

Berichte
des
Deutschen Wetterdienstes

Nr. 150

**Geländeklimatologische Untersuchungen
im Weinbaugebiet des Kaiserstuhls**

von
Wilfried Endlicher

(mit 58 Abbildungen und 17 Tabellen im Text)

Offenbach am Main 1980
Im Selbstverlag des Deutschen Wetterdienstes

ISSN 0072—4130

ISBN 3—88148—176—1

Herausgeber und Verlag:

Deutscher Wetterdienst, Zentralamt, Frankfurter Straße 135, 6050 Offenbach am Main

Mit der Annahme des Manuskriptes und seiner Veröffentlichung durch den Deutschen Wetterdienst geht das Verlagsrecht für alle Sprachen und Länder einschließlich des Rechtes der photomechanischen Wiedergabe oder einer sonstigen Vervielfältigung an den Deutschen Wetterdienst über; für den Inhalt ist der Verfasser verantwortlich.

V O R W O R T

Die vorliegende mesoskalare Klimauntersuchung ist die Kurzfassung einer Dissertation, die am Geographischen Institut I der Universität Freiburg im Breisgau angefertigt wurde. Sie wurde mit dem Gödecke-Forschungspreis 1979 der Universität Freiburg ausgezeichnet.

Die Anregung zu dieser Untersuchung gab mir Prof. Dr. Wolfgang Weischet. Ihm bin ich an erster Stelle für seine stete Anteilnahme, hilfsbereite Förderung und kritischen Ratschläge zu herzlichem Dank verpflichtet. Besonders danken möchte ich auch dem Präsidenten des Deutschen Wetterdienstes, Herrn Prof. Dr. Ernst Lingelbach, für die Aufnahme der Untersuchung in die "Berichte des Deutschen Wetterdienstes". Herr Prof. Dr. Gerd Hildebrandt von der Abteilung Luftbildmessung und Luftbildinterpretation des Institutes für Forsteinrichtung und Forstliche Betriebswirtschaft unterstützte meine Vorhaben im Rahmen des Erdwissenschaftlichen Flugzeugmeßprogramms mit großem Verständnis. Herr Prof. Dr. Albrecht Kessler und Herr Mechanikermeister Hermann Trick vom Meteorologischen Institut der Universität Freiburg halfen mir mehrfach bei der Wartung und Instandsetzung der Meßapparaturen. Die Dezernate des Wetteramtes Freiburg standen mir mit außergewöhnlicher Zuverlässigkeit synoptisch beratend zur Seite und stellten umfangreiches Datenmaterial zur Verfügung. Gleiches gilt auch für den geophysikalischen Dienst der Bundeswehr am Flugplatz Bremgarten. Herr Dr. Kritikós von der Deutschen Forschungs- und Versuchsanstalt für Luft- und Raumfahrt beriet mich bei der Programmwahl am digitalen Bildverarbeitungssystem DIBIAS. Wertvolle Detailinformationen erhielt ich von der Winzer-schaft des Kaiserstuhls, die allen Geländearbeiten aufgeschlossen gegenüberstand. Allen genannten Personen und Institutionen möchte ich für die gewährte Unterstützung herzlich danken. Meiner lieben Frau, der diese Arbeit gewidmet ist, danke ich für ihre Geduld, ihr Verständnis und ihre unermüdliche technische Hilfe.

	Zusammenfassung/Abstract	1
1	PROBLEMSTELLUNG	1
1.1	Landschaftsgliederung	2
1.2	Weinbau am Kaiserstuhl: Entwicklung, Krise, Konsolidierung	4
1.3	Geländeklima und Qualitätsweinbau	5
1.4	Klimatische Dimensionierung des Untersuchungs- gebietes	8
1.5	Mittlere Klimadaten	8
2	MESSFAHRTEN	9
2.1	Überblick über Meßfahrten im Rahmen gelände- klimatologischer Untersuchungen	9
2.2	Meßapparatur	11
2.3	Meßmethodik	12
2.4	Beschreibung der Meßitinerare	14
2.5	Auswahl der Meßtermine und subregionale Wetter- typenklassifikation	22
2.6	Elementar-statistische Datenüberprüfung	26
2.7	Anschluß der morgendlichen Meßfahrten an Bezugsklimastationen zur Berechnung der Frostgefährdung	27
2.8	Meßfahrtergebnisse, Folgerungen für bestimmte Geländesituationen und allgemeine Modell- vorstellungen	31
2.8.1	Morgenkampagnen bei Strahlungswetter	31
2.8.1.1	Testgebiet Zentralkaiserstuhl	31
2.8.1.2	Testgebiet Ostkaiserstuhl	39
2.8.1.3	Testgebiet Südwestkaiserstuhl	46
2.8.1.4	Vergleich der morgendlichen Temperaturver- hältnisse an klein- und unterlassierten Hängen mit denjenigen auf Großterrassen und Zusammenfassung der Ergebnisse aus dem TG Südwestkaiserstuhl	56
2.8.1.5	Die morgendlichen Meßfahrtergebnisse in ihrem Zusammenhang mit Kaltluftproduktion und -verteilung	65
2.8.1.6	Vertikale Temperatur- und Feuchteverteilung am Kaiserstuhl in Strahlungsnächten	66
2.8.2	Mittagskampagnen bei Strahlungswetter	68
2.8.2.1	Strahlungsklimatische Grundlagen der Tempera- turverteilung	68
2.8.2.2	Testgebiet Zentralkaiserstuhl	69
2.8.2.3	Testgebiet Ostkaiserstuhl	72
2.8.2.4	Testgebiet Südwestkaiserstuhl	73
2.8.3	Meßkampagnen bei anderen Wettertypen	77
2.8.3.1	Neutraltyp	77
2.8.3.2	Böenwetter- und Zyklonaltyp	79

	Seite	
3	THERMALBILDER	84
3.1	Theoretische Grundlagen	84
3.2	Aufnahme und Verarbeitung von Thermalbildern im Rahmen des Flugzeugmeßprogrammes	85
3.3	Interpretation der Thermalbilder	88
3.3.1	Abgrenzung kaltluftgefährdeter Geländeteile	88
3.3.1.1	Subregionale Abgrenzung Kaiserstuhl-Oberrhein- ebene	89
3.3.1.2	Lokale Abgrenzungen im Ostkaiserstuhl	94
3.3.2	Vergleich Kleinterrassen - Großterrassen	97
3.3.2.1	Morgensituation	97
3.3.2.2	Mittagsituation	102
4	ZUSAMMENFASSENDER SCHLUSSBETRACHTUNG	106
5	LITERATUR	109

Anschrift des Verfassers: Dr. Wilfried Endlicher
Geographisches Institut I der
Universität
D-7800 Freiburg i.Br.

A B B I L D U N G E N

	Seite		Seite
Abb. 1: Naturräumliche Gliederung des Kaiserstuhls	3	Abb.15: Morgendliche Temperaturminima bei Strahlungswetter auf Itinerar D Schwalbental - Schelinger Rebberg - Degenmatt	37
Abb. 2: Wachstumszyklus der Rebe	6	Abb.16: Morgendliche Temperaturminima bei Strahlungswetter auf Itinerar E Vogelsangpaß - Oberschaffhausen	39
Abb. 3: Mittlerer Jahresgang der Sonnenscheindauer	9	Abb.17: Morgendliche Temperaturminima bei Strahlungswetter auf Itinerar F Schambachtal - Bötzingen	40
Abb. 4: Schematischer Aufbau und Schaltplan der mobilen Meßapparatur	12	Abb.18: Morgendliche Temperaturminima bei Strahlungswetter auf Itinerar G Fuchs buck - Kreuzweg	42
Abb. 5: Ausschnittsweise Wiedergabe der Originalaufzeichnung von Meßfahrt M 54, 28.6.1976	13	Abb.19: Morgendliche Temperaturminima bei Strahlungswetter auf Itinerar H Brentensaul - Schambäch	42
Abb. 6: Topographische Skizze des Kaiserstuhls mit Landnutzung, Klimastationen und Meßitineraren	15	Abb.20: Morgendliche Temperaturminima bei Strahlungswetter auf Itinerar I Reimendsbühl/ Rippachtal - Eichstetten	44
Abb. 7: Topographische Skizze des mittleren Krottenbachtals mit Landnutzung und Meßitineraren A und C	16	Abb.21: Morgendliche Temperaturminima bei Strahlungswetter auf Itinerar J Ihringen - Lenzenberg	47
Abb. 8: Topographische Skizze des oberen Krottenbachtals mit Landnutzung und Meßitineraren A und C	17	Abb.22: Morgendliche Temperaturminima bei Strahlungswetter auf Itinerar K Rheinaue - Blankenhornsberg - Oberbrunnen	49
Abb. 9: Topographische Skizze des TG Ostkaiserstuhls mit Landnutzung, Meßitineraren E - I und Wetterhütte Mahlkünzig	18	Abb.23: Morgendliche Temperaturminima bei Strahlungswetter auf Itinerar L Vierhäupter - Großterrasse Riegersbuck	51
Abb.10: Topographische Skizze von Schmerberg und Lenzenberg mit Landnutzung, Meßitinerar J und Wetterhütte Lenzenberg	19	Abb.24: Morgendliche Temperaturminima bei Strahlungswetter auf Itinerar M Großterrasse Storck - Großterrasse Littensbühl	53
Abb.11: Topographische Skizze der Großterrassenanlage am Föhrenberg mit Landnutzung, Meßitineraren K - N und Wetterhütte Vierhäupter	20	Abb.25: Morgendliche Temperaturminima bei Strahlungswetter auf Itinerar N Balschtal - Großterrasse Schneckenberg	55
Abb.12: Morgendliche Temperaturminima bei Strahlungswetter auf Itinerar A Krottenbachtal - Zentralkamm	32		
Abb.13: Morgendliche Temperaturminima bei Strahlungswetter auf Itinerar B Elsengraben - Vogelsangpaß	34		
Abb.14: Morgendliche Temperaturminima bei Strahlungswetter auf Itinerar C Baßgeige - Krottenbachtal - Kunzenbuck	35		

Abb.26: Kräfterdiagramme für die Kaltluftbewegung an einem unterrassierten Rebhang und auf einer Großterrasse	65	Abb.36: Morgendliche Temperaturverteilung beim Böenwetter- und Zyklonaltyp im Vergleich zum Strahlungstyp auf Itinerar A Krottenbachtal - Zentralkamm	80
Abb.27: Lufttemperatur und relative Feuchte am 1.4.1976 vor Sonnenaufgang am Kaiserstuhl und in der freien Atmosphäre des Oberrheingrabens	67	Abb.37: Morgendliche Temperaturverteilung beim Böenwettertyp im Vergleich zum Strahlungstyp auf Itinerar K Rheinaue - Blankenhornsberg - Oberbrunnen	81
Abb.28: Mittägliche Temperaturmaxima bei Strahlungswetter auf Itinerar A Krottenbachtal - Zentralkamm	70	Abb.38: Morgendliche Temperaturverteilung beim Böenwettertyp im Vergleich zum Strahlungstyp auf Itinerar N Balschental - Großterrasse Schneckenberg	82
Abb.29: Mittägliche Temperaturmaxima bei Strahlungswetter auf Itinerar C Baßgeige - Krottenbachtal - Kunzenbuck	71	Abb.39: Mittägliche Temperaturverteilung beim Böenwetter- und Zyklonaltyp auf Itinerar C Baßgeige - Krottenbachtal - Kunzenbuck	82
Abb.30: Mittägliche Temperaturmaxima bei Strahlungswetter auf Itinerar F Schambachtal - Bötzingen	73	Abb.40: Mittägliche Temperaturverteilung beim Böenwetter- und Zyklonaltyp auf Itinerar N Balschental - Großterrasse Schneckenberg	83
Abb.31: Mittägliche Temperaturmaxima bei Strahlungswetter auf Itinerar J Ihringen - Lenzenberg	74	Abb.41: Zunahme der Windgeschwindigkeit an einer vom Wind angeströmten Terrasse	83
Abb.32: Mittägliche Temperaturmaxima bei Strahlungswetter auf Itinerar K Rheinaue - Blankenhornsberg - Oberbrunnen	75	Abb.42: Prinzip der Zeilenabtastung	86
Abb.33: Mittägliche Temperaturmaxima bei Strahlungswetter auf Itinerar L Vierhäupter - Großterrasse Riegersbuck	76	Abb.43: Kontrastverstärkte Thermalbildmontage des Kaiserstuhls vom 16.7.1976, 2.21-2.27 und 3.34-3.36 Uhr MEZ, aus 4000 m ü.NN	90
Abb.34: Mittägliche Temperaturmaxima bei Strahlungswetter auf Itinerar M Großterrasse Storck - Großterrasse Littensbühl	76	Abb.44: Topographische Skizze des Kaiserstuhls mit Isanomalien der Oberflächentemperatur (vereinfacht nach einer Äquidensitendarstellung von Abb. 43)	93
Abb.35: Temperaturprofile von Itinerar E Vogelsangpaß - Oberschaffhausen während Auflösung und Neubildung einer Inversion im Vergleich zu einer Morgen- und Mittagssituation beim Neutraltyp	78	Abb.45: Kontrastverstärktes Thermalbild des TG Ostkaiserstuhl vom 16.7.1976, 2.21-2.27 Uhr, MEZ, aus 4000 m ü.NN	95

Abb.46: Topographische Skizze des TG Ostkaiserstuhl mit Isanomalien der Oberflächentemperatur (vereinfacht nach einer Äquidensitendarstellung von Abb. 45)	96	Abb. 57: Äquidensitendarstellung von Abb. 55	104
Abb.47: Kontrastverstärktes Thermalbild vom Lenzenberg; 16.7.1976, 4.14 Uhr MEZ aus 1000 m ü.NN	98	Abb. 58: Äquidensitendarstellung von Abb. 56	104
Abb.48: Kontrastverstärktes Thermalbild der Großterrassenanlage am Föhrenberg; 16.7.1976, 4.14 Uhr MEZ aus 1000 m ü.NN	98		
Abb.49: Äquidensitendarstellung von Abb.47	99		
Abb.50: Äquidensitendarstellung von Abb.48	99		
Abb.51: Vergrößerter Thermalbildausschnitt aus Abb.50 mit der Großterrasse am Schneckenberg in Äquidensitendarstellung	101		
Abb.52: Topographische Skizze der Großterrasse am Schneckenberg	101		
Abb.53: Lufttemperaturprofile über die Großterrasse am Schneckenberg synchron zu den Befliegungen	101		
Abb.54: Frostschadenskartierung vom 17.10.1972 am Schneckenberg	101		
Abb.55: Kontrastverstärktes Thermalbild vom Lenzenberg; 16.7.1976, 14.35 Uhr MEZ aus 1000 m ü.NN	103		
Abb.56: Kontrastverstärktes Thermalbild der Großterrassenanlage am Föhrenberg; 16.7.1976, 14.35 Uhr MEZ aus 1000 m ü.NN	103		

T A B E L L E N

	Seite		Seite
Tab. 1: Mittlere Klimawerte aus deutschen Weinbaugebieten	7	Tab.13: Mittlere morgendliche hypsometrische Temperaturgradienten im Kaiserstuhl	68
Tab. 2: Mittlere Sonnenscheindauer im Jahr und während der Vegetationsperiode	8	Tab.14: Summen der direkten Sonnenstrahlung an unterschiedlich orientierten Hängen, reduziert nach Maßgabe des mittleren prozentualen Sonnenscheins	69
Tab. 3: Übersicht über neuere Meßfahrten mit geländeklimatologischer Fragestellung	10	Tab.15: Emissionsvermögen verschiedener Materialien im Spektralbereich 8-14 µm	84
Tab. 4: Flurbereinigung Ihringen V (West)	21	Tab.16: Ablauf des Flugzeugmeßprogramms (1974-1977) am Kaiserstuhl; Sommerbefliegung 15.-16.7.1976	87
Tab. 5: Verzeichnis der Meßfahrten	24	Tab.17: Maximal mögliche Summen der direkten Sonnenstrahlung [MJ/m²] zur Mittagszeit (11-15 Uhr MOZ) am 16.Juli in 48°15'N	102
Tab. 6: Eintrittswahrscheinlichkeit von Temperaturminima $\leq +4.0^{\circ}\text{C}$ in Oberrotweil (a) und Liliental (b) im achtzehnjährigen Mittel für das Frühjahr und den Herbst	30		
Tab. 7: Frostgefährdungszonen	30		
Tab. 8: Vergleich der Temperaturminima in 12 Strahlungsnächten zwischen der Großterrasse am Riegersbuck und kleiner oder unterterrassierten Rebarealen	57		
Tab. 9: Vergleich der Temperaturminima in 12 Strahlungsnächten zwischen der Großterrasse am Schneckenberg und kleiner oder unterterrassierten Rebarealen	58		
Tab.10: Vergleich der Temperaturminima in 12 Strahlungsnächten zwischen der Großterrasse am Littensbühl und kleiner oder unterterrassierten Rebarealen	58		
Tab.11: Frühjahrs- und Herbstfrostgefährdung sowie Häufigkeit der Temperaturklassenzugehörigkeit von Groß- und Kleinterrassen	58		
Tab.12: Zusammenstellung aller Meßstandorte mit Höhenlage, mittlerer Temperaturabweichung vom Basiswert und Frostgefährdungsstufen	59		

Zusammenfassung

Die subregionalen und lokalen Differenzierungen des Geländeklimas im Weinbaugebiet des Kaiserstuhls wurden durch lineare und flächenhafte Datenaufnahmen erfaßt. Mit Hilfe einer mobilen Meßapparatur wurden bei unterschiedlichen Wetterlagen 119 Meßfahrten durch repräsentative Landschaftsteile durchgeführt. Meßkampagnen in Strahlungsnächten ermöglichten Aussagen hinsichtlich der Kaltluftbeeinflussung von Rebland relativ zur Oberrheinebene. Über Bezugsklimastationen wurde die Frostgefährdung errechnet. Mittägliche Meßfahrten gaben Aufschluß über die Temperaturverteilung an unterschiedlich orientierten Rebhängen. Mit einem Zeilenabtaster wurden vom Flugzeug aus zu verschiedenen Tageszeiten Thermalbilder des Kaiserstuhls aufgenommen. Sie wurden digital zu Äquidensiten weiterverarbeitet und in Karten der Oberflächentemperatur überführt. Aus dem Vergleich von konventionell kleinterrassierten Rebhängen mit flurbereinigten Großterrassenanlagen konnte eine Verschlechterung des Geländeklimas bei Großterrassierung abgeleitet und quantifiziert werden.

Abstract

The topoclimatological differentiation in the wine-growing parts of the Kaiserstuhl area could be registered by means of mobile measurements of air temperature and remote sensing methods. The 119 tours of measurement were carried out in representative parts of the Kaiserstuhl hills at different weather conditions. Measuring drives during nights with clear sky, calm air and radiation loss made a realistic insight possible into the thermal differentiation of the surrounding Upper Rhine Plain and the wine-clad slopes. The risk of killing frost could be predicted. Tours of measurement around noon showed the contrasting effects of differently exposed slopes on the distribution of the air temperature.

At several flights a line-scanner had been used to represent the Kaiserstuhl hills in thermal images. By means of digital image processing equidensities of surface temperature were generated and transferred to maps. A comparison of the climatic conditions on conventionally terraced slopes and on recently constructed large terraces showed that the latter - built to facilitate the wine-grower's work - were considerably less favourable than the conventional ones in regard to their climatological impact on wine-growing.

1 PROBLEMSTELLUNG

Der Kaiserstuhl steigt als kleines, nur 92 km² großes Bergland inselhaft aus der südlichen Oberrheinebene empor. Rauten- oder zitronenförmig in südwest-nordöstlicher Richtung gestreckt, beträgt seine Länge 15,8 km, seine Breite 12,5 km. Im Nordosten trennt ihn die gut 2 km breite Riegeler Pforte von der Schwarzwald-Vorbergzone, im Osten und Südosten eine ein- einhalb Kilometer breite Niederung von den Hochschollen des Nimberg und Tuniberg. Ein schmaler Niederterrassensaum des nahen Rheins begleitet ihn im Südwesten, die Hügel um Sasbach bilden seine Ausläufer im Nordwesten.

Eine jegliche Untersuchung des Kaiserstuhls wird die drei augenfälligsten Besonderheiten seiner physisch-geographischen Substanz in Betracht ziehen müssen als da sind

- seine vulkanische Entstehung,
- die Überkleidung mit einer LÖRdecke

und
- seine klimatische Sonderstellung. Letztere ist in erster Linie eine Konsequenz der in Bezug auf Mitteleuropa südlichen Lage bei gleichzeitig tiefer Einsenkung in den Oberrheingraben: Die Vogesen begrenzen das Tiefland im Westen (Großer Belchen 1424 m ü. NN, Hohneck 1361 m ü. NN), der Schwarzwald im Osten (Feldberg 1493 m ü. NN, Kandell 1241 m ü. NN, der Schweizer Jura im Süden (Chasseral 1607 m ü. NN, Weißenstein 1396 m ü. NN). Bei einer Fußhöhe des Berglandes von nur 180 bis 190 m ü. NN besteht somit eine klimatische Gunstsituation, die die Grundlage für die Sonderkultur des Weinbaus bildet.

Seine vulkanische Entstehung verdankt der Kaiserstuhl der Kreuzung zweier Störungslinien, des von SSW nach NNE streichenden Oberrheingrabens und des von SE heranziehenden Bonndorfer Grabens. Mit dem Ausfluß von etwa 10 m

mächtigen Lavaströmen und dem Auswurf von Breccien, Tuffen und Aschen setzte im Miozän die vulkanische Tätigkeit ein und baute den westlichen Teil des Kaiserstuhls als Stratovulkan auf. Ein zentraler Kern wird aus subvulkanischen Gesteinen gebildet, die später als Intrusionen in den Vulkan eindringen (Essexitporphyre des Zentralkamms, Phonolit des Bötzingen Steinbruchs, Karbonatit des Badbergs). Die Unterlage des Ostkaiserstuhls besteht dagegen aus oligozänen Vulkansandsteinen, Mergeln und Tonen, die als tektonische Platten während der Absenkung des Rheingrabens ähnlich wie der Tuniberg stehen blieben. Sie wurden kontaktmetamorph an die magmatischen Gesteine des "Zentralkammes" "angeschweißt". Während des Quartärs wurde der Kaiserstuhl auf der südwestlichen Luvseite mit einer 5-10 m, auf der ostwärtigen Leeseite mit einer maximal 30 m dicken Lößdecke überkleidet. Es handelt sich hierbei um das größte Lößvorkommen Deutschlands, das wesentlich die landschaftliche Individualität des Berglandes mitbestimmt. Die Abtragungsvorgänge im Spät- und Hochglazial legten den Untergrund auf den Höhen über 400 m ü. NN wieder frei. Während der äolische Primärlöß, der sich durch seinen hohen Schluff- und Feinsandanteil und dadurch bedingte große Standfestigkeit und Wasserspeicherungsfähigkeit auszeichnet, auf Hügeln und Hängen dominiert, liegt auf den Talböden zu meist solifluidal angelagerter Schwemmlöß mit höherem Tonanteil. Letzterer trägt neben der gestörten Porenstruktur wesentlich zu seiner erhöhten Erosionsanfälligkeit bei. Es kann bei Starkregen kurzzeitig so viel Wasser anfallen, daß linienhafte Abtragung durch oberflächlich abfließendes Wasser bzw. bei Wasserübersättigung auch denudative Vorgänge die Folge sein können. Hinsichtlich der postmiozänen Talgenese muß zuerst eine Abtragung und Einrumpfung von einigen hundert Metern angenommen werden (SCHREPFER 1933a). Die charakteristische Kastentalform in Verbindung mit zirkusförmigen Talschlüssen erklärt GEILENKEUSER (1970) mit periglazialen Abtragungsvorgängen in Form von Schmelzwasser-Schwemmlöß-Fluten. Diese Korrasionstälchen lehnen sich dabei in ihrem Verlauf an tertiäre Talsysteme an. Während über petrographisch-mineralogische (WIMMENAUER 1957, 1959, 1962, 1963), geomorphologische (GEILENKEUSER 1970) und geobotanische Sachverhalte (WILMANN 1977) aus jüngster Zeit umfassende und gründliche Analysen vorliegen, stehen solche hinsichtlich der klimatischen Individualität des Kaiserstuhls bisher noch aus. Als erster berichtet THOMAS (1884)

mit dem bis heute allerdings nicht belegbaren Hinweis, daß Ihringen vielleicht der wärmste Ort Deutschlands sei, über eine Klimagunst des Kaiserstuhls. Die Untersuchungsergebnisse von SCHULTHEISS (1912), KNOERZER (1922), HEILIG (1930/31) und SCHREPFER (1933b) faßt LOSSNITZER (1939) zu einem qualitativen Resümee zusammen: Danach bleibt der Kaiserstuhl im Temperaturjahresmittel und im Sommerhalbjahr nur wenig hinter tiefer gelegenen Orten in Rheinhessen zurück, die Vogesen bewirken bei Schlechtwetterlagen Niederschlagsverminderung und Wolkenauflösung. Eine Hochnebeldecke verschlechtert im Herbst und Winter oft die Einstrahlungsverhältnisse, sie schützt die Trauben allerdings aber auch vor Frühfrösten. Als ungünstige Eigenschaften des Kaiserstuhlklimas seien die stark wechselnde Spätfrostgefährdung durch Kaltluftseen und die kräftige Gewittertätigkeit anzusehen. All diese kontinentalen Komponenten des Kaiserstuhlklimas treten besonders deutlich im Vergleich mit den ozeanisch beeinflussten Vogesen- und Schwarzwaldhöhen hervor. CREUTZBURG (1954b) betont nochmals die hohen sommerlichen Maxima, die an mediterrane Werte heranreichen würden, und die notwendige Unterscheidung zwischen frostgefährdeten Tiefenzonen und begünstigten mittleren Hanglagen. Eine umfangreiche Auswertung der bis dahin vorliegenden Klimadaten unternimmt dann VON RUDLOFF (1957) in seiner Arbeit über Klima und Wetter im Kreise Freiburg im Breisgau. Allerdings mußte er auf zahlreiche Reduktionen zurückgreifen, da die meisten Reihen noch recht kurz waren. Als Informations- und Beurteilungsgrundlage für alle bisher referierten Untersuchungen dient im wesentlichen die Klimahauptstation Oberrotweil, deren Daten für den gesamten Kaiserstuhl verallgemeinert werden. Unter den gegebenen regional-klimatischen Bedingungen sind aber als Folge der topographischen Beschaffenheit kleinräumigere, subregionale und lokale Differenzierungen erheblichen Ausmaßes zu erwarten, die nur mit geländeklimatologischen Methoden zu gewinnen sind.

1.1 Landschaftsgliederung

Jeder geländeklimatologischen Aufnahme wird eine Landschaftsgliederung des betreffenden Untersuchungsgebietes vorausgeschickt werden müssen, da sowohl sein Ökotopegefüge (modifiziert z.B. nach morphologischer Form, Gesteinsunterlage, Bodenart und -typ, Vegetation) als auch seine Veränderung durch den wirtschaftenden Menschen (Unterschiede im Anbau, Kunstbauten, Reliefumgestaltung) tiefgreifende Konsequenzen für die kleinräumige Klima-

differenzierung besitzen. Bei einer Landschaftsgliederung des Kaiserstuhls bietet sich die Unterscheidung von drei Teilräumen, einem Zentral-, Ost- und Westteil an (vgl. FISCHER u. KLINK 1967):

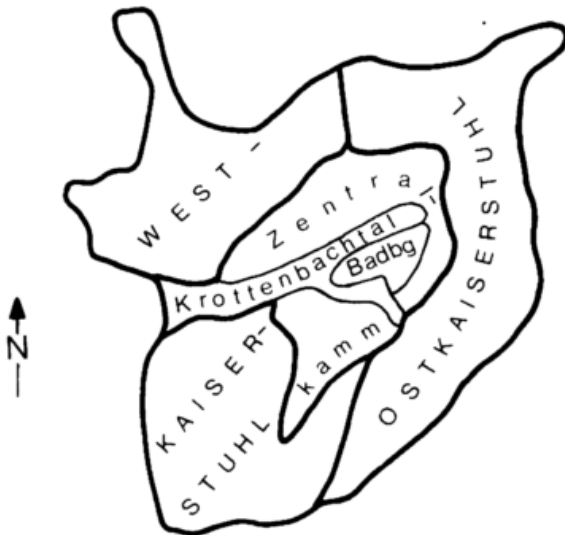


Abb.1 : Naturräumliche Gliederung des Kaiserstuhls (unter Verwendung von FISCHER und KLINK 1967, leicht modifiziert)

a) Der Zentrale oder Hohe Kaiserstuhl setzt sich zusammen aus - einem hufeisenförmigen "Zentralkamm" +), der von der Oberrotweiler Mondhalde über den Staffelberg (448 m ü. NN) - Katharinaberg - Bahlinger Eck zur Eichelspitze (522 m ü. NN) zieht. Der Vogelsangpaß (397 m ü. NN) trennt diese vom Doppelgipfel Totenkopf/Neulinden, der mit 557 m ü. NN höchsten Kulmination des Berglandes. Sich in mehrere Teilzüge auflösend, endet der Kamm im Strümpfekopf (429 m ü. NN) bei Oberbergen bzw. in Gierstein (479 m ü. NN) und Holzack (433 m ü. NN) nördlich von Ihringen. Die südexponierten Hangbereiche werden zumeist bis auf 400 m ü. NN hinauf von schmalen, intensiv weinbaulich genutzten Terrassen eingenommen. In größeren Höhen und in Nordexposition stockt meist Buchenmischwald.

+)Hierbei handelt es sich eher um einen langgezogenen Bergrücken als um einen zugeschärften Kamm. Jedoch ist die Bezeichnung "Zentralkamm" ortsüblich und in der Literatur eingeführt (SCHREPFER 1933a), so daß sie im folgenden beibehalten werden soll.

- einem Zentrum, das von den kahlen Höhen der Degenmatt, des Badbergs, des Haselschacher Bucks und des Schelinger Ohrbergs gebildet wird. Auf flachgründigen A-C-Silikatböden tragen sie Trockenrasen und Buschinseln.

- dem Talsystem des Krottenbachs, dessen Quellbäche gabelförmig von den Schelinger Talschlüssen und vom Vogelsangpaß herunterziehen, sich in Oberbergen vereinigen und durch die Oberrotweiler Pforte in das Rheintal einmünden. Der Boden dieses Kerbsohlentalsystems wird überwiegend von Siedlungen, Obstwiesen und -plantagen, sowie intensivem Feldgemüsebau in Mischkultur eingenommen.

b) Der Ostkaiserstuhl ist eine "Tal- und Riedellandschaft": Große, verzweigte Kastentäler mit relativ steilem Gefälle ziehen sternförmig vom Zentralkamm herab und münden mit einer Stufe sowie einem vorgelagerten Schwemmkegel in das Oberrheinische Tiefland. Sie werden von sich treppenartig abdachenden Riedeln gegliedert. Entsprechend den edaphischen Bedingungen wird auf ihren lößverkleideten Oberflächen sowie an günstig exponierten Hängen Wein, in Nordlagen und auf Talböden Feldgemüse und Obst angebaut. Der dem Kaiserstuhl gleich ostwärts vorgelagerte Teil des Oberrheinischen Tieflands wird von Feld- und Wiesenland auf Aueböden eingenommen, das durch Melioration der ehemals versumpften Niederung abgewonnen wurde.

c) Das Krottenbachtal trennt das Lößhügelland des westlichen Kaiserstuhls in einen südlichen Teil, der die Taltschaften von Ihringen, Achkarren und dem Lilienhof umfaßt, und einen nördlichen Teil, der von den Lößhügeln um Bischoffingen, Jechtingen, Leiselheim und Sasbach gebildet wird. Als Vollformen dominieren intensiv weinbaulich genutzte Hügel und Riedel, die von Talzügen, Kesseln und Mulden mit Obstkulturen getrennt werden. 350 m ü. NN werden nur selten überschritten. Bei dünner Lößauflage tritt stellenweise der vulkanische Untergrund zutage (Blankenhornsberg), so daß die Böden zwischen Pararendzinen über Rohlöß mit z.T. steppenbodenartigen Varianten und A-C-Silikatböden über Tephrit wechseln. Im Westen begleitet den Kaiserstuhl eine schmale Niederterrasse (191-193 m ü. NN). Das Hochgestade überragt die meliorierte Rheinaue um ca. 3 m.

1.2 Weinbau am Kaiserstuhl: Entwicklung, Krise, Konsolidierung

Als Inwertsetzung der ökologischen Gunst des Kaiserstuhls, einem Vulkanbergland mit Lößmantel in klimatischer Sonderstellung, kann die Kultur der Weinrebe angesehen werden, deren Bedeutung bereits die vorausgegangene Landschaftsgliederung hervortreten läßt. Heutzutage zählt der Kaiserstuhl zu den bedeutendsten Weinbaulandschaften Deutschlands. Versucht man einen historischen Rückblick über seine Entwicklung, muß man bis ins frühe Mittelalter zurückgehen. So ist für Bötzingen Weinbau bereits 769, für Ihringen 962 nachgewiesen (MÜLLER 1933). Es wurde damals in ebenen Lagen am Rande des Gebirges und auf der Niederterrasse getrieben (HAHN 1956, WINKELMANN 1960). Im 10. und 11. Jh. begann man mit der Kultivierung der Lößhänge, da erhöhter Bevölkerungsdruck eine Erweiterung der Wirtschaftsflächen notwendig machte. Dies bedeutete aber gleichzeitig die Schaffung eines anthropogenen Sekundärreliefs, die Zisierung der Lößhänge in bis zu dreißig übereinander gestaffelte Klein- oder Schmalterrassen mit oftmals nur 1-3 Rebzeilen. Diese notwendige Terrassierung bewirkt eine Verringerung der Fließgeschwindigkeit des Oberflächenwassers und eine Aufteilung der Hänge in viele kleine Einzugsgebiete. Solchermaßen wird der Einsickerung Vorschub geleistet und Lößabschwemmungen vorgebeugt (vgl. auch RICHTER 1965). Nach MÜLLER (1933) soll die Gesamtlänge dieser "Zwergterrassen" der Entfernung Freiburg - Berlin entsprechen haben. Ihre geringe Größe und beschwerliche Erreichbarkeit sowie die durch Realerbteilung hervorgerufene Besitzersplitterung verursachten auf der Handarbeitsstufe kaum Nachteile. Im 16. Jh. hatte der Weinbau am Kaiserstuhl seinen größten Umfang. Verwüstung ausgedehnter Rebflächen im 17. Jh., Konkurrenz ausländischer Importweine und geringe Qualität der Kaiserstühler Rebsorten Elbling und Räuschling führten dann zu einer Dauerkrise, die durch eingeschleppte Rebschädlinge wie die Reblaus (*Viteus vitifolii*) oder den die Blattfallkrankheit erregenden Pilz (*Plasmopara viticola*) noch verstärkt wurde. Häufige Fehlherbste, hohe Verschuldung der Winzer und eine kontinuierliche Verkleinerung der Rebflächen mit einem Tiefstand um 1939 waren die Folge. Der Kaiserstuhl zählte trotz seiner ökologisch günstigen Verhältnisse zu den ärmsten Weinbaugebieten Südwestdeutschlands. Erste Versuche einer Konsolidierung wurden bereits im 19. Jh. durch die Privatinitiative einiger Persönlichkeiten gemacht. So versuchten

der Ihringer Arzt Lydtin (1813), der Ihringer Bürgermeister Hau (1821) und die Brüder Blankenhorn (1844) die Einführung neuer, höherwertiger Rebsorten und die Bepflanzung lößfreier Te-phrithänge (MÜLLER 1933). Als entscheidende Maßnahme zur Überwindung der Krise sind dann nach der Jahrhundertwende anzuführen: die Weingesetzgebung (2. und 3. Dt. Weingesetz 1901 und 1909), welche die Herstellung von billigen Kunstweinen erschwerte, die verbesserte Schädlingsbekämpfung in Verbindung mit der Umstellung auf reblausresistente Pfropfreben, die Aufstellung eines Rebenaufbauplanes, d.h. die Beschränkung des Weinbaus auf besser geeignetes Gelände, die wissenschaftliche Forschungsarbeit des 1921 gegründeten Staatl. Weinbauinstitutes v.a. auch hinsichtlich der Veredelung und Neuzüchtung von Sorten und nicht zuletzt die als Selbsthilfemaßnahme zu verstehende Gründung der Winzergenossenschaften (z.B. Oberbergen und Ihringen 1924).

Nach 1945 und insbesondere in den sechziger Jahren setzte dann eine rasche Expansion der Rebflächen ein, als deren Ursache die günstigen Marktverhältnisse, d.h. die Steigerung des Qualitätsweinkonsums in weiten Kreisen der Bevölkerung anzusehen ist. Nach FRIZ (1976) nahmen die Rebflächen am Kaiserstuhl von 1949 bis 1973 um 180 %, von 1961 bis 1974 allein um über 1700 ha auf 3700 ha zu! Spätestens nach der Gründung der Europäischen Gemeinschaft (1.1.1958) rückte jedoch für das kleinparzellierete und schlecht erschlossene Kaiserstühler Rebland die Notwendigkeit einer wirtschaftlicheren Gestaltung in den Mittelpunkt, da nach der Öffnung der Grenzen durch den Konkurrenzdruck von französischer und italienischer Seite (größere Betriebe, geringere Flurzersplitterung, billigere Arbeitskräfte)

- a) die Bemühung um höchste Weinqualität, insbesondere was Zuckergehalt, Bukett, fruchtige Säure und Eleganz anbetrifft, noch verstärkt werden mußte,
- b) der Zwang zur Rationalisierung und Mechanisierung der Weinbergsarbeiten, somit also die Senkung des Arbeitsaufwands aus Gründen der Preisgestaltung unausweichlich war, wenn die Einkommensverhältnisse nicht hinter denjenigen in der gewerblichen Wirtschaft zurückbleiben sollten.

In diesem Rahmen ist die Durchführung von Flurbereinigungsmaßnahmen zu sehen. Im Kaiserstuhl können hierbei drei Phasen unterschieden werden. In den Kriegs- und ersten Nachkriegsjahren kam es durch Privatinitiative der

Winzerschaft zu einigen wenigen, verhältnismäßig geringen Besitzarrondierungen und bescheidenen Verbesserungen des Wegenetzes (erste Phase, z.B. am Oberrotweiler Henkenberg). Anschließend wurden bis Mitte der sechziger Jahre bei steigender Intensivierung der Umlegungsmaßnahmen Planiertrauben eingesetzt, wobei auch die mechanisierungsfeindliche Kleinterrassierung schwach geneigter Hänge zugunsten größerer Terrassen mit Böschungen bis ca. 10 m bereinigt, bzw. ganz beseitigt wurde (zweite Phase, z.B. am Kiechlingsberger Dietenberg 1955). Ab Mitte der sechziger Jahre standen dann durch die im Zuge des Autobahnbaus entwickelten Erdbaumaschinen wie Scraper, Grader und Bodenverdichtungswalzen neu dimensionierte technische Möglichkeiten zur Verfügung. Ihr bei mächtigen Lößablagerungen besonders wirkungsvoller Einsatz ist offensichtlich. Bei jetzt verstärktem Engagement der Flurbereinigungsbehörden begann eine in Ausmaß und Schnelligkeit bisher in Süddeutschland nicht erlebte Umgestaltung des Kleinterrassenreliefs zu bis über 5 ha umfassende Großterrassen, deren Fläche 1971 nach HASE-RODT (1971) bereits 10 % derjenigen des waldfreien Kaiserstuhls einnahm. Inzwischen dürfte über die Hälfte des Kaiserstühler Weins auf Großterrassen produziert werden. Mit der Zunahme der technischen Möglichkeiten und der wachsenden Erfahrung der durchführenden Ingenieure wurde dabei auch immer steileres Relief in die Umlegungen miteinbezogen. Bei einer mittleren Terrassengröße, z.B. bei der Flurbereinigung am Ihringer Fohrenberg von 2.2 ha und Terrassentiefen von 30-130 m (nach Angaben des Flurbereinigungsamtes Freiburg) können für den Maschineneinsatz geeignet lange Rebzeilen angelegt werden, nach arbeitswirtschaftlichen Untersuchungen eine Voraussetzung für rationell zu bewirtschaftendes Rebland. Als wichtigste Flurbereinigungsmaßnahme ist jedoch nicht die Größe der neu geschaffenen "Ebenen am Hang" anzusehen, sondern die verbesserte Grundstückerschließung durch ein befestigtes Betriebswegenetz, das überdies noch zur Regulierung des abfließenden Oberflächenwassers dient.

Weinrechtlich gesprochen bildet der Kaiserstuhl zusammen mit dem Tuniberg seit 1970 einen eigenen "Bereich" im "bestimmten Anbaugesbiet Baden". Er zählt somit zur europäischen "Weinbauzone B". In ihr werden an die Ausgangsmostgewichte des Traubensaftes höhere Anforderungen gestellt als in Zone A, zu der die übrigen deutsche Anbaugesbiete gerechnet werden.

1.3 Geländeklima und Qualitätsweinbau

Wie bei kaum einer anderen Kulturpflanze wird beim Rebstock der Ernterfolg von klimatischen Einflußfaktoren gesteuert. Dies ist der wichtigste Grund für die Relevanz geländeklimatologischer Untersuchungen in Weinbaugesbieten. Da die Polargrenze für den Anbau der Kulturrebe (*Vitis vinifera* L.), ursprünglich eine mediterrane Auwaldliane, quer durch Mitteleuropa verläuft, muß sich dort der Qualitätsweinbau auf geländeklimatisch besonders günstige Ökotope beschränken. Gleichermaßen ist es unter Kennern unbestritten, daß die besten Weine mit exzellentem Bukett und harmonischer Säure - einen günstigen Witterungsverlauf vorausgesetzt - gerade aus diesen Grenzlagen stammen.

"Nicht umsonst gelten reife Rieslingweine aus unseren nördlichsten Weinbaugesbieten als die edelsten Weißweine der Erde" (VOGT/GÖTZ 1977). So ist es nicht weiter verwunderlich, daß sich eine reiche Fachliteratur von meteorologischer und önologischer Seite mit dem Einfluß von Klimafaktoren und -elementen auf Quantität und Qualität des Traubenmostes beschäftigt. Hierzu sind z.B. die Untersuchungen von BURCKHARDT (1958a,b), KLIEWER (1964, 1968, 1971), KOBLET und ZWICKY (1965), AICHELE (1961, 1965), BÖLL (1971), HORNEY (1972), HOFÄCKER et al. (1976) und SCHRADER et al. (1975, 1976) zu rechnen.

Betrachtet man - wie bei KOBLET (1977), VOGT/GÖTZ (1977) oder BECKER (1977c) beschrieben - den Vegetationszyklus der Rebe in Abhängigkeit vom Witterungsverlauf, so fällt besonders die Rolle des Faktors Temperatur auf, und zwar sowohl was die Minima als auch was die Maxima anbetrifft. Schon im Sommer des Vorjahres beginnt dies damit, daß sonnenreiches und warmes Wetter zahlreiche und große Blütenstands(Gescheins)anlagen in den Knospen entstehen läßt. Während der folgenden Winterruhe ertragen unsere Reben Temperaturen von -15 bis -20°C. Gefährlich sind allerdings rasche Temperaturschwankungen oder strenge Fröste im Spätwinter nach vorangegangenen milden Januar. Ein derartiger Witterungsverlauf hatte z.B. 1956 katastrophale Schäden zur Folge. Im März beginnt das Auflaufen der zum Austrieb notwendigen Wärmesummen, wobei aber nur Temperaturen über einem Schwellenwert von +7 bis +8°C wirksam werden (VOGT/GÖTZ 1977). Ein zu früher Austrieb birgt die vielleicht größte Gefahrenschwelle im Jahr, die Spätfrostgefährdung im April und Mai. Bei Lufttemperaturen unter dem Gefrierpunkt führt dabei die Bildung von Eiskristallen in den Interzellularen

zu einer Senkung des Dampfdruckes, was für die Zellen selbst Wasserentzug und letztendlich Koagulation des Eiweißes zur Folge hat. Auch zerreißen die wachsenden Eiskristalle das Gewebe, so daß die verletzten Zellenwände beim Auftauen platzen. Der Frosttod hängt aber außer von der Sorte noch davon ab, ob die Knospen bei Eintritt des Minimums in nassem oder trockenem Zustand angetroffen werden. Als kritische Lufttemperatur wird für trockene Knospen je nach Austriebzustand -1.5 bis -2.0°C (VOGT/GÖTZ 1977), für nasse Triebe -0.5°C (KOBLET 1977), angegeben. Im weiteren Jahresverlauf sind für eine frühe Blüte Trockenheit und Temperaturen von $20-30^{\circ}\text{C}$ in der zweiten Maihälfte (Spätfrühling) von großer Bedeutung. Berühmte Weinjahre unseres Jahrhunderts waren Jahre mit früher Blüte (BECKER 1977c). Bei naßkaltem Blühwetter fallen viele Blüten, ja ganze Gescheine ungeöffnet ab; Kaltluft mit Werten um 10°C kann die Keimkraft des Pollens vernichten (KOBLET 1977). In den Wochen nach der Blüte sind reichliche Sommerregen und nicht zu hohe Temperaturen am günstigsten. Der Witterungsverlauf im September und Oktober bestimmt dann die Ertragsqualität: Nach PRIMAULT (1969) entscheiden zwar die Frühjahrs- und Sommermonate über die Ertragsquantität, "par contre c'est l'automne, les mois de septembre et d'octobre, qui sont importants pour la qualité du vin, c'est à dire pour produire les meilleurs crus". Dies ist darauf zurückzuführen, daß in den Spätsommer-, Früh- und Mittherbstwochen die über die Qualität entscheidenden Vorgänge des Säureabbaus und der Zuckereinlagerung durchgeführt werden (Abb.2). Witterungsklimatologisch ausgedrückt kommt damit der Singularität des Altweibersommers eine hervorragende Bedeutung zu. Nur bei sonnigem, warmem und niederschlagsarmem Herbstwetter können die nach KOBAYASHI et al. (1967a) für Qualitätsgrad, Ertragsmenge und Beerengröße optimalen Temperaturen von 22°C in der Rebe annähernd

erreicht werden. Schon häufig hat nach einem maritim beeinflussten, verregneten Sommer ein sonnenreicher Mittherbst den Traubenmost über die Qualitätsweinschwelle gerettet (z.B. 1977). Tab. 14 zeigt aber, daß die größten Unterschiede in der empfangenen direkten Sonnenstrahlung zwischen günstig und ungünstig exponierten und geneigten Hängen gerade im Herbst auftreten. Hierin liegt ein wesentlicher Grund für die mäßige Qualität in sog. "schlechten Lagen". Zu ihnen müssen aber auch Hangfüße und Talböden gerechnet werden: In allen Strahlungsnächten der Vegetationsperiode kommt es dort zu Kaltluftansammlungen. M. GEIGER (1975a) und die Agrarmeteorologische Forschungsstelle des Deutschen Wetterdienstes in Geisenheim (HOPPMANN 1978) konnten nachweisen, daß früherer Laubfall, geringere Ertragsmengen, höherer Säuregehalt des Mostes und Qualitätseinbußen von ca. 3 bis maximal 5° Oechsle auf stagnierende nächtliche Kaltluft zurückgeführt werden können. In denselben Lagen kann auch ein früherer Kaltlufteinbruch im Herbst Strahlungsfrost zur Folge haben (z.B. 1972), wobei die Blätter und ab -4°C die noch unreifen Trauben absterben. Nicht nur eine verminderte Qualität, sondern auch eine Beeinträchtigung der Holzreife sind die Folge (VOGT/GÖTZ 1977). "In den Kaltluftstraßen gedeihen.... die Reben schlechter, werden leichter krank, erfrieren häufiger und bringen weniger zuverlässig Erträge, die fast stets geringer und minderwertiger als normal sind", erkannte schon R.WEISE (1953a).

Da aber auch zwischen den mittäglichen Temperaturmaxima und den Wachstumsvorgängen enge Korrelationen bestehen (PEYER und KOBLET 1966, BECKER 1975), sind geländeklimatologische Untersuchungen mit dem Ziel einer quantitativen Erfassung der Temperaturverhältnisse, einer genauen Abgrenzung von für Qualitätsweinbau geeigneten Arealen und ihre Bewertung nach einheitlichen Maßstäben die logische Konsequenz dieser physiologisch begründeten Klimaabhängigkeit des Rebstocks. Zu diesen höchst relevanten Studien gehören alle Berechnungen der maximal möglichen Sonneneinstrahlung auf Hängen unterschiedlicher Exposition als Grundlage einer quantitativen Betrachtung der Energieverhältnisse in Weinbergen, wie sie von KAEMPFERT (1952) und MORGEN (1953, 1957) vorgenommen wurden. Weiter müssen hierzu alle kartographischen Aufnahmen von Frostschäden (z.B. im Moselgebiet, der Vorderpfalz und Rheinhessen von TICHY 1954, BURCKHARDT 1956b und VAUPEL 1959) und geländeklimatische Standortkartierungen (z.B. KREUTZ und BAUER 1967 in den hessischen, WEISE und WITTMANN 1971 in den

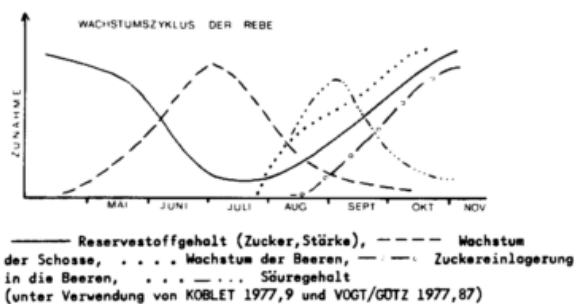


Abb.2: Wachstumszyklus der Rebe (unter Verwendung von KOBLET 1977 und VOGT/GÖTZ 1977)

Tab. 1: Mittlere Klimawerte aus deutschen Weinbaugebieten

	OBERROTWEIL Kaiserstuhl 210/235 mNN	NEUSTADT Weinstr. 161 mNN	GEISENHEIM Rheingau 109 mNN	BERNKASTEL-K. Mosel 120 mNN	WÜRZBURG-STEIN Main 259 mNN
Mittl. Jahressumme d. Niederschlags [mm], 1931-60	682	614	536	676	646
Mittl. Jahressumme d. Sonnenschein. [Stunden], 1951-60	1724 ¹⁾	1712	1643	1453	1730
Jahresmittel d. Lufttemperatur [°C], 1931-60	9.9	10.1	9.9	10.0	9.1
Mittl. tägl. Max. d. Lufttemperatur [°C], 1931-60	14.8	14.6	14.3	14.8	14.1
Mittl. tägl. Min. d. Lufttemperatur [°C], 1931-60	5.7	5.8	5.6	5.7	4.7
Abs. höchstes Max. d. Lufttemperatur [°C], seit Beg. Beob.	39.2	39.6	38.3	38.2	38.8
Abs. tiefstes Min. d. Lufttemperatur [°C], seit Beg. Beob.	-24.6	-21.7	-23.9	-21.7	-28.0
Mittl. Zahl der Sommertage (Max. ≥ 25°C), 1931-60	50.3	48.4	43.1	47.3	47.1
Mittl. Zahl der heißen Tage (Max. ≥ 30°C), 1951-60	10.6	8.3	6.1	9.0	6.2
Mittl. Zahl der Frosttage (Min. < 0°C), 1931-60	77.7	70.7	69.3	65.5	71.2
Mittl. Zahl der Eistage (Max. < 0°C), 1931-60	17.5	16.1	15.9	14.0	16.9
Mittl. Datum des letzten/ersten Frostes, 1931-60	22.4./ 21.10.	20.4./ ²⁾ 31.10.	14.4./ 29.10.	20.4./ 28.10.	28.4./ ²⁾ 14.10.

Daten: Deutscher Wetterdienst, Zentralamt

1) gemessen in Breisach, andere Periode

2) andere Periode

fränkischen Weinbaugebieten gerechnet werden. Und schließlich dürfen Bonitieringssysteme nicht vergessen werden, wie sie LEHMANN (1953a) als "Trierer Schätzungsrahmen" für den Moselbereich, BECKER (1968) für den Rheingau und BRANDTNER (1974) als für den Deutschen Wetterdienst verbindlich entwickelt haben.

1.4 Klimatische Dimensionierung des Untersuchungsgebietes

Geländeklimatologische Untersuchungen im Kaiserstuhl sind mesoskalaren Klimadimensionen zuzuordnen. In einer derartig stark gegliederten Landschaft erweist sich jedoch eine weitere Feinunterteilung als notwendig, wofür sich die Gliederung in Regionalklima, Subregionalklima und Lokalklima im Sinne von WEISCHET (1956) besonders gut eignet.

- Regionalklima = Klima außerhalb der bodennahen Störungsschicht (z.B. Mittelgebirge, Tiefland)
- Subregionalklima = Klima im Bereich der superponierten Einflüsse mehrfach, in bestimmtem Verbreitungsgefüge auftretender Formen der Erdoberfläche und Oberflächenbedeckung (z.B. Bergland, Hügel-land)
- Lokalklima = Klima im Einflußbereich einer speziellen, einfach auftretenden topographischen Einzelform (z.B. Tal, Hang, Berg)

Von dieser Nomenklatur ausgehend, kann man das Klima des Oberrheinischen Tieflandes als Regionalklima definieren, in das verschiedene Subregionalklimate, z.B. des Kaiserstuhls, der Neuenburg-Colmarer Rheinebene oder der Freiburger Bucht, eingelassen sind. Das Ziel der vorliegenden Untersuchung soll sein, Charakteristika des Kaiserstühler Subregionalklimas im Vergleich zu den umgebenden des Oberrheinischen Tieflandes herauszuarbeiten. Dabei wird auf spezielle Lokalklimate innerhalb des Berglandes entsprechend ihrer Bedeutung als idealtypische Klimatope besonders eingegangen werden. Zu ihrer Erfassung wurde deshalb in Form von Meßfahrten entlang repräsentativer Itinerare eine linienhafte Datenaufnahme durchgeführt (Kap.2). Thermalbilder des Kaiserstuhls ermöglichten schließlich den Übergang zu einer flächenhaften Betrachtung (Kap.3).

Die Dominanz des Temperaturparameters ergibt sich dabei aus seiner Relevanz für die Physiologie der Weinrebe.

1.5. Mittlere Klimadaten

Vergleicht man mittlere Klimadaten von Stationen aus deutschen Weinbaugebieten miteinander (Tab.1), so fällt bei der Kaiserstuhlstation Oberrotweil nicht nur eine relativ hohe jährliche Niederschlagssumme auf, sondern vor allem die große Anzahl von Sommer-, Hitze-, Frost- und Eistagen. Das absolut höchste Temperaturmaximum der Station wird nur vom wesentlich tiefer gelegenen Neustadt a.d.W. und das absolut tiefste Minimum vom kontinentaleren Würzburg-Stein übertroffen. Nur bei der Frankenstation stellen sich auch die mittleren Frosteintrittstermine noch ungünstiger dar. Offensichtlich zeichnet sich Oberrotweil durch für deutsche Weinbaugebiete recht extreme Verhältnisse aus. Weiter bezeugt die mit 1724 Std/Jahr sehr hohe Sonnenscheindauer der Station Breisach (227 m ü.NN), deren Werte für Hanglagen ohne Horizont einschränkung im südwestlichen Kaiserstuhl repräsentativ sein dürften, die Gunstlage dieses Weinbaubereiches. Zwar sind die von RUDLOFF (1957) auf anderer Datenbasis für den Kaiserstuhl errechneten 1858 Std/Jahr wohl zu hoch gegriffen, entscheidend ist jedoch die Bevorzugung des Kaiserstuhls während der Vegetationsperiode (Tab.2).

Tab.2: Mittlere Sonnenscheindauer (Stunden) im Jahr und während der Vegetationsperiode

Station	Periode	Veg.-Per. April-Okt.	Jahr
BREISACH	1963-76	1370	1724
LILIENTAL	1964-76	1227	1415
BREMGARTEN	1969-76(red.)	1328	1679
FREIBURG I.B.	1963-76	1356	1731
FELDBERG/SCH.	1963-76	1202	1662

Während dieses Zeitraumes scheint die Sonne in Breisach im Mittel um 42 Std länger als im Oberrheinischen Tiefland (Bremgarten, 213 m ü.NN), um 14 Std länger als am Schwarzwaldrand (Wetteramt Freiburg, 265 m ü.NN) und um 168 Std länger als im Hochschwarzwald (Feldberg, 1486 m ü.NN). Insbesondere im April, Mai und Juni übertreift Breisach den Freiburger Wert deutlich (Abb.3).

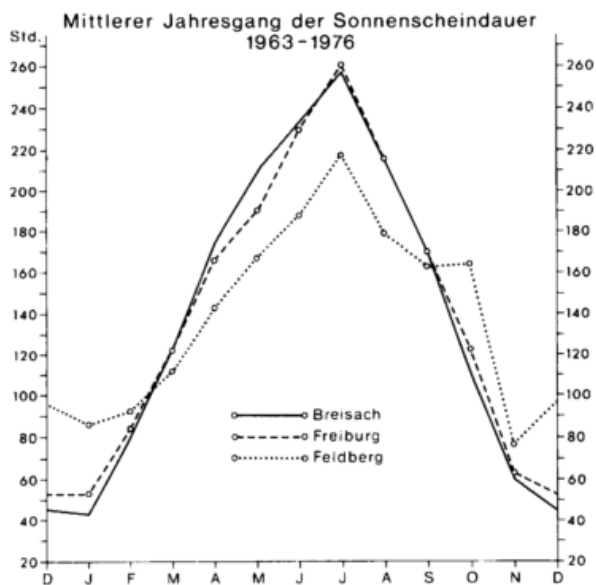


Abb.3 Mittlerer Jahresgang der Sonnenscheindauer (1963-1976)

Für diese Differenzierung ist zum einen die sommerliche Konvektionsbewölkung über dem Schwarzwald verantwortlich. Zum anderen bedingt bei Westwetter (Wz, Ws, NWz = 23 % aller Tage) der meridionale Verlauf der Mittelgebirge Vogesen und Schwarzwald einen Lee - Effekt über dem Oberrheingraben ("Vogesenföhnlücke") und Bewölkungsverdichtung im Stau des Schwarzwaldes. Im Winterhalbjahr scheint die Sonne bei zyklonalen Westlagen in Breisach sogar um 9.4 % länger als in Freiburg, wie eine Auszählung der täglichen Sonnenscheindauer von Breisach und Freiburg im 13 jährigen Mittel ergab. Allerdings genügt dies nicht zur Kompensation des Breisacher Sonnenscheindefizits im Winterhalbjahr: Bei antizyklonaler Witterung (HM, BM) hat dann die sich bildende Hochnebeldecke eine im Vergleich zu Freiburg ca. 15 % geringere Sonnenscheindauer zur Folge.

2. MESSFAHRTEN

Geländeklimatologische Meßfahrten sind eine Untersuchungsmethodik, bei der ein Fahrzeug (Fahrrad, Motorrad, Pkw, Kombi) als Träger für Instrumente verwendet wird, die entlang eines vorher festgelegten Itinerars [†]) in rascher Folge klimatologische Parameter

[†]) Wegstrecke entlang der wissenschaftliche Untersuchungen vorgenommen werden

(Temperatur, Feuchte, Strahlung) aufnehmen. Die großen Vorteile liegen in dem verhältnismäßig geringen organisatorischen, personellen und finanziellen Aufwand, der im Vergleich zur Erstellung und Betreuung eines festen Meßnetzes notwendig ist. Bei einem solchen muß man sich entweder auf relativ kleine Testgebiete beschränken, sukzessive an mehreren interessierenden Lokalitäten ein Meßnetz aufbauen oder aber ein großes finanzielles und personelles Potential zur Verfügung haben. Selbst dann bleibt man aber auf Interpolationen zwischen einzelnen Meßpunkten angewiesen, wo doch gerade die kleinräumige Differenzierung interessiert. Weiter erwies es sich bei der vorliegenden Untersuchung als vorteilhaft, daß die mobile Meßstation kurzfristig auch anderweitig eingesetzt werden konnte (Stadt Freiburg i. Br., Schwarzwaldrand). Nicht zu unterschätzen sind auch die Augenbeobachtungen, welche die Meßdaten ergänzen, und die praktische Erfahrung in geländeklimatologischer Feldarbeit, die sich der Beobachter im Laufe der Zeit zu eigen macht.

Allerdings muß dem Einwand von JUNG-HANS (1956/57), daß die Temperaturverteilung zwar "... noch bequemer, aber weniger genau durch Meßfahrten ..." ermittelt werden könne, begegnet werden. Dies geschieht am besten durch den Einsatz von

- entsprechend sensiblen Meßfühlern,
- erschütterungsunempfindlichen Registriereinrichtungen,
- geeigneten Reduktionsverfahren und
- einer statistischen Überprüfung der erhaltenen Meßdaten.

2.1 Überblick über Meßfahrten im Rahmen geländeklimatologischer Untersuchungen

Die mobile Methode bei geländeklimatologischen Untersuchungen geht auf W.SCHMIDT (1927) zurück, der sie erstmals während der Frostnacht des 12. Mai 1927 im Gemeindegebiet von Wien anwandte. SCHMIDT, der u.a. auch über die Temperaturverteilung in Rebanlagen berichtet (1930), verwandte ein Quecksilberthermometer, das er seitlich in 1.2 m Höhe an einem Pkw anbrachte. Neben Meßfahrten drei Stunden vor Sonnenaufgang führte er auch Nachmittags- und Abendsfahrten durch. Jedesmal erfolgte eine Reduktion auf einen ortsfesten Thermographen. Im gleichen Untersuchungsgebiet setzte TOLLNER (1932) bereits im Sommer 1931 bei zahlreichen Meßfahrten zu allen Tageszeiten ein aspiriertes Platindrahtwiderstandsthermometer ein, das in 1.2 m Höhe vor dem Kühler montiert war.

Tab. 3: Übersicht über neuere Meßfahrten mit geländeklimatologischer Fragestellung

Autor	Ort der Untersuchung	Itinerarlänge [km]	Zeitraum d. Untersuchung [Mon./Jahr]	Zahl der Meßf.	Zeitpunkt und Dauer einer Meßfahrt	Fahrtgeschw. [kmh]	Meßgerät bzw. -element	Meßhöhe ü. G. [m]	Trockentemp. (t) Feuchttemp. (f) ventiliert (v)	Anzeige- bzw. Registriergerät	Anzeigegenauigkeit [°C]	Geräte-träger
AICHE-LE (1950 a, b)	Baar	ca. 1.5?	7/1947-10/1948	mehrere	nach SoU vor SoA, 2 Std.	12	Flugzeug-meteorograph (Bimetall, Haarharfe)	0.5-0.6	t, f	Trommel-schreiber komb. mit Meßgerät	0.3	Fahrrad
BUSSE (1950)	Schwarzwald	10	9/1948	5	13.40-15.20 Uhr	15	"	0.7	t, f	"	0.3	Motorrad
VAN EIMERN (1951)	Holstein	ca. 2.5	5/1950	4	3.30-5.15 Uhr	14-18	"	0.7-0.8	t, f	"	0.3	Fahrrad
KAPS (1952)	Harburger Berge	?	Frühj. 1952	13	vor SoA	?	"	0.7-0.8	t, f	"	0.3	Fahrrad Motorrad
AICHE-LE (1953 b)	Bodensee	?	10/1952	mehrere	?	20	"	0.7	t, f	"	0.3	Motorrad
HOME (1953)	Wales	ca. 5.6	5/1952 11/1952	3	23.30-1.00 Uhr	-	Schleuder- psychrometer	?	t, f	-	?	Pkw
FRAN- KEN (1955/ 56)	Raum Hamburg	14	12/1953- 8/1954	30	2 Std. vor SoA	77	Flugzeug- meteorograph	0.6	t, f	"	0.3	Fahrrad
BURCK- HARDT (1955)	Vorder- pfalz	?	3/1954	?	SoU-SoA	?	Thermo- element	0.6	t	Licht- strichgal- vanometer	?	Kombi
JUNG- HANS (1957/ 58)	Sachsen	?	5/1955- 7/1957	9	2-3 Std. vor SoA	?	"Spezialth." Widerstands- th.	1.0	t, f	Dreh- bzw. Kreuzpul- galvanometer	?	Motorrad Pkw
WINTER (1955, 1956, 1958)	Württemberg	200- 300	1955- 1957	4-5 pro Itiner.	nach 23 Uhr bis SoA	40	Thermo- elem., Flüssig- sigkeits- fer-ther- mom.	0.6-1.6	t	Licht- strichgal- vanometer	0.10- 0.25	Pkw
AICHE- LE (1957)	Hirtsfeld	?	8/1956	?	nach 23 Uhr bis SoA	?	Flugzeug- meteorograph	0.5	t, f	Trommel- schreiber komb. mit Meßgerät	0.3	Pkw
LAW- RENCE (1958)	England	16.8	5/1955 5/1956	3	1 1/2 Std. vor SoA	127	Wider- stands- thermomet.	0.3 und 1.2	t	?	?	Pkw
BUELA- NOVIC (1967)	Rhein- Mosel- Gebiet	30	1960	mehrere	nach SoU 2 Std. lang	15	Flugzeug- meteorograph	0.5	t, f	Trommel- schreiber komb. mit Meßgerät	0.3	Pkw
HARRI- SON (1967)	England	15.5	5/1965- 9/1966	12	2 3/4 Std. vor SoA	6-10?	Wider- stands- thermomet.	1.2	t	?	?	Pkw
LONGLEY et al. (1967)	Alberta	3 Itin. à 8-10 km	6-8/ 1966	7	1 Std. vor SoA; mittags	50-60	Thermi- stor	?	t	servo- riter recorder	?	Pkw
LOMAS (1969)	Israel	9.8	1965- 1967	10	nach Mit- ternacht	10	Thermistor	0.5	t	-	?	Pkw
MARR (1970)	Schweiz	30-50	5/1963- 10/1965	12 Kamp. à 10 Itin.	11.00- 16.30 Uhr	-	Normalther- mometer	2.0	t	-	0.1	Pkw
HOCE- VAR u. MART- SOLF (1971)	Pennsyl- vania	10-20	5-6/1967, 2-6/1968	36	1 Std. vor SoA	40	Thermistor	1.0	t	-	0.5	Pkw
QUITT (1972)	Mähren	50-60	2/1965	8	2 Std. vor SoA	30-40	Wider- stands- thermomet.	1.2	t, f, v	Linienkom- pensations- schreiber	?	Pkw
GEIGER (1975b)	Vorderpfalz	?	1/1975	1	21.00- 4.10 Uhr	?	"	0.9	t, f, v	"	0.1	Pkw
Vorlie- gende Unter- suchung	Kaiserstuhl	14 Itin. à 1-8 km	4/1975- 11/1977	119	2 1/2 Std. vor SoA, 13.00- 15.45 Uhr	10-15	" unt. Verwen. von Pt 100 (DIN 43760)	0.7 und 2.0	t, f, v	12-Punkt- Kompensa- tions-schreib.	abs. 0.1 rel. 0.5	Kombi

Nach 1945 durchgeführte Meßfahrten wurden in einer Übersicht (Tab. 3) zusammengestellt.

2.2 Meßapparatur

Die eingesetzte Meßapparatur wurde am Geographischen Institut I der Universität Freiburg konzipiert und in der Werkstatt des Meteorologischen Institutes zusammengebaut. Die Meßapparatur besteht aus

- zwei Psychrometersonden,
- einer Registriereinrichtung,
- einem Stromversorgungssystem und
- einem Geräteträger.

Bei den Meßsonden handelt es sich um zwei nach einem Entwurf von H. HINZ-PETER im Meteorologischen Institut der Universität Freiburg hergestellte ventilierte Psychrometer nach FRANKENBERGER zur fernelektrischen Messung der Trocken- und Feuchttemperatur. Die Meßelemente sind zwei in Hartglaszylinder von 35 mm Länge und 2.5 mm Durchmesser eingeschmolzene Widerstandsthermometer aus feinem, gewandeltem Platindraht (Pt 100 nach DIN 43760 der Firma Heraeus, Hanau). Das widerstandsthermometrische Meßprinzip beruht darauf, daß sich die elektrische Leitfähigkeit von Metallen mit der Temperatur praktisch linear ändert. So beträgt bei Platin die Ohm'sche Widerstandsänderung ca. 0.367 % (LILJEQUIST 1974). Der Selbsterwärmungsfehler bleibt dabei $\leq 0.1^\circ\text{C}$ (Herstellerrangabe). Zwei verchromte Metallhülsen dienen als Strahlungsschutzrohre. Ein von einem Gleichstrommotor (Firma Dunkermotoren, Bonndorf) angetriebener Ventilator erzeugt einen gleichbleibenden Luftstrom von $> 2.0\text{m/sec}$, so daß zusätzlich zum Fahrtwind eine ausreichende Belüftung gewährleistet ist. Die Dauerbefeuchtung des Feuchtthermometers besorgt ein Mullstrumpf, der von hinten um das Meßelement gewickelt ist und aus einem Plastikbehälter destilliertes Wasser ansaugt.

Ein besonderes Problem stellt bei mobilen Messungen die Trägheit des Meßelementes dar. Bei einer plötzlichen Änderung der Temperatur von T_1 auf T_2 paßt sich jedes Thermometer in Form einer e-Funktion an die neue Temperatur an. Wie groß dieses Nachhinken ist, hängt u.a. von der Wärmekapazität des Thermometers und seiner Ventilation ab. Mit einer 50 % (90 %)- Anpassungszeit von 5.6 (15.75) sec bei einer Ventilation von 2 m/sec besitzt das verwendete, in Hartglas eingeschmolzene Meßelement Pt 100 eine sehr viel geringere Trägheit als Quecksilberthermometer oder Thermographen (vgl. MÖLLER 1973 und LILJEQUIST 1974).

Die Anpassungszeit des Widerstandsthermometers erscheint jedoch im Vergleich zu Thermistoren recht hoch. Deren geringere Trägheit kann aber nachts nicht durch eine erhöhte Fahrtgeschwindigkeit genutzt werden; auf unbefestigten Fahrwegen und Pisten sollte die Geschwindigkeit aus Sicherheitsgründen 10-15 km/h nicht übersteigen, zumal der Fahrer in der ungewohnten Nachtstunde auch noch Beobachtungs- und Registrieraufgaben wahrzunehmen hat. Bei Mittagsfahrten werden von den Thermistoren auch die sehr kurzperiodischen Schwankungen der Lufttemperatur miterfaßt. Diese hochfrequenten Fluktuationen, die durch aufsteigende Konvektionsblasen, den Schatten von Einzelbäumen, die Turbulenz vorbeifahrender Autos etc. hervorrufen werden, sind bei lokal-klimatologischen Untersuchungen im Hektometerbereich aber als Störfaktor anzusehen. So ergibt sich die Wahl des Pt 100-Meßelements statt eines stoßempfindlichen Thermographen oder zu rasch ansprechender Thermistoren als notwendiger Kompromiß zwischen Aufgabenstellung, Genauigkeitsanspruch, Wartungsmöglichkeiten und Geländetauglichkeit.

Zur analogen Registrierung der gemessenen Temperaturen diente ein elektronisch gesteuerter Kompensations-12fach-Punktschreiber (Polycop 2 der Firma Hartmann & Braun, Frankfurt). Die Widerstandsmessung erfolgt hierbei nach der Brückenmethode von WHEATSTONE im Kompensationsverfahren als Nullmeßgerät. Die Konstruktion einer Vierleiterschaltung macht dabei ein Abgleichen der Meßleitungen überflüssig. Jede Meßstelle wird alle acht Sekunden abgefragt. Auch bleiben Erschütterungen und Schräglagen der Apparatur ohne Einfluß auf die Exaktheit der Aufzeichnung, eine Tatsache, die für mobile Messungen von größter Bedeutung ist. Ein Kassettenrecorder als zusätzliche Registriereinheit bürgt für eine zweifelsfreie Zuordnung von Meßpunkt und Standort. Hierfür kann über einen Unterbrecher-schalter eine Zusatzsignatur auf dem Registrierstreifen angebracht werden, wobei gleichzeitig Uhrzeit und Ortsangabe auf Magnetband gesprochen wird. Dieses Magnetbandprotokoll bietet als weiteren Vorteil die Möglichkeit, Beobachtungen über Bewölkung, Wind, Nebel, Dunst, Reif etc. aufzunehmen, deren Auswertung sich als besonders wertvoll herausstellte. Außerdem können bei einer Meßfahrt aufgetretene Störungen, z.B. Stauungen an Ampeln und Baustellen, notiert werden. Die Stromversorgung der Meß- und Registriereinrichtung gewährleistet eine 12 V 110 Ah-Lkw-

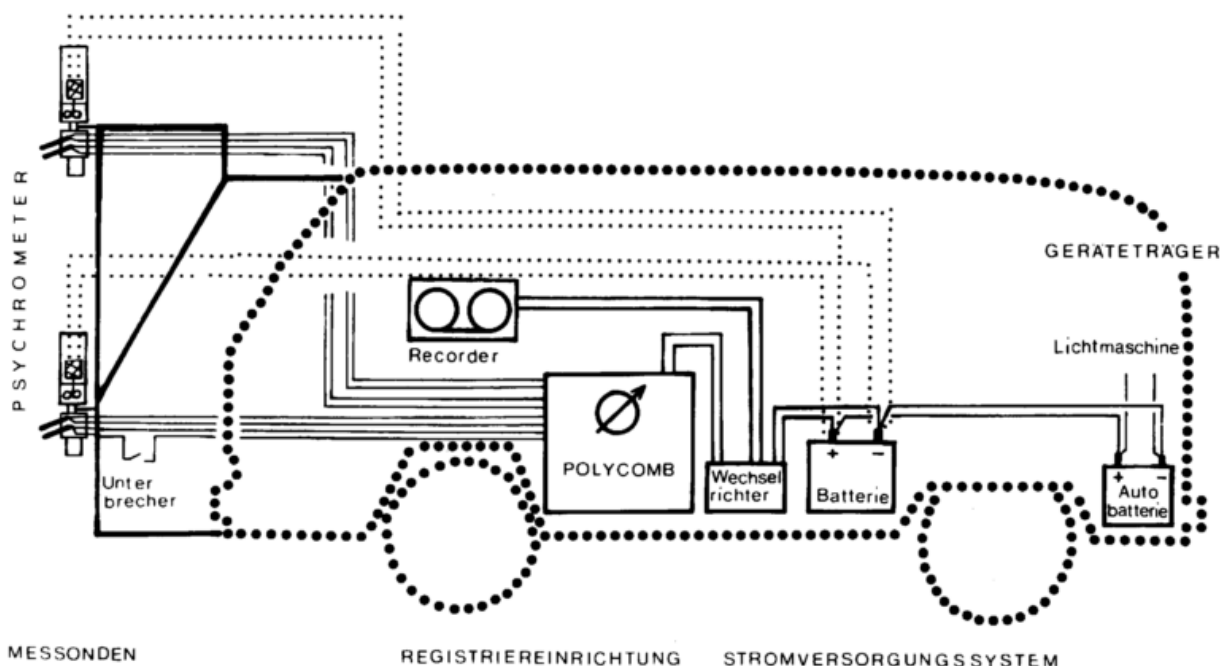


Abb. 4: Schematischer Aufbau und Schaltplan der mobilen Meßapparatur

Batterie, die über ein Starthilfekabel mit der Fahrzeugbatterie verknüpft ist und so von der Lichtmaschine mit Energie gespeist wird. Als zuverlässiger Geräteträger der Meßapparatur erwies sich ein weißer Volkswagen-Bus in Campingausstattung (vgl. BURCKHARDT 1955, VAN EIMERN 1968b). Ein derartiges Fahrzeug gestattet die rasche Überwindung der Entfernung zum Einsatzort (im vorliegenden Fall ca. 25 km), ist ausreichend geländegängig und steigefähig und erlaubt die bequeme Unterbringung der Geräte. Auch bietet sein Heckmotor die beste Gewähr für die Ausschaltung jeglichen Einflusses einer autochthonen Busatmosphäre. Ein am Wagenboden und der rechten Regenrinne angebrachtes Stahlrohrgestell dient zur Befestigung der beiden Psychrometer 0.8 m vor der Fahrzeugfront (AICHELE 1964/68) und 0.7 bzw. 2.0 m ü.G. (Abb. 4).

