

- kungen auf die Relief- und Bodenentwicklung. – Catena, 1, S. 71–180, 1973.
- SCHUBERT, C.: Late Glacial Chronology in the North-eastern Venezuelan Andes. – 24th IGC, 1972, Sect. 12, S. 103–109, Montreal 1972.
- : Late Pleistocene Mérida Glaciation, Venezuelan Andes. – Boreas, 3, S. 147–152, 1974 a.
- : Late Pleistocene Glaciation of Páramo de La Culata, North-Central Venezuelan Andes. – Geol. Rdsch., 63, S. 516–538, 1974 b.
- : Striated ground on an arid tropical island: La Orchila, North-Central Venezuelan offshore. – Rev. Géomorph. dyn., XXIII, S. 27–31, 1974 c.
- : Glaciation and Periglacial Morphology in the North-western Venezuelan Andes. – Eiszeitalter u. Gegenwart, 26, S. 196–211, 1975.
- SEARS, P. B. & CLISBY, K. H.: Palynology in southern North America, Part IV: Pleistocene climate in Mexico. – Bull. Geol. Soc. Amer., 66, S. 521–530, 1955.
- SERGIN, S. Y. & CHIZHOV, O. P.: Modeling of Global Changes of Climate and Glaciation in Pleistocene. – International Geography '76: 2 (Climatology, Hydrology, Glaciology), XXIII Intern. Geogr. Cong. Moskau, S. 128–132, Moskau 1976.
- SHANZER, E. V., PETROV, O. M. & FRANCO, G.: Sobre las formaciones costeras del Holoceno en Cuba, las terrazas Pleistocénicas de la región Habana-Matanzas y los sedimentos vinculados a ellas. – Serie Geología, 21, Acad. Cienc. Cuba, S. 1–26, La Habana 1975.
- SINGH, G. & AGRAWAL, D. P.: Radiocarbon evidence for deglaciation in north-western Himalaya, India. – Nature, 260, S. 232, 1976.
- STREET, A. F. & GROVE, A. T.: Environmental and climatic implication of late Quaternary lake-level fluctuations in Africa. – Nature, 261, S. 385–389, 1976.
- SUZUKI, H.: Climatic zones of the Würm glacial stage. – Bull. Dept. of Geogr., Univ. of Tokyo, 3, S. 35–46, 1971.
- : Recent and Würm Climates of the West Coast of South America. – Bull. Dept. of Geogr., Univ. of Tokyo, 5, S. 3–32, 1973.
- TROLL, C.: Die Stellung der Indianer-Hochkulturen im Landschaftsaufbau der tropischen Anden. – Ztschr. Ges. Erdkde. Berlin 1943, S. 93–128, 1943.
- : Strukturböden, Solifluktion und Frostklimate der Erde. – Geol. Rdsch., 34, S. 545–694, 1944.
- TROLL, C. & PAFFEN, K.H.: Die Jahreszeitenklimate der Erde. – Erdkde., 18, S. 5–28, 1964.
- VAN DER HAMMEN, T.: The Pleistocene changes of vegetation and climate in tropical South America. – J. Biogeogr., 1, S. 3–26, 1974.
- VAN GEEL, B. & VAN DER HAMMEN, T.: Upper Quaternary vegetational and climatic sequence of the Fuquene area (Eastern Cordillera, Colombia). – Palaeogeogr. Palaeoclim. Palaeoecol., 14, S. 9–92, 1973.
- VAN ZINDEREN BAKKER, E. M.: Upper Pleistocene and Holocene stratigraphy and ecology on the basis of vegetation changes in sub-Saharan Africa. – Background to Evolution in Africa, ed. W. W. BISHOP & J. D. CLARK, S. 125–147, Chicago 1967.
- : The origin and palaeoenvironment of the Namib Desert biome. – J. Biogeogr., 2, S. 65–73, 1975.
- VAN ZINDEREN BAKKER, E. M. & COETZEE, J. A.: A reappraisal of late-Quaternary climatic evidence from tropical Africa. – Palaeoecology of Africa, 7, S. 151–181, 1972.
- WARREN, A.: Dune trends and their implications in the central Sudan. – Z. Geomorph. N. F., Suppl. Bd. 10, S. 154–180, 1970.
- WASHBURN, A. L.: Periglacial processes and environments. – S. 1–320, London 1973.
- WEISCHET, W.: Zur Geomorphologie des Glatthang-Reliefs in der ariden Subtropenzone des Kleinen Nordens von Chile. Z. Geomorph. N. F., 13, S. 1–21, 1969.
- WEYL, R.: Eiszeitliche Gletscherspuren in Costa Rica (Mittelamerika). – Ztschr. Gletscherkde. Glazialgeol., 3, S. 317 bis 325, 1956.
- WHITE, S. E.: Late Pleistocene Sequence for the West Side of Iztaccíhuatl, Mexico. – Bull. Geol. Soc. Amer., 73, S. 935–958, 1962.
- WILHELMY, H.: Eiszeit und Eiszeitklima in den feuchttropischen Anden. – Pet. Mitt. Erg. H. 262, S. 281–310, 1957.
- WILLIAMS, M. A. J.: Radiocarbon dating and late Quaternary Saharan climates: a discussion. – Z. Geomorph. N. F., 20, S. 361–362, 1976.
- WRIGHT, H. E.: Retreat of the Laurentide Ice Sheet From 14,000 to 9000 Years Ago. – Quaternary Research, 1, S. 316–330, 1971.

PHÄNOLOGISCH-GELÄNDEKLIMATOLOGISCHE UNTERSUCHUNGEN IN SCHWEDISCH-LAPPLAND

Mit 8 Abbildungen

HANS-MARTIN MÜLLER*)

Summary: Phenological observations of the local climate of the terrain in Swedish Lapland.

This article contains some results of a research journey to Swedish Lapland which was supported by the Deutsche Forschungsgemeinschaft. The aim of the investigations was to gain an insight into the differentiation of the local climate of the terrain by using and assessing phenological observations. These are based upon springtime

development of the birches (*Betula pubescens*), which cover most parts of the research area. More than 200 sites were regularly surveyed phenologically. The processes of bud development and leaf spreading were differentiated into 13

*) Der Deutschen Forschungsgemeinschaft sei an dieser Stelle für die großzügige Unterstützung meiner Forschungsreise nach Schwedisch-Lappland gedankt.

stages. At each site at least 25 trees were used as a sample and associated with their specific stage of development. Their frequency distributions and their averages yielded a measure of the phenological stage of each site that could be treated statistically. Details of the phenological development could be investigated on a regularly controlled profile. A correlation with temperature sums showed a high degree of agreement: the phenological development was highly dependent on the weather. A reduction of the observation results to a specific stage of development, namely the opening of the buds, made possible the drawing of an isophane map, which shows the sites with regard to their being early or late. It was possible to show that the differentiation of the sites into development stages, and their time lag, was dependent on the weather as well. The phenological development showed a strong correlation with soil-climatological factors and wind exposition. The height of the warm slope zone depended on the valley topography. The most favourable area was never higher than 70 m above the valley bottom; in most profiles it lay considerably lower. Because of the growth sites and growth forms at the timber line the phenological development was very strongly determined by microclimatological influences.

„Die Phänologie hat die Aufgabe, das Pflanzenwachstum im Jahresablauf zu studieren . . ., sie hat auch die Gesetzmäßigkeiten im periodischen Wachstumsablauf festzustellen und die Abhängigkeit dieses Ablaufs von den Umweltbedingungen, im besonderen von Klima und Witterung, zu untersuchen“ (SCHNELLE, 1966, S. 5). Die unterschiedlichen Eintrittszeiten im Wachstumsablauf der Pflanzen ermöglichen „Schlüsse auf die örtlichen Unterschiede des Klimas . . ., um besonders frühe oder späte, das heißt klimatisch günstige oder ungünstige Gebiete zu ermitteln“ (SCHNELLE, 1966, S. 5). Mit Hilfe phänologischer Untersuchungen kann man also ohne umfangreiche meßtechnische Ausrüstung Aussagen zur lokalklimatischen Differenzierung eines Raumes machen.

Die im Frühjahr 1975 in Schwedisch-Lappland durchgeführten geländeklimatologischen Untersuchungen zogen die phänologische Entwicklung als lokalklimatisches Indiz heran. WERNECK hat die standortgebundene Pflanze als das beste Meßinstrument bezeichnet (zitiert bei AULITZKY, 1968). Eine ähnlich flächenhafte lokalklimatologische Differenzierung wie durch phänologische Beobachtungen läßt sich mit Hilfe von Meßinstrumenten nicht erzielen. Solche Messungen sind daneben kritisch zu betrachten, da sie erst im Kontext mit allen Standortfaktoren ihren richtigen Stellenwert erhalten. Da ist die Pflanze selbst der beste Indikator für den so schwer zu erfassenden Gesamtkomplex der Umweltfaktoren, wie es AULITZKY (1968) ausdrückte.

Klimatologische Messungen sind natürlich nicht durch phänologische Beobachtungen zu ersetzen. Immer dann, wenn es gilt zu quantifizieren, muß eine phänologisch-geländeklimatologische Arbeitsweise versagen. Bei einer solchen Arbeitsweise werden kausale Aussagen dadurch erschwert, daß die Pflanzen als lebende Individuen individuell (genetisch angelegt) auf

die Umweltreize reagieren und zwar auf die Reize der gesamten Umwelt, des gesamten Standortes. Es ist sicher unbestritten, daß klimatische Faktoren, besonders Temperatur- und Strahlungshaushalt, eine überragende Rolle bei der phänologischen Entwicklung besonders im Frühjahr spielen. Gute Korrelationen zwischen phänologischen Beobachtungen und Temperatur- oder Strahlungsmessungen zeigen enge Zusammenhänge zwischen Witterung und Pflanzenentwicklung. Man darf deshalb in erster Näherung Strahlungs- und Wärmeverhältnisse zur Deutung phänologischer Unterschiede heranziehen, ohne jedoch die Austauschbarkeit von Faktoren zu übersehen, wenn zum Beispiel edaphische oder auch biotische Faktoren temperaturklimatische kompensieren.

Da die Pflanze nach Maßgabe ihrer genetischen Anlage integrierend auf alle Umweltfaktoren reagiert, stellen phänologische Daten mehr als die Summenwirkung anderer Klimatelemente dar. BERG (1952) möchte sie daher als komplexes Klimatelement *sui generis* gleichberechtigt neben andere stellen.

Im folgenden soll das Untersuchungsgebiet in seinen wesentlichen Grundzügen dargestellt werden (vgl. dazu Abbildung 1). Es liegt in den zentralen Skanden im Längstal des oberen Umeålv ungefähr 120 km von der atlantischen Küste entfernt. Die Abschirmung gegen die atlantischen Einflüsse durch die westlich vorgelagerten Massive, die in den Okstinderne bis über 1800 m aufragen, ist unvollkommen. Die weiträumige Gliederung des Reliefs in Einzelmassive mit dazwischenliegenden niedrigen Pässen lassen vielmehr atlantische Luftmassen in das Untersuchungsgebiet vordringen, so daß das Klima noch verhältnismäßig stark ozeanisch geprägt ist.

