

Herrn Ob. Reg. Rat Burckhardt  
mit dem besten Grüßen

K. Knoch

# Berichte

des

# Deutschen Wetterdienstes

**Nr. 85**  
(Band 12)

DK 551.584

## Die Landesklimaaufnahme Wesen und Methodik

von

**Karl Knoch**

mit 2 Abbildungen und 5 Tabellen im Text  
sowie 39 (meist farbigen) Tafeln im Anhang

Offenbach a. M. 1963  
Selbstverlag des Deutschen Wetterdienstes

Diese Untersuchung wurde mit Unterstützung  
der Deutschen Forschungsgemeinschaft  
durchgeführt (siehe Abschnitt 3)

## Inhalt

	Seite
Zusammenfassung .....	5
Abstract .....	5
Einleitung .....	5
1. Entwicklung des Gedankens .....	5
2. Sinn und Zweck einer Landesklimateaufnahme .....	7
3. Verwirklichung des Planes .....	9
4. Die Beziehung der Landesklimateaufnahme zu den bisherigen ge- lände meteorologischen und - klimatologischen Arbeiten .....	10
5. Lokal- und Mikrokimate in ihrer Beziehung zum Makrokimate ..	12
6. Der „Inhalt“ einer Landesklimateaufnahme .....	15
7. Die Wahl der Karte als Unterlage für die Geländearbeit .....	15
8. Fortbewegungsmittel im Gelände .....	15
9. Das für die Geländearbeit benötigte Gerät .....	16
10. Die Besonnung als grundlegender Faktor für die Herausbildung des Lokalkimates .....	16
11. Die Grundlagen des Besonnungsmessers nach A. M o r g e n ....	18
12. Beschreibung und Handhabung des Besonnungsmessers .....	18
13. Die Verteilung der Besonnungszahlen, erläutert an Modellformen	19
14. Die Verminderung der Besonnung durch Horizontbegrenzung ..	20
15. Die Besonnungskarten (Unterlagen und Auswahl des Geländes)	21
16. Die Besonnungskarten 1:25 000 (Inhalt) .....	21
17. Die Kartierung auf Flurkarten 1:2500 .....	24
18. Die Eignung der Karte 1 : 50 000 als Unterlage .....	26
19. Der Austausch als grundlegender Faktor bei der Herausbildung der örtlichen Kimate .....	26
20. Die Lüfterneuerung (Durchlüftung) in den Tälern .....	27
21. Der Einfluß der Bewachsung auf die Durchlüftung .....	30
22. Die Reliefenergie .....	30
23. Die Geländerauhigkeit .....	30
24. Windoffene Gebiete .....	31
25. Luftstrom und Gelände .....	32
26. Windwirkung auf Bäume .....	33
27. Der Wind als schädigender Faktor (Winderosion) .....	34
28. Die Reflexion der Strahlung am Boden (Albedo) .....	34
29. Der Temperaturfaktor in der Geländekimateologie .....	35
30. Die Gradtagzahlen .....	38
31. Luftfeuchtigkeit und örtliche Nebelbildung .....	39
32. Bewölkung und Niederschlag .....	39
33. Die Wirkung der Niederschläge auf den Boden (Wassererosion)	41
34. Das Bodenkimate, besonders Verdunstung und Bodenfeuchtigkeit	42
35. Die Phänologie als Hilfsmittel der Kimatebewertung .....	43
36. Die Lokalkimateologie bewaldeter Gebiete .....	46
37. Die Beeinflussung des Lokalkimates (Kimateverbesserung, Windschutz) .....	47
38. Die Überschwemmungsgebiete .....	47
39. Schneedecke und Schneeverwehungen .....	48

	Seite
40. Das bioklimatische Moment in der Geländeklimatologie .....	49
41. Das topographisch beeinflusste Schallklima .....	51
42. Das Gelände und die Ausbreitung elektromagnetischer Wellen (drahtlose Fernübertragung) .....	52
43. Das Makroklima in Form eines Klimagramms .....	52
44. Die Klimabewertung (Zusammenfassung der Grundlagen) .....	53
45. Die Karte der Bestrahlungsklassen mit Kennzeichnung örtlicher Klimatatsachen .....	57
46. Die lokalklimatischen Bewertungskarten und das Makroklima ..	57
47. Die Klimabewertung, verglichen mit den Ergebnissen der land- wirtschaftlichen Bodenschätzung .....	58
48. Schlußbetrachtungen .....	59
Literatur .....	60
Anlage: Tafel 1 — 39	

Anschrift des Verfassers:

Prof. Dr. K. Knoch, Offenbach a. M., Frankfurter Straße 103.

### Zusammenfassung

Die bereits seit 1949 vorgeschlagene Landesklimaaufnahme soll neben den bekannten geologischen und bodenkundlichen Landesaufnahmen die Mannigfaltigkeit der sich unter dem Einfluß der Topographie und anderer Faktoren entwickelnden örtlichen Klimate erfassen. Sinn und praktische Bedeutung einer solchen Kartierung werden erörtert. Die Methodik der am Südhang der Rhön in der weiteren Umgebung von Bad Kissingen und in einigen Abschnitten steilwandiger Täler der Fränkischen Schweiz durchgeführten Geländearbeiten wird ausführlich geschildert. Die Grundlage bildeten das Meßtischblatt 1 : 25 000 und die Flurkarte 1 : 2500. Mit Hilfe des Besonnungsmessers nach A. M o r g e n wurden Karten der maximalen solaren Bestrahlungsenergie entworfen. Ihre starken von der Exposition der Geländeform abhängigen Gegensätze werden durch Beispiele belegt. In einer Modellkarte wird auf Grund von Bestrahlungsklassen der Versuch einer Klimabewertung durchgeführt. Daneben wurden örtliche Klimata-tatsachen kartiert.

### Abstract

Climatic charting of the countries, already suggested in 1949, shall show the variety of local climates developing under the influence of topographical and other factors, in addition to the usual surveys prepared in the light of geology and soil science. Meaning and practical importance of such charting are discussed. The methodology is described in detail concerning the field works carried out in the Federal Republic of Germany, on the southern slope of the Rhoen in the farther surroundings of Bad Kissingen and in some precipitous valleys of the Franconia Mountains. The studies were based on the plane-table sheet scale 1 : 25 000 and the field map scale 1 : 2500. By means of a solarimeter type A. M o r g e n, charts of the maximum energy of solar radiation were drafted. Examples are given for the accentuated contrasts depending in each individual case of the exposure. The classification of radiation on a model chart is used to value the climate on a tentative basis. Furthermore local climatological findings were entered in the maps.

### Einleitung

Wer in der Landschaft arbeiten will, muß den Raum kennen, in dem er sich betätigt. Ungeheuer groß ist der Kreis der Wissenschaftler und Praktiker, der daran beteiligt ist.

Beim Praktiker liegt die Notwendigkeit von der Kenntnis des Landschaftsraumes als seines Tätigkeitsfeldes ohne weiteres offen zu Tage. Hier sind zu nennen: der Landwirt, der Gärtner, der Forstmann, der Planer und Erbauer der Städte, der Siedlungen und Industrieanlagen, der Landschaftsgestalter mit seinen weitgespannten Arbeitsaufgaben (1).

Die allgemein bekannten, seit vielen Jahrzehnten bereits durchgeführten geologischen und bodenkundlichen Landesaufnahmen sollen der Kenntnis des Landschaftsraumes dienen, und ihre Notwendigkeit ist unbestritten. Es liegt nun nahe, einen Schritt weiter zu gehen und den Raum zu studieren und entsprechend zu bewerten und zu kartieren, der dem Erdboden unmittelbar aufliegt. Es ist jener Luftraum, dem eine besonders hohe Bedeutung zukommt, da sich in ihm normaler-

weise das Leben des Menschen, der Tier- und Pflanzenwelt abspielt, wobei es in seinen mannigfachen Erscheinungsformen grundlegend von den wechselnden Eigenschaften und den Bewegungsvorgängen in der bodennahen Luftschicht bedingt ist. Wir fassen letztere in dem Begriff Klima zusammen — ein Wort, das in seiner Urform nachweisbar bereits etwa 400 Jahre v. Chr. angewandt wurde und heute in einem immer mehr zunehmenden Anwendungsbereich gebraucht wird. Die Kartierung der Klimaeigenschaften in ihrem weitesten Sinne bezeichnen wir als L a n d e s k l i m a a u f n a h m e. Die Entwicklung einer geeigneten Arbeitsmethodik und Vorschlag von Bewertungsskalen ist der Hauptzweck des vorliegenden Berichtes.\*)

### 1. Entwicklung des Gedankens

Wie es meist bei einem neuen Problem ist, ist der Gedanke einer Klimakartierung aus ganz kleinen An-

\*) Das Manuskript war bereits im Juni 1957 abgeschlossen. Da die Drucklegung sich verzögerte, wurde eine Überarbeitung notwendig, die erst Ende Juli 1962 beendet werden konnte. Kurzfassungen der Methodik ohne Diagramme und Karten erschienen bereits in (2) und (3).

fängen heraus entstanden. Als der Verfasser im Mai 1930 von der Gründungsversammlung der Niedersächsisch--Westfälischen Studiengesellschaft für Balneologie in Bad Pyrmont — eine Gesellschaft, die in diesem Umfang später nicht zum Arbeiten gekommen ist — nach Berlin zurückreiste, machte er sich im Eisenbahnabteil die ersten Aufzeichnungen über den Plan einer genauen Aufnahme der Lokalklimate in der Nähe jener Kurorte, die das Klima in den Kreis ihrer natürlichen Heilmittel einbeziehen und therapeutisch verwerten. Die dabei entstehende Geländeklimakarte sollte vor allem die klimatisch ungünstigen Geländeteile festlegen, die bei einem Teil der Kurgäste leicht Veranlassung zu einer allgemeinen ungünstigen Beurteilung des Gesamtklimas des betreffenden Ortes geben. Im Gegensatz dazu versteht es der noch mit der Natur verbundene Mensch sehr wohl, die überall sich bietenden günstigen Mikroklimata, sei es am windigen Strand oder in dem Hochgebirge mit seinen an und für sich niedrigen Temperaturen auszunutzen. Es kommt zu einer „rationalen Klimasuche“, wie W. Hellpach in seiner „Geopsyche“ diese Reaktionsfähigkeit des Menschen auf die feinen Klimaunterschiede im Gelände treffend bezeichnet hat.

Die immer mehr anwachsenden dienstlichen Verpflichtungen ließen es aber nicht zu, den Gedanken einer Kurortklimakarte in die Tat umzusetzen, obwohl er unter dem Einfluß der aus der Praxis kommenden Forderungen nicht in Vergessenheit geriet. Erst 1942, also 12 Jahre später, wurde er wieder aufgegriffen, dabei aber in einen bedeutend größeren Rahmen hineingestellt, nachdem die Notwendigkeit der beiden allerdings nur scheinbaren Kontraste in der regionalen Klimaforschung immer klarer erkannt wurde. Auf der einen Seite steht die Weltklimatologie (Globalklimatologie), die nach der Überwindung der früheren meist an den Landesgrenzen haltmachenden „Kirchturmpolitik“ sich immer mehr vorrängte. Die Forderung nach dem Ausbau einer Weltklimatologie wurde damals in folgenden Sätzen formuliert, die auch heute noch ihre Bedeutung haben, und wenn auch nicht streng zum jetzigen Thema gehörend, doch hier angeführt werden sollen (4):

„Aus der sich über fast vier Jahrzehnte erstreckenden Arbeit im Dienste der Klimakunde ziehe ich den Schluß, daß die Zeit vorbei ist, in der sich ein Meteorologisches Institut nur mit dem Klima seines engeren politischen Gebietes beschäftigen konnte, sondern es muß heute darüber hinaus über das Klima des ganzen Erdballes Auskunft geben können. Ich denke dabei nicht nur an eine Auskunft, die sich durch einen flüchtigen Blick in die bekannten Handbücher der Klimatologie die notwendigen, meist recht ungenügenden Unterlagen verschafft, sondern die Auskunft mußte sich auf sorgfältiges Studium aller nur erreichbaren Originalquellen stützen können. Da dieses nur durch langwierige Arbeiten erreicht werden kann, muß es zu den Aufgaben eines Zentralinstituts gehören, Klimamaterial in sofort verwendbarer übersichtlicher Form (Karten, Tabellen und textlicher Darstellung) aus der ganzen Welt bereitzuhalten. Selbstverständlich sind Verteilungskarten der meteorologischen Elemente, die auf eine Idealfläche, z. B. Meeressniveau, bezogen werden, nicht mehr am Platze. Darzustellen ist vielmehr die wirkliche Verteilung der Elemente, so wie sie sich unter dem Einfluß der klimatischen Faktoren der geographischen Breite, der Orographie, der Lage im Bereich der großen Windgürtel der Erde, der Lage zu den großen Wasserflächen und der ungleichen Verteilung von Land und Wasser entwickeln. Die bisher gebrauchte Darstellungsmethodik muß besonders in der Richtung ausgebaut werden, daß das Zusammenwirken einzelner Elemente klar erkannt wird. Der immer noch in der Klimatologie gesuchte komplexe Begriff, der das Klima

wirklich als den Akkord der verschiedenen Elemente erkennen läßt, wird vielleicht auch noch bei diesen Arbeiten gefunden.

Der Klimatologe darf sich nicht nur mit den Zahlenwerten der Beobachtungsstellen der amtlichen Netze begnügen, Sie ergeben zwar unbedingt notwendige Zahlenunterlagen, die für die Vergleichung mit anderen Erdstellen unerlässlich sind und vorläufig durch nichts Besseres ersetzt werden können. Aber wir wissen, wie eindrucksvoll das Klima jedem Lande seine Züge im Pflanzenkleid, in der Orographie, in der Hydrographie, in der Besiedlung, in der Landwirtschaft, in der Kultur und in allen Lebensformen der Bewohner aufdrückt. All dies muß der Klimatologe mitbeherrschen. Dann ist er in der Lage, seinen Zahlen die lebendige Bedeutung zu geben.“

Bei der Wichtigkeit des Problems ist es verständlich, daß die Weltorganisation für Meteorologie sich auch der weltweiten Klimatologie angenommen hat. Auf der 7. Sitzung des Exekutiv-Ausschusses in Genf im Mai 1955 hat dieses Gremium beschlossen, alles zu tun, um die Bearbeitung eines Welt-Klimaatlas zu ermöglichen. Eine Arbeitsgruppe wurde mit der vorbereitenden Arbeit beauftragt unter Hinweis auf die Richtlinien, die der damalige Präsident der Internationalen Klimatologischen Kommission, C. W. Thornthwaite, ausgearbeitet hatte (38). Diese Kommission hat sich dann auf ihrer 2. Sitzung in Washington im Januar 1957 und auf ihrer 3. Sitzung in London im Dezember 1960 mit der nicht leichten Verwirklichung dieses Planes beschäftigt.

Eine Weltklimatologie hängt aber sozusagen im leeren Raum, wenn die Bausteine, aus denen sie sich zusammensetzt und die ihre Grundlage und das Hauptgerüst abgeben, nicht vorher bearbeitet worden sind. Deshalb forderte ich an zweiter Stelle den weiteren systematischen Ausbau der Heimatklimakunde. Sie ist die Klimatologie eines ganz engbegrenzten Erdraumes, so etwa wie in den Schulen die Kinder im Erdkundeunterricht zuerst mit dem Bild der Heimat, in der sie aufwachsen, vertraut gemacht werden.

Eine Landesklimateaufnahme ist ein wesentlicher Teil der Heimatklimakunde, ja vielleicht der Hauptteil, die Grundlage und hat vor allem den großen Vorteil, daß sie nicht trennt, sondern verbindet und auf gleiche Methodik gegründete Vergleiche ermöglicht.

Die Grundlage einer Heimatklimakunde sah ich damals noch in stärker detaillierten Klimakarten, zu denen ein besonders dichtes Beobachtungsnetz mit dem bekannten Arbeitsprogramm und das Netz der phänologischen Stationen die erforderlichen klimatischen Tatsachen liefern sollten. Aber neben dieser noch am Schreibtisch durchzuführenden Arbeit forderte ich, daß der Klimatologe ins Gelände geht und die einzelnen Lagen bezüglich ihrer Klimateigentümlichkeiten beurteilt.\* Dabei wurde eine rohe Klassifizierung nach fünf Stufen für möglich gehalten: 1) normale Lagen, die dem Makroklima der betreffenden Gegend entsprechen, 2) günstige Lagen, 3) besonders günstige Lagen, 4) ungünstige Lagen und schließlich 5) ganz ungünstige Lagen. Zur Erprobung einer solchen Klimabewertungsskala in der Praxis kam es damals aber noch nicht. Der zweite Weltkrieg, der in seinen letzten Jahren dem Wissenschaftler in Deutschland immer weniger Zeit für eine eigentliche wissenschaftliche Arbeit ließ und ihn an seinem Ende buchstäblich dem Nichts gegenüberstellte, war kein Boden für die Durchführung solcher Aufgaben. Es mußten erst nochmals

\* Im Jahre 1953 hat dann C. W. Thornthwaite in seiner viel beachteten Rede gelegentlich der 1. Sitzung der neugeschaffenen Internationalen Klimatologischen Kommission in Washington ebenfalls die Notwendigkeit betont, im Gelände zu arbeiten (5).

fast 10 Jahre vergehen, bis im Jahre 1951 in der Zeitschrift für Meteorologie das Wesen einer Landesklimaaufnahme nun in erweiterter Form behandelt werden konnte (6, 7).

## 2. Sinn und Zweck einer Landesklimaaufnahme

Bei den schon erwähnten geologischen und bodenkundlichen Landesaufnahmen tritt die praktische Bedeutung und damit ihre Notwendigkeit klar hervor. Da der Boden zu den Grundlagen der Besiedlungsmöglichkeit sowie des Anbaus der Feldfrüchte und so der Erhaltung der Bevölkerung dient, ist es verständlich, daß der praktische Forscher sich immer intensiv mit ihm beschäftigt hat. Aber der Erdboden ist nur eine der Grundlagen. Bei allen Planungen, die die Ausnutzung eines gegebenen Erdraumes für die menschliche Besiedlung zum Ziele haben, müssen stets die dauernden Gegebenheiten des Raumes berücksichtigt werden. Nur sie bestimmen die in ihm ruhenden Möglichkeiten auf lange Sicht und sind daher auch verantwortlich für das voraussichtliche Schicksal des Menschen, der diesen Raum für seine Existenz auszunutzen gedenkt. Mit dem Raum, den wir auch Landschaft nennen können, ist nun das Klima untrennbar verbunden, wie bereits einleitend hervorgehoben wurde.

Zu dem Ausdruck „Landesklimaaufnahme“ könnten von seiten der strengen Systematiker Bedenken angemeldet werden. Vielleicht machen sie den Vorschlag, das Wort „Land“ durch „Landschaft“ zu ersetzen, also durch jenen Begriff, der soeben mit dem Raumbegriff gleichgesetzt wurde. Dieser Vorschlag mag nicht unbedeutend sein. Der schon gebrauchte Ausdruck „Geländeklimaaufnahme“ ist m. E. den Kartierungen kleinerer Räume vorbehalten. Aber schließlich ist die ganze Frage der Namensgebung nicht so wichtig.\*) Wichtig ist nur, daß das, was ich als Arbeitsproblem im Sinne habe, auch wirklich ausgeführt wird, wie es mit der „geologischen Landesaufnahme“ geschah. An diese gut eingeführte Bezeichnung habe ich mich — vielleicht unbewußt — angelehnt. Das Wort „Land“ wird im deutschen Sprachgebrauch nicht immer in einheitlichem Sinne verwendet. Stellen wir Gegensätze wie „Land und Meer“ oder „Stadt und Land“ gegenüber, so ist damit etwas wesentlich anderes gemeint als der politische Begriff „Land“. An den reinen politischen Begriff denken wir aber bei einer klimatischen Landesaufnahme nicht. Diese kann sich zwar an politische Grenzen halten, notwendig ist dies aber durchaus nicht. Notwendig ist nur, daß es sich um einen Großraum handelt. Hierzu sei verwiesen auf die scharfsinnigen Ausführungen von C. Troll (10) über die geographische Landschaft und ihre Erforschung.

Ganz auf den Begriff „Landschaft“ abgestellt ist eine achtstufige Skala der landschaftlichen und naturräumlichen Größen- und Rangordnung, die K. H. P f a f f e n (11) entwickelt hat und die auch der Vollständigkeit wegen hier erwähnt sein soll. Von kleinen zu großen Räumen ansteigend werden unterschieden: Kleinlandschaft, Großlandschaft, Landschaftsgruppe, Landschaftsregion, Landschaftszone, Landschaftsgürtel. Als Beispiele für die letzten 3 Stufen werden genannt: Niederdeutsches Tiefland, Mitteleuropa, gemäßigter Mittelgürtel. Es ist Sache der Geographie, ob sie sich zu dieser Einteilung bekennen wird. Wichtiger ist die später gelegentlich der Behandlung der eigentlichen Methodik einer Landesklimaaufnahme noch zu erörternde Frage, wie weit die Kartierung die einzelnen Elemente der Landschaft zu erfassen hat.

In der Abhandlung über das Wesen der Landesklimaaufnahme (7) wurde bereits gesagt, daß ihr eigentlicher

Sinn in einer gewissen Fortsetzung der bisherigen Klimakarten liegt, unter Verwendung eines möglichst großen Kartenmaßstabes. Bekanntlich stützen sich die bisherigen Klimakarten nur auf die Ergebnisse der klimatischen Beobachtungsnetze. Dabei sind der Herausarbeitung von Details, die der Wirklichkeit möglichst nahe kommen sollten, durch die mehr oder weniger große Dichte und durch die meist ungleichmäßige Verteilung der Beobachtungsstationen erhebliche Grenzen gesetzt. Bei dem Netz der Stationen höherer Ordnung, an denen z. B. so wichtige Elemente wie Temperatur und Feuchtigkeit beobachtet werden, ist es bei der üblichen Dichte der Meßstellen schon schwer, über den Kartenmaßstab 1:1 Mill. hinauszugehen. Bei der Darstellung der Niederschlagsverteilung läßt die bedeutend größere Zahl der Stationen zwar einen Maßstab 1:200 000 zu, aber der persönlichen Auffassung des Bearbeiters ist dabei doch ein erheblicher Spielraum gelassen, und unterschiedliche Darstellungen im Verlauf der Isohyeten, die für praktische Zwecke nicht mehr zulässig sind, können die Folge sein.

Über diese allgemein bekannten Klimakarten, die im Rahmen der in ihnen steckenden Möglichkeiten hervorragende Dienste leisteten und uns die Verteilung der Klimaunterschiede über großen Räumen bis zum Ausmaß des ganzen Erdballes überhaupt erst nahebrachten und grundlegende Lehr- und Forschungsmittel abgaben, will die Landesklimaaufnahme weit hinaus. Sie will vor allem die mit Recht so häufig ausgesprochenen Forderungen nach einer Klimakarte befriedigen, in der die klimatischen Gegensätze und Unterschiede zu erkennen sind, wie sie durch die wechselnde Form des Geländes und die verschiedene Exposition seiner Teile zur Sonneneinstrahlung entstehen. Das Geländeklima steht zwischen Mikro- und Makroklima und wird hier auch als Lokalklima bezeichnet. Die Grenzen sind nicht scharf. W. B o e r (12) hat gegenüber den von anderer Seite vertretenen Auffassungen den Begriff „Lokalklima“ verteidigt, schlägt aber im Hinblick auf diese Schwierigkeit seiner Begrenzung vor, von einem „lokal-klimatischen Bereich“ zu sprechen.

Mit einem Netz fester Beobachtungsstationen ist das Ziel der Landesklimaaufnahme der Kosten wegen nicht zu erreichen, und ein derartig dichtes Netz ist auch gar nicht notwendig. Notwendig ist aber, daß eine ganz andere Arbeitsmethodik angewandt wird, nämlich die schon kurz erwähnte Arbeit im Gelände selbst, wie sie bereits dem Geologen, Bodenkundler und Botaniker ganz geläufig ist. Ich habe den Träger einer derartigen Arbeit vor mehr als 10 Jahren als „Geländeklimatologen“ bezeichnet, ein Ausdruck, der überaus schnell Eingang in die Fachsprache gefunden hat.

An den Geländeklimatologen sind besondere Anforderungen zu stellen. Daß er körperliche Strapazen ertragen kann, daß er gewissermaßen „geländegängig“ sein muß, darf als erste Voraussetzung gelten. Ein geschultes Auge, das feine Unterschiede im Bodenrelief, in der Bewachsung des Geländes aller Art zu erkennen mag, gehört neben der Sicherheit im Gebrauch des erforderlichen Meßgerätes mit dazu. Fachlich muß er vertraut sein mit den Erkenntnissen, die in den überaus zahlreichen Arbeiten der Gelände- und Mikroklimatologie vorliegen; denn er muß imstande sein, sie bei jeder Geländeform anzuwenden. Auf diese Weise wird sich schließlich ein Sinn für das „Klimatologische Sehen“ ausbilden. Wenn dieser Sinn da ist, dann ist der Geländeklimatologe perfekt, und seine Arbeit im Gelände wird schnell vonstatten gehen. Es wird sicher dahinkommen, daß die Klimaarbeit im Gelände nach einer bestimmten Methodik durchgeführt wird, und in ihr muß der Geländeklimatologe ausgebildet sein. Dies setzt voraus, daß diese Methodik lehrbar ist und der persönlichen Auffassung wenig Spielraum läßt, denn die Arbeitsergebnisse verschiedener Mitarbeiter müs-

\*) Zur Frage der „Nomenklatur“ siehe auch die Ausführungen im Rahmen der Schlußbetrachtungen im Abschnitt 48.

sen übereinstimmen, damit die Kartierungsbezirke einwandfrei aneinander anschließen und keine Sprünge an den Nahtstellen der Arbeitskarten verschiedener Mitarbeiter entstehen.

Einleitend wurden bereits die Kreise der Praxis aufgeführt, die an einer Landesklimateaufnahme als einem Beitrag zur Erforschung ihres Betätigungsprogrammes interessiert sind. Aus dieser praktischen Bedeutung heraus sind im letzten Jahrzehnt eine Menge Arbeiten entstanden, die durch Klimateaufnahmen begrenzter Gebiete die Voraussetzungen für die Beratung der Landwirtschaft schaffen wollen. Die Jahresberichte des Deutschen Wetterdienstes (13) geben regelmäßig darüber erschöpfende Auskunft, in welcher Richtung sich die Arbeiten seiner Agrarmeteorologischen Forschungsstellen bewegt haben.

Eine schöne Zusammenfassung gibt auch der Bericht über die Agrarmeteorologen-Tagung in Frankfurt am Main vom 14. bis 17. März 1955, auf der J. van Eimern ein hier besonders interessierendes Referat „Zur Methodik der Geländeklimateaufnahme“ hielt (14).

Diese Untersuchungen verfolgen den Zweck, im Gelände die klimatischen Bedingungen zu erkunden, die ein gutes Gedeihen der Pflanze und damit einen hohen Ertragswert garantieren. Alle Sparten der Landwirtschaft, wie Getreide-, Futtermittel- und Gemüseanbau sind daran interessiert. Bei empfindlichen Kulturen wie Weinbau, in den gärtnerischen Betrieben und im Obstbau können die Grenzen ihrer Existenzmöglichkeit durch Geländeklimateaufnahmen grundsätzlich festgelegt werden. Zur Kleinklimakartierung im Weinbau hat H. W e g e r (55) besondere Erfahrungen gesammelt.

Bezüglich der Forstwirtschaft kann ich mich auf die Ausführungen stützen, die H. G o t h e (15) als Fachmann über die Notwendigkeit forstlicher Klimateaufnahmen gemacht hat. Da der standortbedingte Waldbau sich heute vornehmlich nach den klimatischen und edaphischen Gegebenheiten der Kleinstandorte richtet, kann die Erkundung forstlicher Standorte ihrer nicht entbehren. Diese Standorte setzen sich aus einer natürlichen und wirtschaftlichen Komponente zusammen, die untrennbar miteinander gekoppelt sind, von denen in unserer Betrachtung nur der natürliche Standort interessiert. Unter der Vielzahl von Faktoren, die ihn zusammensetzen, wie Lage, Grundgestein, Klima, Boden und Geländeform, wirkt sich häufig der Faktor Geländeausformung auf dem Weg über das Lokal- und Mikroklima aus, so daß in der forstlichen Literatur schon von „atmosphärischen Standortfaktoren“ (Gayer) gesprochen wurde. H. G o t h e stellt daher als Aufgabe hin, die forstlichen Standortaufnahmen durch systematische Erhebungen über das örtliche Klima zu ergänzen, wobei er eine Möglichkeit in der von K. K n o c h vorgeschlagenen Landesklimateaufnahme sieht.

Selbstverständlich muß sie auf die speziellen Bedürfnisse der forstlichen Verhältnisse angepaßt sein, und es ist recht interessant zu erfahren, welche Forderungen die Forstwirtschaft in dieser Hinsicht stellt. Sie muß die klimatischen Verhältnisse der von ihr zu bewirtschaftenden Standorte sowohl im unbestockten als auch nach Möglichkeit im bestockten Zustand kennen. Dabei kommt der Festlegung der klimaextremen Standortlagen besondere Bedeutung zu; denn die Klimaextreme wirken sich im Wachstum der Waldbäume stark aus, engen die Grenzen des Wachstums oft merkbar ein und bestimmen im hohem Maße sowohl die Wahl der Holzarten als auch der Mittel für ihre Gründung und Behandlung. Die Grundlage einer forstlichen Klimateaufnahme muß daher die Festlegung von Sonnen- und Schattenlagen, Naß- und Dürrelagen, Frostlagen, Windlagen, Nebellagen, Taulagen, Erosionslagen usw. sein, wobei alle orographischen Gegebenheiten wie Tal, Hang, Gipfel und Ebene zu berücksichtigen sind. Auch den kli-

matischen Besonderheiten, die durch die Bestockung selbst und die Waldbehandlung entstehen, ist Aufmerksamkeit zu schenken. Hierzu gehört das Klima des Waldrandes, der Bestandslücke, der Lichtung, der Schneise usw. Als Nebenprodukt ergeben sich Erkenntnisse über insektengefährdete, pilzbedrohte Standorte, auch über Orte mit besonders hoher Anfälligkeit gegenüber anderen Schäden. Mit Rücksicht auf das Keimen, An- und Aufwachsen der Waldbäume interessiert sich der Forstmann besonders auch für das Klima der bodennahen Luftschicht und schließlich für das Klima im Bestand, weil unter seinem Einfluß das Tier- und Pflanzenleben sich entwickelt und seine Eigenart erhält.

Dies sind alles Forderungen, denen der Meteorologe sich schon zugewandt hat, aber es ist im allgemeinen nur bei Einzeluntersuchungen geblieben. Sie müssen jetzt in einer vergleichenden Klimateaufnahme in bei weitem größeren Rahmen zusammengefaßt werden.

H. G o t h e hat im Anschluß an diese Forschungen darauf hingewiesen, daß durch regelmäßige phänologische Beobachtungen, die sich mit den Revierringängen verknüpfen lassen, bereits vorbereitende Arbeiten durch den Forstmann getan werden können. Die Klimateaufnahme selbst setzt dann eine genaue Geländeaufnahme mit Relief voraus. Ständige Waldstationen und dazwischen Meßgänge und Meßfahrten mit einem Spezialinstrumentarium, sollen zahlenmäßige Unterlagen liefern und ermöglichen den klimatischen Anschluß an die Klimastationen des amtlichen Netzes. Das Endergebnis der forstlichen Aufnahme ist eine Klimakarte, die auf einer Reliefdarstellung die klimatische Eigenart der betreffenden Standortlagen gut erkennen läßt. Eine periodische Wiederholung der Standortaufnahmen, etwa im zehnjährigen Turnus, wird empfohlen, da erst dadurch Einblicke in die wesentlichen dynamischen Vorgänge der eigengesetzlichen Standortentwicklung gewonnen und die Reaktionen gegenüber bestimmten von außen auf den Standort und seine Bestockung stoßenden Einflüssen erkannt werden. So weit die Stellungnahme eines Forstmannes zur Notwendigkeit einer forstlichen Klimateaufnahme und die Wünsche, die daran geknüpft werden.

In dem sehr reichhaltigen Schrifttum, das besonders nach dem zweiten Weltkriege zu den Begriffen Landesplanung und Landschaftspflege entstanden ist, wurde bereits allgemein anerkannt, daß eine Aufnahme der örtlichen klimatischen Gegebenheiten neben anderen Tatsachen eine Notwendigkeit ist, weil sie für die planerischen und pflegerischen Arbeiten grundlegendes Material liefern kann.

Die fortschreitende Technisierung hat überall, wohin wir auch blicken mögen, Disharmonien zwischen Mensch und Natur geschaffen. Die Naturlandschaft, in der sich alles im Wechselspiel der Kräfte in einem ausgeglichenen Zustand, in einer Harmonie, befindet, ist nicht mehr vorhanden. Das biologische Gleichgewicht ist gestört. Die Landschaft ist krank geworden. Daß ihr Gleichgewicht wieder hergestellt werden muß, ist von einsichtigen Wissenschaftlern und Praktikern schon lange erkannt. Aber dieser Aufbauprozess kostet sehr viel Geld, denn nun sind zahlreiche Behörden an der Arbeit, die Schäden zu überwachen, zu beseitigen oder mindestens in ihren Wirkungen abzuschwächen. Die Landesklimateaufnahme wird vom klimatischen Standpunkt aus Klarheit über die gegebenen Möglichkeiten schaffen und zeigen, welche Voraussetzungen gegeben sind, diese Möglichkeiten zur Entfaltung zu bringen. Mit Recht wird als Zweck einer vernünftigen Landesplanung die optimale Nutzung des Bodens angesehen. Ihr muß eine Landespflege vorausgehen, die den Rahmen für die Kulturmaßnahmen zu bestimmen hat, die nur einem Zweck dienen können, nämlich der Erhaltung und — wenn möglich — der Förderung der natürlichen Fruchtbarkeit

des Landes. Erreicht wird dies durch die Sicherung des Wasserkreislaufes und eines möglichst ausgeglichenen Lokalklimas. Daß hierfür die Ergebnisse einer Landesklimateaufnahme von ausschlaggebendem Nutzen und daher nicht zu vernachlässigen sind, liegt auf der Hand. Ein Gesetz zur Landespflege ist zur Zeit in Vorbereitung. Die Berücksichtigung der klimatischen Gegebenheiten wird sicher in ihm die verdiente gesetzliche Fundierung finden.

Um Fehler zu vermeiden, die leider in der Vergangenheit in erheblichen Maße vorgekommen sind, wäre die Einholung von klimatischen Gutachten der zuständigen Wetterdienststellen beispielsweise in folgenden Fällen zur Pflicht zu machen :

- 1) bei neuen Siedlungsplänen einschließlich der Anlage von geschlossenen Ortschaften,
- 2) bei der Anlage von einzeln stehenden Gebäuden und Heimstätten, die der Volksgesundheit dienen sollen,
- 3) bei baulichen Unternehmungen, die den natürlichen Wassergehalt des Bodens und den Grundwasserstand verändern können (Gutachten in Zusammenarbeit mit den wasserwirtschaftlichen Behörden),
- 4) bei groß angelegten landwirtschaftlichen Maßnahmen zur Erhöhung des Ernteertrages und zur Abwendung von Witterungsschäden,
- 5) bei Zulassung von Fabrikbetrieben, die durch ihre Rauch- und Gasentwicklung eine Verschlechterung des Klimas herbeiführen könnten.

Wir können mit Recht behaupten, daß alle Planungen in der Landwirtschaft, in der Besiedlung und Bebauung, die sozusagen klima- und wetterempfindlich sind, auf Grund einer Klimateaufnahme mit einem erheblich geringeren Risiko durchzuführen sind.

Im deutschen Kurortwesen besteht bereits eine derartige Regelung, zwar nicht auf Grund eines Gesetzes, wohl aber auf Grund von Richtlinien, die sich der Deutsche Bäderverband (25) selbst gegeben hat. In ihnen wird bestimmt, daß die Bezeichnung heilklimatischer Kurort, Luftkurort, Erholungsort, Seeheilbad, Seebad u. a. neben der Erfüllung anderer Bedingungen eine positive Beurteilung durch den amtlichen Wetterdienst voraussetzt.

Der sehr klimaempfindliche Weinbau ist gut beraten gewesen, daß in dem Gesetz über Maßnahmen auf dem Gebiete der Weinwirtschaft vom 29. August 1961 eine Kleinklimakartierung unter den Bedingungen vorgeschrieben wird, die bei der Entscheidung über die Anlage neuer Weinberge zu berücksichtigen sind.

### 3. Verwirklichung des Planes

Die Entwicklung des Gedankens eine Landesklimateaufnahme durchzuführen, ist bereits dargestellt worden. Die Inangriffnahme der Arbeiten selbst hat sich dann sehr lange hinausgezogen, und es bedurfte einer tiefen Überzeugung von dem praktischen Wert des Problems, um den Plan nicht fallen zu lassen.

Im Juni 1950 hatte ich Gelegenheit, im Rahmen der 2. Arbeitstagung des Forschungsausschusses „Landschaftspflege und Landschaftsgestaltung“ der Akademie für Raumforschung und Landesplanung in Hannover über das Thema „Geländeklimakarten“ zu sprechen (9) und entwickelte dabei den Plan einer klimatischen Landesaufnahme. Im Anschluß daran berichtete Dr. Dammann-Hamburg (16) über eine kleinklimatische Kartierung, genauer gesagt über die Temperaturverteilung in einem engbegrenzten Gebiet des norddeutschen Flachlandes, nämlich der Feldmark in der

Umgebung der bekannten Funkstelle Quickborn in Holstein. In der Diskussion wurde zwar die Bedeutung der kartographischen Darstellung der Klimabewertung für alle Belange der Wirtschaft und Kultur uneingeschränkt anerkannt; in einer kleinen Kommission, in der die an diesen Kartierungen interessierten Fachdisziplinen vertreten waren, wurde anschließend sogar die Durchführungsmöglichkeit einer entsprechenden Erprobungsarbeit in bestimmten Bezirken Nord- und Süddeutschlands durchgesprochen, die Dinge gediehen aber nicht weiter. Nur mit Prof. J. Schmithüsen-Karlsruhe wurde eine Zusammenarbeit in zwei süddeutschen Räumen geplant. Sie kam aber nicht zur Durchführung, weil die finanzielle Grundlage nicht gesichert werden konnte.

Erst nachdem unter Führung der Deutschen Forschungsgemeinschaft im Juli 1952 eine Kommission gebildet wurde, die sich den mit „Wasserwirtschaft und Landeskultur“ verbundenen Fragen widmen sollte, konnte das Problem der Landesklimateaufnahme mit größerer Aussicht auf eine Verwirklichung wieder aufgenommen werden. Unter den Aufgaben, die von der Kommission in Angriff zu nehmen wären, nannte der damalige Kommissionsvorsitzende Prof. Troll-Bonn in der 2. Sitzung am 22. Januar 1953 die Durchführung einer Klimateaufnahme an erster Stelle. Nachdem die Forschungsgemeinschaft in großzügiger Weise durch Verfügung vom 8. Oktober 1953 eine Sachbeihilfe gewährte mit dem Auftrag, die Methodik einer Landesklimateaufnahme zu erkunden, war die Arbeit gesichert, wofür der Forschungsgemeinschaft größter Dank gebührt.

Wegen der fortgeschrittenen Jahreszeit konnte im Herbst 1953 nicht mehr mit den Arbeiten begonnen werden, da die Außenarbeiten schneefreies Gelände und trockenen Boden voraussetzen. Die Arbeit begann daher erst am 15. April 1954. Als Meteorologe konnte E. Kaps gewonnen werden, der am Meteorologischen Amt für Nordwestdeutschland in Hamburg bereits mit geländemeteorologischen Arbeiten beschäftigt gewesen war und somit eine sehr erwünschte Erfahrung für seine neue Arbeitsaufgabe mitbrachte. Die voraussichtliche Dauer der Arbeit wurde auf etwa zwei Jahre veranschlagt.

Nachdem so viel von der Zusammenarbeit der an einer systematischen Landesaufnahme beteiligten Fachsparten geredet und geschrieben wurde, mag es auffallen, daß jetzt ein Meteorologe selbständig vorgegangen ist, obwohl in der schon erwähnten Tagung Mitte Juni 1950 des Forschungsausschusses „Landschaftspflege und Landschaftsgestaltung“ bei der Akademie für Raumforschung und Landesplanung in Hannover eine zahlenmäßig ganz ansehnliche Kommission sich mit dieser Zusammenarbeit beschäftigt hatte. Gegen den Gedanken der Zusammenarbeit ist grundsätzlich auch nichts zu sagen. Dieser Weg ist aber erst dann gangbar, wenn die einzelnen Fachgebiete bereits eine gewisse Klarheit darüber erlangt haben, was sie selbst zu dieser gemeinsamen Arbeit beitragen können. Unklare Vorstellungen von der eigenen Leistungsfähigkeit und andererseits überspannte, nicht erfüllbare Forderungen an die anderen beteiligten Disziplinen fördern die gemeinsame Arbeit nicht, sondern können sie sogar zum Scheitern bringen. Diese Gedankengänge waren der Grund, daß der Meteorologe zunächst für sich gearbeitet hat und damit versuchte, sich selbst die notwendige Klarheit über das Grundsätzliche der Klimateaufnahme und vor allem die mit ihr verbundenen Teilprobleme zu verschaffen. Die sich anschließende Fühlungnahme mit den Nachbarwissenschaften, die unbedingt erforderlich ist, kann dann auf einer guten Grundlage aufbauen.

#### 4. Die Beziehung der Landesklimateaufnahme zu den bisherigen geländemeteorologischen und -klimatologischen Arbeiten

Glücklicherweise ist schon eine sehr erhebliche Arbeit von den Meteorologen im Gelände geleistet worden. Die Schwierigkeiten, die sich der praktischen Anwendung der in den amtlichen Netzen gewonnenen Beobachtungsergebnisse entgegenstellen, zwangen direkt dazu, den Geländeeinfluß auf das Klima unseres Lebensraumes zu studieren. Es stellte sich sehr bald heraus, daß durch ihn sich Gegensätze ausbilden, die weit über die hinausgehen, die den bekannten klimatologischen Mittelwertskarten älterer Methodik zu entnehmen sind. R. Geiger hat in seinem weitverbreiteten Buch „Das Klima der bodennahen Luftschicht“ als erster 1927 versucht, all diese Arbeiten zusammenzufassen und sie nach einem einheitlichen Gesichtspunkt auszurichten. Mittlerweile ist das Buch 1950 in 3. und 1961 in 4. Auflage erschienen und bezeugt durch ein sehr umfangreiches Literaturverzeichnis, mit welcher Intensität die Forscher verschiedenster Fachrichtungen sich diesen Problemen zugewandt haben (22). Unter Mikroklima — ein leider immer noch nicht einheitlich gebrauchter Begriff — ist in dem Geigerschen Buch all das zusammengefaßt, was nicht mehr zum Bereich des Großklimas (Makroklima) gehört und das Klima auf kleinstem Raum betrifft. Unter bodennaher Luftschicht wird der Raum unterhalb 2 m verstanden.

Methodisch sind im allgemeinen zwei Wege eingeschlagen worden, erstens unter Benutzung eines dichten Meßnetzes mit längeren Beobachtungszeiträumen, wie es in der Klimatologie üblich ist, und zweitens unter Anstellung von Sondermessungen bei ausgewählten Wetterlagen, die die Herausbildung starker Gegensätze begünstigen. Zwei Arbeiten, die beide im Jahre 1911 erschienen und gut diese beiden Arbeitsrichtungen repräsentieren, seien hier angeführt: K. Knoch, Der Einfluß geringer Geländeverschiedenheiten auf die meteorologischen Elemente im norddeutschen Flachlande (23) und das Buch des Würzburger Botanikers G. Kraus, Boden und Klima auf kleinstem Raum (24). Seitdem ist in beiden Richtungen weitergearbeitet worden, worüber Geigers Monographie gute Auskunft gibt, und die Forschung ist bei weitem noch nicht zum Stillstand gekommen, sondern bringt immer noch weitere Beweise für die praktische Notwendigkeit der Klimaerkundung kleinster Räume.

Dabei ist nicht nur an die Sonderklimate zu denken, wie sie sich unter dem Einfluß der verschiedenen Geländeformen und der Bewachung entwickeln, sondern auch an jene neuen Formen der Lokalklimate, die auf das Schuldkonto der menschlichen Tätigkeit gehen.

Es ist schon häufig dargelegt worden, wie durch die Eingriffe des Menschen in die unberührte Natur mit ihrem harmonischen Gleichgewicht auch die Lokal- und Mikrokimate, in denen alles ausgewogen war und sich den natürlichen Lebensbedingungen angepaßt hatte, zerstört wurden. Ganz besonders verhängnisvoll ist es, wenn dabei sich der Wasserhaushalt des Bodens, die Grundlage alles Lebens, in negativer Weise verändert. Ansehnliche verödete Landstriche auf unserem Erdball sind die anklagenden Zeugen solcher Fehlmaßnahmen. Nachdem diese Fehler erkannt wurden, ist der Mensch in den letzten Jahrzehnten dazu übergegangen, wieder verbessernd und aufbauend zu wirken und neue günstige Lokalklimate zu schaffen. Durch weite Anpflanzungen sogenannter Windschutzstreifen soll dem weiteren Vordringen der Steppenlandschaften entgegengewirkt werden, indem die Bodenaustrocknung verringert und im Winter der Schnee nicht weggeweht wird. Künstliche Staubecken halten das im Frühjahr zur Zeit der Schneeschmelze überreichlich zur Verfügung ste-

hende Wasser zurück, Bewässerungskanäle leiten es weiten Landstrecken zu und verbessern damit die Lage des Grundwasserspiegels in den niederschlagsärmeren Jahreszeiten. Alle diese Aufbaumaßnahmen haben die Landschaftsklimatologie sehr gefördert. Vor der Ausführung dieser Projekte wurden Sonderbeobachtungen angestellt, um Unterlagen für die zu erwartende Auswirkung der Klimaverbesserung zu bekommen. Daß später nach Durchführung der Arbeiten ihre tatsächliche Auswirkung fortlaufend überwacht wird, ist selbstverständlich.

Neue Mikrokimate schafft der Mensch aber auch durch die Befriedigung seiner Wohnraumbedürfnisse und durch Anlage von umfangreichen, gegen die Umbilden des Klimas geschützten Stätten, wo er seiner Arbeit nachgehen kann. Die Zusammenballung der Wohnhäuser, von denen jedes einzelne für sich entsprechend der verschiedenen Exposition seiner Mauern von Mikroklimaten umgeben ist, schafft in der Gesamtheit das „Stadtklima“. Es ist eingebettet in das Makroklima der Landschaft ringsum und hebt sich mit mehr oder minder deutlich ausgesprochenen Grenzen von diesen ab. Bevor die eigentliche Mikroklimatologie so, wie wir sie heute kennen, sich entwickelt hatte, war der Begriff des Stadtklimas dem Klimatologen bereits geläufig. Die Temperaturdifferenzen, die zwischen den im Innern der Städte gelegenen Meßstellen und den Angaben von Freilandstationen sich deutlich bemerkbar machten, wurden frühzeitig erkannt. Daß Veränderungen in der Bebauung in der Nähe des Aufstellungsortes der Meßgeräte und ganz allgemein das Anwachsen der Großstädte die Homogenität der Beobachtungsreihen störten, ist eine Tatsache, die es leider nicht ermöglicht, einwandfreie Säkularstationen in einer Stadt zu unterhalten.

Dem Stadtklima hat der Meteorologe verständlicherweise seine besondere Aufmerksamkeit zugewandt. Die Ergebnisse der einschlägigen Arbeiten hat A. Krätzer (26) in einer schönen Monographie „Das Stadtklima“ zusammengefaßt. Die Forschungen, die über den häufig nachteiligen Einfluß der Städte auf das Klima angestellt worden sind, haben glücklicherweise dazu geführt, daß die neuzeitliche Städteplanung bemüht ist, die ungünstigen Seiten des Stadtklimas möglichst zu verringern. Grundsätzlich gehen diese sehr dankenswerten Bestrebungen darauf hinaus, die in den älteren Städten mit ihrer engen Bebauung so stark behinderte natürliche Entlüftung zu vermeiden und auch den Großstädtern durch eine weite Bebauung mit breiten Durchzugstraßen wieder in den Genuß von Frischluft und genügend Besonnung zu bringen.

Eine noch größere Notwendigkeit wäre die Verbesserung des „Industrieklimas“. Es wird mit seiner bekannten Verschmutzung der Luft bei bestimmten Wetterlagen nur leider zu sehr merkbar. Trotz aller Bemühungen um bessere Verbrennung der Kohle und verstärkter Verwendung der elektrischen Kraft bleibt noch viel zu tun. Daß die chemische Industrie durch ihre Abgase ein besonderes Klima in ihrer Umgebung schafft, braucht nur erwähnt zu werden. Aber auch auf die durch den Hausbrand und durch den Verkehr in geschlossenen Ortschaften hervorgerufene Verschmutzung der Luft muß hingewiesen werden. Sie hat in neuester Zeit in beängstigender Weise zugenommen.

Eine von W. Caspar (44) durchgeführte kritische Durcharbeitung der Pläne einiger deutscher Großstädte hat deutlich gezeigt, daß die gegenseitige Anordnung der Wohn- und Industrieviertel leider bei den meisten Städten die Berücksichtigung klimatischer Gegebenheiten vermissen läßt. Die Industrie- und Bahnhofsviertel liegen im Luv der vorherrschenden Winde, und die durch sie verursachte Luftverschmutzung wird über die ganze Stadt hinweg getragen. Die bekannte „Dunst-

glocke“ über der Stadt kündigt dies schon von weitem an und weist auf das ungünstige Sonderklima hin, dem unter ihr die Großstadtbewohner ausgesetzt sind. Eine sehr umfangreiche Literatur beschäftigt sich mit dem Luftverschmutzungsproblem und seiner Lösung.

Nachdem die lokalen Klimate als solche erkannt worden waren, ging der Meteorologe auch daran, sie messend zu erfassen. Bereits aus den Beobachtungsergebnissen der bekannten Stationen der meteorologischen staatlichen Netze ließen sich die ersten Unterschiede in den Elementen als Folge lokalklimatischer Einflüsse deutlich erkennen. Der Einfluß geringer Geländeverschiedenheiten auf die meteorologischen Elemente im norddeutschen Flachland in der Gegend von Potsdam, den K. Knoch (23) beschrieb, wurde schon erwähnt. Diese Feststellungen und auch der eben bereits erörterte Unterschied zwischen Innen- und Außenstadt bei Großstädten stützen sich auf die Angaben normaler Thermometerhütten, wie sie an den Klimastationen üblich sind. Einen Schritt weiter in dem Studium des Geländeeinflusses bedeutete es dann, als das Beobachtungsnetz in topographisch interessanten Gegenden verdichtet wurde. Auch dies geschah zunächst noch unter Verwendung der Normalaufstellungen. Der Kosten wegen wurden dann aber immer mehr vereinfachte Hilfsaufstellungen eingesetzt, was den Vorteil hatte, daß eine bedeutend größere Dichte der Meßstellen erreicht wurde. Wesentlich einfacher war das bloße Auslegen von Extremthermometer, wodurch besonders frostgefährdete Stellen im Gelände erkundet werden sollten. Ein einfacher Strahlungsschutz sollte dabei einen wesentlichen Meßfehler, der in der Selbststrahlung des Thermometers bestand, einigermaßen beseitigen.

Die Zahl der Meßpunkte im Gelände konnte nach Benutzung eines mechanischen Fortbewegungsmittels ganz wesentlich gesteigert werden. Der feste Beobachtungspunkt wurde im allgemeinen bei dieser Methode verlassen und spielte an wenigen Stellen im Meßbereich nur noch die Rolle des Bezugspunktes. Fahrrad, Motorrad und Auto wurden eingesetzt, um meteorologische Meßfahrten im freien Gelände und in den Großstädten durchzuführen. Das Instrumentarium wurde vom einfachen Thermometer bis zum elektrischen Temperaturmeßgerät verfeinert. Um vom Strahlungsfehler frei zu sein, wurde das bekannte Assmann'sche Aspirationspsychrometer viel benutzt, auch registrierende Meteorographen sind auf dem Motorrad mitgeführt worden. Durch Schleifenfahrten, die möglichst häufig zu den Bezugspunkten mit den festaufgestellten Instrumenten zurückführten oder den früheren Weg kreuzten, konnte dabei der Einfluß zeitlicher Schwankungen der Elemente im Verlauf der Meßfahrt erkannt und bei der Auswertung der Ergebnisse berücksichtigt werden. J. van Eimern (39) hat die Methodik der Geländeklimaaufnahme ausführlicher behandelt, worauf verwiesen wird.

Die von A. Mäde (40) neuerdings wieder propagierte, auf bekannten Gedankengängen fußende Methode, die Häufigkeitsstatistiken und die Temperaturamplituden zu verwerten, setzt ein umfangreiches Instrumentarium voraus und kann nur über kleineren Gebieten eingesetzt werden. Sie erfordert einen großen Arbeitsaufwand, liefert dafür aber zahlenmäßig exakte Ergebnisse.

Das bei der Geländeklimatologie eingesetzte Instrumentarium wurde immer mehr erweitert. Temperatur und Luftfeuchtigkeit genügen nicht mehr. Wind, Bodentemperatur, Bodenwassergehalt, Strahlung, Boden- und Luftanalyse u. a. m. wurden in das Beobachtungsprogramm aufgenommen. Es entstand der von verschiedenen Stellen entwickelte „Wetterwagen“, der als fahrbares meteorologisches Laboratorium angesehen werden darf.

Welchen Umfang das darin untergebrachte Instrumentarium erreicht hat und wie mannigfach die von ihm zu lösenden Arbeitsaufgaben sind, geht aus den Berichten hervor, die H. Burckhardt (41) über Ausrüstung, Aufgaben und Arbeitsweise des Meßzuges des Wetteramtes Neustadt a. d. Weinstraße, und H. R. Scultetus (42) in ähnlicher Weise über den im Lande Nordrhein-Westfalen eingesetzten Windschutz-Meßzug gegeben haben.

Von seiten der angewandten Botanik ist auch bereits ein Pflanzenklima-Meßwagen angegeben worden, der mit den modernsten Meßgeräten ausgerüstet ist (27).

Sicher ist der instrumentellen Seite in der Geländeklimatologie viel Aufmerksamkeit gewidmet worden, und es war auch richtig, daß zunächst versucht wurde, die Lücken in dem Makroklimanetz durch Meßserien auszufüllen. Sie erstreckten sich aber immer nur über verhältnismäßig kleine Räume und bezogen sich auch meist nur auf Ein- und Ausstrahlungswetter mit geringer Windgeschwindigkeit oder, was noch mehr gewünscht wurde, vollständiger Luftruhe, denn dabei entwickeln sich bekanntlich die Lokal- und Mikroklimata am schönsten. Eine sehr große Zahl von Arbeiten zeugt davon, welche Ergebnisse durch diese Arbeitsmethodik gewonnen wurden. Sie haben unsere Kenntnisse von den Vorgängen in der unmittelbar dem Erdboden auflagernden Luftschicht sehr erweitert. R. Geigers Monographie „Das Klima der bodennahen Luftschicht“ berichtet in sehr eindrucksvoller Weise darüber, und jedes Jahr bringt noch weitere Tatsachen.

Dieses neue Wissen bildet die Grundlage, auf der der Gedanke der Landesklimateaufnahme sich aufbaut. Allerdings stellte sich bald heraus, daß diese Grundlagen noch nicht vollständig ausreichen. Es wurde eben schon gesagt, daß die bisherigen geländemeteorologischen Arbeiten sich häufig auf bestimmte Wetterlagen beziehen. Das Klima ist aber nach einer noch immer brauchbaren Definition gleich der Summe der Wirkung aller Wittertypen. Und wenn die Landesklimateaufnahme es sich als Ziel gesetzt hat, Gunst und Ungunst der einzelnen Lagen im Gelände nach der klimatischen Seite hin abzuschätzen, dann darf sie nicht allein von bestimmten Witterungen ausgehen, wenn diesen auch eine besondere Wirkung in der Entwicklung der Lebewelt zugeschrieben werden muß.

Auch kann nicht übersehen werden, daß das, was wir gemeinhin als „gleiche“ Witterungsperioden ansprechen, nicht im strengen Sinne gleich zu sein braucht. Eine kurze Meßreihe ist nicht immer charakteristisch für die „Dauerwirkungen“, mit der wir es bei den Wettereinflüssen stets zu tun haben. J. van Eimern (43) hat die Schwankungen der Windschutzwirkung von Hecken und Baumreihen untersucht und dabei festgestellt, daß kurze Meßreihen ein von den mittleren Verhältnissen über lange Zeiten stark abweichendes Bild ergeben können.

Selbstverständlich ist es undenkbar, so große Flächen, wie sie bei einer Landesklimateaufnahme in Frage kommen, instrumentell mit der gleichen Intensität abzutasten, wie dies in den bisherigen geländeklimatischen Arbeiten für beschränkte Gebiete geschehen ist. Es muß also ein anderer Weg beschritten werden. Wären unsere Kenntnisse von der Reaktion der Topographie auf das Klima der untersten Luftschicht wirklich ganz vollkommen, dann wäre der Idealfall wohl denkbar, daß überhaupt keine instrumentellen Messungen mehr nötig wären, sondern daß eine gutachtliche Äußerung des Geländeklimatologen nach eingehender Erkundung der zu beurteilenden Lagen möglich ist.

Dieses Wunschziel ist aber noch nicht erreicht, und daher können wir auf instrumentelle Messungen nicht verzichten, aber es sollte in dieser Hinsicht doch nicht

zu viel geschehen. Frostlagen sind für den geschulten Geländeklimatologen leicht zu erkennen, und ihre Festlegung kann im allgemeinen mit geringem Arbeitsaufwand durchgeführt werden. Bei diesen Messungen im Gelände handelt es sich, wenn nicht eine feste Dauermeßstelle zur Verfügung steht, um Stichproben — das darf nie vergessen werden. Ihre Ergebnisse lassen eine Verallgemeinerung nicht zu. Damit ist nichts gegen die instrumentellen Messungen in ihrer Gesamtheit gesagt, denn, vernünftig durchgeführt, sind sie notwendig, um stellenweise eine zahlenmäßige Untermauerung jener „gutachtlichen“ Arbeit zu bekommen, die mit „Auge“ und „Gehirn“ durchzuführen ist. (Siehe hierzu auch H. Burckhardt (75).)

Um die eben erwähnte im Zeitfaktor liegende Unsicherheit möglichst auszuschalten, enthalten die seit Februar 1958 im Deutschen Wetterdienst geltenden Richtlinien für die Kartierung der Frostgefährdung ausführliche Anweisungen für die Auswertung und Darstellung der Ergebnisse. Grundsätzlich haben netzmäßige instrumentelle Beobachtungen den Vorrang vor anderen Kartierungsmethoden. Sie liefern die Unterlage für die Verteilung der Tiefsttemperaturen im Mittel der erfaßten Strahlungsnächte (Abweichung von der Basisstation in Form von Isolinien in  $\frac{1}{2}$  oder  $1^\circ$  Abstand). Die notwendige Beziehung zu einer langjährigen Beobachtungsreihe wird über den Begriff der Frostwahrscheinlichkeit hergestellt, die aus der langen Reihe einer benachbarten Klimastation abgeleitet wird. Nähere Einzelheiten gibt ein von H. Burckhardt (76) veröffentlichter Auszug aus diesen Richtlinien. Um die praktische Bedeutung dieser Kartierungsmethode abzuschätzen, wären Wiederholungen im gleichen Gelände und Vergleiche zwischen verschiedenen Kartierungsbereichen erwünscht.

Die Überlegungen von der Notwendigkeit instrumenteller Messungen führten auch dazu, daß bei der vorliegenden Arbeit zur Erprobung der Methodik einer Landesklimaaufnahme wenigstens ein meteorologisches Element im Gelände vermessen wurde, und zwar das, was allgemein als die Grundlage für die Herausbildung der Klimate angesehen wird, nämlich die einkommende Sonnenenergie, ausgedrückt in kcal/qm Jahr. Mögen die mit Hilfe des Besonnungsmessers, wie er auf der Grundlage der von W. Kaempfert berechneten Werte von A. Morgen-Trier entwickelt wurde, angestellten Messungen auch nur rohe Werte liefern, so hat aber doch das Instrument den Vorteil der leichten Handhabung und damit des schnellen Arbeitens. Damit ist die Möglichkeit gegeben einen großen Raum abzutasten und dabei, wenn auch nicht absolut exakte, so doch unter sich vergleichbare Werte zu erhalten.

##### 5. Lokal- und Mikroklimata in ihrer Beziehung zum Makroklima

Jedes Lokal- und Mikroklima ist eingebettet in das jeweilige Makroklima. Dabei sind vor allem Wind- und Bewölkungsverhältnisse ausschlaggebend für die mehr oder minder starke Ausbildung jener Klimatypen, die letzten Endes von der Topographie des Geländes und seiner Bewachsung abhängig sind. In Gebieten mit starkem Luftaustausch wird die Mikroklimabildung unterdrückt, in Gebieten hoher Bewölkung fehlt es an der Möglichkeit starker Bestrahlung des Erdbodens während des Tages und intensiver Ausstrahlung während der Nacht. Beides sind Momente, die die Ausprägung extremer Eigenschaften in der bodennahen Luftschicht verhindern oder doch mindestens stark abschwächen.

Wenn wir also beurteilen wollen, ob im Raume Deutschland verschiedene Grade der Entwicklungsbereitschaft von Lokal- und Mikroklimata vorhanden

sind, so brauchen wir uns zunächst nur einen ganz rohen Überblick über die Makroklimata zu verschaffen. In ihnen kommen die Gegensätze in Wind und Bewölkung zum Ausdruck, die soeben als kennzeichnend für die Ausbildung der örtlichen Klimate hingestellt wurden. Diese Betrachtung der Makroklimata gibt auch zugleich einen Hinweis auf jene Gegenden, in denen die Landesklimaaufnahme Gegensätze in der Klimabewertung erwarten kann.

Deutschland gehört zwar ganz der gemäßigten Klimazone an, aber dieser Begriff legt nur seine Lage in den großen Klimagürteln der Erde fest. Wenn seine Breitenstreckung mit rund 8 Grad auch nicht bedeutend ist, so schaffen doch die mehr oder minder ausgeprägte maritime oder kontinentale Lage seiner Landschaften, die Höhenunterschiede, die Lage zu den Binnengewässern und die verschiedenen Vegetationsformen Unterschiede in den Klimaten, die sehr scharf kontrastieren. Es liegen seit langem Versuche vor, diese Klimatypen gegeneinander abzugrenzen und zu klassifizieren. Gleichzeitig wurden ihnen besondere Bezeichnungen gegeben, die es erlauben sollten, sie in Beziehung zu den Klimatypen auf anderen Kontinenten zu setzen. K. Knoch und A. Schulze (28) haben einen Überblick über die sehr zahlreichen Arbeiten gegeben, die sich mit der Klassifikation der Klimate beschäftigt haben. Zu einer einheitlichen Methodik ist es dabei noch nicht gekommen, sondern den verschiedensten praktischen Bedürfnissen entsprechend sind auch stark voneinander abweichende Wege beschritten worden.

In der genannten Zusammenstellung sind auch die Untersuchungen aufgeführt, die sich bemühten, die im Deutschen Raum vorkommenden Klimaunterschiede festzulegen und sie in einer Karte darzustellen. Zu nennen sind die folgenden Arbeiten: P. Thiele, Deutschlands landwirtschaftliche Klimatographie (29), die wie der Titel besagt, ganz von landwirtschaftlichen Gesichtspunkten ausging, E. Werth, Die Klima- und Vegetationsbezirke Deutschlands (30), die vom Standpunkt des Botanikers aus gesehen sind, E. Alt, Klimakunde von Mittel- und Südeuropa (31), in der auch Deutschland auf Grund des von W. Köppen angegebenen Klassifikationsschemas (aus dem Jahre 1900 stammend) behandelt wird. Köppens Schema reicht aber seiner geringen Detaillierung wegen für unsere Betrachtungen nicht aus. Über dem deutschen Raum wird nur Cfb = feuchttemperiertes Klima mit kühlem Sommer und Dfb = winterfeuchtkaltes Klima mit kühlem Sommer, das von Osten her hereinreicht, unterschieden. Harz, die Randgebirge der Tschecho-Slowakei und die Alpen gehören auch zum Dfb-Klima. R. Wegener (32) hat ebenfalls den Versuch gemacht, Klimaprovinzen von Deutschland auf Grund von Niederschlag und Temperatur herauszuarbeiten, eine Karte wurde aber nicht veröffentlicht. J. Hoffmeister (33) fußt offenbar bei seiner Karte der Klimakreise von Mitteleuropa im wesentlichen auf den genannten Vorarbeiten, es genügt daher, wenn wir nur diese Darstellung unserer kurzen Schilderung der Klimabezirke Deutschlands zu Grunde legen.

Längs der Nordseeküste zieht sich das friesische Küstenklima hin. Der Streifen, den es beherrscht, ist meist 50 km breit und greift nur an der Unter-Elbe und nördlich davon bis 75 km in das Festland hinein. Die Jahresschwankung der Temperatur beträgt hier  $14-16^\circ$  die mittleren Julitemperaturen liegen bei  $16-17^\circ$ ; die Januartemperaturen mit  $0-2^\circ$  zeigen im allgemeinen milde Winter an. Die Jahresmenge des Niederschlages beträgt 600—800 mm. Starke Winde sind charakteristisch. Die östliche Hälfte von Schleswig-Holstein hat mit  $16-17^\circ$  bereits eine höhere Jahresschwankung der Temperatur, die Winter stehen schon stärker unter kontinentalem Einfluß, die Jahressumme des Niederschlages

liegt meistens unter 700 mm, An der mecklenburgischen und pommerschen Küste wächst der kontinentale Einfluß weiter an, die Jahresschwankung der Temperatur steigt über 18°, die Jahresregenmenge bleibt unter 600 mm, die sommerliche Sonnenscheindauer ist stellenweise bemerkenswert hoch. An der hinterpommerschen Küste nimmt die Windstärke, die an der schleswig-holsteinischen Ostseeküste durch die Halbinsel abgebremst wurde, wieder deutlich zu.

Binnenwärts wird das eigentliche Küstenklima durch ein Klima abgelöst, in dem zunächst der Einfluß der Meereshöhe immer mehr abnimmt, der Festlandeinfluß aber noch nicht vollständig zur Wirkung kommen kann. So entsteht ein Gürtel mit sogenanntem Übergangsklima. Westlich der Elbe reicht er etwa bis zum Fuße der norddeutschen Mittelgebirge. Östlich der Elbe, in Mecklenburg und Pommern ist er wesentlich schmaler. Sein Bereich kann hier vielleicht am besten als sich mit der Mecklenburgischen und Pommernschen Seenplatte deckend gekennzeichnet werden. Die Winter sind im Westen noch mild, die mittleren Januartemperaturen liegen im allgemeinen über 0°, im Gebiet der Lüneburger Heide sinken sie aber schon bei erhöhter Frostgefahr unter 0° ab. Auf der Pommernschen Seenplatte werden die Winter noch strenger, die Januarmittel liegen zwischen -1° und -3°.

Östlich der Elbe-Saale-Linie setzt sich weiter südlich über breitem Raum der kontinentale Einschlag im Klima deutlich ausgeprägt durch. J. Hoffmeister hat dafür die Bezeichnung „Ostdeutsches Binnenlandklima“ gewählt. Die Jahresschwankung der Temperatur steigt bis zu 22° an, die Julitemperaturmittel erreichen 19°, die Januarmittel -3°, also heiße Sommer, kalte Winter. Der Jahresniederschlag erreicht bei weitem nicht die Werte der Gebiete westlich der Elbe, meist bleibt er unter 600, stellenweise sogar unter 500 mm. Wir haben hier die westlichsten Ausläufer der Regenarmut, die nach Osten sich noch bedeutend verstärkt.

Zwischen der Elbe-Saale und dem Harz und den südlich sich anschließenden Gebirgen ist auf der Hoffmeisterschen Karte über den Gebieten zwischen Magdeburg und Hildesheim, an der unteren Saale und über den Unstrutniederungen das „Bördeklima“ eingetragen, für das die fruchtbare Magdeburger Börde den Namen gab. Hier sind im Lee der westwärts vorgelagerten Gebirge die Niederschläge ebenfalls gering und bleiben in den ausgesprochensten Leelagen unter 500 mm im Jahre. Die Sommer erreichen fast die gleiche Intensität wie im Ostdeutschen Binnenlandklima, die Winter aber im Durchschnitt nicht die Strenge. Die vieljährigen Januarmittel sinken nur bis auf -1° ab.

Westlich und südwärts fortschreitend gelangen wir dann in den Bereich des Mitteldeutschen Berg- und Hügellandklimas. Hier liegen die Jahresniederschlagssummen über 600 mm und übersteigen auf den eigentlichen Gebirgskämmen 800, ja sogar 1000 mm. Die Sommer sind gewöhnlich nicht so heiß wie im Binnenland, die Höhenlage mildert die Hitze, die Winter sind aber wieder strenger und zeichnen sich durch Schneereichtum aus.

Das eigentliche Süddeutschland steht im Berg- und Hügelland westlich des Rheines deutlich unter maritimem Einfluß, deshalb ist es richtig, dieses Gebiet mit seinem „westrheinischen Berg- und Hügellandklima“ vom übrigen Süddeutschland abzutrennen. In dem Rheingraben und seinen Nebentälern, sowie auf den Stufenlandschaften südlich des Mains und auf den Hochebenen Südbayerns bis zum Alpenvorland machen sich Binnenlandzüge in Klima bemerkbar.

Im westrheinischen Berg- und Hügelland steigt die Jahressumme des Niederschlags meist über 700 mm an, im Gegensatz zu den viel trockeneren Tälern des Mit-

tel- und Oberrheins, der Mosel, der Nahe, des Mains und des Neckars, wo stellenweise noch nicht 500 mm im Jahresdurchschnitt fallen. Die Januartemperaturen liegen im vieljährigen Durchschnitt meist zwischen 0 und 1° und erreichen nur in den höheren Lagen der westrheinischen Mittelgebirge negative Werte. Im süddeutschen Berg- und Hügelland sind die Winter wesentlich strenger (Januarmittel -1 bis -3°), die Jahresschwankung steigt auf 18—19° an, die Jahresmenge des Niederschlags übersteigt 600 mm. Da südlich der Donau im Bayerischen Alpenland die Niederschläge 700 mm weit übersteigen und auch die Jahresschwankung mit 18 bis 20° merkbar zunimmt, ist es berechtigt, von einem Bayerischen Alpenvorlandklima zu sprechen. Es geht mit abnehmenden Sommertemperaturen, aber zunehmender Winterstrenge in das Alpine Klima über. An den Luvseiten und in den höheren Lagen der Gebirgszüge erreicht es weit über 1000 mm ansteigende Niederschlagssummen, in den Tälern weist es aber einen ausgeprägten Lee-Einfluß mit direkten Trockenlagen auf.

Diese ganz kurze Betrachtung der einzelnen Klimakreise läßt nicht erkennen, inwieweit diese zur Ausbildung von örtlichen Klimazügen, die an die Oberflächen-gestaltung gebunden sind, neigen. Da Lokal- und Mikroklimata sich besonders in windschwachen und strahlungsreichen Klimaten ausbilden können, könnte nur eine Karte der mittleren Windgeschwindigkeit Auskunft geben. Leider besitzen wir noch keine Klimaklassifikation auf Grund des natürlichen Luftaustausches. Zwar sind die großen Windsysteme der Erde schon mehrfach kartographisch abgegrenzt worden, u. a. von Köppen, Hettner und Flohn, aber diese ganz großräumigen Versuche, die z. B. ein Gebiet von der Größe Deutschlands zusammen mit weiten anderen Teilen der Kontinente als außertropisches Westwindgebiet abtun, können uns in unseren Überlegungen nicht weiterbringen. Es bleibt uns nichts anderes übrig, als auf die Ergebnisse jener meteorologischen Stationen zurückzugreifen, an denen Windregistriergeräte gearbeitet haben. In Verbindung mit den im internationalen Beobachtungsprogramm vorgesehenen Windstärkeschätzungen nach der bekannten Beaufort-Skala können sie uns ein für unsere Zwecke brauchbares Bild über die Luftbewegung vermitteln. Allerdings ist Vorbedingung, daß an die Windstärkeschätzungen, die mit starken persönlichen Fehlern behaftet sein können, eine vorsichtig abzuwägende Kritik angelegt wird. Eine im Jahre 1910 von R. Assmann (34) veröffentlichte Karte der Windgeschwindigkeit in Deutschland, die sich nur auf 49 Stationen stützt, erfüllt diese Bedingung noch nicht.

G. Hellmann (35) hat kurze Ausführungen über die Luftruhe als Klimafaktor gemacht und versucht, auf Grund des veröffentlichten Materials der Jahre 1919 bis 1923 von 36 spanischen Anemometerstationen zahlenmäßige Unterlagen für diesen Gedanken zu gewinnen. Er kommt aber zu einem vernichtenden Urteil, in dem er feststellt, daß es schwer, ja unmöglich ist, aus den damals vorhandenen Anemometermessungen vergleichbare Angaben über die Windgeschwindigkeit an verschiedenen Orten zu machen. Da er annimmt, daß man die Häufigkeit der Windstillen als ein ungefähres Maß der Luftruhe ansehen kann, stellt er aus dem Klima-Atlas von Deutschland (36) die Häufigkeit der Windstillen, in Prozent aller Windrichtungsbeobachtungen ausgedrückt, für einige Orte zusammen. Hellmann schließt aus diesen Zahlen, daß auf der Oberbayerischen Hochfläche bereits durchschnittlich im fünften Teil der Zeit (von morgens 7 Uhr bis abends 9 Uhr) Luftruhe herrscht, in der Norddeutschen Tiefebene knapp halb so viel. Dies würde sehr gut zu den Anschauungen passen, die jeder aufmerksame Besucher von Nord- und Süddeutschland bei sich rein gefühlsmäßig bilden kann. Sieht man aber die im Tabellenanhang des Klima-Atlas mitgeteilten Werte vollständig durch, dann stößt man

auf Angaben, die nicht in diese einfache Beziehung passen, ein Beweis, daß die Aufzeichnung der Kalmen der persönlichen Auffassung des Beobachters unterliegt und von der örtlichen Lage der Beobachtungsstation stark abhängig ist.

Viel besser läßt sich für die Beurteilung der Frage, wo eine bevorzugte Ausbildung von Mikro- und Lokalklimaten zu erwarten ist, eine von M. Manig (37) bearbeitete Karte der Windgeschwindigkeit für das westliche Deutschland verwerten. Sie stützt sich auf das Beobachtungsmaterial von 350 Klimastationen aus dem Jahr 1943. Die Jahresmittel, die sich aus den nach der Beaufort-Skala gemachten Aufzeichnungen ergaben, wurden in Windgeschwindigkeitswerte in m/sec umgerechnet. Wesentlich war, daß bei dem Entwurf der Karte sehr kritisch vorging und jeder einzelne Wert einer Prüfung unterzogen wurde. In zweifelhaften Fällen erhielten die Werte der mit Windschreibern ausgerüsteten Stationen den Vorzug. Um festzustellen, wieweit das Jahr 1943 normalen Verhältnissen entsprach, wurde an langen Reihen von Anemometeraufzeichnungen seine Abweichung vom vieljährigen Mittel errechnet. Es ergab sich, daß, im großen und ganzen gesehen, die Jahresmittel der Windgeschwindigkeit von 1943 dem langjährigen Mittel sehr nahe kommen. Nur die Hochalpen (Zugspitze, allerdings infolge Veränderung des Gipfels inhomogen) zeigten eine große negative Abweichung von -2,0 m/sec. Da für die Hochalpen die ganzen Betrachtungen über eine Landesklimaaufnahme vorerst doch nicht gelten, berührt uns diese Ausnahme bei unseren Überlegungen nicht.

Die Karte der Windgeschwindigkeit zeigt die vorher schon rein gefühlsmäßig besprochenen Unterschiede zwischen den küstennahen Gegenden mit dem Norddeutschen Flachland und den Beckenlandschaften und Talungen der Mittelgebirge recht deutlich. Im einzelnen ergibt sich nach M. Manig die folgende Verteilung der Windgeschwindigkeit: Im Küstengebiet der Nordsee, im Bereich der Friesischen Inseln ist eine mittlere Windgeschwindigkeit von über 6 m/sec anzutreffen. E. Werth (30) hat den baumfeindlichen Charakter dieser starken Seewinde hervorgehoben, der besonders an der senkrecht zur vorherrschenden Windrichtung streichenden nordfriesischen Küste wirksam wird. Hier bedeckt Wald nur 5% der Bodenfläche. Im Binnenland finden wir Werte über 6 m/sec nur auf den windexponierten Höhen der Mittelgebirge. Es ist selbstverständlich, daß dabei die Untergrenze der 6-m/sec-Geschwindigkeitsschicht der allgemeinen Niveauerhebung folgend von Norden nach Süden ansteigt (Harz und Sauerland etwa 800 m, Erzgebirge 1100 m, Schwarzwald 1200 m).

