

Ber. z. dt. Landeskunde	Bd. 64, H. 2, 1990, S. 279—298	Trier
-------------------------	--------------------------------	-------

Patrice PAUL, Straßburg, Fritz FEZER und Ulrike SAILER-FLIEGE, Heidelberg, Norbert BAUKNECHT, Neckargemünd

Die Höhengradienten der Temperatur in Baden-Württemberg und einige Folgewirkungen

1. EINLEITUNG

Baden-Württemberg reicht vom Kuhwörth in Mannheim (91 m NN) bis zum Lemberg auf der Schwäbischen Alb (1015 m), dem Schwarzen Grat vor den Allgäuer Alpen (1118 m) und zum Feldberg im Schwarzwald (1492 m). Hoch über Achern (140 m) erhebt sich in 10 km Entfernung die 1163 m hohe Hornisgrinde; von Sasbachwalden (260 m) aus sind es immer noch 900 m Reliefenergie auf 5 km Entfernung (BEHRMANNs Standard-Distanz). Wer wie die Autoren täglich einen Gebirgshang vor Augen hat, sieht die unterschiedliche Entwicklung der Pflanzenwelt im Frühling, je nachdem, wie hoch ein Abschnitt liegt. Besonders fällt die Höhenabstufung nach Winterniederschlägen auf, dann zeichnet die „Schwarz-Weiß-Grenze“ die 0°—Isotherme nach.

2. GESCHICHTE DER FORSCHUNG

Der erste Klimatologe, der in Württemberg Höhengradienten der Temperatur für alle Monate bestimmt hat, war Julius HANN aus Graz. Vor der Wiener Akademie trug er unter anderem ein Profil von Sulz am Neckar über Hechingen, den Hohenzollern und Schopfloch nach Ulm vor (1870—71). In der beobachteten (für unsere Ansprüche zu kurzen) Periode fiel die Temperatur nach oben im Dezember am schwächsten (0,15 k/100 m), im Juni am stärksten (0,6 k).

BÖGEL (1956) hat in Stuttgart die Gradienten weltweit für jeden Monat berechnet und verglichen. In Deutschland nimmt die Temperatur im Dezember und Januar am schwächsten (ca. — 0,4 k/100 m) und in den Sommermonaten Mai bis August am stärksten (— 0,65 und mehr) mit der Höhe ab. Die Werte ermöglichen es dem Leser, für jede beliebige Höhenlage die Monatsmitteltemperaturen zu schätzen.

Obwohl das Problem seit langem gelöst ist, ist es dennoch in den letzten Jahren wieder aufgegriffen worden, aus mehreren Gründen. Die Temperaturen der

neuen Periode 1931—60 sind zuverlässiger gemessen worden. In Baden-Württemberg gibt es keine Station mehr, die jeden Monat „zu kalt“ oder „zu warm“ wäre. Ferner kann jetzt der Computer das Rechnen und Zeichnen übernehmen (z. B. JENSEN 1989, 47).

VOLLRATH (1976) hat für mehrere deutsche Mittelgebirge die Gradienten berechnet; sie unterscheiden sich kaum, während die korrespondierenden Höhenstufen im Allgäu und Chiemgau etwas wärmer sind. In einer späteren Arbeit (1978) hat er den planetarischen Temperaturwandel (Abfall von SSW nach NNE) berücksichtigt und die positiven und negativen Abweichungen vom mittleren Gradienten in einer Karte eingetragen. Die Städte und ganz Sachsen erscheinen wärmer, als nach seiner Regression zu erwarten wäre.

Gertraud SCHULZE und Angela LEHMANN (1984) haben außer den Monatsmitteln der Maxima und Minima (vgl. Abb. 1—3) auch die Extremtemperaturen herausgesucht; diese reagieren am stärksten auf topographische Besonderheiten der Stationen. Im sächsischen Mittelgebirge scheint der „erste Frost“ im Herbst in knapp 10 Tagen von 1200 m auf 200 m NN hinabzuwandern, während der „letzte Frost“ im Frühling für die Aufwärtsbewegung 33 Tage braucht. Wenn die Tagesmittel die 5°-Marke unterschreiten, dauert der Abstieg von 1200 auf 200 m NN 31 Tage, der Aufstieg im Frühling 38 Tage. Der Durchgang durch das 10°-Tagesmittel dauert auf und ab etwa gleich lang (59 und 53 Tage). Der

Abb. 1: Regressionsgeraden des mittleren Monats- und Jahresmaximums der Lufttemperatur im sächsischen Mittelgebirge (1951—75). Aus SCHULZE u. LEHMANN 1984

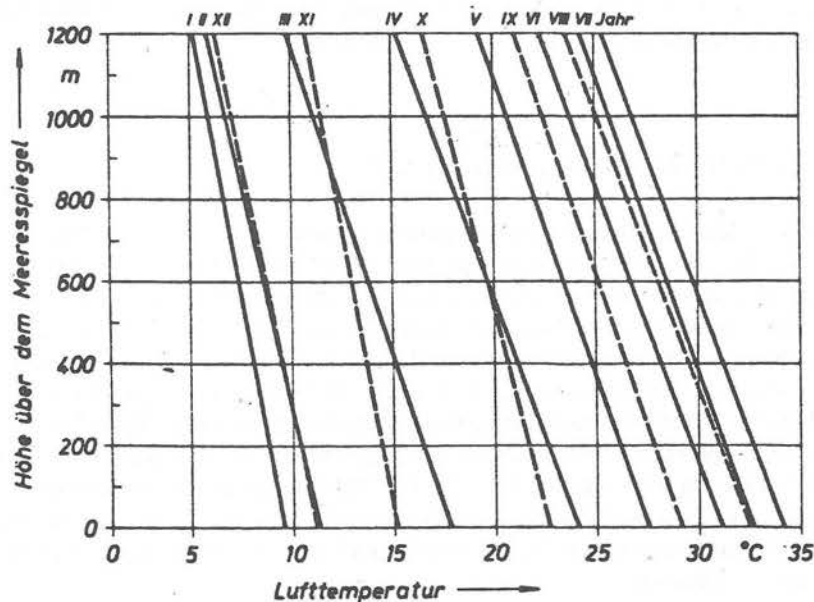


Abb. 2: Regressionsgeraden des mittleren Monats- und Jahresminimums der Lufttemperatur im sächsischen Mittelgebirge (1951—75). Aus SCHULZE u. LEHMANN 1984