Das Untersuchungsgebiet läßt sich in drei Abschnitte gliedern. Der südliche Teil umfaßt die Uferpartien des Laisa und des Västansjö sowie die Hänge der angrenzenden Fjällmassive. Der mittlere Teil wird von dem breit ausgebildeten Umetal eingenommen, das sich zwischen Jofjäll und Norra Storfjäll trichterförmig öffnet und eine weite Ebene bildet. Nördlich davon tritt im dritten Abschnitt das Artfjällmassiv eng an das Norra Storfjäll heran, so daß das Umetal hier eine Engtalstrecke bildet.

Das Relief des Untersuchungsgebietes ist glazial überformt worden. Das macht sich besonders in der teilweisen Übersteilung der Hänge bemerkbar. Trotzdem ist die Horizontabschirmung wegen der mäßigen Reliefunterschiede nicht sehr groß. Die Trogschulter, soweit man von ihr sprechen kann, liegt in der Regel nicht mehr als 250–300 m über dem Talniveau. Einige Reliefprofile wurden zur Verdeutlichung der Horizontabschirmung beigefügt (Abb. 2, ihre Lage ist aus Abb. 1 ersichtlich: Profile I–V). Nur in der Engtalstrecke des nördlichen Untersuchungsgebietes wird der Horizont durch die näher zusammentretenden Gebirgsmassive stärker überhöht (Profil I).

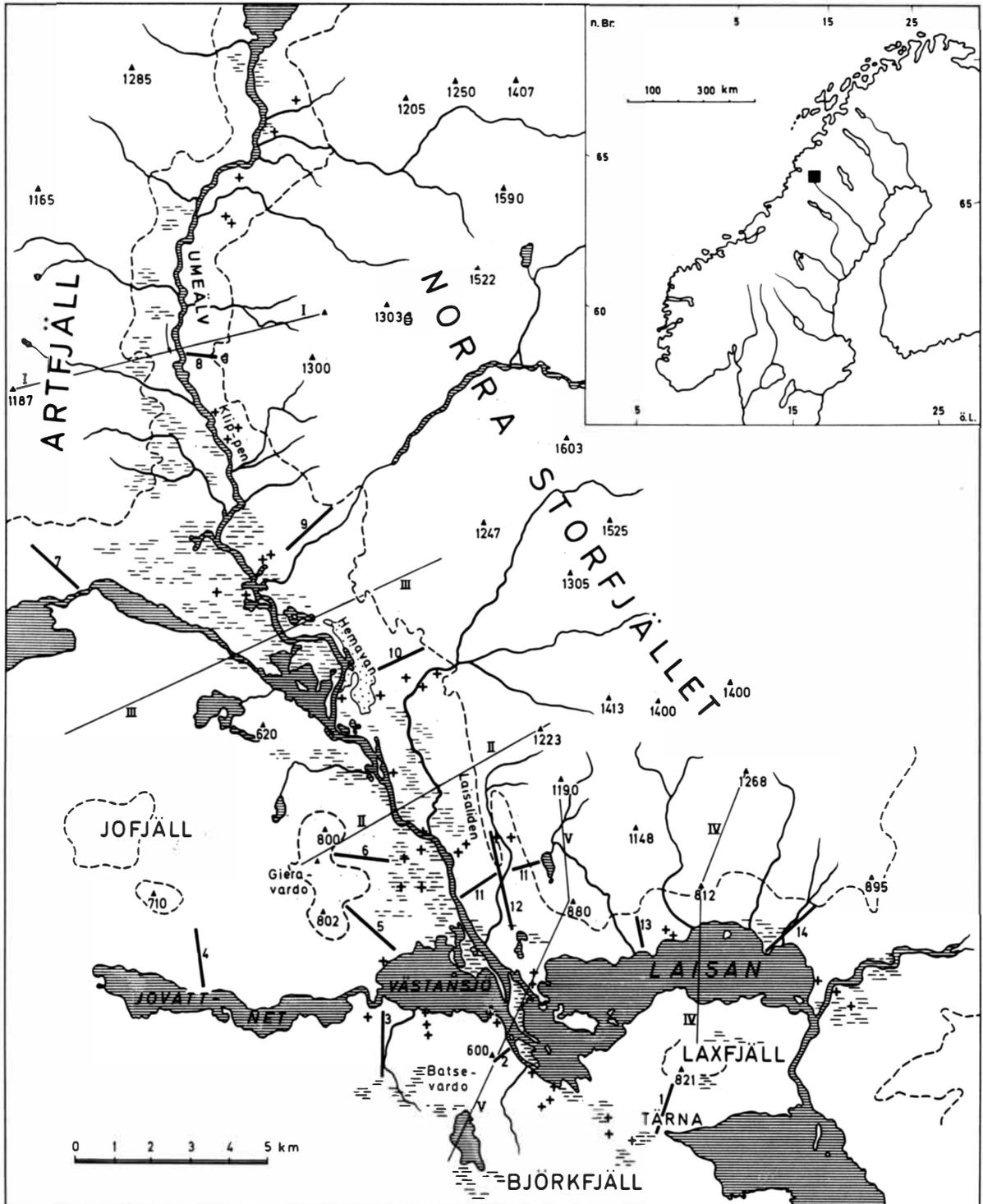


Abb. 1: Untersuchungsgebiet und Beobachtungsstandorte

Die gerissenen Linien geben die Baumgrenze an, die waagerechte Strichelung größere vermoorte und versumpfte Gebiete. Die Kreuze zeigen die Lage der Beobachtungsstandorte bzw. -standortgruppen an, die arabisch numerierten Linien die Lage der phänologischen Hangprofile: 1 Laxfjäll-Profil, 2 Batsevardo-Profil, 3 Ängesdal-Profil, 4 Joström-Profil, 5 Gieravardo-Profil, 6 Eichprofil, 7 Tängvattnet-Profil, 8 Klippen-Profil, 9 Syter-Profil, 10 Hemavan-Profil, 11 Krokfors-Profil, 12 Laisaliden-Profil, 13 Laxnäs-Profil, 14 Solberg-Profil. Die römisch numerierten Linien geben die Lage der Reliefprofile (Abb. Nr. 2) an.

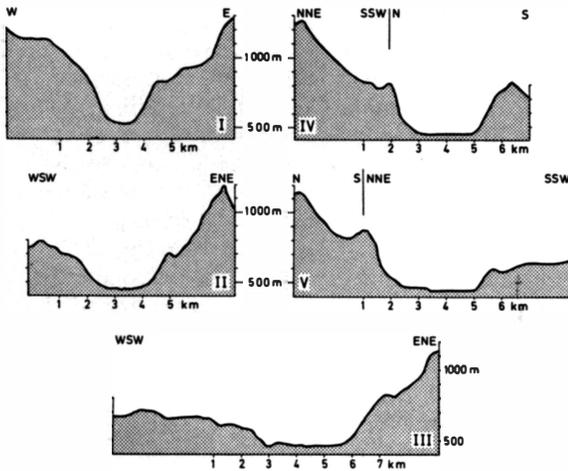


Abb. 2: Typische Reliefprofile des Untersuchungsgebietes (zur Lage vgl. Abb. Nr. 1)

Typical relief profiles of the area under investigation (for situation cf. Fig. 1)

Die Ufer des Seenkomplexes Laisa-Västansjö im südlichen Teil des Untersuchungsgebietes gliedern sich in verlandende Buchten, in den See vorspringende Halbinseln und felsige Uferpartien, wo Rundhöcker bis an das Wasser herantreten. An diesen Stellen werden in unmittelbarer Wassernähe fünf und mehr Meter über Seeniveau erreicht. Nur in Ausnahmefällen kann sich ein breiterer Uferstreifen im Seeniveau ausbilden, in der Regel gehen die Ufer direkt in die Hänge der begleitenden Fjälle über. Die Hänge sind verschieden steil ausgebildet. Der Björkfjällkomplex ist sehr stark durch zwischengeschaltete Hangverflachungen aufgelöst. Nur im Bereich des Batsevardo gibt es ein annähernd durchgehendes Gefälle von mehr als 100 m Höhenunterschied. Laxfjällhang und Südhang des Norra Storfjäll sind dagegen durchgängig steil und wenig gegliedert. Besonderheiten der Hangtopographie bieten der SE-Hang des Jofjäll und der SW-Hang des Norra Storfjäll, dort wo sie in Richtung des Umetal umschwenken. Hier hat sich im Divergenzbereich des westwärts fließenden Eises eine vorhügelartige Rundhöckerzone mit dazwischenliegenden Seen und Mooren um etwa 540 bis 560 m ü. NN ausgebildet. Das phänologische Profil 5 berührt diese Zone am Jofjäll, Profil 12 die am Norra Storfjäll. Vom nördlich anschließenden Westhang des Norra Storfjäll wird ein Rücken, der „Laisaliden-Rücken“, abgetrennt, der

von einer Reihe W-E-streichender Rundhöcker aufgebaut wird.

Die Talsohle des mittleren Abschnittes wird zu einem großen Teil von einer Verlandungslandschaft eingenommen, in der Moore und Sümpfe vorherrschen. In der Mitte liegt eine Kette von Rundhöckern und osartigen Kies- und Sandrücken, die das Flußniveau mehr als 40 m überragen. Die Rundhöcker sind zum Teil von einem dünnen Sandschleier überzogen, Ablagerungen eines Eisstausees. Außerhalb der vermoorten und versumpften Gebiete bilden diese Sande das Bodensubstrat. Nur die Schwemmfächer der vom Norra Storfjäll herabkommenden Bäche werden von kiesigem und blockigem Material aufgebaut. Die Sande gehen am Unterhang der Fjälle in blockreiche Böden über, die entweder Moränenüberdeckung sind oder glaziofluviale Einschwemmungen, die besonders den Westhang des Norra Storfjälls gliedern.

Im nördlichen Abschnitt des Untersuchungsgebietes treten die das Umetal flankierenden Fjälle zusammen. Die Hänge sind sehr stark übersteilt. Eine ebene Talsohle ist nur streckenweise vorhanden. Oft geht der Uferstreifen direkt in den flachen Unterhang über. Der wird weitgehend von Ablagerungen eines Eisstausees gebildet, die zum Fluß hin terrassenartig abbrechen und stark zerrunzt sind. Im nördlichsten Teil treten die Hänge zur Talweitung von Umfords auseinander. Die dort breit ausgebildete Talsohle wird von Ablagerungen des Eisstausees und von Geröllen der vom Norra Storfjäll herabkommenden Bäche gebildet. Das Relief aller Teile des Untersuchungsgebietes ermöglicht gute phänologische Hangprofile, die bis zur Waldgrenze reichen (Profile 1–14 auf Abb. 1).

Das Untersuchungsgebiet liegt weitgehend in der Stufe des Fjällbirkenwaldes oberhalb der Nadelwaldgrenze. Letzte Ausläufer des Nadelwaldes ziehen sich am Laxfjäll, am Björkfjäll und am Südhang des Norra Storfjäll in das Untersuchungsgebiet hinein. Der Birkenwald entspricht in weiten Teilen dem ozeanischen Typ nach HÄMET-AHTI (1963). Im östlichen Untersuchungsgebiet geht er in den kontinentalen Typ über. Der Birkenwald bedeckt alle vom Relief vorgezeichneten Standorte. Nur Moore sind waldfrei und Kulturfleichen, die besonders um Hemavan größere Gebiete einnehmen.