Von der Küste nimmt die Windgeschwindigkeit unter dem Einfluß der erhöhten Reibung über Land binnenwärts schnell ab. In etwa 100 km von den Ostfriesischen Inseln landeinwärts liegt das Jahresmittel bereits unter 4 m/sec. Die Südgrenze der Küstenzone der Windgeschwindigkeit über 4 m/sec verläuft etwa von Leer über Oldenburg, Bremervörde. Sie schließt bemerkenswerterweise die Höhen der Lüneburger Heide ein, führt von Hamburg nach Lübeck und zieht dann in schmalen Streifen an der Ostseeküste entlang. Die Höhen des Mecklenburgischen Landrückens und andere Erhebungen des Norddeutschen Flachlandes, wie der Fläming und der Rand der westlichen mitteldeutschen Gebirgsschwelle, ragen noch in diese Zone der Windgeschwindigkeit über 4 m/sec hinein. Das Norddeutsche Flachland mit dem im Westen sich anschließenden Gebiet der Münsterländischen Bucht und des Niederrheins weist im allgemeinen Windgeschwindigkeiten von 3 bis 4 m/sec im Jahresdurchschnitt auf. Das gleiche gilt im Osten für die Leipziger Bucht und die Lausitz. Zwei windschwache Gebiete unter 3 m/sec im Norddeutschen Flachland zwischen Lüneburg und Uelzen (im Ilmenau-Tal) und in der

Jeetzeniederung um Salzwedel fallen sicher in der windstärkeren Umgebung auf. Sie sind offenbar ein Effekt der Topographie, der im einzelnen noch zu klären wäre.

Im Mittelgebirge zeigt die Karte ein wesentlich anderes Bild, was zu erwarten war. Die Oberflächengestaltung mit dem starken Wechsel zwischen Hoch und Tief sorgt für eine starke Schwankung der Windgeschwindigkeitswerte. Werte über 4 m/sec, die für die norddeutschen Küstengebiete charakteristisch waren, sind nur noch in den höheren Lagen anzutreffen, d. h. ab 500 m nördlich der Mainlinie und südlich davon ab 600 m Höhe. Der auf der Grenze zwischen dem norddeutschen Flachland und dem Mittelgebirge liegende Brocken (1140 m Höhe) hat eine mittlere Jahresgeschwindigkeit von etwas mehr als 10 m/sec, die höchste, die wir auf den Gipfeln der deutschen Gebirge antreffen, soweit wir dies nach den meteorologischen Messungen beurteilen können.

Die Gebiete mit über 4 m/sec Geschwindigkeit haben flächenmäßig nur eine geringe Ausdehnung, neben ihnen überwiegt der Bereich der unter 3 m/sec liegenden Jahresmittel bei weitem. An 2 Detailkarten hat M. Manig gezeigt, wo in den Tälern die mittlere Windgeschwindigkeit unter 2 m/sec im Jahresdurchschnitt absinken kann.

Das ist schon ein erstaunlich geringer Wert. Darüber hinaus ist es aber sicher wahrscheinlich, daß es Gegenden gibt, in denen der Wert von 1 m/sec nicht erreicht wird. Einer Zusammenstellung der Ergebnisse von Anemometerstationen durch W. Caspar entnehme ich einige Werte (Tab. 1).

Tab. 1

Jahreswerte der Windgeschwindigkeit

Ort	See- höhe (m)	Meßhöhe üb. Grund (m)	Jahres- mittel (m/sec)	Zeitraum der Messungen
Ingolstadt	367	12	1,0	1950—1952
Oberstdorf	811	17	1,3	1948—1952
St. Blasien	785	24	1,6	1938—1940
Tübingen	370	20	1,5	1950—1952
Wiesbaden	137	27	1,8	1936/37, 39/40

Wenn diese Werte der verschiedenen Beobachtungszeiträume wegen auch nicht streng vergleichbar sind, so darf man ihnen trotzdem entnehmen, daß die Annahme von Jahresmittel unter 1 m/sec in Bodennähe, also in jener Luftschicht, in der sich die Mikroklimata entwickeln, der Wirklichkeit entspricht.

Und somit ist unsere Frage, welche Gegenden auf Grund ihrer makroklimatischen Eigenschaften die Herausbildung von lokalen Klimateigenschaften begünstigen, auch zu beantworten. Selbstverständlich sind dabei nur solche Lokalklimate gemeint, die von einer Landesklimaaufnahme erfaßt werden können. Diese braucht sich im eigentlichen Sinne nur auf die Mittelgebirge Nord- und Süddeutschlands zu erstrecken. Im übrigen Gebiet — Norddeutsches Flachland und Küstengebiet werden nur engbegrenzte Teile in Frage kommen, wo eine schwach ausgeprägte Topographie Kleinklimate aufkommen läßt.

Nach diesen Überlegungen ist die weitere Frage berechtigt: In welchen Ländern wird eine Landesklimaaufnahme nicht benötigt? Die Antwort lautet:

In allen Ländern, die keine regionalen Verschiedenheiten ihres Gebietes kennen und in einem kräftigen Ast der Großzirkulation liegen. Etwaige Klimaunterschiede, die aus dem Gegensatz zwischen festem Land und Wasser entspringen, sind allgemein bekannt und werden in der Praxis auch schon weitgehend bei allen Planungen mit in Rechnung gestellt. Sie allein recht-

fertigen die Durchführung einer Klimaaufnahme nicht. Hierher gehören z. B. die flachen Teile von Holland, von Nordwestdeutschland, von Dänemark, um nur einige zu nennen, die dem Verfasser naheliegen. Auf dem ganzen Erdball finden sich noch zahlreiche andere Beispiele. Hier ist nur darauf zu achten, daß der Mensch nicht durch seine Bauwerke und den ganzen Umfang seiner künstlichen Maßnahmen das von Natur aus einwandfreie Klima so verändert, daß es nicht mehr einwandfrei ist.

Da es in der Natur eine absolute Flachheit nur an ganz wenigen und eng begrenzten Stellen gibt, muß das eben Gesagte doch etwas ergänzt werden, damit keine falsche Meinung über die Existenzmöglichkeit von Mikro- und Lokalklimaten in den beispielsweise erwähnten flachen Landschaften aufkommt. Durch Messungen ist längst bewiesen, daß auch über ihnen sich merkbare Gegensätze der Temperatur, Feuchtigkeit und Windstärke auf geringe Entfernung ausbilden können. Sie sind an ganz schwache Unterschiede der Topographie und an die verschiedenartige Bewachsung gebunden. In unserer augenblicklichen Betrachtung scheiden sie vorläufig aus, da sie nur mit einer verfeinerten Beobachtungsmethodik festzulegen sind.

#### 6. Der „Inhalt“ einer Landesklimateaufnahme

Bei den schon geschilderten geländemeteorologischen Arbeiten war in den meisten Fällen davon ausgegangen, ein einzelnes meteorologisches Element in seiner Abwandlung durch Geländeeinflüsse zu studieren. Ihrer praktischen Bedeutung wegen steht dabei die Temperatur an erster Stelle. Und dabei waren es vor allem die das Wachstum der Pflanzen hemmenden oder schädigenden Temperaturen unter 0°. Kartierungen der Frostgefährdung bestimmter Geländeteile sind unter einem sehr großen Arbeitsaufwand in allergrößtem Umfang bereits durchgeführt worden. Sie haben im Obstbau und im Anbau empfindlicher Kulturen ganz allgemein eine große Bedeutung und werden von der Praxis bei ihren Planungen gern benutzt. Daneben werden neuerdings die örtlichen Unterschiede im Feuchtigkeitsgehalt der Luft eingehend studiert, da das vermehrte Auftreten von Schädlingen mit bestimmten Feuchtigkeitsgraden in Verbindung gebracht wird.

Bei einer Landesklimateaufnahme spielt das Einzellement nicht mehr eine ausschlaggebende Rolle, wenn es auch nicht ganz verdrängt wird. Klima ist bekanntlich das Zusammenspiel aller Elemente bei allen Witterungen, und diese Gesamtwirkung aller Wettervorgänge soll die Grundlage für die Beurteilung der Gunst oder Ungunst des Klimas einer bestimmten Lage im Gelände bilden. Diese so formulierte Aufgabe ist sicher nicht leicht zu lösen, und es ist fraglich, ob unsere bisher erarbeiteten Kenntnisse ausreichen, das Problem jetzt schon zu meistern.

Immerhin erscheint es der praktischen Bedeutung der Landesklimateaufnahme wegen nötig, das Ziel einmal anzugehen. Wird es auch jetzt noch nicht vollständig erreicht, dann ergeben sich doch vielleicht Gesichtspunkte, die darauf hinweisen, welche vorbereitenden Probleme vorher noch zu lösen sind.

Sicher gibt uns die Phänologie einen summarischen Wert für die Beurteilung der Lokalklimate, und man hat in der Pflanze einen Integrator gesehen, der auf die Gesamtheit der Wetterelemente anspricht. Aber sie ist doch zu sehr mit individuellen Eigenschaften behaftet und hat außerdem die Möglichkeit, sich den jeweiligen Standortbedingungen bis zu einem gewissen Grade anzupassen, so daß über größere Strecken eine vergleichende Bewertung phänologischer Meßergebnisse nicht mehr unbedingt sicher ist. Als zusätzliches

Hilfsmittel kann die Phänologie in der Landesklimateaufnahme trotzdem mit Nutzen herangezogen werden. Die Phänologie als Hilfsmittel der Landesklimateaufnahme wird später eingehend behandelt.

#### 7. Die Wahl der Karte als Unterlage für die Geländearbeit

Eine gute topographische Karte sollte eigentlich dem Benutzer ein genaues Bild der Erdoberfläche vermitteln. Selbst die großmaßstäblichen Karten können diese Forderung nur bis zu einem gewissen Grade erfüllen. Für die Arbeit des Geländeklimatologen kommt nach unseren Erfahrungen nur das sogenannte Meßtischblatt 1 : 25 000 in Frage. Auf ihm entspricht eine Strecke von 4 cm der Länge eines Kilometers im Gelände. Bei diesem Kartenmaßstab konnten schon sehr viel Detailformen des Geländes aufgenommen werden, Stellenweise mußte aber doch schematisiert werden, sehr zum Leidwesen des Klimatologen, der sich eine genauere Darstellung gewünscht hätte. Eine gute Karte steht und fällt mit dem richtigen Verlauf der Höhenlinien. Die Arbeit im Gelände, die praktisch eine Nachprüfung des Inhalts des Meßtischblattes bedeutete, zeigte aber an einigen Stellen deutliche Mängel in dieser Hinsicht, die so weit gingen, daß die Exposition der einzelnen Hänge nicht immer mit der erforderlichen Sicherheit aus der Karte zu entnehmen war.

Für praktische Zwecke hatte es sich schon häufig erwiesen, daß der Maßstab des Meßtischblattes noch zu klein war, deshalb sehen die amtlichen Kartenwerke Karten im Maßstab 1 : 5 000 und 1 : 2 500 vor. In letzterem Maßstab ist auch die sogenannte Reichsbodenschätzung durchgeführt worden, die die Grundlage für die Ermittlung des „Einheitswertes“ landwirtschaftlicher Grundstücke bildete. Es sind die sogenannten Flurkarten, die aber meist ohne Höhenlinien verwandt werden und auch nur so in den Archiven der Vermessungsämter einzusehen sind.

Es tauchte während der Arbeit im Gelände sehr bald der Gedanke auf, neben dem Meßtischblatt auch die Flurkarte 1 : 2 500 wenigstens für einige ausgewählte Gebiete zu verwenden, um festzustellen, inwieweit es gelingen würde, mit dieser besonders großmaßstäblichen Karte Details herauszuarbeiten. Ein durchschnittliches Meßtischblatt überdeckt etwa 130 qkm und ist noch geeignet, verhältnismäßig schnell ein größeres Gebiet zu kartieren. Die Flurkarte wird immer nur in Frage kommen, wenn für einen bestimmten Zweck ein viel kleineres Gebiet zu bearbeiten ist. Auf die Unterschiede des Kartierens mit dem Meßtischblatt und mit der Flurkarte wird später noch eingegangen werden. Was früher über die Höhenlinien des Meßtischblattes gesagt wurde, gilt für die Flurkarte in erhöhtem Maße. Auch hier gibt es Fälle, die von der Wirklichkeit wesentlich abweichen. Was die Orientierung auf den von mir benutzten Flurkarten aus einem Gebiet südlich von Bad Kissingen besonders erschwerte, war die Tatsache, daß der Verlauf der eingezeichneten Feldfluren an vielen Stellen überholt war und daß breite, viel befahrene Feldwege ganz fehlten.

#### 8. Fortbewegungsmittel im Gelände

Für die Schnelligkeit und Gründlichkeit der Durchführung der Arbeit im Gelände ist es nicht gleichgültig, welches Fortbewegungsmittel man anwendet. Die alleinige Fortbewegung zu Fuß scheidet aus, da auf diese Weise die Geländearbeit viel zu langsam vor sich gehen würde und die Tagesleistung viel zu gering wäre. Ein Personenkraftwagen ist zu stark an fahrbare Straßen und Wege gebunden und würde zu große An-

marschwege zu den eigentlichen Aufnahmestellen bedingen. Daher sind Motorräder dem Kraftwagen vorzuziehen, aber es empfiehlt sich nicht, die ganz schweren Maschinen einzusetzen, die zu schwer zu handhaben sind, wenn das Fahrzeug auch mal geschoben werden muß. Sehr bewährt hat sich das mit einem Leichtmotor versehene Fahrrad — Moped. Es ist dem früher viel benutzten motorlosen Fahrrad weit überlegen infolge seiner größeren Geschwindigkeit und der Fähigkeit, auch stärkere Steigungen zu überwinden. Das Moped hat sich eigentlich als das ideale Fortbewegungsmittel bei den Geländearbeiten erwiesen.

Neben der selbstverständlichen Verkürzung der Anmarschwege erlaubt es weit in das Gelände, auch wenn nur Fußsteige vorhanden sind, einzudringen. Allerdings darf die Motorisierung nicht dazu verleiten, durch das Gelände zu rasen. Hauptaufgabe des Geländemeteorologen ist es, die Augen offen zu halten und die feinen Unterschiede in der Topographie zu erkennen. Dabei müssen möglichst viele Punkte im Gelände besucht werden. Es genügt auf keinen Fall, etwa sich damit zu begnügen, von einem erhöhten Punkt aus zu versuchen, einen „Überblick“ zu gewinnen. Das Gelände sieht ganz anders aus, je nachdem ich es von „unten“ oder von „oben“ betrachte. Täler müssen vom Talboden aus erkundet werden, und dann sind einige Profile über die Hänge zu legen. Selbstverständlich kann auch das Moped nicht an jeden Erkundungspunkt heranzuführen, sondern vieles muß noch erwandert werden. Aber dazwischen führt es schnell von einem Ausgangspunkt dieser Wanderungen zum anderen.

Es bietet keine Schwierigkeiten, das bei den Arbeiten im Gelände benötigte Meßgerät sowie Karten- und Zeichenmaterial auf dem Moped mit sich zu führen.

### 9. Das für die Geländearbeit benötigte Gerät

Dieses Gerät war recht einfacher Natur, da, wie früher ausgeführt wurde, von Durchführung instrumenteller Messungen einzelner Wetterelemente bewußt abgesehen wurde.

Zum Einspannen der Karte und gleichsam als Zeichentisch wurde der von der Firma Nestler-Stuttgart in den Handel gebrachte Feldrahmen benutzt, Gesamtgröße  $33\frac{1}{2} \times 26$  cm. In diesem Rahmen befindet sich eine Leichtmetallplatte, auf der die Kartenunterlage aufliegt, nutzbare Zeichenfläche  $26 \times 18$  cm. Es können die Meßergebnisse entweder direkt in die Originalkarte eingetragen werden, oder, was manchmal praktischer ist, in ein gut durchscheinendes Pausblatt, das über die Karte gespannt wird, nachdem man einige Paßpunkte zur richtigen Orientierung mit der Originalkarte angebracht hat. Ein Riemen, der in 2 Ösen eingreift, die versetzt in die beiden Längsseiten des Rahmens eingeschraubt sind, ermöglicht es, den Rahmen um den Hals zu hängen und beim Zeichnen so vor die Brust zu bringen, daß er bequem als Tisch dienen kann. Ein Stativ, das gelegentlich für diesen Feldrahmen empfohlen wird, wurde nicht benutzt. Was an Bleistiften und Farbstiften mitzunehmen ist, wird durch die Art und den Umfang der beabsichtigten Kartierungsarbeiten bestimmt.

Bei den Arbeiten zur Erarbeitung der Methodik einer Landesklimateaufnahme wurde grundsätzlich mit dem Besonnungsmesser gearbeitet, wie er von A. Morgen angegeben wurde. Es ist ein kleines leicht zu handhabendes Gerät und wird später noch eingehend beschrieben werden. Schließlich ergänzte ein Kompaß, der um das Handgelenk geschnallt werden konnte, die Ausrüstung.

Falls es wirklich notwendig sein sollte, meteorologisches Gerät, wie Aspirationspsychrometer und Hand-

anemometer mitzunehmen, so steht dem nichts entgegen. Auf dem Moped kann auch dieses transportiert werden.

Im allgemeinen ist es ratsam, sich bei den zu erledigenden Geländearbeiten nicht mit zu viel Gerät zu belasten. Was nicht am eigenen Körper umgehängt oder in den Taschen mitgeführt werden kann, und zwar so, daß die Hände zur eigentlichen Meß- und Zeichenarbeit frei bleiben, erschwert nur die Arbeit und lenkt von der Hauptaufgabe ab.

Bei den nachfolgenden Erörterungen wird sich noch mehrfach Gelegenheit ergeben, über praktische Erfahrungen bei der Geländearbeit zu berichten.

### 10. Die Besonnung als grundlegender Faktor für die Herausbildung des Lokalklimas

Im Abschnitt 5, der von der Beziehung der Lokalklimate zum Makroklima handelte, war eine Durchmusterung des Klimas von Deutschland vorgenommen worden. Dabei war nur vom Luftaustausch im Großen ausgegangen worden, und damit war es möglich gewesen, sich ein Urteil über ihre Ausbildungsmöglichkeit über den einzelnen Teilen Deutschlands zu verschaffen. Die Ausbildung der Lokalklimate selbst mit ihren mannigfachen Intensitätsabstufungen ist aber auf jene große Energiequelle zurückzuführen, von der die Schaffung des allgemeinen Klimas überhaupt abhängt, nämlich die Sonne.

Beim Durchgang durch die Lufthülle der Erde wird ein wesentlicher Teil der von der Sonne ausgehenden Strahlung von den Wolkenoberflächen zurückgeworfen und in der Atmosphäre durch die Luftmoleküle und auch durch die in ihr in größerer oder geringerer Menge vorhandenen Beimengungen diffus zerstreut und teilweise in den Weltraum zurückgeworfen. Auch absorbieren Wasserdampf, Kohlensäure und Ozon einen weiten Teil der Strahlung, aber trotz dieses dreifachen Verlustes steht eine gewaltige Strahlungsenergie am Grunde des Luftozeans zur Verfügung. Aus ihr können sich all die thermodynamischen Prozesse in der Atmosphäre entwickeln, die das Wetter bedingen und in ihrer Gesamtheit das Klima bilden. Daß sich auf dem Erdball im Ganzen gesehen makroklimatische Zonen entwickeln, ist das Werk folgender Faktoren: Der geographischen Breite, der ungleichen Verteilung der großen Land- und Wasserflächen auf der Erde, der daraus resultierenden Lage zu den Kontinenten und Ozeanen, letztere mit den stark kontrastierenden warmen und kalten Meeresströmungen, und schließlich der Oberflächengestaltung des Geländes mit den Höhenunterschieden und ihrer gegensätzlichen Beschaffenheit, wie nackter Boden oder Pflanzendecke, Schnee- oder Eisbedeckung.

In diesen Makroklimazonen entwickeln sich in ganz anderer Größenordnung die Lokal- und Mikroklimata, und zwar dort am stärksten, wo, wie bereits ausgeführt, der Luftaustausch klein ist, d. h. bei kleiner mittlerer Windgeschwindigkeit, und wo daneben eine geringe Bewölkung eine möglichst große Strahlungsenergie zuläßt.

Bei der Ausbildung der Lokalklimate spielt jener Strahlungsanteil die Hauptrolle, der bis zur Erdoberfläche vordringt. Hier wiederholt sich zunächst der gleiche Vorgang, der sich, wie bereits erwähnt, in den höheren Schichten an den Wolkenoberflächen abspielt. Auch der Erdboden reflektiert einen Teil der auftreffenden Strahlung. Die Reflexzahl (Albedo), worunter das in % ausgedrückte Verhältnis zwischen einkommender und reflektierter Strahlung verstanden wird, schwankt zwischen hohen und niedrigen Werten, die von rund 5% bis

90% reichen, und zeigt dadurch endlich, wie stark der Wärmeumsatz zwischen Luft und Boden, von der Beschaffenheit und Bewachsung des letzteren abhängig ist. (Weiteres siehe Abschnitt 28.) Im Durchschnitt kommt aber der Hauptteil der Strahlung in der obersten Bodenschicht zur Absorption und bewirkt als Wärmeenergie die Erwärmung der Bodenoberfläche. Sie ist ein sehr komplizierter Vorgang, der nach Bodenart und -zustand sich in sehr verschiedener Weise abspielt.

Da zwischen einer ebenen Fläche und einer geneigten ein großer Unterschied im Betrag der von ihr empfangenen Wärmemenge besteht, muß die Geländegestaltung mit ihren wechselnden Hangneigungen und Hangrichtungen berücksichtigt werden. Zusammen werden sie gewöhnlich im deutschen Sprachgebrauch als „Exposition“ bezeichnet. Sie spielt bei der Schaffung der Lokalklimate eine ausschlaggebende Rolle, und die Bezeichnung „Expositionsklima“ ist gerechtfertigt.

Häufig durchgeführte Berechnungen der einer ebenen Fläche zukommenden Strahlung (Horizontalstrahlung) und jener Energiemenge, die auf eine senkrecht zur Strahlungsrichtung stehenden Fläche auftrifft, haben es möglich gemacht, die Strahlung verschiedener Expositionen zu ermitteln. Bekanntlich hängt die Intensität der direkten Sonnenstrahlung an einem bestimmten Ort von dessen geographischen Breite, der Sonnendeklination und der Tageszeit, von der Meereshöhe und dem Trübungsgrad der Luft ab. Von diesen Faktoren hat der Trübungsgrad eine besonders starke Wirkung, die größer sein kann als die der geographischen Breite und des Höhenunterschiedes. Besonders in den Wintermonaten unserer Breiten ist dieser Einfluß sehr hoch. Er ist abhängig vom Wasserdampf und den Beimengungen der Atmosphäre, die über Großstädten und Industriezentren die einkommende Strahlung wesentlich herabsetzen können. So liegt in der Trübung der Atmosphäre, deren Intensitätsgrad durch den sogenannten „Trübungsfaktor“ ausgedrückt wird (Zahl der ganz reinen Atmosphären, die den Strahlungsverlust der getrübten Atmosphäre verursachen), ein starkes lokalklimatisches Element. Die Trübung ist naturgemäß stark von den Wetterfaktoren abhängig und wird bei den Berechnungen der Strahlungsenergie üblicherweise nur mit einem mittleren Wert berücksichtigt.

Das gleiche gilt auch für die Bewölkung. Sie hat einen starken jährlichen und täglichen Gang und unterliegt sehr starken unperiodischen Änderungen, die an die wechselnden Wetterlagen und Luftmassen mit gegenständlichem Wasserdampfgehalt gebunden sind. Um den damit verknüpften Schwierigkeiten bei den Berechnungen zu entgehen, setzt man entweder einen mittleren Bewölkungsgrad in die Berechnung ein oder führt diese für einen wolkenlosen Himmel durch. Dies gilt auch für die in dieser Untersuchung mitgeteilten Energiezahlen. Sie gelten für die höchstmögliche Sonnenscheindauer.

Messungen der Sonnenstrahlung wurden in zunehmendem Maße notwendig, nachdem man die praktische Bedeutung der Klimatologie erkannte. Im Kurortwesen, in der Bau- und Landwirtschaft kam es darauf an, den einem Ort zukommenden Strahlungsgenuß zu kennen. Die mögliche Sonnenscheindauer läßt sich aber in den meisten Fällen nicht nur aus den astronomischen Auf- und Untergangszeiten der Sonne ermitteln, sondern die Abschirmung durch den natürlichen Horizont muß bekannt sein. Besonders im Hochgebirge, aber auch bei allen Tallagen im Mittelgebirge, ist der Horizont nicht frei und kann durch die Bergketten sehr eingeengt sein. Um den dadurch bedingten Verlust an Sonnenschein zu ermitteln, war es notwendig, den Tagbogen der Sonne für den Beobachtungsplatz zu messen. Horizontbegrenzung bedeutet eine Verkürzung des Tag-

bogens. Aus dieser Notwendigkeit heraus entstanden die sogenannten Tagbogenmesser verschiedenster Bauart. Bei ihnen ist die leichte Handhabung und bequeme Transportmöglichkeit ausschlaggebend für die praktische Verwendung des Gerätes.

Die älteste mir bekannt gewordene Beschreibung eines solchen Apparates stammt von L. H. Quarles van Ufford (45) aus dem Jahre 1909. Dann haben P. L. Mercanton (46) und Wilh. Schmidt (47) sich ebenfalls dieser Frage zugewandt und unter Benutzung von Theodoliten ähnliche Geräte gebaut. Besonders intensiv durchgebildet ist ein vom Physikalisch-Meteorologischen Observatorium in Davos im Jahre 1943 entwickelter Messer, der sich eines älteren Ballontheodoliten von Bosch als Grundlage bedient. Sein Erbauer H. Wierzejewski gab eine Beschreibung in dem von J. C. Thams und E. Zenone (48) erstatteten Bericht über die Sonnenscheindauer und Globalstrahlung auf der Magadino-Ebene im Schweizerischen Kanton Tessin. Ein handliches Gerät von nur 2,9 kg Gewicht (einschl. Stativ), das den Taschentheodoliten T 12 der Firma Wild-Heerburg benutzte, konstruierte 1951 M. Schüep (49) von der Schweizerischen Meteorologischen Zentralanstalt in Zürich. Der Liebesswürdigkeit von Dr. Mörikofer-Davos verdanke ich die Kenntnis einer Verbesserung der Schüep'schen Konstruktion durch den schon genannten H. Wierzejewski (50). Darin werden u. a. die Justierbedingungen und die Fehler der Aufstellung erörtert und dargelegt, daß das Gerät nur für Breiten zwischen 0° und 54° eingesetzt werden kann.

A. Becker-Freyseng (51), dem diese Methoden zur Ermittlung der Besonnungsdauer für die Erfordernisse des Bauwesens, wenn es galt, die Abschattung von Grundstücken durch Nachbargelände oder Berghöhen zu ermitteln, doch noch zu umständlich und zeitraubend waren, hat ein Lochkamera-Gerät beschrieben, das gegenüber anderen Methoden in der praktischen Verwendung Vorzüge haben soll. Auf die von Becker-Freyseng angeführten weiteren Vorschläge von Bauingenieuren sei nur verwiesen.

Mit der Lochkamera wird die Horizontlinie von dem in Frage kommenden Standort in 2 Aufnahmen so fotografiert, daß auf dem Bilde zugleich ein rechtwinkliges Gitter zu sehen ist. An ihm kann die genaue Dauer der Beschattung durch die Umgebung für jeden beliebigen Tag des Jahres sofort abgelesen werden. Der Bericht stützt sich auf ein mit einfachsten Mitteln hergestelltes Versuchsmodell. Weiter sind anzuführen das Horizontoskop von F. Tonne (52) und die von F. Sturm (53) vorgeschlagenen Besonnungswertpläne. Nach J. C. Thams (54), der 4 verschiedene Methoden miteinander verglich, muß man bei Bestimmungen der effektiv möglichen Sonnenscheindauer mit verschiedenen Instrumenten mit Fehlern in den Monatssummen rechnen, die im ungünstigsten Fall ungefähr 4% erreichen, im Mittel jedoch kaum 2% betragen.

So viel über die Versuche, die mögliche Sonnenscheindauer unter Berücksichtigung der vorhandenen Horizontüberhöhungen mit Hilfe eines Gerätes zu messen. Wenn nun bei der Erarbeitung einer Methodik der Landesklimaaufnahme von dem Strahlungsgenuß, den die einzelnen Geländeabschnitte ihrer Exposition entsprechend empfangen, ausgegangen werden soll, so muß selbstverständlich die mögliche Sonnenscheindauer auch bei nicht freiem Horizont berücksichtigt werden. Bei der Arbeit im Gelände gibt es aber keinen festen Standort im Sinne einer meteorologischen Station, eines Gebäudes, eines bestimmten Grundstückes oder anderer Objekte, sondern der Geländeklimatologe wandert im Gelände von einem Ort zum anderen, wobei sich für ihn der Horizont fortwährend ändert, und zwar in

stark wechselndem Gelände in schroffer Weise. Die vorstehend erwähnten Methoden, die Horizontabschirmung zu bestimmen, konnten unmöglich im augenblicklichen Stadium der Arbeit angewandt werden. Der erforderliche Zeitaufwand hätte in keinem vernünftigen Verhältnis zum Ergebnis gestanden, ganz abgesehen davon, daß der Einsatz einer entsprechenden Zahl von Hilfskräften nicht zu verantworten war. Selbst auf die Gefahr hin, weniger exakt zu sein, mußte viel einfacher gearbeitet werden, jedoch mit dem Ziel, die Wirkung der Horizontüberhöhung wenigstens angenähert in Rechnung zu stellen. Wie dies geschehen ist, wird im nächsten Abschnitt bei Erörterung des verwandten Besonnungsmessers auseinandergesetzt werden.

### 11. Die Grundlagen des Besonnungsmessers nach A. Morgen

Die Grundlagen dieses Besonnungsmessers gehen auf Studien zurück, die der frühere Leiter der Agrarmeteorologischen Forschungsstelle in Trier, W K a e m p f e r t, durchführte. (17, 18). Ausgehend von der bekannten Formel

$$B = J \cdot \sin y$$

entwickelte er für den Hang verschiedener Neigung und Exposition die Formel:

$$B = J [\cos (a - \varepsilon) \cdot \cos h \cdot \sin v + \sin h \cdot \cos v]$$

Hierin bedeutet:

- B die solare Bestrahlungsstärke in cal/qcm · min,
- J die solare Total-Intensität in cal/qcm · min,
- a das Sonnenazimut = Winkel zwischen Sonnenvertikal und Südmeridian,
- h die Sonnenhöhe = Winkel zwischen Sonnenstrahl und Horizont-Ebene,
- ε die Hang-Exposition = Winkel zwischen entsprechender Wandnormale und Südrichtung,
- v die Hang-Neigung = Winkel zwischen Hang- und Horizont-Ebene.

Diese Gleichung hat universelle Bedeutung.

Daraus entstand ein umfangreiches Tabellenwerk der möglichen solaren Bestrahlungsenergie, dessen Bedeutung für agrarmeteorologische und bioklimatische Untersuchungen unbestritten ist. Da die Drucklegung dieses Zahlenmaterials unmöglich war, entschloß sich nach dem leider zu frühen Tode von W. K a e m p f e r t dessen Mitarbeiter A. M o r g e n zu einer konzentrierten Form in wenigen Diagrammdarstellungen (19). Hier wurden auf engstem Raume die möglichen Bestrahlungswerte für ebene Flächen verschiedener Exposition d. h. S, SE (SW), NE (NW), N — Hang auf dem 50. Grad nördlicher Breite bei mittlerer Trübung festgelegt. Den Diagrammen lagen die Berechnungen der halbstündlichen Minutenwerte an 11 Stichtagen der ersten Jahreshälfte zwischen 22. Dezember und 21. Juni zugrunde. Für die Neigungswinkel 0, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80 und 90° wurde je ein solcher Bogen berechnet und je 10 für jede der 8 Expositionen N, NE, E, SE, S, SW, W und NW. Die jeweiligen Minutenwerte von Sonnenauf- bis Sonnenuntergang sowie zu jeder vollen und halben Stunde dienten als Punktwerte zur Festlegung des Tagesverlaufs. Die planimetrisch ermittelten Tagessummen an den 11 Stichtagen ergaben die Fixpunkte zur Konstruktion des Jahresganges. Dessen graphische Integration ergab schließlich — unter Vernachlässigung der zwar bestehenden aber geringen Differenzen zwischen der ersten und zweiten Jahreshälfte — durch einfache Spiegelung der Werte vom 22. Dezember bis 21. Juni die Jahressummen der verschiedenen Expositionen und Neigungen.

Für die praktische Anwendung dieser Ergebnisse war es dann ein großer Fortschritt, daß A. M o r g e n (20) sich entschloß, diese Diagramme in ein Gerät einzubauen,

das ihre Koppelung mit Hangneigung und Exposition durchführte. Aus Gründen der Vereinfachung und der größeren Verwendungsmöglichkeit wurden zunächst nur die Jahressummenwerte benutzt, und zwar für den 50. Breitengrad. Welche Wertänderungen eintreten, wenn dieser Breitengrad nach Norden oder Süden verlassen wird, hat A. M o r g e n auf Wunsch des Verfassers bestimmt und die Jahressummenwerte der Süd- und Nordhänge mit 0 bis 90° Neigung für die Breiten von 40°, 50° und 60° errechnet.

Da die Arbeitsgebiete der vorliegenden Untersuchung nahe bei 50° nördlicher Breite lagen, konnte das Gerät unbedenklich ohne jede Korrektur benutzt werden. Die Verschiebung der Werte bei anderen Breiten beträgt maximal etwa 1 — 2% je Breitengrad, im Mittel weniger als 1%.

Das dem Verfasser freundlichst zur Verfügung gestellte Gerät enthielt nur das Jahressummendiagramm, in der eigentlichen Ausführung der serienmäßigen Herstellung ist daneben das Diagramm für die Hauptvegetationszeit eingefügt worden.

Daß mit der direkten Sonnenstrahlung der gesamte Strahlungskomplex nicht erfaßt wird, war K a e m p f e r t und M o r g e n (19) sehr wohl bekannt. Besser wäre es gewesen, die sogenannte Globalstrahlung als Grundlage ihrer Berechnungen zu nehmen, denn in ihr sind bei Verwendung geeigneter Meßapparaturen außer der Sonnenstrahlung noch die Himmelsstrahlung und die vom Erdboden reflektierte Strahlung enthalten. In Übereinstimmung mit anderen Autoren hielten K a e m p f e r t und M o r g e n aber die Ermittlung der wirklichen globalen Strahlungswerte für „recht problematisch“. Dies veranlaßte sie, sich mit den Werten der direkten Sonnenstrahlung zu begnügen.

Wie K. G r a e f e (21) gezeigt hat, sind diese Bedenken nicht mehr gerechtfertigt, da es zur Bestimmung der Globalstrahlung verschiedene Möglichkeiten gibt. In Hamburg-Fuhlsbüttel ist seit Herbst 1951 die Sonnen- und Himmelsstrahlung mit Moll-Gorczyński-Solarimetern in horizontaler und in vertikaler Aufstellung nach N, S, W und E, sowie in einem Winkel von 45° nach Süden laufend registriert worden. Die aus dieser Versuchsanordnung gewonnenen Ergebnisse zeigten deutlich, wie stark der Anteil der Himmels- und der am Erdboden reflektierten Globalstrahlung am gesamten Strahlungsgenuß der verschiedenen Flächen ist. Diesen Anteil bei der lokalklimatischen Bewertung der einzelnen Geländeabschnitte mit zu berücksichtigen, ist sicher zu empfehlen. Für seine schnelle und bequeme Anwendung bei der klimatologischen Vermessungspraxis bedarf es aber noch sicher nicht geringer Vorarbeiten.

### 12. Beschreibung und Handhabung des Besonnungsmessers

Aus der vorstehend gegebenen Darstellung der Entwicklung des Problems, das schließlich zur Ausführung des jetzt vorliegenden Geräts führte, geht schon hervor, daß die Bezeichnung Besonnungs-„Messer“ streng genommen nicht richtig ist. Das Gerät kombiniert Messungen mit Berechnungen. Seine Angaben sind auch nicht Werte der Sonnenscheindauer, sondern Strahlungsenergiesummen auf eine definierte Flächeneinheit, die aus der optimalen Besonnung resultieren. In Berücksichtigung dieser Einschränkung kann die Bezeichnung, die A. M o r g e n selbst anwendet, gelten.

Die Firma Carl L e i s s, Berlin-Steglitz, hat dem Gerät eine Form gegeben (Tafel 1), die seine leichte Handhabung im Gelände sichert und auch einigermaßen Schutz gegen Wetterunbilden gewährt. Ein Prospekt der Firma gibt folgende Beschreibung:

Der Besonnungsmesser ist aus Leichtmetall hergestellt, seine mechanischen Teile sind vollkommen eingekapselt, so daß Beschädigungen und Störungen nicht eintreten können. Bei einem Gewicht von rund 0,4 kg betragen seine größten Ausmaße  $2 \times 13,5 \times 15$  cm. An der oberen Schmalseite befindet sich die Visiervorrichtung, auf der Rückseite ein Druckknopf zur Auslösung, an der Vorderkante ein Bügel zur Blockierung des Pendelzeigers. Der Zeiger streicht als Index durch eine Zelluloid-Scheibe sichtbar über ein Diagramm mit der Kurvenschar der optimalen Besonnungsenergiesummen einer Fläche in  $\text{cal/cm}^2$  und Jahr (schwarz) bzw. Hauptvegetationsperiode April bis September (rot).

Das Gerät ist in seiner flachen Form außerordentlich bequem und leicht zu handhaben. Zur Messung nimmt man es in die rechte Hand, der Daumen liegt in dem ovalen Durchgriff, der Zeigefinger längs der Rückseite an der Auslöse- und Feststell-Vorrichtung des Pendelzeigers. Um den Besonnungswert der jeweiligen Fläche zu bestimmen, stellt man sich frontal davor, visiert deren Neigung an und läßt durch einen Druck auf den Auslöseknopf das Pendel spielen. Dabei hält man zweckmäßigerweise den Besonnungsmesser mit beiden Händen dicht an Auge und Jochbein angelehnt. Es dauert nur wenige Sekunden bis das Pendel in Ruhelage ist. Ein leichter Druck auf den Bügel der Feststell-Vorrichtung blockiert dann den Zeiger. Nun nimmt man das Gerät vom Auge und hält es so in der flachen Hand, daß der Einbaukompaß horizontal liegt und bestimmt die Exposition der Fläche nach der Himmelsrichtung. Man läßt die Kompaßnadel sich einspielen, nordet dann den Kompaß selbst und liest in gerader Blickrichtung auf der Kompaß-Rosette den Wert der Exposition ab. Für östliche Himmelsrichtungen von  $0$  bis  $180^\circ$  sind die Besonnungskurven in Abstufung von je  $30^\circ$  auf dem Gerät direkt angegeben. Bei westlich orientierten Flächen gibt der Differenzbetrag zwischen Ablesegradzahl und  $360^\circ$  an, welche Kurve man berücksichtigen muß. Am Schnittpunkt des Zeigers mit der entsprechenden Kurve ist sodann der Besonnungswert der Fläche in  $\text{cal/cm}^2$  Jahr (schwarz) bzw. der Hauptvegetationsperiode (rot) direkt abzulesen.

Da der eingebaute Kompaß klein ist und die Kompaßnadel stark schwankt, ist es bequemer, einen größeren Kompaß mit Peilvorrichtung zu verwenden, der um das linke Handgelenk geschallt wird und bei dem die Nadel gedämpft ist. Die Visierung der Hangneigung kann von unten nach oben und von oben nach unten geschehen, je nach den örtlichen Möglichkeiten. Im ersten Falle spielt der Pendelzeiger über dem rechten Teil der Kurvenschar, im zweiten Fall über dem linken Teil. Da meist nach oben hin gemessen wird, gibt dieser Diagrammteil Neigungswinkel bis  $60^\circ$ , der andere dagegen nur bis  $30^\circ$ .

Wenn bei der Arbeit im Gelände der Besonnungsmesser fortlaufend benutzt wird, empfiehlt es sich, ihn an einer Schnur umgehängt zu tragen. Man erspart sich dann das häufige Zurückstecken in die Tasche. Manchmal, vor allem an schwach geneigten Hängen, ist es notwendig, knieend zu arbeiten. An gewissen Stellen im Gelände wurde die Besonnungsgröße durch Hangaufwärts- und Hangabwärtspeilung bestimmt. Fand sich im Gelände durchaus kein Anpeilobjekt, dann wurde nicht über die Visierlinie, sondern senkrecht dazu gepeilt und versucht, die gedachte Visierlinie parallel zur Erdoberfläche zu bringen.

Bei stärkerem Regen war es notwendig, das Gerät zu schützen, denn bei dem benutzten Versuchsmodell war die Dichtung nicht vollkommen, und Wasser konnte in das Innere eindringen, was zum Schwellen der Papierschablone Anlaß gab. Bessere Dichtung oder die Verwendung einer Kunststoffschablone könnte hier leicht Abhilfe schaffen.

Der Besonnungsmesser wurde für drei Zwecke verwendet:

- 1) im Gelände zur Bestimmung der möglichen Besonnungsgröße unter Nichtberücksichtigung der Horizontüberhöhungen in der vorstehend beschriebenen Weise,
- 2) im Gelände zur Messung der Horizontüberhöhungen im ENE, ESE, SSE, WSW und WNW mit Hilfe der Visiervorrichtung und des Neigungspendels. Auf die Notwendigkeit der Berücksichtigung der Horizontüberhöhung wird in einem späteren Abschnitt eingegangen,
- 3) unter gewissen Voraussetzungen am Schreibtisch zur Berechnung der Besonnungsgrößen unter Zuhilfenahme der Topographischen Karte  $1 : 25\,000$ , der Exposition und Gehängeneigung entnommen werden konnten.

N. Weger-Geisenheim ist in der Benutzung des Besonnungsmessers bei der Kartierung der Weinbergs-lagen im Rheingau einen Schritt weitergegangen (55), indem er das Diagramm, das für wolkenlose Tage entworfen wurde, unter Berücksichtigung der tatsächlichen Bestrahlung umrechnete. Dabei wurden vieljährige Stundenmittel der Sonnenscheindauer zugrunde gelegt. Für einzelne Orte läßt sich diese Arbeit mit den üblichen Hilfsmitteln durchführen. Im Rahmen der Erarbeitung einer Arbeitsmethodik für die Landesklima-aufnahme konnte sie für ein größeres Gebiet noch nicht geleistet werden.

### 13. Die Verteilung der Besonnungszahlen, erläutert an Modellformen

Wenn man sich klar darüber werden will, welche Verteilung der Besonnungswerte im Gelände mit seinem wechselnden Formen zu erwarten ist, dann ist es zweckmäßig, einige ideale Geländeauschnitte, sozusagen Modelle, durchzurechnen. Das Ergebnis ist in den von E. K a p s bearbeiteten Diagrammen festgelegt. Die Serie I (Tafel 2—4) stellt welliges Gelände mit nur geringen Höhenunterschieden dar, und zwar in den verschiedenen Expositionen nach Norden, Osten und Süden. Wie zu erwarten war, unterscheiden sich die Einzelbilder beträchtlich. (Die Einheit  $\text{kcal/cm}^2$  Jahr wird im folgenden öfters mit kcal abgekürzt.)

Im ersten Fall, bei dem das wellige Gelände schwach nach Norden geneigt ist, kommen nur 2 Stufen der Besonnungsskala in Frage, nämlich 110—120 und 120—130 kcal (siehe Abschnitt 16). Dabei finden sich die geringeren Besonnungsgrößen auf den nach Norden zu exponierten kleinen Rücken. Dort, wo die Hangneigung größer wird, wie z. B. in der rechten unteren Ecke des Diagramms, greift die Fläche geringerer Besonnung von einem Rücken zum anderen über.

Wird das Modell gedreht, so daß das Gefälle nach Osten weist, dann kommt eine ausgesprochen streifenförmige Anordnung der Besonnungszahlen zustande. Zu den beiden Besonnungsstufen, die Tafel 2 zeigt, tritt nun in Tafel 3 noch eine Stufe höherer Besonnungswerte 130 bis 140 kcal hinzu. Sie liegt auf den nach SSE zu exponierten Hängen. Dies Modell gilt sinngemäß auch für ein Modell mit schwachem Gefälle nach Westen. Die Unterschiede zwischen den NNE und SSE Hängen, die im Diagramm zwar deutlich in Erscheinung treten, mögen für die Praxis des Feld- und Gemüsebaues im allgemeinen nicht von Bedeutung sein, für wärmeempfindliche Kulturen können sie sich aber sehr wohl auswirken.

Schließlich zeigt die Tafel 4 welliges Gelände mit schwachem Gefälle nach Süden. Hier ist das Verteilungsbild der Besonnungswerte sehr stark ausgeglichen. Die

Gruppe 120—130 kcal herrscht fast ausschließlich, nur dort, wo an den Südhängen das Gefälle stärker ist, gehen die Werte in die höhere Gruppe mit 130—140 kcal hinein.

Die Diagrammserie II (Tafel 5—7) behandelt einen Steilhang in seinen verschiedenen Expositionen. Dabei treten größere Unterschiede in den Besonnungszahlen auf.

Am größten sind sie bei einem nach Norden zu exponierten Steilhang (Tafel 5). Die Stellen strenger Nordexposition weisen die geringsten Werte mit 80—90 kcal auf. Geringe Abweichungen von der strengen Nordexposition verbessern die Besonnungsverhältnisse merklich bis am oberen Rand des Steilhanges, dort, wo die Exposition nach Süden umschwenkt, die Besonnungswerte über 120 kcal ansteigen.

Ist der Steilhang nach Osten orientiert (Tafel 6), dann ändert sich das Bild merkbar. Die großen Gegensätze, die beim Nordhang auftraten, sind verschwunden. Nur dort, wo eine Orientierung nach NE oder NW vorhanden ist, sinken die Werte bis auf 110—120 kcal ab und steigen an den Stellen mit SW-Orientierung über 130 kcal an. Beim Steilhang, der nach Süden exponiert ist, treten die großen Gegensätze wieder auf (Tafel 7). In der strengsten Südexposition steigen die Besonnungswerte über 150 kcal an und nehmen dann bei zunehmender Abweichung von der strengen Südlage immer mehr ab, bis sie in die sozusagen „Normalbesonnung“ von 120—130 kcal übergehen und dort, wo eine Nordkomponente sich in der Exposition bemerkbar macht, unter 120 kcal absinken. An dem Grat zwischen Süd- und Nordexposition ist ein schroffer Übergang von den hohen zu den niederen Werten vorhanden.

Schließlich ist in der Diagrammserie III (Tafel 8—10) eine Bergkuppe bearbeitet worden, bei der die Höhenlinien z. T. geschlossen sind und z. T. in andere Geländeformen übergehen. Das Modell ist wie in den Serien I und II zunächst nach Ost (Tafel 9) und schließlich nach Süd (Tafel 10) gedreht worden. Nach dem bei den Hangformen Gesagten ist die Verteilung der Besonnungswerte verständlich, die Veränderung bei den verschiedenen Drehungslagen des Modells mit dem sich daraus ergebenden Wechsel der Exposition ist zwangsläufig.

Es sei noch hervorgehoben, daß die vorgeführten Modelle nicht etwa vollständig aus der Luft gegriffen wurden, sondern sich an Geländeformen anlehnen, die am Südosthang der Rhön nördlich von Bad Kissingen als Folge der Erosion im Talgebiet der Fränkischen Saale vorkommen.

Die Berechnungen sind auch für eine streng geometrische Form, eine Kugelkalotte von 0 bis 50° Breite, durchgeführt worden; Tafel 11 zeigt das Ergebnis mit den Werten für das ganze Jahr, Tafel 12 für die Vegetationszeit April bis September.

Die Jahresenergiesummen zeigen auf den nach Süden zu exponierten Flächen eine ausgeglichene Verteilung als die Nordexposition. Sieht man von dem Streifen mit 120—130 kcal, der sich über den Pol hinzieht, ab, dann folgen nach Süden nur 4 Gruppen unserer Besonnungszahlen, dagegen nach Norden 9 Gruppen. Die Werte gehen bis unter 40 kcal herab. In der Vegetationszeit ist dieser Unterschied zwischen Nord und Süd sinngemäß auch vorhanden, nur sind die Energiesummen der kürzeren Zeitspanne überall geringer und weisen eine gleichmäßigere Verteilung auf.

#### 14. Die Verminderung der Besonnung durch Horizontbegrenzung

Da der Konstrukteur des Besonnungsmessers, Herr A. Morgen, zunächst nur in den freien Lagen der Weinberge gearbeitet hatte, brauchte die natürliche

Horizontabschirmung durch Berghänge im West- und Ostsektor im allgemeinen nicht beachtet zu werden. Bei der Arbeit im Mittelgebirge machte sich die Verminderung des Tagbogens der Sonne in den ausgesprochenen Tallagen sofort bemerkbar. A. Morgen wurde deshalb gebeten, Korrekturen, d. h. Abschläge zu berechnen, die bei nicht freiem Horizont in den einzelnen Sektoren anzubringen sind. Wie diese Arbeit dann durchgeführt wurde, darüber hat A. Morgen brieflich berichtet:

„Als Basis dienten die 550 Tageskurven der Besonnung nach den in der Arbeit ‚Die Besonnung‘ von W. Kaempfert und A. Morgen berechneten Grundwerten. Die Festlegung der Zeitmarken, an denen die Sonne die jeweiligen Begrenzungen überschreitet (bis zu 14 Punkte auf jeder der vorgenannten Kurven) führte zur Abgrenzung der Abzugsflächen. Das Ausplanimetrieren dieser rund 5000 Flächen ergab die verschiedenen Abzugswerte. Diese Werte wurden in entsprechende Halbjahresdiagramme zur weiteren Verarbeitung übertragen. Die 45°-Sektorenschnitte waren durch Fixieren der Zeitpunkte, an denen die Sonne die Azimute  $\pm 90$ ,  $\pm 135$  und  $180$  Grad überschreitet, zu erhalten. Die Flächenwerte bis zu diesen Zeitpunkten auf den Tagesbesonnungskurven wurden in die obigen Halbjahresdiagramme eingearbeitet. Aus den so erhaltenen dreifach überlagerten Diagrammsystemen war es schließlich möglich, auf planimetrischem Wege Abzugswerte in den einzelnen Sektoren zu gewinnen. Die Jahreswerte wurden durch einfache Verdoppelung der Halbjahreswerte gewonnen. Zur Sicherung der Ergebnisse waren zahlreiche zeichnerische Kontrollen notwendig. So wurde auch die Berechnung für Ringsum-Begrenzung durchgeführt. Da die Ermittlung der Abzüge bei sektorieller und bei Ringsum-Begrenzung unabhängig voneinander ermittelt wurden, erklären sich die geringfügigen Differenzen zwischen Summierung der sektoriellen und der Ringsum-Begrenzungsabzüge als unvermeidliche Fehler der zeichnerisch-planimetrischen Methode.“

Herr Morgen hat dem Verfasser die ausführliche Tabelle der Abzüge der Besonnung durch Horizontbegrenzung verschieden exponierter und geneigter Flächen auf 50° nördlicher Breite in kcal/cm<sup>2</sup>·Jahr sofort nach Fertigstellung zur Verfügung gestellt, so daß die Horizontbegrenzungen bei den Arbeiten mit dem Besonnungsmesser berücksichtigt werden konnten. Dafür sei auch hier noch einmal besonders gedankt. Jetzt sind die Tabellen im Akademie-Verlag Berlin erschienen (56).

Es ist A. Morgen zuzustimmen, wenn er sagt, daß die Werte sicherlich für die praktischen Erfordernisse völlig ausreichen.

Es scheint zweckmäßig, auch hier zu betonen, daß bei den in der Arbeit „Die Besonnung“ (19) wiedergegebenen Werten jene Besonnungsverminderungen bereits enthalten sind, die von den Hängen selbst durch ihre eigene Horizontbegrenzungen hervorgerufen werden.

Die Wirkung der Horizontbegrenzung auf die Besonnungswerte soll zunächst an Idealtalformen mit verschiedenen Himmelsrichtungen dargelegt werden. (Auch diese Diagramme wurden von E. Kaps entworfen).

Die beiden abgebildeten Serien veranschaulichen an erster Stelle die Verhältnisse in einem Flachtal, bei dem, was meist vorkommt, die unteren Talhänge stärker, die oberen schwächer geneigt sind (Tafel 13—15). Dies sind jene Täler, wie wir sie fast allgemein in den Mittelgebirgen in zu weichen Formen neigendem Gestein antreffen.

Die zweite Serie bezieht sich auf eine Talform mit steileren Talhängen, bei denen sich das Wasser in härteres Gestein eingraben mußte (Tafel 16—18). Die Tä-

ler im Franken-Jura (Fränkische Schweiz) haben als Vorbild gedient. In jeder Serie sind die drei Hauptmöglichkeiten des Talverlaufes, nämlich die Ost-West-Richtung, die NW-SE-Richtung und schließlich die Nord-Süd-Richtung behandelt worden. Die Gegenüberstellung der im Idealfall natürlich streifenförmig angeordneten Werten der Besonnungsenergie längs der Talhänge einmal ohne und dann mit Berücksichtigung der Horizontüberhöhung, d. h. also nach Anbringung der Abschlüge, gibt eine deutliche Vorstellung von der Wirkung der Abschattung durch das Gelände.

In den Flachtälern ist dieser Einfluß nicht bedeutend, wenn der Talboden genügend breit ist. Nur am Fuß der Hänge ist ein geringer Abzug zu berücksichtigen. Wie die Breite dieser Zone geringerer Besonnung mit der Richtungsänderung des Talverlaufes schwankt, wird aus den Diagrammen leicht verständlich.

Ganz erheblich sind aber die Abzüge infolge Horizontüberhöhung bei den Tälern mit Steilhängen; die in der zweiten Serie dargestellt sind. Die Talsohle ist hier als wesentlich schmaler angenommen als beim Flachtal, die Steilheit der Hänge wird noch verstärkt durch steilauftragende Felsen, die dem oberen Talrand vorgelagert sind. Die Abschlüge erreichen an den Talböden Werte von mehr als 30 kcal/cm<sup>2</sup>/Jahr, im extremsten Fall beim West-Ost-Tal sogar über 40 kcal/cm<sup>2</sup>/Jahr. Derartige Talformen schaffen zwangsläufig recht ungünstige Strahlungsklimate. Die den Abbildungen beigefügten Erläuterungen erübrigen weitere Ausführungen.

Aus der Praxis der Bearbeitung der im folgenden Abschnitt besprochenen Besonnungskarten hätten sich leicht viele Beispiele dafür beibringen lassen, welche Beträge die Abschlüge wegen Horizontüberhöhung tatsächlich erreichen. Der Kostenersparnis wegen wurden auf Tafel 19 aber nur einige verhältnismäßig enge Waldtäler (Blatt 5626-Sandberg der Topographischen Karte 1:25 000) wiedergegeben. Sie münden östlich des Kreuzberg-Gebietes in das Tal der Brend, einem Nebenfluß der Saale, aus. Die den einzelnen Meßpunkten beigefügten Zahlen geben den jeweiligen Besonnungsabschlag in kcal/cm<sup>2</sup>·Jahr an. Sie gelten für den Talboden und gehen maximal über 50 kcal hinaus.

Bei der Übertragung der idealen Fälle in die Wirklichkeit darf eine wichtige Tatsache nicht übersehen werden. Die mit dem Besonnungsmesser ermittelten Werte gelten immer nur für vollkommene Wolkenlosigkeit. Bei Vergleichung weiter Flächen im Gelände sind sie stets nur als Relativwerte aufzufassen. Diese Vergleichbarkeit ist aber dort nicht mehr gegeben, wo große Bewölkungsunterschiede auftreten. Die Verteilungskarten der Bewölkungsmenge zeigen deutlich, daß besonders im Gebirge starke Unterschiede auftreten, da mit zunehmender Höhe auch die Kondensationsmöglichkeit des Wasserdampfes in der Luft größer ist und somit die Bewölkungszahlen mit wachsender Höhe auch erheblich über denen für die Ebenen geringerer Höhe liegen. Wir können also nicht den Strahlungsgeuß für die Berggipfel in der einfachen Methode nach Morgen ermitteln. Schon bei der Vergleichung von Luv- und Leeseiten der Gebirgszüge müssen wir vorsichtig sein, da zwischen Luv- und Leeseite auch für geringere Höhenlagen bereits merkbare Unterschiede in der Wolkenbedeckung auftreten können.

#### 15. Die Besonnungskarten (Unterlagen und Auswahl des Geländes)

Daß für den größten Teil der kartierten Fläche das bekannte Meßtischblatt im Maßstab 1:25 000 benutzt wurde, ist schon früher gesagt worden. Da bald klar

wurde, daß für praktische Zwecke mit diesem Maßstab nicht genügend Details wiedergegeben werden konnten, wurde auch ein Versuch mit der sogenannten Flurkarte 1:2 500 gemacht. Selbstverständlich konnte dabei nur ein ganz kleiner Geländeteil bearbeitet werden. Diese Zusatzarbeit war aber notwendig, um die Leistungsmöglichkeit der Flurkarte zu zeigen, denn bei Beurteilung bestimmter Grundstücke, und auf diese wird es bei vielen konkreten Fragen ankommen, wird die Flurkarte herangezogen werden müssen.

Bei der Auswahl des zu kartierenden Geländes mußten von vornherein Beschränkungen mit in Kauf genommen werden. Es konnte nicht daran gedacht werden, etwa jenen Plan zu verwirklichen, der auf der schon erwähnten Sitzung einer kleinen Kommission des Ausschusses „Landschaftspflege und Landschaftsgestaltung“ der Akademie für Raumforschung und Landesplanung in Hannover im Juni 1950 auftauchte und eine Kartierung in ausgewählten Bezirken Nord- und Süddeutschlands vorsah. Wahrscheinlich war der Plan zu groß gewesen, und da die dazu benötigten, nicht unerheblichen Mittel von keiner Seite zur Verfügung gestellt werden konnten, war er auch von vornherein zum Scheitern verurteilt. Diese Gefahr sollte unbedingt vermieden werden, und daher mußte jede Arbeitsplanung in die von der Forschungsgemeinschaft in dankenswerterweise bewilligte Beihilfe eingeordnet werden. Dies setzte voraus, daß größere Reise- und Aufenthaltskosten an fremden Orten außerhalb des festen Standquartiers des Geländeklimatologen auf ein Mindestmaß beschränkt wurden. So kam nur die Umgebung von Bad Kissingen als dem Wohnort des Verfassers und seiner Mitarbeiter in Frage. Unter Benutzung des in den Betriebskosten sehr billigen Mopeds konnte der Begriff „Umgebung“ bis zu rund 100 km Entfernung nach Südosten ausgeweitet werden. Allerdings ist dies nicht so zu verstehen, daß das Gebiet innerhalb dieser Entfernung vollständig bearbeitet wurde. Diese Arbeit konnte von dem einen Mitarbeiter, der jeweils zur Verfügung stand, unmöglich in der vorgegebenen Zeit bewältigt werden. Die Kartierung mußte sich auf bestimmte Blätter der Karten 1:25 000 und 1:2 500 innerhalb der weiteren Umgebung von Bad Kissingen beschränken.

Glücklicherweise bietet diese mit ihrer Lage am Südosthang der Rhön und dessen kräftiger Zertalung durch die Fränkische Saale mit ihren Nebenflüssen so stark orographisch wechselnde Formen, daß das benutzte Erprobungsgelände mit Recht für unseren Zweck als sehr geeignet angesprochen werden kann. Die geologische Beschaffenheit der Rhön mit ihren Buntsandstein- und Muschelkalkschichten sowie den sich darüber lagernden Lavaergüssen schafft meistens sanft abgerundete Formen, wie sie uns aus den deutschen Mittelgebirgen geläufig sind.

Da es nun darauf ankam, noch schroffere Geländeformen zu kartieren, bei denen auf ungünstige Klimlagen geschlossen werden konnte, wurde ein kleiner, aber charakteristischer Teil der Fränkischen Schweiz in die Erprobung mit einbezogen. Es war dies der besonders malerische Teil der mittleren Wiesent mit den Mündungsgebieten der Nebentäler. Als Teil des Fränkischen Jura ist ihr Grundkörper ein Tafelland, das aus 200 m mächtigen Jurakalken besteht, in das das fließende Wasser, entsprechend der Festigkeit des Gesteins, Täler mit steilen Hängen eingegraben hat.

#### 16. Die Besonnungskarten 1:25 000 (Inhalt)

Die Arbeiten mit dem Besonnungsmesser wurden hauptsächlich, was die Umgebung von Bad Kissingen anbetrifft, im Bereiche der folgenden Blätter der Topo-

graphischen Karte 1:25 000 (Meßtischblätter) ausgeführt:

- Nr. 5626 Sandberg
- Nr. 5726 Bad Kissingen Nord
- Nr. 5826 Bad Kissingen Süd

Daneben wurden noch Geländerkundungen zwecks Sammlung von Erfahrungen und Kartierung besonderer klimatischer Tatsachen im Bereich der Blätter Nr. 5526 Bischofsheim, 5625 Wildflecken, 5725 Stangenroth, 5825 Hammelburg, 5926 Geldersheim, 6026 Werneck vorgenommen.

In der Fränkischen Schweiz wurden Teile der Blätter

- Nr. 6133 Muggendorf
- Nr. 6134 Waischenfeld
- Nr. 6233 Ebermannstadt
- Nr. 6234 Pottenstein

bezüglich der Besonnung kartiert. Hierbei erstreckte sich die Bestimmung der Besonnungswerte aber nur auf bestimmte Tallagen und nur kleine Teile der sich anschließenden Hochflächen, während die Blätter Sandberg, Bad Kissingen Nord und Süd nahezu vollständig kartiert wurden.

Zu Beginn der Geländearbeiten in der Umgebung von Bad Kissingen wurde der Besonnungswert nur im Gelände mit Hilfe des Besonnungsmessers bestimmt. Die Anzahl der Meßpunkte richtete sich dabei naturgemäß nach der Topographie. War das Gelände wenig gegliedert, so daß große Flächen mit der gleichen Exposition und dem gleichen Gefälle vorhanden waren, dann genügten wenige Meßpunkte. Es kam hierbei vor allem darauf an, die Grenzlinien der einheitlichen Flächen festzulegen. Bei stark kupiertem Gelände müssen die Meßpunkte bedeutend dichter liegen, denn dem geübten Auge drängen sich die Besonnungsunterschiede in sehr eindrucksvoller Weise auf. Der Geländeklimatologe fühlt sich dazu veranlaßt, den durch bloßes Sehen gewonnenen Eindruck durch eine Messung zu belegen. Selbstverständlich ist dieses Verfahren sehr zeitraubend, und die Tagesleistung, flächenmäßig betrachtet, ist nicht sehr groß.

Dieser Umstand zwang bald dazu, ein anderes Verfahren anzuwenden. Dieses bestand darin, daß Büro- und Geländearbeit kombiniert wurden.

Die für die Ermittlung der Besonnungswerte erforderlichen Größen, nämlich Exposition und Hangneigung, lassen sich auch der Topographischen Karte entnehmen. Es ist dann leicht, mit ihnen das Lot im Besonnungsmesser einzustellen und die Besonnungssumme abzulesen. Wenn man auf diese Weise den Teil der Karte, den man kartieren will, vorbereitet, so wird die spätere Arbeit im Gelände wesentlich erleichtert. Wenn nicht besondere Schwierigkeiten auftreten, ist es dann möglich, in einer Stunde etwa  $\frac{1}{2}$  bis  $\frac{3}{4}$  qkm zu kartieren. Der Vorteil liegt besonders darin, daß der Meteorologe bereits einen allgemeinen Überblick über die Besonnungsverhältnisse gleich mit in das Gelände nimmt. Er gewinnt auch mehr Zeit für andere Aufzeichnungen, die zu einer Klimaaufnahme gehören. Die Büroarbeit kann aber unmöglich die Geländearbeit vollständig ersetzen. Im Gelände bekommt das Bild der Landschaft erst den lebendigen Eindruck, den ein bloßes Kartestudium niemals vermitteln kann. Auch wird jeder Bearbeiter im Gelände feststellen, daß der Verlauf der Höhenlinien mit der Wirklichkeit in gar nicht so seltenen Fällen nicht übereinstimmt. Geringe Expositionsänderungen, wie sie z. B. durch flache Hangmulden verursacht werden, sind in der Karte nur ganz unvollständig zu erkennen. Es kommt also nur eine kombinierte Methode in Frage, wenn auch durch Vergleich zwischen den Schreibtischwerten und den in der Natur bestimmten Werten festgestellt wurde, daß dort, wo das Gelände einfache Formen hat, die Übereinstimmung genügend ist. Das Gesagte gilt nur für die Karte 1:25 000.

Erfordert der praktische Zweck eine Karte größeren Maßstabes, wie z. B. die Flurkarte 1:2500, dann ist nur im Gelände zu arbeiten, denn hier müssen die Feinheiten der Topographie in viel höherem Maße berücksichtigt werden, als es die Arbeit mit dem Meßtischblatt ermöglicht. Die zur Verfügung stehenden Höhenlinien lassen die Feinstruktur des Geländes nicht erkennen. Näheres wird zu diesem Punkt noch später gesagt werden.

Aus der Praxis der Arbeit im Gelände sei hier noch folgende Erfahrung mitgeteilt. Die Hangneigung wurde meist durch Visierung in der Richtung nach oben bestimmt. Diese Art der Visierung ließ sich leichter ausführen als die nach unten. Dem Gefühle nach läßt sich den Hang hinab die Tangente nur schwer anlegen, häufig fehlt auch ein brauchbarer Punkt zum Anvisieren.

Um bei der zahlenmäßigen Angabe der Besonnungswerte mit möglichst kleinen Zahlen zu arbeiten, wurden nicht kcal, sondern kcal/cm<sup>2</sup> Jahr benutzt. Die Linien gleicher Besonnungswerte wurden dem Vorbild von A. Morgen folgend in Abständen von 10 kcal gezeichnet. Ein geringerer Abstand ist bei der Unsicherheit der Einzelmessungen nicht zu verantworten.

In den Arbeitskarten wurden die Flächen zwischen diesen Linien nach einer vorher festgelegten Skala farbig gekennzeichnet. (Polychromos Farbstifte der Firma A. W. Faber-Castell, Stein bei Nürnberg.) Die Anordnung der Farben lehnte sich gleichfalls an eine von A. Morgen benutzte Skala an, nur an Stelle des in ihr benutzten Weiß für 90—100 kcal wurde gelb eingesetzt. Die Reihenfolge der einzelnen Farbtöne befriedigt nicht vollständig, doch wurde sie trotz dieses Mangels beibehalten, da es sich nur um einen ersten Versuch handelt. An jenem Ende der Skala, das den hohen Besonnungswerten entspricht (über 160 kcal), wurden Röteltöne benutzt, die dann mit abnehmenden Werten über helles gelb (120—130 kcal) nach Grün gehen und schließlich bei den tiefsten im Untersuchungsgebiet vorkommenden Werten (50—60 kcal) in dunklem Grün enden.

Wir betrachten zunächst die Besonnungskarten vom Südosthang der Rhön, also der Umgebung von Bad Kissingen. Der erste Eindruck, den diese Karten beim Beschauer erwecken, ist der der „Buntscheckigkeit“. Aber bei näherem Studium tritt bald das ordnende Prinzip in der Aufeinanderfolge der vielen größeren und kleineren Farbflächen deutlich hervor. Große Flächen des gleichen Farbtons sind an die Gebiete einheitlicher Oberfläche gebunden. Auf den bearbeitenden Kartenblättern finden sie sich auf den Hochflächen zwischen den Taleinschnitten. Sie sind meist verbunden mit ähnlich großen Flächen der benachbarten Besonnungsstufe und zeigen dadurch an, daß es tischähnliche Ebenen nicht gibt, sondern, daß schwache Bodenwellen das Gelände beherrschen. Derartige geringe Unterschiede in der Besonnung haben praktisch keine Bedeutung. Beim Anbau landwirtschaftlicher Feldkulturen spielen diese schwachen Expositionsunterschiede keine Rolle. Die mehrfache Befragung der Bauern hat dies bestätigt. Wohl gemerkt gilt dies aber nur für die im Arbeitsgebiet üblichen Feldgewächse, Getreide, Gemüse, Futterpflanzen, Hackfrüchte. Bei besonders wärme- und sonnenscheinbedürftigen Gewächsen, wie z. B. der Weinrebe, ist es wahrscheinlich anders. In den Weinbergen der Pfalz beispielsweise, die sich bekanntlich weit in die Ebene hineinziehen, ist es sicher, daß die vorkommenden Qualitätsunterschiede an schwache Änderungen der Exposition gebunden sind. Neben diesen großen Flächen gleicher Besonnungsgrößen heben sich aus dem Kartenbild langgestreckte Streifen heraus. Sie verlaufen auf dem Blatt „Sandberg“ vielfach von Westen nach Osten und entsprechen den Nord- und Südexpositionen der Höhenzüge, die hier durch die Zertalung ent-

standen sind. Weiter südwärts wird das Bild anders. Im Gebiet des Muschelkalkes haben die Hänge steilere Formen, die Täler sind tiefer eingeschnitten, die Differenzen im Strahlungsgenuß werden größer. Dies ist vor allem in den Weinbaugebieten südlich von Bad Kissingen der Fall. Hier hat der Anbau des Frankenweines in den Gemarkungen der Orte Wirmsthal, Ramsthal und Sulzthal seine nördliche Grenze. Daß er sich an den Hängen mit besonders hohem Strahlungsgenuß gehalten hat, geht aus der Besonnungskarte deutlich hervor. Der Rückgang der Anbaufläche, der schon im vorigen Jahrhundert einsetzte, ist nicht durch klimatische, sondern durch wirtschaftliche Gründe verursacht.

Es ist nicht möglich, die bearbeiteten Meßtischblätter diesem Bericht vollständig beizugeben, und deshalb konnten auf den Tafeln 20 und 21 nur Ausschnitte, die allerdings sorgfältig ausgewählt wurden, gebracht werden. Dabei ist der Nachteil mit in Kauf zu nehmen, daß bei der Reproduktion nicht der vollständige Inhalt des Meßtischblattes wiedergegeben werden konnte, wodurch der Gesamteindruck nicht so ist, wie der der Originalkarte. Aus technischen Gründen konnten von den nachstehend beschriebenen Beispielen nur 2 Karten reproduziert werden. Beispiele ohne Bezeichnung der Tafel sind nur in Originalkarten vorhanden.

Das erste Beispiel umfaßt die Waldtäler, die sich vom Mittellauf der Brend, einem Fließchen, das bei Neustadt in die Saale mündet, nach Westen bis in die Gegend von Bischofsheim, also zum Osthang des Kreuzberggebietes hinziehen. Für dieses Blatt sind die schon erwähnten langgestreckten Gebiete gleicher Besonnung charakteristisch. Die Talböden mit den sich anschließenden Nordhängen zeigen deutlich geringe Besonnungswerte, die weit unter 100 kcal bleiben.

Wesentlich anders ist das Bestrahlungsbild im zweiten Beispiel. Es umfaßt in der Hauptsache die fast parallel von Nordwest nach Südost verlaufenden Täler der Fließchen Premich und Schmalwasser, von denen die Premich im oberen Lauf vorwiegend freies Ackerland, im unteren Teil des Ausschnitts aber Wald durchfließt. Das Schmalwassertal ist dagegen fast ausschließlich in Wald eingebettet, hat aber einen rund 100 m breiten Talboden mit Wiesen und vereinzeltem Gebüsch. Dieser Ausschnitt der Besonnungskarte zeigt viele kleine Flächen. In ihnen spiegelt sich der häufige Wechsel der Exposition wider, der auf kleinem Raum Unterschiede in der Besonnung bewirkt. Entsprechend den aber doch verhältnismäßig sanften Formen des Geländes bewegen sich diese Unterschiede noch in gemäßigten Grenzen.

Diese Gegensätze steigern sich im 3. Beispiel (Tafel 20). Es zeigt das schon erwähnte Weinbaugebiet südlich von Bad Kissingen. Die starke Zertalung kommt deutlich in den Besonnungswerten zum Ausdruck. Südhänge mit Besonnungszahlen bis zu 160 kcal stehen Nordhängen mit nur 80—90 kcal gegenüber. Die horizontale Entfernung kann dabei sehr gering sein, stellenweise nur 100 m. Kleine Flächen gleicher Besonnungswerte sind auch für diesen Kartenausschnitt bezeichnend.

Schließlich finden wir ein Beispiel für geringe Besonnungsunterschiede auf den Hochflächen südlich von Bad Kissingen. Hier ist nur noch sehr wenig Wald vorhanden, Ackerbau herrscht bei weitem vor. Die Stufe 120—130 kcal wird fast überall angetroffen. Daneben ragen die schwach geneigten Südexpositionen noch in die Stufe 130—140, die Nordexpositionen in die Stufe 110—120 kcal hinein. Durch das Gelände bedingt, sind es jeweils nur Flächen geringen Umfangs. Wie schon hervorgehoben, haben diese kleinen Unterschiede der Besonnungswerte keine praktische Bedeutung.

In der Fränkischen Schweiz wurden, wie schon früher gesagt, aus Zeitgründen nicht ganze Meßtischblätter

kartiert. Es kam vor allem darauf an, in einer Gegend zu arbeiten, die topographisch mehr Kontraste aufwies als die Rhön. Die tief in den Fränkischen Jura eingeschnittenen Täler der Gegend zwischen Forchheim und Bayreuth boten hierfür das gesuchte Meßgelände. Welche Höhenunterschiede dort auf ganz geringe horizontale Entfernung vorkommen, mögen einige Beispiele zeigen (Tab. 2).

Tab. 2  
Höhendifferenzen in der Fränkischen Schweiz

	See- höhe (m)	Höhen- differenz (m)	Horizontal- Entfernung (m)
Wiesental bei Streitberg	300	82	250
Ruine Neudeck	382		
Püttlachtal bei Tuchersfeld	330		
Felsen oberhalb des Dorfes	420	90	280
Püttlachtal bei Pottenstein	355	80	75
Schloß Pottenstein	435		
Wiesental bei Gößweinstein	320	173	300
Schloß Gößweinstein	493		

Die Breite der Talsohle geht stellenweise bis auf 100 m herab und läßt kaum Raum für Fahrstraße und die in einigen Tälern vorhandene Eisenbahn. Neuerdings müssen an den Fahrstraßen, um sie für den stark angestiegenen Verkehr aufnahmefähig zu machen, umfangreiche Felssprengungen vorgenommen werden. Nur dort, wo Nebentäler in das Haupttal einmünden oder mehrere Täler zusammenstoßen, sind Talweitungen entstanden, in denen sich größere Ortschaften entwickeln konnten, die dann zu Brennpunkten des Fremdenverkehrs wurden.

Es war zu vermuten, daß in diesen Talungen, trotz der viel bewunderten landschaftlichen Schönheit, eine ausgesprochene Besonnungsarmut das Lokalklima kennzeichnen, also die Ungunst des Klimas einen ziemlich hohen Grad erreichen würde. Diese Überlegung war ausschlaggebend dafür, daß der schon umrissene Teil der Fränkischen Schweiz mit in das Versuchsgebiet einbezogen wurde.

Die Besonnungsarmut ist eine Folge der starken Horizontüberhöhungen, die von einem Standort im Talboden aus gesehen, den Strahlungsgenuß wesentlich herabsetzen. Beim Arbeiten mit dem Besonnungsmesser mußten teilweise recht beträchtliche Abschläge an den nur mit Hilfe des Lotes und den einzelnen Expositionscurven ermittelten Werten angebracht werden. Drei bis vier Stufen Abschlag der Besonnungsskala waren keine Seltenheit, in einzelnen Fällen wurde der Besonnungswert gegenüber einer horizontalfreien Lage um mehr als 5 Stufen herabgedrückt. Am Beispiel des Püttlachtals wird dies später noch im Einzelnen gezeigt werden. Auf die früher schon erörterten Modelle der Wirkung eines mehr oder minder stark abgeschirmten Horizontes sei nochmals verwiesen. In diesen Modellen sind aber die ungünstigsten Abschirmungsfälle, wie sie in der Natur angetroffen werden, noch gar nicht in vollem Maße herausgearbeitet worden.

