnitt
075	BB	Spätkartoffeln	076	ER	Spätkartoffeln
077	GR	Wintergerste	078	ER	Wintergerste
079	VR	Wintergerste	080	BE	Wintergerste
081	AU	Wintergerste	082	GR	Sommergerste
083	BE	Sommergerste	084	VR	Sommergerste
085	GR	Winterroggen	086	ER	Winterroggen
087	VR	Winterroggen	088	BE	Winterroggen
089	AU	Winterroggen	090	GR	Winterweizen
091	BE	Winterweizen	092	VR	Winterweizen
093	BE	Winterweizen	094	AU	Winterweizen
095	GR	Hafer	096	ER	Hafer
097	VR	Hafer	098	ER	Futterrübe
099	BE	Zuckerrübe	136	BE	Sommerweizen
137	AU	Sommerweizen	138	BS	Sommerweizen
139	AE	Sommerweizen	140	BE	Silo-Mais
141	AU	Silo-Mais	142	AE	Silo-Mais
143	VB	Silo-Mais	144	BB	Winterraps
145	BE	V-Frühkartoffeln	146	AU	V-Frühkartoffeln
147	BG	V-Frühkartoffeln	148	BB	V-Frühkartoffeln
149	BB	N-Frühkartoffeln	150	BE	Futterrübe
151	BB	Futterrübe	161	SC	Rotklee-Heu
162	SC	Luzerne-Heu	179	ER	V-Frühkartoffeln
180	BE	N-Frühkartoffeln	181	ER	Winterraps
182	BE	Winterraps	183	AU	Winterraps
184	SC	Rotklee-Grummet	185	SC	Luzerne-Grummet
186	SC	Wiese-Grummet	187	GR	Sommerweizen
188	ER	Sommerweizen	189	VR	Sommerweizen
190	EM	Sommerweizen	191	EM	Wintergerste
192	ER	Sommergerste	193	EM	Winterroggen
194	ER	Winterweizen	195	EM	Hafer
196	SC	Silo-Mais	201	E	Weidegang

GARTENBAULICHE KULTUREN					
PKZ	PHASE	PFLANZE	PKZ	PHASE	PFLANZE
002	BB	Schneeglöckchen	006	BB	Forsythie
015	BB	Flieder	049	BB	Aprikose
050	BB	Pfirsich	051	BB	Johannisbeere
052	BL	Stachelbeere	053	BB	Stachelbeere
054	BB	Süßkirsche	055	EB	Süßkirsche
056	BB	Sauerkirsche	057	EB	Sauerkirsche
058	BB	Pflaume	059	EB	Pflaume
060	BB	Birne	061	EB	Birne
062	BB	Apfel	063	EB	Apfel
100	EF	Johannisbeere	101	EF	Stachelbeere
102	EF	FR-Süßkirsche	103	EF	SP-Süßkirsche
104	EF	Sauerkirsche	105	EF	FR-Pflaume
106	EF	SP-Pflaume	107	EF	FR-Birne

108	EF	SP-Birne	109	EF	FR-Apfel
110	EF	MI-Apfel	111	EF	SP-Apfel
133	BB	Goldregen	134	BB	Falscher Jasmin
135	BB	Schneebeere	152	BE	Grünpflück-Erbse
153	AU	Grünpflück-Erbse	154	BB	Grünpflück-Erbse
155	BE	Grünpflück-Bohne	156	AU	Grünpflück-Bohne
157	BB	Grünpflück-Bohne	158	BP	Tomate
159	BB	Tomate	160	BP	Weißkohl
163	VB	Süßkirsche	164	VB	Sauerkirsche
165	VB	Pflaume	166	VB	Birne
167	VB	Apfel	168	BB	Erdbeere
169	BB	Himbeere	170	BB	Brombeere
171	BA	Weinrebe	172	BB	Weinrebe
173	VB	Weinrebe	174	EB	Weinrebe
197	ER	Grünpflück-Erbse	198	ER	Grünpflück-Bohne
199	ER	Tomate	200	ER	Weißkohl
202	EF	Erdbeere	203	EF	Himbeere
204	EF	Brombeere	205	LE	S1-Weinrebe
206	LE	S2-Weinrebe	207	LE	S3-Weinrebe
208	LE	S4-Weinrebe	209	BF	S1-Weinrebe
210	BF	S2-Weinrebe	211	BF	S3-Weinrebe
212	BF	S4-Weinrebe			

WILDWACHSENDE PFLANZEN

PKZ	PHASE	PFLANZE	PKZ	PHASE	PFLANZE
001	BB	Haselnuß	003	BB	Huflattich
004	BB	Salweide	005	BB	Spitzahorn
007	BL	Roßkastanie	008	BB	Roßkastanie
009	BL	Weißbirke	010	BL	Sommerlinde
011	BB	Schlehdom	012	BL	Rotbuche
013	BL	Stieleiche	014	BB	Stieleiche
016	BB	Weißdom	017	MT	Fichte
018	BB	Holunder	019	VB	Wiesenfuchschwanz
020	VB	Knäuelgras	064	BB	Sommerlinde
065	BB	Heidekraut	066	BB	Herbstzeitlose
067	EF	Holunder	068	EF	Roßkastanie
069	LF	Roßkastanie	070	EF	Rotbuche
071	LF	Rotbuche	072	EF	Stieleiche
073	LF	Stieleiche	074	LF	Weißbirke
112	BB	Schwarzerle	113	BL	Schwarzerle
114	BB	Gelb-Hartriegel	115	BB	Buschwindröschen
116	BB	Löwenzahn	117	BL	Lärche
118	BL	Lärche	119	BB	Esche
120	BB	Esche	121	BL	Winterlinde
122	BB	Robinie	123	BB	Robinie
124	BB	Rotbuche	125	BB	Fichte
126	BB	Tanne	127	MT	Tanne
128	BB	Kiefer	129	MT	Kiefer
130	BB	Traubenkirsche	131	BB	Eberesche
132	BB	Heckenrose	175	BB	Winterlinde
176	JT	Stieleiche	177	EF	Heckenrose
178	EF	Eberesche			

AE = Ährenschieben; **AU** = Aufgang; **B** = Beginn; **BA** = Beginn des Austriebes; **BB** = Beginn der Blüte; **BE** = Beginn der Bestellung; **BF** = Blattfall; **BG** = Bestand geschlossen; **BL** = Beginn der Blattenfaltung; **BP** = Beginn des Pflanzens; **BS** = Beginn des Schossens; **E** = Ende; **EB** = Ende der Blüte; **EF** = Erste Früchte reif; **EM** = Erntebeginn mit Mähdrescher; **ER** = Beginn der Ernte; **FR** = Früh; **GR** = Gelbreife; **JT** = Johannistrieb; **LE** = Beginn der allgemeinen Lese; **LF** = Laubverfärbung; **MI** = Mittel; **MT** = Maitrieb; **N** = nicht vorgekeimt; **PKZ** = Phasen-kennzahl; **S** = Sorte; **SC** = Beginn des Schnitts; **SO** = Beginn des Schossens; **SP** = Spät; **V** = vorgekeimt; **VB** = Vollblüte; **VR** = Vollreife.

weite bezogen werden. Auch das bayerische Landesvermessungsamt bietet DGMs für ganz Bayern an. Ein Vergleich der Daten ist in EBNER und WÜRLÄNDER (1991) zu finden. Das am Lehrstuhl für Photogrammetrie und Fernerkundung verfügbare DGM-Programmpaket HIFI (HöhenInterpolation mit FIniten Elementen) bie-

tet ein Interpolationsverfahren, mit dem eine geschlossene Beschreibung der Geländeoberfläche auf der Basis des oben genannten DGMs mit 500 m Gitterweite erreicht wird. Dies erlaubt u.a. die Berechnung von Höhe, Hangneigung und Exposition für jeden beliebigen Punkt innerhalb Bayerns (EBNER et al., 1987). Der Abstand für die einzel-

nen Bildelemente (Pixel) der Rasterkarte kann deshalb im Prinzip beliebig gewählt werden, sollte jedoch wegen der Genauigkeit der Ausgangsdaten nicht deutlich unter der ursprünglichen Gitterweite liegen. Für die phänologischen Karten wurde ein Pixelabstand von 400 Metern gewählt. Dieser ermöglicht zum einen die optimale Ausnutzung der Auflösung moderner Raster-Graphik-Bildschirme (i.d.R. 1024 x 1280 Pixel) für die Gebietsausdehnung des Landes Bayern, zum anderen ergibt sich bei der Kartenerstellung im vorgesehenen Maßstab von 1:1 Million eine ausreichend feine Rastergröße von 0,4 mm. Wünschenswert wäre vielleicht eine feinere Darstellung mit etwa 0,2 mm Rastergröße (200 m DGM-Raster). Diese würde jedoch eine Genauigkeit vortäuschen, die mit den Ausgangsdaten in der Gitterweite von 500 m nicht erreichbar ist.

3. Methodik

3.1. Vorverarbeitung der Stationsdaten

Da es sich bei den phänologischen Daten um ungeprüftes Datenmaterial handelt, muß vor dem eigentlichen Berechnen der Stationswerte eine Fehlerermittlung durchgeführt werden. Mittels mehrerer Prüfprogramme wird jeder einzelne Jahreswert über Mediantafeln, die Phasenabfolge der Kultur und die maximale Spannweite der jeweiligen phänologischen Phase auf seine Glaubwürdigkeit hin getestet (SCHIFF, 1983; KLANTE, 1988). Als

fehlerhaft erkannte Werte werden in einer Fehlerdatei abgespeichert.

Anschließend erfolgt für jede Station die Berechnung des Mittelwerts des gewünschten Zeitraums (1951-1980 für den Agrarklimatologischen Atlas). Verwendet werden alle Stationen mit einer Mindestzahl an Jahreswerten (Mindestzahl = 5 für den Agrarklimatologischen Atlas). In einem weiteren Programm werden daraufhin die fehlenden Jahre der nicht vollständigen Stationen simuliert. Dabei errechnet sich der simulierte Wert aus dem Jahreswert der jeweiligen Naturraumgruppe plus der langjährigen, mittleren Differenz zwischen Naturraumgruppenwert und Stationswert. Die Naturraumgruppen entstehen durch die Zusammenfassung der 20 bayerischen Naturräume, deren Gliederung im Bayerischen Klimaatlas von 1952 dargestellt ist, zu fünf Gruppen (vgl. Abbildung 1).

Das Ergebnis des Simulationsprogramms stellt somit eine kontinuierliche Zeitreihe für jede Station dar.