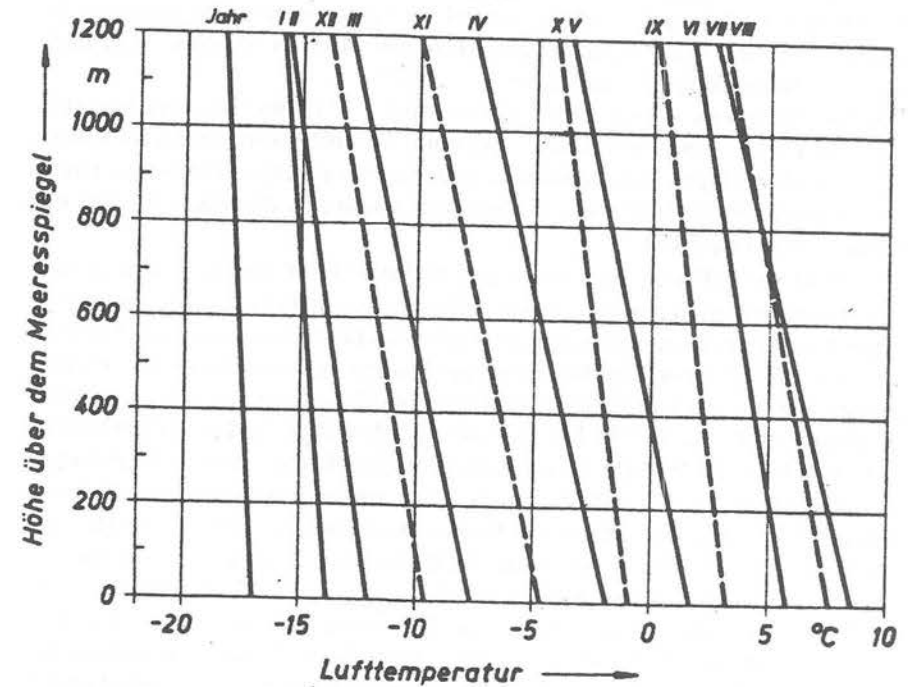
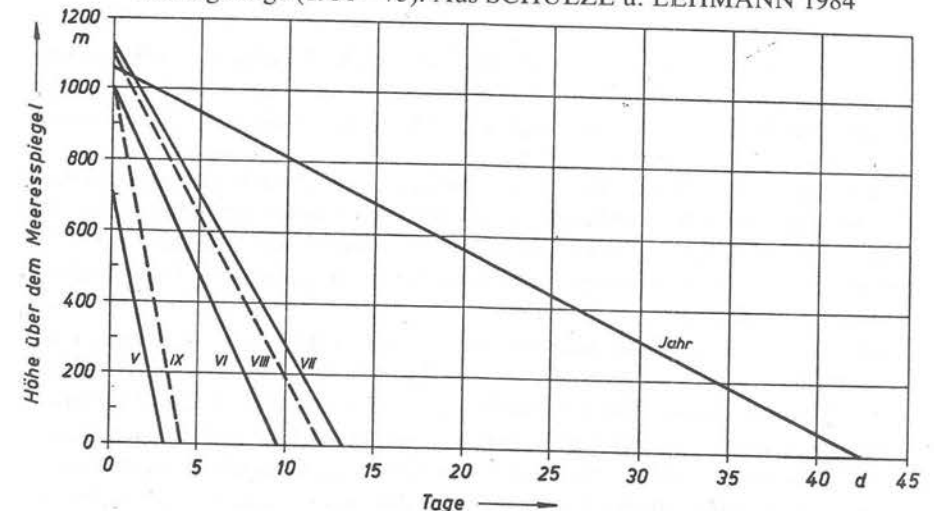


Abb. 3: Regressionsgeraden der mittleren Zahl der Tage mit einem Tagesmaximum der Lufttemperatur über 25° C (Sommertage) im sächsischen Mittelgebirge (1951—75). Aus SCHULZE u. LEHMANN 1984



Herbst tritt also unten nicht viel später ein als oben; dagegen läßt sich der Frühlingseinzug zum Hinaufsteigen Zeit.

Annick DOUGEDROIT und Marie-Françoise de SAINTIGNON (1970; 1984) haben die Jahres- und Monatsmittel der Gradienten für die französischen Alpen berechnet. Die Benutzung eines linearen Modells erfordert zwei Lagegruppen, „Sonnenhänge“ und „Täler“.

In der „Methodik zur räumlichen Bewertung . . .“ (1990, 43) schreiben JENDRITZKY et al.: „Der Einfluß der Orographie kommt besonders deutlich in den mittleren Höhenlagen zum Ausdruck, in denen bei gleicher Höhe sich extreme Unterschiede in den thermischen Umweltbedingungen zwischen Mulden und Kuppenlagen ausprägen.“

Seit SAUSSURE und Alexander von HUMBOLDT hat man sich an den negativen Gradienten gewöhnt; er versteht sich aber nicht von selbst. Steigt man in den Zentralalpen um 100 m auf, so wächst die Globalstrahlung um 3 MJ/m² (KUNZ u. VOLZ 1984, Fig. 10); allerdings ändern sich auch die anderen Strahlungsströme, so daß die Bilanz je nach Tages- und Jahreszeit mal oben, mal unten günstiger ausfällt (A. PEPPLER 1927, 41; DIRMHIRN 1964 und ROBINSON 1964 zit. in KESSLER 1985). Wenn zwei unterschiedlich temperierte Luftmassen aneinanderstoßen, verläuft die Front als schiefe Ebene, über welche die wärmere, leichtere Luft aufgleitet. Wenn die Wolken nicht gerade den ganzen Himmel bedecken, schichtet sich in der Nacht die Luft ebenfalls nach dem spezifischen Gewicht. Unbekümmert nennen wir diesen physikalischen Normalfall „invers“. BROCKS (1948) wies darauf hin, daß die Temperaturen umso stärker fallen, je höher im Jahreslauf die Sonne steigt. Bei sommerlicher Erwärmung bilden sich Konvektionszellen, die beim Aufstieg Energie verbrauchen und sich dadurch abkühlen. Das gleiche tritt ein, wenn waagrecht anströmende Luft an einem Gebirge aufsteigen muß.

3. SCHWARZWALD UND VOGESEN

In den Vogesen und im Schwarzwald wird in verhältnismäßig vielen Bergstationen die Temperatur registriert; ihre Zahl wird von den Talstationen nur knapp übertroffen. In einer ersten Studie (PAUL 1977) wurden die Klassen „Täler und Becken“ und „Hänge und Gipfel“ gebildet.

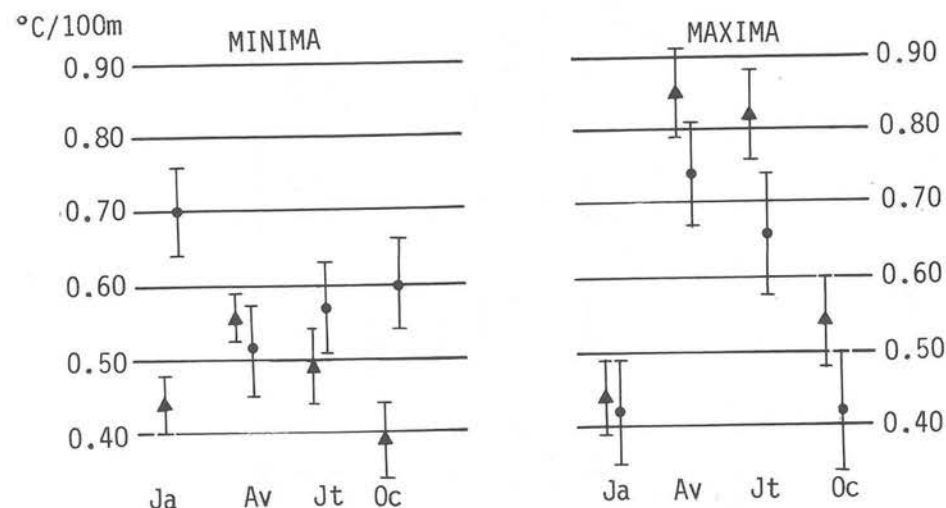
Später wurde das Datenmaterial neu aufgearbeitet (PAUL 1986). Steigt man von niederen zu höheren Hängen und Gipfeln, so fallen im Jahresmittel die Maxima am stärksten (— 0,68 k/100 m), die Minima am schwächsten (— 0,47 k), weil die Berge bei Inversionen in den Genuß höherer, wärmerer Luftschichten kommen (vgl. Tab. 1).