Die Problematik phänologisch-geländeklimatologischer Untersuchungen liegt im Untersuchungsobjekt, den Pflanzen, selbst. Sie sind an bestimmte Standorte gebunden. Außerhalb ihrer Toleranzgren-

Area of investigation and observation sites

The broken lines indicate the timber line, the horizontal hatching larger bogland or moors. The crosses denote the position of the observation sites or groups of such sites, the lines numbered with arabic figures the position of the phenological slope profiles: 1. Laxfjäll profile, 2. Batsevardo profile, 3. Ängedal profile, 4. Joström profile, 5. Gieravardo profile, 6. Eich profile, 7. Tängvattnet profile, 8. Klippen profile, 9. Syter profile, 10. Hemavan profile, 11. Krokfors profile, 12. Laisaliden profile, 13. Laxnäs profile, 14. Solberg profile. The lines numbered with Roman figures indicate the position of the relief profiles (Fig. 2).

zen werden sie von anderen Arten abgelöst. Das erschwert exakte Vergleiche von Standorten erheblich beziehungsweise macht sie unmöglich. Im skandinavischen Fjällbirkenwald kommt die weitgehend einheitliche Vegetationsbedeckung der Vergleichbarkeit von Standorten entgegen. Die weite Teile überziehende Baumart ist die Birke (*Betula pubescens*). Wie weit die oft als Subspezies bezeichnete *Betula tortuosa* als eigene Art von ihr abgetrennt werden kann, ist nicht endgültig geklärt. Die Physiognomie dieses Birkenwaldes variiert jedoch stark von Standort zu Standort. Polykormie, Monokormie, verschiedene Baumhöhen und buschförmiges Wachstum wechseln ab. Dabei prägen Standortfaktoren die Wuchsformen: die Physiognomie wechselt kleinräumig um Rundhöcker in Abhängigkeit vom verfügbaren Wasser. Gelegentlich läßt sich eine Zonierung von Wuchsformen auch an Moorrändern wiederfinden. Wie weit dabei genetisch fixierte Eigenschaften in Form von Standortstrassen eine Rolle spielen, läßt sich hier nicht beantworten. Entscheidender scheint im Zusammenhang dieser Untersuchung die genetisch mögliche Reaktionsbreite auf die Umwelteinflüsse innerhalb einer Art oder Rasse zu sein. Vergleiche dazu die Untersuchungen BAUMGARTNERS (1952) in München, der an Rotbuchen eine weite individuelle Reaktionsbreite festgestellt hat. DICKEL (1966, S. 78–81) weist für die Weißbirke auf die möglichen Einflüsse solcher genetisch angelegten, individuellen Unterschiede auf die phänologische Entwicklung hin, die bis zu einem gewissen Grade die geländeklimatologische Aussagekraft einschränken. In solchen Fällen bedarf es dann offensichtlich deutlicher Änderung der Standortfaktoren, um die Variationsbreite zu überspielen. DICKEL weist auch auf die Brauchbarkeit der Krautschicht für geländeklimatologische Aussagen hin. Die phänologische Entwicklung des Löwenzahns (*Taraxacum officinale*) z. B. unterliegt mannigfaltigen mikroklimatischen und mikrostandörtlichen Einflüssen, so daß die Aussagekraft für geländeklimatische Untersuchungen sehr begrenzt ist. Will man mikroklimatische Einflüsse ausschließen, eignen sich für phänologisch-geländeklimatologische Untersuchungen wohl nur jene Pflanzen, die genügend – und zwar ganzjährig – über die bodennahe Luftschicht hinausragen (Makrophanerophyten nach RAUNKJAER), die sich also im makroklimatischen Raum entwickeln.

Der phänologische Dienst gewinnt seine Daten an festen Beobachtungsstationen. Je komplizierter der Landschaftsaufbau jedoch wird, desto begrenzter wird – ähnlich wie bei Klimastationen – die Aussagekraft solcher Beobachtungen. Deshalb hat AULITZKY (1968) spezielle Forderungen an phänologische Beobachtungen in einem Gebirgsland gestellt. Dabei müssen vor allem die Reliefverhältnisse berücksichtigt werden, die durch Exposition und Neigung etc. die lokal-klimatische Situation bestimmen. Die Böden wirken modifizierend, z. B. als warme oder kalte Böden (siehe SCHNELLE, 1966, S. 24–25).

Die Imponderabilien, die abhängig vom genetischen Material und (noch) nicht faßbaren Standortfaktoren die Beobachtungsergebnisse beeinflussen können, erfordern eine möglichst genaue Untersuchungsmethodik. Systematische Beobachtungsfehler müssen auf ein Minimum reduziert werden. Andererseits erfordern phänologisch-geländeklimatologische Untersuchungen eine umfassende Aufnahme, die alle relevanten Standorte berücksichtigt. Die genauesten Ergebnisse liefern phänometrische Untersuchungen, da sie systematische Beobachtungsfehler praktisch ausschalten. Die Methode ist jedoch zeitaufwendig. Eine räumlich differenzierende Aussage ist nur in einem eng begrenzten Rahmen möglich, da die Zahl zu vermessender Individuen und damit Standorte klein bleiben muß.

Einigermaßen flächendeckende Beobachtungen setzen große Beweglichkeit voraus, die unter sehr günstigen Voraussetzungen mit dem Auto zu erreichen ist. Solch günstige Voraussetzungen sind ein entsprechendes Straßennetz und ein von dort gut einsehbares Gelände. Gute Überschaubarkeit ermöglicht flächige Kartierung, wie es UHLIG (1952) mit dem Stand der Roggenernte von einem erhöhten Punkt aus tat und FRIEDL es für die Feststellung der Lärchenbegrünung vom Gegenhang aus vorschlug (1967). Beidemal handelt es sich jedoch um sehr auffällige Phasen, die auch über größere Entfernung zu erkennen sind. Solche Phasen sind aber nur punkthafte Ausschnitte in der Entwicklung der Pflanze. Sie geben daher auch nur Momentaufnahmen eines dynamischen Prozesses wieder. Daraus abgeleitete standörtliche Differenzierungen berücksichtigen mögliche Verschiebungen nicht. WEISCHET (1955) hat gezeigt, daß der Witterungsverlauf genau beobachtet werden muß, um die Relationen zwischen den Standorten erkennen zu können.

ELLENBERG hat einen methodischen Ansatz entwickelt, der eine weitgehend flächenhafte Erfassung der phänologischen Entwicklung erlaubt und gleichzeitig den zeitlichen Ablauf einschließt. Der zeitliche Aspekt wird dadurch berücksichtigt, daß die phänologische Entwicklung in Zustandsstufen gegliedert wird. Die zu einem Zeitpunkt beobachteten Zustandsstufen einer Reihe von Pflanzen werden als Spektrum zusammengefaßt. Dadurch, daß die phänologischen Zustandsstufen von Geländeabschnitten an Hand der Entwicklung einer durchgehend beobachteten Eichstrecke reduziert werden können, können auch zeitlich auseinanderliegende Aufnahmen verglichen werden. Theoretisch kann auf diese Weise ein beliebig großes Gebiet untersucht werden. (ELLENBERG, 1954, 1956). Dieses Verfahren, das von SCHREIBER (1968, 1969) im Waadtland angewandt wurde, wurde hier im Ansatz aufgegriffen, allerdings auf die Gegebenheiten des Untersuchungsgebietes zugeschnitten. Die besonderen Vegetationsverhältnisse im Fjällbirkenwald machen die Aufnahme von Spektren im ELLENBERG'schen Sinne unmöglich, erlauben dafür aber, zur Kennzeichnung der phänologischen Entwicklung an praktisch

allen Standorten die Laubentfaltung der Birken heranzuziehen. Diese wurde in 13 Stufen gegliedert:

- Stufe 0: winterlich, keine Entwicklung festzustellen
 1: bis 50% aller Knospen beginnen zu schwellen
 2: 50–100% der Knospen sind geschwollen
 3: bis 50% aller Knospen sind stark geschwollen
 4: bis 100% aller Knospen sind stark geschwollen
 5: bis 50% der Knospen brechen auf, erste Blattspitzen zu erkennen
 6: Knospen überwiegend (50–100%) aufgebrochen
 7: bis 50% der Knospen öffnen sich; erste Blattflächen zu erkennen
 8: 50–100% der Knospen haben sich geöffnet
 9: bis 50% der Blätter bis zum Blattgrund geschoben
 10: 50–100% der Blätter bis zum Blattgrund geschoben
 11: Stielentwicklung bis zur Hälfte abgeschlossen
 12: Stiel- und Blattentwicklung abgeschlossen.

Zur Ermittlung des durchschnittlichen Entwicklungszustandes an einem Standort wurde aus der Gesamtzahl der Birken eine Stichprobe von 25 und mehr Exemplaren (in Ausnahmen auch weniger) gezogen, die Entwicklungsstufen ausgezählt und daraus der Mittelwert gebildet. Dieser Mittelwert ergibt eine sehr anschauliche Kennziffer für jede Beobachtung. Das Beobachtungsmaterial ist zudem statistisch leicht bearbeitbar. Die Mittelwertbildung überspielt außerdem die individuelle Variationsbreite der Birken.

Dieses Verfahren erfordert jedoch eine hohe Beobachtungsgenauigkeit. Es muß letztlich der Entwicklungszustand jedes einzelnen Baumes bestimmt werden. Es muß daher auf die Arbeit vom Auto aus, ja selbst auf die Benutzung optischer Hilfsmittel verzichtet werden, da dann die systematischen Beobachtungsfehler zu groß werden und eine statistische Bearbeitung des Materials ad absurdum führen. Da das flächige Arbeiten von einem Fahrzeug aus wegen der Beobachtungsmethode und wegen des Reliefs des Untersuchungsgebietes unmöglich war, wurde eine Reihe von Standorten ausgewählt (mehr als 200), die zum großen Teil regelmäßig beobachtet wurden. In der Abb. 1 sind die Standorte, zum Teil in Gruppen zusammengefaßt, durch Kreuze gekennzeichnet. Die phänologischen Hangprofile sind ebenfalls – mit Nummern versehen – in die Karte eingetragen. Als Eichprofil, das in der Regel alle zwei Tage besucht wurde, wurde das Profil 6 am Osthang des Joffjäll (Gieravardo) ausgewählt.

Die phänologische Entwicklung im Frühjahr 1975

Die Blattentfaltung der Birken konnte am Eichprofil in der Zeit vom 25. 5.–3. 7. 1975 beobachtet werden. Sie ist in Ab. 3 dargestellt. Die Punkte geben den mittleren Entwicklungszustand an den Beobachtungsstandorten wider. Es wurden Mittelwerte für alle sieben und gesondert für die drei unteren und die drei oberen

Standorte gebildet und zu Kurven verbunden (Kurve I, II und III).

