

Beiträge zum Klima der Region Bern / Beitrag No. 5

Sonnenscheindauer, Bewölkung und Nebel
Die Besonnungsverhältnisse in der Region Bern

Hans Mathys, Heinz Wanner



GEOGRAPHICA BERNENSIA

Herausgeber:

Dozentinnen und Dozenten des Geographischen Instituts der Universität Bern

Reihen:

Reihe A African Studies

Reihe B Berichte über Exkursionen, Studienlager und Seminarveranstaltungen

Reihe E Berichte zu Entwicklung und Umwelt

Reihe G Grundlagenforschung

Reihe P Geographie für die Praxis

Reihe S Geographie für die Schule

Reihe U Skripten für den Unterricht

G104

MATHYS, Hans, WANNER, Heinz

Beiträge zum Klima der Region Bern / Beitrag No. 5

Sonnenscheindauer, Bewölkung und Nebel. Die Besonnungsverhältnisse in der Region Bern

Geographisches Institut der Universität Bern 1975

Print Version: vergriffen

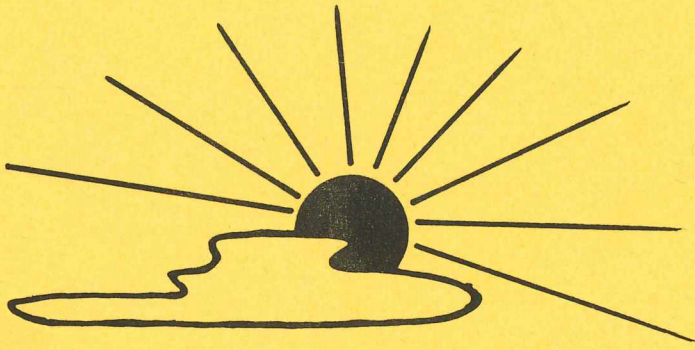
Geographica Bernensia: G104/5

DOI: 10.4480/GB2023.G104.05

© 2023 GEOGRAPHICA BERNENSIA



Creative Commons Licences



**Beiträge zum Klima
der Region Bern
Beitrag No.5**

Sonnenscheindauer, Bewölkung und Nebel

Die Besonnungsverhältnisse in der Region Bern

**Hans Mathys
Heinz Wanner**

Geographisches Institut der Universität Bern 1975

Dieser Beitrag gehört in die Reihe der "Beiträge zum Klima der Region Bern" des Geographischen Institutes der Universität Bern. Er entstand mit der Unterstützung des Schweizerischen Nationalfonds zur Förderung der wissenschaftlichen Forschung und eines Publikationsbeitrages der Schweizerischen Geographiekommission der SNG.

Leiter des Forschungsprogrammes	Prof. Dr. B. Messerli
Bearbeiter des Beitrages 5	Hans Mathys
Mitarbeiter (Kapitel 6: Nebel)	Heinz Wanner
Mitarbeiter bei der Feldarbeit	Alfred Ryter Fritz Rüeeggsegger

Das Datenmaterial der Untersuchung "Sonnenscheindauer, Nebel und Bewölkung" ist im Geographischen Institut der Universität Bern, Hallerstrasse 12, CH - 3012 BERN, aufbewahrt. Dies ist zugleich die Anschrift des Verfassers.