Es folgt eine Auslese von Stationen, die aufgrund einer besonderen Topographie extreme Werte besitzen, die nicht in die jeweilige Naturraumgruppe passen und somit die Karte verfälschen würden (Beispiel: Gipfelflage der Station Hohenpeissenberg). Auch Stationen mit zu hohen Streuungen in den Jahreswerten werden verworfen, ebenso Stationen, bei denen wegen einer zu hohen Streuung in den Differenzen keine Simulation durchgeführt werden konnte.

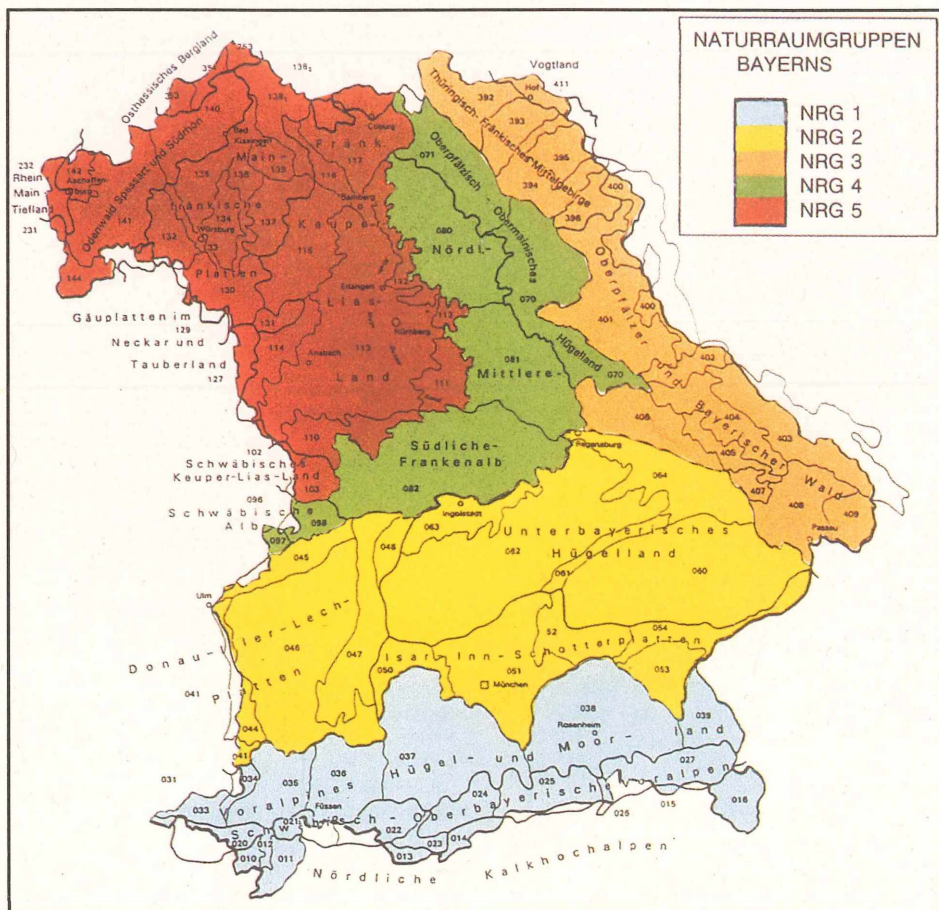


Abbildung 1

Naturraumgruppen Bayerns (Zusammenfassung der 20 bayerischen Naturräume)

3.2 Regressionsanalyse

Die Beobachtungswerte der Phänologie liegen in einer unregelmäßigen Verteilung über ganz Bayern als Einzelpunktmessungen vor. Daraus soll eine flächendeckende digitale Rasterkarte abgeleitet werden.

Die Verwendung einer reinen Interpolationsmethode zur Berechnung der Rasterpunktwerte zwischen den Beobachtungsorten ist zu ungenau, da die Werte zwischen den Stationen erheblich von anderen Faktoren abhängen. Deshalb ist es notwendig, den Einfluß dieser Faktoren über eine multiple Regressionsanalyse zu bestimmen.

Hierbei können nur die Faktoren Stationshöhe, geographische Breite und Länge untersucht werden, da Daten von anderen Einflußfaktoren (z.B. topographische Form oder Bodenart) nicht vorliegen. Durch Kombination der Faktoren wird versucht, die beste Regression bezüglich des Bestimmtheitsmaßes zu ermitteln (JOHN, 1990). Tests der Regressoren auf Unabhängigkeit und Autokorrelation schließen sich an. Die Güte der Regressionen und ihre Signifikanzen werden mit t- und f-Tests ermittelt (BACKHAUS et al., 1987). Abgelehnt wird die Nullhypothese („Die Regressionsgleichung ist unbrauchbar“), wenn die Vertrauenswahrscheinlichkeit der Alternativhypothese größer als 0,999 ist. Dies bedeutet, daß bei Annahme der Alternativhypothese das Signifikanzniveau des t- und des f-Tests immer geringer als 0,001 ist. Die Abweichungen des Beobachtungswertes vom errechneten Wert der Regressionsanalyse (die Residuen) werden als Stationscharakteristika bezeichnet. Darin enthalten sind die unberücksichtigten Einflußfaktoren einschließlich eines eventuellen Beobachtungsfehlers.

3.3 Regionalisierung

Das Verfahren, aus punktuellen Beobachtungswerten alle Rasterpunkte der Kartenfläche unter Verwendung der Regressionsparameter zu berechnen, wird Regionalisierung genannt. Eine anschauliche Erläuterung dieser Methode anhand der Regionalisierung von Klimadaten bietet GOSSMANN (1991). Üblicherweise wird für die Berechnung der Rasterpunkte ausschließlich das Ergebnis der Regressionsanalyse verwendet. Dies setzt jedoch voraus, daß zumindest alle wesentlichen Einflußfaktoren bekannt sind, ihr Einfluß bei der multiplen Regressionsanalyse modelliert werden kann und darüber hinaus auch flächendeckend Daten für diese Einflußfaktoren in digitaler Form zur Verfügung stehen. Gerade die letzte Forderung läßt sich bei großräumigen Anwendungen wie die hier beschriebene bayernweite Kartenerstellung nur äußerst mühsam realisieren.

Für die Herstellung von phänologischen Rasterkarten wurde deshalb ein spezielles Regionalisierungsverfahren entwickelt. Neben den Regressionsparametern für die Höhe über NN, geographische Breite und Länge fließen auch die Residuen (Abweichungen der Stationsmeßwerte von den Werten der Regression) in die Berechnung der flächendeckenden Rasterelemente ein. Da mit den oben genannten Einflußfaktoren mit Sicherheit keine vollständige Parametrisierung der Abhängigkeiten von phänologischen Größen erreicht werden kann, enthalten diese Residuen nicht nur die möglichen Beobachtungsfehler, sondern auch

den Einfluß der nicht modellierten Faktoren. Diese sind überwiegend kleinräumiger Natur (z.B. regionale Klimabesonderheiten, Bodenart). Deshalb werden diese Residuen auch als Stationscharakteristika bezeichnet. Bei einer ausschließlichen Verwendung der Regressionsfunktion zur Berechnung der Rasterwerte in der Fläche würden diese Stationscharakteristika verloren gehen.

Die Residuen der einzelnen Stationen werden deshalb in die Fläche interpoliert und zu den Werten aus der Regressionsfunktion addiert. Einen guten Überblick über räumliche Interpolationsverfahren gibt BURROUGH (1986). In unserem Fall wird das Interpolationsverfahren des bereits in 2.2. erwähnten DGM-Programmsystems HIFI eingesetzt (DÜSEDAU et al., 1987). Es handelt sich dabei um ein statistisches Approximationsverfahren, mit dem die Höhenwerte der in einem regelmäßigen Gitter vorliegenden Eckpunkte von bilinearen finiten Elementen geschätzt werden. Diese bilinearen finiten Elemente stellen eine kontinuierliche Oberflächenbeschreibung dar. Diskontinuitäten der Oberfläche (z.B. Geländekanten) werden durch lokale Dreiecksvermaschungen innerhalb dieser bilinearen finiten Elemente beschrieben. Da es sich bei dieser Methode um ein Approximationsverfahren handelt, ist eine Filterung von groben Fehlern (Ausreißern) ebenfalls möglich. Statt Geländehöhen können auch andere Werte modelliert werden, falls sie als Funktion der Lage ($F[x,y]$) vorliegen. Mit dieser Methode wird für die Residuen der Beobachtungsstationen eine Oberflächenbeschreibung berechnet und anschließend für alle Positionen der Rasterkarte ein Wert (Residuum in der Fläche) interpoliert. Die phänologischen Werte in der Fläche ergeben sich abschließend als Summe der Werte aus der Regressionsfunktion und der Werte der flächendeckenden Residuen. Die zusätzliche Flächeninterpolation der Residuen läßt sich jedoch nur rechtfertigen, wenn eine ausreichend dichte Stationsverteilung vorliegt, da sonst u. U. Stationscharakteristika ein zu großes Gebiet beeinflussen, für das die Werte nicht mehr charakteristisch sind. Bei der vorliegenden Stationsdichte der phänologischen Beobachtungsstationen (siehe 2.1.) ist dies jedoch gewährleistet.

3.4 Kartographische Gestaltung

Das Ergebnis der Regionalisierung, bestehend aus einem flächenhaften Raster von Phänologiewerten über ganz Bayern, wird durch eine sinnvolle Zusammenfassung der Phaseneintrittstermine in fünf bis zehn Klassen und eine farbige Darstellung der einzelnen Klassen als eine thematische Rasterkarte dargestellt. Bei der Festlegung der Klassenanzahl wird auf die Standardabweichung der Regressionsanalyse Rücksicht genommen, d.h. bei einer geringen Standardabweichung können mehr Klassen gebildet werden als bei einer schlechten Regression. Damit wird zum einen eine möglichst feine Einteilung der Klassen angestrebt, zum anderen jedoch die Vortäuschung nicht vorhandener Genauigkeiten vermieden.