Im Januar sind die Gradienten schwach (— 0,4 k/100 m), stärker nur bei den Tal-Minima (— 0,7); denn im Winter sind die über 700 m hoch gelegenen Täler sehr kalt, verglichen mit Hängen und Gipfeln. Im April fallen die Gradienten am stärksten, bei den Berg-Minima sogar um — 0,85, weil sie in der freien Atmosphäre sehr schroff sind. Ferner liegt in den Hochtälern noch Schnee, und dieser verzögert die ganze Entwicklung. Im Juli ist der Gradient ziemlich steil, beson-

Tab. 1: Gradienten der Minimum- und Maximum-Temperaturen in den Vogesen und im Schwarzwald (PAUL 1986),
H + G = Hang und Gipfel

		Januar		April		Juli		Oktober		Jahr	
		Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max
Gradient (k/100 m)	Tal	— 0,70	— 0,42	— 0,51	— 0,74	— 0,57	— 0,66	— 0,60	— 0,42	— 0,60	— 0,58
	H + G	— 0,44	— 0,44	— 0,54	— 0,85	— 0,49	— 0,82	— 0,39	— 0,54	— 0,47	— 0,68
Temperatur (reduziert auf 0 m)	Tal	0,1	5,0	4,0	15,8	13,9	26,3	7,7	16,1	6,4	15,9
	H + G	0,3	5,0	5,9	15,8	15,6	26,7	8,6	16,4	7,7	16,1
Koeffizient (r ²)	Tal	0,90	0,88	0,87	0,96	0,87	0,93	0,90	0,86	0,92	0,95
	H + G	0,94	0,90	0,93	0,96	0,85	0,96	0,89	0,92	0,90	0,97

Abb. 4: Mittlere monatliche Temperaturgradienten und die 80 Prozent — Standardabweichung in den Vogesen und im Schwarzwald (1977—84)



- ▲ Gipfel und Hänge, sommets et versants
● Täler fond de vallée

ders bei den Berg-Maxima (— 0,82). In Oktobernächten unterscheiden sich Berg und Tal stärker als im Juli; die Berg-Minima fallen nur mit — 0,39, verglichen mit — 0,6 k/100 m in den Tälern.

4. LAGE DER STATIONEN IM RELIEF

Nach dem Vorbild von NIEDŹWIEDŹ (1986), der die frostfreie Periode in den Karpaten für konkave, konvexe und Hanglagen bestimmt hat, wollen wir nun die Stationen noch feiner aufgliedern. Die örtliche Lage war zum kleineren Teil persönlich bekannt, in den meisten Fällen ergab sie sich aus der topographischen Karte und der vom Wetterdienst angegebenen Höhenlage; im Zweifelsfall fragten wir beim Deutschen Wetterdienst nach, dem für die Auskünfte freundlich gedankt sei.

Die Kategorie „Ufer“ war zu klein, „Oberhänge“ fehlen ganz. Während in den Hochlagen Berg- und Talstationen sich die Waage halten, fehlt es in den mittleren und tiefen Lagen an Gipfelstationen. Im Vergleich zu PAUL (1977) konnte also nur die Gruppe „Unterhang“ hinzutreten, die auch Stationen auf Talterrassen, Moränenhügeln und ähnliches umfaßt.

Baden-Württemberg ist immerhin so groß, daß man die Temperaturabnahme nach NNE berücksichtigen muß. Die Station Stuttgart-Hohenheim liegt etwa in

der geographischen Mitte. Alle Mitteltemperaturen, die von Hohenheim aus in WNW oder ESE gemessen sind, wurden unverändert übernommen. Für die anderen Stationen wurde im Rheingraben ein Korrekturfaktor errechnet, der von Basel bis Worms 0,3 k ausmacht, daraus ergab sich eine schwächere Reduktion als bei VOLLRATH (1978) angegeben. Die korrigierten Werte wurden gespeichert und mit dem SAS-Programm ausgewertet. Erst später stießen wir auf die Tabelle 2 von VENT-SCHMIDT (1985), die für jeden Monat Nord-, Süd- und West-Ost-Korrekturen angibt.

Tab. 2: Anzahl und Lage der baden-württembergischen Klimastationen

Höhe NN	Ebene Talsohle	Seeufer	Unterhang Hügel	Oberhang	Plateaukante Gipfel
> 700 m	4	—	1	—	5
< 700 m	20	2	10	—	3

Auch wenn sich der Gradient bei PAUL (1986) nicht mehr so gleichmäßig mit dem Sonnenstand versteilt hat wie bei BÖGEL oder SCHULZE-LEHMANN, darf man die Wirkung der Jahreszeit als geklärt betrachten; daher begnügen wir uns hier mit den Monaten Januar, Juli und September. Januar und September enthalten viele Beobachtungen mit Inversion, zum einen durch die Großwetterlage (z. B. Altweibersommer), zum andern dadurch, daß bei der 7 Uhr- und 19 Uhr-Ablesung die Strahlungsbilanz bereits passiv ist. Der Juli enthält eine starke sommerliche Konvektion, steht also in einem extremen Gegensatz zu Januar und September.

5. GRADIENTEN IN BADEN-WÜRTTEMBERG

Um die drei Lagetypen und die drei Jahreszeiten besser vergleichen zu können, bringen wir die Regressionsgeraden in ein einziges Diagramm (vgl. Abb. 5). Angesichts des kleinen Maßstabs für die Temperatur könnte man die Linien für parallel halten; sie unterscheiden sich aber meßbar (s. „Steigung“ in Tab. 3). Die Tabelle enthält einen einheitlichen Wert für die Steigung; im Diagramm dagegen sind zwei der sechs Regressionen in Teilstücke gegliedert und verlaufen daher geknickt.

Dem Rat von EKHART (1939) folgend betrachten wir zuerst die Berg-Stationen. Im Januar fallen die Temperaturen nach oben nur schwach, weil auch die

Tab. 3: Steigung und Bestimmtheit der Höhengradienten

Monat	Lage der Station	Steigung (k/100 m)	r ²
Januar	— (alle)	— 0,45	0,76
	Tal	— 0,61	0,85
	Unterhang	— 0,65	0,88
	Gipfel	— 0,34	0,88
Juli	— (alle)	— 0,60	0,92
	Tal	— 0,63	0,86
	Unterhang	— 0,55	0,93
	Gipfel	— 0,62	0,97
September	— (alle)	— 0,49	0,85
	Tal	— 0,57	0,81
	Unterhang	— 0,48	0,865
	Gipfel	— 0,50	0,96

Abb. 5: Regression der Monatsmitteltemperaturen (1931—60) in Baden-Württemberg gegen die Höhe NN. Die Stationen sind nach ihrer Lage im Relief gegliedert

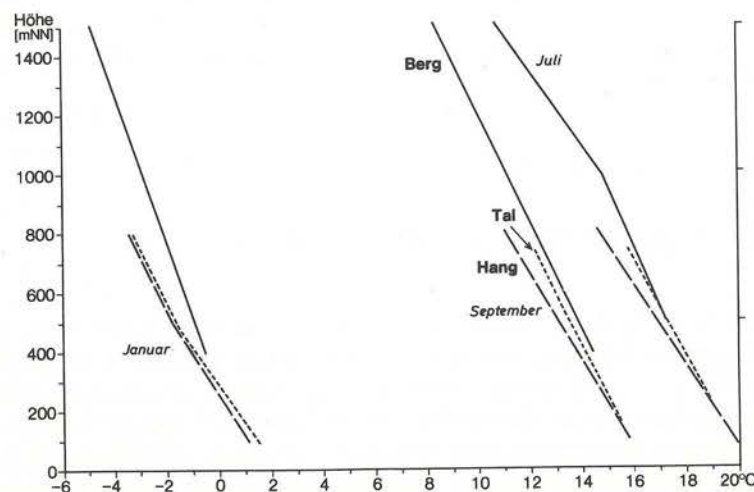


Abb. 5: Regression der Monatsmitteltemperaturen (1931—60) in Baden-Württemberg gegen die Höhe NN. Die 45 Stationen sind nach ihrer Lage im Relief gegliedert.