Die phänologische Entwicklung läßt sich in drei größere Abschnitte unterteilen. Der erste dauert bis zum 7. 6. (158. Tag des Jahres). Er ist durch geringe durchschnittliche Zunahmen und ein geringes Auseinanderklaffen der Kurven gekennzeichnet. Vom 158. bis zum 172. Tag (Abschnitt 2) ist die phänologische Entwicklung sehr viel schneller, besonders zu Beginn und zu Ende dieser Periode. Gleichzeitig laufen die Kurven zunehmend auseinander und erreichen gegen Ende der Periode den größten Abstand voneinander. Der Abschnitt 3 (ab 172. Tag) ist wieder durch verlangsamte Entwicklung besonders an den unteren Standorten gekennzeichnet. Die Kurve für die unteren Standorte bricht nach dem 178. Tag ab, da die Beobachtungen mit der vollen Blattentwicklung abgeschlossen wurden und die weitere Entwicklung nicht mehr in die Mittelwertbildung eingeht. An den oberen Standorten beschleunigt sich die Entwicklung in der Mitte der Pe-

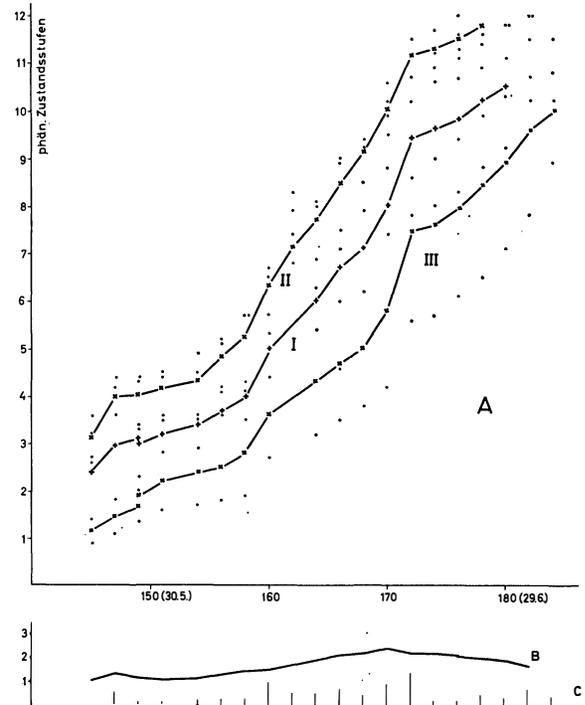


Abb. 3: Die phänologische Entwicklung am Eichprofil

A: Einzelbeobachtungen sowie Mittelwertskurven für sämtliche Standorte des Profils (I), gesondert für die drei unteren (II) und die drei oberen Standorte des Profils (III); B: Streuungskurve; C: Änderungsbeträge in der phänologischen Entwicklung bezogen auf Kurve I

The phenological development in the Eich Profile

A) Single observations as well as mean value curves for all sites of the profile (I) separately for the three lower (II) and the three upper sites of the profile (III); B) Variation curve; C) Differentials in the phenological development related to graph I

riode wieder. Gleichzeitig nimmt der Unterschied zwischen den Standorten ab. Zur Verdeutlichung der phänologischen Entwicklung wurden in Abb. 3 die mittleren Änderungsbeträge eingetragen (C). Die Kurve B gibt die Streuung aller Standortwerte an. Die Streuung ist ein Indiz für den bis zum 170. Tag zunehmenden Abstand in der phänologischen Entwicklung der unteren und der oberen Standorte. Der Sprung in dieser Kurve (176. Tag) ist darauf zurückzuführen, daß die Entwicklung am untersten Standort abgeschlossen war und dem berechneten Streuungswert nur noch 6 Standorte zugrunde liegen.

Die Verflachungen in den Kurven sind auf ungünstige, die Versteilungen auf günstige Witterungsabschnitte zurückzuführen. Verdeutlicht wird der Witterungsablauf des Frühjahrs 1975 durch die Kurve der Tagesmitteltemperaturen (Abb. 4). Mit ihr zusammen

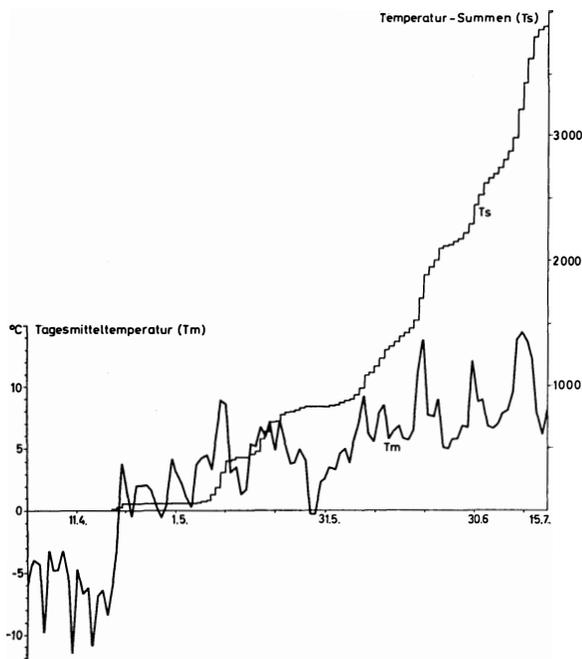


Abb. 4: Tagesmitteltemperaturen und Temperatursummen (Basis 5° C) 1. 4.–15. 7. 1975 in Hemavan

Diurnal average temperatures and temperature totals (basis 5° C) 1. 4.–15. 7. 1975 in Hemavan

ist die Kurve der Temperatursummen dargestellt. Die Temperatursummen basieren hier nicht auf den sonst üblichen Tagesmitteln; sie sind berechnet aus der Fläche unter der Temperaturkurve (Basis 5° C), die nach den 3- bzw. 1stündlichen Temperaturmessungen der Klimastation Hemavan erstellt worden ist. Sie sind das Zeitintegral der Temperatur, der Einfachheit halber hier Temperatursummen genannt. Im einzelnen zeigt sich der Zusammenhang zwischen Witterung und phänologischer Entwicklung wie folgt:

Nach einem kräftigen Kälterückfall Mitte April stiegen die Tagesmitteltemperaturen erstmals am

20. 4. über 0° C an. Gleichzeitig setzte die Schneeschmelze ein. Da jedoch die Mittelwerte an den folgenden Tagen wieder absanken, kam es noch nicht zu großflächigem Ausapern. Nur dort, wo von jeher die Schneedecke dünn war, traten die ersten freien Stellen auf: auf verblasenen Kuppen, in Kolken an Baumgruppen und in windexponierten Mooren, in denen die Torfhügel freischmolzen. Zu einer durchgreifenden Schneeschmelze kam es erst Anfang Mai, als unter Hochdruckeinfluß die Tagesmitteltemperaturen bis über 8° C anstiegen (10. und 11. Mai). In dieser Zeit taute die Schneedecke in den Tallagen weitgehend fort, ebenso aperten die Fjällhänge aus. Allerdings lag selbst in den Tälern an ungünstigen Stellen bis in den Juni hinein der Schnee: in Wäuchten in der kleinreliefierten Terrassenriedellandschaft des Umeengtals und auf Landvorsprüngen im Laisan. Die bei den ersten phänologischen Aufnahmen angetroffenen, z. T. noch zusammenhängenden Schneereste im Birkenwaldbereich tauten bis Anfang Juni fort. Die Blattentwicklung der Birken begann mit der Schneeschmelze. Sie wurde jedoch gebremst durch einen Winterrückfall Ende Mai, verbunden mit einem Vorstoß hochpolarer Luftmassen. Erkennbar ist das an dem flachen Verlauf der Kurven (Abb. 4). Beschleunigt wird die Blattentwicklung schließlich wieder durch einen antizyklonalen Witterungsabschnitt und anschließende Warmluft-Advektion, in deren Verlauf die Tagesmitteltemperaturen erstmals über 9° C anstiegen. Ein ähnlicher Witterungsabschnitt – Hochdruckwetter mit anschließender Wl-Advektion – führte auch zu dem starken Entwicklungsschub vom 17. bis 21. Juni (168.–172. Tag). Der nachfolgende Kaltluft-Einbruch ließ die Tagesmitteltemperaturen erneut stark absinken, die Blattentwicklung wurde verzögert. Ende Juni – Anfang Juli war sie schließlich an den unteren Standorten abgeschlossen. An den oberen waldgrenznahen Standorten zieht sie sich in den Juli hinein, dürfte aber spätestens um den 15. Juli beendet gewesen sein, als eine mehrtägige Wärmeperiode zu einem kräftigen Ansteigen der Temperatursummen führte.

Die Kurve der Blattentfaltung entspricht ihrem Wesen nach einer Summenkurve. Sie ist daher direkt mit der Temperatursummenkurve vergleichbar. Blattentfaltung und Temperatursummen wurden korreliert (s. Abb. 5). Die Punkteschar erlaubt eine gute lineare Regression. Die gute Korrelation von phänologischer Entwicklung und Temperatursummen, wie sie schon häufig gefunden worden ist, bestätigt sich auch für diese Untersuchung. Interessanterweise ist die Korrelation auch für die oberen Standorte groß (Abb. 5, Kurve III), obwohl die Temperatursummen nach den Temperaturmessungen der Talstation Hemavan berechnet worden sind. Außerdem korrelieren die Temperatursummen eng mit der phänologischen Entwicklung auch entfernter Standorte. Darin kommt zum Ausdruck, daß die Temperatursummen nicht nur ein absolutes Maß für Wärmemengen darstellen, sondern

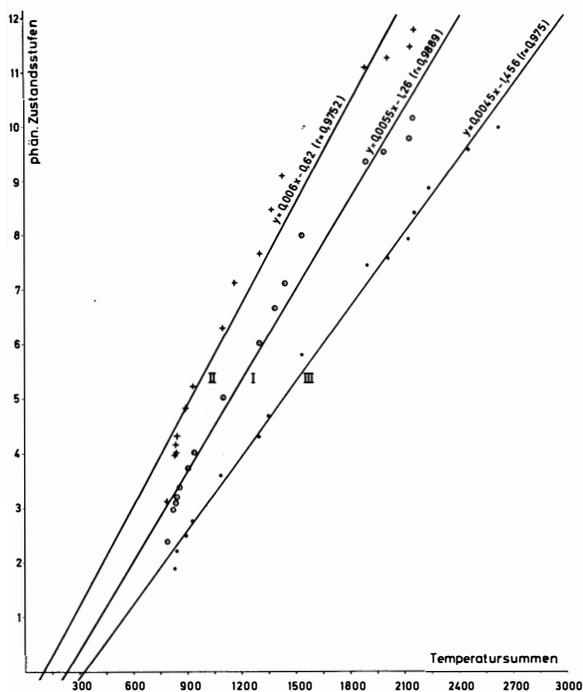


Abb. 5: Phänologische Entwicklung am Eichprofil und Temperatursummen: Regressionsgerade und Korrelationskoeffizienten für die Mittel aus allen Standorten (I), den drei unteren (II) und den drei oberen Standorten (III) des Profils

Phenological development in the Eich Profile and temperature totals: straight line regression and correlation co-efficients for the mean values of all sites (I), the three lower (II) and the three upper sites of the profile (III)

auch den witterungsabhängigen Verlauf der Wärmeentwicklung wiedergeben. Man kann also die Temperatursummenkurve in erster Näherung als Ausdruck des Witterungsverlaufs ansehen.

Um die zeitlich auseinanderliegenden Beobachtungen für geländeklimatische Aussagen nutzen zu können, ist die Reduktion der Beobachtungsergebnisse auf vergleichbare Werte notwendig. Die Methode ELLENBERGS, bestimmte Geländeabschnitte an Hand der beobachteten Spektren vorher am Eichprofil definierten Stufen – z. B. relative Wärmesummen-Stufen (ELLENBERG 1974), relative phänologische Wärmestufen (SCHREIBER 1969) – zuzuordnen, ließ sich wegen der Gegebenheiten des Untersuchungsgebietes nicht durchführen. Die Methode beruht ja gerade darauf, daß die Spektren durch eine Vielzahl von Arten definiert werden und die Zuordnung zu den Stufen dadurch abgesichert wird.

