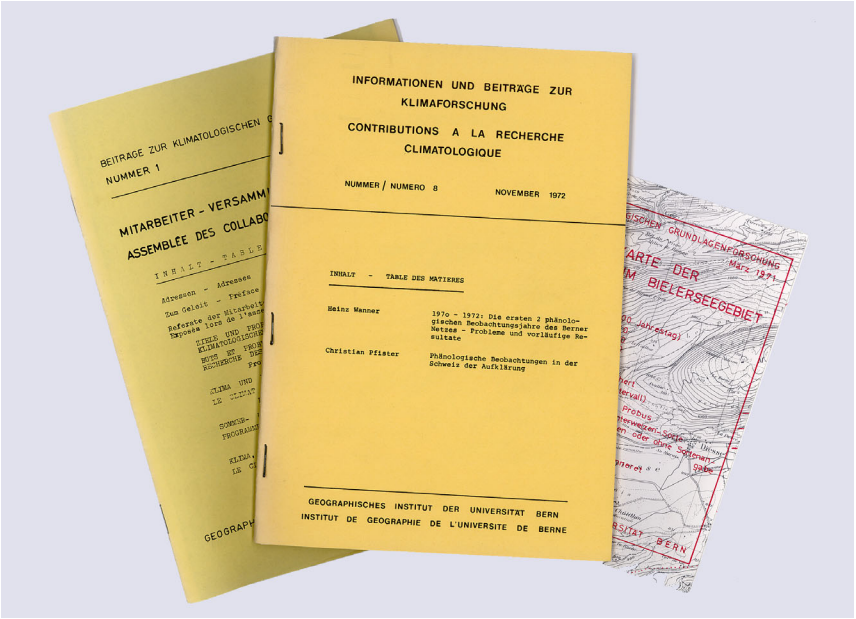
GEOGRAPHICA BERNENSIA

G95/11

Informationen und Beiträge zur Klimaforschung
Contributions à la recherche climatologique

Statistische und kartographische Bearbeitung phänologischer Beobachtungen – am Beispiel der Daten der Weizenernte 1970

François Jeanneret



Geographisches Institut der Universität Bern
Institut de géographie de l'Université de Berne

GEOGRAPHICA BERNENSIA

Herausgeber:

Dozentinnen und Dozenten des Geographischen Instituts der Universität Bern

Reihen:

Reihe	A	African Studies
Reihe	B	Berichte über Exkursionen, Studienlager und Seminarveranstaltungen
Reihe	E	Berichte zu Entwicklung und Umwelt
Reihe	**G**	**Grundlagenforschung**
Reihe	P	Geographie für die Praxis
Reihe	S	Geographie für die Schule
Reihe	U	Skripten für den Unterricht

G95

JEANNERET, François
Informationen und Beiträge zur Klimaforschung / Contributions à la recherche climatologique
Statistische und kartographische Bearbeitung phänologischer Beobachtungen – am Beispiel der Daten der Weizenernte 1970
Geographisches Institut der Universität Bern 1974 / Institut de géographie de l'Université de Berne 1974
Print Version: Nummer 11 (vergriffen) / Version imprimée: Numéro 11 (épuisé)

JEANNERET, François
Informationen und Beiträge zur Klimaforschung / Contributions à la recherche climatologique
Statistische und kartographische Bearbeitung phänologischer Beobachtungen – am Beispiel der Daten der Weizenernte 1970
Geographica Bernensia 2019
Online Version: G95/11 doi: 10.4480/GB2019.G95.11.

© 2019 GEOGRAPHICA BERNENSIA

Creative Commons Licences

INFORMATIONEN UND BEITRÄGE ZUR KLIMAFORSCHUNG

CONTRIBUTIONS A LA RECHERCHE CLIMATOLOGIQUE

NUMMER 11 **MÄRZ 1974**

INHALT - TABLE DES MATIERES

François Jeanneret — Statistische und kartographische Bearbeitung phänologischer Beobachtungen - am Beispiel der Daten der Weizenernte 197o

---

GEOGRAPHISCHES INSTITUT DER UNIVERSITÄT BERN
INSTITUT DE GEOGRAPHIE DE L'UNIVERSITE DE BERNE

INFORMATIONEN UND BEITRAEGE ZUR KLIMAFORSCHUNG

CONTRIBUTIONS A LA RECHERCHE CLIMATOLOGIQUE

Herausgegeben vom Geographischen Institut der Universität Bern

Edité par l'Institut de Géographie de l'Université de Berne

Text / texte — François Jeanneret

Zusammenstellung — Dori Florin / Heinz Wanner

Traduction — François Jeanneret

Bern 1974

UNIVERSITAET BERN
Geographisches Institut
Klimaforschung
Falkenplatz 18
3012 B E R N

Tel. (031) 65 80 19 vormittags

INHALTSVERZEICHNIS - TABLE DES MATIERES

1. Probleme und Methoden 5

2. Geländeklimatische Faktoren 6

3. Die statistische Analyse lo

4. Ein Kartierversuch mit dem Computer 14

5. Ausblick 21

Zusammenfassung / Résumé / Summary 23

Verdankungen 25

6. Bibliographie 27

Anhang 29

1. PROBLEME UND METHODEN

1.1. Ziele

In den "Beiträgen zur klimatologischen Grundlagenforschung Nr. 4" erschien eine erste Arbeit über die Weizenernte des Sommers 197o. Das Beobachtungsmaterial wurde gesammelt und geordnet. Ferner wurden die Daten der Weizenernte versuchsweise in zwei verschiedenen Massstäben kartiert.

Bei der vorliegenden Arbeit geht es um verschiedene Versuche statistischer und kartographischer Bearbeitung desselben phänologischen Ereignisses für wiederum das Jahr 197o. Insbesondere wurde der Einsatz von elektronischen Datenverarbeitungsanlagen geprüft. Auch hier liegt der Schwerpunkt vielmehr auf einer methodischen Diskussion als auf der Erarbeitung allgemeingültiger klimatischer Gegebenheiten.

1.2. Methoden und Modelle

In dieser ersten Auswertungsphase soll die Abhängigkeit des phänologischen Ablaufes als Ausdruck des Klimas von der Landschaft untersucht werden. Die Landschaftsformen am Beobachtungsort können als Faktorengruppe betrachtet werden.

HOPKINS (1938) formulierte beispielsweise sein bioklimatisches Gesetz für Nordamerika, das er auf Grund phänologischer Beobachtungen erarbeitete. LIETH und RADFORD (1971) fassten das Gesetz von HOPKINS folgendermassen zusammen: "Ein phänologisches Ereignis ist von der geographischen Breite, von der geographischen Länge und von der Meereshöhe abhängig. Eine Verschiebung des Beobachtungspunktes um einen Breitengrad nordwärts verursacht eine Verspätung von vier Tagen, eine Verschiebung um fünf Längengrade ostwärts hat ebenfalls eine Verzögerung von vier Tagen zur Folge. Eine Zunahme der Meereshöhe um loo Fuss(3o,5 m) verspätet das phänologische Ereignis um einen Tag."

Das Modell von HOPKINS wurde mit neueren phänologischen Beobachtungen in Nordamerika verglichen, wobei sich erhebliche Abweichungen zeigten. Das weist darauf hin, dass das Modell zahlreiche Faktoren nicht berücksichtigt.

In der vorliegenden Arbeit soll mit einer Faktorengruppe experimentiert werden, deren Eignung in unserem Raum getestet werden soll. Der Fall liegt hier anders als bei einem kontinentalen Vergleich.