Eine Steigerung in der Interpretierbarkeit erfährt die Karte durch die rechnerische Überlagerung der Farbklassen mit dem Relief Bayerns. Die Simulation einer künstlichen Beleuchtung mit dem Ziel einer plastischen Wirkung des Geländereliefs - in der Kartographie „Schummerung“, in der Compu-

tergrafik „Shading“ genannt ist ebenfalls Bestandteil des DGM-Programm-Systems HIFI. Das Ergebnis einer solchen digitalen Schummerung von Bayern liegt als Grauwertbild mit einer Darstellungstiefe von 8 Bit (256 Graustufen) vor. Eine einfache Überlagerung dieses Bildes mit der thematischen Rasterkarte im Sinne einer Überlagerung zweier Folien ist an einem Computerbildschirm nicht möglich. Deshalb war die Erstellung eines Rechnerprogramms notwendig, das aus den beiden vorliegenden Bildern und ihren Farbtabeln ein neues, kombiniertes Bild mit einer zugehörigen Farbtabelle generiert. Die Farbtabelle enthält für alle möglichen 256 Bildgrauwerte eine entsprechende Darstellungsfarbe, angegeben in den drei Farbkomponenten Rot, Grün und Blau. Üblicherweise besitzen die Rasterbildschirme von Graphik-Workstations eine Farbtiefe von 8 Bit. Da bereits allein die digitale Schummerung diesen Grauwertumfang ausschöpft, muß die Anzahl der möglichen Helligkeitsabstufungen pro Farbkategorie im Überlagerungsbild reduziert werden (z.B. ergeben sich bei einer Anzahl von 8 thematischen Klassen nur noch maximal 32 Helligkeitsabstufungen pro Farbe). Das Rechnerprogramm ermittelt in Abhängigkeit von der Klassenanzahl die notwendigen Reduktionswerte, erzeugt eine neue Farbtabelle mit entsprechenden Helligkeitsabstufungen für jede Klassenfarbe und berechnet aus den Grauwerten der beiden Ausgangsbilder die Grauwerte des Überlagerungsbildes.

Die Möglichkeit, gleichzeitig die phänologische Rasterinformation und die topographische Gliederung Bayerns betrachten zu können, führt zu einer wesentlichen Verbesserung bei der Überprüfung der Ergebnisse und der Interpretation der Karte. Ergänzt wird diese digitale Karte mit einer einfachen Legende, ebenfalls in digitaler Form am Rechner erzeugt. Diese erläutert das dargestellte Pflanzenstadium und die Zuordnung der phänologischen Werte zu den einzelnen Farbklassen.

Die in den Abschnitten 4 und 5 abgebildeten Karten zeigen die Ergebnisse all dieser kartographischen Arbeitsschritte.

4. Beurteilung der Ergebnisse

4.1 Simulation

Zur Verifizierung der Ergebnisse muß zunächst die Güte des Simulationsprogramms getestet werden. Zu diesem Zweck werden alle Stationen mit vollständigen Zeitreihen für eine phänologische Phase ausgewählt und die jeweiligen Stationsmittelwerte gebildet (=Ausgangswerte).

Anschließend erfolgt eine Auswahl von fünf bis zehn Jahreswerten von allen diesen Stationen per Zufallsgenerator und die Mittelwertberechnung aus diesen 5 bis 10 Werten einer jeden Station (=Zufallswerte).

Nachdem das Simulationsprogramm (siehe 3.1. Vorverarbeitung der Stationsdaten) die fehlenden Jahre auf einen kontinuierlichen Zeitraum vervollständigt hat, wird auch hier der Mittelwert über den gesamten Zeitraum von jeder Station errechnet (=Simulationswerte).

Nach einer Differenzenbildung sowohl der Simulationswerte als auch der Zufallswerte von den Ausgangswerten werden die so erhaltenen Abweichungen der Simulations- bzw. Zufallswerte über alle Stationen gemittelt.

Die mittlere Stationsabweichung der Simulations- bzw. der Zufallswerte von den Ausgangswerten für jeweils eine phänologische Phase ist damit das Ergebnis der Güteberechnungen. Die Verbesserung durch die Simulation ergibt sich aus der Differenz der mittleren Abweichungen von Zufallswert und Simulationswert.

Bisher ist bei fast allen durchgeführten Berechnungen eine Verbesserung der Ergebnisse durch die Simulation festgestellt worden (siehe Abb. 2). Das heißt, daß sich durch den kontinuierlichen Zeitraum, den man mittels der simulierten Daten erhält, eine deutlich geringere Abweichung vom tatsächlichen Mittelwert im Vergleich zur Abweichung des Mittelwerts von nur wenigen vorhandenen Jahren ergibt.

Zu erklären ist dies dadurch, daß sich bei nur wenigen vorhandenen Jahren oft Extremjahre oder -perioden sehr stark auf den Stationsmittelwert auswirken, was eine große Abweichung vom tatsächlichen Mittelwert zur Folge hat. Durch die Simulation wird dieser Einfluß abgeschwächt.

Die abnehmenden Verbesserungen durch die Simulation bei den einzelnen phänologischen Phasen im Jahresverlauf - Beispiele sind hier die Phase 64 (Blühbeginn der Sommerlinde (*Tilia platyphyllos*)) oder die Phase 111 (Fruchtreife des Spätapfels (*Malus pumila*)), eine Ausnahme ist die Phase 92 (Vollreife des Winterweizens (*Triticum aestivum*)) - deuten darauf hin, daß vom Beginn bis zum Ende des Jahres die standortlichen Gegebenheiten, die ja nur als langjähriges Mittel in den Differenzwerten enthalten sind - z.B. Bodenfeuchte, Exposition oder Umgebung - den großräumigen Klimaeinfluß, der durch einen jährlichen Naturraumgruppenwert zum Ausdruck kommt, immer mehr überlagern, wodurch sich das Simulationsergebnis gegenüber dem Ergebnis der Zufallswerte verschlechtert. Die klimatische Beschreibung der Station durch die Naturraumgruppe ist hier nicht mehr ausreichend, das kleinräumliche Klima besitzt einen größeren Einfluß.

Der Grund der hohen Abweichung sowohl der Zufalls- als auch der Simulationswerte von den Ursprungswerten bei den phänologischen Phasen 1 (Blühbeginn Hasel (*Corylus avellana*)) und 3 (Blühbeginn Huflattich (*Tussilago farfara*)) liegt sicherlich in der großen Spannweite der Eintrittstermine, die bei sehr frühen Phasen im Jahr immer zu beobachten ist.

4.2 Geographische Abhängigkeiten (Regressionen)

Bei der multiplen Regressionsanalyse wird versucht, die geographischen Abhängigkeiten zu ermitteln. Dabei ergibt sich je nach Phase eine unterschiedliche Anzahl an Regressoren. Frühe Phasen im Jahr besitzen eine hohe Abhängigkeit von der Stationshöhe, der geographischen Breite und Länge; Beispiele sind die Phase 3 (Blühbeginn Huflattich (*Tussilago farfara*)) oder die Phase 4 (Blühbeginn Salweide (*Salix caprea*)) mit Höhenabhängigkeiten von 2,2 bzw. 2,3 Tagen pro 100 m, Breitenabhängigkeiten von 5,7 bzw. 4,4 Tagen pro 100 km und Längenabhängigkeiten von 1,8 bzw. 2,6 Tagen pro 100 km.

Die Güte der Regression - das Bestimmtheitsmaß - liegt dabei im Durchschnitt bei 50 Prozent. So errechnet sich zum Beispiel für die Phase 6 (Blüh-

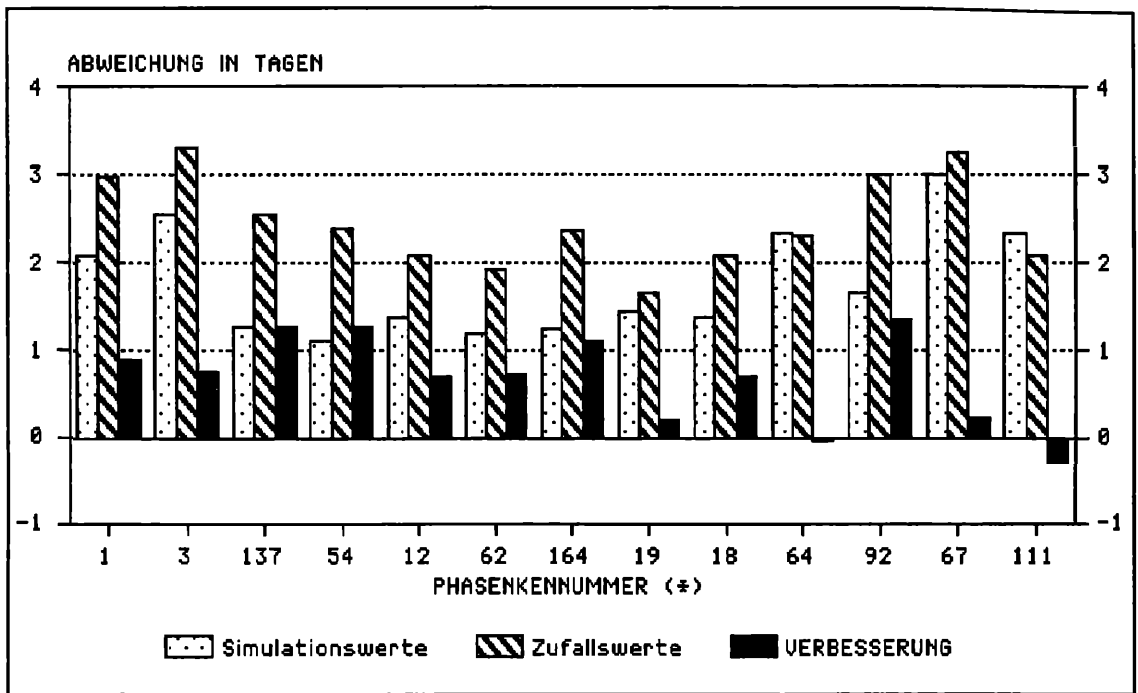


Abbildung 2

Güte der Phänologie: Mittlere Abweichung einer Station von den Ausgangswerten (in Tagen); die Reihenfolge der phänologischen Phasen ist nach ihrem mittleren Eintreten geordnet.

beginn Forsythie (*Forsythia spec.*) ein Bestimmtheitsmaß von 70 Prozent und für die Phase 26 (Aufgang Sommergerste (*Hordeum vulgare*)) eines von 61 Prozent. Für die weiter oben genannten Phasen 3 und 4 ergab die Regressionsanalyse Bestimmtheitsmaße von 41 und 43 Prozent.

Dagegen lassen sich bei den Sommer- und Herbstphasen nur geringe oder keine Zusammenhänge mit der geographischen Lage feststellen. Eine Abhängigkeit von der geographischen Länge ist nicht mehr zu beobachten. Erst bei Phasen des Spätherbstes wie zum Beispiel der Phase 72 (Fruchtreife der Stieleiche (*Quercus robur*)) tauchen wieder Längenabhängigkeiten auf, jetzt aber mit negativen Vorzeichen, d.h. mit einer Verfrühung des Eintritts in Richtung Osten. Höhen- und Breiteninflüsse fallen bei den Sommer- und Herbstphasen meist geringer aus: So errechnet sich bei der bereits erwähnten Phase 111 (Fruchtreife Spätpfäfel (*Malus pumila*)) lediglich eine Höhenabhängigkeit von 1,2 Tagen pro 100 m, eine Abhängigkeit von der Breite ist nicht feststellbar. Das Bestimmtheitsmaß übersteigt nur selten 30 Prozent, wie die Beispiele Phase 68 (Fruchtreife Roßkastanie (*Aesculus hippocastaneum*)) oder 66 (Blühbeginn Herbstzeitlose (*Colchicum autumnale*)) mit Bestimmtheitsmaßen von 11 bzw. 14 Prozent verdeutlichen. Da für viele Kulturen die Dauer der Vegetationszeit ausreicht, um zu einem physiologischen Abschluß zu kommen, nimmt, beginnend bei den Frühjahrsphasen bis hin zu den Herbstphasen, die Abhängigkeit von der Höhe und der Breite im Laufe des Jahres ab, d.h. der Einfluß der Temperatur und der Strahlung auf die Entwicklungsphase der Pflanze geht zurück. Insbesondere ist dies bei mehrjährigen Kulturen zu beobachten (SCHNELLE, 1955). Dagegen gewinnen andere Umweltfaktoren an Einfluß (LARCHER, 1973), zum Beispiel die Frühfröste bei der Laubverfärbung oder der Wasserhaushalt bei der Fruchtreife.