Darüber hinaus bieten sich als Reduktionsverfahren zwei Möglichkeiten an: erstens Reduktion auf einen Stichtag, wie sie auch von ELLENBERG (1974), jedoch nur als gedankliches Modell, erwähnt wird. Dabei ergab eine Überprüfung an Beobachtungswerten, daß eine Reduktion an Hand der Temperatursummen-

kurve, wie sie sich auf Grund der hohen Korrelation anbietet, mit der notwendigen Genauigkeit nur in zeitlich eng begrenztem Rahmen möglich ist. In bestimmten Abschnitten der phänologischen Entwicklung muß mit Abweichungen von mehr als einer Entwicklungsstufe gerechnet werden (vgl. auch Abb. 5), wenn der zeitliche Abstand vom beobachteten Wert groß ist. Ebenso zeigte sich auch bei der Reduktion über die Werte des Eichprofils, daß der Reduktionswert mit zeitlichem und räumlichem Abstand von der Beobachtung zunehmend unzuverlässiger wird (ebenfals Abweichungen von mehr als einer Entwicklungsstufe). Zu unterschiedlich scheint die phänologische Entwicklung der verschiedenen Geländeabschnitte zu sein, als daß sie über einen längeren Zeitraum unmittelbar vergleichbar ist.

Um zu überprüfen, ob sich irgendwelche Gesetzmäßigkeiten hinter diesem divergierenden Verhalten verbergen, wurden die Beobachtungen des Eichprofils mit insgesamt 35 Standorten verglichen und die absoluten Differenzbeträge pro Aufnahme datum gemittelt. Vergleicht man diese Mittelwerte mit den Temperatursummen, so ergibt sich eine hohe Korrelation (Rangkorrelation nach SPEARMAN) mit $r = 0,6444$, was bei 23 Freiheitsgraden eine Sicherungswahrscheinlichkeit von über 99,9% bedeutet. Das bedeutet, daß die Standorte in Abhängigkeit von der Witterung verschieden reagieren. Bei günstiger Witterung mit großen Temperatursummen werden die günstigen Standorte bevorzugt, so daß der Abstand zu den ungünstigen Standorten wächst. Bei ungünstiger Witterung ist eine ausgeglichene phänologische Entwicklung zu erwarten. Das stimmt mit Beobachtungen überein, daß Standortunterschiede bei Strahlungswetter am stärksten zum Tragen kommen.

Bei der Reduktion der beobachteten Werte auf einen Stichtag ergibt sich neben dem geschilderten räumlichen Problem als weitere Schwierigkeit, daß man die phänologische Entwicklung während dieses Tages (eines Zeitraumes von 24 Stunden) berücksichtigen muß, die in günstigen Witterungsabschnitten beträchtliche Werte annehmen kann, wie aus Abb. 4 ohne weiteres zu ersehen ist. Diese Schwierigkeiten kann man umgehen, wenn man statt auf einen Stichtag auf Isophanen reduziert; also: nicht einem Zeitraum von 24 Stunden einen punkthaften Ausschnitt der phänologischen Entwicklung, sondern umgekehrt dem Entwicklungszustand einen Zeitraum zuordnet. Die Unterschiede der Standorte, die sich bei der Reduktion auf Isophanen in einer zeitlichen Verfrüherung oder Verspätung ausdrücken, werden zwar nicht so scharf herausgearbeitet – kleinere Unterschiede können dabei verschwinden –, dafür gewinnt die Angabe an Sicherheit, weil ein gewisser Toleranzbereich (24 Stunden) für den Eintrittszeitpunkt eines phänologischen Zustandes mit angegeben wird.

Es ist eine Isophanen-Karte für die Entwicklungsstufe 5 erstellt worden (Abb. 6). Es wurde die Stufe 5

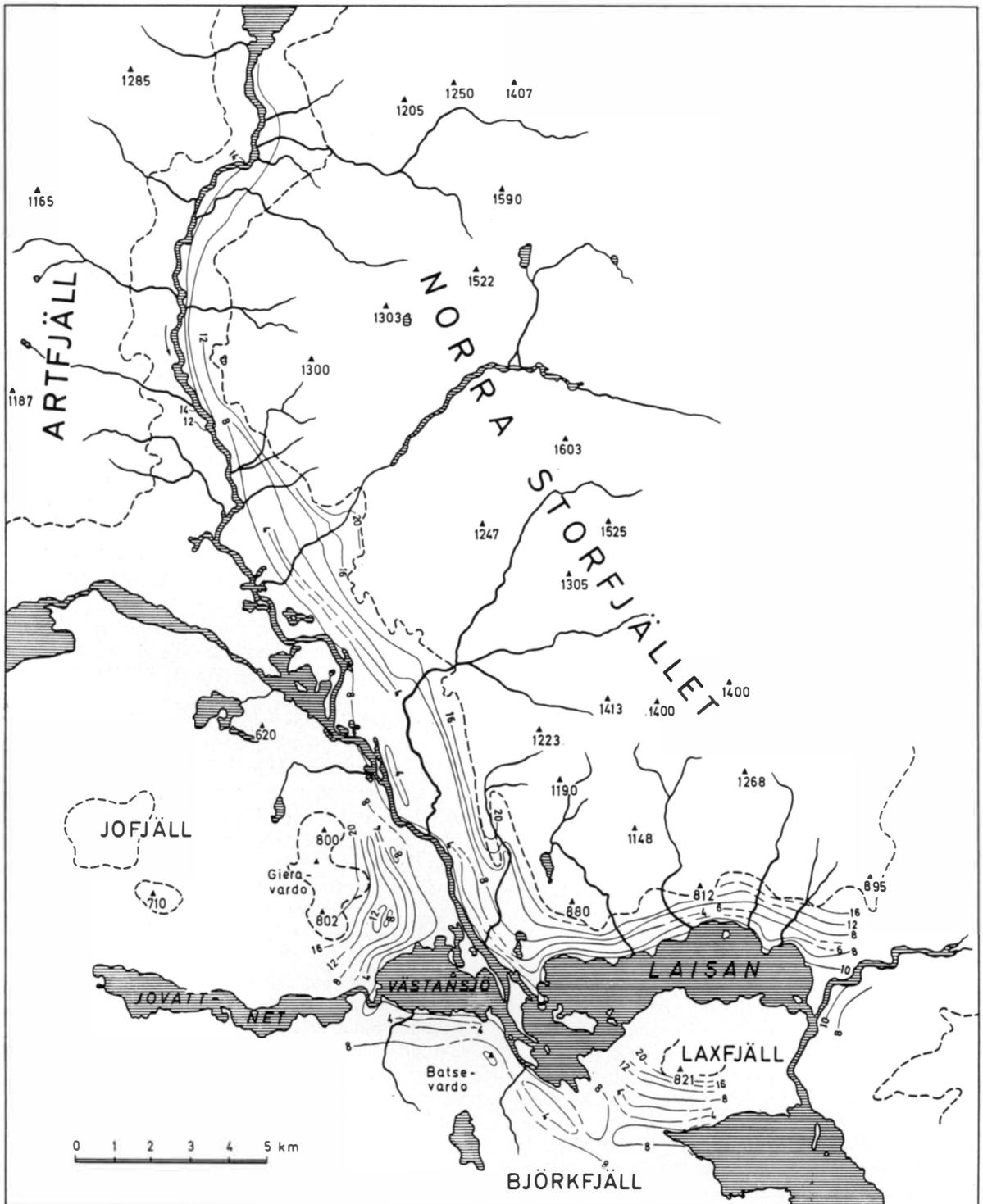


Abb. 6: Isophanekarte für die Entwicklungsstufe 5

Die Isolinien beziehen sich auf den Juni 1975, weitere topographische Einzelheiten sind der Abb. 1 zu entnehmen.

Isophane map for the development level 5. The isolines refer to June, 1975, further topographical details are to be derived from Fig. 1.

ausgewählt, weil sie eine sehr markante Entwicklungsstufe ist und aus dem Beobachtungsmaterial für alle Standorte sehr gut zu erschließen ist. Notwendige Reduktionen wurden nach der Temperatursummenkurve vorgenommen.

Es ist oben festgestellt worden, daß die Standortsunterschiede, ausgedrückt in Zustandsstufen, mit der Witterung schwanken. Der zeitliche Abstand der Standorte, also die relative Verfrühung oder Verspätung wie sie in den Isophanen ausgedrückt wird, ist abhängig von der Differenz am Ausgangstag und von der phänologischen Entwicklungsgeschwindigkeit. Letztere kann für das Testprofil der Abb. 4 entnommen werden. Sie ist ebenfalls witterungsabhängig. (Rangkorrelation von Zuwachsraten und Temperatursummen ergibt Korrelationskoeffizienten mit Sicherungswahrscheinlichkeit von mehr als 99,5‰).

Die Witterungsabhängigkeit der Entwicklungsgeschwindigkeit besagt, daß bei günstiger Witterung die Entwicklung schneller abläuft und sich deshalb der zeitliche Abstand zwischen phänologischen Zustandsstufen verkürzt, auch der zeitliche Abstand zwischen verschieden weit entwickelten Standorten. Das läuft der Tendenz entgegen, daß sich bei günstiger Witterung der Abstand von verschiedenen Standorten – gemessen in Entwicklungsstufen – vergrößert. Wenn die phänologische Entwicklung durch einen Witterungsumschwung abgebremst wird, kann der Abstand der Zustandsstufen sozusagen eingefroren werden. Der zeitliche Abstand ist dann viel größer, als er bei anhaltend günstiger Witterung gewesen wäre. Um Interpretationsfehler zu vermeiden, werden alle Angaben zu Standortsunterschieden durch Angabe des zeitlichen Abstandes ergänzt. Die Relationen zwischen den Standorten verschieben sich in Abhängigkeit von der Witterung sowohl hinsichtlich ihres Abstandes in Entwicklungsstufen, als auch ihres zeitlichen Abstandes.

In der Abb. 6 wurden die Isolinien, soweit aus Beobachtungen und Relief schlüssig zu interpolieren, ausgezogen, wo ihr Verlauf unsicher erschien, gerissen bzw. ausgelassen. Das gilt besonders für die warme Hangzone, die an allen Hängen zu beobachten ist, deren Intensität aber schwankt. Die extremen Termine, an denen die Stufe 5 durchlaufen wurde, liegen zwischen dem 1. und 20. 6. (Hangstandorte am südwestlichen Hang des Norra Storfjäll und einige windexponierte Standorte an der Baumgrenze).