Es soll versucht werden, die Landschaft in ihrer geometrischen Lage zu erfassen. Die Meereshöhe ist in diesem Fall sicher der wichtigste Faktor. Daneben spielen Exposition - als Azimut der Normalen der Hangebene - und Hangneigung eine grosse Rolle. Die geographische Lage (Länge und Breite) wird hier insofern berück-

sichtigt, als dass der Beobachtungsraum in kleine Regionen gegliedert wird, innerhalb welcher diese Abweichungen keine grosse Rolle mehr spielen. Es bleibt jedoch noch zu untersuchen, welche weiteren Faktoren wesentliche Einflüsse auf das Geländeklima ausüben.

1.3. Statistische Methoden

Im Verlauf der folgenden statistischen Untersuchungen sollen die Beziehungen zwischen einem phänologischen Ereignis und den geländeklimatischen Faktoren bearbeitet werden.

Die meisten Rechnungen werden für einzelne Regionen, für Landschaften und für den ganzen Beobachtungsraum durchgeführt. Die Beziehungen zwischen dem phänologischen Datum - als unabhängige Variable - und den einzelnen Faktoren - als abhängige Variable - werden vor allem mit Hilfe einer Korrelations- und Regressionsrechnung getestet.

Für Beschreibungen der Regressions- und Korrelationsrechnung wird auf einschlägige statistische Handbücher verwiesen.

2. GELAENDEKLIMATISCHE FAKTOREN

2.1. Die Meereshöhe

Sicher spielt die Meereshöhe eine entscheidende Rolle für das Geländeklima. Hier wird - zumindest innerhalb einer Region - eine Proportionalität erwartet.

Um den Einfluss der Meereshöhe zu erfassen, muss versucht werden, den Einfluss von anderen Faktoren auf ein Minimum zu beschränken. Für diese Rechnung werden demzufolge nur Beobachtungen herangezogen, die folgenden Bedingungen entsprechen:

- horizontales Beobachtungsfeld
- getrennte Berechnungen für verschiedene Sorten und Sortengruppen
- Beobachtungen ohne störende Einflüsse

2.2. Die Hanglage

Während der Einfluss der Meereshöhe recht einfach abzuschätzen ist, verursacht die Beschreibung des Hanglagefaktors mehr Schwierigkeiten. Da vom Einfluss der Geländesituation auf das Pflanzenleben ausgegangen werden soll und nicht von demjenigen des Klimas auf das phänologische Ereignis, soll versucht werden, ein geometrisch-astronomisches Mass zur Charakterisierung der Hanglage zu bestimmen. Mit diesem Mass soll die Hanglage verschiedener Lokalitäten miteinander verglichen werden können. Es soll sich aus dem Hangneigungswinkel und dem Azimut des Hanges (der Exposition)

ableiten lassen. Um einen einzigen Wert zu erhalten, der die Hanglage zusammenfasst, kann man die Abweichung des Hanges von einer festen Richtung berechnen. Ein erster Versuch wurde unternommen, bei welchem Sonnenstrahlen als feste Richtung verwendet wurden. Die Abweichung eines Hanges von dieser Richtung ist der Sonneneinfallswinkel, ein astronomischer Wert, der gewisse Klimaeinflüsse repräsentieren kann.

Der Sonneneinfallswinkel auf einen beliebigen Hang wurde mit der Methode des aequivalenten Hanges bestimmt. Zu jedem Hang auf der Erde gibt es je zwei Parallelebenen, die die Weltkugel tangential berühren. Die Gleichung für die geographische Breite der Parallelebene wurde von LEE (1962) und von LOEWE (1962) (Gleichungen 1 bzw. 2) folgendermassen formuliert:

$$\text{Colatitude } C = \cos^{-1} (\sin k \cdot \cosh \cdot \cos\theta + \cos k \cdot \sin\theta) \quad (1)$$

C Berührungspunkt der parallelen Tangentialebene
k Hangneigungswinkel der beliebigen Hangebene
h Azimut der beliebigen Hangebene
θ geographische Breite der beliebigen Hangebene

$$\sin\varphi' = \sin\varphi \cdot \cos c + \cos\varphi \cdot \sin c \cdot \cos b \quad (2)$$

φ geographische Breite der ursprünglichen Ebene
φ' geographische Breite der parallelen Tangentialebene
c Hangneigungswinkel der ursprünglichen Ebene
b Azimut der ursprünglichen Ebene

Beide Gleichungen ergaben sich als Auflösung eines sphärischen Dreiecks. Aus der geographischen Breite des Berührungspunktes lässt sich der Wert des Sonneneinfallwinkels auf die Parallelebene bestimmen. Es wurde der Sonneneinfallswinkel um 12 Uhr Lokalzeit für die Parallelebene verwendet. Für die gegebene Hangebene handelt es sich demnach um den grössten Wert, der im Verlaufe des Tages auftreten kann, also den maximalen Sonneneinfallswinkel.

Der Wert des maximalen Sonneneinfallswinkels hängt von der Jahreszeit ab. Für den vorliegenden Fall der Weizenernte, die im Beobachtungsraum zwischen Juli und September stattfand, wurde der maximale Sonneneinfallswinkel am längsten Tag berechnet.

2.3. Pflanzensorten und andere Einflüsse

Für die folgenden Auswertungen wurden die Beobachtungen in verschiedenen Qualitätsklassen eingeteilt. Dieser Name bezieht sich in keiner Weise auf die Leistung der Beobachter, sondern auf das Ausmass, bis zu welchem die betreffende Beobachtung für die Auswertung herangezogen werden kann. Die gewählte Qualitätsklasseneinteilung ist nur als Vorschlag anzusehen:

1. Standardsorte Probus
2. andere Winterweizensorten
3. Sommerweizensorten und Beobachtungen ohne Sortenangaben

4. Beobachtungen mit Meldung von störenden Faktoren

Die statistische Auswertung soll zeigen, ob und inwiefern Sorten und besondere Einflüsse die Beobachtungsergebnisse beeinflussen.

2.4. Gliederung in Regionen

Mit der Einteilung des Beobachtungsraumes in Regionen sollen Gebiete mit ähnlichen geländeklimatischen Charakteristiken ausgeschieden werden. Der Raum ist deshalb nach Landschaftstypen zu gliedern.

In einem so vielfältigen Raum ist dies recht schwierig, und die nachfolgende Einteilung ist nur ein Vorschlag. Jura, Mittelland und Alpen sind die drei im Querschnitt durch die Schweiz auftretenden Grosslandschaften. Im Mittelland unterscheiden sich die höheren, hügeligen bis gebirgigen Gebiete deutlich von den flacheren, tieferen Teilen. In den Alpen drängt sich eine Unterscheidung von Nordhang, Zentralalpen und Südhang auf, was ungefähr mit den Kantonsanteilen übereinstimmt (Bern, Wallis, Tessin).

Die feinere Einteilung zeigt die Tabelle 1. Die Postennummern im Beobachtungsnetz entsprechen den Postleitzahlen der Gebiete.