Die Gründe für die abnehmende Abhängigkeit von der geographischen Länge im Jahresverlauf bis in den Sommer sind vor allem in der im Frühjahr sich stark auswirkenden Kontinentalität zu suchen, deren Einfluß im Laufe des Sommers nachläßt und verschwindet. Im Herbst dagegen ist die Abhängigkeit von der Länge in umgekehrter Richtung wieder zu erkennen. Dieses von SCHNELLE (1955) für Europa festgestellte Phänomen läßt sich also auch auf ein kleineres Gebiet wie Bayern übertragen.

Insgesamt läßt sich eine sinkende Abhängigkeit der einzelnen Entwicklungsphasen von der geographischen Lage im Jahresverlauf feststellen. Daher wird je nach Güte der Regression mit einer einfaktoriellen Regressionsgleichung (Regressor: Stationshöhe), einer zweifaktoriellen (Regressoren: Stationshöhe und geographische Breite oder Länge) oder einer dreifaktoriellen Regressionsanalyse (Regressoren: Stationshöhe, geographische Breite und Länge) gearbeitet.

Die Höhe des Bestimmtheitsmaßes beeinflußt auch die durch die Regressionsgleichung nicht berücksichtigten Einflußfaktoren, die Stationscharakteristika: Je höher der Einfluß der Regressoren ist, desto geringer wird der Einfluß der Stationscharakteristika, wozu beispielsweise Exposition, Hangneigung, Bodenart sowie pflanzliche Faktoren wie Sorte, Konstitution und Versorgungszustand der Pflanze etc., aber auch ein möglicher Fehler der Beobachtung gehören.

Da aber die Fehler weitgehend durch vorgeschaltete Programme ausgesondert wurden und auf die Stationscharakteristika nicht verzichtet werden kann, weil sie eine bessere kleinräumliche Auflösung bieten, ist eine Interpolation dieser Werte in die Fläche notwendig.

Diese bessere räumliche Auflösung wird sehr gut sichtbar, wenn man die neuen Phänologiekarten mit denen des Klimaatlasses von 1952 vergleicht.

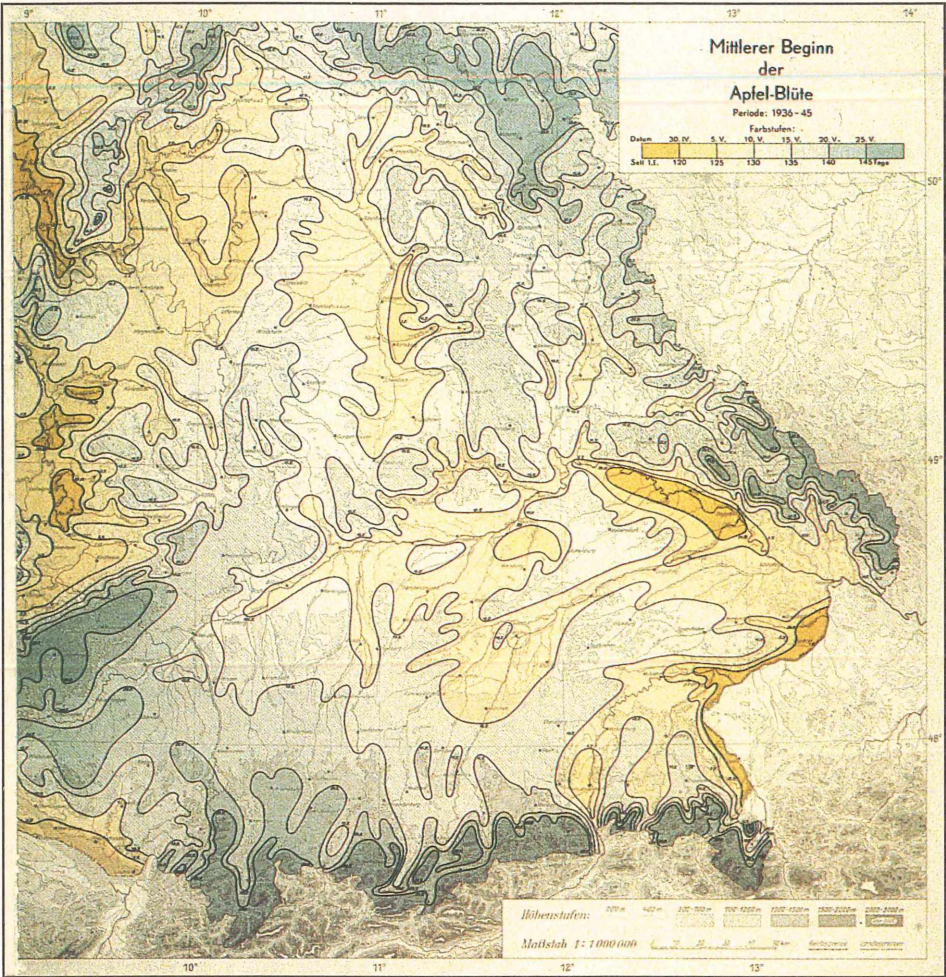


Abbildung 3
**Phänologische Karte Blüh-
beginn des Apfels (*Malus
pumila*):** Mittelwert von
1936-1945; Quelle: Klima-
atlas von Bayern.

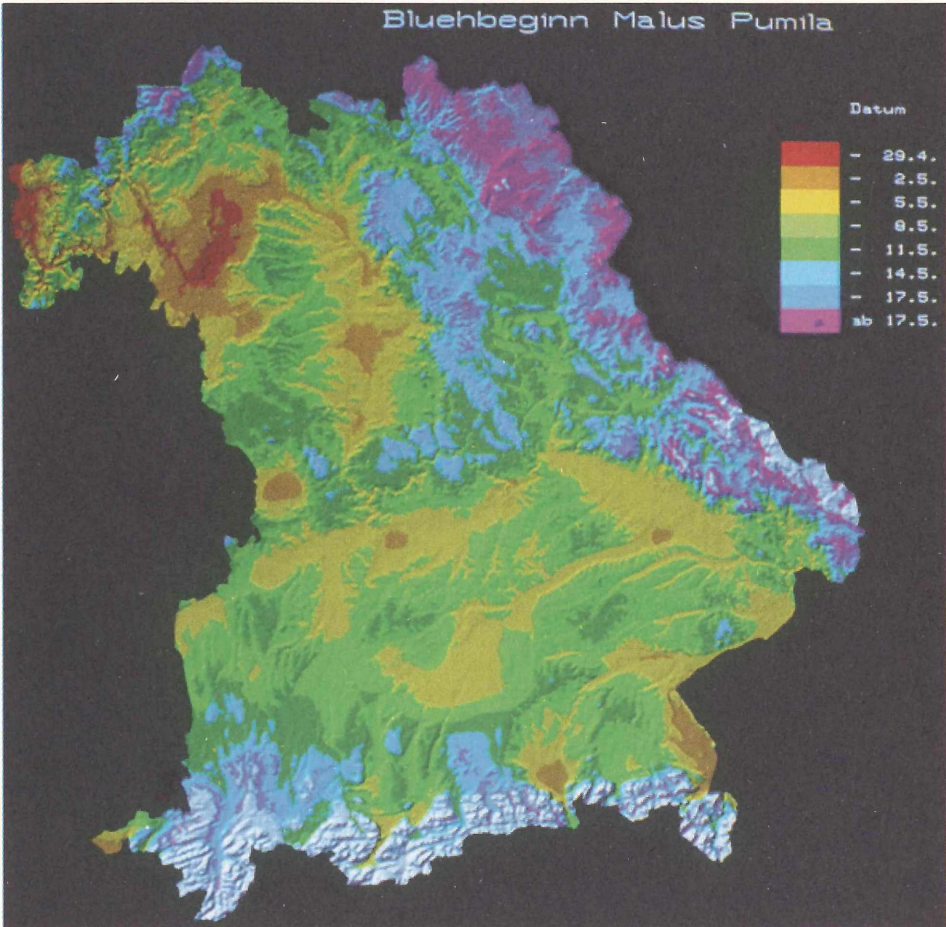


Abbildung 4
**Phänologische Karte Blüh-
beginn des Apfels (*Malus
pumila*):** Mittelwert von
1951-1980.

Bei der Gegenüberstellung der Karten „Blühbeginn des Apfels“ (vgl. Abb. 3 und 4) fällt zunächst auf, daß bei den neuartigen Karten die Klassengrenzen besser an die Topographie angepaßt sind. Desweiteren sind hier die Klassenbreiten enger, wodurch mehr Klassen gebildet werden können. Durch die größere Zahl an Beobachtungsstationen, durch die Bestimmung von Abhängigkeiten mittels Regressionsanalysen und durch Berechnung eines Wertes für jeden einzelnen Rasterpunkt ist diese exaktere Darstellung möglich. Auch kommen bestimmte klimatisch bevorzugte Gebiete, wie zum Beispiel das Nördlinger Ries, besser zum Vorschein, andere Regionen wie das Alpenvorland werden stärker strukturiert.

5. Anwendungsmöglichkeiten der neuartigen agrarklimatologischen Karten

Die Anwendungsmöglichkeiten der phänologischen Karten sind sehr vielfältig. Daher können hier nur einige Anwendungen exemplarisch vorgestellt werden.

Neben einer Orientierungshilfe zum Auffinden von Gunstregionen für spezielle Pflanzenarten können die Karten auch dazu verwendet werden, Regionen zu bestimmen, in denen ein optimaler Anbau einer gartenbaulichen oder landwirtschaftlichen Kultur von der Klima- und Standortseite her möglich ist. Zum Beispiel sollte beim Anbau von Süßkirschen die Blüte wegen der Blütenfrostgefahr ziemlich spät im Frühjahr erfolgen, dagegen die Reife möglichst früh, um einen guten Marktpreis zu erzielen. Aus den phänologischen Mittelwertkarten der verschiedenen Entwicklungsphasen der Süßkirsche lassen sich diese Regionen bestimmen (vgl. Abb. 5 und 6).