Konvektion nur schwach ist und weil die Berge längere Zeit aus den winterlichen Hochnebeln herausragen. Im nebelreichen Schweizer Mittelland bei Bern verlängert sich bei 100 m Aufstieg die Sonnenscheindauer um 4 Prozent (KUNZ 1983, Tab. 8). Tage- und wochenweise wird der Gradient umgekehrt, im Monatsmittel abgemildert. JUSTYAK und PINCÉS (1976) haben nach dem kalten Winter 1973/74 auf den Hügeln von Tokaj untersucht, wieviele Knospen der berühmten Reben völlig erfroren waren. Stiegen sie von der ungarischen Tiefebene um je 10 m hinauf, so milderte sich der Anteil jeweils um 16 Prozent.

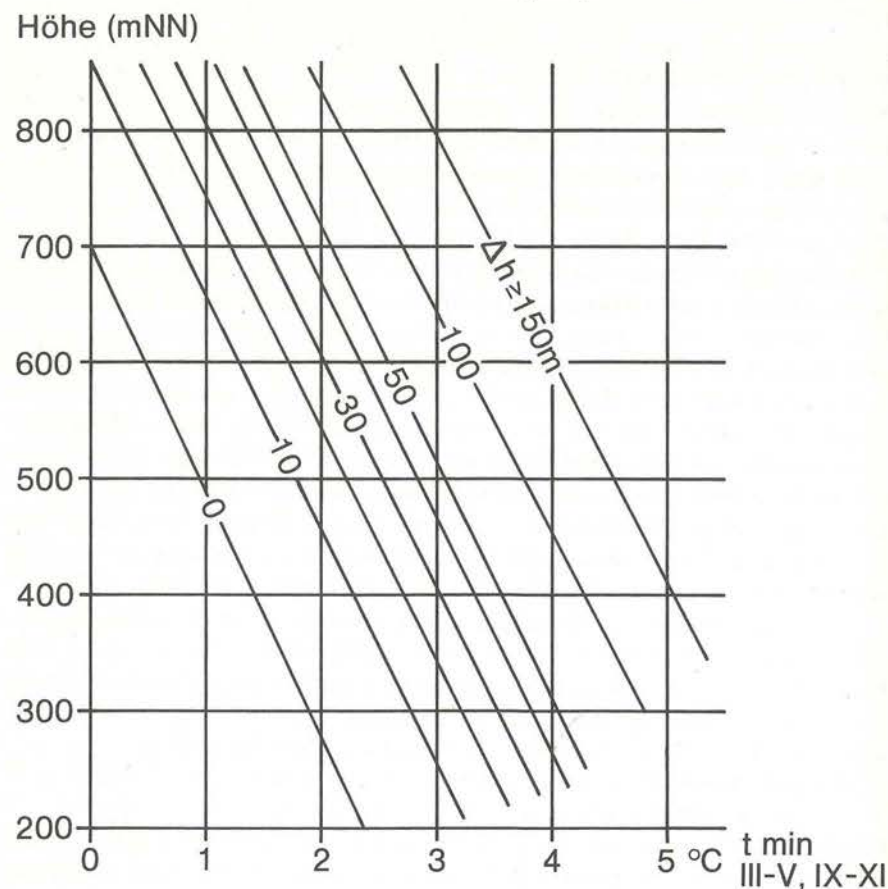
Schon im April versteilt sich der Gradient auf sommerliche Werte (Tab. 1, in den Abbildungen 2 und 4 erscheint er flacher). Im Juli bringen Zyklogen oder der konvektive Luftaufstieg den Bergen viele Wolken; besonders der 1486 m hohe Feldberg ist dann relativ kühl. Bei Nacht setzt die Konvektion aus, deshalb ist der Gradient beim Temperaturminimum nur — 0,5 k/100 m gegenüber 0,8 beim Maximum (vgl. Abb. 4). Im September fallen die Temperaturen schwächer als im Juli, aber stärker als im Januar.

Bevor wir zur neuen Kategorie der „Unterhänge“ gehen, betrachten wir als Gegensatz zu den Bergen die Täler. Hier laufen die Gradienten der Monatsmittel von Januar, Juli und September einander recht ähnlich (vgl. Abb. 5), aber dahinter verbirgt sich ein scharfer Gegensatz. Während nämlich die Maxima etwas schwächer, insgesamt aber parallel zu den Bergstationen fallen (vgl. Abb. 4), folgen die Gradienten der Temperaturminima einem umgekehrten Jahresgang. Im Sommer sind sie ähnlich wie die Gradienten der Berge, im Januar scheinen sie besonders steil zu fallen. Sobald wir aber für die Winternächte zwei Teilregressionen rechnen — für die überwiegend schneebedeckten Täler oberhalb 500 m NN, mit oft klarer Luft, und für die meist aperen Täler darunter, die durch Nebel abgedeckt sind — stellen sie sich als extrem gering ein, wie das für eine Tageszeit ohne Konvektion zu erwarten ist (vgl. KALB 1981).

Wie verhält sich die neue Kategorie der „Unterhänge“ samt Flußterrassen, Vorhügeln und ähnliches? Dieser Lagetyp ist im Januar um 0,1—0,3 k milder, ihr Gradient fällt fast parallel zu dem der Talstationen. Das ist leicht zu verstehen, weil im Winter die Inversionen hoch hinauf reichen und weil Hügel und Hänge von Hochnebel eingehüllt sind. Im Juli sind diese Standorte etwa 0,3 k wärmer als Täler gleicher Höhe; jetzt ähnelt der Gradient mehr demjenigen der Gipfel und fällt unterhalb von 600 m NN sogar mit jenem zusammen. Im September hält er sich zwischen Tälern und Gipfeln. Wegen des wechselnden Verhaltens ist es sinnvoll, die Unterhänge als eigenen Typ aufzuführen.

NIEDŹWIEDŹ hat in den Karpaten noch weiter differenziert, nämlich nach dem Höhenunterschied von der Station zur Talsohle; wir haben sein Nomo-gramm als Abbildung 6 übernommen. Man darf es aber nicht unbesehen auf Hänge in Baden-Württemberg übertragen, zum Beispiel sind die Fröste auf den oberrheinischen Randhügeln, selbst wenn sie nur 10—30 m aufragen, seltener und milder, weil sich für die autochthone und zufließende Kaltluft der Rheingraben als ein ungeheures Reservoir anbietet, das nie ganz aufgefüllt wird. Umgekehrt kann aus vielen Hochtälern, zum Beispiel der Baar, dem oberen Murg- oder Ittertäl die Kaltluft nur zögernd durch enge Talabschnitte abfließen. Das obere Becken füllt sich im Lauf der Nacht auf; kurz vor Sonnenaufgang ist es dort 100 m über dem Talgrund kaum milder als unten.

Abb. 6: Mittlere Temperaturminima für März bis Mai und September bis November in den polnischen Westkarpaten je nach der Höhe über der Talsole („h“). Aus NIEDŹWIEDŹ (1986)



6. ERGEBNIS

Ein Gipfel in 700–900 m Höhe ist im Januarmittel um 1,5 k milder, im Juli um 1,2 k und im September um 1,5 k wärmer als Tallagen gleicher Meereshöhe. Bei den früheren Gradienten-Darstellungen streuten die Stationspunkte über ein breites Feld. Der Gradient war ferner unausgewogen, weil unter den Klimastationen die Tallagen weitaus vorherrschten.