In schroffem Gegensatz zu den Talschluchten stehen die Hochflächen, die sich zwischen den Tälern ausbreiten. Nur von wenigen Punkten aus kann man beide, d. h. Tal und Hochfläche übersehen. Steht man im Tal, so wird der Blick durch die bewaldeten Talhänge

mit ihren schroffen Felsbildungen eingeengt, wandert man auf der Hochfläche, so kann man den Taleinschnitt nur ahnen, falls man seine Existenz kennt. Die Hochfläche ist das Gebiet des Ackerbaus, der dort auf dem wasserdurchlässigen Boden schwer zu kämpfen hat. Nur nach den Talrändern zu ist schwerer Boden, der den Niederschlag besser hält, vorhanden. Die Hochflächen sind aber nicht, wie man vermuten könnte, eben, sondern mehr oder minder stark gewellt. Nur von den Rücken der Bodenwellen kann der Blick in die Ferne schweifen. Waldstücke, die auf den für den Anbau ungeeigneten Stellen stehen, beleben das Bild in angenehmer Weise. Ein Gang über die Hochfläche hat auch unbedingt seine landschaftlichen Reize.

Für die Arbeit im Gelände standen in der Fränkischen Schweiz ähnlich wie in der Rhön die Topographischen Karten 1:25 000 zur Verfügung. Die Blätter Waischenfeld, Ebermannstadt lagen in den bekannten deutschen topographischen Aufnahmen vor und genügten, abgesehen von einigen Unstimmigkeiten, die offenbar auf Veränderungen in der Nachkriegszeit beruhen, den Ansprüchen vollkommen. Für das Blatt Muggendorf war aber eine Ausführung vorhanden, die sich nicht auf die alten deutschen Unterlagen stützte. Ein Vermerk gab als Grundlage an: Photogrammetrische Auswertungen 1:25 000 des US-amerikanischen 655 Engr. Topographic Batl. von 1946, und laut Zeichenklärung war für den Inhalt der Karte der amerikanische Benson-Stil verwandt worden, bei dem weniger Einzelheiten zum Ausdruck kommen. Das so bearbeitete Blatt reichte für unseren Zweck nicht aus. Es war nicht möglich, stets den genauen Standort festzustellen. Flußführungen und Waldgrenzen waren nicht richtig eingezeichnet. Das gleiche gilt für das Wegenetz, einige Ortschaften fehlten ganz. Erst nach Abschluß der Geländearbeit kam der Verfasser in den Besitz eines vorläufigen Druckes des alten Meßtischblattes.

Besonnungsmäßig gilt für die Hochflächen in der Fränkischen Schweiz das gleiche, das schon für die Hochflächen in der Nähe von Bad Kissingen gesagt wurde. Mittlere Werte von 120—130 kcal herrschen auch hier vor. Daneben kommen die benachbarten Gruppen 130—140 und 110—120 kcal vor und deuten Nord- und Südexposition an. Aber im Gegensatz zu der Umgebung von Bad Kissingen sind es immer nur kleine Flächen der gleichen Besonnungsgruppe. Darin kommt das beständige Auf und Ab, das die Hochflächen des Fränkischen Jura beherrscht, deutlich zum Ausdruck.

Vom Tal der Wiesent wurden nur der Talboden und die beiderseitigen Hänge kartiert. Nur südlich von Muggendorf greift die Kartierung über den eigentlichen Talrand auf die Höhe hinüber. Da die Talränder durchaus nicht eine geschlossene Wand bilden, sondern durch größere und kleinere Rinnen zerschnitten sind, entstehen expositionsmäßig große Unterschiede auf kleinem Raum.

Der Talboden bei Muggendorf ist noch verhältnismäßig breit, verengt sich aber etwa 1½ km südöstlich des Ortes sehr stark. Die Talweitung kommt noch in einen mittleren Strahlungsgenuß, die nach Süden exponierten Hänge empfangen sogar die höchsten Werte unserer Skala. Die eigentliche Talenge gibt daneben ein schönes Beispiel dafür, wie groß die Kontraste an den Hängen beiderseits der Wiesent sind. Dadurch, daß der Lauf dieses Flübchens auf kurzen Strecken seine Richtung wesentlich ändert, wird viel Abwechslung in das Besonnungsbild hineingebracht. Zusammenhängende maximal besonnte Flächen gibt es auf den SW- und S-Expositionen nicht, dies verhindert die schon erwähnte Zerschneidung der Hänge. Jahressummen von 150—160 kcal stehen hier in den Schluchten 100—110

kcal gegenüber, und dabei sind dies sicher noch nicht die geringsten Werte.

Jenseits der Wiesent auf dem nach NE exponierten Hang liegt erwartungsgemäß das Gebiet der geringsten Besonnung. Es hat Minimalwerte von 70—90 kcal, stellenweise ließ sich sogar die Stufe von 60—70 kcal ermitteln. Die große Steilheit der Hänge wirkt sich hier sozusagen in negativem Sinne aus.

Das zweite Beispiel aus der Fränkischen Schweiz (Tafel 21) ist dem Westrand des Blattes 6143 (Waischenfeld) entnommen. Der Kartenausschnitt reicht von dem Ort Nankendorf nach Süden über Waischenfeld bis nach Ober- und Unterailsfeld. Nankendorf und Waischenfeld liegen im oberen Wiesental, Unter- und Oberailsfeld im ebenfalls tief eingeschnittenen Tal des Ails-Baches. Die Waldgebiete sind auf dieser Karten besonnungsmäßig nicht bestimmt worden. Es ist nur die Ungunst der Talböden hervorgehoben worden. Die waldfreien Gebiete der Höhenlagen sind dagegen bearbeitet worden. Gerade sie bilden ein gutes Beispiel für die schon erwähnten bemerkenswerten Unterschiede der Besonnung bei geringen Entfernungen.

Die Kartierung umfaßte auch das enge Püttlachtal von dem bekannten Felsendorf Tuchersfeld bis Pottenstein mit dem unteren Teil der dort in die Püttlach einmündenden Täler des von Süden zusammenströmenden Weiher-Baches und des von Norden herkommenden Haselbrunn-Baches. Auch hier sind die Besonnungswerte der Waldgebiete nicht bestimmt worden. Die durch Horizontabschirmung bedingten Abschlagszahlen sind im Püttlachtal besonders hoch und wechseln auf verhältnismäßig geringe Entfernungen sehr stark. Es sind Werte darunter, die 60, ja sogar 70 übersteigen, ein deutlicher Beweis für die außerordentlich hohe klimatische Benachteiligung dieser Talböden.

#### 17. Die Kartierung auf Flurkarten (1:2 500)

Die praktische Arbeit im Gelände mit dem Meßtischblatt 1:25 000 ließ bald den Wunsch aufkommen, entsprechend der Gestaltung des Geländes an manchen Stellen mehr Details darzustellen. Auf der Suche nach einem größeren Maßstab wurde schließlich die Flurkarte der Bayerischen Topographischen Kartenwerke im Maßstab 1:2 500 als geeignet ausgewählt, und zwar die als Höhenflurkarte bezeichnete Abart, da diese Höhenlinien enthielt, auf die nicht verzichtet werden konnte.

Für die Arbeit mit Karten in solch einem großen Maßstab kommen selbstverständlich nur kleinere, aus-

XCVIII 46d	XCVIII 45d	XCVIII 45c
XCVII 46b		
XCVII 46d		

Abb. 1

Flurkarte 1:2500 des Bayerischen Landesvermessungsamtes München. Schraffiert: Lage des Ortes Arnshausen

gewählte Gebiete in Frage, die topographisch stärker gegliedert sind. Im vorliegenden Fall mußte das Gebiet von Bad Kissingen aus leicht zu erreichen sein. Größere Unkosten durften bei den häufigen Begehungen des zu kartierenden Bezirkes nicht entstehen. Von diesen Gesichtspunkten ausgehend wurden als Bearbeitungsobjekte schließlich die in einem rechten Winkel zusammenstoßenden 5 Blätter XCVIII 46d, XCVIII 45d, XCVIII 45c, XCVII 46b und XCVII 46d ausgewählt. Sie umfassen Teile der Gemarkung, die sich an den Ort Arnshausen, 3 km südlich von Bad Kissingen, anlehnt (Abb. 1). Die Arbeit mit dem Besonnungsmesser im Gelände und die Auswertung der Messungen im Büro wurden durch Herrn W o j k o w s k y in der Zeit von Mitte August bis Ende Oktober 1955 ausgeführt. Die Arbeit konnte erst nach Aberntung der Felder begonnen werden, denn hoher Getreidestand machte das einwandfreie Visieren unmöglich und gestattet es auch nicht, all die Punkte zu erreichen, die als Meßorte erforderlich sind. Diese wurden teilweise sehr engmaschig gewählt, jedenfalls bedeutend enger als bei der Arbeit mit dem Meßtischblatt. Näheres darüber wird noch später gesagt werden.

Die wirklich sehr genaue Begehung des Geländes erlaubte es, sich ein gutes Urteil über die Flurkarte zu bilden.

An die Höhenlinien durften keine hohen Anforderungen gestellt werden. Sie sind oft sehr stark „geglättet“ und geben dadurch die Topographie doch nicht mit der Genauigkeit wieder, die für den vorliegenden Zweck wünschenswert gewesen wäre. Besonders wurde dies im Waldgelände südlich von Arnshausen festgestellt. Dadurch ist es nicht möglich, aus den Höhenlinien die Exposition der Hänge zu bestimmen. Dies gilt auch für den Neigungswinkel, da der Abstand der Höhenlinien nicht immer als Maß für den Neigungswinkel hingenommen werden darf. Bei größeren Neigungswinkeln wurden Abweichungen bis zu 7° festgestellt, trotz Berücksichtigung des Umstandes, daß der Abstand der Höhenlinien natürlich nur einem mittleren Winkel eines Hanges entsprechen und nicht die dazwischen vorkommenden „Gefällsknickungen“ wiedergeben kann. Da als Zeitpunkt der Geländeaufnahme auf den Karten das Jahr 1904 angegeben ist, mag manche Unstimmigkeit in der Wegeführung und in der Feldereinteilung auf inzwischen eingetretene Veränderungen zurückzuführen sein. Jedenfalls machten diese Mängel bei der einwandfreien Festlegung der Meßpunkte einige Mühe. Im freien Gelände ging die Orientierung verhältnismäßig leicht vonstatten. Schwierigkeiten tauchten aber im Waldgelände auf, wenn die heute benutzten Fahr- und Fußwege nicht verzeichnet waren. Als Ausgangsbasis für die Messungen wurden dann die Waldränder und die wenigen vermerkten Wege benutzt oder auch neue Wege eingetragen, sofern sie im Tal oder auf einem Höhenrücken verliefen und durch den Verlauf der Höhenlinien mit einiger Sicherheit bestimmt werden konnten. Von einem markanten Punkt aus, der sich auf der Karte identifizieren ließ, wurden mehrere weitere Punkte durch Abzählen von Schritten längs des Weges festgelegt. Von diesen Punkten aus erfolgte dann die weitere Einzeichnung von Meßpunkten senkrecht zur Exposition der Hänge. Es wurden für 100 Schritte in ebenem Gelände oder bis 10° Neigung 32 mm der Karte = rund 80 m Entfernung, bei Neigungen von 10—20° 29 mm und bei 20—30° Neigung 27 mm der Karte gerechnet, was erfahrungsmäßig den Tatsachen entsprach. In freiem ebenem Gelände waren nur wenige Messungen erforderlich. Sie dienten nur der Bestätigung des Besonnungswertes, den man nach einiger Übung richtig abschätzen konnte. Dort, wo der Horizont nicht frei war, wurden die bereits besprochenen Abschlagszahlen, die durch die Horizontüberhöhungen begründet waren, in Rechnung gestellt.

Um keine Zweifel aufkommen zu lassen, sei ausdrücklich hervorgehoben, daß bei der Kartierung mit Flurkarten nicht die kombinierte Arbeitsmethode angewandt wurde. Wie bereits geschildert, wird dabei die direkte Meßarbeit im Gelände vorher oder nachher im Büro ergänzt, indem der Besonnungswert auf Grund der aus dem Meßtischblatt entnommenen Exposition und des Neigungswinkels bestimmt wird. Die Flächen gleicher Besonnung, die auf den Flurkarten eingetragen sind, beruhen aber durchweg auf Messungen im Gelände. Auf diese Weise wurden alle Details der Topographie erfaßt. Bei dem größeren Kartenmaßstab gingen diese weit über das hinaus, was das Meßtischblatt bieten konnte.

Gegenüber den Besonnungskarten 1:25 000 äußert sich dies in zwei Richtungen: Erstens sind die Flächen gleicher Besonnungsstärke stärker detailliert, wobei ihre Lage im Gelände bestimmter festgelegt werden kann, und zweitens ergeben sich größere Gegensätze, indem die extremen Lagen sowohl in positiver wie in negativer Abweichung gegenüber den mittleren Werten der Besonnung stärker hervortreten.

Das ziemlich bergige Gelände östlich von Arnshausen zeigt dies deutlich. Auf Tafel 22 sind die beiden Besonnungskarten im Maßstab 1:25 000 und 1:2 500 gegenübergestellt. Die Überlegenheit der Flurkarte tritt klar hervor. Sie zeigt auf den Südhängen Werte der Gruppe 150—160 kcal und auf den Nordhängen Werte zwischen 80—90 kcal, die zwei Stufen unter den auf dem Meßtischblatt ermittelten Werten liegen.

Daß der Besonnungsenergieausfall leichter Bodensenken mit ungünstig exponierten Seitenhängen sehr klar zum Ausdruck kommt, zeigt der im allgemeinen nach Süden exponierte Hang am Riedenberg im Südostteil des Blattes. Die bis auf 110—120 kcal absinkenden Jahreswerte erscheinen in dieser Lage zunächst fremd, sind aber in der Topographie wohl begründet.

Ein Beispiel der geringsten Energiewerte, die bei den Arbeiten mit den Flurkarten ermittelt wurden, findet sich in der äußersten Südostecke des Blattes und greift noch auf das sich südlich anschließende Blatt XCVII 46b hinüber. Hier gehen an einem steilen Nordhang die Werte bis auf 70—80 kcal zurück.

Schließlich sei noch auf das Beispiel der Kartierung eines Waldgebietes verwiesen, das sich am Westrand der Blätter XCVII 46b und XCVII 46d befindet. Auch hier ist eine wesentliche Verbesserung gegenüber der Aufnahme mit dem Meßtischblatt vorhanden. Die klimatisch begünstigten Lagen treten schärfer hervor, denn die Werte liegen in den Maximalgebieten der Besonnung höher. Die Nordexpositionen schneiden dagegen noch ungünstiger ab als in der kleinmaßstäblichen Aufnahme.

Mit Hilfe der Flurkarten ist es auch möglich, sich an solch kleine orographische Gebilde heranzuwagen, wie sie im Meßgebiet an einigen Stellen vorhanden sind. Es handelt sich um enge tief eingeschnittene Schluchten, die jetzt schon lange ohne ständigen Wasserlauf sind, die aber doch als Werk der Wassererosion angesprochen werden müssen. Ihre Hänge sind steil und stellenweise mit altem Baumbestand bewachsen. Vom Hauptgraben zweigen einige Nebengräben ab. Die Grabensohlen steigen allmählich an und erreichen schließlich das Niveau des Grabenrandes. Am Nordrand des Blattes XCVII 46d ist ein solcher Graben vorhanden. Seine Tiefe beträgt rund 10—12 m. Er schneidet in freies Ackerland ein. Nur seine Steilränder sind mit Buschwerk und hohen Bäumen bestanden.

Am Ostrand von Blatt XCVII 46b zieht sich ein anderer Graben hin. Er hat eine geringere Tiefe und liegt fast vollständig im Hochwald.

Die Hänge der Gräben ergeben scharfe Kontraste der Besonnungswerte. Hier wiederholt sich im Kleinen das, was wir schon bei der Betrachtung der Karten der Fränkischen Schweiz gefunden haben. Die hohen Werte, die eigentlich eine Klimabegünstigung anzeigen, haben in beiden Fällen keine praktische Bedeutung, da eine landwirtschaftliche Nutzung der ungünstigen Geländeform wegen nicht möglich ist.

Hier müssen auch einige Worte über das sogenannte Bestandsrandklima gesagt werden. Der Rand eines Waldbestandes ist im Grunde genommen nichts anderes als eine Stufe im Gelände. An ihr ist auch der Strahlungsgenuß je nach der Exposition verschieden. Auch die anderen Elemente wie Temperatur, Feuchtigkeit, Regen, Schnee und Wind erfahren am Bestandsrand bestimmte Änderungen gegenüber dem Freiland. Bei Sonnenschein wird dies äußerlich durch den bekannten Schattenwurf am Nordrand erkennbar. Er zeigt einen Minusbetrag an Sonnenenergie an, während die Südexposition im Hochsommer sich der Höchstbeträge an Sonnenscheindauer erfreut. Dieses Sonderklima, das dem Bestandsrand eigentümlich ist und schon mehrfach untersucht wurde, ist absichtlich auf den Karten nicht dargestellt worden. Sein Nachweis hätte besonders viele zusätzliche Messungen erfordert, wobei das Ergebnis aber nicht den Arbeitsaufwand lohnen würde. Im übrigen sei auf die Ausführungen verwiesen, die R. Geiger (22, S. 354 ff.) dem Bestandsrandklima gewidmet hat.

Bei der Betrachtung der Besonnungskarten auf der Unterlage der Höhenflurkarte wurden bisher nur die Stellen hervorgehoben, die bei ausgesprochenen Geländeverschiedenheiten auch Kontraste im Besonnungswert zeigen. Daneben darf aber nicht übersehen werden, daß auf den Flurkarten weite Flächen auftreten, wo von Kontrasten gar keine Rede sein kann. Sie gehören der gleichen Besonnungsgruppe an oder erfahren nur einen allmählichen Übergang zur nächsten Gruppe. Hier wäre es natürlich nicht notwendig gewesen, mit der Flurkarte zu arbeiten, das Meßtischblatt hätte auch genügt. Nur dort, wo das Gelände einen starken Wechsel der Exposition auf geringe Entfernung zeigt, ist der Einsatz der Flurkarte berechtigt und lohnend.

#### 18. Die Eignung der Karte 1 : 50 000 als Unterlage

In den bisherigen Betrachtungen sind die Besonnungskarten auf den Unterlagen 1 : 25 000 und 1 : 2 500 behandelt worden. Für gewisse praktische Zwecke ist sicher die großmaßstäbliche Flurkarte dem Meßtischblatt überlegen. Es wurde aber schon unterstrichen, daß es unmöglich ist, eine ausgedehntere Arbeit im Gelände auf der Flurkarte aufzubauen. Daß dies sachlich auch gar nicht gerechtfertigt ist, wurde schon im vorhergehenden Abschnitt gesagt, die Flurkarte wird immer nur für begrenzte Räume zu verwenden sein.

Andererseits kann aber auch die Frage aufgeworfen werden, ob das Meßtischblatt unbedingt notwendig ist, denn es bedarf sehr vieler Meßtischblätter, um ein Gebiet von der Größe eines Landes zu überdecken.

Den nächstkleineren Maßstab haben wir in der Karte 1 : 50 000 des vom Bayerischen Topographischen Büro, dem jetzigen Bayerischen Landesvermessungsamt, bearbeiteten „Atlas von Bayern“. Dies ist ein Maßstab, der in der Praxis sehr viel Anklang gefunden hat. Der Grund liegt sicher darin, daß diese Karten Höhenlinien haben und damit das Gelände gut wiedergeben, und weil ferner ihr Inhalt fast dem der Meßtischblätter gleichkommt. Mit dieser Karte wurde im Gelände nicht gearbeitet, wohl aber wurde die Besonnungskarte des Blattes Bad Kissingen Süd vom Meßtischblatt auf die Karte 1 : 50 000 übertragen. Da-

mit sollte festgestellt werden, wieweit dieser Maßstab Raum für die auf dem Meßtischblatt herausgearbeiteten Einzelheiten bietet.

Die Antwort ist leicht gegeben. Dort, wo kein großer Wechsel in der Topographie auftritt, reicht auch der Maßstab 1 : 50 000 aus. Dies ist z. B. für den ganzen Bereich der Hochflächen zwischen den Tälern der Fall. Dort aber, wo das Gelände stark zertalt ist und auf verhältnismäßig geringe Entfernungen wesentliche Höhenunterschiede auftreten und auch die Exposition sich auf kleinem Raum stark ändert, muß die 1 : 50 000-Karte zwangsläufig versagen. Da diese Geländeteile lokalklimatisch die interessanteren sind, ist im allgemeinen von der Verwendung dieser Karten abzuraten. Sie kommt lediglich für Reproduktionszwecke in Betracht, wenn mehrere Meßtischblätter zusammengefaßt werden sollen, und es der Verwendungszweck gestattet, auf eine stärkere Detaillierung zu verzichten.

#### 19. Der Austausch als grundlegender Faktor bei der Herausbildung der örtlichen Klimate

Von den Faktoren, die an der Herausbildung der örtlichen Klimate beteiligt sind, haben wir bisher die uns von der Sonne zukommende Wärmeenergie behandelt und versucht, sie mit Hilfe des Besonnungsmessers wenigstens in relativem Maß in der Landschaft mit ihren variablen Expositionen zu bestimmen.

Neben diesem Faktor ist auch die meistens vorhandene Bewegung in der Luft in hohem Grade für den örtlichen Klimacharakter mitbestimmend. Sie wird als Massenaustausch bezeichnet, weil dadurch Luftmassen größeren und kleineren Umfanges in Bewegung kommen und ihre Lage zueinander ständig verändern. Der Austausch spielt bei dem Wärmetransport von der erwärmten Erdoberfläche in die auf ihr lagernden Luftschichten die Hauptrolle, denn durch den molekularen Wärmestrom allein lassen sich die meteorologischen und klimatischen Tatsachen, die wir in der bodennahen Luftschicht beobachten, nicht erklären. Nur im Boden vollzieht sich die Wärmebewegung in Form von Leitung. Über dem Boden schafft der Austausch die Wärme am Tage von unten nach oben und in der Nacht von oben nach unten. Der häufig gebrauchte Ausdruck „Scheinleitung“ ist berechtigt.

Streng genommen lassen sich Wärmeleitung und Diffusion auch in der Luft nicht vollständig unterdrücken, aber ihre Wirkung ist gegenüber dem Austausch doch sehr gering. Nur in allernächster Bodennähe machen sich bei stark bestrahlter Bodenoberfläche auch Strahlungsvorgänge bemerkbar. Sie vermitteln den dem Boden unmittelbar aufliegenden Schichten besondere Eigenschaften.

Der Austausch wird durch zwei Ursachen angekurbelt. Die in der Großwetterlage in Erscheinung tretenden Gegensätze in der Luftmassenverteilung verursachen die Strömungen, die wir als Wind bezeichnen. Diese Luftbewegungen können laminar oder turbulent sein. Bei der laminaren Strömung laufen die Stromfäden parallel, Wirbel treten nicht auf. Die turbulente Strömung dagegen ist mit Wirbeln durchsetzt. Diese entstehen aus folgendem Grunde. Die an der rauhen Erdoberfläche sich bemerkbar machende Reibung führt zu einer Abbremsung des Windes in Bodennähe und umgekehrt zu einer Zunahme mit der Höhe. Da somit Luftschichten mit verschiedener Horizontalgeschwindigkeit übereinander liegen, kommt es zur sogenannten Scherungsturbulenz. In ihr vollzieht sich der dynamisch bedingte Austausch.

Neben ihm wird vom thermischen Austausch gesprochen, wenn durch besondere Umstände die Temperaturschichtung nicht stabil, sondern instabil ist und da-

durch Umlagerungen der Luftkörper eintreten müssen. Sicher ist für unsere Betrachtungen der dynamische Austausch dem thermischen Austausch in der Wirkung überlegen. Dabei ist nach einer von F. Albrecht angestellten Überlegung in einiger Höhe über dem Erdboden im allgemeinen Luftstrom mit großen Turbulenzkörpern zu rechnen, die in Richtung zum Boden in kleinere und schließlich in kleinste Körper zerrieben werden.

Dieses Übergreifen der Turbulenzzone von oben nach unten hängt, wie leicht verständlich ist, direkt von der Stärke der Großluftbewegung und von den Geländeformen ab, die den einzelnen Geländeabschnitten einen verschieden starken Windschutz zukommen lassen.

In Abschnitt 5 wurden Betrachtungen darüber angestellt, in welcher Beziehung die Lokal- und Mikroklimata zum Makroklima stehen. Dabei wurde gezeigt, wie die Bereitschaft zur Herausbildung örtlicher Klimazüge von der mittleren Windgeschwindigkeit abhängig und dort am größten ist, wo der mittlere Jahreswert der Windstärke 3 m/sec nicht übersteigt. Die gebirgigen Teile von Mitteldeutschland und Süddeutschland fallen in diesen Bereich. Hier ist die Möglichkeit gegeben, daß, begünstigt durch den vom Gelände bedingten natürlichen Windschutz, eine mehr oder minder dicke Lufthaut oder einzelne Luftkörper an der Erdoberfläche kleben. Dabei sind sie sozusagen dem Einfluß der Großluftströmung entrückt, und Ein- sowie Ausstrahlungsvorgänge kommen besonders stark zur Wirkung. So bildet sich, wenn diese Wirkung genügend lange zur Geltung kommt, ein selbständiges (autochthones) Klima aus. In ihm tritt der dynamische Austausch weitgehend zurück, während der thermische Austausch die Temperatur der bodennächsten Luftmassen bestimmt. Welche Auswirkung dies im Rahmen des Geländeklimas hat, wird später noch gezeigt werden.

Unter Berücksichtigung des Ziels unserer Untersuchung, nämlich die Klimlagen nach ihrer Gunst oder Ungunst gradmäßig abzuschätzen, müssen wir unter anderem die Frage entscheiden: Wie verhält sich die Größe des Austausches zur Güte des Klimas? Diese Frage ist nicht etwa in dem Sinne zu beantworten, daß ein großer Austausch ein gutes Klima, ein geringer Austausch dagegen ein minderwertiges Klima schafft. Wenn diese Relation immer zuträfe, wäre es leicht, die Klima-Gunst oder -Ungunst abzuschätzen, aber so einfach liegen die Dinge nicht. Vielmehr hängt die Gütebeurteilung einer Klimallage von dem Anspruch ab, der an die betreffende Lage mit ihrem speziellen Klima gestellt wird. Der Landwirt, der Städtebauer, der Landschaftsplaner, der Mediziner, nur um einige Berufe zu nennen, treten mit ganz verschiedenen Ansprüchen an das Klima heran und bauen es daher auch durchaus nicht in gleicher Weise in ihre auf einen bestimmten Zweck ausgerichteten Überlegungen ein. In den folgenden Abschnitten wird das Austauschproblem noch mehrfach zu streifen sein.

## 20. Die Lüfterneuerung (Durchlüftung) in den Tälern

Hier soll zunächst eine Geländeform behandelt werden, die sehr häufig vorkommt, nämlich das Tal. Die Täler spielen in der Landwirtschaft, Wasserwirtschaft, Besiedlung und im Verkehr eine sehr große Rolle. In den Tälern können sich leicht Sonderklimata entwickeln, die Klimavorzüge, aber auch Klimanachteile aufweisen können. Im großen gesehen hängt dies von dem Grad der Durchlüftungsmöglichkeit ab. Die Durchlüftung ist dabei gleichbedeutend mit dem Austausch, denn wir verstehen darunter die Erneuerung jener Luftkörper, die in der Talform ruhen, dabei alterten

und besondere, unangenehme Eigenschaften annehmen (Staub- und Bakterienanreicherung), durch neue, von der Großluftströmung herangeführte Luftkörper, die keine lokalen Eigenschaften besitzen.

Wegen der grundlegenden Bedeutung des Lüfterneuerungsproblems in den Tälern für die Beurteilung des Talklimas wurde dieser Frage ziemlich viel Arbeit gewidmet.

E. K a p s, der diese Untersuchungen durchführte, hat über die Ergebnisse seiner Überlegungen bereits berichtet (57). Hier genüge ein kurzer Auszug, den E. K a p s selbst verfaßt hat.

„Bei einer Behandlung der Frage der natürlichen Durchlüftungsmöglichkeit in gebirgigem Gelände wird man zwischen Mittel- und Hochgebirge unterscheiden müssen, denn die lokalen Windsysteme im Hochgebirge, dazu die großen absoluten und relativen Höhen, werden den Luftaustausch derart modifizieren, daß ein Vergleich mit den Verhältnissen im Mittelgebirge nicht immer möglich ist. Darum gelten die folgenden Überlegungen auch nur für das Mittelgebirge wie die Rhön und die Fränkische Schweiz.

Exakt zu beantworten wäre die Frage der Durchlüftung mit Hilfe der Austauschrechnung. Aber die Anwendung der Austauschrechnung setzt für alle Punkte im Gelände eine Kenntnis der Windgeschwindigkeitsverhältnisse und der Größe der Austauschkoefizienten voraus, worüber wir noch zu wenig wissen. Aus diesem Grunde läßt sich auch als Maß für die Durchlüftung keine Durchlüftungszeit angeben, die aussagt, in welcher Zeit bei bestimmten meteorologischen Bedingungen die Luft einer Hohlform durch neue ersetzt wird.

Trotzdem läßt sich mit Hilfe eines Gedankenexperiments ein Maß für die Durchlüftung finden, wie im folgenden gezeigt werden möchte. Dabei ignorieren wir die Abhängigkeit der Durchlüftung von der Windgeschwindigkeit, weil sich kein Weg finden ließ, sie in der Praxis zu berücksichtigen.

Man stelle sich irgendein Mittelgebirge zur Zeit antizyklonalen Wetters vor. Sollen die Täler dieses Gebirges durchlüftet werden, so ist das offenbar nur möglich, wenn die Luft der höheren Schichten in merkliche Bewegung gerät und der Wind mit seiner scherenenden Eigenschaft von oben her wie mit Schaufeln ausgerüstet die stagnierende Luft aus der Hohlform herauswirft. Und er kann dieses nur von der oberen Begrenzung der Talform her, gedacht als eine Fläche von Talrand zu Talrand. Der Wind benötigt umso länger zum Ausschaufeln, je größer das unter der oberen Begrenzung liegende Hohlraumvolumen ist. In ein einfaches Formelgerüst gekleidet lautet dieser Sachverhalt:

$$D \text{ proportional } \frac{O}{V} \quad [1]$$

wobei D = Durchlüftungszahl, O = Fläche der oberen Begrenzung, V = das unter O liegende Hohlraumvolumen bedeutet.

An dieser Stelle möge der Schritt von der Vorstellung einer räumlichen Durchlüftung in die Durchlüftung von Querschnitten gemacht werden. Wir könnten aus den topographischen Karten Volumen und Oberflächen der Hohlformen berechnen; aber abgesehen von der schwierigen technischen Durchführung, würden einerseits gerade die interessanten Fälle, wie enge Talabschnitte in einem sonst breiten Tal, nicht miterfaßt werden und andererseits die Abhängigkeit der Durchlüftung von der Richtung des Tales zur beobachteten Windrichtung unberücksichtigt bleiben. Statt mit räumlichen Gebilden rechnen wir von nun ab mit Querschnitten durch geschlossene oder offene Hohlformen,

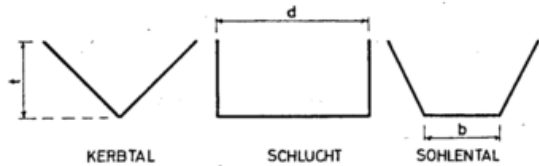


Abb. 2  
Hohlformen von Tälern mit gleicher Tiefe t und gleicher Weite d

wie sie in Abb. 2 in idealisierter Form gezeigt werden. Hier gilt analog der räumlichen Vorstellung die Beziehung, daß D proportional  $\frac{d}{q}$  ist, wobei d die obere Begrenzung des darunter befindlichen Querschnittes q bedeutet.

Betrachten wir vorstehende Abbildung, welche 3 Querschnitte\*) mit gleicher Taltefe t und gleicher Talweite d zeigt.

Es ist dann

$$D^{\text{Kerbtal}} \text{ proportional } \frac{d}{\frac{d \cdot t}{2}} = \frac{2}{t}, \quad [2a]$$

$$D^{\text{Schlucht}} \text{ proportional } \frac{d}{d \cdot t} = \frac{1}{t} \text{ und} \quad [2b]$$

$$D^{\text{Sohlental}} \text{ proportional } \frac{d}{t \cdot \frac{d+b}{2}} = \frac{2d}{d+b} \text{ bei } b = \text{Tal-} \\ \text{sohlenbreite.} \quad [2c]$$

Wir erkennen, daß die Gleichung [2c] für das Sohlental die allgemeinere ist und die beiden anderen Fälle einschließt. Beim Kerbtal ist  $b = 0$  und Gleichung [2c] reduziert sich zu  $\frac{2}{t}$ , bei der Schlucht ist  $d = b$  und es resultiert  $\frac{1}{t}$ .

Wie bei den Gleichungen [2a] bis [2c] ersichtlich, hängt die Durchlüftung von Tälern gleicher Tiefe nicht mehr von der Talweite d ab. Das steht sicherlich im Gegensatz zu der Wirklichkeit, wo doch wohl weite Täler besser durchlüftet werden als enge. So bleibt zu bestimmen, in welcher Weise die Wirkung des Windes wächst. Fest steht, daß er längs der Talweite d wirkt. Es fragt sich nun, ob die Wirkung linear mit d wächst oder nach einer anderen Funktion h(d).

Unter Einführung einer noch zu bestimmenden Konstanten  $\delta$  lautet sodann die empirisch gefundene Durchlüftungszahl

$$D = \delta \cdot \frac{2d}{d+b} \cdot \frac{1}{t} \cdot h(d). \quad [3]$$

Hier kann nun für h(d) die der Wirklichkeit nahekommendste Funktion eingesetzt werden. Der Ansatz  $h(d) = \sqrt{d}$  erbrachte für breite Täler zu geringe Durchlüftungszahlen. Der Ansatz  $h(d) = d$  erbringt die vernünftigsten Werte. Den Faktor 2 in dem Ausdruck  $\frac{2d}{d+b}$  eliminieren wir, indem wir setzen

$$\delta = \frac{1}{2}. \quad [4]$$

\*) Als vierter Typ eines Tales wird von den Geographen noch das „Muldental“ angegeben. Diese Talart ist aber so flach in die Landschaft eingeschnitten, daß die Entlüftung normalerweise keine Schwierigkeiten bietet. Nur wenn unglücklicherweise mehrere ungünstige meteorologische Bedingungen zusammentreffen, können auch hier bedenkliche Situationen auftreten. Im Mittel errechnen sich beim Muldental hohe, d. h. günstige Durchlüftungszahlen, weshalb es hier nicht betrachtet wurde.

Es ist dann die von uns benutzte Durchlüftungszahl

$$D = \frac{d}{d+b} \cdot \frac{d}{t}. \quad [5]$$

Die Größenordnung der Zahlen D liegt zwischen 3 und 70. Sie sind alle relativ, d. h. nur untereinander vergleichbar.

Anwendung: Der Gleichung [5] ist zu entnehmen, daß in der Praxis, d. h. aus den in Frage kommenden topographischen Karten 1:25 000 und für eine bestimmte Windrichtung (z. B. NW/SE), die Talweite d, die Talsohlenbreite b und die Taltefe t zu bestimmen sind. Die Festlegung des Talrandes (zur Bestimmung der Talweite) wird dadurch eingengt, als die beiden Talränder in möglichst gleicher absoluter Höhe liegen müssen. Für die Durchlüftung ist nämlich nur entscheidend, welche Querschnittsfläche von den Talseiten bei horizontaler Lage der oberen Begrenzung eingeschlossen wird. Und darüber entscheidet offenbar der Talrand, der niedriger liegt. Beim Einzeichnen der Talränder in die topographische Karte beginnt man also mit der Talseite, deren absolute Höhen geringer sind. Aber es kommen auch dann noch oft Fälle vor, in denen der eine Talrand höher liegt als der andere, z. B. wo ein Seitental in ein Haupttal mündet. Für solche Fälle muß dann der effektive Talrand neu bestimmt werden. Die Talweite d selbst ist dann der horizontale Abstand der beiden Talränder. Die Talsohlenbreite b ist gleich dem Abstand der Talsohlenränder, gemessen über den Querschnitt. Die Taltefe t errechnet sich aus dem Höhenunterschied zwischen der Höhe, in der die Talweite gemessen wird, und der Talsohlenhöhe.

Die erhaltenen Durchlüftungszahlen wurden an die einzelnen Querschnitte geschrieben. Erwartungsgemäß mußten enge Täler geringere Durchlüftungszahlen aufweisen als weite. Eine Häufigkeitsdarstellung der Durchlüftungszahlen zeigt, wie eindeutig sich die Häufigkeiten in Gaußsche Normalkurven darstellen lassen, sofern man als Abszisse die logarithmische und als Ordinate die lineare Skala wählt. Damit wird ermöglicht, das Kollektiv der Durchlüftungszahlen in gleichwertige Klassen einzuteilen mit Stufen und Stufengrenzen und eine Durchlüftungsskala aufzustellen:

Durchlüftungsskala						
Durchlüftungsstufe	0		1		2	
Unterstufe	a	b	a	b	a	b
Stufengrenze	0,00	0,05	0,06	0,09	0,13	0,18 0,25
Durchlüftungsstufe	3		4		5	
Unterstufe	a	b	a	b	a	b
Stufengrenze	0,25	0,35	0,50	0,70	1,00	1,50 2,00
Durchlüftungsstufe	6		7		8	
Unterstufe	a	b	a	b	a	b
Stufengrenze	2,00	3,00	4,00	6,00	8,00	11,0 16,0
Durchlüftungsstufe	9		10			
Unterstufe	a	b	a	b		
Stufengrenze	16,0	23,0	32,0	45,0	64,0	

Man täte der Natur Gewalt an, wollte man jeder Stufe bzw. Unterstufe die gleiche Bedeutung für die Praxis zubilligen. In Wirklichkeit gibt es eine Grenze, über die hinaus es uninteressant ist, wie groß noch die Durchlüftungszahlen anwachsen. Durchlüftungszahlen über 15 hinaus sind schon im allgemeinen ein Kennzeichen für ausreichende Durchlüftung. Damit steht im Einklang, daß tatsächlich der größte Teil aller von uns bearbeiteten Hohlformen eine ausreichende Durchlüftung besitzt und daß immer nur für bestimmte Geländelagen die Durchlüftung eine besondere Rolle spielt.“

Selbstverständlich kann die Überlegung von E. Kaps nur ein erster Versuch sein, dem Tal durchlüf-

tungsproblem beizukommen. Einige kritische Bemerkungen drängen sich auf. Vor allem wird die wechselnde Stärke der Makroströmung, die sicher auf die Durchlüftung von Einfluß ist, nicht berücksichtigt. Flache weite Täler ergeben hohe Durchlüftungszahlen, und doch wissen wir, daß das zwischen Vogesen und Schwarzwald eingebettete Tal der Oberrheinischen Tiefebene ein ausgesprochenes Sonderklima hat. Sicher spricht hierbei die über Süddeutschland vorhandene geringe Luftbewegung mit. Es ist uns ferner bekannt, daß die bei bestimmten Wetterlagen auftretende sehr stabile Schichtung der Luft auch in ganz flachen Tälern, die nach vorstehender Durchlüftungsformel eine hohe Wertzahl erhalten würden, die Lüfterneuerung zeitweise aussetzen kann.

Der verschieden hohe Grad der Stabilität der Luftschichtung im Tal ist maßgebend für den Widerstand, den die Luftmassen der Ausräumung von oben her und ganz allgemein dem Abtransport entgegensetzen. Bei der Durchlüftung der weiten Talbecken wird sicher die Stabilität der Schichtung den Ausschlag geben. Wenn auch nach diesen Erwägungen die errechneten Durchlüftungszahlen das Problem bei weitem noch nicht gelöst haben, so darf nicht übersehen werden, daß sie relative Zahlenwerte darstellen, die für eine vergleichende Betrachtung unter der erforderlichen kritischen Bewertung doch eine gewisse Unterlage bieten.

Die Schwierigkeit, einen bestimmten Talabschnitt bezüglich seiner Durchlüftung abzuschätzen, liegt darin, daß die Durchlüftungszahlen von der Richtung der Großluftströmung, die die Luftmasse im Tal wegräumen soll, abhängig ist. Die Durchlüftungszahlen schwanken zwischen den verschiedenen Angriffsrichtungen des Windes stark. Weht dieser senkrecht zum Talverlauf, so sind die Werte klein und sie wachsen umso mehr an, je spitzer der Winkel wird. Bei Windrichtung parallel zur Talrichtung ist die Durchlüftung am besten. Bei der Klimabewertung, die nicht einzelne Wettervorgänge, sondern die Gesamtheit der Witterungen zu berücksichtigen hat, müssen den Windrichtungen verschiedene Gewichte entsprechend der Häufigkeit ihres Vorkommens zugeteilt werden. Die häufigste Windrichtung ist am stärksten zu bewerten, die seltensten Richtungen können gegebenenfalls, d. h. wenn sie wirklich sehr selten auftreten; ganz vernachlässigt werden.

In den meisten Tälern, soweit sie nicht einen ungewöhnlichen Querschnitt wie die der Fränkischen Schweiz haben, ist die Durchlüftungszahl hoch, die Lüfterneuerung ist also ausreichend. Nur jene Stellen können als nicht genügend ventiliert angesehen werden, wo die Durchlüftungszahl unter 15 bleibt.

Die Tafeln 23—34 bringen einige Ausschnitte der von E. Kaps bearbeiteten Täler. Aus ihnen geht hervor, wie hoch die Durchlüftungszahlen in den einzelnen Talabschnitten sind und wie stark sie wechseln. Die Berechnungen sind für Windrichtungspaare durchgeführt. Ihr Vergleich untereinander zeigt die Rolle der Windrichtung bei der Durchlüftung.

Die gegebenen Proben beziehen sich wie früher bei den Besonnungskarten sowohl auf den Südhang der Rhön wie auch auf die Schluchttäler der Fränkischen Schweiz.

Als Beispiele der Rhöntäler wurden vom Meßtischblatt (5726) Bad Kissingen Nord das Tal der Aschach (Tafel 23—25) und das Tal des Nüdlinger Baches (Tafel 26—28) bearbeitet. Beides sind Nebentäler der Saale mit sanft geneigten Hängen und nur mäßiger Tiefe (50—60 m Höhenunterschied zwischen Talsohle und oberem Talrand). Die Aschach mündet von Westen kommend etwa 6 km nördlich von Bad Kissingen beim Ort Aschach in die Saale. Die Einmündung des Nü-

linger Baches, der von Osten der Saale zufließt, liegt 2 $\frac{1}{2}$  km südlicher beim Dorf Hausen.

In den Kartenausschnitten sind die oberen Talränder durch eine starke Linie, die Talsohlenränder durch eine gestrichelte Linie angegeben. Dort, wo das Tal an seinem Grunde nur noch vom Bach eingenommen wird und als Kerbtal keine breitere Sohle mehr hat, ist nur der Bachverlauf eingetragen. Jedes Tal ist dreimal vertreten, denn die Durchlüftungszahlen wurden für die drei Windrichtungspaare NW/SE, W/E und SW/NE bestimmt. Die Lage des Querschnittes ist in ungefähr 200 m Abstand durch einen feinen Strich angezeigt. Ihm ist die jeweilige Durchlüftungszahl zugefügt.

Die Rhöntäler von dem Typ des Aschach- und des Nüdlingertales sind, wenn man den schon erwähnten Grenzwert 15 gelten läßt, genügend durchlüftet. Nur in jenen Fällen, bei denen die Windrichtung quer zum Talverlauf steht, sinkt die Durchlüftungszahl unter 15, stellenweise bis auf 8 herab. Derartig geringe Werte finden wir aber nur auf kurzen Strecken. Es darf auch nicht übersehen werden, daß in der Natur das Wegräumen der Luftmassen von jenen Stellen in den Tälern, wo die Arbeit der Großströmung durch die Talrichtung begünstigt wird, seitwärts im Tal nach den Stellen übergreifen wird, wo der Makrowind nicht so leicht Angriffsbedingungen vorfindet.

Aus der Fränkischen Schweiz wurden einige Engtäler, die auf dem Blatt Waischenfeld (6134) der topographischen Karte zu finden sind, nach ihrem Durchlüftungsfaktor untersucht. Die auf den Tafeln wiedergegebenen Ausschnitte beziehen sich auf Teile des Wiesentales (Tafel 29—31) mit den Orten Waischenfeld und Nankendorf, hauptsächlich in Nord-Süd-Richtung verlaufend, und um das Ailsbachtal (Tafel 32—34) von Unterailsfeld bis Kirchahorn, das von Nordosten nach Südwesten dem Wiesental zustrebt. Die genannten Talabschnitte sind nicht einheitlicher Natur. Enge Schluchten wechseln mit Talweitungen ab, und dementsprechend wechseln auch die Durchlüftungszahlen.

Die Werte sinken bis auf 3 herab und steigen in den flacheren Talabschnitten bis über 30 an. Gegenüber den Rhöntälern ist bemerkenswert, daß es kilometerlange Teilstrecken gibt, in denen die Werte unter 15, ja sogar unter 10 bleiben, und dies fast für alle Windrichtungen gilt. Es sind Gegenden mit ganz ungenügender Durchlüftung.

Nach Abschluß dieser Ausführungen wurden die Untersuchungen von H. W. Georgii (58) über die Entmischung stagnierender Luft am Boden bekannt, wobei an Vorstellungen angeknüpft wurde, die sich bei der Bearbeitung der Frage der Selbstlüftung geschlossener Räume ergeben hatten. Als Versuchsobjekt standen Mulden (Baugruben) mit 600 bis 1000 qm Bodenfläche zur Verfügung. Das in der Mulde lagernde Luftvolumen wird als ein Ganzes behandelt. Die Erneuerung der stagnierenden Luft erfolgt durch Einströmen frischer Luft von oben bei gleichzeitigem Abströmen der „Muldenluft“ nach unten, d. h. im Sinne einer Vertikalzirkulation. Der Luftwechsel wurde experimentell bestimmt, indem die Muldenluft vorher künstlich mit Aerosolen angereichert und dann die allmähliche Abnahme der Konzentration bestimmt wurde. Die Entlüftung ging unter den gegebenen kleinräumigen Verhältnissen verhältnismäßig schnell vor sich. Gefährlich wird erst die Lage, wenn die Zufuhr der Verschmutzung weiter geht, was in Wirklichkeit meist der Fall ist und bei windschwachen Wetterlagen die Entmischung ungenügend ist. Wenn dann die Windgeschwindigkeiten unter 1 m/sec bleiben, ist eine zunehmende Anreicherung der Spurenstoffe die Folge der mangelhaften Ventilation. Wenn diese Versuche von Georgii noch nicht unmittelbar auf die Lüfterneuerung in Tälern und Mul-

den großen Ausmaßes zu übertragen sind, so zeigen sie aber doch sicher einen Weg, auf dem man dem Entlüftungsproblem näher kommen kann.

## 21. Der Einfluß der Bewachung auf die Durchlüftung

Bei den bisherigen Betrachtungen wurde stillschweigend angenommen, daß der Boden unbewachsen ist und der Wind nur durch die Reibung am Erdboden abgebremst wird. Diese Reibung wird aber sehr stark vergrößert, wenn Bewachung vorhanden ist. Die gleiche Wirkung wird auch durch Ansammlungen von Bauwerken in geschlossenen Ortschaften und bereits auch schon durch einzelstehende Häuser ausgeübt. Aber von diesem Sonderfall soll hier nicht gesprochen werden.

Wir wissen, daß die Pflanzendecke in ihren verschiedensten Formen, wie geschlossener oder lichter Wald, einzelne Waldstücke, Einzelbäume, Buschwerk, Hecken, Getreidefelder, Obstplantagen, Weinberge u. a. m. einen je nach den Umständen sehr starken Einfluß auf die Durchlüftung (Lufterneuerung) ausübt und dadurch örtliche Klimazüge schafft, die von dem Grad des Luftaustausches abhängen. Dies Moment überlagert den reinen Geländeeinfluß. Ist z. B. ein Tal durch einzelne Waldstücke im Talgrund unterbrochen, so wirken diese als Riegel und unterbrechen den natürlichen Fluß der Luft entsprechend dem Talgefälle. Ähnlich wie bei einer Talsperre kommt es dann zu Luftanstauungen mit der unter Umständen vergrößerten Nachtfrostgefahr oberhalb des Hindernisses und anderen z. T. nachteiligen Veränderungen, die mit dem Stagnieren der Luft zwangsläufig verbunden sind. Andererseits kann Hangbewachung sich günstig auswirken, da sie gegenüber dem Zustrom kalter Luft von den sich in Ausstrahlungsnächten stärker abkühlenden Hochflächen oberhalb der Talränder Schutz gewährt. Wird die Bewachung planvoll angelegt, so gelangt man zum Problem des Windschutzes, das in der Landwirtschaft eine so große Rolle spielt und über das in einem späteren Abschnitt noch gesprochen werden soll.

Hier kam es nur darauf an, festzustellen, daß jede Form der Bewachung die Durchlüftung herabsetzt. Nur in jenem Fall, bei dem es sich um einen geschlossenen Waldrand handelt, dessen Richtung mit dem Wind übereinstimmt, kommt es unmittelbar am Waldrand zu einer Windverstärkung, da hier die Stromfäden sich zusammendrängen und die sogenannte Düsenwirkung spürbar wird. Den stärksten Gegensatz in der Durchlüftung haben wir zwischen einem Tal im geschlossenen Waldbestand und einem Tal ohne jede Bewachung.

Man hat von einem passiven und einem aktiven Waldeinfluß gesprochen. Dadurch, daß der Wald ein Hindernis für die Luftströmung darstellt, entsteht der passive Einfluß mit Anhebung der Strömung an der Luvseite und Ausbildung eines Luftwirbels am Boden mit einer horizontalen Erstreckung von etwa dem  $1\frac{1}{2}$ -fachen der Bestandhöhe. Über dem Bestand ist die Geschwindigkeit erhöht. Unter dem aktiven Windeinfluß wird die Tatsache verstanden, daß der Wald infolge der Temperaturgegensätze zwischen seinem Innern und dem Freiland Luftströmungen selbst erzeugt, (siehe H. Pfeiffer (59)). Wie sich diese Vorgänge gestalten, wenn noch ein Geländeeinfluß hinzutritt, darüber sind noch keine Untersuchungen bekannt geworden. Darauf, daß überhaupt jeder Pflanzenbestand in seinem Bereich sein eigenes Klima, treffend auch Bestandsklima genannt, schafft, braucht nur hingewiesen zu werden. R. Geiger hat dieses Bestandsklima in seinem bereits erwähnten Buch „Das Klima der bodennahen Luftschicht“ (22) erschöpfend behandelt. In unseren Überlegungen zur Bewertung der örtlichen Klimlagen spielt

es zunächst keine Rolle. Das Bestandsklima ist zudem nichts Feststehendes. Es ändert sich mit der Höhe und der Dichte des Bestandes sowie mit der Form der einzelnen Bestandselemente. Dagegen ist es das Ziel der Landesklimaaufnahme, das Klima jenes Geländeteiles zu bewerten, auf dem sich der Bestand entwickelt. Und damit ist die Beziehung zum Bestandsklima hergestellt, denn dieses wird durch das ihm übergeordnete Geländeklima wesentlich bestimmt.

## 22. Die Reliefenergie

Die Reliefenergie ist ein rein länderkundlicher Begriff. Trotzdem verdient dieser hier eine kurze Erwähnung, denn es ist nicht ausgeschlossen, daß die Reliefenergie bei der weiteren Entwicklung der Geländeklimatologie mit dieser in engere Verknüpfung kommen wird.

Es ist bekannt, daß die auf das Meeresniveau bezogene absolute Höhe wenig über Form und vor allem über den Wechsel im Relief der Erdoberfläche aussagt, ja, es kann dem nicht geographisch geschulten Benutzer solcher Höhenangaben ein ganz falsches Bild vermittelt werden. Erst die Höhendifferenzen zwischen Berg und Tal, zwischen Einzelkuppen und Ebene können eine der Wirklichkeit näher kommende Vorstellung vom Relief mit seinen Zertalungen, mit seinen Hochplateaus und überhaupt seinem großen Formenwechsel bieten. P a r t s c h versuchte als erster 1911 dafür einen rechnerischen Ausdruck zu geben und diese sogenannte Reliefenergie kartennmäßig darzustellen. Ähnliche Untersuchungen von anderer Seite schlossen sich vielfach an. Soweit sie sich auf die „Quadrat“-Methode stützen, können sie durchaus nicht befriedigen. Besser ist die von P a s c h i n g e r 1934 angewandte Methode, die von den Talsohlen ausgehend die relative Höhe der benachbarten Hänge berechnet, aber nicht für alle Landschaftsformen anwendbar sein soll. W. T h a u e r (60) hat daher 1955 die als Kreismethode bezeichnete Arbeitsweise vorgeschlagen. Sie nimmt als Berechnungsgrundlage den Kreis als einfachste geometrische Figur. Die Reliefenergie wird dann aus der Differenz zwischen dem höchsten und tiefsten Punkt der Erd- oder Wasseroberfläche innerhalb eines Kreises mit einem gewissen Radius um den jeweiligen Standpunkt bestimmt, wobei die Differenzwerte dem Kreismittelpunkt zugeordnet werden. Bei der Wahl der Radiuslänge kommt es darauf an, was erfaßt werden soll, auch wird sie sich stets der jeweiligen Landschaftsform anpassen müssen, um ihren individuellen Zügen gerecht zu werden. Über diesen noch verbleibenden subjektiven Faktor hat sich W. T h a u e r ausgelassen. Seine Ausführungen bieten eine gute Unterrichtung über die Methodik der Reliefenergie, wobei die Ergebnisse der verschiedenen Verfahren in übersichtlichen Darstellungen verglichen werden.

Die Reliefenergie, so wie sie z. Z. von den Geographen aufgefaßt und zahlenmäßig dargestellt wird, genügt für die Zwecke der Landesklimaaufnahme noch nicht, denn sie geht nur von der Geländeform aus und nimmt auf den Pflanzenwuchs keine Rücksicht, der diese Formen überzieht. An der Herausbildung der örtlichen Klimate ist aber das Pflanzenkleid neben anderen Faktoren stark mitbeteiligt. Deshalb soll einiges über den Begriff der Geländerauhigkeit gesagt werden, worunter der Grad des Pflanzenbewuchses zu verstehen ist.

## 23. Die Geländerauhigkeit

Die in einem früheren Abschnitt gegebenen allgemeinen Betrachtungen über den Einfluß des Pflanzenwuchses auf die Durchlüftung lassen sich leicht erwei-

tern und systematisch behandeln, wenn der Begriff der Geländerauhigkeit eingeführt wird. Er ist der Ausdruck für die mehr oder minder dichte Bewachsung einer Gegend. Die Bewachsung macht eine vollkommene, ursprünglich als baumlos angesehene Ebene, über die der Wind ungehindert hinwegstreichen würde, sozusagen rauh. Beim Problem des künstlichen Windschutzes hat sich das Wort vom Aufrauhnen eines Landstrichs bereits eingebürgert. Durch dieses Aufrauhnen wird eine ursprünglich laminare Strömung in eine turbulente umgewandelt. Dies bedeutet eine starke Beeinflussung der natürlichen Durchlüftungsmöglichkeit oder genauer gesagt des dynamischen und thermischen Austausches. Und hierin liegt die Bedeutung des Begriffs für die Geländeklimatologie.

Die Geländerauhigkeit ist sicher von den Geographen schon gelegentlich behandelt worden, eine diesbezügliche Arbeit ist dem Verfasser allerdings nicht bekannt geworden. Im Rahmen der Feldarbeiten zur Erprobung einer Methodik einer Landesklimateaufnahme konnte daher auch dieses Problem ganz unbeeinflusst aufgegriffen werden. E. Kaps hat für einige unbewaldete Teile des Blattes 5726 (Bad Kissingen Nord) der topographischen Karte 1 : 25 000 die Geländerauhigkeit festzulegen versucht. Er bediente sich dabei einer vierstufigen Skala:

- 1) Gebiete ohne Baumbestand,
- 2) geringer, aber auffälliger Baumbestand,
- 3) stärkerer Baumbestand, vereinzelt Hecken (Knicks),
- 4) zahlreiche Bäume, viele Knicks.

Die nächste Stufe ist der geschlossene Waldbestand.

Die kartographische Aufnahme eines Gebietes nach dieser Skala ist sicher nicht schwierig und läßt auch dem subjektiven Empfinden keinen allzugroßen Spielraum. Nur ist es unerlässlich, das Gelände selbst zu durchwandern, damit ein genauer Einblick in seine einzelnen Teile gewonnen wird. Eine Aufnahme von einem erhöhten Punkt ist u. U. nicht einwandfrei, da die Kulissenwirkung eine stärkere Bewachsung vortäuschen kann, als in Wirklichkeit vorhanden ist.

Die Tafel 35 bringt das Ergebnis der Kartierung. Sie umfaßt Teile der Gemarkung von Stralsbach, Frauenroth und Wollbach. Nach Osten zu schließt sich ein geschlossenes Waldgebiet an. Die Aufnahme ist nur eine kleine Probe und kann nicht weiter ausgewertet werden.

Diese Geländerauhigkeit überlagert die Topographie des Geländes, für deren mehr oder minder starke Gliederung, wie bereits erörtert, die „Reliefenergie“ den Maßstab angeben soll. Wird der Versuch unternommen, beides zu verbinden, dann tritt die Problematik der Begriffe klar in Erscheinung. Es braucht nur darauf hingewiesen zu werden, daß die Geländerauhigkeit sich in einem Talboden ganz anders auswirkt als auf einem Höhenzug. Allgemein gesagt, konkave und konvexe Geländeformen müssen sich bei gleichem Grad der Rauigkeit verschieden verhalten. Über die Größe dieser Unterschiede lassen sich gefühlmäßig keine Angaben machen, erst systematische Messungen im Gelände unter verschiedenen topographischen Bedingungen könnten einigen Aufschluß bieten. Allerdings wird es sehr schwer sein, ein geeignetes Erprobungsfeld zu finden. Aber nur nach derartigen Voruntersuchungen wird der Begriff der Geländerauhigkeit die richtige Bedeutung bekommen. Vorläufig wird es für zweckmäßig gehalten, sich nur mit der ersten Stufe der oben angegebenen Skala, d. h. den Gebieten ohne Baumbestand zu beschäftigen. Von der Luftströmung ausgehend, sind sie als „windoffene“ Gebiete zu bezeichnen.

## 24. Windoffene Gebiete

Luftströmungen, die eine genügende Stärke haben, können sowohl auf den Pflanzenbestand, als auch auf den Boden eine schädigende Wirkung ausüben. Daher hat die Kartierung windoffener Gebiete eine praktische Bedeutung und ist auch früher schon versucht worden.

Über die Methodik dieser Kartierung ist einiges zu sagen. H. Ellenberg und O. Zeller (112) haben bei ihren Arbeiten im Kreis Leonberg Beobachtungen des Laubfalls der Apfelbäume benutzt. An dem von ihnen benutzten Stichtag, dem 3. November 1951, waren die Bäume in windoffenen Lagen bereits völlig kahl. Im Schutz von Wäldern und Bodenmulden saß dagegen noch der größte Teil des bereits herbstlich gefärbten Laubes auf den Bäumen. Je nach dem Grad der Entlaubung ließen sich fünf Stufen der Bewindung feststellen. Auch W. Kretz sieht in der Dauer des Laubfalles einen Hinweis für die Windexposition. In windexponierten Lagen fällt im Herbst das Laub zuerst. Die Laubfallmethode ist sicher aber nicht überall und nicht immer anwendbar, denn es müssen zunächst die entsprechenden Bäume vorhanden sein, und es muß eine Periode heftiger Winde zu Beginn des Laubfalles aufgetreten sein, womit aber nicht immer zu rechnen ist.

Besser erscheint es, von feststehenden Tatsachen im Gelände auszugehen und daneben die häufigste Windrichtung zu berücksichtigen. Ferner darf nicht übersehen werden, daß je nach dem Makroklima der Begriff „windoffenes Gebiet“ anders zu bewerten ist. In einer an und für sich windstarken Zone, wie z. B. dem nordwestdeutschen Flachland, ist praktisch genommen alles „windoffen“, soweit nicht durch künstliche Anpflanzungen und Bauwerke versucht wird, die Gewalt des Windes zu bremsen. Anders liegen die Verhältnisse in den windschwächeren Gebieten, wie wir sie z. B. in den west- und süddeutschen Mittelgebirgen antreffen. Hier sind windoffene und windgeschützte Gebiete bei der Durchwanderung der Landschaft leicht voneinander zu trennen. Windoffen sind zunächst alle Strecken ohne jeden Baumbestand und ohne topographischen Schutz, worunter zu verstehen ist, daß sie nicht im ausgesprochenen Windschatten von höheren Geländeformen liegen. Dabei sollte eine horizontale Erstreckung von rund 1000 m als untere Grenze dienen. Mulden, Talböden sind in diesem Sinne nicht windoffen. Dagegen sind baum- und strauchlose Hochebenen zwischen den Taleinschnitten typische Beispiele windoffener Gebiete. Für die nicht bewaldeten Höhen der Hochröhren, um nur ein Beispiel zu nennen, ist die Windoffenheit ein Hauptmerkmal des dortigen Klimas. Daher ist es dort auch sehr schwierig, jungen Pflanzenwuchs hochzubringen. Flache Mulden, besonders die Quellmulden der sich leewärts hinziehenden Täler heben sich mit ausgesprochenem Windschutz deutlich von den windoffenen Gebieten ab. Windoffen können aber auch unbewaldete Höhen in geringer Höhenlage und vor allem die Sattel- und Paßlagen sein, zumal wenn in ihnen bei geeigneter Lage in der Großströmung infolge Zusammendrängung der Luftbahnen eine Windverstärkung auftritt. Für den Geländeklimatologen, dem die makroklimatischen Tatsachen des Kartierungsbezirkes geläufig sind, und der es versteht, sich in die Dynamik der Abwandlung der Luftströmung durch die Topographie hineinzuversetzen und damit die Erkenntnisse der Geländeklimatologie beherrscht, für diesen wird es nicht schwerfallen, die windoffenen Gebiete zu kartieren.

Wie über diesen windoffenen Flächen der Wind als schädigender Faktor sich auswirken kann, wird im Abschnitt 27 näher behandelt.

## 25. Luftstrom und Gelände

Dem erfahrenen Geländeklimatologen muß es möglich sein, sich in die Führung eines Luftstromes durch die Geländeformen hineinzudenken. Im Windkanal ist bereits sehr häufig unter Verwendung entsprechender Modelle das Über- und Umströmen eines Hindernisses mit den dabei entstehenden Lokalwirbeln nachgeprüft worden. Das was im Kleinen im Windkanal zu sehen ist, spielt sich in der Natur im Großen ab. Die Makroströmung wird durch die Topographie stark abgelenkt. Daher ist es schwer, am Grunde eines Geländes mit wechselndem Relief die durch die Druckverteilung bedingte Großströmung wieder zu erkennen. Sowohl im Luv als auch im Lee von Gebirgskuppen und Höhenrücken können sehr wesentliche Abweichungen von der unbeeinflussten Hauptwindrichtung auftreten, und nur auf den freigelegenen Hochplateaus und auf den Kuppen selbst kann sich die Großströmung unabgelenkt auswirken.

Neben diesem durch das allgemeine Druckfeld bedingten Großstrom entwickeln sich aber sekundäre Strom- und Zirkulationssysteme, die an die Geländeform gebunden sind. Sie treten in ihren Ausmaßen hinter dem Großstrom sehr stark zurück, sind aber für die Beurteilung der örtlichen Klimlagen von sehr großer Bedeutung. Daher sollen sie auch hier, wenigstens ihren Grundzügen nach, kurz erörtert werden. Sie haben eine dynamische und eine thermische Komponente. Erstere geht von dem Großwind, letztere von der ungleichmäßigen Ein- und Ausstrahlung aus.

Die ungleichmäßige, von der Exposition des Geländestückes abhängige Energiezufuhr am Tage, ist in den Besonnungskarten bereits kartographisch dargestellt worden. Wir verweisen auch noch auf die Ausführungen, die R. Geiger (22, § 40) zu dem Problem die Besonnung der Hanglagen gemacht hat. Wir kommen später noch einmal bei der Besprechung der sich am Tag einstellenden Luftbewegung darauf zurück. Zunächst sollen die stärker an das Gelände gebundenen Bewegungen, die sich in der Nacht unter dem Ausstrahlungseinfluß abspielen, erörtert werden.

Wenn nach Sonnenuntergang in windstillen Nächten bei Hochdruckwetterlage und klarem Himmel die Ausstrahlung zu wirken beginnt, ist diese über den höheren Lagen stärker als in gleicher Höhe über den niederen Geländeteilen. Wegen des damit verbundenen Dichteunterschiedes muß sich eine Ausgleichsströmung einstellen. Durch sie wird die kalte Luft von den Höhen nach den Tälern zu geschafft und in einem notwendig werdenden Zirkulationsprozeß wird sie durch wärmere Luft ersetzt. Hält dieser Vorgang entsprechend lange an, dann kommt es zu den bekannten Kälteseen und Frostlöchern, die jeder Wanderer im unregelmäßigen Gelände deutlich spürt, wenn er in diese Kaltluftmassen eintaucht oder sie beim Bergansteigen wieder verläßt. Die Kaltluft ist durch den Fluß kalter Luft von den höher gelegenen Geländeteilen in die Mulden und Täler geschafft worden und ist auch stellenweise durch örtliche Abkühlung an Ort und Stelle entstanden. Obwohl dieser Vorgang ziemlich häufig erörtert worden ist, besteht doch noch keine einheitliche Auffassung über sein Zustandekommen. Da hier nicht näher darauf eingegangen werden kann, sei auf die kritischen Ausführungen verwiesen, in denen P. Lehmann (62) die verschiedenen Meinungen beleuchtet hat.

Dieser Fluß der Luft, der sich in einer nur wenig mächtigen Schicht (Kaltluftschicht) abspielt, wird unterbrochen, sobald sich ihm Hindernisse entgegenstellen. Hangaufwärts kommt es dann zu einer Kaltluftstauung mit den bekannten schädlichen Folgen für die Vegetation. Das Lokalklima oberhalb dieser Hindernisse ist trotz der an und für sich günstigeren Hanglage wesent-

lich beeinträchtigt. Die Temperaturverhältnisse im Kaltluftstrom und seinen Ansammlungsgebieten werden später noch erörtert.

Hier geht es nur um die Dynamik der Kaltluftbewegung. Diese geht am Boden sehr langsam vor sich, und die Geschwindigkeit läßt sich meistens nur mit Meßinstrumenten nachweisen, die, wie z. B. das registrierende Platinwiderstandsthermometer, auf sehr schwache Luftbewegung von 1 bis 1½ m/sec ansprechen. Auf glattem Untergrund und mäßig geneigtem Hang können diese als fast laminar angesprochen werden, was nicht überrascht, da diese Bewegung der Bodenluft nur unter der Voraussetzung allgemeiner Luftruhe zustande kommt. Ist das Gelände steiler und ist vor allem die Abkühlungsfläche nicht streng homogen, sondern mit leichten Mulden und ungleichartigem Bewuchs durchgesetzt, dann kann die Abkühlung der Luft nicht gleichmäßig vorsichgehen. Die Folge ist, daß es nicht zu einem laminaren Kaltluftfluß kommen kann, sondern einzelne Kaltlufttropfen lösen sich los und ziehen unter merkbarem kurzen Auffrischen des Windes zu Tal. Die gleiche Erscheinung tritt im Hochgebirge ausgeprägter auf und ist treffend als Luftlawine bezeichnet worden. Charakteristisch ist, daß ein Rhythmus von etwa 5 Minuten beobachtet wurde. Die Dynamik dieses Vorganges läßt sich aber erst klären, wenn das Ausgangsgebiet der Kaltlufttropfen unter Beobachtung genommen wird. Darüber ist nichts bekannt geworden.

Die vorstehend geschilderten langsamen Bewegungen der Luftschicht über dem Boden können sich nicht dynamisch auswirken, sondern sind hauptsächlich in der noch näher zu besprechenden Temperaturverteilung zu erkennen. Wenn aber ein tief eingeschnittenes Tal vorhanden ist, dann bildet sich nicht nur am Talboden, sondern auch an den Talhängen eine ausgesprochene Kaltluftschicht aus, die talwärts fließt und vereint mit dem Wind, der durch den Luftdruckgegensatz zwischen Gebirge und Ebene gespeist wird, den großräumigen Talabwind erzeugt, der als „Bergwind“ ein allgemein bekannter Begriff geworden ist. Es ist noch nicht sicher bekannt, warum er in bestimmten Tälern auftritt und in anderen nicht. Dort, wo er sehr markant ist, wurde ihm ein besonderer Name beigelegt. Zu nennen ist hier der „Wisperwind“ jenes Tales, das bei Lorch in das Rheintal mündet, ferner der „Höllentalwind“ bei Freiburg i. Breisgau, der „Talwind“ an der Mündung des großen Münstertales im Elsaß. Die häufig vorkommende Bezeichnung „kaltes Tal“ deutet mit Sicherheit auf einen Talabwind hin. Eine Landesklimaaufnahme muß das Vorkommen dieser Lokalwinde notieren, und zwar, wenn möglich, nach dem Grad ihrer Ausbildung, wobei zwei Stufen genügen.

Der Bergwind erreicht stellenweise beachtenswerte Stärken, 5 m/sec sind keine Seltenheit. Dem aufmerksamen Beobachter kündigt er sich durch das Rauschen der Baumwipfel an. Seine vertikale Mächtigkeit hängt von der Talform ab und kann weit über 100 m hinausgehen. Für die nächtliche Lüfterneuerung sind die Bergwinde von hoher lokalklimatischer Bedeutung. Ihr Wert für die Klima- und Luftkurorte wird später noch erläutert werden (Abschnitt 40).

Die Verstärkung der Luftströmung auf Pässen und in Sattellagen ist so allgemein fühlbar und bekannt, daß sie hier nur erwähnt werden soll. Falls starke Temperatur- und Druckgegensätze zwischen den beiden Seiten des PASSES bestehen, können die Paßwinde Sturmesstärke erreichen. Die sonstigen Vorteile des Höhenklimas werden an diesen Punkten merkbar herabgesetzt, was bei der Klimabewertung zu berücksichtigen ist.

Über die Verstärkung eines Luftstromes, der unter einem spitzen Winkel auf einen Gebirgsgang oder auf

einen niedrigeren Höhenrücken auftrifft, wird im Abschnitt über die Austrocknung des Bodens noch Näheres zu sagen sein (Abschnitt 34); hier ist nur auf das Ergebnis einer Untersuchung hinzuweisen, die F. Steinhauser (63) über die Windverstärkung an Gebirgszügen durchführte. Am Gebirgszug der kleinen Karpaten zwischen der Ungarischen Tiefebene und dem Marchfeld wurde bei dem quer über dem Gebirgskamm wehenden Wind auf der jeweiligen Leeseite eine beträchtliche Verstärkung nachgewiesen. Diese tritt nur in einem verhältnismäßig schmalen Streifen im Lee auf, kann dort aber Sturmesstärke mit großer Böigkeit erreichen. Sie muß wohl als fallwindartige Verstärkung der Winde im Lee aufgefaßt werden. Man sieht daraus, daß der Begriff Lee auch hinter höheren Gebirgszügen nicht immer mit Windabschwächung verbunden sein muß, sondern daß der Leewirbel, der in der Höhe sich in der Wolkenbildung ausdrückt, auch bis zum Boden herabreichen kann.

Daß die Luftströmung im Bergland deutliche Ablenkungen von ihrer durch das Druckfeld bestimmten Richtung erfährt, ist eine Selbstverständlichkeit, da strömende Luft sich Hindernissen gegenüber wie Wasser verhält und sich den Hohlformen der Topographie anschmiegt. Die Luftströmung wird daher in ausgeprägten Tälern stets von der Gradientströmung abweichen, falls die Richtung des Tales nicht mit der Windrichtung übereinstimmt.

In einem ausgesprochenen Flachland, wie z. B. Norddeutschland, sind solche Richtungsbeeinflussungen im allgemeinen nicht zu erwarten. Aber dort, wo Höhenunterschiede vorhanden sind, z. B. in Form von Geländestufen oder Ränder der Talterrassen, selbst wenn diese auch nicht die in den Mittelgebirgen üblichen Höhendifferenzen erreichen, ist eine Änderung der Großströmung sehr wohl möglich. So konnte J. van Eimern (64) an dem Zug der Harburger Höhen und des Geestrandes, der das flache Elbtal bei Hamburg im Süden begrenzt, nachweisen, daß in der flachen Niederung Windrichtungsänderungen auf Entfernungen von 2 km bis zu 24° vorkommen können. Ob diese Drehung als direkte Leitlinienwirkung der Harburger Berge aufzufassen ist oder auf erhöhte Reibung über den Höhen zurückgeführt werden kann, bleibt dahingestellt. Die Tatsache der Richtungsänderung ist gesichert.

## 26. Windwirkung auf Bäume

Da die Dichte der meteorologischen Beobachtungsnetze nicht ausreicht, können die Aufzeichnungen des Wetterdienstes über die soeben geschilderten, orographisch bedingten Details der Strömung nur ganz beschränkt Auskunft geben. Seit langem hat man sich daher nach anderen Anzeichen in der Natur umgesehen, aus denen man auf die Windrichtung schließen kann. Die Beobachtungen über Deformation am Pflanzenwuchs, besonders an Bäumen, die bereits Darwin 1875 als „natürliche Windfahnen“ ansprach, drängten sich hier als Hilfsmittel auf.

J. Früh (65) schrieb 1901 eine Arbeit über die Abbildung der vorherrschenden Winde durch das Pflanzenkleid. Neuerdings ist W. Weischet (66) dem Problem systematisch nachgegangen. Am Beispiel der Kölner Bucht zeigte er, wie sich durch Vergleich zwischen den meteorologischen Beobachtungswerten und der Richtung der Windwirkung an freistehenden Bäumen der orographische Effekt herauschälen läßt. Der gleiche Verfasser hat sich dann mit den Baumkronendeformationen als physiognomische Beobachtungsgrundlage in seinem größeren Werk über die Geländeklimate der Niederrheinischen Bucht sehr ausführlich beschäftigt (67). Hier sei nur das methodisch Wichtige wiedergegeben, wie es von dem Verfasser aus einem Vortrag vor

der Meteorologischen Gesellschaft in Hamburg selbst mitgeteilt wurde (68). Diese kurzen Ausführungen beleuchten aber auch sehr deutlich die ganze Problematik des Problems.

„Baumkronendeformationen sind geeignet, klimatologische Eigenschaften des Windes zu repräsentieren, da ausnahmsweise auftretende hohe Windgeschwindigkeiten gegenüber schwächerer, aber beständigerer Luftbewegung hinsichtlich einer Verformung (nicht Zerstörung!) der Kronen fast wirkungslos sind.

Verschiedene Baumarten und -varietäten besitzen unterschiedliches, art- bzw. varietätentypisches Widerstandsmögen gegenüber Windeinflüssen.

Aus der unterschiedlichen Windhärte als Deformationsgrundwert und der unterschiedlichen Verformung als Deformationsgrad läßt sich ein Schätzungsschema der Windwirkung (Windwirkungsrepräsentante) ableiten (Tab. 3). In diesem Schema sind die numerischen Werte noch willkürlich, nur ihre gegenseitige Stellung ist durch die Beobachtungsergebnisse festgelegt. Es sind Größen der Pflanzenphänologie im weiteren Sinne und können wie phänologische Daten überhaupt nur Relativwerte der Windexposition innerhalb eines von den Grenzen des Beobachtungsraumes bestimmten Beobachtungsintervalles geben.

Tab. 3

Schätzungsschema der Windwirkung

Deformationsgrundwert (Windhärte)	Süßkirsche Kiefer	Eberesche	Silberpappel, Apfel, Birne	Buche	Roßkastanie
Def. Grad					
angedeutet deformiert	1	2	2 — 3	3	4
vollendet deformiert	1 — 2	2 — 3	3	4	

Die Ableitung von absoluten Schätzungswerten ist prinzipiell möglich durch Verknüpfung der Repräsentationswerte mit vergleichbaren Windmessungen. Doch liegen dazu noch keine Beobachtungen vor.“

Im Arbeitsplan zur Erkundung der Methodik einer Landesklimateaufnahme war von vornherein vorgesehen auch den Deformationen im Baumwuchs, den sogenannten „Windflüchtern“, besondere Aufmerksamkeit zuzuwenden. Dies ist durchgeführt worden, nur wurde dabei festgestellt, daß Windwirkungen am Baumwuchs in dem kartierten Gelände im allgemeinen nur vereinzelt vorkommen. Ihre spärliche Zahl ist durchaus nicht ausreichend, um sich eine detaillierte Vorstellung vom orographischen Einfluß auf den Baumwuchs machen zu können. Grundsätzlich ist dies ein schwerwiegender Nachteil, der den Wert derartiger Hilfen zur Ergänzung des meteorologischen Beobachtungsnetzes immer stark herabsetzen wird.