Tabelle 1 Regionen des Beobachtungsraumes

Region	Stationsnummer
1 Jura	
1.1 Ajoie	29oo.1 - 2949.9
1.2 Franches montagnes	23oo.1 - 2349.9
	2875.1 - 2899.9
1.3 Motagnes et vallées	25oo.1 - 2549.9
	26oo.1 - 2874.9
	42oo.1 - 4549.9
2 Tieferes Mittelland	
2.1 Seeland	18oo.1 - 2o99.9
	2575.1 - 2599.9
	3225.1 - 3249.9
2.2 Hügelland zwischen Aare und Emme	1775.1 - 1799.9
	3o25.1 - 3o59.9
	3o9o.1 - 3o98.9
	325o.1 - 3324.9
	335o.1 - 3599.9
2.3 Aare- und Emmenebenen	255o.1 - 2574.9
	3325.1 - 3349.9
	342o.1 - 3427.9
	47oo.1 - 4799.9
	491o.1 - 4913.9
2.4 Aare- und Gürbetal	3ooo.1 - 3o24.9
	3o7o.1 - 3o74.9
	31oo.1 - 3124.9
	3199.1 - 3199.9
	36oo.1 - 36o9.9
	3611.2 - 3645.9

Region	Stationsnummer
3 Höheres Mittelland	
3.1 Schwarzenburgerland	3o85.1 - 3o89.9
	3o99.1 - 3o99.9
	313o.1 - 3179.9
	32oo.1 - 32o9.9
3.2 Emmental	3o6o.1 - 3o69.9
	3o8o.1 - 3o84.9
	336o.1 - 3419.9
	3428.1 - 3599.9
	361o.1 - 3611.1
3.3 Oberaargau	48oo.1 - 49o9.9
	4914.1 - 4959.9
4 Oberland	
4.1 Thuner- und Brienzersee	365o.1 - 37o9.9
	38oo.1 - 3814.9
	385o.1 - 3859.9
4.2 Oberländer Täler und Hochalpen	371o.1 - 3799.9
	3815.1 - 3849.9
	386o.1 - 3899.9
	6o99.1 - 6o99.9
5 Wallis/Valais	
5.1 Oberes Rhonetal	39oo.1 - 3949.9
5.2 Seitentäler	395o.1 - 3999.9
6 Ticino	
6.1 Valli	6575.1 - 6599.9
6.2 Lago maggiore	67oo.1 - 6799.9

3. DIE STATISTISCHE ANALYSE

3.1. Einsatz des Computers

Die Untersuchungen des gesamten Beobachtungsmaterials der Weizenernte 197o wurden mit einem IBM-Computer 36o-44 durchgeführt (Anlage der Universität von Canterbury in Christchurch, Neuseeland). Einige Berechnungen wurden nachträglich auf der IBM-Anlage 37o-158 der Firma BEDAG (Betriebsgemeinschaft, an welche die Universität angeschlossen ist) in Bern revidiert. Die vorliegenden Daten allein - zirka 65o Beobachtungen - hätten den Aufwand des Verfassens und Testens von eigenen Computerprogrammen nicht gerechtfertigt. Die Programme wurden jedoch so gestaltet, dass sie für die Bearbeitung weiterer phänologischer Beobachtungen (andere Ereignisse, andere Jahre und Mittel mehrerer Jahre) verwendet werden können. So wird es künftig möglich sein, eine rasche und aktuelle Bearbeitung der eintreffenden Beobachtungen vorzunehmen.

Hier soll nun das Vorgehen für die Untersuchung erläutert werden. Eine kurze Beschreibung der verwendeten Computerprogramme findet sich im Anhang. Nachfolgend sollen die Untersuchungen und deren Ergebnisse diskutiert werden.

3.2. Korrelation zwischen phänologischen Daten und Meereshöhe

Die Tabelle 2 zeigt die Resultate, die der Computer gemäss Programm MECLIM 2 errechnet. Die Ergebnisse sind umso signifikanter, je mehr Beobachtungen berücksichtigt werden können. Wie erwartet, weisen die Beobachtungen der Standardsorte die besten Korrelationskoeffizienten auf. Die Berücksichtigung mehrerer Sorten (in der Tabelle nicht aufgeführt) wird immer eine grössere Streuung ergeben. Es ist auch nicht möglich, die Reife- und Erntedaten verschiedener Weizensorten durch eine konstante Differenz oder durch einen konstanten Faktor auf einen Standardwert zu reduzieren, da jede Getreidesorte auf eine andere Faktorenkonfiguration reagiert (Dr. B. PRIMAULT, Zürich; persönliche Mitteilung). Diese Tatsache findet sich auch in den Korrelationskoeffizienten.

Die Ergebnisse sind wiederum in hügeligen und gebirgigen Regionen besser als in flachen Gebieten. Dies stimmt mit den Beobachtungen von LIETH und RADFORD (1971)überein, die innerhalb des Staates Nord-Carolina vor allem am Osthang der Appalachen (in einem Beobachtungsraum mit über 7oo m Höhendifferenz) eine gute Korrelation zwischen Meereshöhe und phänologischen Daten fanden. AICHELE (1964) dagegen fand in Rheinland-Pfalz, dass sich der Höhengradient mit zunehmender Höhe verändert. Dies bedeutet, dass die Abhängigkeit nicht linear ist. Möglicherweise spielt das für das Weizenanbaugebiet in der Schweiz weniger eine Rolle, da dieses auf Meereshöhen zwischen 4oo und lloo m beschränkt ist (nörd-

lich der Alpen). Die Verarbeitung der Beobachtungen an andern Pflanzen wird zur Klärung dieser Frage beitragen.

3.3. Korrelationen zwischen Hangsituation und Datumsabweichung

Die Ergebnisse der Analyse für das ganze Beobachtungsmaterial der Weizenernte 197o sind nicht sehr befriedigend. Der Korrelationskoeffizient beträgt im besten Fall -o,525. Damit findet sich im allgemeinen keine befriedigende lineare Abhängigkeit zwischen der Datumsabweichung und dem maximalen Sonneneinfallswinkel. Möglicherweise besteht zwar eine nichtlineare Abhängigkeit. Graphische Darstellungen zeigten hingegen keine offensichtliche Beziehung.

3.4. Andere Faktoren

Die unbefriedigenden Resultate der Korrelations-Regressionsrechnung für die Beziehung von phänologischen Daten zur Meereshöhe in flachen Gebieten lassen den Schluss zu, dass weitere Faktoren im Spiele sind (siehe Abschnitt 3.2.).

In der Umgebung des Bielersees finden sich Beobachtungen der Ernte der Weizensorte Probus (ohne störende Einflüsse), die zwischen 43o und 44o m Meereshöhe aufgenommen wurden. Diese Daten sind recht gleichmässig innerhalb einer Zeitspanne von 2o Tagen verteilt. Alle acht Beobachtungen wurden an horizontalen Feldern durchgeführt.

Verschiedene Experimente mit einer Zahl von Faktoren zeigten noch keine guten Ergebnisse. Die x-Koordinaten, die y-Koordinaten, verschiedene Kombinationen der Koordinaten und die Entfernung zum See gaben keine befriedigende Korrelationen. Und doch sollte es möglich sein, die Schwankung von phänologischen Daten innerhalb einer so langen Periode zu erklären. In diesem Fall kommen vielleicht Faktoren zum Vorschein, deren Wirkung in hügeligen Gebieten durch den Einfluss der Meereshöhe verdeckt wird.

Vielleicht wird die Untersuchung einer grösseren Zahl von Beobachtungen verschiedener phänologischer Ereignisse über mehrere Jahre bessere Resultate zeigen. Die Isolierung neuer Faktoren wird umso leichter sein, je besser es gelingt, den Einfluss der Meereshöhe und der Hangsituation zu beschreiben.