Mit der von uns vorgeschlagenen Typisierung weichen die Mittel nur noch um Bruchteile eines Grades von der Regressionsgeraden ab; man kann jene daher auf andere Gebiete übertragen.

Verwendet man statt der üblichen Monatsmittel die Maximal- und Minimal-

Temperaturen, so werden die Kurven zwar komplexer, lassen sich aber mit größerer Wahrscheinlichkeit interpretieren.

7. STATIONSKENNZEICHEN

Bis jetzt werden die Stationswerte in den klimatologischen Tabellenwerken nur durch Ortsnamen und Meereshöhe kommentiert. Als zusätzliche Kennung schlagen wir folgende Kürzel vor:

- C City, Stadtkern
- G Gipfel, Kanten, Plateaurand
- H Hügel, Terrasse, unterer Talhang
- O Oberhang
- S Siedlung mäßiger Dichte
- T schlecht ventiliertes Tal
- U Ufer von Seen und größeren Flüssen
- V gut ventilierte Lage (Ebene, Breittal)
- W am oder im Wald

Die derzeit noch überrepräsentierten Talstationen lassen sich bestimmten Lage-typen zuordnen und besser als bisher auswerten. Zusätzliche Stationen sind besonders an Unter- und Oberhängen erwünscht.

8. DIREKTE ANWENDUNGEN

Um eine Temperaturkarte — gleich welchen Maßstabs — zu entwerfen, muß der Bearbeiter zwischen den einzelnen Stationen interpolieren. Wenn das Gelände bergig ist, wird er den Höhengradienten berücksichtigen. In den meisten Klima-Atlanten laufen die Isothermen parallel zu den Höhenlinien, aber vielleicht einige Zehner von Metern zu hoch oder zu tief, weil die Lage der Bezugsstation nicht berücksichtigt ist.

Wendet man außer den typisierten Temperatur-Werten noch Thermal-aufnahmen vom Flugzeug oder von einer Raumplattform an, läßt sich das Karten-bild noch wesentlich verfeinern. Am wichtigsten ist es, in die vielen, zur Zeit entstehenden, großmaßstäbigen Geländemodelle verfeinerte Grunddaten einzu-speisen.

Um die Jahrhundertwende 1900 wurden in mehreren Atlanten, zum Beispiel in Andrees Handatlas (1906, 11) und Diercke (1912 10, 77 u. a.) die Temperaturen auf den Meeresspiegel reduziert, um den Einfluß der Gebirge auszuschalten.

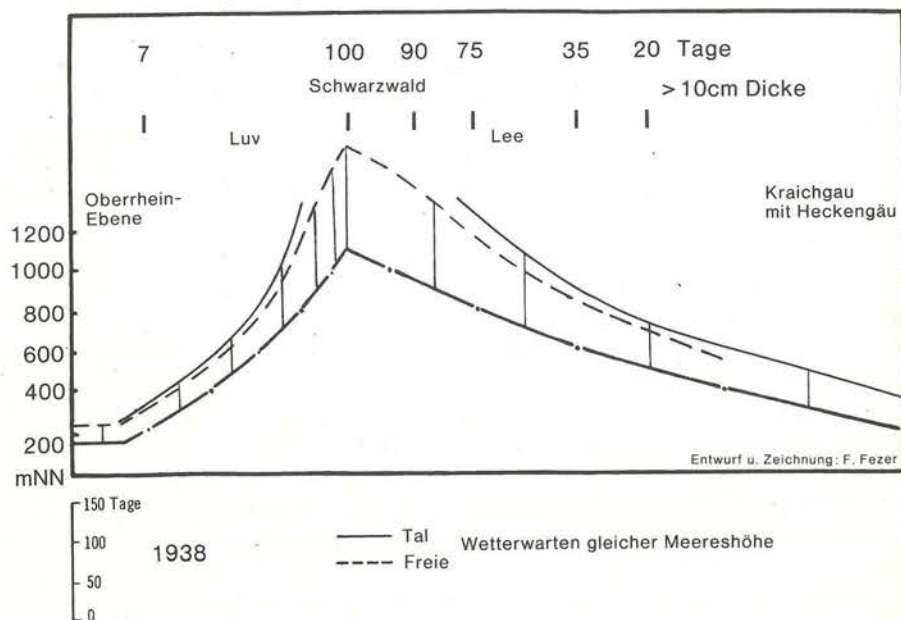
Heute interessieren Höhengradienten auch als Maß für die Luftbewegung, ob die Luft stabil (= austauscharm), indifferent oder labil geschichtet ist.

9. SCHNEEDECKE UND PHÄNOLOGISCHE TERMINE

Beim Höhengradienten des Schnees (vgl. Abb. 7) überlagern sich mehrere Faktoren. Weil die Temperatur in der Höhe geringer ist, wird ein größerer Anteil des Niederschlags in fester Form fallen. Steigt man auf der Luvseite des Nordschwarzwaldes um 100 m hinauf, so wächst der Niederschlag um 110 mm, die Höchstmenge hält noch 5–10 km jenseits des Kamms an, um dann auf der Leeseite um 200 mm/100 m zu fallen (berechnet nach ADRIAN 1987, 52). Eine schneebedeckte Fläche gibt überwiegend Energie ab, deshalb wird an einem windstillen Tag die Luft an der Schwarz-Weiß-Grenze sprunghaft kälter. Die Dauer einer Schneedecke wird in Hochlagen seltener unterbrochen, die Decke wächst in die Höhe.

Im Nordschwarzwald liegt die Talstation des untersten, kommerziellen Skilifts in 780 m Höhe am Oberen Plättig; dort ist die Schneedecke an 80 Tagen des Jahres dicker als 10 cm. Bei dieser Mächtigkeit fahren die ersten und letzten Fans über eine Graspiste. Und genau ab 80 Betriebstagen beginnt sich ein Lift zu rentieren, wogegen Klubs auch tiefer unten Aufstiegshilfen einsetzen. In den Tälern wird weniger Schnee weggeweht als auf den Plateaus, ferner scheint hier die Sonne kürzer, einmal weil die nächtlichen Inversionen mit Nebel länger anhalten, zum andern weil sie am Spätnachmittag schon beschattet werden, daher bleibt dort der Schnee wesentlich länger liegen als auf Hochflächen gleicher Höhenlage (vgl. Abb. 7).

Abb. 7: Tage mit Schneedecke im Nordschwarzwald. Obere Ziffern: Mindestdicke für Skilauf 10 cm, Mittel 1936–58 (nach Hydrolog. Atlas BRD, Karte 21). Graphik: Tage ohne Dickenbegrenzung, 1938.



Beobachtungen der Forsythienblüte (FEZER u. SEITZ 1977) ergaben, daß der Frühling in Etappen auf die Höhen steigt, immer wieder von Kaltlufteinbrüchen oder Schlechtwetter in einem Niveau festgehalten. Erst die Bildung langjähriger Mittel glättet den Aufstieg.