Nur am Gipfel des Kreuzberges mit einer wesentlich höheren Windstärke waren in stärkerem Maße Windeinflüsse an den außerhalb des eigentlichen Waldgebietes stehenden einzelnen Buchenbüschen deutlich wahrnehmbar. Es handelt sich um die unbewaldete Senke, die sich zwischen dem eigentlichen Kreuzberggipfel (928 m) und dem nordnordwestlich vorgelagerten niedrigeren Arnsberg (843 m) hinzieht. Es ist das nach Westen zu geöffnete Quellgebiet der Sinn, das von etwa 600 m Höhenlage an nur spärlich mit Wald besetzt und in seinem obersten Teil praktisch waldlos ist. Die Beobachtungsergebnisse nach Messungen von E. Kaps (Tafel 36\*) lassen sich zwanglos mit der Führung der Strömung durch die Topographie in Einklang bringen. Von Westen her dringt der Wind mit einer geringen Südkomponente in die Senke zwischen Kreuzberg und

\* Die Zahl am Standort des Baumes (o) bezeichnet die Richtung der Baumneigung in der 360°-Skala.

Arnsberg ein. Dort, wo am Kreuzberg das Gehänge steiler wird, wird den Höhenlinien entsprechend die Strömung stark nach SW abgelenkt, dreht aber beim Überqueren des Sattels wieder nach West zurück.

Die erwähnte Ablenkung auf SW hängt wohl auch mit dem geschlossenen Hochwald zusammen, der die Bodenströmung zum Ausweichen zwingt. Auf dem Gipfel des Kreuzberges macht sich in den Baumdeformationen ein Nordeinschlag bemerkbar, worin die Umspülung des Kreuzbergsmassivs deutlich wird. Am Osthang des Arnsberges ist die gleiche Tatsache aus den Vermessungen herauszulesen.

Bei dieser Diskussion der Richtung der Wuchsdeformation wird von der Meinung ausgegangen, daß es sich bei ihnen um eine Summenwirkung vorherrschender Strömungen handelt, die sich in der Kreuzberghöhenlage durch beachtenswerte Stärke und eine durch die Topographie bedingte ziemliche Richtungskonstanz auszeichnen.

Windstarke Gebiete werden sich immer gut zur Beobachtung von Baum- und Strauchdeformationen eignen. F. Runge (69) hat durch Messungen auf der holländischen Insel Terschelling deutlich gezeigt, daß auf allen Teilen der Insel zahlreiche Abweichungen von der zwischen W und WNW liegenden Hauptrichtung vorkommen müssen, wenn man von der Form der Holzgewächse ausgeht. Daß die Kartierung der Windrichtung auf Grund des Baum- und Strauchwuchses keine Spielerei, sondern für die Praxis sehr nutzbringend sein kann, wird am Beispiel eines Deichbaus gezeigt, bei dem unter Ausnutzung des Baumwuchses sich ein Fehlschlag hätte vermeiden lassen.

## 27. Der Wind als schädigender Faktor (Winderosion)

Hier soll nicht von den allgemein bekannten Sturm- und Schädigungen, die in Feld und Wald und an den Bauwerken auftreten können, die Rede sein, da sie im allgemeinen kein geländeklimatisches Phänomen sind, sondern von der weitverbreiteten Erscheinung der Winderosion, die den Charakter einer schleichenden Krankheit hat. Aus trockenen warmen Klimaten ist uns die Verfrachtung der leichten Böden wohl bekannt. Weite Gebiete der USA, Südrusslands, Südafrikas, um nur einige Länder zu nennen, haben sehr darunter zu leiden, und es bedarf des Einsatzes gewaltiger Mittel, um die damit für die Kulturlandschaft verbundene Gefahr wieder einzudämmen. Einst blühende Kulturen sind unter den vom Wind herangezogenen Sandmassen begraben worden. Wir wissen jetzt, daß wir uns nicht der Ansicht hingeben dürfen, daß die Winderosion in unserem feuchtkühlen Klima keine Rolle spielt. Wenn die von ihr betroffenen Gebiete im Verhältnis zu der gesamten landwirtschaftlich genutzten Fläche glücklicherweise noch klein sind, so kann es sich Deutschland, das gezwungen ist, seine Fläche voll auszunutzen, doch nicht leisten, diesen örtlich schwerwiegenden Wirkungen des Windes, die häufig durch falsche Kulturmaßnahmen ausgelöst werden, tatenlos zuzusehen.

In den letzten Jahrzehnten sind daher viele Bodenkundler diesen Bodenverlagerungen nachgegangen und versucht, ihre Vorbedingungen, die Dynamik und den Ablauf dieser Erscheinung, zu erkunden, damit wirksame Bekämpfungsmaßnahmen angesetzt werden können. Man hat Kartierungen der Winderosionsvorkommen bereits durchgeführt. Dort, wo dies noch nicht geschehen ist, sollten sie im Rahmen der Landesklimaaufnahme notiert werden, im übrigen ist die Arbeit der Bodenkunde zu übernehmen. In Deutschland sind es in erster Linie die leichten Sandböden, die der Winderosion besonders ausgesetzt sind. Dabei bestimmen zahlreiche Faktoren den Grad der Schäden. Zu ihnen ge-

hören in erster Linie Bodenstruktur, Feuchtigkeitsgehalt, Humusgehalt, Schlagaufteilung, Furchenverlauf, Art der landwirtschaftlichen Nutzung. Die orographischen Verhältnisse müssen so sein, daß sich ein starker Luftstrom ausbilden kann. Windoffene Gebiete sind daher besonders erosionsgefährdet, aber auch Waldränder oder Hecken können durch Verstärkung der Luftströmung den Bodentransport fördern. Konvexe Bodenformen auf Kuppen und Hängen wirken in gleicher Richtung. Je böiger der Wind, umso stärker ist die Abtragung des Bodens.

Infolge der in unserem Klima vorhandenen starken unperiodischen Änderungen der Witterung schwankt das Ausmaß der Windschäden in den einzelnen Jahren beträchtlich. In niederschlagsreichen Jahren sind sie bei guter Durchfeuchtung des Bodens nicht bedeutend, in trockenen Jahren können sie einen großen Umfang erreichen. Einzelheiten über den Ablauf der Winderosion und ihre Kartierung hat B. Grosse (70) in seinem Bericht über die Winderosion in Niedersachsen gegeben. R. Flegel (71) hat im Auftrag des von H. Stremme geleiteten Instituts für Bodenkartierung die Verbreitung der Bodenerosion (Wasser und Wind) im Gebiet der DDR in einer Übersichtskarte veranschaulicht, wobei die Anfälligkeit gleich disponierter Erosionsflächen und das Schutzbedürfnis kenntlich gemacht wurden.

Im Untersuchungsgebiet in der Umgebung von Bad Kissingen treten naturgemäß nicht solche Bodenverwehungen auf wie auf den leichten Böden Niedersachsens oder der Magdeburger Börde. Angriffspunkte des Windes sind im allgemeinen auf den zwischen den Taleinschnitten sich hinziehenden Hochflächen vorhanden. Hier sind es die freiliegenden, dem Wind ausgesetzten Kuppen, von denen der Humusboden stark abgeblasen wird, so daß er nicht tief beackert werden kann oder sogar als Ödland unbenutzt liegen geblieben muß.

So konnte südöstlich Sulzthal (Blatt 5826, Bad Kissingen Süd) festgestellt werden, daß die Kuppen der vorhandenen Erhebungen stark erodiert und nur noch Ödland sind. Dort, wo eine Deckschicht überhaupt vorhanden ist, beträgt ihre Dicke wenig über 10 cm, manchmal erheblich weniger. Grund ist die starke Windoffenheit der Kuppen. Ein deutlich erodierter Nordhang in der Nähe des Forstes Wittighausen auf dem gleichen Blatt der topographischen Karte dürfte auf Windverstärkung infolge Düsenwirkung zurückzuführen sein.

Derartige Erosionsschäden wurden zwar in den Karten vermerkt, Stärkegrade wurden aber nicht unterschieden, da das Beobachtungsmaterial doch zu gering war und Intensitätsunterschiede nicht genügend deutlich vorhanden waren. Eine systematische Kartierung gehört übrigens zu den Aufgaben der Bodenkunde und der Landesplanung. Glücklicherweise ist die windstarke Hochrhön noch mit einer Grasnarbe überzogen, so daß der Wind den Erdboden im allgemeinen nicht angreifen kann.

## 28. Die Reflexion der Strahlung am Boden (Albedo)

Wenn im nächsten Abschnitt der Temperaturfaktor in der Geländeklimatologie behandelt werden soll, ist es zweckmäßig, vorher noch einiges über den Einfluß der Art der Unterlage auf die Erwärmung oder Abkühlung der untersten Luftschicht zu sagen.

Der feste Boden, der neben der Wasser-, Schnee- und Eisbedeckung den Hauptteil der Festländer ausmacht, ist in seiner Beschaffenheit durchaus nicht gleichmäßig. Seine geologische Natur wechselt entsprechend seiner erdgeschichtlichen Entstehung sehr stark. Seine Struk-

tur wird durch den Grad der Verwitterung und auch durch Kulturmaßnahmen wesentlich verändert. Hinzu treten der Wechsel des Wassergehaltes im Boden, sowie die mit dem Gefrieren und Wiederauftauen verbundenen Gegensätze.

Dies alles bedingt ein sehr unterschiedliches Verhalten der Bodenoberfläche gegenüber der auf sie auftretenden Sonnenstrahlung. Von dieser wird ein bestimmter Teil absorbiert und ein anderer Teil reflektiert.

Dieses Reflexionsvermögen, auch Albedo genannt, wird durch die Reflexzahl, d. h. das Verhältnis der reflektierten Strahlung zur auffallenden Strahlung ausgedrückt und ist sehr häufig bestimmt worden. Man hat dabei den ultravioletten (unter  $0,36 \mu$ ), den sichtbaren ( $0,36-0,76 \mu$ ) und den langwelligen ( $0,76-1,00 \mu$ ) Spektralbereich getrennt bestimmt. Hier seien nach Geiger (22, 3. Aufl.) zunächst die Reflexzahlen für den sichtbaren Spektralbereich wiedergegeben:

Frische Schneedecke	80—88% (0,16)
Ältere Schneedecke	42—70% (0,44)
Felder, Wiesen, Äcker	15—30% (0,78)
Heide und Sand	10—25% (0,82)
Wälder	5—18% (0,88)
Meeresoberfläche	8—10% (0,91)

Die Zahlen in der Klammer sind die entsprechenden mittleren Absorptionskoeffizienten.

Für den langwelligen Spektralbereich wirkt der Boden in seinen verschiedenen Arten fast als „schwarzer Körper“, d. h. er absorbiert die langwellige Strahlung fast vollständig. Als Reflexzahlen und als Absorptionskoeffizienten (in Klammern) wurden ermittelt:

für hellen Sand	11 % (0,89)
für Kies und Kalkstein	8 % (0,92)
für Schnee	0,5 % (0,99)

Wie sich diese gegensätzliche Reflexzahlen im Klima der bodennahen Luftschicht auswirken, ist in vielen Untersuchungen nachgewiesen worden. Die Temperaturentwicklung baut sich grundsätzlich auf den Reflexions- und Absorptionszahlen auf. Bei der Weiterentwicklung der Geländeklimatologie wird ein leicht zu handhabendes Albedometer sicher mit Vorteil zu benutzen sein, da seine Angaben zur Klärung lokaler Klimaunterschiede mit beitragen werden.

F. Sauberer (81) hat darauf hingewiesen, daß es sich bei der Reflexzahl vielfach um keine eigentliche Oberflächenreflexion allein handelt, sondern daß daneben bei Wasseroberflächen und besonders bei Schnee- und Eisflächen eine aus dem Inneren der Medien austretende Reflex- und Streustrahlung vorhanden ist. Nur diese Gesamtwirkung sollte mit Albedo bezeichnet werden.

Außer der vom Boden kommenden Rückstrahlung läßt sich auch neben der Sonnen- und Himmelsstrahlung die gesamte von dem umgebenden Gelände und etwa vorhandenen Wasserflächen ausgehende Strahlung (Zirkumglobalstrahlung) messen. Als geeignetes Gerät wird das neuerdings von P. Courvoisier und H. Wierzejewski systematisch geprüfte Luzimeter oder Kugelpyranometer nach Bellani empfohlen. N. Weger (72) hat über seine mit diesem Gerät bei lokal-klimatologischen Untersuchungen in Weinbergen gemachten Erfahrungen berichtet.

## 29. Der Temperaturfaktor in der Geländeklimatologie

„Die Temperatur ist einer der wichtigsten Umweltfaktoren, die das Leben auf der Erde bestimmen.“ — beginnt das Vorwort zu dem inhaltreichen Buch von H. Precht, J. Christophersen und H. Hensel: Tem-

peratur und Leben (73). In ihm haben die Verfasser versucht, den Einfluß der Temperatur auf die Lebewesen, auf einzelne Lebensprozesse und auf Stoffe, die für das Lebendige bedeutsam sind, darzustellen. Es ist sehr interessant, zu sehen, wie weit die Grundlagenforschung in der Erklärung der physiologischen, ökologischen und genetischen Tatsachen, so weit sie mit der Temperatur zusammenhängen, bereits vorgedrungen ist. Bei der Behandlung des Temperaturfaktors in der Geländeklimatologie müssen wir leider noch ganz an der Oberfläche bleiben, wir können nur auf empirische Befunde hinweisen, obwohl die Temperatur jenes meteorologische Element ist, dem man seiner großen praktischen Bedeutung wegen am meisten nachgegangen ist.

Dabei war es vor allem die Frage der Frostgefährdung bestimmter Geländeteile, die entsprechende Kartierungen veranlaßte. Bei frostempfindlichen Kulturen wie Wein-, Obst- und Gemüsebau sollte das Risiko, das in den Spätfrösten bei weit entwickelter Pflanze liegt, möglichst ausgeschaltet werden, indem von vornherein frostgefährdete Stellen für den Anbau bestimmter Kulturen als ungeeignet festgelegt wurden. Das gleiche gilt für die herbstlichen Frühfröste, die die Ernte vernichten, oder doch wenigstens schädigen können. S. Uhlig (74) hat eine Auswahl derartiger Arbeiten besprochen und gleichzeitig über eine weitere von ihm durchgeführte Geländeuntersuchung im Landkreis Künzelsau (Nordwürttemberg) berichtet. Gedanken zur Methodik der Arbeit im Gelände erörterte J. van Eimern (39) allerdings nur auf Grund der Erfahrungen, die er bei seinen Arbeiten in Norddeutschland sammeln konnte. H. Burckhardt (75) hat sich ebenfalls mit den Problemen, die bei der Kartierung der Frostgefährdung auftreten, eingehend beschäftigt. Auf die im Abschnitt 4 gemachten Ausführungen zur Frostgefährdungskartierung sei nochmals verwiesen.

Bei diesen Nachfrösten kann es sich um zweierlei Entstehungsursachen handeln: Erstens um das Heranführen kalter, verhältnismäßig trockener Luftmassen, die weitverbreitete Schäden veranlassen und gegen die auch Frostbekämpfungsmittel meist erfolglos bleiben. Zweitens um die Bildung der schon erwähnten Kaltluftansammlungen als Folge der Ausstrahlung in klaren Nächten bei antizyklonaler Wetterlage (Strahlungsfröste).

Der an erster Stelle erwähnte Schadenfrost (Advektivfrost) ist eine makroklimatische Erscheinung, die zwar lokal verstärkt werden kann, aber grundsätzlich doch nicht zur Geländeklimatologie gehört. Die zweite Frostart ist ein wesentlicher Teil des Geländeklimas. Ihr häufigeres oder selteneres Vorkommen geht sehr wesentlich in die Beurteilung des Gütwertes einer bestimmten Geländelage ein, weil diese Fröste den Nutzwert eines Grundstückes erheblich mindern können.

Wie beide Frostarten in seltenen Fällen zusammenwirken können, hat A. Vaupel (77) mit der eingehend durchgeführten Frostschadenkartierung vom Mai 1957 in den Weinbergsgeländen an der Nahe und in der Nordpfalz klar gezeigt. Dem starken Advektivfrost folgten damals unmittelbar mehrere Strahlungsfrostnächte. Der Zusammenhang zwischen dem Grad der Frostschädigung und der Geländeform, der Exposition, der Behinderung des Kaltluftflusses usw. konnte deutlich nachgewiesen werden. Besonders interessant waren die Schädigungen in den Seitentälern von Mosel und Mittelrhein, die dem Abfluß der auf den benachbarten Hochflächen noch bereitstehenden Kaltluft des Polarluftbruches ausgesetzt waren.

Die Kartierung der Frostgefährdung ist zweifellos eine Hauptaufgabe der Geländeklimaaufnahme. Sie geschieht mit den instrumentellen Hilfsmitteln, die in der

aufgeführten Literatur beschrieben sind, oder auch nach der Methode, die ein erfahrener Geländeklimatologe ausüben sollte, nämlich visuell. Frostlagen im Gelände zu erkennen ist nicht schwer. Durch Befragen der ansässigen Bauern wird man in Zweifelsfällen eine Klärung herbeiführen können. Vorbedingung ist nur, daß nicht nur die Topographie berücksichtigt wird, sondern auch die Bewachsung des Geländes und etwaige größere Eingriffe des Menschen (Bauten, Dämme u. a.), die den nächtlichen Kaltluftzufluß hindern können. Darauf ist schon häufig hingewiesen worden. P. Lehmann (62) hat hierzu beachtenswerte Ausführungen gemacht.

Wie weit die Kartierung der Frostgefährdung zu gehen hat, ergibt sich aus dem Kartenmaßstab, mit dem im Gelände gearbeitet wird. Auch ein landläufig als eben bezeichnetes Gelände hat noch leichte Bodenwellen, die, selbst wenn es nur Höhenunterschiede von wenigen Zentimetern sind, Veranlassung zu merkbaren Temperaturdifferenzen geben können. Auch kein Hang hat ein absolut gleichmäßiges Gefälle, und so werden sich an den Hängen, auch wenn man es bei nur oberflächlicher Betrachtung nicht vermutet, doch an den Stellen mit geringerem Gefälle oder dort, wo leichte Mulden in den Hang eingebettet sind, flache Luftkörper ausbilden, die zu Frost führen, auch wenn der übrige Hang frostfrei ist.

Es sei von vornherein festgestellt, daß es sich bei einer Geländeklimaaufnahme, wie sie hier angestrebt wird, nicht um derartige Details handeln kann, selbst wenn mit Karten des Maßstabes 1 : 2500 (Flurkarte) gearbeitet wird. Dies ist schon eine Mikroklimaaufnahme, die nur durch eine sehr eingehende visuelle Seizierung oder durch Auslegung zahlreicher Thermometer erarbeitet werden kann. Durch das lokale Auftreten von Reif wird die Auswirkung solcher Geländeunterschiede übrigens sehr gut deutlich gemacht. Schade nur, daß Reif ein so vergängliches Gebilde ist und nach Sonnenaufgang bald verschwindet. Für die Festlegung der oberen Frostgrenze in den Tälern wird Reif aber stets ein guter Helfer bleiben.

Um die Frostgefährdung instrumentell festzulegen, wurden in den meisten Fällen nur die Messungen weniger klarer und windstillen Nächte verwendet. Dies ist sicher nicht ausreichend, denn die Gegenstrahlung, die stark vom Wasserdampfgehalt der Luft abhängig ist, variiert in wolkenfreien Nächten erheblich. Damit ist die Abkühlung auch nicht eine einfache Funktion der sichtbaren Bewölkung.

R. Geiger (22) hat einen guten Überblick über die Messungen und Überlegungen gegeben, die sich mit der langwelligen Strahlungsbilanz bei Nacht und die effektive Ausstrahlung bei verschiedenen Abschirmwinkel in muldenförmigen Geländeteilen beschäftigen. Die von H. M. Bolz (78) in Mulden durchgeführten Messungen beziehen sich auf das norddeutsche Flachland. Der Zufluß von Kaltluft erklärt nur in vereinzelten Fällen die tiefe nächtliche Muldentemperatur, ein Ergebnis, das aber für größere Geländeformen nicht gilt. Bei Verallgemeinerung mikroklimatischer Tatsachen ist überhaupt stärkste Kritik am Platze.

Sicher erscheint die Forderung der Praxis gerechtfertigt, über den Grad der Frostgefährdung unterrichtet zu werden. W. Schüpp (79) ist in dieser Richtung weit vorangekommen, indem er für das Davoser Hochtal aus der Form des Geländes (Gefälle, Hang-, Mulden-, Tallage) auf den Grad der Frostgefährdung schloß und sie nach Punkten (0—10) bewertete. Die Unterlagen hatten die an Kartoffeln beobachteten Frostschäden geliefert. S. Uhlig (74) hat diese Methode für sein bereits erwähntes Untersuchungsgebiet in Nordwürttemberg in einer den dortigen Gegebenheiten abgewandelten Form übernommen.

Für die Bearbeitung eines größeren Gebietes scheint eine so stark detaillierte Skala der Frostgefährdung nicht angebracht. Bei einer Untersuchung in kleinerem Rahmen mag es reizvoll sein, derartig weit zu differenzieren, und trotz aller Problematik der Schätzung wird die weitgehende Unterteilung der Größe der Frostgefahr beim Praktiker vielleicht Interesse finden.

Jedenfalls muß aber Klarheit darüber herrschen, daß der Begriff der „Frostgefährdung“ von dem hier gesprochen wird, nicht gleich „Frosthäufigkeit“ ist, sondern, daß es sich nur um die sogenannten Spät- und Frühfröste handeln kann. Sie können im Frühjahr der Blattentwicklung und Blüte der jungen Vegetationen, im Herbst dem Erntegut gefährlich werden.

An die Stelle des sehr differenzierten Punktsystems, das von 0—10 reicht, wird es in vielen Fällen schon genügen, zwischen normaler, mäßiger und starker Frostgefährdung zu unterscheiden. Die erste Grundlage für die Abschätzung der Frostgefahr bildet selbstverständlich die Geländeform. Daneben sind zu berücksichtigen: die mehr oder minder starke Durchlüftungsmöglichkeit des Geländes, das Gefälle des Talbodens, das geeignet ist, den Abfluß der Kaltluft entweder zu erleichtern oder zu erschweren, ferner der Grad der Bewachsung, der zwischen glatten, unbewachsenen Wiesenhängen oder durch Busch- und Baumvegetation aufgeraute Talflanken schwanken kann.

Jeder Baum und jeder Strauch bildet einen wirklichen Anstrahlungsschutz. Bei Mulden, die in den Dolinenkesseln eine besonders extreme Form erreichen können, ist es wichtig, ob sie allseitig geschlossen sind oder ob eine offene Stelle im Rand den Abfluß der Kaltluft ermöglicht. Ein geradliniger Talverlauf mit gleichbleibender Breite verhält sich anders als ein gewundenes Tal, in dem stellenweise Talengen vorhanden sind. In einem Tal, das am Rande eines Gebirgszuges sich hinzieht und schließlich in die Ebene ausmündet, ist die Frostgefährdung geringer als in einem Tal, das im Innern des Gebirges liegt und keine Verbindung mit der Ebene hat.

Vor allem ist es notwendig, eine Vorstellung darüber zu gewinnen, wo und in welchem Maße Kaltluft produziert werden kann, d. h. die Kaltluftentstehungsherde müssen ermittelt werden. Kahlflächen auf den flachen Rücken zwischen den Tälern, wenn sie nicht unter Kultur stehen und stark verunkrautet sind, neigen zu besonders starker Abkühlung. Boden mit schlechter Wärmeleitfähigkeit muß als örtlich frostverschärfend angesehen werden. Der Grund liegt darin, daß nachts der Wärmenachschub aus dem Boden, der bei guter Leitung der Abkühlung der obersten Schichten entgegen wirkt, fast ausfällt, ferner, daß am Tage wenig Wärme in die Tiefe geleitet wird und es dort nicht zu einer merklichen Aufspeicherung kommt, obwohl die obersten Schichten verhältnismäßig stark erwärmt werden. Der nicht in Kultur genommene Moorboden ist ein solcher schlechter Wärmeleiter und muß als besonderer Kaltluftentstehungsherd gelten.

In der Frage der Frostgefährdung gibt es in unserem Klima streng genommen keinen „Nullpunkt“. Es ist bekannt, daß es Gebiete gibt, und zwar selbst im Tiefland, in denen am Erdboden kein Monat absolut frostfrei ist, es sind dies die Sommernachtfröste. Das Vorkommen des Reifs bestätigt sie. Deshalb ist der Bewertungsgrad „keine Frostgefährdung“ nicht zweckmäßig. Es erscheint angebrachter, an seiner Stelle von einer dem Makroklima zukommenden „normalen Frostgefährdung“ zu sprechen.

In der geländeklimatologischen Literatur ist viel über die Festlegung der Höhe der Frostgrenze geschrieben worden. Man darf auch diese Bezeichnung nicht allgemein nehmen, sondern es handelt sich nur um jene

Höhe, bis zu der im Frühjahr oder Herbst der an den Kaltluftsee in der Talsohle gebundene Frost am Hang hinaufreicht. Festgestellt wird er in der Regel durch die Schäden in Weinbergen, an Obst- und Blumenkulturen oder an sonstigen empfindlichen Pflanzen.

In dieser Feststellung drückt sich die Höhe des Kaltluftsees aus. Sie kann 60 m über Talsohle, aber auch mehr betragen.

In den Weinbaugebieten südlich von Bad Kissingen ist versucht worden, durch Befragen von Bauern diese obere Schädengrenze festzulegen. Dabei zeigten sich die genügend bekannten Tatsachen. Dort, wo durch irgend ein Hindernis der Fluß der Kaltluft in einem Tal gehemmt wird, muß es zu einer Aufstauung kommen, und die Höhe des Kaltluftsees steigt an. So ist der Ort Wirmsthal (Blatt 5826 der Topographischen Karte) ein solches Hindernis. Nordöstlich des Ortes wird zwar noch Weinbau getrieben, diese Lage muß aber als Frostmulde angesprochen werden. Die obere Grenze des Frostes soll nach Aussage von Ortskundigen bei 325 m liegen, was einer Höhe von 60 m über Talsohle entspricht. Unterhalb des Ortes sinkt die Obergrenze der Kaltluft stufenartig ab, was auch F. Schnelle (80) bei seinen Untersuchungen im Odenwald gut belegen konnte.

Der Ausgang des Wirmsthaler Tales ist nicht ganz frei. Die westlich und östlich sich hinziehenden Höhen schieben einen schwachen Ausläufer nach dem Talgrund vor. Wenn er auch auf den Karten im Verlauf der Höhenlinien nur sehr schwach zu erkennen ist, so wirkt er doch schon als Riegel gegenüber dem Kaltluftfluß. Wäre er nicht vorhanden, dann würde am Talaustritt die Kaltluft weniger hoch reichen. Als ihre mittlere obere Grenze wird für die Weinberge westlich Wirmsthal 360 m angenommen. Dies entspricht 60 m über Grund. In den Weinbergen von Ramsthal, das 1 km südlich liegt, gilt die gleiche mittlere Frosthöhe.

Die Festlegung der oberen Frostgrenzen ist in den engen Tälern eher möglich als in den breiteren und flachen Tälern. Dies hat sicher seinen Grund darin, daß es in den Talweiten überhaupt keine so deutlich erkennbaren Höhengrenzen gibt. Die Schwankungen der Höhengrenzlage sind größer, und dort, wo kein Anbau frostpfindlicher Pflanzen betrieben wird, findet die obere Grenze keine besondere Beachtung.

Die Kartierung der Frostgrenze nach der früher gegebenen Definition hat demnach nur in den engen gut ausgeprägten Tälern einen Sinn und auch nur dort, wo frostpfindliche Kulturen vorhanden sind. Die Kenntlichmachung ausgesprochener „Frostlöcher“ im Gelände ist, soweit es der Kartenmaßstab erlaubt, daneben durchzuführen. Hochwertige Kulturen sind meist nur auf den Sommerleiten, den Südhängen zu finden. Auf den sonnenscheinärmeren Winterleiten beansprucht die obere Frostgrenze kein so starkes Interesse. Der Obstbau, der stellenweise betrieben wird, ist zur Zeit der Spätfröste in der Entwicklung gegenüber der Sommerleite noch wesentlich zurück und daher nicht so frostgefährdet.

Eine besonders eingehend durchgeführte Untersuchung über die Frostnacht vom 10. zum 11. Mai 1953, die mit Ausnahme der günstigen Lagen einen Totalausfall der Weinernte des Jahres 1953 im Vorland des Pfälzer Rebgürtels zur Folge hatte, verdanken wir F. Tichy (82). Die Arbeit enthält sehr schöne Karten der Schadensgebiete, getrennt nach verschiedenen Stärken, und versucht, diese aus der Kaltluftentstehung, dem Kaltluftfluß und dem Kaltluftstau zu erklären.

Wichtig für die Klimabewertung des Geländes ist die begründete Feststellung, daß die Anbaugrenze der Rebe keine für die Landschaft charakteristische Grenze

markiert. Die Scheidelinie zwischen Klimagunst und -ungunst soll mehr oder weniger weit im Innern des Reblandes liegen. Dies dürfte besonders für den pfälzischen Weinbau zutreffen, der sich immer mehr in die Ebene hineingezogen hat. Wenn man die Qualität nicht so sehr in den Vordergrund rückt, dann ist es möglich, wie dies früher auch geschah, an Ost- und sogar Nordhängen die Rebe zu pflanzen. Die Schwierigkeiten, die sich der Verwendung der Rebe als Klimakriterium entgegen stellen, hat R. Weise (83) eingehender erläutert. In den Erträgen wirken sich die lokalklimatischen Lagen sehr stark aus.

In den Schluchttälern der Fränkischen Schweiz muß nach den allerdings nicht ganz abgeschlossenen Feststellungen eine Festlegung der Frostgrenzen und überhaupt der Frostgefährdung nach anderen Grundsätzen vorgenommen werden, wenn sie überhaupt notwendig ist. Infolge der größeren Höhenlage ist der Eintritt der phänologischen Phasen verzögert und damit die Schädengefahr geringer. Die Talböden tragen übrigens meistens Wiesen, und am Fuß der steilen Hänge, die einem großen Wärmespeicher gleichkommen, gewähren diese selbst einen sehr beachtenswerten Schutz gegen Ausstrahlung. Das Fehlen des Obstbaus an gewissen Stellen der Hochflächen ist übrigens nicht der erhöhten Frostgefahr, sondern dem starken Wind zuzuschreiben, der einen ausreichenden Insektenflug nicht aufkommen läßt und der notwendigen Bestäubung entgegenwirkt. Wie so vieles in der Geländeklimatologie bedarf der Wärmehaushalt der Schluchttäler in Verbindung mit dem Wärmehaushalt der zwischen ihnen liegenden Hochflächen noch einer besonderen Untersuchung.

Die vorhergehenden Ausführungen haben deutlich gezeigt, daß sowohl den Hochflächen als auch den Talsohlen eine besondere Bedeutung in der Lokalklimatologie zukommt. Die Hochflächen sind Kaltluftentstehungsherde, die Talsohlen Kaltluftsammler. Zwischen beiden liegt der obere Teil des Hanges, der relativ warm ist und deshalb direkt als „warme Hangzone“ bezeichnet wird. Diese Wärmebegünstigung zeigt sich darin, daß in dieser Zone die phänologischen Daten merkbar verfrüht sind. In klimatologischen Karten der Ostalpen (nur im Manuskript vorliegend) ließ sich in der Temperaturverteilung diese Zone sogar kartographisch festlegen. Die Mittelwerte, die von den meteorologischen Hangstationen gewonnen wurden, gaben die gesicherte Grundlage ab, ein deutlicher Beweis dafür, daß es sich um eine echte klimatologische Erscheinung handelt.

Auf dem Blatt 5726 der Topographischen Karte 1:25 000 (Bad Kissingen Nord) wurde der Versuch gemacht, die warme Hangzone festzulegen. Dabei wurde jeweils vom Talboden ausgegangen und die vorhin erwähnte obere Frostgrenze berücksichtigt. Die untere Grenze der warmen Hangzone scheint im Untersuchungsgebiet mit 60 m über dem Talboden lediglich begründet zu sein. Die obere Grenze ist aber schwerer festzulegen, denn sie hängt von der Steilheit des Hanges und vor allem davon ab, ob weiter oberhalb geschlossener Wald oder frostfördernde Kahlflächen vorhanden sind.

Wenn die obere Grenze der warmen Hangzone versuchsweise mit 90 m über Talboden festgelegt wurde, so wird dies sicher nur eine sehr beschränkte Bedeutung haben. Verständlich ist es, wenn die obere Grenze überhaupt nicht festzulegen wäre.

Die warme Hangzone, im Englischen „thermal belt“ genannt, ist in der Literatur häufig behandelt worden; sie ist jedenfalls eine Erscheinung, die sich nicht nur witterungsmäßig in wenigen Fällen auswirkt, sondern sich in den klimatologischen Mittelwerten deutlich aus-

drückt und daher als besondere Klimazone zu bewerten ist. In der Klimabewertung der einzelnen Hanglagen muß sie unbedingt berücksichtigt werden. Allerdings bedarf es noch eingehender Studien im Gelände, um genauen Aufschluß über ihren Verlauf zu bekommen. Wir wissen z. B. noch nicht, wie sich die wechselnde Steilheit der Hänge und die Bewachsung auswirken. Wir brauchen noch nähere Kenntnis über das Verhalten von Talterrassen, die sich in jener Höhenlage hinziehen, in der man die warme Zone vermuten sollte. Sicher ist sie kein durchgehendes Band, das sich in gewisser Höhe oberhalb des Talbodens hinzieht, sondern dies wird an bestimmten Stellen unterbrochen sein. Die dabei mitspielenden Gründe sollten näher ermittelt werden. Die praktische Bedeutung, die der warmen Hangzone für die Siedlung und den landwirtschaftlichen Anbau unbestritten zukommt, rechtfertigt die Bemühungen um dieses Problem.

Nachdem diese Gedanken bereits 1957 niedergeschrieben wurden, hat H. G. Koch (84) über das Ergebnis seiner sich über 10 Jahre erstreckenden Hangprofilmessungen berichtet. Sie wurden an Steilhängen bei Bad Sulza und Jena ausgeführt und zeigten in klaren und vollkommen windstillen Nächten an den oberen Hangpartien eine warme Schicht. Sie wird ebenfalls als warme Hangzone bezeichnet, dabei aber zugegeben, daß dieser sehr eng gefaßte Begriff mehr theoretisches als praktisches Interesse besitzt. Als mikrometeorologisches Geschehen beansprucht diese Schicht sicher Beachtung, ist aber nicht jener warmen Hangzone gleichzustellen, die bei der Klimakartierung nach Möglichkeit zu erfassen ist. Ähnliche Profile, wie sie H. G. Koch, allerdings nur in ausgewählten Nächten an besonders steilen Hängen ausführte, sollten auch unter anderen topographischen Gegebenheiten und auch bei wechselnden Wetterbedingungen ausgemessen werden. Wenn, wie schon gesagt, die warme Hangzone selbst in Mittelwerten nachweisbar ist, muß sie im Ablauf der Wettererscheinungen gar nicht so selten sein. Neben den vielfach bekannten siedlungsgeographischen und phänologischen Nachweisen müßte in einem geeigneten Gelände durch ein längere Zeit arbeitendes Sondernetz eine Witterungsanalyse der warmen Hangzone vorgenommen werden, wobei ihr Verhalten unter dem Einfluß der Topographie besonders zu studieren wäre.

Mit der klimatisch wichtigen warmen Hangzone ist nur ein regional meist sehr begrenzter Teil des Hangklimas umgrenzt. Wie schon hervorgehoben, hat sich die Forschung seit Jahrzehnten mit den Klimaten der verschiedenen Hanglagen befaßt. Um möglichst klar zu überschauende Ergebnisse zu erhalten, wurden Sondernetze errichtet, deren Meßstellen alle Expositionen einer möglichst gut definierten einheitlichen Bergform abtasteten. Die durch R. Geiger bereits 1926 vorgenommenen Sondierungen am Hohenkarpfen sind zu einem klassischen Beispiel der Lokal- und Mikroklimatologie geworden und haben weitere ähnliche Arbeiten ausgelöst. Der Wind, der an den sanfteren und steileren Bergflanken nach Richtung und Geschwindigkeit sehr erhebliche Unterschiede zeigen kann, drückt neben der Temperatur dem Expositions-klima seinen besonderen Stempel auf. Auf die Ausführungen des Abschnitts 25 sei nochmals verwiesen.

Unter Verwendung der Abweichungen der einzelnen Stundenwerte der Temperatur vom jeweiligen Tagesmittel, wodurch das wechselnde Temperaturniveau ausgeschaltet wird, hat V. Schöne (85) die von der Geländeformation abhängigen Temperaturamplituden abgeleitet. Die Flächen mit gleichem Temperatortypus in dem vermessenen Gelände werden als die „Grenzen“ der Lokalklimate angesehen. Diese Art „Grenze“ ist offenbar aber zu eng gefaßt.

### 30. Die Gradtagzahlen

Die Heiztechnik ist daran sehr interessiert, Unterlagen für die Berechnung oder doch mindestens für die Abschätzung des Brennstoffverbrauches bei der Beheizung von Wohn- und Arbeitsräumen zu bekommen. Bekanntlich ist dieser Verbrauch von der Größe der Temperaturunterschiede zwischen Innenraumluft und Außenluft sowie von der Dauer dieser Temperaturdifferenzen abhängig. In dem Begriff „Gradtagzahl“ hat man diese beiden Werte zusammengefaßt. Obgleich dies sicher keine glückliche Wortbildung ist, weil sie den Inhalt des Begriffs im Wort nicht erkennen läßt, soll sie trotzdem hier beibehalten werden, da die Bezeichnung in der Heiztechnik bereits allgemein eingeführt ist.

Für die Berechnung der Gradtagzahl müssen folgende Größen bekannt sein:

1) die mittleren Temperaturen im Freien und im Innenraum. Dabei wird als mittlere Raumtemperatur 19° C angenommen.

2) Die Zahl der Tage mit einer Mitteltemperatur unter 12° C, denn dies ist der Schwellenwert der Außentemperatur, bei dem in unserem Klima ein Heizungsbedürfnis vorliegt. Die Zahl der Tage unter 12° C ergibt somit die Zahl der Heiztage eines Winters, wobei es sich empfiehlt, eine Trennung der ununterbrochenen Heizperiode von der mit Unterbrechungen im Frühjahr und Herbst vorzunehmen.

Nach W. Caspar (86) wird die Gradtagzahl  $G_t$  nach folgender Formel mit hinreichender Genauigkeit berechnet:

$$G_t = Z (t_i - t_a).$$

Hier bedeutet: Z = Zahl der Heiztage,  $t_i$  = Innentemperatur,  $t_a$  = Außentemperatur.

Meistens werden die Gradtagzahlen monatsweise berechnet und die Monatswerte für die Heizperiode summiert. Die Gültigkeit der vorstehenden Formel ist nicht ganz unbestritten. Es darf nämlich nicht übersehen werden, daß, wie die Erfahrung zeigt, der Heizbedarf nicht nur von der Differenz zwischen Außen- und Innentemperatur abhängig ist, sondern auch von Windstärke, Sonnenstrahlung und Feuchtigkeit beeinflusst wird.

Gerade wenn wir lokalklimatisch, also in feineren Unterschieden denken, wäre es sehr erwünscht, wenn auch diese Wetterelemente mit in Rechnung gestellt werden könnten. Da aber das erforderliche Beobachtungsmaterial nicht zur Verfügung steht, kann dieser Wunsch nicht erfüllt werden.

Bisher sind im allgemeinen nur die Gradtagzahlen für die Orte berechnet, von denen Wetteraufzeichnungen vorhanden waren. Da es aber bekanntlich üblich ist, meteorologische Daten auch für Landschaftsräume zu interpolieren, die von meteorologischen Beobachtungsstationen nicht erfaßt werden, ist es kein so großer Schritt, aus diesen geschätzten Werten auch die Gradtagzahlen zu berechnen. Einfacher ist ein Verfahren, das von der Höhenabhängigkeit der Gradtagzahlen ausgeht.

Nach W. Caspar sind für die Periode 1881 — 1940 im Raum der südlichen Rhön einige Gradtagzahlen errechnet worden (Tab. 4).

Tab. 4  
Gradtagzahlen (südliche Rhön)

Ort	Seehöhe	Gradtagzahl	Heiztage
Veitshöchheim	178 m	3340	226
Schweinfurt	211 m	3230	220
Bad Kissingen	209 m	3480	232
Wasserkuppe	925 m	4960	315

Diese kleine Tabelle soll eine Vorstellung davon übermitteln, in welcher Größenordnung sich die Gradtagzahlen in unserem Untersuchungsgebiet bewegen.

Eine streng lineare Höhenabhängigkeit ist nicht vorhanden. Dies ist auch nicht überraschend, denn für die Temperatur der dem Gelände unmittelbar auflagernden Luftschicht gilt eine solche lineare Beziehung auch nicht. Durch Ab- und Zuschläge besteht aber die Möglichkeit, eine theoretisch angenommene mittlere Höhenabhängigkeit so zu korrigieren, daß die orographischen Einflüsse berücksichtigt werden. Wenn dadurch auch noch nicht die Wirklichkeit erreicht wird, so kommt man ihr aber näher. E. Kaps, der diese Überlegungen durchführte, brachte für Tallagen Zuschläge in der Größenordnung von 70—80 je nach der Enge des Tales an, in flachen, leidlich gut durchgelüfteten Tälern sogar Zuschläge von 40 Einheiten. Die Gradtagzahlen für Orte in der warmen Hangzone wurden durch Abschläge zwischen 60 und 100 verbessert, d. h. die Gradtagzahl wurde um diesen Betrag verringert.

Das Ganze war aber eigentlich nur ein „Übungsspiel“, das für das Blatt Sandberg der Topographischen Karte 1:25 000 durchgeführt wurde. Eine praktische Notwendigkeit für die Berechnung der Gradtagzahlen, die wie oben gesagt der Abschätzung des Brennstoffbedarfs dient, besteht für diese Gegend mit bäuerlichen Betrieben übrigens nicht. Es wird daher auch darauf verzichtet, die geschätzten Werte hier mitzuteilen.

Einfacher wäre es, die Zahl der Heitzage festzustellen, denn sie entspricht der Zahl der Tage, deren Mitteltemperatur 12° nicht erreicht. Zur Ermittlung des Brennstoffverbrauchs reicht die Heitzagezahl jedoch nicht aus, da in ihr die Intensität der Kälte nicht berücksichtigt wird.

### 31. Luftfeuchtigkeit und örtliche Nebelbildung

Der Feuchtigkeitsgehalt der bodennahen Luft wird durch die in Form der Verdunstung vor sich gehende Wasserabgabe des nackten und des mit Pflanzen bedeckten Erdbodens bestimmt. Im Gegensatz zur Erwärmung der Luft, bei der in der Nacht eine Rückkehrbewegung von der Luft zur Erde vorhanden ist, wird der Wasserdampf nur von unten nach oben geschafft. Seine Rückkehr zum Boden erfolgt nur als Niederschlag in fester oder flüssiger Form. Wenn wir von den großen unperiodischen Änderungen der Luft absehen, die an Luftmassenwechsel geknüpft und advektiv bedingt sind, so ist demnach der Wassergehalt des Bodens für die Luftfeuchtigkeit ausschlaggebend. Dort, wo vom Boden her ständig Wasserdampf nachgeführt wird, ist in den bodennächsten Schichten der Feuchtigkeitsgehalt hoch und nimmt mit zunehmender Entfernung vom Boden ab. Dies ist der „Naßtyp“ der vertikalen Feuchtigkeitsverteilung. Hört aber wegen zu geringer Bodenfeuchtigkeit der Nachschub vom Boden her auf oder wird durch den Vertikalaustausch der Wasserdampf rasch in die höheren Luftschichten geführt, was an besonderen Strahlungstagen und über nacktem Boden der Fall ist, dann stellt sich der sogenannte „Trockentyp“ der vertikalen Feuchtigkeitsverteilung ein. Dabei ist es am Boden trocken und darüber feuchter.

In der Lokalklimatologie treten diese Gegensätze unter dem Einfluß der Exposition, der verschiedenen geologischen Beschaffenheit des Untergrundes und der wechselnden Bewachung verhältnismäßig dicht nebeneinander auf. Über den so wichtigen Faktor „Bodenfeuchtigkeit“ wird später noch einiges ausgeführt werden. Unsere Kenntnisse vom Wärmehaushalt der bodennahen Luftschicht sind von R. Geiger (22) übersichtlich dargestellt worden.

Eine allgemeine Kartierung der Luftfeuchtigkeit wird in der Lokalklimatologie nicht für notwendig gehalten, im Gegensatz zur Makroklimatologie, wo sie ausschlaggebend für die Entwicklung des organischen Lebens ist. Nur jene Stellen, wo eine hohe Bodenfeuchtigkeit (z. B. nasse Talsohlen) eine häufige Kondensation des Wasserdampfes in den unteren Luftschichten bedingt, sollten gekennzeichnet werden, denn die Klimagunst wird hier merkbar verringert. Diese Ortslagen sind für die Besiedlung und für die Anlage bestimmter Objekte, z. B. Flugplätze, Erholungsheime, nicht geeignet.

Es gibt eine statische und eine dynamische Ursache für die Kondensation des Wasserdampfes über dem Boden. Die schon erörterte Abkühlung der untersten Luftschichten kann so weit gehen, daß es zur Kondensation des Wasserdampfes kommt. So entstehen die sogenannten „Strahlungsnebel“. Über feuchten Wiesen können sie mit feinsten Nebelfäden (Bodennebel) beginnen und allmählich an Höhe zunehmen. Der umgekehrte Fall, bei dem der Nebel in einer gewissen Höhe beginnt und sich dann bodenwärts ausbreitet, kann sich bei Vorhandensein einer Inversion mit einer dunstreichen Oberfläche, die stärker abkühlt, einstellen. An einer derartigen Grenzfläche kommt es zu sogenannten Mischungsnebel, wenn ein deutlicher Windsprung die Turbulenz an der Inversion begünstigt. Häufig erreicht diese Nebelart den Boden nicht, daher die Bezeichnung „Hochnebel“.

Im Bergland liegt eine gewisse Höhenzone dann in diesem Nebelbereich. Ihr kommt lokalklimatische Bedeutung zu, da die Inversionszone, die der „Erreger“ der Nebelbildung ist, an eine bestimmte Höhe gebunden sein kann. In noch größeren Höhen ist der Bereich der Bergnebel. Sie sind dynamisch bedingt und sind die Folge des erzwungenen Aufsteigens der feuchten Luft an der Flanken der Berge, wobei sich Abkühlung und schließlich Kondensation einstellt.

Ausgesprochen lokal sind die Fluß- und Seenebel. Sie bilden sich, wenn die Luft kälter ist als die Wasseroberfläche, wobei die von dieser aufsteigenden warmfeuchten Luft zur Nebelbildung gebracht wird.

Ganz ähnlich ist der Vorgang, wenn aus einem Nebental ein Kaltlufttropfen in ein noch wärmeres Haupttal eindringt. Plötzlich einfallender Nebel an der Nebentalmündung ist die Folge. Täler mit besonders geringem Luftaustausch neigen leicht zu örtlicher Nebelbildung, was ihnen die Bezeichnung „Nebental“ einbringt.

Bei der Arbeit im Gelände sind diese örtlichen Nebelvorkommen nur durch Befragen der Bevölkerung festzustellen, wobei allerdings starke Kritik den Antworten gegenüber angebracht ist. Am sichersten ist es immer, wenn diese Auskünfte noch durch eigene Beobachtungen unterstützt werden.

Der Nebelbereich der Bergkuppen und der Gebirgszüge ist leichter zu erkennen. Dem aufmerksamen Beobachter deutet er sich durch verstärkten Moos- und Flechtenbewuchs an der Busch- und Baumvegetation an.

### 32. Bewölkung und Niederschlag

Im Rahmen einer Geländeklimaaufnahme muß auch die Frage geprüft werden, ob Bewölkung und Niederschlag einem orographischen Effekt so stark unterliegen, daß örtlich bedingte Unterschiede in ihrer Verteilung vorhanden sind.

Die Frage nach dem orographischen Effekt auf die Wolkenbildung ist unbedingt zu bejahen. Leider müssen wir offen zugeben, daß unsere Kenntnis so roh und

unsicher ist, daß uns nichts weiter übrig bleibt, als sich vorläufig noch mit der üblichen Makroverteilung zu begnügen und auf die feinere Differenzierung nach orographischen Gesichtspunkten zu verzichten. Trotzdem soll hier angedeutet werden, was uns bekannt ist und was uns berechtigt, von einem orographischen Effekt zu sprechen.

In den amtlichen Beobachtungsnetzen werden die Wolken nach Menge, Art, Höhenlage und Zugrichtung nur an den synoptischen Meldestellen und an den Stationen höherer Ordnung notiert. Dieses weitmaschige Netz genügt nur für einen ganz groben Überblick. Er zeigt die allgemeine Zunahme der Wolkenmenge über den Gebirgsstöcken und auch über geringeren Erhebungen, die aus dem Flachland herausragen. Deutlich treten auch die Gegensätze zwischen Luv- und Leeseite mit stärkerer bzw. geringerer Bewölkung hervor. Die daneben zu vermutenden Lokaleffekte sind den üblichen Bewölkungskarten nicht zu entnehmen. Und doch sind Wolkenbildungen und Wolkenauflösungen häufig beschrieben worden, die mit lokalbedingten auf- oder absteigenden Bewegungen zusammenhängen. Diese können thermisch oder dynamisch ausgelöst werden. Daß Thermik und Cumulusbildung an lokale Besonderheiten gebunden sind, ist jedem Segelflieger bekannt. Dynamisch bedingte Staueffekte kennen wir an Geländestufen, wie z. B. Talränder, an den Grenzstreifen zwischen Wald- und Freiland, an den Küsten und an anderen Orten. Wolkenlücken im Gebirge (Föhnlöcher) sind bekannt und als Zeichen einer absteigenden Bewegung deutlich ortsgebunden.

Wie weit diese Lokaleffekte sich klimatologisch auswirken, kann noch nicht beurteilt werden. Bisher handelt es sich stets nur um gelegentliche Beobachtungen. Systematische Aufzeichnungen, die eine bestimmte Aussage über die Häufigkeit ihres Vorkommens erlauben würden, liegen nicht vor. Den sogenannten Hinderniswolken, wie sie z. B. gelegentlich in reihenförmiger Anordnung über dem Osthang der Rhön beobachtet werden und die sicher an sogenannte Luftwalzen auf der Leeseite des Gebirges gebunden sind, ist wohl keine klimatologische Bedeutung beizumessen.

Für die Darstellung des Niederschlages ist ein bedeutenderes Beobachtungsnetz vorhanden. Wie weit es mit den neuesten Methoden möglich ist, eine schon ziemlich detaillierte Niederschlagskarte zu zeichnen, dafür gibt die von H. Schirmer (87) im Maßstab 1:200 000 bearbeitete Karte für die Deutsche Bundesrepublik ein schönes Beispiel. Die mittleren Jahressummen stützen sich auf den Beobachtungszeitraum 1891—1930. Ausschnitte aus dieser Karte, die sich auf die südliche Rhön und auf die Fränkische Schweiz beziehen, sind auf den Tafeln 37 und 38 gegeben.

Auf dem Rhön-Blatt spiegelt die Niederschlagsverteilung gut das Relief wieder. Die Hochrhön empfängt im Jahresdurchschnitt mehr als 1100 mm Niederschlag, eine Menge, die sicher gegenüber der Wirklichkeit zu gering ist, wenn man an die bekannten Schwierigkeiten denkt, die einer exakten Niederschlagsmessung in windstarken Gebieten gegenüberstehen. Am Osthang der Rhön ist die Leewirkung gut ausgeprägt. Die Jahressumme fällt in der Gegend von Bad Neustadt bis unter 550 mm ab. Die Täler des Westhanges, besonders jene, die von Norden nach Süden verlaufen und nach Westen zu durch einen Höhenzug gegen die feuchten Westwinde abgeschirmt werden, treten ebenfalls deutlich hervor, weil auch hier in kleinen Ausmaßen eine Leewirkung zum Ausdruck kommt.

Während also in der Südrhön starke Niederschlagsdifferenzen vorhanden sind, sieht das Blatt mit dem Ausschnitt der Fränkischen Schweiz wesentlich anders aus. Nur der Rand des Franken-Juras, der sich von

Norden nach Süden hinzieht, und östlich von Erlangen nach Osten umschwenkt, empfängt stärkere Niederschläge. Sie gehen in der Jahressumme im nördlichen Teil wenig über 850 mm, im südlichen Teil über 950 mm hinaus und sind sicher ein makroorographischer Effekt. Unser Bearbeitungsgebiet östlich Ebermannstadt im Tal der Wiesent und ihrer Nebentäler fällt nach dieser Verteilungskarte in einen Bereich mit ganz gleichmäßiger Niederschlagspende. Sicher ist dies im großen gesehen zunächst eine Leewirkung. Die große Geländestufe, die sich von Lichtenfels am Main bis östlich Erlangen erstreckt, ist die Luvseite. Wenn auch ostwärts davon die Hochflächen etwa die gleiche Höhenlage haben, so tritt die Abnahme der Niederschlagsmenge doch deutlich in Erscheinung, wobei nach der vorliegenden Karte die Regenspende über weite Strecken gleichmäßig bleibt. Jedenfalls ist eine Wirkung der Schluchttäler mit ihren Steilhängen auf Grund des zur Zeit vorliegenden Beobachtungsmaterials nicht zu erkennen. Ob dies der Wirklichkeit entspricht, muß noch dahingestellt bleiben. Erst eine Lokaluntersuchung mit einwandfrei durchgeführten Niederschlagsmessungen könnte die Entscheidung bringen.

Überhaupt dringt neuerdings immer mehr die Ansicht durch, daß die Niederschlagsverteilung, wie wir sie mit den staatlichen Meßnetzen erfassen, nicht den Tatsachen gerecht wird. Vor allem ist von praktischen Landwirten immer wieder darauf hingewiesen worden, daß die Überregnung der Fluren nicht so gleichmäßig erfolgt, wie es nach den üblichen Klimakarten den Anschein hat. Vielmehr darf auch außerhalb der gebirgigen Gegenden von Regennestern und Trockengebieten gesprochen werden. Sie können ihre Ursachen beispielsweise in Bodenwellen, in der ungleichen Verteilung von Freiland und Wald, in Seen, in Wasserläufen oder in Sumpfgebieten haben. Die Vermutung, daß durch die genannten Faktoren örtlich geleitete Konvergenzlinien zur Ausbildung kommen und dadurch die örtliche Niederschlagsauslösung verstärkt wird, ist durchaus nicht von der Hand zu weisen.

H. Seilkopf (88) hat auf einen Geländeeinfluß aufmerksam gemacht, der sich in einer Häufung der Regenschauer im Luv von Hügelgebieten (z. B. der Lüneburger Heide), an Gebirgsrändern, Inseln und Küsten sowie über wasserreichen Niederungen äußert. Dieser Befund spricht sehr dafür, daß auch im Flachland sehr wohl eine stärkere Gliederung der Niederschlagsverteilung nachgewiesen werden kann.

Mit der Frage der örtlichen Unterschiede in den Niederschlagssummen hat sich auch H. Schirmer (89) in seiner Untersuchung der räumlichen Struktur der Niederschlagsverteilung in Mittelfranken beschäftigt. Sie geht von der häufig vorkommenden streifenartigen Anordnung der Niederschläge aus, die nicht durch absolute Werte, sondern durch Einzeichnung von „Kammlinien“ im Raume festgelegt wurden. Bei der Zusammenfassung des Gesamtmaterials des Zeitraums 1947 bis 1949 zeigte sich stellenweise eine starke Bündelung dieser Kammlinien, so daß die Herausarbeitung von Maximum- und Minimumzonen möglich war. Eine deutliche Bindung der Niederschlagsstreifen an die Orographie ließ sich nicht nachweisen. Ihre Richtung scheint zwar durch die Strömung im Wolkenniveau gesteuert zu werden, aber daneben spielen nach Schirmers Ansicht die aus thermischen Gegensätzen des Bodens resultierenden Konvergenzen bei der Auflösung und beim weiteren Verlauf des Niederschlagsstreifens eine große Rolle. Die Orographie würde, falls diese Ansicht richtig ist, doch über die thermischen Verhältnisse die Lage der Maximumzonen beeinflussen. Die dynamischen Faktoren allein könnten dagegen die Niederschlagsverteilung als Funktion der Orographie nicht erklären. Aus einer Untersuchung von W. Ge-

genwart (90) ist übrigens ein topographischer Einfluß bei Stark- und Dauerregen zu entnehmen.

Das Studium des orographischen Effektes bedient sich am zweckmäßigsten der Tagessummen des Niederschlages, wenn nicht noch kürzere Zeitabschnitte zur Verfügung stehen. Monatssummen verwischen bereits zu viel, da innerhalb des Monats die Einzelniederschläge unter sehr verschiedenen Verhältnissen fallen. Wir müssen überhaupt immer mehr von dem Denken in Mittelwerts- oder Summenkarten abkommen, sondern den Mittelwert auflösen, dann erst werden wir ihn richtig verstehen.

Es ist wohl möglich, daß die Verteilung des Niederschlags auf der Luvseite eines Gebirges nicht so einfach ist, wie wir es jetzt noch annehmen. Sicher ist, daß die Talwände unter den verschiedensten Winkeln von den feuchten Luftmassen angeblasen werden. Die Intensität der Kondensation dürfte daher örtlich sehr verschieden sein und dementsprechend auch wechselnde Niederschlagsspenden ergeben. Wir wissen wenig darüber, wenn auch schon einige Untersuchungen in dieser Richtung angestellt wurden. Sie beziehen sich aber auf räumlich viel zu kleine Versuchsfelder, so daß ihre Ergebnisse nicht ohne weiteres zu verallgemeinern sind. Nur groß angelegte Unternehmungen können diese Forschungen des orographischen Regeneffektes, der von beachtlicher praktischer Bedeutung ist, weiterbringen.

Diese noch zu lösende Aufgabe ist nicht leicht. Ihre Bearbeitung bedarf sehr sorgfältiger Vorbereitungen und Überlegungen. Bei der bisherigen Meßmethode der Niederschläge haben neuere Forschungen Mängel festgestellt, die unbedingt zu vermeiden sind, wenn man die wirkliche, auf einem gegebenen Geländeteil niederfallende Wasserspende erfassen will. Die Wahl der Stellen, wo die Meßgeräte einzusetzen sind, setzt eine genaue Kenntnis der zu erwartenden Umformung der Luftströmung durch die Orographie voraus, denn störende Turbulenzeffekte können von vornherein jede einwandfreie Messung unmöglich machen. Allerdings kommt es nicht nur darauf an, die Stellen mit Meßgeräten zu besetzen, bei denen es sicher ist, daß sie vom Niederschlag reichlich benetzt werden, sondern es dürfen auch jene Plätze nicht ausgelassen werden, die infolge bestimmter Störeffekte überblasen werden. Dieser kurze Hinweis kann hier genügen.

J. Grunow (91) hat die mit der einwandfreien Niederschlagserfassung verbundenen instrumentellen und methodischen Probleme eingehend unter Berücksichtigung eigener und fremder Forschungsergebnisse behandelt, worauf verwiesen werden darf.

Im Rahmen dieser Ausführungen über Niederschlag und orographischer Effekt verdienen schließlich Phänomene Hagel, Gewitter und Sturzregen mindestens eine kurze Erwähnung.

Bei einer Landesklimateaufnahme muß auch zu der Frage Stellung genommen werden, ob eine Gegend in besonderem Maße durch Hagel und Gewitter gefährdet ist. Die Landbevölkerung ist davon überzeugt, daß es solche Landstriche gibt. Wenn die Klimatologie dies bei ihren zahlreichen Teiluntersuchungen noch nicht hat einwandfrei nachweisen können, dann liegt es nur an der Lückenhaftigkeit der Beobachtungsstationen und daran, daß das Beobachtungsschema nicht ausreicht, um ein Gewitter und einen Hagelschlag in allen Phasen genau zu verfolgen. Dies sollte aber dazu anregen, bei den Arbeiten im Gelände durch Befragen der Einwohner diese Lücke auszufüllen. Die vorhandene Literatur, über die in jedem Handbuch der Meteorologie und Klimatologie berichtet wird, gibt auch schon einige Hinweise auf einen orographischen Effekt. Sie sind je-

doch noch so allgemein gehalten, daß sie lokalklimatisch nicht zu verwerten sind.

Die Niederschlagsexzesse, die im Sommer in Form von „Starkregen“ häufig in Verbindung mit Gewittern immer wieder vorkommen und durch die ungeheuren Wassermassen, die bei ihnen niedergehen, zu gewaltigen Verheerungen Anlaß geben, sind nicht an eine besondere Örtlichkeit im Gelände gebunden, sondern treten bald hier, bald dort auf. In vielen Einzeluntersuchungen wurde ihrer Ursache nachgegangen. Es gelang auch häufig Konvergenzen, die stationär wurden, damit in Verbindung zu bringen. Ihre Entstehung erklärt sich aus Vorgängen der Großströmung, wobei eine lokale Verstärkung des Kondensationsvorgangs durch eine dafür geeignete Topographie und andere Gründe sehr wohl möglich ist.

### 33. Die Wirkung der Niederschläge auf den Boden (Wassererosion)

Im Anschluß an die Erörterung der Niederschläge soll neben der schon im Abschnitt 27 behandelten Bodenbewegung durch den Wind auch die Bodenabtragung durch Wasser kurz erwähnt werden. Die mit ihr verbundenen Gefahren für die Fruchtbarkeit der Kulturböden war übrigens schon erkannt worden, als die Wirkung der äolischen Erosion noch kaum beachtet wurde.

Die Wassererosion wirkt überall, wo Niederschlagswasser auf geneigte Böden fällt. Dabei tritt sie in vollstem Ausmaß dort auf, wo die Vegetation fehlt und Lockermaterial die Bodenoberfläche bildet. Es handelt sich also um ein Phänomen von weiter flächenhafter Wirkung, das zum Gebiet der Bodenkunde gehört. Diese vermag unter Berücksichtigung der ortsgebundenen Klima-, Relief- und Bodenverhältnisse die Abtragungsgefahr ziemlich gut abzuschätzen. Bei einer Landesklimateaufnahme ist es zweckmäßig, gelegentlich der Arbeit im Gelände auch das auffallende Auftreten der Wassererosion mit zu kartieren. Die vom Bodenkundler dabei angewandte Methoden werden später erwähnt.

In Deutschland sind die Bodenabtragungen vorwiegend an die heftigen sommerlichen Gewitter mit den sehr ergiebigen Platzregen, die der Boden nicht so schnell aufnehmen kann, und an die Zeit der Schneeschmelze im Frühjahr gebunden, bei der in kurzer Zeit große Wassermassen über zum Teil noch gefrorenen Boden abfließen müssen. Aber da fast bei jedem Regen und geneigtem Gelände ein bestimmter Teil des Regenwassers abfließt, wird die Bodenerosion in schwächerem Maße auch außerhalb der genannten Jahreszeiten wirksam. Aus der zahlreichen Literatur sei hier nur auf einen Aufsatz von H. Kuron (92), der Vorschläge zur Bekämpfung der Bodenerosion gibt, verwiesen.

Da mit der üblichen Bezeichnung Flächen-, Rinnen- und Gräbenerosion keine vergleichbare Arbeit zu leisten war, hat L. Hempel (93) sich um eine definierte Kartierungsmethode bemüht. Er kam zu folgenden 3 Intensitätsstufen der Bodenabspülung:

Stufe 1) Die natürliche Einebnung der Schollen beim gepflügten Acker oder die Erhebungen zwischen den Drillspuren erfolgt der allgemeinen Neigung entsprechend größtenteils hangabwärts. Die Abspülung endet am unteren Ende des Ackers. Diese Form tritt sehr häufig auf. Trotz geringer Abtragungintensität kann die Bodenverschlechterung erheblich sein.

Stufe 2) Es treten Furchen und Rinnen auf, deren Tiefe unter 10 cm bleibt. Das Abschwemmungsprodukt wird über die Ackerfläche hinausgetragen.

Stufe 3) Die Furchen und Rinnen sind tiefer als 10 cm. Hierbei ist das Zusammenfließen von Wasser in Geländemulden Vorbedingung.

Diese Stufen beziehen sich auf die Abtragung von Akkerböden, unter denen die sandigen Lehm- und Lößlehm Böden am leichtesten angreifbar sind. Daneben gibt es aber die Fälle, wo bei exzessiven Niederschlägen ganze Schluchten von erheblicher Tiefe in den Boden gerissen werden. Schließlich ist auch das Abrutschen von Erdplatten an steilen Rainen zu erwähnen, das sich nach langen Regenperioden und der damit verbundenen kräftigen Durchweichung des Bodens einstellen kann, zumal wenn oberhalb des Rains aus irgend einem Grunde ein Bodenriß das Eindringen des Wassers erleichtert. Diese stärksten Schäden sind aber nicht ortsgewunden, sondern hängen mit dem Auftreten von Starkregen auf verhältnismäßig kleinem Raum zusammen. Auch die geologische Beschaffenheit des Untergrundes kann Abrutschen von Erdplatten in großem Umfang bedingen. Mit Lokalklima hat dies nichts zu tun.

Zum Zwecke der Bekämpfung der Bodenerosion hat das Institut für Raumforschung in Bonn B. Große (94) mit einer Kartierung der Schäden beauftragt. Folgende sechs Erosionsstufen wurden unterschieden:

- 1) Kein nennenswerter Bodenabtrag, weniger als  $\frac{1}{10}$  des Oberbodens abgetragen.
- 2) Durchschnittlicher Abtrag des Oberbodens an den Hängen bis zu  $\frac{1}{3}$  im Vergleich zum ungestörten Profil.
- 3) An den oberen Hängen des Oberbodens bis zu  $\frac{2}{3}$  im Vergleich zum ungestörten Profil abgetragen.
- 4) Über  $\frac{2}{3}$  des Oberbodens im Vergleich zum ungestörten Profil abgetragen.
- 5) Rohboden an den Hängen anstehend und erodiert.
- 6) Oberboden und Rohboden weitgehendst abgetragen, Gesteinschutt bereits an der Oberfläche.

(Die Erläuterungen sind unter Weglassung der Abschwemmungsprodukte gekürzt wiedergegeben.)

R. Flegel (71) benutzte folgende 8 Stufen der Wassererosion:

- 1-3: leichte, mittlere und starke Flächenabspülung ohne deutliche Grabenbildung.
- 4-5: Rinnen in großen (mehr als 20 m) oder kleinen (unter 20 m) Abständen.
- 6-7: vereinzelte Gräben mit Oberkantenbreite bis etwa 1 m oder darüber.
- 8: schwere Grabenerosion (verbreitet Gräben).

Es ist erfreulich, daß diese Arbeiten von seiten der Bodenkunde bereits so systematisch in Angriff genommen wurden. Den Klimatologen wird es interessieren, wie weit Beziehungen zu klimatischen Tatsachen nachweisbar sind. Dies setzt eine Bearbeitung der Wettertatsachen, die zu den einzelnen Schäden führten, voraus. Es konnte nicht festgestellt werden, wie weit in dieser Richtung gearbeitet wurde.

### 34. Das Bodenklima, besonders Verdunstung und Bodenfeuchtigkeit

Die Liste der Veröffentlichungen von Angehörigen des Deutschen Wetterdienstes, die das Bodenklima, den Wärme- und den Wasserhaushalt des Bodens behandelt (14, S. 194—197), umfaßt für den Zeitraum vom 1. Januar 1946 bis 30. Juni 1955 mehr als 50 Aufsätze. Dies ist ein Zeichen dafür, daß ein Gebiet, das früher recht stiefmütterlich behandelt wurde, in der neueren Zeit das ihm wegen seiner grundlegenden Bedeutung zukommende Interesse gefunden hat. Auch von landwirtschaftlicher, botanischer und forstwirtschaftlicher Seite ist an diesem Problem gearbeitet worden, und die Meteorologen anderer Länder haben ebenfalls sehr be-

achtenswerte Untersuchungen geliefert (22). Für die Bodentemperatur hat in neuester Zeit K. Heigel (95) auf Grund einer dreijährigen Meßreihe auf nord- und südexponierten Meßfeldern an den Flanken des Höhenpeißbergs den Einfluß von Exposition und Bewachung gut aufgezeigt.

Es würde zu weit führen, wenn hier die instrumentelle und methodische Seite der Erforschung des Bodenklimas erörtert würde. S. Uhlig (96) hat einige kurze Ausführungen dazu gegeben. Im übrigen gehen die ersten Bestimmungen sehr weit zurück. Notwendig erscheint aber ein Hinweis auf die Überlegungen, die R. Pfau (97) zur statistischen Bearbeitung von Bodenfeuchtwerten angestellt hat. Die angewandte Analyse-methode erlaubt es nämlich, die Feldkapazität, die Pseudofeldkapazität, den maximalen ausschöpfbaren Bodenfeuchtegehalt und den Verdunstungsraum einer Bodenfeuchtemeßparzelle zu beurteilen. Beachtenswert sind auch die Vorschläge von H. Rettig (98) zur Verwertung der Bodenfeuchtemessungen.

Für das Problem der Landesklimaaufnahme wären nun Angaben darüber von größter Wichtigkeit gewesen, wie sich die verschiedenen Expositionen und vor allem die Windstärke auf das Bodenklima auswirken, deshalb wurde in der Literatur eifrig nach derartigen Forschungsergebnissen gesucht. Das, was in mühevoller Kleinarbeit zusammengetragen wurde, war sehr spärlich und reicht nicht aus, sich exaktere Vorstellungen zu machen, die über das rein gefühlsmäßig zu erwartende Bild hinaus gehen.

E. A. Mitscherlich zitiert in seiner Bodenkunde des Jahres 1950 nur die Beobachtungen von E. Wollny (1886/87). Auch in dem bekannten Handbuch der Bodenlehre von E. Blanck macht M. Helbig (99) in den Betrachtungen über die Verdunstung des Wassers aus dem Boden nur ganz wenige Angaben über die Wirkung der Luftbewegung. Aus ihnen ergibt sich, daß mit zunehmender Windgeschwindigkeit und erhöhter Lufttemperatur die Verdunstung wesentlich ansteigt. Das gleiche gilt auch für einen stärkeren Einfallswinkel und für zunehmende Trockenheit der bewegten Luft gegenüber jener Lufthaut, die unmittelbar der Verdunstungsfläche aufliegt.

Die in der neueren Landwirtschaftswissenschaft verbreiteten Vorstellungen vom Wasserhaushalt des Bodens und seiner Bedeutung als Träger des pflanzlichen Lebens sind in dem bekannten „Lehrbuch des Ackerbaues“ von Th. Roemer und F. Scheffer (100) sowie von H. Baumann (101) klar und übersichtlich dargestellt worden. Für die Durchführung von regionalen Bodenfeuchtemessungen und der Feststellung des Wettereinflusses sind diese Werke sehr beachtenswert.

Sehr große Beachtung haben die Messungen der Bodenfeuchte und der Transpiration beim Pflanzenwuchs gefunden, die C. W. Thornthwaite und seine Mitarbeiter (102, 103) in Seabrook (New Jersey, USA) seit Jahren durchführen. Es sind aber Meßergebnisse, die auf einem Versuchsfeld gewonnen wurden. Geländeklimatologisch lassen sie sich noch nicht auswerten. Auch die Betrachtungen, die W. Haude (104) zur praktischen Bestimmung dieser Verdunstungsgrößen einer nicht lebenden Oberfläche (Evaporation) und eines bewachsenen Bodens, d. h. einer lebenden Oberfläche (Evapotranspiration) anstellte, sind aus dem Versuchsfeldstadium noch nicht heraus.

Der Praktiker weiß, daß es abgesehen von der verschiedenen Wasserhaltigkeit der Böden Ackerlagen gibt, die besonders stark der Austrocknung unterliegen. Der Schluß liegt nahe, daß es sich dabei um stärkere Bodenwasserverdunstung unter dem Einfluß erhöhter Bodenbestrahlung und als deren Folge stärkerer Bodenerwärmung handelt. Dies braucht aber nicht der ein-

zige Grund zu sein. Gelegentlich der Betrachtung des Geländeeinflusses auf den Wind wurde bereits seine Verstärkung durch gewisse Geländeformen erwähnt (Zusammendrängung der Luftbahnen, Düsenwirkung). Dies ist ein Problem der Geländeklimatologie. Es wird sicher häufiger wirksam als im allgemeinen angenommen wird. Stellen stärkerer Austrocknung, die dem Laien unerklärlich erscheinen, finden in dieser Windwirkung ihre Erklärung. Bei Begehungen im Gelände konnte diese Ansicht bereits mit Erfolg angewandt werden. Es wäre aber sehr erwünscht, daß die Agrarmeteorologie sich dieser Frage annimmt, damit die vorstehend vertretene Meinung durch einwandfreies Zahlenmaterial gestützt wird. Die verdunstungsfördernde Wirkung des Windes macht sich natürlich nicht bemerkbar, wenn die Bodenoberfläche bereits trocken ist und ein Wassernachschub von unten her nicht mehr erfolgt. Auch beziehen sich diese Überlegungen zunächst nur auf freien und mit Feldkulturen (Getreide, Gemüse, Hackfrüchte) bestandenen Boden. Auf Boden mit Baumbestand sind sie nicht anzuwenden, da hier der Boden nicht so stark der Wirkung der Sonnenstrahlung und des Windes unterliegt.

Wie bereits angedeutet, ist der Geländeklimatologe in der Lage, sich „gutachtlich“ zu der Frage der erhöhten Austrocknungsmöglichkeit eines Geländeteiles zu äußern. Zu berücksichtigen ist dabei die mittlere Hauptwindrichtung. Die austrocknenden Winde liegen meistens über der mittleren Windstärke und zeichnen sich durch erhöhte Turbulenz aus. Für das untersuchte Gebiet liegt die mittlere Windrichtung im Jahresdurchschnitt dort, wo sie keine orographisch bedingte Ablenkung erfährt, zwischen W und SW. Jeder Landwirt weiß aber, daß daneben im Frühjahr austrocknende Winde auftreten können, die aus dem Ostquadranten kommen. Gerade diese können der jungen Saat, die noch nicht tief wurzelt, sehr verhängnisvoll werden. In dem noch später zu besprechenden „Klimagramm“, das einen kurzgefaßten Überblick über das Makroklima geben soll, sind daher Angaben über die austrocknenden Winde enthalten. Eine systematische Aufnahme der Windaustrocknungswirkung wurde noch nicht durchgeführt. Bei der Klimabewertung wurde sie aber in besonders deutlichen Fällen mit berücksichtigt.

Um die Bodenfeuchtigkeit zu erhalten, ist künstlicher Windschutz durch geeignete Anpflanzungen oder transportable winddurchlässige Schutzwände empfohlen worden. Die gewünschte Wirkung ist deutlich zu spüren. U. B r a s s e (105) hat in seiner Dissertation eigene und fremde Untersuchungen zu diesem Problem kritisch verwertet.

Wenn Luftfeuchtigkeit, Bodenwassergehalt und Verdunstungskraft zusammengefaßt mit in Rechnung gestellt werden, dann ist es nicht abwegig von feuchten und trockenen Geländeklimaten zu sprechen. Ähnlich wie dies für die großen Klimazonen gilt, bei denen auch feuchte und trockene Typen unterschieden werden, bestehen diese Gegensätze auch auf kleinem Raum. Die feuchte Luvseite und die trockenere Leeseite sind Beispiele dafür. Die Wirkung des Wassergehaltes im Boden kann sich auch in der Entwicklung des Pflanzenwachstums zeigen. Die Bodenfeuchtigkeit wirkt sich über die Erwärmung des Bodens aus, die bei hohem Wassergehalt im Frühjahr langsamer ansteigt, weil ein Teil der zugeführten Wärme für Wasserverdunstung benötigt wird. Besonders in den Überschwemmungsgebieten der Tallagen kann aus diesem Grunde die Pflanzenentwicklung deutlich zurückbleiben. Auch ganz allgemein kann ein größerer Wasservorrat im Boden auf die Eintrittszeiten der Phasen, z. B. Getreidereife, verzögernd wirken, da vom feuchten Boden aus die Wasserversorgung der Pflanzen besser und länger gewährleistet ist als vom Boden mit geringerer Feuchtig-

keit. Auch diese Tatsachen rechtfertigen es, von trockenen und feuchten Geländeklimaten zu sprechen. Die Unterschiede ergeben sich zwangsläufig, wenn die Arbeiten zur Landesklimateaufnahme in größerem Umfange fortgesetzt werden. Vorläufig konnte dieser Gedanke nur angedeutet werden.