Weiterhin geben ausgewählte Phänologiekarten Hinweise, wann und in welchem Zeitraum in einem bestimmten Gebiet zeitlich begrenzte Feldarbeiten durchgeführt werden können. Mit einer solchen Koppelung kann von starr festgesetzten Terminen auf eine der jeweiligen Region angepaßte Zeitspanne übergegangen werden. Als Beispiel sei hier die Gülleausbringung genannt. Diese und andere Untersuchungen in Bezug auf zeitlich bestimmte Termine der Feldarbeit in Zusammenhang mit den neuartigen phänologischen Karten werden bereits von verschiedenen Landesämtern durchgeführt (Landesanstalt für Betriebswirtschaft und Agrarstruktur München, Amt für Bodenkultur und Landwirtschaft Bayreuth).

In der Ökologie können die phänologischen Karten als Kartierungshilfe dienen. So werden zur Zeit am Lehrstuhl für Landschaftsökologie II in Weihenstephan Zusammenhänge über das Vorkommen bestimmter Pflanzenarten (Daten aus Kartierungen) und das Eintreten von bestimmten phänologischen Phasen (Daten aus Phänologiekarten) untersucht.

Als Beispiele sind in den Abbildungen 7 bis 14 einige Karten von phänologischen Phasen mit Karten aus dem Verbreitungsatlas der Farn- und Blütenpflanzen Bayerns (SCHOENFELDER und BRESINSKY, 1990) verglichen worden (OTTE, A., 1993).

Eine weitere Anwendung der phänologischen Karten ist bereits in dem Projekt des Bayerischen Klimaforschungsprogramms, dem auch die hier beschriebenen Arbeiten zuzurechnen sind, enthalten:

Es soll untersucht werden, inwieweit sich die einzelnen phänologischen Phasen unter möglichen künftigen Klimabedingungen zeitlich verschieben, in welchen Regionen bestimmte Entwicklungsstadien nach einer Klimaänderung im Zuge des Treibhauseffekts nicht mehr auftreten, beziehungsweise welche Regionen nun ein günstigeres Klima für einen Phaseneintritt aufweisen (HÄCKEL und RÖTZER, 1993).

6. Ausblick

Die vorgestellten Arbeiten für die Erstellung von neuartigen Phänologischen Karten werden durch das Bayerische Klimaforschungsprogramm (Bay-FORKLIM) gefördert und vom Bayerischen Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten finanziert. Sie sind in das Projekt **Agrarmeteorologische Karten von Bayern unter gegebenen und möglichen künftigen Klimaverhältnissen** eingebettet, in dem neben der Phänologie noch weitere agrarklimatologische Größen (z.B. Blütenfröste, Wasserhaushalt, Sonderkulturen) in Form von neuartigen Rasterkarten dargestellt werden sollen (HÄCKEL und RÖTZER, 1993). Wesentliche Unterstützung erhält dieses Projekt durch den ebenfalls an BayFORKLIM beteiligten Lehrstuhl für Photogrammetrie und Fernerkundung der Technischen Universität München. Hier werden die Regionalisierung und die Kartendarstellung durchgeführt und geeignete Visualisierungsmethoden untersucht.

7. Zusammenfassung

In diesem Artikel wird ein Verfahren vorgestellt, mit dem unter Zuhilfenahme eines digitalen Geländemodells phänologische Mittelwertkarten in Rasterform erstellt werden können. Dabei wird auf die umfangreiche Datensammlung des Deutschen Wetterdienstes zurückgegriffen, der für 72 Pflanzenarten 212 Entwicklungsstadien aufzeichnet. Für die hier erarbeiteten bayerischen Phänologiekarten standen für den Zeitraum 1951–1990 Daten von insgesamt 1093 phänologischen Beobachtungsstationen zur Verfügung.

Mit Hilfe multipler Regressionen und einer Flächeninterpolation der Abweichungen von der Regression (= Residuen) kann aus diesen punktuellen Beobachtungen für jeden Rasterpunkt in der Karte das Eintrittsdatum eines phänologischen Entwicklungsstadiums einer bestimmten Pflanze errechnet werden. Die Ergebnisse der Abhängigkeiten der Eintrittstermine von den geographischen Faktoren Höhe über NN, Breiten- und Längengrad werden diskutiert, der Nutzen der Karten in der Landschaftsökologie und -planung wird anhand einiger Beispiele vorgestellt.

Summary

In this paper a procedure is presented to supply phenological average maps in raster form by means of a digital terrain model. An extensive data collection is provided by the Deutscher Wetterdienst, which records 212 phenological phases of 72 plant species. To work out these phenological maps of Bavaria 1093 phenological observation wards were available over the period of 1951 to 1990.

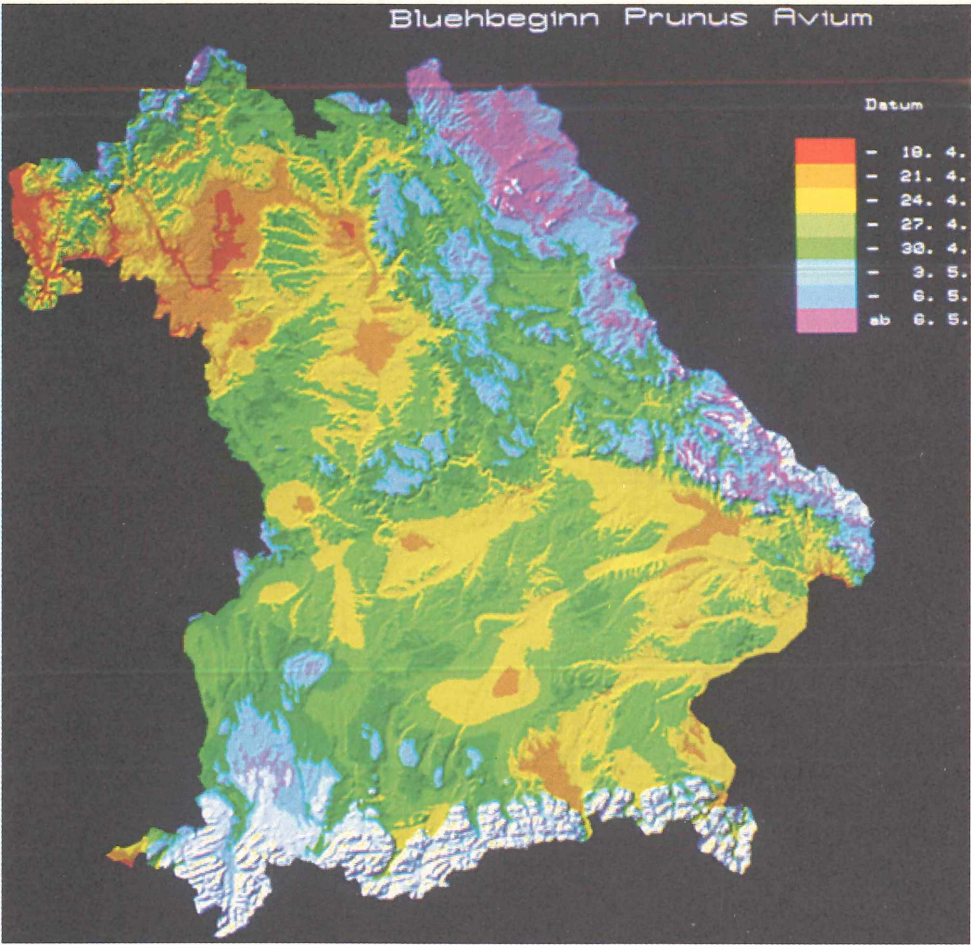


Abbildung 5
Phänologische Karte Blüh-
beginn der Süßkirsche
(*Prunus avium*): Mittelwert
von 1951-1980.

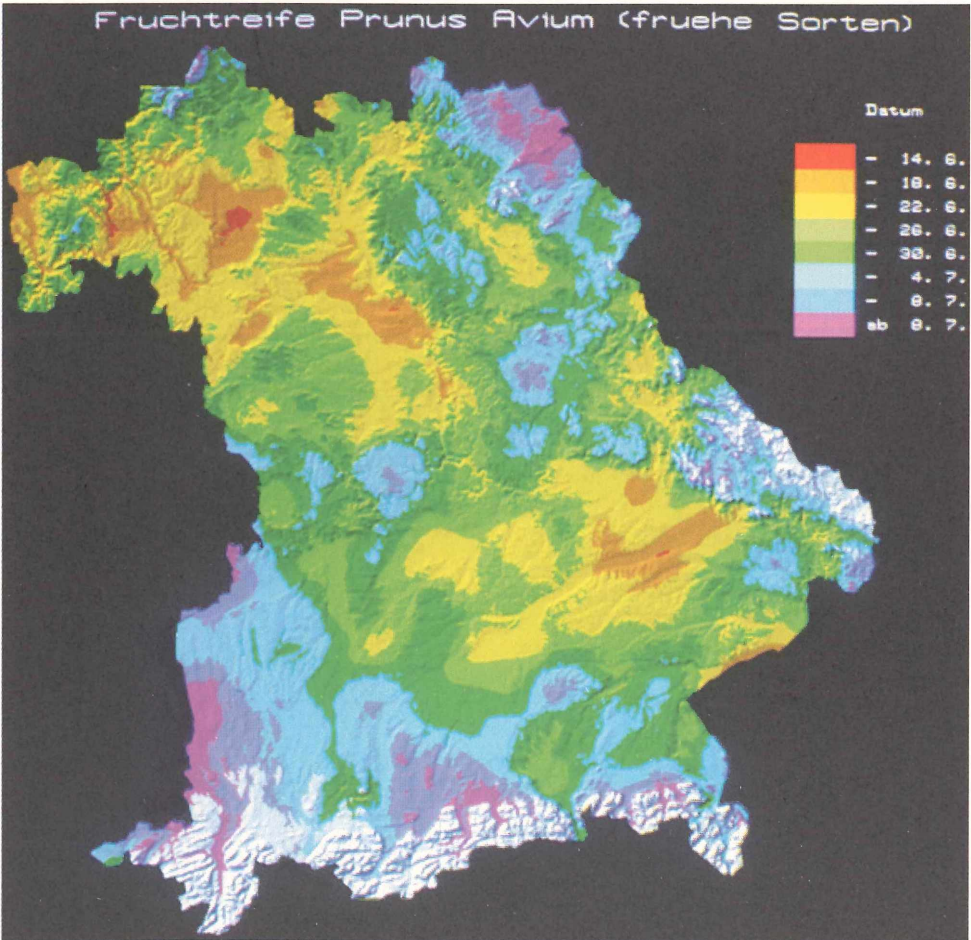


Abbildung 6
Phänologische Karte
Fruchtreife der Süßkirsche
(*Prunus avium*): Mittelwert
von 1951 - 1980.