Tab. 4: Phänologische Höhengradienten je 100 m Aufstieg im langjährigen Mittel

Blüte des Schneeglöckchens (Perce-neige)	— 7 Tage
Blüte des Apfelbaums (pommier)	— 6
Ernte des Getreides (céréal)	— 4,5
Winterweizen-Ertrag	— 2,75 Prozent
Weidezeit (Frühjahr und Herbst) (élevage)	— 10 Tage
Vegetationsperiode (von der Apfelblüte bis zum Ende des 5 °-Tagesmittels)	— 9,5 Tage
Heizperiode von September bis Mai (chauffage)	+ 146 Gradtage
Häufigkeit nächtlicher Inversionen	— 10 Prozent
Verdunstung	— 15 mm

In der „Methodik zur räumlichen Bewertung...“ (1990, 40) zeichnen JENDRITZKY et al. in 2 Diagrammen die mit der Höhe wachsenden Kältereize im Januar und die schrumpfende Wärmebelastung im Juli. Für die Höhenspanne 300–900 m NN errechneten wir folgende Gradienten:

Kältereize im Januar	+ 2,2 Tage
Wärmebelastung im Juli	— 1,1 Tage

10. FOLGEWIRKUNGEN DES HÖHENGRADIENTEN FÜR DIE LANDWIRTSCHAFT

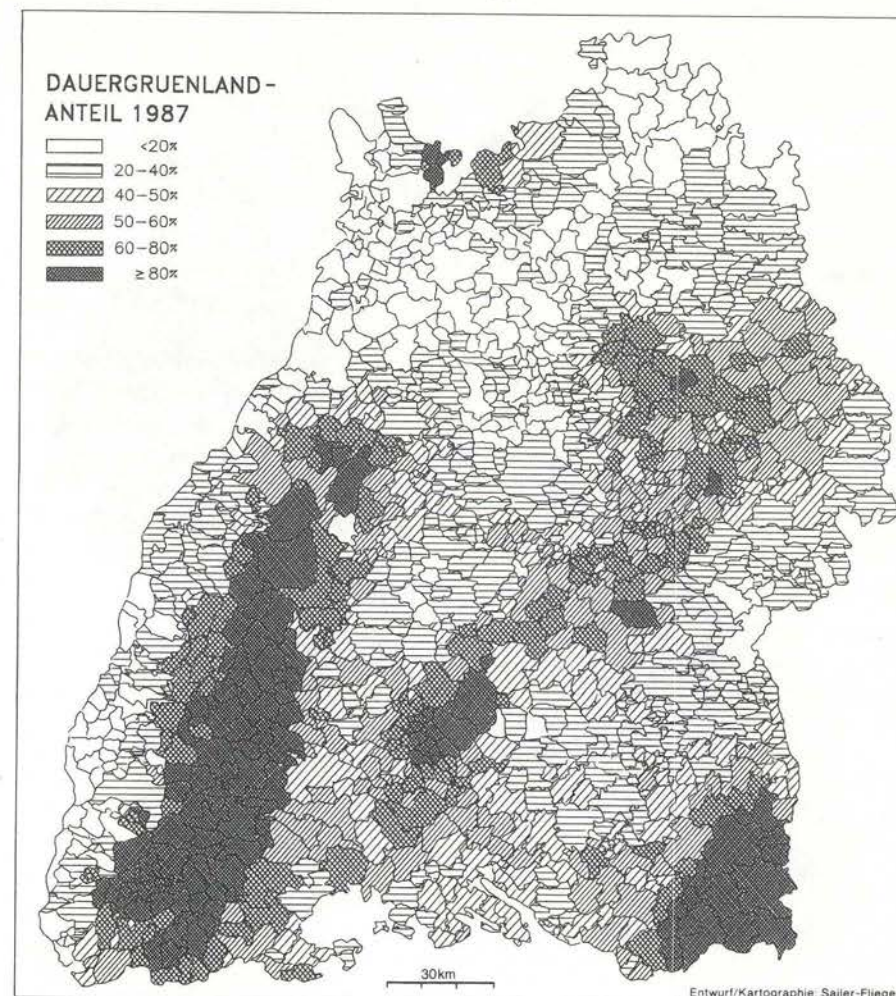
Die Höhengradienten der Temperatur und des Niederschlags, jeweils modifiziert durch Reliefgegebenheiten und durch Luv- und Leewirkungen, steuern wesentlich Länge und Ausprägung der Vegetationsperiode und damit das potentielle Anbauspektrum und den jeweiligen Ertrag. Im Rahmen der natürlichen Standortvoraussetzungen variieren allerdings die Flächenanteile der Nutzungsarten in Abhängigkeit von den agrar- und gesamtwirtschaftlichen Bedingungen, dem jeweiligen Stand der agrotechnischen, -biologischen und -chemischen Entwicklung und den spezifischen regionalen agrarstrukturellen Bedingungen. Seit der Jahrhundertwende weichen in der Landwirtschaft Baden-Württembergs die Betriebsziele Produktion für lokale und regionale Märkte einerseits und Selbstversorgung andererseits immer mehr einer marktorientierten Ausrichtung auf über-

regional bzw. supranational konkurrenzfähige landwirtschaftliche Produkte. Dies führte zu einer Abkehr von der vielseitigen Ausrichtung der landwirtschaftlichen Produktion hin zu einer starken betrieblichen Spezialisierung, womit eine im Vergleich zu früheren Zeiträumen viel stärker ausgeprägte räumliche Spezialisierung der Landwirtschaft in Baden-Württemberg verbunden war. Denn bei in Relation zu den Betriebsmittelpreisen und den Arbeitskosten stagnierenden bzw. sinkenden Erzeugerpreisen wurde gerade für Landwirte in Gebieten mit ungünstigsten natürlichen Standortbedingungen das wirtschaftlich sinnvolle Anbauspektrum und damit die Ausrichtung des Betriebssystems erheblich eingeschränkt, so daß die Zunahme der regionalen Unterschiede in den landwirtschaftlichen Nutzungsstrukturen die bei überregionaler Marktorientierung wachsende Bedeutung der natürlichen Standortvoraussetzungen und damit des Höhengradienten widerspiegelt.

Auffälligstes Ergebnis dieser Umorientierungsprozesse waren die umfangreichen Vergrünlandungen in Baden-Württemberg. Noch 1895 waren flächenmäßig größere Areale mit Dauergrünland-Anteilen von mindestens 50 Prozent der landwirtschaftlichen Nutzfläche nur für die thermisch ungünstigsten Mittelgebirgsbereiche in Höhenlagen über 1000 m (Teile des mittleren, südöstlichen und des Hochschwarzwaldes) und für den zwar niedrigeren, aber trotzdem niederschlagsreichen Nordwestschwarzwald festzustellen (BORCHERDT 1985). In der ersten Hälfte des 20. Jahrhunderts hatte der Vergrünlandungsprozeß in tiefere Lage übergegriffen, nahezu der gesamte Schwarzwald wies 1939 Dauergrünlandanteile über 60 Prozent bzw. über 80 Prozent auf. Dauergrünlandanteile von 50–60 Prozent bzw. 60–80 Prozent waren nun auch für weite Mittelgebirgsbereiche in Höhenlagen von 700–900 m (Südwestalb, mittlere Kuppenalb, westliches Allgäu) und für höhere, stärker reliefierte Berglandbereiche mit 500–700 m Höhe und schweren Böden (Keuperwaldberge) kennzeichnend. 1987 nahm im gesamten Schwarzwald und in der Südostecke Baden-Württembergs das Dauergrünland über 80 Prozent der landwirtschaftlich genutzten Fläche ein, in den anderen erwähnten Landesteilen lag der Anteil nun vielfach über 60 Prozent (vgl. Abb. 8). Nur in thermisch vor allem in den Sommermonaten günstigeren Lagen zum Beispiel in der Baar, der Hegaualb und im ober-schwäbischen Hügelland war durch die Ausweitung des hier möglichen umfangreichen Silomaisanbaus der Dauergrünlandanteil bis 1987 wieder auf unter 50 Prozent zurückgegangen.