3.5. Weitere statistische Arbeiten

Die weiteren statistischen Untersuchungen werden sich auf Beobachtungsresultate mehrerer Jahre und vor allem auf verschiedene Ereignisse beziehen müssen. In einem einzigen Sommer können verschiedene Unregelmässigkeiten der lokalen Witterung die Gesetzmässigkeiten verdecken. Gewisse Eigentümlichkeiten der lokalen geländeklimatischen Situation werden nur in einer bestimmten Jahreszeit und demnach bei einer einzelnen phänologischen Phase zum Ausdruck kommen. Die aufgestellten Computerprogramme werden

Tabelle 2

Korrelation - Regression: Resultate der Untersuchungen mit dem Computer-Programm MECLIM 2

A) Datum - Meereshöhe (für horizontale Felder)

Nr.	Region				
1.1	Ajoie	o.	o.o	o.o	o.o
1.2	Franches Montagnes	o.	o.o	o.o	o.o
1.3	Montagnes et vallées	2.	o.o	o.o	o.o
2.1	Seeland	4.	o.98o4o	-8o6.15	2.352
2.2	Hügelland zwischen Aare und Emme	26.	o.53382	196.11	o.o51
2.3	Aare- und Emmeebenen	9.	-.o9763	228.92	-o.o23
2.4	Aare- und Gürbetal	8.	o.49255	2o4.65	o.o33
3.1	Schwarzenburgerland	12.	o.86444	197.7o	o.o36
3.2	Emmental	4.	o.5191o	2o9.97	o.o14
3.3	Oberaargau	1o.	o.63277	73.58	o.263
4.1	Thuner- und Brienzersee	o.	o.o	o.o	o.o
4.2	Oberländertäler und Hochalpen	3.	o.3o542	176.76	o.o75
5.1	Oberes Rhonetal	o.	o.o	o.o	o.o
5.2	Seitentäler des Oberwallis	o.	o.o	o.o	o.o
6.1	Valli ticinesi	o.	o.o	o.o	o.o
6.2	Lago Maggiore e piena di Magadino	o.	o.o	o.o	o.o
1.o	Jura	2.	o.o	o.o	o.o
2.o	Tieferes Mittelland	47.	o.55765	2oo.32	o.o43
3.o	Höheres Mittelland	26.	o.4o297	17o.52	o.o9o
4.o	Oberland	3.	o.3o542	176.76	o.o75
5.o	Wallis	o.	o.o	o.o	o.o
6.o	Ticino	o.	o.o	o.o	o.o
7.o	Uebrige Schweiz	o.	o.o	o.o	o.o
o.o	Ganzer Beobachtungsraum	78.	o.415o6	189.73	o.o61

N = Anzahl Beobachtungen

R = Korrelationskoeffizient

A = Regressionskonstante

B = Regressionskoeffizient

Tabelle 2

B) Datendifferenz - Maximaler Sonneneinfallswinkel

Nr.	Region	N	R	A	B
1.1	Ajoie	o.	o.o	o.o	o.o
1.2	Franches Montagnes	o.	o.o	o.o	o.o
1.3	Montagnes et vallées	5.	o.o	o.o	o.o
2.1	Seeland	8.	-.o7137	-1.126	-o.oo1624
2.2	Hügelland zwischen Aare und Emme	88.	o.17651	o.581	o.oooo56
2.3	Aare- und Emmeebenen	15.	o.o8837	-o.281	o.oooo24
2.4	Aare- und Gürbetal	3o.	-.22972	-o.516	-o.oooo33
3.1	Schwarzenburgerland	59.	-.o34o1	-o.o85	-o.oooooo4
3.2	Emmental	22.	-.o9832	-o.3o6	-o.oooo13
3.3	Oberaargau	2o.	o.o5677	o.487	o.ooo121
4.1	Thuner- und Brienzersee	16.	o.o	o.o	o.o
4.2	Oberländertäler und Hochalpen	3.	-.77378	-37.937	-o.oo62o1
5.1	Oberes Rhonetal	o.	o.o	o.o	o.o
5.2	Seitentäler des Oberwallis	o.	o.o	o.o	o.o
6.1	Valli ticinesi	o.	o.o	o.o	o.o
6.2	Lago Maggiore e piena di Magadino	o.	o.o	o.o	o.o
1.o	Jura	5.	o.o	o.o	o.o
2.o	Tieferes Mittelland	141.	-.ooo73	o.o25	-o.oooooo
3.o	Höheres Mittelland	1o1.	o.o2789	o.125	o.oooo11
4.o	Oberland	19.	-.o3333	o.o86	-o.oooooo8
5.o	Wallis	o.	o.o	o.o	o.o
6.o	Ticino	o.	o.o	o.o	o.o
7.o	Uebrige Schweiz	o.	o.o	o.o	o.o
o.o	Ganzer Beobachtungsraum	266	-.41115	-o.o38	-o.oooo1o

N = Anzahl Beobachtungen

R = Korrelationskoeffizient

A = Regressionskonstante

B = Regressionskoeffizient

jedoch die Suche nach wesentlichen Faktoren erleichtern.

Die vorliegenden Resultate für den Einfluss der Meereshöhe sind anhand von Beobachtungen anderer Pflanzen zu kontrollieren. So wird sich zeigen, ob das phänologische Datum auch in höheren Lagen proportional zur Meereshöhe ist.

4. EIN KARTIERVERSUCH MIT DEM COMPUTER

4.1. Grundlagen und Methoden

Da es bei den vorliegenden geländeklimatischen Problemen vor allem um eine räumliche Frage geht, ist neben der statistischen Erarbeitung von Gesetzmässigkeiten die Kartierung eine weitere wesentliche Aufgabe. Je eine grossräumige und eine detaillierte Karte wurden als Beispiel den "Beiträgen zur klimatologischen Grundlagenforschung Nr. 4" beigelegt.

Die räumliche Darstellung phänologischer Beobachtungen ist nicht nur eine Frage der kartographischen Darstellung, sondern auch gleichzeitig der Interpretation der Resultate. Der Vorgang umfasst ein Ausmitteln der punktweisen Beobachtungen, unter besonderer Berücksichtigung von dominanten Faktoren.

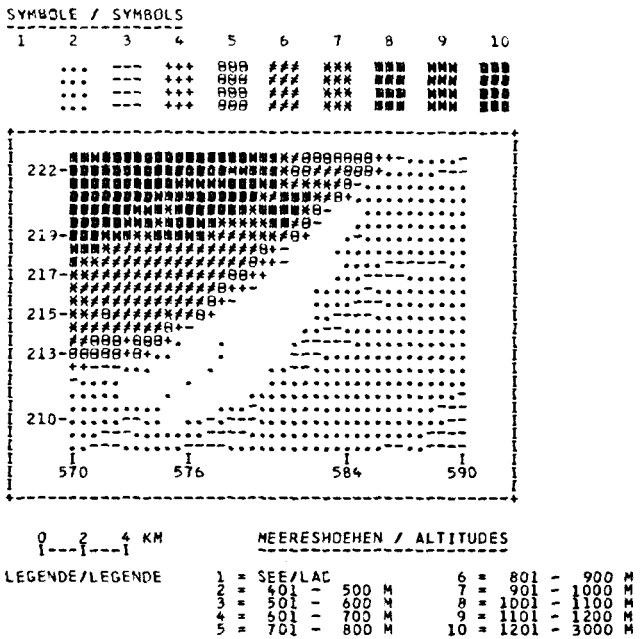
Das sind Aufgaben, die der Computer mindestens teilweise übernehmen kann. Nachfolgend soll ein Versuch einer Computerkartierung besprochen werden.