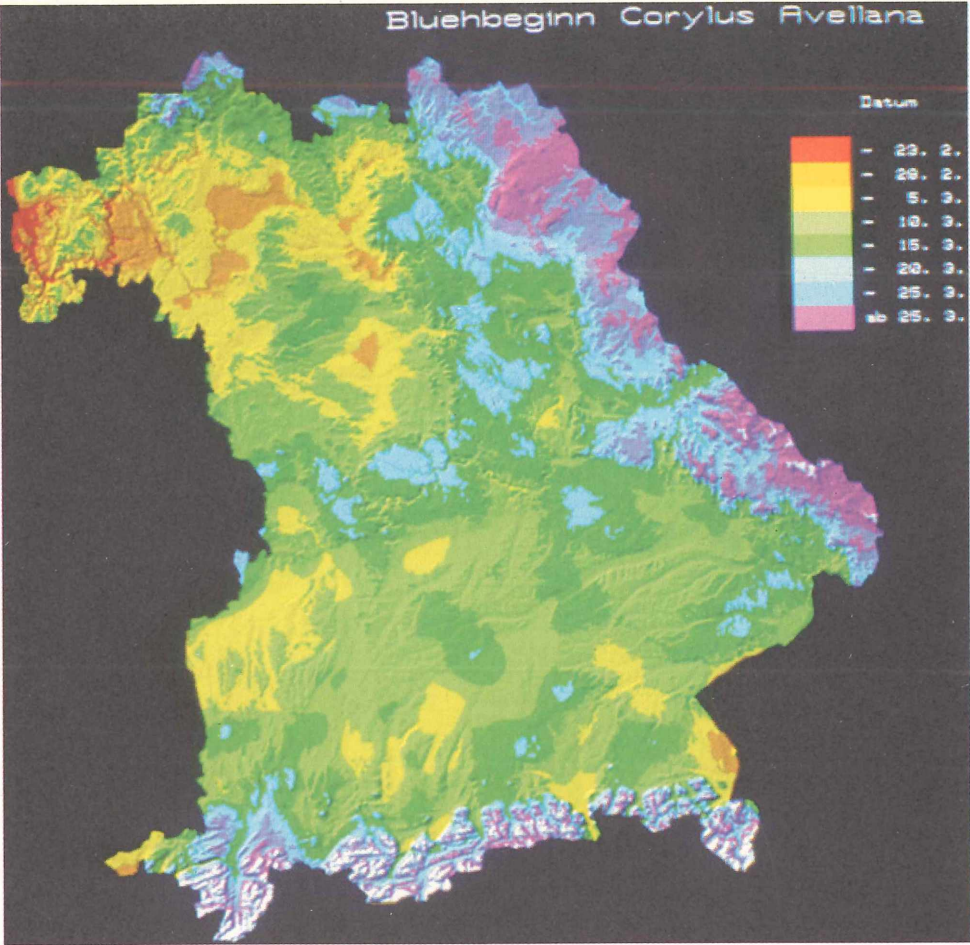


Abbildung 7

Phänologische Karte Blühbeginn Hasel (*Corylus avellana*): Mittelwert von 1951-1980.

Die dargestellten Eintrittstermine des Blühbeginns der Hasel (*Corylus avellana*) (vgl. Abb.7) beruhen auf Mittelwerten des Zeitraums 1951-1980 von 704 Beobachtungsstationen. Die Obergrenze wurde auf 1200 m festgesetzt. Die Regression weist bei einem Bestimmtheitsmaß von 57,0 Prozent eine Höhenabhängigkeit des Phaseneintritts von 3,97 Tagen pro 100 m auf, eine Abhängigkeit von der geographischen Länge von 4,2 Tagen pro 100 km.

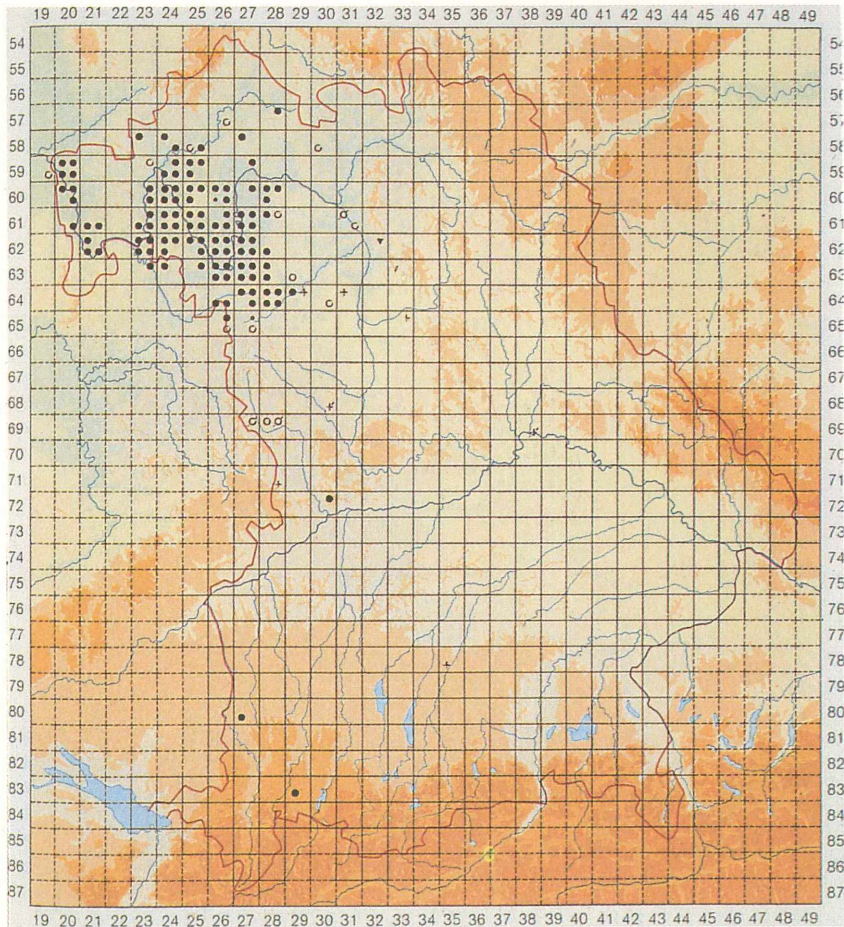


Abbildung 8

Verbreitungskarte Feld-Mannstreu (*Eryngium campestre*; aus SCHÖNFELDER/BRESINSKY, 1990).

Wie sich aus der Verbreitungskarte von *Eryngium campestre* (vgl. Abb. 8) erkennen läßt, ist das Vorkommen dieser Pflanzenart eng mit einem frühen Blühbeginn der Hasel (Blühbeginn vor dem 64. Tag) verbunden. Auch bei der hier nicht gezeigten Verbreitungskarte des Einjährigen Binkelkrauts (*Mercurialis annua*) ist, wenn auch etwas abgeschwächt, eine Koppelung mit der Haselblüte zu beobachten. Dagegen ist die Artengruppe Behaarter Kälberkropf (*Chaerophyllum hirsutum*; hier nicht abgebildet) nur in solchen Gebieten anzutreffen, in denen die Blüte der Hasel erst nach dem 69. Tag beginnt.

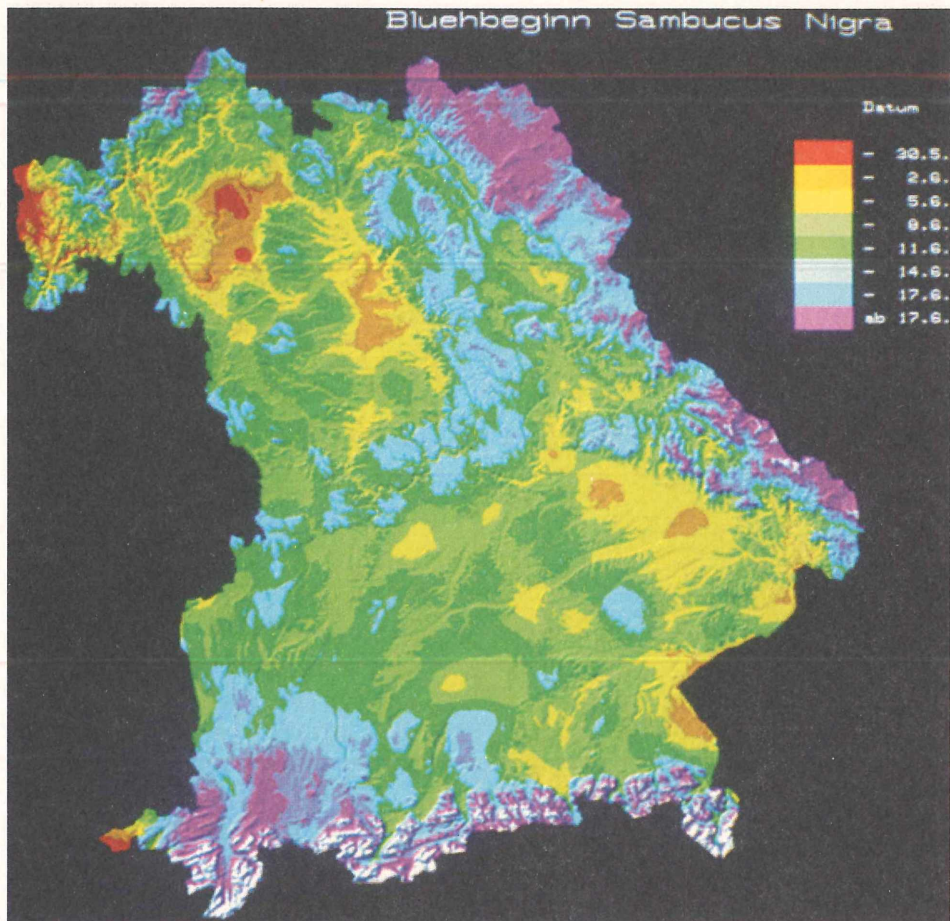


Abbildung 9

Phänologische Karte Blühbeginn Holunder (*Sambucus nigra*): Mittelwert von 1951-1980.

Im Gegensatz zur Hasel ist beim Blühbeginn von Holunder (*Sambucus nigra*) (vgl. Abb. 9) keine Abhängigkeit mehr von der geographischen Länge erkennbar. Auch die Zunahme des Phaseneintritts mit der Höhe über NN (3,3 Tage pro 100 m) und mit der geographischen Breite (2,6 Tage pro 100 km) ist geringer als bei der Haselblüte, ebenso das Bestimmtheitsmaß (54,9 Prozent). Der Regression liegen Daten von 703 Stationen zu Grunde. Die Obergrenze liegt bei 1200 m.