2.3 Meßmethodik

Eine wesentliche Problematik von Meßfahrten liegt darin begründet, daß die zu messenden Parameter während einer Fahrt zeitlichen Veränderungen unterliegen. Deshalb müssen einerseits diejenigen Zeitabschnitte gewählt werden, in denen diese Veränderungen möglichst gering sind, andererseits durch geeignete Reduktionsverfahren quasi-synoptische Verhältnisse hergestellt werden.

Für den Temperaturparameter fallen die genannten Abschnitte geringster Änderung mit den Eintrittszeiten der Extreme zusammen. Sie liegen also in der Kriechphase des nächtlichen Temperaturgangs vor Sonnenaufgang und um das Maximum am frühen Nachmittag herum. Geländeklimatologische Meßfahrten müssen deshalb morgens ca. 2 1/2 Stunden vor Sonnenaufgang begonnen und zum Eintrittszeitpunkt des Minimums kurz vor Sonnenaufgang beendet sein. Mittags sollten sie zwischen 12.30 Uhr und 14.00 Uhr MEZ aufgenommen und vor 16.00 Uhr MEZ abgeschlossen sein. Aus dieser einschneidenden Zeitbeschränkung und der v.a. durch die Qualität der Geräteausrüstung und des Geländes vorgegebenen möglichen Fahrtgeschwindigkeit von 10-20 km/h resultiert für die vorliegende Untersuchung pro Meßkampagne eine Wegstrecke von ungefähr 30 km. Deswegen mußten Testgebiete (TG) bestimmt werden, in denen sowohl die lokalklimatische Varietät repräsentativ vertreten als auch die quasi-synoptische Erfassung der Lufttemperatur gewährleistet war. Die Grobauswahl der TG war dabei bereits durch die in Kap. 1.1 geschilderte Gliederung des Berglandes in einen zentralen (TG Zentralkaiserstuhl), östlichen (TG Südwestkaiserstuhl) und westlichen Teil (TG Südwestkaiserstuhl) vorgegeben. Die Feinauswahl der eigentlichen Meßitinerare innerhalb der TG richtete sich dann nach folgenden Kriterien:

- Alle charakteristischen Ökotope mußten möglichst lückenlos abgedeckt und in die Itinerare einbezogen sein. Hierfür waren eine sorgfältige Geländebegehung und eine Itinerarvorauswahl in der erwähnten Testphase notwendig.
- Die Temperatur mußte innerhalb der interessierenden Landschaftseinheiten meßtechnisch genau erfaßt werden. Dies implizierte den Einbau von Schleifen und Achten in die Meßitinerare und möglichst auch eine Umgehung von Hohlwegen. Ebenso wurden breite Straßen, sofern sie nicht innerhalb von Siedlungen lagen, weitgehendst gemieden. An Steilhängen hatte die Messung entlang der hangabgewandten Seite des Weges zur Vermeidung des an der hangzugewandten Seite höheren Strahlungseinflusses zu erfolgen.
- Fahrzeug- und verkehrstechnische Notwendigkeiten mußten berücksichtigt werden.

Pro morgendlicher bzw. mittäglicher Meßkampagne wurden dann die Itinerare jeweils eines der drei TG durchgemessen.

Entsprechend dem eingangs formulierten Ziel, Unterschiede des Kaiserstuhlklimas im Vergleich zu dem der Oberrheinebene herauszuarbeiten, wurden in letzterer Basismesspunkte ausgewählt. Jede Meßkampagne begann und endete an einem Basismesspunkt im Tiefland, wobei im TG Zentralkaiserstuhl der Standort Faulewaag (Rheinaue, Meßpunkt 1), im TG Ostkaiserstuhl das Bötzingen Ried (200) und im TG Südwestkaiserstuhl die Niederterrasse bei Ihringen im Gewann Vierhäupter (300) gewählt wurden (s. Abb. 6).

Die Differenzen zwischen den drei Standorten waren sowohl mittags als auch morgens $< 10^{\circ}\text{C}$, wie Testmessungen ergaben.

Die Reduktion der Messungen auf einen einheitlichen Zeitpunkt geschah nun dergestalt, daß nicht auf eine separate Hüttentemperatur zurückgegriffen wurde, sondern die zwischen Anfangs- und Endmessung am Basispunkt bestehende Temperaturdifferenz als Reduktionsgröße Verwendung fand. Es wird dabei allerdings von einer gleichmäßigen Zu- bzw. Abnahme der Lufttemperatur an allen Standorten während der Kampagne ausgegangen. Dies ist streng genommen sicherlich nicht ganz richtig, jedoch bleibt der begangene Fehler wegen des kurzen Meßzeitraums vernachlässigbar klein. Reduktionen über sieben Stunden, wie sie M. GEIGER (1975b) bei einer Meßfahrt am 26./27.1.1975, 21.00-4.10 Uhr, vornahm,

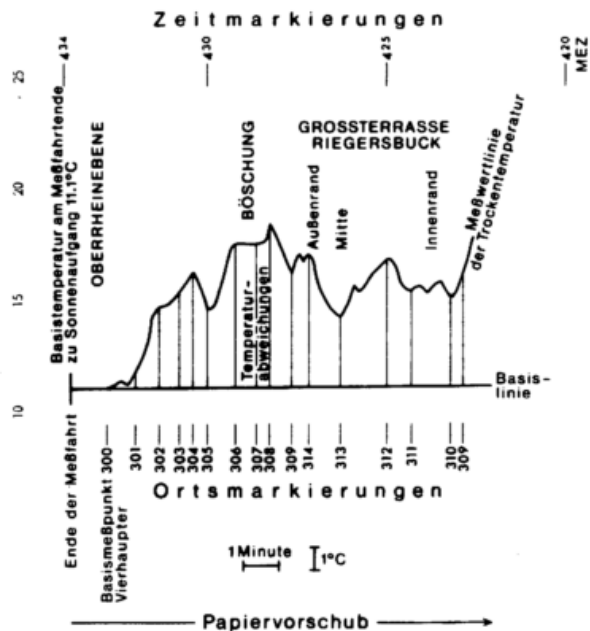


Abb. 5: Ausschnittsweise Wiedergabe der Originalaufzeichnung von Meßfahrt M 54, 28.6.1976; Trockentemperatur 2m ü.G. auf Itinerar L

sind hingegen nicht tolerierbar. Während 33 Morgenmeßkampagnen (Strahlungswetter) nahm die Temperatur im Mittel um $1,27^{\circ}\text{C}$ (Standardabweichung $\sigma = 0,72^{\circ}\text{C}$) ab. Während 28 Mittagskampagnen bei Strahlungswetter nahm die Temperatur im Mittel um $0,79^{\circ}\text{C}$ (Standardabweichung $\sigma = 0,44^{\circ}\text{C}$) zu.

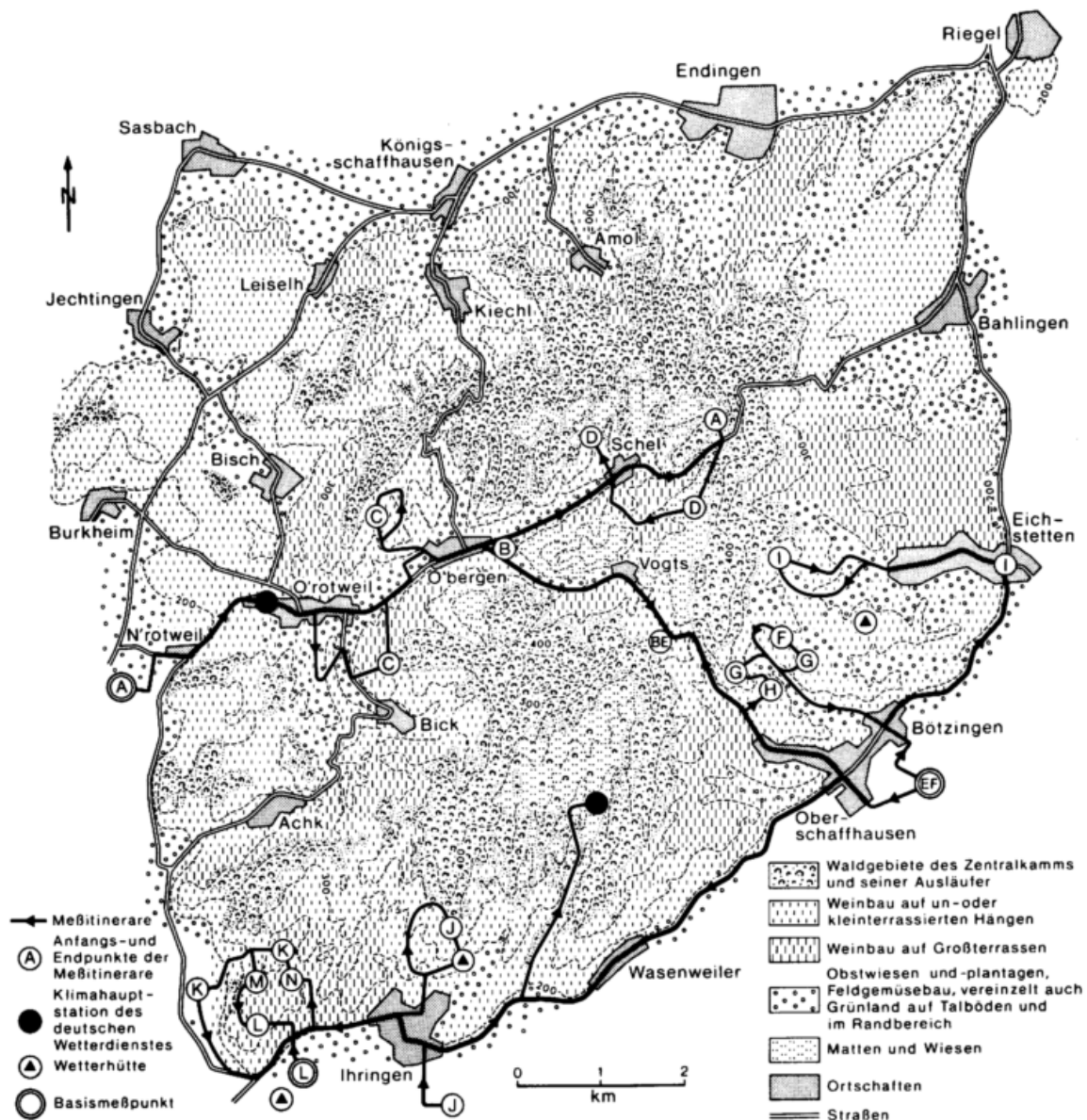
In Abb. 5 ist die Originalaufzeichnung der Trockentemperatur in der Meßhöhe 2 m über Grund auf Itinerar L (TG Südwestkaiserstuhl) vom Morgen des 28.6.1976 (Meßfahrt M 54) wiedergegeben. Auf der linken Seite des Meßstreifens sind die durch die beschriebene Unterbrechungsermöglichsten Ortsmarkierungen, auf der rechten Seite die mit Hilfe des Magnetbandprotokolls erstellten Zeitmarkierungen angebracht. Meßpunkt 310 wurde um 4.23 Uhr MEZ, der Basismesspunkt 300, Gewann Vierhäupter im südwestlichen Kaiserstuhlvorland, etwa zu Sonnenaufgang um 4.34 Uhr MEZ angefahren. An der Meßwertlinie der Trockentemperatur (2m ü.G.) kann die reale Temperatur der einzelnen Standorte zum Zeitpunkt der Meßwagenpassage auf $0,1^{\circ}\text{C}$ genau abgelesen werden (z.B. am Meßpunkt 310 um 4.23 Uhr MEZ $15,2^{\circ}\text{C}$). Um nun die Vergleichbarkeit aller während einer Meßfahrt gewonnenen Temperaturwerte zu gewährleisten, wurde direkt auf dem Temperaturschrieb folgende Korrektur durchgeführt: Die zu Beginn (im beschriebenen Fall um 2.16 Uhr MEZ) und am Ende einer Kampagne (4.34 Uhr MEZ) am Basismesspunkt (300, Vierhäupter) gemessenen Temperaturwerte (Meßfahrt-

anfang 12.0°C, Meßfahrtende 11.1°C) wurden durch eine Basislinie miteinander verbunden. Der vereinfachend als gleichmäßig gesetzte Temperaturrückgang von 0.9°C während der gesamten Kampagne und von knapp 0.1°C während der Messung auf Itinerar L (4.22 bis 4.34 Uhr MEZ) findet nun seine Berücksichtigung indem nicht die real an einem Standort gemessene Temperatur, sondern die positive oder negative Abweichung von der Basislinie als neue, reduzierte Temperaturdifferenz zur Auswertung herangezogen wird. Als Basistemperatur wurde bei den Morgenkampagnen der tiefere, kurz vor Sonnenaufgang gemessene Wert ("Temperaturminimum"), bei den Mittagskampagnen der jeweils höhere der beiden Messungen am Basisstandort ("Temperaturmaximum") definiert. Die Basistemperatur beträgt im vorgestellten Beispiel der Meßfahrt M 54 11.1°C. Die Temperaturabweichung des Meßpunktes 310 von der Basislinie, also letztendlich von der definierten Basistemperatur, beträgt +4.0°C; die sich rechnerisch aus der Summe von Basistemperatur und Abweichungswert ergebende, auf das "Temperaturminimum" reduzierte wahre Temperatur wäre somit 15.1°C. Die Differenz von allen Meßpunkten wurde Kampagne für Kampagne aufgelistet und in der im Kap. 2.8 geschilderten Form von Temperaturprofilen zur Darstellung gebracht. Der Vorteil dieser Auswertemethode liegt in der gewonnenen direkten Vergleichbarkeit der Meßwerte sowohl einer einzelnen Kampagne als auch von allen Kampagnen zusammen. Ein weiteres, mit der Meßhöhe ü.G. verknüpftes Problem bildet die Repräsentativität der auf Straßen, Wegen und Pisten gemessenen Daten für das v.a. interessierende Kulturland. Hier zeigten die Untersuchungen von LOMAS et al. (1969), daß in 0.5 m ü.G. auf asphaltierten Straßen vor Sonnenaufgang gemessene Lufttemperaturen auf benachbarte Agrarflächen übertragen werden dürfen, sofern die Straße nicht mehr als 1 m über dem Niveau des Kulturlandes verläuft. Diese Erfahrung fand im Kaiserstuhl Berücksichtigung. Eine Meßhöhe unter 1.0 m ü.G. ist mittags jedoch von vorneherein auszuschließen, da wir es bei Einstrahlung in der bodennahen Luftschicht mit konvektiv-turbulentem Luftmassenaustausch zu tun haben, bei dem der gänzlich unterschiedliche Wärmehaushalt asphaltierter Straßen und bepflanzter Rebparzellen von starkem Einfluß ist. Für morgendliche Meßfahrten schlagen die Autoren der "Richtlinien zur Kartierung der Frostgefährdung..." (SCHNELLE 1963) eine Standardmeßhöhe von 0.7 m ü.G. vor. Bei der Weinrebe als Lianenpflanze handelt es sich aber um ein relativ weit vom Boden aufragendes Gewächs.

Insbesondere bei der im Kaiserstuhl üblichen Drahttrahmenerziehung befindet sich das Knospenniveau im Frühjahr in einer Höhe von 0.7 bis 1.1 m ü.G. Im weiteren Jahresverlauf übertreffen die jungen Triebe dann die Höhe von 2 m. Ein Meßniveau von 0.7 m ü.G. ist für die Weinbaugebiete somit zu niedrig. Andererseits zeigen die Kartierungen aus einem Weinbaugebiet der DDR, die TANNER (1972) in der Strahlungsnacht des 11.10.1962 sowohl in 1.0 m als auch in 2.0 m ü.G. durchführte, nahezu identische Ergebnisse. Es liegt deswegen nahe, aus der Not eine Tugend zu machen und geländeklimatologische Messungen in Weinbaugebieten gleich in 2 m ü.G. durchzuführen, da dann ein direkter Anschluß an eine Klimastation mit langjähriger Meßreihe problemlos möglich ist. Die in den "Richtlinien..." (SCHNELLE 1963) vorgeschlagene Transformationskonstante für den Bezugsstationsanschluß - ein zusätzlicher Unsicherheitsfaktor - kann dadurch umgangen und der Einfluß der mit der Jahreszeit variierenden Reblaubhöhen verringert werden. Bei den vorliegenden mobilen Messungen wurde zusätzlich zu der Meßhöhe von 2 m ü.G. auch ein Psychrometer in 0.7 m ü.G. mitgeführt, dessen Daten zu Kontrollzwecken und in Einzelfällen auch zur Auswertung herangezogen wurden.

2.4 Beschreibung der Meßitinerare

Nach mehreren Versuchsfahrten ergab sich letztlich die erwähnte Einteilung in die drei Testgebiete Zentral-, Ost- und Südwestkaiserstuhl mit den 14 Itineraren A - N (Anfangs- und Endpunkte s. Abb. 6) und einer Gesamtfahrstrecke von 96.9 km. 276 markante Geländepunkte wie Wegekreuzungen, Bergsporne, Tälchen, Terrassenränder etc. erhielten eine Ziffer zugeordnet, wobei sich die Ziffern 1-107 auf die Itinerare A - D des TG Zentralkaiserstuhl (Abb. 7 und 8), 200 - 288 auf die Itinerare E - I im TG Ostkaiserstuhl (Abb. 9) und 300 - 379 auf die Itinerare J - N im TG Südwestkaiserstuhl (Abb. 10 und 11) beziehen. Itinerar A (9.2 km, Meßpunkt 1 - 48) umfaßt als Längsprofil das zentrale Tal des Kaiserstuhls, das Krottenbachtal, von der meliorierten Rheinaue (183.5 m ü.NN) über die Ortschaften Nieder- und Oberrotweil, Oberbergen und Schelling zum Zentralkamm am Bahlinger Eck (453 m ü.NN). Zwei Stichfahrten führen in die bei Oberrotweil von Süden einmündenden Nebentäler Ellenbuch und Eschbachtal. Itinerar B (2.9 km, Meßpunkt 97 - 107) führt ebenfalls als Längsprofil von Oberbergen entlang dem anderen Quellast des Krottenbaches durch das Kammer-



Entwurf: W. Endlicher
Zeichnung: W. Hoppe

Abb. 6: Topographische Skizze des Kaiserstuhls mit Landnutzung, Klimastationen und Meßitineraren

Kartengrundlage: TK 1 : 50 000 und Karte des Schwarzwaldvereins 1 : 50 000

(mit Genehmigung des Landesvermessungsamtes Baden-Württemberg)

tal zur Paßhöhe Vogelsang (403 m ü.NN). Soweit die Hänge des Zentralkamms im Bereich des Krottenbachtals vom Weinbau eingenommen werden, gibt Itinerar C (2.3 km, Meßpunkt 50 - 69) in Form eines Talquerprofils von der Baßgeige (344 m ü.NN), dem südexponierten Abfall des Zentralkamms, über Oberbergen zum Kunzenbuck (338 m ü.NN) Aufschluß

über die Temperaturverteilung. Auf die Grasmatten des Zentrums führt Itinerar D (2.3 km, Meßpunkte 70 - 96), konzipiert ebenfalls als Talquerprofil vom Schwalbental über Schelingen und seinen flurbereinigten Rebberg hinauf zum höchstgelegenen Meßpunkt im Kaiserstuhl auf der Degenmatt (468 m ü.NN).

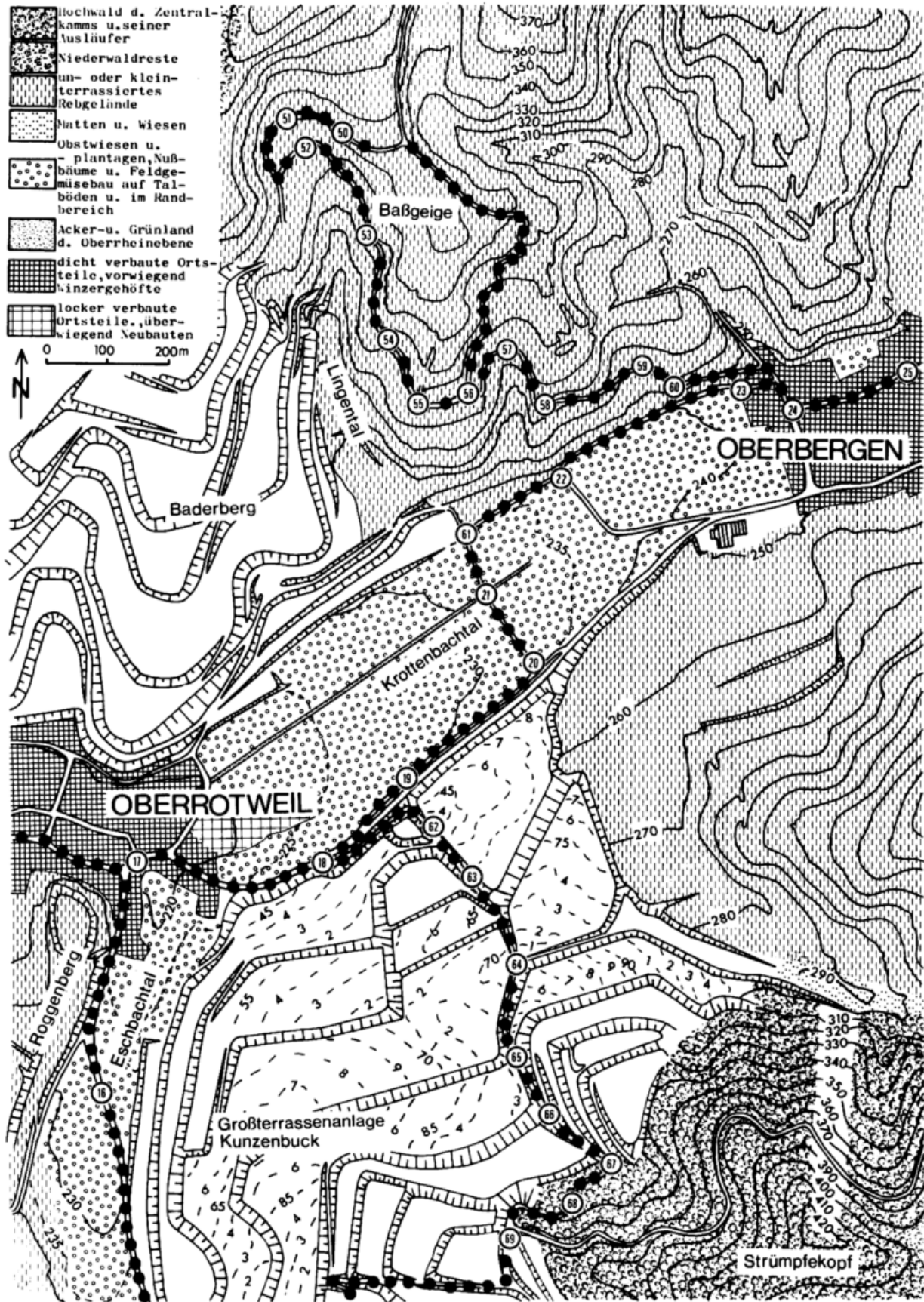


Abb. 7: Topographische Skizze des mittleren Krottenbachtals (TG Zentral-kaiserstuhl) mit Landnutzung und Meßtineraren A u. C
 Kartengrundlage: DGK 1 : 5000 (mit Genehmigung des Landesvermessungsamtes Baden-Württemberg)

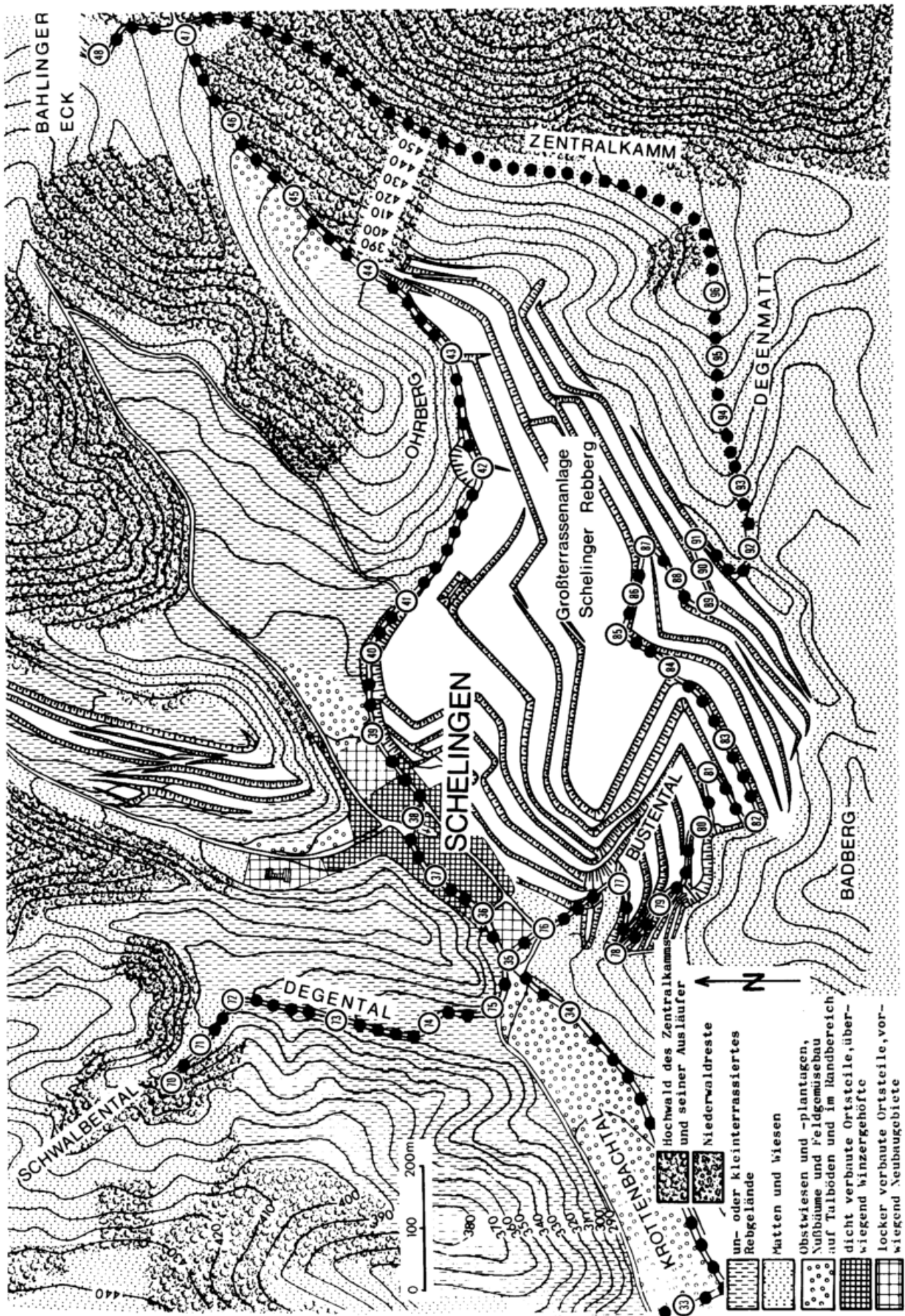


Abb. 8: Topographische Skizze des oberen Krottenbachtals (TG Zentralkaiserstuhl) mit Landnutzung und Meßitineraren A u.D.
 Kartengrundlage: DGK 1 : 5000 (mit Genehmigung des Landesvermessungsamtes Baden-Württemberg)

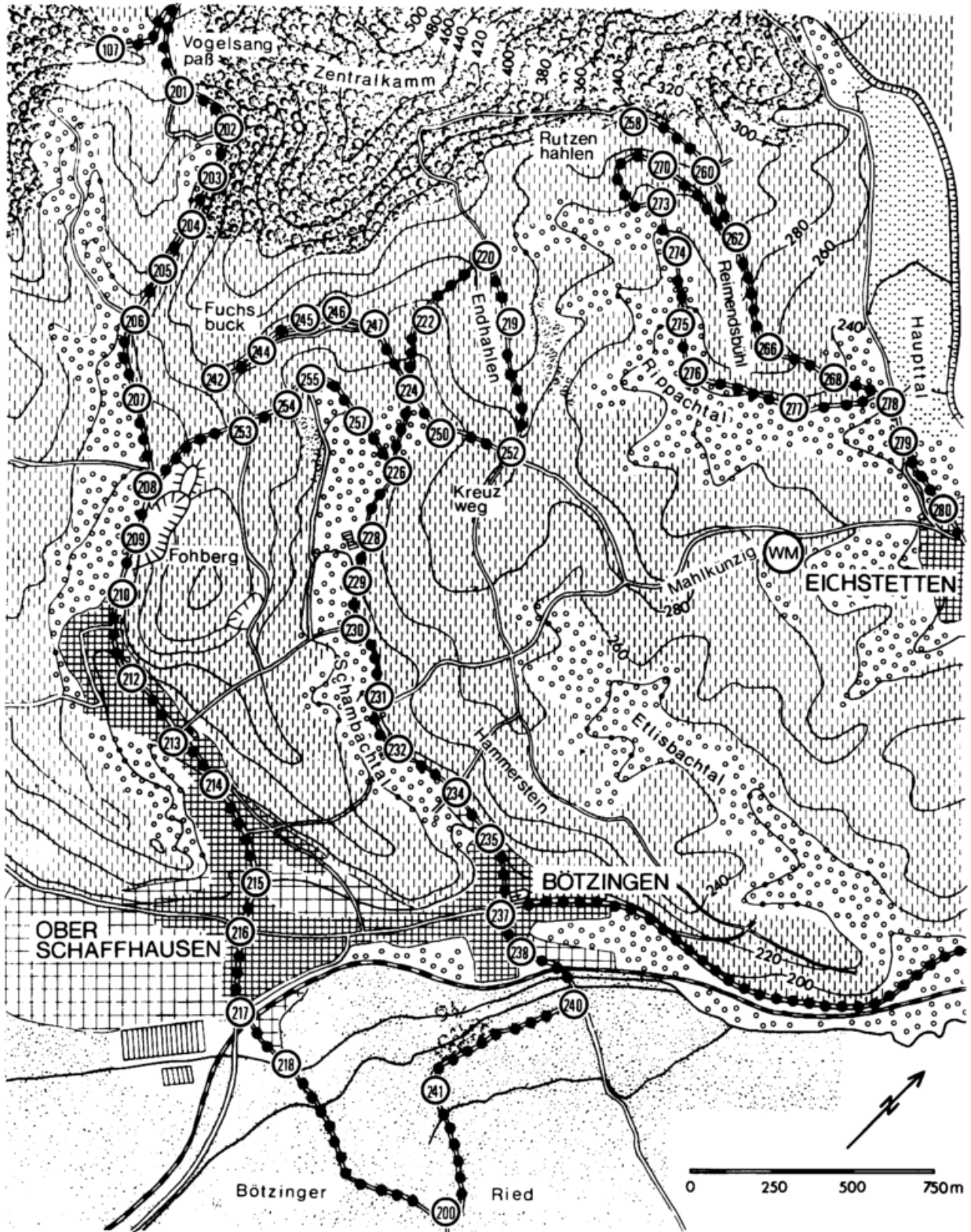


Abb. 9: Topographische Skizze des TG Ostkaiserstuhl mit Landnutzung, Meßitineraren E - I und Wetterhütte Mahlkünzig (WM); Legende s. Abb. 7
 Kartengrundlage: TK 1 : 25 000 (mit Genehmigung des Landesvermessungsamtes Baden-Württemberg)

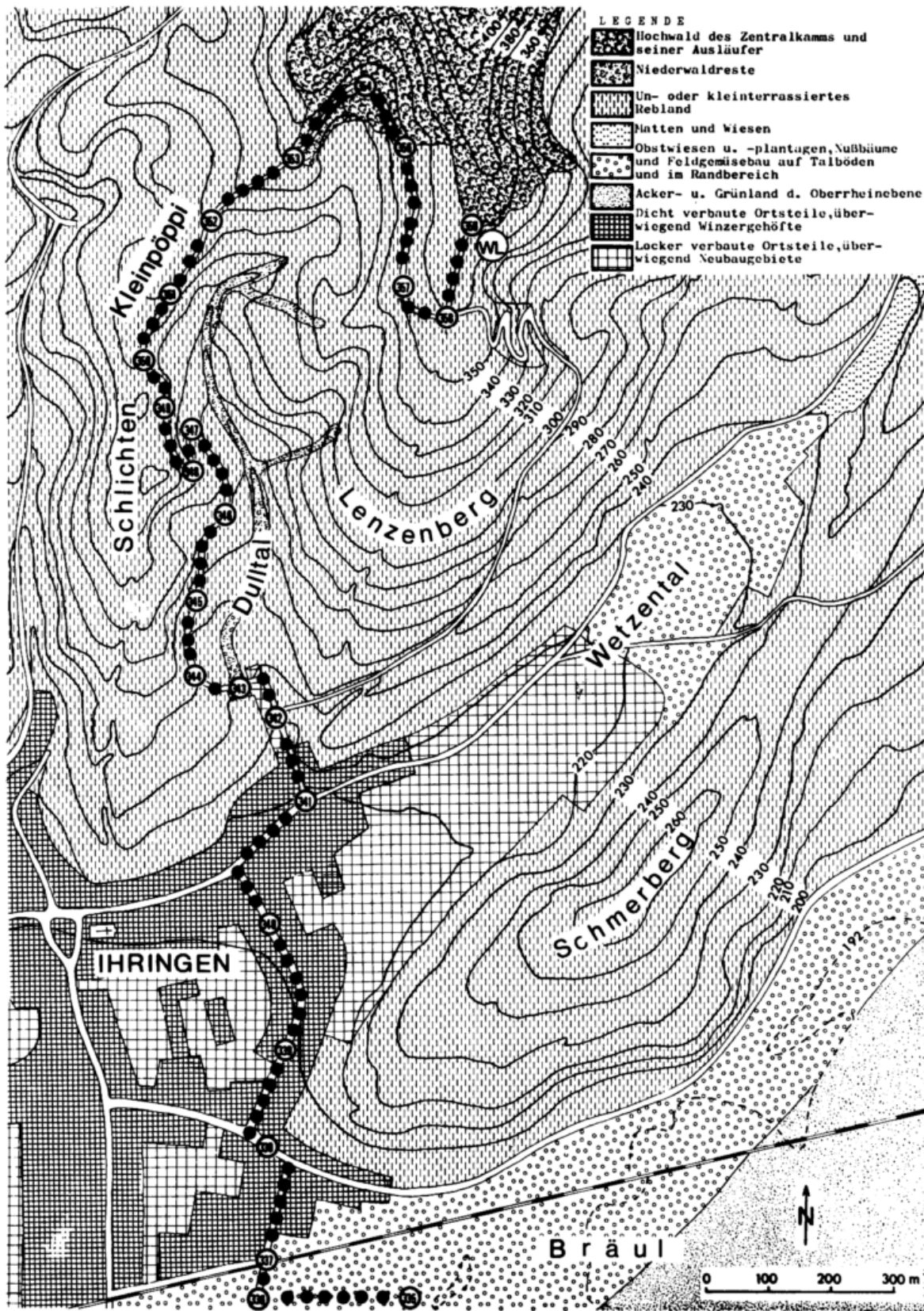


Abb. 10: Topographische Skizze von Scherberg und Lenzenberg (TG Südwestkaiserstuhl) mit Landnutzung, Meßitinerar J und Wetterhütte Lenzenberg (WL). Kartengrundlage DGK 1 : 5000 (mit Genehmigung des Landesvermessungsamtes Baden-Württemberg)

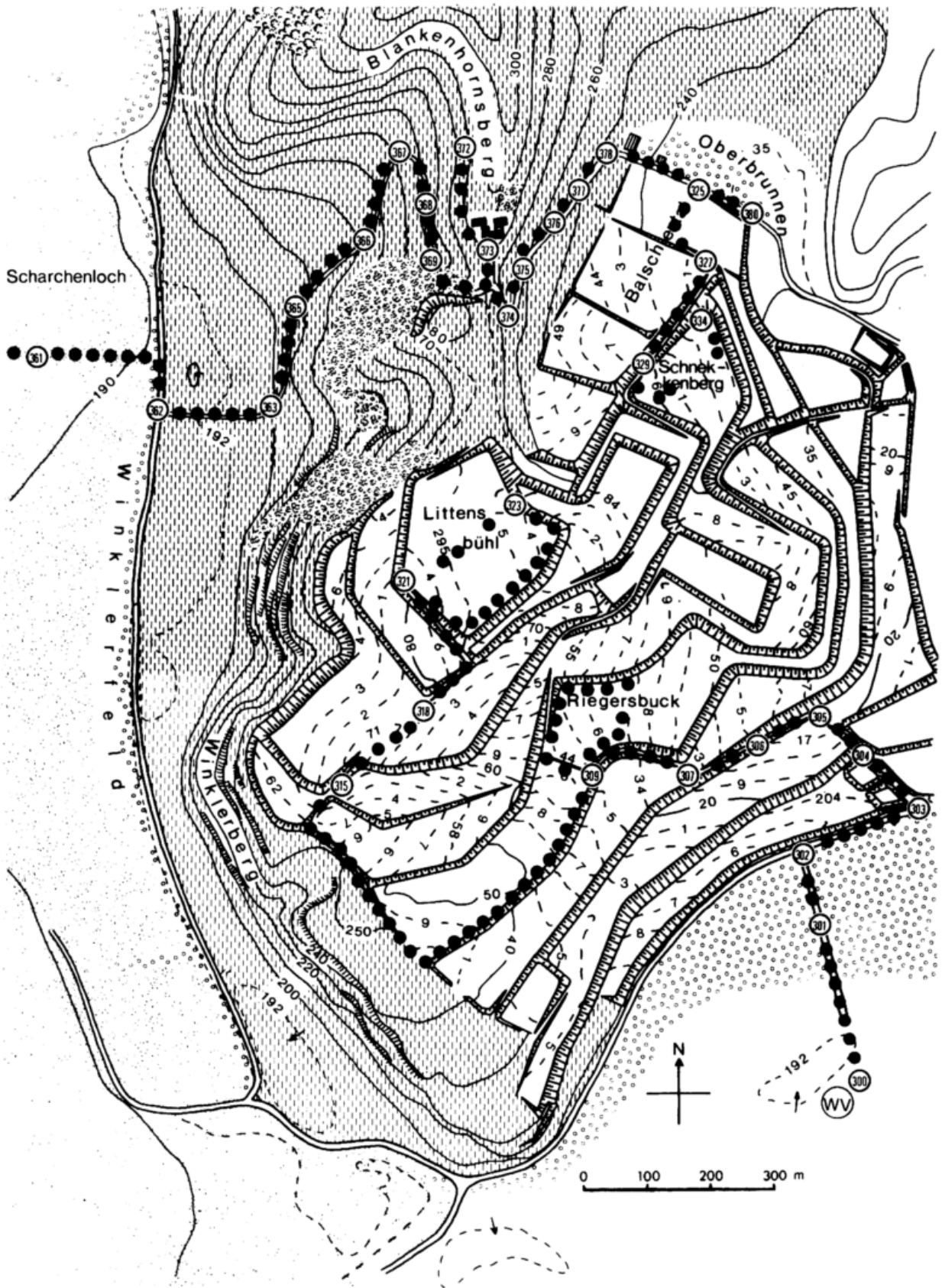


Abb. 11: Topographische Skizze der Großterrassenanlage am Fohrenberg mit Landnutzung, Meßitineraren K - N und Wetterhütte Vierhäupter (WV); Legende s. Abb. 10
 Kartengrundlage DGK 1 : 5000 (mit Genehmigung des Landesvermessungsamtes Baden-Württemberg)

punkte 300 - 314) führt vom Kaiserstuhlvorland (192 m ü.NN) auf die Großterrasse Riegersbuck (245 m ü.NN), Itinerar M (0.74 km, Meßpunkte 315 - 324) quert die Großterrassen Storck und das Gipfelplateau Littensbühl (295 m ü.NN) und Itinerar N (0.69 km, Meßpunkte 325 - 334) steigt vom Talboden Oberbrunnen (236 m ü.NN) auf die Großterrasse Schneckenberg (264 m ü.NN).

Alle aufgeführten Großterrassen liegen in der Flurbereinigung Ihringen V (West) am Fohrenberg, dessen Relief vor der Umlegung demjenigen an den Vergleichsitineraren J und K ähnelte. Tab. 4 bietet eine Übersicht über die Reblandnutzung am Fohrenberg vor und nach der Flurbereinigung. Insgesamt wurden 29 neue Terrassen mit einer mittleren Größe von ca. 2.2 ha geschaffen. Ihre Länge variiert zwischen 100 und 500 m, ihre Breite zwischen 30 und 130 m. Die Form ist zumeist rechteckig bis polygonal. Zur Verhütung von Erosionsschäden besitzen die Großterrassen ein Gefälle von 2 bis 4 % gegen das des ursprünglichen Hanges und ein ebensogroßes in ihrer Längsrichtung parallel zum Hang. Die Höhe der begrasteten Terrassenböschungen (Raine) beträgt 6-25 m bei einem Gefälle von meist 45°. Ein Randwall von ca. 1 m Höhe (Berme) am Terrassenaußenrand soll die Unfallgefahr verringern. Nicht asphaltierte Verbindungswege rund um die Terrassen dienen dem Zugang zu den Rebzeilen. Der auf diesen neuen Großterrassen mögliche Maschineneinsatz führt zweifellos zu einer Senkung der Arbeitskosten. Die im § 1 des Flurbereinigungsgesetzes geforderte "wirtschaftliche Gestaltung" und damit die Rentabilität eines Weinbaubetriebes hängt aber darüberhinaus auch wesentlich von der Qualität des erzeugten Traubensaftes ab, ein Gesichtspunkt, der, wie erläutert, in naher Zukunft noch an Bedeutung gewinnen wird. Die Mostqualität wird in unserer Breite aber entscheidend von den standortklimatischen Bedingungen bestimmt (Kap. 1.3). So ist es nicht verwunderlich, daß gerade auch Flurbereinigungsmaßnahmen als eine Möglichkeit zur Lokalklimaverbesserung angesehen werden (vgl. LINSENMAIER 1965 und den Runderlaß 46560 des Ministeriums für Landwirtschaft, Weinbau und Forsten des Landes Rheinland-Pfalz, Absatz E, zit. bei STEUER 1967). Es erhebt sich allerdings die Frage, ob Flurbereinigungsmaßnahmen in Form von Großterrassenanlagen wie am Ihringer Fohrenberg dieser Forderung gerecht werden.

2.5 Auswahl der Meßtermine und subregionale Witterstypenklassifikation

Bei Meßfahrten können nur kurzfristige Ausschnitte des Witterungsgeschehens erfaßt werden. Will man sich trotzdem die Möglichkeit geländeklimatisch relevanter Aussagen eröffnen, so ergibt sich zwingend die Notwendigkeit einer Auswahl charakteristischer Witterstypen, während deren Persistenz Meßfahrten durchgeführt werden. Allerdings eignet sich die Klassifikation des Wettergeschehens in Großwetterlagen nach HESS und BREZOWSKY (1969) nicht für lokale Klimauntersuchungen (vgl. FLOHN 1954). Der Fall, daß bei gleicher Großwetterlage an nur wenige Kilometer voneinander entfernten Lokalitäten unterschiedliche Witterung herrscht, stellt ein im Oberrheingraben wohlbekanntes Phänomen dar (z.B. Strahlungswetter oberhalb und trübes, bedecktes Herbstwetter unterhalb einer Hochnebeldecke bei antizyklonalem Einfluß). Bei seinen geländeklimatologischen Untersuchungen in Sachsen gliederte deshalb TANNER (1968) nach dem Bewölkungsgrad und der Windstärke 10 Witterstypen aus (5 Bewölkungstypen: Strahlungstyp, bewölkter Typ, bedeckter Typ und 2 Übergangstypen; zusätzlich die Unterscheidung, ob die Windgeschwindigkeit 2m ü.G. > oder < 1.5 m/sec). Dieser zwar sehr feinen, aber schematisch vorgenommenen Klassifikation wurde diejenige von WILMERS (1968a), die von ihm in Anlehnung an KAISER (1958) und BÖER (1963) entworfen wurde, in leicht vereinfachter Form vorgezogen, da sie besser die Gesamtheit des Wettergeschehens berücksichtigt und auf für Meßfahrten unbrauchbare Übergangstypen verzichtet. BÖER (1963) schlägt als Parameter für die Herausarbeitung ökologisch relevanter Witterstypen die Strahlungsbilanz (Ersatzgröße: Bewölkungsgrad oder Sonnenscheindauer), die Stärke der Advektion (Windgeschwindigkeit in Bodennähe) und den Grad und die Richtung der Vertikalbewegungen in der Atmosphäre (Ersatzgröße: Wolkengattung und -art oder Dampfdruck) vor. Als derjenige Witterstyp, der für eine "autochthone, eigenbürtige Witterungsgestaltung" im Sinne von FLOHN (1954) hauptsächlich in Frage kommt und die Grundvoraussetzung für ein "selbständiges Mikroklima" im Sinne von R.GEIGER (1929b) bildet, ist der Strahlungstyp (S) anzusehen. Da eine "selbständige Witterung ... die Vorbedingung zur Bildung von selbständigen Klein- und Mikroklimaten ist" (FLOHN 1954), liegt das Hauptgewicht der vorliegenden Untersuchung auf Meßfahrten bei diesem

Wettertyp. Er wird charakterisiert durch

- starke Ein- und Ausstrahlung,
- schwache horizontale Luftbewegung,
- geringe, vorwiegend absinkende Vertikalbewegungen.

Parametrisiert dargestellt heißt dies im einzelnen:

- Gesamtbewölkung an mindestens 3 aufeinanderfolgenden synoptischen Beobachtungsterminen $\leq 4/8$
- Windgeschwindigkeit 10 m ü.G. an 5 Beobachtungsterminen ≤ 5 m/sec
- Wolkengattung und -art: Cu hum, Ci fib
- Witterungsverlauf in den letzten 6 Stunden: Heiter, höchstens wechselnd bewölkt.

Diese Bedingungen für Strahlungswetter wurden bei den Morgenmeßfahrten in Anlehnung an die "Richtlinien zur Kartierung der Frostgefährdung ..." (SCHNELLE 1963) auf eine Gesamtbewölkung $\leq 3/8$ und eine Windgeschwindigkeit ≤ 2.5 m/sec in 10 m über Grund (= ca. 1.0-1.5 m/sec in 2 m über Grund; vgl. BRANDTNER 1974) verschärft. WILMERS unterscheidet weiter den Böenwettertyp (B). Seine Kriterien bilden

- hohe Ein- und Ausstrahlungswerte,
- starke horizontale Luftbewegung und
- ausgeprägte konvektive Vertikalbewegungen bei hochreichender Labilität der Schichtung.

Er tritt insbesondere bei Rückseitenwetter mit Kaltluftvorstößen in der Höhe und bei Labilisierung der Grundsicht (starke Einstrahlung bei gleichzeitig hoher Luftfeuchte) auf.

- Gesamtbewölkung an höchstens 3 Terminen $> 4/8$
- Windgeschwindigkeit an mindestens 1 Termin > 5 m/sec
- Wolkengattung und -art: Cu med, Cu con, Cb cap, Ac, Ci
- Witterungsverlauf: Böen, Schauer, Gewitter.

Der zyklonale Wettertyp (Z) stellt den Prototyp für eine "allochthone, fremdbürtige Witterung" (FLOHN 1954) dar und ermöglicht die Ausbildung eines "unselbständigen Mikroklimas" (vgl. R.GEIGER 1929b). Die für eine eigenbürtige Witterungsgegestaltung im wesentlichen verantwortlichen

- Ein- und Ausstrahlungswerte sind gering,
- die horizontale Windbewegung hingegen ist stark.
- Die Vertikalbewegungen in der Atmosphäre sind unterschiedlich.

Der zyklonale Wettertyp ist häufig mit Westwetterlagen verknüpft, wobei Aufgleitvorgänge mit Schichtbewölkung unterschiedlicher Dichte auftreten.

- Gesamtbewölkung an höchstens 3 Terminen $8/8$
- Windgeschwindigkeit an 0 bis 5 Terminen > 5 m/sec
- Wolkengattung und -art: St, As, Ac, Ci, Cs
- Witterungsverlauf: Wolkelig, Sprühen, Regen.

In Anlehnung an KAISER (1958) kann man noch einen vierten Typ unterscheiden, "... nämlich den, daß sowohl der Strahlungseinfluß als auch der Wind einfluß verschwindet. Dann erhält man einen neutralen Typ (N) des Klimas, der sich über das Fehlen lokaler und zeitlicher Schwankungen der Klimaelemente hinaus auch noch dadurch auszeichnet, daß alle Komponenten des Wärmehaushalts der Erdoberfläche gegen Null streben". Ideal ist dieser Typ bei allen Hochnebel- und Nebellagen des Winterhalbjahres ausgeprägt.

- Gesamtbewölkung an mindestens 3 Terminen $8/8$
- Windgeschwindigkeit an 5 Terminen < 5 m/sec
- Wolkengattung und -art: St neb, St fra, As, Cs oder nicht erkennbar wegen Nebel
- Witterungsverlauf: Nebel, Sprühen

Über die Anzahl der zu berücksichtigenden Strahlungsnächte geht die Meinung bei den verschiedenen Autoren auseinander. VAN EIMERN (1955) und AICHELE (1964/68) halten drei, WINTER (1958) vier bis fünf Meßfahrten für ausreichend. Für israelische Verhältnisse fordern LOMAS et al. (1972) bei Temperaturen $\leq + 5^{\circ}\text{C}$ ($5-9^{\circ}\text{C}$) in Hohlformen 2 - 3 (5 - 7) nächtliche Meßfahrten, auf Vollformen 4 - 5 (7 - 8), wenn Isothermen im Abstand von 1°C kartiert werden sollen. Eine einmalige Durchführung wird aber wegen möglicher Zufälligkeiten allgemein abgelehnt (vgl. auch M.SCHNEIDER 1965). Für die vorliegende Untersuchung wurden insgesamt 119 Meßkampagnen durchgeführt. Von diesen mußten 16 entweder bereits während der Fahrt abgebrochen werden, weil die Homogenität der Wetterbedingungen z.B. durch Bewölkungsaufzug, einsetzenden Regen oder

Tab. 5 : Verzeichnis der Meßfahrten

Nr.	Zeitpunkt			Temperaturen					Wetterlage				Meteorologische Situation					
	TG	Datum	Beginn Ende	Sonnennenaufgang	t ₂₀₀	t ₁₀₀	t _{min}	t _{max}	OROT	UU	Ge-län-Groß-	de-wet-	Luft-Nie-	Tage ohne	Bremgarten	Kaiserstuhl	Bremgarten	Gattung/
			[MEZ]	[MEZ]	[°C]	[°C]	[°C]	[°C]	[°C]	[%]	typ	masse-	schl.	Richt./Geschw.	Richt./Geschw.	Grad	Unter-	Art
														[m/sec]	[m/sec]	[Ach-	[m	U.G.]
																tel)		
M 1	E	14. 5.75	3.20- 5.25	4.54	4.2	7.5	-	80	S	Ws	mTp	1	19/20	0.5/0.7	-	2.0	0	-
M 2	E	6. 6.75	2.50- 5.05	4.32	4.3	6.6	-	91	S	HM	cTp	1	10/11	1.0/0.6	-	-	2	-
M 3	E	8. 7.75	2.08- 4.15	4.39	13.8	17.0	-	88	S	TB	cP	2	21/20	0.2/1.2	-	2.0	1	3000
M 4	SW	10. 7.75	13.48-15.20	-	26.2	-	26.0	62	S	TB	mTp	1	35/36	2.5/2.3	-	1.5	2	1200
M 5	C	13. 7.75	13.42-15.31	-	27.3	-	28.6	39	S	SNa	mT	1	99/02	0.9/1.1	09	1.0	1	1500
M 6	SW	27. 7.75	2.32- 5.01	4.58	7.6	10.0	-	88	S	HM	mP	5	19/20	0.6/0.3	23	0.5	1	3700
M 7	C	28. 7.75	2.30- 5.05	5.00	9.1	10.7	-	90	S	HM	mP	6	20/30	0.8/0.2	-	1.0	1/0	-
M 8	E	30. 7.75	2.32- 4.59	5.02	11.3	14.0	-	90	S	HM	cTp	8	00/19	C/1.5	09	1.5	0/1	3700
M 9	E	30. 7.75	13.44-15.08	-	27.5	-	29.2	44	S	HM	cTp	8	07/99	1.4/1.7	-	4.0	3	1500
M 10	E	31. 7.75	2.33- 5.04	5.03	11.5	15.0	-	88	S	HM	cTp	9	09/16	0.5/0.3	09	1.0	0	-
M 11	C	1 8.75	2.36- 5.06	5.04	14.7	17.0	-	87	(S)	HM	cTp	10	21	1.7/1.6	09	1.5	4/7	3700
M 12	C	2. 8.75	2.37- 5.08	5.05	14.8	17.5	-	85	S	HM	cTp	11	20/17	1.7/0.2	-	2.0	0	-
M 13	SW	3. 8.75	2.36- 4.56	5.07	12.9	15.5	-	86	S	HM	cTp	12	19	0.8/0.3	09	1.0	0/1	-
M 14	C	4. 8.75	2.39- 5.09	5.08	12.1	15.0	-	88	S	HM	cTp	13	20/14	0.9/0.5	14	2.5	0	-
M 15	E	5. 8.75	2.40- 5.07	5.10	11.2	15.0	-	82	S	HM	cTp	14	14/18	0.9/0.4	14	1.5	0/2	-
M 16	SW	7. 8.75	2.43- 5.01	5.13	12.7	14.6	-	86	S	HFA	cP	16	22/21	0.9/1.1	32	0.5	0	-
M 17	C	8. 8.75	2.43- 5.13	5.14	13.7	16.9	-	80	S	HFA	cP	17	20/25	0.5/0.9	09	2.0	0	-
M 18	C	7.10.75	4.05- 6.49	6.36	2.9	4.9	-	94	S	Nz	mTp/	5	15	0.1	09	1.0	0	-
M 19	E	23.10.75	10.28-10.43	-	6.1	-	11.5	75	N	HPz	cP	2	99/05	1.2/1.3	18	1.0	6	150
M 20	E	24.10.75	13.17-14.47	-	12.1	-	13.1	71	S	HM	cTp	3	09/06	0.5/1.3	09	1.5	0	-
M 21	C/E	30.10.75	4.40- 7.38	7.11	-0.7	-10	-	95	S,N	HM	cTp	9	15/14	0.9/0.3	14	4.0	Nebel/	60
M 22	E	30.10.75	10.34-10.47	-	11.9	-	-	-	S,N	HM	cTp	9	22	4.0	-	-	2	-
M 23	C/E	30.10.75	13.32-15.54	-	17.4	-	17.9	43	S	HM	cTp	9	21	1.6/5.2	22	4.5	1	8300
M 24	E	30.10.75	19.03-19.23	-	6.4	-	-	-	S	HM	cTp	9	12	0.2	-	-	2	-
M 25	SW/E31	10.75	4.00- 7.19	7.12	0.0	2.0	-	93	S	HM	cTp	10	11/10	0.5/0.2	22	0.5	0/2	180
M 26	SW	31.10.75	13.27-15.07	-	15.0	-	14.8	64	S	HM	cTp	10	07/06	0.9/0.4	32	1.5	2	8600
M 27	E	5.11.75	6.59- 7.18	7.20	7.0	6.0	-	97	N	EM	mPt	2	04/06	0.6	34	1.0	8/Nebel	-
M 28	C	9. 3.76	13.55-15.59	-	3.3	-	3.5	38	S	HFA	cP	13	04/03	3.7/3.9	-	3.0	0/2	1200
M 29	E	11. 3.76	14.17-15.41	-	6.9	-	7.5	31	S	HM	cP	15	99	0.9/1.4	99	1.0	3	3700
M 30	SW	22. 3.76	3.53- 6.36	6.30	-7.6	-6.6	-	70	S	HFA	cP	3	24	0.4/0.1	13	1.0	2	3700
M 31	E	31. 3.76	12.58-13.50	-	15.4	-	17.2	43	S	Wa	mPt	4	99	1.1/1.3	22	2.5	0	-
M 32	E/C	1. 4.76	3.40- 6.03	6.10	-1.1	4.0	-	88	S	Wa	mPt	5	22/23	0.3/0.6	22	2.0	0	-
M 33	E/C	1. 4.76	11.30-14.20	-	21.8	-	23.5	25	S	Wa	mPt	5	20/18	2.5/3.0	20	3.0	0	-
M 34	C/SW	2. 4.76	3.30- 6.19	6.08	12.6	9.4	-	50	B	TrW	mPt	6	19/18	5.3	18	5.5	0/1	4000
M 35	C/SW	2. 4.76	11.12-13.55	-	22.1	-	23.2	24	(B)	TrW	mPt	6	21/23	2.8/3.9	24	6.5	1/2	1500
M 36	SW	13. 4.76	13.43-15.29	-	16.5	-	16.5	37	S	NEa	cP	4	03/06	3.4/2.8	04	3.0	2	1200
M 37	SW	21. 4.76	13.55-15.42	-	20.2	39	20.5	39	S	HB	cP	12	05	1.5/2.6	04	3.5	1	1500
M 38	SW/C29	4.76	3.01- 5.44	5.18	1.6	-0.9	-	83	B	HM	cPa	2	03	4.2/4.6	03	5.5	0	-
M 39	SW	29. 4.76	13.56-14.43	-	10.8	-	11.0	31	B	HM	cPa	2	04/03	8.3/8.2	03	3.5	1	1200
M 40	E	30. 4.76	11.49-12.40	-	12.3	-	13.5	31	B	EM	cPa	3	03/04	7.0/7.6	03	4.0	1	1500
M 41	E/SW	1. 5.76	2.54- 5.29	5.13	-1.4	1.9	-	86	S	EM	cTp	4	20/18	0.6/0.3	36	1.5	0	-
M 42	C	6. 5.76	2.34- 5.12	5.05	4.5	7.9	-	98	S	SEA	mPt/cPt1	21	0.9/0.5	14	2.5	0/2	-	
M 43	C	6. 5.76	13.57-15.48	-	26.8	-	26.4	47	S	SEA	mPt/cPt1	06/03	1.8/1.9	04	3.5	1	1500	
M 44	SW	7. 5.76	2.31- 4.51	5.03	7.7	10.2	-	94	S	SEA	cPt	2	21/19	1.5/0.9	09	1.5	0	-
M 45	SW	7. 5.76	13.34-15.11	-	27.2	-	27.5	37	S	SEA	cPt	2	08/09	1.4/0.9	04	3.0	1	1800
M 46	E	8. 5.76	2.29- 4.45	5.02	8.1	11.9	-	95	S	SEA	cPt	3	21	1.2/2.0	22	2.0	2/1	-
M 47	E	18. 5.76	13.20-14.53	-	28.0	-	27.8	34	S	TrW	cTp/mTp	5	99	1.5/1.6	09	1.0	2	1800
M 48	C	8. 6.76	13.44-15.37	-	28.3	-	28.4	37	S	HFA	cTp	4	99	1.2/1.4	32	1.0	0	-
M 49	C	9. 6.76	2.01- 4.28	4.30	10.3	14.0	-	96	S	HFA	cTp	5	21/19	1.9/0.7	14	1.5	0	-
M 50	SW	22. 6.76	2.06- 4.26	4.29	10.7	15.0	-	88	S	HM	cTp	8	15/00	0.1/C	05	1.5	0/1	-
M 51	C	24. 6.76	2.08- 4.28	4.30	10.5	14.1	-	91	S	HM	cTp	10	18/11	0.4/0.2	09	2.0	0/1	-
M 52	E	25. 6.76	2.08- 4.19	4.30	13.5	15.1	-	91	S	HM	cTp	11	10/07	0.1/0.1	36	1.5	0/3	-
M 53	SW	27. 6.76	2.16- 3.30	4.31	(13.4)	14.5	-	86	S	HM	cTp	13	18/17	1.1/0.6	-	0	-	-
M 54	SW	28. 6.76	2.16- 4.34	4.32	11.1	15.9	-	79	S	HM	cTp	14	03/05	1.0/0.4	05	1.5	0	-
M 55	C	2. 7.76	13.40-15.22	-	34.2	-	33.5	27	(S)	EM	cTp	18	02	4.0/5.1	36	4.5	1	1800
M 56	C	3. 7.76	2.17- 4.39	4.35	12.5	16.5	-	82	S	HNa	cTp	19	21/19	1.9/2.9	14	5.0	0	-
M 57	SW	3. 7.76	13.43-15.35	-	34.6	-	34.7	23	S	HNa	cTp	19	99	2.3/1.8	18	2.0	1	1500
M 58	E	4. 7.76	2.17- 4.11	4.35	15.1	20.5	-	67	B	HNa	cTp	20	23/22	6.2/5.6	22	6.0	0/1	-

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15			
M 59	E	4. 7.76	13.39-14.33	-	33.9	-	35.4	23	S	HNa	cTp	20	15/31	2.2/2.8	18 2.0	2/4 1400	Qu med, Cb cap, Ci fib
M 60	E	15. 7.76	2.20- 4.48	4.44	14.9	17.6	-	85	(S)	HFa	mT	1	19	0.3/0.1	36 0.5	4/5 3400	Ac str, Ci fib
M 61	E	15. 7.76	11.43-12.26	-	28.8	-	32.0	31	S	HFa	mT	1	99	1.7/1.3	99 2.0	3/4 1500	Qu con, Ci fib
M 62	SW	15. 7.76	20.33-23.50	-	18.3	-	-	-	S	HFa	mT	1	09	1.3/0.6	12 2.0	4/3 7700	Ci fib
M 63	SW	16. 7.76	2.34- 4.50	4.46	14.0	17.0	-	89	S	HFa	mT	2	19/22	1.2/1.5	12 1.5	0 -	-
M 64	SW	16. 7.76	13.30-15.05	-	35.2	-	36.0	25	S	HFa	mT	2	25/22	4.6/3.9	26 4.0	3 1800	Qu con, Qu med, Ci fib
M 65	SW	7. 9.76	13.47-15.39	-	21.6	-	22.0	43	S	Wa	mP	2	99	1.5/1.8	99 1.5	1 1400	Qu hum, Ci fib
M 66	C	8. 9.76	13.45-15.33	-	24.6	-	24.8	36	B	Wa	mTp	3	22	7.9/6.9	20 9.0	1 1500	Qu hum, Ci fib
M 67	C	22. 9.76	3.51- 5.58	6.15	-	2.4	4.6	98	S	HFa	cP	4	21/22	0.5/0.8	- 2.5	0 -	-
M 68	C	22. 9.76	13.50-15.33	-	18.3	-	18.6	59	S	HFa	cP	4	99/06	0.8/1.2	36 1.0	2/4 7100	Ci fib
M 69	E	23. 9.76	4.00- 6.05	6.17	4.8	7.3	-	98	S	TB	cP/mTp5	5	18/19	1.0/0.2	22 1.0	0/Ne- bel	- Nebel
M 70	E	23. 9.76	13.49-15.19	-	20.8	-	22.0	56	(S)	TB	cP/mTp5	5	07/08	0.9/0.8	18 2.0	5 1100	Qu hum, Ci fib
M 71	C	8.10.76	13.44-15.33	-	23.1	-	24.6	57	S	SWa	mT	3	99/09	0.9	99 1.5	4 3700	Ac str, Ci fib
M 72	C	9.10.76	4.16- 6.24	6.40	11.3	10.5	-	97	B	SWa	mT	4	20/21	5.5/4.9	18 9.5	0/3 -	Ci fib
M 73	E	9.10.76	13.08-14.45	-	23.3	-	24.4	41	B	SWa	mT	4	20	6.4/6.0	22 4.0	1 -	Ci fib
M 74	C	11.10.76	4.23- 6.42	6.42	6.3	9.0	-	96	S	Ws	mT	6	20/19	0.8/0.9	32 1.0	0/3 -	Ci fib
M 75	SW	9. 3.77	4.23- 6.14	6.56	3.1	4.5	-	98	(S)	SWa	mT	6	20	6.0/5.8	09 2.0	5 -	Ci fib
M 76	SW	9. 3.77	12.37-14.30	-	20.0	-	21.7	41	S	SWa	mT	6	99/09	0.6/0.9	18 2.5	1 6800	Ci fib
M 77	SW/E	3. 5.77	13.34-15.57	-	15.9	-	16.0	58	Z	Trw	cTp	1	03/04	4.1/4.8	36 6.0	7 900	Qu med, Sc str, Ac str, Ci fib
M 78	C	14. 9.77	13.34-15.15	-	18.9	-	18.8	48	S	Wa	mP	5	03/36	2.2/3.0	36 3.0	4 8300	Ci fib
M 79	SW	15. 9.77	4.02- 5.45	6.06	5.2	7.0	-	96	S	HNa	mP	6	17/22	0.1/1.0	09 1.0	1 8300	Ci fib
M 80	E	15. 9.77	13.23-14.53	-	20.6	-	22.1	36	S	HNa	mP	6	02/04	1.3/1.4	00 0.0	0 -	-
M 81	C	29. 9.77	13.31-15.05	-	16.7	-	17.6	66	Z	Wz	mTp	0	24/19	4.3/3.9	20 4.0	8/7 1200	Qu med, Qu con, Sc str, Ac str
M 82	SW	12.10.77	13.16-14.26	-	14.6	-	16.5	55	S	EM	mPt	1	99	0.5/0.2	22 0.5	1 7700	Ci fib
M 83	SW/E	27.10.77	4.08- 6.58	7.06	11.3	10.9	-	97	N	EM	cTp/ mTp	0	00	0.0	25 0.5	8/Ne- bel	30 St neb, Nebel
M 84	C	3.11.77	6.05- 7.22	7.17	15.1	13.4	-	74	Z	Ww	mT	0	20/19	7.3/4.7	20 12.0	7 1000	Sc str, Ac str

auffrischenden Wind nicht mehr gegeben war; oder die Randbedingungen für die Wettertypen stellten sich anhand der Beobachtungen des Geophysikalischen Meßzuges der Bundeswehr am Flugplatz Bremgarten hinterher als unzureichend heraus. Aus der dreimonatigen Testphase von April bis Juni 1975 fanden nur 2 der 17 Kampagnen Verwendung, da die Meßrouten noch nicht endgültig festgelegt waren. Die verbleibenden 88 Kampagnen gliedern sich in 44 Morgen-, 1 Vormittags-, 37 Mittags- und 6 Abendmessungen. Von letzteren werden wegen der Reduktionsproblematik nur zwei Beispiele vorgestellt (Kap. 2.8.3.1 und Kap. 3.3.2.1). Sie dienten v.a. als Bodenkontrolle für das Flugzeugmeßprogramm (Kap. 3).

Aus dem gleichen Grunde mußten 4 Mittagskampagnen schon zum Zeitpunkt des Sonnenhöchststandes kurz vor 12 Uhr MEZ begonnen werden. Als Grundvoraussetzung für eine erfolgreiche Meßkampagne sind eine eingehende Information über Großwetterlage und subregionale Wettersituation sowie persönliche Augenbeobachtungen unerlässlich.

In der folgenden Übersicht (Tab. 5) sind die Meßkampagnen in ihrer chronologischen Abfolge zusammengestellt und die während des Meßzeitraums herrschenden Wetterbedingungen aufgeführt.

Die Daten der Spalten 5, 10, 14 und 15 wurden den Synoptischen Tagebüchern des Flugplatzes Bremgarten, die der Spalte 7, 8, 9 und 13 den Klimatabellen der Klimahauptstation Oberrotweil entnommen. Die Klassifikationen in Spalte 11 und 12 sind in der Reihe "Die Großwetterlagen Mitteleuropas", 28.-30. Jg., Offenbach 1975-1977, verzeichnet.

Spalte Definition

- | | |
|----|---|
| 1 | Laufende Numerierung der Meßkampagnen in chronologischer Reihenfolge |
| 2 | Testgebiet, in dem die Kampagne durchgeführt wurde
C = Zentralkaiserstuhl
E = Ostkaiserstuhl
SW = Südwestkaiserstuhl |
| 4 | Beginn und Ende der Meßkampagne [MEZ] |
| 6 | Basistemperatur $t_{1,200,300} [^{\circ}\text{C}]$
an den Basismeßpunkten
1 Faulewaag (Zentralkaiserstuhl)
200 Bötzingen Ried (Ostkaiserstuhl)
300 Vierhäupter (Südwestkaiserstuhl) |
| 7 | Temperaturminimum $t_{\min} [^{\circ}\text{C}]$
des Tages in Oberrotweil,
2 m ü.G. |
| 8 | Temperaturmaximum $t_{\max} [^{\circ}\text{C}]$
des Tages in Oberrotweil,
2 m ü.G. |
| 9 | Relative Luftfeuchte UU [%]
an der Klimahauptstation
Oberrotweil zur Zeit des Temperaturminimums (entnommen dem THG-Streifen) bzw. zum Ablesetermin um 14.29 MEZ |
| 10 | Subregionaler Wettertyp
(Grenzfälle in Klammern)
S = Strahlungstyp
B = Böenwettertyp
Z = Zyklonalstyp
N = Neutralstyp |
| 11 | Großwetterlage in der im DWD üblichen Klassifikation nach HESS und BREZOWSKY (1969). |
| 12 | Luftmasse in der auf SCHERHAG (1948) zurückgehenden Einteilung. |
| 13 | Anzahl der Tage ohne Niederschlag in Oberrotweil, die dem Meßtermin vorausgehen. |

- | | |
|----|--|
| 14 | Stundenmittel der Windrichtung und -geschwindigkeit in Bremgarten während der Meßfahrten [m/sec]; unterschiedliche Angaben während des Meßzeitraums durch Schrägstrich getrennt. Außerdem werden die Werte der mit einem Schalenhandanemometer (Anlaufwiderstand 0.5 m/sec) an den Meßpunkten (468) Degenmatt, (107) Vogelsangpaß und (321) Littensbühl durchgeführten ambulanten Messung der Windgeschwindigkeit aufgeführt. Die Windrichtung wurde mit Wollfäden und Kompaß abgeschätzt. |
|----|--|

Angabe der Windrichtung in 36-teiliger Skala:

- | | |
|----|--------------------|
| 09 | = Ost |
| 18 | = Süd |
| 27 | = West |
| 36 | = Nord |
| 99 | = nicht bestimmbar |
| 00 | = Calme |

- | | |
|----|--|
| 15 | Bewölkung in Bremgarten während der Meßfahrten:
Bedeckungsgrad in Achtel, mehrere Angaben durch Schrägstrich getrennt; Untergrenze des niedrigsten Wolkenstockwerkes in m ü.G.; Wolkengattung und -art in der beim Wetterdienst üblichen Verschlüsselung. |
|----|--|

2.6 Elementar-statistische Datenüberprüfung

Um geländeklimatische Daten ihrer Relativität zu entkleiden, wird mit ERIKSEN (1975) "stets ... eine sehr sorgfältige statistische Einbettung und Absicherung der Meßwerte ..." gefordert werden müssen (vgl. auch die statistischen Bearbeitungen bei FRANKEN 1955/56, MARR 1970, HOCEVAR und MARTSOLF 1971, QUITT 1972). In der vorliegenden Untersuchung wurde für die statistische Überprüfung der Morgenmeßfahrten bei Strahlungswetter ein ähnliches Vorgehen wie bei FRANKEN (1955/56) gewählt, indem die Meßwerte jeder Kampagne sechs Temperaturklassen zugeordnet wurden. Es bot sich hierbei als unterer Schwellenwert die jeweilige Basistemperatur an den Meßpunkten 1,200 und 300 im Tiefland, als oberer Schwellenwert die bei der entsprechenden Kampagne an der Höhengrenze des Rebbaus, im Kaiserstuhl also ca. in 400 m ü.NN, gemessene Temperatur an. Gemeinsam für die TG Zentral- und Ostkaiserstuhl kam dafür t_{107} am Vogelsang-

paß, im Südwestkaiserstuhl ersatzweise t_{359} am höchstgelegenen Meßort des TG (370 m ü.NN am Waldrand des Lenzenberges) in Frage. Die Temperaturspanne zwischen den beiden Schwellenwerten wurde in vier Klassen mit gleichabständigen Grenzen (Klassen 1-4) unterteilt. Übertraf die Temperatur eines Meßpunktes den oberen Schwellenwert, so wurde der Meßpunkt einer weiteren Klasse 0 zugeordnet, unterschritt die Temperatur den unteren Schwellenwert, so kam der Meßpunkt zur Klasse 5. Betrag z.B. die Basistemperatur am Meßpunkt 1 Faullewaag im TG Zentral-kaiserstuhl 10.0°C (= unterer Schwellenwert) und am Meßpunkt 107 Vogel-sangpaß 18.0°C (= oberer Schwellenwert), so wurden Meßpunkte mit Temperaturen $< 10.0^{\circ}\text{C}$ der Temperaturklasse 5, solche mit Temperaturen zwischen 10.0 und 11.9°C Klasse 4, solche mit Temperaturen zwischen 12.0 und 13.9°C Klasse 3 etc. zugeordnet. Die sechs Temperaturklassen können wie folgt überschrieben werden:

- Temperaturklasse 0 = extrem positive Abweichung von der Basistemperatur ($>$ oberer Schwellenwert), keine relative Kaltluftgefährdung
- Temperaturklasse 1 = hohe positive Abweichung von der Basistemperatur, keine relative Kaltluftgefährdung
- Temperaturklasse 2 = mittlere positive Abweichung von der Basistemperatur, geringe relative Kaltluftgefährdung
- Temperaturklasse 3 = mäßige positive Abweichung von der Basistemperatur, mäßige bis starke relative Kaltluftgefährdung
- Temperaturklasse 4 = geringe positive Abweichung von der Basistemperatur, sehr starke relative Kaltluftgefährdung
- Temperaturklasse 5 = negative Abweichung von der Basistemperatur ($<$ unterer Schwellenwert),

extreme relative Kaltluftgefährdung

Die Häufigkeitsverteilung der Klassenzugehörigkeit jedes Meßpunktes ist unterhalb der Temperatur-Itinerar-Profile in den Abb. 12-25 eingetragen und bietet eine gute Beurteilungsmöglichkeit der Kaltluftgefährdung relativ zur Oberrheinebene. Darüberhinaus liefert die Streuung Hinweise über die Wahrscheinlichkeit, mit der erwartet werden kann, daß ein Standort in einer Strahlungsnacht in eine bestimmte Temperaturklasse fällt.

2.7 Anschluß der morgendlichen Meßfahrten an Bezugsklimastationen zur Berechnung der Frostgefährdung

Als häufiger Einwand gegen die Methode der Meßfahrten wird vorgebracht "..., daß sie nicht in der Lage ist, für das untersuchte Gebiet den Anschluß an die langjährigen Klimadaten herzustellen" (MÄDE 1956). In der Tat wurde bei keiner der in Tab. 3 zusammengestellten Meßfahrten Bezug auf langjährige Beobachtungen genommen, obwohl bei netzmäßigen Untersuchungen - wie in den "Richtlinien für die Kartierung der Frostgefährdung ..." (SCHNELLE 1963) gefordert - üblicherweise eine Überführung relativer Meßdaten in klimatologische Endergebnisse durchgeführt wird (z.B. BJELANOVIC 1967). Es soll deshalb zur Beantwortung der Frage der Strahlungsfrostgefährdung in den Übergangsjahreszeiten ein "Anhängen" der morgendlichen Meßfahrten an geeignete Reihen von Bezugsklimastationen versucht werden. Hierfür bieten sich die beiden Klimahauptstationen des Deutschen Wetterdienstes im Kaiserstuhl, Oberrotweil und Liliental, an.