Als Gebiet wurde die Umgebung des Bielersees ausgewählt. Dieser Raum ist dank seiner Grenzsituation zwischen zwei Landschaftstypen - Jura und Mittelland - für ein solches Experiment geeignet. Um Vergleiche zu gestatten, wurde die Fläche ausgewählt, die auf der Karte Nr. 2 im Massstab 1 : 5o ooo der "Beiträge zur klimatologischen Grundlagenforschung Nr. 4/1971" beigelegt wurde. Der Massstab der Computerkarte soll in der verkleinerten Reproduktion 1 : 3oo ooo betragen, um einen Vergleich mit Karte Nr. 1 der"Beiträge Nr. 4" zu ermöglichen.

Als wichtigste Variablen, die in diesem Raum das phänologische Datum bestimmen, wurden Meereshöhe, Hangneigung und Exposition gewählt. Diese Grössen wurden für jeden Kreuzungspunkt in einem Gitternetz bestimmt, dessen Maschenweite dem Abstand der Zeichen auf dem Computer-Ausdruck entsprechen. Die Zeichen liegen zirka 2,55 mm (1/1o inch), die Zeilen zirka 3,175 mm (1/8 inch) auseinander (Zeichenmitte zu Zeichenmitte), was - bei einem Massstab der unverkleinerten Karte von 1 : 212 134 - in der Natur einer Distanz von 54o,941 m in der West-Ost- und 673,525 m in der Nord-Süd-Richtung entspricht. Die Werte für die drei Variablen wurden der Landeskarte 1 : 5o ooo entnommen (Blätter 232 "Vallon de St. Imier" und 233 "Solothurn"). Die drei Variablen wurden in je 23 Zeilen zu 38 Werten bestimmt, was total je 874 Werte ergibt.

Abb. 1 a

Chloroplethenkarten Raum Bielersee:
Meereshöhen und Hangwinkel



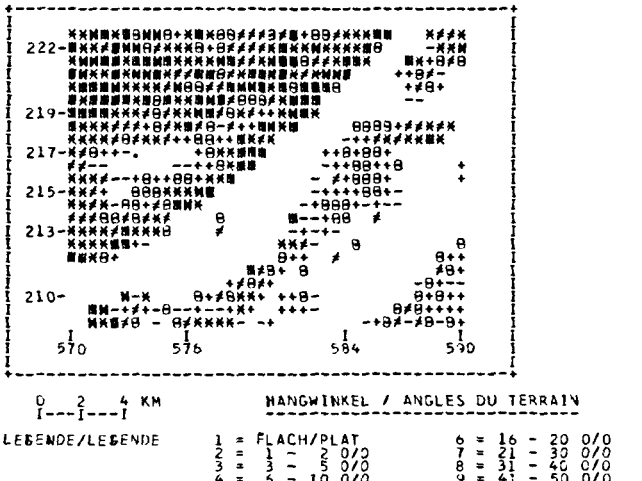
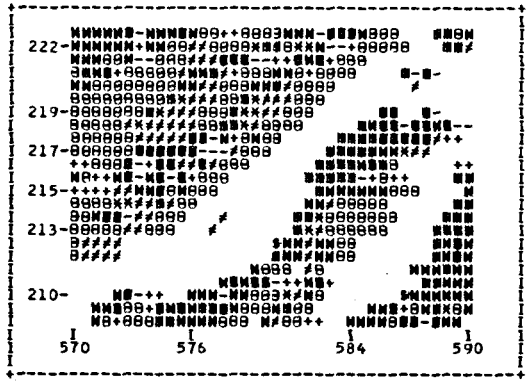


Abb. 1 b

Chloroplethenkarten Raum Bielersee:
Exposition und phänologische Daten (Weizenernte 197o)

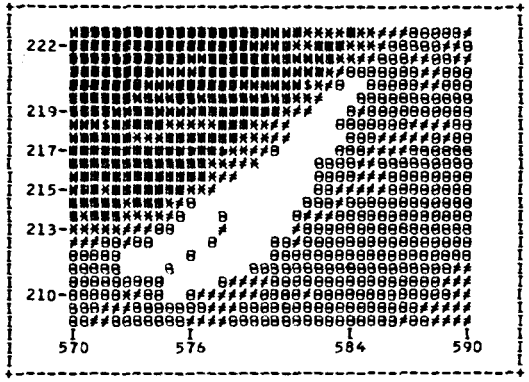


0 2 4 KM

EXPOSITION / EXPOSITION

LEGENDE/LEGENDE

1 = FLACH/PLAT
3 = NE
4 = E
5 = SE
6 = S
7 = SW
8 = W
9 = NW
10 = N



0 2 4 KM

PHAENOLOGISCHE DATEN / DATES PHENOLOGIQUES

LEGENDE/LEGENDE (DATUM + JAHRESTAG / DATE + JOUR DE L'ANNEE)

1 = KEIN DATUM/AUCUNE DATE
2 = BIS ZUM/JUSQU'AU 9/7 (190)
3 = 10-19/7 (191-200)
4 = 23-29/7 (201-210)
5 = 30/7-8/8 (211-220)
6 = 9-18/8 (221-230)
7 = 19-28/8 (231-240)
8 = 29/8-7/9 (241-250)
9 = 10-17/9 (251-260)
10 = NACH/APRES LE 18/9(260)

Das Computerprogramm MAPREG berechnet aus Hangneigung und Exposition die Werte für den maximalen Sonneneinfallswinkel und - unter Verwendung der aus den Beobachtungen des Gebietes errechneten Regressionsgleichungen - das phänologische Datum.

Der Computer druckt Chloroplethenkarten für Meereshöhe, Exposition, Hangneigung und phänologische Daten etc. Die Abbildung 1 zeigt diese vier Karten, für welche dieselbe Symbollegende gilt.

Während die drei Basiskarten die der topographischen Karte entnommenen Werte wiedergibt, zeigt die phänologische Karte das Gepräge einer Verarbeitung der punktweisen Beobachtung. Die Eigenschaften dieser Karte sind nun zu diskutieren.

Die Karte, die mit Hilfe des Computerprogrammes MAPREG gewonnen wurde, zeigt die phänologischen Beobachtungen nicht direkt, sondern die daraus errechneten Abhängigkeiten zwischen den gegebenen Variablen. Das heisst, dass es sich um eine theoretische Verteilung handelt, die aus den gegebenen Variablen bestimmt wurden. Die gewählten Faktoren und ihre Eignung wurden bereits in den Abschnitten 2.2 bis 3.5 diskutiert, und es sind auch hier grundsätzlich dieselben Vorbehalte anzubringen.

Die Abbildung Nr. 2 zeigt einen Vergleich der phänologischen Computerkarte mit der von Hand gezeichneten Karte 1 : 3oo ooo der "Beiträge Nr. 4". Letztere wurde durch eine Interpolation aller Beobachtungen dieses Raumes gewonnen. Die Computerkarte zeigt die phänologischen Daten, wie sie gemäss der durchschnittlichen Beziehung zu den drei ausgewählten Variablen innerhalb dieser Region erwartet werden. Die Karte der Differenzen zwischen den theoretischen und den beobachteten Werten könnte grob als Ausdruck des lokalen Geländeklimas gewertet werden, handelt es sich doch dabei um die Abweichung des lokalen Klimas vom regionalen Durchschnittsklima. Diese Abweichung beinhaltet also die Wirkung aller verbleibenden Variablen ausser Meereshöhe, Hangneigungswinkel und Exposition.