Die Landesklimateaufnahme gibt, wenn sie richtig und vollkommen durchgeführt wird, auch gutes Material zur Klärung der häufig erörterten Frage, ob Europa eine zunehmende Austrocknung zu befürchten hat. Die an gewissen Stellen unleugbar vorhandenen Austrocknungserscheinungen wie versiegte Quellen und Brunnen, Veränderungen in Quellhorizonten, Wassermangel in den Quellbächen u. a. m. können systematisch bei den Arbeiten im Gelände kartiert und ihrem Grunde nach aufgeklärt werden. Damit würden dann die für die breiteste Masse bestimmten Schlagworte, wie „Verödung Europas, Versteppung Deutschlands, neue Trockenzeit, die Wüste droht“ auf ihren wahren Gehalt zurückgeführt werden. Fehler, die sicher in der Bewirtschaftung des Bodenwassers durch menschliche Eingriffe gemacht worden sind, werden gleichzeitig als solche erkannt und können in der Zukunft vermieden werden.

### 35. Die Phänologie als Hilfsmittel der Klimabewertung

Seitdem Phänologie systematisch betrieben wird, ist darauf hingewiesen worden, daß ihre Angaben eine wichtige Ergänzung der Klimabeobachtungen sind. Das Netz der meteorologischen Beobachtungsstationen ist, wie im Laufe dieser Untersuchung bereits mehrfach betont wurde, nicht so dicht, daß damit genügend Einzelheiten im Klimabild erkannt werden. Hier soll die Pflanze die Lücke schließen. Gewissermaßen ist sie ein Instrument, das auf die Klimaeigenschaften seines Standortes in sehr empfindlicher Weise reagiert. Dies Instrument arbeitet allerdings nicht in der Art, wie die in den Fabriken gebauten meteorologischen Geräte. Während diese in den meisten Fällen nur auf ein Wetterelement, wie Druck, Temperatur, Feuchtigkeit, Niederschlag usw. ansprechen, steht die Pflanze unter dem Einfluß des Zusammenspiels der Wetterelemente, das wir in dem Begriff „Witterung“ zusammenfassen. F. S c h n e l l e (106) hat dieses Anwendungsgebiet der Phänologie in seiner Monographie: „Pflanzenphänologie“ näher begründet und auch darauf hingewiesen, daß sie eine wertvolle Hilfe der Geländeklimatologie sein wird.

Es ist sehr häufig versucht worden, zwischen der Entwicklung der Pflanze, wie sie durch die phänologischen Aufzeichnungen festgehalten wird, und den meteorologischen Daten Korrelationen zu errechnen. Aber H. B e r g (107) hat mit Recht darauf verwiesen, daß dies nur Korrelationen sind und daß mit dem Rechenergebnis nichts über die kausale Verknüpfung ausgesagt wird, was für jede Korrelation gilt. Es ist daher nicht richtig, wenn in den phänologischen Daten, wie es häufig in nicht exakter Weise geschieht, ein Summenausdruck, ein Integral, für das gesamte Witterungsgeschehen erblickt wird. Wir sind leider noch nicht in der Lage, das einzelne phänologische Datum, d. h. eine Entwicklungsphase, zu sezieren und kausal zu erklären. Es sind ja nicht nur Witterung und Klima allein daran beteiligt. Wenn H. B e r g vorgeschlagen hat, in den phänologischen Daten ein eigenes Klimaelement zu sehen, so führt dies noch nicht aus den Schwierigkeiten heraus.

Die Meinung — vorläufig ist es nur eine Hoffnung —, die Phänologie als Hilfsmittel der Klimabewertung zu verwenden, stützt sich vor allem auf die Tatsache, daß unter den Ursachen, mit denen die Unterschiede in den

phänologischen Daten erklärt werden (Temperatur, Strahlung, Bodentemperatur, Niederschlag, Wind, Verdunstung), auch die Geländeform sowie die Beschaffenheit und das Material des Bodens angeführt werden. Die Einwirkung der Geländeform auf die Pflanze wird dabei nicht direkt ausgeübt, sondern mittelbar durch die Schaffung eines besonderen örtlichen Klimas, das dann die Entwicklung der an den bodennahen Luft- raum gebundenen Pflanze bestimmt. Dies ist also ein Faktor der Geländeklimatologie, deren Arbeitsziel es ist, die Erkundung und kausale Erklärung dieser Orts- klimate vorzunehmen. Damit wird auch von der klima- tologischen Seite ein wesentlicher Beitrag zur Erklärung der phänologischen Befunde geliefert. F. S c h n e l l e gibt in seinem schon erwähnten Buche (106) viele Beispiele, wie die Exposition das Wachstum und den Reifeprozess der Pflanze beschleunigen oder verzögern kann.

J. A i c h e l e (108) hat an einem Aussaatversuch von *Sinapis alba* (weißer Senf) gezeigt, wie Geländeform mit dem von ihr geschaffenen Kleinklima das Pflanzen- wachstum beeinflusst. Dabei wurde berücksichtigt, wann die Wachstumszeit an den einzelnen klimatisch unter- schiedlichen Standorten einsetzte, wie kräftig die Pflanzenentwicklung in der Vegetationszeit war und wann das Wachstum im Herbst sein Ende fand. Ver- suchsgebiet war die zwischen Schwarzwald und Schwä- bischem Jura gelegene Hochmulde der Baar mit einem starken Wechsel topographischer Formen. Der Klein- klimatische Einfluß trat deutlich hervor. R. S i m o n i s (109) hat diesen Effekt ebenfalls nachgewiesen.

F. R o s e n k r a n z (110), dem wir ebenfalls eine Mo- nographie zur Phänologie verdanken, hat für die österreichischen Alpen sehr schön gezeigt, daß bei dem dort besonders unruhigen Relief die Exposition von ganz großer Bedeutung ist. Blütetermine von Nord- und Südlagen können Unterschiede bis zu 3 Wochen aufweisen. Dies ist eine Folge der Bestrahlungsgegen- sätze, die bei den starken Hangneigungen in den Hoch- gebirgen (30° und stellenweise auch mehr) noch größer als in den Mittelgebirgen sind.

In einem Punkte, das muß schon jetzt hervorgehoben werden, geht die Phänologie mit ihren Erscheinungen über die Möglichkeiten der Geländeklimatologie deut- lich hinaus. In Abschnitt 29 wurde bei der Kartierung der Frostgefährdung betont, daß es nicht die Angele- genheit einer Geländeklimaaufnahme sein kann, die Wirkung kleiner Unebenheiten im Gelände aufzuneh- men. Die Pflanze macht solche „Mikrotopographien“ erkennbar. Die ersten kurzstengeligen Frühlingsblüher reagieren sehr deutlich darauf. Expositionsunterschiede „en miniature“, über die das Auge leicht hinweggleitet, werden gerade durch die Kleinvegetation in sehr schö- ner Weise sichtbar gemacht.

Wie weit ist nun zur Zeit die Mithilfe der Phänologie in der Klimatologie und insonderheit bei der Gelände- klimatologie möglich? Die von dem amtlichen phäno- logischen Dienst erarbeiteten Übersichtskarten, in denen die einzelnen Wachstumsphasen, wie Aufgang, Blatt- entwicklung, Blüte, Fruchtreife u. a. m. vergleichend dargestellt werden und die die Gegenden mit früheren oder späteren Pflanzenphasen gut erkennen lassen, sind nur makroklimatisch zu bewerten. Sie sind wohl ge- eignet, besondere thermische Unterschiede weit von- einander entfernter Landschaften deutlich zu machen, und ergänzen darin gut die Makroklimakarten. Aber Geländeklimatologie in unserem Sinne ist dies bei wei- tem noch nicht. Auch hier müßte das phänologische Beobachtungsnetz noch viel mehr verdichtet werden, was nur für Gebiete kleineren Umfanges durchführbar ist, aber für große Räume, die über Länder hinweg- greifen, von vornherein ausscheidet.

Bisher wurden in der Agrarmeteorologie die einzel- nen Entwicklungsphasen zu stark variablen Terminen, so wie sie in der Natur eintreten, beobachtet. Neuer- dings geht die Tendenz dahin, synoptisch zu arbeiten, d. h. den Entwicklungszustand einer Pflanze in einem größeren Raum zu einem bestimmten Zeitpunkt zu beobachten. Dies setzt Begehen oder Befahren des Ge- ländes voraus und gehört zur eigentlichen, sehr dank- baren Aufgabe des Geländeklimatologen. Es sind schon mehrfach Versuche in dieser Richtung unternommen worden. Von den einschlägigen Arbeiten sei hier zu- nächst auf den Bericht eingegangen, den S. U h l i g (111) über die Ergebnisse einer kleinklimatologischen Geländeaufnahme erstattet hat. Diese Ausführungen sind deshalb wertvoll, weil auch die erforderliche Kri- tik zu Worte kommt.

Als Hauptproblem für die synoptische Methode wird die richtige Wahl der Testpflanzen bezeichnet. Dies ist sicher richtig. In der Praxis wird man, wie überall im Leben, Kompromisse eingehen müssen und das neh- men, was im Gelände vorkommt. Mit der Wahl der Testpflanzen beginnen aber auch schon die Schwierig- keiten, denn die Geländeklimatologie darf nicht bei der Erkundung kleinerer Gebiete stehenbleiben, sondern muß weite Landstriche erforschen und so vergleichende Studien treiben.

Wildwachsende Pflanzen werden dort sehr willkom- men sein, wo die Landschaft zwar nicht unter Kultur steht, aber lokalklimatologisch gerade besonders interes- sant sein kann. U h l i g hält es für zweckmäßig, wenn der Entwicklungsstand der Testpflanzen möglichst rasch und auf große Entfernung zu erkennen ist. Aus diesem Grunde wählte er für seine Kartierung den Stand der Winterroggenernte. Festgelegt wurde dabei der Beginn des ersten Schnittes, d. h. 25% der gleich- zeitig zu übersehenden Roggenfelder sind geschnitten und in Puppen aufgestellt, ferner folgende Ernte- stadien: 50%, 75% und 100% geschnitten. Die Gelände- fahrten wurden am 28./29. Juli 1951 und am 23./24. Juli 1952 durchgeführt.

Die sehr erheblichen Unterschiede zwischen der Auf- nahme von 1951 und der von 1952, die örtlich 2 oder sogar 3 Phasen ausmachen können, stimmen aber sehr nachdenklich. Der Grund für die geringe Übereinstim- mung lag daran, daß 1952 die Winterroggenernte in die vierte Woche einer Hitze- und Trockenperiode fiel, wo- durch die Entwicklung des Getreides sehr beschleunigt und stellenweise sogar Notreife eintrat. Die sonst üb- liche Reihenfolge im Schnitt verschiedener Getreide- arten konnte von den Landwirten nicht eingehalten werden und teilweise wurde zu früh geerntet. Der Zwang rein wirtschaftlicher Überlegungen bringt dem- nach ein Moment in den phänologischen Befund hinein, das mit dem Wettereinfluß nichts mehr zu tun hat. U h l i g verlangt daher nicht Kartenbilder für einzelne Jahre, sondern Mittelbilder und glaubt, daß Mittel- wertklassen aus 4 oder 5 Jahren bereits ausreichen.

Ob diese Erwartung richtig ist, kann noch nicht nach- geprüft werden. Aus der Arbeitsweise der Klimatologie darf eingewandt werden, daß nur solche Mittelwerte einwandfrei sind, die sich auf einwandfreie, wohl de- finierte Einzelwerte stützen können. Um diese zu er- reichen, scheinen nur solche Testpflanzen oder deren Entwicklungsphasen geeignet, die frei von Einflüssen sind, die außerhalb des Wetterablaufs und der örtlichen Standortbedingungen liegen.

Für das Rhöngebiet und die Fränkische Schweiz, die unser Arbeitsgebiet bildeten, ist eine derartige phäno- logische Aufnahme noch nicht durchgeführt worden. Daher kann auch jetzt nicht die Frage geklärt werden, wie weit die Phänologie bei der Klimabewertung der verschiedenen Geländeteile herangezogen werden kann.

In sehr aufmerksamer Weise wurde die 1951 von H. Ellenberg und O. Zeller (112) veröffentlichte Pflanzenstandortkarte studiert. Diese Karte hat sehr viel Beachtung gefunden. Nach den Worten der Verfasser war eine möglichst pflanzengemäße Kennzeichnung der natürlichen Anbau- und Produktionsbedingungen im Bereich der Landwirtschaft und des Obstbaus ihr Ziel. Ausgehend von dem sicher unbestrittenen Gedanken, daß weder einzelne Züge des Allgemein- und Lokalklimas noch einzelne Eigenschaften des Bodens über das Gedeihen der Pflanzen entscheiden, sondern die Gesamtheit aller Umweltbedingungen, d. h. der Standort, soll die vorgelegte Karte „Standorteinheiten“ darstellen. Darunter werden Räume annähernd einheitlicher natürlicher Standortbedingungen und damit gleicher natürlicher Anbaueignung und Ertragsfähigkeit verstanden. Die Pflanzenstandortkartierung berücksichtigt nur die auf Pflanzen wirksamen Faktoren, morphologische und andere Charakterzüge dagegen, die sich nicht deutlich im Pflanzenwachstum ausprägen, bleiben unberücksichtigt, auch wenn sie das Landschaftsbild beherrschen. Aber um eine Gliederung des Klimas kommt der Standortkundler nicht herum, selbst wenn dafür morphologische oder andere Gesichtspunkte im Gelände fehlen. Dies ist sicher ohne eine ganz umfassende geländeklimatologische Erfahrung nur schwer, vielleicht sogar überhaupt nicht möglich.

Nicht geographische Singularitäten, sondern ökologische Typen, die in anderen Ländern wiederkehren, sollen in der Standortkarte erfaßt werden. Eine nicht zu unterschätzende Schwierigkeit besteht aber darin, daß die Pflanzengemeinschaften nicht überall fein genug auf die Standorteigenschaften reagieren, die für Anbau und Ertragsleistung von Obst und Feldpflanzen wesentlich sind. Um diesen Mangel auszugleichen, mußte neben einer weiteren Unterteilung der Bodeneigenschaften, vor allem eine stärkere Gliederung des Makro- und Lokalklimas vorgenommen werden. Diese Feststellung der Autoren der Pflanzenstandortkarte ist ein schlagender Beweis dafür, daß das Klima und besonders das Lokalklima eine wesentliche Rolle spielt. Aus diesen Erwägungen heraus wurde die Landesklimaaufnahme propagiert.

Andererseits wird es der Geländeklimatologe aber sehr bedauern, daß Pflanzengesellschaften diese Gliederung nicht erlauben, denn er würde es sehr begrüßt haben, wenn die Pflanzenökologie ihm einen brauchbaren Hinweis für die Abgrenzung seiner lokalen Klimabezirke gegeben hätte. Ellenberg und Zeller haben nun die schon geschilderte synoptische Methode angewandt, um zu einer phänologischen Geländeaufnahme zu kommen. Als Testobjekte wurden im Kreis Leonberg der Stand der Schlehen- und Kirschen-, Apfel- und Birnenblüte sowie der Stand der Gersten-, Roggen-, Weizen- und Haferernte benutzt. Die Geländeaufnahmen wurden in den Jahren 1950 und 1951 durchgeführt. Von den Originalaufnahmen (Maßstab 1 : 25 000) sind 2 stark verkleinerte Kärtchen der Schlehen- und Kirschblüte am 24. April 1951 und des Standes der Haferernte am 4. August 1951 wiedergegeben. Nach beigefügtem Vermerk soll es sich um eine vereinfachte Umzeichnung des Originals handeln. Was aus diesem Kärtchen herauszulesen ist, sind nur die Größeneinflüsse der Topographie, in den Originalaufnahmen sind sicher die eigentlichen Lokaleinflüsse zu erkennen. Interessant wäre es gewesen, neben der Aufnahme des Jahres 1951 auch die von 1950 zu sehen. Wie schon bei der Betrachtung der Uhlig'schen Aufnahme hervorgehoben wurde, ist die Entwicklung in den einzelnen Jahren sehr verschieden. Sicher sind wildwachsende Pflanzen einwandfreiere Tests als gezüchtete Kulturpflanzen, bei denen die nur unvollkommen auszuschaltenden Sortenunterschiede stark eingehen können. Aber

wir wissen auch von den Wildpflanzen, daß ihre Phasen sehr stark vom vorhergegangenen Winter abhängig sind und daß lokale Unterschiede verwischt und sogar umgekehrt werden können, wenn die zunächst verzögerte Entwicklung explosionsartig vorangetrieben wird. Für Getreideernten gilt auch hier das, was über die große „Unbekannte“ — das wirtschaftliche Moment — gesagt wurde. Zweijährige Erfahrungen scheinen noch nicht ausreichend zu sein.

Die Verfasser sagen: „Die Grenzen auf diesen phänologischen Aufnahmen gelten allerdings nur für den betreffenden Stichtag und die betreffende Pflanze. Wiederholt man solche Kartierungen jedoch öfters, so erkennt man eine mehr oder minder deutliche Häufung von Stufengrenzen in bestimmten Geländestreifen und gelangt auf diese Weise zur Abgrenzung von phänologischen Klimazonen“. Ein Ausschnitt einer solchen für den ganzen südwestdeutschen Raum bearbeiteten Karte ist auf dem Rand der Standortkarte verkleinert abgedruckt worden. Dies ist eine ausgesprochen makroklimatische Karte. Sie unterscheidet auf Grund der Temperatur 6 Zonen: I sehr warm, II warm, III gemäßigt, IV kühl, V sehr kühl, VI kalt. Durch angehängte Indizes werden in jeder Zone die 3 Stufen: Ozeanisch, Übergang, Kontinental unterschieden. Von Jahreswerten werden nur Jahresmittel für die 3 Zonen, die im Kreise Leonberg vorkommen, angegeben. Nach Anbau-Tatsachen sind ihnen folgende Bezeichnungen beigelegt:

II Wein-Obst-Klima

III Obst-Klima

IV Wintergetreide-Obstklima

Nachdem die Klimazonen auf diese Weise abgegrenzt wurden, gehen die Verfasser dazu über, die durch das Gelände geformten Lokalklimate zu behandeln. Dabei wird ausdrücklich hervorgehoben, daß die lokalen Abwandlungen des Allgemeinklimas häufig den Einfluß des Bodens überdecken, was vor allem für den Obstbau wichtig ist. Es ist aber nicht ersichtlich, ob es den Verfassern darum geht, alle lokalklimatischen Abwandlungen fest zu halten oder nur um jene Fälle, in denen das Lokalklima offensichtlich stark vom Makroklima abweicht.

Zur Charakterisierung der Hanglagen wurde die Neigung und die Lage zur Sonne herangezogen. Dabei ergaben sich folgende Unterscheidungen:

Ebene Lagen

Eben bis schwach geneigt (weniger als etwa 7°)

Mäßiger Sonnhang

Etwa 7 — 15° von SE über S bis W geneigt

Mäßiger Schatthang

Etwa 7 — 15° von NW über N bis E geneigt

Steiler Sonnhang

Über 15° von SE über S bis W geneigt

Steiler Schatthang

Über 15° von NW über N bis E geneigt

Außerdem wurde die Kaltluftgefährdung berücksichtigt. Die Gefährdung durch südwestliche und westliche Winde während der Vegetationszeit wurde nach der Geschwindigkeit des Laubfalles beurteilt. Bei der Erörterung der „windoffenen Gebiete“ (Abschnitt 24) wurde diese Methode bereits erörtert.

Um eine Standorteinheit abgekürzt bezeichnen zu können, wurden Zahlen und Buchstaben als Symbole gewählt. Die Gesamtbezeichnung enthält die phänologische Klimazone, die geologische Bodeneinheit und deren Abwandlung und schließlich die lokalklimatische Abwandlung.

Abschließend ist die Frage aufzuwerfen, wie weit die klimatischen Gliederungen als eine Landesklimaaufnahme in dem hier beabsichtigten Sinne angesprochen werden können. Sicher sind in dem Maßstab 1 : 50 000

bereits viele Einzelheiten zur Darstellung gekommen und das Arbeitsergebnis von Ellenberg und Zeller verdient alle Hochachtung und ist als wesentlicher Fortschritt zu bewerten, aber die nur rohe Definition der Exposition läßt sich durch Feststellung des Besonnungsgrades leicht verbessern. Was den Kartenmaßstab anbetrifft, so wurde bei Geländearbeiten für unsere Untersuchung gefunden, daß sogar 1:25 000 stellenweise nicht ausreicht.

G. Bänd (113) ist ebenfalls dem Problem nachgegangen, in welcher Weise man die phänologischen Daten als Ausdruck kleinclimatischer Wirkungen deuten kann, kommt aber zu einem negativen Ergebnis. Es wird an Beispielen gezeigt, daß die Pflanzenentwicklung nicht ausschließlich vom Klima bestimmt wird, sondern daß auch andere Faktoren wie Standort, Ausbildung von Ökotypen, Bastardisierungen, Modifizierungen und andere die Klimawirkungen überdecken können. Infolge biologischer Zwangsläufigkeiten sind die phänologischen Werte nur bedingt als Summenmaß klimatischer Wirkungen anzusehen.

So muß leider das Fazit gezogen werden, daß es in diesem Augenblick noch keine sich auf der Phänologie aufbauende Methode gibt, die als grundlegende Hilfe bei der Geländeklimaaufnahme anzusehen wäre. Es ist aber sehr wohl denkbar, daß die Zukunft uns diese einander befruchtende Zusammenarbeit bringen wird.

Auf die Tatsache der natürlichen Vegetationsentwicklung innerhalb eines einheitlichen Klimagebietes, wobei notwendigerweise auch die lokalen Abwandlungen wirksam werden und ein klimatisch bedingtes Endstadium der Vegetation (Klimaxvegetation) herbeigeführt wird, soll der Vollständigkeit wegen nur hingewiesen werden. Eingehende programmatische Ausführungen hat J. Schmithüsen (114) zu diesem Problem gemacht.

### 36. Die Lokalklimatologie bewaldeter Gebiete

Es war leider nicht möglich, mit den vorhandenen Mitteln den Waldgebieten die gleiche Aufmerksamkeit zu schenken wie dem waldfreien Gelände.

Unter der Führung von R. Geiger hat sich in Deutschland das Gebiet der eigentlichen Forstmeteorologie entwickelt. Dabei wurde klar herausgestellt, daß die Baumkronenoberfläche als die „äußere tätige Oberfläche“ mit zu erfassen ist, von der aus dann die Verhältnisse im Stammraum und am Waldboden gesteuert werden, soweit nicht die Luftbewegung unmittelbar in den Stammraum eindringen kann. Die Hauptergebnisse der Forstmeteorologie, darunter auch die lokalklimatischen Erkenntnisse, sind in Geigers „Klima der bodennahen Luftschicht“ (22) übersichtlich behandelt.

Sozusagen eine „spezielle“ Forstklimatologie hat E. Ehwald (115) geliefert, indem er das Klimamaterial des Thüringer Gebirges mit den Tatsachen der forstlichen Standorte in Beziehung setzte. Dabei zeigte sich, was zu erwarten war, daß sich das Thüringische Mittelgebirge aus klimatisch z. T. stark voneinander abweichenden Teilen zusammensetzt. Um ferner die in Thüringen gewonnenen Ergebnisse richtig einschätzen zu können, werden sie mit anderen Gebieten ähnlicher Höhenlagen aus dem Harz, dem Sauerland, Schwarzwald, aus Oberschwaben als dem Alpenvorland, dem Sächsischen Erzgebirge und dem Nordabfall des Riesengebirges verglichen. Die Arbeit bewegt sich zwar noch in der makroklimatischen Methodik, erarbeitet aber doch die durch das „Großrelief“ bedingten klimatischen Unterschiede gut heraus.

Über die im Tharandter Wald in den Jahren 1955 bis 1957 durchgeführten klimatischen Untersuchungen hat

H. Junghans (116) berichtet. Die Arbeit zeichnet sich durch kritische Bewertung der Methodik und der Meßergebnisse aus.

Daneben ist dem Verfasser bekannt, daß A. Morgen sich besonders des Waldes angenommen und weite Waldstrecken mit seinem Besonnungsmesser vermessen hat. Was das Waldklima an günstigen Eigenschaften, vor allem dem Menschen zu bieten hat, so daß mit Recht von einer Wohlfahrtswirkung des Waldes gesprochen wird, haben W. Amelung und C. A. Pfeiffer (117) klar hervorgehoben. E. Hornsman (118) hat diese Wohlfahrtswirkungen weiten Kreisen näher gebracht.

Eine kurze Darstellung, wie sich die Geländegestaltung auf das Wachstum der Waldbestände auswirken kann, hat W. Rothkegel in seiner forstlichen Schätzungslehre gegeben (119).

Der Verfasser war eifrig bemüht gewesen, exakte Unterlagen von seiten der Forstwissenschaft zur Beurteilung der Frage zu erhalten, wieweit sich das Reliefklima im Holzzuwachs der Bäume bemerkbar macht. Deutliche Unterschiede zwischen Nord- und Südexposition erschienen von vornherein möglich. Natürlich war zu bedenken, daß diese Wirkung ein komplexer Vorgang ist, dessen Komponenten nur schwer, ja z. Z. wohl überhaupt nicht zu trennen sind. Es braucht nur darauf hingewiesen zu werden, daß das Bodenklima durch die Exposition, vor allem nach Wärme- und Wassergehalt, sehr stark verändert wird. Aber es wäre schon viel gewonnen, wenn Zahlenangaben für die Gesamtwirkung vorgelegen hätten.

Diese Bemühungen waren zunächst vollkommen erfolglos, bis ein glücklicher Zufall ein Gespräch mit Herrn Dr. H. G. Koch, dem Leiter des Meteorologischen Instituts der Universität Jena, ermöglichte. Mit großem Interesse griff dieser die Anregung des Verf. auf, bei den Forstleuten der Thüringer Wälder dieser Frage nachzugehen. Der Erfolg blieb nicht aus. Es gelang drei bisher wenig beachtete Assessorarbeiten im handschriftlichen Archiv der Zweigstelle Jena des forstwissenschaftlichen Instituts Eberswalde ausfindig zu machen. In ihnen war Beobachtungsmaterial zur Beurteilung der Zuwachsleistung von Waldbäumen unter dem Einfluß des Klimas verarbeitet worden. H. G. Koch (120) hat dieses Material vom Standpunkt des Meteorologen aus nochmals überprüft und versucht, Geländeklimaeinflüsse in einwandfreier Weise nachzuweisen.

Der Durchmesserzuwachs wurde durch Ausmessen der Jahresringe an Stammscheiben bestimmt, die meist fünf repräsentativen Bäumen (Fichten und Kiefer) in Brusthöhe entnommen waren. Nur bei einigen Kiefern wurden Bohrspäne mit Hilfe des Zuwachsbohrers gewonnen und ausgezählt. Die Bestände lagen vorwiegend im Thüringer Gebirge, teilweise aber auch im benachbarten Hügel- und Flachland.

Wenn auch, wie schon gesagt, das ganze Forschungsproblem ausgesprochen komplexer Natur ist, so glaubt H. G. Koch auf Grund der von ihm angewandten statistischen Methodik doch einen „überragenden geländeklimatischen Einfluß“ nachgewiesen zu haben. Sein Untersuchungsergebnis faßt er in folgenden Worten zusammen: „Die witterungsbedingte Variabilität des Durchmesserzuwachses läßt einmal mit dem Alter der Bäume, zum anderen mit der Höhenzunahme der Niederschläge bis zu einem Minimum bei 650 m Höhe stark nach. Dürrejahre sind dort kaum noch ertragsmindernd. Die Strahlungsunterschiede im Gelände bewirken in höheren Lagen bessere Wuchsleistungen auf den Südhängen, in unteren auf den Nordhängen. Die Differenzen sind signifikant und für alle Objekte eindeutig belegbar. Die standortklimatischen Effekte sind in der

Höhe am stärksten ausgeprägt. An vielen Merkmalen ist eine biologisch wirksame Klimagrenze bei 600 bis 650 m über NN deutlich zu erkennen.“

Jedenfalls drückt sich in diesem Untersuchungsergebnis die Tatsache aus, daß die expositionsbedingten Strahlungsunterschiede an den Wuchsleistungen von Fichte und Kiefer nachzuweisen sind. Die Buche soll für diesen Nachweis noch geeigneter sein. Da die Stammscheibenauswertung verhältnismäßig leicht durchzuführen ist, wäre die Ausdehnung der Zuwachsbestimmungen auf weitere Gebirge mit anderen makroklimatischen Bedingungen sicher sehr interessant. Mit Recht betont H. G. Koch, daß es durch diese Methode möglich ist, aus dem Komplex des forstlichen Standorts den geländeklimatologischen Effekt herauszulösen und zahlenmäßig zu belegen.

Der Waldbestand des Hochgebirges unterliegt besonders an der Zone der Waldgrenze wesentlich anderen Gesetzen als in den tieferen Lagen. Um die Lawinengefahr von dem menschlichen Besiedlungsraum auf den Talböden und Talhängen fernzuhalten, ist es notwendig geworden, Aufforstungen in Höhenlagen vorzunehmen, in denen die Jungpflanze vor allem in ihrem Jugendstadium besonders harten klimatischen Bedingungen ausgesetzt ist. Nur die Ausnutzung günstiger kleinklimatischer Lagen kann daher bei Neuanpflanzungen zum Erfolg führen. H. Aulitzky (121) hat nach eingehenden Messungen im Gelände über die Probleme berichtet, die dabei zu beachten sind. Über das Licht und Strahlungsklima auf einer Waldlichtung in 1940 m Höhe im innersten Ötztal hat H. Turner (122) sehr beachtenswerte Meßergebnisse gewonnen.

### 37. Die Beeinflussung des Lokalklimas (Klimaverbesserung, Windschutz)

Hier soll nur mit kurzen Ausführungen darauf hingewiesen werden, daß das örtliche Klima kleinerer Räume durchaus nicht etwas Unabwendbares ist, falls es ungünstige, nicht erwünschte Klimazüge aufweist. Es ist früher schon hervorgehoben worden, daß der Mensch leider nur gar zu häufig ausgeglichene Mikro- und auch Lokalklimate durch seinen Eingriff zerstört hat. Eine gut durchgeführte Landesklimateaufnahme läßt diese Fehler erkennen und ermöglicht in vielen Fällen auch Überlegungen, wie die entstandenen Schäden wieder abgestellt werden können. Die Möglichkeit zur Verbesserung des Klimas eines kleinen Raumes ist durchaus gegeben. Es gehört zu den reizvollsten Aufgaben des Geländeklimatologen, entsprechende Vorschläge zu machen.

Die Frostgefahr, um nur einiges zu erwähnen, läßt sich durch vorbeugende Frostschutzmaßnahmen verringern. Diese Vorkehrungen bestehen darin, die stärkere Ausstrahlung zu verhindern, indem für teilweise Bepflanzung des gefährdeten Gebietes oder für Anreicherung der Luft mit Feuchtigkeit durch Anlage von Wasserbecken gesorgt wird. Und falls es sich um Kaltluftzufluß handelt, ist es möglich, diesen durch Schutzpflanzungen abzuriegeln oder umzuleiten. Auch dem Moorboden kann durch geeignete Bearbeitung und Zusatz von Mineralboden viel von der bekannten Neigung zu Frösten genommen werden.

Windstarke Klimate mit den bekannten direkten Schäden, die zur Zerstörung der Pflanzen führen können, und den indirekten Schäden, die in der Bodenaustrocknung und der Hinwegführung der für die Pflanze so wichtigen feuchten und kohlenstoffhaltigen Luft bestehen, lassen sich durch die Anwendung der verschiedensten Arten von Windschutzanlagen merkbar verbessern. Eine fühlbare Ertragssteigerung lohnt die aufgewandten Kosten. Dies sind nur einige Beispiele für die

Möglichkeit der Verbesserung des Lokalklimas, die in der Agrarmeteorologie eine große Rolle spielt. Aber damit ist ihre Anwendung nicht erschöpft. Bei der Anlage von Siedlungen, der Schaffung einwandfreier Parks in Kurorten, der günstigsten Platzierung von Sanatorien und Erholungsstätten im Gelände sowie in der Landesplanung überhaupt ergeben sich überall Möglichkeiten, durch Einsatz meist nur geringer Mittel ein günstigeres Klima zu schaffen oder wenigstens den einen oder anderen Nachteil abzuschwächen.

Das Buch von F. Sch nelle (123) behandelt auch die Klimaverbesserung vom landwirtschaftlichen Standpunkt aus näher. Was zur speziellen Frage des Windschutzes zu sagen ist, findet sich in der Monographie von W. Kreutz (124). Daß die an verschiedenen Windschutzobjekten gewonnenen Meßergebnisse über den Wirkungsgrad dieser Objekte sehr kritisch beurteilt werden müssen, falls Vergleiche angestellt werden, haben E. Franken und E. Kaps (125) am Beispiel einer im Emsland 1955 durchgeführten Windschutzuntersuchung demonstriert.

W. Hesse (126) hat ebenfalls einen wichtigen Beitrag zur richtigen Beurteilung der schützenden Wirkung von Waldstreifen und feldschützenden Hecken geliefert. A. F. Bauer (127) zieht zur Problematik des Windschutzes aus seinen Erfahrungen den Schluß, daß es in der Praxis keine rezeptmäßigen und allgemeingültigen Anwendungsregeln gibt, weil es überall anders ist.

Dies ist streng zu beachten, wenn an den Klimatologen die Forderung herantritt, bei der Abstellung von ungünstigen Klimaeigenschaften mitzuwirken. Nur eine sehr genaue Bestandsaufnahme der gegebenen Klimatafatsachen und ein sorgfältiges Durchdenken der Folgeerscheinungen nach Durchführung der Verbesserungsmaßnahmen kann vor Fehlentscheidungen bewahren.

### 38. Die Überschwemmungsgebiete

Schon bei den ersten Überlegungen zur Methodik einer Landesklimateaufnahme war beabsichtigt, bei der Klimabewertung in den Tälern auch jene Streifen längs der Flußläufe zu kennzeichnen, die bei Hochwasser überschwemmt werden. Sicher hat die Kenntnis dieser Zonen, die für den Hackfrucht- und Getreideanbau sowie für die dauernde Besiedlung nicht in Frage kommen, eine praktische Bedeutung. Nach Informationen, die von wasserwirtschaftlicher Seite kamen, mußte angenommen werden, daß die entsprechenden Angaben bei den wasserwirtschaftlichen Behörden vorhanden wären. Aus diesem Grunde wurde auch davon abgesehen, durch Befragen der Uferbewohner die Hochwassergrenze gelegentlich der übrigen Geländeaufnahmen selbst festzulegen. Nachdem aber mit dem Wasserwirtschaftsamt in Schweinfurt die Verbindung aufgenommen worden war, zeigte sich leider sehr bald, daß von dort nicht das zu erhalten war, was eigentlich wünschenswert gewesen wäre. Das genannte Amt konnte nur Auskunft über die Grenzen der höchsten Überschwemmung vom 5. Februar 1909 geben. Sie wurden in die Blätter Bad Kissingen Nord (5726), Bad Kissingen Süd (5826) und Hammelburg (5825) der Topographischen Karte 1:25 000 eingetragen. Sie gelten nur für das Tal der Saale, denn das Wasserwirtschaftsamt kann nach Auskunft der Schweinfurter Stelle nur Angaben über „staatseigene“ Flüsse machen. Wegen der Nebenflüsse der Saale, wie z. B. Aschach, Premich und Brend, die meistens „Privatflüsse“ sind, wurde auf das Landesamt für Gewässerkunde in München verwiesen. Dieses erklärte aber, daß Karten und Lagepläne, in die die Überschwemmungsgebiete der Nebenflüsse der Fränkischen Saale eingetragen sind, bei ihm nicht vorliegen.

Die für einen einzigen seit 1910 beobachteten Pegel an der Brend mitgeteilte Angabe des Höchststandes vom 4. November 1940 konnte kein genügendes Bild von dem durch Hochwasser gefährdeten Gebiet machen.

Es war zunächst beabsichtigt, einen Teil des Hochwassergebietes vom 5. Februar 1909 diesen Ausführungen beizulegen, um zu zeigen, welche Uferzonen damals unter Wasser standen. Da aber die Frage aufgeworfen werden muß, ob es überhaupt für praktische Überlegungen sinnvoll ist, ein ganz extremes Hochwasser zu berücksichtigen, mit dessen Wiederkehr sicher doch nur in ganz großen Zeitabständen zu rechnen ist, wurde von dieser Beilage abgesehen. Tatsächlich ist eine Hochwasserkatastrophe wie die vom Februar 1909 seither noch nicht wieder eingetreten.

Da schließlich jede Planung in der Nähe eines Flusses mit einem gewissen Risiko rechnen muß, wird es zweckmäßiger sein, nicht mit einem ganz extremen Hochwasser zu rechnen, sondern mit Hochwasserständen, die mit einer gewissen Regelmäßigkeit erreicht werden. Solche Angaben waren aber für das zu untersuchende Gebiet nicht zu erlangen. Die Angaben auf Tafel 39 beruhen auf eigenen Beobachtungen.

Das, was über die erfolglose Beschaffung des einschlägigen Hochwassermaterials gesagt wurde, gilt natürlich nur für das Gebiet der Fränkischen Saale. Vielleicht sind für andere Flußgebiete genauere Angaben verfügbar.

Neben der Hochwasserführung der Flüsse sind auch jene tiefer gelegenen Gebiete im Gelände zu erwähnen, die im Frühjahr nach der Schneeschmelze regelmäßig unter Wasser stehen. Ihr Umfang kann so groß sein, daß man von Seen sprechen darf. In ihnen sind die Schmelzwässer der höheren Umgebung zusammengefloßen, besonders wenn der Boden noch gefroren war und eine Versickerung nicht gestattet. Es kann aber auch möglich sein, daß der Grundwasserspiegel aus einem Grunde, der u. U. in größerer Entfernung wirksam gewesen sein mag, angehoben wurde, so daß das Wasser aus dem Boden heraustreten muß. Solche Überschwemmungsgebiete werden von den Wasserbehörden nicht erfaßt, verdienen es aber doch, kartiert zu werden, da sie für Besiedlung und landwirtschaftlichen Anbau nicht ohne weiteres geeignet sind. Bei den Arbeiten im Gelände sind sie leicht durch die Anlieger zu erfragen.

### 39. Schneedecke und Schneeverwehungen

In den Anweisungen, die den Beobachtern der amtlichen meteorologischen Netze als Richtlinien für ihre Tätigkeit übergeben werden, wird nicht nur Höhe und Wassergehalt der Schneedecke am Beobachtungsort selbst gefordert, sondern es soll auch der Zustand der Schneedecke notiert werden, der in der weiteren Umgebung überwiegt. Daneben sollen noch zusätzliche Bemerkungen über Vereisung und starke Verwehungen des Schnees, über die Schneedecke an Nord- und Südhängen, in Wäldern, auf Straßen usw. eingetragen werden. Wenn diese Anweisungen durchgeführt würden und durchgeführt werden könnten, dann käme ein schönes Material für lokalklimatische Betrachtungen zusammen. Aber dies ist nicht möglich, denn die Beobachter sind meist durch ihre Tätigkeit ortsgebunden, und außerdem genügt die Dichte des Beobachtungsnetzes bei weitem nicht, um die Beschaffenheit der Schneedecke und den Zustand der Verkehrswege richtig und vollständig zu erfassen.

Bei der starken Empfindlichkeit unseres modernen Schnellverkehrs auf den Landstraßen sind das Verkehrsgewerbe und auch alle anderen Verkehrsteilneh-

mer an einer schnellen Berichterstattung über den jeweiligen Straßenzustand stark interessiert. Unter Einschaltung der Tätigkeit der bekannten Straßenmeistereien wurde daher ein gut arbeitender Straßenzustandsdienst organisiert, der seine Feststellungen durch Rundfunk verbreitet. Die besondere Schaffung dieser Organisation beweist die Notwendigkeit, alles zu tun, um die Flüssigkeit des Verkehrs auf den öffentlichen Straßen auch bei schwierigen Wetterverhältnissen im Winter zu sichern.

Bei der Beurteilung des Klimas einer bestimmten Straßenstrecke würde es zu weit führen, alle Formen des Straßenzustandes zu berücksichtigen, zumal sie z. T. nur indirekt wetter- und klimabedingt sind. Hier sei nur der Begriff der Schneeverwehung behandelt. Mit ihr ist eine klare Vorstellung verbunden, und ihre Wirkung kann von einer leichten Behinderung bis zu einer vollkommenen Stilllegung des Verkehrs gehen.

In der Schrift: „Die Schneenot des Frankenwaldes“ hat J. H a e u s e r (128) ein Beispiel bearbeitet, das sehr eindringlich die Folgen der Schneeverwehungen schildert, die für die Bevölkerung außerordentlich hart sein können. Die Schneehöhenmessungen, die an normalen Niederschlagsmeßstellen vorgenommen werden, lassen von dieser Schneenot nichts erkennen. Dies ist auch erklärlich, weil diese Beobachtungsstationen so ausgewählt sind, daß der Schnee in ihrer Umgebung möglichst ungestört, d. h. eben abgelagert wird. Ihre Angaben können daher nichts über die außergewöhnlichen Schneehöhen aussagen, die unter dem Einfluß besonderer Windverhältnisse und besonders geariteter Geländebeziehungen zustande kommen. Jeder schneereiche Winter bringt immer wieder ähnliche Verhältnisse. Durch Einsatz besonders konstruierter Schneepflüge und Schneeschleudern mit großem Leistungsvermögen wird bekanntlich versucht, die Störungen im Eisenbahnbetrieb und auf den Hauptverkehrsstraßen auf ein Minimum zu beschränken.

Bei Schneefall aus der Luft wird der fallende Schnee nur dann auf dem Boden gleichmäßig abgelagert, wenn kein Wind weht. Bei kräftiger Luftbewegung wird dagegen der fallende Schnee in der Richtung des herrschenden Windes getrieben. An windgeschützten Stellen wird er dann stärker abgelagert als an windigen Stellen. Schon geringe Unterschiede in der Windgeschwindigkeit können sich stark auswirken.

Mit der Ankunft des Schnees auf dem Erdboden ist sein Schicksal aber noch nicht abgeschlossen, sondern der Wind sorgt für die Verfrachtung der Schneemassen von einem Ort zum andern. Trockener Lockerschnee wird am stärksten verfrachtet, wobei die Schneekristalle zerschlagen und in sehr feinkörnige Teilchen verwandelt werden. Feuchter Schnee wird fast nicht verfrachtet.

Fallender Schnee wird vom Luftstrom solange fortgetragen, als seine Geschwindigkeit nicht unter 2,5 bis 3 m/sec absinkt (129). Überall dort, wo der Wind, begünstigt durch künstliche Hindernisse oder durch die natürlichen Geländeformen, abgebremst wird und seine Strömungsgeschwindigkeit unter diesen Wert absinkt, muß der Schnee stärker ausfallen und zu anomalen Schneehöhen Veranlassung geben.

Um wenigstens die Verkehrsstraßen von solchen unerwünschten Schneemassen freizuhalten, versucht man bekanntlich mit Hilfe von transportablen, künstlichen Hindernissen (Lattenzäune) oder Anpflanzungen von Hecken diese Ablagerungen dorthin zu lenken, wo sie keinen Schaden anrichten können. Die Schwierigkeit, solche Maßnahmen richtig zu treffen liegt darin, daß nicht bekannt ist, bei welcher Windrichtung der Schnee fallen wird, und daß der vom Wind mitgeführte Schnee sich sowohl vor als auch hinter dem Hindernis abla-

gert. Vor dem Hindernis (Luv) entsteht ein Windstau, dahinter im Windschatten (Lee) ein Windsog.

Dem vom Arbeitsausschuß „Winterdienst der Forschungsgesellschaft für das Straßenwesen“ ausgearbeiteten Merkblatt für Schneeschutz an Straßen (130) entnehmen wir über Art und Umfang der häufigsten Schnee-Verwehungen sowie über Verwehungs-freie Straßenanlagen das Folgende: Straßen, die flaches Gelände durchziehen und im Geländeniveau liegen, bleiben im allgemeinen Verwehungs-frei. Sobald aber beim Schneeräumen beiderseits der Straße Schneewälle entstehen, dann werden diese bei Neuschneefällen zur Ursache von Schnee-Verwehungen, da im Soggebiet zwischen ihnen stärkere Schneemengen abgelagert werden. Verwehungs-frei bleiben meist auch jene Straßen, die auf flachen Geländerrücken und auf nicht zu hohen Dämmen hinziehen. Die durch einen geringen Stau im Luv und durch einen geringen Sog im Lee entstehenden Schneewälle liegen abseits der Straßen.

Bei Einschnittstraßen entstehen auf der Luvseite durch Sog unterhalb der oberen Böschungskante Verwehungen, die in ihrem Umfang von Länge und Neigung der Böschung abhängen und bei flachen Einschnitten (bis zu 3 m Tiefe) bis auf die Straße reichen. Bei tieferen Einschnitten soll die Schneeablagerung gewöhnlich nicht bis auf die Straße reichen, was aber in Gegensatz zu Bjalobsheski (129) steht, nach dessen Meinung durch den Sog die ganze Straßenbreite gefährdet ist.

Bei Straßen am Hang werden bei hangabwärts wehendem Wind und langen Böschungen die Straßen nicht verweht, bei mittleren erst nach längerer Zeit, bei kurzen dagegen rasch. Weht der Wind bei einer am Hang hinziehenden Straße hangaufwärts, dann entstehen durch Stau an der Böschung, die vom Wind angeblasen wird, Ablagerungen, die sich bis auf die Straße hinziehen. Die gleiche Stauwirkung tritt bei Hecken, Wald und anderen Hindernissen am leeseitigen Hang der Straße auf. Verwehungen der Straße sind die Folge. Hecken und Zäune, luvseitig angebracht, schützen nur dann, wenn sich die Hindernisse in genügender Entfernung befinden. Der Abstand soll mindestens die 15fache Höhe des Hindernisses sein.

Von den vielen im Windkanal angestellten Versuchen über Schneeablagerungen an Hindernissen seien hier nur die von W. Kreutz und W. Walter (131) erwähnt, wenn auch diese technische Seite des Problems außerhalb der Geländeklimatologie liegt.

Das, was sich im Kleinen an den Straßen abspielt, muß sich im Großen unter dem Einfluß der Geländeformen wiederholen. Nur der bei Luftruhe fallende Schnee kann die Landschaft in eine gleichmäßig hohe Schneedecke einhüllen. Tritt später Wind auf, dann wird auch dieser Schnee, besonders wenn er locker geworden ist, verfrachtet. Häufig fällt der Schnee bei Wind, dann kann sich keine gleichmäßige Schneedecke ausbilden, sondern vom Wind kahlgeblasene Stellen werden mit tiefen Schneelagen abwechseln. In hügeligem Gelände ist die Schneehöhe eine Funktion der örtlichen Windstärke. Sie ist gering an windexponierten Stellen, wie Gipfel und freien Höhenrücken, sie ist hoch in windgeschützten Lagen, wie Mulden und Tälern. Selbst nur flache Bodenwellen und Ackerfurchen zeigen deutlich diese Unterschiede. Dies ist eine lokal-klimatische Tatsache, die von hoher praktischer Bedeutung werden kann, da an den Stellen mit hoher Schneelage der Wasserhaushalt des Bodens nach der Schneeschmelze günstig beeinflußt werden kann, wobei allerdings die Erwärmung des Bodens merkbar verzögert wird. Bei einer Klimabewertung für landwirtschaftliche Zwecke ist dieser Umstand mit in Rechnung zu stellen.

Im Rahmen dieser Untersuchung müssen wir uns mit

diesen allgemeinen Ausführungen begnügen. Messungen im Gelände wurden nicht vorgenommen. Arbeiten über das unregelmäßige Verschwinden der Schneedecke im Frühjahr sind übrigens schon mehrfach ausgeführt worden. Eine abschmelzende Schneedecke reagiert auf sehr feine lokalklimatische Unterschiede, besonders wenn der Tauprozess sich über längere Zeit hinzieht. Allerdings ist dabei die Dicke und das Alter der Schneedecke maßgebend. K. H. Kreeb (132) hat die tauende Schneedecke kartiert.

Bei mehrfachen Fahrten in die Rhön gegen Ausgang des Winters drängten sich einige Beobachtungen auf, die doch hier mitgeteilt werden sollen: In den tieferen Lagen mit Ackerkulturen und Wald ist die Strahlung bestimmend für die Lebensdauer der Schneedecke. Der Wind führt zwar Verwehungen herbei, die langsamer verschwinden, für das Gesamtbild aber doch bedeutungslos sind. Mit der Höhe nimmt der Windeinfluß gegenüber der Strahlung dann beständig zu. Die Wächtenbildung im Lee wird stärker, wobei vereinzelter Bewuchs die vermehrte Schneeablagerung sehr begünstigt. Die luvseitigen Hänge werden stark abgeblasen.

Bekannt sind die Schnee-Verwehungen an Windschutzanlagen, die sich dann nachteilig auswirken, wenn die Schutzhecke an einem Wege liegt und die Schneeanhäufung zu Verkehrsbehinderung führt. Auf Feldern kann die nur langsam abtauende Schneewächte die Frühjahrsbestellung wesentlich verzögern. H. Kaiser (133) hat über diese negative Wirkung von Windschutzanlagen berichtet.

Der schon erwähnte Straßenzustandsdienst hat die Hauptstraßen systematisch unter Kontrolle genommen und vermag über die Schnee-Verwehungsgefahr der einzelnen Teilstrecken Auskunft zu geben. Die Straßenmeisterei in Münnerstadt und Brückenu wurden durch Herrn Kaps besucht und um Information gebeten, die auch bereitwillig gegeben wurde.

Jeder Straßenmeister hat einen Bereich von rund 150 km Straßenlänge zu überwachen, wobei er von 15 bis 20 Straßenzustandswärtern unterstützt wird. Diese gehen in der Frühe zwischen 4 und 6 Uhr ihre Teilstrecken ab, stellen den Straßenzustand fest und übermitteln den Befund dem Straßenmeister, der alle Meldungen zusammenstellt und in verschlüsselter Form dem zuständigen Straßenzustandswarnt weitergibt. Der Straßenmeisterei ist durch diesen Meldedienst bekannt: 1) wo häufig Schnee-Verwehungen sind, 2) welche Höhe die Schnee-Verwehungen erreichen und 3) wo bei Hochwasser Straßenüberschwemmungen auftreten. Es kann auch angegeben werden, von welcher Seite der Straße die Schnee-Verwehungen kommen.

Aus technischen Gründen ist es leider nicht möglich gewesen, diesem Bericht mehrere Proben aus den Karten 1:25 000 beizufügen, in die die Angaben der Straßenmeistereien eingetragen wurden. Der darin auftretende Wechsel in der Höhe der Schnee-Verwehungen läßt sich leicht durch die Topographie oder durch den der Straße benachbarten Waldbestand erklären. Lediglich auf Tafel 39 sind in der rechten Hälfte der Karte längs der Hauptstraßen Angaben über die Höhe der Schnee-Verwehungen zu finden. Wegen der dort nur geringen Unterschiede in der Topographie bieten sie allerdings keine Besonderheiten, wie sie beispielsweise längs der die eigentliche Rhön überquerenden Wege zu finden sind.

#### 40. Das bioklimatische Moment in der Geländeklimatologie

Ein Teil des bioklimatischen Momentes in der Geländeklimatologie ist schon in Abschnitt 35, der sich mit der Phänologie beschäftigte, behandelt worden.

Aber nicht nur die Pflanzenwelt reagiert auf lokalklimatische Tatsachen, sondern auch die große und kleine Tierwelt versteht es sehr gut, die lokalklimatischen Unterschiede auszunutzen. Es ist eine bekannte Tatsache, daß sie Orte mit den ihrer Entwicklung schädlichen Klimaeigenschaften meidet, dagegen jene Stellen zu ihrem Lebensraum erwählt, wo sie günstige Lebensbedingungen vorfindet. Belege dafür finden sich bei R. Geiger (22).

In gewissem Sinne gilt dies auch für den Menschen, obgleich er es durch Schaffung eines Sonderklimas um seinen Körper (Kleidung) und in seiner nächsten Umgebung (Wohnung) verstanden hat, sich den ihm nicht genehmen Klimaeigenschaften weitgehend zu entziehen. Aber in den Zeiten, wo der Mensch krank ist oder mindestens in seinem Gesundheitszustand geschwächt ist, dann sucht er Heilung und Erholung an Orten, die ein Heil- und Erholungsklima aufweisen. Aufbauend auf jahrtausend alten Erfahrungen ist die Heilkraft gewisser Klimate zu einem wesentlichen Mittel der medizinischen Therapie geworden. In vielen Fällen, vor allem bei den Kuren im Mittel- und Hochgebirge, werden dabei günstige Lokalklimate ausgenutzt. Dies kommt grundsätzlich auch in den Begriffsbestimmungen zum Ausdruck, die der Deutsche Bäderverband für die Bezeichnung der Kur- und Erholungsorte (25) herausgegeben hat.

Im Abschnitt „Natürliche Heilmittel des Klimas“ der Ausgabe 1953 der „Begriffsbestimmungen“ (25) heißt es: Beim erholungsfördernden Klima handelt es sich um ein Lokalklima. — Es muß Klimafaktoren aufweisen, die die Erholung oder Besserung der Gesundheit, Leistung und Arbeitsfähigkeit bewirken. Um dies zu erreichen, werden bestimmte Forderungen aufgestellt. Der Ort oder Ortsteil muß eine möglichst staub-, rauchfrei und verkehrsarme Lage haben und darf nicht in unmittelbarer Nähe störender und schädigender Industriegebiete liegen. Der Ort darf keine klimatischen Eigenschaften besitzen, die nach dem Stand der bioklimatischen Forschung als nachteilig für die angestrebten Heilanzeigen anzusehen sind.

In den Kurorten im Hochgebirge ist der von den Höhenzügen ausgeübte Windschutz teilweise sehr willkommen, denn es werden dadurch günstigere Werte der Abkühlungsgröße erreicht, die an die Wärmeregulation des menschlichen Körpers keine außergewöhnlichen Ansprüche stellen. Allerdings darf es durch diesen Windschutz nicht zu einer länger anhaltenden Stagnation der Luft im Tal kommen. Stagnieren der Luft ist immer ungünstig. Die Verunreinigung der Luft durch Staub und die Anhäufung von Krankheitskeimen nehmen zu. Eine stärkere Neigung zur abendlichen Abkühlung und Nebelbildung stellt sich ein. Wenn sich solche Lagen noch als Kur- und Erholungsorte eignen sollen, dann ist ausschlaggebend, daß die schon erwähnten lokalen Luftbewegungen, die sich zwischen den Höhen auf der einen Seite und dem Talboden und der Ebene auf der anderen Seite einstellen, dafür sorgen, daß in den Abend- und Nachtstunden eine Entlüftung mit Lufterneuerung in den Tälern eintritt. Es ist erwiesen, daß die Schalltiefe dadurch gefördert wird. H. U n g e h e u e r (134) hat für den Alpenrand gezeigt, daß der nächtliche Bergwind frische Luft mit verhältnismäßig hohem Ozongehalt heranzführt.

Der beim Überströmen des Gebirgsmassivs auf der Leeseite sich bildende und infolge adiabatischer Erwärmung beim Absteigen als warm empfundene Föhn hat insofern lokalklimatische Eigenschaften, indem er nicht in allen Tälern bis zum Boden durchdringt. Dies hat zur Vorstellung von den föhnfreien Tälern geführt. Eine Geländeklimaaufnahme im Gebirgsrand wird dieser Frage systematisch nachgehen müssen. Der Föhn aus der freien Atmosphäre, der nicht an einen

Gebirgszug gebunden ist und sich durch heiteres, besonders trockenes Wetter auszeichnet, bietet, soweit bis jetzt bekannt ist, lokalklimatisch keine Besonderheiten.

Daß bei einer Heilkur nicht nur das Wetter und Klima, sondern die ganze Natur, das sogenannte Kurmilieu, zu dem auch Boden und Landschaft gehören, mitwirkt, hat W. H e l l p a c h (135), der Verfasser der „Geopsyche“, in sehr eindringlicher Weise dargelegt. Wenn also die klimatische Eignung eines Ortes als Erholungsort oder heilklimatischer Kurort zu prüfen ist, dann hat eine klimatische Bewertung der den Ort umgebenden Landschaft neben der Begutachtung der eigentlichen Kuranlagen im Vordergrund zu stehen. K. K n o c h (136) hat deshalb im Rahmen der Kurortklimaforschung die Kartierung der lokalklimatischen Sonderheiten empfohlen, denn sie erlaubt es, Stellen mit ungünstigem Lokalklima, die der Erholung abträglich sind, zu kennzeichnen. Dies liegt sehr im Interesse des Kurortes, denn in vielen Fällen braucht dieser Zustand kein Dauerzustand zu sein. Wir sind durchaus in der Lage, durch geeignete Maßnahmen Klimaverbesserungen kleinerer Räume vorzunehmen (siehe Abschnitt 37).

Mit dem Gesagten ist das bioklimatische Moment in der Geländeklimatologie noch lange nicht erschöpft. Es liegen noch andere Arbeitsaufgaben vor, die aber noch im Stadium der Einzelforschung sind, wobei ein Einfluß der Topographie und damit des Lokalklimas noch nicht systematisch untersucht worden ist.

Es ist in diesem Bericht sehr viel von der einkommenden Strahlung die Rede gewesen, die Rückstrahlung (Albedo) ist nur gestreift worden. Die Rückstrahlung ist aber ein wesentlicher Teil der sogenannten „Umweltstrahlung“, und diese ist es, die auf den menschlichen Organismus einwirkt. Über den Wärmehaushalt des Körpers bestimmt sie mit das Temperaturgefühl, das wir leider immer noch nicht messend festlegen können.

Entsprechend einem Begriff der Kolloidchemie fassen wir die Luft mit den in ihr schwebenden kleinsten Teilchen in festen und flüssigen Zustand als ein „Aerosol“ auf. Da die Luft unser Hauptnahrungsmittel ist, sollten wir eigentlich gut darüber unterrichtet sein, was in jeder Minute weit in unsere Atemwege eindringt. Es ist schon viel darüber gearbeitet worden, aber die Meßgeräte zur Bestimmung der feinsten Beimengungen sind noch nicht einheitlich, und die Unterschiede in der Lokalklimatologie sind, abgesehen von den Verunreinigungen der Großstädte und Industriegebiete, nur in ganz geringem Umfang beachtet worden.

Das gleiche gilt für den als „Luftchemie“ bezeichneten Arbeitskreis. Er hat sich mit der chemischen Natur der als Kondensationskerne wirkenden Beimengungen (Chloridgehalt der Niederschläge) und mit den sogenannten Spurenstoffen, vor allem Jod und Ozon, beschäftigt (138).

Da die Kondensationskerne zum erheblichen Teil Träger einer elektrischen Ladung sind, läßt sich durch Beobachtungen der Feldstärke die Höhenlage der Inversionen bestimmen, da sich diese durch eine besondere Anreicherung von Kernen auszeichnen. Dies ist, worauf R. R e i t e r (139) hingewiesen hat, bei der Kurortklimatologie zu beachten, denn es ist nicht angebracht, Höhenwege, Sanatorien, Erholungsstätten gerade in diese kernreiche, d. h. nicht reine Schicht zu legen. In nur geringer Höhe darüber befindet sich ausgesprochen kernfreie Luft, die in ihrer Reinheit für die menschliche Erholung und Gesundheit größere Chancen bietet. Messungen der elektrischen Feldstärke (Potentialgradient) und der elektrischen Leitfähigkeit sind bisher nur an verhältnismäßig wenigen Orten angestellt worden. Es ist schon begonnen worden, synop-

tisch zu arbeiten, aber dies steckt noch in den Anfängen. Ob es sich lohnt, eine luftelektrische Geländeerkundung durchzuführen, mag dahingestellt bleiben.

Der viel besprochene Radiumemanationsgrad des Bodens und des Wassers, der in den Prospekten bestimmter Heilbäder eine große Rolle spielt, muß hier auch erwähnt werden. Jedenfalls gibt es Orte hoher Radonwerte, eine vergleichende Untersuchung scheint aber noch nicht vorzuliegen.

Das vorhin erwähnte Luftaerosol enthält neben den anorganischen Bestandteilen auch organische Substanzen und Kleinlebewesen, die in ihrer Gesamtheit als „Keime“ bezeichnet werden. Von letzteren interessieren besonders die Bakterien. H. Reifferscheid (140) ist von der meteorologischen Seite her dem Keimgehalt der Luft nachgegangen und hat versucht, wechselnde Keimkonzentrationen mit dem Luftmassenwechsel in Verbindung zu bringen. Diese Arbeitshypothese ist naheliegend. P. H. Gregory (141) ist bei seiner Untersuchung der allergischen Erscheinungen auch zu dem Schluß gekommen, daß bei der Verteilung der Sporen die Luftzirkulation in den bodennahen Schichten eine wesentliche Rolle spielt.

Wird das Problem des Keimgehaltes von der regionalen, d. h. von dem Gelände aus betrachtet, dann ist mit Sicherheit ein Einfluß der Topographie zu vermuten. Dieser Einfluß wird sich als Folge mehr oder minder großer Entlüftungsmöglichkeit oder Lufterneuerung über einer gegebenen Erdstelle auswirken. Stagnation der Luft ist gleichbedeutend mit Keimanreicherung. Sperrschichten schirmen die höheren Geländeteile nicht nur gegen Staub, sondern auch gegen Bakterien ab. Eine Untersuchung der Ausbreitung epidemischer Krankheiten darf an diesen, mindestens möglichen Geländeeinflüssen nicht vorbeigehen. Es ist nicht ausgeschlossen, daß sich epidemiefreie Nester durch ihre topographische Lage erklären lassen.

Mit vorstehenden Betrachtungen sind wir bereits wesentlich in das Gebiet der Lufthygiene eingedrungen. Unter dem Einfluß der Forderungen aus der Industrie, aus der Gewerbetätigkeit, aus dem weiten Gebiet des Verkehrs und aus dem Bauwesen hat sich die Lufthygiene stark entwickelt. E. Flach (142) hat in dem von Prof. Walther - Berlin herausgegebenen „Lehrbuch für Hygiene“ die Methoden und auch die neueren Ergebnisse der lufthygienischen Untersuchungen dargestellt. Dabei wird eindringlich auf die durch die Rauigkeit der Erdoberfläche und durch die von der Sonnenstrahlung herrührende Luftbewegung als Ursache für die mehr oder weniger starke Anreicherung der Luft mit Beimengungen hingewiesen. An heiteren Tagen und antizyklonaler Luftdrucklage ist der vertikale Luftaustausch der Hauptträger der Entlüftung, an trüben Tagen mit geschlossener Wolkendecke fehlt aber dieser gesundheitsfördernde Faktor, und wesentlich ungünstigere Verhältnisse können sich einstellen. Nähere Ausführungen zum bioklimatischen Moment in der Geländeklimatologie sind in der Untersuchung „Problematik und Probleme der Kurortklimaforschung als Grundlage der Klimatherapie“ (137) enthalten.

#### 41. Das topographisch beeinflusste Schallklima

In einer Zeit, in der das menschliche Nervensystem in hohem Maße „angeknackt“ worden ist und daher so viel von Lärmbekämpfung gesprochen wird, ist es angebracht, sich daran zu erinnern, daß auch die Form des Geländes und seine Bewachung sehr wesentlich die Ausbreitung des Schalles und damit auch seiner wenig geschätzten Abart — des Lärmes — in günstigem wie in ungünstigem Sinne beeinflussen kann. Die erste Orientierung über dieses Problem gibt in übersicht-

licher Form, gestützt auf praktische Erfahrungen, ein Aufsatz von L. A u j e t z k y (143), dem wir im wesentlichen folgen. Eigene Beobachtungen wurden nicht gemacht.

Grundsätzlich ist es nicht ausreichend, die Stärke eines Geräusches nur in Abhängigkeit von der Entfernung der Geräuschquelle zu setzen. Mehrere Faktoren können diese primitive Überlegung vollkommen unbrauchbar machen. Zu berücksichtigen sind zunächst die Schallschattenverhältnisse. Sie sind bei tiefen Tönen (lange Wellen) und bei hohen Tönen (kurze Wellen) ganz verschieden. Gegen tiefe Töne, z. B. Sprengungen, erzeugen selbst hohe Gebirge nur einen unvollkommenen Schallschatten. Bei hohen Tönen bieten aber schon kleinere Hindernisse (niedriger Berg oder Hügelrücken) einen wirksamen Lärmschutz. Bepflanzung und Bebauung des Geländes wirkt sich in gleicher Richtung aus, denn die hohen, kurzen Wellen der Lärmgeräusche werden durch diese Hindernisse aufgehalten und nicht wie die langen Wellen herumgebeugt. Ausgesprochen begünstigt sollen Standorte sein, die sich leewärts höher und breiter tafelförmiger Hügelgebilde befinden. Jedenfalls sind im hügeligen Gelände Stellen guter Hörbarkeit und solcher verminderter Hörbarkeit, vielleicht sogar Zonen des „Schweigens“ zu beobachten. Messungen in dieser Richtung, die leicht herzustellen wären, sind nicht bekannt geworden.

Es ist eine allgemeine Erfahrung, daß die Ausbreitung des Schalls von den Wetterbedingungen abhängt. Die Anwesenheit einer Inversion mit der sie in der Höhe begrenzenden Sperrschicht läßt den Schallstrahl wieder zur Erde zurückkehren und verursacht dadurch ganz außergewöhnliche Hörweiten, die bei starkem Geschützdonner nachgewiesenermaßen Hunderte von Kilometern betragen können. In Tälern, in denen nächtliche Temperaturinversionen zu den klimabedingten regelmäßigen Erscheinungen gehören, wirkt sich die Sperrschicht als Fernleiter des Lärms aus. Für die darüber liegenden Orte bildet sie einen Schutzwahl.

Die allgemeine Erfahrung, daß sich Schallwellen mit dem Winde sehr günstig, gegen den Wind aber nur geschwächt ausbreiten, ist bei lokalklimatischen Betrachtungen zwar auch zu beachten, tritt aber nur dort in Erscheinung, wo eine gut ausgeprägte Windrichtung sich durchsetzen kann.

Schließlich macht A u j e t z k y auf den sogenannten „Linseneffekt“ des gratüberquerenden Windes aufmerksam. Im Lee eines Gebirges herrscht zwar an ruhigen Tagen „Geräuschschatten“, wenn aber bei starken, das Gebirge überquerenden Winden im Gebirgslee nach oben sich eine starke Geschwindigkeitszunahme einstellt, dann kann an Stelle des „Geräuschschattens“ eine erhöhte Schallenergiedichte hervorgehoben werden.

Die Verstärkungen und Abschwächungen der Schallfortpflanzung sind zwar in Städten genügend mit Messungen belegt, aus dem freien Land sind aber keine Beobachtungen bekannt. Für die zweckmäßige Unterbringung von Wohnvierteln, Siedlungen, Heil- und Erholungsstätten ist es aber durchaus nicht unangebracht, das Schallklima bereits bei der Planung in die Erwägungen einzubeziehen, falls Lärmquellen in der Nähe sind.

Wer sich allgemein über die Theorie der Schallausbreitung informieren möchte, findet die wichtigste Literatur in einer Untersuchung von G. Scheid (144), die sich mit der anomalen Schallausbreitung auf nahe Entfernung beschäftigt. Das Problem der Geländestörung wird darin allerdings nicht angeschnitten.

Nicht zu übersehen ist, daß der Geländeeffekt durch die Einflüsse überlagert wird, die durch die Schichtung der Atmosphäre und ihre Turbulenz ausgeübt werden. H. E r t e l (145) hat dieses Problem theoretisch geklärt.

#### 42. Das Gelände und die Ausbreitung elektromagnetischer Wellen (drahtlose Fernübertragung)

Im Zeitalter des Rundfunks ist es am Platze, einen Ort auch nach seinen Funkempfangsmöglichkeiten zu charakterisieren. Die Begriffe „guter“ und „schlechter“ Empfang sind bereits Allgemeingut geworden. Mit abnehmender Wellenlänge tritt der Einfluß der Geländeform immer mehr hervor. Die Erhebungen, die den Empfangsort überragen, sind ganz entschieden Hindernisse, die die Wellenausbreitung stören. Aber auch Wälder, einzelne Baumgruppen, Häuser usw. können die gleiche Wirkung hervorrufen.

Durch Registrierungen der Feldstärke bei Versuchsfahrten sind diese Störungen deutlich nachgewiesen worden. Die Schwankungen der Feldstärke sind umso größer, je welliger das Gelände ist. Nach H. L a s s e n (146) verhalten sich bei kurzen Meterwellen die beobachteten Reichweiten a) bei optischer Sicht, b) bei ebenem, teilweise mit Bäumen bedecktem Gelände, c) bei dichtem Wald wie 25:4:1. Dieser kurze Hinweis erfolgte lediglich der Vollständigkeit wegen.

Die andere große Quelle anomaler Ausbreitung der Ultrakurzwellen sind die Inversionen der Troposphäre. Mit ihnen beschäftigt sich die Radiometeorologie.

#### 43. Das Makroklima in Form eines Klimagramms

Im Laufe dieser Untersuchung wurde schon mehrfach betont, daß jedes Lokalklima in ein bestimmtes Makroklima eingebettet ist, das einem übergeordneten Bereich zukommt. Es ist daher notwendig, daß jedem Blatt der Landesklimateaufnahme in geeigneter Weise Daten des Makroklimas beigegeben werden. Dies muß in leicht lesbarer, systematisch geordneter Form geschehen. Das sogenannte „Klimagramm“, das immer mehr Anwendung findet, ist dafür am besten geeignet. Der Raumersparnis und der größeren Übersichtlichkeit wegen wird das Klimagramm, das seinen Inhalt mit Zahlen ausdrückt, vorgezogen. Seine graphische Abart, Klima-Diagramm genannt, leidet leicht unter Unüber-

sichtlichkeit, sobald viele Elemente gleichzeitig dargestellt werden sollen.

Das Klimagramm, an das hier gedacht ist, kann nur ein Allgemein-Klimagramm sein, das die Hauptdaten des Makroklimas wiedergeben soll. Ein Klimagramm für das Lokalklima aufzustellen ist nicht möglich, denn dafür fehlen uns exakte Daten. Von den neuerdings propagierten „Geogrammen“ wird viel mehr als von einem Klimagramm verlangt. Das Geogramm soll nach W. Hellpach (147) die Darstellungsform für die Kennzeichnung der naturhaften Beschaffenheit eines irdischen Lebensschauplatzes in jeder Hinsicht, also erschöpfend sein. Bei den praktischen Zwecken, die mit einem solchen Geogramm verfolgt werden, ist mit einem Universalgeogramm nicht auszukommen, sondern es müssen brauchbare Spezialgeogramme entworfen werden. Hellpach nennt beispielsweise: Siedlungsgeogramme, Forstungsgeogramme, Gesundheits- oder kurz gesagt Kurgeogramme. Trotzdem nun dieser Appell bereits über 2 Jahrzehnte zurückliegt und auch mehrfach von anderer Seite das gleiche gefordert wurde, ist in dieser Richtung nichts geschehen. Vielleicht war das Ziel zu weit gesteckt, und sicher hat das Fehlen geeigneter Unterlagen aus der Praxis davon abgehalten, derartige Spezialgeogramme zu berechnen.

Dies ist auch einer der Gründe, weshalb hier mit Absicht nur ein allgemeines Klimagramm gegeben werden soll. Es wird nicht nur die üblichen Mittelwerte enthalten, sondern diese durch Beifügung der Extrem- und Häufigkeitswerte auf ihre richtige Bedeutung zurückführen. Bei ihrer Anordnung ist an ein festes Schema gedacht, dessen Unterteile in einem Quadrat von etwa 5—6 cm Seitenlänge zusammengefaßt werden. Jedes Element hat in diesem Schema seinen festen Platz und dieser bestimmt die Bedeutung der Zahl. Auf diese Weise braucht die Erklärung nur einmal gegeben zu werden. Durch kleinere und größere Typen wird die gegenseitige Bewertung der verschiedenen Klimadaten kenntlich gemacht.

Im einzelnen sind folgende Angaben vorgesehen, deren Ermittlung aber teilweise noch besonderer Vorarbeiten bedarf:

Temperatur:	Mittel des wärmsten und kältesten Monats, der Vegetationsperiode (Mai — Juli), des Jahres Absolute Extreme (Datum) Zahl der Eis-, Frost- und Sommertage Beginn und Ende der Zeit mit Tagesmittel von 5° C und darüber Beginn und Ende der Zeit mit Tagesmittel von 10° C und darüber Beginn und Ende der frostfreien Zeit, 2 m über dem Erdboden Beginn und Ende der frostfreien Zeit am Boden Gradtagzahl
Niederschlag:	Mittlere Jahressumme Mittlere Monatssummen Mittlere jahreszeitliche Summen, Vegetationsperiode (Mai — Juli) Zahl der Tage mit Niederschlag $\geq 0,1$ mm Zahl der Tage mit Schneedecke Zahl der Tage mit Hagel Beginn und Ende der Haupttrockenperiode Beginn und Ende der Nebentrockenperiode Beginn und Ende der Hauptnässeperiode Beginn und Ende der Nebennässeperiode
Wind:	Häufigste Windrichtung, Jahr, Januar, Juli Mittlere Windstärke, Jahr, Januar, Juli Anzahl der Sturmtage $> 8$ Beaufort Anzahl der windstillen Strahlungsnächte, April — Juni Häufigste Richtung der austrocknenden Winde im Frühjahr Zahl der Tage mit austrocknenden Winden im Frühjahr
Bewölkung:	Zahl der heiteren und trüben Tage, Winter, Sommer Zahl der Tage mit Nebel, Winter, Sommer
Phänologie:	Beginn der Blüte charakteristischer Pflanzen (wildwachsende und Obst) Erntezeiten
Besondere Klimadaten:	Nach Bedarf

Dieses Schema ist in seinen Grenzen nicht unbedingt festgelegt, es kann beliebig ergänzt werden, besonders dann, wenn auf dem betreffenden Kartenblatt eine charakteristische Klimaerscheinung vorhanden ist, die es verdient, erwähnt zu werden.

Jedes Klimagramm erhält die Bezeichnung des Ortes oder des Landschaftsraumes, für den es gilt, mit Angabe der Meereshöhe.

Die Zahl der Klimagramme, die auf einem Kartenblatt unterzubringen sind, richtet sich nach den topographischen Gegensätzen im großen. Bei ganz einheitlicher Landschaftsgestaltung wird ein Klimagramm für ein Meßtischblatt ausreichen.

#### 44. Die Klimabewertung (Zusammenfassung der Grundlagen)

In diesem und dem nachfolgenden Abschnitt soll nun das Ergebnis der vorhergegangenen Betrachtungen gezogen werden. Es gipfelt darin, die Klimabewertung der einzelnen Geländeabschnitte einheitlichen Charakters durchzuführen.

Mit Absicht wurde stellenweise etwas weit ausgeholt und auch manches Problem angeschnitten, dessen Zusammenhang mit dem eigentlichen Thema der Landesklimateaufnahme zur Zeit noch nicht offenkundig ist. Diese Art der Darstellung war aber doch notwendig, denn es mußte zunächst ein Überblick darüber gewonnen werden, was wir an Kenntnissen der Lokalklimatologie besitzen. Nur auf diesem Wissen kann sich eine Landesklimateaufnahme im Sinne einer Klimabewertung aufbauen. Dabei mußte in der Betrachtung der bisherigen Erkenntnisse eine Selbsttäuschung unbedingt vermieden werden. An vielen Stellen ist deshalb auch zum Ausdruck gebracht worden, daß die uns bekannten Tatsachen noch lückenhaft sind, ja daß wir über gewisse Teilprobleme überhaupt noch nichts wissen. Der Verfasser gibt zu, daß er, bevor er sich diesen Überblick verschaffte, der Meinung war, es sei zum Problem der Geländeklimatologie schon mehr erarbeitet worden. Trotzdem darf auch jetzt schon der Versuch einer Klimabewertung unternommen werden. Daß beim ersten Ansatz schon etwas Vollendetes erreicht werden konnte, war selbst bei stärkstem Optimismus nicht zu erwarten. Das, was jetzt schon möglich ist, kann durchaus den Grund abgeben, auf dem weitergebaut werden kann.