Der unmittelbare Uferstreifen des Västansjö und des Laisa zeichnet sich durch ziemlich große Einheitlichkeit in der Frühjahrsentwicklung aus. Alle Standorte im Seeniveau durchliefen die Phase 5 um den 8. 5. Diese Einheitlichkeit ist sicherlich der nivellierenden Wirkung der Wasserflächen zuzuschreiben. In versumpften Buchten oder ähnlichen Verlandungsstreifen buchtet die Isophane, verstärkt durch die Einflüsse der feuchten und kalten Böden, landeinwärts aus, während sie an felsigen Uferstreifen, die sich auf kurzer Entfernung gleich mehrere Meter über die Wasserfläche er-

heben, nur auf den wassernahen Bereich beschränkt bleibt. Nach oben tritt schnell eine Verfrühung ein. Sie ist auf der Übersichtskarte nicht darzustellen. Sie findet aber ihren Niederschlag in der bei jedem Hangprofil nachweisbaren Zone frühesten Phaseneintritts, die als phänologischer Ausdruck der warmen Hangzone anzusehen ist. Die warme Hangzone ist im wesentlichen eine Folge der sich nächtlich am Talboden sammelnden Kaltluft. Die Verzögerung der phänologischen Entwicklung unterhalb der warmen Hangzone ist eine Folge dieser nächtlichen Kaltluftansammlung, die das Wachstum hemmt. Im Untersuchungsgebiet werden die Verhältnisse durch die Seen kompliziert. Das Eis der regelmäßig zufrierenden Seen bricht erst gegen Ende Mai auf. 1975 verschwanden die letzten Eisreste nicht vor dem 10. 6., so daß das Seewasser als Kältespeicher angesehen werden muß, der der Umgebung Wärme entzieht. SCHREIBER stellte im Frühjahr 1963 nach einem strengen Winter am Neuenburger See (Schweiz) eine ähnliche Wirkung auf die seennahen Bereiche fest, in denen sich die phänologische Entwicklung verzögerte. Phänologisch wirkte sich dieser Einfluß auf die Frühjahrsentwicklung im Untersuchungsgebiet nur auf die unmittelbaren Uferstreifen und auf Landzungen aus. So zeigte die Landzunge im Västansjö nördlich des Batsevardo gegenüber dem Uferstreifen eine nochmalige Verspätung um zwei Tage. Ob das landwärtige Ausbuchen der Isophanen in Verlandungsbuchten ein Einfluß der nahen Wasserfläche ist oder eine Folge der ungünstigen Bodenverhältnisse, ist nicht eindeutig zu klären.

Eine spezielle phänologische Aufnahme der Uferbereiche brachte hinsichtlich der Uferexposition (S-, N-Ufer) nur so geringe Unterschiede, daß beim Smirnov-Kolmogorov-Test auf gemeinsame Gesamtheiten keine signifikanten Abweichungen festgestellt wurden. Bedeutender und auch signifikanter waren dagegen Unterschiede, die auf das ufernahe Kleinrelief und die damit sich wandelnden Bodenverhältnisse zurückgehen. Dazu werden die phänologischen Aufnahmen des 16. 6. 1975 von Standorten am Südufer des Västansjö und des Laisa zusammengestellt (s. S. 188).

Der Entwicklungszustand der Birken hängt also deutlich vom Uferabstand ab. Ebenfalls führt schon eine geringe Erhebung über das Seeniveau zu einer Verfrühung der Blatentwicklung, wobei allerdings die Windexposition modifizierend wirkt. Ganz offensichtlich sind die der Hauptwindrichtung (W- und NW-Wind) ausgesetzten Standorte gegenüber Leestandorten benachteiligt.

Der Bereich phänologischer Verspätung setzt sich Umetal aufwärts in einem von der Taltopographie abhängigen mehr oder minder breiten Streifen fort, der von der Isolinie des 8. 6. eingeschlossen wird. Dabei sind flußnahe Standorte die spätesten, ebenso die weite Teile des Talbodens einnehmenden Moore. Das gilt auch für Moore, die auf einem etwas höheren Niveau liegen. Als Ursache spielen sicherlich zwei Faktoren

Standort mit Kurzbeschreibung	phänolog. Zustand	Abstand in Tagen im Vergleich zum frühesten Standort
Zwei sehr exponierte Standorte auf Landzungen im Seeniveau, sandige Böden	7,1	6
Standort auf einem Landvorsprung im Bestand ca. 20–30 m Uferabstand, Seeniveau, sandiger Boden	8,1	4
Standort auf Verladungsstreifen, Standort in Verladungsbucht, Uferabstand jeweils 30–40 m, Seeniveau	8,4 8,6	4 3
Unmittelbarer Uferstreifen an felsigen Uferpartien, Seeniveau	8,3 8,6	4 3
Felsbuckel, ca. 5 m über Seeniveau, 10 m Uferabstand, W- bis NW-exponiert	8,9	3
10 m Uferabstand, SE-exponiert	9,8	1
Standorte ca. 5 m über Seeniveau, ca. 30 m Uferabstand, blockreicher Moränenboden:		
W-exponiert	9,2	2
im Bestand, E-exponiert	10,0	–

eine Rolle: die sich im Talgrund sammelnde Kaltluft und die bodenklimatische Ungunst der Moorstandorte. Welche Ursache dominiert, läßt sich nicht mit Sicherheit sagen. Daß die Kaltluft nur geringmächtig sein kann und daß günstige edaphische Voraussetzungen zu einer zunehmenden Verfrühung führen, zeigt sich am Rundhöcker- und Oszug in der Talmitte südlich Hemavan. Standorte auf diesem Rücken, die nur 20 m über dem Fluß liegen, entsprechen in ihrer phänologischen Entwicklung der warmen Hangzone. Die 4er-Isolinie umfährt einen Teil dieses Rückens. Am Eichprofil zeigt sich eine ähnliche Erscheinung. Auf einer Terrassenfläche, ebenfalls 15–20 m über dem Fluß, aufgebaut aus glimmerhaltigen Sanden, wird der phänologische Zustand 5 am 5. 6., also mit dreitägiger Verfrühung, erreicht. Ähnlich wie im Uferbereich des Västansjö und des Laisa differenziert sich die phänologische Entwicklung im mittleren Abschnitt des Untersuchungsgebietes nach edaphischen Faktoren, die die Temperaturwirkung kompensierend oder verstärkend überlagern können.

Im nördlich anschließenden Engtalbereich des Umeälvs verspätete sich die phänologische Entwicklung gegenüber den südlichen Abschnitten des Untersuchungsgebietes beträchtlich. In den flußnahen Bereichen öffneten sich die Blattknospen erst um den 14. 6., was gegenüber den entsprechenden Standorten weiter südlich eine Verzögerung von 5–6 Tagen bedeutete. Die ansteigende Meereshöhe – am nördlichen Engtalende

liegt die Talsohle 40–50 m höher als im mittleren Untersuchungsabschnitt – spielte dabei eine Rolle, wichtiger sind aber die ungünstigen Strahlungsverhältnisse und eine vermehrte Bildung von Kaltluft. Die Horizontüberhöhung führt zu einer viel stärkeren Abschirmung in den Morgen- und Abendstunden. Gleichzeitig sammelt sich die Kaltluft, die in den Nachtstunden von den Fjällen abfließt, auf einem engeren Raum und erreicht so eine größere vertikale Mächtigkeit. Außerdem war im Frühjahr 1975 in diesem Bereich der Kaltluftabfluß von den Fjällen viel größer, da der Osthang des Artfjäll bis weit in den Juni hinein mit Schnee bedeckt war, während das östliche Jofjäll bereits Ende Mai weitgehend schneefrei war.

Im folgenden sollen Beobachtungen und Ergebnisse zum vertikalen phänologischen Gradienten zusammengestellt werden. Der Umeälvs hat sich im Bereich der Engstrecke in die Eisstau-Sedimente eingeschnitten, die den Fluß terrassenartig begleiten. Auf den Terrassen setzte mit zunehmender Höhe phänologische Verfrühung ein. Verdeutlicht wird das am Profil Nr. 8. Die Entwicklungsstufe 5 wurde dort am

unteren Standort:

alte Uferwälle im Flußniveau,
sandiger Boden, 480 m

am 14. 6.

mittleren Standort:

Terrasse, sandiger Boden, 500 m

am 11. 6.

oberen Standort:

felsige Terrasse, geringmächtiger Boden,
550 m

am 9. 6.

durchlaufen.

Die Verfrühung mit zunehmender Höhe wird deutlich. Die Zone größter Verfrühung liegt um den oberen Standort, ca. 60–70 m über dem Flußniveau. Ergänzend seien dazu einige Aufnahmen an diesem Profil zusammengestellt. Die zeitliche Differenz in Tagen ist beigefügt.

Standort	3. 6.	Diff.	8. 6.	Diff.	21. 6.	Diff.	29. 6.	Diff.
unterer	2,4	5	3,4	3	8,8	–	10,8	–
mittlerer	2,6	4	3,8	2	8,9	–	10,5	2
oberer	3,2	–	4,5	–	8,8	–	10,5	2

Die Aufnahmen vom 3. und 8. 6. zeigten einen vertikalen phänologischen Gradienten, der auf die warme Hangzone hinweist. Witterungsabhängig ist sowohl die Differenz der phänologischen Stufenwerte, als auch der zeitliche Abstand in Tagen. Dem 3. ging eine Zeit mit geringen Temperatursummen voraus, so daß die phänologischen Unterschiede nicht so ausgeprägt waren wie am 8. Andererseits nahmen die Temperatursummen nach dem 8. wesentlich stärker zu als nach dem 3., so daß die Differenz auch in kürzerer Zeit aufgeholt werden konnte.

Bei den späteren Aufnahmen zeigte sich an diesem Profil ein völliger Ausgleich der phänologischen Unterschiede, ja sogar eine Umkehr, eine Erscheinung, die auch am Eichprofil auftrat. Allerdings ist nicht zu erwarten, daß die warme Hangzone zu dieser Zeit verschwunden sei. Das widerspräche Beobachtungen, die die warme Hangzone auch im Sommer, wenn auch in abgeschwächter Form, nachweisen konnten. Entscheidender ist wohl, daß der mittlere und der obere Standort unter Befall des Birkenspanners litten. Ganz offensichtlich wurde die Blattentwicklung durch die Fraßschäden gehemmt. (Dabei ist bis zu einem gewissen Grade ein subjektiver Beobachtungsfehler nicht auszuschließen.)

Am Eichprofil läßt sich das Datum des Phaseneintritts 5 genau bestimmen, da dort in der Regel alle zwei Tage Beobachtungen durchgeführt wurden. Das Datum ist im folgenden für die sieben Standorte des Eichprofils zusammengestellt worden, beigefügt sind einige Aufnahmen mit der zeitlichen Differenz.

Die frühe Aufnahme (31. 5.) fiel in eine Zeit geringen Wärmegewinns. Trotz vergleichsweise kleiner Differenzen zwischen Standort 3 und 7 betrug der zeitliche Abstand 20 Tage. Von diesen 20 Tagen brachte die Zeit bis zum 7. 6. am oberen Standort eine kaum sichtbare Entwicklung. Anfang Juni nahmen zwar die absoluten Differenzen zwischen den beiden Standorten zu, gleichzeitig folgte aber auf den 7. 6. eine insgesamt günstigere Witterungsentwicklung, so daß trotzdem die Aufholzeit verkürzt werden konnte. Zur Monatsmitte waren die Unterschiede so groß geworden, daß sich die Aufholzeit erneut verlängerte. Ähnliches gilt auch für die Unterschiede zwischen den übrigen Standorten. Der Standort 3 war sehr stark vom Birkenspanner befallen, so daß sich sein Zurückbleiben gegenüber Standort 1 daraus erklärt.