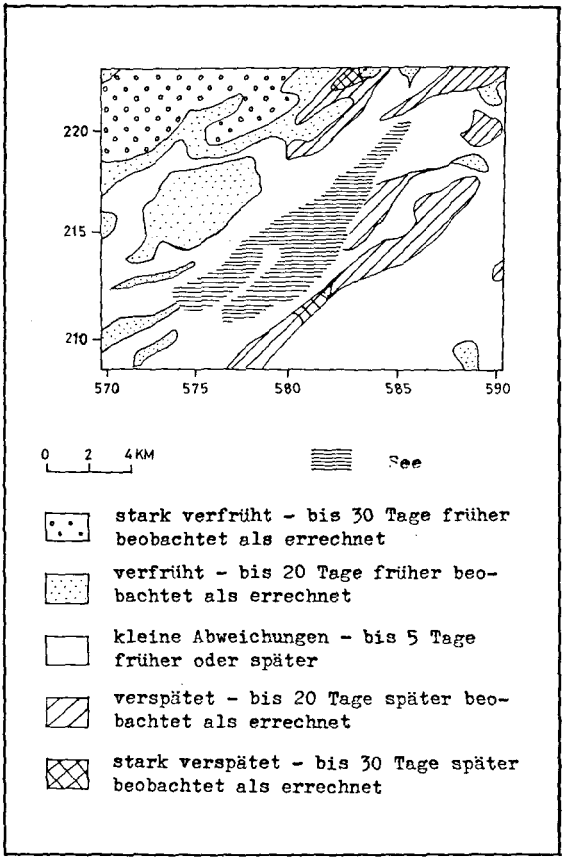
4.2. Diskussion des Kartierversuches

Die vom Computer produzierten Karten wirken graphisch unterschiedlich gut. Dies hängt vor allem von der Unregelmässigkeit der Verteilung der vorkommenden Signaturen ab. In verschiedenen Fällen treten - vor allem beim gewählten Massstab - keine Flecken gleicher Signaturen auf, was die Lesbarkeit und Uebersichtlichkeit stark beeinträchtigt. Die Klassenzahl ist in allen Fällen zehn. Es ist schwierig, eine grosse Zahl gut unterscheidbarer Computersignaturen zu finden, sogar bei Anwendung der Ueberdrucktechnik. Im vorliegenden Fall wurden bis zu drei Zeichen übereinander gedruckt. Die verwendeten Signaturen sind das Resultat zahlreicher Experimente.

Die vorliegenden Beispiele sollen vor allem die Möglichkeiten der Computerkartierung zeigen. Der wesentliche Vorteil der Methode liegt sicher in der Geschwindigkeit, mit welcher eine zuverlässige

Abb. 2

Vergleich der Computerkarte mit einer von Hand gezeichneten Karte: Die Differenz könnte als Ausdruck der Abweichung des Lokalklimas von einem durchschnittlichen Regionalklima betrachtet werden.



Karte entworfen werden kann. Die Genauigkeit der Karte hängt vor allem vom Massstab ab. Bei der Verwendung des Schnelldruckers wird die Genauigkeit durch den Abstand der Zeichen bedingt. Im vorliegenden Fall vermögen vielleicht die Umrisse des Bielersees dies zu illustrieren. Während Werte für Punkte in einem Gitter von einer Maschenweite von 54o,9 m in der West-Ost- und 673,5 m in der Nord-Süd-Richtung bestimmt werden, druckt der Computer an Stelle dieser Punkte je ein zirka 2 x 2,5 mm grosses Zeichen. Das entspricht in der Natur einer Fläche von 424 x 53o m. Das bedeutet für den Seeumriss, dass Buchten und Landzungen übertrieben gross erscheinen. So muss man sich auch die Linien zwischen zwei Klassen auf thematischen Computerkarten ausgeglichener vorstellen. Dies spielt jedoch weniger eine Rolle, wenn der ursprüngliche Ausdruck photomechanisch stark verkleinert wird. Dies soll mit dem Beispiel von Abbildung 3 illustriert werden.

Der Vergleich des Lokalklimas mit dem Regionalklima in Abbildung 2 zeigt vor allem in der Ebene grosse Unterschiede. Dies ist zu erwarten, da in der Umgebung des Bielersees die Schwankung der phänologischen Daten innerhalb von fast drei Wochen nicht mit den drei gewählten Faktoren erklärt werden kann. Der vorliegende Vergleich vermag solche Probleme deutlich zur Darstellung zu bringen.

Die Anwendung von Computerprogrammen wie MAPREG sollte erleichtert werden, wenn die Werte von geometrischen Landschaftsfaktoren von der schweizerischen landesplanerischen Datenbank bezogen werden können. Verschiedene Merkmale der Landschaft werden für das ganze Land in einem Hektarraster aufgenommen (HIDBER e. a. 1972). Der Einbau einer Interpolationsroutine würde die Uebertragung der Werte der Datenbank auf den Computerraster für die Herstellung von MAPREG-Karten gestatten. So könnten verschiedenste Landschaftsfaktoren für den ganzen Beobachtungsraum einbezogen werden.

4.3. Weitere Kartiermöglichkeiten

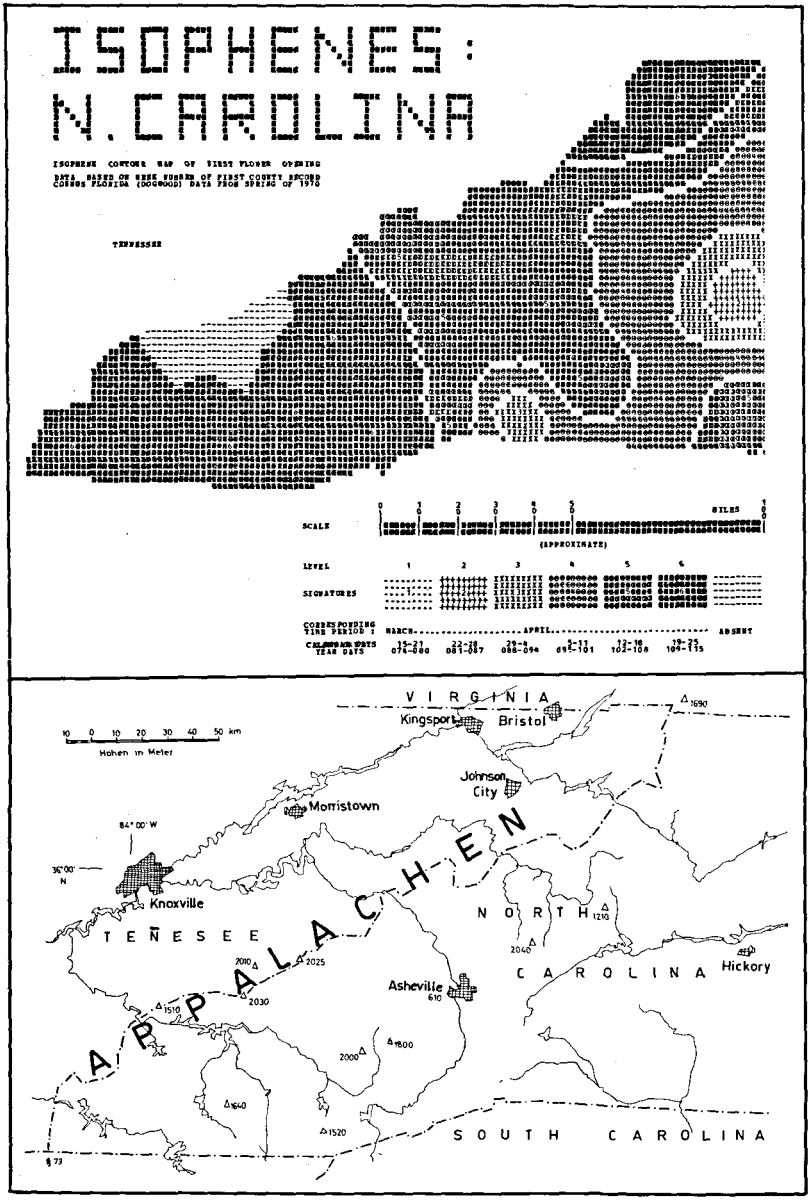
Es gibt bereits zahlreiche Computer-Kartiermethoden. Gewisse Anlagen verfügen über ein spezielles Zeichengerät (Plotter). Mit diesem können beliebige Strichzeichnungen angefertigt werden, die nicht durch ein Rasternetz eingeschränkt werden. Diese Kartenzeichner erfordern meist spezielle Programme, deren Aufstellen oft ein zusätzlicher Schritt in der Programmierungsphase bedeutet.