Bei einer Klimabewertungsformel ist anzustreben, daß sie einfach, verständlich und leicht einprägsam ist. Sonst wird sie keine Verwendung finden. In der Literatur wird bereits von manchem Versuch berichtet, bei dem mit viel Scharfsinn ein System aufgestellt ist. Aber es ist bei diesem Versuch geblieben. Die erhoffte Anwendung blieb aus, und nur der, der in der Literatur nachgräbt, stößt auf diese Bemühungen.

Es kann auch die Frage aufgeworfen werden, ob es zweckmäßig ist, von „Idealtypen“ des Klimas auszugehen, auf die dann die Lokalklimate zu beziehen wären. Man hat in der landwirtschaftlichen Schätzungslehre (Rothkegel, 148) versucht, diese Idealtypen anzuwenden. Bekanntlich werden im Idealtyp die übereinstimmenden Merkmale mehrerer Einzelercheinungen zusammengefaßt, während die individuellen Züge abstrahiert werden. Es wurde viel Arbeit aufgewendet, den Idealtyp landwirtschaftlicher Betriebe zu ermitteln, doch kam man mit diesem Verfahren nicht weiter und mußte doch zur Schätzung übergehen. Ein Begriff der landwirtschaftlichen Schätzungslehre könnte nach sinngemäßer Abänderung bei der Klimabewertung ebenfalls Verwendung finden.

Bei der Bewertung eines landwirtschaftlichen Grundstückes spielt der Boden eine große Rolle. Er wird auf

Grund der Bodenart, seiner Zustandsstufe und seiner Entstehung in „Bodenklassen“ eingeteilt. Es wäre nun sehr viel gewonnen, wenn es gelänge, die Lokalklimate in „Klimaklassen“ einzuteilen. Diese müßten für verschiedene Verwendungszwecke getrennt aufgestellt werden, z. B. Landwirtschaft, Forstwirtschaft, Siedlung, Anlage von Erholungs- und Heilstätten u. a. m. Jedenfalls hätte die „Klimaklasse“ das für sich, daß sie ein kurzer, leicht verständlicher Begriff ist.

Welches sind nun die Elemente der Klimabewertung? Wir verstehen darunter das, was bei einer Klimabewertung zu berücksichtigen ist, wollen aber durchaus nicht behaupten, daß die folgende Aufzählung der Einzellelemente vollständig ist. In ihr spiegelt sich, wie es nicht anders zu erwarten ist, die subjektive Auffassung des Verfassers wider. Andere mögen wünschen, daß noch weitere Elemente beachtet werden. Es ist auch nicht ausgeschlossen, daß neuere Forschungsergebnisse dies nötig machen.

Die Darstellung bringt zunächst den Gesamtbegriff und anschließend eine Begründung sowie, falls erforderlich, eine Zerlegung in Unterbegriffe.

##### a) Topographie

Dieses Element wird an erster Stelle genannt, denn die Geländeform ist sozusagen der „rote Faden“ bei der Lokalklimatologie und damit der Klimateaufnahme. Als Großformen werden unterschieden Niederung oder Tiefland mit Küste, Mittelgebirge und Hochgebirge.

Es wurde früher schon hervorgehoben, daß die Tiefländer, die sich unmittelbar an die Küste anschließen, zu den windstarken Gebieten gehören und Lokalklimate nur dort aufkommen lassen, wo infolge von Erosion stärkere Geländeunterschiede auftreten. Diese Erosion kann weit in die Vergangenheit zurückreichen. Im Norddeutschen Flachland hat sie z. B. beim Rückzug der Gletscher der letzten Vereisungsperiode Steilhänge an den Rändern der durch die Schmelzwässer gebildeten Urstromtäler zurückgelassen. In den sogenannten Landrücken haben wir die Geröllmassen der eiszeitlichen Moränen. Sie drücken auch dem Tiefland einen besonderen Stempel auf. Die Tiefländer, die von der Vereisung nicht betroffen wurden, haben einen wesentlich anderen Charakter.

Ob es notwendig ist, die Landstrecken, die sich unter den Meeresspiegel absenken, lokalklimatisch besonders zu bewerten, soll mangels ausreichender Erfahrung noch nicht entschieden werden.

Das Mittelgebirge mit seinen einzelnen Bergkuppen, Hügelländern, geschlossenen Höhenzügen, Hochflächen und den dazwischen sich hinziehenden Tälern ist die eigentliche Domäne der Lokalklimatologie. In ihm findet daher die Klimateaufnahme ein dankbares Arbeitsgebiet.

Das Hochgebirge schafft mit seinen schrofferen Formen und seiner größeren Höhenlage besonders intensiv ausgebildete Lokalklimate. In dem Abschnitt 35 über die Phänologie wurde dies schon hervorgehoben. Da sich die Erprobungsarbeiten nur im Mittelgebirge bewegten und noch keine Erfahrungen aus dem Hochgebirge gesammelt werden konnten, mußte dies aus unseren Betrachtungen ausscheiden.

Bevor wir uns darüber klar werden, welche Einzelformen der Topographie zu berücksichtigen sind, ist noch eine Vorfrage zu beantworten. Was soll gekennzeichnet werden, ein Punkt oder eine Fläche (Geländeraum)? Im Rahmen unserer Untersuchung kann die Antwort nur lauten: eine Fläche, oder mit anderen Worten, die mit dem Kartenmaßstab der Arbeitsunterlage noch zu erfassende Geländeeinheit. Innerhalb einer Geländeeinheit kann z. B. die Frostgefährdung unter-

schiedlich sein. Dies kann durch eine Bewertung einzelner Punkte im Gelände festgestellt werden, gehört aber im allgemeinen nicht in den Rahmen einer Landesklimaaufnahme, sondern muß Detailkartierungen kleiner Räume vorbehalten bleiben.

In der Klimatologie ist die Angabe der Topographie bei der Lagebeschreibung einer klimatologischen Station von großer Wichtigkeit. Die richtige Bewertung der Ergebnisse einer Beobachtungsstation ist nur möglich, wenn die genaue Lage der Station im Gelände und die Form dieses Geländes bekannt ist. A. G r e g o r (149) hat einen Vorschlag ausgearbeitet, der diesem Bedürfnis abhelfen soll. Er wurde bereits 1947 der Internationalen Klimatischen Kommission gelegentlich ihrer Tagung in Toronto vorgelegt und auch der Internationalen Tagung für Angewandte Meteorologie in Obertraun (Österreich) im September 1955 unterbreitet.

Die Grundlage der durch Symbole ausgedrückten Lagebeschreibung bilden die folgenden vier Hauptmerkmale des lokalen Klimas.

- 1) Exposition einer Beobachtungsstation gegen Sonne (Orientierung gegen die Himmelsrichtungen),
- 2) Exposition mit Rücksicht auf den vertikalen Temperaturgradient (Feststellung von Lokalinversionen),
- 3) Exposition gegen Windströmung (Grad der Abkühlungsgröße) und
- 4) Exposition mit Rücksicht auf die natürliche oder künstliche Form der Stationsumgebung (Tal, Großstadt, Wald usw.).

Die Bezeichnung geschieht in Symbolen (englische Abkürzungen) und die Klassifikation wird immer mit dem Buchstaben E eingeleitet. Diese Symbole sind Indizes zu dem einleitenden Buchstaben E und stellen verschiedene Typen von Lokaleinflüssen auf das Ortsklima dar. Es bedeuten:

- ER I eine klimatologische neutrale, repräsentative (R) Lage ersten Ranges, weite Ebene oder Hochplateau, in allen Richtungen frei, Entfernung der Berge mehr als 20 km.
- ER II eine klimatologisch neutrale, repräsentative Lage zweiten Ranges. Der Horizont ist zwar in der Ferne um etwa 10° überhöht, die Umgebung ist jedoch vollkommen frei (etwa ein Flugplatz).
- E s Hanglage (slope) wie: E s N, E s NE usw. Hänge, die steiler sind als 20° werden speziell bezeichnet: z. B. E s S 30°.
- E cx Gipfel oder Bergrücken (konvex).
- E cc Kessel- oder Tallage (konkav).
- E i Lokalinversionen.
- E ʌ windige Lage.
- E f Wald.
- E p Park.
- E c Stadtlage (Großstadt, Blockhäuser).

Beispiele einer Klassifikation:

E s N 30° if = Der untere Teil eines Hanges mit einem Abfall von etwa 30° gegen Norden gerichtet, bewaldet und mit einer Tendenz zur Bildung von lokalen Inversionen.

E cc / SW - NE / i = Tallage, Achse SW — NE, lokale Inversionen.

G r e g o r hat selbst schon gesagt, daß man vorstehenden Vorschlag leicht durch weitere Symbole vervollkommen kann, z. B. könnten Charakteristika, wie Stau, Bora, Hang-, Bergwind usw. hinzugefügt werden. Wir möchten diesen Gedanken aufgreifen und festhalten, daß auch die topographischen Formen sich teilweise noch ergänzen lassen. In folgendem soll ein Versuch gemacht werden.

Vorweg muß aber ausdrücklich betont werden, daß nicht beabsichtigt ist, einen Überblick über die Relief-

typen der Erdoberfläche zu geben, wie sie in den bekannten Handbüchern der Geographie zu finden sind. Die von E. O b s t herausgegebene Neubearbeitung der „Grundzüge der Physischen Erdkunde“ von A. S u p a n (150) zeigt die Fülle der Tatsachen, die im „Formenschatz der Erdoberfläche“ von dem Geographen bereits zusammengetragen wurden. Die Relieftypen sollen hier nicht beschrieben und genetisch geordnet werden, sondern wir beschränken uns auf die bloße Nennung jener Formen, die im deutschen Raum vorkommen und an der Herausbildung der Lokalklimate beteiligt sind.

Eine großzügige Zusammenfassung könnte sich mit folgenden Grundformen begnügen:

Flachländer: Tiefländer und Hochländer mit den Grenzfällen, Tiefebene und Hochebene; Berge mit Hang- und Gipfellagen, Täler, Becken und Mulden.

Für geländeklimatologische Betrachtungen genügt dies noch nicht. Es ist zweckmäßig, die genannten Begriffe näher festzulegen und in Unterformen zu zergliedern. Dies geschieht nur stichwortartig, wobei einige von U h l i g und G r e g o r benutzte Bezeichnungen mit verwertet werden:

Flachland (Ebene): a) Grobebene, nach allen Richtungen frei, Überhöhungen erst in 20 km Entfernung. b) Ebene geringerer Ausdehnung. Die Überhöhungen bleiben unter 10°. c) Ebene mit leichter Wellung, Höhenunterschiede höchstens 10 m.

Hochland: ist zu charakterisieren nach Höhenlage, Ausdehnung und Form des Plateaus, eben oder wellig.

Welliges Gelände: Die Höhenunterschiede übersteigen 10 m, von einem Hügel- oder Gebirgsland kann aber noch nicht gesprochen werden. Starke lokal-klimatische Unterschiede pflegen sich auszubilden. Mit zunehmenden Höhenunterschieden erfolgt der Übergang zum Hügelland und schließlich zum Gebirge (Mittel- und Hochgebirge).

Täler: Nach dem Querschnitt: Mulden, Sohlen-, Kerb- und Schluchttäler.

Nach der Länge: kurzes Tal, langes Tal.

Nach der Lage: im Tiefland, im Hochplateau, im Mittelgebirge, im Hochgebirge.

Nach dem Gefälle: starkes, mäßiges, schwaches, unmerkbares Gefälle.

Nach der Lage der Mündung: Ausmündung in ein Haupttal, Ausmündung in die Ebene.

Mulden (Becken): zu unterscheiden sind: Mulden in der Ebene und Mulden im Gebirge, flache Mulden und Mulden mit Steilhängen, ganz geschlossene Mulden und solche, deren Rand durchbrochen ist, die also einen Abfluß haben.

Hanglagen: Die thermischen Eigenschaften werden bedingt durch die Exposition, die Höhe über der Talsohle und das Hanggefälle (schwach, mäßig, stark). Bedeutsam sind die Hangterrassen.

Hangmulden: Sie sind eine Abart der Hanglagen. Sie bedeuten eine Unterbrechung des normalen Hanggefälles und äußern sich in einer Störung des außerhalb der Mulde zu erwartenden Hangklimas, indem in ihnen die Frostgefahr erhöht ist. Unterschiede bilden sich durch verschiedenartige Länge und die wechselnde Stärke des Gefälles aus.

Gipfellagen: Unterschiedliche Bewertung nach folgenden Tatsachen: Freie Kuppe in der Ebene mit Gefälle ringsum, Gipfel im Mittelgebirge, Gipfel im Hochgebirge.

Form des Gipfels (Gipfelplateau oder Gipfelspitze, Bergrücken-Grat), Stärke der Erhebung über dem gesamten Bergzug, Gefälle unterhalb des Gipfels, Höhe über dem Meeresniveau und Höhe über dem Talniveau der Umgebung.

Bewachung und Bebauung: Im Abschnitt 21 und bei anderen Gelegenheiten wurde der Einfluß der Bewachung schon erörtert, er kann den rein orographischen Effekt wesentlich abändern. Zu unterscheiden sind: Wiese, Ackerland, Hoch- und Niederwald als die Großformen der Bewachung. Dazu kommen die Begriffe: einzelne Waldstücke, Parkanlagen, Baumplantagen, einzelne Bäume, Gebüsch u. a.

Die Bebauung kann in künstlicher Veränderung der Bodenoberfläche bestehen. Hierher gehören Terrassierungen, Dämme aller Art, Wegeinschnitte u. a. m. Die Hochbauten treten als Einzelhäuser, Häusergruppen, geschlossene Ortschaften vom Dorf bis zur Großstadt auf.

Diese Aufzählung soll nur die Mannigfaltigkeit der Geländeformen zeigen, mit denen sich der Klimatologe auseinandersetzen hat.

#### b) Bestrahlung

Wir haben sie als Grundlage der Lokal- und Mikroklimata hingestellt. Die durchgeführten Kartierungen bauen sich auf der höchstmöglichen Wärmeenergie, ausgedrückt in Kcal/cm<sup>2</sup> auf, die den einzelnen Geländelagen im Jahr zugeführt werden.

Es liegt nahe, diese Energiezahlen als erste Grundlage der Klimabewertung anzusehen. Dies führt zwanglos zu den Gruppen der Tab 5. Die einzelnen Stufen der Strahlungsintensität sind mit Absicht nicht stärker unterteilt worden, um das Kartenbild nicht zu überlasten. Auch die verschiedenen große Spannweite der Stufen ist bewußt gewählt worden. Sie erschien für die Strahlungsverhältnisse des dargestellten Gebiets am zweckmäßigsten. Doch muß zugegeben werden, daß nach weiteren Erfahrungen aus anderen Gebieten das letzte Wort in dieser Hinsicht noch nicht gesprochen sein könnte.

Tab. 5

Klimabewertung auf Grund der höchstmöglichen Strahlungsintensität

Bewertungszahl	Strahlungsintensität Kcal/cm <sup>2</sup> · Jahr	Beurteilung
I	über 150	sehr günstig
II	140 — 150	günstig
III	110 — 140	normal
IV	90 — 110	mäßig
V	70 — 90	sehr mäßig
VI	unter 70	sehr ungünstig (unzureichend)

Über die Formulierung der letzten Spalte von Tab. 5 kann man stark diskutieren. Wenn es notwendig ist, kann sie abgeändert werden. Wichtig ist die Reihenfolge der Bewertungszahl. In dieser steckt gewissermaßen die Klimaklasse, von der schon gesprochen wurde.

Die Beurteilung, ob günstig oder ungünstig, hängt von dem Verwendungszweck des Geländes ab. Bei dem vorliegenden ersten Versuch ist an landwirtschaftliche Nutzung und teilweise auch an Besiedlung gedacht. Im übrigen muß die eingehendere Durcharbeitung der Bewertungszahlen der Zusammenarbeit mit den Vertretern der beteiligten Fachgebiete vorbehalten bleiben.

Es muß auch noch geklärt werden, wann es besser ist, mit den Werten für die Vegetationszeit an Stelle des Jahreswertes zu arbeiten.

Ferner ist zu hoffen, daß es später durchführbar ist, die tatsächlichen Bewölkungsverhältnisse in Rechnung zu stellen, wie dies N. W e g e r für Geisenheim getan

hat. Die dann resultierenden Werte wären den höchstmöglichen Werten der Strahlungsintensitäten selbstverständlich vorzuziehen. Damit ist auch die Möglichkeit gegeben, die Kartierungen in größeren Höhen mit stärkerer Bewölkung auszudehnen. Vorläufig gelten sie nur für die Höhenlage von etwa 200 bis rund 450 m über NN.

Ob das Kugelpyranometer von Bellani, über das gleichfalls N. W e g e r einige Erfahrungen gesammelt hat, ein „geländegängiges“ Instrument wird, kann z. Z. nicht beurteilt werden. Vorläufig ist es ein nur an seinem Standort gebundenes Gerät. Sicher ist es wünschenswert, bei der Klimabewertung die ganze „Umweltstrahlung“ mit zu berücksichtigen. In engen Tälern ist auch die „Rückstrahlung“ der unter Sonne liegenden Wand für das Lokalklima der „Schattenwand“ von wesentlicher Bedeutung.

#### c) Temperatur

Die allgemeinen Temperaturverhältnisse sind dem Klimagramm zu entnehmen. Frigorimeter- und Frigorigraphenwerte wären selbstverständlich erwünscht, doch sind nur ganz wenige Messungen vorhanden.

Lokalklimatisch interessiert an erster Stelle wegen ihrer großen praktischen Bedeutung die Frostgefährdung in den Übergangsmoaten. Es genügen dabei für den ersten Überblick die drei Stufen: normale, mäßige und starke Frostgefährdung z. B. über Moorboden. Erst wenn eine ganz ins einzelne gehende Durchmusterung des Geländes notwendig wird, kann eine Punktbewertung nach Art der von S. U h l i g (74) benutzten Methode angewandt werden.

Über die obere Grenze des Frostes in Tälern mit verhältnismäßig steilen Hängen bedarf es noch der Sammlung weiterer Erfahrungen. Überhaupt müssen unsere Kenntnisse von den Beziehungen zwischen dem Grad der Frostgefahr am Talboden und der Bewachung der Talhänge noch wesentlich verbessert werden.

Die warme Hangzone ist dort, wo sie deutlich auftritt, kenntlich zu machen.

Das gleiche gilt, wenn Inversionsbegrenzungen in bestimmten Höhenlagen erkennbar sind (Nebelobergrenzen, Dunstschichten).

Die Gradtagzahlen können mit einiger Sicherheit nur für wenige Punkte berechnet werden, da sie bestimmte klimatologische Daten erfordern.

#### d) Wind

In Form von Austausch, Lufterneuerung und Durchlüftung ist das, was landläufig als Wind angesprochen wird, ein sehr wichtiges, in den meisten Fällen klimatisch günstiges Element. Schädigend wirkt der Wind als Förderer der Bodenaustrocknung und von einer gewissen Stärke ab als Hindernis des Wachstums, das bei Sturm bis zur Zerstörung der Pflanze gehen kann.

Solange wir für den Grad der Lufterneuerung nichts Besseres haben, arbeiten wir mit den im Abschnitt 20 entwickelten relativen Durchlüftungszahlen und nach folgenden Bewertungsgruppen:

Durchlüftungszahl 15 und mehr	ausreichend
Durchlüftungszahl 11 — 14	nicht immer ausreichend
Durchlüftungszahl 6 — 10	mäßig
Durchlüftungszahl unter 6	ungünstig

Mit dem Austausch ist der Grad der Luftreinheit eng verknüpft. Er kann nur experimentell bestimmt werden, falls die Verunreinigung sich nicht schon durch Geruch und Trübung der Sicht bemerkbar macht.

Stellen starker Bodenaustrocknung durch den Wind sind an die Topographie unter Berücksichtigung der

Hauptwindrichtung im Frühjahr gebunden. Gefährdet sind dabei besonders die Südexpositionen.

Winderosionsschäden sind u. U. mit diesen Austrocknungserscheinungen verbunden. Sie finden sich auf sehr windigen Kuppen und auf den weiten windoffenen Gebieten mit leichten Böden. Von anderer Seite ist eine systematische Bearbeitung dieses Problems bereits im Gange, so daß eine Landesklimateaufnahme es nur noch am Rande beachten muß.

Die windoffenen Gebiete werden zweckmäßigerweise erst dann kartiert, wenn sie eine Fläche von mindestens 1 qkm bedecken. Sind die Flächen in besonderen Fällen, z. B. auf einem Hochplateau, kleiner, aber deutlich als windstark zu erkennen, dann bleibt es dem Bearbeiter unbenommen, auch diese Tatsachen zu kartieren. Wie in dem aufgeführten Beispiel wird der Grund für die erhöhte Windstärke in der Eigenart der Topographie liegen. Windige Paß- und Sattellagen sind stets auf der Karte als solche zu kennzeichnen. Dabei ist zu berücksichtigen, wie weit die Bewachsung die Stärke des Paßwindes mildert. Windgeschützte Gebiete sind nicht kartiert. Sie kommen zu häufig vor und haben meist eine geringe Ausdehnung. Extreme Fälle treten in den Durchlüftungszahlen hervor.

Deformierte Bäume, die deutlich als Windeffekt zu erkennen sind (Windflüchter), sind nach ihrer Richtung aufzunehmen.

Lokalwinde (Abschnitt 25) sind als wichtige Bestandteile des Lokalklimas nicht zu übergehen. Sie können nur in leichter, aber auch in deutlicher Ausbildung vorkommen. Dieser Grad des Auftretens sollte notiert werden.

#### e) Luftfeuchtigkeit

Die Luftfeuchtigkeit ist ein wichtiges Element, das die Wasserverdunstung der Pflanzen und auch die Verdunstung des Bodenwassers bestimmt. Es tritt in unserem Arbeitsgebiet nicht so ausgesprochen differenziert auf. Ob die Unterscheidung: „Feuchtklima“ und „Trockenklima“ durchgeführt werden kann, erscheint bei den geringen Makroklima-Differenzen noch zweifelhaft. Eine ausgesprochene Luvseite, die aber windschwach sein müßte, könnte am ersten zu einem Feuchtklima gehören. Eng begrenzte, schlecht ventilierte Lagen, in denen sich eine Feuchtigkeitsquelle in Form eines Teiches, eines Sees oder einer feuchten morastigen Wiese befindet, können ebenfalls feuchte Lokalklimate aufweisen. Der Begriff ist leicht verständlich und verdient daher kartiert zu werden.

In der noch zu schaffenden Formel für die Lokalklimate sind die bekannten kühleren und feuchten Talagen von den klimatisch günstigeren Hanglagen zu trennen. Die nach Sonnenuntergang einsetzende Abkühlung und Zunahme der Feuchtigkeit ist in jenen Tälern besonders ausgeprägt, in denen die Talsohle von Wiesen eingenommen wird.

Das Trockenklima nur mit der Jahressumme des Niederschlags unter 700 mm in Verbindung zu bringen, reicht nicht aus. Derartige Gebiete sind zwar makroklimatisch gut festgelegt, über die Lokalklimate in ihrem Bereich ist damit aber noch nichts ausgesagt. Nur ist die Vorstellung sicher nicht abwegig, daß in diesen niederschlagsarmen Gebieten die Ausbildung der Lokalklimate begünstigt ist, falls die topographischen Vorbedingungen gegeben sind.

Die mit hoher Luftfeuchtigkeit und geringer Windstärke zusammenhängende Nebelgefahr ist mit 2 Stärkegraden: „leicht“ und „stark“ genügend erfaßt.

#### f) Bewölkung

Dieses Element ist bisher im allgemeinen nur makroklimatisch behandelt worden. In seltenen Fällen kön-

nen lokalklimatische Tatsachen auftreten. Sie sind eher im Hochgebirge als im Mittelgebirge zu erwarten.

#### g) Niederschlag

Die Menge und die jahreszeitliche Verteilung des Niederschlags sind in dem Klimagramm angegeben. Über die regionale Verteilung der Niederschlagsspende sagen die makroklimatischen Karten das aus, was unserer heutigen Vorstellung entspricht. Für die Lokalklimatologie sind sie nur ein Notbehelf. In welcher Richtung nach lokalklimatischen Einflüssen noch weiter zu forschen ist, wurde bereits im Abschnitt 32 angedeutet.

Die Folgeerscheinung der unperiodischen Schwankungen der Regenmengen, die sich als nasse und trockene Perioden äußern, sind im Rahmen der Arbeit im Gelände unbedingt zu beachten. Wir erkennen sie in den versiegten Quellen, in den ausgetrockneten Brunnen, in den deutlichen Anzeichen eines abgesunkenen Grundwasserstandes und anderen Tatsachen. Alles ist systematisch zu kartieren. Dies darf aber nur nach Anwendung strengster Kritik geschehen, denn manche Austrocknungserscheinung ist die Folge ungeeigneter Maßnahmen und hat mit einer Abnahme des Niederschlags nichts zu tun.

Bei der Ablagerung des Schnees ist den ungewöhnlich starken Ansammlungen in Mulden, Schluchten und anderen Hohlformen des Geländes Aufmerksamkeit zu schenken. Die an diesen Stellen stark verlängerte Dauer der Schneedecke (hier ist nur vom Mittelgebirge die Rede) ist von Ortskundigen möglichst in Erfahrung zu bringen. Sie ist ein lokalklimatisches Element von wesentlicher Bedeutung für den Wasserhaushalt.

Schneeverwehungen längs der Hauptverkehrsstraßen werden durch die Straßenmeistereien überwacht und in Form des Straßenzustandsdienstes bekanntgegeben. Bemerkenswerte Fälle im Bereich der Nebenstraßen fallen in den Arbeitsbereich des Geländeklimatologen.

Deutliche Wirkungen der Wassererosion sind zu kartieren. Eine systematische Bearbeitung des Problems erfolgt von anderer Seite.

#### h) Erdbodenzustand

Die Kartierungen erstrecken sich lediglich auf jene Tatsachen, die das Lokalklima beeinflussen können. Hierzu gehören: offene Wasserflächen, soweit sie nicht schon in den Karten verzeichnet sind, die Überschwemmungsbereiche (siehe Abschnitt 38), einschließlich regelmäßig wiederkehrender Ansammlungen von Schneeschmelzwasser an tieferen Stellen des Geländes, feuchte Wiesen, Moor.

#### i) Phänologische Tatsachen

Auf die ausführlichen Darlegungen im Abschnitt 35 wird verwiesen. Einige phänologische Daten enthält das Klimagramm. Zu kartieren ist das Vorkommen wärmeliebender Pflanzen an Stellen, wo sie dem Makroklima nach nicht zu erwarten sind. An lokalklimatisch begünstigten Stellen wird dieser Pflanzentyp einige Exklaven über die Grenze des allgemeinen Vorkommens hinaus nach Norden vorschleichen. Zusammenarbeit mit der Botanik ist dabei erforderlich.

Vorstehende Ausführungen sind eine kurze Zusammenfassung der Elemente, die bei der Bewertung der Lokalklimate zu beachten sind. Sie kommen, was leicht zu begreifen ist, nicht überall in der aufgezählten Vollständigkeit vor, die in Wirklichkeit auch keine Vollständigkeit ist. Daher ist es auch nicht zu erwarten, daß alle erörterten Begriffe in der diesem Bericht beigegebenen Probekarte zu finden sind. Die fehlenden sind in dem Untersuchungsbereich nicht vorhanden.

#### 45. Die Karte der Bestrahlungsklassen mit Kennzeichnung örtlicher Klimatafsachen

Die Karte der Bestrahlungsklassen (Tafel 39) ist aus den Karten der Besonnung (Abschnitt 16) entstanden, indem die dort im Abstand von 10 Kcal/m<sup>2</sup>·Jahr gezeichneten Unterschiede zu Gruppen (Klassen) zusammengefaßt wurden, wie sie im Abschnitt 44 erläutert wurden. Es sollte damit eine Vereinfachung des Verteilungsbildes angestrebt werden, in der Erwartung, daß dadurch die großen Gegensätze besser hervortreten. Geringe Bestrahlungsunterschiede, wie sie in leicht gewelltem Gelände in den verschiedenen exponierten Lagen auftreten, haben für den landläufigen Getreide- und Gemüseanbau, wie früher schon gesagt, keine wesentliche Bedeutung. Bei empfindlichen Kulturen, z. B. Wein, die eine qualitativ hochstehende Ernte bringen sollen, ist es anders. Dafür stehen dann die Besonnungskarten mit der Energieskala in Stufen von 10 Kcal/cm<sup>2</sup>·Jahr zur Verfügung.

Betrachtet man die Karte der Bestrahlungsklassen, die einen Ausschnitt aus dem Blatt 5826, Bad Kissingen Süd, der Topographischen Karte 1:25 000 umfaßt, so fällt sofort der Gegensatz zwischen der westlichen und östlichen Hälfte der Karte sehr stark auf. Es ist eine Folge der Geländegestaltung. Im Westen erzeugen die tiefeingeschnittenen Nebentäler der Saale sehr ansehnliche Expositionsunterschiede. In der Osthälfte sind wir im Bereich der Hochflächen, auf denen sich nur flache Talmulden hinziehen. Die schwachen Expositionsgegenstände können sich nur durch viel geringere Unterschiede in der einkommenden Bestrahlungsenergie auswirken.

Aus den Besonnungskarten der Fränkischen Schweiz ist bisher noch keine Umzeichnung nach Bestrahlungsklassen erfolgt. Hier interessieren selbstverständlich besonders die ungünstigen Geländeteile am Grunde der Täler. Im Kolorit treten sie bei aufmerksamer Betrachtung deutlich hervor (Tafel 21). Unterhalb der normalen Bestrahlungswerte liegen in der Farbskala die Töne abwärts der zweiten Gelbstufe. Sehr mäßig sind die hellgrün getönten Gebiete, und sehr ungünstig sind die dunkelgrün getönten Gebietsstreifen. Leider ist der Kartenmaßstab nicht groß genug, und die genaue Festlegung der Grenzen der einzelnen Gebiete mußte unterbleiben.

Übrigens darf nicht übersehen werden, daß der Begriff „Grenze“ nicht als scharfe Linie aufzufassen ist, sondern überall handelt es sich nur um Übergangsstreifen, die nicht so glatt verlaufen, wie sie in den Karten dargestellt sind.

In die Karte der Bestrahlungsklassen sind die in den Grundlagen der Klimabewertung aufgeführten Einzellelemente als örtlich auftretende Klimatafsachen eingetragen, soweit sie im Bereich des Kartenausschnitts auftreten. Grundsätzlich ist dazu zu bemerken, daß die Karte in dieser Hinsicht nur den Charakter einer „Modellkarte“ hat. Es ist nicht ausgeschlossen, daß an einigen Stellen noch weitere Symbole hätten eingetragen werden können.

Die Bedeutung der Symbole ist am Rande der Karte kurz erläutert worden. Hier nur einige zusätzliche Bemerkungen:

Die Bestrahlungsklassen sind nach den höchstmöglichen Jahressummenwerten aufgestellt. Wenn die Bewölkung oder ein bestimmter Jahresabschnitt, z. B. die Vegetationszeit, berücksichtigt wird, dann muß dies entsprechend gekennzeichnet werden.

Die durch  $F, F_1$  und  $F_2$  gegebene Frostgefährdung gilt im allgemeinen für den Ort, an dem das Symbol steht. An der Topographie ist leicht erkennbar, wie das Frostgebiet verläuft. Ist ein natürliches oder künstliches Hindernis vorhanden, das den Abfluß der Kaltluft verhindert und die Frostgefahr dadurch steigert, dann ist das

besonders frostgefährdete Gebiet (Frostloch) durch eine unterbrochene Linie umrandet.

Warme Hangzone und Inversionsbegrenzung konnten mangels geeigneter Unterlagen nicht eingetragen werden.

Die Durchlüftungszahlen wurden für das Blatt Bad Kissingen Süd nicht berechnet. Nach den Geländeformen zu urteilen besteht aber kein Grund zur Annahme, daß im Kartenbereich besonders schlecht ventilierte Stellen vorhanden sind.

Winderosionsschäden leichter Art wurden zwar südlich von Ramsthal kartiert, sie fallen aber außerhalb des Kartenrandes. Das Symbol „Windoffene Gebiete“ ist nur sparsam verwandt worden. Bei der endgültigen Kartierung wird es sicher häufiger vorkommen.

Das Überschwemmungsgebiet längs der Saale ist nicht identisch mit dem im Abschnitt 38 erwähnten extrem hohen Hochwasser vom 5. Februar 1909, sondern beruht auf eigenen Wahrnehmungen, die seit Herbst 1946 gemacht werden konnten.

Es liegt nahe, die Lokalklimate durch eine „Formel“ zu charakterisieren, in der neben der Bestrahlung vor allem die Temperatur und der Grad der Entlüftungsmöglichkeit zum Ausdruck kommen. Es ist allgemein verständlich, daß eine Ortslage im Talboden anders zu bewerten ist als eine Lage am Hang oder eine Lage in einer Mulde anders als eine Lage am Rande der Mulde auf einer gut ventilierten Hochfläche. Wenn z. B. die Aufgabe gestellt würde, in einer topographischen Karte die für die Anlage von Siedlungen und Erholungsstätten günstigen Geländeabschnitte kenntlich zu machen, dann würden neben dem Bestrahlungsfaktor die beiden Elemente Temperatur und Entlüftung sehr stark zu berücksichtigen sein. Der Begriff „Entlüftung“ ist dem Begriff „Lufterneuerung“ (Luftaustausch) gleichzusetzen. Diese Lufterneuerung darf allerdings nicht zu stürmisch vor sich gehen. In bestimmten Fällen (Heilstätten) wird Schutz gegen zu starke Winde gefordert.

Eine solche „Lokalklimaformel“ bleibt vorläufig noch ein sehr erwünschtes Ziel der Topoklimatologie.

Die weitere Auswertung der Bestrahlungsklassenkarte erfordert es, daß der Bodenzustand und seine geologische Beschaffenheit in die Karte hineingearbeitet werden. Dies ist lediglich ein Darstellungsproblem technischer Art, das keine besondere Schwierigkeiten bietet.

Der einleitend zu diesem Bericht gezogene Vergleich einer Landesklimaaufnahme mit der geologischen Landesaufnahme gilt wie alle Vergleiche nur in beschränktem Sinne. Das örtliche Klima ist viel differenzierter. Während die geologische Beschaffenheit über weite Strecken ganz einheitlich sein kann, können über dem gleichen Untergrund sich viele Ortsklimate entwickeln, wenn die Geländeformen dies bedingen und wesentliche Expositionsunterschiede vorhanden sind.

#### 46. Die lokalklimatischen Bewertungskarten und das Makroklima

Im Laufe der Untersuchung wurde mehrfach betont, daß jedes Lokalklima in ein Makroklima eingebettet ist. Seine richtige Bewertung ist ohne die Berücksichtigung des Makroklimas nicht möglich. Aus dieser Erkenntnis heraus wurde schon das Klimagramm, wie es im Abschnitt 43 erläutert wurde, vorgeschlagen. Aber auch dieses ist nur ein erster Notbehelf. Die Wissenschaftler und auch die Praktiker können mit Recht mehr verlangen. Ein Klimagramm kann streng genommen immer nur punktförmig oder doch nur für einen beschränkten Raum gelten. Es kommt aber darauf an, daß die beständigen Übergänge des Makroklimas in der Horizontalen und auch in der Vertikalen möglichst genau dar-

gestellt werden. Bei dieser Forderung ist der Begriff Makroklima gegenüber seiner bisherigen Anwendung wesentlich abgewandelt worden. Die neue Deutung will bereits den Einfluß der Großformen der Topographie stärker zum Ausdruck bringen, als es in den bisher als makroklimatisch bezeichneten Karten geschah.

Diese Arbeit gehört zu den Aufgaben der Wetterdienstzentralen. Nur diese verfügen über das nötige Grundmaterial und die erforderlichen Unterlagen, die Beobachtungsergebnisse kritisch abzuwägen. Jedenfalls muß immer wieder als grundlegend herausgestellt werden, daß neben der Geländeklimatologie die Makroklimatologie auf keinen Fall entbehrt werden kann. Es wäre daher ganz abwegig, auf den Gedanken zu kommen, die meteorologischen Beobachtungsnetze ganz abzubauen oder mindestens in ihrer Stationsdichte zu verringern.

Die Landesklimateaufnahme kann nicht auf eine stärkere Gliederung des Makroklimas verzichten. Es muß angestrebt werden, das Makroklima im Maßstab 1 : 500 000 zu bearbeiten. Daß für den Niederschlag bereits Karten 1 : 200 000 vorliegen, wurde im Abschnitt 32 gezeigt. Die Tafeln 37 und 38 geben Proben davon. Wenn nun ein größerer Maßstab als bisher auch für die anderen Elemente gefordert wird, so setzt dies eine besondere Pflege des Beobachtungsnetzes voraus. Zwei Kriege mit unglücklichem Ausgang waren in Deutschland der Grund, daß ein systematischer Ausbau des Beobachtungswesens nicht möglich war. Alle Anstrengungen mußten darauf ausgerichtet werden, das Bestehende zu verteidigen und über die Katastrophen hinweg wenigstens in den Grundmauern zu retten. Bei einem gut durchorganisierten Netz meteorologischer Beobachtungsquellen kommt es darauf an, die Lage der Stationen sorgfältig an die Topographie anzulehnen. Alle ihre Formtypen (Tal, Hang, Kuppe usw.) müssen in jedem Klimagebiet erfaßt werden. Dabei sind die verschiedenen Höhengniveaus gleichmäßig zu besetzen. Wenn mit einem solchen Netz Karten im Maßstab 1 : 500 000 bearbeitet werden sollen, dann bleibt trotzdem noch sehr viel an Extrapolationsarbeit zu leisten, um auch für die beobachtungsleeren Räume, die nie ganz verschwinden werden, gutachtliche Äußerungen über die regionale Verteilung des betreffenden Klimaelements zu geben.

H. Ellenberg (112) hat, wie schon im Abschnitt 35 erwähnt wurde, auf Grund phänologischer Meßfahrten makroklimatische Karten in verhältnismäßig reicher Detaillierung entworfen. Sie stellen eine gute Arbeit dar. Da das Material nur aus den Jahren 1950 und 1951 stammt, ist aber das Arbeitsergebnis im Hinblick auf die bekannten unperiodischen Schwankungen zwischen den einzelnen Jahresabläufen noch nicht genügend gesichert. Auch können die Karten nur ganz bestimmten Zwecken dienen. Aus einer Makroklimakarte, die möglichst vielen Zwecken dienen soll, müssen definierte Angaben zu entnehmen sein.

Das hier aufgezeigte Ziel makroklimatischer Karten verhältnismäßig großen Maßstabes ist — dies sei unumwunden zugegeben — nicht leicht zu erreichen. Aber als anzustrebendes Ziel mußte es doch herausgestellt werden. Mit Hilfe dieser Karten wird es dann auch möglich sein, die verschiedenen Klimagebiete (Klimazonen und Unterzonen) schärfer zu erkennen, als dies bisher geschehen konnte.

#### 47. Die Klimabewertung, verglichen mit den Ergebnissen der landwirtschaftlichen Bodenschätzung

W. Rothkegel (148) sagt einleitend in seinem grundlegenden Buch über die landwirtschaftliche Schätzungslehre: „Die frühere Reichsfinanzverwaltung hat

der deutschen Landwirtschaft durch die Einbringung und die Durchführung des Bodenschätzungsgesetzes ein unschätzbares Geschenk gemacht, und die Schätzungsergebnisse werden nach Vollendung des Werkes eine Bedeutung erhalten, die heute noch kaum richtig zu übersehen ist.“ Das genannte Werk zeigt deutlich, mit welcher Gründlichkeit das großangelegte Unternehmen geplant und durchgeführt wurde.

Als Naturbedingungen, die die Höhe des Reinertrages landwirtschaftlicher Betriebe bestimmen, werden aufgeführt:

- 1) Das Klima,
- 2) der Boden, und zwar
  - a) in seiner chemisch-physikalisch-biologischen Beschaffenheit in Verbindung mit den Grundwasserverhältnissen,
  - b) die Bodenformung oder Geländegestaltung.

Hier ist also die Bedeutung des Klimaeinflusses klar herausgestellt. Da das Bodenschätzungsgesetz fordert, daß die Wertzahlen die natürlichen Ertragsbedingungen, nämlich Boden und Klima, berücksichtigen sollen, mußte sich die frühere Reichsfinanzverwaltung einwandfreie Unterlagen für die Berücksichtigung des Klimas verschaffen. In sehr umfangreichen Arbeiten wurden damals vom früheren Reichsamt für Wetterdienst mit einer vorher noch nicht angewandten Detaillierung entsprechende Klimakarten und zusammenfassende Tabellen bearbeitet. In ganz gedrängter Form sind sie als Anhang zu dem sogenannten Ackerschätzungsrahmen für die einzelnen deutschen Klimagebiete von den Küsten der Nord- und Ostsee bis zum Alpenvorland gegeben. E. Reichel (151) hat eingehend über den Inhalt der Arbeit berichtet, die der Meteorologe für die Berücksichtigung des Klimas lieferte. H. Reinhard (152) beschrieb den Inhalt der Klimakarten, die der Bodenschätzung in Mecklenburg als Unterlage dienten. Bei beiden Autoren handelt es sich um makroklimatisches Material.

In der Schätzungslehre kommt der Begriff der „Bodenklimazahl“ vor. Der Nichteingeweihte könnte annehmen, daß in diesem Wert der Klimaeinfluß deutlich zum Ausdruck komme. Selbstverständlich steckt auch er darin, aber die Bodenklimazahl ist lediglich eine Verhältniszahl, die angibt, in welchem Verhältnis der Reinertrag und damit der Ertragswert des Betriebes zu dem gleich 100 gesetzten Reinertrag oder Ertragswert des ertragfähigsten Betriebes der früheren Provinz Sachsen, dem früheren Reichsspitzenbetrieb, steht. Die sogenannte Bodenklimazahl ist also nur eine Ertragsmeßzahl und wird für 1 Hektar errechnet. H. Morgen (153) hat eine Darstellung der Bodenklimazahlen nach Kreisen für Westdeutschland gegeben und ihre Bedeutung für Raumforschung und Landesplanung zu begründen versucht. Die Landesklimateaufnahme kann aus diesen Karten keinen Nutzen ziehen.

Unter Berücksichtigung der zweifellos großen Bedeutung der klimatischen Unterlagen für die Bodenschätzung ist die Frage berechtigt, ob eine Landesklimateaufnahme nicht etwa die Arbeit der Bodenschätzer für die Herausarbeitung der Lokalklimate benutzen kann. Man könnte geneigt sein, diese Frage zu bejahen, denn bei der Geländebegehung haben die Bodenschätzer nach ihrer Arbeitsvorschrift auch das Lokalklima zu berücksichtigen. Ferner ist der Gedanke nicht abwegig, daß bei der Beurteilung des Klimaeinflusses auch die Zustandsstufe neben der Bodenart eine gewisse Rolle spielt. Dies könnte sich darin äußern, daß die schlechten Zustandsstufen die ungünstigen Einwirkungen eines schlechten Klimas steigern und günstige Einwirkungen eines guten Klimas verringern. Umgekehrt könnte erwartet werden, daß die besseren Zustandsstufen den ungünstigen Einfluß schlechter klimatischer Verhält-

nisse mildern und den guten Einfluß guter klimatischer Verhältnisse steigern.

Durch das Studium der Originalkarten (1 : 2500) der Bodenschätzung, die das Finanzamt Bad Kissingen (Oberregierungsrat Dr. Fuchs) in dankenswerter Weise bereitwillig zur Verfügung stellte, ist geklärt worden, wie weit die Angaben der Felddaufnahmen sich lokal-klimatisch ausnutzen lassen.

Abgesehen von Eintragungen, die hier nicht interessieren, enthalten die Schätzungskarten die Bodenklasse, die Bodenzahl und die Ackerzahl.

Im Begriff Bodenklasse wird das bodenartige Gesamtgepräge ausgedrückt, wie es auf Grund einer Bodenprobe nach Bodenart (9 Arten), Bodenzustand (7 Zustandsstufen) und nach seiner Entstehung (7 Stufen) ermittelt wird. Zu jeder Bodenklasse gehört nach dem sogenannten Schätzungsrahmen ein Bodenzahlenbereich mit einer Schwankungsweite von 4—12 Einheiten, zwischen denen der Bodenschätzer zu wählen hat. Hierin liegt offenbar ein subjektives Moment. In den Bodenzahlen sollen die erzielbaren Reinerträge zum Ausdruck kommen. Schließlich steht neben der Bodenzahl die Ackerzahl. Aus der Differenz zwischen beiden ist zu sehen, welche Zu- oder Abschläge der Bodenschätzer für angebracht hielt. Festgelegt sind die Abschläge für bestimmte Grade der Geländeneigung, die geeignet sind, die Bewirtschaftung zu erschweren. Abschläge zur Berücksichtigung des Standortklimas sind scheinbar ganz dem Ermessen des Bodenschätzers überlassen und können, da eine Begründung in den Karten fehlt, nachträglich nicht mehr bestimmt werden.

Trotzdem wurde durch Herrn Kaps folgender Versuch durchgeführt: Auf der Topographischen Karte Nr. 5726 Bad Kissingen Nord wurden im Gelände zwischen den Orten Wollbach und Winkels Bodenklassen und Ackerzahlen eingetragen. Dann wurde den Unterschieden in den Ackerzahlen, die benachbart waren, nachgegangen. Es sollte geprüft werden, ob sich diese regionalen Differenzen durch lokal-klimatische Tatsachen erklären lassen. Das Ergebnis war negativ. Vergleichbare Ackerflächen mit Nord- und Südexposition standen leider nicht zur Verfügung. Hier wäre in den Ackerzahlen vielleicht ein lokaler Klimaeinfluß erkennbar gewesen. Eine ähnliche Nachprüfung einer Feldflur aus dem Blatt Bad Kissingen Süd ergab mit Sicherheit, daß ein ausgesprochenes Frostloch zwischen Ebenhausen und Oerlenbach in den Abschlägen nicht nachweisbar war.

Diese aus der Durchsicht der Originalkarten der landwirtschaftlichen Bodenschätzung gewonnenen Erfahrungen berechtigen nicht zu der Hoffnung, die Arbeit des Bodenschätzers für die Zwecke einer Landesklimateaufnahme ausnutzen zu können.

#### 48. Schlußbetrachtungen

Wir sind am Ende unserer Ausführungen angekommen, in denen wir nur einen kleinen Teil aus einem sehr umfangreichen Literaturstudium verwerten konnten. Dieses Ende ist aber nicht gleichbedeutend mit dem Schluß der Arbeit. Im Gegenteil muß der weitere Ausbau der hier erörterten Gedanken erst noch geschehen. Über aller Arbeit steht dabei das Leitwort: Weg vom Schreibtisch und hinaus in das Gelände. Dort, wo sich die Klimate ausbilden und der lebenden Welt und auch dem Boden, auf dem sich diese entwickelt und existiert, ihren Stempel aufdrücken, ist das Arbeitsfeld des Geländemeteorologen.

Wir haben hier nur die Grundelemente behandeln können. Aber neben ihnen sind immer schon weitere Elemente als notwendig für die Klimatologie gefordert

worden. Auch sie können uns dem richtigen Verstehen lokal-klimatischer Tatsachen näherbringen. Wir können aus den bis jetzt vorliegenden Kartenwerken nicht die Tatsachen entnehmen, die den Austausch der Wärme, der Feuchtigkeit, sowie die Bewegung der Luftpörper am Boden in Gang bringen und steuern. Nach C. W. Thornthwaite brauchen wir Karten der Albedo, der Bodenfeuchte, der Wärmekapazität, der Evapotranspiration, des Feuchteüberschusses, des Feuchtemangels. Sie sind sowohl als Weltkarten, aber auch als Regionalkarten dringend erwünscht.

Für Studien im Gelände brauchen wir vor allem ein Instrumentarium, das „geländegängig“ ist. Mit einer leicht transportablen Form muß es gestatten, möglichst große Flächen abzugehen. Fahrbare Laboratorien werden in den meisten Fällen nur punktmäßig arbeiten können.

Die Frage der Nomenklatur ist absichtlich nicht behandelt worden, obgleich W. Weischet (67) sie mit Recht angeschnitten hat. Es darf aber nicht übersehen werden, daß den bisherigen Versuchen, Ordnung in die Begriffe der klimatologischen Literatur zu bringen, kein Erfolg beschieden war. Wahrscheinlich liegt dies daran, daß der Umfang der einzelnen Begriffe noch nicht genügend festgelegt ist. Nach unserer Meinung kann diese Klärung nur durch weiteres Eindringen in die Probleme herbeigeführt werden. Jede vorzeitige Festlegung bestimmter Bezeichnungen könnte leicht zur „Zwangsjacke“ werden, in der dann neuere Erkenntnisse nicht mehr unterzubringen sind. Das Gesagte gilt auch, nachdem sich W. Weischet noch einmal zu diesem Thema geäußert hat (154). Das Problem ist zu schwierig, als daß es sozusagen am Rande innerhalb dieser Betrachtungen mitbehandelt werden könnte.

Bei der durchgeführten Arbeit galt das als Leitmotiv, was Prof. Mückenhausen (155) gelegentlich einer Diskussion über die Pflanzenstandortkarte von H. Ellenberg sagte: „Zunächst kommt es darauf an, die Einzelemente des Standorts zu erfassen, dann erst kann die Synthese des Gesamtstandortes erfolgen, denn diese kann sich nur auf eine einwandfreie Erfassung der Einzelemente stützen“. Beim Durchgehen der Faktoren, die an der Herausbildung des Geländeklimas beteiligt sind, wurde nach einem gut definierten Grundbegriff Umschau gehalten. Wie schon früher auseinandergesetzt wurde, bot sich die Sonnenbestrahlung als das gesuchte Element an. In der Form der höchstmöglichen ist sicher keine Vollkommenheit erreicht. Aber es ist auch leicht zu verstehen, daß die Methoden der exakten Strahlungsmessung, wie sie an Observatorien üblich sind, nicht anwendbar waren. So lag es nahe, den in den Abschnitten 11 und 12 näher beschriebenen Besonnungsmesser von A. Morgen zu verwenden. Er baut sich auf den von W. Kaempfer durchgeführten Berechnungen auf, war bereits im Gelände erprobt und kann als das z. Z. vorhandene einzige Gerät gelten, das für die Arbeit im Gelände geeignet ist. Zwischen 40 und 60° Breite ist es ohne wesentlichen Fehler zu benutzen.

Es muß hier noch einmal betont werden, daß es sich bei dem ganzen Arbeitsplan nicht um die klimatische Aufnahme eines kleineren Raumes, wie z. B. der Lagen für Sonderkulturen (Weinbau) handelt. Diese sind schon mehrfach kartiert worden, wobei unter Einsatz von besonderem Instrumentarium viel klimatisches Detail herausgearbeitet werden konnte. Wenn aber, wie in dem vorliegenden Fall das Ziel einer Landesklimateaufnahme, also die Bearbeitung weiter Räume, angestrebt wird, dann müssen andere Methoden angewandt werden. Sonst würde die Arbeit von vornherein zum Scheitern verurteilt sein.

Weite Räume sind erforderlich, denn kein Lokalklima steht für sich allein da. Alles greift ineinander

über und beeinflusst sich gegenseitig. In der Natur gibt es keine in sich abgeschlossenen Klimaräume von der Art, mit denen wir in der Klimakammer experimentieren. Um das Problem der Geländeklimaaufnahme voranzutreiben, wird vorgeschlagen, einen Forschungsraum einzurichten, in dem die Methodik weiter erprobt werden soll. Dieser Raum muß topographisch stark gegliedert sein. In ihm müßten Mittelgebirgsformen mit Flachland abwechseln. Breite und enge Täler sollten ihn aufteilen, Wasserflächen verschiedener Größe würden die Problemstellung bereichern. Ein Forschungsraum in dieser Art würde ein Nahziel sein, das heute im Zeitalter der Weltraumforschung mit ihrem kaum noch vorstellbaren Geldaufwand leicht verwirklicht werden könnte.

Es wäre vermessen, zu behaupten, in dem vorliegenden Bericht sei eine einwandfreie und vollständige Erfassung jenes Standortelementes, das wir im Begriff Klima zusammenfassen, gegeben worden. Das war noch nicht möglich, denn uns fehlen noch viel zu viel Einzelkenntnisse. Nachdem aber der Begriff des Geländemeteorologen und seiner Arbeitsaufgaben sich so machtvoll durchgesetzt hat, wird die einmal eingeschlagene Arbeitsrichtung nicht mehr verschwinden. Es wird sich Erkenntnis an Erkenntnis reihen, und wir werden die Zusammenhänge zwischen Klimatologie und Topographie immer klarer erkennen und auch verstehen (Topoklimatologie). Die kartographische Darstellung, die augenblicklich noch nicht alle Wünsche befriedigen kann, wird immer vollkommener werden. Gerade in dieser Richtung wird der Verfasser sich bemühen, selbst noch weiterzuarbeiten.

Trotz dieses hoffnungsvollen Ausblicks wollen wir aber nicht die Grenzen, die unserer Arbeit gesetzt sind, übersehen. Auch W. Rothkegel (148) hat angesichts seines gewaltigen Werks der landwirtschaftlichen Schätzungslehre auf die Erkenntnistheorie hingewiesen. Sie lehrt uns, daß die Menschen das Wesen der Dinge niemals selbst erkennen, wenn sie auch noch so viel beobachten und durch Wahrnehmungen die Dinge zu

enträtseln versuchen. Wir kommen nach dieser Theorie nie zu einem Abbild der Wirklichkeit, sondern durch Anwendung bestimmter Hilfsmittel versuchen wir, Ordnung in die Mannigfaltigkeit der Erscheinungen zu bringen. Vaihinger hat dies in seiner bekannten Philosophie des „Als Ob“ Kunstgriffe des Denkens genannt, wozu er die sogenannten „Fiktionen“ rechnet. Mit der Fiktion legen wir uns Dinge und Wahrnehmungen zwecks leichteren Verständnisses zurecht, wobei wir uns durchaus bewußt bleiben, daß die Wirklichkeit damit nicht erfaßt ist. Auch die Klassifikation der Lokalklimate nach Gunst oder Ungunst ist trotz ihrer praktischen Bedeutung bei richtiger Bewertung der Grenzen unseres Wissens letzten Endes ein fiktives Vorstellungsgebilde.

#### Dank an die Mitarbeiter

Eine Landesklimaaufnahme ist eine ausgesprochene Gemeinschaftsarbeit. Sie kann nur durch bereitwilliges verständnisvolles Zusammenwirken vieler Kräfte zustandekommen. Das gleiche gilt auch für die beschriebenen Erprobungsarbeiten. An ihnen waren beteiligt:

Herr Dipl.-Met. E. K a p s : 16. April 1954 bis 15. April 1955.

Durchführung und Verarbeitung der Geländearbeiten auf Grund des Meßtischblattes in der Rhön und in der Fränkischen Schweiz. Bearbeitung der in der Abhandlung besonders erwähnten Sonderthemen.

Herr F. W o j k o w s k y : 16. August bis 31. Oktober 1955.

Detailaufnahmen auf Grund der Flurkarte im Gelände südlich von Bad Kissingen und ihre Verarbeitung.

Herr M. W e i h e r : Herstellung der als Anlage beigefügten Diagramme und Karten.

Nur die Mithilfe der genannten Herren hat diese Monographie ermöglicht. Ihnen sage ich daher bei ihrem Abschluß meinen herzlichsten Dank.

#### Literatur

- (1) Knoch, K.: Angewandte Klimatologie als Förderer wirtschaftlicher Probleme. Z. angew. Meteor. 55 (1938) S. 39—48.
- (2) Knoch, K.: Erprobung der Methodik einer Landesklimaaufnahme. Forsch. u. Fortschr. 34 (1960) S. 353—358.
- (3) Knoch, K.: Methodische Erfahrungen zur Durchführung einer Landesklimaaufnahme. Z. Meteor. 15 (1961) S. 171—177.
- (4) Knoch, K.: Weltklimatologie und Heimatklimakunde. Meteor. Z. 59 (1942) S. 245—249.
- (5) Thornthwaite, C. W.: A charter for climatology. WMO Bulletin 2 (1953) S. 40—46.
- (6) Knoch, K.: Die Geländeklimatologie, ein wichtiger Zweig der angewandten Klimatologie. Ber. dt. Landeskd. 7 (1949) S. 115—123.
- (7) Knoch, K.: Über das Wesen einer Landesklimaaufnahme. Z. Meteor. 5 (1951) S. 173—177.
- (8) Knoch, K.: Plan einer Landesklimaaufnahme. Ber. Dt. Wetterd. US-Zone Nr. 32 (1952) S. 106 bis 108.
- (9) Knoch, K.: Geländeklimakarten. Forsch.- u. Sitz.-Ber. Akad. Raumforsch. Landesplan. 1 (1950) S. 4—5.
- (10) Troll, C.: Die geographische Landschaft und ihre Erforschung. Stud. Gen., Berlin, 3 (1950) S. 163 bis 181.
- (11) Pfaffen, K. H.: Zur Methodik ökologischer Landschaftsgliederungen. Forsch.- u. Sitz.-Ber. Akad. Raumforsch. Landesplan. 1 (1950) S. 15—19.
- (12) Boer, W.: Zum Begriff des Lokalklimas. Z. Meteor. 13 (1959) S. 5—11.
- (13) Meteor. Amt für Nordwestdeutschland: Bericht über die Tätigkeit in dem Jahrfünft 1945 bis 1949. Hamburg 1950.  
Deutscher Wetterdienst in der US-Zone: Der Wetterdienst in der US-Zone 1945—52. Bad Kissingen 1952.  
Deutscher Wetterdienst: Jahresberichte für die Jahre 1953—1961. Frankfurt a. M./Offenbach a. M. 1954—1962.
- (14) Die Agrarmeteorologen-Tagung in Frankfurt a. M. vom 14. bis 17. März 1955. Mitt. Dt. Wetterd. Nr. 14 (1955) S. 125—131.
- (15) Gothe, H.: Forstliche Klima-Aufnahmen — eine notwendige Ergänzung forstlicher Standortsaufnahmen. Allg. Forstz. 9 (1954) S. 316—318.

- (16) Dammann, W.: Klimatologische Feldmarkkartierung. Forsch.- u. Sitz.-Ber. Akad. Raumforsch. Landesplan. 1 (1950) S. 6—8. — Wasser und Boden 3 (1951) S. 169—170.
- (17) Kaempfert, W.: Sonnenstrahlung auf Ebene, Wand und Hang. Wiss. Abh. Reichsamt f. Wetterd. 9 (1942) Nr. 3.
- (18) Kaempfert, W.: Die solare Hangbestrahlung. Wiss. Arb. Dt. Meteor. Dienst Franz. Besatzungsgeb. Nr. 1 (1947) S. 74—79.
- (19) Kaempfert, W. u. Morgen, A.: Die Besonnung, Diagramme der solaren Bestrahlung verschiedener Lagen. Z. Meteor. 6 (1952) S. 138—146.
- (20) Morgen, A.: Der Trierer Geländebesonnungsmesser. Ber. Dt. Wetterd. US-Zone Nr. 42 (1952) S. 342—343.
- (21) Gräfe, K.: Strahlungsempfang vertikaler, ebener Flächen; Globalstrahlung von Hamburg. Ber. Dt. Wetterd. Nr. 29 (1956).
- (22) Geiger, R.: Das Klima der bodennahen Luftschicht. 4. Aufl. Braunschweig 1961.
- (23) Knoch, K.: Der Einfluß geringer Geländever-schiedenheiten auf die meteorologischen Elemente im norddeutschen Flachlande. Abh. Königl. Preuß. Meteor. Inst. 4 (1911) Nr. 3.
- (24) Kraus, G.: Boden und Klima auf kleinstem Raum. Versuch einer exakten Behandlung des Standorts auf dem Wellenkalk. Jena 1911.
- (25) Begriffsbestimmungen für Kurorte, Erholungs-orte und Heilbrunnen. Herausgeg. v. Dt. Bäder-verb. E. V. u. v. Bund Dt. Verkehrsverbände E. V. 1958.
- (26) Kratzer, A.: Das Stadtklima. 2. Aufl. Braun-schweig 1956.
- (27) Berger-Landefeldt, U.: Der Pflanzenklima-Meß-wagen. Geofis. pura e appl. 30 (1955) S. 195—204.
- (28) Knoch, K. u. Schulze, A.: Methoden der Klima-klassifikation. 2. Aufl. Gotha 1954.
- (29) Thiele, P.: Deutschlands landwirtschaftliche Kli-matographie. Bonn 1895.
- (30) Werth, E.: Die Klima- und Vegetationsbezirke Deutschlands. Jahresh. 1924 Phänolog. Reichs-dienst (1926) S. 327—338.
- (31) Alt, E.: Klimakunde von Mittel- und Südeuropa. In: Köppen-Geiger: Handbuch der Klimatologie. Berlin 1932. Bd. 3 Tl. M.
- (32) Wegener, R.: Die Klimaprovinzen in Deutschland. Das Wetter (1925) S. 281—285.
- (33) Hoffmeister, J.: Die Klimakreise (Mitteleuropa). In: Atlas des Deutschen Lebensraumes. Leipzig 1937.
- (34) Assmann, R.: Die Winde in Deutschland. Braun-schweig 1910.
- (35) Hellmann, G.: Luftruhe als Klimafaktor. Meteor. Z. 43 (1926) S. 348.
- (36) Hellmann, G., Elsner, G. von, Henze, H. u. Knoch, K.: Klima-Atlas von Deutschland. Berlin 1921.
- (37) Manig, M.: Karte der Windgeschwindigkeit für das westliche Deutschland. Ber. Dt. Wetterd. US-Zone Nr. 34 (1952).
- (38) World Meteorological Organization. Seventh Ses-sion of the Executive Committee, Geneva, 13th - 17th Mai 1955 = WMO No. 46. RC. 8.
- (39) Eimern, J. van: Zur Methodik der Geländeklima-aufnahme. Mitt. Dt. Wetterd. Nr. 14 (1955) S. 125—131.
- (40) Mäde, A.: Über die Methodik der meteorologi-schen Geländevermessung. Sitz.-Ber. Dt. Akad. d. Landwirtsch.-Wiss. Berlin 5 (1956) H. 5.
- (41) Burckhardt, H.: Ausrüstung, Aufgaben und Ar-beitsweise des Meßzuges Neustadt. Mitt. Dt. Wetterd. Nr. 14 (1955) S. 134—147.
- (42) Scultetus, H. R.: Ausrüstung und Arbeitsweise des Windschutzmeßzuges Nordrhein-Westfalen. Mitt. Dt. Wetterd. Nr. 14 (1955) S. 148—153.
- (43) Eimern, J. van: Über Schwankungen der Wind-schutzwirkung von Hecken und Baumreihen. Meteor. Rdsch. 8 (1955) S. 122—127.
- (44) Caspar, W.: Kritische Bemerkungen zur Städte-planung. Ms. 1946.
- (45) Quarles van Ufford, L. H.: L'héliochronomètre. Bull. Soc. Vaud. Sci. Nat. 45 (1909) Nr. 167, S. 463—467.
- (46) Mercanton, P. L.: Zur Frage der Messung der möglichen Sonnenscheindauer (Insolation) eines Ortes. Meteor. Z. 51 (1934) S. 62—64.
- (47) Schmidt, W.: Der Tagbogenmesser, ein Gerät zum Verfolgen der Bahn der Sonne am Himmel. Meteor. Z. 50 (1933) S. 328—331.
- (48) Thams, J. C. u. Zenone, E.: Über Sonnenschein-dauer und Globalstrahlung auf der Magadino-ebene, unter besonderer Berücksichtigung des Tabakanbaues. Landwirtsch. Jb. der Schweiz 1 (1952) S. 139—180. (Enthält auf S. 155—157 eine Beschreibung des Davoser Tagbogenmessers von H. Wierzejewski.)
- (49) Schüepp, M.: Bestimmung der möglichen Sonnen-scheindauer mit dem Wild-Theodoliten T 12. Ann. Schweiz. Meteor. Zentralanst. 88 (1951) Anh. Nr. 7.
- (50) Wierzejewski, H.: Der Tagbogenmesser Mod. II. 1953. Ms. d. Physik. Meteor. Observat. Davos.
- (51) Becker-Freyseng, A.: Besonnung von Grundstük-ken. Ein photographisches Verfahren zur Mes-sung der Besonnungsverhältnisse bei unregel-mäßig verlaufener Horizontlinie. Dt. Bauztg. Stuttgart, 56 (1951) H. 5.
- (52) Tonne, F.: Besser bauen mit Besonnungs- und Tageslichtplanung. Stuttgart 1954.
- (53) Sturm, F.: Besonnungswertpläne. Der Ausbau, Wien, 5 (1950) S. 39—42.
- (54) Thams, J. C.: Zur Bestimmung der Sonnenschein-dauer in einem stark kupierten Gelände. Arch. Meteor. Geophys. Bioklimat. B 6 (1955) S. 417 bis 430.
- (55) Weger, N.: Zur Methodik der Klimakartierung im Weinbau. Mitt. Dt. Wetterd. Nr. 14 (1955) S. 132 bis 133.
- (56) Morgen, A.: Die Besonnung und ihre Verminde-rung durch Horizontbegrenzung. Veröff. Meteor. Hydrol. Dienst DDR Nr. 12 (1957).

- (57) Kaps, E.: Zur Frage der Durchlüftung von Tälern im Mittelgebirge. Meteor. Rdsch. 8 (1955) S. 61 bis 65.
- (58) Georgii, H.-W.: Untersuchung über die Durchmischung bodennaher Luft in Mulden. Diss. Frankfurt a. M. 1955.
- (59) Pfeiffer, H.: Klein-aerologische Untersuchungen am Collmburg. Veröff. Geophys. Inst. Leipzig 11 (1938) H. 5.
- (60) Thauer, W.: Neue Methoden der Berechnung und Darstellung der Reliefenergie. Petermanns geogr. Mitt. 99 (1955) S. 8—13. (Hinweise auf die einschlägige Literatur).
- (61) Ellenberg, H.: Naturgemäße Anbauplanung, Melioration und Landespflege. Stuttgart 1954. S. 79.
- (62) Lehmann, P.: Über Abkühlung und Erwärmung im nächtlichen Kaltluftfluß. Ber. Dt. Wetterd. US-Zone Nr. 38 (1952) S. 113—116.
- (63) Steinhauser, F.: Über die Windverstärkung an Gebirgszügen. Arch. Meteor. Geophys. Bioklimat. B 2 (1951) S. 39—64.
- (64) Eimern, J. van: Über eine Windbeeinflussung durch die Randhöhen des Elbtales bei Hamburg. Meteor. Rdsch. 8 (1955) S. 97—99.
- (65) Früh, J.: Die Abbildung der vorherrschenden Winde durch das Pflanzenkleid. Jb. Geogr. Ethnogr. Ges. Zürich 1901/02.
- (66) Weischet, W.: Die Baumneigung als Hilfsmittel zur geographischen Bestimmung der klimatischen Windverhältnisse. Erdkunde 5 (1951) S. 221—227.
- (67) Weischet, W.: Die Geländeklimate der Niederrheinischen Bucht und ihrer Rahmenlandschaften. Eine geographische Analyse subregionaler Klimadifferenzierungen. Münchner Geogr. H. (1955) H. 8.
- (68) Weischet, W.: Bestimmung subregionaler Ventilationsunterschiede mit Hilfe der Windwirkung auf Bäume (Zusammenfassung). Ann. Meteor. 7 (1955/56) S. 119.
- (69) Runge, F.: Windgeformte Bäume und Sträucher und die von ihnen angezeigte Windrichtung auf Terschelling. Meteor. Rdsch. 8 (1955) S. 177—179.
- (70) Grosse, B.: Untersuchungen über die Winderosion in Niedersachsen unter besonderer Berücksichtigung der Cloppenburger Geest und des Hümmlings. Forsch.- u. Sitz.-Ber. Akad. Raumforsch. Landesplan. 2 (1951) S. 180—250.
- (71) Flegel, R.: Die Verbreitung der Bodenerosion in der DDR. Bodenkunde und Bodenkultur 6 (1958).
- (72) Weger, N.: Prüfung des Kugelpyranometers nach Bellani. Mitt. Dt. Wetterd. Nr. 14 (1955) S. 182 bis 184.
- (73) Precht, H., Christophersen, J. u. Hensel, H.: Temperatur und Leben. Berlin 1955.
- (74) Uhlig, S.: Beispiel einer kleinklimatologischen Geländeuntersuchung. Z. Meteor. 8 (1954) S. 66 bis 75.
- (75) Burckhardt, H.: Probleme und Möglichkeiten zur Kartierung der Frostgefährdung. Meteor. Rdsch. 9 (1956) S. 92—98.
- (76) Burckhardt, H.: Vorläufige Richtlinien für die Kartierung der Frostgefährdung durch Dienststellen des Deutschen Wetterdienstes. Meteor. Rdsch. 13 (1960) S. 158—159.
- (77) Vaupel, A.: Advektivfrost und Strahlungsfrost. Mitt. Dt. Wetterd. Nr. 17 (1959).
- (78) Bolz, H. M.: Der Einfluß der infraroten Strahlung auf das Mikroklima. Abh. Meteor. Hydrol. Dienst DDR Nr. 7 (1951).
- (79) Schüepp, W.: Frostverteilung und Kartoffelanbau in den Alpen auf Grund von Untersuchungen in der Landschaft Davos. Schr. Phys. Meteor. Observat. Davos (1947).
- (80) Schnelle, F.: Kleinklimatische Geländeaufnahme am Beispiel der Frostschäden im Obstbau. Ber. Dt. Wetterd. US-Zone Nr. 12 (1950) S. 99—104.
- (81) Sauberer, F.: Über die Strahlungsbilanz verschiedener Oberflächen und deren Messung. Wetter u. Leben 8 (1956) S. 12—16.
- (82) Tichy, F.: An den Grenzen des Weinbaus innerhalb der Pfalz. Mitt. d. Pollichia, Bad Dürkheim (1954) 3. R., 2. Bd.
- (83) Weise, R.: Über die Rebe als Klima-Kriterium. Ber. Dt. Wetterd. US-Zone Nr. 12 (1950) S. 121 bis 123.
- (84) Koch, H. G.: Die warme Hangzone. Z. Meteor. 15 (1961) S. 151—171.
- (85) Schöne, V.: Geländeklimatische Untersuchungen im Forschungsraum Huy-Hakel der Deutschen Akademie der Landwirtschaftswissenschaften. Angew. Meteor. 3 (1957—1960) S. 129—135.
- (86) Caspar, W.: Verfahren zur Berechnung der Gradtagzahlen einzelner Winter und Monate. Heiz. Lüft. Haustechn. 1 (1950) S. 31—33.
- (87) Schirmer, H.: Mittlere Jahressummen des Niederschlags (mm) für das Gebiet der Bundesrepublik. Zeitraum 1891—1930. Maßstab 1 : 200 000. Bad Kissingen 1955.
- (88) Seilkopf, H.: Die räumliche und zeitliche Aufeinanderfolge von Schauern. Ann. Hydr. 58 (1930) S. 1—10.
- (89) Schirmer, H.: Die räumliche Struktur der Niederschlagsverteilung in Mittelfranken. Forsch. dt. Landeskd. 81 (1955). — Ders.: Schauer bevorzugen bestimmte Straßen. Umschau 54 (1954) S. 74 bis 75.
- (90) Gegenwart, W.: Die ergiebigen Stark- und Dauerregen im Rhein-Main-Gebiet und die Gefährdung der landwirtschaftlichen Nutzflächen durch die Bodenerosion. Rhein-Mainische Forsch. (1952) Nr. 36.
- (91) Grunow, J.: Probleme der Niederschlagserfassung und ihre Bedeutung für die Wirtschaft. Meteor. Rdsch. 9 (1956) S. 62—68.
- (92) Kuron, H.: Die Bodenerosion und ihre Bekämpfung in Deutschland. Kulturtechniker 44 (1941) S. 78—102.
- (93) Hempel, L.: Beobachtungen über die Empfindlichkeit von Ackerböden gegenüber der Bodenerosion. Z. Pflanzenernähr. 64 (1954) S. 42—54.
- (94) Große, B.: Die Bodenerosion in Westdeutschland. Mitt. Inst. Raumforsch. (1955) H. 11.
- (95) Heigel, K.: Über den Einfluß von Exposition und Bewuchs auf die Erdbodentemperaturen. Mitt. Dt. Wetterd. Nr. 22 (1960).
- (96) Uhlig, S.: Netzmäßige agrarmeteorologische Beobachtungen. Mitt. Dt. Wetterd. Nr. 14 (1955) S. 159—167.

- (97) Pfau, R.: Statistische Bearbeitung von Bodenfeuchtigkeitswerten. Ber. Dt. Wetterd. Nr. 46 (1958).
- (98) Rettig, H.: Darstellung und Verwertung der Ergebnisse der Bodenfeuchtigkeitsmessungen . . . Meteor. Rdsch. 11 (1958) S. 47—51.
- (99) Helbig, M.: Die Verdunstung des Wassers aus dem Boden. In: E. Blanck: Handbuch der Bodenlehre. Berlin 1930. S. 221—253.
- (100) Roemer-Scheffer: Lehrbuch des Ackerbaues. 5. Aufl. Berlin 1959.
- (101) Baumann, H.: Witterungslehre für die Landwirtschaft. Berlin 1961.
- (102) Thornthwaite, C. W. and Mather, J. R.: The role of evapotranspiration in climate. Arch. Meteor. Geophys. Bioklimat. B 3 (1951) S. 16—39.
- (103) Mather, J. R.: The measurement of potential evapotranspiration. Publ. Climat., Seabrook N. J., 7 (1954) No. 1, S. 1—225.
- (104) Haude, W.: Zur praktischen Bestimmung der aktuellen und potentiellen Evaporation und Evapotranspiration. Mitt. Dt. Wetterd. Nr. 8 (1954).
- (105) Brasse, U.: Die Beeinflussung des Bodenklimas durch Windschutz. Diss. Gießen 1954.
- (106) Schnelle, F.: Pflanzen-Phänologie. Leipzig 1955.
- (107) Berg, H.: Bedeutung und Grenzen der Phänologie für die Klimatologie. Ber. Dt. Wetterd. US-Zone Nr. 42 (1952) S. 358—361.
- (108) Aichele, H.: Die Beeinflussung des Pflanzenwachstums durch das Kleinklima in süddeutschen Mittelgebirgslagen. Diss. Hohenheim 1956.
- (109) Simonis, R.: Modifizierung phänologischer Daten durch lokalklimatische Sonderverhältnisse. Angew. Meteor. 3 (1960) S. 339—345.
- (110) Rosenberg, F.: Grundzüge der Phänologie. Wien 1951.
- (111) Uhlig, S.: Die Phänologie als Hilfsmittel bei der kleinklimatischen Geländeaufnahme. Ber. Dt. Wetterd. US-Zone 42 (1952) S. 238—243.
- (112) Ellenberg, H. u. Zeller, O.: Die Pflanzenstandortkarte, am Beispiel des Kreises Leonberg. Forsch.- u. Sitz.-Ber. Akad. Raumforsch. Landesplan. 2 (1951) S. 11—49.
- (113) Band, G.: Phänologische Daten als Ausdruck klimatischer Wirkungen. Abh. Meteor. Hydrolog. Dienst DDR Nr. 48 (1959).
- (114) Schmithüsen, J.: Das Klimaxproblem vom Standpunkt der Landschaftsforschung aus betrachtet. Mitt. Florist.-soziol. Arb.-Gemeinsch. (1950) N. F. H. 2. S. 176—182.
- (115) Ehwald, E.: Vergleichende Forstklimatologie des Thüringer Gebirges und benachbarter Mittelgebirge. Wiss. Abh. Dt. Akad. d. Landwirtschaftswiss. Berlin. Nr. 11 (1956).
- (116) Junghans, H.: Klimaaufnahmen für forstliche Zwecke. Wiss. Z. Techn. Hochsch. Dresden 7 (1957/58) S. 1291—1308.
- (117) Amelung, W. u. Pfeiffer, C. A.: Die Einwirkungen des Waldklimas auf den Menschen. Klin. Wochenschr. 24/25 (1946/47) S. 563—566.
- (118) Hornsmann, E.: Allen hilft der Wald. Seine Wohlfahrtswirkungen. München 1958.
- (119) Rothkegel, W.: Grundriß der forstlichen Schätzungslehre. Berlin 1949.
- (120) Koch, H. G.: Durchmesserzuwacherhebungen an Waldbäumen zum Nachweis von Geländeklimaeinflüssen. Arch. Forstwesen 5 (1956) S. 673—689. — Ders.: Der Holzzuwachs der Waldbäume in verschiedenen Höhenlagen Thüringens in Abhängigkeit von Niederschlag und Temperatur. Arch. Forstwesen 7 (1958) S. 27—49.
- (121) Aulitzky, H.: Waldbaulich-ökologische Fragen an der Waldgrenze. Centralbl. ges. Forstwesen 75 (1958) S. 18—33.
- (122) Turner, H.: Über das Licht- und Strahlungsklima einer Hanglage der Ötztaler Alpen bei Obergurgl und seine Auswirkung auf das Mikroklima und auf die Vegetation. Arch. Meteor. Geophys. Bioklimat. B 8 (1958) S. 273—325.
- (123) Schnelle, F.: Einführung in die Probleme der Agrarmeteorologie. Stuttgart 1948.
- (124) Kreutz, W.: Der Windschutz, Windschutzmethodik, Klima und Bodenertrag. Dortmund 1952.
- (125) Franken, E. u. Kaps, E.: Windschutzuntersuchung Emsland 1955. Ber. Dt. Wetterd. Nr. 33 (1957). — Landwirtschaftskammer Weser-Ems: Aufgabe und Wirkung von Windschutzanlagen. (1959) H. 4.
- (126) Hesse, W.: Die physikalisch-meteorologischen Bedingungen im Luv und Lee von Waldstreifen und feldschützenden Hecken. Wiss. Z. Karl-Marx-Univ. Leipzig (1954/55) S. 153—161.
- (127) Bauer, A. F.: Zum praktischen Windschutz als landwirtschaftliche Boden- und Klimamelioration. Wasserwirtsch. Wassertechn. 10 (1960) S. 39—41.
- (128) Haeuser, J.: Die Schneenot des Frankenwaldes. Z. „Frankenwald“ (1932).
- (129) Bjalobsheski, G. W.: Schnee und Eis. Berlin 1954. S. 34.
- (130) Forschungsarbeiten aus dem Straßenwesen. Bielefeld (1949) N. F., H. 6, S. 21.
- (131) Kreutz, W. u. Walter, W.: Der Strömungsverlauf sowie die Erosionsvorgänge und Schneeablagerungen an künstlichen Windschirmen nach Untersuchungen im Windkanal. Ein Beitrag zur Windschutzfrage. Ber. Dt. Wetterd. Nr. 24 (1956).
- (132) Kreeb, K. H.: Phänologische Untersuchungen auf kleinem Raum. Diss. Stuttgart 1953.
- (133) Kaiser, H.: Schneeverwehungen an Windschutzanlagen, eine Gefahr für Felder und Wege? Umschau 60 (1960) S. 33—36.
- (134) Ungeheuer, H.: Die klimatischen Eigenschaften des Gebirges. Arch. phys. Therap. 6 (1954) S. 189 bis 194.
- (135) Hellpach, W.: Die Umwelt einer Heilkur. Schriftenr. Dt. Bäderverb. (1954) H. 11, S. 39—58.
- (136) Knoch, K.: Kurortklimatologie. Schriftenr. Dt. Bäderverb. (1953) H. 9, S. 86—93.
- (137) Knoch, K.: Problematik und Probleme der Kurortklimaforschung als Grundlage der Klimatherapie. Mitt. Dt. Wetterd. Nr. 30 (1962).
- (138) Mrose, H.: Die Spurenstoffe in der Luft und ihre Bedeutung für Bioklimatologie und Medizin. Abh. phys. Therap. 1 (1954) S. 140—147.