Der vertikale phänologische Gradient, der sich aus dem Unterschied der Standorte ergibt, ist demnach ebenfalls keine vorgegebene Größe. Zur Veranschaulichung sind einige Aufnahmen in Kurven umgesetzt worden (Abb. 7, vgl. dazu auch Abb. 4). Die Entwicklungsstufe 5 trat am günstigsten Standort am 4. 6. und am ungünstigsten am 20. 6. ein. Das ergibt einen zeitlichen Abstand von 16 Tagen. Sowohl vorher als auch danach war der zeitliche Abstand größer. Gemessen in phänologischen Zustandsstufen war der größte Wert des vertikalen Gradienten 6,4 Stufen.

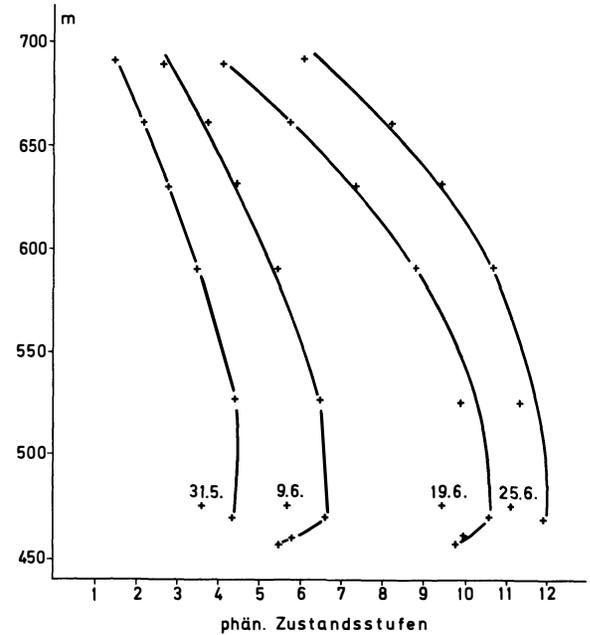


Abb. 7: Phänologischer Gradient am Eichprofil
Phenological gradient on the Eich Profile

Standort mit Beschreibung	Datum Phase 5	AufnahmeDiff. vom 31. 5.	7. 6.	Diff.	15. 6.	Diff.	
1: dichter Bestand auf Terrassenfläche, sandiger Boden, 470 m	5. 6.	4,4	3	5,7	—	9,0	—
2: lockerer Bestand am Rande eines Moores, 475 m	8. 6.	3,6	8	4,3	2	7,5	4
3: lockerer Bestand auf blockreichem Moränenboden, mäßig steil ostexponiert, 525 m	4. 6.	4,5	—	5,7	—	8,9	<1
4: dichter Bestand auf blockreichem Moränenboden, mäßig steil ostexponiert, 590 m	9. 6.	3,5	8	4,1	5	7,1	5
5: mäßig dichter Bestand auf blockreicher Moräne, schwach geneigt, ostexponiert, 630 m	12. 6.	2,8	10	3,5	8	6,0	8
6: Baumgruppen auf flachgründigem Boden über Felsbändern, mäßig steil NE-exponiert, 660 m	17. 6.	2,2	15	2,9	12	4,3	13
7: flach geneigter Osthang einer exponierten Kuppe, 690 m	20. 6.	1,6	20	1,9	16	3,5	19

Als Besonderheit ist im Profil der Standort 2 anzusehen. Bei ihm handelt es sich um einen Moorstandort, der ja allgemein eine verzögerte phänologische Entwicklung aufweist. Eine gleichmäßige Ausbildung der warmen Hangzone mit einer mehr oder minder gleichmäßigen Zunahme bis zu einer maximalen Verfrühung und einer darüber folgenden Verspätung ist nur dort zu erwarten, wo nicht edaphische Standortfaktoren die an Unterhängen zunehmende Lufttemperatur-klimatische Gunst kompensieren. Solche Moore auf terrassenähnlichen Hangverflachungen sind wie hier beim Eichprofil im Untersuchungsgebiet allenthalben zu finden. Damit dürfte die beschriebene vertikale Entwicklung keine Einmaligkeit gewesen sein. Auf der anderen Seite läßt sich der Normalfall einer der warmen Hangzonen gemäßen phänologischen Entwicklung überall nachweisen, wie auch aus Abb. 8 hervorgeht.

Sie zeigt den vertikalen Gradienten am Laxfjäll-Profil (Aufnahme vom 5. 6.), Batsevardo-Profil (14.

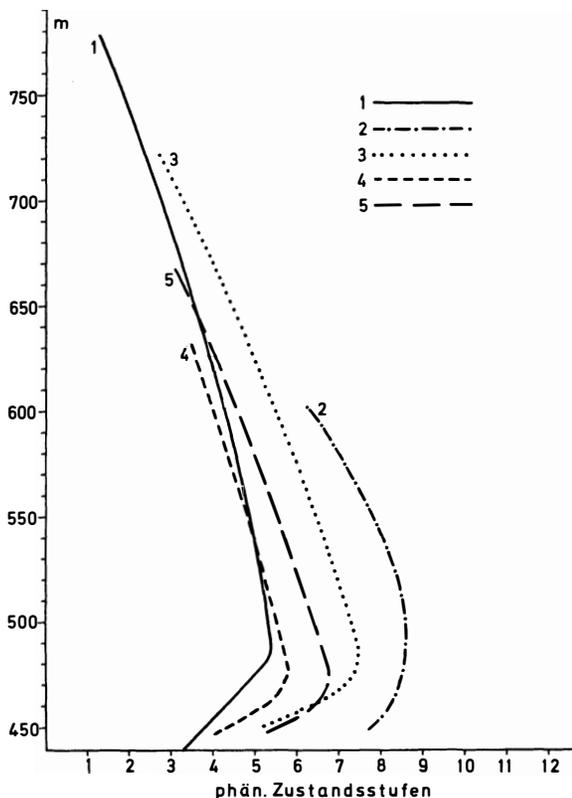


Abb. 8: Phänologische Hangprofile am Laxfjäll, Aufnahme vom 5. 6. (1), Batsevardo vom 14. 6. (2), und am Norra Storfjäll bei Krokfors vom 9. 6. (3), bei Laxnäs vom 4. 6. (4) und bei Solberg vom 10. 6. (5)

Phenological slope profiles at Laxfjäll, photographed on June 5th (1), at Batsevardo on June 14th (2), at Storfjäll near Krokfors on June 9th (3), near Laxnäs on June 4th (4) and near Solberg on June 10th (5)

6.), Krokfors-Profil (9. 6.), Laxnäs-Profil (4. 6.) und Solberg-Profil (10. 6.). Die Verfrühung der phänologischen Entwicklung kommt in allen Profilen deutlich zum Ausdruck. Die Zone zunehmender Verfrühung reicht bei ihnen mit Ausnahme des Laxfjäll-Profiles nicht über die unteren 50 m hinaus. Während sie sonst zwischen 10 und 50 m über der Talsohle liegt, liegt sie beim Laxfjäll-Profil 40–80 m über der Talsohle. Die Zone maximaler Verfrühung lag beim Klippen-Profil (Nr. 8) ebenfalls bei etwa 70 m über Talgrund. Es wäre allerdings verfrüht, hier reliefbedingte Parallelen mit dem Laxfjäll-Profil sehen zu wollen, auch wenn dort der Talgrund durch den Sattel zwischen Laxfjäll und Björkfjäll gegen den vorherrschenden W-NW-Wind geschützt wird und sich im Lee dementsprechend häufiger und ausgeprägter eine Kaltluftschicht bilden kann. Das höhere Hinaufgreifen dieser Zone am Laxfjällhang läßt sich möglicherweise damit erklären, daß gerade der angesprochene Hangbereich sehr steil ist und sich der dadurch größere Strahlungsgenuß in einer beschleunigten phänologischen Entwicklung bemerkbar macht.

Oberhalb der Zone maximaler Verfrühung bleibt die phänologische Entwicklung mehr oder weniger gleichmäßig zunehmend zurück. Von den hier angegebenen Kurven weichen Standorte auf steilen Hangpartien positiv, Standorte auf Hangverflachungen negativ ab. Zwei Faktoren spielen dabei eine Rolle: einmal ist bei einem geneigten Hang der Strahlungsgenuß des Pflanzen-Individuums größer, zum anderen sind diese Standorte in der Regel trockener und damit vom Boden her wärmer. Dazu seien als Beispiel die Aufnahmen am Laxfjäll vom 5. 6. angeführt:

Standort 1: Talsohle	440 m	3,3
2: schwach geneigt, S-exponiert	480 m	5,3
3: steil geneigt, S-exponiert	520 m	5,3
4: eben	570 m	4,2
5: steil geneigt, S-exponiert	575 m	4,9
6: steil geneigt, S-exponiert	610 m	4,6
7: schwach geneigt, S-exponiert	650 m	3,2
8: steil geneigt, S-exponiert	690 m	2,8
9: schwach geneigt, S-exponiert	740 m	1,9
10: steiler Südabfall eines Rundhöckers	765 m	2,0

Besonders wenn man die Standorte 4 und 5 oder 9 und 10 gegeneinanderstellt, wird der Einfluß der Hangneigung auf die phänologische Entwicklung deutlich. Oberhalb des Standortes 10 finden sich nur noch einzelne Birken und -gruppen an windgeschützten Standorten. Bei ihnen zeigte sich teilweise eine besondere phänologische Entwicklung, die für den Baumgrenzbereich charakteristisch war und weiter unten noch eingehender besprochen werden muß.

Aussagen zur Bedeutung der Exposition für die phänologische Entwicklung lassen sich aus den Profilen

nicht direkt entnehmen. Dazu muß auf die Isophanenkarte (Abb. 6) zurückgegriffen werden. Es zeigt sich, daß abgesehen vom nördlichen Teil des Untersuchungsgebietes bis auf Ausnahmen die Phase 5 an allen Hängen am oder vor dem 4. 6. eintrat. Dabei lagen die frühesten Standorte am Laxnäs-Profil (1. 6.). Die Standorte rund um den Seenkomplex aber waren nicht signifikant später. Sowohl an den flachen N-Hängen des Björkfjäll, dem SE-Hang des Jofjäll wie auch am SW-Hang des Norra Storfjäll wurde in vergleichbarer Lage die Stufe 5 am 2. 6. erreicht. Der bei diesen Expositionsunterschieden sicherlich vorhandene Unterschied im Strahlungsgenuß führte nicht zu signifikanten phänologischen Unterschieden. Erst am steilen NE-Hang des Barsevardo scheint die Strahlungssituation so ungünstig zu sein, daß eine deutliche Verzögerung in der Entwicklung eintrat: Im Bereich der warmen Hangzone wurde der phänologische Zustand 5 erst am 5. 6. erreicht. Ähnlich wird im Bereich des Profils Nr. 3 die 4er-Linie unterbrochen. Als frühestes Datum errechnet sich hier ebenfalls der 5. 6., obwohl die Gesamtsituation nach Exposition und Böden durchaus den frühen Standorten des Nordhanges entspricht. Noch deutlicher ist die Verspätung auf dem Sattel zwischen Laxfjäll und Björkfjäll. Der Höhenlage nach liegen die Standorte dort in der Zone maximaler Verfrühung. Trotzdem entsprachen sie in ihrem phänologischen Zustand in etwa den Standorten der Uferzone und zwar ungeachtet unterschiedlicher edaphischer Standortbedingungen wie Moorrandlage oder Lage an Rundhöckern. Erst am SE-Hang dieses Sattels war eine geringe Verfrühung festzustellen. Als Erklärung kann wohl nur die Windwirkung herangezogen werden, die zu einer deutlichen Abkühlung führt. Die im Frühjahr 1975 vorherrschenden Wetterlagen gingen mit sehr häufigen W- bis NW-Winden einher, die zwischen Lax- und Björkfjäll kanalisiert wurden. Erst im Lee (SE-Hang) machte sich die warme Hangzone durch die genannte geringfügige Verfrühung bemerkbar. Auch an den unteren Standorten des Profils Nr. 3 liegt eine ähnlich exponierte Situation vor, so daß die Verspätung im Bereich der warmen Hangzone dadurch verständlich wird.