Oberrotweil $48^{\circ}05'N$
 $7^{\circ}38'E$

Zeitraum und Höhe ü.NN:

1907 - 1942 (Talbodenlage
217 m ü.NN, wahrscheinlich
zu korrigieren auf 211 m
ü.NN)
1946 - 52 (211 m ü.NN)
1953 - 67 (235 m ü.NN)
1968 - heute (210 m ü.NN)

Stationslagen:

Anfänglich Talbodenlage im Rathausgarten; von 1953-1968 ca. 20 m über dem Talboden auf dem Riedel Rusch südlich des Ortes; heute Talbodenlage am westlichen Ortsausgang inmitten locker gestellter Neubauten; mäßige Hori-

zonteinschränkung von
E über S bis SW

Liliental 48°04'N
7°40'E

Zeitraum und Höhe ü.NN:

1949 - 54 (284 m ü.NN)
1964 - heute (284 m ü.NN)

Stationslage:

Kein Ortseinfluß, allseitige starke Horizonteinschränkung, kesselartige Lage ca. 10 m üb. Sohle des Mühltals

Als wichtigste Vorausbedingung hat die Übereinstimmung der in der Wetterhütte und am mobilen Meßfühler gemessenen Temperatur zu gelten, sofern man eine Transformationskonstante vermeiden will. Da in Strahlungsnächten das Temperaturminimum kurz vor Sonnenaufgang eintritt, wurde davon ausgegangen, daß bei einer Vergleichsmessung zu diesem Termin und in gleicher Höhe von 2 m ü.G. das Minimumthermometer der Klimastation und das Widerstandsthermometer des Meßwagens den gleichen Wert anzeigen würden. Die erfreulich kleinen Abweichungen bestätigen die Richtigkeit der Annahme:

- TG Zentralkaiserstuhl, 12 Meßfahrten, mittlerer Betrag der positiven und negativen Abweichungen der mobilen Messung vom Minimumthermometer der Bezugsklimastation Oberrotweil = 0.16°C (Standardabweichung $\sigma = 0.16^{\circ}\text{C}$)
- TG Ostkaiserstuhl und südwestlicher Kaiserstuhl, 19 Meßfahrten⁺⁾ , mittlerer Betrag der positiven und negativen Abweichungen der mobilen Messung vom Minimumthermometer der Bezugsklimastation Liliental = 0.26°C ($\sigma = 0.22^{\circ}\text{C}$).

Diese gute Übereinstimmung annähernd im Bereich der Anzeigegenauigkeit der Meßgeräte gestattet den Anschluß der Meßfahrten an die Reihe der Temperaturminima von Oberrotweil und Liliental. Hierfür muß als nächster Schritt im TG Zentralkaiserstuhl für alle Meßreihen die mittlere Differenz $\bar{\Delta}t_C$ zwischen dem Bezugswert \bar{t}_{12}

+) Nicht berücksichtigt sind hierin zwei Kampagnen, bei denen die Vergleichsmessungen erst ca. 1 Stunde nach Sonnenaufgang erfolgten, und zwei weitere Meßfahrten aus dem Testzeitraum zu Beginn der Untersuchung. Eine fünfte Kampagne mußte wegen Gerätedefekt vorzeitig abgebrochen werden.

(Pt-100 Messung kurz vor Sonnenaufgang an der Bezugsklimastation Oberrotweil, Meßpunkt 12) und dem Basiswert \bar{t}_1 (Pt 100-Messung im Oberrheinischen Tiefland am Basismeßpunkt Faulawaag, Meßpunkt 1) errechnet werden. Entsprechendes gilt für die mittlere Differenz $\bar{\Delta}t_E$ für alle Meßreihen im TG Ostkaiserstuhl zwischen dem Bezugswert \bar{t}_{288} (Pt 100-Messung kurz vor Sonnenaufgang an der Bezugsklimastation Liliental, Meßpunkt 288) und dem Basiswert \bar{t}_{200} (Pt 100-Messung im Oberrheinischen Tiefland am Basismeßpunkt Bötzingen Ried, Meßpunkt 200) bzw. ebenso für alle Meßreihen im TG Südwestkaiserstuhl zwischen dem Bezugswert \bar{t}_{288} und dem Basismeßwert \bar{t}_{300} (Pt 100-Messung im Oberrheinischen Tiefland am Basismeßpunkt Vierhäupter, Meßpunkt 300). Die mittleren Differenzen $\bar{\Delta}t_{C,E,SW}$ für alle Meßreihen betragen im einzelnen:

- TG Zentralkaiserstuhl (12 Meßfahrten)

$$\bar{\Delta}t_C = \bar{t}_{12} - \bar{t}_1 = +2.8^{\circ}\text{C} (\sigma = 0.69^{\circ}\text{C})$$

- TG Ostkaiserstuhl (8 Meßfahrten)

$$\bar{\Delta}t_E = \bar{t}_{288} - \bar{t}_{200} = +1.7^{\circ}\text{C} (\sigma = 0.49^{\circ}\text{C})$$

- TG Südwestkaiserstuhl (11 Meßfahrten)

$$\bar{\Delta}t_{SW} = \bar{t}_{288} - \bar{t}_{300} = +1.2^{\circ}\text{C} (\sigma = 0.43^{\circ}\text{C})$$

Die mittlere Temperaturdifferenz $\bar{\Delta}t'_{1...379}$ zwischen jedem einzelnen Meßpunkt (1...379) und seinem Bezugswert $\bar{t}_{12,288}$ kann nun mit Hilfe der bekannten mittleren Abweichung $\bar{\Delta}t_{1...379}$ jedes einzelnen Meßpunktes von seinem Basiswert $\bar{t}_{1,200,300}$ im Oberrheinischen Tiefland nach der Formel $\bar{\Delta}t'_{1...379} = \bar{\Delta}t_{1...379} - \bar{\Delta}t_{C,E,SW}$ bestimmt werden. Die Werte $\bar{\Delta}t'_{1...379}$ sind Tab.12, Spalte 5, zu entnehmen. Für jeden Meßpunkt wurde nun das an

+) In Übereinstimmung mit VAN EIMERN (1955 und 1968c), FRANKEN (1955/56), HARTMANN et al. (1959) und den "Richtlinien zur Kartierung der Frostgefährdung ..." (SCHNELLE 1963) wird davon ausgegangen, daß auch Messungen in sommerlichen Strahlungsnächten über die Kaltluftverteilung in den Übergangsjahreszeiten Auskunft geben können und somit zur Mittelbildung herangezogen werden dürfen.

der Bezugsklimastation notwendige Temperaturminimum errechnet, welches das Eintreten bzw. Unterschreiten einer für Frostschäden verantwortlichen "kritischen Temperatur" (WEGER 1955, 132) am Standort des Meßpunktes zur Folge hat. Als "kritische Temperatur" wird in den "Richtlinien ..." -2.0°C angesehen (SCHNELLE 1963). Da nach VOGT/GÖTZ (1977) Frostschäden an Reben aber bereits ab ca. -1.5 bis -2.0°C Lufttemperatur eintreten, wurde als kritische Temperatur in der vorliegenden Untersuchung -1.5°C in 2m ü.G. angenommen, wobei in Triebhöhe dieselbe oder eine tiefere Temperatur zu erwarten ist. Für jeden Itinerarpunkt kann nun dasjenige Temperaturminimum t_x an der Bezugsklimastation bestimmt werden, welches an dem betreffenden Itinerarpunkt ein Eintreten der kritischen Temperatur von -1.5°C zur Folge hat:

$$t_x = -\Delta t'_{1...379} - 1.5^{\circ}\text{C}$$

In einem dritten Schritt stand nun die Errechnung der Eintrittswahrscheinlichkeit von allen Tiefsttemperaturen $\leq +4.0^{\circ}\text{C}$ an den beiden Bezugsklimastationen an. Gemäß der Überlegung, daß es für das Anbau-risiko weniger darauf ankommt, wie oft, sondern ob überhaupt einmal im Jahr die kritische Temperaturschwelle unterschritten wird, wurden dafür alle Jahre, in denen an den beiden Bezugsklimastationen die täglichen Minima im Frühjahr und im Herbst unter $+4.0^{\circ}\text{C}$ absanken, ausgezählt. Die täglichen Minimauszählungen des Frühjahrs umfassen dabei den Zeitraum von der mittleren Südkirschenblüte (7. April)⁺, die etwa mit dem Austrieb der Reben zusammenfällt, bis Ende Juni und die des Herbstes den September und Oktober. Am Kaiserstuhl ist je nach Sorte und Witterung der Hauptteil der Weinlese in den ersten Novembertagen abgeschlossen.^{o)} An der Bezugsklimastation Liliental standen für diese Auszählung die Daten vom Oktober 1949 bis Mai 1951, vom April 1952 bis Oktober 1953 und vom April 1964 bis Oktober 1977 zur Verfügung, was 18 Jahren entspricht. Bei der Bezugsklimastation Oberrotweil handelt es sich um die Monate April 1947 bis Oktober 1954 und April 1968 bis Oktober 1977, also gleichfalls um einen Zeitraum von 18 Jahren. Bei letzterer Reihe mußte notgedrungen Weise auf die Auswertung

⁺ Freundliche Mitteilung von Herrn Dr. Henhappl, Agrarmeteorologische Beratungsstelle des Wetteramtes Freiburg; für Höhen von 170-300 m ü.NN im Breisgau repräsentativ

^{o)} vgl. die Jahresberichte des Staatl. Weinbauinstitutes, Freiburg i.Br.

der Jahre 1955-1967 verzichtet werden, da sich die Station während dieser 13 Jahre nicht in ihrer angestammten Talbodenlage am westlichen Ortsausgang befand; eine Berücksichtigung dieser Werte beim Meßfahrtschluß ist somit nicht statthaft. Anhand der synoptischen Beobachtungen des Flugplatzes Bremgarten (Oktober 1969 - Oktober 1977) und behelfsweise derjenigen vom Wetteramt Freiburg (Mai 1949 bis September 1969) wurde außerdem überprüft, ob die ausgezählten Temperaturminima auch beim Strahlungstyp eingetreten waren, da die Temperaturverteilung auf den Itineraren nur für diesen Wittertyp repräsentativ ist. Im gegenteiligen Fall wurde das entsprechende Minimum nicht berücksichtigt. Diese Unterscheidung wird weder in den "Richtlinien ..." (SCHNELLE 1963), noch bei BJELANOVIC (1967) getroffen, obwohl sich an beiden Stellen die in Sondernetzen gewonnenen Meßergebnisse per definitionem nur auf Strahlungsnächte beziehen. Anders ausgedrückt: Es werden an den Bezugsklimastationen eingetretene Advektivfröste mitgezählt, während die Geländeuntersuchungen nur über Strahlungsfröste Aufschluß geben können.

Anhand der ausgezählten Datenkollektive wurde schließlich die Eintrittswahrscheinlichkeit der Temperaturminima $\leq +4.0^{\circ}\text{C}$ innerhalb der angegebenen Frühjahrs- und Herbstzeiträume wie folgt errechnet: War z.B. das tiefste Minimum im September und Oktober eines Jahres in Oberrotweil -5.4°C , so beträgt die Eintrittswahrscheinlichkeit aller Minima $\geq -5.4 \leq +4.0^{\circ}\text{C}$ dieses Herbstes in Oberrotweil 100 %. Bezieht man sich dann auf den Zeitraum von 18 Jahren, welcher der Berechnung zugrunde liegt, so stellt man fest, daß die Temperatur nur einmal in 18 Jahren so tief abgesunken ist. Das Auftreten einer Tiefsttemperatur von -5.4°C in Oberrotweil im Herbst hat deshalb eine Eintrittswahrscheinlichkeit von $1/18$ oder ca. 6 %. Da das Temperaturminimum von -4.7°C in 18 Jahren im Herbst zweimal aufgetreten ist, besitzt es eine Eintrittswahrscheinlichkeit von $2/18$ oder ca. 11 % etc. In Tab. 6 ist die Eintrittswahrscheinlichkeit aller Temperaturminima $\leq +4.0^{\circ}\text{C}$ im Frühjahr und Herbst an beiden Bezugsklimastationen (18 jähriges Mittel) niedergelegt.

In einem letzten Schritt kann jeder Itinerarpunkt entsprechend der auftretenden Eintrittswahrscheinlichkeit der kritischen Temperatur einer von vier Frostgefährdungszonen zugeordnet werden, die in Anlehnung an SCHNELLE (1949b, 101) in Tab. 7 definiert werden. So errechnet sich z.B. für Itinerarpunkt 60 an der unteren

Baßgeige (TG Zentralkaiserstuhl, Itinerar C, Bezugsklimastation Oberrotweil) mit $\bar{\Delta} t'_{60} = +3.6^{\circ} \text{C}$

(s.Tab. 12, Spalte 5) und $\bar{\Delta} t'_{60} = +0.8^{\circ} \text{C}$ ein t_x von -2.3°C .

Aus Tab. 6a ergibt sich, daß in dem bearbeiteten 18 jährigen Frühjahrs (Herbst)zeitraum zweimal (fünfmal) die kritische Temperatur erreicht worden wäre, was einer Eintrittswahrscheinlichkeit von 11 % (28 %) im Frühjahr (Herbst) entspricht. Entsprechend der Definition in Tab.7 für diese beiden Werte der Eintrittswahrscheinlichkeit ist der betreffende Itinerarstandort an der Baßgeige im Frühjahr (Herbst) der Frostgefährdungszone II (III) zuzuordnen.

Tab. 6: Eintrittswahrscheinlichkeit von Temperaturminima $\leq +4.0^{\circ} \text{C}$ in Oberrotweil (a) und Liliental (b) im achtzehnjährigen Mittel für das Frühjahr (7.April-30.Juni) und den Herbst (1.September-31.Oktober)




a) Bezugsklimastation OBERROTWEIL					
Frühjahr (18jähriges Mittel) 7.April - 30.Juni			Herbst (18jähriges Mittel) 1.September-31.Oktober		
Temp.- minimum [°C] t_x	Eintr.- häufigk. in 18 Jahren	Eintr.- wahrsch. [%]	Temp.- minimum [°C] t_x	Eintr.- häufigk. in 18 Jahren	Eintr.- wahrsch. [%]
+ 4.0°C	jedes Jahr	100 %	+ 3.1°C	jedes Jahr	100 %
+ 2.8°C	17 mal	94 %	+ 2.0°C	17 mal	94 %
+ 1.0°C	16 "	89 %	± 0.0°C	14 "	78 %
+ 0.5°C	14 "	78 %	- 0.1°C	12 "	67 %
- 0.1°C	13 "	72 %	- 0.6°C	11 "	61 %
- 0.5°C	11 "	61 %	- 1.0°C	10 "	56 %
- 0.6°C	10 "	56 %	- 1.7°C	9 "	50 %
- 0.9°C	9 "	50 %	- 1.9°C	8 "	44 %
- 1.0°C	8 "	44 %	- 2.0°C	7 "	39 %
- 1.1°C	6 "	33 %	- 2.2°C	6 "	33 %
- 1.5°C	5 "	28 %	- 2.5°C	5 "	28 %
- 1.6°C	4 "	22 %	- 2.6°C	4 "	22 %
- 1.7°C	3 "	17 %	- 3.5°C	3 "	17 %
- 2.4°C	2 "	11 %	- 4.7°C	2 "	11 %
- 2.5°C	1 "	6 %	- 5.4°C	1 "	6 %

b) Bezugsklimastation LILIENTAL					
Frühjahr (18jähriges Mittel) 7.April - 30.Juni			Herbst (18jähriges Mittel) 1.September - 31.Oktober		
Temp.- minimum [°C] t_x	Eintr.- häufigk. in 18 Jahren	Eintr.- wahrsch. [%]	Temp.- minimum [°C] t_x	Eintr.- häufigk. in 18 Jahren	Eintr.- wahrsch. [%]
+ 2.8°C	jedes Jahr	100 %	+ 2.0°C	jedes Jahr	100 %
+ 2.0°C	17 mal	94 %	+ 0.6°C	17 mal	94 %
+ 1.3°C	16 "	89 %	+ 0.2°C	15 "	83 %
+ 0.7°C	15 "	83 %	± 0.0°C	14 "	78 %
+ 0.1°C	14 "	78 %	- 1.0°C	13 "	72 %
- 0.2°C	13 "	72 %	- 1.2°C	11 "	61 %
- 0.4°C	12 "	67 %	- 1.6°C	10 "	56 %
- 0.7°C	11 "	61 %	- 1.7°C	8 "	44 %
- 1.2°C	10 "	56 %	- 1.8°C	7 "	39 %
- 1.3°C	9 "	50 %	- 2.0°C	6 "	33 %
- 1.6°C	8 "	44 %	- 2.1°C	5 "	28 %
- 1.9°C	7 "	39 %	- 2.3°C	4 "	22 %
- 2.2°C	6 "	33 %	- 2.8°C	3 "	17 %
- 2.5°C	5 "	28 %	- 4.0°C	2 "	11 %
- 2.6°C	4 "	22 %	- 5.1°C	1 "	6 %
- 3.1°C	3 "	17 %			
- 3.2°C	2 "	11 %			
- 3.4°C	1 "	6 %			

Die Frostgefährdungszone, in die ein Itinerarpunkt fällt, kann, getrennt nach Frühjahrs (F)- und Herbstfrostgefährdung (H), den Leisten mit den entsprechenden, in Tab. 7 erläuterten Signaturen in den Abb. 12-25 sowie der Tab. 12, Spalte 6 (Frühjahrsfrostgefährdung) und 7 (Herbstfrostgefährdung), entnommen werden.

Als Kritik der vorgestellten Anschlußmethodik muß jedoch angeführt werden, daß von den beiden Bezugsklimastationen nur ein Datenkollektiv aus 18 Jahren anstatt der allgemein geforderten 30 ausgewertet werden konnte, und daß die Berechnung der mittleren Abweichung jedes Meßpunktes von seinem Basiswert auf den 8 - 12 vorliegenden Meßfahrten anstatt auf mindestens 15 beruht. Die Aussagen über die Frostgefährdung bedürfen deshalb einer kontrollierenden Hinzuziehung der Häufigkeitsverteilung. Hierbei ist es besonders bemerkenswert, daß gerade stark

Tab. 7: Frostgefährdungszonen (unter Verwendung von SCHNELLE 1949b)

FROSTGEFÄHRDUNGSSZONEN				
Zone	Signatur in Leiste Abb. 22-35	Definition	Gefährdungsgrad	Eintrittswahrscheinlichkeit der kritischen Temp. ($\leq -1.5^{\circ} \text{C}$) [%]
I		Schadfrüste sehr selten	ungefährdet	0 - 2
		Schadfrüste selten, 1-2mal pro Generation	schwach gefährdet	2 - 8
II		Schadfrüste 1-2mal pro Jahrzehnt	mäßig gefährdet	8 - 20
III		Schadfrüste sehr häufig	stark gefährdet	20 - 50
IV		Schadfrüste fast in jedem Jahr	sehr stark gefährdet	50 - 100

bis extrem frostgefährdete Lagen bei der Häufigkeitsverteilung nahezu ausnahmslos in die Klassen 3 und 4 fallen.

2.8 Meßfahrtergebnisse, Folgerungen für bestimmte Geländesituationen und allgemeine Modellvorstellungen

Die Darstellung der Meßergebnisse erfolgt in Form von Itinerar- und Temperaturprofilen (Abb. 12-25, 28-40). Die Entfernungs- und Höhenangaben der Itinerarprofile, die in vierfacher - nur Itinerar A in siebenfacher - Überhöhung gezeichnet wurden, beziehen sich auf die Fahrstrecke. Ihr Verlauf im Tiefland wird jeweils leicht verkürzt wiedergegeben. Landnutzung und Ortschaften sind schematisch auf den Profilen eingetragen. Die Standortnummern aller Meßpunkte des betreffenden Itinerars sind darunter aufgeführt. Sie sind ebenfalls in den Kartenskizzen der TG (Abb. 7-11) eingezeichnet. Die vom Kompensographen registrierten und anschließend korrigierten Meßprofile sind als Temperaturdifferenz vom Basiswert im Tiefland dargestellt.

2.8.1 Morgenkampagnen bei Strahlungswetter

Pro Itinerar werden drei charakteristische Temperaturprofile des in Kap. 2.5 definierten Strahlungstyps - je eine Frühjahrs-, Sommer- und Herbstmeßfahrt - und das arithmetische Mittel aller 8-12 Strahlungswetterkampagnen vorgestellt. Die Frühjahrs(F)- und Herbstfrostgefährdung(H) auf den Itineraren kann den Signaturen in der Leiste unterhalb der Temperaturprofile entnommen werden (Erläuterung s. Kap. 2.7 und Tab. 7). Ebenfalls ist als Resultat der statistischen Kontrolle vermerkt, wie oft jeder einzelne Meßpunkt bei den 10 bis 12 Fahrten (Ausnahme: Itinerar I, auf dem nur 8 Fahrten durchgeführt werden konnten) in eine der 6 Klassen der erläuterten Häufigkeitsverteilung fiel. In Tab. 12 sind außerdem überblicksartig alle Meßstandorte mit ihrer Bezeichnung, Numerierung, absoluter und relativer Höhenlage sowie den arithmetischen Mitteln der morgendlichen Temperaturdifferenzen und den Frostgefährdungsstufen zusammengefaßt.

2.8.1.1 Testgebiet Zentralkaiserstuhl

Von den 12 zur Auswertung herangezogenen Kampagnen werden folgende drei besonders repräsentative vorgestellt:

Frühjahrsmeßfahrt M 42 vom 6.5.1976
Sommermeßfahrt M 51 vom 24.6.1976
Herbstmeßfahrt M 18 vom 7.10.1975

Während am 6.5.1976 ein kräftiger Höhentrog über Westeuropa für eine warme Südströmung und ein Hoch über Osteuropa gleichzeitig für antizyklonale Witterungsgestaltung sorgte, fällt der 24.6.1976 in den Zeitraum der weiten nordwärtigen Verschiebung des Azorenhochs mit Blockierung der Westdrift. Diese Zirkulationsanomalie hatte bekanntlich einen Rekordsommermonat dieses Jahrhunderts zur Folge. Die Meßkampagne am 7.10.1975 steht noch unter dem Einfluß eines Hochs über den Britischen Inseln und ist noch nicht von zyklonaler Witterung beeinflusst, wie die angegebene Großwetterlage vermuten läßt.

Itinerar A: Längsprofil des Krottenbachtals von der Rheinaue zum Zentralkamm, Abb. 12

Frühjahrsmeßfahrt M 42

Ausgehend vom Tiefland tritt am Schwemmkegelrand bei Niederrotweil sprunghaft eine Temperaturerhöhung von 2.1°C ein. Ein weiterer Anstieg bis auf 4.0°C über Basistemperatur beginnt am Oberrotweiler Ortsrand. In den Nebentälchen Ellenbuch (14) und Eschbachtal (16) sinkt die Temperatur auf 0.4°C über Basistemperatur. Der Krottenbachtalboden zwischen den Ortschaften Oberrotweil und Oberbergen bleibt relativ warm. Die Siedlungen sind durch recht hohe Werte ausgezeichnet, wobei eine talabwärtige Verlagerung der Wärmeinsel bei allen Ortschaften auffällt. Mit 7.9°C über Basistemperatur wird am Zentralkamm eine sehr hohe Temperatur gemessen. Sie wird nur noch von den Werten am 3.7.1976 mit 9.6°C über Basistemperatur übertroffen.

Sommermeßfahrt M 51

Die bei dieser Kampagne angetroffene Temperaturverteilung zeigt die in Strahlungsnächten mögliche Differenzierung in extremer Weise, was durch die langanhaltende Frühsummerwitterung verständlich wird. Schon der Niederterrassenrand bei Niederrotweil ist um 3°C wärmer als die Rheinaue, Oberrotweil gar um mehr als 4°C . Hierzu kontrastieren mit Temperaturen von 1.9 bzw. 1.7°C unter Basistemperatur die beiden Nebentälchen Ellenbuch und Eschbachtal! Ähnlich extrem waren dort die Temperaturverhältnisse am 24.6.76 und 28.7.75 mit 1.9 bzw. 2.0°C unter Basistemperatur. Oberbergen und Schelingen zeigen mit 4.4 bzw. 5.0°C über Basistemperatur sehr stark ausgeprägte Wärmeinseln.

die tiefsten Werte aller Testgebiete an. Sie liegen im Mittel noch um 0.3°C unter dem Basiswert der Rheinaue. Ein relatives Minimum verzeichnet mit nur 1.2°C über Basistemperatur der Krottenbachtalboden zwischen Oberrotweil und Oberbergen (20-22). Es weicht der talauswärts verschobenen Wärmeinsel von Oberbergen, deren Werte um ca. 2.5°C über denen des Krottenbachtalbodens liegen. Ein erneutes Absinken der Temperatur auf 1°C über Basistemperatur kennzeichnet den Talboden zwischen Schelingen und Oberbergen. Das Wärmeinselmaximum von Schelingen (3.8°C über Basistemperatur) befindet sich bereits fast am südwestlichen Ortsende. Diese allgemeine talauswärtige Verschiebung der Wärmeinsel muß auf den Einfluß des Bergwindes zurückgeführt werden. Er erreicht zwischen Oberbergen und Schelingen Geschwindigkeiten um $1-1.5$ m/sec. Wie auch alle anderen Tälerchen von Schelingen dient das vom Bahlinger Eck herabziehende als Kaltluftleitlinie, so daß im Hohlweg im Ortsstau von Schelingen ein nochmaliges Absinken der Temperatur auf 2.3°C über Basistemperatur stattfindet (39/40). Das Talgefälle unterhalb des Passes ermöglicht einen starken Temperaturanstieg, der nur an einer Wegeinmündung im Bereich einer kleinen Talweitung (43) und am Hohlweg der Paßhöhe selbst (47) unterbrochen wird und am Bahlinger Eck (Zentralkamm) in 453 m ü.NN mit annähernd 7°C über Basistemperatur sein Maximum besitzt.

Die Frostgefährdung muß in der Rheinaue und auf dem Talboden zwischen den Ortschaften im Frühjahr und im Herbst als sehr stark bezeichnet werden. Die Ortschaften besitzen demgegenüber im Frühjahr nur eine mäßige, im Herbst eine stärkere Gefährdung. Erst die Höhen des Zentralkammes oberhalb 390 m ü.NN sind ungefährdet oder nur selten von Strahlungsfrösten betroffen. Entsprechendes gilt auch für die Kaltluftgefährdung. Diese Aussagen werden durch die Häufigkeitsverteilung bestätigt: Talbodenstandorte (8-9, 18-22, 30-35, 39-41) fallen zumeist in die Klassen 3 und 4, Ortschaften (11, 13, 24-26, 37, 38) in Klasse 2, der Zentralkamm (47, 48) in Klasse 1 und 2.

ITINERAR B: Längsprofil des Kammertales von Oberbergen zum Vogelsangpaß, Abb. 13

Meßfahrten M 42, M 51 und M 18

Die Temperaturen auf dem Talboden des Kammertales variieren sowohl was eine einzelne Meßfahrt angeht als auch im Vergleich mehrerer Meßfahrten miteinander nur um wenige Zehntel Grad Celsius. Auffallend ist nur das rela-

tiv hohe Abweichungsniveau der Frühjahrsmeßfahrten. In der kesselartigen Talerweiterung oberhalb von Vogtsburg (103-105) können, ähnlich wie nordostwärts von Schelingen, trotz einer Höhe von $330-350$ m ü.NN recht tiefe Temperaturen auftreten. Erst oberhalb von 370 m ü.NN setzt ein steiler Temperaturanstieg ein. Die Temperaturabweichungen an der Paßhöhe Vogelsang differieren zwischen 5.5°C über Basistemperatur am 7.10.1976 und 8.4°C über Basistemperatur am 24.6.1976.

Arithmetisches Mittel aus
12 Meßkampagnen

Während Profil A die Ortseinflüsse auf die Temperaturverteilung des Talbodens deutlich werden läßt, sind in der Talbodenkaltluft des Kammertales keine starken Differenzierungen festzustellen. Bei sehr guter Übereinstimmung mit den Meßfahrten M 51 und M 18 liegen die mittleren Abweichungen vom Basiswert am Fuß des Badbergs bei $+1.7^{\circ}\text{C}$, steigen bei Vogtsburg auf 4.1°C an und erreichen in 403 m ü.NN am Vogelsangpaß mit 6.7°C etwa den gleichen Wert wie am Bahlinger Eck. Dieselbe mittlere Abweichung der Vogelsangpaßhöhe wird auch aus 12 Meßfahrten auf dem Itinerar E von Oberschaffhausen herauf errechnet, wenn man die durch eine spezielle Inversionslage am 30.10.75 verursachte extrem hohe Abweichung nicht mitberücksichtigt. Es ist nicht abwegig hieraus zu folgern, daß die Ergebnisse der Meßkampagnen in beiden Testgebieten miteinander verglichen werden können. Die Frostgefährdung des Kammertales ist sowohl im Frühjahr als auch im Herbst sehr groß. Oberhalb von Vogtsburg wird sie etwas geringer, doch erst die eigentliche Paßhöhe selbst kann zur ungefährdeten Zone I gerechnet werden. Diese bis in relativ große Höhen hinaufreichenden niedrigen Temperaturen sind nur durch die erhebliche Kaltluftproduktion der zentralen Grasmatten an Badberg und Haselschacher Buck bei gleichzeitig geringem Talgefälle verständlich. Die Häufigkeitsverteilung unterstreicht diese Ungunstsituation: Unterhalb Vogtsburg fallen im Kammertal alle Kampagnen in die Klassen 3 und 4; oberhalb Vogtsburg streuen sie stärker, doch dominiert immer noch Klasse 3, und erst ab Punkt 106 sind die Temperaturen überwiegend Klasse 1 zuzuordnen.

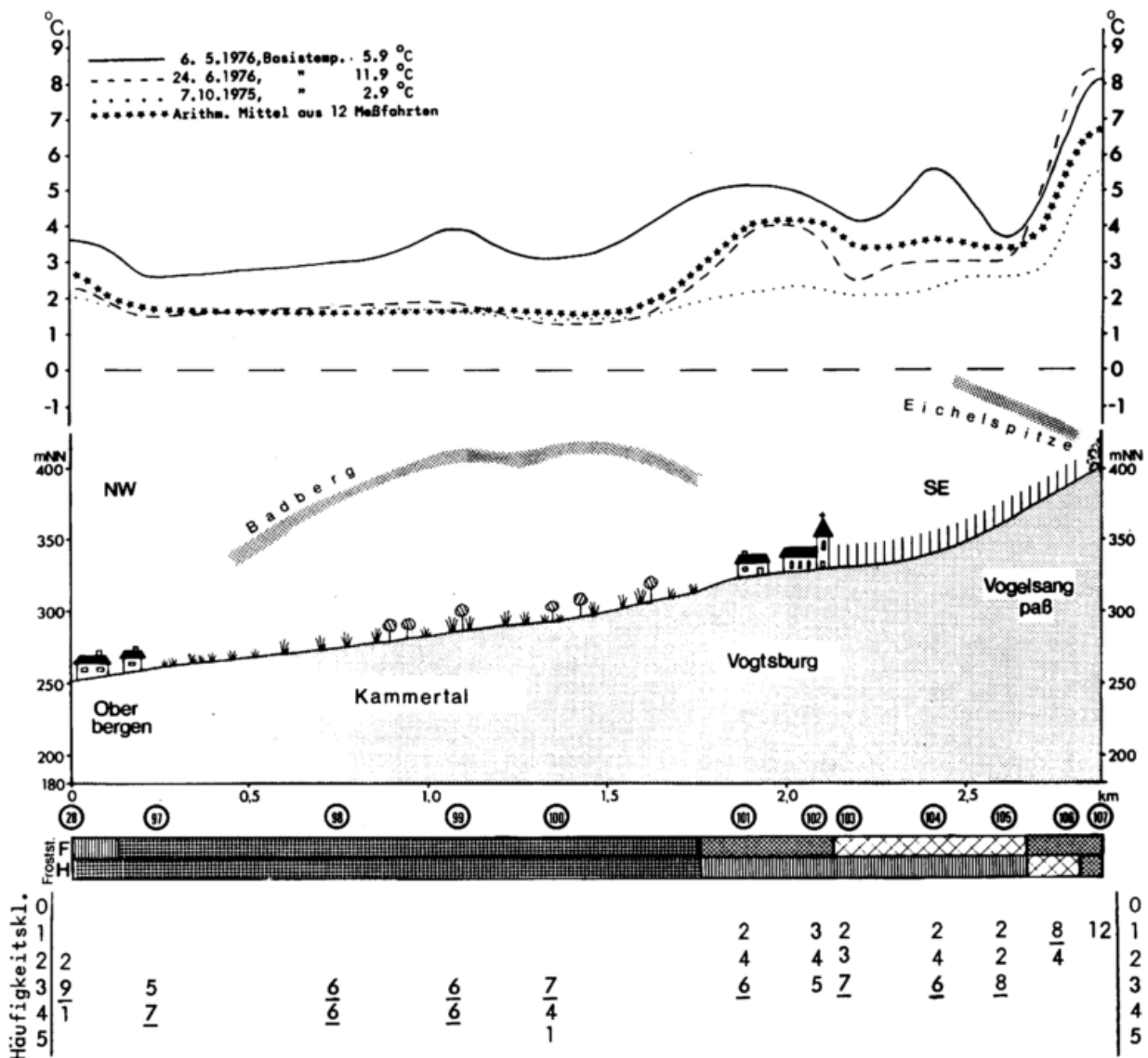


Abb. 13: Morgendliche Temperaturminima bei Strahlungswetter auf Itinerar B Kammertal - Vogelsangpaß

ITINERAR C : Unteres Querprofil des Krottenbachtals von der Baßgeige zum Kunzenbuck, Abb. 14

Frühjahrsmeßfahrt M 42

An der Baßgeige in 334 m ü.NN übertrifft die Temperatur den Basiswert um 8.1°C. Dieses Niveau wird an den kleinterrassierten Hängen weitgehend gehalten. Erst die beiden Nebentälchen (57, 59) führen zu einem Absinken um ca. 2°C. Mit einem steilen Temperaturabfall wird das Itinerarminimum am Krottenbach (21) mit knapp 2°C über dem Basiswert erreicht. Am jenseitigen Talhang, dem großterrassierten Kunzenbuck, erfolgt eine rasche Temperaturzunahme mit der Höhe. Sie wird jedoch abrupt an den Großterrassenniveaus (64) und in dem als Kaltluftabflußrinne dienenden Hohlweg (66) unterbrochen. Nur an Steil-

böschungen (63), im Wald des Strümpfepfropfes (68) und an der Obergrenze des Reblandes am Kunzenbuck - Parkplatz (69) findet man ähnliche Temperaturverhältnisse wie am gegenüberliegenden, kleinterrassierten Talhang.

Sommermeßfahrt M 51

Die Temperaturen an der Obergrenze der Baßgeige (50-56) und am oberen Kunzenbuck (68-69) stimmen gut überein. Hier kommt die gleiche absolute und relative Höhenlage zum Tragen. Hingegen unterschreitet das tiefer liegende Großterrassenniveau am Kunzenbuck (64) mit 2.8°C über Basistemperatur noch um 1.7°C den Wert des steilgefälligen Tälchens (59) an der gegenüberliegenden Baßgeige, obwohl dieses absolut und relativ zum Talboden gesehen um 10 m tiefer liegt.

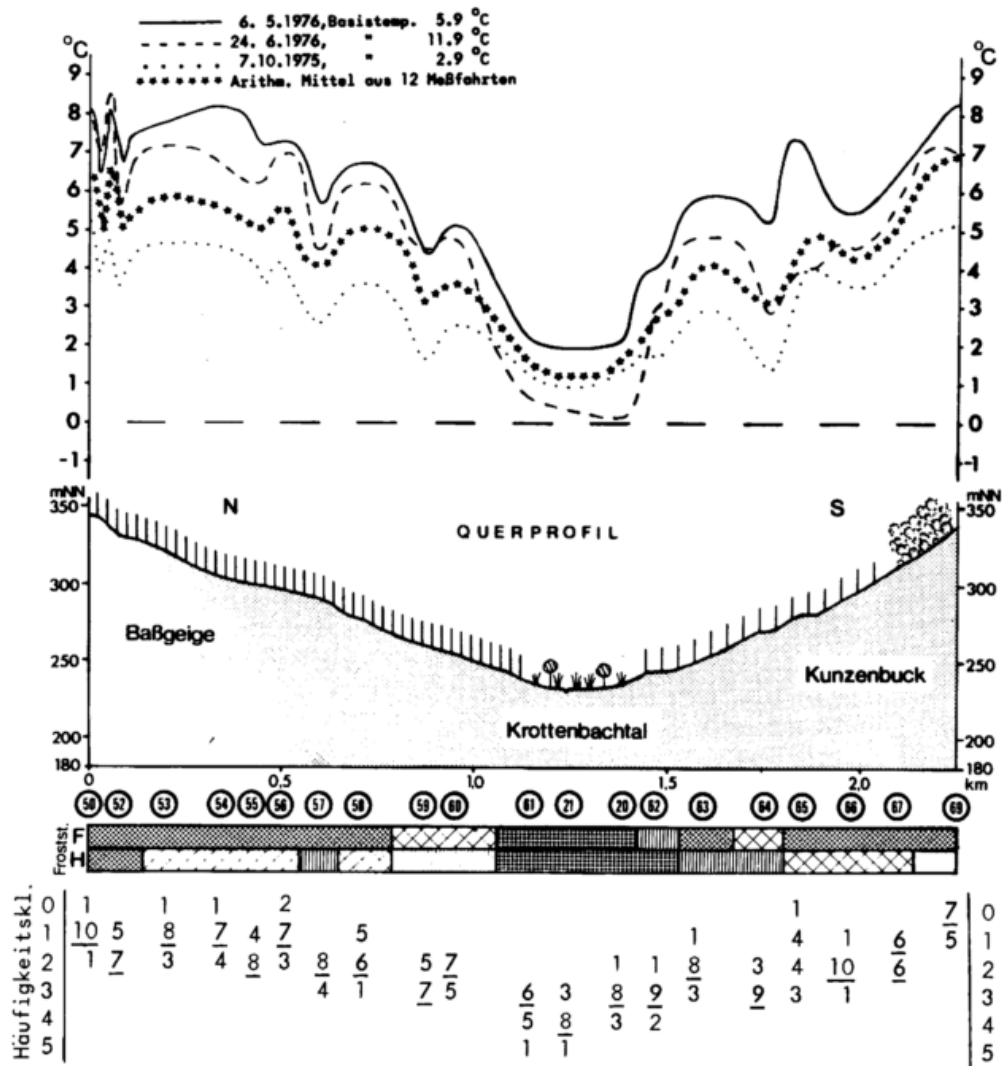


Abb. 14: Morgendliche Temperaturminima bei Strahlungswetter auf Itinerar C Baßgeige - Krottenbachtal - Kunzenbuck

Herbstmeßfahrt M 18

Bei weitgehend parallelem Verlauf bleiben die Abweichungen dieses Profils hinter denen der beiden anderen Kampagnen zurück. Bemerkenswert erscheint vor allem der geringe Unterschied zwischen dem Großterrassenniveau (64) und dem Krottenbachtalboden (21), der trotz eines Höhenunterschiedes von 38 m nur 0.2°C beträgt, während die beiden Baßgeigentälchen (57,59) im Gegensatz dazu um 1.4 bzw. 0.5°C wärmer als der Talboden sind.

Arithmetisches Mittel aus 12 Meßfahrten

Im Mittel findet von der Baßgeige (50) mit 6.3°C über Basistemperatur bis herab zum Sporn Winzgrund (58) mit 5.0°C über Basistemperatur nur eine allmähliche Temperaturabnahme

statt. Ausnahmen stellen die steilgefälligen Nebentälchen (52, 57, 59) dar, die vom Zentralkamm herabziehen und in denen jeweils um ca. 1.5°C tiefere Werte als an Hängen und Spornen derselben Höhenlage (50, 53-56, 58) registriert werden. Mit raschem Temperaturabfall wird in der Tiefenlinie (21) das Temperaturminimum des Itinerars erreicht. Ebenso rasch erfolgt am gegenüberliegenden Talhang auch der Anstieg zum untersten Großterrassenniveau (62) und weiter die Steilböschung (63) hinauf. Am Großterrassenniveau (64) in 270 m ü.NN weist jedoch ein Absinken um über 1°C auf Kaltluftansammlungen hin. Der weitere Temperaturanstieg mit zunehmender Höhe wird im Bereich des vom Strümpfekopf herabziehenden Tälchens (66,67) unterbrochen, dessen Hohlweg der Kaltluftdrainage dient. Erst im Wald des Zentralkamms (68) und am Kunzenbuck - Aussichtspark-

platz (69) wird mit Werten $> + 6^{\circ}\text{C}$ über Basistemperatur das Temperaturniveau der oberen Baßgeige erreicht bzw. übertroffen. Der direkt oberhalb sich anschließende Hochwald unterbindet Kaltluftansammlungen an dem spornartig exponierten Aussichtspunkt. Während sich Hänge und Sporne der Baßgeige bis hinunter auf 40 m über dem Talboden als nicht spätfrostgefährdet darstellen, sind die Tälerchen (57,59) zumindest im Herbst stark gefährdet. Gleiches gilt für den Talboden und das unterste Großterrassenniveau (62) am Kunzenbuck. Auch das nächsthöhere (64) ist noch einer mäßigen bis starken Frostgefährdung unterworfen und erst Wald und Parkplatz am Kunzenbuck liegen in der frostsicheren Zone I. Die Häufigkeitsverteilung zeigt das gleiche Bild: Während die obere Baßgeige (50-58) und der oberste Kunzenbuck (68-69) dominierend in die Klassen 0, 1 und 2 fallen, liegen das untere Nebentälchen (59), der Krottenbachtalboden (61, 20, 21) und die beiden Großterrassenniveaus (62, 64) meistens in den Klassen 3 und 4.

ITINERAR D: Oberes Querprofil des Krottenbachtals vom Schwalbental zum Schelinger Rebbberg und zur Degenmatt, Abb. 15

Frühjahrsmeßfahrt M 42

Am Waldrand des vom Zentralkamm herabziehenden Schwalbentales werden 5.6°C über Basistemperatur registriert. Bei der Einmündung in das Degental (72) sinkt die Temperatur um 1.8°C ab. Am talwärtigen Ortsausgang von Schelingen werden am Steilabfall des Osele 4.9°C , in der Talbodenmitte 4.0°C über Basistemperatur festgestellt (s. Profil A). Aus dem als Kaltlufttrinne dienenden unteren Bustental (77) heraus folgt ein steiler Temperaturanstieg bei der Auffahrt auf den Schelinger Rebbberg, der nur an den verhältnismäßig schmalen Großterrassen (80, 81, 87, 89, 91) unterbrochen wird. An der Obergrenze des Weinbaus (92) wird in 400 m ü.NN mit 7.9°C über Basistemperatur ein ähnlicher Wert wie am Vogelsangpaß gemessen. Die höchste Temperatur wird mit 8.9°C über Basistemperatur in 425 m ü.NN registriert. Bis zum Kulminationspunkt des Itinerars in 468 m ü.NN erfolgt bereits ein Temperaturrückgang um 0.6°C .

Sommermeßfahrt M 51

Wie auch auf den anderen Itineraren bestechen die Ergebnisse vom 24.6.1976 durch ihr extremes Verhalten. Das Minimum des Itinerars wird mit 1.3°C über Basistemperatur kurz vor der Einmündung in das Degental verzeichnet. Hier

staut die Stammobstanlage des Krottenbachtals die Kaltluft auf. Dieses Phänomen war bei der Frühjahrskampagne wohl wegen der noch geringen Belaubung nicht in gleichem Maße auszumachen. Sekundäre Minima verzeichnen das untere und mittlere Bustental (76, 83) und die Rebterrassen (80, 81, 85, 91). Das Maximum wird in 410 m ü.NN mit 9.1°C über Basistemperatur erreicht (z. Vgl.: Die höchste positive Abweichung während aller Meßfahrten im TG Zentralkaiserstuhl wurde am 3.7.76 auf der Degenmatt (455 m ü.NN) mit 10.2°C über Basistemperatur gemessen). Weitere sekundäre Maxima liegen am Waldrand des Schwalbentales (70), am Krottenbachtalrand (75) bedingt durch die langwellige Ausstrahlung eines Bergspornes sowie an den Steilböschungen der Rebbegauffahrt (79, 86, 88, 90).

Herbstmeßfahrt M 18

Die bereits angeführten geringeren Abweichungsbeträge haben im Degental die Konsequenz, daß die Temperatur im Staubereich nur um 0.4°C über dem Basiswert liegt! Das Temperaturmaximum mit 6.5°C über dem Basiswert wird bereits in 410 m ü.NN angetroffen. Bis zum Kulminationspunkt sinkt die Temperatur bereits wieder um 0.9°C .

Arithmetisches Mittel aus 12 Meßfahrten

Am Waldrand des Schwalbentales werden im Mittel noch 4.6°C über Basistemperatur registriert. Im mittleren Degental mit 2.6°C und im Kaltluftstau des unteren Degentals (74) mit nur noch 1.4°C über Basistemperatur werden gefährliche Minima erkennbar, die ihren Grund im Stau der Obstbäume bei gleichzeitig geringem Talbodengefälle haben. Im Vergleich zum letztgenannten Minimum ist der Krottenbachtalboden um 1.5°C wärmer. Das Temperaturprofil kulminiert im Mittel in ca. 445 m ü.NN (7.3°C über Basistemperatur). Der Höchstgelegene Meßpunkt in 468 m ü.NN ist nur in 2 der 12 Fälle auch der wärmste. Es steht zu vermuten, daß eine Inversionsgrenze häufig noch unterhalb dieser Höhe anzutreffen ist. Sehr stark frostgefährdet sind das Degental v.a. im Staubereich (74), das Krottenbachtal und das untere Bustental (77). Nur im Herbst ist der Schelinger Rebbberg bis 390 m ü.NN, das ist 70 m über dem lokalen Talboden, mäßig gefährdet, während er im Frühjahr, die Degenmatt im Herbst und Frühjahr, kaum Fröste zu befürchten haben. Die Häufigkeitsverteilung zeigt nur im unteren Degental (74) ein Maximum in Klasse 4, während im restlichen Degental, im Krottenbachtal und im unteren Bustental Klasse 3 vorherrscht. Die geringe Kaltluft-

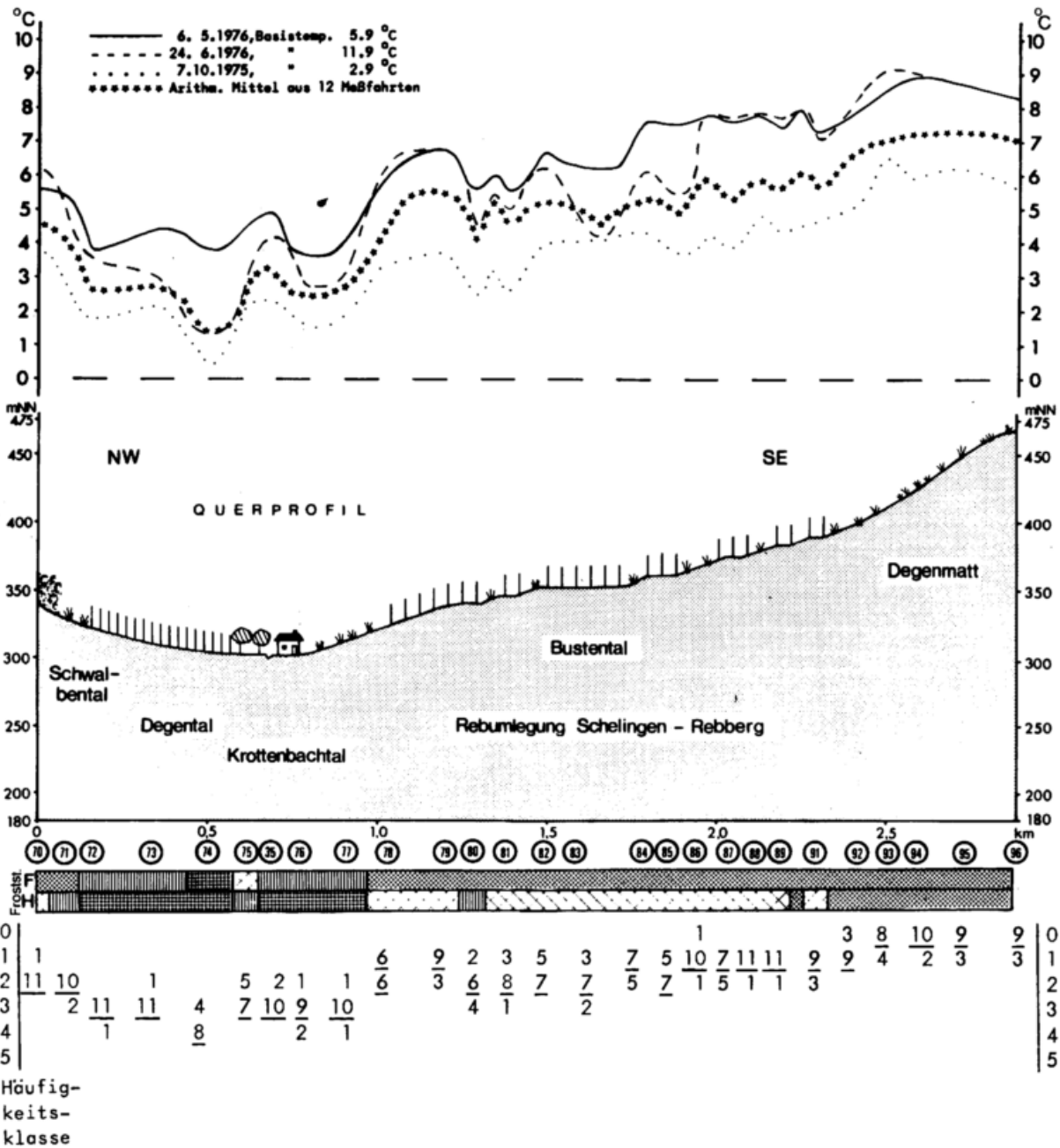


Abb. 15: Morgendliche Temperaturminima bei Strahlungswetter auf Itinerar D Schwalbental - Schelinger Reberg - Degenmatt

gefährdung des Schelinger Rebbergs beweist seine überwiegende Zuordnung zu den Klassen 1 und 2. Dies ist nicht nur auf Höhenlage und Gefälle, sondern auch auf die geringe Größe und Tiefe der neu geschaffenen Terrassen zurückzuführen. Die Degenmatt fällt entsprechend ihrer Lage im Bereich der synoptischen Inversionsgrenze in Klasse 0. Die wesentlichen Resultate der Morgenkampagnen bei Strahlungswetter im TG Zentralkaiserstuhl stellen sich wie folgt dar:

1. Im Oberrheinischen Tiefland (Rheinaue, 1-4) wird durchgehend eine sehr starke Kaltluft- und Frostgefährdung notiert. Eine Ausdehnung des Weinbaus auf diese Landschaftseinheit erscheint deshalb nicht sinnvoll. Auch bei Kern- und Steinobst sind Verluste nicht auszuschließen. Nach Beobachtungen des Verfassers führte in der Rheinaue (Faulewaag) der Spätfrost vom April 1975 bei der Apfelsorte "Schöner von Boskoop" zu einem Ausfall von 60-70 %. Die phänologische

Phase der Vollblüte war im selben Jahr gegenüber Standorten auf der Hangschleppe des Föhrenberges (TG Südwestkaiserstuhl, Meßpunkt 302) um über eine Woche verspätet.

2. Im größten und am tiefsten eingeschnittenen Talsystem des Berglandes, dem Krottenbach - Kammerthal, sammelt sich die im zentralen Kaiserstuhl produzierte Kaltluft. Die gemessenen Temperaturen sind mit nur 1-2°C über dem Basiswert entsprechend niedrig (19-22, 29, 30, 33, 97-100), unterschreiten ihn jedoch interessanterweise nur bei einer der zwölf Meßfahrten (M 7). Hierfür könnten neben der Höhenlage und dem verhältnismäßig großen Talgefälle möglicherweise die langwellige Zustrahlung von den ca. 200 m hohen Talhängen und Aufwärmungsvorgängen innerhalb der Ortschaften Oberbergen und Oberrotweil verantwortlich sein. Die letztere Vermutung wird dadurch gestützt, daß die im oberen Talabschnitt (33) zwischen Oberbergen und Schelingen in 8 von 12 Fällen registrierten Tiefsttemperaturen talabwärts von Oberbergen und Oberrotweil erst wieder in der Rheinaue angetroffen werden. Dieses Beispiel macht gleichzeitig deutlich, daß mit zunehmender topographischer Höhe - Meßpunkt 33 liegt immerhin 100 m über der Rheinaue - keineswegs zwangsläufig eine entsprechend deutliche Temperaturzunahme verbunden sein muß.
3. Alle fünf Ortschaften besitzen ausgeprägte, talabwärts verschobene Wärmeinseln und sind je nach Ortsgröße im Mittel um ca. 1-2°C (Niederrotweil, Vogtsburg) bzw. ca. 2-3°C (Oberrotweil, Oberbergen), im Extremfall bis ca. 5°C wärmer als der umgebende Talboden.
4. Die größten negativen Abweichungen aller Strahlungswetterkampagnen wurden mit im Mittel 0.3°C unter Basiswert, im Extremfall 2.0°C unter Basiswert, in den Nebentälchen Ellenbuch (14) und Eschbachtal (16) angetroffen (s. auch das Thermalbild Abb. 43). Als Hauptgründe sind hierfür das relativ große Kaltlufteinzugsgebiet beider Tälchen, ihr geringes Gefälle und ihre Abriegelung durch die Bausubstanz von Oberrotweil anzusehen.
5. Obstbaumpflanzungen quer zum Tal- ausgang können wie im Degental (74) den Kaltluftabfluß so weit unterbinden, daß es zu einem Stau mit der entsprechenden, für den lokalen Weinbau äußerst problematischen Erhöhung der Kaltluft- und Frostgefährdung kommt. So ist das untere Degental trotz seiner Höhenlage von 304 m ü.NN derselben Frostgefährdungszone IV (Schadfröste fast in jedem Jahr) wie das Oberrheinische Tiefland zuzuordnen. Diese Situation demonstriert aber auch, daß die schematische Anwendung der von BRANDTNER (1974) konzipierten Methode, allein über die Daten der nächstgelegenen Klimastation, geschätzte Inversionshöhen sowie Bezugnahme auf Vergleichslagen die Frostgefährdung eines Weinbergstandortes zu beurteilen, auf ein orographisch so stark gegliedertes und differenziert genutztes Bergland wie den Kaiserstuhl ohne vor Ort durchgeführte Kontrollmessungen kaum zu vertreten ist (s. auch Kap. 3.3.1).
6. An kleinterrassierten Talhängen wie der Baßgeige sind für die Temperaturdifferenzierung neben der Höhe über dem lokalen Talboden auch Sporn-, Dellen- und Tälchenlagen mitentscheidend. Bei gleicher Höhenlage bleiben letztere hinter ersteren um ca. 1.0-1.5°C zurück. Für die Frostgefährdung hat dies die Konsequenz, daß z.B. eine Spornlage wie Meßpunkt 58, 40 m über dem lokalen Talboden, bereits in der im Herbst nur noch mäßig gefährdeten Zone II liegt, während ein steil von der Baßgeige herabziehendes Tälchen (57), 56 m über dem Talboden, noch einer starken Frühfrostgefährdung (Zone III) unterliegt.
7. An dem der Baßgeige gegenüberliegenden, größtterrassierten Talhang, dem Kunzenbuck (Itinerar C), liegen die Frostgefährdungsgrenzen in einer ähnlichen, relativ großen Höhenlage über dem Krottenbachtalboden wie an der Baßgeige. Die Untergrenze der frostsicheren Zone I ist an beiden Talhängen im Frühjahr in einer Höhe von ca. 40 m über dem lokalen Talboden (275 m ü.NN), im Herbst in ca. 90 m (325 m ü.NN) anzusetzen. +)
8. An den relativ schmalen Terrassen des ebenfalls flurbereinigten Schelinger Rebberges (Itinerar D) hingegen befindet sich dieselbe Grenze in einer geringeren Höhe über dem lokalen Talboden, d.h. im Frühjahr in ca. 20 m, im Herbst in ca. 70 m Höhe. Das läßt auf im Kaiserstuhlzentrum vertikal gerin-

+))

Diese Angaben beziehen sich auf die rampenartig steile Anlagenauffahrt. Über die weit ungünstigeren Temperaturverhältnisse auf den Größterrassenflächen selbst unterrichtet Kap. 2.8.1.3.

Arithmetisches Mittel aus
12 Meßfahrten

Der Vogelsangpaß ist im Mittel um 7°C wärmer als das Tiefland. Im Talschluß (201) geht die Temperatur um 1.3°C zurück. Es folgt ein stetiges Absinken der Temperatur bis zu einem sekundären Minimum mit 3.1°C über Basistemperatur im Ortsstau von Oberschaffhausen (210). Das Maximum der Wärmeinsel erreicht 4.0°C über Basistemperatur. Der Übergang zum Temperaturniveau des Tieflandes - der Basisstandort (200) liegt im Bötzingener Ried - vollzieht sich sehr rasch im Bereich des Bahnhofs und des Industriegebietes. Nur diese letztgenannten Ortsteile sind wie das Tiefland sehr stark frostgefährdet. Der Talbereich oberhalb 330 m ü.NN zählt dagegen mit fehlender oder sehr geringer Strahlungsfrostgefährdung zur Zone I, tiefere Talabschnitte überwiegend zur Zone II. Nur im Ortsstau (210) wird mit Zone III starke Frostgefährdung verzeichnet. Dieser Bereich fällt auch bei der Häufigkeitsverteilung dominierend in Klasse 3, während die Ortschaft und höher gelegene Teilabschnitte (203-207, 211-215) zumeist Klasse 2 angehören. Bahnhofsbereich und Industriegebiet (217, 218) sind Klasse 3 und 4 zuzurechnen und nur der Talschluß (201, 202) besitzt ein deutliches Maximum in Klasse 1.

ITINERAR F: Längsprofil des Schambachtales vom Riedel Endhahlen ins Bötzingener Ried, Abb. 17

Frühjahrsmeßfahrt M 32

Die Abweichungen dieser Kampagne im Vergleich zur Sommerfahrt M 52 zeigen, daß das Auftreten extremer Werte keineswegs nur auf die Sommermonate beschränkt sein muß. Auf dem Riedel (219) übertreffen sie den Basiswert um 7.5°C . Beim Abstieg in das Schambachtal treten auffallend starke Schwankungen auf. Auf dem Schambachtalboden (230) werden zum Teil nur noch Temperaturen von 1.4°C über Basistemperatur gemessen, d.h. nur noch 0.3°C über dem Gefrierpunkt. Da das Itinerar am Talrand verläuft, muß in der Tiefenlinie mit Frost gerechnet werden. Testfahrten hatten gezeigt, daß dort ein Unterschreiten der Talrandtemperatur um ein ganzes Grad erwartet werden kann. Mit 4.7°C über Basistemperatur übertrifft die Wärmeinsel von Bötzingen das Temperaturniveau des Tieflandes erheblich. Sie bleibt damit nur um 0.7°C hinter derjenigen von Oberschaffhausen zurück. Wie bei Oberschaffhausen erfolgt der Temperaturabfall bei Ver-

lassen der Ortschaft sehr rasch.

Sommerfahrt M 52

Beim Abstieg vom Riedel sinkt die Temperatur sprunghaft von 7.3°C auf 4.4°C über Basistemperatur ab. Mit über 4°C ist der zweite Sprung von der Hangdelle zum Talbodenbereich des Schambachtales noch markanter. Im flachen Mittelabschnitt wird hier die Basistemperatur sogar noch um 0.1°C unterschritten.

Herbstfahrt M 69

Das Temperaturprofil variiert weniger stark, jedoch sind die beiden Sprünge beim Riedelabstieg (220) und beim Erreichen der Talbodenkaltluft (229) deutlich zu erkennen. Ihre Temperaturen reichen bis fast an den Basiswert heran.

Arithmetisches Mittel aus
10 Meßfahrten

Im Riedelbereich von Endhahlen wird wegen der geringeren Höhenlage der am Vogelsangpaß gemessene Wert um 1°C unterschritten. Nach Erreichen des Schambachtalbodens an der Obstplantage (227), insbesondere aber im flachen mittleren Talteil (230-234), werden nur noch Werte um 1°C über Basistemperatur ermittelt. Diese Temperaturverhältnisse entsprechen etwa denjenigen im Krottenbachtal zwischen Oberbergen und Schelingen. Das Zentrum der Bötzingener Wärmeinsel mit 2.8°C über Basistemperatur befindet sich an der Kaiserstuhlrandstraße bei der Kirche. Während der Riedel Endhahlen nur leicht frostgefährdet erscheint, ist das gesamte Schambachtal unterhalb des Hofes (228/229) sehr stark frostgefährdet, wobei sich diese Klassifizierung wohl gemerkt auf das Itinerar am Talrand bezieht. Das Bötzingener Ried jenseits der Kaiserstuhlbahn ist als Tieflandseinheit extremer Frostgefährdung unterworfen. Die Häufigkeitsverteilung läßt eine Zuordnung der Riedelkulmination zu Klasse 1, der Hangbereiche (220-224) zu Klasse 2 und (224-227) zu Klasse 3 erkennen. Der Talbereich unterhalb des Aussiedlerhofes (228-235) fällt dominierend in Klasse 4: Er ist bei verringertem Talgefälle oberhalb der Mündungsstufe stark kaltluftgefährdet. Konsequenterweise wird hier auch eine Feldgemüse-Obstbaum-Mischkultur dem Weinbau vorgezogen.

ITINERARE G und H: Querprofile im oberen Schambachtalbereich
Abb. 18 und 19

Meßfahrten M 32, M 52 und M 69

Bei beiden Itineraren, deren Tempe-

auf, was sich in einer nur im Herbst auftretenden mäßigen Frostgefährdung im Schambachtalschluß (255) äußert. Weiter fällt die geringe vertikale Mächtigkeit der Kaltluft in beiden Talschlüssen auf. Die Temperaturdifferenz Hang (245) - Talschluß (224) erreicht auf Itinerar G bereits 24 m über letzterem ihren Minimalwert von 2.5°C. Auf Itinerar H wird bereits 3 m über dem Talschluß (256) dieselbe Temperatur wie 25 m höher am Sattel Brentensaul (295) angetroffen. Vergleicht man schließlich die beiden Riedelstandorte von Itinerar G, Fuchs buck (Nr. 242, 312 m ü.NN, 42 m über dem lokalen Talboden, mittlere Temperaturabweichung vom Basiswert 6.5°C) und Kreuzweg (Nr. 252, 299 m ü.NN, 39 m über dem lokalen Talboden, mittlere Temperaturabweichung vom Basiswert 5.7°C) mit Standorten in entsprechender absoluter und vor allem relativer Höhe über dem Talboden an der Baßgeige (Itinerar C, Nr. 58, 277 m ü.NN, 40 m über dem Krottenbachtalboden, mittlere Temperaturabweichung vom Basiswert 5.0°C), am Kunzenbuck (Itinerar C, Nr. 64, 270 m ü.NN, 38 m über dem Krottenbachtalboden, mittlere Temperaturabweichung vom Basiswert 3.1°C) und am Schelinger Rebberg (Itinerar D, Nr. 80, 340 m ü.NN, 38 m über dem lokalen Talboden, mittlere Temperaturabweichung vom Basiswert 4.1°C), so wird eine überraschend deutliche Bevorzugung der Ostkaiserstühler Riedellagen gegenüber den Zentralkaiserstühler Talhanglagen erkennbar. Auch bei einzelnen Meßfahrten hintereinander während der gleichen Hochdruckwetterlage (z.B. M 42, 6.5.1976, Nr. 58 = 6.7°C, Nr. 64 = 5.1°C, Nr. 80 = 5.6°C über dem Basiswert und M 46, 8.5.1976, Nr. 242 = 8.8°C, Nr. 252 = 8.1°C über dem Basiswert oder M 51, 24.6.1976, Nr. 58 = 6.2°C, Nr. 64 = 2.8°C, Nr. 80 = 4.5°C über dem Basiswert und M 52, 25.6.1976, Nr. 242 = 8.0°C, Nr. 252 = 6.3°C über dem Basiswert) sind die Riedelstandorte um ca. 2-4°C wärmer als die Hanglagen im Krottenbachtal. Während deshalb an den erwähnten Standorten im Zentralkaiserstuhl mit einer mäßigen bis starken Herbstfrostgefährdung - am Standort 64 auch mit einer mäßigen Frühjahrsfrostgefährdung - zu rechnen ist, sind die Riedel des Ostkaiserstuhls weder im Frühjahr noch im Herbst gefährdet (Ausnahme: Sattellage von Brentensaul, 253, mit einer allerdings nur mäßigen Herbstfrostgefährdung).

DOPPELITINERAR I: Längsprofile auf dem Riedel Reimendsbühl und durch das Rippachtal nach Eichstetten.
Abb. 20

Frühjahrsmeßfahrt M 32

Die Basistemperatur wird auf den Riedeln Rutzenhahlen und Reimendsbühl um über 8°C übertrifft, was bedeutet, daß sich beide Riedel hoch über den Frosttemperaturen der Oberreinebene befinden. Auch der Talboden des um 30-40 m tiefer liegenden Rippachtals, der um ca. 4°C tiefere Temperaturen als die Riedel aufweist, ist in dieser Situation nicht frostgefährdet. Es ist bemerkenswert, daß im Rippachtal abwärts die Temperatur nicht weiter abnimmt, also offenbar kein Sammelfekt der Kaltluft eintritt. Vielmehr liegt das sekundäre Temperaturminimum des Rippachtals merkwürdigerweise im Talschluß (274), mit 264 m ü.NN also relativ hoch. Dies ist erneut ein Beispiel dafür, daß die Kaltluftgefährdung keineswegs allein von der absoluten Höhe abhängt. Die tiefe Temperatur des Rippachtalschlusses läßt sich wahrscheinlich durch aus einem südwestlichen Nebentälchen zugeführte Kaltluftmassen erklären. Die mit 5.6°C über Basistemperatur relativ hohen Temperaturen im unteren Rippachtal (277) werden durch die Meßroute entlang dem nördlichen Talrand bedingt. Auch im Temperaturminimum des Haupttals wird mit 2.1°C über Basistemperatur im Gegensatz zum Schambachtalboden (230) noch kein Frost verzeichnet. Die Überwärmung von Eichstetten liegt entsprechend der Ortsgröße und topographischen Lage mit ca. 4.5°C über Basistemperatur zwischen derjenigen von Oberschaffhausen und Bötzingen.

Sommermeßfahrt M 52

Besonders auffällig sind die extremen Unterschiede zwischen den Temperaturen am Reimendsbühl (265, 269 m ü.NN), der mit 8.6°C über der Basistemperatur sogar noch um mehr als 1°C wärmer als der Itinerarkulminationspunkt Rutzenhahlen (258, 337 m ü.NN) ist, und im Rippachtal (277, 230 m ü.NN) mit nur 1.0°C über der Basistemperatur. Im Krottenbachtal betrug bei der am vorhergegangenen Tag durchgeführten Meßkampagne M 51 die Temperaturdifferenz zwischen einer Talhanglage (Baßgeige, Itinerar C, Nr. 58, 277 m ü.NN, 40 m über dem Talboden) und dem Krottenbachtalboden

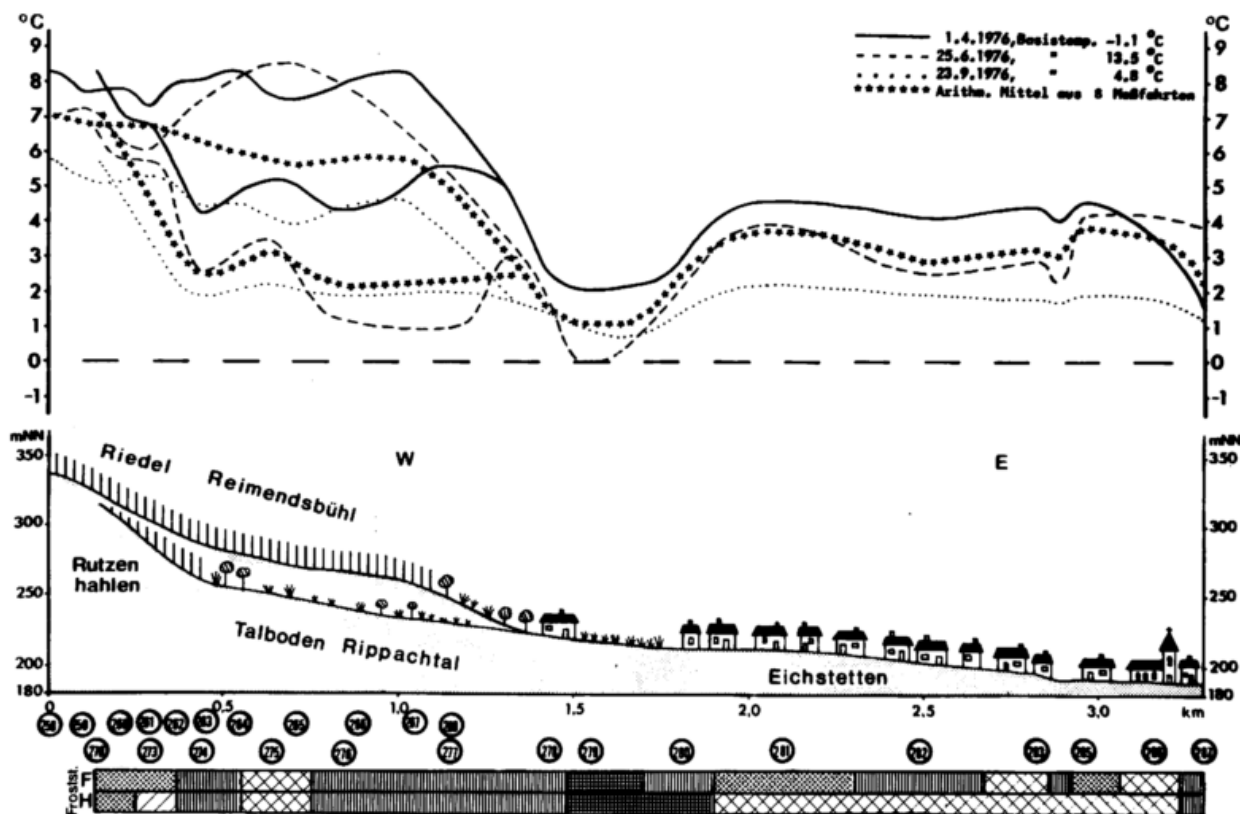


Abb. 20: Morgendliche Temperaturminima bei Strahlungswetter auf Itinerar I Reimendsbühl/Rippachtal - Eichstetten

(Nr. 21, 232 m ü.NN) nur 5.9°C, d.h. 1.7°C weniger. Im Itinerarminimum am Haupttalboden (279, 280) fällt die Temperatur bis auf den Basiswert ab. Derselbe Effekt war bei dieser extremen Hochdrucklage auch schon im Krottenbachtal (Itinerar A), Kammerthal (Itinerar B) und Schambachtal (Itinerar F) zu beobachten.

Herbstmeßfahrt M 69

Trotz der mehrfach erwähnten geringeren Abweichung bei dieser Kampagne belaufen sich die Unterschiede zwischen dem Rutzenhahlenhang und dem Rippachtalboden auf ca. 3.5°C, die zwischen der Reimendsbühlverebnung und dem Talboden auf ca. 2.5°C. Mit 1.0°C über Basistemperatur bleibt das Eichstetter Haupttal (279, 280) an der Rippachtaleinmündung der kälteste Standort des Itinerars.

Arithmetisches Mittel aus 8 Meßfahrten

Das Doppelprofil wird im Westen von der gegensätzlichen Temperaturverteilung auf dem Riedel mit 6-7°C über

Basistemperatur und dem Talboden mit 2.2 bis 3.1°C über Basistemperatur bestimmt, was bei einem Höhenunterschied von nur 40 m eine Differenz von 3.5 bis 4.5°C bedeutet! Sie kann im Extremfall 7°C ausmachen. Vergleichbare Riedel - Talboden - Situationen aus dem Ostkaiserstuhl (Itinerar E/G: Riedel Fuchs buck, Nr. 242, 312 m ü.NN, 6.5°C über Basistemperatur und Talboden des Oberschaffhausener Tales, Nr. 208, 259 m ü.NN, 3.1°C; Itinerar F/G: Riedel Kreuzweg, Nr. 252, 299 m ü.NN, 5.7°C und Schambachtalboden, Nr. 226, 259 m ü.NN, 2.9°C über der Basistemperatur) verzeichnen nahezu identische Temperaturdifferenzen sowohl im Einzelfall einer Kampagne als auch im Mittelwert. Die Abdachung des Reimendsbühls in das Haupttal kennzeichnet ein markanter Temperaturabfall von 5°C. An Meßpunkt 267, 27 m über dem Talboden des Haupttales, werden im Mittel noch 5.8°C über Basistemperatur gemessen, während auf dem Haupttalboden, Nr. 279, nurmehr 1.1°C über Basistemperatur registriert werden. Dieser krasse Temperaturabfall auf einer Vertikaldistanz von ca. 30 m läßt, wie schon bei den Itineraren G und H, den Schluß auf im Vergleich zum Zentralkaiser-

stuhl vertikal geringer mächtige Kaltluft zu.

Bezüglich der Frostgefährdung sind die beiden Riedel Rutenhahlen und Reimendsbühl der Zone I (fehlende oder nur leichte Frostgefährdung), das Rippachtal als stark frostgefährdet der Zone III und das Haupttal im Gewann Mutzgen (279, 280) sogar der extremen Zone IV zuzurechnen. Konsequenterweise werden beide Talböden nicht weinbaulich genutzt.

Die wesentlichen Ergebnisse aus dem TG Ostkaiserstuhl können wie folgt zusammengefaßt werden:

1. Die aus den Kampagnen im TG Zentralkaiserstuhl abzuleitende extreme thermische Ungunst der Oberrheinebene in Strahlungs Nächten erfährt ihre Bestätigung.
2. Die Temperaturverhältnisse in dem vom Vogelsangpaß herabziehenden Oberschaffhausener Tal (Itinerar E) weisen eine hohe Abhängigkeit von dem im oberen Talabschnitt starken (ca. 10°), im mittleren Abschnitt geringeren (ca. 2°) Talgefälle auf. In der Paßregion ähneln sie mit Werten um $5-7^{\circ}\text{C}$ über dem Basiswert sogar denjenigen an Oberhängen, im Staubereich der Ortschaft sinken sie im Mittel jedoch bis auf 2.7°C über Basistemperatur ab.
3. Die bei der Flurbereinigung im Schambachtal getroffene Entscheidung, den Talboden (Itinerar F, 230-235) nicht weinbaulich, sondern in Form einer Obstplantage zu nutzen, stellt sich aufgrund seiner Zuordnung zu der sehr stark frostgefährdeten Zone IV als richtig dar. Im Frühjahr 1975 stellte der Verfasser am Talboden eine Verspätung der Vollblüte bei der Apfelsorte "Schöner von Boskoop" gegenüber Standorten auf der Hangschleppe bei Ihringen (TG Südwestkaiserstuhl, Nr. 302) von ca. 4 Tagen fest. 20-30 % der Blüten waren erfroren. Interessanterweise waren die Spätfrostschäden an einem Standort einige Meter oberhalb der Tiefenlinie talaufwärts des Aussiedlerhofes (s. Abb. 9 neben Meßpunkt 228) um 30 % größer. Die hierfür notwendigen tieferen Temperaturen können nur innerhalb der durch die quer zum Tal stehenden Wohn- und Hofgebäude aufgestauten Kaltluft aufgetreten sein.
4. An den beiden Talquerprofilen G und H, sowie am Riedelabstieg des Reimendsbühl ins Eichstetter Haupttal (Itinerar I) kann eine im Vergleich zum TG Zentralkaiserstuhl geringere vertikale Mächtigkeit der Talboden-

kaltluft konstatiert werden. Ihre Obergrenze ist im Talschluß des Schambachtales nur ca. 3-4 m über dem Talgrund festzustellen; zwischen Fuchs buck (245) und mittlerem Schambachtal (226) bzw. zwischen Reimendsbühl (267) und dem Haupttal (279) liegt sie bei knapp 30 m.