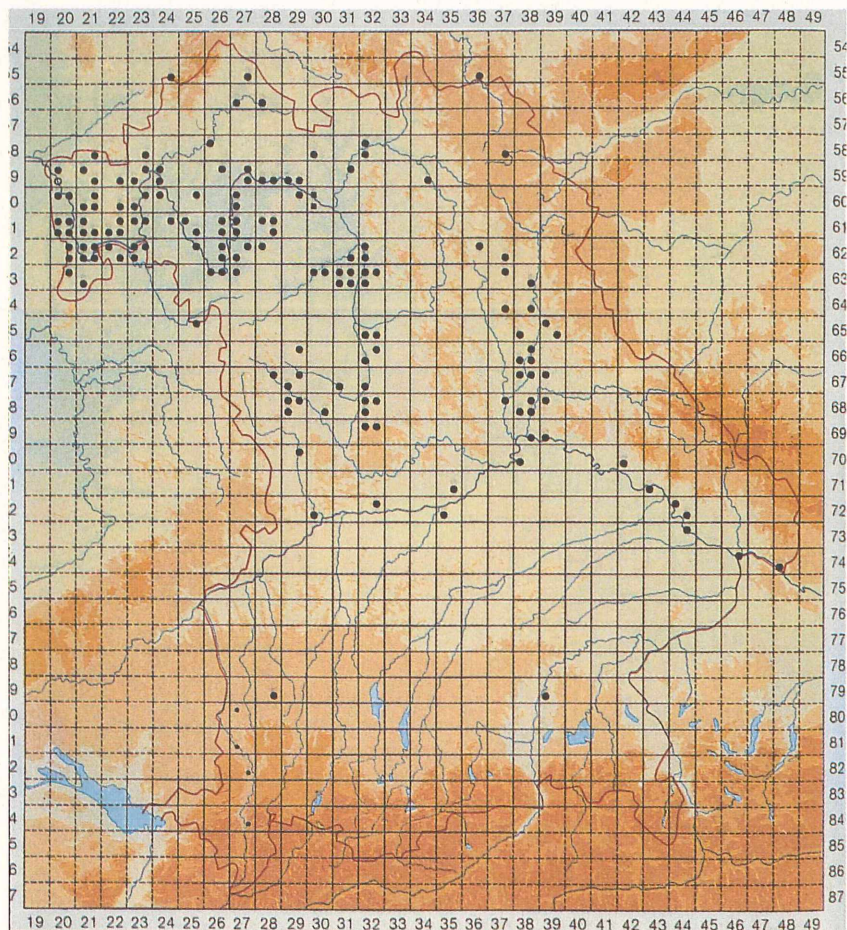


Abbildung 10

Verbreitungskarte Schwarzfrüchtiger Zweizahn (*Bidens frondosa*): aus SCHÖNFELDER/BRESINSKY, 1990).

Sehr eng gekoppelt ist das Auftreten des schwarzfrüchtigen Zweizahns (*Bidens frondosa*) (vgl. Abb. 10) mit einem frühen Eintreten des Blühbeginns des Holunders (vor dem 156. Tag). Im Gegensatz dazu kommt die hier nicht gezeigte Pflanzenart Wald-Wachtelweizen (*Melampyrum sylvaticum*) vornehmlich in Gebieten vor, in denen *Sambucus nigra* erst nach dem 165. Tag zu blühen anfängt.

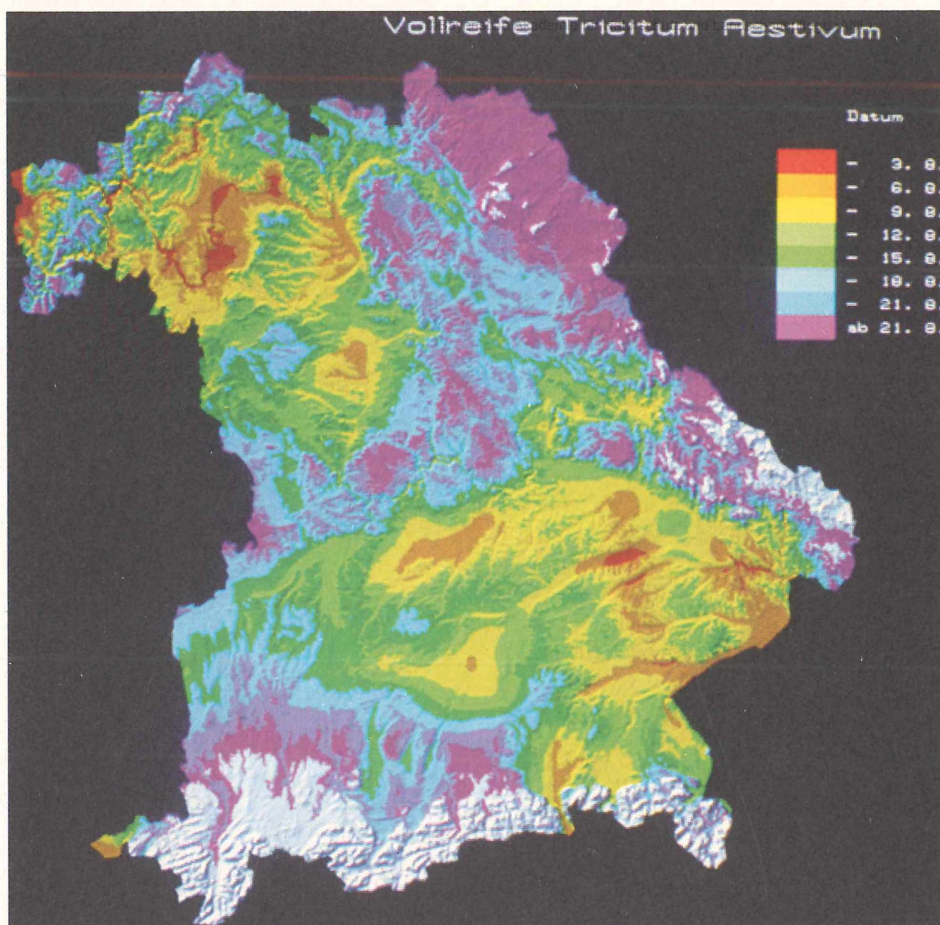


Abbildung 11

Phänologische Karte Vollreife Winterweizen (*Triticum aestivum*): Mittelwert von 1961-1980.

Die Grenze des Anbaus von Winterweizen (*Triticum aestivum*) (vgl. Abb. 11) wurde auf 750 m festgesetzt, da von höher liegenden Stationen keine Daten vorlagen. Anders als bei den bisherigen Karten sind hier Mittelwerte des Zeitraums von 1961 bis 1980 dargestellt, da für Jahre vor 1961 zu wenig Beobachtungen vorhanden sind. Sehr gut sichtbar ist hier die Höhenabhängigkeit mit 5,3 Tagen pro 100 m und die Breitenabhängigkeit mit 4,5 Tagen pro 100 km. Die Regression basiert auf Werten von 398 Stationen, das Bestimmtheitsmaß der Regression errechnet sich zu 62,5 Prozent.

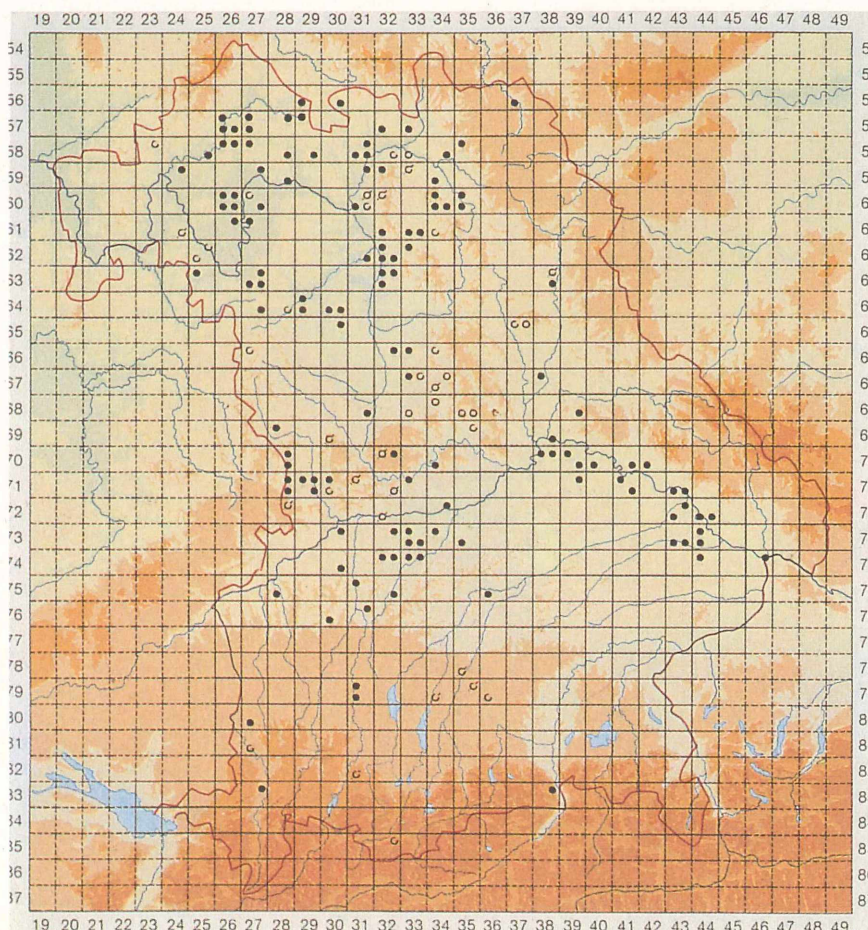


Abbildung 12

Verbreitungskarte Gefleckter Schierling (*Conium maculatum*; aus SCHÖNFELDER/BRESINSKY, 1990).

Die Verbreitung des gefleckten Schierlings (*Conium maculatum*) (vgl. Abb. 12) geht einher mit einer frühen Vollreife des Winterweizens (vor dem 221. Tag). Auch die Hühner-Hirse (*Echinochloa crus-galli*; hier nicht abgebildet) läßt sich hauptsächlich in Gebieten antreffen, in denen der Winterweizen vor dem 224. Tag reift.