Im nördlichen Teil des Untersuchungsgebietes verspätet sich die Phase 5 wie bei den Talstandorten so auch in der warmen Hangzone beträchtlich. Warum auch beim Profil 14 (Solberg-Profil) die warme Hangzone in ihrer phänologischen Entwicklung zurückbleibt, ist nicht eindeutig zu klären. Allerdings wird die Situation dadurch kompliziert, daß sich einerseits Fichtenbestände in den Birkenwald einschieben, andererseits Moore das Hangprofil unterbrechen.

Zusammenfassend muß noch einmal auf die geringe Höhenlage der warmen Hangzone bzw. deren phänologisches Äquivalent, die Zone maximaler Verfrühung, hingewiesen werden. Das ist überraschend, wenn man damit u. a. die Beobachtungen von BAUMGARTNER am Großen Falkenstein und von AULITZKY

aus dem Ötztal vergleicht, die eine wesentlich höhere Lage angeben. Sicherlich spielt bei den hier vorliegenden Beobachtungen die Topographie des Untersuchungsgebietes mit ihren breiten Talsohlen eine Rolle, in denen sich Kaltluft auf einer viel breiteren Fläche verteilen kann als z. B. in den tief eingeschnittenen alpinen Tälern. Möglicherweise war die tiefe Lage auch durch die beinahe durchgehend advektive Witterung des Frühjahrs 1975 bedingt. Nur dort, wo reliefbedingt eine größere Ansammlung von Kaltluft möglich war, wie im Engtalbereich des Umeälvs, lag diese Zone höher. Das Maß der phänologischen Verfrühung war unterschiedlich. Dabei schien sich die Strahlungsungunst nordexponierter Lagen erst bei steilen Hängen bemerkbar zu machen. Wichtiger waren edaphische Faktoren, die die Temperatur-klimatische Gunst kompensierten, wie am Eichprofil aufgezeigt wurde. Wichtig war aber auch die Windwirkung. Sehr stark windexponierte Standorte waren in ihrer phänologischen Entwicklung beeinträchtigt, soweit, daß die Ausbildung einer Zone phänologischer Verfrühung beinahe ganz unterdrückt wurde, wie es am Sattel zwischen Laxfjäll und Björkfjäll zu erkennen war. Das Maß der Verfrühung bzw. der phänologische Gradient war zudem witterungsabhängig, wie die Beobachtungen am Eichprofil nahelegen.

Oberhalb der warmen Hangzone verdient vor allem der Baumgrenzsaum besondere Beachtung. Dort löst sich der Waldbestand in einzelne Baumgruppen auf, die sich auf die günstigsten Standorte zurückziehen. Der Baumwuchs wird niedrig, wobei in windexponiertem Gelände Windschnur von ausschlaggebender Bedeutung ist. Oft ist für Bäume nur in unmittelbarer Nähe schützender Felsen Wachstum möglich, wie auf den Rundhöckern des Laisaliden-Rückens oder wie an der Baumgrenze auf dem Laxfjäll. Dabei sind die Pflanzen dem makroklimatischen Raum entzogen. Sie zeichnen in ihrem phänologischen Verhalten die mikroklimatischen Unterschiede nach, die sich in Abhängigkeit von Boden und der Exposition auf kleinem Raum ändern. Der Baum reagiert oft nicht in seiner Gesamtheit, sondern ast- oder sogar knospenweise. Es konnte wiederholt beobachtet werden, daß die bodennahen Teile in ihrer Entwicklung schon sehr weit gediehen waren, während die entfernteren Äste nur eine schwache Entwicklung zeigten. Unterschiede von mehr als 5 phänologischen Entwicklungsstufen waren keine Seltenheit, sie konnten bei Birken und Zwergbirken beobachtet werden. Extrem war diese Erscheinung ausgebildet, wenn Äste von Pflanzen über nacktem Fels lagen. Sobald aber Unterwuchs von Krähenbeere o. ä. vorhanden war, waren solche Unterschiede nur in eingeschränktem Maße zu erkennen. Die mikroklimatischen Verhältnisse überspielen dabei sogar die lokalklimatischen Bedingungen. So konnte festgestellt werden, daß die Zwergbirken an allen Standorten über der Baumgrenze, sofern sie nur windgeschützt waren und felsi-

gen Boden als Unterlage hatten, in etwa den gleichen Entwicklungszustand hatten, während gleichzeitig die Zwergbirken in den Tälern (moorige Standorte) zurücklagen. Die hierin zum Ausdruck kommende starke Abhängigkeit der phänologischen Entwicklung bodennaher Vegetation vom Mikroklima schränkt deren Verwertbarkeit für geländeklimatische Untersuchungen ein.

Literatur

- AULITZKY, H.: Lage und Ausmaß der „Warmen Hangzone“ in einem Quertal der Inneralpen. *Annalen d. Meteorologie* NF 3 (1967) 159–165.
- : Die Lufttemperaturverhältnisse einer zentralalpiner Hanglage. *Arch. Met. Geoph. Biokl. B* 16 (1968) 18–69.
- : Über spezielle Erfordernisse des Phänologischen Beobachtungsdienstes eines Gebirgslandes. *Wetter u. Leben* 20 (1968) 16–19.
- BAUMGARTNER, A.: Methodisches zur Darstellung des Witterungseinflusses auf den Verlauf der Pflanzenentwicklung; erläutert an den phänologischen Beobachtungen 1947 in Bad Kissingen. *Meteor. Rundschau* 3 (1950) 217–221.
- : Zur Phänologie von Laubbölgern und ihre Anwendung bei lokalklimatischen Untersuchungen. *Ber. dt. Wetterd. US-Zone* 42 (1952) 69–73.
- et al.: Forstlich-phänologische Beobachtungen und Experimente am Großen Falkenstein (Bayerischer Wald). *Forstwiss. Centralblatt* 75 (1956) 290–303.
- BERG, H.: Bedeutung und Grenzen der Phänologie für die Klimatologie. *Ber. dt. Wetterd. US-Zone* 42 (1952) 69–73.
- DICKEL, H.: Probleme phänologischer Methodik am Beispiel einer naturräumlichen Gliederung des Kreises Marburg/Lahn. *Marburger Geogr. Schriften* 31 (1966).
- ELLENBERG, H.: Naturgemäße Anbauplanung, Melioration und Landespflege. *Landwirtschaftliche Pflanzensoziologie* III. Stuttgart 1954.
- : Wuchsklimakarte von Süddeutschland 1:200 000. Stuttgart 1956.
- u. CH.: Wuchsklima-Gliederung von Hessen 1:200 000 auf pflanzenphänologischer Grundlage. Wiesbaden 1974.
- FRENZEL, B. u. FISCHER, H.: Beobachtungen zur Phänologie eines Alpentales. *Arch. Met. Geoph. Biokl. B* 8 (1960) 231–256.
- FRIEDEL, H.: Verlauf der alpinen Waldgrenze im Rahmen anliegender Gebirgsgelände. *Mitt. FBVA Mariabrunn* 75, Wien 1967, 81–172.
- FRIES, TH. C. E.: Ökologische und phänologische Beobachtungen bei Abisko in den Jahren 1917–1919. *Svenska växtsociologiska sällskapet's handlingar* V, Uppsala und Stockholm 1925.
- GEIGER, R.: Das Klima der bodennahen Luftschicht. 4. Aufl. Braunschweig 1961.
- GENSLER, G. A.: Der Begriff der Vegetationszeit. Diss. Zürich, Samedan und St. Moritz 1946.
- HÄMET-AHTI, L.: Zonation of the Mountain Birch Forest in Northernmost Fennoscandia. *Ann. Bot. Soc. „Vanamo“* 34, Helsinki 1963.
- HEIGEL, K.: Exposition und Höhenlage in ihrer Wirkung auf die Pflanzenentwicklung. *Meteor. Rundschau* 8 (1955) 146–148.
- KAEMPFERT, W.: Zur Phänometrie. *Wetter und Klima* 1 (1948) 40–52.
- KNOCH, K.: Die Geländeklimatologie, ein wichtiger Zweig der angewandten Klimatologie. *Ber. z. dt. Landeskunde* 7 (1949) 115–123.
- KOCH, H. G.: Die warme Hangzone. *Z. f. Meteor.* 15 (1961) 151–171.
- KREEB, K.: Phänologische Untersuchungen auf kleinem Raum. *Meteor. Rundschau* 7 (1954) 95–100 und 133–137.
- MORGEN, A.: Phänometrie des Flächenwachstums lebender Pflanzenblätter. *Wetter und Klima* 2 (1949) 1–15.
- PFAU, R.: Varianz- und korrelationsanalytische Untersuchungen an phänologischen Phasen im Naturraum 06 (Unterbayerisches Hügelland). *Meteor. Rundschau* 17 (1964) 113–122.
- SCHNELLE, F.: Methoden und Möglichkeiten einer phänologischen Klimatologie. *Ann. d. Meteor.* 4 (1951) 97–107.
- : Pflanzen-Phänologie. Leipzig 1955.
- : Abriß einer Methodik der Phänologie. *Mitt. Dt. Wetterdienst* 38 (1966).
- SCHREIBER, K.-F.: Pflanzenphänologische Auswirkungen des Extremwinters 1962/63 im Gebiet des westlichen Neuenburger Sees. *Ber. geobot. Inst. ETH, Stg. Rübel, Zürich* 35 (1964) 119–123.
- : Landschaftsökologische und standortkundliche Untersuchungen im nördlichen Waadtland als Grundlage für die Orts- und Regionalplanung. *Arb. d. Univ. Hohenheim* 45, Stuttgart 1969.
- SEYFERT, F.: Eintritt phänologischer Phasen und auslösende Wetterlagen. *Angew. Meteor.* 2 (1955) 183–190.
- UHLIG, S.: Die Phänologie als Hilfsmittel bei der klein-klimatologischen Geländeaufnahme. *Ber. dt. Wetterdienst US-Zone* 42 (1952) 238–243.
- : Phänologische Kreisbeschreibungen. *Mitt. Dt. Wetterdienst* 4 (1953).
- : Beispiel einer klein-klimatischen Geländeuntersuchung. *Z. f. Meteor.* 8 (1954) 66–75.
- VOIGTS, H.: Wärmestundensummen und phänologische Erscheinungen. *Arch. Met. Geoph. Biokl. B* 1 (1949).
- WEISCHET, W.: Die Geländeklimate der Niederrheinischen Bucht und ihrer Rahmenlandschaften. *Münchner Geogr. Hefte* 8 (1955).
- WITTERSTEIN, F.: Untersuchungen an der langen phänologischen Beobachtungsreihe von Geisenheim. *Ber. dt. Wetterdienst US-Zone* 42 (1952) 313–320.
- : Bedeutung und Aufgaben des Phänologischen Dienstes. *Mitt. Dt. Wetterdienst* 19 (1960).