5. Aus Punkt 4 resultiert als Konsequenz, daß an und auf den Riedeln bereits 30 m über dem Talboden mittlere Abweichungen von $5-6^{\circ}\text{C}$ über dem Basiswert erreicht werden. Als Beispiele sind der Fuchs buck (Itinerar G, Nr. 247, 299 m ü.NN, 30 m über dem Schambachtalboden) mit 6.0°C , der Riedel Kreuzweg (Itinerar G, Nr. 252, 299 m ü.NN, 39 m über dem Schambachtalboden) mit 5.7°C , der Riedel Reimendsbühl (Itinerar I, Nr. 267, 252 m ü.NN, 27 m über dem Haupttalboden) mit 5.8°C sowie der Rutenhahleener Hang (Itinerar I, Nr. 272, 290 m ü.NN, 26 m über dem Rippachtalboden) mit 5.3°C mittlerer Abweichung vom Basiswert anzuführen.
6. Zur Erklärung von Punkt 4 und 5 bietet sich folgende Modellvorstellung an: Das weit über 100 m tief in Form eines Kerbsohlentales in den Kaiserstuhl eingeschnittene Krottenbachtalsystem bietet die einzige Abflußmöglichkeit für die gesamte, im zentralen Teil des Berglandes produzierte Ausstrahlungskaltluft. Sie reicht deshalb dort talabwärts in immer größere Höhen über den Talboden hinauf, in Schelingen bis ca. 30 m, bei Oberbergen bis ca. 60 m. Im Ostkaiserstuhl dagegen stellen die zahlreichen, zwar nur 25-50 m tief in die Platten eingeschnittenen ⁺, dafür aber umso breiteren Kastentäler der abfließenden Kaltluft einen an der Talsohle um das Vielfache weiteren Talraum zur Verfügung. Sie kann sich auf eine sehr viel größere Grundfläche verteilen. An den Riedeln sind deshalb bereits Höhen um 30 m über dem Talboden der frostsicheren Gefährdungszone I zuzurechnen. Zu dieser für die subregionalen Klimaunterschiede äußerst wichtigen morphologischen Differenzierung tritt eine weitere des Pflanzenkleides: Die Trockenrasenflächen des Zentralkaiserstuhls müssen hinsichtlich der Kaltluftbildung erheblich produktionskräftiger eingestuft werden als die ausgedehnten Rebfluren der Ostriedel,

⁺) vgl. die Karte der Taleintiefung des Kaiserstuhls bei SCHREPPER (1933 a)

was durch die auf Thermalbildern deutlich erkennbaren niedrigeren Oberflächentemperaturen der Gras- matten am Badberg und dem Hasel- schacher Buck (s. F 5 in Abb. 43) belegt wird. Für den Zentralkaiserstuhl leitet sich somit aus der intensiveren Kaltluftbildung bei engerem Talraum eine Anhebung der Kaltluft- und Frostge- fährdungsgrenzen an den Krotten- bachtalhängen bzw. deren relative Benachteiligung gegenüber ent- sprechenden Riedellagen im Ost- kaiserstuhl ab.

2.8.1.3 Testgebiet Südwest- kaiserstuhl

In diesem TG konnten 6 Meßkampagnen während den Übergangsjahreszeiten und 6 im Sommer durchgeführt werden. Von ihnen werden vorgestellt:

Frühjahrsmeßfahrt M 41 vom 1.5.1976
(Itinerar K - N)
" M 44 vom 7.5.1976
(Itinerar J)
Sommermeßfahrt M 54 vom 28.6.1976
Herbstmeßfahrt M 79 vom 15.9.1977

Eine Hochdruckbrücke über Mitteleu- ropa und nach Durchzug einer Stö- rung eine warme Südströmung auf der Vorderseite eines westeuropäischen Höhentrogens bei vorherrschendem Hochdruckeinfluß sorgten am 1.5. und 7.5.1976 für Strahlungswetter. Die Sommermeßfahrt M 54 fiel in die be- reits in den anderen TG für Meßkam- pagnen ausgenützte extreme Zentral- hochlage. Die Herbstkampagne M 79 stand unter dem Einfluß eines Nord- meerhochs und kühler Meeresluft po- laren Ursprungs.

ITINERAR J: Kaiserstuhlaußenprofil
Oberrheinebene - Ihrin-
gen - Kleinterrassen-
hänge am Lenzenberg,
Abb. 21

Frühjahrsfahrt M 44

Am Itinerarbeginn im Ihringer Gewann Bräul (335) wird dieselbe Temperatur wie am Basisstandort im Gewann Vier- haupter (300, Itinerar L, ca. 1.6 km westlich auf der Niederterrasse) ver- zeichnet. Mit Einfahrt in den Sied- lungsbereich von Ihringen (337) steigt die Temperatur sprunghaft um ca. 4°C an und verbleibt während der Ortsdurchquerung in diesem Niveau. Beim Einbiegen in das Dulltal (342) sinkt die Temperatur um mehr als 1°C ab, das sekundäre Minimum des Itine- rars wird dort am Ortsrand (343) mit 2.6°C über Basistemperatur gemessen.

Die kleinterrassierten Hänge von Schlichten und Kleinpöppi (345-353) liegen ca. 5-6°C über dem Tiefland- niveau. Temperaturabsenkungen um ca. 1°C sind bei Annäherung an den loka- len Talboden (347), bei Querung des oberen Dulltalschlusses im Wald (354) und beim Durchfahren am Waldrand ge- stauter Kaltluft (356) festzustellen. Am westexponierten Lenzenberghang liegt in 350 m ü.NN eine markante Tem- peraturgrenze vor: Von 5.4°C über Ba- sistemperatur am Waldrand steigt die Temperatur auf 8.3 (357) bzw. 10.2°C über Basistemperatur (359) am Kulmi- nationspunkt an.

Sommermeßfahrt M 54

Übereinstimmend mit dem Extrem autoch- thoner Sommerwitterung kennzeichnet dieses Temperaturprofil die wohl größt- möglichen Abweichungen Oberrheinebene- Kaiserstuhlaußenrand. Der Ausgangs- punkt Bräul (335) ist dabei um 1.4°C wärmer als der Basisstandort. Ihrin- gen bietet mit einer Überwärmung von 6-7°C das Beispiel einer hochsommer- lichen Wärmeinsel. Im Dulltal geht die Temperatur noch einmal auf 5.3°C über Basiswert zurück, erreicht dann aber an den Hängen des Schlichten Werte > 10°C über Basistemperatur. Am Sporn des Lenzenberges (259) er- reicht die Temperatur nicht mehr die Höhe der Schlichtener Werte. Hier bieten sich Parallelen zu den Sommer- meßfahrten M 51 auf Itinerar D und M 52 auf Itinerar I an.

Herbstmeßfahrt M 79

Im Gegensatz zu den vorgestellten Frühjahrs- und Sommermeßfahrten sind die Abweichungen vom Basiswert so- wohl im Ort als auch in den Rebber- gen geringer. Günstige Standorte differieren um 4 bis 5°C über Basis- temperatur, Tälchen um 2.2°C (343) bis 3.3°C (356).

Arithmetisches Mittel aus 12 Meßfahrten

Im Mittel liegt im Gewann Bräul (335) die Temperatur um 0.2°C über Basistem- peratur. Beim Überqueren der Bahnli- nie (337) erfolgt am Ortseingang von Ihringen ein Temperaturanstieg um 3.8 - 4.2°C über Basiswert, ein Effekt, der durch die Superposition von Hang- fußlage und Ortswärmeinsel zustande kommt. Bei Annäherung an das Dulltal sinkt - obwohl noch innerhalb der Bausubstanz - die Temperatur um ca. 1°C ab. Der Talboden (343) am nördlichen Ortsrand ist nur noch gut 2°C wärmer als die Oberrheinebene. In diesem hohlwegartig eingeschnitte-

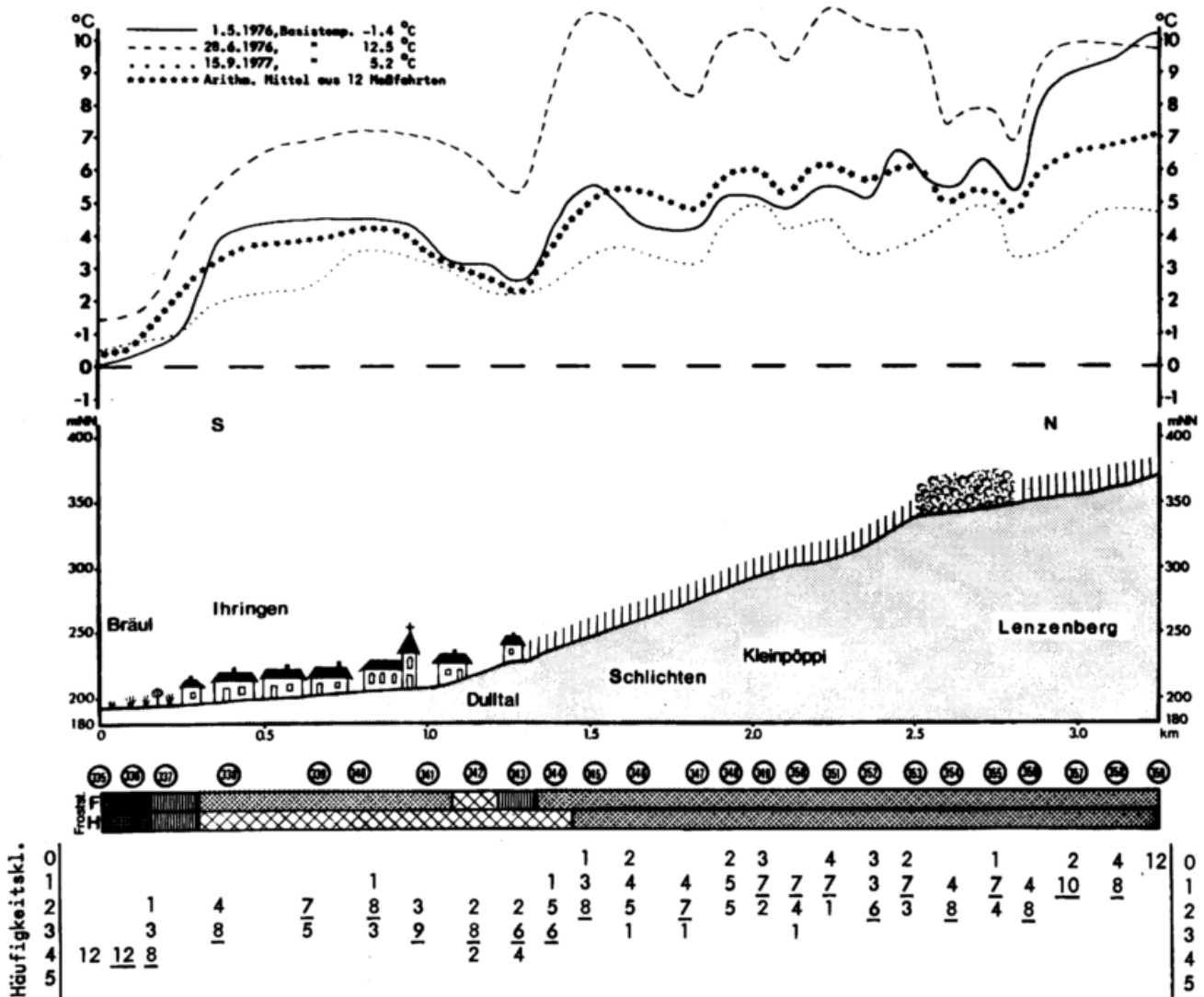


Abb. 21: Morgendliche Temperaturminima bei Strahlungswetter auf Itinerar J Ihringen - Lenzenberg

nen unteren Talabschnitt staut sich die Kaltluft am Wegdamm. Die Hangzone (344-346) ca. 15-20 m oberhalb des Talbodens ist bereits um 3°C wärmer. An der Wegkurve (347) nähert sich das Itinerar wieder etwas dem Talboden, was im Mittel einen Rückgang der Temperatur um 0.5°C zur Folge hat. Entlang der Hänge von Schlichten und Kleinpöppi (348-352) schwanken die Temperaturen im Bereich von 5.3 - 6.2°C über Basiswert, wobei die tieferen Werte im kaltluftführenden Hohlweg (351) auftreten. Am Waldrand (353) beginnen die Temperaturen im Mittel zurückzugehen. Dies ist jedoch nicht auf den Bewuchs zurückzuführen. Vielmehr beließ man den Hochwald hier im Talboden des oberen Dulltales, weil in 340 m ü.NN Qualitätsweinebau in dieser Lage vermieden wird. Neben diesem Kaltluftfluß tritt ein noch deutlicherer am Waldrand (356) auf. Die maximalen Abweichungen fallen mit dem

höchsten Punkt des Itinerars am Sporn des Lenzenbergs (359) zusammen. Sie betragen im Mittel am Meßpunkt 359 (370 m ü.NN, 180 m über dem Tiefland) 7.1°C. Betrachtet man die mittleren Abweichungen an anderen Kaiserstuhlstandorten in vergleichbarer Meereshöhe, z.B. TG Zentralkaiserstuhl, Itinerar A, Nr. 44 am Anstieg zum Zentralkamm, 378 m ü.NN, 3.60°C; Itinerar B, Nr. 106 am Straßeneinschnitt des Vogelsangpasses, 377 m ü.NN, 5.5°C; Itinerar C, Nr. 69, Parkplatz am Kunzenbuck, 338 m ü.NN, 6.9°C; Itinerar D, Nr. 86, Böschung am Schelinger Reberg, 368 m ü.NN, 5.9°C; TG Ostkaiserstuhl, Itinerar E, Nr. 201, Paßstrasse zum Vogelsangpaß, 368 m ü.NN, 5.7°C; Itinerar I, Nr. 258, 337 m ü.NN, Waldrand Rutzenhahlen, 7.0°C), so übertrifft der Lenzenbergwert alle anderen. Nur am Kunzenbuck (69) und an Rutzenhahlen (258) wird trotz einer um ca. 30 m tieferen Lage fast dieselbe mittlere

Abweichung festgestellt. Die beiden letztgenannten Standorte befinden sich dabei ähnlich wie der am Lenzenberg direkt am Hochwaldrand, während alle anderen in Talschlüssen, also relativen Hohlformen liegen (44, 106, 201) bzw. wie Meßpunkt 86 am Schelinger Rebberg mit nur 48 m über dem Krottenbachtal eine zu geringe relative Höhenlage besitzen. Die Gunst der Waldrandstandorte, zu denen auch der Meßpunkt an der eigentlichen Vogelsangpaßhöhe (Nr. 107, Itinerar B und E, 403 m ü.NN, mittlere Abweichungen von den Basiswerten 6.7 bzw. 7.0°C) gerechnet werden muß, ergibt sich im wesentlichen wohl aus der Verringerung der Ausstrahlung durch die teilweise Abschirmung gegen den Nachthimmel, der erhöhten Zustrahlung vom Baumbestand her und seiner im Vergleich zu Rebflächen sehr viel geringeren Kaltluftproduktion (s. auch Karte der Oberflächentemperaturen, Abb. 46). Weiter fällt besonders auf, daß die nahezu früh- und spätfrostsichere Zone I bis auf 248 m ü.NN (Meßpunkt 345 am Schlichtener Osthang, 55 m über dem Tiefland) herunterreicht. Weder im inneren Kaiserstuhl, wo sie auf Itinerar C in 325 bzw. 344 m ü.NN und auf Itinerar D in 386 m ü.NN ansetzt, noch in seinem östlichen Teil (Itinerar F, 333 m ü.NN; Itinerar G, 280 bzw. 299 m ü.NN) sind vergleichbar tiefe Lagen noch spät- und frühfrostfrei. Eine Ausnahme bildet nur der Riedelstandort 268 am Reimendsbühl oderhalb des Eichstetter Haupttales in 240 m ü.NN. Während am letztgenannten Standort die Kaltluft in das genügend breite Kastental abtropfen kann, gelangt sie vom Schlichten und Lenzenberg auf kürzestem Weg gleich in das große Sammelbecken der vorgelagerten Ebene. Diese Feststellung wird durch die im folgenden geschilderten Messungen am Blankenhornsbergwesthang (Itinerar K) voll bestätigt, da dort die Untergrenze der Frostgefährdungszone I in fast der gleichen Höhe über dem Meer (Meßpunkt 367, 241 m ü.NN) und über dem Tiefland (54 m) anzusetzen ist. Es bleibt somit als weiteres wichtiges Ergebnis festzuhalten, daß an steilen un- und kleinterrassierten Rebhängen am Außenrand des Kaiserstuhls oberhalb ca. 250 m ü.NN keine Strahlungsfrostgefährdung mehr befürchtet werden muß, da an ihnen ein rascher und direkter Abfluß der Kaltluft in das Oberrheinische Tiefland ohne Inanspruchnahme längerer Talstrecken möglich ist.

ITINERAR K: Profil von der Oberrheinebene über den Blankenhornsberg in den Talkessel von Oberbrunnen, Abb. 22

Frühjahrsmeßfahrt M 41

Bei der Auswertung des Temperaturprofils vom 1. Mai 1976 fällt gleich eingangs die mit 2.5°C über der Basis-temperatur erstaunlich große positive Abweichung in der Rheinaue (361) auf. Der Basiswert im Gewinn Vierhäupter (Itinerar L, Nr. 300) liegt um 1.4°C unter dem Gefrierpunkt, die Rheinebene (Scharchenloch, Nr. 361) und die Niederterrasse (Winklerfeld, Nr. 362) um 0.5 - 1°C darüber. Im Normalfall differieren der Basiswert und die Temperaturen im Scharchenloch und auf dem Winklerfeld um kaum ein halbes Grad Celsius, wie die im Anschluß vorgestellten Sommer- und Herbstprofile belegen. Die hohe Temperaturabweichung erklärt sich in diesem speziellen Fall durch die im Winklerfeld durchgeführte Frostbefeuerung. Sie erwies sich dort an dem genannten Morgen als unabdingbar, um das Temperaturniveau über dem Gefrierpunkt zu halten und die hier bereits auf der Niederterrasse angebauten Reben vor Frostschäden zu bewahren. Erst an der Hangschleppe (363) bleibt die Lufttemperatur auch ohne Schutzmaßnahmen über der Frostschwelle. Das Meßprofil vom 1. Mai 1976 läßt die Bedeutung von Frostschutzmaßnahmen an einem konkreten Beispiel deutlich werden. Es gestattet eine nicht allein auf Erfahrungswerten basierende Abgrenzung der gefährdeten Landschaftsteile.

Ein weiteres ungewöhnliches Phänomen stellt im Anschluß der markante Temperaturpeak von 4.2°C über Basis-temperatur (Meßpunkt 364) dar. Die Ursache ist eine ca. 20 m lange und mehrere Meter hohe, westexponierte Stützmauer. Die große Wärmekapazität ihrer Steine, verbunden mit der auch am vorangegangenen Nachmittag intensiven Bestrahlung hat eine derart starke langwellige Ausstrahlung zur Folge, daß noch kurz vor Sonnenaufgang in einer Entfernung von 3 Metern das Temperaturniveau um 2°C über demjenigen der entfernteren Hangschleppenabschnitte liegt. Zwischen den Meßpunkten 365 (207 m ü.NN) und 366 (220 m ü.NN) am Westhang des Blankenhornsberges erfolgt auf nur 13 m Vertikaldistanz ein Temperaturanstieg von immerhin 2.7°C. Diese Inversion ist in etwas abgeschwächter, aber trotzdem eindeutiger Form auch bei den Meßfahrten M 6, 27.7.1975, mit 1.3°C, M 13, 3.8.1975, mit 1.8°C und M 63, 16.7.1976, mit 1.7°C in derselben Höhenlage zu

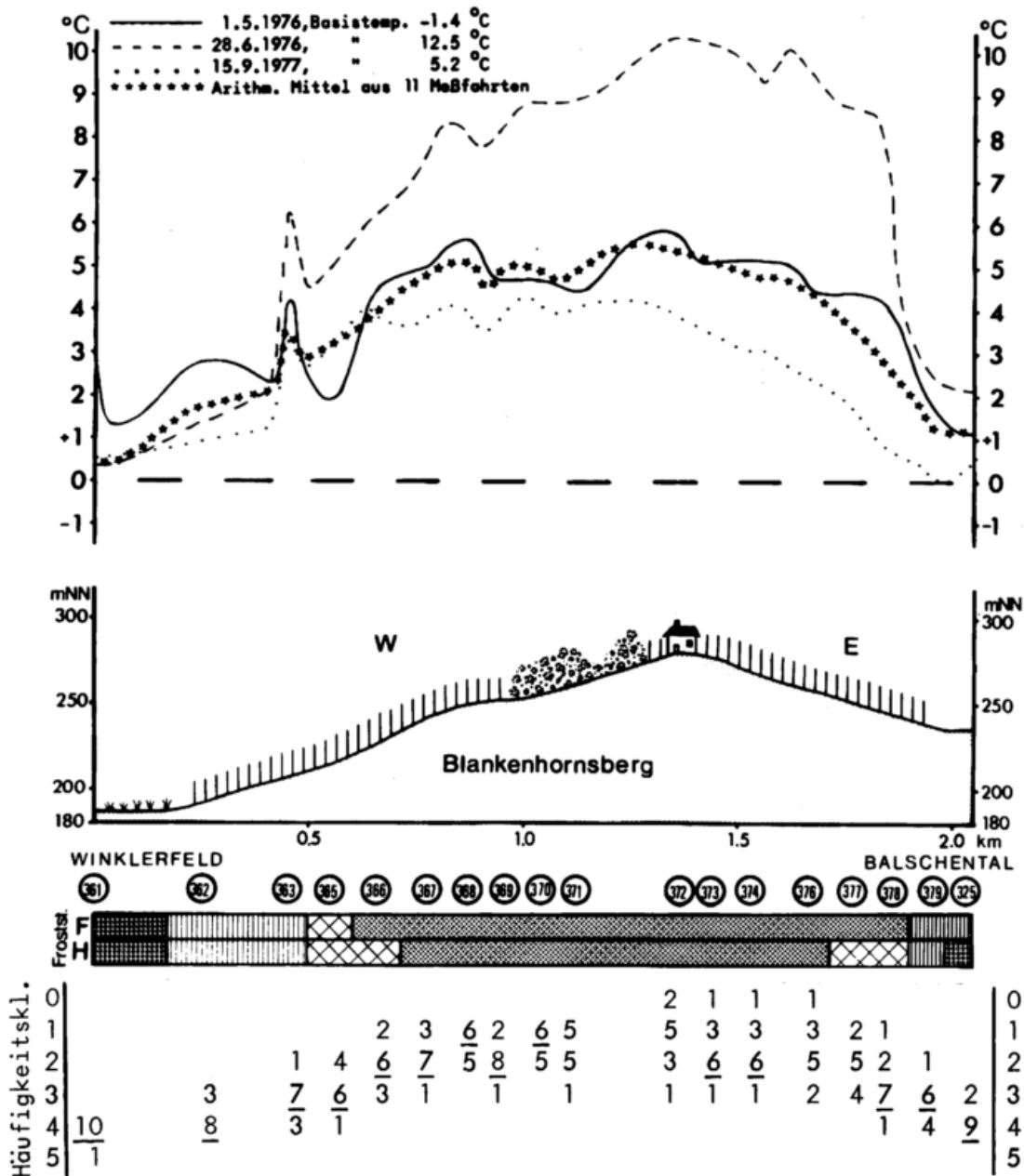


Abb. 22: Morgendliche Temperaturminima bei Strahlungswetter auf Itinerar K Rheinaue - Blankenhornsberg - Oberbrunnen

lokalisieren. Bei 4 weiteren Meßfahrten liegt diese Grenze um nur wenige Meter tiefer zwischen den Meßpunkten 363 (198 m ü.NN) und 365 (207 m ü.NN): M 30, 22.3.1976, 1.5°C; M 44, 7.5.1976, 2.5°C; M 54, 28.6.1976, 2.4°C s. folgendes Sommerprofil; M 79, 15.9.1977, 1.5°C, s. folgendes Herbstprofil. Ausnahmen bilden die Meßfahrten M 16 vom 7.8.1975, M 50 vom 22.6.1976 und M 75 vom 9.3.1977. Bei den beiden ersteren konnte eine sehr tief liegende Inversion zwischen der Rheinaue (361, 187 m ü.NN) und der Hangschleppe (363, 198 m ü.NN) mit Temperatursprüngen von 2.0 bzw. 2.8°C festgestellt wer-

den; bei letzterer lag die Temperaturdiskontinuität (3.2°C) zwischen Meßpunkt 366 (220 m ü.NN) und Meßpunkt 367 (241 m ü.NN) außergewöhnlich hoch. Im Normalfall nimmt die Temperatur oberhalb der genannten Standorte nur noch langsam zu oder sie bleibt wie bei der angeführten Frühjahrsmeßfahrt ganz in demselben Temperaturniveau.

Am 1. Mai 1976 ist der wärmste Standort des Itinerars der obere, westexponierte Blankenhornsberg (372) mit 5.9°C über Basistemperatur. Scharf ausgeprägt ist die Inversionsgrenze auch am ostexponierten Hang über dem Balschental. Ein markanter Tempera-

tursprung von 2.7°C tritt hier zwischen den Meßpunkten 377 (251 m ü.NN, 10 m über dem Talboden des Balschentales) und 379 (238 m ü.NN, 2 m über dem Talboden) ein, d.h. die Inversion liegt am Osthang des Blankenhornsberges über dem Talkessel von Oberbrunnen um ca. 30 m höher als an seinem Westhang über der Oberrheinebene. Dies untermauert die bei der Interpretation der Temperaturprofile von Itinerar L (Lenzenberg - Schlichten) aufgestellte und von den Meßergebnissen am Blankenhornswesthang bestätigte These, daß bei schlechter Kaltluftdrainage die Inversionsgrenzen höher liegen und die Kaltluftgefährdung deshalb in größere Höhen hinaufreicht. Die Konsequenzen der Temperaturverhältnisse in Talkessellagen zeigen exemplarisch die Spätfrostschäden in Oberbrunnen und im Balschental (325). Hier wurden auf dem Talboden in 2 m über Grund nur noch 1.1°C über dem Basiswert gemessen, d.h. der Gefrierpunkt war bereits um 0.3°C unterschritten. Geschädigt wurden vor allem die neu angepflanzten und noch recht niedrigen Jungreben.+)

Sommermeßfahrt M 54

Die Sommermeßfahrt vom 28.6.1976 weist wie auf Itinerar J am Lenzenberg auch am Blankenhornswesthang die extremen Differenzierungen auf. Besonders fallen die auf ca. 10 m Vertikaldistanz konzentrierten Temperatursprünge von 2.4°C zwischen den Meßpunkten 363 (198 m ü.NN) und 365 (207 m ü.NN) am Westhang bzw. von 5.7°C zwischen den Meßpunkten 377 (251 m ü.NN) und 379 (238 m ü.NN) am Osthang auf. Beide Inversionsgrenzen liegen damit exakt in den bei der Beschreibung der Frühjahrskampagne abgeleiteten Höhen. Bemerkenswert sind auch die extremen Abweichungen in der warmen Hangzone darüber, wobei mit maximal 10.3°C über der Basistemperatur ähnlich hohe Werte wie am Lenzenberg auf Itinerar J erzielt werden, und schließlich die große Wärme an der Steinmauer (364), wo ca. 13 m über der Rheinaue deren Temperaturen bereits um 6°C übertroffen werden.

+) Freundliche Mitteilung von Herrn Dipl.-Landwirt E.Meinke, Versuchs- und Lehrgut Blankenhornswesthang

Herbstmeßfahrt M 79

Während Aue und Niederterrasse ca. 0.5°C über Basistemperatur verzeichnen, liegt der steile Anstieg des Temperaturprofils bei Punkt 365 ca. 15 m über der Niederterrasse. Der unterterrassierte, westexponierte Hang weist Temperaturen um 4°C über Basistemperatur auf. Tiefer Sonnenstand und starke Horizonteteinschränkung nach Westen bewirken eine frühe und langandauernde Kaltluftproduktion im Balschen- und Oberbrunnenental, als deren Konsequenz dort trotz größerer Höhenlage dieselben Temperaturen wie am Basisstandort auftreten und die Kaltluftgefährdung besonders deutlich veranschaulichen.

Arithmetisches Mittel aus 11 Meßfahrten

In der Rheinaue westlich des Blankenhornswesthangs treffen wir im Mittel auf um nur geringfügig höhere Temperaturen als am Basisstandort. Sie steigen im Bereich der Hangschleppe (363) um ca. 2°C an. Selbst im Mittelwert treten die höheren Temperaturen an der westexponierten Steinmauer (364) mit gut 1.5°C mehr in Erscheinung. Ein Temperatursprung bis auf ca. 5°C über der Basistemperatur, der allerdings durch die Mittelbildung teilweise verschleiert wird, erfolgt am Rebhang. Ein kleiner Kaltluftstrom am Waldrand (369) bedingt einen Rückgang der Temperatur um 0.5°C. Die maximalen Abweichungen befinden sich mit 5.5°C über Basistemperatur am oberen, unterterrassierten Blankenhornswesthang in Westexposition über Tephrith (372); aber auch am Weingut selbst (373) und am oberen, ebenfalls unterterrassierten Osthang (374) sind die Temperaturverhältnisse ganz ähnlich. Erst 10-15 m oberhalb des terrassierten Balschentalbodens setzt ein rascher Temperaturrückgang ein (377-379). Im Oberbrunnenental selbst übertreift die Lufttemperatur diejenige von der Niederterrasse im Mittel um nur 1.1°C. Dort ist die Frostgefährdung dementsprechend auch stark bis extrem und entspricht derjenigen im Winkelfeld (362). Die Hangschleppen (363, 378) sind der stark gefährdeten Zone III zuzuordnen. Der Übergang von der mäßig gefährdeten Zone II zur frostfreien Zone I erfolgt am Osthang aufgrund der schlechten Kaltluftdrainage erst in 259 m ü.NN (Meßpunkt 376, 16 m über dem Talboden des Balschentales), am Westhang hingegen bereits

in 241 m ü.NN (Meßpunkt 367, 50 m über der Niederterrasse des Rheins). Die unterschiedliche Höhenlage relativ zum Talboden läßt weiter auf eine geringe vertikale Mächtigkeit der Kaltluft im Talkessel und eine große im Tiefland schließen, was sich aus den völlig anders dimensionierten Kaltlufteinzugsbereichen der betreffenden Landschaftseinheiten erklärt.

Die Häufigkeitsverteilung zeigt die eindeutige Zugehörigkeit der Meßpunkte 366-375 zu den Klassen 1 und 2, während die Unterhänge und Hangschleppen (363, 365, 378, 379) dominierend in Klasse 3 und Rheinaue, Niederterrasse sowie Oberbrunnentalboden (361, 362, 325) in die stark kaltluftgefährdete Klasse 4 fallen.

ITINERAR L: Profil von der Oberrheinebene auf die Großterrassenanlage am Föhrenberg und über die Großterrasse Riegersbuck (244-247 m ü.NN), Abb. 23

Frühjahrsmeßfahrt M 41

Die Temperaturminima auf der Niederterrasse im Gewinn Vierhäupter, dem Basismeßpunkt 300 für das TG Südwestkaiserstuhl, liegen in dieser

Frostnacht bei -1.4°C . Ein Temperaturanstieg von knapp 2°C markiert an der Hangschleppe (Meßpunkt 302, 197 m ü.NN, 5 m über der Niederterrasse) den Einflußbereich der Bodenkaltluft. Während der folgenden Auffahrt auf die Großterrassenanlage am Föhrenberg dient der Betriebsweg streckenweise der Kaltluftdrainage (304, 305), wobei die Temperaturen zwischen 2 und 3°C über dem Basiswert schwanken. Erheblich höher ist mit 4.4°C über Basistemperatur das Temperaturniveau an den Steilböschungen (306, 308), nur unterbrochen an einer Wegspinne in einem Großterrassenenniveau (307, 233 m ü.NN, 41 m über der Niederterrasse). Beim Erreichen der Großterrasse am Riegersbuck in einer Höhe von 52 m über der Niederterrasse beginnt ein Rückgang der Temperatur um 2.5°C bis auf 1.9°C über dem Basiswert am Großterrasseninnenrand (311). Während in derselben Höhe über der Niederterrasse am Blankenhornsberg 5.0°C über Basistemperatur gemessen werden, liegt im Bereich dieses sekundären Minimums auf der inneren Großterrassenhälfte die Temperatur nur ein halbes Grad über der Frostgrenze und ist mit den Minima im Oberbrunnental (379, Itinerar K) oder an der Hangschleppe (302), 5 m über der Niederterrasse, vergleichbar.

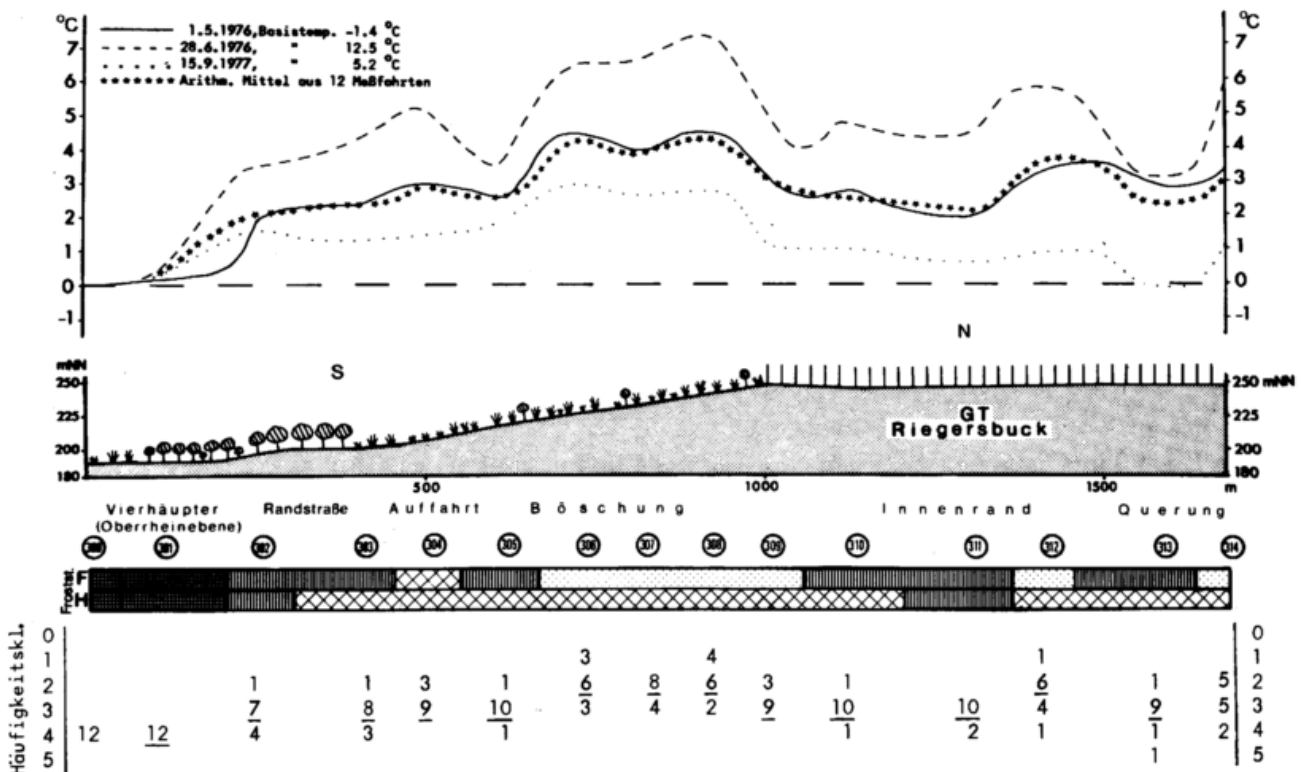


Abb. 23: Morgendliche Temperaturminima bei Strahlungswetter auf Itinerar L Vierhäupter - Großterrasse Riegersbuck

Der überraschende erneute Temperaturanstieg bei Meßpunkt 312 fällt mit der Fahrtstrecke am Innenrand der Großterrasse entlang einer südexponierten Böschung zusammen. Ihre langwellige Ausstrahlung setzt, vergleichbar der erwähnten Mauer bei Itinerar K, die Temperatur auf 3.5°C über Basiswert herauf. Die Terrassenmitte des Riegersbuck (313) ist demgegenüber nur 0.7°C kälter. Bei den Anfang Maispärlich belaubten Rebstöcken kann dies aber auch auf turbulente Durchmischung von Kaltluft und wärmerer Umgebungsluft zurückgeführt werden. Am Großterrassenaußenrand übertrifft die Temperatur das sekundäre Minimum am Innenrand um 1.5°C, jedoch werden Verhältnisse wie entlang den Hochböschungen (306, 308) nicht erreicht.

Sommermeßfahrt M 54

Die Temperaturdifferenz zwischen Tiefland und Steilböschungen ist mit 6-7°C extrem. An letzteren werden ähnliche Temperaturverhältnisse wie am unterrasierten Blankenhornsberg in gleicher Höhe ange-troffen. Der Großterrasseninnenrand (310, 311) und die Großterrassenmitte (313) sind um 2-3°C kälter als die Böschungsstandorte und bilden das sekundäre Temperaturminimum des Profils. Nur der Großterrassenaußenrand (314) entspricht in seinem Temperaturverhalten fast demjenigen an den Böschungen.

Herbstmeßfahrt M 79

Als frappierendes Ergebnis dieser Kampagne gilt es festzuhalten, daß im Extremfall auf den ungünstigsten Stellen einer Großterrasse, also auf ihren Mittel- und Innenteilen (309-311, 313), die Temperaturen offensichtlich bis auf Werte wie im Kaiserstuhlvorland (z.B. Vierhäupter 300; Bräul, Itinerar J, 335; Scharchenloch, Itinerar K, 361) oder auf solche wie im Tal-kessel von Oberbrunnen (Itinerar K, 379) absinken können.

Arithmetisches Mittel aus 12 Meßfahrten

Auf der Niederterrasse (Vierhäupter, 300) variieren die Meßwerte im Mittel kaum. Erst an der Kaiserstuhlandstraße auf der Hangschleppe (302, 5 m über der Niederterrasse) und bei der Auffahrt auf den flurbereinigten Föhrenberg (303-305, 7-28 m über der Niederterrasse) steigt die Temperatur auf 2-3°C über

den Basiswert. Entlang den hohen, begrasteten Steilböschungen (306 und 308, 38 und 48 m über der Basis) werden Werte erreicht, die um 4.2 bzw. 4.3°C über denen der Ober-rheinebene liegen. Da sich die Böschungen in Südexposition befinden, superponieren sich an ihnen starke Ausstrahlung und fehlende Kaltluftbeeinflussung, was insgesamt eine hohe positive Temperaturabweichung zur Folge hat. Aufgrund der größeren Höhenlage wird der bei Itinerar K besprochene Mauereffekt (Meßpunkt 364, 9 m über der Niederterrasse) noch um ca. ein halbes Grad Celsius überboten.

Die nach der Oberrheinebene thermisch ungünstigsten Lagen des Itinerars bilden ausgerechnet die rebbestanden Flächen am Innenrand und in der Mitte der Großterrasse am Riegersbuck (310, 311, 313; 52-55 m über der Niederterrasse). Die produzierte autochthone Ausstrahlungskaltluft kann aufgrund des Innengefalles nicht abfließen, so daß die Temperaturen im Mittel nur zwei bis zweieinhalb Grad über dem Basiswert liegen. Der an den ungenutzten Böschungen als "warme Hangzone" vorhandene Gunstraum erfährt damit auf den rebbestanden Großterrassen eine Unterbrechung. Nur direkt an südexponierten Böschungen kann durch langwellige Ausstrahlung ein Aufwärmen der dort lagernden Kaltluftpakete um ca. 1.5°C erfolgen. Bei einer Frostschadenskartierung am 17. Oktober 1972 fanden W.NÜBLER und H.WETZLER am Meßpunkt 312 direkt an der südexponierten Innenböschung unversehrte Rebstöcke, während der überwiegende Teil der Großterrasse mit Ausnahme des Außenrandes mehr als 70 % geschädigt war (ENDLICHER 1977 b). Der Außenrand ist zwar um ca. 1°C wärmer als der Innenrand, jedoch werden nicht dieselben Temperaturen wie an den Böschungen erreicht. Hierzu fehlt erstens deren Strahlungsenergie und zweitens verhindern das Innengefälle und der Randwall den Abfluß der autochthonen Kaltluft über die Außenkante. Innenrand (310, 311) und Mitte (313) zählen dementsprechend als stark frostgefährdet genauso zur Zone III wie die Hangschleppe (302, 303), obwohl sie nicht wie diese das Tiefland nur um 5-7, sondern um 50 m überragen. Die Böschungen sind nur leicht bis mäßig gefährdet. Die Ungünstlage der Großterrasse tritt bei der Häufigkeitsverteilung noch deutlicher in Erscheinung: Hier fallen bei 9 (Meßpunkte 309 und 313) bzw. 10 (Meßpunkte 310 und 311) der 12 Meßfahrten die Großterrassenstandorte in Klasse 3, die Böschungsstandorte (306, 308) dagegen überwiegend in Klasse 2. Eine Ausnahme bildet

nur der Innenrand (312) vor der süd-exponierten Hochböschung. Er weist wie die Böschungen ein Maximum in Klasse 2 auf.

ITINERAR M: Profil über zwei hochgelegene Großterrassen am Fohrenberg, die Großterrasse Storck (270 m ü.NN) und das Gipfelplateau Littensbühl (295 m ü.NN) Abb. 24

Frühjahrsmeßfahrt M 41

Das ca. 70-100 m über der Oberrheinebene angelegte Temperaturprofil über das höhere Großterrassenstockwerk Storck und das allseitig frei exponierte Gipfelplateau, die mit 5.4 ha größte Terrasse des Fohrenberges, den Littensbühl, weist im Vergleich zum 20 bzw. 50 m tiefer liegenden Riegersbuck zwei grundlegende Unterschiede auf. Zum einen übertrifft das Temperaturniveau mit 3.9 - 5.8°C über Basiswert um ca. 2°C dasjenige der Großterrasse Riegersbuck, zum anderen ist die Variationsbreite der Temperatur von knapp 2°C kaum halb so groß wie auf Itinerar L, wo die Differenz zwischen der Niederterrasse (300) und den Steilböschungen (306, 308) 4.4°C beträgt. Das Temperaturniveau des Großterrassenstockwerkes Storck (315-318; 70-80m über der Niederterrasse) mit Werten von 3.9 - 4.8°C über Basistemperatur unterschreitet dasjenige am Blankenhornsberg (Itinerar K) in gleicher Höhe um nur 1°C, ein Hinweis, daß sich das gesamte Itinerar M aufgrund seiner Höhenlage und im Gegensatz zum Riegersbuck (Itinerar L) bereits über der Inversion befinden muß.

Allerdings zeigt der doch etwas niedrigere Wert als am unterlassierten Blankenhornsberg, daß sich die Kaltluftabführung von den großen Flächen schwieriger gestaltet. Daß die gestreckte Form des Temperaturprofils vom 1.5.1976 aber durchaus nicht der Regelfall ist, zeigt ein Vergleich mit der Sommer- und Herbstmeßfahrt bzw. mit dem Mittelwert, wo ausgeprägte Minima auf den Terrassenflächen festzustellen sind. Es liegt deshalb die Vermutung nahe, daß sich - wiederum im Gegensatz zum tiefer liegenden Riegersbuck - oberhalb der Inversion der Einfluß des mit 1.5 m/sec aus Ost wehenden Windes in einem geringeren Absinken der Temperatur auf den beiden relativ frei exponierten Großterrassen bemerkbar macht. Die durch die leichte Brise hervorgerufene Vermischung der aufliegenden Kaltluft mit wärmerer Luft entfernterer Atmosphärenbereiche

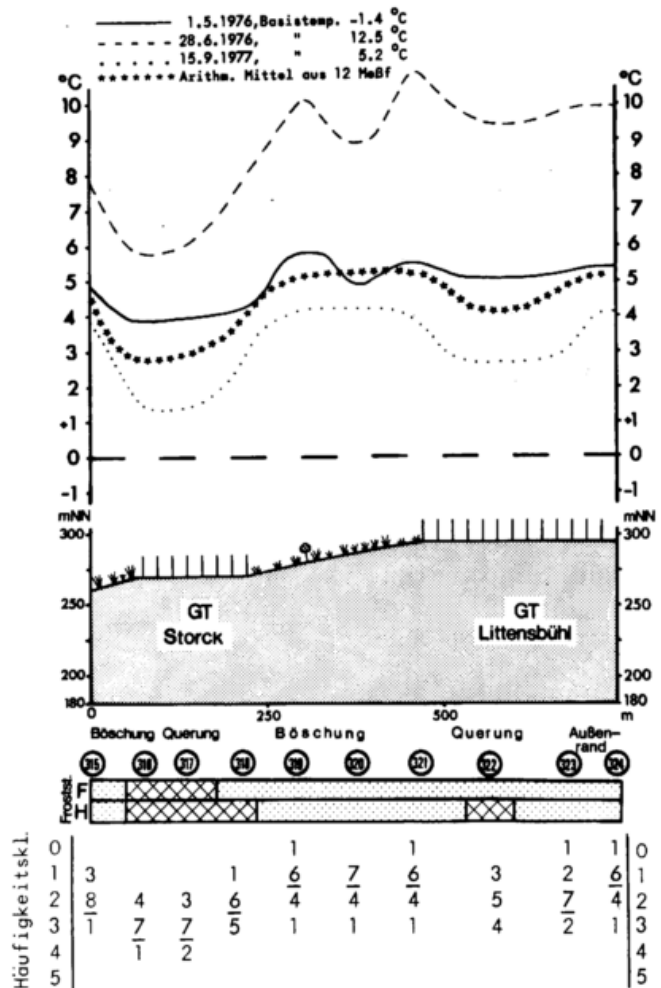


Abb. 24: Morgendliche Temperaturminima bei Strahlungswetter auf Itinerar M Großterrasse Storck - Großterrasse Littensbühl

wird dabei durch die fehlende Belaubung der Rebstöcke bedeutend erleichtert, da eine Bremswirkung auf den Wind, wie sie die voll im Laub stehenden Rebassen infolge ihrer größeren Oberflächenrauigkeit ausüben, entfällt.

Sommermeßfahrt M 54

Im Gegensatz zum Frühjahrsprofil treten tiefe Temperaturminima auf den Terrassen, insbesondere auf der vor dem nur sehr leichten Nordostwind besser geschützten Großterrasse Storck, auf. Im Vergleich dazu liegen die Werte an den südwestexponierten Böschungen (319-321) um ca. 5°C höher. Hier wurde kurz unterhalb des Gipfelplateaus mit 10.9°C über Basistemperatur auch die maximale Abweichung aller Kaiserstuhlmeßfahrten angetroffen. Nahezu identische

Werte wurden bei der gleichen Kampagne und im gleichen Höhengniveau aber auch am Schlichten und Lenzenberg (Itinerar J) und am Blankenhornsberg (Itinerar K) erreicht. Demgegenüber ist die Differenzierung auf dem Gipfelplateau (321-324) selbst nur gering. Allerdings gilt dies vornehmlich für das 2 m - und weniger das 0.7 m - Meßniveau, wie die in Tab. 10 zusammengestellten Angaben belegen. Die maximale Differenzierung auf dem Littensbühl trat bei einer Windgeschwindigkeit von 1 m/sec während der Meßfahrt M 13 (3.8.75) auf: Die Temperatur in der Plateaumitte (322) unterschritt dabei mit 2.0°C über dem Basiswert um 3.9°C diejenige nahe der südwest-exponierten Böschung (320)! Es ist bezeichnend, daß sich diese Unterschiede im Gipfelniveau erst bei vollständig belaubten Rebstöcken einstellen konnten.

Herbstmeßfahrt M 79

Mit 1.4°C und 2.7°C über dem Basiswert sind beide Großterrassen im Vergleich zu den Temperaturen nahe an den Böschungen (3.8 und 4.2°C über dem Basiswert) erheblich kälter. Wie bei der Sommermeßfahrt M 13 reicht die Windgeschwindigkeit von 1 m/sec nicht zu einer wirksamen Aufwirbelung und Vermischung der bodennahen Ausstrahlungskaltluft mit wärmeren Luftmassen höherer Atmosphärenschichten aus. Allerdings wird das Temperaturniveau des Basismeßpunktes nicht unterschritten, wie dies auf der Großterrasse Riegersbuck der Fall ist. Obwohl die Frostgefährdung in dieser Höhenlage am Kaiserstuhlaußenrand ganz allgemein nur gering sein kann (z.B. sind der Blankenhornsberg und der Schlichten in vergleichbarer Höhenlage sowohl im Frühjahr als auch im Herbst frostfrei, s. Meßpunkt Nr. 347, 372, 374, Itinerare J und K), sind die Mittelbereiche der Großterrasse Storck einer mäßigen Früh- und Spätfrostgefährdung unterworfen. Auf dem Gipfelplateau ist hingegen nur noch im Herbst mit einer mäßigen Frostgefährdung zu rechnen. So war auch das Gipfelplateau von den schweren Schäden des Spätfrostes vom 17. April 1974 nicht betroffen. Und auch der Frühfrost vom 5. Oktober 1972 führte nur im Kern der Littensbühler Großterrasse zu schwachen Schäden: Nur maximal ein Drittel der Reben waren dort geschädigt (ENDLICHER 1977 b), während in tieferen Terrassenniveaus erheblich größere Verluste zu beklagen waren.

Die Häufigkeitsverteilung weist auf der Großterrasse Storck ein Maximum in Klasse 3 auf (316, 317), was einer mäßigen Kaltluftgefährdung entspricht, und hat auf der Großterrasse Littensbühl ein derartiges in Klasse 2, was eine schwache Kaltluftgefährdung anzeigt. Die Böschungen und der Außenrand des Littensbühl (319, 320, 321, 324) sind mit ihrem Maximum in Klasse 1 ähnlich wie kleinterrassierte Hänge am Lenzenberg und Blankenhornsberg in gleicher Höhenlage nicht mehr von Kaltluft beeinflusst.

ITINERAR N: Profil vom Balschental über die Großterrasse am Schneckenberg (259-264 m ü.NN),
Abb. 25

Frühjahrsmeßfahrt M 41

Bei einer Basistemperatur von -1.4°C unterschreitet die im Balschental (325-327) gemessene Temperatur die Frostgrenze noch um ca. ein halbes Grad Celsius, was die bereits bei Itinerar K erwähnten Frostschäden an Jungreben zur Folge hatte. Böschungsbereich (328, 329) und Großterrasse (330-333) liegen dann mit ca. 5°C über Basistemperatur nicht mehr in der vom Frost betroffenen Zone. Hauptverantwortlich hierfür sind - neben der größeren Höhe über dem Talboden des Balschentales - wie auf der Großterrasse Storck die durch Ostwind verursachten Turbulenzen. Eine Windgeschwindigkeit von ca. 1.5 m/sec in 293 m ü.NN reichte aber nicht aus, um auch die Kaltluft des Balschentales (236 m ü.NN) aufzuwirbeln.

Sommermeßfahrt M 54

Im Gegensatz zur Frühjahrsmeßfahrt tritt nicht nur ein mit ca. 8°C extremer Unterschied zwischen Balschentalboden und Großterrassenböschung auf. Auch das Terrassentiefste (330) und die Mitte (332) zeigen eine deutliche Differenzierung und unterschreiten die Maxima nahe der Böschung (328) und am Außenrand (334) um ca. 3°C. Auch Windgeschwindigkeiten von ca. 1 m/sec können bei belaubten Rebzeilen eine Stagnation von Kaltluft nicht verhindern. Der Temperaturpeak bei Meßpunkt 331 kann wohl nur durch Ausstrahlungseinflüsse der hier besonders hohen Böschung erklärt werden.

Eine entsprechende Temperaturverteilung mit dem Itinerarminimum im Talkessel von Oberbrunnen/Balschen-

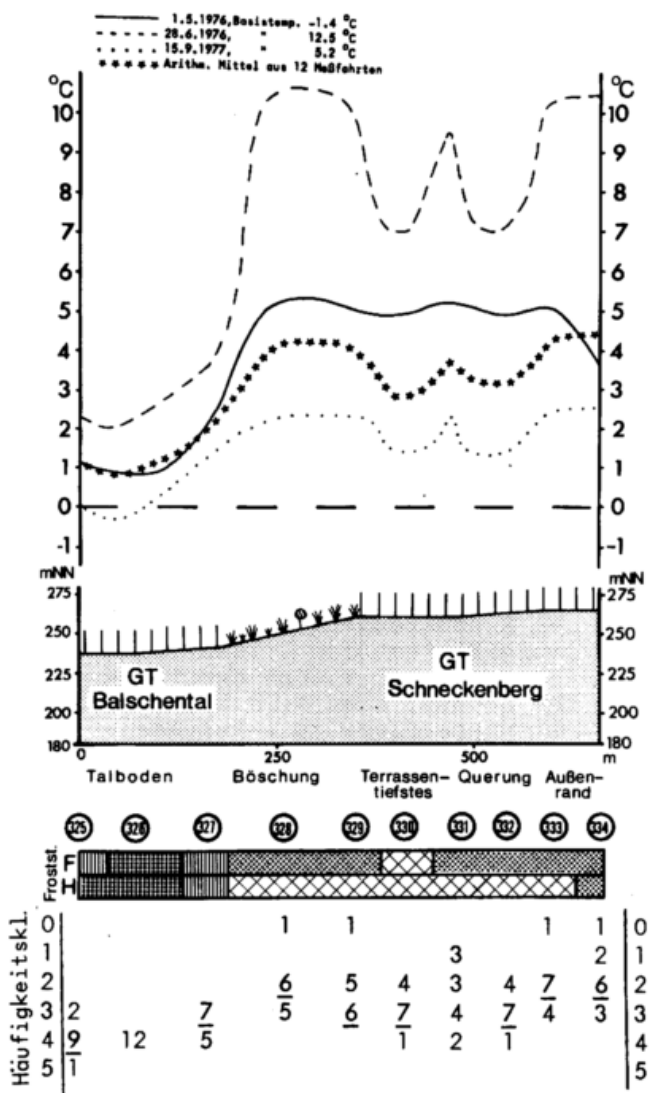


Abb. 25: Morgendliche Temperaturminima bei Strahlungswetter auf Itinerar N Balschental - Großterrasse Schneckenberg

tal, Maxima an Großterrassenböschung und -außenrand sowie einem sekundären Minimum auf der inneren Terrassenhälfte ergab auch die Meßfahrt M 63 vom 16.7.1976, zu der synchron vom Flugzeug aus auch die Oberflächentemperatur der Großterrasse am Schneckenberg aufgenommen wurde (s. Kap. 3.3.2.1 und Abb. 51 und 53). Die im Thermalbild sichtbar gemachten Oberflächentemperaturen belegen eindeutig die bezüglich der Temperaturverteilung auf Itinerar N gemachten Aussagen.

Herbstfahrt M 79

Wieder befindet sich das Itinerarminimum auf dem Balschentalboden. Ähnlich wie auf der Groß-

terrasse Riegersbuck (Itinerar L) sinkt das Temperaturniveau dort noch um 0.3°C unter die Basistemperatur. Auch auf der Großterrasse am Schneckenberg (260 m ü.NN) werden nur Werte von 1.3 bis 1.4°C über der Basistemperatur gemessen. Dies entspricht in etwa den Werten auf der Großterrasse Storck (270 m ü.NN, Itinerar M), liegt aber über den Minima der Großterrasse am Riegersbuck (245 m ü.NN). Die Werte nahe der Böschung und am Außenrand übertreffen die Minima der Terrassenmitte auch dieses Mal.

Arithmetisches Mittel aus 12 Meßfahrten

Die stagnierende Kaltluft auf dem Balschentalboden läßt dort die Temperatur soweit absinken, daß der Basiswert nur um wenige Zehntel Grad Celsius übertroffen wird. Dieser Effekt ist dabei nicht nur auf die Kaltluftsammlung des Tales allein zurückzuführen; vielmehr wird die Kaltluftabführung durch die Großterrassierung des Talbodens und die damit verbundene Schaffung von Flächen mit geringem Gefälle weiter erschwert. Die Temperaturen von 4.2°C über dem Basiswert, die nahe der Böschung oberhalb vom Balschental erreicht werden (328, 8 m über dem Talboden), stehen in guter Übereinstimmung mit denjenigen am gegenüberliegenden unterterrasierten Blankenhornsbergosthang (Itinerar K, 337, 10 m über dem Talboden, 4.1°C über dem Basiswert) in gleicher Höhe. Auf der Großterrassenfläche sinken sie im Mittel um 1.3°C auf 2.9°C über dem Basiswert ab und erst am spornartig vorragenden Terrassenaußenrand (334, 34 m über dem Tal von Oberbrunnen) übertreffen sie mit 4.4°C über dem Basiswert sogar noch das Niveau nahe der Böschung.

Die Frostgefährdung ist im Balschental (326) sehr stark. Die Großterrasse am Schneckenberg ist aufgrund ihrer Höhenlage (260 m ü.NN) und spornartigen Exposition nur im Herbst, ihr Tiefpunkt (330) jedoch auch im Frühjahr einer mäßigen Frostgefährdung unterworfen. Damit entsprechen die Verhältnisse denjenigen auf der nur ca. 10 m höher gelegenen Großterrasse Storck und sind nicht so extrem wie auf der 15 m tiefer gelegenen Großterrasse am Riegersbuck. Eine konkrete Verteilung von Frühfrostschäden konnte im Bereich des Itinerars N am 17.10.1972 durchgeführt werden (s. Abb. 54). Sie ergab im Balschental schwerste Schäden an den Rebstöcken. Auf der inneren Terrassenhälfte des Schneckenberges waren starke,

im Mittelteil mäßige bis leichte Frostschäden festzustellen. Nur der Außenrand und eine schmale, topographisch sogar tiefer liegende Terrasse im Osten blieben schadfrei (ENDLICHER 1977 b). Schließlich läßt auch die Häufigkeitsverteilung mit der im Balschental dominierenden Klasse 4 dort eine starke, und mit Klasse 3 auf der Großterrasse (329, 330, 332) eine mäßige Kaltluftgefährdung erkennen.

2.8.1.4 Vergleich der morgendlichen Temperaturverhältnisse an klein- und unterterrassierten Hängen mit denjenigen auf Großterrassen und Zusammenfassung der Ergebnisse aus dem TG Südwestkaiserstuhl

Die Betrachtung der Temperaturprofile L - N in verschiedenen Teilen der Großterrassenanlage am Ihringer Fohrenberg läßt bereits Unterschiede zwischen den eigentlichen rebenbestandenen Terrassenflächen und den Steilböschungen hervortreten. Um zu geländeklimatologischen Aussagen hinsichtlich der Veränderung der thermischen Bedingungen durch Flurbereinigungsmaßnahmen in Form von Großterrassen zu kommen, kann man nun entweder diachronische Untersuchungen an festen Standorten vor und nach der Umlegung durchführen (BECKER 1977 b) oder synchronische in Form der geschilderten Kampagnen über mehrere, miteinander vergleichbare klein- und großterrassierte Rebareale. In den folgenden Tabellen 8-10 sind die Temperaturabweichungen vom Basiswert (Vierhäupter, 300) aus 12 Strahlungsnächten, die kleinterrassierte Rebflächen am Schlichten (Itinerar J) und unterterrassierte am Blankenhornsberg (Itinerar K) aufwiesen, solchen von in Exposition und Höhenlage mit den vorgenannten Standorten vergleichbaren Großterrassen am Fohrenberg (Itinerare L-N) gegenübergestellt. Für letztere sind Meßpunkte vor Böschungen, an den Großterrasseninnen- und -außenrändern ausgewählt. Außerdem fanden beide Meßhöhen über Grund, 0,7 und 2,0 m, Berücksichtigung. Folgende Ergebnisse sind festzuhalten:

1. Kleinterrassierte Rebhänge am Schlichten und nicht terrassierte in westlicher Exposition am Blankenhornsberg (345, 346, 350, 368, 372) haben mit im Mittel 4,8 bis 5,5°C sowohl in 0,7 als auch in 2,0 m ü.G. die höchsten positiven Temperaturabweichungen gegenüber dem Basiswert (300, Vierhäupter) im Vorland des Kaiserstuhls.
2. Die ostexponierten, unterterrassierten Hänge des Blankenhornsberges (376, 377) haben mit 3,9 bis 4,6°C über dem Basiswert gegenüber den genannten an den westexponierten Hängen des Blankenhornsberges (368, 372) um ca. 1,0°C geringere Abweichungen, was auf den abgeleiteten Talkesseleinfluß von Oberbrunnen/Balschental zurückzuführen ist.
3. Die Differenzen zwischen den Temperaturen nahe an den Steilböschungen der Großterrassen (308, 328) und denjenigen über den Kleinterrassen am Schlichten (345, 346) bzw. am nicht terrassierten Blankenhornsberg (368, 376) sind mit 0,5 - 1,0°C gering.
4. Die Großterrassenaußenränder weisen im 2,0 m-Niveau am 70 m über der Oberrheinebene liegenden Schneckenberg (334) und am Gipfelplateau des Littensbühl (321, ca. 100 m über der Oberrheinebene) ebenfalls kaum größere Unterschiede zu unterterrassierten Hängen auf. Am nur ca. 60 m über dem Tiefland gelegenen Riegersbuck (314) treten allerdings mit 3,1°C über dem Basiswert um ca. 1,0 bis 2,0°C tiefere Werte auf.
5. Die Großterrassenaußenränder am Riegersbuck und am Schneckenberg bleiben im 0,7 m-Meßniveau um ca. 1,5 bis 2,5°C, also um eine erhebliche Temperaturspanne hinter den Vergleichswerten auf Kleinterrassen zurück. Hierfür ist ein den Kaltluftaustausch hemmender Einfluß des Randwalls, der Berme, verantwortlich zu machen. Höhere Windgeschwindigkeiten am exponierten Littensbühl lassen dort die Differenz auf ca. ein halbes Grad Celsius zusammenschmelzen.
6. Nahe den Innenrändern sind die Großterrassen in beiden Meßniveaus am Riegersbuck (311) und am Schneckenberg (330) im Mittel um 2 bis 3°C kälter als die Hänge am Schlichten und Blankenhornsberg. In einigen Fällen wie am 28.6.1976, 9.3.1977 und 15.9.1977 treten noch weit größere Werte auf. Die Mitte der Großterrasse Littensbühl bzw. der Gipfelpunkt des flurbereinigten Fohrenberges ist im Mittel nur um ca. 1°C kälter als die Hänge außerhalb der Großterrassenanlage, wobei eine starke Varianz je nach Windstärke, Windrichtung und jahreszeitlichem Belaubungsgrad auftritt.
7. Aus der Umgestaltung der kleinterrassierten Rebhänge zu großen

"Ebenen am Hang" resultiert als gravierende Konsequenz eine Vergrößerung der Frostgefährdung auf den bergseitigen Teilen der neuen Großterrassen (Tab. 11, letzte Spalte). Nur die Außenränder und der Ventilation besonders stark ausgesetzte Großterrassen, z.B. der Littensbühl, verbleiben wie die Standorte an Kleinterrassen und nicht terrasierten Hängen in gleicher absoluter und relativer Höhenlage in der annähernd frostsicheren Zone I. Die anderen Großterrassenstandorte sind der Frostgefährdungszone II, der Riegersbuck Zone III zuzuordnen.

8. Die Häufigkeitsverteilung der Temperaturklassen (Tab. 11) zeigt an klein- und nicht terrasierten Hängen und nahe den Großterrassenböschungen eine eindeutige Höhenabhängigkeit: Hochgelegene Standorte oberhalb ca. 250 m ü.NN fallen am Kaiserstuhlaußenrand

überwiegend in Klasse 1, etwas tiefer gelegene in Klasse 2. Sie sind damit kaum kaltluftgefährdet. Dem steht eine Zuordnung der Großterrasseninnenränder zur Klasse 3 gegenüber, d.h. daß dort bereits mit einer mäßigen bis starken Kaltluftgefährdung zu rechnen ist. Nur der Littensbühl fällt mit seiner starken Streuung heraus.

Bezüglich der Kaltluftgefährdung im allgemeinen und der Frostgefährdung im besonderen sind also Flurbereinigungsmaßnahmen in Form von bergwärts einfallenden Großterrassen wie am Ihringer Föhrenberg negativ zu bewerten. Topographische Faktoren wie Lagen an windabgekehrten Seiten, auf relativ windexponierten Kulminationen oder in Tälern treten variierend hinzu.

Tab. 8: Vergleich der Temperaturminima (0.7 m und 2.0 m ü.G.) in 12 Strahlungsnächten zwischen der Großterrasse am Riegersbuck und klein- oder unterterrasierten Rebarealen
Abweichung in °C vom Bezugswert Vierhäupter (300) in der Oberrheinebene zu Sonnenaufgang

Nr. Standort	Meßhöhe ü.G.	9.3. 1977	22.3. 1976	1.5. 1976	7.5. 1976	22.6. 1976	28.6. 1976	16.7. 1976	27.7. 1975	3.8. 1975	7.8. 1975	15.9. 1977	31.10. 1975	Mittel 12 Nö.
345 SCHLICHTEN, KT, E-expon. Hang, 248 mNN, 15 m über lokalem Talboden	2.0 m 0.7 m	5.2 4.6	3.7 5.5	- -	4.4 5.0	4.1 3.7	10.8 11.2	4.3 4.8	3.3 3.2	3.4 3.1	7.3 -	3.3 3.0	4.4 3.8	4.9 4.8
377 BLANKENHORNSBERG, unterr., 2.0 m E-expon. Hang, 251 mNN, 10 m ü. lok. Talboden	2.0 m 0.7 m	4.6 4.2	3.7 3.0	4.4 4.6	3.6 3.7	3.8 3.6	8.8 8.7	4.5 5.0	3.9 3.9	2.4 2.1	3.5 -	2.2 2.2	3.2 2.1	4.1 3.9
368 BLANKENHORNSBERG, unterr., 2.0 m W-expon. Hang, 249 mNN, 62 m ü. lok. Talboden	2.0 m 0.7 m	5.1 5.1	3.9 3.8	5.7 5.0	5.8 5.0	4.6 3.9	8.3 8.0	5.3 5.6	4.0 3.9	5.4 3.7	3.7 -	4.1 4.2	4.8 4.0	5.1 4.8
308 RIEGERSBUCK, Böschung S-expon., 240 mNN, 48 m ü. lok. Talboden	2.0 m 0.7 m	4.8 4.3	3.6 3.3	4.4 3.8	4.1 4.7	4.9 3.9	7.3 7.2	3.7 4.0	2.5 2.4	4.8 3.6	4.2 -	2.7 2.5	4.7 4.6	4.3 4.0
314 RIEGERSBUCK, GT, Außenrand 247 mNN, 55 m ü. lok. Talboden	2.0 m 0.7 m	3.9 3.2	2.6 1.8	3.4 2.5	3.3 3.7	3.8 2.6	5.9 4.2	2.9 2.3	1.0 1.1	2.1 1.2	3.0 -	1.0 0.4	3.7 3.0	3.1 2.4
311 RIEGERSBUCK, GT, Innenrand 245 mNN, 53 m ü. lok. Talboden	2.0 m 0.7 m	1.7 2.0	1.4 1.6	1.9 2.1	2.4 2.6	2.2 0.7	4.3 2.5	1.8 2.0	1.5 1.7	1.9 1.1	2.7 -	0.6 1.3	2.7 2.3	2.1 1.8

Tab. 9: Vergleich der Temperaturminima (0.7 m und 2.0 m ü.G.) in 12 Strahlungsnächten zwischen der Großterrasse am Schneckenberg und klein- oder unterterrasierten Rebarealen

Abweichung in °C vom Bezugswert Vierhäupter (300) in der Oberrheinebene zu Sonnenaufgang

Nr. Standort	Meßhöhe ü.G.	9.3. 1977	22.3. 1976	1.5. 1976	7.5. 1976	22.6. 1976	28.6. 1976	16.7. 1976	27.7. 1975	3.8. 1975	7.8. 1975	15.9. 1977	31.10. 1975	Mittel 12 NÄ.
346 SCHLICHTEN,KT,E-expon. Hang, 257 mNN, 20 m über lokalen Talboden	2.0 m	5.6	3.9	-	4.7	4.9	10.6	4.6	5.0	3.2	8.1	3.6	3.7	5.3
	0.7 m	5.1	5.6	-	4.8	4.7	11.8	4.9	5.0	2.9	-	3.3	3.7	5.2
376 BLANKENHORNSBERG,unterr., E-expon. Hang, 259 mNN, 16 m ü.lok. Talboden	2.0 m	4.9	4.1	4.5	3.9	4.6	10.0	5.0	4.9	2.9	3.9	2.7	4.0	4.6
	0.7 m	5.0	3.9	5.0	4.2	4.4	9.6	5.4	4.8	2.6	-	2.6	3.3	4.6
328 SCHNECKENBERG,Böschung, SW-expon., 250 mNN, 8 m ü.lok. Talboden	2.0 m	4.7	3.0	5.3	3.6	4.7	10.6	3.9	2.1	3.3	3.2	2.3	3.4	4.2
	0.7 m	4.5	3.1	5.6	4.0	4.3	9.7	4.2	2.1	2.7	-	2.4	2.9	4.1
334 SCHNECKENBERG, GT, Außenrand, 264 mNN, 34 m ü.lok. Talboden	2.0 m	4.8	3.1	4.6	4.1	5.6	10.4	4.5	2.1	3.6	3.3	2.5	4.4	4.4
	0.7 m	4.5	2.9	4.3	4.2	4.9	9.0	3.9	1.6	2.3	-	2.1	3.6	3.9
330 SCHNECKENBERG, GT, Innenrand, 259 mNN, 12 m ü.lok. Talboden	2.0 m	3.3	2.1	4.9	2.6	4.2	7.0	2.1	1.1	1.9	2.2	1.4	0.2	2.8
	0.7 m	3.1	1.9	4.7	2.8	3.7	5.6	2.0	1.1	1.3	-	1.4	0.1	2.5

Tab. 10: Vergleich der Temperaturminima (0.7 m und 2.0 m ü.G.) in 12 Strahlungsnächten zwischen der Großterrasse am Littensbühl (Gipfelplateau) und klein- oder unterterrasierten Rebarealen

Abweichung in °C vom Bezugswert Vierhäupter (300), 192 m ü.NN, in der Oberrheinebene zu Sonnenaufgang

Nr. Standort	Meßhöhe ü.G.	9.3. 1977	22.3. 1976	1.5. 1976	7.5. 1976	22.6. 1976	28.6. 1976	16.7. 1976	27.7. 1975	3.8. 1975	7.8. 1975	15.9. 1977	31.10. 1975	Mittel 12 NÄ.
350 KLEINPÜPPI,KT,Riedellage leicht E-expon., 300 mNN	2.0 m	5.5	4.0	-	4.8	5.7	9.4	5.3	4.4	4.8	5.5	4.2	4.1	5.3
	0.7 m	6.1	5.3	-	5.3	4.7	10.5	5.7	4.3	4.4	-	4.3	4.0	5.5
372 BLANKENHORNSBERG,unterr., W-expon. Hang, 280 mNN	2.0 m	5.2	4.1	5.9	5.1	4.9	9.9	5.5	6.0	5.5	4.4	4.2	4.7	5.5
	0.7 m	5.4	2.9	6.4	4.7	4.5	10.1	6.0	5.8	5.2	-	3.9	4.7	5.4
320 LITTENSBUHL,Böschung, SW-expon. 285 mNN	2.0 m	5.3	3.6	4.9	5.0	4.8	8.9	5.1	3.7	5.9	5.7	4.2	5.1	5.2
	0.7 m	4.9	3.7	6.2	5.3	5.0	10.1	5.9	3.1	4.2	-	4.7	5.0	5.3
321 LITTENSBUHL,GT, Außenrand, 293 mNN	2.0 m	5.5	3.6	5.5	4.2	5.7	10.9	4.8	3.3	5.4	5.0	3.7	4.5	5.2
	0.7 m	6.1	3.3	5.5	4.2	4.8	10.9	5.3	2.5	2.5	-	3.8	4.5	4.9
322 LITTENSBUHL,GT, Terrassenmitte, 295 mNN	2.0 m	5.3	3.4	5.1	3.9	4.1	9.3	3.8	1.9	2.0	3.3	2.7	4.0	4.1
	0.7 m	5.1	2.9	5.2	3.8	2.8	8.6	3.5	1.3	1.3	-	2.4	3.8	3.7

Tab. 11: Frühjahrs(F)- und Herbstfrostgefährdung (H) sowie Häufigkeit der Temperaturklassenzugehörigkeit (12 Meßfahrten, Meßhöhe 2 m ü.G.) von Groß- und Kleinterrassen

Nr. Standort mNN	SCHLICHTEN kleinterr.			BLANKENHORNSBERG unterterrasiert				FOHREBERG GROSSTERRASSEN										
	350	346	345	372 W	376 E	377 E	368 W	320 Lit	328 Sch	308 Rie	321 Lit	334 Sch	314 Rie	322 Lit	330 Sch	311 Rie		
	300	257	248	280	259	251	249	285	250	240	293	264	247	295	259	245		
Frostgefährdungszone	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	II	III		
	I	I	I	I	I	II	I	I	II	II	I	I	II	II	II	III		
Temperaturklassenzugehörigkeit	0	2	1	2	1			1			1	1						
	1	7	4	5	3	2	6	7		4	6	2		3				
	2	4	5	3	5	5	5	4	6	6	4	6	5	5	4			
	3	1	1	1	2	4		1	5	2	1	3	5	4	7	10		
	4	Oberrheinebene															1	2

Tab. 12: Zusammenstellung aller Meßstandorte mit Höhenlage, mittlerer Temperaturabweichung vom Basiswert und Frostgefährdungsstufen

ITINERAR A: Längsprofil durch das Krottenbachtal im zentralen Kaiserstuhl von der meliorierten Rheinaue (Faulewaag) über Nieder- und Oberrotweil - Oberbergen - Schelingen zum Zentralkamm am Bahlinger Eck

1	2	3	4	5	6	7
Nr.	Standort	Meeres- höhe (mNN)	Höhe über lokalem Talboden (m)	mittlere Abweichg. v. Basis- temp. (°C)	Frostgefähr- dungsstufe Frühj./Herbst	
1	Rheinaue (Faulewaag)	183.5	0	0.0	4	4
2	"	184	0	0.3	4	4
3	"	184	0	0.5	4	4
4	"	185	0	0.9	4	4
5	Niederterrassenrand	191	0	2.6	3	4
6	N'rotw., Ortsmitte	195	0	2.6	3	4
7	" , Ortsende	197	0	2.5	3	4
8	Krottenbachtalboden	199	0	2.0	4	4
9	"	202	0	2.8	3	4
10	Bahn	205	0	3.5	2	3
11	O'rotweil Winzergen.	210	2	3.8	1	3
12	" Klimastation	210	0	2.8	3	4
13	" Kirche	215	4	3.7	2	3
14	Ellenbuch Talboden	225	0	-0.3	4	4
15	O'rotweil Hauptstraße	216	1	3.4	2	3
16	Eschbach Talboden	227	0	-0.3	4	4
17	O'rotweil Ortsende	218	1	2.1	4	4
18	Abzwg. Kunzenbuck	229	7	2.5	3	4
19	Krottenbachtalboden	230	5	1.5	4	4
20	"	233	0	1.8	4	4
21	Krottenbach	231.5	0	1.2	4	4
22	Krottenbachtalboden	237	0	1.6	4	4
23	O'bergen Ortseingang	242	0	2.8	3	4
24	" Hirschstraße	242	0	3.4	2	3
25	" Ortsmitte	243	0	3.6	2	3
26	" Kirche	244	0	3.5	2	3
27	" Oberdorf	247	0	3.1	2	3
28	" Ortsende	252	0	2.7	3	4
29	Krottenbachtalboden	257	0	1.8	4	4
30	"	261	0	1.4	4	4
(31	Talrand	266	5	2.2	4	4)
(32	"	270	5	1.6	4	4)
33	Krottenbachtalboden	278	0	0.9	4	4
34	Talrand	295	2	2.4	3	4
35	Schelingen Kreuzung	301	0	2.9	3	4
36	" Ortseingang	304	0	3.5	2	3
37	" Ortsmitte	306	0	3.8	1	3
38	" Kirche	309	0	3.7	2	3
39	" Ortsende	319	0	2.9	3	4
40	Hohlweg	330	0	2.3	3	4
41	Abzweigung	337	0	3.1	2	3
42	Steinbruch	349	0	4.1	1	3
43	Abzweigung	361	0	3.2	2	3
44	Waldrand	378	0	3.6	2	3
45	"	395	0	5.2	1	2
46	"	415		4.9	1	2
47	Paßhöhe	432		5.8	1	2
48	Zentralkamm (Bahl.Eck)	453		6.8	1	1

1	2	3	4	5	6	7
---	---	---	---	---	---	---

ITINERAR B: Längsprofil durch das Kammertal im zentralen Kaiserstuhl von Oberbergen nach Vogtsburg und zur Vogelsangpaßhöhe