Fruchtreife *Sambucus Nigra*

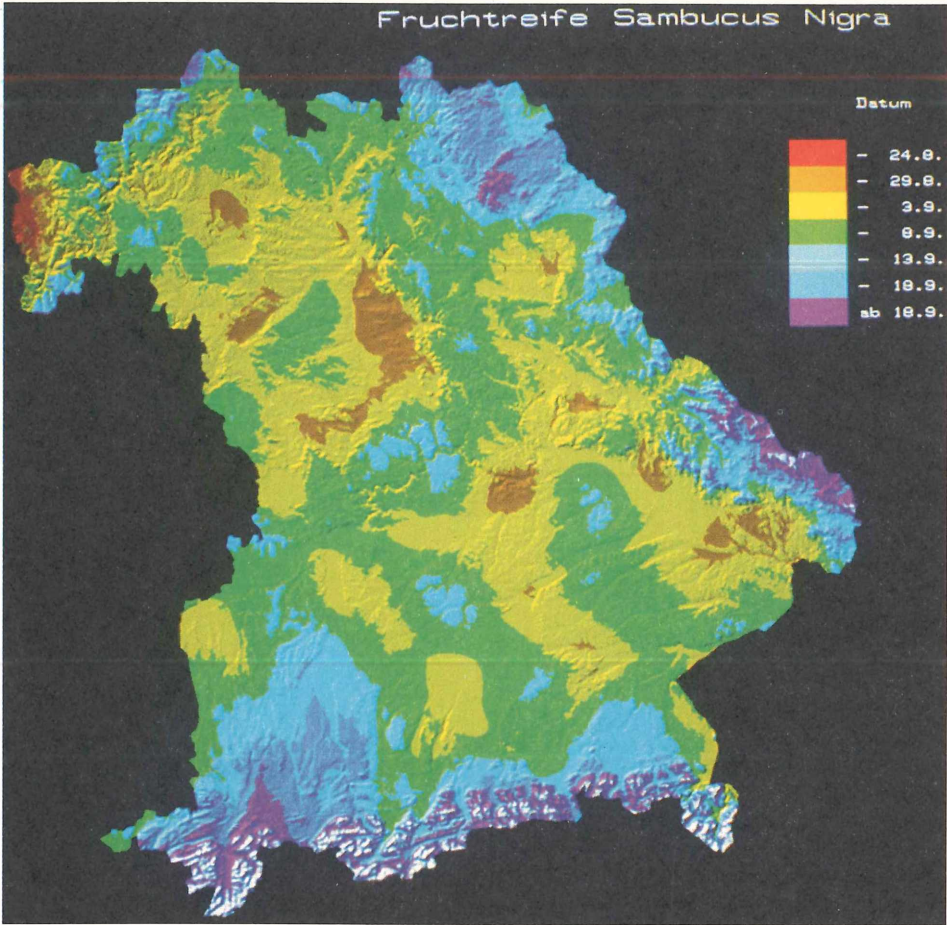


Abbildung 13
Phänologische Karte
Fruchtreife Holunder
(Sambucus nigra): Mittelwert von 1951-1980.

Die Regressionsanalyse der 617 Beobachtungsstationen ergab bei der Fruchtreife des Holunders (*Sambucus nigra*) (vgl. Abb. 13) eine Abhängigkeit des Phaseneintritts von der Höhe (3,1 Tage pro 100 m) und von der geographischen Breite (1,4 Tage pro 100 km) bei einem Bestimmtheitsmaß von nur 27,8 Prozent (späte Phase im Jahresverlauf). Wie beim Blühbeginn von *Sambucus nigra* liegt hier die Obergrenze bei 1200 m.

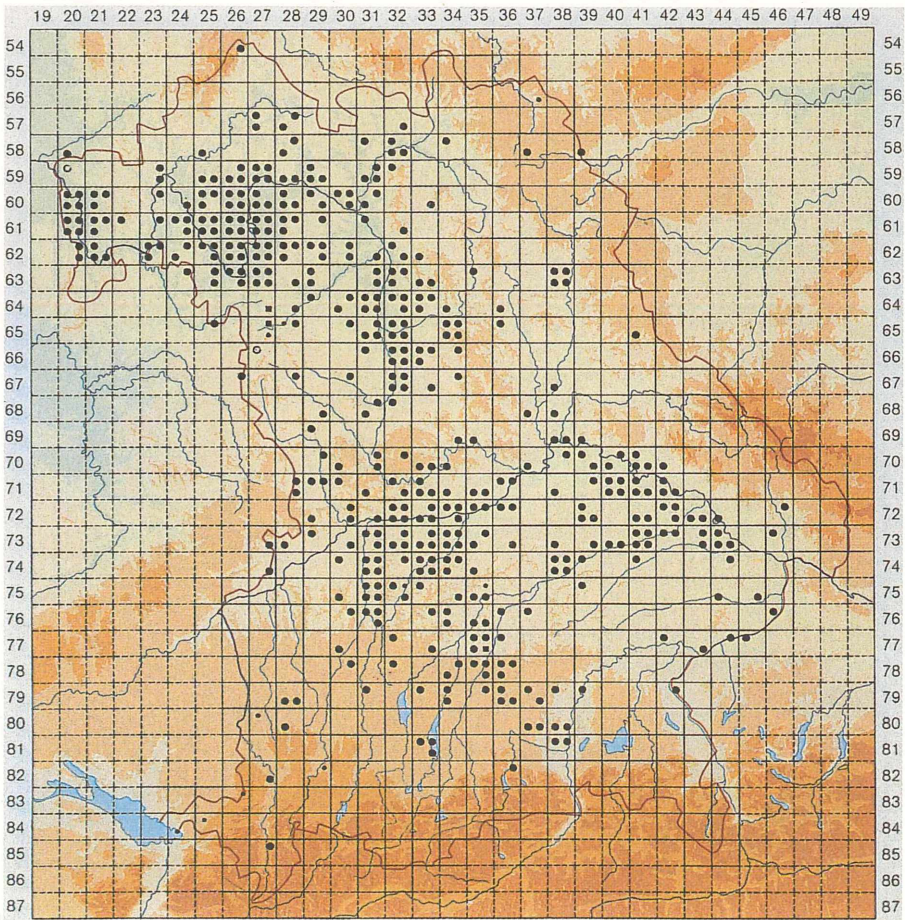


Abbildung 14
Verbreitungskarte zurückgekrümmter Fuchsschwanz (*Amaranthus retroflexus*; aus SCHÖNFELDER/BRESINSKY, 1990.

Ein großer Zusammenhang besteht auch zwischen dem Vorkommen des Zurückgekrümmten Fuchsschwanzes (*Amaranthus retroflexus*) (vgl. Abb. 14) und einer frühen Fruchtreife des Holunders (vor dem 244. Tag).

Using multiple regressions and a surface interpolation of the regression residuals the phenological entrance date of a certain plant can be computed for every raster point of the map. The results of the dependences of the phenological entrance dates on the geographical factors altitude above sealevel, latitude and longitude are discussed, examples of the utility of the maps in landscape ecology and landscape planning are given.

8. Literaturverzeichnis

- BACKHAUS, ERICHSON, PLINKE, WEIBER (1987): Multivariate Analysemethoden. Eine anwendungsorientierte Einführung. - Springer Verlag, Frankfurt am Main.
- BURROUGH, P.A. (1986): Principles of Geographical Information Systems for Land Resources Assessment. - Monographs on soils and resources survey 12, Oxford: Clarendon Press, 193p.
- DEUTSCHER WETTERDIENST (1952): KlimaAtlas von Bayern. Bad Kissingen.
- DEUTSCHER WETTERDIENST (1990): Phänologie im deutschen Wetterdienst (Faltblatt). - Offenbach am Main.
- DEUTSCHER WETTERDIENST (1991): Anleitung für den phänologischen Beobachter des Deutschen Wetterdienstes. - Selbstverlag DWD, Offenbach am Main.
- DÜSEDAU, G.; HÖSSLER, R.; REINHARDT, W.; THIEMANN, R. (1987): Digitale Geländemodelle Neue Entwicklungen und Möglichkeiten. Bildmessung und Luftbildwesen 55, S.175-194.
- EBNER, H.; HÖSSLER, R.; REINHARDT, W. (1988): Generation, Management and Utilization of High Fidelity Digital Terrain Models. - International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Volume 27, Part B11, III/556-566.
- EBNER, H.; WÜRLÄNDER R. (1991): Digitale Geländemodelle. Wissenschaftlicher Bericht des BayFORKLIM-Projektes Z 2. - Technische Universität München, Lehrstuhl für Photogrammetrie und Fernerkundung.
- GOSSMANN, H. (1991): Die Nutzung Geographischer Informationssysteme in der Angewandten Klimatologie. Geo-Informationssysteme 4, Heft 3, S.3-7.
- HÄCKEL, H.; RÖTZER, TH. (1993): Agrarmeteorologische Karten von Bayern unter gegebenen und möglichen künftigen Klimaverhältnissen. Wissenschaftlicher Bericht des BayFORKLIM-Projektes D I 3. - Deutscher Wetterdienst AMBF Weißenstephan.

- JOHN, P.W. (1990): Statistical Method in Engineering and Quality Assurance. - John Wiley, N. 9.
- KLANTE, B. (1988): Qualitätskontrolle phänologischer Daten. - Beiträge zur Agrarmeteorologie 5, Offenbach am Main.
- LARCHER, W. (1973): Ökologie der Pflanzen. - UTB Stuttgart.
- OTTE, A. (1993): Persönliche Kommunikation;
- SCHIFF, H. (1983): Phänologische Beobachtungen in Braunschweig-Völkenrode. - Beiträge zur Agrarmeteorologie 11, Braunschweig.
- (1989): Phänologische Beobachtungen in Braunschweig-Völkenrode (1954 - 1989). - Beiträge zur Agrarmeteorologie 7, Braunschweig.
- SCHNELLE, F. (1955): Pflanzenphänologie. - Akademische Verlagsgesellschaft Leipzig.
- (1981): Beiträge zur Phänologie Europas IV: Lange phänologische Beobachtungsreihen in West-, Mittel- und Osteuropa. - Berichte des DWD Nr.158, Offenbach am Main.
- SCHOENFELDER, P.; BRESINSKY, A. (1990): Verbreitungsatlas der Farn- und Blütenpflanzen Bayerns. - Ulmer Verlag Stuttgart.

Anschriften der Verfasser:

Thomas Rötzer
Agrarmeteorologische Beratungs- und Forschungsstelle
des Deutschen Wetterdienstes
Hohenbachernstr. 19
85354 Freising-Weißenstephan

Roland Würländer
Lehrstuhl für Photogrammetrie und Fernerkundung
der TU München
Arcisstr. 21
80290 München

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Berichte der Bayerischen Akademie für Naturschutz und Landschaftspflege \(ANL\)](#)

Jahr/Year: 1994

Band/Volume: [18_1994](#)

Autor(en)/Author(s): Rötzer Thomas, Würländer Roland

Artikel/Article: [Neuartige Phänologische Karten von Bayern und deren Anwendungsmöglichkeiten in der Landschaftsökologie und Landschaftsplanung 131-145](#)