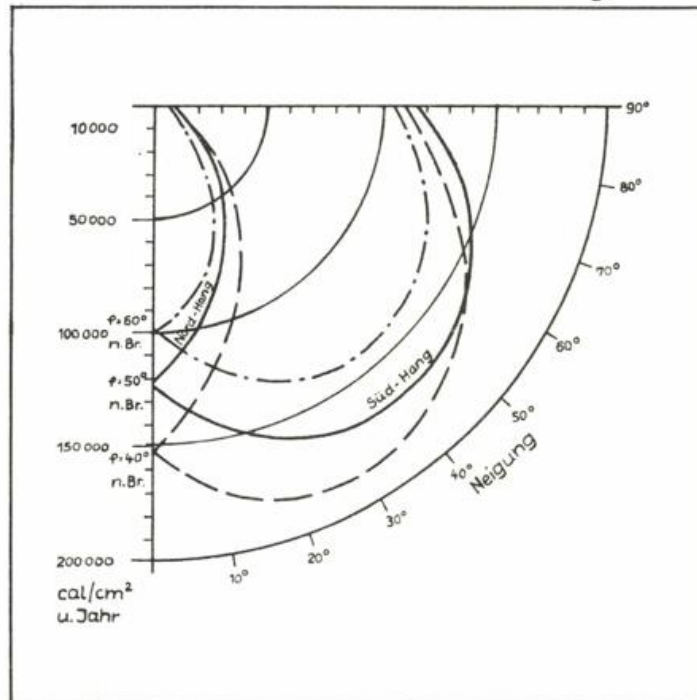
- (139) Reiter, R.: Einflüsse meteorologischer Feinvorgänge auf das Verhalten luftelektrischer Größen in verschiedenen Höhenstufen. Meteor. Rdsch. 8 (1955) S. 127—133, 148—165.
- (140) Reifferscheid, H.: Zum Keimgehalt der Luft. Ann. Meteor. 5 (1952) S. 363—367.
- (141) Gregory, P. H.: Aerobiologie des freien Luft- raums. Endeavour 19 (1960) S. 223—228.
- (142) Flach, E.: Methoden und Ergebnisse lufthygienischer Untersuchungen. In: K. H. Walther: Lehrbuch der Hygiene. Berlin 1954. S. 419—450.
- (143) Aujetzky, L.: Kleinklima und Schallklima. Forsch. u. Fortsch. 14 (1938) S. 413—415.
- (144) Scheid, G.: Untersuchungen über die Schallausbreitung auf nahe Entfernungen. Ber. Dt. Wetterd. Nr. 25 (1956).
- (145) Ertel, H.: Ein Problem der meteorologischen Akustik. Sitz.-Ber. Dt. Akad. Wiss. Berlin, Kl. Math., Phys. u. Techn. Nr. 2 (1955).
- (146) Fränz, K. u. Lassen, H.: Antennen und Ausbreitung. 7. Aufl. Berlin 1956.
- (147) Hellpach, W.: Geogramme: Eine bioklimatische, besonders auch kurwesentliche Aufgabe. Bioklim. Beibl. 7 (1940) S. 17—28.
- (148) Rothkegel, W.: Landwirtschaftliche Schätzungslehre. 2. Aufl. Stuttgart 1952.
- (149) Gregor, A.: Ein Behelf zur Klassifikation des Expositionsklimas. Wetter u. Leben 7 (1955) S. 275—276.
- (150) Supan, A. u. Obst, E.: Grundzüge der Physischen Erdkunde, 7. Aufl. Berlin-Leipzig 1930.
- (151) Reichel, E.: Die Klimaunterlagen für die Reichsbodenschätzung und ihre Anwendung. Z. angew. Meteor. 55 (1938) S. 69—82, 105—109.
- (152) Reinhard, H.: Karten zur Klimabewertung bei der Bodenschätzung in Mecklenburg. Angew. Meteor. 1 (1951) S. 2—14.
- (153) Morgen, H.: Die Bodenklimazahlen und ihre Bedeutung für Raumforschung und Landesplanung. Inform. Inst. Raumforsch. Bonn, Nr. 15 (1956) S. 377—387.
- (154) Weischet, W.: Die räumliche Differenzierung klimatologischer Betrachtungsweisen. Ein Vorschlag zur Gliederung der Klimatologie und zu ihrer Nomenklatur. Erdkunde 10 (1956) S. 109—122.
- (155) Mückenhausen, E.: Stellung zur Pflanzenstandortskarte. Umschautdienst Akad. Raumforsch. Landesplan. (1954) H. 3, S. 60.

# Besonnungsmesser Morgen-Leiss

Vorderansicht



## Einfluß der Breitenänderung



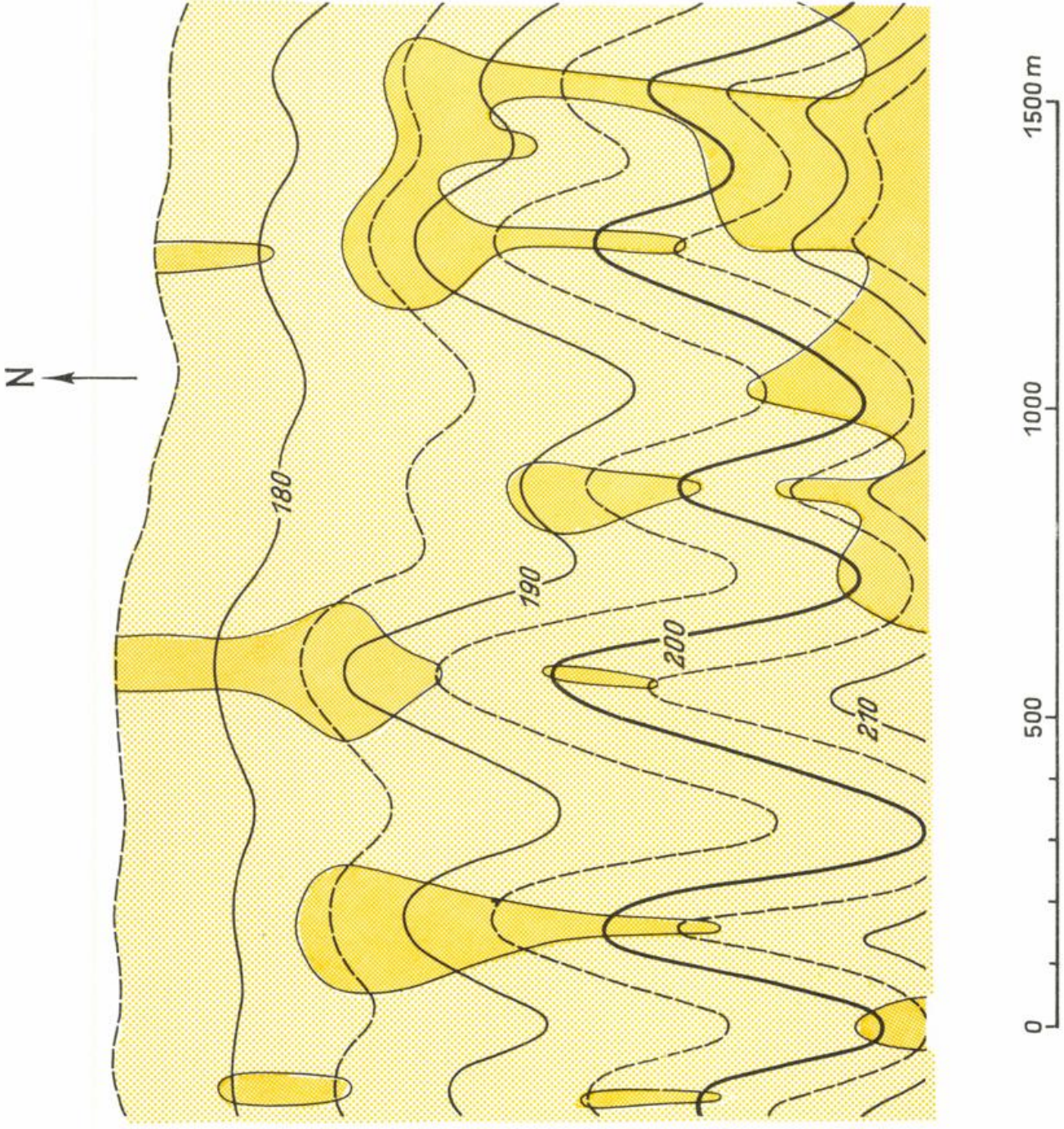
*Welliges Gelände mit  
schwachem Gefälle  
nach Norden*

*Geringere Besonnungs-  
größen auf den nord-  
exponierten kleinen  
Rücken*

*Besonnungszahlen  
Jahr*

120-130 kcal/cm<sup>2</sup>

110-120 kcal/cm<sup>2</sup>

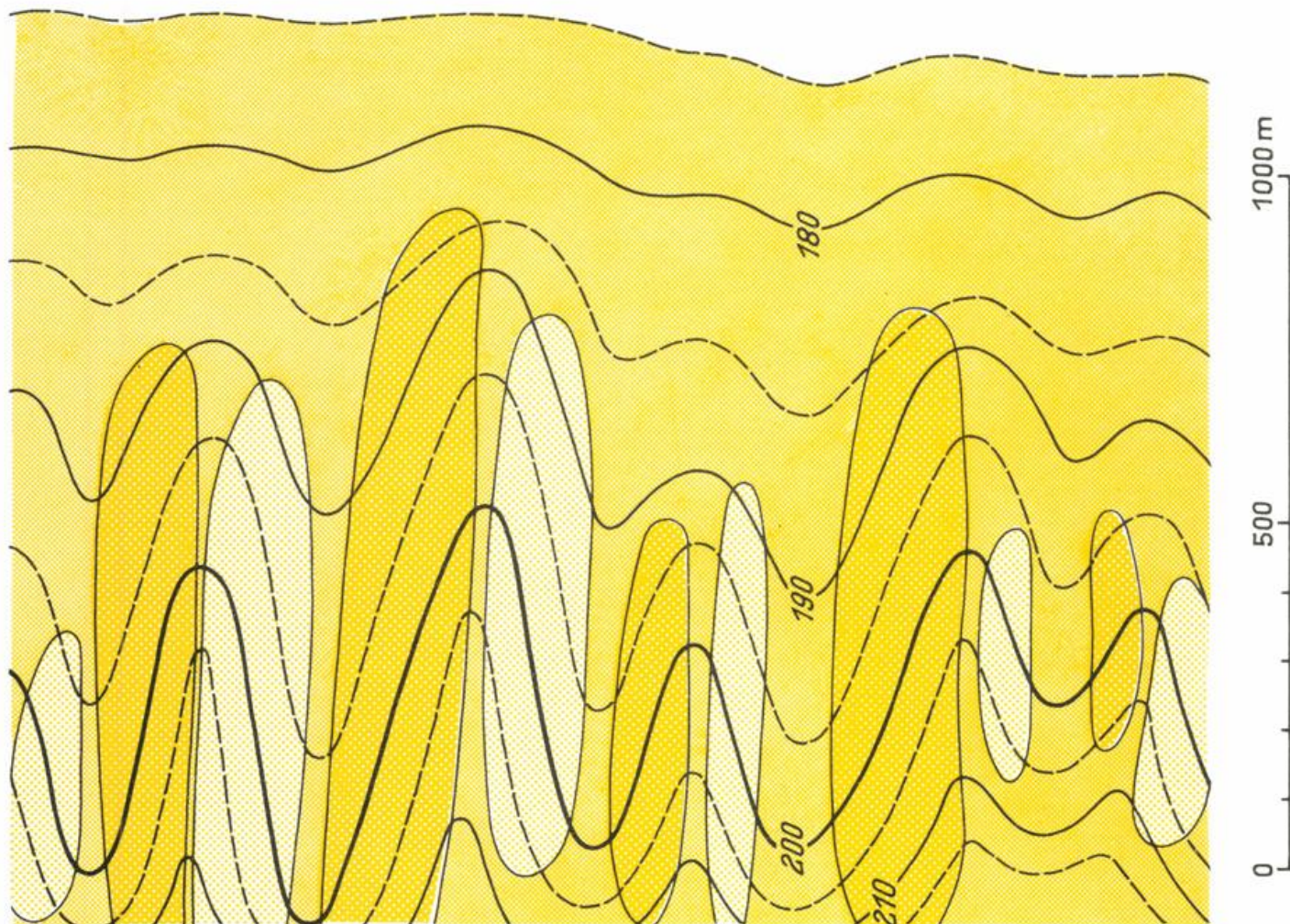


0 500 1000 1500 m

*Welliges Gelände mit  
schwachem Gefälle  
nach Osten*

*Geringe, für die Land-  
wirtschaft noch unbe-  
deutende Besonnungs-  
unterschiede zwischen  
den NNE- u. SSE-Hängen.*

*Besonnungszahlen  
Jahr*



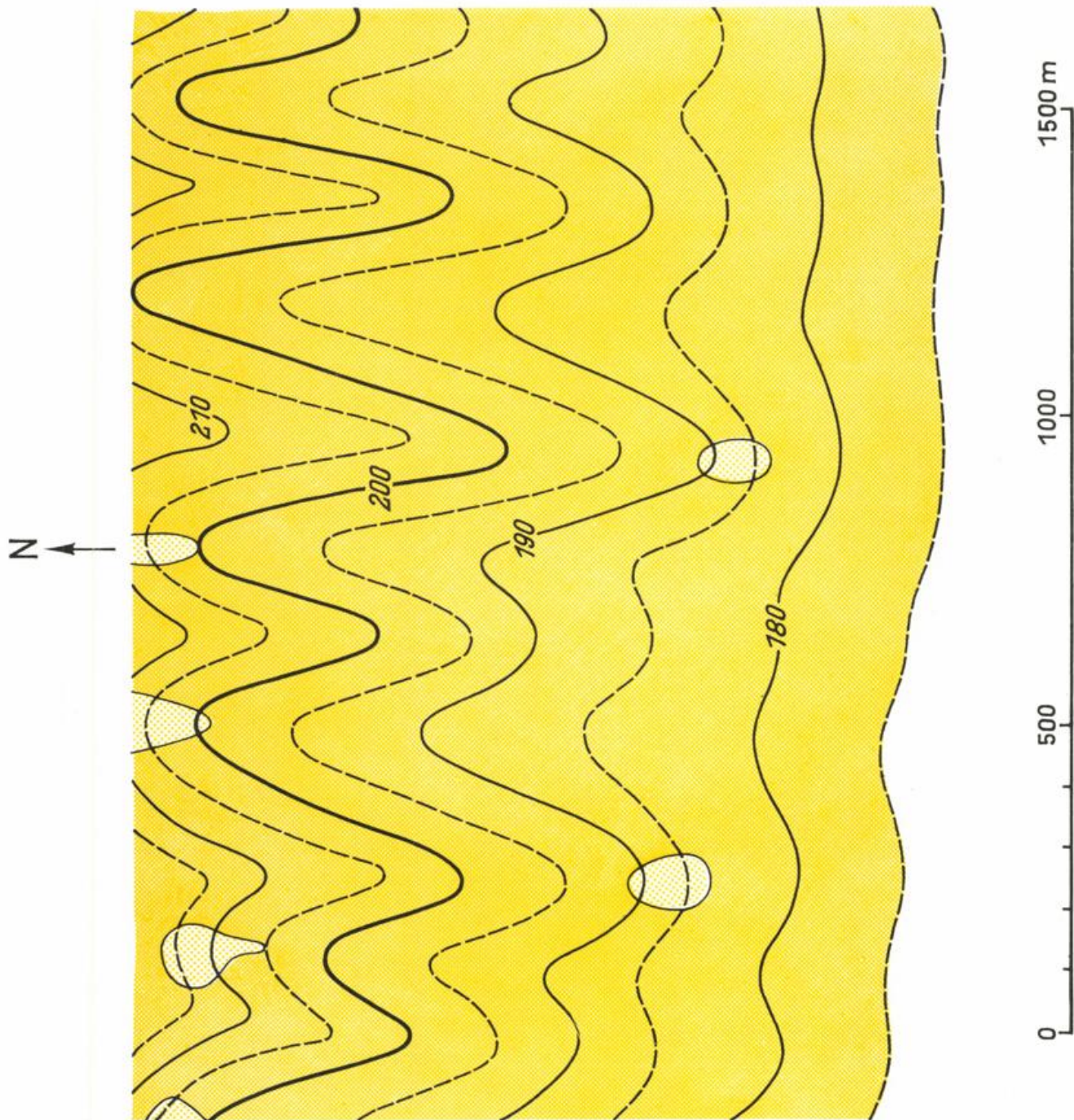
Welliges Gelände mit  
schwachem Gefälle  
nach Süden

Keine merklichen  
Unterschiede in  
der Besonnung

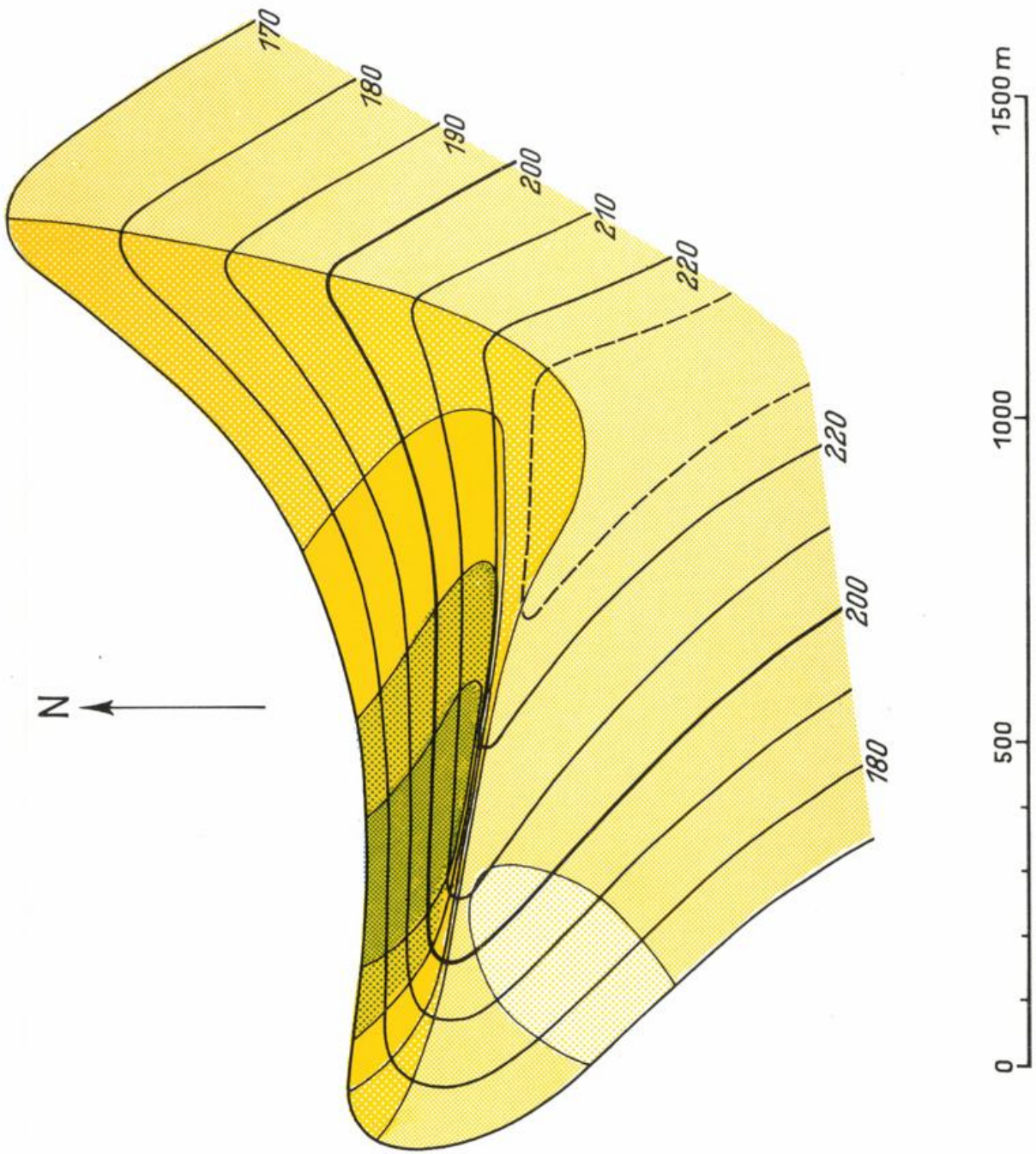
Besonnungszahlen  
Jahr

130-140 kcal/cm<sup>2</sup>

120-130 kcal/cm<sup>2</sup>

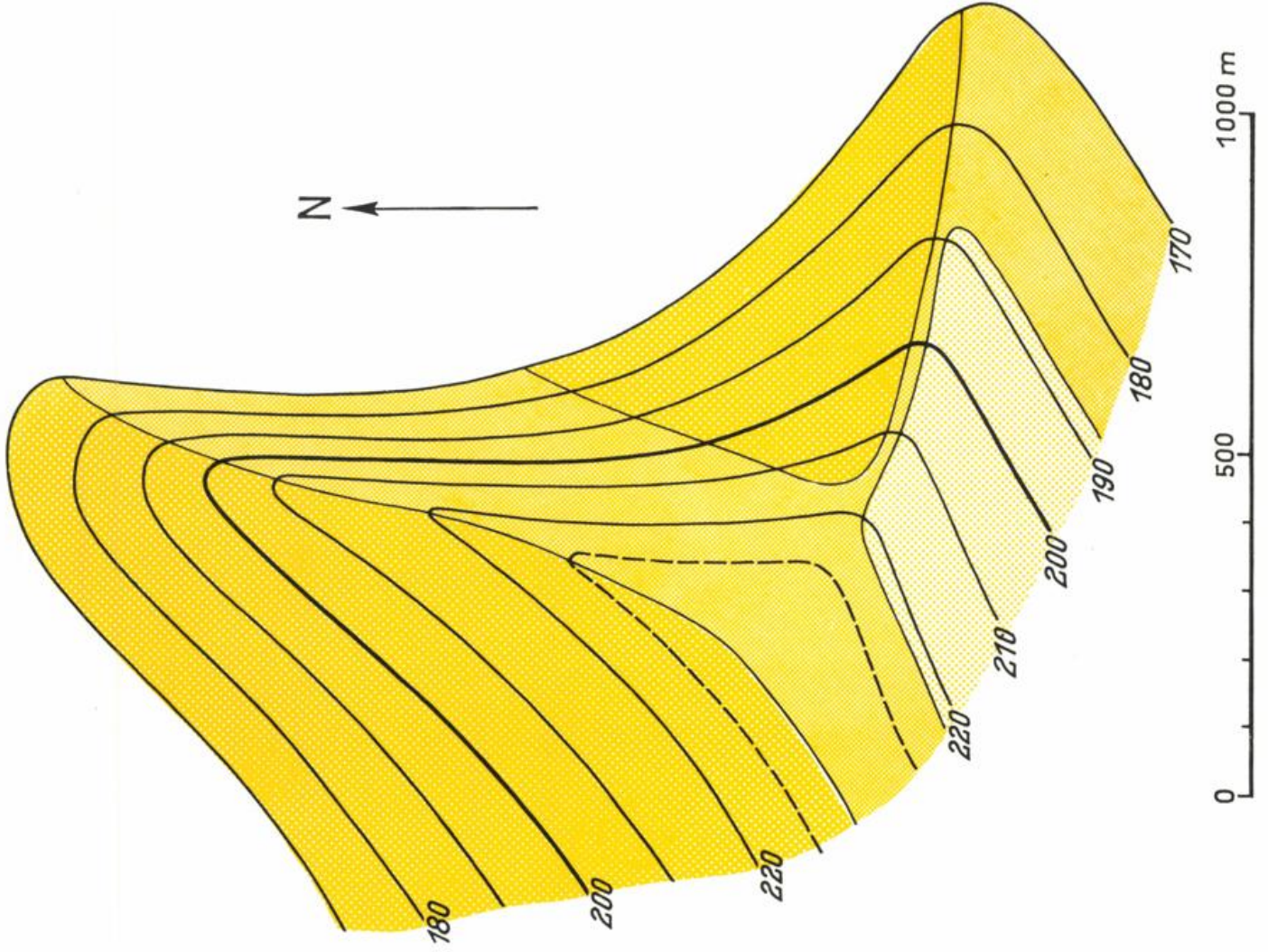


Steilhang  
nach  
Norden exponiert

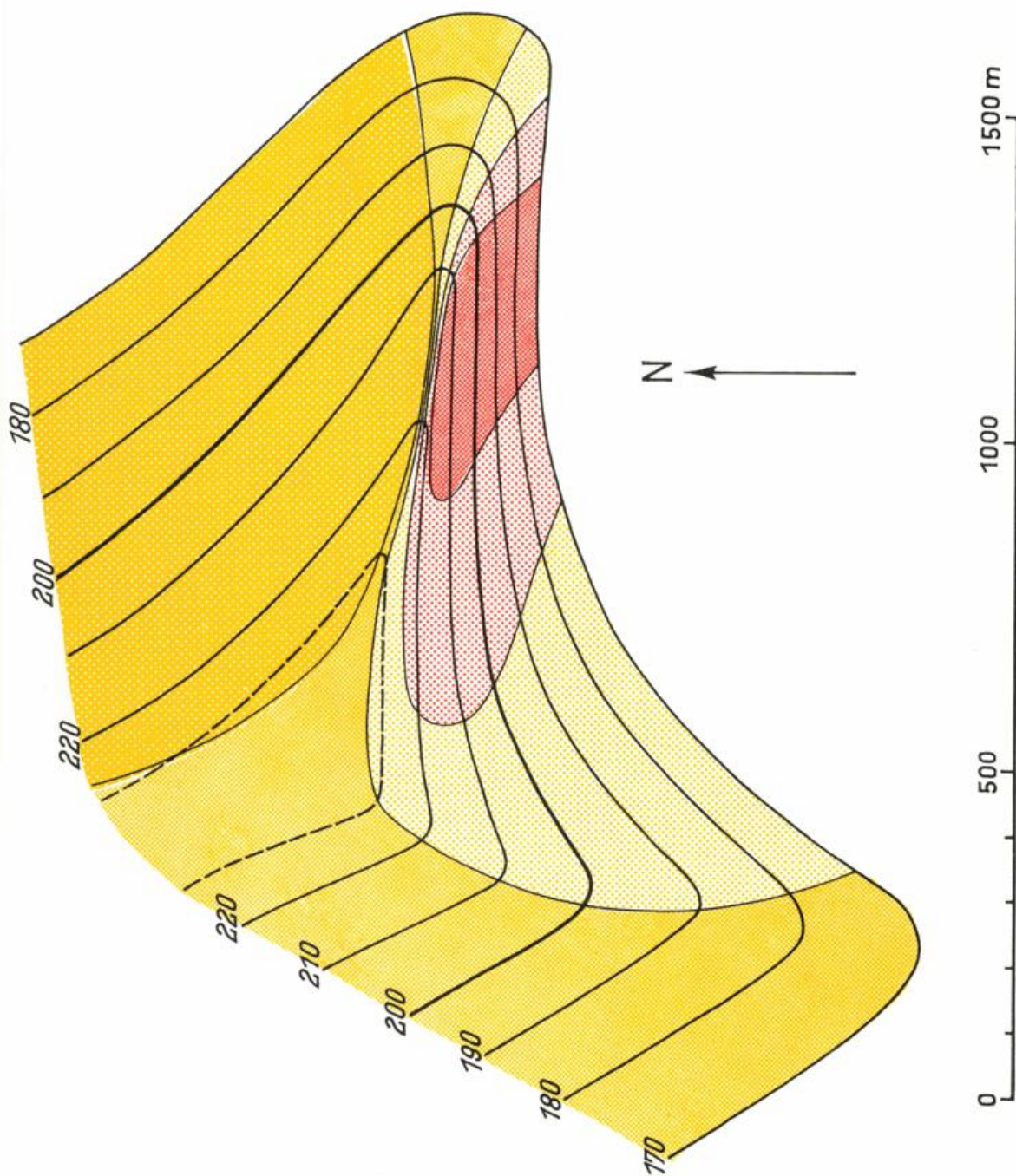
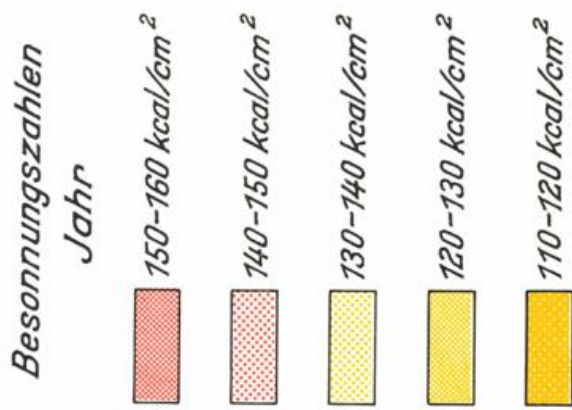


*Steilhang  
nach  
Osten exponiert*

*Besonnungszahlen  
Jahr*

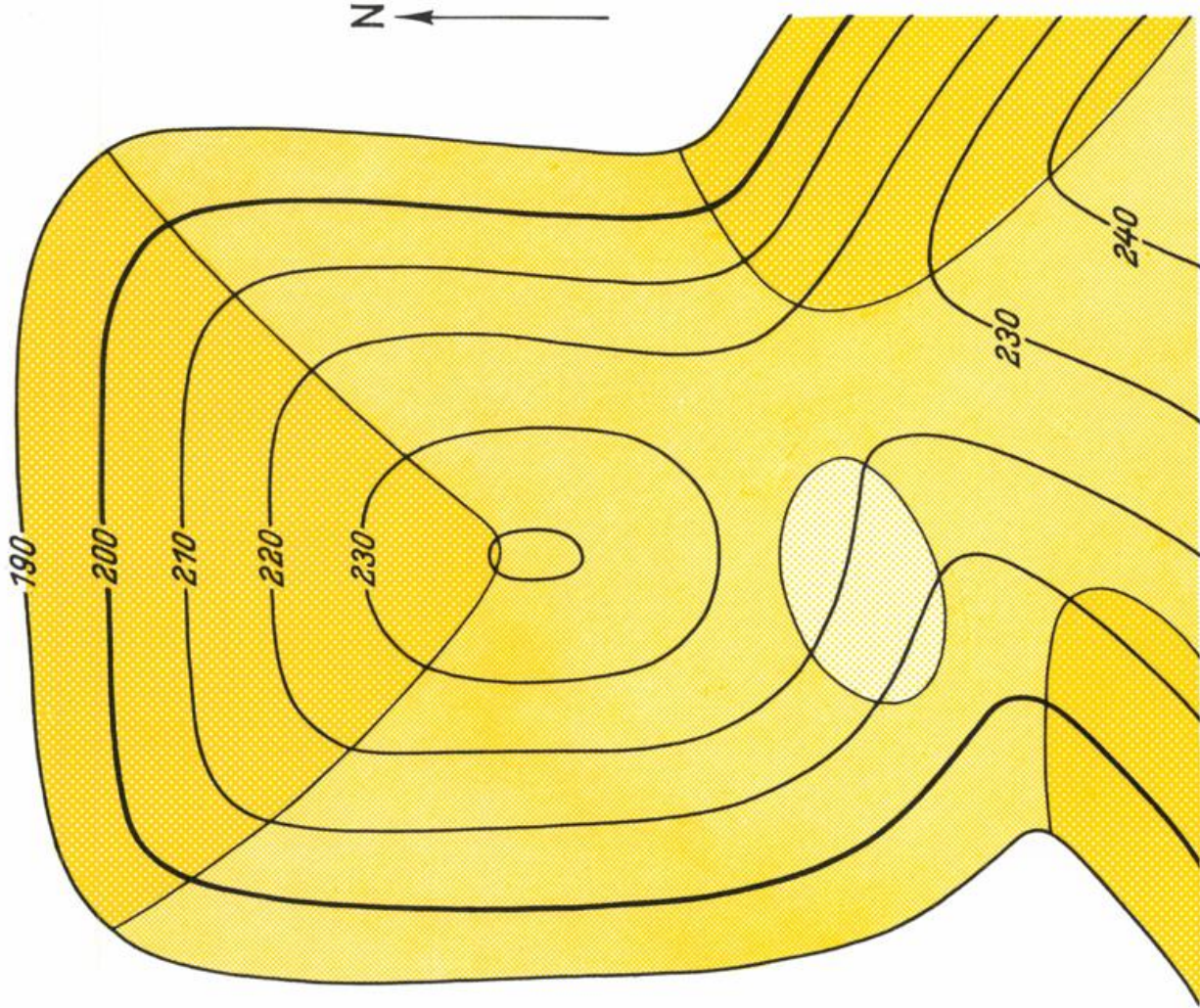


Steilhang  
nach  
Süden exponiert



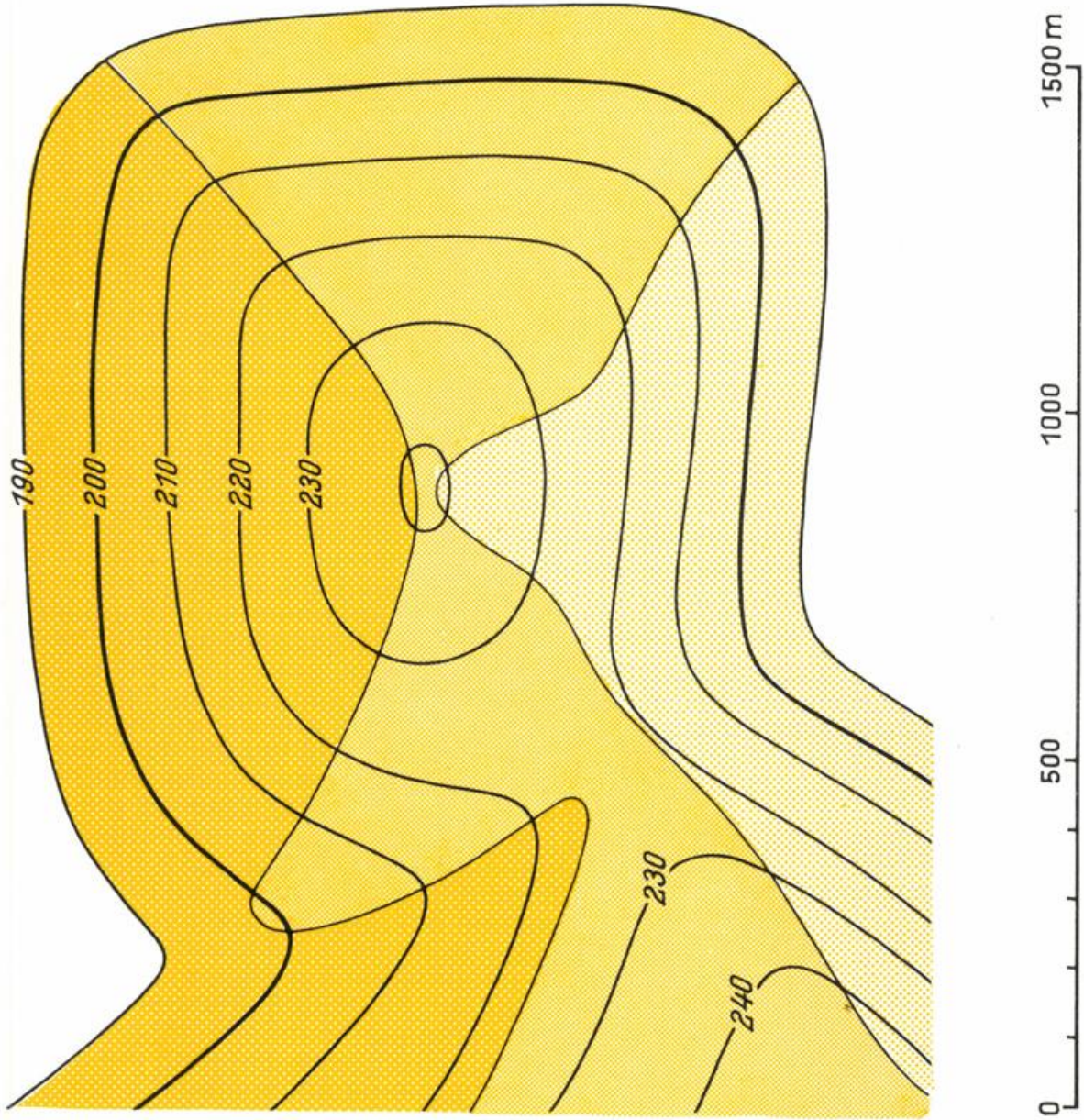
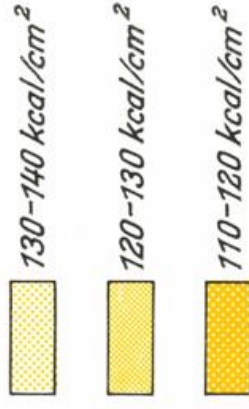
*Bergkuppe mit  
einer ungefähren  
Steigung von 1:10  
Beachte die Veränderung  
der Besonnung bei  
anderer Lage*

*Besonnungszahlen  
Jahr*



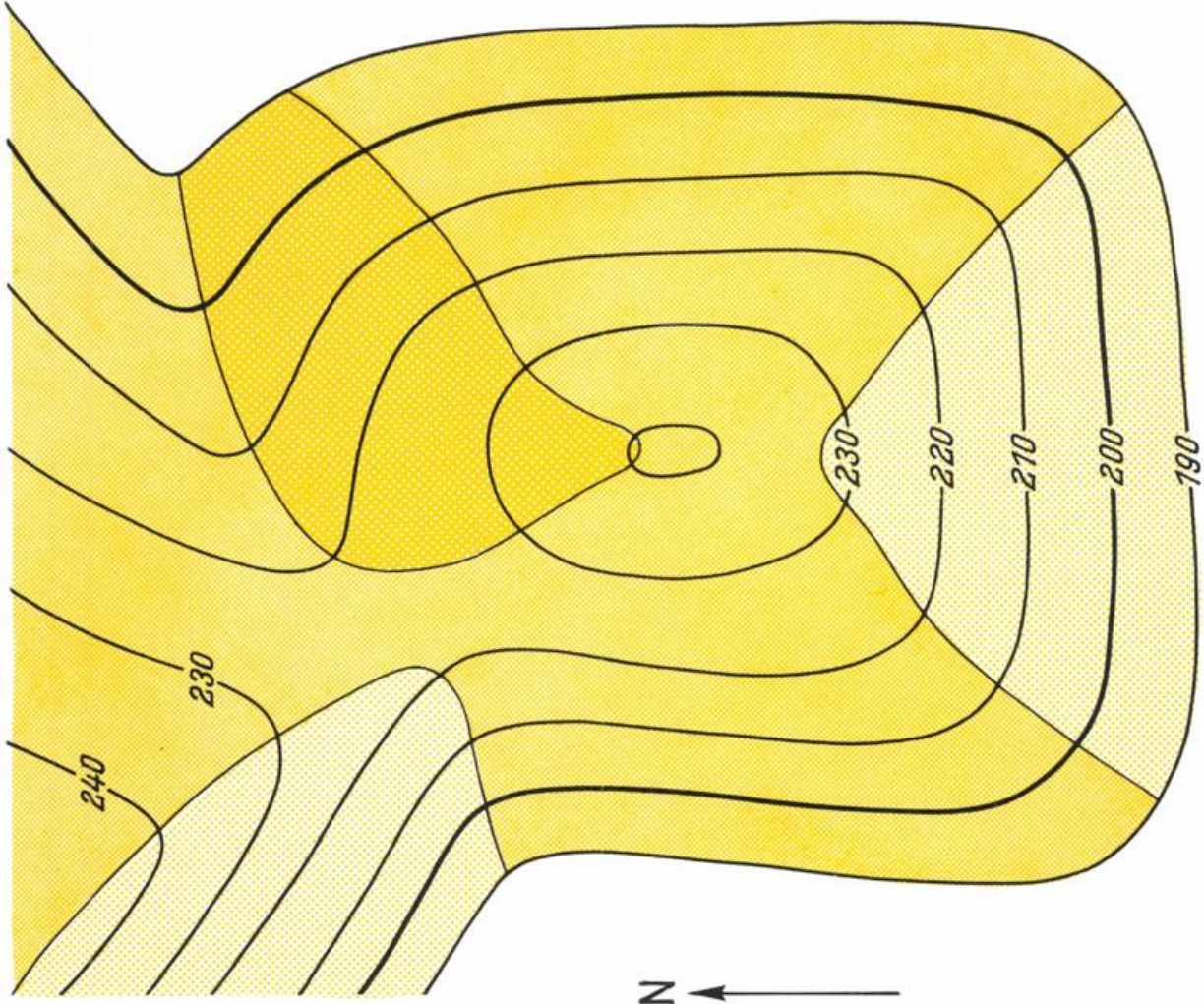
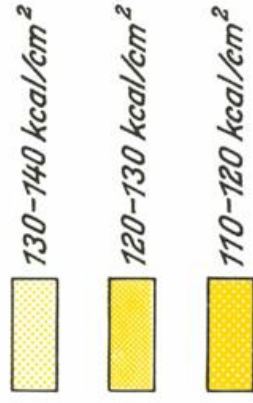
*Bergkuppe mit  
einer ungefähren  
Steigung von 1:10  
Beachte die Veränderung  
der Besonnung bei  
anderer Lage*

*Besonnungszahlen  
Jahr*

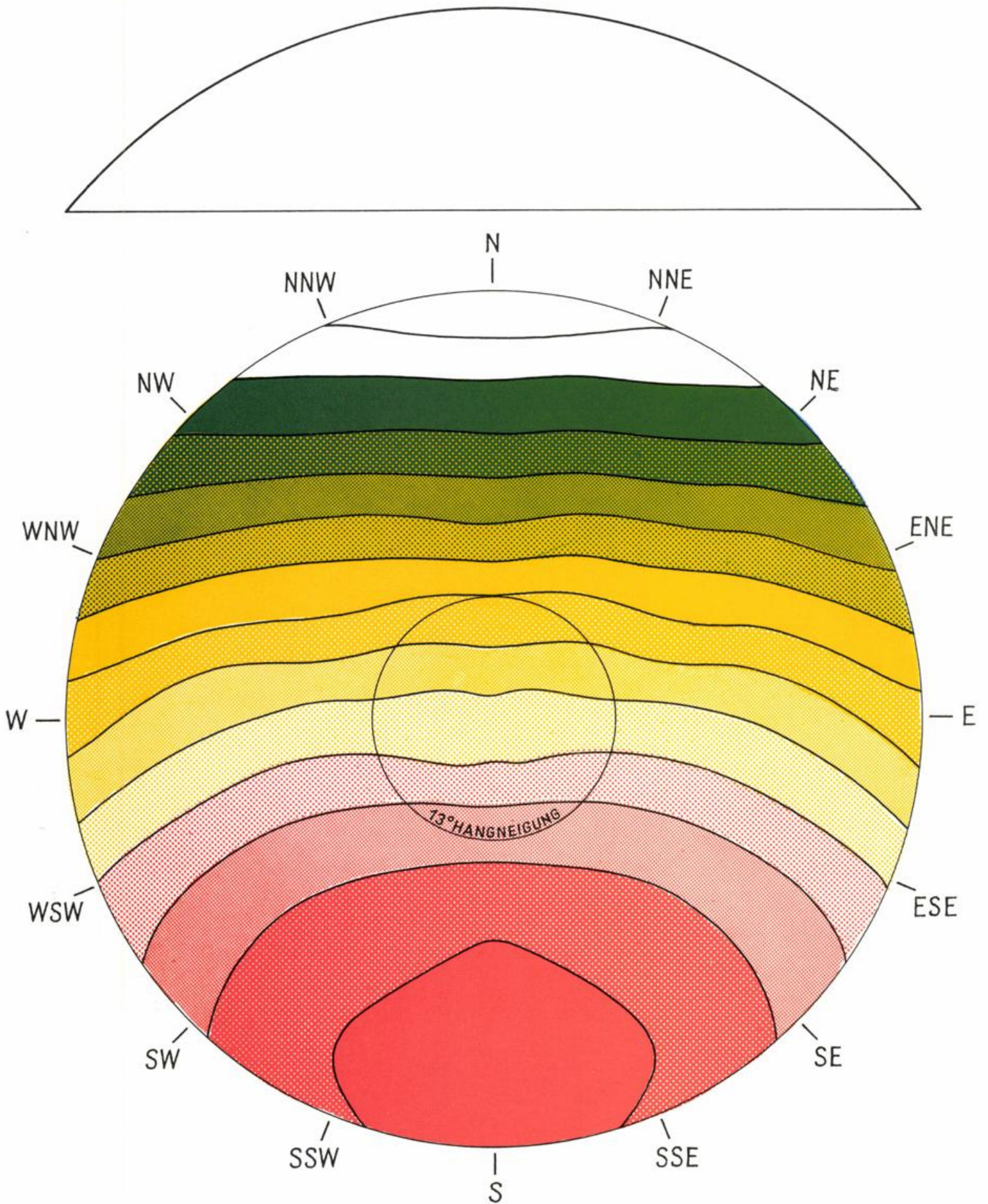


*Bergkuppe mit  
einer ungefähren  
Steigung von 1:10  
Beachte die Veränderung  
der Besonnung bei  
anderer Lage*

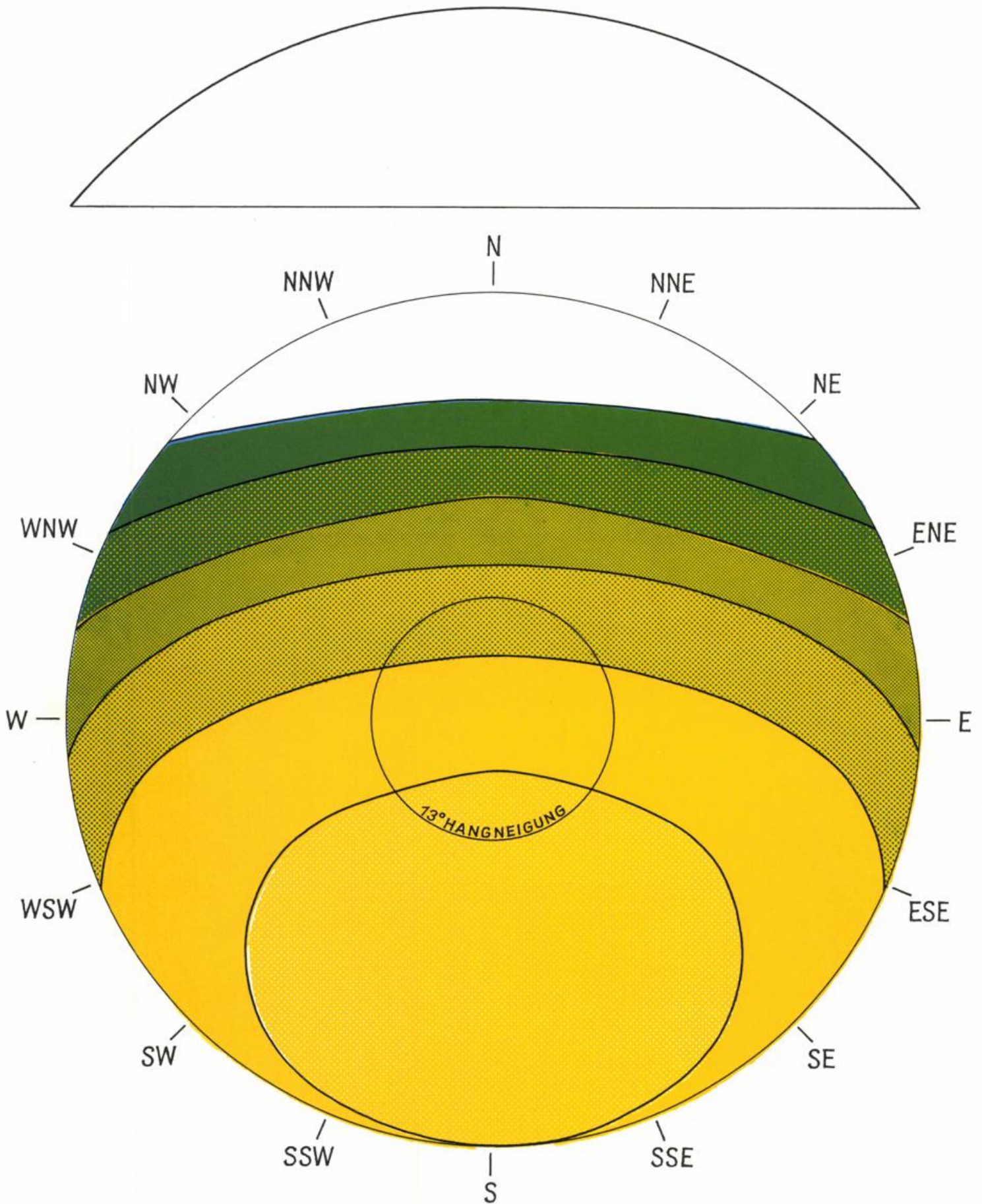
*Besonnungszahlen  
Jahr*



Besonnung einer Kuppe  
im Jahr

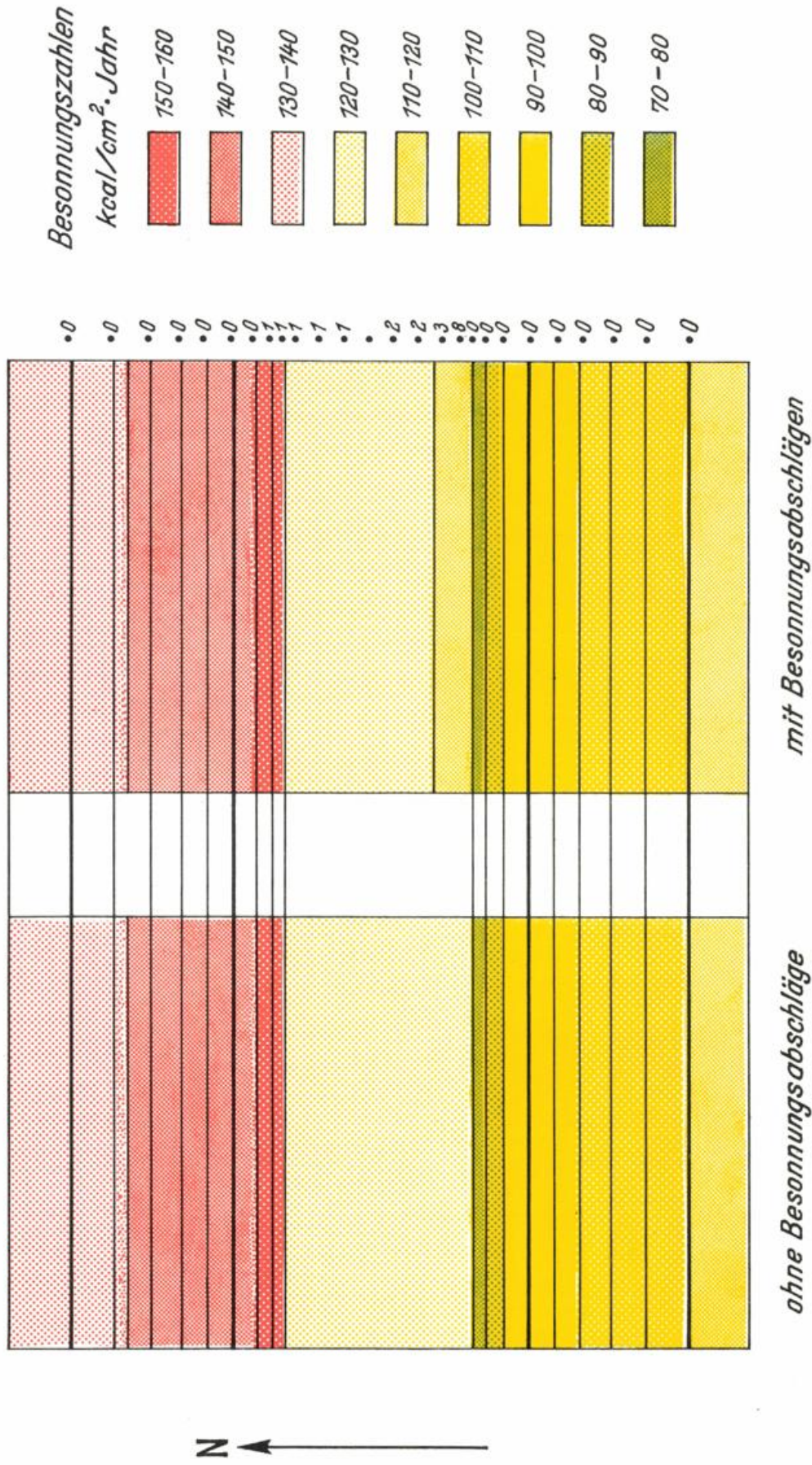


*Besonnung einer Kuppe  
in der Vegetationszeit  
April-September*



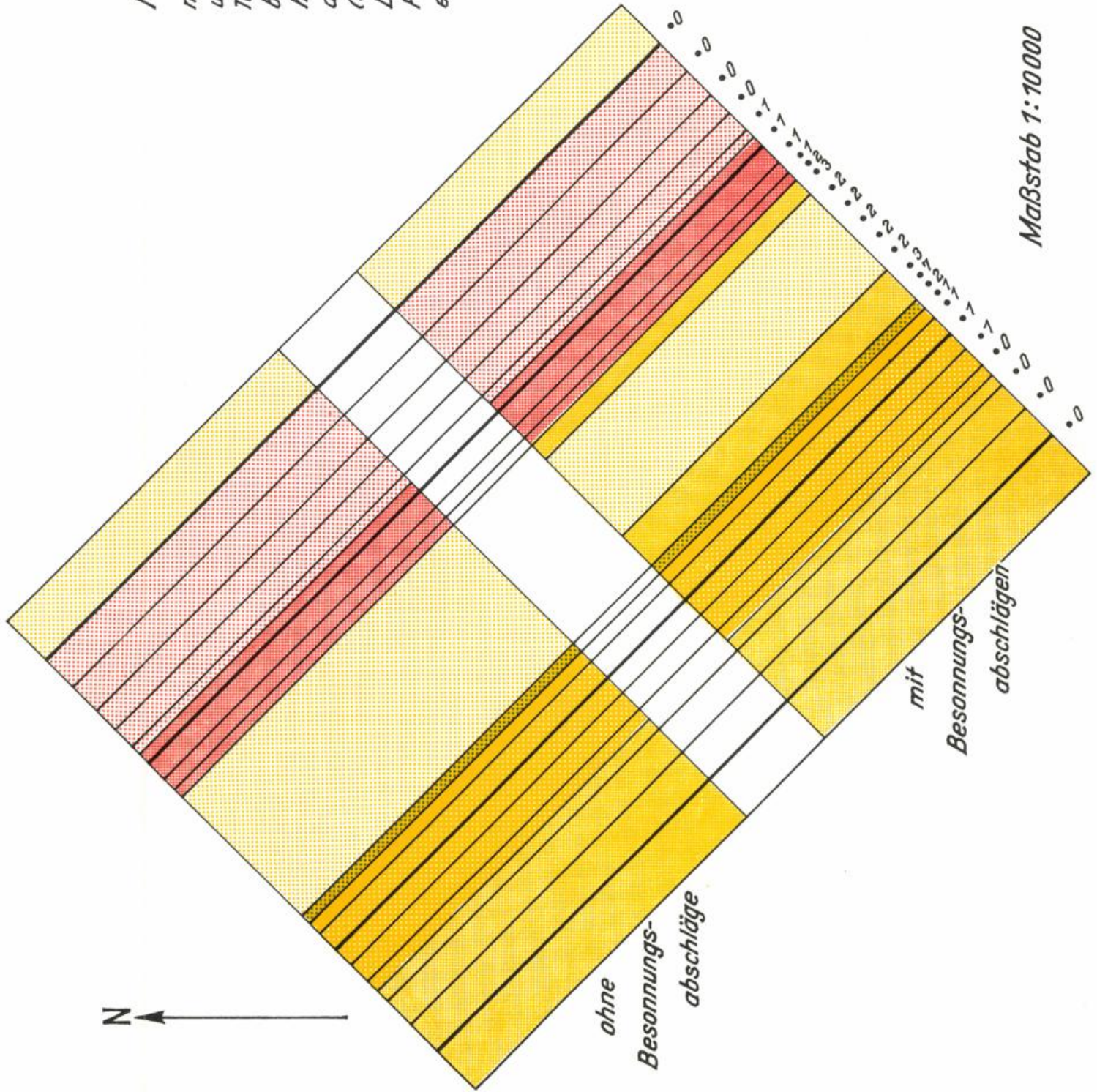
# West-Ost-Tal

mit schwach geneigten oberen und stärker geneigten unteren Talhängen. Der Talboden ist so breit, daß die Horizontüberhöhungen keine Besonnungsabschläge mehr erzeugen (siehe die Zahlen=Abschläge). Lediglich der Talboden am Fuße des Nordhanges erhält eine etwas geringere Besonnung.



**Nordwest-Südost-Tal**

mit schwach geneigten oberen und stärker geneigten unteren Talhängen. Der Talboden ist so breit, daß die Horizontföherhöhen keine Besonnungsaabschlüge mehr erzeugen (siehe die Zahlen=Aabschlüge). Lediglich der Talboden am Fuße der Hänge erhält eine etwas geringere Besonnung.



Besonnungszahlen

kcal/cm<sup>2</sup> Jahr

140-150

130-140

120-130

110-120

100-110

90-100

80-90

Maßstab 1:10000

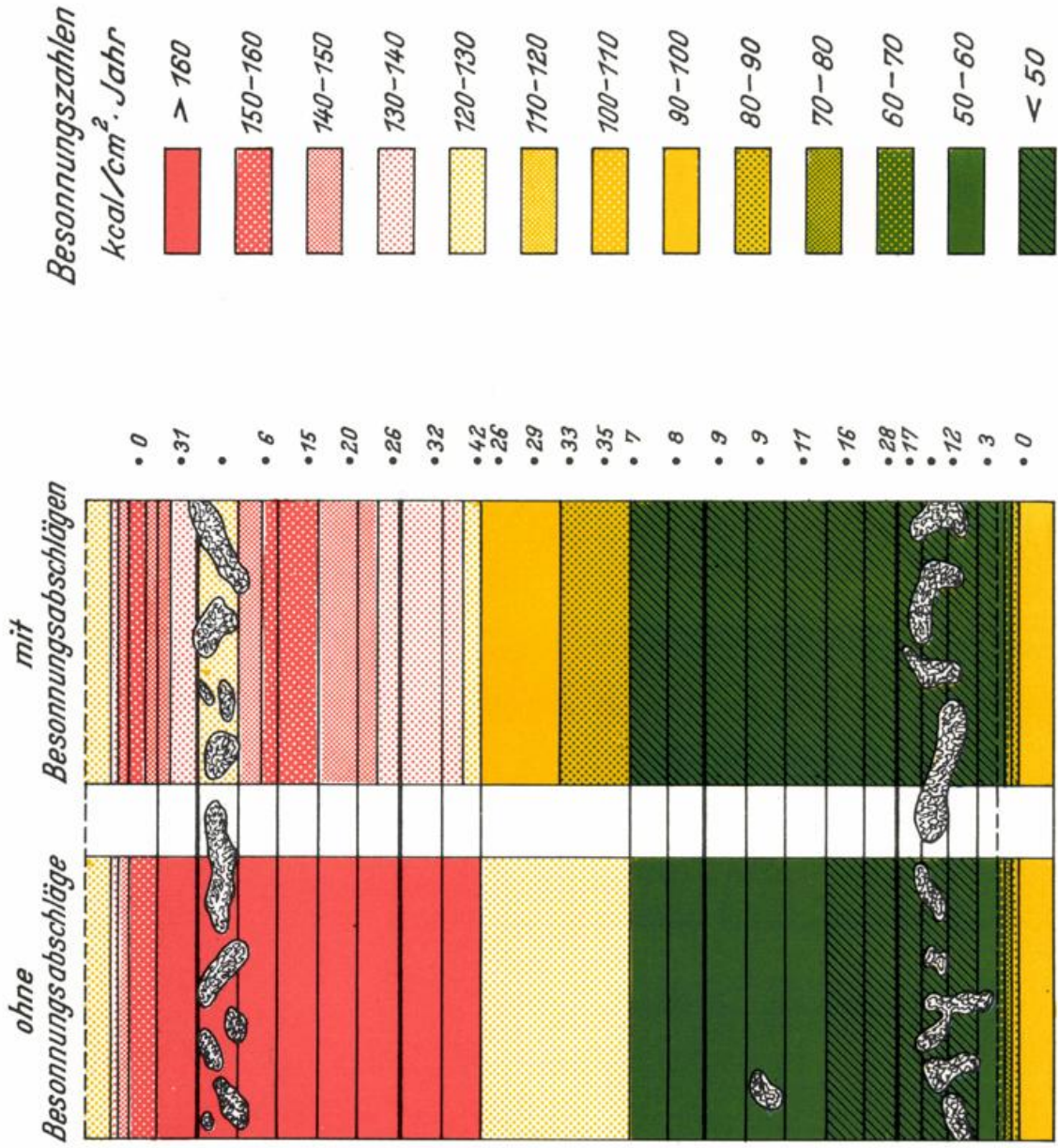
ohne  
Besonnungs-  
abschlüge

mit  
Besonnungs-  
abschlügen



# West-Ost-Tal

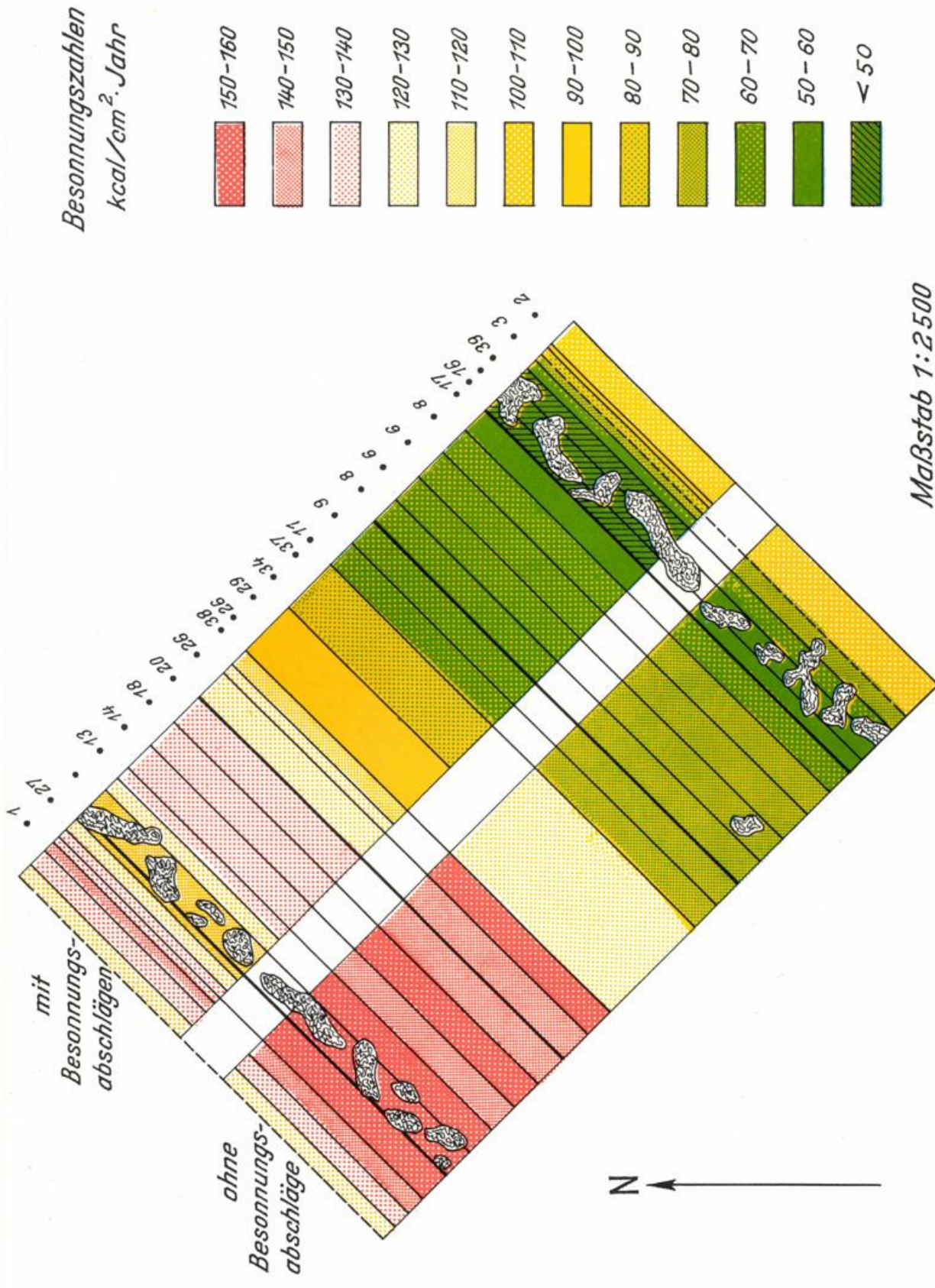
mit stark geneigten Talhängen. Die schmale Talsohle und die aufragenden Dolomitfelsen bewirken erhebliche Besonnungsabschläge (siehe die Zahlen=Abschläge).



Maßstab 1:2500

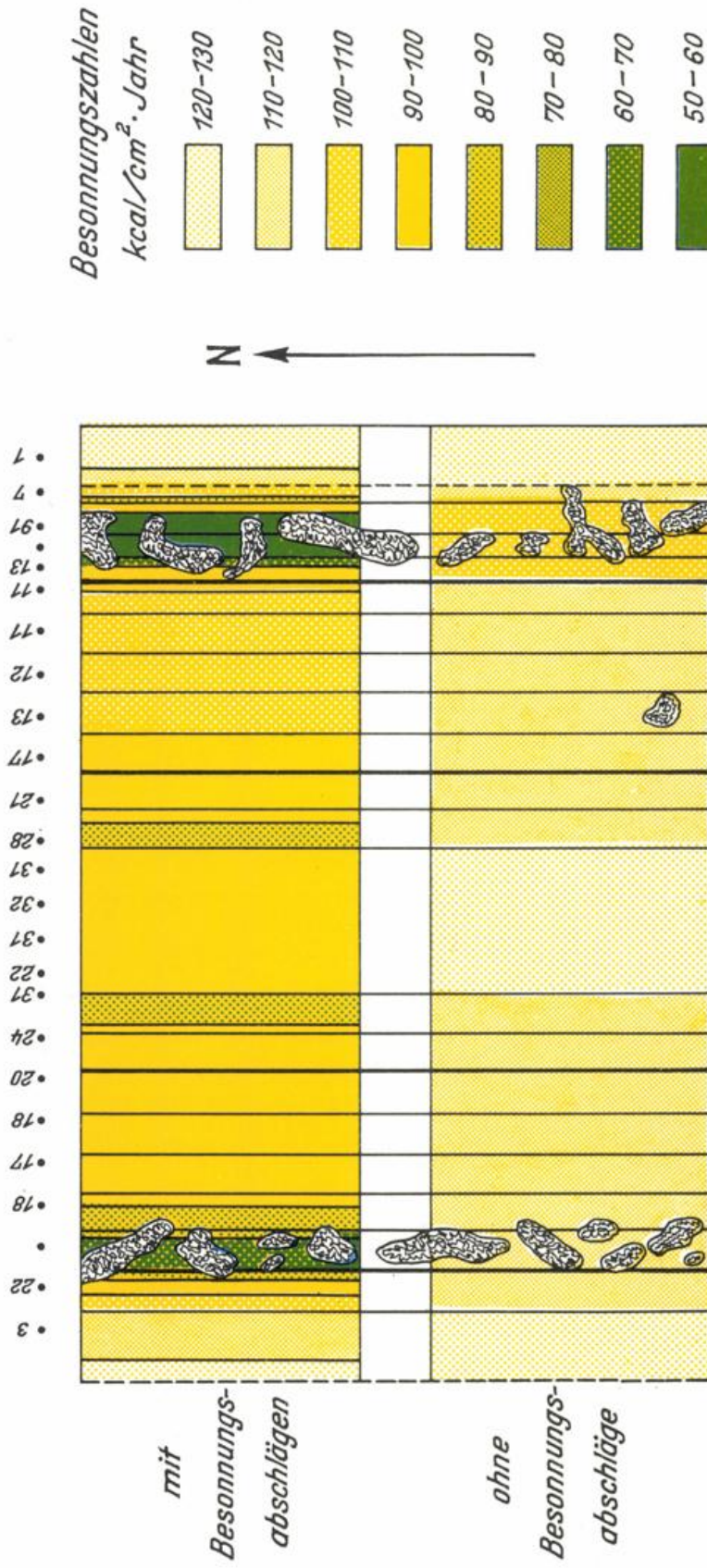
# Südwest-Nordost-Tal

mit stark geneigten Talhängen. Die schmale Talsohle und die aufragenden Dolomitfelsen bewirken erhebliche Besonnungsabschläge (siehe die Zahlen=Abschläge).



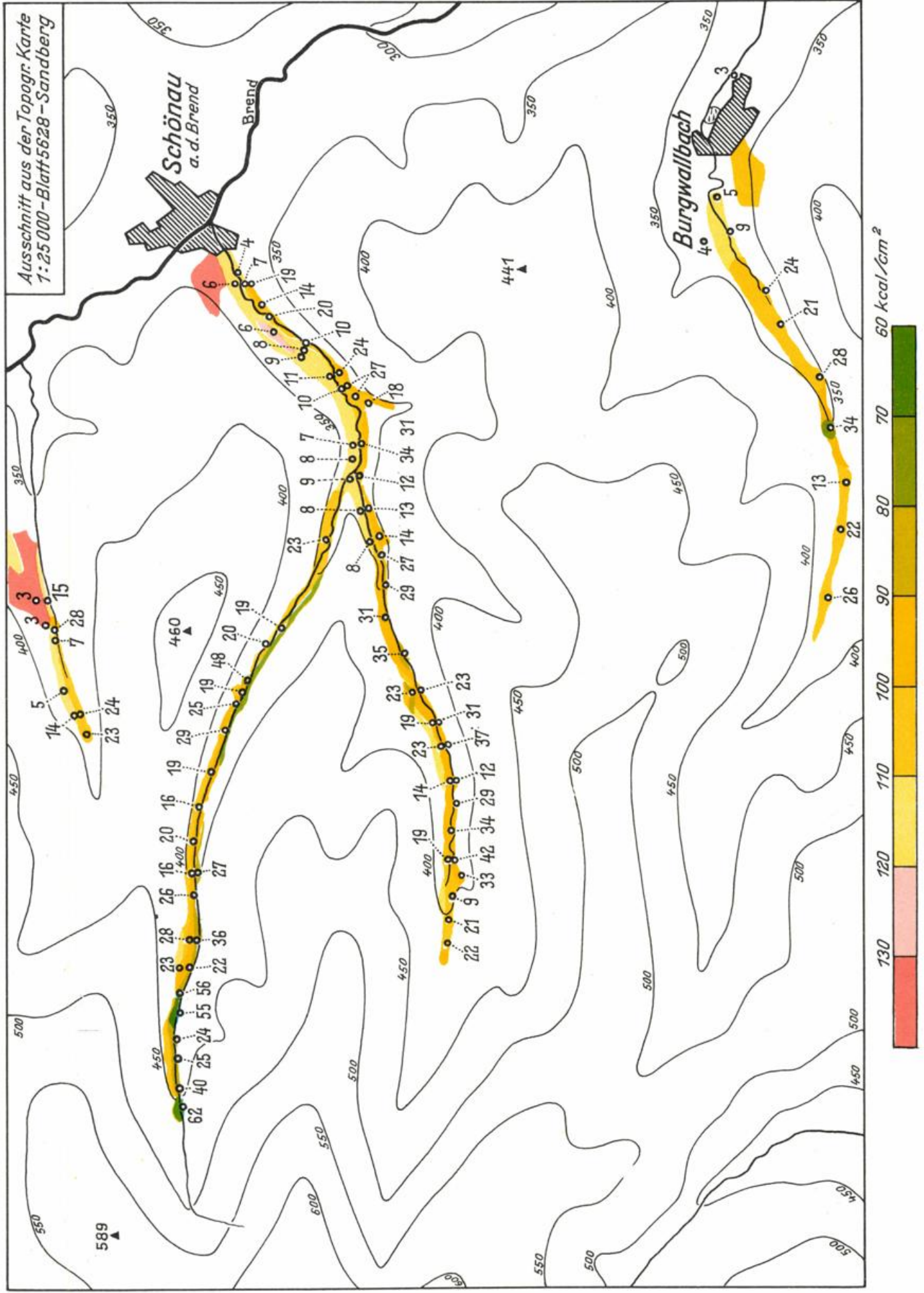
## Nord-Süd-Tal

mit stark geneigten Talhängen. Die schmale Talsohle und die aufragenden Dolomitfelsen bewirken erhebliche Besonnungsabschläge (siehe die Zahlen=Abschläge).