28	Oberbergen Ortsende	252	0	2.7	3	4
97	Kammertal Abzwg.Schel.	260	0	1.7	4	4
98	"	274	0	1.6	4	4
99	"	286	0	1.7	4	4
100	"	293	0	1.6	4	4
101	Vogtsburg Eichst.Täle	324	0	3.8	1	3
102	" Kirche	329	0	4.1	1	3
103	Talboden Paßstraße	335	0	3.4	2	3
104	" "	350	0	3.6	2	3
105	Talschluß"	365		3.4	2	3
106	Straßeneinschnitt	377		5.5	1	2
107	Paßhöhe Vogelsang	403		6.7	1	1

ITINERAR C: Talquerprofil im mittleren Krottenbachtal von der Baßgeige zum Kunzenbuck

50	westexponierter Hang	344	110	6.3	1	1
51	Tälchenquerung	343	109	5.0	1	2
52	"	330	96	6.5	1	1
53	westexponierter Hang	320	86	5.8	1	2
54	" "	306	70	5.5	1	2
55	südwestexpon. Hang	299	63	5.0	1	2
56	südexponierter Sporn	296	60	5.6	1	2
57	Tälchen	291	56	4.0	1	3
58	südexponierter Sporn	277	40	5.0	1	2
59	Tälchen	260	21	3.1	2	3
60	südexponierter Hang	255	16	3.6	2	3
61	Krottenbachtalrand	236	4	1.7	4	4
21	Krottenbach	231.5	0	1.2	4	4
20	Krottenbachtalboden	233	0	1.8	4	4
18	Abzwg. Kunzenbuck	229	7	2.5	3	4
62	Sedimentationsbecken	243	11	2.8	3	4
63	nordostexpon. Böschung	255	23	4.2	1	3
64	Großtterrassen	270	38	3.1	2	3
65	"	281	49	4.8	1	2
66	Hohlweg	295	63	4.3	1	2
67	Tälchen Waldrand	313	81	5.3	1	2
68	Wald	325	93	6.7	1	1
69	Kunzenbuck Parkplatz	338	106	6.9	1	1

ITINERAR D: Talquerprofil im oberen Krottenbachtal von den Nebentälchen Schwalbental und Degental zum Schelinger Reberg und auf die Degenmatt

70	Schwalbental Wald	340	3	4.6	1	2
71	" Waldrand	330	3	4.0	1	3
72	Degentalrand	323	2	2.6	3	4
73	"	315	1	2.7	3	4
74	Degentalboden	304	0	1.4	4	4
75	Krottenbachtalrand	303	0	3.2	2	3
35	Scheligen Kreuzung	301	0	2.9	3	4
76	Krottenbachtalrand	303	2	2.5	3	4
77	Bustental	312	10	2.8	3	4
78	nordexpon. Sporn	324	22	4.8	1	2
79	nordostexpon. Hang	330	28	5.5	1	2
80	Großtterrassen	340	38	4.1	1	3
81	"	345	43	4.5	1	2
82	Tälchen	353	51	5.2	1	2
83	"	355	53	4.6	1	2

1	2	3	4	5	6	7
84	Großterr.-Außenrand	361	54	5.3	1	2
85	" -Innenrand	362	55	4.9	1	2
86	nordostexpon. Böschung	368	48	5.9	1	2
87	Terrasse	375	55	5.3	1	2
88	nordexpon. Böschung	379	59	5.9	1	2
89	Terrasse	381	61	5.6	1	2
90	nordexpon. Böschung	386	66	6.9	1	1
91	Terrasse	389	69	5.6	1	2
92	Sattel	400	80	6.6	1	1
93	Degenmatt	410	80	7.1	1	1
94	"	425	85	7.2	1	1
95	"	445	90	7.3	1	1
96	"	468	100	7.1	1	1

ITINERAR E: Längsprofil durch das steilgefällige Oberschaffhausener Tal im Ostkaiserstuhl vom Vogelsangpaß herunter nach Oberschaffhausen und in das Bötzingen Ried

107	Paßhöhe Vogelsang	403		7.0	1	1
201	Paßstraße	368	0	5.7	1	1
202	"	346	0	5.8	1	1
203	Tälchen Waldrand	330	4	4.9	1	1
204	" "	317	3	4.7	1	2
205	Talboden	297	0	4.0	1	2
206	"	281	0	3.9	1	2
207	"	270	0	3.4	2	2
208	Talboden Abzwg.	259	0	3.1	2	2
209	" Steinbruch	250	0	3.1	2	2
210	O'schaffhnsn. Ortsanfg.	242	0	2.7	3	3
211	"	240	2	3.4	2	2
212	" Brunneng.	234	6	4.0	1	2
213	" Kapelle	232	10	3.6	1	2
214	" Kirchweg	223	8	3.7	1	2
215	" Bergstr.	200	0	3.5	2	2
216	O'schaffhnsn. Kreuzung	195	0	3.2	2	2
217	" Bahn	192	0	1.7	3	4
218	" Gewerbegeb.	189	0	0.7	4	4
200	Bötzingen Ried	188	0	0.0	4	4

ITINERAR F: Längsprofil im Tal- und Riedelland des Ostkaiserstuhls vom Riedel Endhahlen durch das Schambachtal nach Bötzingen und bis ins Ried

219	Riedel Endhahlen	333	73	6.2	1	1
220	Hohlweg	322	62	4.3	1	2
221	Muldentälchen	310	50	4.4	1	2
222	Muldentälchen	301	41	3.7	1	2
223	"	285	25	4.8	1	2
224	" Abzwg.	271	11	3.6	1	2
225	Schambachtalrand	265	9	3.4	2	2
226	" Abzwg.	259	6	2.9	3	2
227	"	248	3	2.9	3	2
228	" Hof	243	2	2.0	3	3
229	"	239	3	2.0	3	3
230	" Abzwg.	234	2	1.0	4	4
231	"	224	2	1.0	4	4
232	" Abzwg.	222	4	1.2	4	4
233	"	218	4	1.1	4	4
234	" Abzwg.	215	4	1.4	4	4
235	Bötzingen Ortseingang	205	2	1.6	3	4
236	"	193	0	2.3	3	3
237	" Kreuzung	190	0	2.8	3	2
238	" Ortsende	189	0	2.4	3	3
239	Bahn	188	0	1.5	4	4
240	Sportplatz	188	0	1.1	4	4
241	Krebsenbächle	188	0	0.0	4	4
200	Bötzingen Ried	188	0	0.0	4	4

1	2	3	4	5	6	7
---	---	---	---	---	---	---

ITINERAR G: Querprofil im Tal- und Riedelland des Ostkaiserstuhls vom Fuchsbuck durch ein Muldentälchen zum Riedel Kreuzweg

242	Fuchsbuck	312	42	6.5	1	1
243	ostexponierter Hang	310	40	6.4	1	1
244	ostexponierter Hang	308	40	6.4	1	1
245	ostexponierter Sporn	305	35	6.5	1	1
246	Tälchen	304	35	5.1	1	1
247	ostexponierter Hang	299	30	6.0	1	1
248	" "	280	20	5.1	1	1
224	Muldentälchen, Abzwg.	271	11	3.6	1	2
249	westexponierter Hang	274	14	4.5	1	2
250	Hangdelle	278	18	3.3	2	2
251	südwestexpon. Hang	290	30	4.7	1	2
252	Riedel Kreuzweg	299	39	5.7	1	1

ITINERAR H: Querprofil im Tal- und Riedelland des Ostkaiserstuhls vom Sattel Brentensaul durch den Talschluß des Schambachtälchens

253	Sattel Brentensaul	295	25	4.6	1	2
254	nordexponierter Hang	285	15	4.7	1	2
255	Talschluß Schambach	270	0	4.0	1	2
256	Schambachtalrand	273	3	4.6	1	2
257	" "	262	4	4.2	1	2
226	" Abzwg.	259	6	2.9	3	2

ITINERAR I: Doppelitinerar im Platten- und Riedelland des Ostkaiserstuhls von Rutzenhahlen über den Riedel Reimendsbühl einerseits und das Rippachtal andererseits in das Eichstetter Haupttal bis nach Eichstetten

258	Waldrand Rutzenhahl.	337	73	7.0	1	1
259	Riedel Reimendsbühl	325	61	6.6	1	1
260	" "	313	49	6.7	1	1
261	" "	305	41	6.6	1	1
262	" " Abzwg.	295	31	6.5	1	1
263	" "	286	46	6.2	1	1
264	" "	281	44	6.0	1	1
265	" "	269	40	5.6	1	1
266	" " Kurve	267	38	5.8	1	1
267	" "	252	27	5.8	1	1
268	" "	240	17	4.9	1	1
278	Eichstetter Hptt.Hof	222	2	2.5	3	3
270	Rutzenhahl., südoste.H.	318	54	7.0	1	1
271	" ostexpo.H.	308	44	5.9	1	1
272	" " "	290	26	5.3	1	1
273	" " "	284	20	4.6	1	2
274	Rippachtalschluß	264	0	2.5	3	3
275	Rippachtalboden	251	0	3.1	2	2
276	Talbodenquerung	240	0	2.2	3	3
277	Rippachtalrand	230	3	2.3	3	3
278	Eichstetter Hauptt.Hof	222	2	2.5	3	3
279	Rippachtalmündung	218	0	1.1	4	4
280	Eichstetten Ortsanf.	213	0	1.6	3	4
281	" Altweg	211	5	3.7	1	2
282	" "	205	4	2.9	3	2
283	" "	196	2	3.2	2	2
284	" Bach	191	0	3.0	3	2
285	" Hauptstr.	192	1	3.8	1	2
286	" Kirche	187	0	3.4	2	2
287	Alte Dreisambrücke	187	0	2.3	3	3
288	Klimastat.Liliental	284	10	<u>1.7</u>	3	4

1	2	3	4	5	6	7
ITINERAR J: Profil am Außenrand des südwestlichen Kaiserstuhls						
von der Rheinniederterrasse (Bräul) über Ihringen						
zum kleinterrassierten Rebgelände am Schlichten						
und Lenzenberg						

1	2	3	4	5	6	7
335	Niederterrasse (Bräul)	193	0	0.3	4	4
336	Hangschleppe	193	0	0.5	4	4
337	Bahn	194	1	1.6	3	3
338	Ihringen Wasenweil.St.	198	4	3.1	1	2
339	" Scherkhofst.	200	7	3.8	1	2
340	" "	203	10	4.2	1	2
341	" Kirchstr.	209		3.2	1	2
342	Dulltal	222	0	2.7	2	2
343	" Ortsende	227	0	2.3	3	2
344	Schlichten, ostexp.Hg.	236	9	3.5	1	2
345	" " "	248	15	4.9	1	1
346	" " "	257	20	5.3	1	1
347	" Kehre	274	15	4.8	1	1
348	" "	282	23	5.7	1	1
349	" ostexp.Hg.	290	25	6.0	1	1
350	Sattel Kleinpöppi	300	32	5.3	1	1
351	Hohlweg	307	32	6.2	1	1
352	" "	318	33	5.7	1	1
353	Waldrand	338	33	6.1	1	1
354	Tälchen	342		5.0	1	1
355	Hochwald Lenzenberg	346	36	5.4	1	1
356	Waldrand	348	38	4.7	1	1
357	Lenzenberg, westexp.Hg.	352	45	6.3	1	1
358	" Sporn	360	130	6.7	1	1
359	" Waldrand	370	140	7.1	1	1

ITINERAR K: Profil von der meliorierten Rheinaue (Scharchenloch) und der Niederterrassenleiste (Winklerfeld) über den Blankenhornsberg zum Talkessel von Oberbrunnen

361	Rheinaue (Scharchenl.)	187	0	0.4	4	4
362	Niederterr. (Winkl.Fd.)	191	4	1.5	3	3
363	Hangschleppe	198	11	2.1	3	3
364	westexpon. Mauer	200	13	3.6	1	2
365	Blankenhornsberg, westexpon.Hang	207	20	2.9	2	2
366	" "	220	33	4.0	1	2
367	" "	241	54	4.5	1	1
368	" "	249	62	5.1	1	1
369	" Waldrand	252	65	4.5	1	1
370	" Niederwald	256	69	5.0	1	1
371	" "	261	74	4.7	1	1
372	" westexpon.Hang	280	93	5.5	1	1
373	" Weingut	279	92	5.4	1	1
374	" ostexpon.Hang	268	22	5.0	1	1
375	" "	264	18	4.7	1	1
376	" "	259	16	4.6	1	1
377	" "	251	10	4.1	1	2
378	" Hangschleppe	242	5	3.1	1	2
379	Oberbrunnen Talrand	238	2	1.9	3	3
325	" Talmitte	236	0	1.1	3	4

1	2	3	4	5	6	7
<u>ITINERAR L:</u> Profil von der Rheinniederterrasse (Vierhäupter) zur Großterrasse Riegersbuck am flurbereinigten Fohrenberg im südwestlichen Kaiserstuhl						
300	Vierhäupter	192	0	0.0	4	4
301	"	192.5	0	0.3	4	4
302	" Hangschl.	197	5	2.0	3	3
303	Randstraße Abzwg.	199	7	2.3	3	2
304	Sedimentationsbecken	205	13	2.8	2	2
305	Hohlweg	220	28	2.5	3	2
306	südostexpon. Böschung	230	38	4.2	1	2
307	Großterrassenniveau	233	41	3.8	1	2
308	südexpon. Böschung	240	48	4.3	1	2
309	GT Riegersbuck Abzwg.	244	52	3.1	1	2
310	" " Inn.Rd.	244	52	2.5	3	2
311	" " "	245	53	2.1	3	3
312	" "südexpon. Böschung	247	55	3.6	1	2
313	" " Terr.Mi.	247	55	2.3	3	2
314	" " Auß.Rd.	247	55	3.1	1	2

ITINERAR M: Profil über die beiden hochgelegenen Großterrassen
Storck und Littensbühl am flurbereinigten Fohrenberg

315	südostexpon. Böschg.	262	70	4.5	1	1
316	GT Storck Tiefpunkt	270	78	2.7	2	2
317	" " Terr.Mitte	271	79	2.9	2	2
318	" " Innenrand	272	80	3.9	1	2
319	südwestexp. Böschung	278	86	5.1	1	1
320	" " "	285	93	5.2	1	1
321	GT Littensbühl Auß.Rd.	293	101	5.2	1	1
322	" " Terr.Mi.	295	103	4.1	1	2
323	" " Auß.Rd.	294	102	4.8	1	1
324	" " Ostecke	294	102	5.1	1	1

ITINERAR N: Profil vom Balschental über die Großterrasse Schnecken-
berg am flurbereinigten Fohrenberg

325	Oberbrunnen Talmitte	236	0	1.1	3	4
326	Balschental	237	0	0.8	4	4
327	Balschentalrand	241	4	2.0	3	3
328	nordwestexp. Böschung	250	8	4.2	1	2
329	GT Schneckenbg. Abzwg.	260	13	3.9	1	2
330	" " Tiefpt.	259	12	2.8	2	2
331	" " Inn.Rd.	260	13	3.7	1	2
332	" " Terr.Mi.	262	15	3.2	1	2
333	" " Auß.Rd.	264	34	4.1	1	2
334	" " NEecke	264	34	4.4	1	1

2.8.1.5 Die morgendlichen Meßfahrt-
ergebnisse in ihrem Zusam-
menhang mit Kaltluftproduk-
tion und -verteilung

Die dargelegten morgendlichen Temperaturverhältnisse haben ihre Ursache primär in der nachts negativen Strahlungsbilanz aller Gegenstände nahe der Erdoberfläche und der Erdoberfläche selbst, die auf das Überwiegen der langwelligen Ausstrahlung bei wolkenlosem Nachthimmel gegenüber der Gegenstrahlung der Atmosphäre zurückzuführen ist. Die entscheidenden Stellen sind dabei die Infrarotfenster der Atmosphäre, in deren Bereich die langwellige Erdausstrahlung die Atmosphäre nahezu ungehindert passieren kann. Der daraus resultierende permanente Energieverlust kann bei Luftruhe in einem Rebbestand nicht durch die Zustrahlung von anderer Seite (z.B. Gebäuden, Böschungen, Heizkörper), evtl. freiwerdender Kondensationswärme bei der Taubildung (Freisetzen latenter Wärme) oder Wärmeleitung aus der Luft oder aus dem Boden bzw. dem Stamm (Bodenwärmestrom) kompensiert werden, so daß eine Abkühlung der ausstrahlenden Blattschicht unter die Lufttemperatur erfolgt. Die in den Kronenraum einbezogenen Luftvolumina werden dann durch Wärmeleitung und mikroturbulenten Wärmeaustausch (Strom fühlbarer Wärme) abgekühlt, wobei sie Energie an die Blattschicht abgeben, die an dieser wieder abgestrahlt wird. Es entsteht nach ein paar Stunden eine dem Pflanzenbestand ein- und auflagernde Kaltluftschicht. Im Falle, daß nur eine geringe atmosphärische Turbulenz zu verzeichnen ist (Windstille) und keine Vermischung der Kaltluftquanten mit wärmerer Luft aus höheren Atmosphärenbereichen erfolgt, hängt die Lagerung eines Kaltluftquantums im wesentlichen von der Hangneigung α , der Schwerebeschleunigung g , dem Dichtegefälle p als Konsequenz des Temperaturgefälles zwischen dem auflagernden Kaltluftvolumen mit der Temperatur T und wärmerer Umgebungsluft mit einer Temperatur T' sowie einer dem Kaltluftabfluß entgegenwirkenden Reibungskomponente R ab. Bei einem ausreichenden Gefälle setzt die resultierende Kraftkomponente K das produzierte Kaltluftquantum mit tropfenhafter oder breiartiger Fließbewegung hangabwärts in Bewegung (Abb. 26). An die Stelle des Kaltluftquantums tritt wärmere Umgebungsluft, die den gleichen Prozeß durchmacht. Die Abkühlungsrate des Blattwerks wird durch Zuführung von fühlbarer Wärme verringert und die Zwischenluftmasse bleibt im zeitlichen Inte-

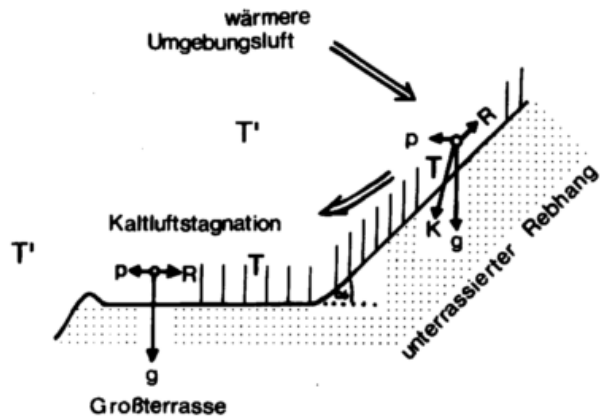


Abb. 26: Kräfte diagramme für die Kaltluftbewegung an einem unterterrasierten Rebbang und auf einer Großterrasse (unter Verwendung von BAUMGARTNER 1963 b)

gral auf einem gewissen thermischen Niveau. Verhindert bei einem zu geringen Hangneigungswinkel die Reibungskomponente eine Hangabversetzung der autochthon gebildeten Kaltluft und damit einen Ersatz durch wärmere Luft aus der Umgebung, so kühlen sich Vegetation und auflagernde Luftvolumina gegenseitig immer weiter ab. Das Resultat dieser Vorgänge sind einerseits die relativ hohen Oberflächen- und Lufttemperaturen an unterterrasierten Rebhängen und nahe an Böschungen, andererseits die relativ niedrigen auf Terrassen. Dies gilt im Prinzip auch für schmale Rebterrassen. Aber erstens werden sie überflossen. Und zweitens verhindert die langwellige Zustrahlung von der Rückböschung her, insbesondere bei Süd- und Westexposition und Steinbauweise, daß am Innenrand die Temperaturen zu tief absinken. Am Außenrand wirkt die Mikroturbulenz niedrigen Werten entgegen, so daß sich letztendlich auf der gesamten Schmalterrasse die Kaltluftproduktion in Grenzen hält und ihre Temperaturen nur um Werte $\leq 1^\circ\text{C}$ hinter denen an unterterrasierten Hängen zurückbleiben. Die Fläche der durch die Flurbereinigung neu geschaffenen Großterrassen ist für derartige Kompensationsvorgänge zu groß, so daß eine Stagnation der auf der "Ebene am Hang" produzierten autochthonen Kaltluft mit den aufgezeigten Konsequenzen eintritt. In topographischen Hohlformen wird die Temperaturverteilung vor allem bestimmt durch die aufgrund der Horizontzeinschränkung wesentlich früher, d.h. lange vor Sonnenuntergang einsetzende eigenbürtige Kaltluftbildung und durch die fremdbürtige, vom Ein-

zugsgebiet des Talsystems zugelierte Kaltluft. Hierbei sind das Verhältnis von Einzugs- und Aufnahmegebiet von Kaltluft, die Art der Vegetationsbedeckung und die Gefällsverhältnisse der Talsohlen von Bedeutung (vgl. auch KING 1973). Ist das Aufnahmegebiet im Vergleich zum Produktionsgebiet relativ klein, und wird von der Vegetation (z.B. Grassmatten) relativ viel Kaltluft produziert, so reicht - wie im zentralen Kerbsohlentalsystem des Krottenbachs (Itinerar A-D) - die Kaltluft verhältnismäßig weit die Talhänge hinauf. Steht dagegen ein ausreichender Talraum - wie ihn z.B. die Ostkaiserstühler Kastentäler bieten - zur Verfügung, bleibt die Talbodenkaltluft relativ flach. Ein starkes Talbodengefälle wie im Oberschaffhausener Tal (Itinerar E) bewirkt einen raschen Abtransport der Kaltluft. Die Temperaturen sind mit 3 bis 5°C über dem Basiswert relativ hoch. Bei einem geringen Talgefälle, einem hohen Reibungskoeffizienten und fehlender oder durch die topographischen Gegebenheiten verzögerter Kaltluftdrainage treten die tiefsten Lufttemperaturen auf. Als Beispiele sind anzuführen das Ellenbuch- und Eschbachtal (Itinerar A, Meßpunkte 14 und 16, mittlere Abweichung vom Basiswert - 0.3°C), das Degental (Itinerar D, Meßpunkt 304, 1.4°C über dem Basiswert), das Eichstetter Haupttal (Itinerar I, Meßpunkt 279, 1.1°C über dem Basiswert) und der Talkessel von Oberbrunnen (Itinerar K, Meßpunkt 325, 1.1°C über dem Basiswert). Steile Nebentälchen und Hangdellen führen die an den Hängen produzierte allochthone Kaltluft einem Haupttal zu. Wegen ihres starken Gefälles liegen die Temperaturen zwar unter denen der umgebenden Rebhänge, jedoch über denen des Haupttalbodens. Beispiele hierfür sind die Tälchen an der Baßgeige (Itinerar C, Meßpunkte 57 und 59) und am Riedel Endhahnen (Itinerar F, Meßpunkte 221 und 222; Itinerar G, Meßpunkt 250), die im Mittel 3 bis 4°C über dem Basiswert verzeichnen. Diesen bodennahen lokalklimatischen Temperaturverhältnissen ist die synoptische Ausstrahlungsinversion über dem regionalen Kaltluftsammlerbecken des Oberrheinischen Tieflandes überlagert, die mit einer Höhenlage bei 200 bis 400 m über Grund, d.h. 400 bis 600 m ü.NN anzusetzen ist (s. folgendes Kapitel).

2.8.1.6 Vertikale Temperatur- und Feuchteverteilung am Kaiserstuhl in Strahlungsnächten

Für einen Vergleich der hangnahen thermischen und hygri-schen Vertikalstruktur am Kaiserstuhl mit hangfernen Atmosphärenschichten bietet sich die Hinzuziehung von Radiosondendaten an. Detaillierte Untersuchungen ähnlicher Art, die für jede landschaftsökologische Fragestellung im Oberrheingraben von besonderer Wichtigkeit sind, wurden von GOSSMANN (1975) am Schwarzwaldrand im Bereich des Schauinsland durchgeführt. In der vorgestellten Strahlungsnacht des 1. April 1976 stand der Radiosondenmeßzug der Landesanstalt für Umweltschutz, der im Rahmen des Flugzeugmeßprogramms Ballonsondenaufstiege durchführte, zur Verfügung. Er war im westlichen Stadtgebiet von Freiburg i.Br., Ortsteil "Auf der Haid", ca. 11 km vom Kaiserstuhl entfernt, stationiert. Abb. 27 zeigt die Vertikalprofile der Temperatur und der relativen Feuchte, wie sie von der mobilen Meßeinrichtung auf den Itineraren des Zentralkaiserstuhls und von der Ballonsonde jeweils kurz vor Sonnenaufgang registriert wurden. Betrachtet man die Temperaturverhältnisse, so ist insbesondere die Differenz von 5.3°C zwischen dem Startplatzwert der Radiosonde in Freiburg und der Basistemperatur des Meßwagens im Oberrheinischen Tiefland auffallend hoch. Die Höhe der Freiburger Temperatur läßt sich dabei auf eine Superposition von städtischem Wärmeinseleffekt und ausgeprägter Bergwindturbulenz ("Höllentäler") zurückführen. Die ruhige Ausstrahlungskaltluft im Tiefland verzeichnet währenddessen Frostwerte von -1.1°C. Bei den Talbodenwerten vom Degental (3.0°C) und Bustental (4.1°C) ist die Diskrepanz zur Ballonsonde bereits weniger groß. An den Böschungen des Schelinger Reberges besteht dann eine ähnliche Temperaturzunahme mit der Höhe wie bei der Ballonsonde, wobei letztere um ca. 1°C höhere Werte aufweist. Nach den Werten der Ballonsonde kann als Höhenlage für die synoptische regionale Inversion 460-500 m ü.NN angegeben werden. Die bei der mobilen Messung festgestellte Temperaturabnahme am Itinerargipfel auf der Degematt (468 m ü.NN) kann deshalb als Anfang der synoptischen Inversion interpretiert werden (vgl. Kap. 2.8.1.1, Itinerar D).

Bezüglich der Feuchteverhältnisse ist zu sagen, daß der Taupunkt nur im Tiefland erreicht wird (starker Bodendunst bis in Baumhöhe, bereifte Wiesen), während in Freiburg nur

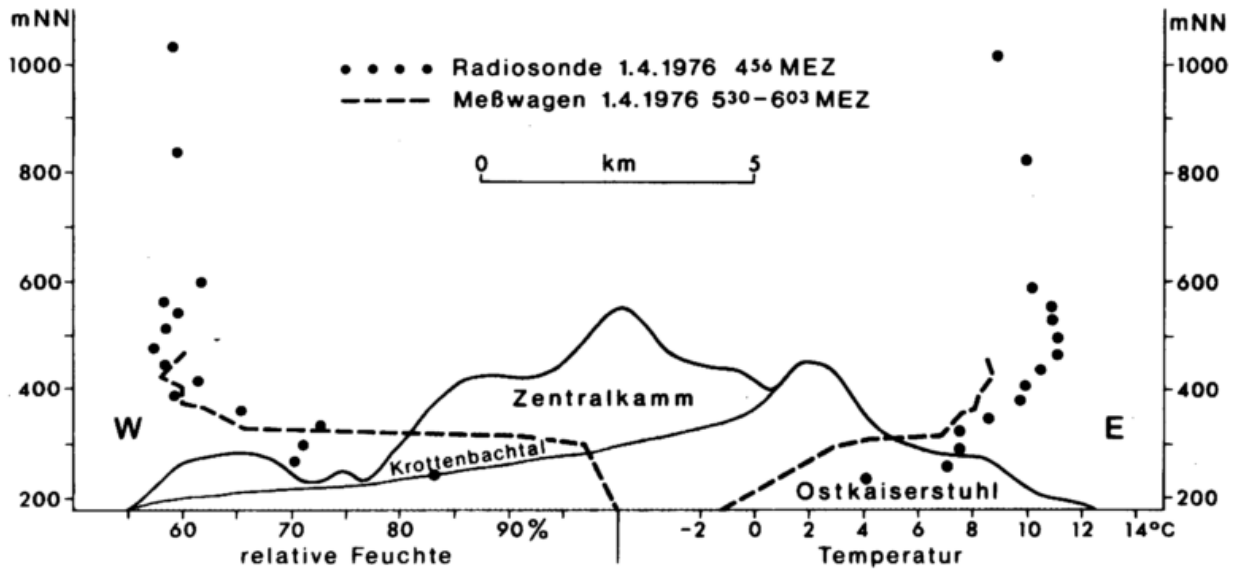


Abb. 27: Lufttemperatur und relative Feuchte am 1.4.1976 vor Sonnenaufgang am Kaiserstuhl (mobile Messung) und in der freien Atmosphäre des Oberrheingrabens (Radiosondenaufstieg)

knapp über 80 % relative Feuchte gemessen wird. In einer Höhe von 380 bis 400 m ü.NN geht die Feuchte sowohl am Schelinger Rebberg als auch über Freiburg auf Werte um 60 % zurück. Auffallend ist, daß auch in größerer Höhe die relative Feuchte nicht zu, sondern eher noch abnimmt, was auf recht trockene Luftmassen hindeutet.

Herbst- und winterliche Inversions-situationen unterscheiden sich von der vorgestellten aus dem Frühjahr vor allem dadurch, daß bei höherer relativer Feuchte unterhalb der Inversion der Taupunkt unterschritten wird. Dichte Boden- oder Hochnebelfelder mit ihrer hohen Albedo wirken verstärkend auf die Stabilität der Schichtung, so daß sich die Inversion bei flachem Einstrahlungswinkel oft erst in den Mittagsstunden bzw. überhaupt nicht auflösen kann (vgl. Kap. 2.8.3.1).

Aus Abb. 27 geht weiter hervor, daß bei beiden Meßgrößen in den tieferen Lagen sehr viel höhere Gradienten als in den oberen auftreten. Nach BROCKS (1949) ist zwischen einer stabilen Inversionsunterschicht und einer weniger stabilen Inversions-oberschicht bzw. dem Übergang zur Isothermie zu unterscheiden. In Tab. 13 sind mittlere hypsometrische

Temperaturgradienten (8-12 Strahlungs-nächte) von Unter-, Mittel- und Oberhängen der Oberbergener Baßgeige (Itinerar C), von Rutzehähen (Itinerar I) und dem Blauhornsbühl (Itinerar K) zusammengestellt. Im extrem stabil geschichteten Inversionskern am Unterhang überschreitet die Temperaturzunahme, umgerechnet auf 100 m Höhenabnahme, durchweg 10°C , was auch in der regelmäßigen Einordnung dieser Hangabschnitte in die Temperaturklassen 3 und 4 zum Ausdruck kommt. Die geringeren Gradienten an den Oberhängen sind eine Folge der Annäherung an die synoptisch-regionale Inversionsgrenze und der durch den tropfenweisen Abfluß der Kaltluft hervorgerufenen höheren Turbulenz.

Tab. 13: Mittlere morgendliche hypsometrische Temperaturgradienten im Kaiserstuhl, bezogen auf eine Höhenzunahme von 100 m

BASSGEIGE (231.5-344 m ü.NN)		
Oberhang	(64.5-112.5 m über dem lokalen Talboden)	+1.9°C/100 m
Mittelhang	(23.5- 64.5 m " " " ")	+6.4 "
Unterhang	(0 - 23.5 " " " ")	+10.2 "
RUTZENHAHLEN (264-337 m ü.NN)		
Oberhang	(44 - 73 m über lokalem Talboden)	+3.8°C/100 m
Mittelhang	(20 - 44 m " " ")	+5.4 "
Unterhang	(0 - 20 m " " ")	+10.5 "
BLANKENHORNSBERG (187-280 m ü.NN)		
Oberhang	(54 - 93 m über der Niederterrasse)	+2.6°C/100 m
Mittelhang	(20 - 54 m " " ")	+4.7 "
Unterhang	(0 - 20 m " " ")	+12.5 "

2.8.2 Mittagskampagnen bei Strahlungswetter

2.8.2.1 Strahlungsklimatische Grundlagen der Temperaturverteilung

Für Gelände- und agrarklimatologische Untersuchungen ist außer der Kenntnis der graduellen Unterschiede der Benachteiligung durch nächtliche Tiefsttemperaturen diejenige der tagsüber eingestrahlt Energiemengen von grundlegender Bedeutung.

In Tab. 14 sind die Strahlungssummenwerte von Hängen unterschiedlicher Exposition und Inklination in der geographischen Breite des Kaiserstuhls für die gesamte Vegetationsperiode sowie für die im Weinbau besonders wichtigen Spätsommer- und Herbstmonate zusammengestellt. Demnach erhält z.B. ein ca. 30° geneigter Südhang in der Vegetationsperiode das Maximum der direkten Sonnenstrahlung; für SW- und SE-Hänge beträgt die optimale Inklination ca. 20°, und selbst ost- und westexponierte Hänge erhalten bei 10° Neigung noch annähernd so viel direkte Sonneneinstrahlung wie eine Ebene. Letztere bekommt gegenüber 30° geneigten Südhängen, 20° geneigten Südwest- und Südosthängen und 10° geneigten Westhängen respektive 87.8 %, 92.8 %, 93.3 % und 101.3 % der direkten Sonnenstrahlung. Dieses Verhältnis bezieht

sich auf die gesamte Vegetationsperiode, während der Abschnitte von größerer und kleinerer witterungsklimatischer Bedeutung einander ablösen. Da über die Qualität des Traubenmostes aber insbesondere die Herbstwitterung entscheidet (s. Kap. 1.3), kommt den Strahlungssummen des Septembers und Oktobers **hervorragende** Bedeutung zu. Eine Ebene erhält im Oktober nur ca. 60 % der Strahlungssumme eines Südhanges von 30° Neigung, bzw. nur noch 73 % eines Südwesthanges und 77 % eines Südosthanges von 20° Neigung. Auf einen 10° geneigten Westhang wird etwa die gleiche Energiemenge eingestrahlt wie auf eine Ebene.

Als Konsequenz des unterschiedlichen Energieinputs an Hängen resultiert bei jeweils gleichen Gesteins-, Boden- und Vegetationsverhältnissen eine unterschiedlich starke Erwärmung der Erdoberfläche, die wieder eine unterschiedlich starke Erwärmung der bodennahen Luftschichten zur Folge hat. Die Ausmessung der thermischen Konsequenzen, wie sie z.B. HARTMANN et al. (1959) oder VAN EIMERN (1968 c) durchführten, stößt in der Praxis auf besondere Schwierigkeiten, da kleinräumige Unterschiede im Erwärmungsgrad der Luft Ausgleichsströmungen und damit hochfrequente Temperaturschwankungen implizieren. Man beschränkt sich deshalb bei vielen geländeklimatologischen Untersuchungen auf die Kartierung von Inklination und Exposition sowie Horizonteingrenzung

Tab. 14: Summen der direkten Sonnenstrahlung an unterschiedlich orientierten Hängen in MJ/m² für 48°15' N, reduziert nach Maßgabe des mittleren prozentualen Sonnenscheins (berechnet nach Datenkollektiven bei BRANDTNER 1974)

EXPOSITION	Juli			August			September			Oktober			Veget.Per. April-Okt.		
Ebene	449			363			229			116			2216		
NE	424	386	337	332	291	243	197	159	121	89	62	39	2031	1787	1507
E	441	422	396	356	341	320	224	213	200	109	105	98	2175	2086	1961
SE	459	457	444	381	390	388	252	268	275	135	151	162	2327	2374	2361
S	467	471	461	392	410	416	265	293	311	147	173	194	2392	2496	2525
SW	460	459	447	383	392	391	255	274	284	139	158	172	2335	2388	2379
W	443	425	400	358	345	326	229	221	211	117	115	111	2188	2104	1984
NW	425	388	340	333	293	247	200	165	129	93	68	46	2038	1801	1522
	10°	20°	30°	10°	20°	30°	10°	20°	30°	10°	20°	30°	10°	20°	30°

I N K L I N A T I O N

und ordnet den Hängen anschließend die entsprechenden, tabellarisch vorliegenden Besonnungssummenwerte zu.

Werden nun aber Temperaturmeßfahrten zum Zeitpunkt des Temperaturmaximums durchgeführt, so muß bei der Wahl des Meßfühlers das in Kap. 2.3. erörterte Trägheitsproblem berücksichtigt werden. Nach VAN EIMERN (1955) schwankt die Lufttemperatur bei ungestörter Einstrahlung kurzfristig, d.h. im Zeitintervall von Sekunden bis wenigen Minuten, um 1 bis 2°C. Dies erklärt sich durch in Konvektionsblasen aus dem Bodenniveau aufsteigende, erhitzte Luftpakete und den damit verbundenen Ersatz durch kühlere Luft (thermische Turbulenz). Aus der Tatsache, daß sich letztere umso intensiver ausprägt, je stärker die vorherrschende Einstrahlung ist, resultiert für die Meßmethodik die Einsicht, daß sich für Mittagsmeßfahrten insbesondere die Frühjahrs- und Herbstmonate eignen, weil dann mit großen Einstrahlungsdifferenzierungen eine relativ geringe Energiemenge verbunden ist. Außerdem muß auf eine mehrfache Wiederholung der Meßkampagnen gedrungen werden, um sich repetierende Temperaturphänomene von reinen Zufallerscheinungen trennen zu können. Im folgenden werden von den insgesamt 9 bis 10 in jedem TG durchgeführten Meßkampagnen jeweils eine charakteristische Frühjahrs-, Sommer- und Herbstmeßfahrt vorgestellt. Sieben in diesem Zusammenhang weniger aussagekräftige Itinerare werden weggelassen. Bei der

dargestellten Größe handelt es sich wieder um die wahre Temperaturabweichung vom Basisstandort im Oberrheinischen Tiefland während des allgemeinen nachmittäglichen Temperaturhöchststandes. Es muß bei der Profilinterpretation beachtet werden, daß z.B. ein Osthang zu diesem Zeitpunkt sein Maximum bereits überschritten hat.

2.8.2.2 Testgebiet Zentralkaiserstuhl

Für die Darstellung der mittäglichen Temperaturmaxima im Krottenbachtal (Itinerar A) und der Differenzierung an süd- und nordexponierten Hängen (Itinerar C) wurden folgende drei charakteristische Mittagskampagnen ausgewählt:

- Frühjahrsmeßfahrt M 43 vom 6.5.1976
- Sommermeßfahrt M 48 vom 8.6.1976
- Herbstmeßfahrt M 23 vom 30.10.1975

Das Strahlungswetter der Maimessung, verursacht durch ein osteuropäisches Hoch, konnte auch zu der bereits in Kap. 3.8.1.1 vorgestellten Morgenmessung auf demselben Itinerar genutzt werden. Das Wetter des 8.6.1976 wurde durch ein skandinavisches Hoch bestimmt, welches die langanhaltende hochsommerliche Witterungsperiode einleitete. Der 30. Oktober 1975 stellt den Prototyp eines oberrheinischen Spätherbsttages mit später Auflösung der morgendlichen Bodeninverson dar (s. auch Kap. 2.8.3.1).

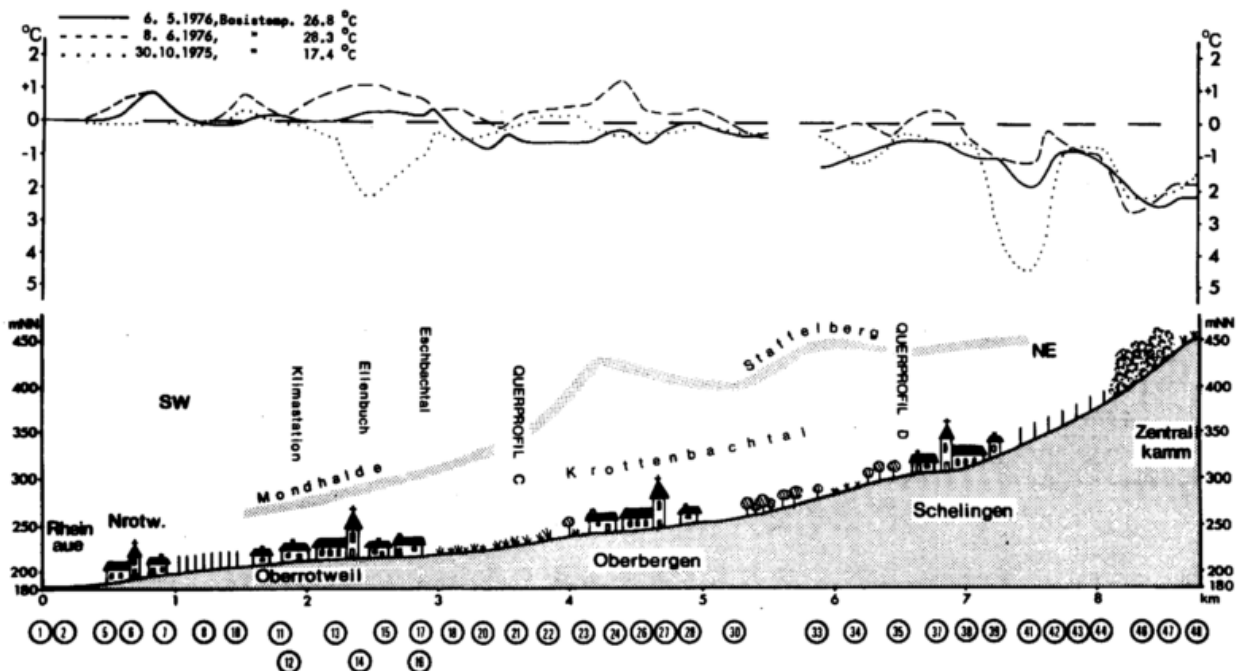


Abb. 28: Mittägliche Temperaturmaxima bei Strahlungswetter auf Itinerar A Krottenbachtal - Zentralkamm

ITINERAR A: Längsprofil des Krottenbachtals von der Rheinaue zum Zentralkamm, Abb. 28

Frühjahrsmeßfahrt M 43

Das Temperaturniveau der Rheinaue wird in Niederrotweil um 0.9°C übertroffen, jedoch pendelt der Wert auf dem Krottenbachschwemmkegel und in den locker verbauten talabwärtigen Ortsteilen von Oberrotweil erneut um die Basistemperatur. Im dicht verbauten Ortskern ist eine schwache Wärmeinsel von ca. einem halben Grad auszumachen. Ein ähnlicher Effekt kompensiert in Oberbergen die Temperaturabnahme mit zunehmender Höhe, so daß im Gegensatz zu den Feldgemüseflächen talab und talauf von der Ortschaft noch einmal die Rheinauentemperatur erreicht wird. Auch Schelingen ist mit 0.5°C unter Basistemperatur im Vergleich zu seinem Umland wärmer. Nach der Ortschaft sinkt im Schatten des Hohlwegs (40) und des Zentralkammwaldes die Temperatur auf 1.9° bzw. 2.5°C unter Basiswert. Auch die Grasmatten am Bahlinger Eck sind um ca. 2.2°C kälter als das Tiefland.

Sommermeßfahrt M 48

Im Gewinn Faulewaag und am Ausgang des Krottenbachtals zwischen Nieder- und Oberrotweil schwanken die Temperaturen um den Basiswert. Sie übertreffen diesen innerhalb der beiden Ortschaften um 0.9 bzw. 1.1°C . Der hohe Sonnenstand kurz vor dem Sommersolistitium bedingt eine starke Aufheizung selbst der engen Hauptstraße von Oberrotweil und hat Wärmeinseleffekte in der Größenordnung von 1°C zur Folge. Zwischen Oberrotweil und Oberbergen wird die Basistemperatur erstmals unterschritten. Oberbergen selbst zeigt mit 1.3°C über Basistemperatur eine ausgeprägte Wärmeinsel, weil auf die breite Hauptstraße die Einstrahlung besonders intensiv einwirken kann. Zwischen Oberbergen und Schelingen fällt die Temperatur auf ca. 0.4°C unter den Basiswert, was umgerechnet etwa einem hypsometrischen Temperaturgradienten von nur $0.5^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$ entspricht. In der Schelinger Wärmeinsel überschreitet die Temperatur den Basiswert nochmals um 0.4°C . Nach dem Ortsende setzt ein Temperaturrückgang ein, bis daß im Hohlweg (40) der Basiswert um 1.2°C und am beschatteten Waldrand (45,46) um 2.6°C unterschritten wird. Die Paßhöhe und das Bahlinger Eck (47, 48) sind um 1.8°C kälter als die Rheinaue.

Herbstmeßfahrt M 23

Im Gegensatz zu den beiden anderen Meßfahrten tritt im Herbst am Orts- eingang von Oberrotweil ein krasser Temperatursturz ein, der im eng ver- bauten Ortskern die Temperatur bis auf 2.2°C unter den Basiswert zurück- gehen läßt. Bei Ende Oktober bereits nur mittelhohem Sonnenstand befin- det sich die südliche Straßenhälfte während der Ortsdurchquerung bereits im Häuserschatten. Ähnlich, aber weniger stark ausgeprägt, liegen die Verhältnisse in Oberbergen und Sche- lingen, so daß die Dorfsiedlungen nunmehr als schwache "Kühleinseln" anzusprechen sind. Im Hohlwegschat- ten nach Schelingen tritt mit 4.5°C unter Tieflandsniveau die größte negative Abweichung aller Meßfahr- ten auf Itinerar A auf. Selbst der beschattete Waldrand (45,46) ist demgegenüber noch um 2°C wärmer. Mit nur 1.5°C unter Basistemperatur, an diesem Standort die geringste aller aufgetretenen Abweichungen, sind die Temperaturen am Zentralkamm trotz der exponierten Lage verhältnismäßig hoch.

ITINERAR C: Querprofil des Krotten- bachtals von der Baß- geige zum Kunzenbuck, Abb. 29

Frühjahrsmeßfahrt M 43

Am südwestexponierten Riedelrand an der oberen Baßgeige (50) ist es, 130 m über der Oberrheinebene, fast genauso warm wie dort. In den tiefe- ren Lagen tritt in steiler Südwest (55)- und Südexposition (58, 60) mit 0.3 bzw. 0.8°C über Basiswert sogar eine Überkompensation der Höhenab- nahme der Temperatur auf. Eine auf der Basis eines trockenadiabati- schen Temperaturgradienten von 1°C/ 100 m durchgeführte Berechnung der potentiellen Temperatur würde maxi- male Werte von ca. +1.7°C in Bezug auf die Oberrheinebene ergeben! Am nordwestexponierten Kunzenbuck hingegen wird der Basiswert um ca. 0.5 °C unterschritten. Das Mini- mum des Itinerars wird im Wald des Strümpfekopfes mit 2.3°C unter Ba- sistemperatur verzeichnet. Am Itinerarende ist es dann um 1.1°C wärmer als im Wald.

Sommermeßfahrt M 48

Ähnlich wie bei der Frühjahrsmeß- fahrt ist die obere Baßgeige nur wenig kühler als das Tiefland. Die höchsten positiven Abweichungen auf diesem Itinerar werden jedoch gut 100 m über der Ebene in Südwestex- position mit 1.2°C und 70 m über der Ebene in Südexposition mit 1.6°C

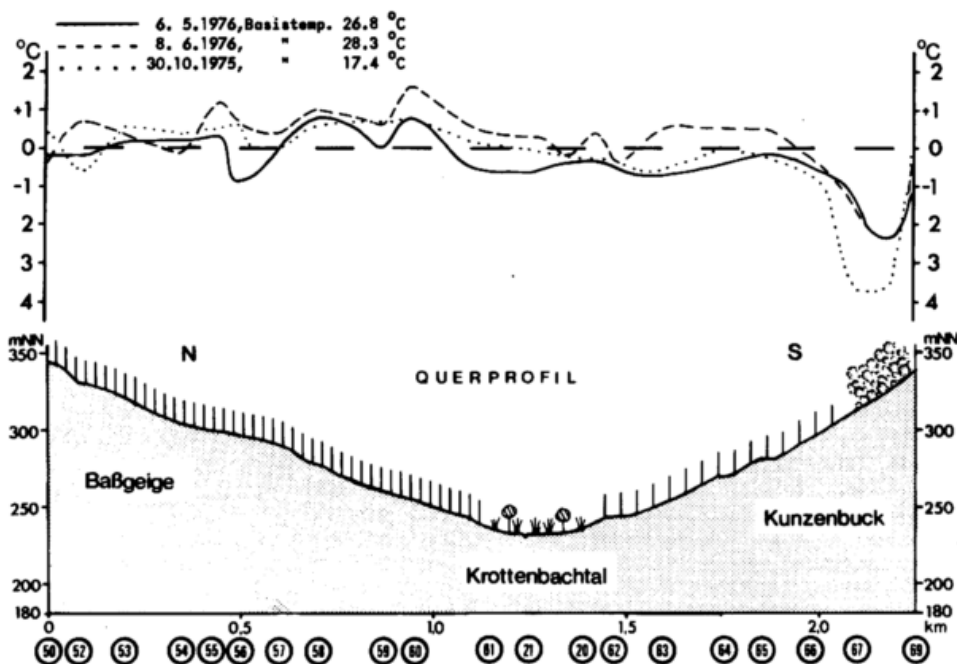


Abb. 29: Mittägliche Temperaturmaxima bei Strahlungswetter auf Itinerar C Baßgeige - Krottenbachtal - Kunzenbuck

über Basistemperatur gemessen! Im Krottenbachtal and am unteren Kunzenbuck schwankt die Temperatur um den Basiswert, der jedoch am oberen Kunzenbuck im Gegensatz zur Frühjahrs- und Herbstmeßfahrt um ca. 0.5°C übertroffen wird, ein Beispiel für die hohe thermische Turbulenz bei sommerlicher Einstrahlung. Im Strümpfekopfwald unterschreitet die Temperatur den Basiswert um dieselbe Größe wie im Frühjahr, und der Parkplatz verzeichnet denselben Wert wie der Itineraranfang an der Baßgeige.

Herbstmeßfahrt M 23

Diese Meßkampagne zeigt idealtypisch die Konsequenzen der herbstlichen Einstrahlungsdifferenzierung für die Temperaturverteilung unterschiedlich exponierter Hänge. So ist die gesamte günstig exponierte Baßgeige mit Ausnahme zweier Tälchen (52, 57) bis um 0.8°C wärmer als das Tiefland. Während das Krottenbachtal noch die Basistemperatur verzeichnet, wird diese am Kunzenbuck um 0.3 bis 0.7°C unterschritten. Im Strümpfekopfwald wird mit 3.7°C unter Basistemperatur das negative Minimum aller Kampagnen auf Itinerar C registriert.

2.8.2.3 Testgebiet Ostkaiserstuhl

Als Beispiel für die Mittagstemperaturen in der Tal- und Riedellandschaft des Ostkaiserstuhls wurden folgende Meßkampagnen auf Itinerar F ausgewählt:

Frühjahrsmeßfahrt M 29 vom 11.3.1976
Sommermeßfahrt M 59 vom 4.7.1976
Herbstmeßfahrt M 20 vom 24.10.1975

Am 11.3.1976 kam aus Nordrußland eingeflossene kontinentale Kaltluft unter dem Einfluß eines europäischen Zentralhochs zur Ruhe, so daß sonnige Vorfrühlingswitterung herrschte. Der 4. Juli 1976 fiel in die langandauernde hochsommerliche Witterungsperiode, während der die außertropische Westdrift blockiert war, und zählte zu den heißesten Meßtagen überhaupt. Der 24.10.1975 mit seinem ruhigen, wolkenlosen Herbstwetter war der erste Tag einer stabilen Hochdrucklage, die die Durchführung auch der beiden anderen vorgestellten Mittagskampagnen ermöglichte.

ITINERAR F: Längsprofil des Schambachtales vom Riedel Endhahlen ins Bötzingen Ried, Abb. 30

Frühjahrsmeßfahrt M 29

Am Itineraranfang auf dem Riedel Endhahlen wird die Basistemperatur des Tieflandes um ein halbes Grad unterschritten. Am südexponierten Riedelabstieg wird am Meisental (223) der Basiswert 100 m über dem Bötzingen Ried erreicht, im weiteren Talverlauf an der Obstplantage (225) nur um ca. 0.3°C unterboten. Auch im unteren Talteil wird 30 bis 70 m über der Ebene deren Temperatur nicht unterschritten, was sicher auf die allgemeine Südostexposition des Schambachtales bei gleichzeitigem Windschutz auf dem Talboden zurückzuführen ist. Ein deutlicher Wärmeinseleffekt ist bei Bötzingen nicht erkennbar, da vor den Frühjahrsäquinoctien die Sonnenhöhe für eine langanhaltende intensive Bestrahlung der Straßen nicht ausreicht.

Sommermeßfahrt M 59

Auf dem Riedel wird eine um 0.4°C tiefere Temperatur als im Tiefland verzeichnet. Ein Expositionseffekt ist im oberen Talabschnitt, in dem höhenbedingt der Basiswert nicht erreicht wird, nicht zu lokalisieren. Im unteren Talabschnitt wird an einer Schattenstelle die Tieflandstemperatur knapp unterschritten, sonst liegen die Temperaturen ca. ein halbes Grad darüber. Ähnlich wie in den Ortschaften des Krottenbachtales (Itinerar A) tritt bei der Sommermeßfahrt auch in Bötzingen mit 1.2°C über Basistemperatur, der maximalen Ortsüberwärmung aller Meßfahrten, eine ausgeprägte Wärmeinsel auf, deren Kern etwa in der Ortsmitte auf dem Platz vor der katholischen Kirche liegt.

Herbstmeßfahrt M 20

Das gesamte Temperaturprofil besitzt eine hohe Übereinstimmung mit demjenigen der Frühjahrskampagne. Dies gilt sowohl für das Unterschreiten des Basiswertes auf der Riedeloberfläche von Endhahlen am Itineraranfang, als auch für den überwärmten Sülabstieg (221-223), die Temperaturzunahme im oberen Schambachtal (227-230) und die Situation im unteren Talteil. Gleichfalls fehlt ein Wärmeinseleffekt, jedoch wird der Basiswert nicht wie in Oberrotweil unterschritten.

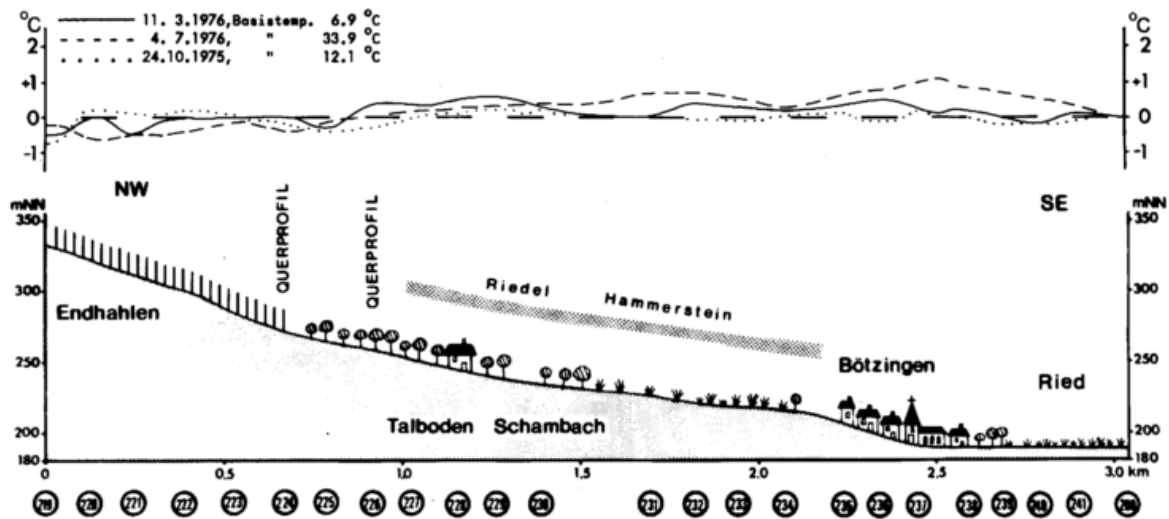


Abb. 30: Mittägliche Temperaturmaxima bei Strahlungswetter auf Itinerar F Schambachtal - Bötzingen

Insgesamt betrachtet bewirkt die geringere Höhen- und Inklinationsdifferenzierung der Ostplatten auch ausgeglichener Temperaturverhältnisse, wobei die Abschirmung gegen die südwestliche Hauptwindrichtung als positiver Effekt hinzutritt.

2.8.2.4 Testgebiet Südwestkaiserstuhl

Für die Darstellung der mittäglichen Temperaturverhältnisse in hoch gelegenen Weinbergsarealen (Itinerar J), auf west- und ostexponierten Hängen über Vulkanverwitterungsböden (Itinerar K) sowie nahe den Böschungen und über den Flächen von Großterrassen (Itinerare L und M) wurden folgende Meßkampagnen ausgewählt:

- Frühjahrsmeßfahrten M 36 vom 13.4.1976 (Itinerar J und K) und M 37 vom 21.4.1976 (Itinerar L und M)
- Sommermeßfahrt M 57 vom 3.7.1976
- Herbstmeßfahrt M 26 vom 31.10.1975

Beide Frühjahrskampagnen fallen in den Zeitraum sonniger, nahezu früh-sommerlicher Hochdruckwitterung. Die Sommerkampagne wurde im Rahmen der bereits mehrfach erwähnten extremen Hitzeperiode durchgeführt. Wie der im TG Ostkaiserstuhl zu Messungen genutzte 30.10.1975, so war auch der 31.10.1975 ein charakteristischer milder Spätherbsttag.

ITINERAR J: Kaiserstuhllaußenprofil Oberrheinebene - Ihringen - Kleinterrassenhänge am Lenzenberg, Abb. 31

Frühjahrsmeßfahrt M 36

Im Ortsbereich von Ihringen wird bereits bei der Frühjahrsmeßfahrt eine leichte Überwärmung festgestellt. Dies kann auf die gute Bestrahlung der in Nord-Süd-Richtung verlaufenden Straße zurückgeführt werden. Auch der untere, ESE-exponierte Schlichtenhang (345, 346; ca. 50 m über der Niederterrasse) weist ähnliche Temperaturen wie das Kaiserstuhlvorland auf, während der obere, NE-exponierte Hangabschnitt (347-349; ca. 80 m über der Niederterrasse) demgegenüber 0.5 bis 1.0°C kühler ist. Eine Temperaturzunahme von fast 2°C schließt sich im windgeschützten Hohlweg an. Der lockere Hochwald im oberen Dulltal bewirkt zum Zeitpunkt seines Laubausbruchs nur einen leichten Temperaturabfall auf 0.6°C unter die Basistemperatur. Die über 20° steilen west- bis südwestexponierten Rebhänge des oberen Lenzenberges (356, 357; 160-170 m über dem Tiefland) kompensieren nicht nur die Höhenabnahme der Temperatur; vielmehr wird an ihnen sogar das Maximum der Meßfahrt festgestellt. Die Riedeloberfläche am Itinerarende bleibt dagegen um 1.5°C hinter den Höchsttemperaturen an den Hängen zurück.

Sommermeßfahrt M 57

Im Gegensatz zur Frühjahrs- und Herbstmeßfahrt tritt das Maximum dieser Sommermeßfahrt bereits auf dem Bahnkörper (337) und auf der breiten Hauptstraße von Ihringen (338) ein. Am oberen Schlichten läßt sich ein Temperaturfall auf 1.1°C unter Basistemperatur feststellen. Der windgeschützte, zum Meßzeitpunkt

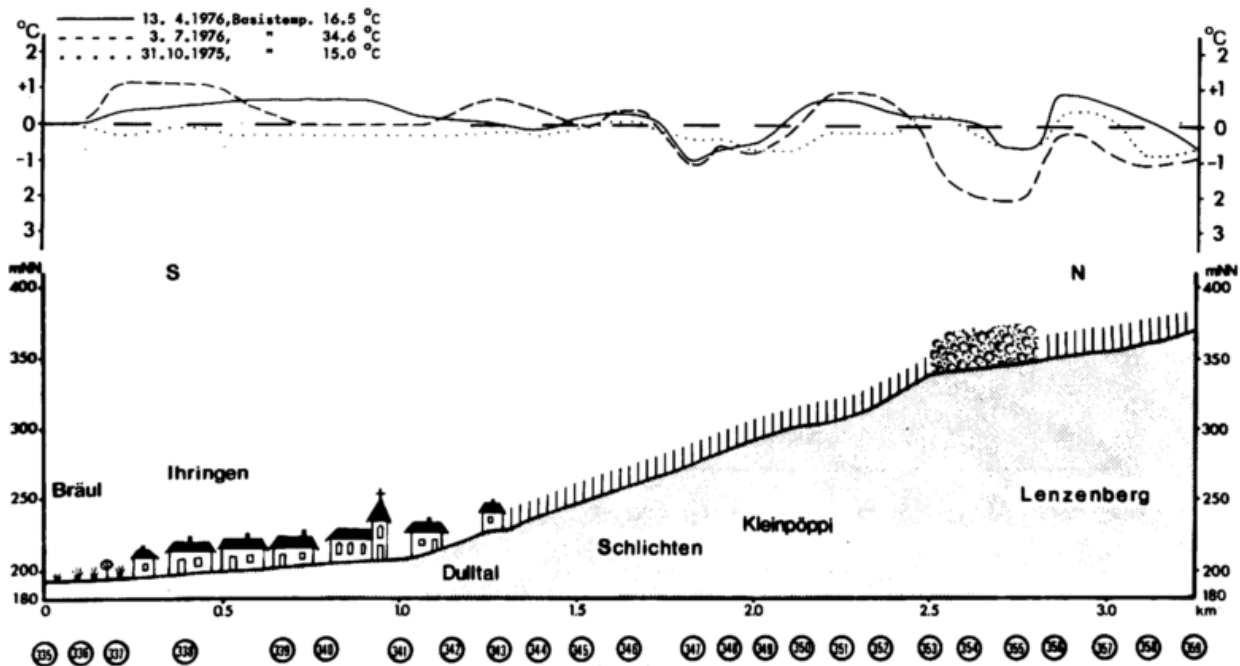


Abb. 31: Mittägliche Temperaturmaxima bei Strahlungswetter auf Itinerar J Ihringen - Lenzenberg

voll besonnte Hohlweg ist ca. 1°C wärmer als das Tiefland und bildet das sekundäre Maximum der Meßfahrt. Das Meßfahrtminimum ist im Schatten des Waldes mit 2.1°C unter Basistemperatur immer noch recht hoch. Am Lenzenbergwesthang wird im Gegensatz zur Frühjahrs- und Herbstmeßfahrt trotz eines Temperaturanstiegs um fast 2°C das Tieflandsniveau nicht mehr erreicht. Das Gleiche gilt auch für die beiden anderen Sommermeßfahrten auf diesem Itinerar. Am Itinerarende wird der Tieflandswert um ca. 1°C unterschritten.

Herbstmeßfahrt M 26

Wie bei den anderen vorgestellten Temperaturprofilen der Herbstmonate verbleibt das Temperaturniveau innerhalb der Ortschaft auf den bereits teilweise beschatteten Straßen unter dem Rheinebenenwert. Über der Basistemperatur liegen genau wie bei der Frühjahrsfahrt nur der untere Schlichtenhang (346), der süd-exponierte Sporn kurz vor dem Waldanfang (353) und der südwest-exponierte Lenzenberghang (357), an dem das Meßfahrtmaximum mit immerhin 0.4°C über Basistemperatur verzeichnet wird. Hohlweg und Waldstrecke sind kühler als die Ebene.

ITINERAR K: Profil von der Oberrheinebene über den Blankenhornsberg in den Talkessel von Oberbrunnen, Abb. 32

Frühjahrsmeßfahrt M 36 und Herbstmeßfahrt M 26

Die Temperaturprofile der Übergangsjahreszeiten lassen eine Bevorzugung des Westhanges hervortreten, an dem das Tieflandsniveau um ca. 1°C übertroffen wird. Maxima findet man vor der Steinmauer (364) und am steilen Oberhang (368, 369, 372). Der Schatten des Niederwaldes (370) reicht nur im Herbst aus, um ein klares Temperaturminimum zu verursachen. Am Osthang, dessen Tagesmaximum zum Meßzeitpunkt wohl bereits überschritten ist, schwanken trotz der Höhenlage die Temperaturen um den Basiswert. Die hohe Wärmekapazität des Tephrit und der Windschutz im Kessel von Oberbrunnen - Balschental halten die Temperaturen am Blankenhornsberg und am Talboden auf einem relativ hohen Niveau, das aber nicht an dasjenige des Westhanges heranreicht.

Sommermeßfahrt M 57

Das Sommerprofil ähnelt bei im ganzen größeren Schwankungen dem Herbstprofil. Am Westhang sind die positiven Abweichungen von der Basistemperatur mit 1.7°C vor der Steinmauer (364), 1.8°C am Unterhang (367) und 1.5°C

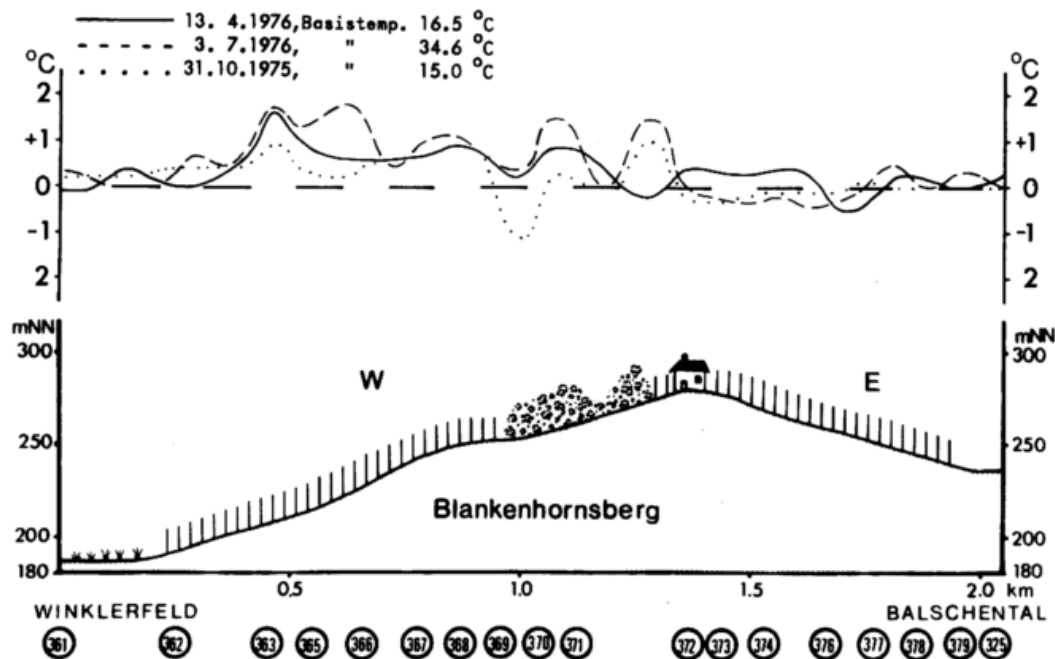


Abb. 32: Mittägliche Temperaturmaxima bei Strahlungswetter auf Itinerar K Rheinaue - Blankenhornsberg - Oberbrunnen

am Oberhang (372) besonders hoch. Die Osthangwerte bleiben zwar unter dem Tieflandniveau, unterschreiten es aber nur geringfügig. Als tiefster Wert aller Kampagnen wurden hier nur 0.6°C unter Basistemperatur (M 45) festgestellt. Die Talbodenwerte von Oberbrunnen (379, 325) stehen trotz größerer Höhe den Tieflandswerten nicht nach.

ITINERAR L: Profil von der Oberrheinebene auf die Großterrassenanlage am Fohrenberg und über die Großterrasse Riegersbuck (244-247 m ü.NN), Abb. 33

Frühjahrsmeßfahrt M 37, Sommermeßfahrt M 57, Herbstmeßfahrt M 26

Am Itinerarbeginn ist auf der Hangschleppe eine leichte Begünstigung des hier südostexponierten Obstbaumgürtels zu vermerken, dessen bei der Zusammenfassung in Kap. 2.8.1.1 erwähnter phänologischer Vorsprung hierin wohl seine wesentliche Begründung findet. An der Aufahrt auf die Großterrassenanlage am Fohrenberg besitzt eine hohlwegartig angelegte, in den Übergangsjahreszeiten beschattete Kurve (305) niedrige Werte, die von den Itinerar-maxima vor den südost- bis südexponierten, begrasteten Steilböschungen (306, 308) abgelöst werden. Die extremen Abweichungen traten an diesen Standorten bei den Meßfahrten

M 57 und M 82 auf und beliefen sich auf 1.4°C über der Basistemperatur. Auf der Großterrasse Riegersbuck geht bei allen drei Kampagnen die Temperatur um 1 bis 2°C auf ca. 0.5°C unter die Basistemperatur zurück. Erst an der südexponierten Innenböschung (312) kann bei der Frühjahrs- und Sommermeßfahrt ein Temperaturanstieg um ca. 1°C festgestellt werden. Bei der Querung der Großterrasse (313) unterschreitet das Temperaturniveau in den Übergangsjahreszeiten deutlich den Basiswert, während es bei der Sommermessung an diesen heranreicht. Der Außenrand der Großterrasse (314) oberhalb der südexponierten Böschung ist bei der Meßfahrt M 37 um ca. 0.7°C , bei der Meßfahrt M 26 um ca. 0.4°C wärmer als die Großterrassenfläche selbst. Dieser Effekt tritt hier bei ca. 70 % aller Meßfahrten auf und kann auf den Einfluß der von der darunter liegenden, günstig exponierten Böschung konvektiv aufsteigenden Warmluftblasen zurückgeführt werden. Er kann aber nur bei Windstille oder allerhöchstens einer sehr leichten Brise zum Tragen kommen. Die bodennahe Temperatur wird bei rebzeilensenkrechtem Windeinfall mit Geschwindigkeiten von ca. 2m/sec, bei in die Zeilen hineinwehendem Wind bereits ab 1m/sec "ausgeblasen" (BRANDTNER 1974). So genügen bei der Sommerfahrt offenbar Windgeschwindigkeiten von ca. 2m/sec aus Süd, um einen Temperaturabfall von 0.4°C an der Terrassenaußenkante hervorzurufen.

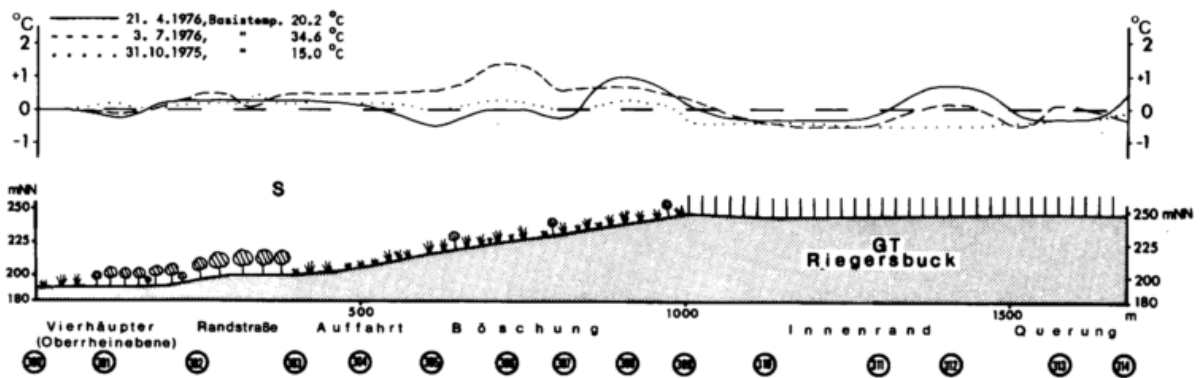


Abb. 33: Mittägliche Temperaturminima bei Strahlungswetter auf Itinerar L Vierhäupter - Großterrasse Riegersbuck

ITINERAR M: Profil über zwei hochgelegene Großterrassen am Fohrenberg, die Großterrasse Storck (270 m ü.NN) und das Gipfelplateau Littensbühl (295 m ü.NN), Abb. 34

Frühjahrsmeßfahrt M 37, Sommermeßfahrt M 57, Herbstmeßfahrt M 26

Der augenfälligste Standort dieses Itinerars ist bei allen drei Meßfahrten die südwestexponierte Steilböschung (319, 320) des Gipfelplateaus. Obwohl in einer Höhe von 100 m über dem Oberrheinischen Tiefland gelegen, wird dessen Temperatur bei der Sommermeßfahrt um 2.6°C ,

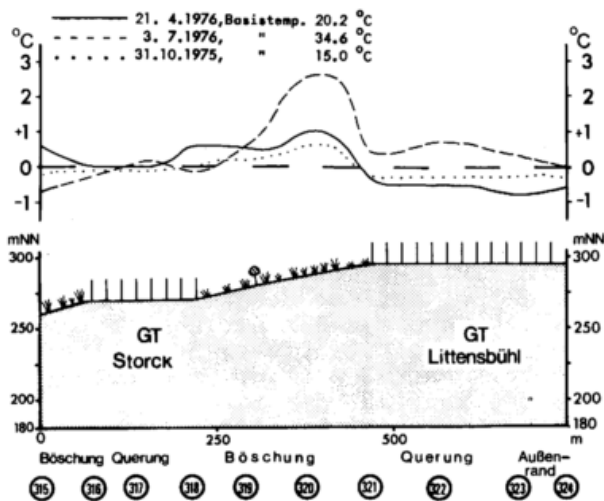


Abb. 34: Mittägliche Temperaturmaxima bei Strahlungswetter auf Itinerar M Großterrasse Storck - Großterrasse Littensbühl

der Frühjahrsmeßfahrt um 1°C und der Herbstmeßfahrt immer noch um 0.6°C übertroffen! Die in Südrichtung exponierten Böschungen am Riegersbuck und Littensbühl bilden damit die wärmsten Standorte der Itinerare am Fohrenberg. Zu ihren hohen Sommerabweichungen trägt sicherlich auch die geringe Verdunstung der während Hitzeperioden regelmäßig verdorrten Grasflächen bei. Das Gipfelplateau selbst unterschreitet bei der Meßfahrt M 37 den Tieflandwert um etwas mehr als ein halbes, bei der Meßfahrt M 26 um etwas weniger als ein halbes Grad Celsius. Zwischen Südwestböschung und Großterrassefläche besteht somit im Frühjahr eine Temperaturdifferenz von ca. 1.5°C , im Herbst von 1°C und im Sommer von 2°C .

Die wesentlichen Ergebnisse der mittäglichen Meßfahrten in den drei Testgebieten des Kaiserstuhls lassen sich wie folgt zusammenfassen:

1. Im allgemeinen verzeichnen bei Strahlungswetter zum Mittagstermin die am tiefsten gelegenen Standorte am Fuß des Kaiserstuhls die höchsten Temperaturen. Als absolute Maxima sind im Sommer Werte von 36 bis 39°C zu erwarten.
2. An Süd- und Südwesthängen des Kaiserstuhls wird bis an die Obergrenze des Rebgürtels die hypsometrische Temperaturabnahme durch den vergrößerten Energieinput zumindest kompensiert oder um 1.0 bis 1.5°C übertroffen. Als Beispiel wären die gesamte Baßgeige (Itinerar C, 60 bis 150 m über dem Vorland), der west- bis südwestexponierte Lenzenberghang (Itinerar J, Meßpunkte 356 und 357, 160 bis 170 m über dem Vorland) und der gesamte

Westhang des Blankenhornsberges (Itinerar K, 10 bis 90 m über dem Tiefland) anzuführen.