Auch die räumliche Verteilung der Betriebssysteme lehnt sich deutlich an die Höhenverhältnisse und die Reliefgegebenheiten an. Futterbaubetriebe, in denen mindestens 50 Prozent des Betriebseinkommens durch Rindermast oder Milchviehhaltung erzielt wird, überwogen deutlich in den Teilen Baden-Württembergs (vgl. Abb. 9), in denen durch die Höhenlage bedingt, die ungünstigsten natürlichen Voraussetzungen herrschen mit zum Beispiel Temperaturmitteln in den für das Pflanzenwachstum wichtigen Monaten Mai-Juli unter 13–14° C (KLIMAATLAS von Baden-Württemberg 1953). In diesen kann unter den gegenwärtigen Rahmenbedingungen der Produktionsfaktor Boden wirtschaftlich nur über Großviehhaltung und damit über Futterbau (wenn möglich über Silomais, ansonsten über Dauergrünland) verwertet werden. Dies gilt selbst für Gebiete wie die Keuperwaldberge und Teile des Westallgäus, die aufgrund

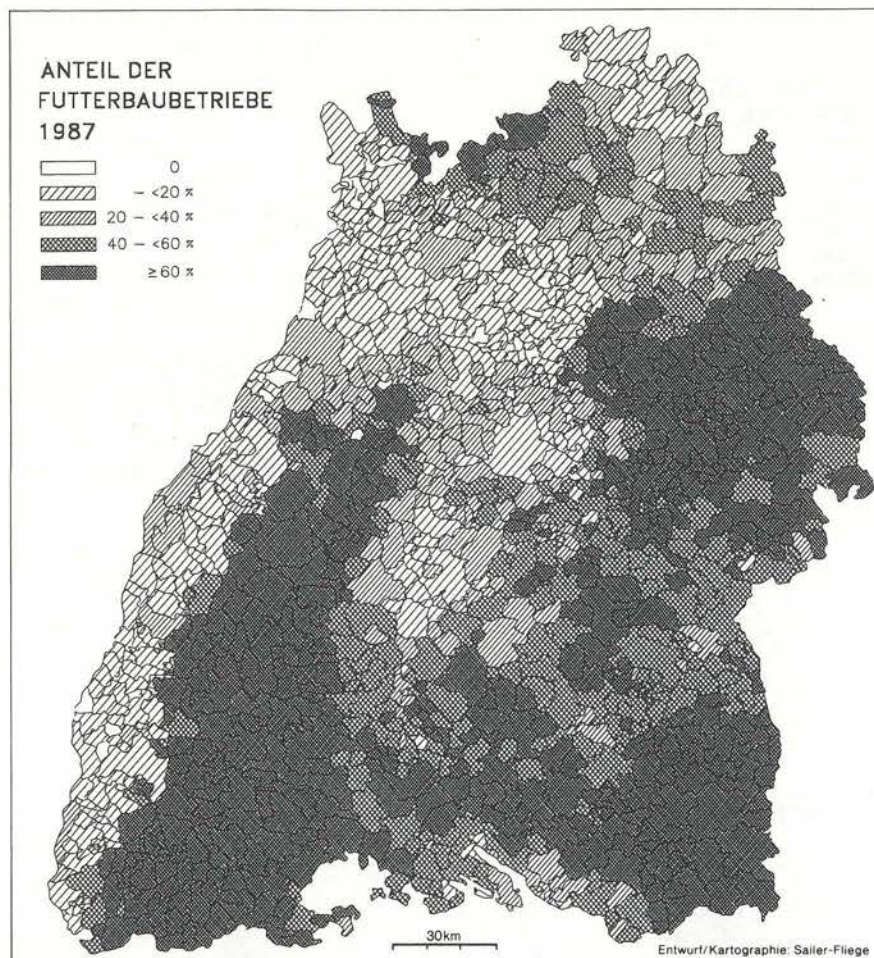
Abb. 8: Anteil des Dauergrünlandes in Baden-Württemberg 1987 (Berechnungsgrundlage: Struktur- und Regionaldatenbank, Statistisches Landesamt Baden-Württemberg)



phänologischer Geländeaufnahmen noch Anfang der 50er Jahre als wuchsklimatische Gebiete, in denen Getreidebau begünstigt ist, eingeordnet worden sind (PLANUNGSATLAS von Baden-Württemberg 1969).

Mittelfristig werden diese Gebiete mit heute weit überdurchschnittlichen Anteilen von vorwiegend auf Dauergrünland basierenden Futterbaubetrieben (vgl. Abb. 8, 9) auch diejenigen Gebiete Baden-Württembergs sein, in denen, bei zu erwartender weiter marktorientierter Ausrichtung der EG-Agrarpolitik und weiterer Verschärfung der Einkommenslage in der Landwirtschaft, die Landwirtschaft in flächenmäßig bedeutendem Umfang aufgegeben werden wird (THIEDE 1988). Diese Gebiete, die mehrheitlich über 500 mm NN liegen, werden dann,

Abb. 9: Anteil der Futterbaubetriebe an allen landwirtschaftlichen Betrieben in Baden-Württemberg 1987 (Berechnungsgrundlage: Struktur- und Regionaldatenbank, Statistisches Landesamt Baden-Württemberg).



außer in den Teilbereichen mit gewissen thermischen oder reliefbedingten Gunstfaktoren (z. B. Donautal, Baar), selbst wenn sich die Betriebe vergrößern könnten, nicht nur wie bisher als Grenzstandorte des Ackerbaus, sondern, gerade in der Konkurrenz zu atlantischen Futterbaubetrieben auch als Grenzstandorte der Grünlandnutzung bewertet werden.

11. ZUSAMMENFASSUNG

Für die Klimastationen von Schwarzwald und Vogesen bzw. für das Land Baden-Württemberg werden die Höhengradienten der Monatsmitteltemperatu-

ren berechnet und verglichen, und zwar für konkave und konvexe Lagen getrennt; in Baden-Württemberg werden als dritte Kategorie die Unterhänge ausgegliedert. Terrassen, Hügel- und Vorberge sind im Winter fast so kalt wie die Täler (bei flachem Gradienten), im Sommer fast so warm wie die Gipfel. Die Stationswerte weichen jetzt nur noch wenig von der Regressionsgeraden ab. Die getrennte Berechnung für Tages-Maxima und Nacht-Minima führt zu einem komplexeren Jahresgang, als es bisher bekannt war.