WILLIAMS (197o), der die verschiedenen Möglichkeiten der Computerkartierung für agrarmeteorologische Zwecke zusammenstellte, bezeichnet eine Kombination von Schnelldrucker- und Plotter-Karten als ideal. So können Linien wie auch Flächen zur Darstellung gelangen, die sogar in verschiedenen Farben reproduziert werden können.

Die bekannteste Methode der Computerkartierung ist wahrscheinlich das SYMAP-Verfahren, das von FISHER (1964, zitiert in SYMAP 1967)

Abb. 3

Isophanenkarte der ersten Blüte von Cornus florida im Frühling 1970 in North Carolina (USA), hergestellt mit dem SYMAP-Computer-Programm (aus LIETH + RADFORD 1971). Unten steht die dazugehörende Situationsskizze).



entworfen wurde und in verschiedenen Versionen unzählige Male angewandt wurde. LIETH und RADFORD (1971) zeigen phänologische SYMAP-Karten für den Staat Nord-Carolina (USA), die mit einem abgeänderten Programm nach SCOTT und BRANDEN (197o) hergestellt wurden. Die Abbildung 3 zeigt einen stark verkleinerten Ausschnitt einer phänologischen Karte der Cornus florida-Blüte in Nord-Carolina. Solche Karten von diesem Beobachtungsnetz erscheinen periodisch mehrmals jährlich und geben einen ausgezeichneten aktuellen Ueberblick.

Die SYMAP-Karten bringen Flächen gleicher Werte zum Ausdruck, wie sie aus den unregelmässig verteilten Beobachtungen bestimmt werden können. Das Programm interpoliert alle Werte zwischen zwei Beobachtungen nach der Interpolationsfunktion von SHEPARD (1968, zitiert in DOUGLAS 1971). Dies geschieht unter der Voraussetzung, dass der räumliche Einfluss eines Beobachtungspunktes mit dem Quadrat der Distanz abnimmt. In diesem Interpolations- und Kartiervorgang werden - im Unterschied zu MAPREG - keine weiteren Faktoren berücksichtigt.

Die Darstellung der SYMAP-Karten ist sehr ausgeklügelt. Wirkungsvolle Signaturen (mit bis zu vierfachem Ueberdruck) werden verwendet. Die Beobachtungsorte werden besonders bezeichnet, und die Gebiete gleicher Flächenfarbe werden durch weisse Isolinien getrennt. Dazu sind auch Legenden, Ueberschriften usw. vorgesehen.

Somit wird die Anwendung des SYMAP-Kartierprogramm für die Auswertung von phänologischen Beobachtungen im schweizerischen Beobachtungsraum empfohlen, wenn die Wirkung weiterer Variablen auch miteinbezogen werden kann. Vielleicht gelingt es, die flächenhafte Interpolation mit dem Einfluss verschiedener Faktoren zu verbinden. Eine solche Lösung wäre auch eine wertvolle Hilfe für das Ausmitteln der Resultate mehrerer Jahre, da in diesem Fall das Problem veränderter Beobachtungsstandorte und reduzierter Netzdichte auftauchen wird.

5. AUSBLICK

Die statistische Analyse der Beobachtungen der Weizenernte 197o zeigt für Gebiete mit grossen Höhenunterschieden eine deutliche Proportionalität zwischen phänologischen Daten und den zugehörigen Meereshöhen. Nun geht es darum, die Landschaftsfaktoren zu finden, die die phänologischen Ereignisse und somit das Geländeklima in relativ flachen Gebieten bestimmen. Insbesondere wird auch eine geeignete Variable für die Hangsituation zu bezeichnen sein.

Die kartographische Darstellung von phänologischen Beobachtungen dient nicht nur der Illustration der Ergebnisse, sondern sie stell vor allem ein Arbeitsmittel dar, mit welchem die räumliche geländeklimatische Situation analysiert werden kann. Die Kartierung

ob von Hand oder mit Hilfe eines Computers - ist ein Verarbeitungsprozess, dessen Ergebnisse den Einblick in die Zusammenhänge erleichtert.

Möglicherweise ist die mathematische Beschreibung der phänologischen Zeitfläche die einzige Methode, die in befriedigender Weise die Mittelbildung von Beobachtungen mehrerer Jahre und eine Kombination verschiedener phänologischer Ereignisse gestattet. Damit liessen sich wahrscheinlich auch die Probleme der ständig ändernden Beobachtungsbedingungen (Wechsel der Beobachtungsstandorte und Abnahme der Netzdichte) lösen. So liesse sich wohl eine bessere Methode finden als durch Aufstellen komplizierter Modelle, die durch eine grosse Zahl von Variablen unübersichtlich werden und meist doch nicht alle beteiligten Faktoren umfassen können.

Die Kombination von punktuellen Beobachtungen mit einem Informationsraster wird vielleicht eine befriedigende Methode für eine flächenhafte Inter- und Extrapolation abgeben.

ZUSAMMENFASSUNG

Statistische und kartographische Bearbeitung phänologischer Beobachtungen (am Beispiel der Daten der Weizenernte 197o)

Verschiedene statistische und kartographische Experimente sollen Möglichkeiten künftiger Auswertungen von phänologischen Beobachtungen für geländeklimatische Zwecke zeigen. Für Gebiete mit grossen Höhenunterschieden wurde eine Proportionalität zwischen phänologischen Daten und der Meereshöhe festgestellt. Sortenunterschiede und Einflüsse störender Faktoren verschlechtern die Resultate für die Weizenernte erheblich. An einem Beispiel wird die Möglichkeit der Erfassung einer kontinuierlichen Zeitfläche für das phänologische Ereignis gezeigt. Punktweise wird die erhaltene Regressionsgleichung für die in einem Raster gespeicherten Werte mehrerer Variablen (z. B. Meereshöhe, Hangneigung, Exposition) eingesetzt. Für jeden Punkt im Rasternetz wird das phänologische Datum errechnet. Dieses Experiment zeigt die Möglichkeit einer flächenhaften Extrapolation von punktuellen Beobachtungen. Auf Informationsraster basierende Datenbanken werden die Anwendung solcher Methoden künftig erleichtern.

RESUME

Analyses statistiques et cartographiques d'observations phénologiques (l'exemple de la moisson du blé 197o)

Différentes expériences statistiques et cartographiques montrent les possibilités d'une analyse d'observations phénologiques en vue d'une application mésoclimatique. Pour des régions avec de grandes différences d'altitude, une proportion existe entre les dates et l'altitude. Différentes sortes et l'influence de facteurs gêneants diminuent la valeur des résultats pour la moisson du blé. Il est possible de décrire une surface de dates phénologiques. L'on applique l'équation de regression point par point à des variables extraites d'une grille (par ex. l'altitude, l'exposition, l'inclinaison). Pour chaque point de la grille l'on peut calculer la date phénologique. Cet expériment montre les possibilités d'une extrapolation en surface d'observations par points. Des banques de données basant sur une grille d'information faciliteront à l'avenir l'application de telles méthodes.