3. Ungünstig exponierte Rebhänge bleiben in ihrem Temperaturniveau vor allem während der Übergangsjahreszeiten um 0.5 bis 1.0°C unter den Tieflandsmaxima. Dies gilt z.B. für die nordexponierte Auffahrt auf den Kunzenbuck (Itinerar C, 40-120 m über dem Tiefland) und den ostexponierten Hang des Schlichten (Itinerar J, Meßpunkte 346-349, 60 bis 100 m über dem Tiefland). Die Weinbauobergrenze liegt deshalb z.B. am nordwestexponierten Kunzenbuck mit ca. 330 m ü. NN um 60 bis 70 m tiefer als an der südexponierten Baßgeige.
4. Dorfsiedlungen weisen im Sommer im Straßenniveau schwache Wärmeinseln in der Größenordnung von 1°C auf (Oberrotweil und Oberbergen, Itinerar A; Bötzingen, Itinerar F). Bei relativ tief stehender Sonne können in den Übergangsjahreszeiten beschattete Dorfstraßen aber auch ausgeprägte Kühlzonen darstellen und den Basiswert aus dem Vorland um mehr als 2°C unterschreiten (Oberrotweil, Itinerar A, Meßfahrt M 23 vom 30.10.1975).
5. Ähnlich liegen die Verhältnisse in den für eine Lößlandschaft wie den Kaiserstuhl charakteristischen Hohlwegen (z.B. auf Itinerar J, Meßpunkt 351 und 352, 307 und 318 m ü. NN, ca. 120 m über dem Tiefland). Sind sie voll besonnt, so kann dort die Temperatur Spitzenwerte erreichen wie z.B. am Meßpunkt 351, der bei der Sommerfahrt M 57 trotz der großen Höhenlage fast 1°C über dem Basiswert verzeichnete. Bei Beschattung treten verständlicherweise erheblich niedrigere Werte auf.
6. Die absolut höchsten positiven Temperaturabweichungen aller Itinerare wurden vor süd- bis südwestexponierten Böschungen von Großterrassen gemessen (Itinerare I und M, Meßpunkte 306, 308, 320). Hier wurden die Tieflandtemperaturen im Regelfall um mindestens 1°C, im Extremfall wie bei der Sommermeßfahrt M 57 oder der Herbstmeßfahrt M 82 um 2.6°C bzw. 2.1°C überschritten.
7. Die Temperaturgunst der Böschungen überträgt sich nicht auf die rebenbestandenen Flächen der Großterrassen. Nur deren Außen- und Innenränder können bei vorteilhafter Exposition der Böschungen, wie sie z.B. am

Riegersbuck (Itinerar L) vorliegt, und annähernder Windstille durch thermische Turbulenzen bzw. Rückstrahlung der Böschung positiv beeinflusst werden. Die Temperaturen entsprechender Standorte (Riegersbuck, Itinerar L, Meßpunkt 312 am Innenrand und Meßpunkt 314 am Außenrand) liegen dann um ein halbes bis ganzes Grad Celsius über den Werten der Großterrassenmitte.

2.8.3 Meßkampagnen bei anderen Wassertypen

Geländeklimatologische Untersuchungen werden im allgemeinen bei windstillem Strahlungswetter durchgeführt, da dann die größtmögliche Differenzierung der meteorologischen Parameter auf kleinem Raum auftritt. Messungen bei anderen Wassertypen sind aber zur Klärung spezieller Standortfragen wichtig. Wenn sich auch für mobile Messungen sicherlich der Strahlungstyp am besten eignet (ERIKSEN 1975), so heißt dies keinesfalls, daß nur er eine aussagekräftige Datenaufnahme gestattet. Vorauszusetzen ist lediglich eine Konstanz der Wetterbedingungen über 2-3 Stunden hinweg, wie sie durchaus bei allen Wassertypen auftreten kann.

2.8.3.1 Neutraltyp

Ein besonderes Charakteristikum des oberrheinischen Regionalklimas bilden seine Temperaturinversionen. Sie sind überwiegend an Antizyklonen gebunden und können zu allen Jahreszeiten auftreten. Bodeninversionen werden im Sommerhalbjahr durch die intensive Einstrahlung nach Sonnenaufgang rasch weggeheizt. Im Winterhalbjahr hingegen können nachts gebildete Nebel- und Hochnebeldecken tagsüber aufgrund der kürzeren Bestrahlungszeit und des niedrigeren Sonnenstandes nur zögernd oder garnicht mehr aufgelöst werden. Dies gilt in verstärktem Maße für eine topographische Hohlform wie den Oberrheingraben, dessen Randgebirge nachts Kaltluft liefern und gleichzeitig ihren Abfluß verhindern. Das Tiefland hat dann ein Wetterregime mit stark gedämpften Ein- und Ausstrahlungswerten. Oberhalb der Hochnebeldecke herrscht währenddessen stabiles Strahlungswetter in idealer Ausprägung. Andauer und Höhenlage der Inversion ist für den Lebensraum am Kaiserstuhl von erheblicher Bedeutung. In Abb. 35 sind am Beispiel von Itinerar E Vogelsangpaß - Oberschaffhausen 6 Temperaturprofile der Meßkampagnen M 19, 21-24 und 27

mit den wesentlichen Inversionsvarianten zusammengestellt. Bei ihrer Interpretation ist auf die Superposition von aerologischen, topographischen und baulichen Effekten zu achten.

Am Morgen des 30.10.1975 (Meßfahrt M 21) liegt das Oberrheinische Tiefland im Einflußbereich eines europäischen Zentralhochs. Das Temperaturprofil zeigt zu Sonnenaufgang eine scharfe Grenze unterhalb des Vogelsangpasses in einer Höhe von ca. 350 m ü.NN. Während vom Zentralkamm aus der Sonnenaufgang über dem Schwarzwald zu beobachten ist, hüllt dichter Nebel bis zum Meßpunkt 203 hinauf das Tiefland ein. Immerhin weist Oberschaffhausen noch eine bescheidene Wärmeinsel auf. Das Temperaturminimum liegt im Bötzingener Ried. Der Ausstrahlungsschutz des Nebels läßt aber nur leichten Frost (Reif) aufkommen. Wie aus der Vormittagsmeßfahrt (M 22) hervorgeht, dauert die Inversion drei Stunden später in den tieferen Lagen bis ca. 240 m ü.NN (50 m über dem Tiefland) noch an.

Mit 11.9°C ist im Kaiserstuhlvorland zwar ein Temperaturanstieg von mehr als 12°C festzustellen, doch werden im Bergland oberhalb der Inversion reale Temperaturen von 16 bis 17°C gemessen. Der tiefe Sonnenstand und die hohe Albedo des Nebels verzögern seine Auflösung im Tiefland, während der Kaiserstuhl indessen bereits nebelfrei und um ca. 4°C wärmer ist. Bei der Nachmittagsmessung (M 23) sind Temperaturinversion und Nebel verschwunden, das gesamte Itinerar verzeichnet Einstrahlungswetter. An der Paßhöhe deutet sich ein hypsometrischer Temperaturgradient von 0,8°C an. Das Itinerarminimum von 4°C unter Basistemperatur tritt im Schatten des Talhangs zwischen den Meßpunkten 205 und 208 auf. Die beschattete Bergstraße von Oberschaffhausen läßt die erwähnte Kühlzone erkennen, während die breiten Straßenzüge am Bahnhof (216, 217) etwas wärmer sind als das Ried (200). Am frühen Abend (M 24) bereitet sich eine erneute Inversionsbildung mit einer markanten Grenze bei 380 m ü.NN (90 m über dem Tiefland) vor.

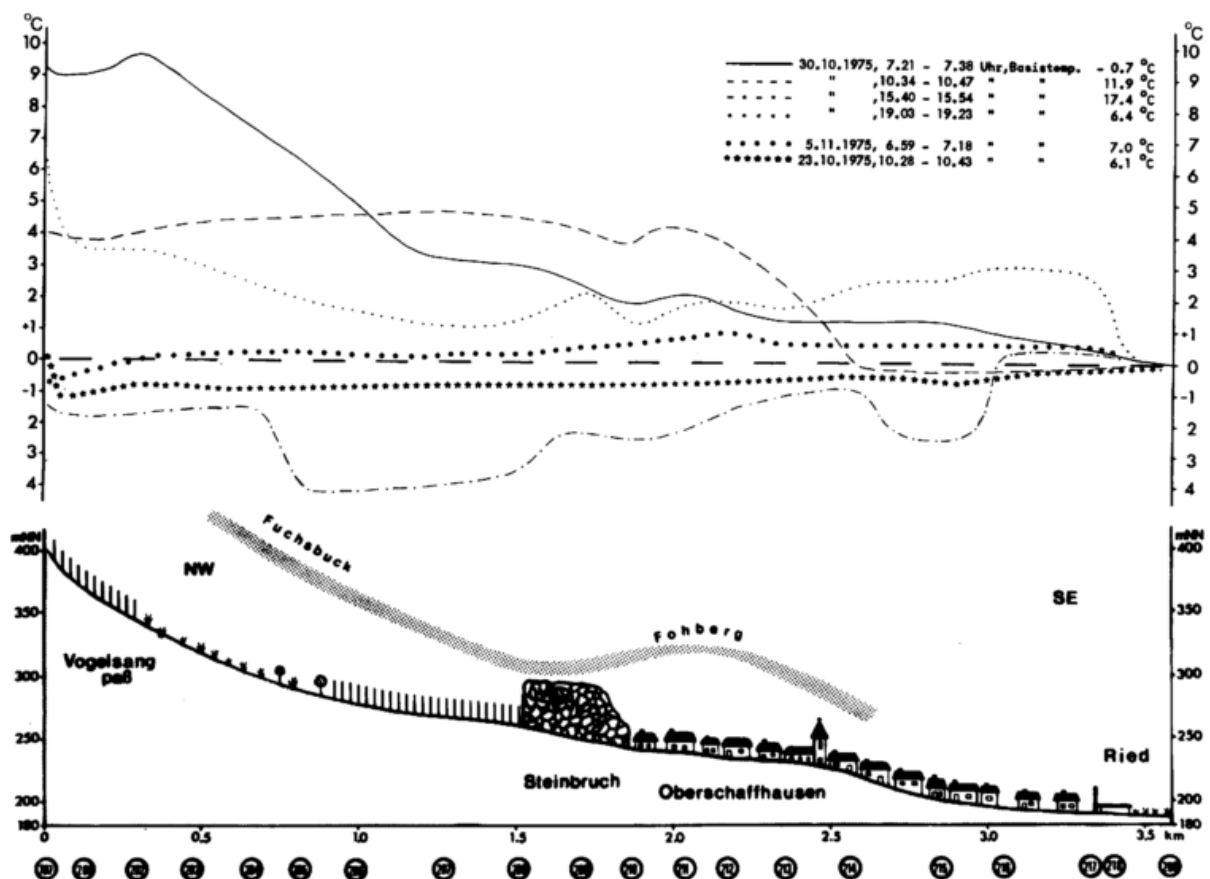


Abb. 35: Temperaturprofile von Itinerar E Vogelsangpaß - Oberschaffhausen während Auflösung und Neubildung einer Inversion (30.10.1975) im Vergleich zu einer Morgen (5.11.1975)- und Mittagsituation (23.10.1975) beim Neutraltyp

Oberschaffhausen ist mit 3°C über der Basistemperatur wesentlich wärmer als das Ried, die Vogelsangpaßhöhe verzeichnet jedoch um mehr als 6°C höhere Werte als das Kaiserstuhlvorland. Bis zum Unterschreiten des Taupunktes unterliegt das Itinerar noch dem Strahlungstyp, der erst nach einsetzender Nebelbildung vom Neutraltyp abgelöst wird. Die geschilderte Inversionslage mit zögernder Nebelauflösung in den späten Vormittagsstunden und neuerlicher Temperaturumkehr am Abend ist ein Charakteristikum der Altweibersommer- und Frühherbstwitterung am Kaiserstuhl. Im weiteren Herbstverlauf und im Winter löst sich dann die Hochnebeldecke einer dynamischen Absinkinversion nicht mehr auf. Eine derartige klassische Neutraltyp-Situation, bei der die Hochnebelgrenze oft in einer Höhenlage von 800-1000 m ü.NN zu beobachten ist (W. PEPLER 1925) und somit den ganzen Kaiserstuhl überdeckt, zeigt das morgendliche Temperaturprofil vom 5.11.1975 (Meßfahrt M 24, Abb. 35). Am Vogel-sangpaß unterschreitet die feucht-kalte Nebelluft den Basiswert um ca. 0.8°C , im Oberschaffhausener Tal herrscht Isothermie und die Siedlungswärmeinsel beschränkt sich auf ca. 1°C über Basistemperatur. Im Zuge dynamischer Absinkbewegungen kann die Inversionsgrenze aber auch so weit herunterkommen, daß der gesamte Zentralkaiserstuhl als "Insel im Nebelmeer" auftaucht und von der Temperaturumkehr profitiert, während seine tieferen Randlagen und das gesamte Tiefland unter verminderter Einstrahlung, Sichtbehinderung, Nebelnässen und gegebenenfalls Reifglätte zu leiden haben. Daß dabei auch die zentralen Talzüge um Schelingen und Vogtsburg begünstigt sind, wird durch die sehr kleine Zahl der Herbst- und Wintertage mit Nebel, die in Schelingen im Vergleich zu Oberrotweil, Lilliental oder Eichstetten beobachtet werden, besonders unterstrichen (VON RUDLOFF 1957). In ähnlicher Weise liegt am späten Vormittag des 23.10.1975 (Meßfahrt M 19, Abb. 35) der Vogel-sangpaß nur knapp unter der Inversionsgrenze, die im Bereich des zentralen Kaiserstuhls "aufgeweicht" ist. Er hat bereits um ca. 1°C höhere Temperaturen als das Oberschaffhausener Tal, das ebenso wie das Tiefland vom Nebel eingehüllt wird.

2.8.3.2 Böenwetter- und Zyklonaltyp

Vom Strahlungstyp unterscheidet sich der Böenwettertyp im wesentlichen durch die höhere Windgeschwindigkeit, der Zyklonaltyp außerdem durch

eine gedämpfte Strahlungsbilanz. Windeinfluß spielt im Weinbau eine bedeutsame Rolle. Im allgemeinen sieht die Winzerschaft eine leichte Brise nicht ungern, trägt sie doch z.B. zur raschen Abtrocknung eines nassen Bestandes bei und hilft somit Pilzkrankheiten wie die Botrytis zu verhindern. Ausgesprochene Luvhänge bieten jedoch nicht die für den Qualitätsweinbau notwendige Klimagunst, weil die Pflanzen bei starkem Wind zur Verringerung der Transpiration ihre Spaltöffnungen schließen, was eine Verkürzung der zur Photosynthese verfügbaren Zeit bedeutet, und weil ein kräftiger Austausch gerade auch bei gleichzeitig intensiver Einstrahlung die für eine hohe Bestandestemperatur notwendigen Wärmeumsätze unterbindet. Bei nächtlicher Ausstrahlung erschwert turbulente Durchmischung allerdings auch das Ansammeln von Kaltluft. Die folgenden Abbildungen 36-40 zeigen mögliche morgendliche und mittägliche Temperaturverteilungen in Tallagen (Itinerar A), an klein- und unterrassierten Hängen (Itinerare C und K) sowie auf Großterrassen (Itinerar N) bei Böen- und Zyklonaltypen. Die dabei herrschenden Windrichtungen aus dem Süd- und Nordsektor sind für den Oberrheingraben charakteristisch.

ITINERAR A: Längsprofil des Krottenbachtals von der Rheinaue zum Zentralkamm - Morgenkampagnen beim Böenwetter- und Zyklonaltyp im Vergleich zum Strahlungstyp, Abb. 36

Am Temperaturlängsprofil durch das Krottenbachtal bei Böenwetter fällt die trotz Windgeschwindigkeiten von ca. 5 m/sec aus SSW sehr ausgeprägte Bodeninversion am Basismeßpunkt 1 in der kaiserstuhlnahen Rheinaue auf. Das weitere Profil weist kleinräumige Temperaturunterschiede bei gleichzeitiger Temperaturzunahme von ca. 5 auf ca. 7°C über Basistemperatur bis in eine Höhe von etwa 330 m ü.NN auf. Sekundäre Temperaturminima befinden sich an windgeschützten Standorten in Oberrotweil an der Tal-mündung von Ellenbuch (15), im Oberdorf von Oberbergen (27) und im Hohlweg ostwärts von Schelingen (40). Im Vergleich zu einem mittleren Temperaturprofil bei Strahlungswetter fehlen eindeutig abzugrenzende Siedlungswärmeinseln ebenso wie niedrige Temperaturen auf Talböden. Bemerkenswert sind auch die starken kleinräumigen Unterschiede in der Temperaturverteilung, die nicht als ortsfeste

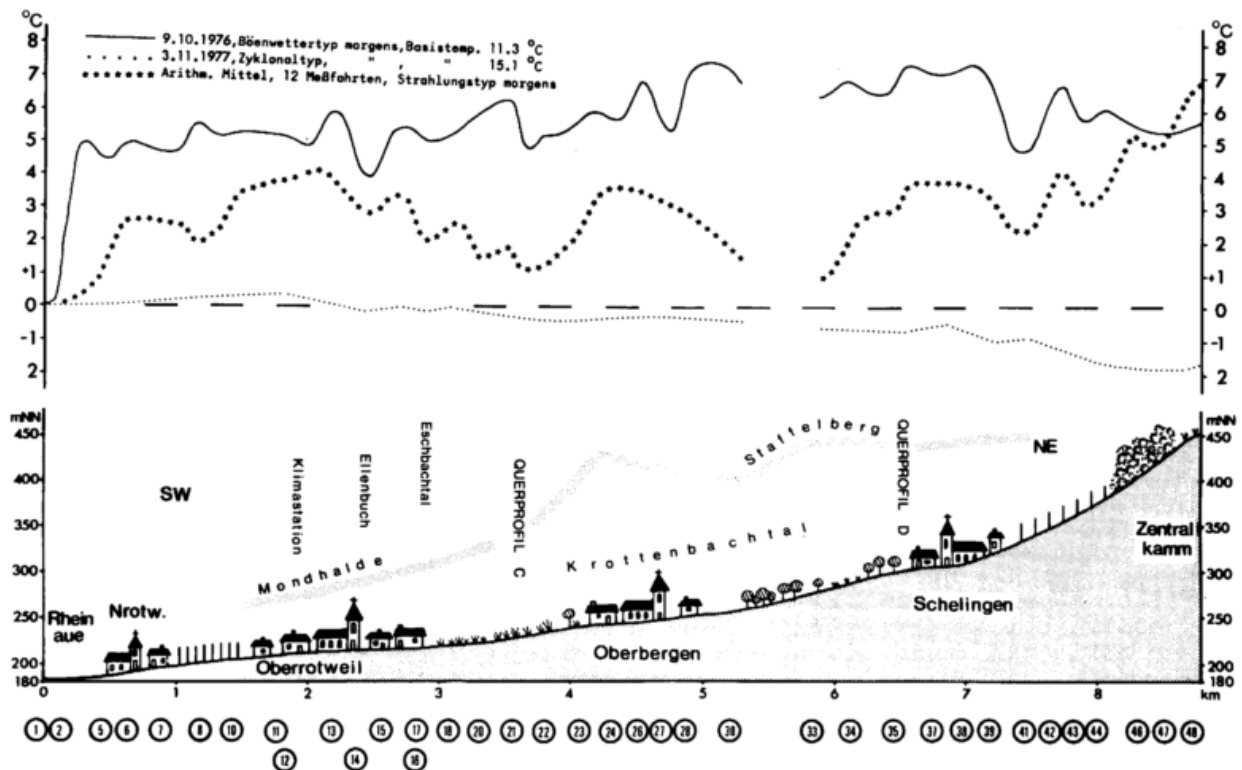


Abb. 36: Morgendliche Temperaturverteilung beim Böenwetter- und Zyklonal-
typ im Vergleich zum Strahlungstyp auf Itinerar A
Krottenbachtal - Zentralkamm

Eigenschaften, sondern als zeitliche Veränderung als Folge der Böigkeit des Windes angesehen werden müssen, und die oberhalb 330 m ü.NN einsetzende Temperaturabnahme mit wachsender Höhe. Beim Zyklonal-
typ stellt sich hingegen auf dem gesamten Itinerar der zu erwartende, nahezu ideale hypsometrische Gradient von ca. 0.7°C ein, da Gegenstrahlung der geschlossenen Wolkendecke und Turbulenz keine Kaltluftbildung ermöglichen. Die noch zu erkennenden Siedlungswärmeinseln in einer Größenordnung von $< 0.5^{\circ}\text{C}$ über Umgebungstemperatur liegen im Grenzbereich der Meßgenauigkeit.

ITINERAR K: Profil von der Oberrheinebene über den Blankenhornsberg in den Talkessel von Oberbrunnen - eine Morgenkampagne beim Böenwettertyp im Vergleich zum Strahlungstyp, Abb. 37

Bei einer Windgeschwindigkeit von ca. 5 m/sec aus Süd verzeichnet die Rheinaue am Südwestrand des Kaiserstuhls beim Böenwettertyp nur eine gering ausgeprägte Bodeninversion von ca. 1°C . Am westexponierten Luvhang des Blankenhornsberges liegt eine hypsometrische Temperaturabnahme vor, während sein ostexponierter Hang vom Windschutz des Föhrenberges profitiert und deshalb eine dem Strahlungstypprofil ähnliche Temperaturverteilung besitzt. Der Temperaturabfall von $> 4^{\circ}\text{C}$ zwischen Kulmination (373) bzw. Basistemperatur und dem Talkesselboden (325) unterstreicht dessen Kaltluft- und Frostgefährdung, die sich selbst bei einer mäßigen Brise einstellt. Charakteristisch für austauschärmere Standorte wie den Wald (370) ist der sofort einsetzende Temperaturrückgang und der große Unterschied der

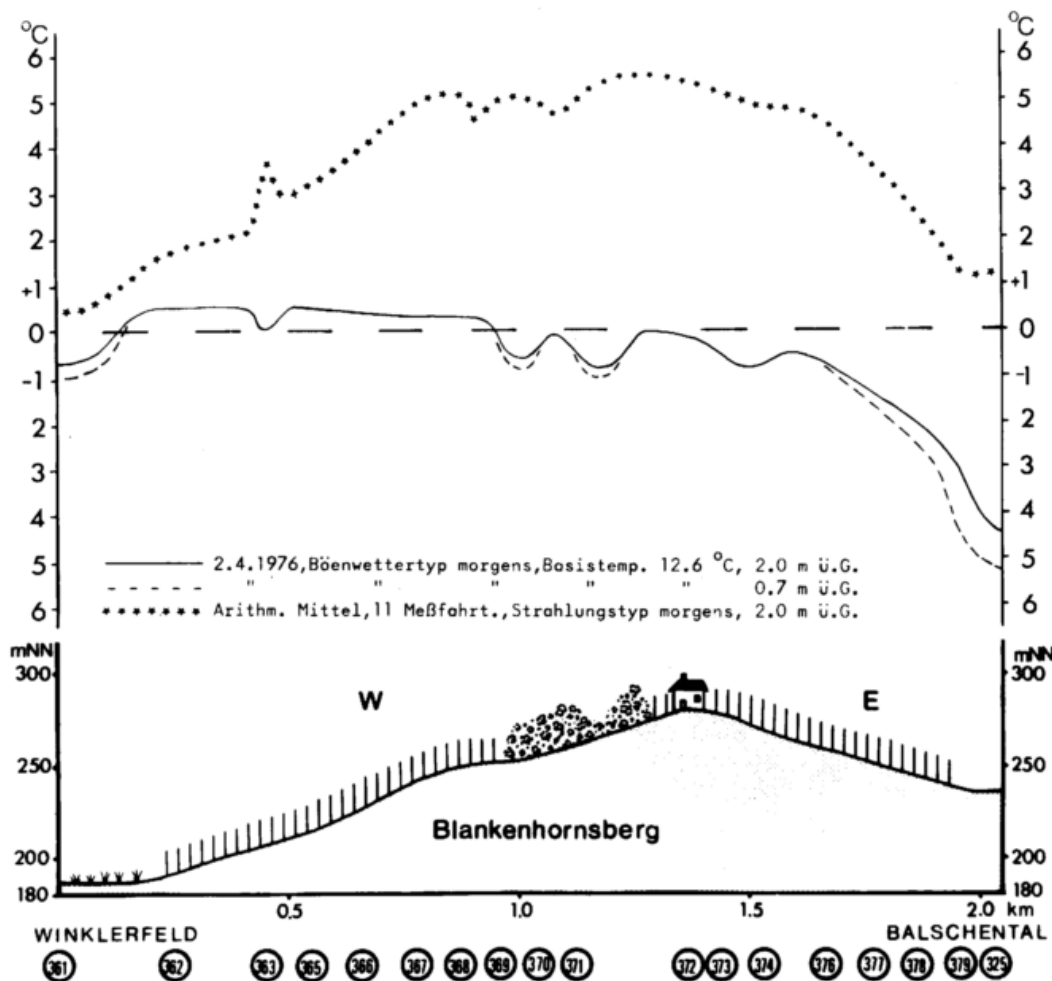


Abb. 37: Morgendliche Temperaturverteilung beim Böenwettertyp im Vergleich zum Strahlungstyp auf Itinerar K Rheinaue - Blankenhornsberg - Oberbrunnen

beiden Meßniveaus in 2.0 m und 0.7 m über Grund, der im Talkessel von Oberbrunnen/Balschental fast 1°C beträgt.

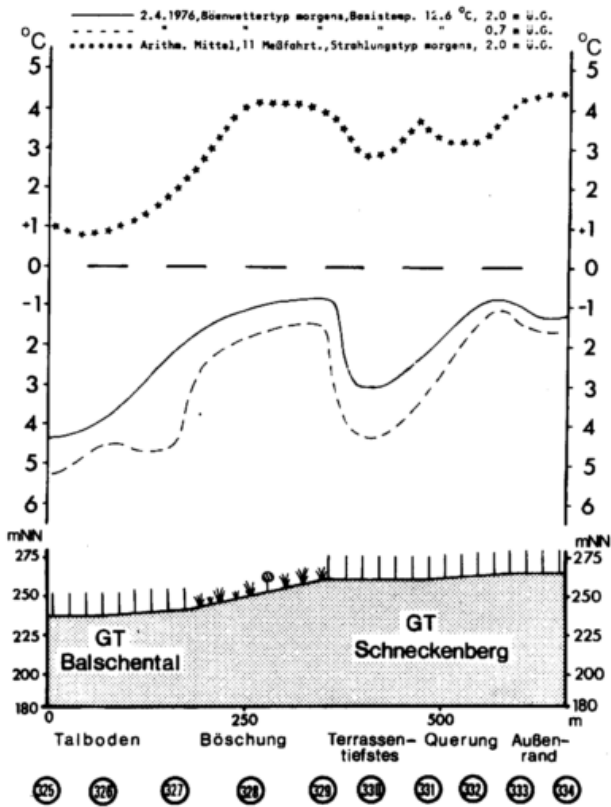
ITINERAR N: Profil vom Balschental über die Großterrasse am Schneckenberg (259 - 264 m ü.NN) - eine Morgenkampagne beim Böenwettertyp im Vergleich zum Strahlungstyp, Abb. 38

Die Temperaturprofile von Itinerar N schließen sich an die in der vorangegangenen Abbildung vorgestellten des Blankenhornsberges an. Das Böenwetterprofil hat eine dem Strahlungswetterprofil ähnliche Konfiguration mit Minima auf dem Balschentalboden und am Großterrassen-Tiefpunkt (330), den beiden am besten vor dem Südwind geschützten Standorten. Die Itinerarmaxima befinden sich an der Böschung und am

Großterrassen-Außenrand. Die Großterrasse Riegersbuck in Luvlage ist mit im Basistemperaturniveau liegenden Werten vergleichsweise wärmer, nur an ihrem Innenrand bildet sich ein sekundäres Minimum mit ca. 1.3°C unter Basiswert.

ITINERAR C: Querprofil des Krottenbachtals von der Baßgeige zum Kunzenbuck - Mittagskampagne beim Böenwetter - und Zyklonaltyp, Abb. 39

Zum Mittagstermin liegen die beiden beim Böenwetter- und Zyklonaltyp erstellten Temperaturprofile in gesamter Länge unter dem Basiswert im Kaiserstuhlvorland. Die in der Exposition begründete Gunstlage der Baßgeige wird aber trotz der bei beiden Kampagnen bestehenden Luvsituation im Vergleich zum windgeschützten Kunzenbuck nicht vollkommen aufgehoben. So übertrifft



die untere Baßgeige die Höhen am gegenüberliegenden Talhang beim Böenwettertyp um knapp ein halbes Grad Celsius und beim Zyklonaltyp immerhin noch um 0.2 bis 0.3°C. Bei letzterem gestattet die nach einem Frontdurchgang auflockernde Bewölkung von 7/8 bereits die Inwertsetzung der Expositionsgunst. Beide Profile besitzen ihr Minimum im Wald des Kunzenbucks. Das Böenwetterprofil zeigt jedoch insgesamt sehr viel Unruhe und ein vielleicht auf einen Düseneffekt zurückzuführendes sekundäres Minimum auf dem Krottenbachtalboden, während beim Zyklonaltyp mit seiner Dominanz der hypsometrischen Temperaturabnahme gerade dort das Maximum liegt.

Abb. 38: Morgendliche Temperaturverteilung beim Böenwettertyp im Vergleich zum Strahlungstyp auf Itinerar N Balschental - Großterrasse Schneckenberg

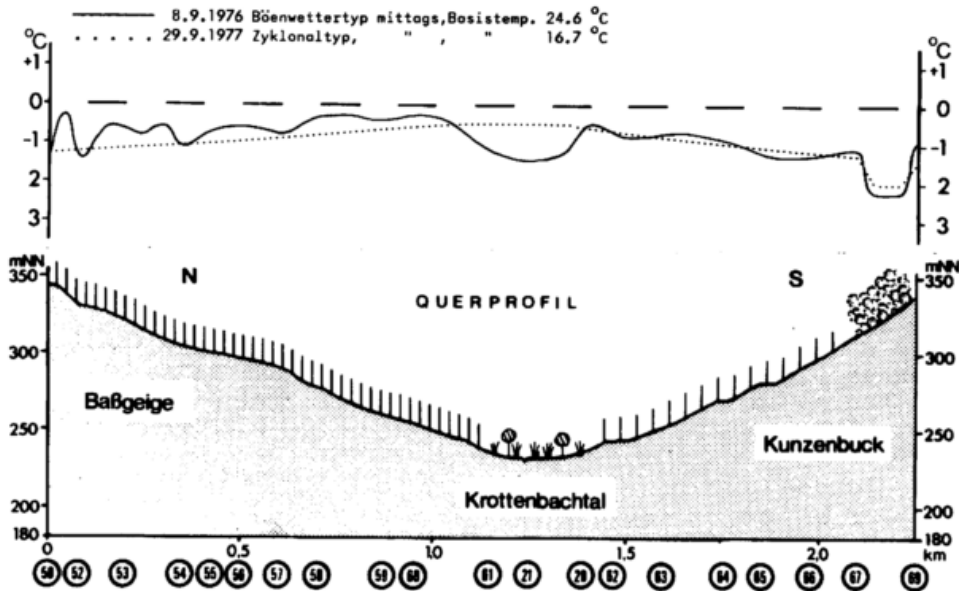


Abb. 39: Mittägliche Temperaturverteilung beim Böenwetter- und Zyklonaltyp auf Itinerar C Baßgeige - Krottenbachtal - Kunzenbuck

ITINERAR N: Profil vom Balschent-
tal über die Groß-
terrasse am Schnecken-
berg (259-264 m ü.NN) -
Mittagskampagnen beim
Böenwetter- und Zyklon-
altyp, Abb. 40

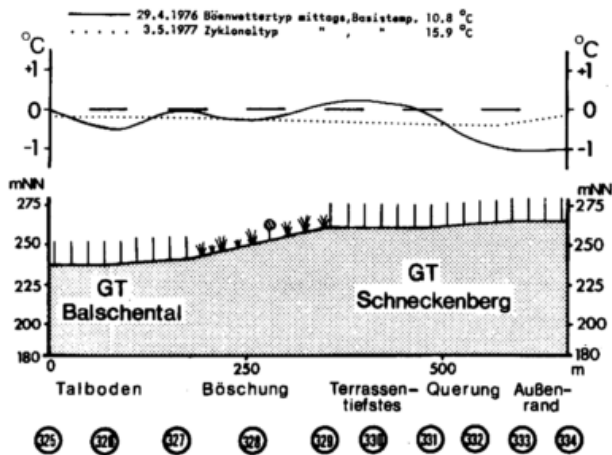


Abb. 40: Mittägliche Temperatur-
verteilung beim Böenwetter-
und Zyklonaltyp auf Itine-
rar N
Balschental - Großterrasse
Schneckenberg

Über die Temperaturverteilung auf einer windexponierten Großterrasse bei Zyklonal- und Böenwetter unterrichten die beiden Profile von Itinerar N. Von besonderem Interesse ist die Böenwettersituation: Während die Temperatur im Balschental und an der Terrassenböschung um den Basiswert schwankt, wird dieser auf der Großterrasse selbst und an deren Außenrand um 1°C unterschritten, was zweifellos auf die Zerstörung einer autochthonen Luft-haut im Bestand durch den mit ca. 8 m/sec wehenden Nordnordwestwind zurückgeht.

Diese Feststellung führt weiter zu der Frage, ob eine Großterrassierung auch die lokalen Windverhältnisse im Umlegungsgebiet beeinflusst. Zur Lösung dieses Problems können die im Rahmen der vorgestellten Untersuchung vorgenommenen ambulanten Windmessungen leider nicht hinzugezogen werden, da sie nur als notwendige Ergänzung zu den Meßfahrten dienten. Sehr viel umfangreichere Messungen der Windgeschwindigkeit führte BECKER (1977b) vor und nach der Umgestaltung des Ihringer Abtsweingartens in eine Großterrassenanlage an festgelegten Koordinatenpunkten durch. Ein eindeutiger Nachweis der von ihm vermuteten höheren Windbelastung schei-

terte jedoch. Es steht aber außer Zweifel, daß die hohen Steilböschungen in Luvlagen eine Vergrößerung der Turbulenz und eine Erhöhung der Windgeschwindigkeit verursachen. Schon KAISER (1954) konnte über der Kante einer 10 m hohen und mit 3 bis 6 m/sec angeströmten Terrasse eine Zunahme der Windgeschwindigkeit um 50 - 65 % beobachten (s. Abb. 41; vgl. auch VAN EIMERN 1971). Besonders schwer wiegt insbesondere, daß die windstarke Zone nicht am Terrassenoberrand endet, sondern leewärts noch bis ca. 100 m darüber hinaus

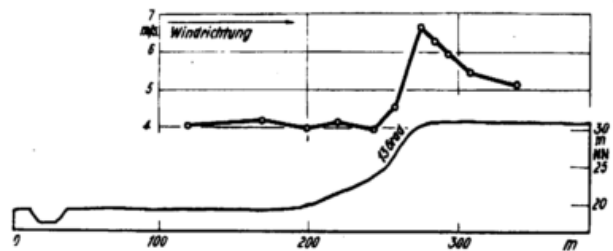


Abb. 41: Zunahme der Windgeschwin-
digkeit an einer vom Wind
angeströmten Terrasse; Meß-
höhe 1.5 m ü.G.
(aus KAISER 1954)

zu verfolgen ist. Experimente im Windkanal, die DARMER (1967) im Rahmen ökologischer Untersuchungen zur Rekultivierung ähnlich wie Großterrassenanlagen geböschter und terrassierter Halden des Rheinischen Braunkohlenreviers durchführte, bestätigen weitgehend die Ergebnisse von KAISER hinsichtlich der Windgeschwindigkeit. Die Versuche ermöglichen aber außerdem auch Aussagen über den Turbulenzgrad (Schwankungsbreite der Windgeschwindigkeit in % der mittleren Anströmgeschwindigkeit). Hierbei traten mit 18 - 20 % die ungünstigsten Werte auf Terrassen im Lee angeströmter Böschungskanten auf, während im Luv der Halde nur ein Turbulenzgrad von 2 - 8 % gemessen wurde. Auf die Kaiserstühler Verhältnisse übertragen bedeutet dies, daß bei den im Oberreingraben dominierenden Windrichtungen Südsüdwest und Nordnordost auf in diesen Richtungen exponierten Großterrassen mit einer erheblichen Erhöhung der Windbelastung zu rechnen ist. Ähnliches gilt aber auch für ostexponierte Anlagen, da gerade Strahlungswetter häufig mit Winden aus dem Ostsektor verbunden ist (vgl. HORNEY 1975). Die höhere Windbelastung ist deshalb neben dem verringerten Energieinput und der verstärkten Kaltluftstagnation als dritter Hauptfaktor für

die bei Großterrassierung zu beobachtende Verschlechterung der thermischen Verhältnisse anzuführen. Die Winzer versuchen dieser Tatsache durch Errichten von Bretterwänden und Spannen von Kunststoffplanen an den Außenrändern der Großterrassen zu begegnen.

3 THERMALBILDER

Das Ziel einer genügend genauen kartographischen Darstellung geländeklimatischer Parameter läßt sich bei ihrer punkt- oder profilhaften Aufnahme oft nicht erreichen, will man sich nicht von vornherein auf ein sehr kleines Testgebiet beschränken. Es soll deshalb in Kapitel 3 untersucht werden, inwieweit der Einsatz von Fernerkundungsmethoden - in diesem Fall von einem Flugzeug aus aufgenommene Thermalbilder - neue Möglichkeiten erschließt.

3.1 Theoretische Grundlagen

Die von einem schwarzen Körper emittierte Gesamtstrahlung S hängt von dessen absoluter Temperatur ab (Stefan-Boltzmann'sches Gesetz):

$$S = \sigma T^4 \quad [W/cm^2]$$

(σ = Proportionalitätskonstante
 $8,26 \cdot 10^{-11} [W/cm^2 K^4]$)

Glücklicherweise sind die meisten auf der Erde vorhandenen natürlichen Materialien annähernd schwarze Strahler. Somit kann aus einer Messung der emittierten Strahlung eines Körpers auf dessen Temperatur geschlossen werden. Bei der technischen Lösung dieser theoretischen Überlegung entstehen allerdings erhebliche Probleme. Zum einen ist die von der Erde emittierte Strahlung auf Grund der Erdoberflächentemperaturen z.B. im Verhältnis zur Sonne nur sehr gering, zum anderen liegt das Emissionsmaximum λ_{max}

der Erde nicht im sichtbaren Bereich, sondern im mittleren Infrarot bei ca. $10 \mu m$ (Wien'sches Verschiebungsgesetz):

$$T \cdot \lambda_{max} = const.$$

Außerdem kann nun keineswegs die von der Erde ausgehende Gesamtemission zur Oberflächentemperaturmessung von einem Flugzeug oder Satelliten aus verwendet werden, da die Atmosphäre in einigen Wellenlängenbereichen sehr kräftige Absorptionsbanden besitzt, für die vor allem

Wasserdampf und CO_2 verantwortlich sind. Es darf deshalb nur derjenige Emissionsanteil gemessen werden, der durch die sogenannten "Infrarotfenster" verhältnismäßig ungestört die Atmosphäre passiert. Das wichtigste Fenster liegt dabei im Bereich von $8 - 14 \mu m$. Erst die Herstellung von geeigneten Halbleitermaterialien brachte die Lösung dieses Problems.

Fehlerdiskussion

1. Wie aus Tab. 15 hervorgeht, ist die emittierende Erdoberfläche kein idealer schwarzer Strahler. Der Sensor empfängt eine um

Sandstein	93-97 %
Lehm, Ton, Ackerboden	93-95 %
Beton	94-97 %
Asphalt	95-96 %
verschiedene Gräser	97-98 %
verschmutztes Wasser	96-98 %

Tab. 15: Emissionsvermögen verschiedener Materialien im Spektralbereich $8-14 \mu m$ (aus GOSSMANN 1977; nach LORENZ 1973a)

- 2 - 4 % zu geringe Energiemenge. Dieser Fehler wird teilweise durch Reflexion von Gegenstrahlung kompensiert und kann in der vorliegenden Untersuchung vernachlässigt werden. Es wird mit bewußter Unschärfe "Strahlungstemperatur" mit "Oberflächentemperatur" gleichgesetzt.
2. Das bei Tagesbefliegungen auftretende Problem der reflektierten direkten Sonnenstrahlung kann ebenfalls unberücksichtigt bleiben, da ihr Anteil um wenigstens zwei Zehnerpotenzen kleiner ist als die emittierte Strahlungsmenge (z.B. tritt bei einer Oberflächentemperatur von $10^\circ C$ eine Verfälschung von $0.04^\circ C$ ein; vgl. LORENZ 1973 a).
3. Von größerer Bedeutung ist der sogenannte Zwischenschichteinfluß, d.h. die Verfälschung der Meßsignale durch die Absorption und Eigenemission der zwischen Meßpunkt und Sensor liegenden Luftschicht. Für diesen Störfaktor, der trotz der Beschränkung der Detektion auf den Wellenlängenbereich von $8-14 \mu m$ nicht ganz ausgeschlossen werden kann, berechneten LORENZ (1969 b) sowie SHAW und IRBE (1972) Korrekturdiagramme. Durch sie kann die Temperaturverfälschung mit guter

Näherung abgeschätzt werden. In 900 (300) m ü.G. aufgenommene Meßdaten einer Oberflächentemperatur von 15 (40)°C sind bei einer Lufttemperatur in Flughöhe von 21 (26)°C, einer relativen Feuchte von 60 % und einem konstanten Temperaturgradienten von 0,6°C/100 m um ca. 0.5 bis 1.0 (3.0)°C zu hoch (zu niedrig)⁺. In diesen Größenordnungen liegt der absolute Fehler bei den Morgen (Mittags)flügen des Flugzeugmeßprogramms im Stockwerk von 500 bis 800 m über Grund. Er ist aber für die in den folgenden Kapiteln behandelten Fragestellungen zur räumlichen Anordnung von wärmeren und kälteren Flächenarealen ohne Bedeutung, da sich ihre relativen Temperaturunterschiede praktisch nicht verändern. Bei Flughöhen von 3500-3800m ü.G. kommt dem Zwischenschichteinfluß allerdings bereits eine größere Bedeutung zu. Will man bei der Bearbeitung aus solch großer Höhe aufgenommener Thermalbilder nicht auf mathematische Korrekturprogramme (z.B. LOWTRAN 3 von SELBY und MC CLATCHEY 1975) oder auf durch Bodenmessungen empirisch-statistisch gewonnene Korrekturwerte zurückgreifen, so muß zu relativen Temperaturangaben übergegangen werden.

3.2 Aufnahme und Verarbeitung von Thermalbildern im Rahmen des Fluzeugmeßprogrammes (FMP)

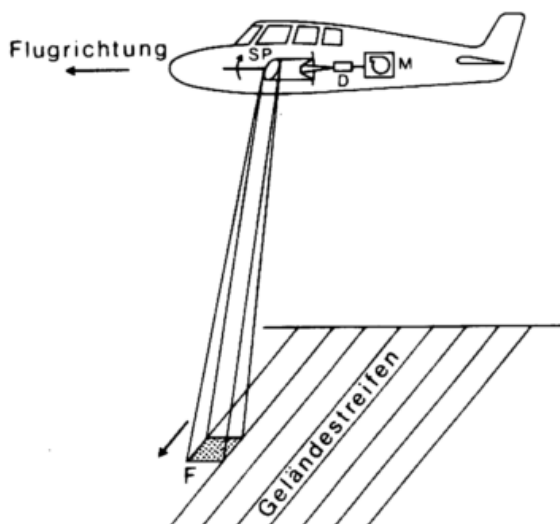
Über Zielsetzung und Durchführung des FMP liegt eine ausführliche Dokumentation vor.^{o)} So soll an dieser Stelle nur so weit darauf eingegangen werden, als es für das Verständnis von Aufnahme und Verarbeitung des vorliegenden Bildmaterials notwendig ist. Das vom Bundesministerium für Forschung und Technologie geförderte FMP (1974-1977) diente als Vorbereitung deutscher Wissenschaftler

⁺) berechnet nach Diagrammen bei LORENZ (1969 b).

^{o)} Berichte zum Symposium Flugzeugmeßprogramm vom 29. bis 31. August 1977 in der Technischen Universität Hannover. Bundesministerium Forschung und Technologie, Forsch.-Ber. W 78 - 04, Eggenstein - Leopoldshafen 1978.
Wahl, M.: Das erdwissenschaftliche Flugzeugmeßprogramm. BMFT Forsch.-Ber. W 78-31, Eggenstein-Leopoldshafen 1978

auf künftige internationale Satelliten- und SPACELAB-Programme durch Erprobung und Entwicklung geeigneter Fernerkundungstechniken (remote sensing) und ihrer gezielten Anwendung u.a. auf dem Gebiet der Land- und Forstwirtschaft (SCHRÖDER und WAHL 1977). Von besonderer Relevanz für das Teilgebiet der Agrar- und Forstklimatologie war dabei die Fernerkundung der Erdoberflächentemperaturverteilung. Die ersten Untersuchungen mit speziellen geländeklimatologischen Fragestellungen liegen erst etwa ein Jahrzehnt zurück. Pionierarbeit leisteten dafür in Deutschland v.a. LORENZ (1962; 1966; 1967 a,b; 1969 a; 1970 b) und in Schweden MATTSSON (1969 a,b; 1970). In den USA verwandten BARTHOLIC et al. (1970) diese Methode zur Feststellung der Oberflächentemperaturverteilung sowohl in einer Frostnacht zur Organisation von Schutzmaßnahmen als auch am Tage für Fragen der künstlichen Bewässerung. Mit Überlegungen zum Frostschutz texanischer Zitruskulturen beschäftigten sich NIXON und HALES (1975). In Mitteleuropa ergeben sich beim Anbau frostempfindlicher Kulturpflanzen ähnliche Fragen. So stellt z.B. die Abgrenzung von zu meidenden kaltluftgefährdeten Geländeteilen im Weinbau ein bis jetzt noch nicht befriedigend gelöstes Problem dar. Von Önologen mit besonderem Interesse verfolgt, bot sich während des FMP der Kaiserstuhl als geeignetes Testobjekt für die Erprobung von Fernerkundungsmethoden hinsichtlich ihrer Eignung für die Lösung von Abgrenzungsfragen an (Kap. 3.3.1). Den zweiten Schwerpunkt bildete die vergleichende Interpretation von Thermalbildern klein- und großterrassierter Weinberge des südwestlichen Kaiserstuhls (Kap. 3.3.2). Dabei sollte auch geprüft werden, inwiefern die Ergebnisse der mobilen Lufttemperatur- durch die Oberflächentemperaturmessungen bestätigt werden. Eine erste Vorbefliegung des Kaiserstuhls im Rahmen des FMP fand am 6.6. 1975 statt. Zusammen mit den zu diesem Zeitpunkt bereits angelaufenen Meßfahrten diente sie zur Festlegung von Flugrouten über den Kaiserstuhl. Die drei Hauptbefliegungskampagnen wurden vom 28.3.-2.4., vom 28.4.-1.5. und vom 15.-16.7.1976 durchgeführt. Eine Herbstkampagne fiel der ungünstigen Witterung zum Opfer. Die Zentraleinheit des im Meßflugzeug installierten Sensorenpaketes war ein multispektraler Zeilenabtaster M2S der Firma Bendix. Dieses Gerät registriert (neben der hier

nicht interessierenden reflektierten Globalstrahlung) die Emission der Erdoberfläche im Wellenlängenbereich von 8.0-13.0 μm . Zur Aufnahme eines größeren Gebietes werden einzelne Geländestreifen quer zur Flugrichtung "abgetastet" und aneinandergereiht, wie es in Abb. 42 schematisch dargestellt ist. Die von einem Flächenelement F ausgesandte Wärmestrahlung fällt im



Prinzip der Zeilenabtastung

Abb. 42: Prinzip der Zeilenabtastung (unter Verwendung von ALBERTZ 1976)

Flugzeug auf ein um seine eigene Achse rotierendes Spiegelprisma SP und wird dann umgelenkt und fokussiert auf einen Detektor D geleitet. Dieser wandelt die Strahlung in ein elektrisches Signal um, welches verstärkt und auf einem Magnetband M gespeichert wird. Bei jeder Drehung des Spiegels um seine zur Flugbahn parallele Achse wird ein Geländestreifen abgetastet, dessen einzelne Flächenelemente aneinandergereiht eine Bildzeile ergeben. Der Abtaster zeichnet in der Sekunde ca. 10^4 Flächenelemente auf. Ihre Größe wechselt dabei mit ihrer Lage zur Flugachse und mit der Flughöhe. Bei 800 (3800) m ü.G. werden direkt unterhalb der Flugachse ca. 2×2 (9.5×9.5) m^2 , am Außenrand des abgetasteten Streifens ca. 3×3 (14×14) m^2 als ein Flächenelement erfaßt (VÖLGER 1975). Bei richtiger Synchronisation von Flug- und Spiegelrotationsgeschwindigkeit entsteht - aufgezeichnet in Form von digitalen Signalen - aus den nebeneinandergelegten Bildzeilen ein paßgetreues Thermalbild der abgetasteten Erdoberfläche. Mit der Wahl des günstigen Spektralbe-

reiches im Infrarotfenster von 8-13 μm , der synchron zum Abtastvorgang vorgenommenen Temperaturregistrierung an zwei Eichkörpern, die absolute Temperaturangaben ermöglichen, der Meßsignalaufzeichnung auf Magnetband und ihrer späteren digitalen Auswertung werden wesentliche Forderungen von LORENZ (1973b) berücksichtigt. Oberflächentemperaturunterschiede innerhalb eines Thermalbildes, die auf eine verschiedenen weite Ablage der aufgenommenen Flächenelemente von der Flugachse zurückzuführen wären (LORENZ 1970 b), konnten - offenbar wegen der relativ großen Flughöhe ü.G. also relativ geringen Differenzen im Auftreffwinkel des Abtasters - nicht festgestellt werden. Trotzdem wurden sicherheitshalber die äußersten Randbereiche eines Flugstreifens nicht in die Auswertungen einbezogen.

Das Sensorenpaket und sein Träger, das Forschungsflugzeug D-28 "Skyservant", sowie die Bildaufzeichnungs-, Bildkonvertierungs- und Bildverarbeitungsanlagen wurden von der Deutschen Forschungs- und Versuchsanstalt für Luft- und Raumfahrt (DFVLR) bereitgestellt. Für jede Kampagne stand nur ein fest vereinbarter Zeitraum von knapp zwei Wochen zur Verfügung. Die Entscheidung über einen Flug erfolgte in Absprache zwischen der Einsatzleitung des Flugzeugs und den beteiligten Universitätsinstituten. Ähnlich wie bei den Meßfahrten erforderten die Befliegungskampagnen als "Schönwettermethode" eine genaue Analyse der Großwetterlage, des subregionalen Wittertyps und der eigenen Augenbeobachtungen. Generell war das Meßflugzeug 2 Stunden vor Sonnenaufgang (Morgenflug), während des Sonnenhöchststandes zwischen 11.30 und 15.00 Uhr MEZ (Mittagsflug) und direkt nach Sonnenuntergang (Abendflug) im Einsatz, wobei die Flughöhen jeweils 1000, 2000 und 4000 m ü.NN betragen. Die Bodenkontrollmessungen, die synchron mit den Befliegungen unterhalb der Flugroute durchgeführt wurden, setzten sich zusammen aus

- Meßfahrten auf den beschriebenen Itineraren, um Vergleichs- und Kontrollwerte der Lufttemperatur zu den ertasteten Oberflächentemperaturen zu bekommen,
- ambulanten Messungen der Temperatur ausgewählter Testflächen mit einem Infrarotstrahlungsthermometer (KT 24 der Firma Heimann), um später aus dem Vergleich von Boden- und Flugmessung den atmosphärischen Störeinfluß abschätzen zu können,

- ambulanten Messungen der Windrichtung und -geschwindigkeit an den in Kap. 2.4 aufgeführten Geländepunkten,
- einer stationären Erfassung von Lufttemperatur, relativer Feuchte, Windrichtung und -geschwindigkeit in 2 m ü.G. an einer Wetterstation der DFVLR auf dem Littensbühl,
- Radiosondenaufstiegen im Oberrheinischen Tiefland, die von der Landesanstalt für Umweltschutz und einem Meßzug der Bundeswehr durchgeführt wurden.

Die Verarbeitung der im Meßflugzeug aufgezeichneten und anschließend auf nutzerfreundliche, computercompatible Magnetbänder (CCT) umgesetzten Daten erfolgte am "Digitalen Interaktiven Bild-Auswerte-System DIBIAS" der DFVLR. Es besteht im wesentlichen aus einem Prozeßrechner mit Plattenspeicher und Terminal als zentraler Einheit, Magnetbandlesegerät für die Eingabe der CCTs und einem Zeilendrucker, sowie einem Dicomed Flying Spot Scanner zum Belichten von Filmmaterial bei der Ausgabe. Die Verarbeitung der Bilder kann interaktiv am TV-

Tab. 16: Ablauf des FLUGZEUGMESSPROGRAMMS (1974-1977) am Kaiserstuhl Sommerbefliegung 15.-16. Juli 1976

Sensorausrüstung für Thermalbildaufnahme:	11-Kanal-Zeilenabtaster, Typ M ² S, Firma Bendix; effektives Abtastfeld 100°, 803 Bildpunkte/Zeile, Öffnungswinkel 2.5 mrad, Spektralbereich von Kanal 11 $\Delta\lambda = 8.0-13.0\mu\text{m}$, Auflösungsgenauigkeit $\Delta T = 0.1^\circ\text{C}$; gewählte Schwarzkörperrechnungen $+5/+35^\circ\text{C}$ (morgens), $+10/+55^\circ\text{C}$ (mittags), $+10/+40^\circ\text{C}$ (abends); maximale Temperaturschwankung der Schwarzkörper $\pm 0.25^\circ\text{C}$, Anzahl der Temperaturstufen: max. 256					
Sensorträger:	Meßflugzeug Do-28 D-2 "Skyservant", Fluggeschw. bei der Aufnahme 220-260 kmh					
Navigation:	Mittags Sichtflug nach Landmarken, abends und morgens Dopplerradareinsatz und Blitzleuchtenorientierung					
Bodenkontrolle:	Lufttemperaturmeßfahrten M 60-64 synchron zu den Befliegungen auf den genannten Itineraren; ambulante Messung der Oberflächentemperatur ausgewählter Testflächen mit einem Handradiometer; meteorologische Meßstation der DFVLR am Littensbühl (Temp., Feuchte, Wind)					
Ausgewertete Befliegungen des Kaiserstuhls:	Termin	Datum	Uhrzeit (MEZ)	Flughöhe	Lufttemp. Flughöhe	Testgebiet
	Abendflug	15. 7.76	23.05 - 23.06	2000 mNN	+ 13 °C	Südwest-Kaiserst.
	Morgenflug	16. 7.76	2.21 - 2.27	4000 mNN	0 °C	Ost- u. Zent."
	"	16. 7.76	3.34 - 3.36	4000 mNN	0 °C	West-Kaiserst.
	"	16. 7.76	4.13 - 4.14	1000 mNN	+ 21.5 °C	Südwest-Kaiserst.
	Mittagsflug	16. 7.76	14.34 - 14.35	1000 mNN	+ 26 °C	" "
Datenaufzeichnung:	Digitalisiert auf Magnetband (HDDT) mit einem 14-Spur-Magnetbandgerät Ampex AR 1700 im Flugzeug					
Datenumformung:	Übertragung der im Flugzeug aufgenommenen Rohdaten in nutzerfreundliche, computercompatible Magnetbänder (CCT) mit Hilfe einer Bildkonvertierungsanlage					
Datenverarbeitung:	Am Digitalen Interaktiven Bild-Auswerte-System DIBIAS, im wesentlichen bestehend aus Prozeßrechner mit Plattenspeicher und Bedienungskonsole, Magnetbandeinlesegerät, Zeilendrucker, Dicomed Flying Spot Scanner zum Belichten von Filmmaterial bei der Ausgabe und TV-Farbschirm Comtal als interaktiver Einheit					
	<ul style="list-style-type: none"> - Einlesen der CCTs (thermischer Kanal) in DIBIAS - Festlegung der gewünschten Bildszene - Panoramaentzerrung - eventuell Verkleinerung oder Vergrößerung der Szene - Anwendung von Bildverbesserungsprogrammen (Kontrastverstärkung) - Gleitendes Mittel über 5x5 Bildelemente - Vorgabe von Temperaturintervallen (Umfang z.B. 0.5, 1.0, 5.0°C) entsprechend den sieben gewünschten Stufen - Belegung des Thermalbildes mit Falschfarbenäquidensiten - Ausgabe des Äquidensitenbildes über Dicomed als Dia (6x6 cm) in Farbe - Ausgabe des Thermalbildes über Dicomed als Dia (6x6 cm) in SW 					
Datenauswertung:	Erkennen und Interpretieren von Sachverhalten und -zusammenhängen unter Einbezug der Bodenkontrollmessungen durch den Experimentator					

Farbschirm Comtal vorgenommen werden. Die Entwicklung von DIBIAS und seiner Module lag beim Institut für Sensortechnik der DFVLR in Oberpfaffenhofen. Die genauen System- und Programmbeschreibungen können dem DIBIAS-Handbuch, DFVLR 1976, entnommen werden.

Über die Abfolge der Verarbeitungsschritte am DIBIAS informiert die Übersicht Tab. 16. Die Bildszenen aus den Kaiserstühler Testgebieten wurden dabei linear kontrastverstärkt als qualitativ interpretierbare Schwarz-Weiß-Thermalbilder ausgegeben. Zum Zwecke einer quantitativen Auswertung wurden von derselben Szene außerdem Farbäquidensiten gemischter Ordnung hergestellt. Dabei werden die maximal 256 Grauwertstufen eines Thermalbildes nach vorgegebenen Temperaturintervallen zu einigen wenigen - bei den Morgenflügen z.B.

7 Oberflächentemperaturstufen (= Temperaturäquidensiten) im Abstand von jeweils 1°C - zusammengefaßt und zur besseren Unterscheidung für das menschliche Auge mit Pseudofarben belegt. Da bei der hier interessierenden Fragestellung nicht die Temperatur singulärer Flächenelemente, sondern die Abgrenzung von Arealen unterschiedlicher Oberflächentemperatur in Ar- oder Hektargröße relevant ist, wird vor der Äquidensitenbildung eine gleitende Mittelung über 5×5 Bildelemente durchgeführt. Eine digitale oder manuelle Überlagerung der fertigen Äquidensiten mit dem unverarbeiteten Thermalbild ermöglicht eine visuelle Kontrolle bezüglich der bildgemäßen Temperaturstufenwahl.

3.3 Interpretation der Thermalbilder

3.3.1 Abgrenzung kaltluftgefährdeter Geländeteile

Die im § 1 des Gesetzes über Maßnahmen auf dem Gebiet der Weinwirtschaft (Weinwirtschaftsgesetz) festgeschriebene Notwendigkeit einer Abgrenzung von Qualitätsweingelände u.a. auch nach der Frostgefährdung findet ihre Begründung einerseits in den nach physikalischen Gesetzen ablaufenden Kaltluftansammlungen in Mulden und auf Talgründen, andererseits in der physiologischen Reaktion des Weinstocks auf die Kaltluft, und zwar in allen Strahlungsnächten der Vegetationsperiode, insbesondere jedoch im Frühjahr und Herbst auf Grund der Frostanfälligkeit der

Rebe. Bei bis weit über tausend angeforderten Weinbaugutachten im Jahr (BRANDTNER 1974) erfordert die gesetzlich vorgeschriebene "Kleinklimakartierung" (sic, Weinwirtschaftsgesetz) - in diesem Fall also der Frostgefährdung - und ihr Anschluß an das weitmaschige amtliche meteorologische Meßnetz eine oft unzumutbare personelle und finanzielle Belastung (BECKER 1977 a). Die Konsequenz im Bewertungsrahmen des Deutschen Wetterdienstes war der Übergang zu Schätzwerten nächtlicher Bodeninversionen und ihr Anschluß an die nächstgelegene Klimahauptstation, ein allerdings problematisches Verfahren in stärker reliefiertem Gelände (BRANDTNER 1974). Die entscheidende Frage für einen sich anbietenden Einsatz von Fernerkundungsverfahren besteht darin, ob durch die Aufnahme von Thermalbildern in einer oder mehreren Strahlungsnächten eine eindeutige Abgrenzung kaltluft- bzw. frostgefährdeter Geländeteile vorgenommen werden kann und welche Bodenkontrollmessungen hierfür notwendig sind. Bereits MATTSSON (1969 b) vermutete, man könne stagnierende Kaltluft im Thermalbild nachweisen, scheiterte aber an zu hohen Windgeschwindigkeiten während des Befliegungstermins. Als wichtigste Grundüberlegung bleibt zu beachten, daß durch Thermalaufnahmen direkt nichts über die thermischen Bedingungen der Luft, sondern nur etwas über die fester oder flüssiger Oberflächen ausgesagt werden kann. Dem kommt entgegen, daß in einer Frostnacht eigentlich die Tiefsttemperaturen der Knospen und Blätter für eine eventuelle Schädigung verantwortlich sind. Andererseits wird aber wegen der geringen Wärmekapazität von Laub in windschwachen, wolkenlosen Nächten der ausstrahlungsbedingte Energieverlust partiell durch den Wärmeverrat der Luft gedeckt. Die Kenntnis von Menge und räumlicher Verteilung des Energiegehaltes der Luft ist somit von erheblichem Interesse, Untersuchungen von Kaltluftsammlungsgebieten ("Kaltluftseen und -flüssen") die logische Konsequenz. Bei Thermalaufnahmen von rebbestanden Arealen tritt als Schwierigkeit hinzu, daß im Frühjahr vom Abtaster ein Mischsignal der Strahlungsdichte von Vegetation und Boden empfangen wird, welches von der Temperatur der beiden Materialien bestimmt wird. Die Temperaturen von Böden werden aber von ihrer Strahlungsaufnahme-, Wärmeleit- und Wärmespeicherkapazität bestimmt, die wiederum je nach Albedo, Ausgangs-

gestein, Wasserspeicherkapazität und Bearbeitungszustand variieren (R.GEIGER 1961 und BAUMGARTNER 1963 a). Die Folge ist ein rasch wechselndes Verteilungs mosaik der Bodenoberflächentemperaturen, welches z.B. auf einem nächtlichen Wärmebild im einzelnen kaum Rückschlüsse auf die Lufttemperatur zuläßt. Dies wurde auch durch die Ergebnisse der Frühjahrskampagnen, die vor dem Reblaubausbruch stattfanden, bestätigt. Durch die maschinelle Bearbeitung aufgelockerte Lößböden an Hängen oder mit Stroh abgedeckte Rebassen zeigten dabei die gleichen tiefen Oberflächentemperaturen wie das unter einer kräftigen, durch Lufttemperaturmeßfahrten nachgewiesenen Bodeninversion liegende Tiefland (ENDLICHER 1977 b). Befliegungen mit dem Ziel der Abgrenzung von Kaltluftansammlungen können am besten bei einer geschlossenen Schneedecke in winterlichen Strahlungsnächten durchgeführt werden, da dann der Bodenwärmestrom wegen der schlechten Wärmeleitfähigkeit von Schnee sehr klein ist (LORENZ 1971 a). Allerdings sind derartige Wettersituationen in Weinbaugebieten äußerst selten. Außerdem treten bei Schnee erhebliche Abweichungen in der Strahlungsbilanz im Vergleich zu schneefreiem Gelände auf. Um Mischsignale weitmöglichst zu vermeiden, vor allem aber um den durch starke lokale Veränderlichkeit ausgezeichneten Anteil der Bodentemperatur auszuschalten, werden sich Befliegungen auf den Zeitraum zwischen der vollständigen Ausbildung der Reblaubwände, ca. Ende Juni, und dem Laubfall, ca. Anfang November, beschränken müssen. Als idealer Zeitpunkt bietet sich die frühherbstliche Singularität des "Altweibersommers" an. Dann wird der Zeilenabtaster nur die höchste Blattschicht in 1.5 bis 2.0 m ü.G. erfassen. Eine Einbeziehung des Bodens ist nicht zu befürchten, weil das Blattwerk der neuen Triebe bei der Drahtrahmenziehung die Rebassen oben weitgehend abschließt. Diese Hypothese wird dadurch bestätigt, daß sich zu diesem Zeitpunkt aufgenommene Thermalbilder durch einen einheitlichen Grauton ohne erkennbare Zeilenstruktur auszeichnen. Daß bei geländeklimatologischen Untersuchungen zur flächenmäßigen Abgrenzung nächtlicher Kaltluftansammlungen im Reblaub auf Thermalbilder zurückgegriffen werden darf, liegt in der geringen Wärmekapazität von Laub begründet. So wird bei fehlender Einstrahlung an einem Oberhang das

Reblaub durch verhältnismäßig warme, aus der Höhe nachsinkende Luft auf einem relativ hohen Temperaturniveau gehalten, während es seinen durch Abstrahlung verursachten Energieverlust an einem Unterhang oder auf einer Großterrasse nicht ausgleichen kann und deshalb genauso wie die Luft tiefere Temperaturen aufweisen wird. Rückschlüsse von der Vegetationstemperatur auf die Lufttemperatur sind also prinzipiell möglich. Allerdings sind singuläre Abendflüge während der Dämpfungsphase des Temperaturganges im ersten Nachtdrittel, wie sie z.B. M.GEIGER (1975 b) mit einem Aufnahmetermin um 20 Uhr praktizierte, problematisch, da der Einstrahlungseinfluß noch zu kräftig nachwirkt und eine eindeutige Abgrenzung von Kaltluftansammlungen zu diesem Zeitpunkt nicht ermöglicht (vgl. die abendlichen und morgendlichen Lufttemperaturprofile in Abb. 53). Gleichfalls sind Rückschlüsse von der Talbodenoberflächentemperatur auf die Lufttemperatur einige Dekameter darüber nicht zulässig (FEZER 1975b), da Kaltluft nicht wie Wasser abfließt, sondern eher wie zäher Brei talwärts kriecht und keineswegs eine horizontale Oberfläche besitzen muß. Die Befliegungen zur Abgrenzung von Kaltluftansammlungen im Kaiserstuhl wurden zum Zeitpunkt ihrer größten Ausdehnung und ihrer tiefsten Temperaturwerte in den frühen Morgenstunden des 16.7.1976 (2.21-2.27 Uhr MEZ östlicher Kaiserstuhl, 3.34-3.36 Uhr MEZ westlicher Kaiserstuhl) durchgeführt, wobei die Flughöhe 4000 m ü.NN (ca. 3600 m über Grund) betrug.

3.3.1.1 Subregionale Abgrenzung Kaiserstuhl - Oberrheinebene

Für die Abgrenzung des Weinbaugebietes "Kaiserstuhl" (Großlage "Vulkanfelsen") gegen das relativ kalte Oberrheinische Tiefland hin wurde anhand der beiden Befliegungen in der oben beschriebenen Weise je ein Thermalbild des östlichen und des westlichen Kaiserstuhls erstellt. Da die Wettersituation zwischen den beiden Aufnahmen konstant blieb, und da bei der knappen Zeitdifferenz von 70 Minuten während der Kriechphase des nächtlichen Temperaturganges keine allzu großen Temperaturänderungen eintreten, schien eine Montage der beiden Bilder zu einem einzigen flächendeckenden Wärmebild des Kaiserstuhls (Abb. 43) erlaubt. Es ermöglicht die Lokalisierung der Grenze zwischen relativ warmen Hangzonen und relativ kaltem Tiefland

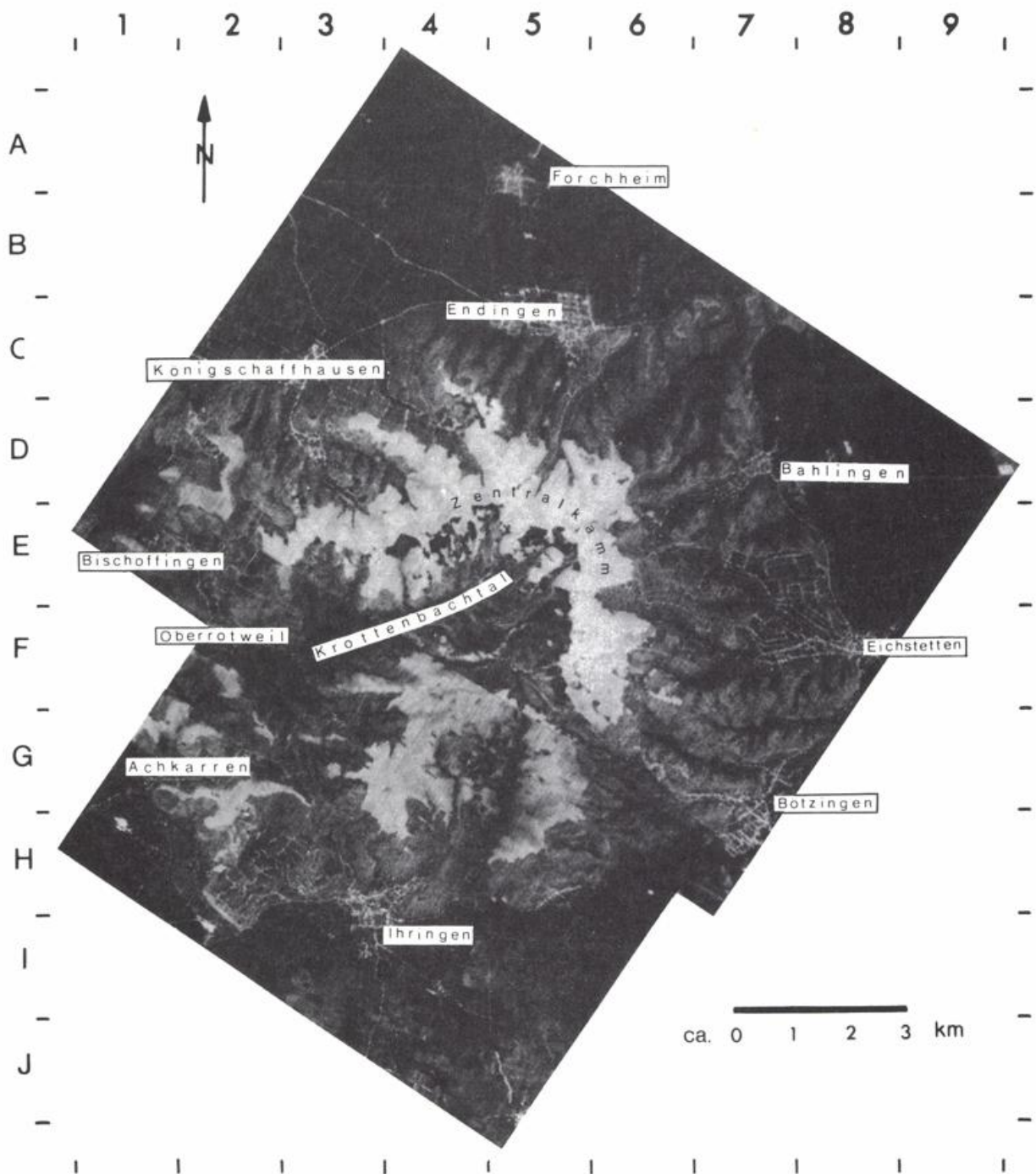


Abb. 43: Kontrastverstärkte Thermalbildmontage des Kaiserstuhls vom 16.7.1976, 2.21 - 2.27 und 3.34 - 3.36 Uhr MEZ, aus 4000 m ü.NN; hell = relativ hohe, dunkel = relativ niedrige Oberflächentemperaturen (freigegeben von der Regierung von Oberbayern unter der Nr. GS 300/7249)

sowie einen Überblick über die Oberflächentemperaturverteilung innerhalb des Berglandes.

Auffallend sind die drei Zonen unterschiedlicher Helligkeit: Dunkel, mit relativ niedrigen Oberflächentemperaturen, das Oberrheinische Tiefland, mittelgrau die Hangzonen des Berglandes und hell bis weiß der warme Wald des Zentralkammes. Im Zentralkaiserstuhl stechen die hohen Temperaturen der Baumkronen im Bereich des Zentralkammes hervor. Dies gilt besonders für die topographisch höchsten Erhebungen wie Eichelspitze, Katharinaberg oder Totenkopf (F 5, E 5, F 4). Dies ist eine Konsequenz der Tatsache, daß bei Wald die Ausstrahlungsfläche an der Baumwipfeloberfläche liegt. Abgekühlte Luftquanten sinken von dort in den Stammraum, wo ihre Eigenstrahlung durch Zustrahlung von Stämmen, Ästen und Boden ununterbrochen kompensiert wird. Baumstämme z.B. bleiben aufgrund ihrer hohen Wärmekapazität und guten Wärmeleitung aus dem Boden nachts relativ warm. So übertrifft nach Messungen von KESSLER (1971) ein Ahornstamm in 1.5 m über dem Grund während einer sommerlichen Strahlungsnacht zwischen 2 Uhr morgens und Sonnenaufgang die Lufttemperatur um mindestens 2°C. Die Luft im Stammraum ist durch das Kronendach der Ausstrahlung also weitgehend entzogen, ihre Abkühlung dementsprechend verlangsamt. Als weiterer Faktor ist innerhalb des Kronendachs auf den Einfluß der Umgebungsluft auf die Blattmasse zu verweisen. Ist die Luft relativ warm, wie dies am Zentralkamm in 10 m über Grund der Fall ist, so kann die Abkühlungsrate des Blattwerkes durch die Energiezufuhr aus der Luftmasse gesenkt werden. Die Auewälder in der Oberrheinebene haben dementsprechend aufgrund der dort erheblich niedrigeren Lufttemperaturen im Vergleich zum Zentralkammwald relativ tiefe Kronentemperaturen (I/J 4/5).

Topographische Hohlformen unter Wald dienen als Sammelrinnen für die produzierte Kaltluft. Wenn ihr Abfluß auch innerhalb des Kronenraumes erfolgt, sind niedrigere Temperaturen dann durch dunklere Grautöne gekennzeichnet. Dies wird besonders bei den ostwärtigen Nebentälchen des Mühletaales deutlich (H 5). Lichtungen mit Grasbewuchs fallen je nach Größe und topographischer Lage durch besonders tiefe Oberflächentemperaturen auf (z.B. Schelinger Jungviehweide E 4). Sie haben als kräftige Kaltluftproduzenten zu gelten.

Das Zentrum mit Badberg und Degenmatt (F 4) birgt hinsichtlich der Interpretation Schwierigkeiten. Während die Buschgehölze relativ hell abgebildet werden, zeigen angrenzende Mattenflächen dunkle Töne. Die Lufttemperaturmeßfahrten weisen jedoch die Degenmatt als Gebiet mit in Strahlungs Nächten besonders hohen Temperaturen aus. Hieraus ist zu folgern, daß die Grasmatten zwar sehr niedrige Oberflächentemperaturen annehmen und damit Kaltluft produzieren - im Vergleich zum Wald ist auf den ungünstigeren Strahlungshaushalt z.B. aufgrund des fehlenden Kronenschlusses, der geringeren Wärmeleitung der einzelnen Grashalme und auf ihren Standraum inmitten der bodennahen Kaltluft zu verweisen -, daß diese autochthon gebildete Lufthaut aber nur wenige Dezimeter dick sein kann, da sie weder 2 m noch 0.7 m über Grund nachzuweisen ist. Die topographischen Vollformen erlauben einen unverzüglichen Abfluß dieser Kaltluft, die durch wärmere Luft aus der Höhe ersetzt wird. Eine Interpretation von Wärmebildern im Hinblick auf die Gestaltung der Lufttemperatur ist somit ohne intime Kenntnis von Topographie und Pflanzenkleid nicht möglich, da die niedrigen Oberflächentemperaturen eventuell fälschlicherweise als "Kaltluftsee" interpretiert werden könnten. Hingegen stimmen die sehr tiefen Oberflächentemperaturen, die Teile des Krottenbachtals oberhalb von Oberrotweil (F 3) und seine südlichen Nebentälchen (Miethental F 2, Ellenbuch F 2/3, Eschbachtal F 3) einnehmen, ganz ausgezeichnet mit den dort in Meßfahrten festgestellten niedrigen Lufttemperaturen überein. Daß die tiefen Oberflächentemperaturen in diesem Fall durch Kaltluftansammlungen hervorgerufen werden, ist durch die Tatsache zu belegen, daß die ausgedehnten Stammobstplantagen temperaturmäßig nirgendwo durch höhere Werte auffallen. Dies ist eine Konsequenz der Tatsache, daß der Energieverlust an ihren Blättern nicht durch nachsinkende wärmere Luft kompensiert werden kann. Die großflächige Ausprägung der tiefen Oberflächentemperaturen ist durch die umfangreichen Einzugsgebiete der Kaltluft sowie deren schlechter Drainage auf den geringgefälligen Talböden und dem Stau am Ortsrand von Oberrotweil zu erklären. Die Tal- und Riedellandschaft des Ostkaiserstuhls zeigt im Vergleich zum Lösshügelland des Westkaiserstuhls erhebliche Unterschiede. Von Endingen im Norden bis zum Tiefental südlich von Oberschaffhausen greifen 21 Talbereiche mit tiefen Oberflächentemperaturen fingerartig in den Ost-

kaiserstuhl ein. Besonders ausgeprägt ist dies im "Dreizack" des Wihlbachtales bzw. des Riedes bei Riegel (C/D 6/7). Die trennenden Riedel zeigen dagegen wärmere Oberflächen. Da sie ebenso wie die kalten Unterhänge und Hangschleppen der Täler mit Reben bestanden sind, also kein unterschiedlicher Bewuchs vorliegt, kann auch hier auf Kaltluftbeeinflussung als für die tiefen Oberflächentemperaturen hauptsächlich verantwortlicher Faktor geschlossen werden. Die umfangreichen Großterrassenanlagen bei Eichstetten (E/F 7/8) erscheinen verhältnismäßig kalt. Allerdings kann dies auch auf Neuanpflanzungen ohne vollkommene Bodendeckung zurückgeführt werden.