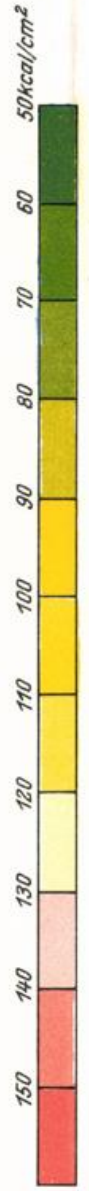
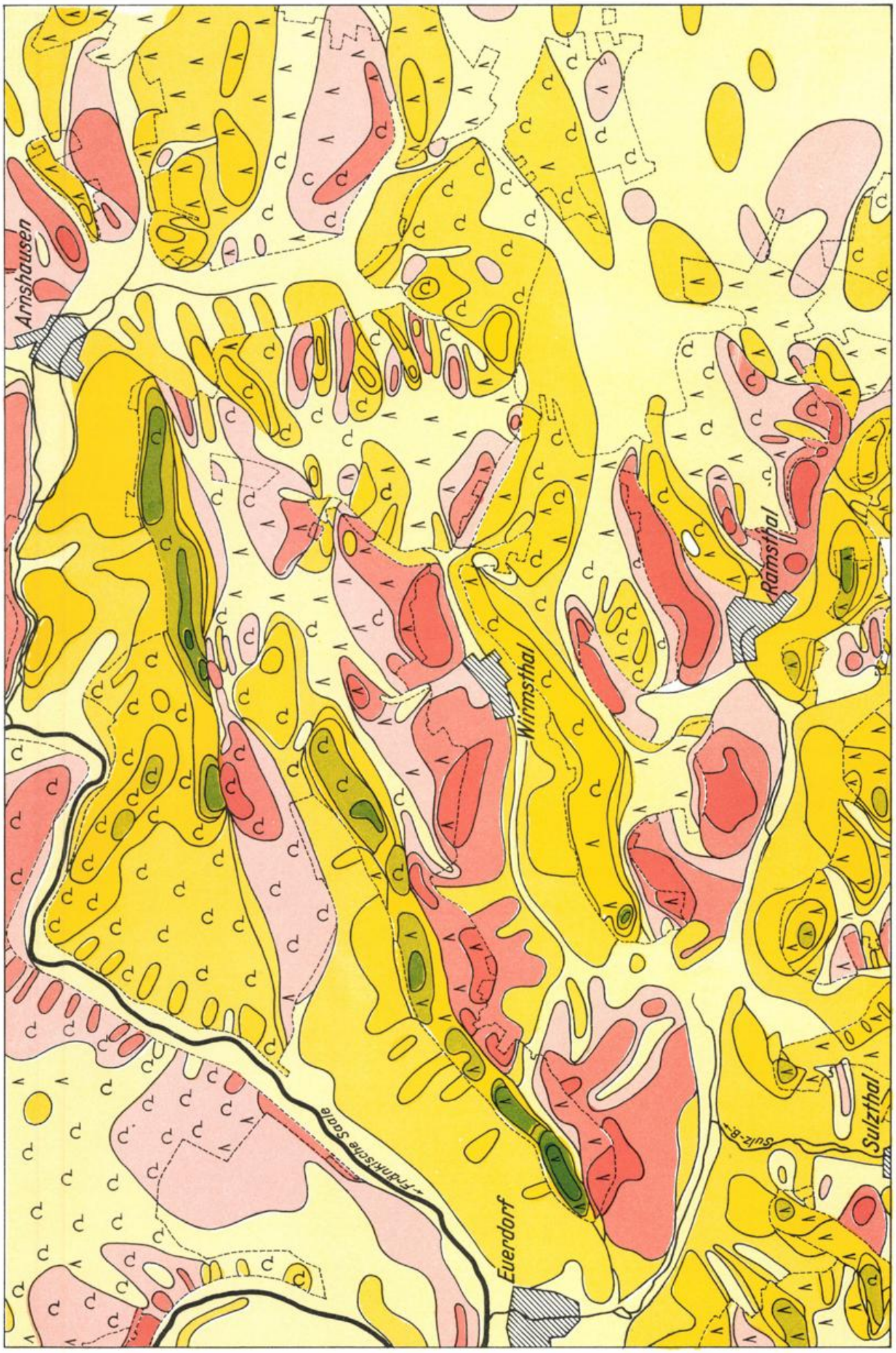
Maßstab 1:2500

# Besonnungsabschläge wegen Horizontüberhöhung in engen Waldtälern

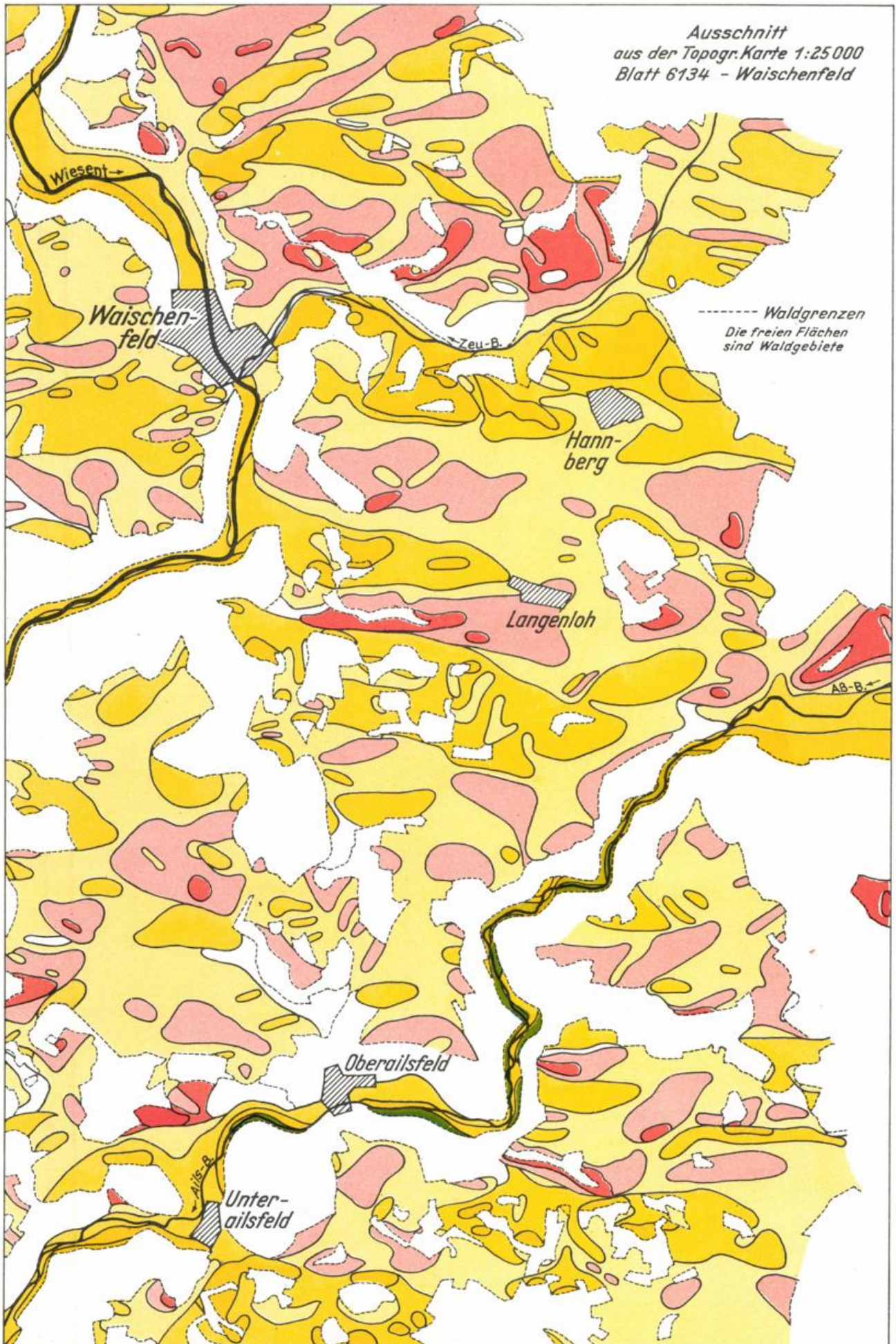


Ausschnitt  
aus der Topogr. Karte 1:25.000  
Blatt 5826 - Bad Kissingen Süd

Besonnung in kcal/cm<sup>2</sup>. Jahr



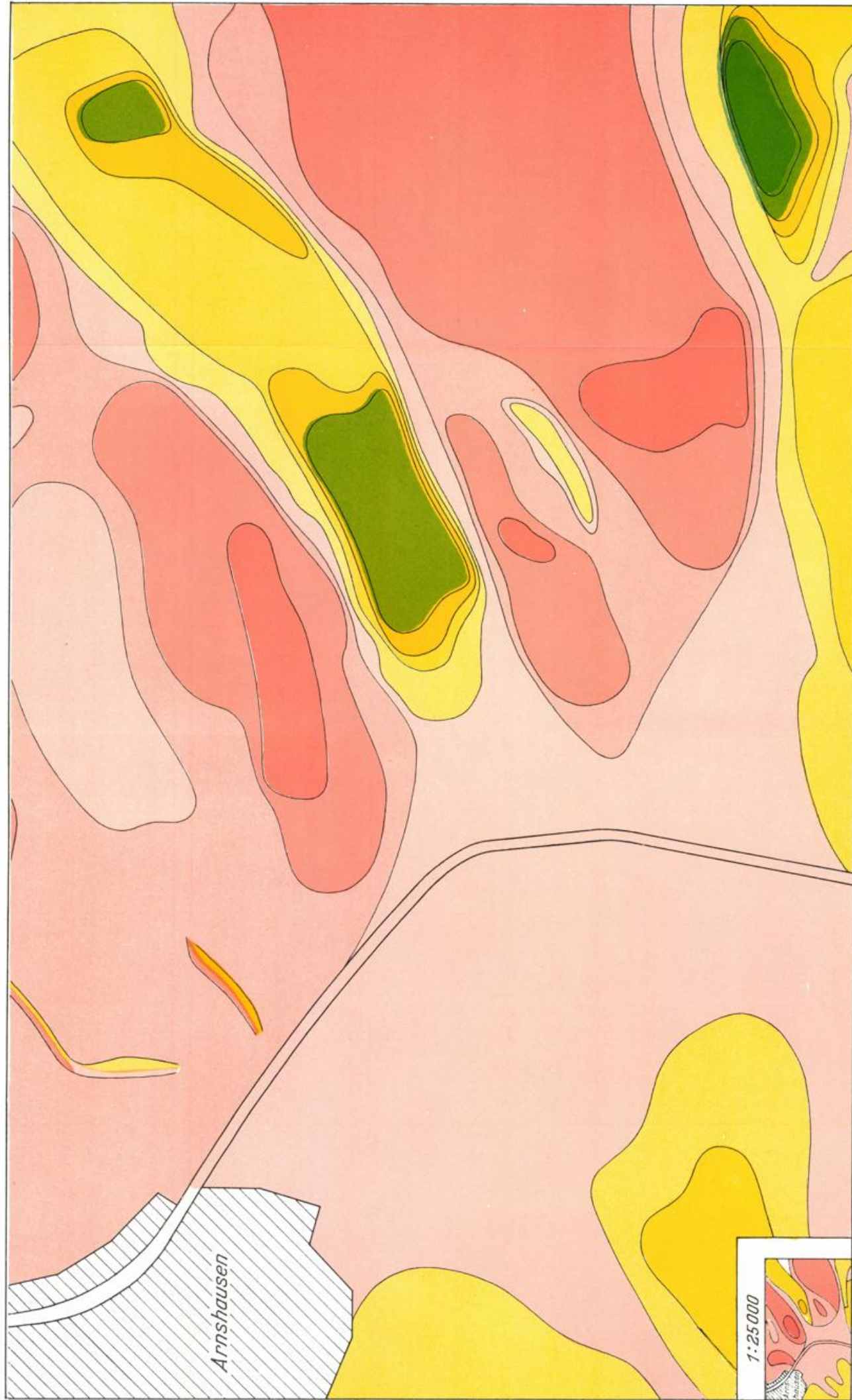
----- Waldgrenzen

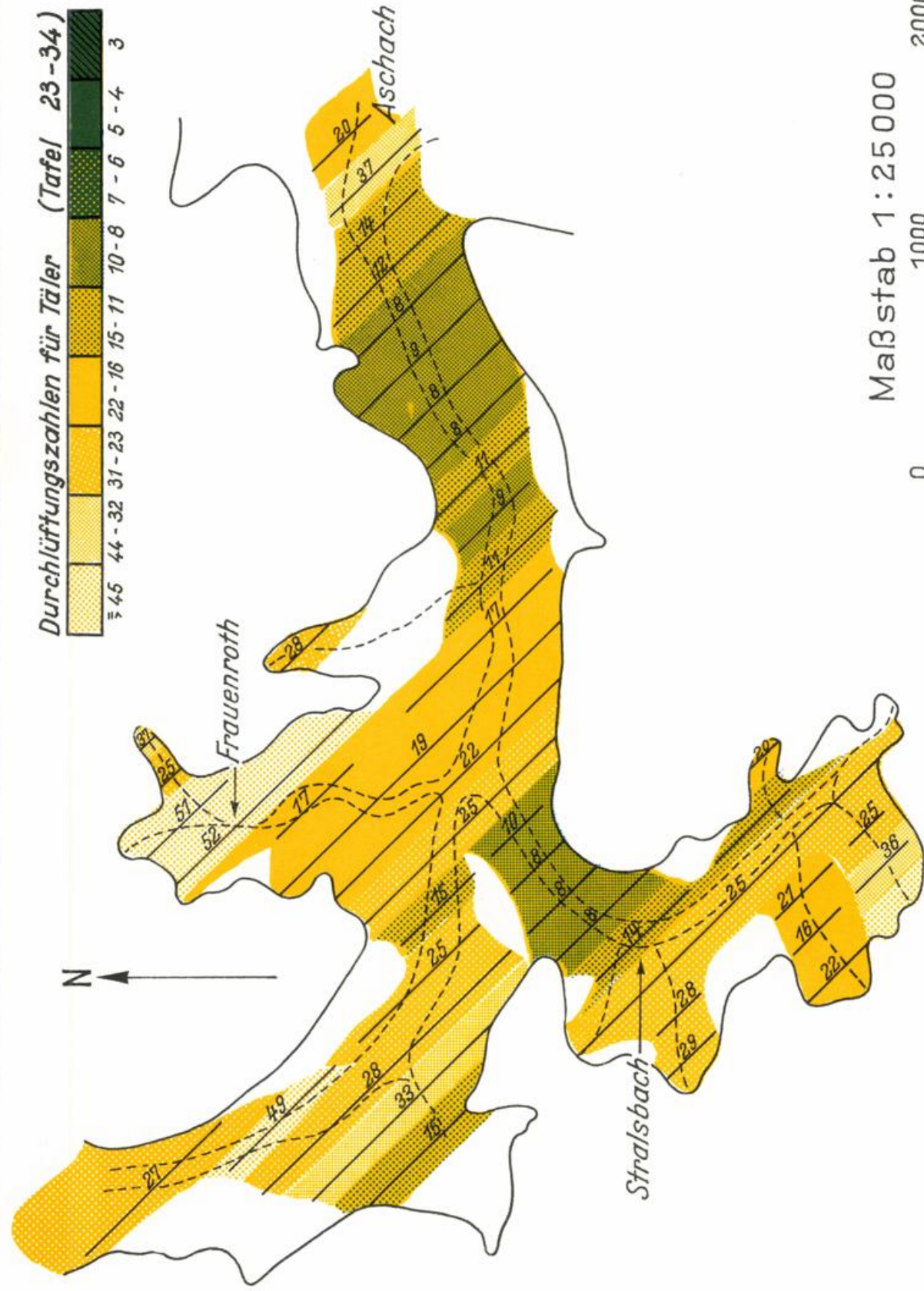


*Besonnung in kcal/cm<sup>2</sup> · Jahr*

*Ausschnitt aus den Flurkarten  
XCVIII-46d und XCVII-46b*

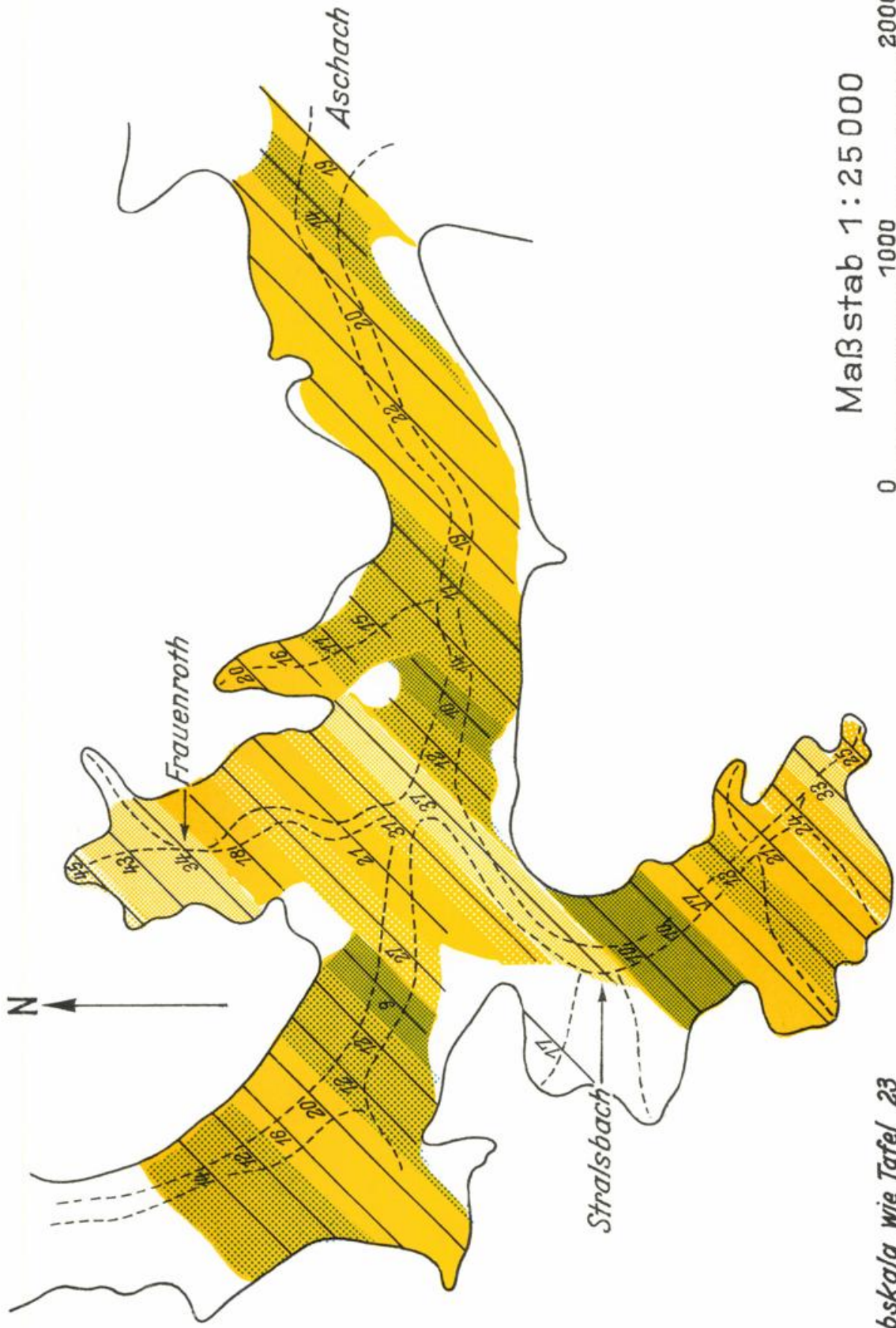
*Tafel 22*





Maßstab 1:25000

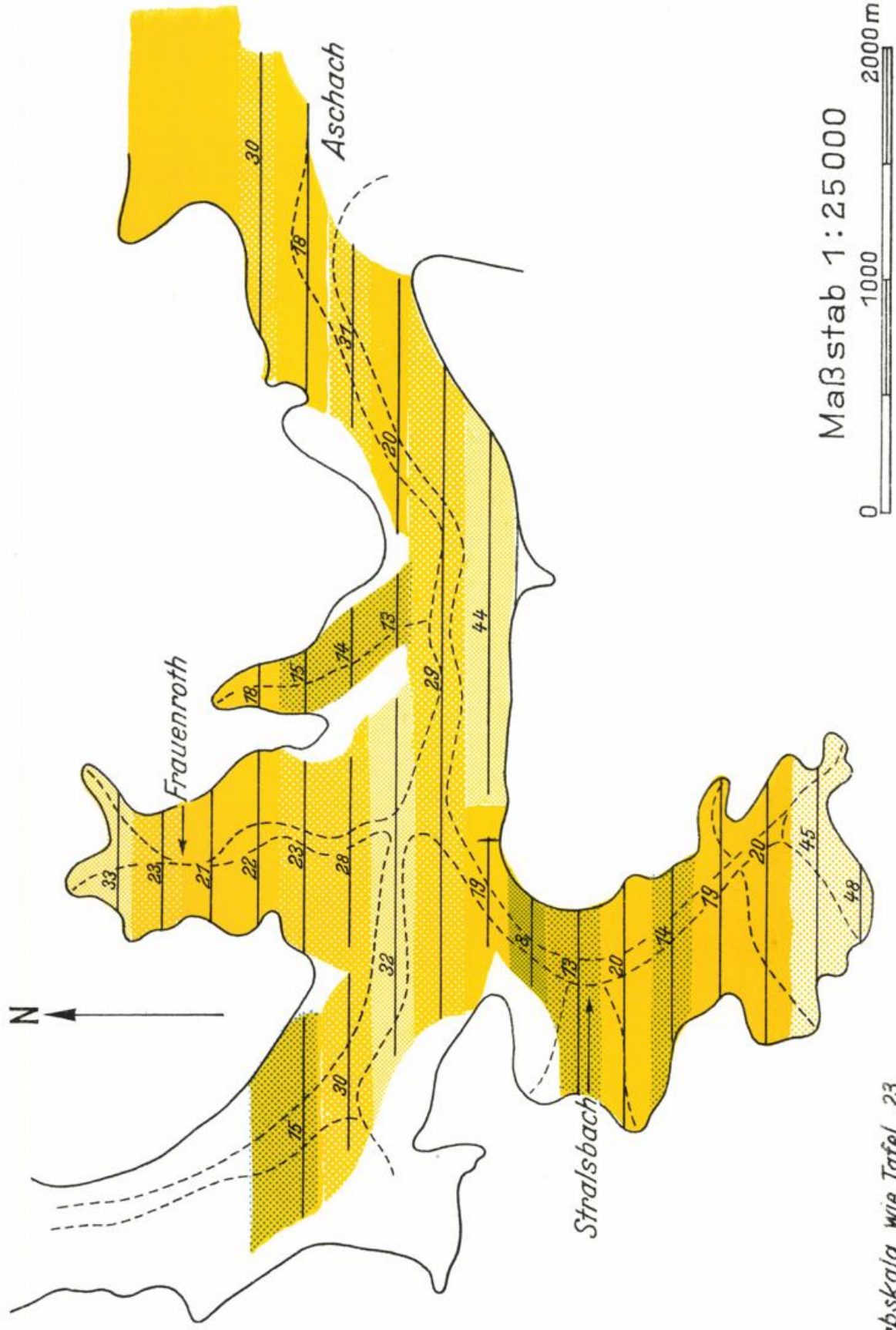


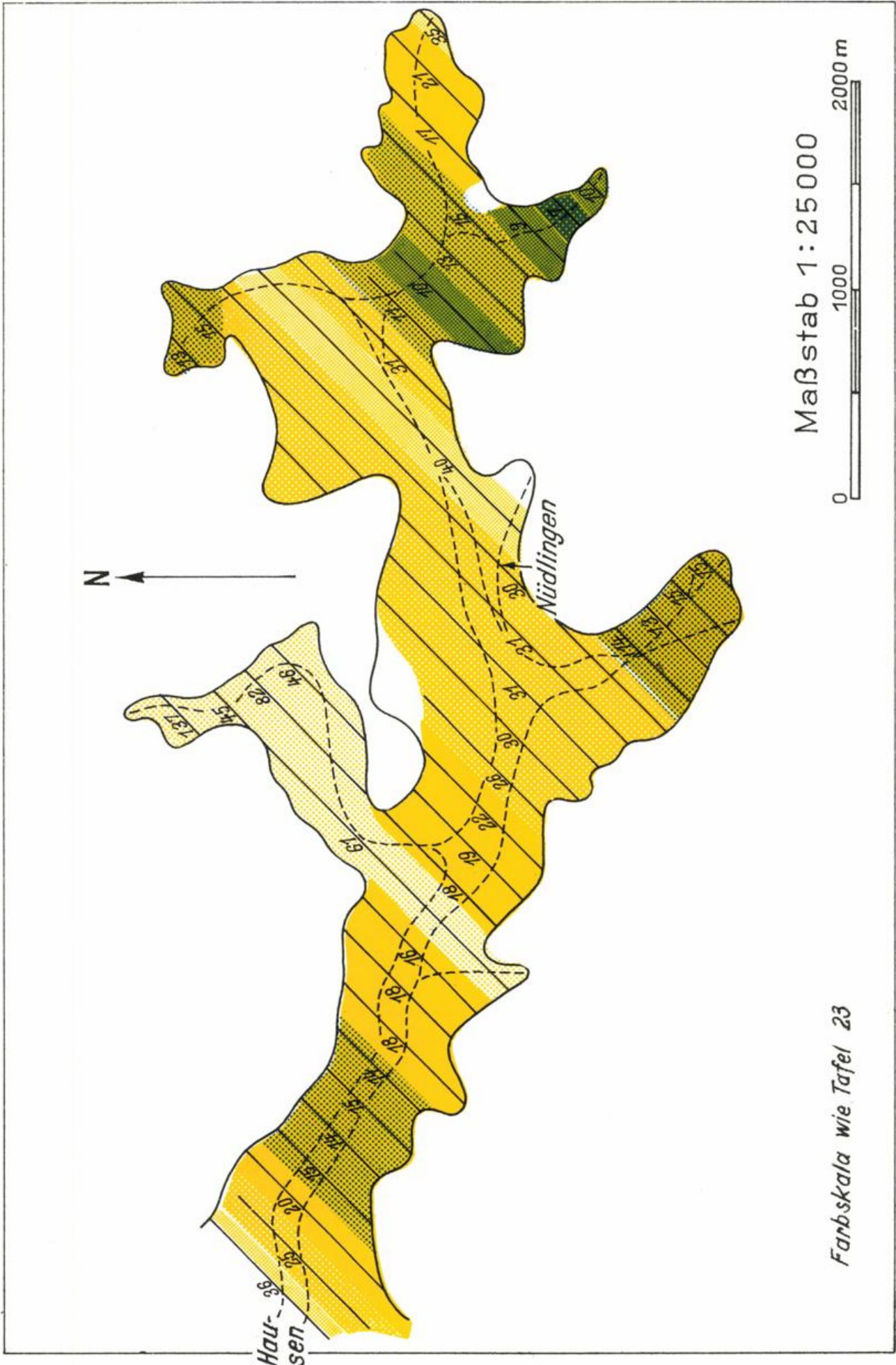


Farbskala wie Tafel 23

Maßstab 1:25 000



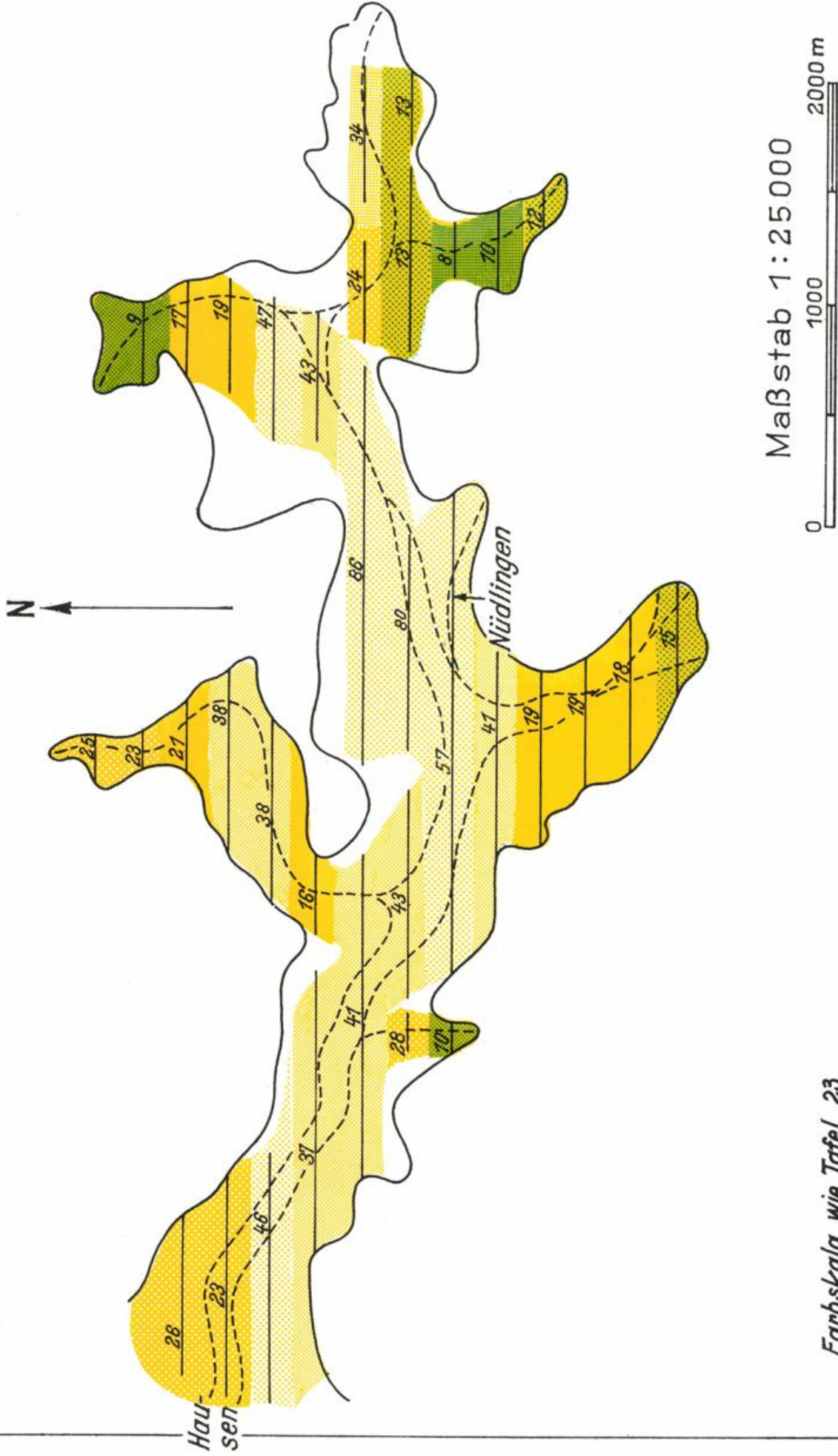


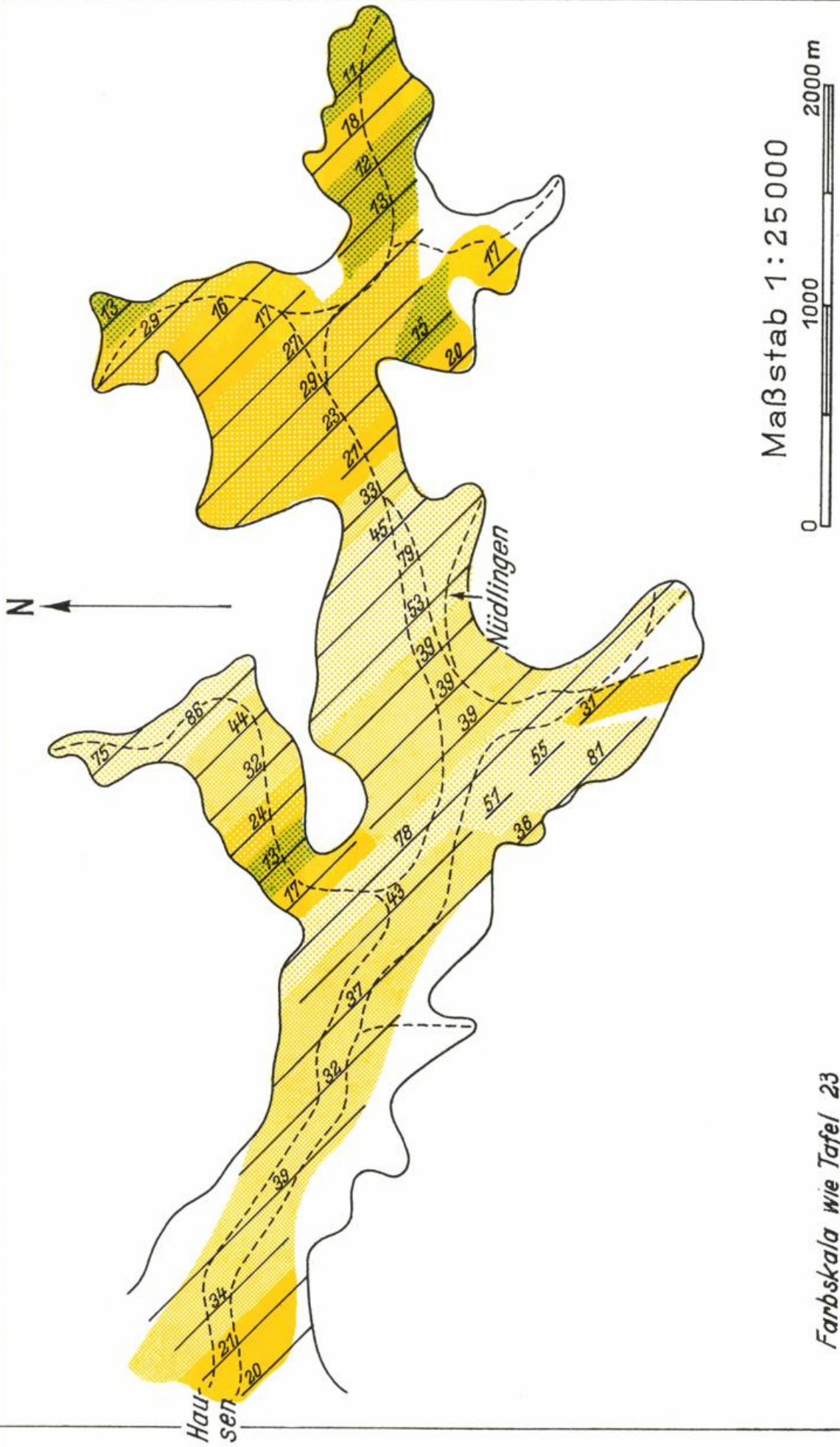


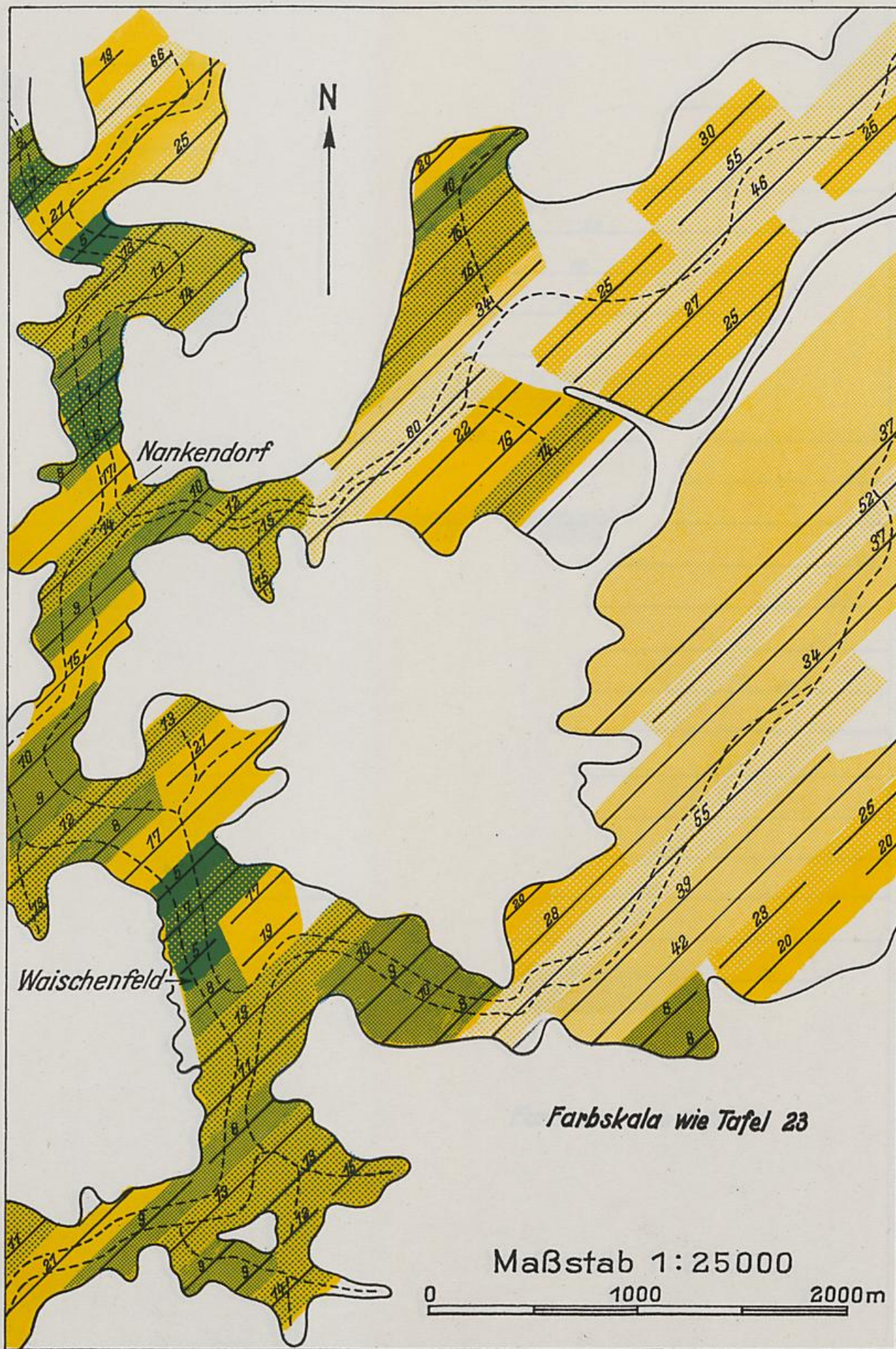
Maßstab 1:25000

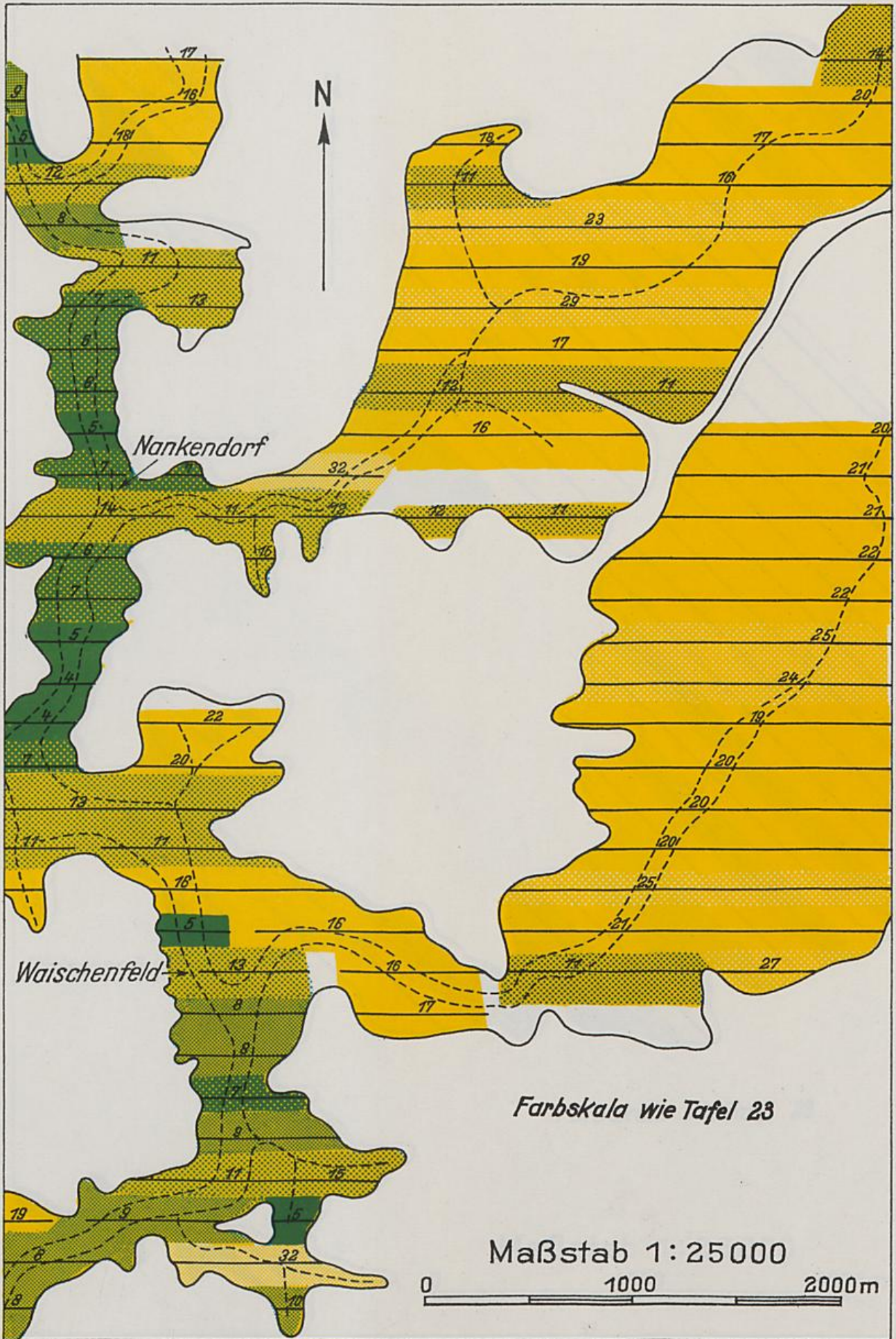


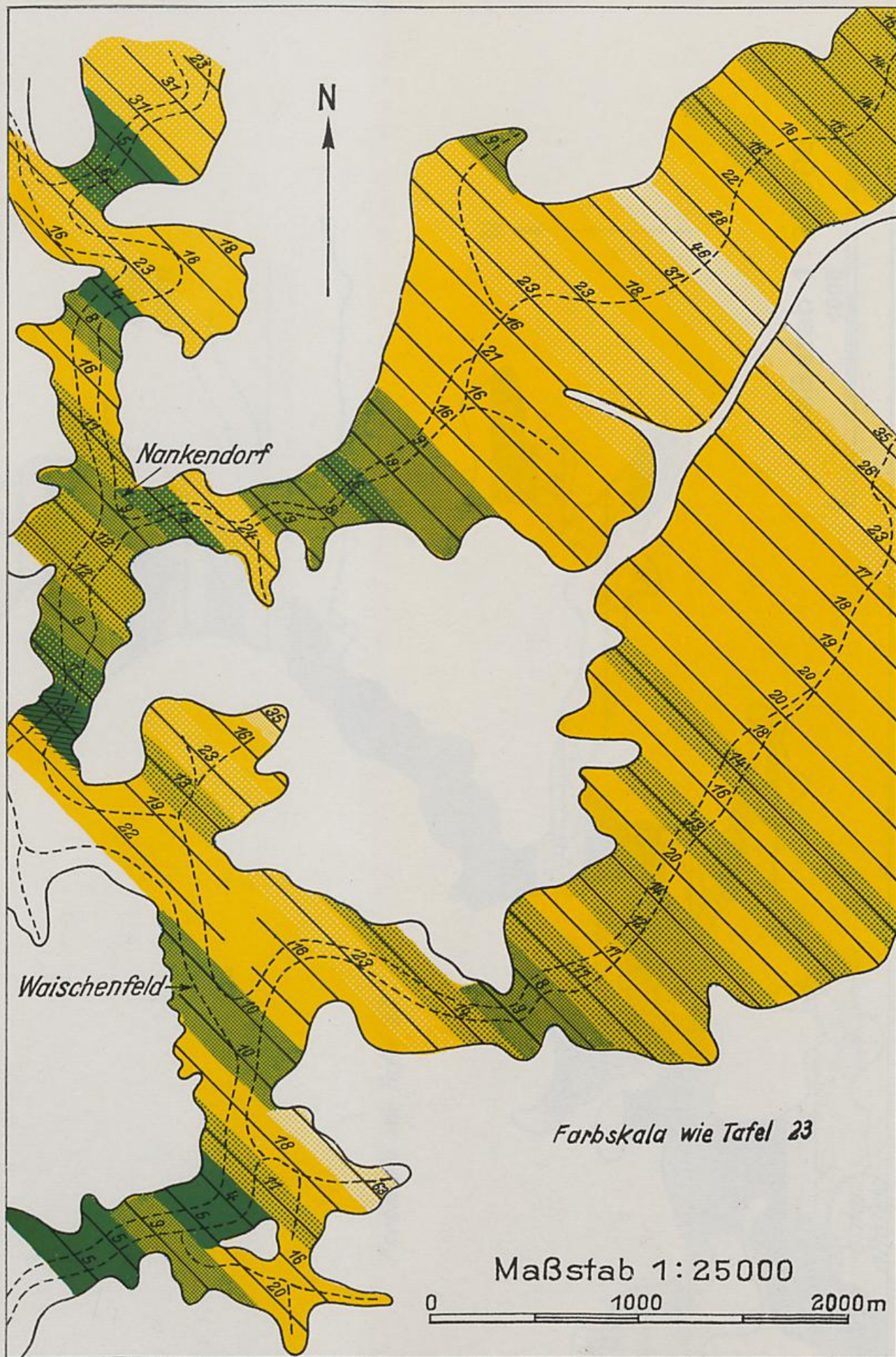
Farbskala wie Tafel 23

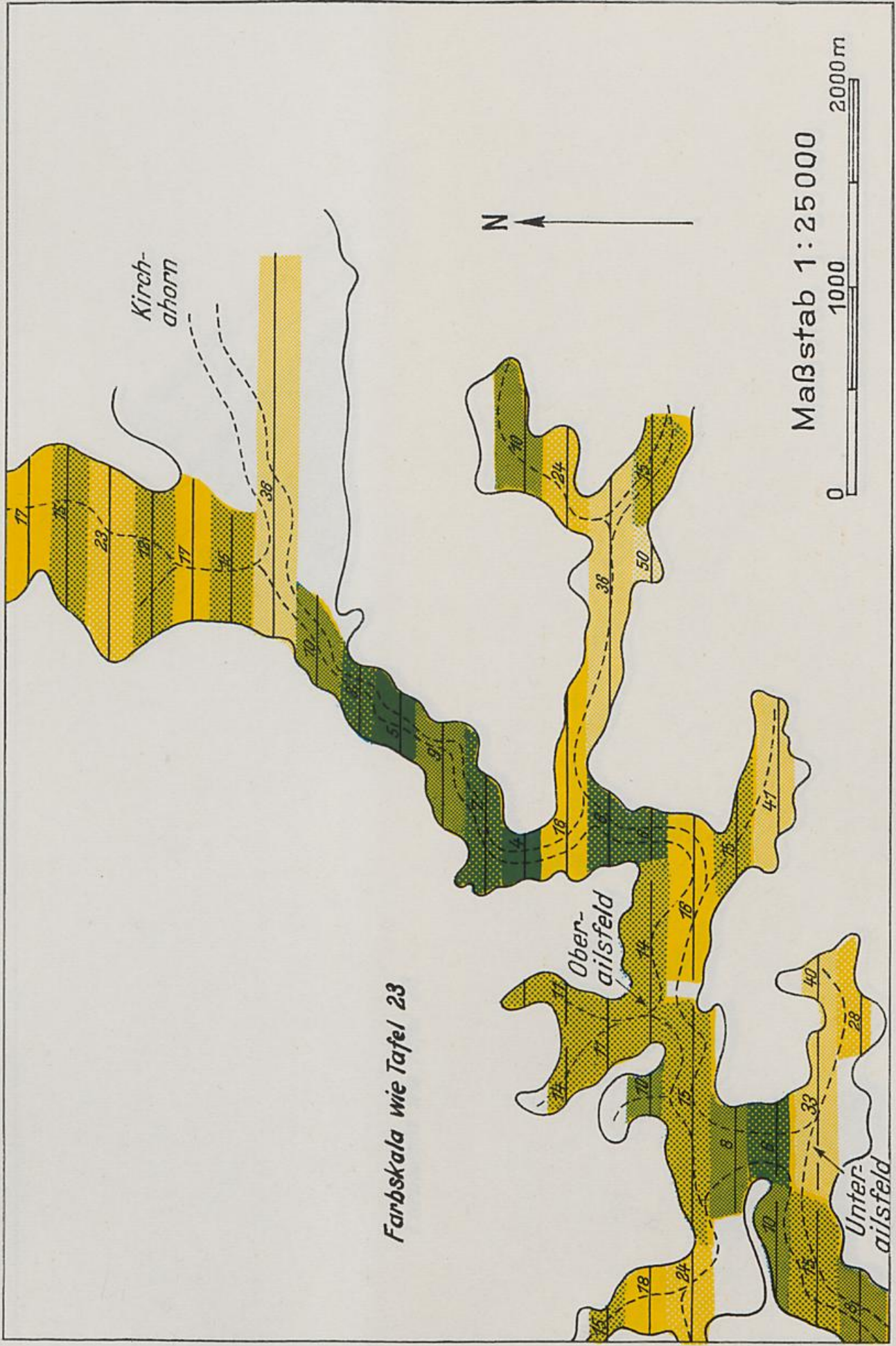




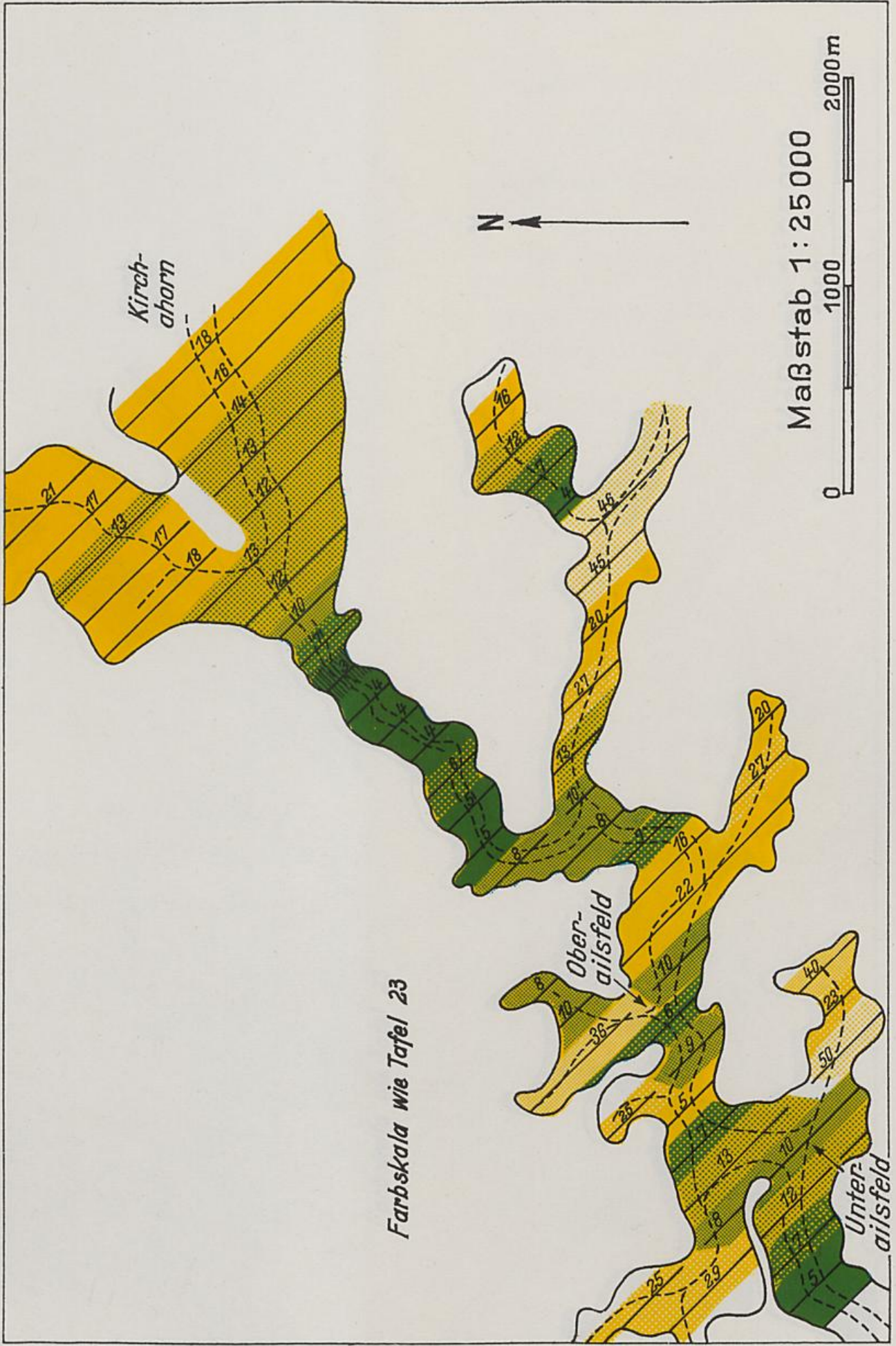




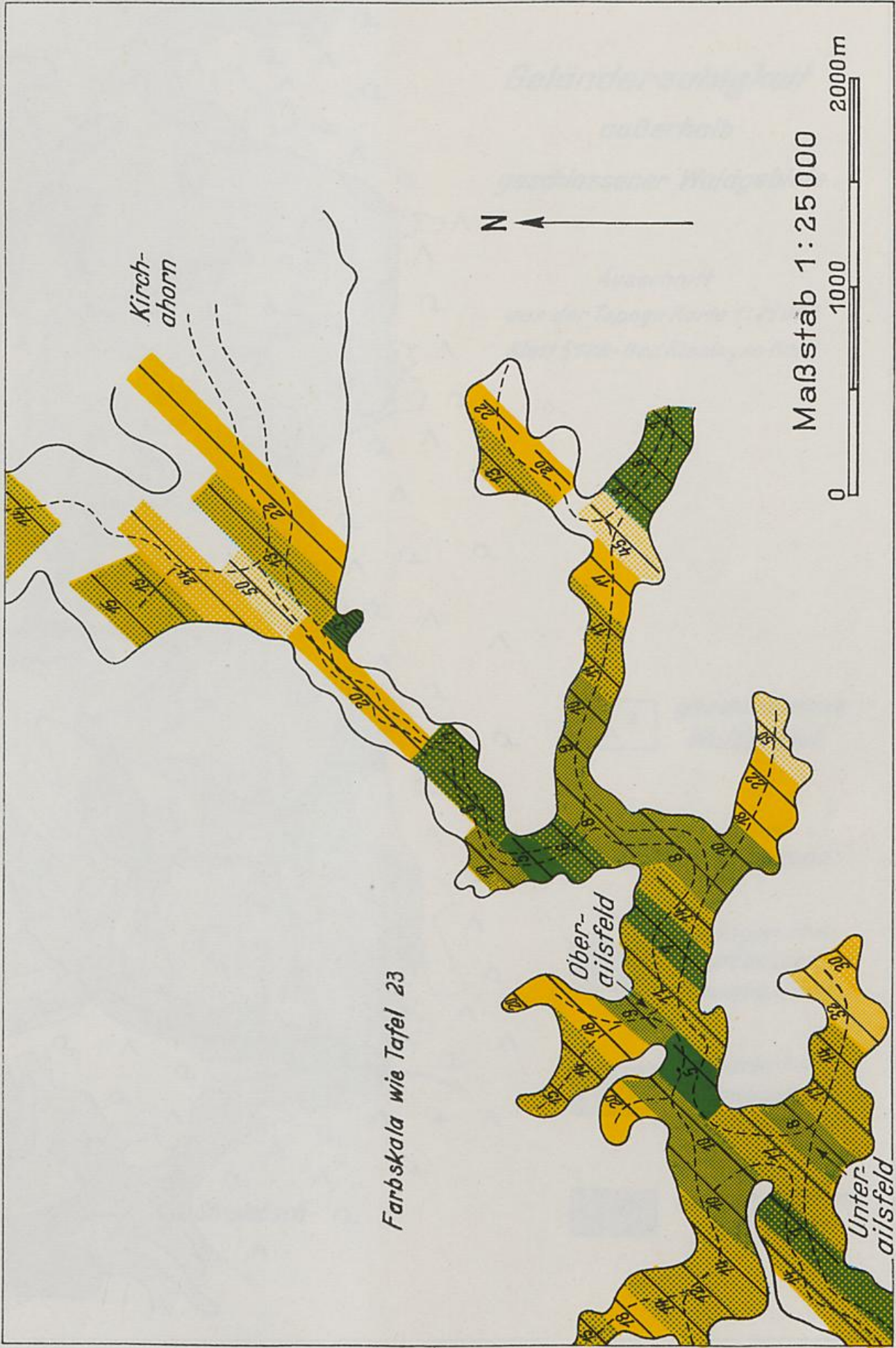




Farbskala wie Tafel 23

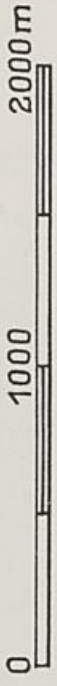


Farbskala wie Tafel 23



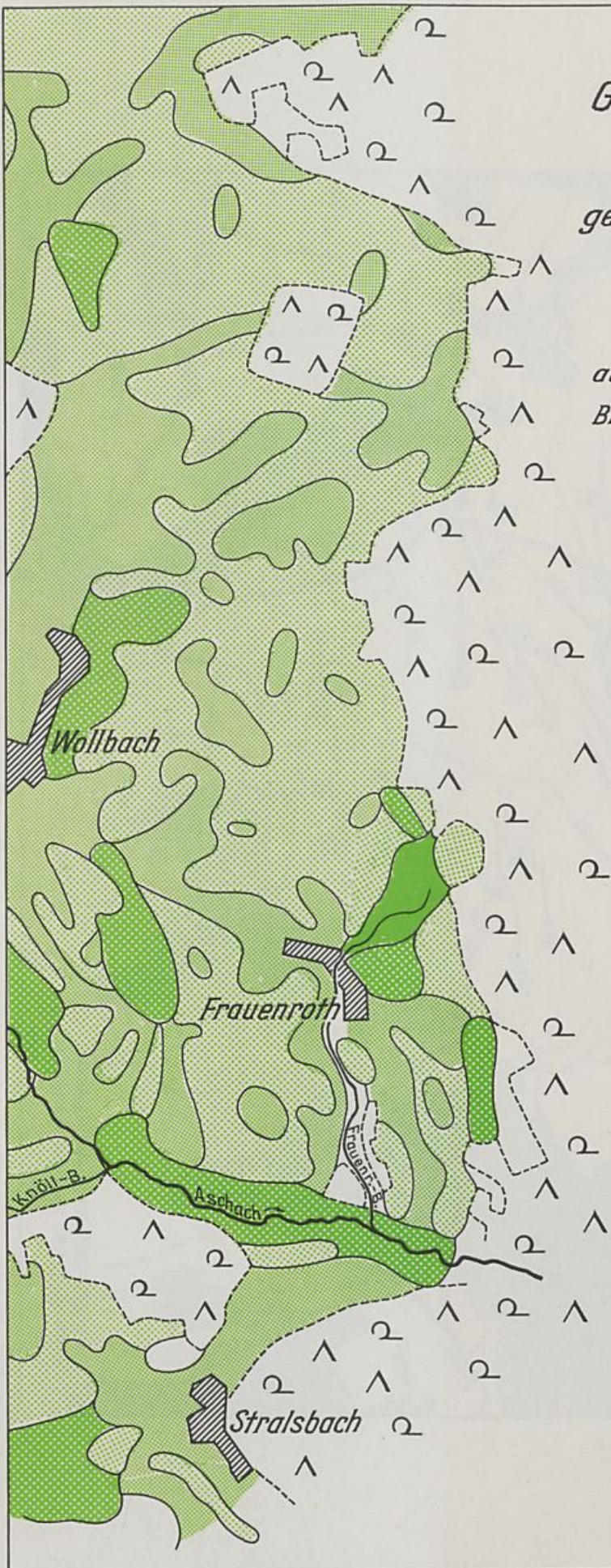
Farbskala wie Tafel 23

Maßstab 1:25000



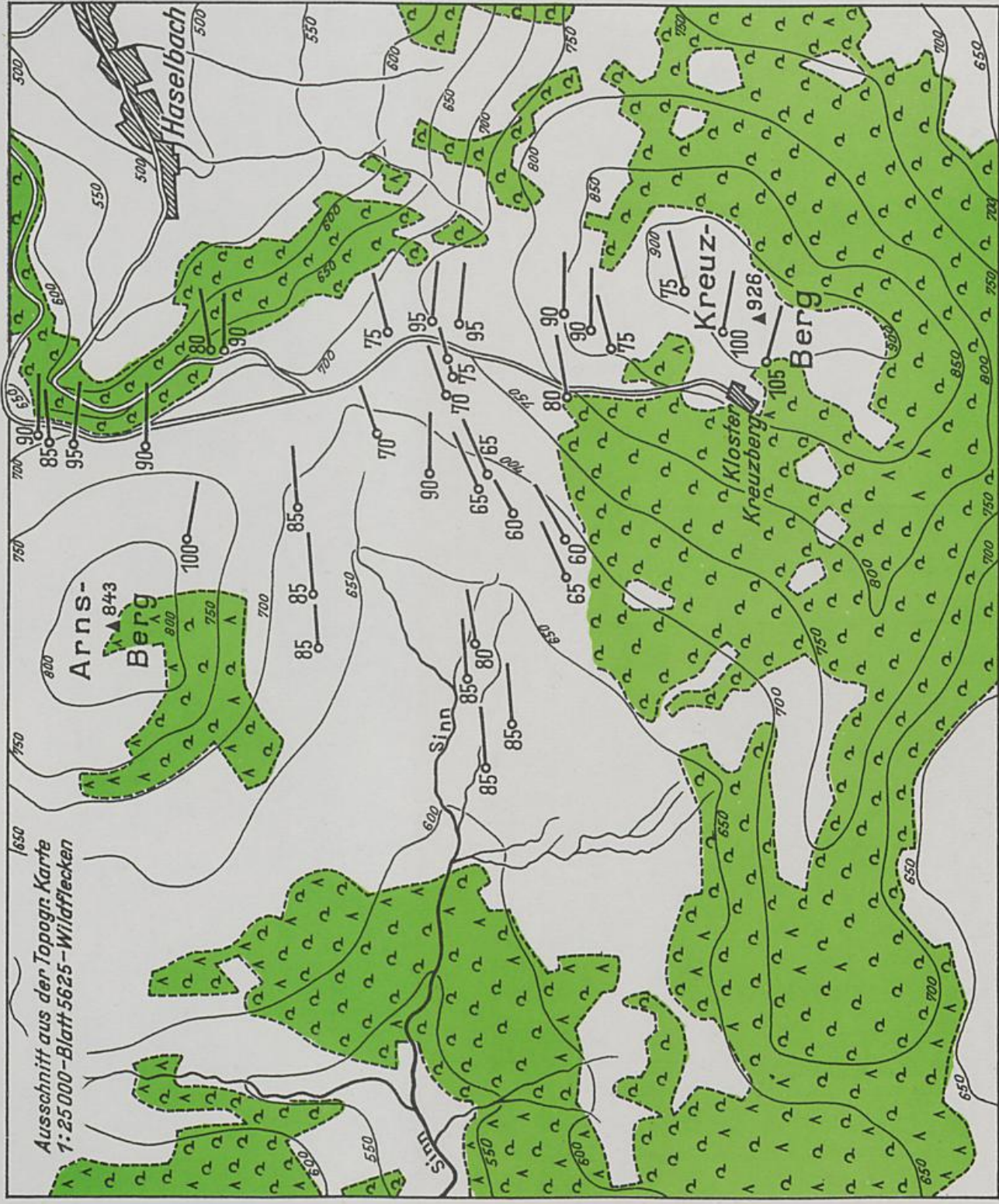
*Geländerauhigkeit  
außerhalb  
geschlossener Waldgebiete*

*Ausschnitt  
aus der Topogr. Karte 1:25 000  
Blatt 5726-Bad Kissingen Nord*

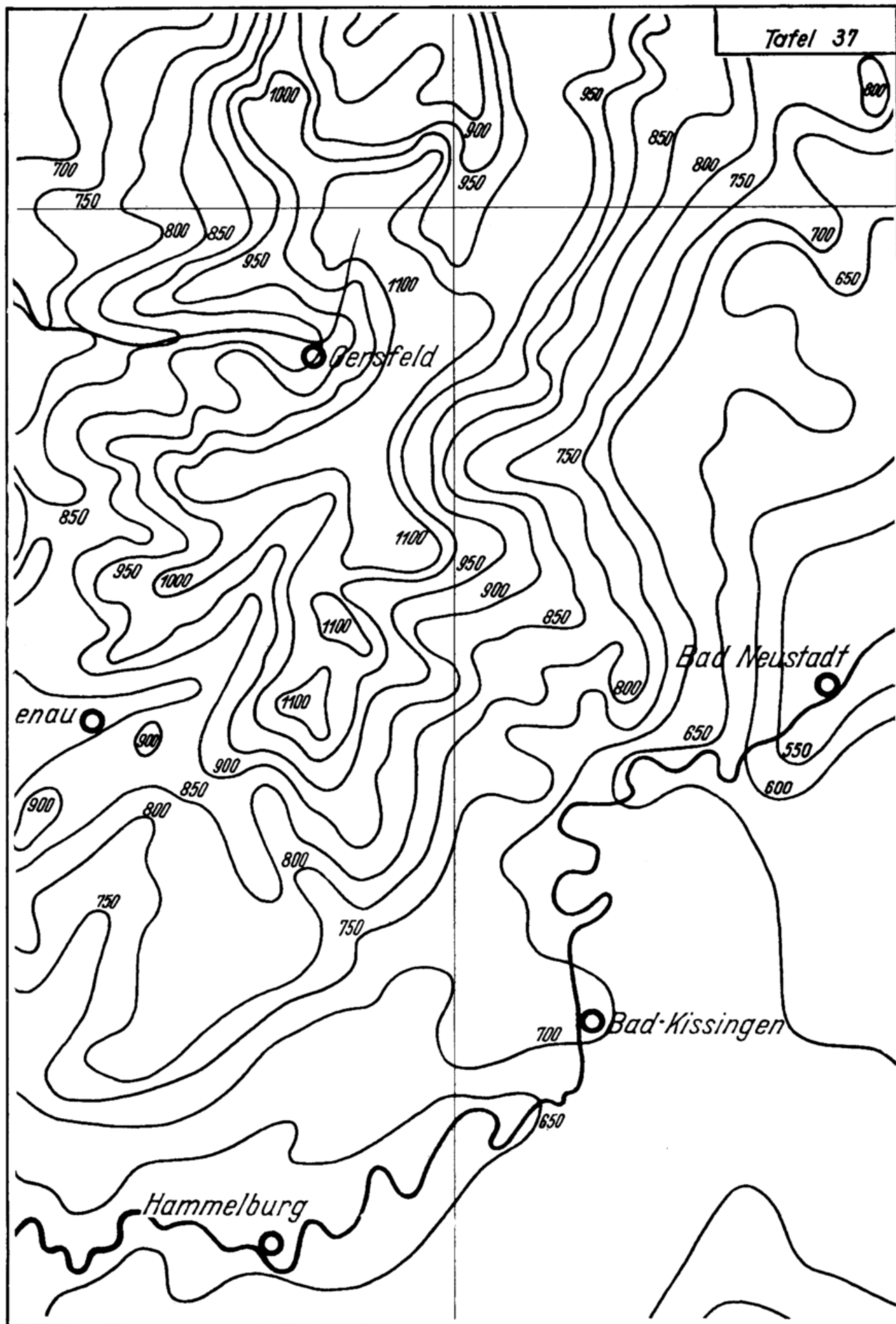


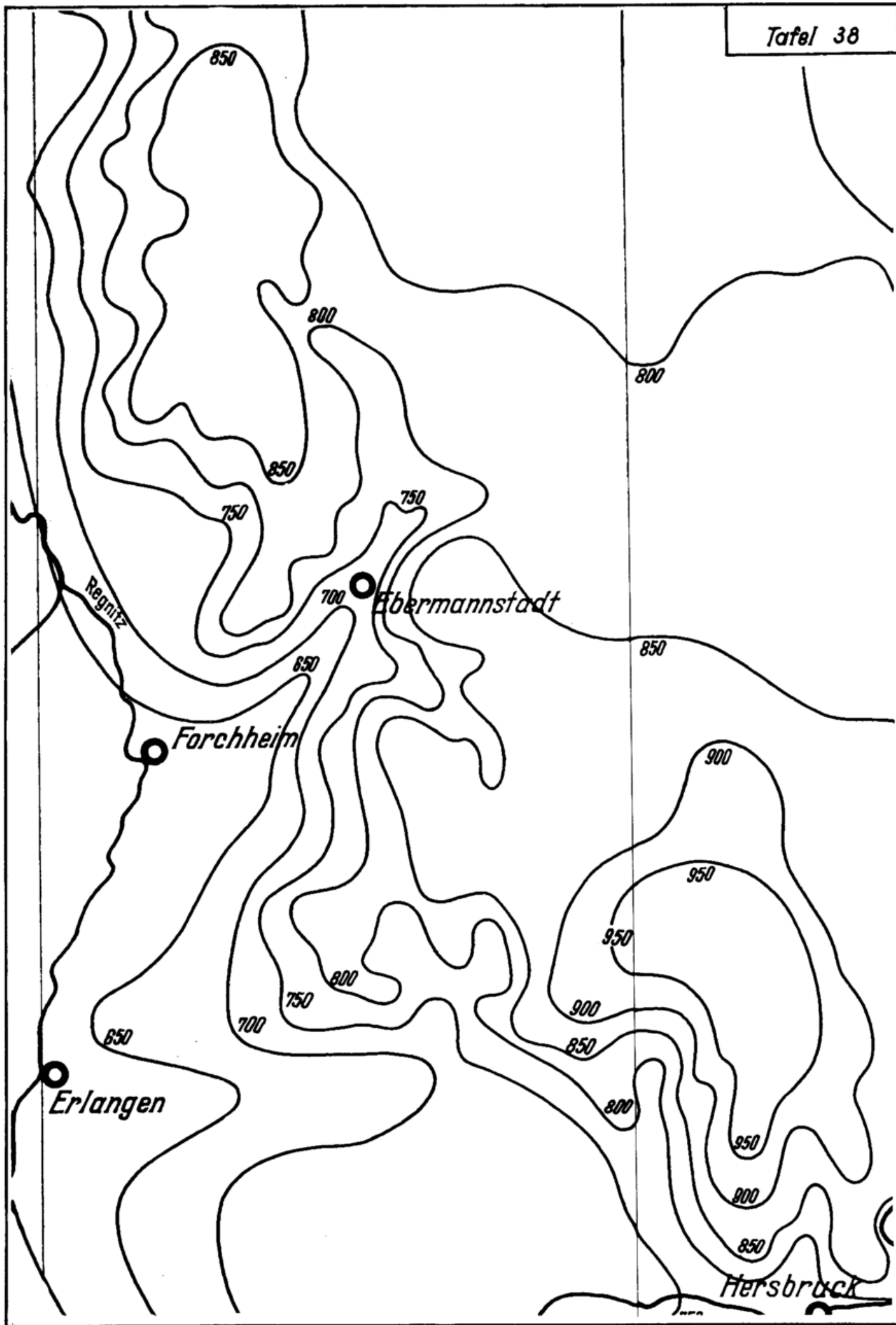
- 
*geschlossenes  
Waldgebiet*
- 
*Ohne  
Baumbestand*
- 
*Geringer, aber  
auffälliger  
Baumbestand*
- 
*Stärkerer  
Baumbestand,  
vereinzelt Knicks*
- 
*Zahlreiche Bäume,  
viele Knicks*

# Windflüchter im Kreuzberg-Gebiet

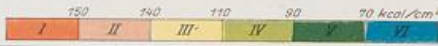


Ausschnitt aus der Topogr. Karte  
1:25.000-Blatt 5625-Wildflecken

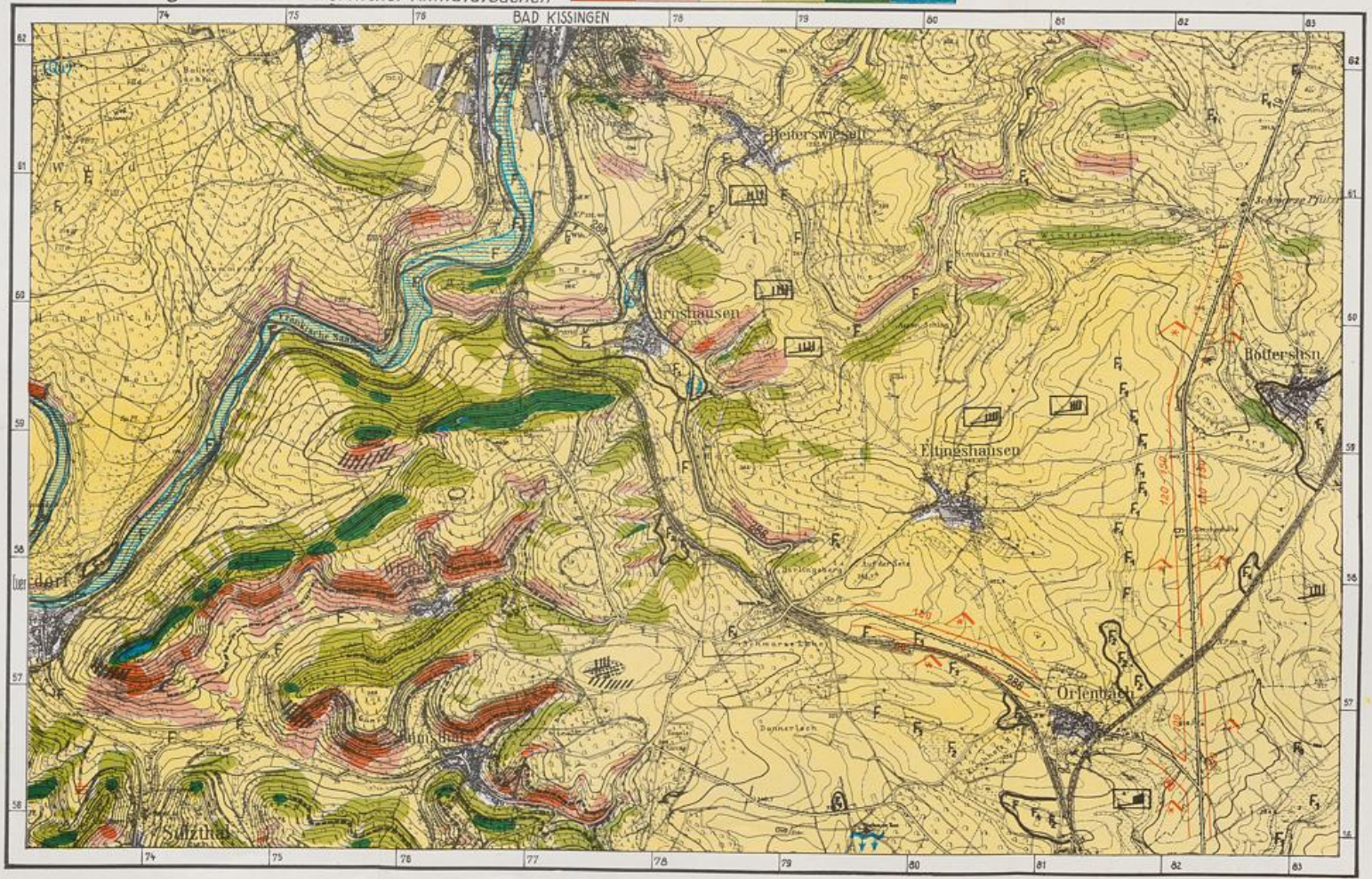




Bestrahlungsklassen mit Kennzeichnung örtlicher Klimatatsachen



Kartegrundlage: Ausschnitt aus Blatt Nr. 5326 der Topographischen Karte 1:25 000. Wiedergabe mit Genehmigung des Bayer. Landesvermessungsamtes München Nr. 12 491/52



Erklärung der Signaturen

- I - VI* Bestrahlungsklassen  
nach Jahressummen  
(höchstmögliche Werte)
- F F<sub>1</sub> F<sub>2</sub>* Frostgefährdung  
normal, mäßig, stark
- F<sub>2</sub>* Frostloch
-  Häufigste obere Grenze  
des Frostes in Tälern
-  Stellen starker  
Bodenaustrocknung
-  Winderosionsschäden
-  Windoffene Gebiete
-  Windige Paß- und  
Sattellagen
-  Windflüchter
- ≡<sup>1</sup> ≡<sup>2</sup>* Nebelgefahr, leicht, stark
-  Grenze des Über-  
schwemmungsgebiets
-  Ansammlung von Wasser
-  Schneeverwehungen (cm)
- (Qu.)* versiegte Quelle
-  Grundwasser  
abgesunken