SUMMARY

Statistical and cartographical analysis of phenological observations (The example of the wheat harvest 197o)

Different statistical and cartographical experiences show the possibilities of analysis of phenological observations for mesoclimatic purposes. A proportionality between dates and altitudes was found in areas with large differences of altitude. One example show the possibility of the description of a continuous time surface for the phenological event. For each point the regression equation is applied to grid-based data of different variables (e.g. altitude, exposition, slope angle) to compute the phenological date. This experience shows the possibilities of extrapolation of observations made at points to a continuous surface. Grid-based data banks will allow the application of such methods.

VERDANKUNGEN / ACKNOWLEDGMENTS

Der Autor dankt für Gastfreundschaft, Hilfe und Ratschläge:
The author greatfully acknowledges the hospitality, the help and advice of:

Prof. W. B. Johnston, head of the Department of Geography, University of Canterbury, Christchurch (New Zealand) and

Dr. J. E. Hay

Dr. C. C. Kissling

Mr. J. B. Hockey

Mr. D. C. Johnston

Mr. G. Butterfield

Herrn P. Messerli und

Herrn H. Wanner
Geographisches Institut der Universität Bern

Herrn A. Zbinden
Institut für angewandte Mathematik der Universität Bern

6. BIBLIOGRAPHIE

AICHELE, H., 1964: Beitrag zur Festlegung phänologischer Jahreszeiten und deren Höhenabhängigkeit in Rheinland-Pfalz. Meteorologische Rundschau 17 (2) : 42 - 46

COLE, J.; KING, A. M., 1969: Quantitative Geography. London

DOUGLAS, D. H., 1971: Map making with the electronic digital computer. Quantitative and qualitative geography: "La nécessité d'un dialogue". Occasional papers, Department of Geography, University of Ottawa, No. 1 : 97 - 114

FISHER, H. T.: (siehe "SYMAP")

HIDBER, C. e. a., 1972: Die landesplanerische Datenbank (Sondernummer Informationsraster). Dokumentations- und Informationsstelle für Planungsfragen Zürich, 25 S.

HOPKINS, A. D., 1938: Bioclimatics, a science of life and climate relations. United States Department of Agriculture Miscellaneous Publication 28o, Washington D. C.

JEANNERET, F., 1973: Methods and problems of mesoclimatic surveys in a mountainous country: a research programme in the canton of Berne, Switzerland. Proc. 7th New Zealand Geogr. Conf. Hamilton 1972 : 187 - 191

LIETH, H.; RADFORD, J. S., 1971: Phenology, resource management and synagraphic computer mapping. BioScience 21 (2) : 62 - 7o

MONMONIER, M. S., 1972: Flow-linkage construction for spatial trend recognition. Geographical analysis, Ohio State University Press, 4 (4) : 393 - 4o6

SCOTT, M.; BRANDON, J., 197o: SYMAP Reference manual for synagraphic computer mapping. Revised and edited by the Department of Landscape Architecture, School of Design, North Carolina State University, Raleigh, North Carolina (vervielfältigt)

SYMAP, 1967: Introductory manual for synagraphic computer mapping, version 4. Laboratory for Computer Graphics, Graduate School of Design, Haward University, Cambridge, Massachusett (vervielfältigt)

WILLIAMS, G. D. V., 1971: Wheat phenology in relation to latitude, longitude and elevation on the Canadian Great Plains. Canadian Journal of Plant Science 51 : 1 - 12

WILLIAMS, G. D. V.; SHARP, W. R., 1972: Computer mapping in agrometeorology. Technical bulletin 8o, Agrometeorology, Plant research Institute, Research Branch, Canada Department of Agriculture, Ottawa, Ontario

ANHANG

Beschreibung der verwendeten Computerprogramme

Die für diese Arbeit verfassten Computerprogramme sollen auch für weitere Bearbeitungen von phänologischen Beobachtungen verwendet werden können. Sie wurden deshalb so konstruiert, dass sie ohne oder mit nur ganz geringen Aenderungen die Analyse irgendeiner Datenserie gestatten.

SUNIN	Ziel:	Berechnung des maximalen Sonneneinfallswinkels für beliebige Hänge, unter Verwendung der Formeln von LEE (1962) und LOEWE (1962)
	Daten:	Geographische Breite, Sonnendeklination
	Ausdruck:	Werte für den maximalen Sonneneinfallswinkel pro 2oo A%o Azimut und 1 % Hangwinkel
MECLIM-Serie		Für die statistische Bearbeitung der Beobachtungen wurden drei verschiedene Programme verfasst, die aber nach Bedarf in ein einziges Hauptprogramm oder in eine Serie von Unterprogrammen aufgelöst werden können. Nur zwei der Programme kamen für die vorliegende Arbeit zur Anwendung.
MECLIM 1 (Phasen oo bis 12)		
	Ziel:	Vorbereitung des Datenmaterials zur Speicherung auf Lochkarten oder Magnetband
	Phase oo:	Dimensionieren, Einlesen, Zählen der Anzahl Beobachtungen
	Phase o1:	Umrechnung der Daten in Jahrestage
	Phase o2:	Titel schreiben
	Phase o3:	Berechnung der maximalen Sonneneinfallswinkel (Einbau von SUNIN)
	Phase o4:	Bestimmen der Beobachtungsqualität jeder Beobachtung
	Phase o5:	Bestimmung der Regionen
	Daten:	Liste der Stationsnummer-Gruppen, Codenummern für Bemerkungen, Titel, Beobachtungen

	Ausdruck:	Liste der Beobachtungen mit berechneten Werten für Jahrestag, Regionsnummer, maximaler Sonneneinfallswinkel, Beobachtungsqualität
MECLIM 2	(Phasen 2o bis 51)	
	Ziel:	Graphische Darstellungen und statistische Untersuchung
	Phase 2o:	Dimensionieren, Einlesen, Zählen der Anzahl Beobachtungen
	Phase 21:	Berechnung von Jahrestagen für graphische Darstellungen
	Phase 23:	Graphische Darstellung aller Beobachtungen in Abhängigkeit der Meereshöhe
	Phase 24:	Graphische Darstellung von ausgewählten Beobachtungen in Abhängigkeit der Meereshöhe pro Region
	Phase 5o:	Korrelations- und Regressionsrechnung für Daten in Abhängigkeit der Meereshöhe (horizontale Felder, für einzelne Regionen)
	Phase 51:	Korrelations- und Regressionsrechnung für Datendifferenz pro maximaler Sonneneinfallswinkel
	Daten:	Resultate von MECLIM 1
	Ausdruck:	Zwei graphische Darstellungen, je eine Tabelle für die regionalen Resultate der Korrelations- und Regressionsrechnung pro Qualitätsgruppe der Beobachtungen
MAPREG	Ziel:	Zeichnen von Basiskarten und einer phänologischen Karte auf Grund der für das Gebiet geltenden Regression für die Variablen Meereshöhe, Hangneigung und Exposition
	Daten:	Meereshöhen, Hangneigungen, Expositionen für jeden Punkt im Rasternetz, geographische Breite, Sonnendeklination und Regressionsgeraden
	Ausdruck:	Vier Karten der Variablen und phänologischen Daten mit Symbolerklärung und Legenden
	Bemerkungen:	Die Anwendung dieses Programms für ein anderes phänologisches Ereignis oder für ein anderes Gebiet erfordert einige Anpassungen