Das Löbühgelland des Westkaiserstuhls besitzt dagegen ausgedehnte Flächen einheitlich hellgrauer Färbung. Dies gilt besonders für die Gemarkung von Ihringen (H/I 4), Wasenweiler (H 5) und Kiechlingsbergen (D 2/3). Als Hauptgrund für diesen Unterschied muß die im westlichen Kaiserstuhl höhere Reliefenergie angeführt werden (vgl. Karte der maximalen Reliefenergie im Kaiserstuhl bei SCHREFFER 1933 a): Produzierte Kaltluft gelangt über steile Hänge und Täler rasch in das große Sammelbecken des Tieflandes. Im Ostkaiserstuhl dienen erst die Talzüge als Abflurrinnen, wobei ihr relativ geringes Gefälle nur einen langsamen Abfluß der Kaltluftmassen gestattet. Autochthone und allochthone Kaltluft besitzen somit genügend Zeit, um auf die Vegetation prägend einwirken zu können und tiefe Oberflächentemperaturen hervorzurufen. Im Westkaiserstuhl trifft dies im wesentlichen nur auf den großen Talzug des Mühletaales (G/H 5), den Talkessel von Oberbrunnen (H 2), das Achkarrer Tal mit seinen Großterrassen talauf der Ortschaft (G 2/3) und das Seckental zwischen Bischoffingen und Oberrotweil (E/F 2) zu.

Die tiefsten Oberflächentemperaturen findet man im Oberrheinischen Tiefland. Es grenzt mit Ausnahme des nördlichen Abschnitts zwischen Königschaffhausen und Leiselheim scharf an den Kaiserstuhl. Extrem niedrig temperiert scheinen die im Ostkaiserstuhl vorgelagerten Riedflächen zu sein. Höhere Werte findet man nördlich von Königschaffhausen (B 3), wobei Einflüsse der Boden- und Grundwasserverhältnisse vorliegen könnten. Gut zeichnet sich der Niederterrassenrand westlich von Blanckenhornsberg und Winklerberg

(H/I 1/2) ab. Durch höhere Oberflächentemperaturen heben sich die Auewälder südlich von Ihringen und Wasenweiler heraus (I/J 4/5). Aufgrund der tieferen Temperaturen der Umgebungsluft liegen die Kronentemperaturen im Vergleich zum Hochwald des Zentralkammes aber wesentlich niedriger. Asphaltierte Straßen sind als helle Bänder, Siedlungen (z.B. Forchheim (B 5) als weiße Inseln erkennbar. Die hohen Temperaturen der Kunstbauten sind eine Konsequenz der beträchtlichen Wärmespeicher- und Wärmeleitfähigkeit der verwendeten Baumaterialien. Auch Wasserflächen wie Baggerseen bleiben nachts besonders warm (H 1). So schlägt sich der unterschiedliche topographische Aufbau des Berglandes im unterschiedlichen subregionalen Temperaturgefüge nieder. Diese qualitativen Aussagen wurden in einem zweiten Schritt in eine quantitativ interpretierbare Karte überführt. Hierfür wurden Topographie und Landnutzung des Untersuchungsgebietes als die beiden für die Oberflächentemperaturgestaltung entscheidenden Faktoren aus Abb. 6 übernommen. Von den Thermalbildern wurden, wie im Kap. 3.2. geschildert, Äquidensiten angefertigt, wobei der Bereich zwischen dem warmen Hochwald am Zentralkamm und dem kalten Tiefland in 1°C-Intervallen aufgelöst wurde. Als Temperaturskala dienten relative Abweichungswerte von den Oberflächentemperaturen der Oberrheinebene. Da eine digitale Entzerrung der Thermalbilder, wie sie von KONECNY und SCHUHR (1975) entwickelt wurde, u. a. wegen der beschränkten Rechnerkapazität von DIBIAS nur begrenzt möglich war, erfolgte die Übertragung der Äquidensiten auf die Karte manuell mit Augenmaßgenauigkeit. Strittige Abschnitte wurden nach dem bei S.SCHNEIDER (1974 a) beschriebenen Paßpunktverfahren (wildes Netz) festgelegt. Abb. 44 zeigt als Ergebnis eine Karte der Oberflächentemperaturen des Kaiserstuhls mit Isanomalen von der mittleren Tieflandsbasistemperatur im Abstand von 1°C. Die minimale Größe noch auszugliedernder Flächen beträgt ca. 10 ha. Die Karte unterstreicht deutlich die scharfe Abgrenzung der warmen "Kaiserstuhlinself" gegenüber der kalten Oberrheinebene. Die Hochwälder des Zentralkammes als wärmste Areale haben eine um mehr als 3°C höhere Oberflächentemperatur als das Tiefland. Der Ausdruck von absoluten Oberflächentemperaturen ergab eine mittlere Temperaturdifferenz zwischen beiden Landschaftsteilen von ca. 4.5°C. Die warme Hangzone mit Oberflächentemperaturen

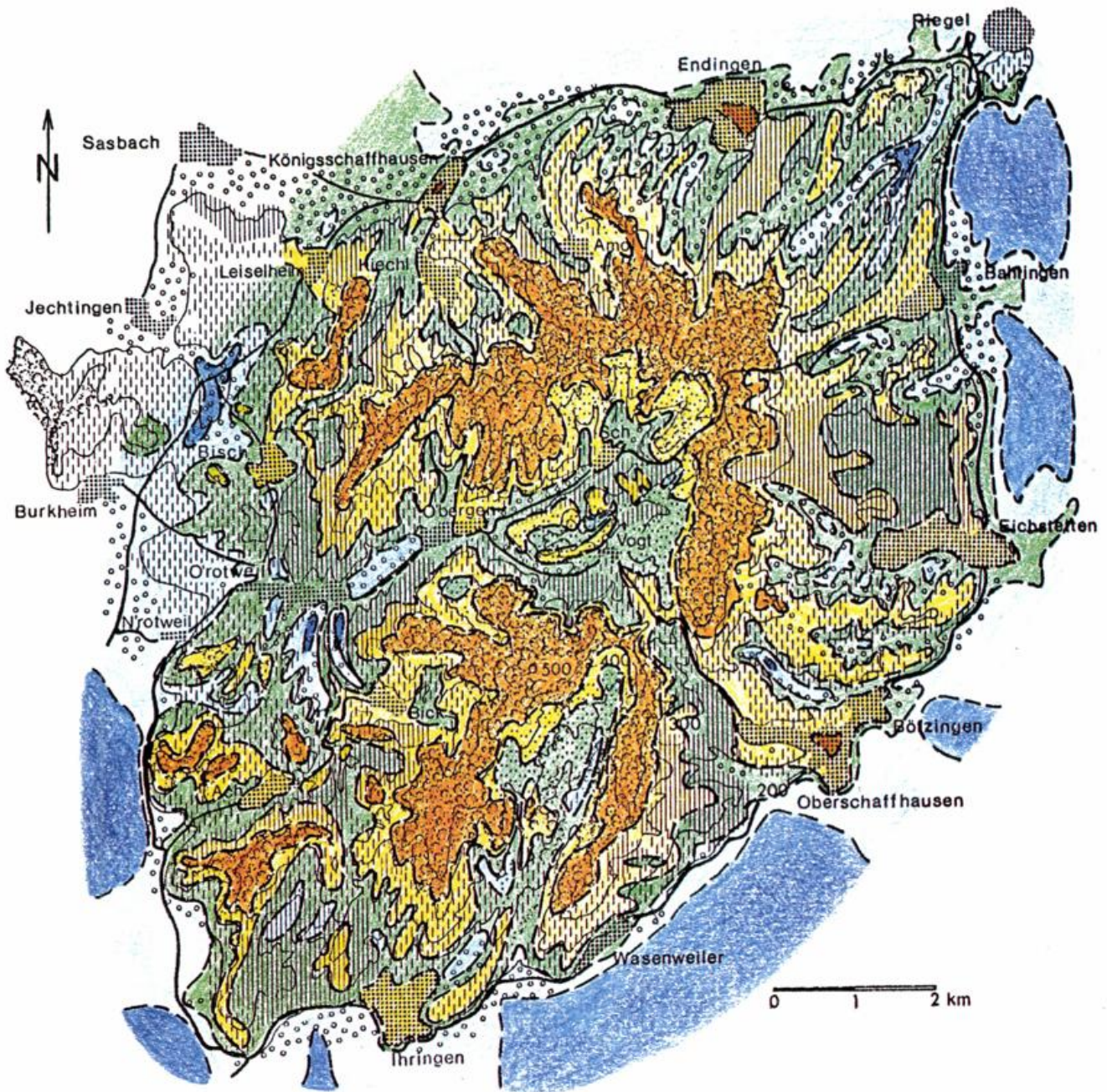


Abb. 44: Topographische Skizze des Kaiserstuhls mit Isanomalen der Oberflächentemperatur (vereinfacht nach einer Äquidensitendarstellung von Abb. 43); 0°C-Isolinie = mittlerer Tieflandswert von 12°C (ohne Berücksichtigung des atmosphärischen Störeinflusses)

Legende:

orange	> 3.0°C	} über Basis-oberflächen-temperatur
gelb	2.1 bis 3.0°C	
grün	1.1 bis 2.0°C	
hellblau	0.1 bis 1.0°C	
dunkelblau	≤ Basis-Oberflächentemp. (ca. 12°C, ohne Atmosphären-Korrektur)	

- Waldgebiete des Zentralkamms und seiner Ausläufer
- Weinbau auf un- oder kleinterrassierten Hängen
- Weinbau auf Großterrassen
- Obstwiesen und -plantagen, Feldgemüsebau, vereinzelt auch Grünland auf Talböden und im Randbereich
- Matten und Wiesen
- Ortschaften
- Straßen

von 2 bis 3°C über dem Tieflandswert beschränkt sich auf die vom Zentralkamm herabziehenden Riedelflächen, die ausnahmslos von überwiegend kleinterrassiertem Rebland eingenommen werden. Genauso warm sind auch die Siedlungskerne von Endingen, Oberschaffhausen und Königsschaffhausen. Die Unterhänge und Täler sowie tiefergelegene Großterrassen weisen Oberflächentemperaturen von 1 bis 2°C über dem Basistieflandswert auf. Ähnliche Temperaturverhältnisse liegen auch auf den Grasmatten des Zentrums vor. In den Tiefenzonen der Täler finden sich mit maximal 1°C positiver Abweichung aber bereits Areale mit ähnlichen Oberflächentemperaturen wie sie in der Ebene auftreten. In einigen Ungunslagen wird der mittlere Tieflandswert auch unterschritten. In der Oberrheinebene selbst kann die Basistieflandstemperatur, die ohne Atmosphärenkorrektur 12°C beträgt, noch um ca. 1,5°C unterschritten werden. Die extreme Temperaturdifferenz zwischen den wärmsten und kältesten Flächen der Thermalbildmontage beläuft sich auf ca. 7°C.

3.3.1.2 Lokale Abgrenzungen im Ostkaiserstuhl

Für die Abgrenzung kaltluftgefährdeter Geländeteile in der Größenordnung von Einzellagen bzw. Reblparzellen muß auf großmaßstäbliche Thermalbilder zurückgegriffen werden. Deshalb wurde aus der im vorangegangenen Kapitel beschriebenen Thermalbildmontage der Bereich des Testgebietes Ostkaiserstuhl ausgegliedert und digital vergrößert (Abb. 45). Anschließend wurden in der bereits geschilderten Weise Äquidensiten angefertigt und auf eine Karte übertragen (Abb. 46). In diese wurden als Kontrollwerte die mittleren Abweichungsbeträge (8-12 Strahlungsnächte) der Lufttemperatur einiger Meßpunkte vom Basiswert im Bötzingener Ried eingefügt. Bei der folgenden Interpretation von Wärmebild und Karte soll modellhaft untersucht werden

- welchen Einfluß das Relief auf die Verteilung tiefer Oberflächentemperaturen ausübt,
- inwiefern sie durch unterschiedliche Bodenbedeckung (Obstplantagen, Feldgemüse, Wiese, Reben) beeinflusst werden,

- welche quantitativen Unterschiede zwischen Tiefland einerseits und höchsten Reblagen andererseits bestehen und
- ob Beziehungen zwischen den Oberflächentemperaturen einer einzelnen Strahlungsnacht und der mittleren Lufttemperaturverteilung vorhanden sind.

Gegenüber Abb. 43 vermittelt Abb. 45 eine große Anzahl neuer Details. So werden innerhalb des Bereichs mit den höchsten Temperaturen, dem Hochwald des Zentralkamms, Änderungen der Bestandesdichte durch Grautonänderungen wiedergegeben. Die hohen Waldtemperaturen sind auch am nordexponierten Waldrest von Endhahlen (D/E 5/6) nachweisbar. Ähnlich hohe Temperaturen besitzen die Felswände des Oberschaffhausener Steinbruchs (G 1/2) und die asphaltierten Straßenzüge. Diese sind vor allem für die hohen Temperaturen von Siedlungen verantwortlich zu machen, während einzelne Gebäude, d.h. Hausdächer, niedrigere Temperaturen besitzen. Die tiefsten Oberflächentemperaturen besitzt das Oberrheinische Tiefland, in dem keine Kontrastierung zwischen Acker- und Grünlandparzellen erkennbar ist. Nur das Bötzingener Gewerbegebiet, Straßen, Wasserläufe sowie die Auwaldreste an der Bötzingener Mühle (N 5) treten hervor. Nicht ganz so tief liegen die Temperaturen in den Talbereichen, wobei besonders die äußerst niedrigen und ganz scharf abgegrenzten Flächen im oberen Schambachtal (F/I 3) auffallen. Mittlere Oberflächentemperaturen verzeichnen die ausgedehnten Reblflächen, deren Kleinterrassierung in der noch weitgehend unbereinigten Kulturlandschaft durch dunkle Streifen (randliche Grasflächen) kenntlich ist. Ähnlich wie bei Wald begünstigt die hohe Erziehung bei entsprechendem Gefälle den Abfluß produzierter Kaltluft unterhalb der Rebstöcke (BURCKHARDT 1958 a). Es ist bemerkenswert, daß die Kronen der wenigen Einzelbäume - zumeist Kirsch- und Nußbäume - an den Rebhängen deutlich als helle Tupfen in Erscheinung treten, während auf den Talböden die sehr viel zahlreicheren Obstbäume und selbst die ausgedehnte Spalierobstplantage im oberen Schambachtal (F/I 3) temperaturmäßig in keiner Weise auffallen.

Die Interpretation der Karte der Oberflächentemperaturen im Ostkaiserstuhl (Abb. 46) ermöglicht folgende, noch weitergehende Aussagen:

1. Die tiefsten Oberflächen- und Lufttemperaturen treten im Oberrheinischen Tiefland auf.

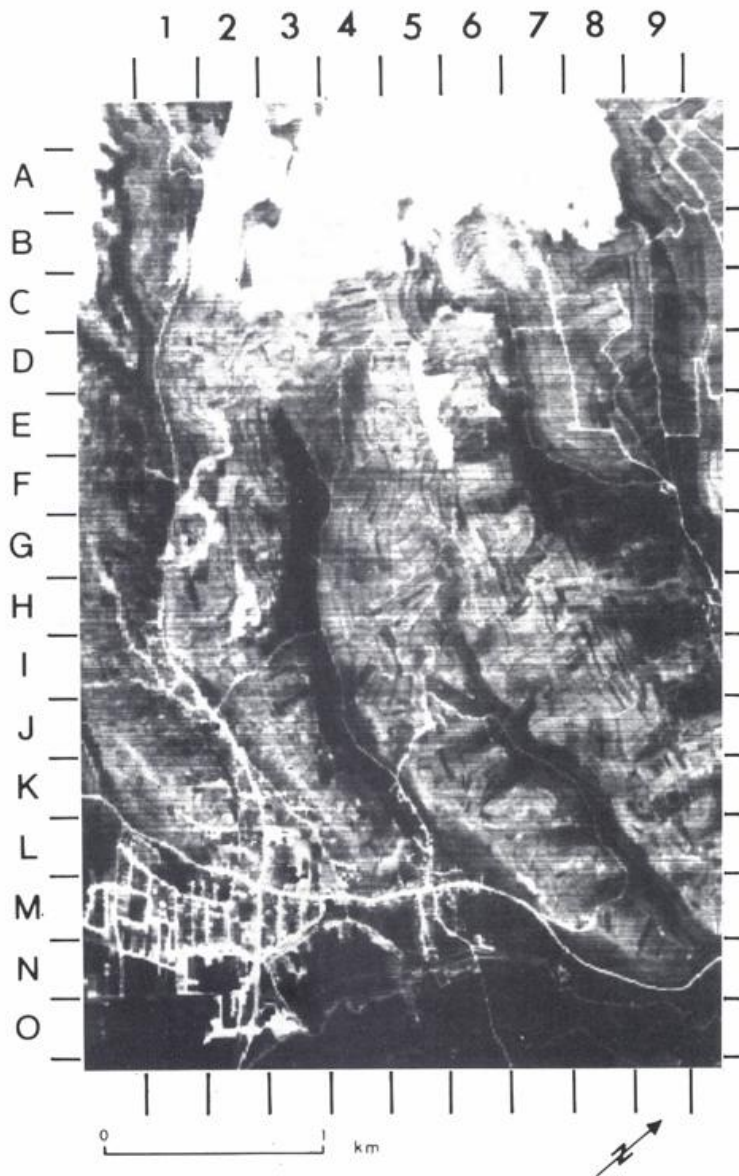


Abb. 45: Kontrastverstärktes Thermalbild des TG Ostkaiserstuhl vom 16.7.1976, 2.21-2.27 Uhr MEZ; Flughöhe 4000 m ü.NN; hell = relativ hohe, dunkel = relativ niedrige Oberflächentemperaturen (Freigegeben von der Regierung von Oberbayern unter der Nr. GS 300/7249)

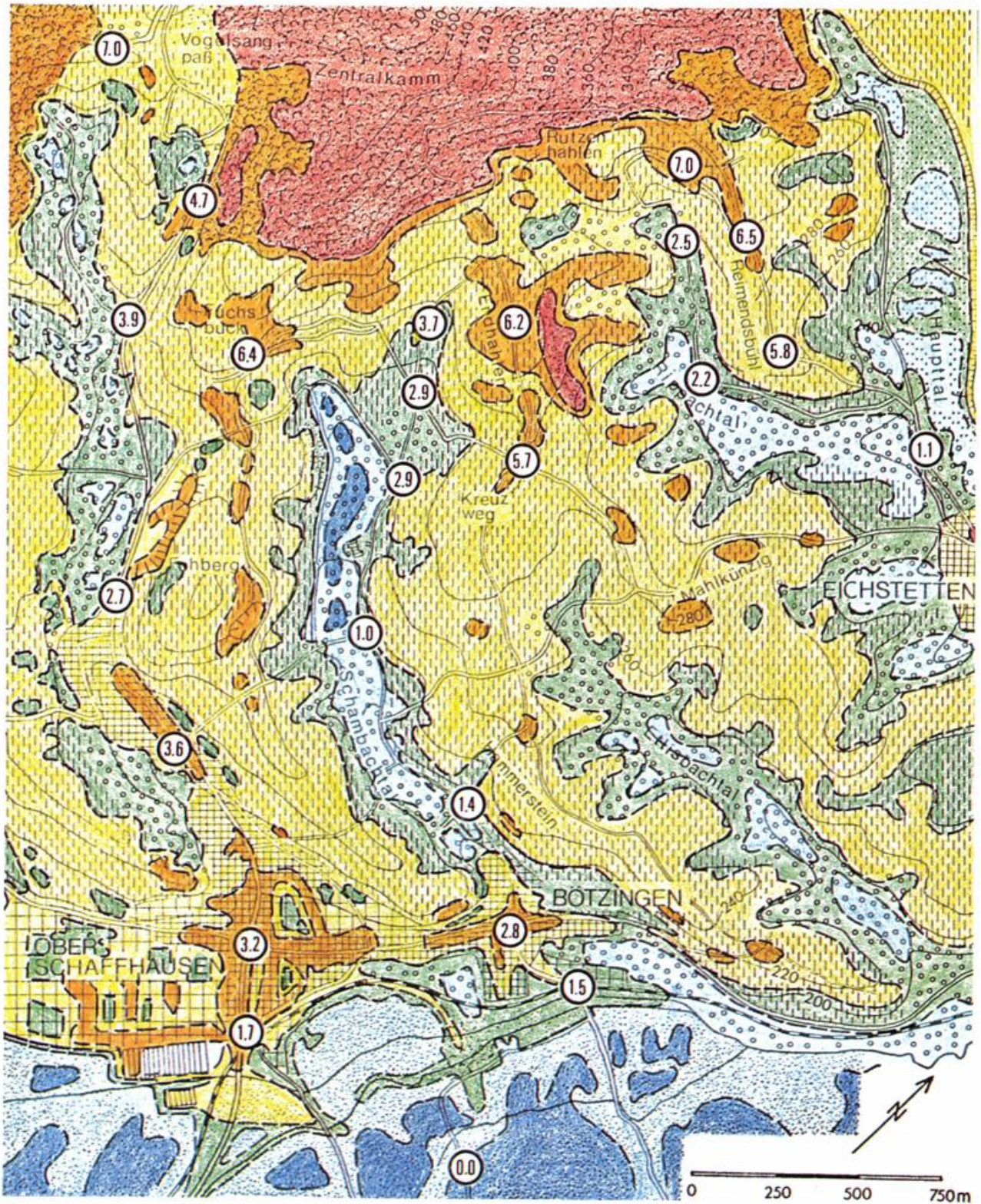


Abb. 46: Topographische Skizze des TG Ostkaiserstuhl mit Isanomalien der Oberflächentemperatur (vereinfacht nach einer Äquidensitendarstellung von Abb. 45); 0°C-Isolinie = mittlerer Tieflandswert von 12°C (ohne Berücksichtigung des atmosphärischen Störeinflusses)

Legende: Positive Abweichungen der Lufttemperatur vom Basiswert im Bötzingener Ried (°C, 2 m ü.G.); Mittelwerte aus 8-12 Meßfahrten;

7.0

0.0

Standort der Basis-Lufttemperaturmessung im Bötzingener Ried

rot	> 4.0°C	ü. Basis-OF-Temp.
orange	3.1 bis 4.0°C	" " "
gelb	2.1 bis 3.0°C	" " "
grün	1.1 bis 2.0°C	" " "
hellblau	0.1 bis 1.0°C	" " "
dunkelblau	≤ Basis-OF-Tem., (ca. 12.0°C, ohne Atmosphären-Korr.)	

2. Innerhalb von Siedlungen zeigen Oberflächen- und Lufttemperaturen einen parallelen Verlauf mit um 2 bis 4°C höheren Werten als im Tiefland.
3. Topographische Hohlformen besitzen ausnahmslos tiefe, Vollformen - insbesondere Steilhänge, Sporne und Riedelkulminationen - hohe Oberflächen- und Lufttemperaturen (z.B. Etlisbachtal, Schambachtal bzw. Fuchs buck, Endhahlen).
4. Täler mit relativ geringem Gefälle (z.B. unteres Rippachtal, Haupttal) besitzen ausgedehnte Flächen mit tieferen Temperaturen als Täler mit steilem Gefälle (z.B. Oberschaffhausener Tal).
5. Die extrem tiefen Oberflächentemperaturen im oberen Schambachtal werden durch die mittleren Lufttemperaturen nicht im gleichen Maße bestätigt. Offenbar ist hier auch die Nutzung durch Spalierobstreihen mit eingelagerten Wiesenflächen für die niedrigen Oberflächentemperaturen verantwortlich.
6. Auf Talböden verlaufen Oberflächen- und Lufttemperaturen weitgehend parallel mit höchstens 2°C über den Basiswerten.
7. Auf Riedeln und an Oberhängen besteht eine Diskrepanz zwischen den Oberflächen- und Lufttemperaturen: Erstere liegen um 2 bis 4°C, letztere aber um 5 bis 7°C über den jeweiligen Basiswerten. Die Reblaubtemperaturen bleiben somit um mehrere Grad Celsius unter den Temperaturen der Umgebungsluft.
8. Markante Grenzen zwischen niedrigen Temperaturen in Tälern und hohen an Hängen und Riedeln befinden sich sowohl bei den Oberflächen- als auch bei den Lufttemperaturen an denselben Stellen (z.B. oberes Schambachtal - Riedel Endhahlen, oberes Rippachtal - Reimendsbühl).
9. Der Hochwald des Zentralkammes besitzt Oberflächentemperaturen von $> + 4^{\circ}\text{C}$ über dem Basiswert und entfällt somit als Kaltluftproduzent.
10. Der warme Saum am Waldrand (3 bis 4°C über Basistemperatur) läßt sich durch verminderte Ausstrahlung und erhöhte langwellige Zustrahlung an den betroffenen Rebflächen erklären ("Übergangsklima der Waldränder" im Sinne von R.GEIGER 1961).

Zu diesem Kapitel bleibt abschließend festzuhalten, daß einerseits die unterschiedlichen Temperaturen von Bäumen, je nachdem ob sie an Hängen oder auf Talgründen stehen, den zweifelsfreien Schluß von tiefen Oberflächentemperaturen in topographischen Hohlformen auf Kaltluftansammlungen zulassen, und daß andererseits die hohe Übereinstimmung von Oberflächen- und Lufttemperaturen geradezu für eine Inwertsetzung der Thermalbilder hinsichtlich einer Abgrenzung kaltluftgefährdeter Geländeteile spricht. Der große Vorteil liegt dabei neben der verhältnismäßig raschen Verfügbarkeit und dem geringen Personalaufwand in der hohen Genauigkeit und Detailtreue von Thermalbildern, die diejenige der bisherigen konventionellen Kartierungen bei weitem übertrifft.

3.3.2 Vergleich Kleinterrassen-Großt errassen

Als weiteres Testgebiet für eine geländeklimatologische Thermalbildaufnahme und -interpretation bot sich der südwestliche Kaiserstuhl mit seinen klein- und großterrasierten Weinbergen an. Anhand von Morgen- und Mittagsbildern sollte geklärt werden, ob sich die in der Lufttemperatur festgestellte Differenzierung zwischen Klein- und Großterrassen auch in ähnlichem Maße in der Oberflächentemperatur nachweisen läßt, und ob die Ergebnisse der Meßfahrten über vier Testterrassen auf die gesamte Umlegung am Fohrenberg übertragbar sind. Am 16.7.1976 wurde bei gutem Strahlungswetter aus 1000 m ü.NN jeweils eine Morgenaufnahme vor Sonnenaufgang (4.13-4.14 Uhr MEZ) und eine Mittagsaufnahme (14.34-14.35 Uhr MEZ) von den kleinterrasierten Rebbergen bei Ihringen und dem großterrasierten Fohrenberg, dessen Expositions- und Inklinationsverhältnisse vor der Umlegung denjenigen am Lenzenberg und Schlichten ähnelten, durchgeführt.

3.3.2.1 Morgensituation

Abb. 47 ist ein Thermalbild der kleinterrasierten Hänge von Lenzenberg, Schlichten und Schmerberg. Dunkel, also relativ kalt, wird das dem Kaiserstuhl vorgelagerte Tiefland im Bereich des Gewannes Bräul (K 11) abgebildet. Niedrige Oberflächentemperaturen besitzen auch die scharf abgegrenzten Talböden des Dull- und Wetztales (G 2, G 8).

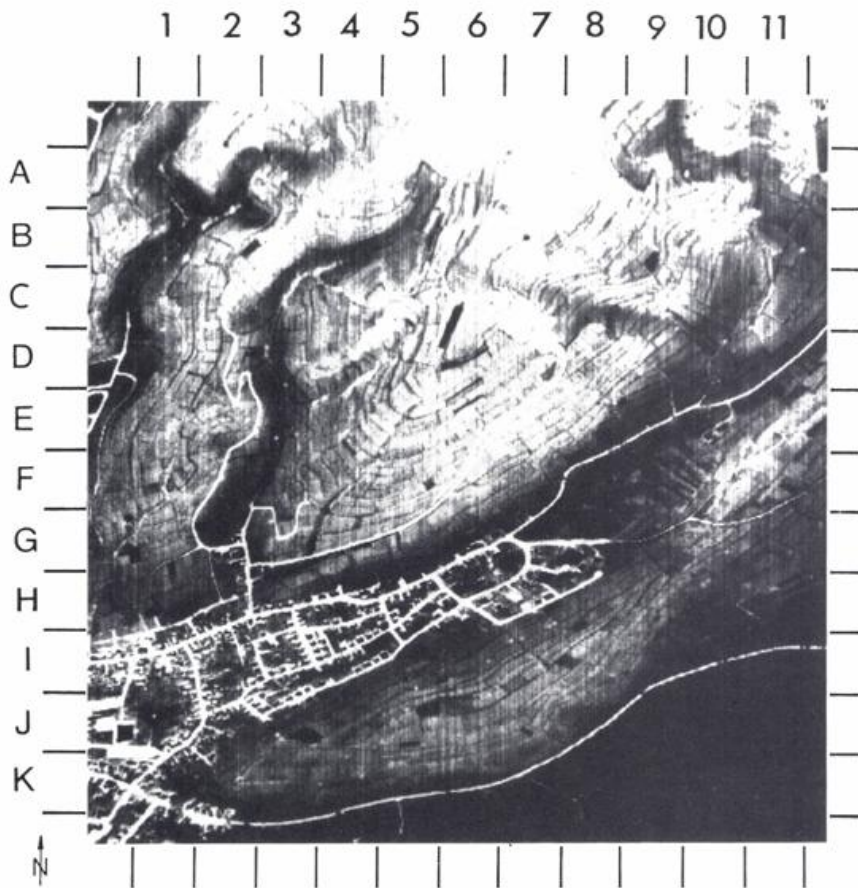


Abb. 47:

Kontrastverstärktes Thermalbild vom Lenzenberg; 16.7.1976, 4.14 Uhr MEZ; Flughöhe: 1000 m ü.NN; dunkel = rel. niedrige, hell = rel. hohe Oberflächen-temperatur.

(Freigegeben Reg. Oberbayern, Nr. GS 300/7249)

0 250 500 m

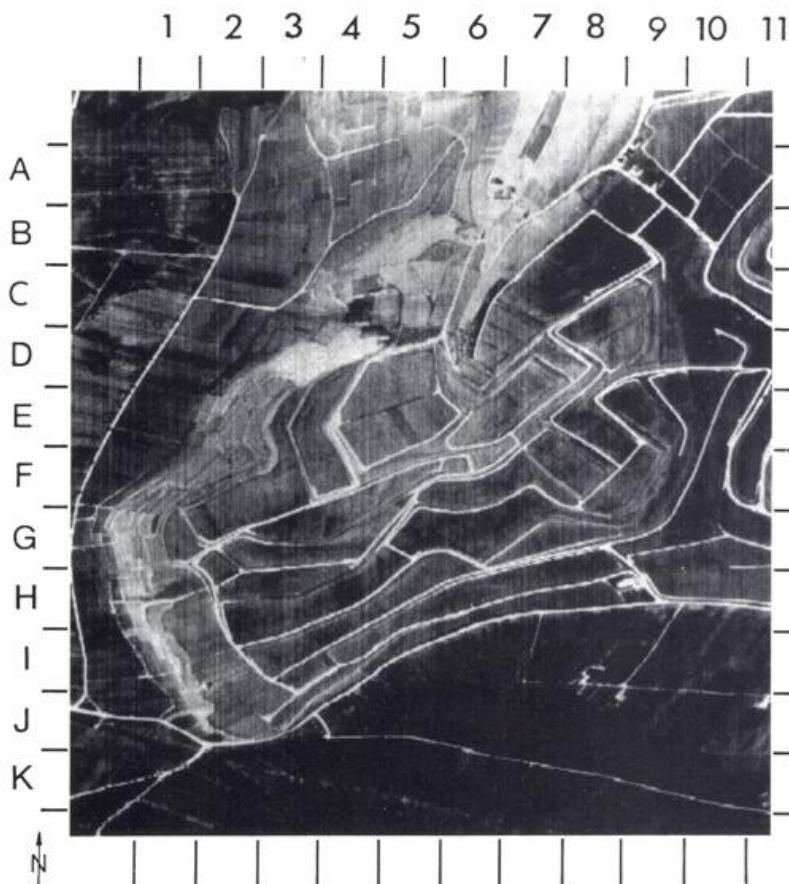


Abb. 48:

Kontrastverstärktes Thermalbild der Großterrassenanlage am Föhrenberg; 16.7.1976, 4.14 Uhr MEZ; Flughöhe: 1000 m ü.NN; dunkel = rel. niedrige, hell = rel. hohe Oberflächen-temperatur.

(Freigegeben Reg. Oberbayern, Nr. GS 300/7249)

Die Rebterrassen selbst liegen in einem mittleren Temperaturbereich. Hell, also relativ warm, zeichnen sich der Siedlungsbereich von Ihringen mit seinen Straßenzügen (I 2/4) und der Hochwald des Zentralkammausläufers ab.

Für eine quantitative Interpretation wurde eine Äquidensitendarstellung derselben Szene mit Temperaturintervallen von 1°C angefertigt (Abb. 49). Die geringe Flughöhe von 600-800 m ü.G. und die günstigen meteorologischen Bedingungen gestatteten dabei eine Zuordnung von absoluten Temperaturwerten mit einer Fehlergröße $< 1^{\circ}\text{C}$ (s. Kap. 3.2.). Sechs während der Befliegung in 2 m ü.G. gemessene Lufttemperaturwerte wurden in das Bild eingezeichnet. Berücksichtigt man noch die Topographie und Oberflächenbedeckung des Testgebietes (Abb. 10), so kann man feststellen: Während das Kaiserstuhlvorland Oberflächentemperaturen von 13 bis 14°C , teilweise auch Werte $< 13^{\circ}\text{C}$ aufweist, sind die Talböden mit 14 bis 15°C um 1 bis 2°C wärmer. Im Ortsstau von Ihringen (H 8) sind die Temperaturen aber ähnlich tief wie im Freiland. Gleiches gilt für Wiesenflächen innerhalb des Dorfes (K 1). Der Einflußbereich der Talbodenkaltluft ist in allen Tälern sehr scharf abgegrenzt. Die im Kap. 3.3.1.2 beschriebene Übereinstimmung zwischen Oberflächen- und mittlerer Lufttemperatur in kaltluftbeeinflussten Tiefenzonen kann auch bei synchronen Messungen festgestellt werden; an den Hängen hingegen übertrifft die Luft- die Oberflächentemperatur um ca. 3°C . Besonders warm sind die Straßenzüge mit 17 - 18°C . Die kleinterrassierten Rebflächen am Schlichten und Schmerberg haben Oberflächentemperaturen von 15 bis 16°C , am Lenzenberg überwiegend von 16 bis 17°C . Einzelne frisch bepflanzte Parzellen fallen durch tiefe Oberflächentemperaturen inmitten wärmerer Rebflächen auf (D 6, D 9, K 6). Der Hochwald und die Niederwaldreste am Lenzenberg (D/E 7) sind $> 18^{\circ}\text{C}$ warm; hier liegt eine besonders hohe Parallelität zur Lufttemperatur vor.

Das Thermalbild der Großterrassenanlage Ihringen V (West) am Föhrenberg (Abb. 48) wurde beim gleichen Flug aufgenommen. Auch hier finden wir die tiefsten Oberflächentemperaturen im Kaiserstuhlvorland. Sehr tiefe Werte weisen auch das Balschen- und Oberbrunnental auf (B 10, C 8). Nur geringfügig heller und damit wärmer werden die verschiedenen Großterrassen abgebildet. Als

relativ warm heben sich von ihnen das asphaltierte Betriebswegenetz und die steilen, begrasteten Böschungen ab. Ebenfalls hohe Oberflächentemperaturen haben die Niederwaldreste am hinteren Winklerberg (B 5, D 4), die Kleinterrassen über Tephrit am vorderen Winklerberg (I 1, J 2) und das unterterrassierte Rebland am Blankenhornsberg (B 6/7).

Die Äquidensitendarstellung mit 1°C -Oberflächentemperaturintervallen (Abb. 50) ermöglicht unter Hinzuziehung der topographischen Gegebenheiten (Abb. 11) die eindeutige Feststellung, daß die Großterrassen fast überall um ca. 1°C tiefere Temperaturen als Schlichten und Schmerberg und ca. 2 bis im Extremfall ca. 4°C tiefere als der Lenzenberg aufweisen. An der weinroten Farbgebung erkennbar, liegen die Großterrassen in demselben Temperaturniveau wie die wegen erhöhter Frostgefährdung rebfrei gehaltenen Talböden des Dull- und Wetztales und übertreffen das Tiefland um nur ca. 1.0 - 1.5°C . Als extrem ungünstig stellt sich dabei die Großterrassierung des Balschentalebodens dar (C 8). Ausnahmen mit 15 bis 16°C - und damit ähnlich temperiert wie Schlichten und Schmerberg in Abb. 49 - bilden neben den begrasteten Böschungen nur die höchstgelegenen Terrassenniveaus am Littensbühl (E/F 5/6). Hier genügte offenbar eine Windgeschwindigkeit von ca. 1.5 m/sec, um eine Durchmischung der Terrassenkaltluft mit wärmerer Umgebungsluft zu bewirken, was sich dann in den höheren Oberflächentemperaturen niederschlug. Auf die gleichen Werte kommen auch die unteren Lagen des Blankenhornsberges (B 5) und der kleinterrassierte hintere Winklerberg (E/F 2). Topographisch höher gelegene, unterterrassierte Rebparzellen am Blankenhornsberg (B 6/7) haben mit 16 bis 17°C ähnliche Werte wie der Lenzenberg. Extrem hohe Werte mit 17 bis 18°C treten über Tephrit z.B. am vorderen Winklerberg auf (I 1), was eine Differenz zum Tiefland von $> 4^{\circ}\text{C}$ bedeutet. Nur Waldparzellen erreichen ähnlich hohe Oberflächentemperaturen. Ein Kaltluftstau am Waldrand (C/D 4) läßt dort die Oberflächentemperatur auf 13 bis 14°C absinken. Vorsicht ist bei neu bepflanzten Rebparzellen wie am Blankenhornsberg (C/D 6) und am Littensbühl (E 5) mit ihren tiefen Werten innerhalb wärmerer Flächen geboten.

Die im Kap. 2.8.1.4 formulierte Hypothese, daß die bergwärts geneigten Großterrassen - "Ebenen am Hang" - für die ungewöhnlich niedrigen Lufttemperaturen flurbereinigter Weinberge verantwortlich sind, gilt gleichermaßen auch für die Oberflächen-

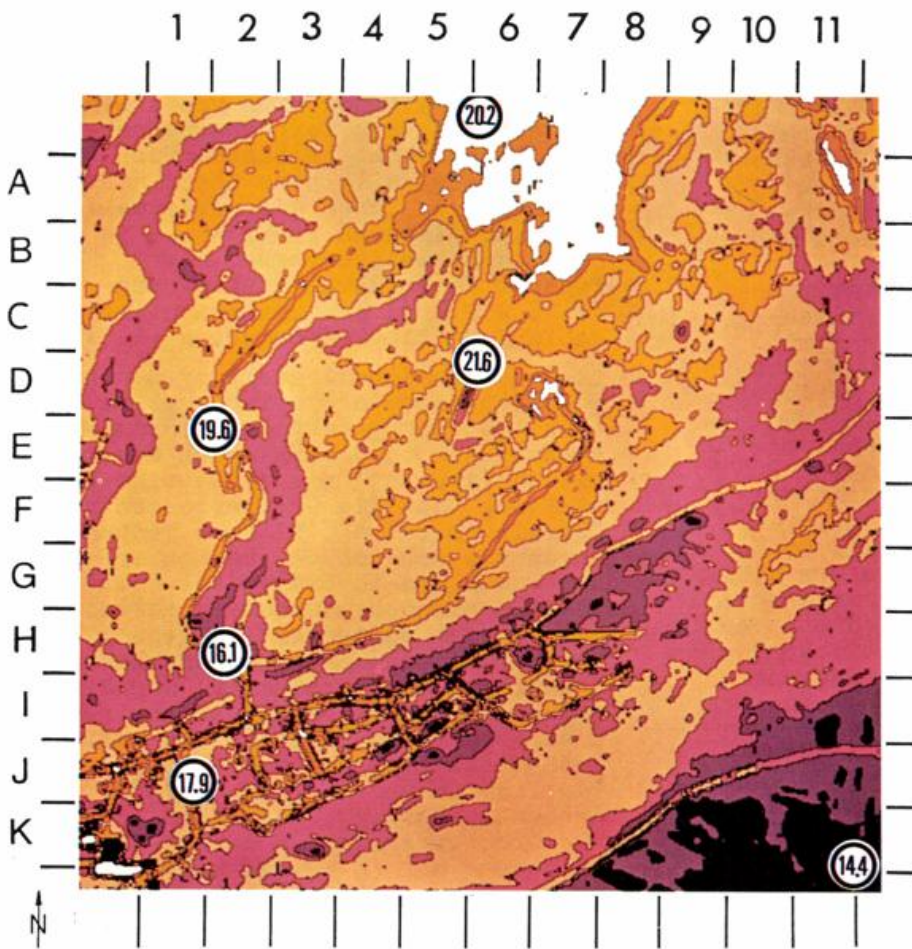


Abb. 49:

Äquidensiten-
darstellung
von Abb. 47;
intervalle der
Oberflächentem-
peratur:

weiß	>18°C
orange	17-18°C
gelb	16-17°C
hautf.	15-16°C
weinrot	14-15°C
violett	13-14°C
schwarz	<13°C

①44
synchron
zur Be-
fliegung
gemessene
Lufttempe-
raturen
(°C, 2m
ü.G.)

0 250 500 m

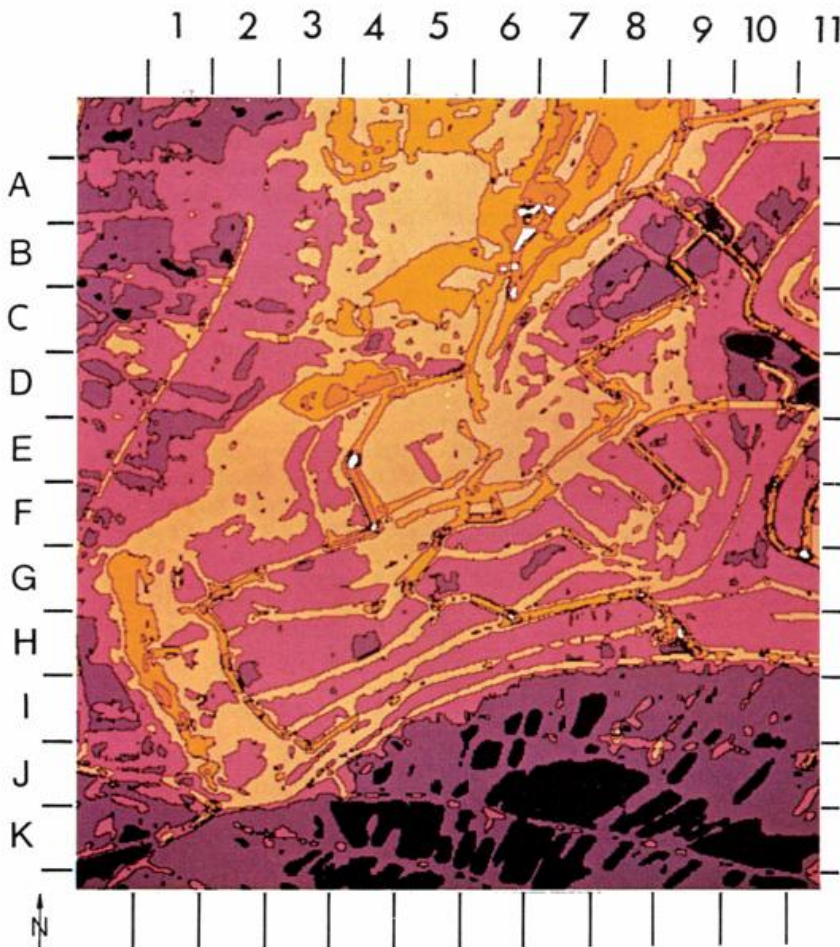


Abb. 50

Äquidensiten-
darstellung
von Abb. 48;
Intervalle der
Oberflächen-
temperatur
s. Abb. 49

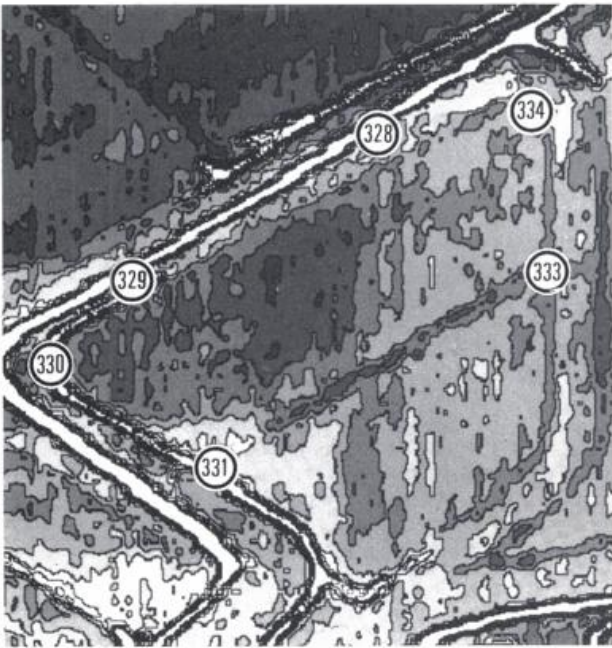


Abb. 51: Vergrößerter Thermalbildauschnitt aus Abb. 50 mit der Großterrasse am Schneckenberg in Äquidensintendarstellung

weiß	> 18.0°C	asphalt. Wege
hellgrau ₁	15.5-16.0°C	begraste Böschg.
hellgrau ₂	15.0-15.5°C	äußere GT-Hälfte, schmale Terr. im Osten
mittelgrau	14.5-15.0°C	innere GT-Hälfte
dunkelgrau ₁	14.0-14.5°C	
dunkelgrau ₂	13.5-14.0°C	
schwarz	13.0-13.5°C	Balschental

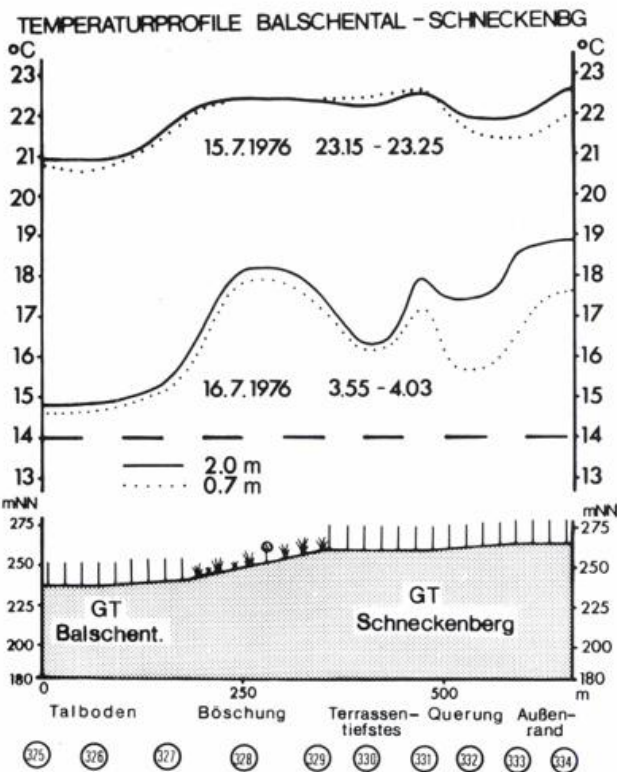


Abb. 53: Lufttemperaturprofile über die Großterrasse am Schneckenberg synchron zu den Befliegungen

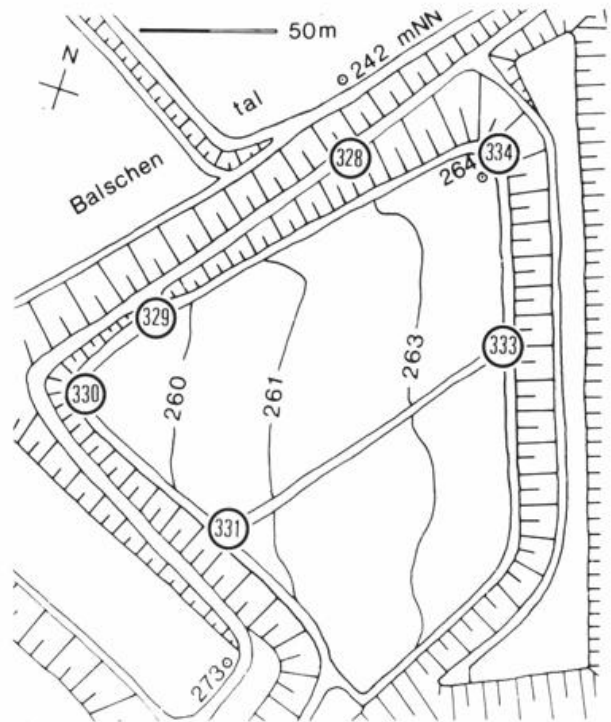


Abb. 52: Großterr. am Schneckenberg

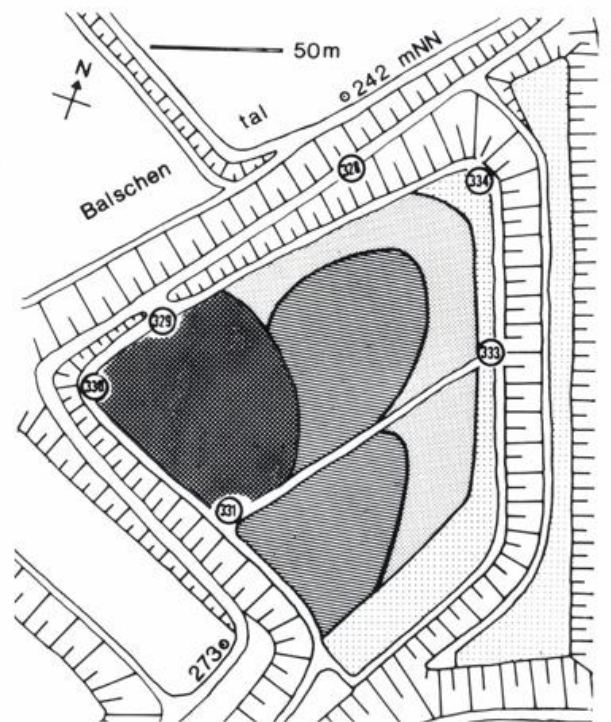


Abb. 54: Frostschadenskartierung vom 17.10.1972 am Schneckenberg

temperaturen. Dies kann durch die digital vergrößerte Äquidensiten-darstellung einer einzelnen Terrasse belegt werden. Hierfür eignet sich besonders gut die mittelhoch gelegene, spornartig vorragende Großterrasse am Schneckenberg (Abb. 51; Vergrößerung von D/E 6/7 in Abb. 50). Zieht man ihr Innengefälle (s. topographische Skizze Abb. 52) und die synchron zur Befliegung gemessenen Lufttemperaturen (Abb. 53) in die Betrachtung mit ein, so ist zu erkennen, daß die eigenbürtige Großterrassenkaltluft dem bergwärtigen Rückgefälle folgt und sich auf der inneren Terrassenhälfte aufstaut: Die Großterrasse entpuppt sich als Kaltluftfalle! Die tiefsten Oberflächentemperaturen übertreffen diejenigen im Balschental nur um ca. 0.5°C, diejenigen im Tiefland nur um ca. 1.5°C. Entsprechendes gilt auch für die Lufttemperaturen, insbesondere diejenigen in 0.7 m ü.G. Die höchsten Oberflächen- und Lufttemperaturen am Außensaum des Großterrassenspornes entsprechen denjenigen der begrasteten Böschungen. Etwa im gleichen Temperaturniveau liegt auch - obwohl topographisch tiefer - die schmale Terrasse im Osten. Die höheren Oberflächen- und Lufttemperaturen bei Meßpunkt 331 sind wohl auf die langwellige Ausstrahlung der hier besonders hohen Böschung zurückzuführen. Wie die Abbildungen 48 und 50 beweisen, stellen sich die Oberflächentemperaturverhältnisse auf anderen Großterrassen noch erheblich schlechter dar als am Schneckenberg.

Eine Frostschadenskartierung am 17.10.1972 hatte schon einmal die möglichen Konsequenzen der Großterrassierung aufgezeigt (Abb. 54): Die bergseitige Hälfte der Schneckenbergterrasse war wie das Balschental stark frostgeschädigt (>66 % der Reben), der Außenrand hingegen und die schmale, tiefer liegende Terrasse im Osten waren schadfrei (ENDLICHER 1977 b). Somit finden die bei den morgendlichen Meßfahrten festgestellten Lufttemperaturverhältnisse in den Oberflächentemperaturen ihre eindrucksvolle Bestätigung.

3.3.2.2 Mittagssituation

Bei der Interpretation vom mittäglichen Thermalbildern treten erhebliche Komplikationen auf. Dies liegt in den tagsüber sehr viel größeren Differenzen im Wärmehaushalt der zu betrachtenden Flächen. Wegen der Dominanz der kurzwelligen direkten Sonnenstrahlung steht aber zu erwarten, daß die Unterschiede in den

direkt eingestrahelten Energiemengen an Hängen unterschiedlicher Exposition und Inklination als Konsequenz unterschiedlich hohe Oberflächentemperaturen nach sich ziehen. Dabei dürften allerdings nur Flächen mit zumindest ähnlichen Evapotranspirations- und Bodenwärmewerten - in unserem Fall Rebareale - in die Betrachtung miteinbezogen werden. Eine Untersuchung erscheint lohnend, ob die in Tab. 17 festgehaltenen, am 16. Juli maximal möglichen mittäglichen Summen der direkten Sonnenstrahlung auf den annähernd horizontalen Großterrassenebenen und klein- bzw. nicht terrassierten Hängen entsprechende Oberflächentemperaturdifferenzierungen hervorrufen. Über die orographische Lage der einzelnen Testflächen unterrichten dabei die Abbildungen 10 und 11.

Tab. 17: Maximal mögliche Summen der direkten Sonnenstrahlung MJ/m² zur Mittagszeit (11-15 Uhr MOZ) am 16. Juli in 48°15'; berechnet nach Datenkollektiven bei BRANDTNER (1974)

EXPOSITION	MJ/m ²		
Ebene	10.62		
NE	9.50	8.09	6.44
E	9.97	9.02	7.79
SE	10.71	10.50	9.97
S	11.33	11.69	11.69
SW	11.42	11.87	11.96
W	10.95	10.94	10.61
NW	10.19	9.45	8.43
16. Juli	10°	20°	30°
11-15 Uhr MOZ	INKLINATION		

Das mittägliche Thermalbild von Lenzenberg, Schlichten und Schmerberg (Abb. 55) zeigt die kleinpartizellierten Weinberge in einem mittleren Grauton. Die Rebflächen mit den höchsten Oberflächentemperaturen zeichnen sich am Südhang des Lenzenberges ab (Gefälle ca. 20°; F 4/5). Etwas niedrigere Werte haben die Südlagen am Schlichten (Gefälle ca. 10°; G 1) und die Südostlagen am Lenzenberg (Gefälle ca. 20°; E/F 7) und Schmerberg (Gefälle ca. 10°; K 7). Noch etwas geringer ist die Oberflächentemperatur an den steilen Westhängen des Lenzenberges bzw. an West- und Osthängen des Schlichten (Gefälle ca. 20°; D 4, E 1/2) und auf den hochgelegenen



Abb. 55:
Kontrastverstärktes
Thermalbild vom
Lenzenberg; 16.7.
1976, 14.35 Uhr MEZ;
Flughöhe: 1000 m
ü.NN;
dunkel = rel. nie-
drige,
hell = rel. hohe
Oberflächen-
temperatur

(Freigegeben Reg.
Oberbayern, Nr.
GS 300/7250)

0 250 500 m

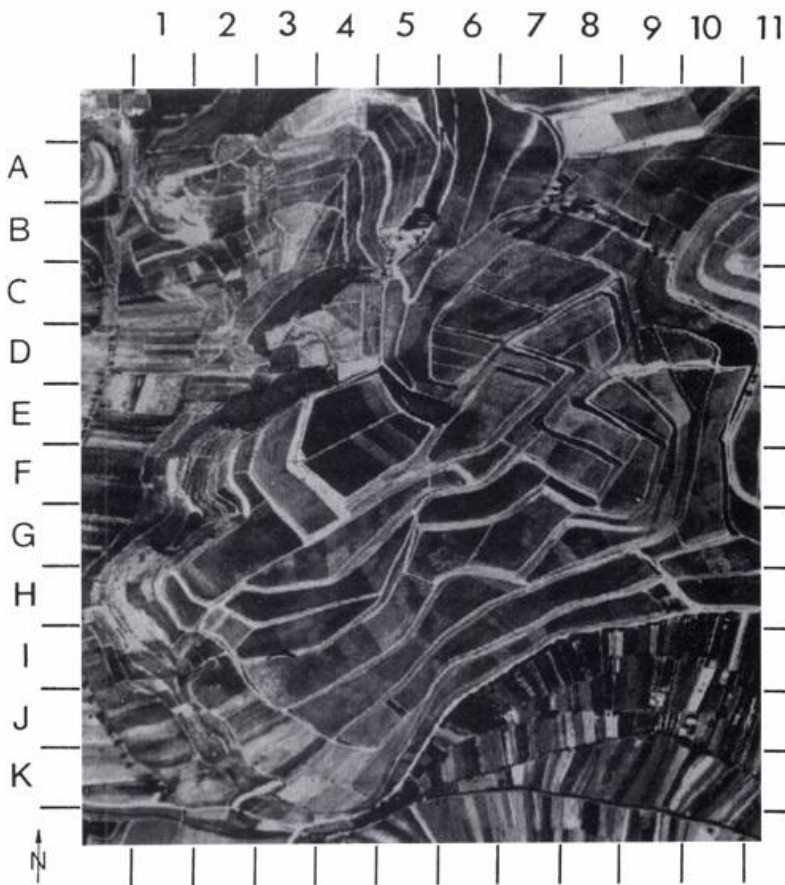


Abb. 56:
Kontrastver-
stärktes Ther-
malbild der
Großterrassen-
anlage am Foh-
renberg;
16.7.1976,
14.35 Uhr MEZ;
Flughöhe:
1000 m ü.NN;
dunkel = rel.
niedrige,
hell = rel.
hohe Ober-
flächentempe-
ratur

(Freigegeben
Reg. Ober-
bayern, Nr.
GS 300/7250)

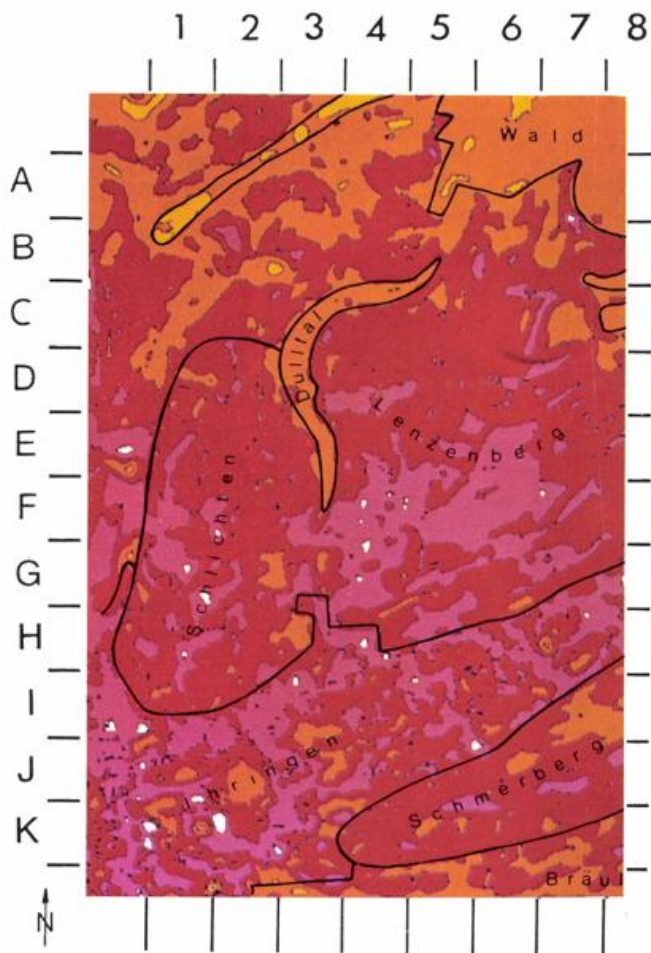


Abb. 57:

Äquidensitendarstellung von Abb. 55;
 Intervalle der Oberflächentemp.:
 weiß > 45°C
 weinrot 40 - 45°C
 rot 35 - 40°C
 orange 30 - 35°C
 gelb 25 - 30°C

0 250 500 m

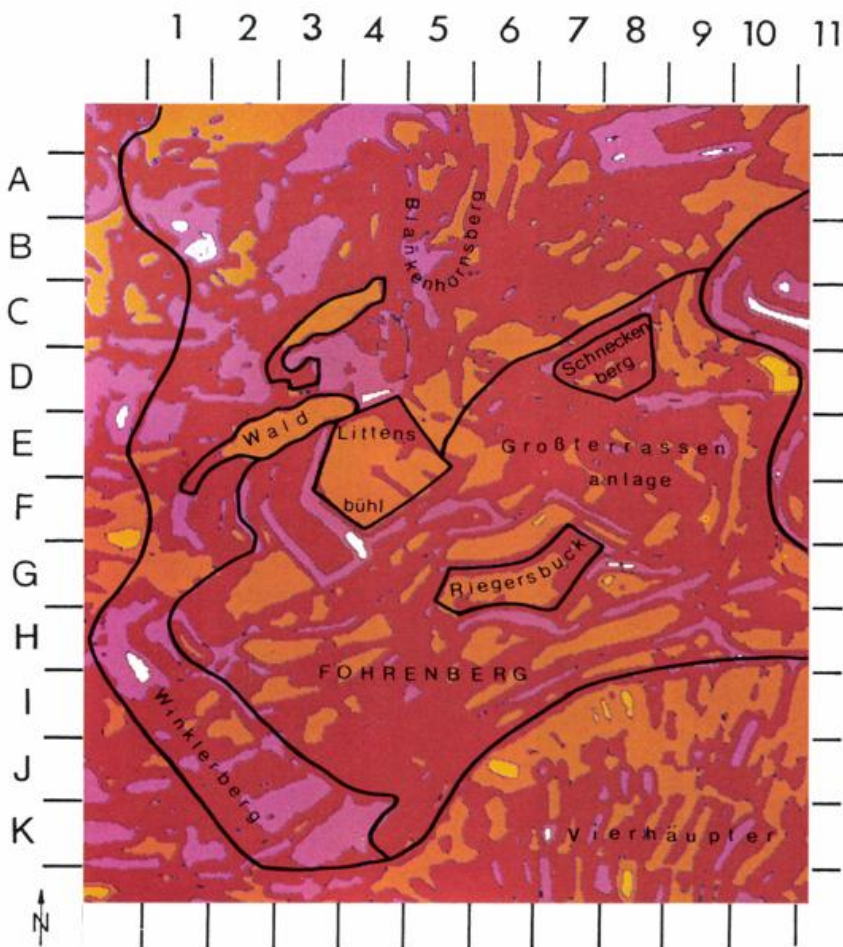


Abb. 58:

Äquidensitendarstellung von Abb. 56;
 Intervalle der Oberflächentemperatur s. Abb. 57

Verebnungsflächen von Kleinpöppi (C 2). Bedeutend tiefere Temperaturen weisen der Hochwald am Lenzenberg und die Waldreste im Dulltal auf. Hier wirkt sich besonders die große Transpiration der Bäume temperaturerniedrigend aus. Extrem hohe Oberflächentemperaturen findet man innerhalb der Dorfsiedlung von Ihringen (K 2).

Zur Erstellung eines Äquidensitenbildes mit Oberflächentemperaturintervallen von 5°C (Abb. 57) wurde die Bildszene einer gleitenden Mittelung über 7 x 7 Bildelemente unterzogen. Aufgrund des Atmosphäreninflusses dürften die absoluten Temperaturangaben um ca. 3°C zu niedrig sein. Bei der Bildinterpretation fällt auf, daß die Oberflächentemperatur der Rebflächen überwiegend im Bereich von 35 bis 40°C liegt. Nur die Südlagen am Lenzenberg und Schlichten erweisen sich mit 40 bis 45°C als besonders warm. Ähnlich hoch temperiert sind nur noch die Bausubstanz von Ihringen und einzelne neu bepflanzte Rebpärzellen. Die Oberflächentemperatur des Waldes gleicht mit 30 bis 35°C der gemessenen Lufttemperatur; ähnliches gilt für hochgelegene Rebareale auf den Verebnungsflächen von Kleinpöppi und am Lenzenberg.

Auf dem Thermalbild vom flurbereinigten Föhrenberg (Abb. 56) heben sich großterrassierte Rebflächen und begraste Steilböschungen aufgrund ihrer unterschiedlichen Oberflächentemperatur deutlich voneinander ab. Südexponierte Raine sind heller, nordostexponierte (z.B. am Littensbühl E 5) und Schneckenberg D 8/9) dagegen dunkler als die Terrassenflächen. Diese zeigen im Nordost- und im Südwestteil der Anlage einheitliche Grautöne. Die Terrassen unterhalb des Riegersbuck unterscheiden sich dagegen durch dunklere Grauwerte von ihnen. Ob dies auf höhere Bodenfeuchte und verstärkte Transpiration im Bereich eines ehemaligen Tälchens zurückgeführt werden darf, bleibt offen. Nordostexponierte Hänge am Balschentaltschluß (D 5) und nordwestexponierte am Winklerberg (G 1) haben tiefere, Süd- und Südwestlagen am Winklerberg (I 1) und Blankenhornsberg (B 3) höhere Oberflächentemperaturen. Etwa im gleichen Temperaturniveau wie die Großterrassen liegen auch die dem Kaiserstuhl vorgelagerten Freilandflächen der Oberrheinebene im Gewinn Vierhäupter (K 7/11).

Das zugehörige Äquidensitenbild der Großterrassenanlage am Föhrenberg zum Mittagstermin (Abb. 58) ermöglicht folgende Quantifizierung: Die überwiegende Fläche der Groß-

terrassen besitzt Oberflächentemperaturen von 35 bis 40°C (rot). Sie entsprechen damit temperaturmäßig ungefähr den kleinterrassierten West- und Osthängen bzw. den hochgelegenen Verebnungsflächen von Schlichten und Lenzenberg (Abb. 57). Die Großterrassen Littensbühl, Storck und Riegersbuck kommen allerdings - zusammen mit knapp dem halben großterrassierten Flächenareal - auf nur 30 bis 35°C (orange). Die Steilböschungen südlicher Exposition sind mit 40 bis 45°C (weinrot) - am Littensbühl gar bis 50°C - erheblich wärmer. Nur hier treten ähnlich hohe Oberflächentemperaturen wie an den rebenbestandenen Süd- und Südwesthängen des vorderen Winklerberges und des Blankenhornsberges auf. Die Oberflächentemperaturen der unterterrassierten West- und Osthänge des Blankenhornsberges (Gefälle 15°; B 4, C 6) und die Nordwestlagen am Winklerberg (G 1) entsprechen mit 30 bis 40°C den Werten ähnlich exponierter Rebpärzellen am Lenzenberg und Schlichten. Die wichtigsten Resultate aus dem Vergleich der mittäglichen Thermalbilder vom südwestlichen Kaiserstuhl lassen sich in den folgenden 6 Punkten zusammenfassen:

1. Bei ungestörter Einstrahlung schlägt sich der unterschiedliche Energieinput auf Flächen unterschiedlicher Exposition und Inklination (Tab. 17) - gleiche Vegetationsbedeckung vorausgesetzt - in unterschiedlichen Oberflächentemperaturen nieder.
2. Die höchsten Oberflächentemperaturen - 40 bis 45°C, im Extremfall >50°C - treten an Rebhängen und Steilböschungen südlicher Exposition auf, die damit die Werte horizontaler Flächen um 5 bis 10°C übertreffen.
3. Die Umlegung süd-, südost- und südwestexponierter Rebhänge zu horizontalen Großterrassen führt bei sommerlichem Strahlungswetter aufgrund der geringeren Energieeinnahmen zu einer Erniedrigung der Oberflächentemperaturen um 5 bis 10°C, wie der Vergleich zwischen kleinterrassierten Hanglagen und modernen Großterrassen ergibt.
4. Das Temperaturniveau auf den horizontalen Großterrassen entspricht damit nur etwa demjenigen an klein- und unterterrassierten Rebhängen östlicher und westlicher Exposition. Somit hat die Flurbereinigung insgesamt eine Nivellierung der Oberflächentemperaturen im Rebland zur Folge.
5. Die bezüglich der Großterrassen getroffenen Feststellungen gel-

ten für den Befliegungstermin 16. Juli. Die Benachteiligung der Großterrassen gegenüber Hängen südöstlicher bis westlicher Exposition muß sich zum Herbst hin noch erheblich verschärfen, da gerade in diesen für die Qualität entscheidenden Monaten die maximale Einstrahlungsdifferenzierung während der gesamten Vegetationsperiode auftritt (vgl. Tab. 14).

6. Die niedrigen mittäglichen Oberflächentemperaturen auf den Großterrassen sind primär eine Folge der veränderten Reliefverhältnisse. Es handelt sich hierbei also um eine bleibende Erscheinung. Die von BECKER (1977 b) für die negative Veränderung des Wärmehaushaltes herangezogene angeblich höhere Albedo der neu angelegten Terrassen spielt dagegen für die Oberflächen- und Lufttemperaturen eine untergeordnete Rolle. Die Auswertungen der mittäglichen Abtasterbilder im sichtbaren und nahen infraroten Bereich zeigten zwar bei gerade in Umlegung begriffenen Flächen eine Vergrößerung der Albedo wegen der helleren Farbe des nach oben gebrachten Rohlösses. Der flurbereinigte Ihringer Fohrenberg unterschied sich aber sechs Jahre nach der Neubepflanzung hinsichtlich seiner Albedo in keiner Weise vom kleinterrassierten Lenzenberg, weil während der Vegetationsperiode Reblaub, Weinbergsunkräuter und Gründüngung keine abweichenden Albedowerte zwischen Groß- und Kleinterrassen entstehen lassen. Die von BECKER (1977 b) geäußerte Hoffnung auf eine Reversibilität der Temperaturverschlechterung aufgrund einer Veränderung der Großterrassenalbedo ist dementsprechend nicht gerechtfertigt.

4 ZUSAMMENFASSENDE SCHLUSSBETRACHTUNG

Die regionale Klimagunst der Oberrheinebene wird im Bergland des Kaiserstuhls durch die Sonderkultur des Weinbaus in Wert gesetzt. Für den Ernteerfolg und das Anbau-risiko sind dabei die subregionalen und lokalen Differenzierungen des Geländeklimas von besonderer Relevanz. Mit Hilfe einer mobilen Meßapparatur wurden auf 14 Itineraren durch repräsentative Landschaftsteile 119 Meßfahrten zum Zwecke einer linienhaften Datenaufzeichnung durchgeführt. Die Meß-

methodik wird ausführlich diskutiert. Die Meßrouten, bei deren Festlegung die im Zuge der Rebflurbereinigung geschaffenen großflächigen Terrassen besondere Berücksichtigung fanden, werden detailliert beschrieben. Die Darstellung der Meßfahrtergebnisse geschieht in Form von Temperatur- und Geländeprofilen. Die Daten der Meßkampagnen in Strahlungs Nächten ermöglichten Aussagen hinsichtlich der Kaltluftbeeinflussung von Rebland relativ zur Oberrheinebene. Eine Berechnung der Frostgefährdung erfolgte über den Anschluß der Meßfahrten an Bezugsklimastationen. Der bedeutende thermische Vorteil, den die Kaiserstühler Weinberge in Strahlungs Nächten unter dem Einfluß des vorgelagerten Tieflandes genießen, konnte somit quantifiziert werden. An steilen, kleinterrassierten Rebhängen am südwestlichen Außenrand des Kaiserstuhls ist oberhalb 250 m ü.NN keine Strahlungsfrostgefährdung mehr zu befürchten, da die produzierte Kaltluft direkt in das Sammelbecken des Oberrheinischen Tieflandes abfließt. Zum Zentrum des Berglandes hin ist ein Ansteigen der Frostgefährdungsgrenzen bei sich gleichzeitig vermindender vertikaler Mächtigkeit der Kaltluft festzustellen. So sind an der Oberbergener Baßgeige im Frühjahr (Herbst) Reblagen ab 275 m ü.NN (325 m ü.NN), 40 m (90 m) über dem lokalen Talboden nicht mehr frostgefährdet, während der Schellingener Rebberg erst ab 325 m ü.NN (390 m ü.NN), 20 m (70 m) über dem Talboden, frostfrei ist. An den Riedeln des Ostkaiserstuhls sind dagegen bereits Höhen von 240-290 m ü.NN, 20-30 m über dem örtlichen Talboden, nicht mehr vom Frost betroffen. Dieser Unterschied im Temperaturgefüge von Zentral- und Ostkaiserstuhl ist auf den unterschiedlichen topographischen Bau des Berglandes zurückzuführen: Während im Zentralkaiserstuhl das Kerbsohlentalsystem des Krottenbachs die einzige Abflußmöglichkeit für die Kaltluft bietet und sie deshalb dort weit die Hänge hinauf reicht, kann sie sich in den breiten Kastentälern des Ostkaiserstuhls auf eine sehr viel größere Grundfläche verteilen und die dazwischengeschalteten Riedel nicht beeinflussen. Die tiefsten Werte im Temperaturniveau der Oberrheinebene wurden in flachgefälligen Nebentälchen, in Talkesseln und im Stau einer Obstanlage gemessen. Die Notwendigkeit von Frostschutzmaßnahmen in derartig ungünstigen Lagen konnte an einem konkreten Beispiel deutlich gemacht werden. An kleinter-

rassierten Rebhängen und an Steilböschungen wurde das Temperaturniveau des Tieflandes im Extremfall um mehr als 10°C übertraffen. In allen Weinbaudörfern konnten ausgeprägte nächtliche Wärmeinseln nachgewiesen werden. Ihre Temperaturen lagen im Mittel um 3-4°C, im Extremfall um 6°C über denen der Oberrheinebene.

Mittägliche Meßfahrten bei Strahlungswetter gaben Aufschluß über die Temperaturverteilung an unterschiedlich orientierten Rebhängen. Es konnte gezeigt werden, daß an Süd- und Südwesthängen die hypsometrische Temperaturabnahme bis an die Obergrenze des Rebürtels durch den vergrößerten Energieinput zumindest kompensiert wird, während ungünstig exponierte Hänge um 0.5 bis 1.0°C unter den Temperaturen der Rheinebene bleiben. Die dichtverbauten Dorfsiedlungen weisen im Sommer schwache Wärmeinseln in der Größenordnung von 1°C auf, bleiben in den Übergangsjahreszeiten jedoch um mehr als 2°C hinter der Temperatur der Oberrheinebene zurück und stellen dann ausgedehnte Kühlzonen dar.

Weitere Meßfahrten wurden zum Verständnis der Temperaturverteilung bei herbstlichen Inversionen und advektiv geprägten Wetterlagen durchgeführt.