LITERATUR

- ADRIAN, G. 1987: Um- und Überströmung von Bergen. *Promet* 3/4: 50—54.
- BÖGEL, R. 1956: Untersuchungen zum Jahresgang des mittleren geographischen Höhengradienten der Lufttemperatur in den verschiedenen Klimabieten der Erde. *Berichte deutsch. Wetterd.* 26, Bad Kissingen 42 S., 16 Tab., 4 Abb.
- BORCHERDT, Ch. et al. (1985): Die Landwirtschaft in Baden-Württemberg 1850—1980. Stuttgart.
- BROCKS, K. 1948: Über den täglichen Gang der Höhenabhängigkeit der Temperatur in den unteren 300 Metern der Atmosphäre und ihren Zusammenhang mit der Konvektion. *Ber. dt. Wetterd. US-Zone 5*, Bad Kissingen, 30 S., 20 Abb.
- DOUGEDROIT, A. u. M. F. De SAINTIGNON 1970: Méthode d'étude de la décroissance des températures en montagne de latitude moyenne: exemple des Alpes françaises du Sud. *Revue Géogr. Alpine* 58, Grenoble, 453—472.
- DOUGEDROIT, A. u. M. F. De SAINTIGNON 1984: Les gradients de températures et de précipitation en montagne. *Revue Géogr. Alpine* 72, Grenoble, 225—239.
- EKHART, E. 1939: Mittlere Temperaturverhältnisse der Alpen und der freien Atmosphäre über dem Alpenvorland, ein Beitrag zur dreidimensionalen Klimatologie. *Meteor. Zeitschr.* 56, 12—26 u. 49—57.
- FEZER, F. u. R. SEITZ 1977: Klimatologische Untersuchungen im Rhein-Neckar-Raum. *Heidelberger Geograph. Arb.* 47, 243 S.
- GOLF, W. u. O. MENDEL 1988: Vergleichende Betrachtungen zur Höhenabhängigkeit von Klimaelementen im Erzgebirge (DDR) und in der Slowakei (CSSR) für die Übertragung von Wasserhaushaltsmodellen. *Zeitschr. f. Meteor.* 38, 35—45.
- GREEN, F. H. W. u. R. J. HARDING 1950: The altitudinal Gradients of Air Temperature in Southern Norway. *Geografiska Annaler* 62 A, Stockholm, 29—36.
- HANDLUNGSAalternativen der EG-Agrarmarktpolitik (1987). Schriftenreihe des Bundesministers für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten: A, Angewandte Wissenschaft 348. Münster-Hiltrup.
- HANN, J. 1870: Die Wärmeabnahme mit der Höhe auf der Erdoberfläche und ihre jährliche Periode. *Sitz. ber. Akad. Wiss. Wien* 61, 65—81.
- HANN, J. 1896: Die Erde als Ganzes, ihre Atmosphäre und Hydrosphäre. *Prag-Wien-Leipzig*, 336 S.
- HESS, M., NIEDŹWIEDŹ, T. u. B. OBRESKA-STARKEI 1975: The methods of constructing climatic maps of various scales for mountainous and upland territories exemplified by the maps prepared for Southern Poland. *Geogr. Polon.* 31, 163—187.
- HUMBOLDT, A. v. 1960: Ideen zu einer Geographie der Pflanzen. 1807. *Oswalds Klass. d. ex. Wiss.*, Leipzig, 29—50.
- JENSEN, B. 1989: Räumliche Interpolation der Stundenwerte von Niederschlag, Temperatur und Schneehöhe. *Züricher Geograph. Schriften* 35, 70 S.
- JUSTYAK, J. u. Z. PINCZES 1976: Die den Frostboden modifizierende Wirkung des Reliefs in Tokajhegyalja (Ungarisch mit deutscher Zusammenfassung). *Földrajzi Ertesítő* 25 (1), Budapest, 31—60.
- KALB, M. 1981: Angaben zur Häufigkeit und Höhe bodennaher Inversionen aus klimatologischen Beobachtungen an Bodenstationen. *Natur u. Landschaft* 56 (1), Stuttgart, 3—7.
- KESSLER, A. 1985: Heat Balance Climatology. *World Survey of Climatology*, vol. 1 A (Hrsg. A. ESSENWANGER), Amsterdam, 224 S.
- KLIMAATLAS von Baden-Württemberg 1955: Hrsg. Deutscher Wetterdienst. Bad Kissingen.
- KUNZ, S. 1983: Anwendungsorientierte Kartierung der Besonnung im regionalen Maßstab. *Geographica Bernensia* G 19, Bern, 87 S., 29 Abb.
- KUNZ, S. u. R. VOLZ 1984: Sonnenenergie-Nutzungszonen Schweiz. Bern (Geograph. Inst. d. Univ.).
- MANIER, C. 1975: Vergleich zwischen Ausbreitungsklassen und Temperaturgradienten. *Meteor. Rundschau* 28, 200—211, 5 Abb.
- METHODIK zur räumlichen Bewertung der thermischen Komponente im Bioklima des Menschen, fortgeschriebenes Klima-Michel-Modell. *Beitr. Akad. Raumforsch. Hannover* 114, 80 S., 4 Karten in Anl., 1990.
- NIEDŹWIEDŹ, T. 1986: The Method of Establishing a Detailed Map of the Frost Conditions in Mountainous Regions based on Standard Meteorological Network Data. *Freiburger Geograph. Hefte* 26, 200—211, 5 Abb.
- PAUL, P. 1977: La décroissance de la température avec l'altitude dans les Vosges et le Forêt-Noire, aspects locaux et régionaux. *Recherches Géographiques à Strasbourg* 4, 1977, 55—67.
- PAUL, P. 1986: Topoclimats et décroissance de la température avec l'altitude dans les Vosges et le Forêt-Noire. *Freiburger Geograph. Hefte* 26, 293—304.
- PEPPLER, A. 1927: Über das Strahlungsklima der Rheinebene und des Hochschwarzwaldes. *Beitr. oberrhein. Landesk., Festschr.* 22. dt. Geogr. tag Karlsruhe 1927 (Hrsg. F. METZ), Karlsruhe, 33—44.
- PEPPLER, W. 1931: Zur Frage des Temperaturunterschiedes zwischen den Berggipfeln und der freien Atmosphäre. *Beitr. Physik fr. Atmosphäre* 17, Leipzig, 247—263.
- PLANUNGSATLAS von Baden-Württemberg (1969). Hrsg. Akademie für Raumforschung und Landesplanung und Innenministerium Baden-Württemberg. Stuttgart.
- SAILER-FLIEGE, U. 1990: Die Landwirtschaft in Baden-Württemberg — gegenwärtige Strukturen und Entwicklungstendenzen. *Geographische Zeitschrift* 78 (4).
- DeSAINTIGNON, M. F. 1976: Décroissance des températures en montagne de latitude moyenne, exemple des Alpes françaises du Nord. *Revue Géogr. Alpine* 64, Grenoble, 483—494.
- SAUSSURE, H. B. de 1779—96: Voyage dans les Alpes. Genf.
- SCHLENKER, G. 1987: Höhenstufen, Klimatypen und natürliche Bewaldung, Vorschläge für eine künftige Überarbeitung des klimatologisch-vegetationskundlichen Sektors der regionalen Gliederung von Baden-Württemberg. *Mitt. Verein forstl. Standortskunde* 33, Stuttgart 1987, 9—26.

- SCHULZE, G. u. A. LEHMANN 1984: Verhältnisse der Lufttemperatur im Mittelgebirge der DDR. Abhandl. Meteor. Dienstes der DDR 131, Bd. 18, Berlin, 108 S., 29 Abb.
- THIEDE, G. 1988: Landwirt im Jahr 2000. Frankfurt/Main.
- VENT-SCHMIDT, V. 1985: Ein Regressionsmodell zur Berechnung der räumlichen Verteilung der mittleren Lufttemperatur mittels einer orographischen Datei. Meteor. Rundschau 38, Berlin, 184—187.
- VOLLRATH, H. 1976: Allgäu und Fichtelgebirge, Vergleich zweier Grünlandgebiete. Schule und Beratung (H. 5), S. III, München, 1—10.
- VOLLRATH, H. 1978: Die Anomalie der Lufttemperatur im Umkreis von Fichtelgebirge und Vogtland. Ber. naturwiss. Ges. Bayreuth 16, 289—308.
- WANNER, H. 1983: Das Projekt „Durchlüftungskarte der Schweiz“ — Methodik und erste Ergebnisse. Inform. Beitr. Klimaforschung Univ. Bern, Geograph. Inst. Bern 18, 67 S.