Im Rahmen des erdwissenschaftlichen Flugzeugmeßprogrammes konnten mit Fernerkundungsmethoden flächenhaft die Oberflächentemperaturen im Kaiserstuhl aufgenommen werden. Die dabei mit einem Zeilenabtaster zu verschiedenen Tageszeiten erstellten Thermalbilder wurden auf digitalem Wege weiterverarbeitet. Die Bilder der Morgenbefliegungen vor Sonnenaufgang erlaubten in einem ersten Schritt eine qualitative Interpretation der Oberflächentemperaturverhältnisse im gesamten Bergland und in einer weinbaulichen Einzellage. Hierfür erwies sich die Kenntnis der Topographie und der Vegetationsbedeckung als unerlässlich. Unterschiedliche Temperaturen von gleichen Beständen wie Hochwald, Obstplantagen oder Rebkulturen ließen den Befund der Kaltluftbeeinflussung zu. In einem zweiten Schritt wurden die Ergebnisse in quantitativ zu interpretierende Karten der Oberflächentemperatur überführt und eine Ausgliederung kaltluftgefährdeter Geländeteile vorgenommen. In Talanlagen wiesen Oberflächen- und Lufttemperaturen einen weitgehend parallelen Verlauf auf. Für eine Untersuchung der ther-

mischen Verhältnisse auf den modernen Großterrassen wurden Lufttemperaturprofile und Thermalbilder morgendlicher und mittäglicher Meßfahrten bzw. Befliegungen herangezogen. Aus dem Vergleich mit konventionell kleinterrassierten Rebhängen konnten folgende Veränderungen des Geländeklimas nachgewiesen werden:

1. Die Einstrahlungsverhältnisse auf den Großterrassenflächen entsprechen denjenigen auf Ebenen. Gegenüber kleinterrassierten Hängen südöstlicher und südwestlicher, insbesondere aber südlicher Exposition führt dies zu einer Verringerung der zugestrahlten Energiemengen.
2. Die zur Mittagszeit bei Strahlungswetter auf Großterrassen gemessenen Oberflächen- und Lufttemperaturen liegen deshalb unter denen vergleichbarer Kleinterrassenanlagen.
3. Die beachtliche Größe der neu geschaffenen "Ebenen am Hang" steigert in Strahlungsnächten die Produktion von Kaltluft, die wegen der bergwärtigen Neigung der Großterrassen in einer "Falle" aufgefangen wird. Kaltluftbeeinflussung in allen Strahlungsnächten und Steigerung der Frostgefährdung in den Übergangsjahreszeiten sind die Folge.
4. Der positive Strahlungseinfluß der Böschungen kommt aufgrund der zu großen Terrassentiefe nur in Ausnahmefällen tagsüber und nachts zum Tragen.
5. Die Höhe und Steilheit der Böschungen und die abrupten Kanten verstärken die Windbelastung in Luvlagen. Dies gilt sowohl hinsichtlich einer Erhöhung der Windgeschwindigkeit als auch einer Vergrößerung der Böigkeit.
6. Die Konsequenzen der Geländeklimaverschlechterung sind Quantitäts-, vor allem aber Qualitätseinbußen beim produzierten Traubenmost und eine Steigerung des Anbaurisikos. Das Klima von Großterrassen muß deshalb den "... Formen der Lokalklimate, die auf das Schuldkonto der menschlichen Tätigkeit gehen" (KNOCH 1963), zugerechnet werden.

In diesem Zusammenhang ist zu betonen, daß der Großteil aller Flurbereinigungsmaßnahmen das Geländeklima nicht beeinträchtigt. Insbesondere stehen die positiven Auswirkungen der Zeitersparnis und Transporterleichterung durch verbesserte Wegeterschließung und Zusammenlegung, die Erhöhung der Marktleistung durch

Anpflanzung qualitativ höherwertiger Rebstöcke in modernen Erziehungsarten und die Arbeitserleichterung durch den Einsatz moderner Maschinen außer Zweifel. Problematisch aus geländeklimatologischer Sicht ist dagegen die Reliefform in Form von Großterrassen, vor allem deren

- Flächenausdehnung, die ca. 5 ha erreichen kann,
- die Terrassentiefe von oftmals mehreren Dekametern und
- das bergwärtige Einfallen um 2 bis 4 % .

Um die oben genannten negativen Folgen für das Geländeklima, die durch den Bau von Großterrassen entstehen, in Zukunft auszuschließen oder zumindest abzumildern, müßten bei der Umlegung folgende 6 Gesichtspunkte Berücksichtigung finden:

1. Alle neu geschaffenen, in Ost-, Süd- und Westrichtung exponierten neuen Terrassen sollten nach Möglichkeit mit einer 5 %igen Neigung nach Süd versehen werden. Dies würde eine Erhöhung der eingestrahlten Energiemengen mit ihren positiven Konsequenzen für die Oberflächen- und Lufttemperaturen am Tage zur Folge haben.
2. Diese Maßnahme würde die südost- bis südwestexponierten Terrassen mit einem Außengefälle versehen und den Abfluß eigenbürtiger Ausstrahlungskaltluft begünstigen. Als Resultat wäre eine Verringerung der Kaltluft- bzw. Frostgefährdung zu verzeichnen. Auf anders exponierten Terrassen sind Kompromisse zwischen Süd- und Außenneigung zu suchen.
3. Die Terrassentiefe sollte auf circa 10 m begrenzt werden. Auf einer derartigen Schmalterrasse bleibt zum einen die für die Kaltluftbildung in Frage kommende Fläche relativ klein, zum anderen kann sich die Ausstrahlung der Rückböschung auf der gesamten Terrasse positiv auswirken. Außerdem werden die Einzugsgebiete für das oberflächlich abfließende Wasser so weit reduziert, daß aus der in Punkt 2 geforderten Außenneigung bei entsprechenden kulturtechnischen Maßnahmen keine vergrößerte Erosionsgefährdung zu resultieren braucht. Und schließlich können parallel zum Hang angelegte Rebzeilen durchaus Längen von ca. 60 m erreichen, so daß bei Maschinenein-

satz arbeitswirtschaftlich vertretbare Wendezeiten auftreten.

4. Wirtschaftswege dürfen nicht in der Gunstzone entlang süd- und westexponierter Rückböschungen verlaufen. Die Böschungszustrahlung sollte vielmehr ausschließlich Rebstöcken zugute kommen.
5. Die Böschungen und ihre Oberkanten sollten mit standortgerechten Gehölzen bepflanzt werden. Die Böschungshöhen sollten 5 bis 8 m nicht übersteigen. Beide Maßnahmen würden zu einer Senkung der Windbelastung führen. Wie die Untersuchungen von DARMER (1967) zeigen, können durch möglichst schwach geneigte Böschungen die Turbulenzen auf den Terrassenflächen verringert und durch Bepflanzung über die Vergrößerung der Oberflächenrauigkeit eine Senkung der Windgeschwindigkeit herbeigeführt werden.
6. Topographische Einflußgrößen wie absolute und relative Höhe oder Hohl- und Vollformenlage müßten bei der Terrassengestaltung eine stärkere Berücksichtigung als bisher erfahren. So sollten z.B. Talböden grundsätzlich nicht horizontal terrassiert werden, da sonst die Kaltluftdrainage behindert ist.

Die meisten Argumente, die von Seiten des Naturschutzes gegen die als "synthetische Retorten-Landschaft" (ZUNDEL 1975) abgelehnten Großterrassen vorgebracht werden, verlören bei Berücksichtigung der oben genannten Punkte an Gewicht, da eine weitgehende Zerstörung des Landschaftsgefüges vermieden würde. Zusammen mit der Bewahrung der Klimagunst, einem ökologischen Faktor mit im Weinbau besonders hohem Stellenwert, und einer arbeitswirtschaftlich modernen Neugestaltung des Reblandes aus ökonomischen Zwängen heraus könnte damit ein zweifellos notwendiger Beitrag für die Erhaltung des Kaiserstuhls als Erholungslandschaft geleistet werden.

5 LITERATUR

- (1) AGROCLIMATOLOGICAL METHODS. Proceedings of the Reading Symposium July 1966, hrsg. v. UNESCO, Natural Resources Research (Paris) 7, 1968.
- (2) AICHELE, H.: Witterung und Weinertrag. Wetter und Klima 2 (1949) S. 167-173.
- (3) AICHELE, H.: Kleinklimatische Froststudien in der Baar. Archiv. Wiss. Gesellsch. Land- u. Forstwirtschaft Freiburg i. Br. 2 (1950a) S. 28 f.
- (4) AICHELE, H.: Kleinklimatische Untersuchungen am Wartenberg. Meteorol. Rdsch. 3 (1950b) S. 15-18.
- (5) AICHELE, H.: Kaltluftpulsationen. Meteorol. Rdsch. 6 (1953a) S. 53-54.
- (6) AICHELE, H.: Lokalklimatische Froststudien am westlichen Bodensee. Meteorol. Rdsch. 6 (1953b) S. 126-130.
- (7) AICHELE, H.: Kleinklimatische Untersuchungen, eine Voraussetzung für Windschutzpflanzungen. Veröffentlichungen Naturschutz und Landschaftspflege Baden-Württemberg 25 (1957) S. 115-124.
- (8) AICHELE, H.: Die Bedeutung des Kleinklimas im Qualitätsweingebau. Die Wein-Wissenschaft 16 (1961) S. 197-205.
- (9) AICHELE, H.: Weinbau-Meteorologie. Weinberg und Keller 12 (1965). S. 1-14.
- (10) AICHELE, H.: Über die Verwendung fahrbarer Temperaturschreiber bei geländeklimatischen Untersuchungen. Angew. Meteorol. 5 (1964/68) S. 267-276.
- (11) ALBERTZ, J.: Fernerkundungssysteme und ihre Anwendung in Deutschland. In: Geodätische Woche Köln 1975, hrsg. im Auftrag d. Dt. Vereins für Vermessungswesen von G. Krauss, Stuttgart 1976, S. 303-311.
- (12) ALBERTZ, J.: Vorschläge für eine einheitliche Terminologie in der Fernerkundung. Bildmessung und Luftbildwesen 4 (1977) S. 119-124.
- (13) ALLEWELDT, G.: Der Einfluß des Klimas auf Ertrag und Mostqualität der Reben. Rebe und Wein 20 (1967) S. 312-317.
- (14) ALLEWELDT, G. u. W. HOFÄCKER: Einfluß von Umweltfaktoren auf Austrieb, Blüte, Fruchtbarkeit und Triebwachstum bei der Rebe. Vitis 14 (1975) S. 103-115.
- (15) BACHEM, H. CH.: Infrarot-Wärmeaufnahmen: Flugbericht, Aufnahmetechnik, Bildverarbeitung. Luftaufnahmen II. Schriftenreihe Siedlungsverband Ruhrkohlenbezirk Nr. 58, Essen 1975, S. 77-84.
- (16) BARTHOLIC, J. F.; C. L. WIEGAND; R. W. LEAMER u. L. N. NAMKEN: Thermal Scanner Data for Studying Freeze Conditions. 3. Annual Conference. Earth Resources Program Review. Houston, Tex., Bd. 2: Agriculture, Forestry and Sensor Studies. Springfield, Va.: Nat. Techn. Info. Service 1970, S. 27-1 bis 27-23.
- (17) BAUMGARTNER, A.: Gelände und Sonnenstrahlung als Standortsfaktor am Großen Falkenstein (Bayerischer Wald). Forstwiss. Centralblatt 79 (1960a) S. 286-297.
- (18) BAUMGARTNER, A.: Die Lufttemperatur als Standortsfaktor am Großen Falkenstein. Forstwiss. Centralblatt 79 (1960b) S. 362-373, 80 (1961) S. 107-120, 81 (1962) S. 17-47.
- (19) BAUMGARTNER, A.: Wärmeumsätze des Bodens und der Pflanze. In: Frostschutz im Pflanzenbau, Bd. 1, hrsg. v. F. Schnelle, München-Basel-Wien 1963a, S. 82-150.
- (20) BAUMGARTNER, A.: Einfluß des Geländes auf Lagerung und Bewegung der nächtlichen Kaltluft. In: Frostschutz im Pflanzenbau, Bd. 1, hrsg. v. F. Schnelle, München-Basel-Wien 1963b, S. 151-194.
- (21) BECKER, N. J.: Die Gütebewertung der Rheingauer Weinbergslagen. Der Deutsche Weinbau 23 (1968) S. 1268-1302.
- (22) BECKER, N. J.: Beiträge zur Standortforschung an Reben (Vitis vinifera L.). Ergebnisse einer Erhebungsuntersuchung im Rheingau. Die Wein-Wissenschaft 25 (1970a) S. 63-116.

- (23) BECKER, N.J.: Kennwerte des klimatischen Leistungspotentials von Rebflächen. Die Wein-Wissenschaft 25 (1970b) S. 356-370.
- (24) BECKER, N.J.: Die Bedeutung des Kleinklimas für den Qualitätsweinbau. Deutsches Weinbaujahrbuch 1971, 22. Jg., Waldkirch 1970c, S.15-20.
- (25) BECKER, N.J.: Vergleich verschiedener Methoden zur Beurteilung kleinklimatischer Wärmeunterschiede an Rebstandorten. Die Wein-Wissenschaft 27 (1972) S. 105-112.
- (26) BECKER, N.J.: Praktische Erfahrungen mit der reaktionskinetischen Temperaturmessung nach Pallmann. Archiv Meteor., Geophys., Bioklim., Ser.B 23 (1975) S. 415-430.
- (27) BECKER, N.J.: Ökologische Kriterien für die Abgrenzung des Rebgebietes in den nördlichen Weinbaugebieten. Die Wein-Wissenschaft 32 (1977a) S. 77-102.
- (28) BECKER, N.J.: Untersuchungen über Kleinklimaveränderungen im Rebgebiet durch den Bau großflächiger Terrassen. Die Wein-Wissenschaft 32 (1977b) S. 237-253.
- (29) BECKER, N.J.: Witterung, Ertrag und Qualität. Der Badische Winzer H.5 (1977c) S. 22-28.
- (30) BENDIX AEROSPACE SYSTEMS DIVISION: Modular Multispectral Scanner (M2S). Folder I - Technical Proposal. BSD 8039. Ann Arbor, Michigan, April 1974.
- (31) BJELANOVIC, M.M.: Mesoklimatische Studien im Rhein- und Moselgebiet - Ein Beitrag zur Problematik der Landesklimatechnik. Arbeiten aus dem Geogr. Inst. d. Univ. Bonn, Reihe A, Nr. 76, 1967.
- (32) BLÜTHGEN, J.: Allgemeine Klimogeographie. Lehrbuch der Allgemeinen Geographie Bd.II, 2.Aufl. Berlin-New York 1966.
- (33) BÜER, W.: Einige Vorschläge zur praktischen Durchführung einer geländeklimatischen Aufnahme unter besonderer Berücksichtigung städtebaulicher Gesichtspunkte. Angew. Meteorol. 1 (1952), S. 219-222.
- (34) BÜER, W.: Einige Überlegungen zu den Grundlagen einer Witterungsklimatologie. In: Einfluß der Karpaten auf die Witterungserscheinungen. Die II. Konferenz für Karpatenmeteorologie, Budapest 13.-15.November 1961; herg. v. J.Kakas, Budapest 1963, S. 165-169, Diskussion S.169-172.
- (35) BÜLL, K.P.: Beziehungen zwischen Klima, Traubenertrag und Mostqualität in Baden-Württemberg. Die Wein-Wissenschaft 26 (1971), S. 90-111.
- (36) BOLLE, H.J.: Grundlagen der Fernerkundung. Symposium Erderkundung, veranstaltet von der Deutschen Forschungs- und Versuchsanstalt für Luft- und Raumfahrt und dem Arbeitskreis Photointerpretation der Deutschen Gesellschaft für Photogrammetrie, Köln-Porz, 7.-11.4.1975a, S. 1-9.
- (37) BOLLE, H.J.: Physikalische Grundlagen der Fernerkundung. Symposium Erderkundung, ... s.o. Köln-Porz, 7.-11.4.1975b, S. 11-24.
- (38) BRAMSON, M.A.: Infrared Radiation. A Handbook for Applications. New York 1968.
- (39) BRANDTNER, E.: Die Bewertung geländeklimatischer Verhältnisse in Weinbaulagen. Deutscher Wetterdienst - Zentralamt, Abt. Agrarmeteorologie, Offenbach a.M. 1974.
- (40) BRANDTNER, E.: Geländeklimatologie der Weinbaulagen. Promet 5 (1975), S. 1-6.
- (41) BROCKS, K.: Die Höhenabhängigkeit der Lufttemperatur in der nächtlichen Inversion. Meteorol. Rdsch. 2 (1949), S. 159-167.
- (42) BURCKHARDT, H.: Ausrüstung, Aufgaben und Arbeitsweise des Meßzuges Neustadt. Mitt.Dt.Wetterd. Nr. 14, Bd.2 (1955), S. 134-147.
- (43) BURCKHARDT, H.: Probleme und Möglichkeiten zur Kartierung der Frostgefährdung. Meteorol. Rdsch. 9 (1956a), S. 92-98.
- (44) BURCKHARDT, H.: Vorbeugender Frostschutz und Frostschutz durch Beregnung. Mitt.Dt.Wetterd. Nr. 16, Bd.3 (1956b), S. 26-53.
- (45) BURCKHARDT, H.: Der Umweltfaktor Klima im Weinbau. Die Wein-Wissenschaft 13 (1958a) S. 59-65.

- (46) BURCKHARDT, H.: Zur Abhängigkeit des Bestandesklimas in Weinbergen von der Erziehungsform der Reben. Meteorol. Rdsch. 11 (1958b), S. 41-47.
- (47) BURCKHARDT, H.: Zur Häufigkeit von Nachtfrösten. Mitt. Dt. Wetterd. Nr. 28, Bd. 4, 1962
- (48) BURCKHARDT, H.: Kleinklimatische Kartierung nach Frostgefährdung und Frostschaden. In: Frostschutz im Pflanzenbau, Bd. 1, hrsg. v. F. Schnelle. München-Basel-Wien 1963, S. 195-268.
- (49) BUSSE, W.: Temperaturmeßfahrten. 2. Jahresbericht mit Abhandlungen d. Bad. Landeswetterdienstes, Freiburg i.Br. 1950, S. 12 f.
- (50) CHAPPAZ, R.: L'Effet de Foehn dans la plaine d'Alsace. Monographie No. 97 de la Météorologie Nationale, Paris 1975.
- (51) CIHLAR, J.: Thermal Infrared Remote Sensing - a bibliography. Canadian Centre for Remote Sensing, Rapport Nr. 76-1, Ottawa 1976.
- (52) CREUTZBURG, N.: Struktur der Landschaftseinheiten. In: Freiburg und der Breisgau. Ein Führer durch Landschaft und Kultur, hg. v. R. Heilmeyer, Freiburg i.Br. 1954a, S. 13-73.
- (53) CREUTZBURG, N.: Kaiserstuhl. In: Freiburg und der Breisgau. Ein Führer durch Landschaft und Kultur, hg. v. R. Heilmeyer, Freiburg i.Br. 1954b, S. 163-212.
- (54) DARMER, G.: Windkanalversuche über Struktur und Anordnung von Schutzpflanzungen im Böschungsbereich von Halden und Hochkippen. Beitr. z. Landespflege 3 (1967), S. 102-124.
- (55) DARMER, G.: Landschaft und Tagbau - Ökologische Leitbilder für die Rekultivierung. Hannover 1973.
- (56) EIMERN, J. VAN: Kleinklimatische Geländeaufnahme in Quickborn/Holst. Annal. Meteorol. 4 (1951), S. 259-269.
- (57) EIMERN, J. VAN u. E. KAPS: Lokalklimatische Untersuchungen im Raum der Harburger Berge und der benachbarten Elbniederung. Hilstrup bei Münster 1954.
- (58) EIMERN, J. VAN: Zur Methodik der Geländeklimaaufnahme. Mitt. Dt. Wetterd. Nr. 14, Bd. 2 (1955), S. 125-131.
- (59) EIMERN, J. VAN: The Topoclimate and its Mapping for Agricultural Purposes. In: Proceedings of the Regional Training Seminar on Agrometeorology, 13-25 May 1968 in Wageningen, hg. v. A. J. W. Borghorst, Agricultural University Wageningen 1968a, S. 213-220.
- (60) EIMERN, J. VAN: Some Hints on the Use of Instruments and Equipment for Topoclimatological Work in the Field. In: Proceedings ... (s.o.) Wageningen 1968b, S. 289-293.
- (61) EIMERN, J. VAN: Methods and Techniques for the Mapping of Topographical Distribution of Air Temperature. In: Proceedings ... (s.o.) Wageningen 1968c, S. 319-342.
- (62) EIMERN, J. VAN: Wetter- und Klimakunde für Landwirtschaft, Garten- und Weinbau. Stuttgart 1971.
- (63) EIS, F.-H.: Flurbereinigung im Weinbau. Schriftenreihe für Flurbereinigung H. 8, Lengerich 1955.
- (64) ELLENBERG, H., K.-F. SCHREIBER, R. SILBEREISEN, F. WELLER u. F. WINTER: Grundlagen und Methoden der Obstbaumstandortkartierung. Der Obstbau 75 (1956b), S. 75-77, 90-92, 107-110.
- (65) ENDLICHER, W.: Luft- und Oberflächentemperaturverteilung auf Großterrassen in Strahlungsnächten. Annal. Meteorol. (N.F.) 12 (1977a), S. 224 f.
- (66) ENDLICHER, W.: Zum Temperaturverhalten auf Großterrassen in Strahlungsnächten anhand von Meßfahrten, Frostkartierung und Thermalbildern. Die Wein-Wissenschaft 32 (1977b), S. 174-188 u. 309.

- (67) ENDLICHER, W.: Thermalbilder und die Veränderung des Geländeklimas in flurbereinigten Weinbergen. Berichte zum Symposium Flugzeugmessprogramm, Bundesmin. Forschg. u. Technol., Forschber. W 78-04, Eggenstein-Leopoldshafen 1978, S. 217-226.
- (68) ENDLICHER, W.: Zur Abgrenzung kaltluftgefährdeter Geländeteile in Weinbaugebieten mit Hilfe von Thermalbildern. In: Proceedings of the International Symposium on Remote Sensing for Observation and Inventory of Earth Resources and the Endangered Environment, Freiburg 1978; International Archives of Photogrammetry Vol. XXII-7 (1978), S. 2105-2116.
- (69) ENDLICHER, W.: Meßfahrten und Thermalbilder als Hilfsmittel geländeklimatologischer Forschung im Kaiserstuhl. Verh. 42. Dt. Geographentag 1979 in Göttingen, Wiesbaden 1980 (i. Dr.).
- (70) ENDLICHER, W.: Thermalbilder - Möglichkeiten und Probleme ihres Einsatzes in Landschaftsökologie und Stadtklimatologie. Vermessungswesen und Raumordnung 42 (1980) i. Dr.
- (71) ENDLICHER, W.: Lokale Klimaveränderung durch Flurbereinigung - das Beispiel Kaiserstuhl. Erdkunde 34 (1980) i. Dr.
- (72) ENDRISS, G.: Rebumlegung und Veränderung der Landschaft. Mitt. bad. Landesver. Naturkunde und Naturschutz, N.F. 7 (1957), S. 69-76.
- (73) ENDRISS, G.: Veränderung der Kulturlandschaft im Kaiserstuhl (Süd-Baden). Regio Basiliensis 2 (1960/61), S. 141-143.
- (74) ENDRISS, G.: Neue Veränderungen im Südbadischen Rebland. Regio Basiliensis 8 (1967), S. 184-185.
- (75) ERIKSEN, W.: Probleme der Stadt- und Geländeklimatologie. Erträge der Forschg. Bd. 35, Darmstadt 1975.
- (76) FERNANDEZ, S., P. HABERÄCKER, E. KRAUTH, G. KRITIKOS, P. NOWAK u. E. TRIENDL: DIBIAS (Digitales Interaktives Bild-Auswerte-System) - Handbuch. Deutsche Forschungs- und Versuchsanstalt für Luft- und Raumfahrt. Oberpfaffenhofen 1976.
- (77) FEZER, F.: Infrarotbilder für die ökologische Standortbewertung und für den Städtebau. In: Symposium Erderkundung, veranstaltet von der Deutschen Forschungs- und Versuchsanstalt für Luft- und Raumfahrt und dem Arbeitskreis Photointerpretation der Deutschen Gesellschaft für Photogrammetrie, Köln-Porz, 7.-11.4.1975a, S. 429-435.
- (78) FEZER, F.: Lokalklimatische Interpretation von Thermalluftbildern. Bildmessung und Luftbildwesen 43 (1975b), S. 152-158.
- (79) FIMPEL, H.: Das elektrische Psychrometer für den Forschungswagen. Wiss. Mitt. Meteorol. Inst. Univ. München Nr. 3 (1956a), S. 10-12.
- (80) FIMPEL, H.: Über den Einfluß der dauernden Wasserzufuhr beim Psychrometer. Wiss. Mitt. Meteorol. Inst. Univ. München Nr. 3 (1956b), S. 58-65.
- (81) FISCHER, H., u. H. J. KLINK: Die naturräumlichen Einheiten auf Blatt 177 Offenburg. Geographische Landesaufnahme 1 : 200 000 - Naturräumliche Gliederung Deutschlands. Hg. v. Institut f. Landeskunde, Bundesanst. f. Landeskunde und Raumforschung. Bad Godesberg 1967.
- (82) FLOHN, H.: Witterung und Klima in Mitteleuropa. Forschungen z. deutschen Landeskunde Bd. 78, Remagen 1954.
- (83) FLURBEREINIGUNGSAMT FREIBURG: Flurbereinigung Ihringen V (West). Das Verfahren im Zusammenhang mit dem planmäßigen Rebenneuaufbau Freiburg/Br. 1972 (unveröffentlicht).
- (84) FRANKEN, E.: Unterschiedliche Frostgefährdung im Norden Hamburgs. Annal. Meteorol. 7 (1955/56), S. 135-148.
- (85) FRANKEN, E.: Geländeklimakartierung eines Meßtischblattbereiches, dargestellt am Beispiel der Frostgefährdung des Bereiches Ahrensburg. Ber. Dt. Wetterd. Nr. 119, Bd. 16, 1970.

- (86) FREIBURG IM BREISGAU. STADTKREIS UND LANDKREIS: Amtliche Kreisbeschreibung, hg. v. Statistischen Landesamt Baden-Württemberg in Verbindung mit der Stadt Freiburg i.Br. Bd. I o.O. 1965, Bd. II o.O. 1972.
- (87) FRIZ, W.: Wirkungen des Weinbaus auf Sozial- und Siedlungsstruktur im Kaiserstuhl. Diss. Tübingen 1976.
- (88) FÜNFELD, F.: Die Rebflurbereinigungen am Kaiserstuhl aus weinbaulicher Sicht. Mitt. bad. Landesver. Naturkunde und Naturschutz (N.F.) 11 (1974), S. 216 f.
- (89) GEIGER, M.: Der Einfluß von Kaltluftströmen auf den Ertrag von Reben. Die Wein-Wissenschaft 30 (1975a), S. 129-143.
- (90) GEIGER, M.: Methoden, Ergebnisse und Folgerungen mesoklimatischer Studien in der Vorderpfalz. Mitt. Pollichia 63 (1975b), S. 10-44.
- (91) GEIGER, M.: Veränderungen des Mesoklimas durch Siedlungen im Raum Neustadt/Weintraße. Erdkunde 31 (1977), S. 24-33.
- (92) GEIGER, R.: Die vier Stufen der Klimatologie. Meteorol. Z. 46 (1929a), S. 7-10.
- (93) GEIGER, R.: Über selbständige und unselbständige Mikroklimata. Meteorol. Z. 46 (1929b), S. 539-544.
- (94) GEIGER, R., M. WOELFLE u. L.P. SEIP: Der Forschungswagen für mikrometeorologische Untersuchungen. Wiss. Mitt. Meteorol. Inst. Univ. München Nr. 3 (1956), S. 1-9.
- (95) GEIGER, R., M. WOELFLE u. L.P. SEIP: Das Klima der bodennahen Luftschicht. Die Wissenschaft Bd. 78, 4. Aufl., Braunschweig 1961.
- (96) GEILENKEUSER, H.: Beiträge zur Morphogenese der Lößtäler im Kaiserstuhl. Freiburger Geogr. H. 9, 1970.
- (97) GOSSMANN, H.: Erfassung vertikaler Temperatur- und Feuchteprofile mit Hilfe der Schauinslandbahn als Beitrag zur Bewertung von Inversionswetterlagen in der südlichen Oberrheinebene. Daten u. Dokumente zum Umweltschutz, hg. v. Dokumentationsstelle der Univ. Hohenheim, H. 14 (1975), S. 67-81.
- (98) GOSSMANN, H.: Radiometrische Oberflächentemperaturmessung und Thermalbild als Hilfsmittel der Umweltforschung. Beih. Geogr. Rdsch. 7 (1977) S. 101-112.
- (99) GÖTZ, G.: Gedanken zum Terrassenbau. Der Deutsche Weinbau 26 (1971), S. 836-837.
- (100) GRACNANIN, Z.: Bodenerosion und Bodenschutzmaßnahmen im Kaiserstuhl. Z.f. Kulturtechnik und Flurbereinigung 14 (1973), S. 331-344.
- (101) DIE GROSSWETTERLAGEN MITTELEUROPA: Amtsblatt des Deutschen Wetterdienstes, 28.-30. Jg. Offenbach a.M. 1975-1977.
- (102) GUYOT, E. u. C. GODET: Le climat et la vigne. Annuaire Agric. Suisse 49 (1955), S. 17-68.
- (103) HAHLEN, H.: Rebflurbereinigungen, insbesondere im Löß. Mitt. bad. Landesver. Naturkunde und Naturschutz (N.F.) 11 (1974), S. 217 f.
- (104) HAHN, H.: Die deutschen Weinbaugebiete. Bonner Geogr. Abhandlungen H. 18, 1956.
- (105) HAHN, H.: Die deutschen Weinbaugebiete. Regionale Differenzierung in der Entwicklung der Rebfläche und der Betriebsstruktur 1949-1960. Erdkunde 22 (1968), S. 128-245.
- (106) HARRISON, A.A.: Variations in Night Minimum Temperatures Peculiar to a Valley in Mid-Kent. Meteorol. Magazine 96 (1967), S. 257-265.
- (107) HARTMANN, F.K., J. VAN EIMERN u. G. JAHN: Untersuchungen reliefbedingter kleinklimatischer Fragen in Geländequerschnitten der hochmontanen und montanen Stufe des Mittel- und Südharpzes. Ber. Dt. Wetterd. Nr. 50, Bd. 7, 1959.
- (108) HASERODT, K.: Reliefveränderungen durch Großterrassen in den Lößlandschaften des südlichen Oberrheingebiets - ein Beitrag zur anthropogenen Geomorphologie. Regio Basiliensis 12 (1971), S. 330-351.

- (109) HASERODT, K.: Bötzingen, Eichstetten, Oberrotweil, Scheelingen. In: Freiburg im Breisgau. Stadtkreis und Landkreis. Amtliche Kreisbeschreibung, Hg. v. Statistischen Landesamt Baden-Württemberg in Verbindung mit d. Stadt Freiburg i. Br., Bd. II, o.O. (1972 u. 1974), S. 69-87, S. 253-274, S. 806-844, S. 985-1000.
- (110) HAVLIK, D.: Inversionswetterlagen im südlichen Oberrheingebiet. Meteorol. Rdsch. 23 (1970), S. 129-134.
- (111) HEIGEL, K.: Über den Einfluß von Exposition und Bewuchs auf die Erdbodentemperaturen. Mitt. Dt. Wetterd. Nr. 22, Bd. 3, 1960.
- (112) HEILIG, H.: Untersuchungen über Klima, Boden und Pflanzenleben des Zentralkaiserstuhls. Z. f. Botanik 24 (1930/31), S. 225-279.
- (113) HEMPENIUS, S.A.: Critical Review of the Status of Remote Sensing. Bildmessung und Luftbildwesen 44 (1976), S. 29-42.
- (114) HESLER, A. VON: Wärmebild - Meßflüge als Mittel zum Nachweis von Kaltluftströmungen und Vegetationseinflüssen. Lufthygienisch-meteorologische Modelluntersuchung in der Region Untermain. 3. Arbeitsber. März 1972, Regionale Planungsgemeinschaft Untermain, Frankfurt a.M. 1972, S. 5-10.
- (115) HESS, P. u. H. BREZOWSKY: Katalog der Großwetterlagen Europas (2. Aufl.). Ber. Dt. Wetterd. 113, Bd. 15, 1969.
- (116) HILDEBRANDT, G.: Thermalaufnahmen zur Waldbrandbekämpfung. Forstarchiv 47 (1976), S. 45-52.
- (117) HIRT, F.H.: Infrarot-Wärmeaufnahmen. Die Darstellung der Großraumlanschaft Ruhrgebiet im Wärmebild. Luftaufnahmen II. Schriftenreihe Siedlungsverband Ruhrkohlenbezirk Nr. 58, Essen 1975a, S. 99-122.
- (118) HIRT, F.H.: Auswertung von Infrarot-Wärmeaufnahmen. In: Symposium Erderkundung, veranstaltet von der Deutschen Forschungs- und Versuchsanstalt für Luft- und Raumfahrt und dem Arbeitskreis Photointerpretation der Deutschen Gesellschaft für Photogrammetrie, Köln-Porz, 7.-11. 4. 1975b, S. 437-452.
- (119) HOČEVAR, A., u. J.D. MARTSOLF: Temperature Distribution under Radiation Frost Conditions in a Central Pennsylvania Valley. Agricul. Meteorol. 8 (1971), S. 371-383.
- (120) HOFÄCKER, W., G. ALLEWELDT u. S. KHADER: Einfluß von Umweltfaktoren auf Beerenwachstum und Mostqualität bei der Rebe. Vitis 15 (1976), S. 96-112.
- (121) HOFMANN, G.: Die Temperaturmessung als Basis meteorologischer Meßverfahren. Wiss. Mitt. Meteorol. Inst. Univ. München Nr. 3 (1956), S. 13-29.
- (122) HOLDERMANN, F.: Methoden zur Bildverbesserung. Bildmessung und Luftbildwesen 44 (1976), S. 53-61.
- (123) HOPPMANN, D.: Standortuntersuchungen im Rheingau und in Baden. Weinberg und Keller 25 (1978), S. 66-92.
- (124) HORNEY, G.: Wettererscheinungen in ausströmender Kaltluft. Ein Beitrag zur Frage des Kaltluftflusses in Strahlungsnächten im orographisch gegliederten Gelände. Meteorol. Rdsch. 22 (1969), S. 106-113.
- (125) HORNEY, G.: Die mikroklimatische Standortbeurteilung im Weinbau. Weinberg und Keller 18 (1971), S. 61-78.
- (126) HORNEY, G.: Die klimatischen Grundlagen des Anbaues von Weinreben in Deutschland. Weinberg und Keller 19 (1972), S. 305-320.
- (127) HORNEY, G.: Das Häufigkeitsspektrum der Windrichtungen in ökologischer Sicht. Ber. Dt. Wetterd. Nr. 138, Bd. 18, 1975.
- (128) HOWE, G.M.: A Cardiganshire Frost Hollow. Weather (London) 8 (1953), S. 69-71.
- (129) HOYNINGEN-HUENE, J. VON: Erfahrungen mit der Anwendung der Infrarotthermometrie bei agrarmeteorologischen Untersuchungen. Landbauforsch. Völkenrode 23 (1973), S. 83-89.
- (130) ILG, K.: Föhn und Stau am Oberrhein. Wetter und Klima 1 (1948), S. 150-161, S. 218-224.

- (131) INSTRUMENTENKUNDE: Leitfäden für die Ausbildung im Deutschen Wetterdienst Nr. 6, 2.Aufl. Offenbach a.M. 1973.
- (132) ITTEN, K.I.: Die Verwendung thermaler Infrarot-Aufnahmen bei geographischen Untersuchungen. Diss. Zürich 1973.
- (133) JUNGHANS, B.: Klimaaufnahme für forstliche Zwecke. Wiss.Z.Tech. Hochschule Dresden 7 (1957/58), S. 1291-1308.
- (134) KAEMPFFERT, W., u. A.MORGEN: Die Besonnung. Diagramme der solaren Bestrahlung verschiedener Lagen. Z.f.Meteorol. 6 (1952), S. 139-146.
- (135) KAISER, H.: Über die Strömungsverhältnisse im Bergland. Meteorol. Rdsch. 7 (1954), S. 214-217.
- (136) KAISER, H.: Über den "Strahlungstyp" und den "Windtyp" des Mikroklimas. Meteorol. Rdsch. 11 (1958), S. 162-164.
- (137) DER KAISERSTUHL: Eine Naturgeschichte des Vulkangebirges am Oberrhein. Hg. v. R.Lais, Bad. Landesver. Naturkunde und Naturschutz, Freiburg i. Br. 1933.
- (138) DER KAISERSTUHL: Landschaft und Volkstum. Hg. v. J.Rest, Alemann. Institut Freiburg i.Br. 1939.
- (139) KALINKE, H.: Kosten der Weinbergsflurbereinigung und Auswirkungen dieser auf Arbeitszeitbedarf und Kosten der Bewirtschaftung. Schriftenr. für Flurbereinigung, H. 59 des BMELF, H. 59, Hilstrup 1972.
- (140) KAMINSKI, H.: Infrarot-Satellitenaufnahmen in den Geowissenschaften. Bildmessung und Luftbildwesen 41 (1973), S. 21-29.
- (141) KAPS, E.: Die Frostgefährdung im Bendestorfer Tal. Ber.Dt. Wetterd. US-Zone Nr. 42, Bd. 7 (1952), S. 258-263.
- (142) KESSLER, A.: Über den Tagesgang von Oberflächentemperaturen in der Bonner Innenstadt an einem sommerlichen Strahlungstag. Erdkunde 25 (1971), S. 13-20.
- (143) KESSLER, O.W., u. W.KAEMPFFERT: Die Frostschadenverhütung. Wissenschaftl. Abhandlungen Reichsamt f. Wetterdienst Bd. 6, Nr.2, Berlin 1940.
- (144) KING, E.: Witterung und Rebenblüte. Rebe und Wein 20 (1967), S. 318 - 321.
- (145) KING, E.: Untersuchungen über kleinräumige Änderungen des Kaltluftflusses und der Frostgefährdung durch Straßenbauten. Ber.Dt.Wetterd. Nr. 130, Bd. 17, 1973.
- (146) KLENERT, M.: Künstliche Veränderung der meteorologischen Verhältnisse im Rebbestand und ihre Auswirkungen auf den Ertrag und die Fruchtbarkeit der Rebe sowie das Wachstum der Traubenbeeren. Diss. Ang. Bio. Fak. Univ. Gießen 1972.
- (147) KLIEWER, W.M.: Influence of environment on metabolism of organic acids and carbohydrates in *Vitis Vinifera*. Plant Physiology 39 (1964), S. 869-880.
- (148) KLIEWER, W.M.: Effect of temperature on the composition of grapes grown under field and controlled conditions. Proc. Amer. Soc. Hort. Sci. 93 (1968), S. 797-806.
- (149) KLIEWER, W.M.: Effect of day temperature and light intensity on concentration of malic and tartaric acids in *Vitis vinifera* L. grapes. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 96 (1971), S. 372-377.
- (150) KLIEWER, W.M., u. N.FERRARI: Effects of controlled temperature and light intensity on growth and carbohydrate levels of "Thompson Seedless" grapevines. J.Amer.Soc.Hort.Sci. 97 (1972), S. 185-188.
- (151) KLÖPPEL, P.: Versuch einer Berechnung der Kaltluftbewegung am Modell des Schadbachtales bei Graach/Mosel. Landschaft und Stadt 2 (1970), S. 122-132.

- (152) KNOCH, K.: Methodische Erfahrungen zur Durchführung einer Landesklimateaufnahme. Z.f.Meteorol. 15 (1961), S.171-177.
- (153) KNOCH, K.: Die Landesklimateaufnahme. Wesen und Methodik. Ber.Dt.Wetterd. Nr. 85, Bd. 12, 1963.
- (154) KNOERZER, A.: Die Wärmeinsel am Ostfuß der Vogesen. Forsch. z. deutschen Landeskunde 22 (1922), S. 249-277.
- (155) KOBAYASHI, A., T.FUKUSHIMA, N.NII u. K.HARADA: Studies on the Thermal Conditions of Grapes. VI. Effects of Day and Night Temperatures on Yield and Quality of Delaware Grapes. J. Horticult. Assoc. Japan 36 (1967a), S. 373-379.
- (156) KOBLET, W.: Physiologie der Weinrebe. Eidgenöss. Forschungsanstalt Wädenswil, Sektion Weinbau, 1977.
- (157) KOBLET, W., u. P.ZWICKY: Der Einfluß von Ertrag, Temperatur und Sonnenstunden auf die Qualität der Trauben. Die Weinwissenschaft 20 (1965), S. 237-244.
- (158) KONDRATYEV, K.YA.: Radiation in the Atmosphere. International Geophysics Series Nr. 12, New York - London 1969.
- (159) KONECNY, G.: Orientierungsfragen bei Streifenbildern und Aufnahmen der Infrarotabtastung. Bildmessung und Luftbildwesen 39 (1971), S. 60.
- (160) KONECNY, G.: Geometrische Probleme der Fernerkundung. Bildmessung und Luftbildwesen 40 (1972), S. 162-172.
- (161) KONECNY, G., u. W.SCHUHR: Digitale Entzerrung der Daten von Zeilen-Abtastern. Bildmessung und Luftbildwesen 43 (1975), S. 135-143.
- (162) KRAUS, G.: Boden und Klima auf kleinstem Raum. Jena 1911.
- (163) KREUTZ, W., u. K.SCHUBACH: Lokalklimatische Geländekartierung der südlichen Bergstraße unter besonderer Berücksichtigung der Gemarkung Heidelberg. Mitt.Dt.Wetterd. US-Zone, Nr. 13, Bd. 2, 1952.
- (164) KREUTZ, W., u. K.SCHUBACH: Beiträge zur Methodik der Geländeklimauntersuchung für Zwecke der Raumforschung, dargestellt an vier Beispielen. Inst. f. Raumforsch. Bad Godesberg, Inform. 11 (1961), S. 299-318.
- (165) KREUTZ, W., u. K.SCHUBACH: Hangklimatische Untersuchungen als Beitrag zum Studium der Bodeninversion im Zusammenhang mit der Luftverunreinigung. Inst. f. Raumforsch. Bad Godesberg, Inform. 13 (1963), S. 479-504.
- (166) KREUTZ, W., u. W.BAUER: Die kleinklimatische Geländekartierung der Weinbaugebiete Hessens. Abhandlungen hess. Landesamt Bodenforsch. 50 (1967), S. 20-49, sowie Karten II-VI im Standortatlas der Hessischen Weinbaugebiete.
- (167) KRITIKOS, G.: Einige Verfahren der digitalen Bildverarbeitung. Bildmessung und Luftbildwesen 39 (1971), S. 242-252.
- (168) LAWRENCE, E.N.: Temperatures and Topography on Radiation Nights. Meteorol. Magazine 87(1958), S. 71-75
- (169) LEHMANN, P.: Ergebnisse agrarmeteorologischer Meßfahrten. Fortschr.d.Landwirtsch. (Wien) 7 (1932), S. 441-448.
- (170) LEHMANN, P.: Abkühlung und Erwärmung im nächtlichen Kaltluftfluß. Ber.Dt.Wetterd. US-Zone Nr. 38, Bd. 6 (1952), S. 113-116.
- (171) LEHMANN, P.: Gütebewertung von Weinbergslagen. Wetter und Landwirtschaft (Trier) 65 (1953a), S. 3 f.
- (172) LEHMANN, P.: Klimatische Gütebewertung v. Weinbergslagen. Deutscher Weinbaukalender 1954, 5. Jg., Waldkirch 1953b, S. 60-62.
- (173) LESSMANN, H.: Allgemeine meteorologische und klimatologische Grundlagen des Frostschutzes. Arb.Dt.Landwirtsch.-Gesellsch. Berlin 9 (1950), S. 10-20.
- (174) LILJEQUIST, G.H.: Allgemeine Meteorologie. Braunschweig 1974.

- (175) LINDQUIST, S., u. J.O.MATTSSON: Micro- and Mesometeorological Information by Means of Remote Sensing Techniques. Proceedings of the 10th Intern. Symposium on Remote Sensing of Environment, Ann Arbor, Mich., 6.-10.Okt. 1975, S.123-130.
- (176) LINSENMAIER, O.: Qualitätserhöhung durch Flurbereinigung und gemeinschaftliche Umstellung. Rebe und Wein 18 (1965), S. 127-131.
- (177) LOMAS, J., Y.SHASHOUA u. A.COHEN: Mobile Surveys in Agrotopoclimatology. Meteorol. Rdsch. 22 (1969), S.96-101.
- (178) LOMAS, J., Y.SHASHOUA u. A.COHEN: Meteorological Criteria for Mobile Surveys in Agrotopoclimatology. Meteorol. Rdsch. 25 (1972), S.140-143.
- (179) LONGLEY, R.W., u. M.LOUIS-BYNE: Frost Hollows in West Central Alberta. Canada. Department of Transport, Circular 4532, 1967.
- (180) LORENZ, D.: Messungen der Bodenoberflächentemperatur vom Hubschrauber aus. Ber. Dt. Wetterd. Nr. 82, Bd.11, 1962.
- (181) LORENZ, D.: Messungen der Bodenoberflächentemperatur von Luftfahrzeugen aus. Abschlußber. Forschungs-Auftr. Bundesminist. Verteidigung T-270-I-203, Inst. Meteor. Geophys. Uni. Frankfurt a.M. 1966.
- (182) LORENZ, D.: Mikrometeorologische Temperaturmessungen von Luftfahrzeugen aus. Annal. Meteorol. (N.F.) 3 (1967a), S.154-158.
- (183) LORENZ, D.: Temperaturmessungen von Boden- und Wasseroberflächen von Luftfahrzeugen aus. Pure and Appl. Geophys. 67 (1967b), S. 197-220.
- (184) LORENZ, D.: Flugzeugmessungen der Bodenoberflächentemperatur am Hohenpeißenberg und in seiner Umgebung. Archiv Meteor., Geophys., Bioklim., Ser. B 17 (1969a), S. 369-390.
- (185) LORENZ, D.: Der Einfluß einer Luftzwischen-schicht auf meteorologische Oberflächentemperaturmessungen mit Radiometern. Tellus 21 (1969b), S. 76-88.
- (186) LORENZ, D.: Temperature Measurements of Natural Surfaces Using Infrared Radiometers. Applied Optics 7 (1970a), S. 1705-1710.
- (187) LORENZ, D.: Der Einfluß der Schrägsicht auf die radiometrische Bestimmung der Temperatur von Bodenoberflächen. Archiv Meteor., Geophys., Bioklim., Ser. B 18 (1970b), S. 295-304.
- (188) LORENZ, D., u. A.BAUMGARTNER: Oberflächentemperatur und Transmission infraroter Strahlung in einem Fichtenwald. Archiv Meteor., Geophys., Bioklim., Ser. B 18 (1970c), S. 305-324.
- (189) LORENZ, D.: Oberflächentemperaturmessungen von schneebedeckten Hängen. Annal. Meteorol. (N.F.) 5 (1971a), S. 225-229.
- (190) LORENZ, D.: Zur Problematik der Fernerkundung der Erdoberfläche mit Hilfe der thermischen Infrarotstrahlung. Bildmessung u. Luftbildwesen 39 (1971b), S. 235-242.
- (191) LORENZ, D.: Untersuchungen zum Verhalten nächtlicher Kaltluftflüsse am Taunus unter Verwendung von Wärmebildern. Lufthygien.-meteorol. Modelluntersuchung i.d. Region Untermain, 3. Arbeitsber. März 1972, Reg. Planungsgem. Untermain, Frankfurt a.M. 1972a, S. 23-51.
- (192) LORENZ, D.: Die radiometrische Messung der Boden- und Wasseroberflächentemperatur und ihre Anwendung insbesondere auf dem Gebiet der Meteorologie. Z.f. Geophysik 39 (1973a), S. 627-701.
- (193) LORENZ, D.: Erfahrungen bei der Auswertung und Bearbeitung von Wärmebildern. Bildmessung und Luftbildwesen 41 (1973b), S. 135-141.
- (194) LORENZ, D.: Grundlagen und Probleme der Infrarot-Radiometrie in der Fernerkundung. In: Symposium Erderkundung, veranstaltet von der Deutschen Forschungs- und Versuchsanstalt für Luft- und Raumfahrt und dem Arbeitskreis Photointerpretation der Deutschen Gesellschaft für Photogrammetrie, Köln-Porz, 7.-11.4.1975a, S. 89-97.
- (195) LORENZ, D.: Anwendung der radiometrischen Oberflächentemperaturmessung bei der Erderkundung. In: Symposium Erderkundung ... (s.o.) Köln-Porz, 7.-11.4.1975b, S. 99-112.

- (196) LORENZ, D.: Zur Technik der Infrarot-Radiometrie im Bereich der Fernerkundung. In: Symposium Erderkundung ... (s.o.) Köln-Forz, 7.-11.4. 1975c, S. 113-124.
- (197) LOSSNITZER, H.: Klima [des Kaiserstuhls]. In: Der Kaiserstuhl. Landschaft und Volkstum. Hg. v. J. Rest, Alemann. Inst. Freiburg i.Br. 1939, S. 29-32.
- (198) LOWRY, W.P., u. L.W. GAY: Errors in Infrared Thermometry and Radiometry. J. appl. Meteorol. 9 (1970), S. 929-932.
- (199) LUFTHYGIENISCH-METEOROLOGISCHE MODELLUNTERSUCHUNG IN DER REGION UNTERMAIN: Hg. v. Reg. Planungsgemeinschaft. Untermain, Frankfurt a.M., 1. Arbeitsber., 1970, 2. Arbeitsber. Okt. 1971, 3. Arbeitsber. März 1972, 4. Arbeitsber. Okt. 1972, 5. Arbeitsber. Juni 1974.
- (200) MAC HATTIE, L.B., u. F. SCHNELLE: An Introduction to Agrotopoclimatology. WMO Techn. Note Nr. 133, Genf 1974.
- (201) MÄDE, A.: Über die Methodik der meteorologischen Geländevermessung. Sitzungsber. Dt. Akademie Landwirtsch.-Wissensch. Berlin 5, H. 5, Leipzig 1956.
- (202) MÄDE, A.: Zur Methodik der meteorologischen Geländeaufnahme. Angew. Meteorol. 5 (1964), S. 1 f.
- (203) MARR, R.L.: Geländeklimatische Untersuchung im Raum südlich von Basel. Baseler Beitr. z. Geographie 12, 1970.
- (204) MATTSSON, J.O.: Infrared Thermography - a New Technique in Microclimatic Investigations. Weather 24 (1969a), S. 107-112.
- (205) MATTSSON, J.O.: Thermal Patterns in the Landscape Recorded with Infrared Technique and Simulated in Model Experiments. Geografiska Annaler, Ser. A 51 (1969b), S. 219-238.
- (206) MATTSSON, J.O.: Microclimatic Conditions in Forest Areas Studied with Infrared Technique. OIKOS (Acta Oecologica Scandinavica) 21 (1970), S. 174-184.
- (207) MATTSSON, J.O. u. L. BÖRJESSON: Lokalklimatiska temperaturstudier inom ett skånskt fruktodlingsdistrikt med särskilt beaktande av frostläntheten. Meddelanden från Lunds Universitets, Geografiska Institution, Avhandlingar 82, 1978.
- (208) MAY, H.E.: Einflüsse von Klima und Witterung auf Güte und Ertrag im Weinbau. Diss. Mainz 1957.
- (209) MESOKLIMA IM UMWELTKOMPLEX: Hg. v. E. Quitt, Studia Geographica Brno 26, 1972.
- (210) MICHALSKY, A.: Die Querterrassierung im Weinbau und ihr Einfluß auf verschiedene klein-klimatische und pedologische Faktoren sowie die Leistung der Rebe. KTBL-Schrift 213, Münster 1976.
- (211) MÖLLER, F.: Einführung in die Meteorologie. Bd. 2: Physik der Atmosphäre. Mannheim-Wien-Zürich 1973.
- (212) MORGEN, A.: Die Besonnung im Weinberg. Die Wein-Wissenschaft 7 (1953), S. 129-135.
- (213) MORGEN, A.: Schatten im Weinberg. Die Wein-Wissenschaft 8 (1954), S. 166-169.
- (214) MORGEN, A.: Die Besonnung und ihre Verminderung durch Horizontbegrenzung. Veröff. Meteorol. u. Hydrol. Dienst DDR 12 (1957), S. 3-16.
- (215) MORGEN, A.: Klimabedingte Anbauschranken der Weinreben. Die Wein-Wissenschaft 13 (1958), S. 35-42.
- (216) MORGEN, A.: Wie weit gleicht der Rebstock verschiedene Umwelteinflüsse aus? Die Wein-Wissenschaft 16 (1961), S. 190-194.
- (217) MÜLLER, K.: Landwirtschaft, Weinbau, Obstbau, Forstwirtschaft [im Kaiserstuhl]. In: Der Kaiserstuhl. Hg. v.

- R.Lais, Bd. Landesver. Naturkunde und Naturschutz, Freiburg i.Br. 1933, S. 465-516.
- (218) MÜLLER, K.: Geschichte des badischen Weinbaus. 2. Aufl. Lahr 1953.
- (219) MÜLLER, W.: Agrarklimatische Untersuchungen in Weingärten Niederösterreichs. Wetter und Leben 29 (1977), S. 83-93.
- (220) MUSER, H., u. F. SCHNEKENBURGER: Welche arbeitswirtschaftlichen Forderungen müssen bei der Rebflurbereinigung an die Länge und Flächengröße der neuen Grundstücke gestellt werden? Die Wein-Wissenschaft 18 (1963), S. 560-567.
- (221) MUSER, H.: Das Kleinklima im Rebland. Rebe und Wein 22 (1969), S. 415-417.
- (222) MUSER, H.: Über die Taxierung im modernen Terrassenweinbau. Rebe und Wein 25 (1972), S. 14 u. S. 46-48.
- (223) NIGOND, J.: Le rôle du climat en viticulture. Connaiss. Vigne Vin (Talence) 5 (1971), S. 461-487; 6 (1972), S. 17-55.
- (224) NIXON, P.R., u. T.A. HALES: Observing Cold-Night Temperatures of Agricultural Landscapes with an Airplane-Mounted Radiation Thermometer. J. appl. Meteorol. 14 (1975), S. 498-505.
- (225) OBRESKA-STARKEL, B.: Some Results of Investigations of Meso- and Microclimatic Conditions in Small Mountain Drainage Areas in the Beskides (Polish West Carpathians). Acta Universitatis Szegediniensis. Acta Climatologica (Szeged) 8 (1969), S. 67-81.
- (226) OBRESKA-STARKEL, B.: Beitrag zur Methode der Aussonderung meso- und mikroklimatischer Einheiten in Gebirgen. Acta Universitatis Szegediniensis. Acta Climatologica (Szeged) 11 (1972), S. 19-28.
- (227) OSTERHEIDER, M., u. D. STEINER: Glossar zur Fernerkundung. Berichte und Skripten zur quantitativen Geographie Nr. 1, Geographisches Institut ETH Zürich, April 1978.
- (228) PEPPLER, A.: Das Auto als Hilfsmittel der meteorologischen Forschung. Z. f. angew. Meteorol./ Das Wetter 46 (1929), S. 305-308.
- (229) PEPPLER, W.: Ein Beitrag zur Kenntnis des Nebels, besonders in Südwestdeutschland. Z. f. angew. Meteorol./ Das Wetter 41 (1924a), S. 143-150, S. 173-176.
- (230) PEPPLER, W.: Die Temperaturverhältnisse von Baden. Veröffentlich. d. Bad. Landeswetterwarte Nr. 5, Abh. Nr. 3, Karlsruhe 1924b, S. 1-20.
- (231) PEPPLER, W.: Nachtrag zu meiner Arbeit: "Ein Beitrag zur Kenntnis des Nebels, besonders in Südwestdeutschland". Z. f. angew. Meteorol./ Das Wetter 42 (1925), S. 55 f.
- (232) PEYER, E., u. W. KOBLET: Der Einfluß der Temperatur und der Sonnenstunden auf den Blütezeitpunkt der Reben. Schweiz. Z. f. Obst- u. Weinbau 102 (1966), S. 250-255.
- (233) PRIMAULT, B.: Le climat et la viticulture. Int. J. of Biometeorol. 13 (1969), S. 7-24.
- (234) PRIMAULT, B.: La qualité du vin et la météorologie. Arbeitsber. d. Schweiz. Meteorol. Zentralanst. Nr. 11, Zürich 1971.
- (235) PROCEEDINGS OF THE REGIONAL TRAINING SEMINAR ON AGROMETEOROLOGY, 13-25 MAY 1968 IN WAGENINGEN: Hg. v. A.J.W. Borghorst, Agricultural University Wageningen 1968.
- (236) QUITT, E.: Meßfahrten als eine der Methoden der mesoklimatischen Erforschung. Studia geographica Brno 26 (1972), S. 143-157.
- (237) RANZ, E., u. S. SCHNEIDER: Der Aquidensitenfilm Agfacontour als Hilfsmittel bei der Photointerpretation. Bildmessung und Luftbildwesen 38 (1970), S. 123-134.
- (238) REMOTE SENSING WITH SPECIAL REFERENCE TO AGRICULTURE AND FORESTRY: Hg. v. USA National Research Council, Committee on

- Remote Sensing for Agricultural Proposes, Washington D.C., National Academy of Sciences 1970.
- (239) RICHTER, G.: Bodenerosion - Schäden und gefährdete Gebiete in der BRD. Forsch. z. deutschen Landeskunde 152, 1965.
- (240) RICHTLINIEN FÜR DIE KARTIERUNG DER FROSTGEFÄHRDUNG DURCH DIENSTSTELLEN DES DEUTSCHEN WETTERDIENSTES:
In: Frostschutz im Pflanzenbau, Bd. 1, hg. v. F. Schnelle, München-Basel-Wien 1963, S. 425-443.
- (241) ROKOSCH, P.: Flurbereinigung im Kaiserstuhl, von Landschaftspflege keine Spur. Garten und Landschaft 84 (1974), S. 388 f.
- (242) RUDD, R. D.: Remote sensing: A better View. Belmont, Cal. 1974.
- (243) RUDLOFF, H. VON: Klima und Wetter im Kreise Freiburg im Breisgau. Diss. Freiburg i. Br. 1957.
- (244) RUDLOFF, H. VON: Klima. In: Freiburg im Breisgau. Stadtkreis und Landkreis. Amtl. Kreisbeschreibung, hg. v. Statistischen Landesamt Baden-Württemberg in Verbindung mit der Stadt Freiburg i. Br., Bd. I, o. O. (1965), S. 61-84.
- (245) SCHAPER, P. W.: Infrared Sensing Methods. In: Remote Sensing for Environmental Sciences. Hg. v. E. Schanda. Berlin 1976, S. 84-109.
- (246) SCHERHAG, R.: Neue Methoden der Wetteranalyse und Wetterprognose. Berlin-Göttingen-Heidelberg 1948.
- (247) SCHMEDDING, H.: Weinbau in Baden. Diss. Freiburg 1969.
- (248) SCHMIDT, G.: Darstellungsprinzipien von Klimakarten in mittleren und großen Maßstäben. Z. f. Meteorol. 20 (1968), S. 259-267.
- (249) SCHMIDT, W.: Die Verteilung der Minimumtemperaturen am 12. Mai 1927 im Gemeindegebiet von Wien. Fortschr. d. Landwirtschaft. (Wien) 2 (1927), S. 681-686.
- (250) SCHMIDT, W.: Kleinklimatische Aufnahmen durch Temperaturmessungen. Meteorol. Z. 47 (1930), S. 92-106.
- (251) SCHMIDT, W.: Kleinklimatische Beobachtungen in Österreich. Geogr. Jahresber. aus Österreich 16 (1933), S. 42-73.
- (252) SCHNEIDER, M.: Verteilung der Minimumtemperaturen in Strahlungsnächten und Frostschutzberechnung im Weinberg des Weingutes Schloß Saaleck. Mitt. Klosterneuburg, Ser. A Rebe und Wein 7 (1957), S. 122-130.
- (253) SCHNEIDER, M.: Zur praktischen Durchführung geländeklimatologischer Arbeiten. Mitt. Dt. Wetterdienst Nr. 34, Bd. 5, 1965.
- (254) SCHNEIDER, S.: Luftbild und Luftbildinterpretation. Lehrbuch der Allgemeinen Geographie Bd. 11, Berlin-New York 1974.
- (255) SCHNEKENBURGER, F.: Der Aufwand in Rebflurbereinigungen bei gemeinsamem Rebenaufbau. Z. f. Kulturtechnik 12 (1971), S. 364-371.
- (256) SCHNEKENBURGER, F., H. RÜHLE u. H. WÖHRLE: Zum Bauvolumen in Rebflurbereinigungen. Die Weinwissenschaft 29 (1974), S. 188-207.
- (257) SCHNEKENBURGER, F., H. RÜHLE u. H. WÖHRLE: Auswirkungen der Flurbereinigung auf die Rebflächenbewirtschaftung bei Groß- und Kleinterrassen des Bereiches Kaiserstuhl - Tuniberg. Die Wein-Wissenschaft 30 (1975), S. 36-53.
- (258) SCHNEKENBURGER, F., H. RÜHLE u. H. WÖHRLE: Untersuchungen über den Ablauf und Aufwand bei Rebflurbereinigungen aus einzelbetrieblicher und gesamtwirtschaftlicher Sicht. Weinberg und Keller 23 (1976), S. 355-374.
- (259) SCHNELLE, F.: Wetterkundlicher Wegweiser für Landwirte, Obstbauer, Gärtner, Winzer und Meteorologen. Mitt. Dt. Wetterdienst US-Zone Nr. 3, Bd. 1, 1949a.

- (260) SCHNELLE, F.: Kleinklimatische Geländeaufnahme am Beispiel der Frostschäden im Obstbau. Ber. Dt. Wetterdienst US-Zone, Nr. 12, Bd. 2 (1949b), S. 99-104.
- (261) SCHNELLE, F. (Hrsg.): Frostschutz im Pflanzenbau. Bd. 1: Die meteorologischen und biologischen Grundlagen der Frostschadensverhütung. München-Basel-Wien 1963.
- (262) SCHRADER, U., E. LEMPERLE, N. J. BECKER u. K. G. BERGNER: Der Aminosäure-, Zucker-, Säure- und Mineralstoffgehalt von Weinbeeren in Abhängigkeit vom Kleinklima des Standortes der Rebe. Die Wein-Wissenschaft 30 (1975), S. 99-111; 31 (1976), S. 9-24 u. S. 160-175.
- (263) SCHREPFER, H.: Der Kaiserstuhl. Landschaft, Siedlungen und Volkstum. Karlsruhe 1931.
- (264) SCHREPFER, H.: Die Morphologie (Oberflächengestalt) des Kaiserstuhls. In: Der Kaiserstuhl. Hg. v. R. Lais, Bad. Landesver. Naturkunde und Naturschutz, Freiburg i. Br. 1933a, S. 1-17.
- (265) SCHREPFER, H.: Die Klimatologie des Kaiserstuhls. In: Der Kaiserstuhl. Hg. v. L. Lais ... (s.o.) 1933b, S. 144-157.
- (266) SCHRÖDER, M., u. M. WAHL: Erdwissenschaftliches Flugzeugmeßprogramm - ein Beitrag zur Förderung der Fernerkundung. Bildmessung und Luftbildwesen 45 (1977), S. 34-43.
- (267) SCHULTHEISS, CH.: Das Klima. In: Das Großherzogtum Baden in allgemeiner, wirtschaftlicher und staatlicher Hinsicht dargestellt. Hg. v. E. Rebmann, E. Gothein u. E. v. Jagemann, 1. Bd., 2. Aufl. Karlsruhe 1912, S. 61-89.
- (268) SCHUMANN, A.: Zur Ermittlung geländebedingter Unterschiede der Frostgefährdung auf Grund von Klimabeobachtungen. Angew. Meteorol. 5 (1964), S. 37-43.
- (269) SCHWERDTFEGGER, P.: Physical Principles of Micro-Meteorological Measurements. Developments in Atmospheric Science 6. Amsterdam-Oxford-New York 1976.
- (270) SCULTETUS, H. R.: Klimatologie. Das Geographische Seminar. Praktische Arbeitsweisen. Braunschweig 1969.
- (271) SEEMANN, J.: Geländeklimatische Untersuchungen zur Spätfrostgefährdung in der Gemarkung Plittershagen (Kr. Siegen/Westf.). Forsch. Sitzungsber. Akad. Raumforsch. und Landesplanung 2 (1951), S. 172-179.
- (272) SEEMANN, J.: Kleinklimatische Gütebewertung von Weinbergs-lagen. Rebe und Wein 23 (1970), S. 408-410.
- (273) SELBY, J. E. A., u. R. A. MC CLATCHEY: Atmospheric Transmittance from 0.25 to 28.5 μm : Computer Code LOWTRAN 3. Air Force Cambridge Research Laboratory, Environmental Research Paper 513, 1975.
- (274) SELLIN, L., u. H. SVENSSON: Airborne Thermography. Geoforum 2 (1970), S. 49-60.
- (275) SHAW, R. W., u. J. G. IRBE: Environmental Adjustments for the Airborne Radiation Thermometer Measuring Water Surface Temperature. Water Resources Research 8 (1972), S. 1214-1225.
- (276) SIEVERS, J., u. J. WIESEL: Schrifttum über Fernerkundung 1960-1973. Nachrichten aus dem Karten- und Vermessungswesen. Sonderheft. Frankfurt 1976.
- (277) SMITH, K.: Principles of Applied Climatology. London 1975.
- (278) STAATLICHES WEINBAUINSTITUT IN FREIBURG I. BR. - Versuchs- und Forschungsanstalt für Weinbau und Weinbehandlung. Jahresberichte. Freiburg i. Br. 1921 ff.
- (279) STEUER, R.: Flurbereinigungsgesetz - Kommentar. 2. Aufl., München-Berlin 1967.
- (280) TANNER, G.: Topoklimate und klimatisch-prognostische Fragen des Anbaurisikos im Obstbaugebiet zwischen Radebeul und Meissen. Diss. Potsdam 1968.
- (281) TANNER, G.: Methoden zur geländeklimatologischen Erkundung und Kartierung - Erfahrungen aus dem Obst-, Wein- und Gartenbaugebiet nordwestlich von Dresden. Studia geographica Brno 26 (1972), S. 173-193.

- (282) THOMAS, L.: Über das Klima von Freiburg. Freiburg i.Br. 1884.
- (283) THORNTHWAITE, C.W.: The Geographer's Role in Climatology. Hermann von Wissmann-Festschrift. Tübingen 1962, S. 81-88.
- (284) TICHY, F.: An den Grenzen des Weinbaues innerhalb der Pfalz. Eine geländeklimatische Studie. Mitt. Pollichia (Bad Dürkheim) III.R., 2.Bd. (1954), S. 7-35.
- (285) TOLLNER, H.: Untersuchungen über die Temperaturverteilung in der Stadt Wien im Sommer 1931. Sitzungsber. math.-nat. Klasse, Akad. Wiss. Wien, Abt. IIa, 141 (1932), S. 1-13.
- (286) TRENKLE, H.: Frostkartierung und kleinklimatologische Gütebewertung in Weinbauanlagen. Obst und Garten 88 (1969), S. 225 f.
- (287) TRENKLE, H.: Die Verwendung phänologisch-klimatologischer Beobachtungen bei der Gütebewertung von Weinbergsanlagen. Die Wein-Wissenschaft 24 (1969), S. 327-338.
- (288) TRENKLE, H.: Der Einfluß von Wärme und Sonnenschein auf die Vegetationszeit der Rebe und auf die Mostgewichte. Rebe und Wein 25 (1972), S. 41-45.
- (289) TÜRKE, K.: Der Weinbau als Forschungsobjekt der deutschen Geographie. Ber. z. deutschen Landeskunde 46 (1972), S. 153-170.
- (290) UHLIG, S.: Beispiel einer kleinklimatologischen Geländeuntersuchung. Z.f. Meteorol. 8 (1954), S. 66-75.
- (291) UNCKRICH, A.: Einfluß der Witterung auf den Ertrag verschiedener Rebsorten. Wetter und Klima 2 (1949), S. 104-111.
- (292) VAUPEL, A.: Advektivfrost und Strahlungsfrost. Mitt. Dt. Wetterdienst Nr. 17, Bd. 3, 1959.
- (293) VOGT, E., u. GÖTZ, B.: Weinbau. Ein Lehr- und Handbuch für Praxis und Schule. 5.Aufl. Stuttgart 1977.
- (294) VOIGTS, H.: Experimentelle Untersuchungen über den Kaltluftfluß in Bodennähe bei verschiedenen Neigungen und verschiedenen Hindernissen. Meteorol. Rdsch. 4 (1951), S. 185-188.
- (295) VÖLGER, K.: Prinzip und Ablauf der Wärmebild-Meßflüge. Lufthygien.-meteorol. Modellunters. in d. Region Untermain. 3. Arbeitsber. März 1972, Reg. Planungsgemeinschaft Untermain, Frankfurt a.M. 1972, S. 13-18.
- (296) VÖLGER, K.: Erste Erfahrungen mit einem Multispektral-Scanner. In: Symposium Erderkundung, veranstaltet von der Deutschen Forschungs- und Versuchsanstalt für Luft- und Raumfahrt und dem Arbeitskreis Photointerpretation der Deutschen Gesellschaft für Photogrammetrie, Köln-Porz, 7.-11. 4. 1975, S. 167-178.
- (297) WALLÉN, C.C.: Definitions and Scales in Climatology as Applied to Agriculture. In: Proceedings Regional Training Seminar on Agrometeorology, 13-25 May 1968 in Wageningen, hg. v. A.J.W. Borghorst. Agricultural University Wageningen 1968, S. 207-212.
- (298) WALTER, G.: Untersuchungen über die Einsickerung bei Ackerböden im Hinblick auf die Bodenerosion. Diss. Gießen 1956.
- (299) WEGER, N.: Mikroklimatische Studien in Weinbergen. Bioklim. Beibl. 6 (1939), S. 169-179, 10 (1943), S. 76-84.
- (300) WEGER, N.: Die vorläufigen Ergebnisse der bei Geisenheim begonnenen kleinklimatischen Geländeaufnahmen. Meteorol. Rdsch. 1 (1948), S. 422 f.
- (301) WEGER, N.: Zur Methodik der Kleinklimakartierung im Weinbau. Mitt. Dt. Wetterd. Nr. 14 Bd. 2 (1955), S. 132 f.
- (302) WEISCHET, W.: Die Geländeklimate der Niederrheinischen Bucht und ihrer Rahmenlandschaften. Eine geographische Analyse subregionaler Klimadifferenzierungen. Münchener Geogr. H. 8, 1955.

- (303) WEISCHET, W.: Die räumliche Differenzierung klimatologischer Betrachtungsweisen. Ein Vorschlag zur Gliederung der Klimatologie und ihrer Nomenklatur. Erdkunde 10 (1956), S. 109-122.
- (304) WEISCHET, W.: Über Klimaforschung im Maßstab des Landschaftsgefüges. Tagungsber. u. wissenschaft. Abh. Dt. Geographentag Hamburg 1955, Wiesbaden 1957, S. 351-358.
- (305) WEISCHET, W.: Kann und soll noch klimatische Forschung im Rahmen der Geographie getrieben werden? Tagungsber. u. wissenschaft. Abh. Dt. Geographentag Bad Godesberg 1967, Wiesbaden 1969, S. 425-440.
- (306) WEISCHET, W.: Einführung in die Allgemeine Klimatologie. Physikalische und meteorologische Grundlagen. Stuttgart 1977.
- (307) WEISE, R.: Kaltluftstraßen im Weinberg und ihre Auswirkung. Der deutsche Weinbau 8 (1953a), S. 348 f.
- (308) WEISE, R.: Frostschäden als Kriterium zur mikroklimatischen Beurteilung und Verbesserung der Weinberge. Rheinische Weinzeitung 5 (1953b), S. 85-87.
- (309) WEISE, R.: Nächtliche Luftzirkulation im Weinberg. Weinberg und Keller 4 (1957), S. 329-339.
- (310) WEISE, R., u. O. WITTMANN: Boden und Klima fränkischer Weinberge. Atlas hg. i. Auftrag d. Bayr. Staatsminist. f. Ernährg., Landwirtsch. u. Forsten. München 1971.
- (311) WEJNAR, R.: Der Einfluß der Temperatur auf die Bildung von Zucker, Äpfelsäure und Weinsäure in Weintrauben. Ber. Dt. Botan. Gesellsch. 78 (1965), S. 314-321.
- (312) WEJNAR, R.: Weitere Untersuchungen zum Einfluß der Temperatur auf die Bildung von Äpfelsäure in Weinbeeren. Ber. Dt. Botan. Gesellsch. 80 (1967), S. 447-450.
- (313) WEJNAR, R.: Statistische Untersuchungen an reifen Weinbeeren. II. Zur Abhängigkeit des Zucker- und Säuregehaltes von klimatischen Faktoren. Die Wein-Wissenschaft 29 (1974), S. 46-56.
- (314) WIECZOREK, U.: Der Einsatz von Äquidensiten in der Luftbildinterpretation und bei der quantitativen Analyse von Texturen. Münchener Geogr. Abhandlungen Bd. 7, München 1972.
- (315) WIEGAND, C.L.: Agricultural Applications and Requirements for Thermal Infrared Scanners. In: Earth Resources Survey System, Int. Workshop 1971. Hg. v. National Aeronautics and Space Administration and University of Michigan, Springfield, Vol. 2 (1972), S. 67-81.
- (316) WILLIAMS, G.D.V., u. W.R. SHARP: Computer Mapping in Agrometeorology. Plant Research Inst., Agrometeorol. Section, Techn. Bull. No. 80, Ottawa 1972.
- (317) WILMANN, O., u. H. RASBACH: Erläuterungen zur Karte schutzbedürftiger Gebiete im Kaiserstuhl. Beih. z. d. Veröffentl. d. Landesst. f. Naturschutz u. Landschaftspflege Baden-Württemberg, H. 2, Ludwigsburg 1973.
- (318) WILMANN, O., W. WIMMENAUER u. G. FUCHS: Der Kaiserstuhl. Gesteine und Pflanzenwelt. Die Natur- und Landschaftsschutzgebiete Baden-Württembergs, Bd. 8. Hg. v. Landesstelle f. Naturschutz u. Landschaftspflege Baden-Württemberg, Karlsruhe, 2. Aufl. 1977.
- (319) WILMERS, F.: Kleinklimatische Untersuchungen von Laubwaldrändern bei Hannover. Ber. Inst. Meteorol. und Klimatol. TU Hannover 1, 1968a.
- (320) WILMERS, F.: Wittertypen für mikroklimatologische Untersuchungen. Archiv Met., Geophys., Bioklim., Ser. B 16 (1968b), S. 144-150.
- (321) WILMERS, F.: Die Anwendung von Wittertypen bei ökoklimatischen Untersuchungen. Wetter und Leben 28 (1976a), S. 224-235.

- (322) WIMMENAUER, W.: Beiträge zur Petrographie des Kaiserstuhls. Neues Jahrb. Miner. Abh. 91 (1957), S. 130-150, 93 (1959), S. 133-173, 98 (1962), S. 367-415, 99 (1963), S. 231-276.
- (323) WINKELMANN, R.: Die Entwicklung des oberheinischen Weinbaus. Marburger geogr. Schriften H. 16, 1960.
- (324) WINTER, F.: Frostkartierung mit Thermoelement am Kraftwagen. Meteorol. Rdsch. 8 (1955), S. 99 f.
- (325) WINTER, F.: Erfahrungen bei Meßfahrten zur Beurteilung der Kaltluftgefahr. Meteorol. Rdsch. 9 (1956), S. 219-221.
- (326) WINTER, F.: Das Spätfrostproblem im Rahmen der Neuordnung des südwestdeutschen Obstbaues. Gartenwissensch. 23 (1958), S. 342-362.
- (327) WITTERSTEIN, F.: Die Differenz zwischen Hütten- und Erdbodenminimumtemperaturen nach heiteren und trüben Nächten in Geisenheim. Meteorol. Rdsch. 2 (1949), S. 172-174.
- (328) YOSHINO, M.M.: Climate in a Small Area. An Introduction to Local Meteorology. Tokyo University Press 1975.
- (329) ZUNDEL, R.: Die Gestaltung des Kaiserstuhls als Mehrzwecklandschaft. Natur und Landschaft 50 (1975), S. 197-200.