INHALTSUEBERSICHT

I.	<u>PROBLEMSTELLUNG UND ZIELSETZUNG</u>	4
II.	<u>BEGRIFFE UND GRUNDLAGEN ZUR SONNENSCHINDAUER</u>	7
	2.1. Begriffe	
	2.2. Messmethoden und Instrumente	
	2.3. Verschiedene Darstellungsarten der Sonnenscheindauer	
	2.4. Feldarbeit, Zeit- und Arbeitsaufwand, Probleme	
III.	<u>DIE AUSSAGEKRAFT DER VORLIEGENDEN SONNENSCHINKARTE</u>	30
	3.1. Farben und Ziffern	
	3.2. Grenzen und Genauigkeit der Sonnenscheinkarte	
	3.3. Verschiedene Spezialfälle	
	3.4. Sonnenscheindauer und Bauplanung	
	3.5. Der Aussagewert der Sonnenscheinkarte	
IV.	<u>SONNENSCHINDAUER UND BEWÖELKUNG</u>	47
	4.1. Die Lage der Region Bern im übergeordneten Bewölkungsgeschehen	
	4.2. Der tägliche und jährliche Verlauf der Bewölkung für die MZA Station Bern	
	4.3. Die Veränderung der Bewölkung innerhalb der Region Bern	
V.	<u>SONNENSCHINDAUER (BEWÖELKUNG) UND DIE WETTERLAGEN</u>	59
	5.1. Der Witterungskalender nach SCHÜEPP	
	5.2. Sonnenscheindauer und einzelne Wetterlagen der Station Bern	
	5.3. Abweichung der Sonnenscheindauer bei einzelnen Wetterlagen in der Region Bern	
VI.	<u>DER NEBEL IN DER REGION BERN (H. Wanner)</u>	68
	6.1. Die Nebelarten und ihr jahreszeitliches Auftreten	
	6.2. Aus den langjährigen Nebelbeobachtungen der Stadt Bern	
	6.3. Der Nebel in seiner Beziehung zu den Wetterlagen	
	6.4. Versuch einer räumlichen Darstellung der Nebelverhältnisse im Raum Bern	
VII.	<u>SONNENSCHINDAUER UND NEBEL IM WINTERHALBJAHR</u>	89

VIII. SONNENSCHINDAUER UND STRAHLUNG

94

IX. ZUSAMMENFASSUNG, RESUME, RIASSUNTO

100

Verzeichnis der Figuren und Abbildungen,
Literaturverzeichnis, Kartenbeilage

I. PROBLEMSTELLUNG UND ZIELSETZUNG

Die von der Sonne auf die Erde einfallende Strahlungsenergie, sowie die von der Erdoberfläche, der Atmosphäre und den Wolken ausgehenden Strahlungsströme sind für unseren Lebensraum von ausschlaggebender Bedeutung (MAHRINGER, 1973). Es sind hauptsächlich zwei Gründe, welche es notwendig machen, die Strahlungs- und Besonnungsverhältnisse näher zu untersuchen:

1. Die Ursachen des grossräumigen Wettergeschehens sind, trotz mannigfaltiger Verknüpfungen von Klimaelementen, letztlich Energieumsätze, welche sich im Bereich der Strahlung abspielen. Wie gross aber der Anteil der Besonnung an der Ausbildung eines speziellen Geländeklimas ist, soll in der vorliegenden Arbeit untersucht werden.
2. Die unmittelbaren Einwirkungen der Strahlung und Besonnung auf die Lebensvorgänge bei Mensch, Tier und Pflanze im chemisch-physiologischen oder psychologischen Bereich sind derart wichtig, dass sie heute in vielen Anwendungsbereichen nicht mehr übergangen werden dürfen.

Als Anwendungsbereiche sollen kurz einige Gebiete umrissen werden:

1. Wohnbau und Siedlungsplanung:

Es besteht heute die Forderung, dass die wärmenden und lichtspendenden Sonnenstrahlen den normalen Wohnplatz erreichen und zu einem hygienisch einwandfreien Wohnen mithelfen sollen (GILGEN und BARRIER, 1965). Besonders klimatisch anspruchsvolle Bauten wie Spitäler, Erholungsheime, Schulhäuser, Bäder etc. benötigen vermehrt grundlegende Besonnungsuntersuchungen.

2. Energiegewinnung

Durch das Bewusstsein, dass der Energiegewinnung aus Rohstoffen Grenzen gesetzt sind, gewinnt die Nutzbarmachung der Sonnenenergie in neuester Zeit an Bedeutung.

3. Kurorts- und Fremdenverkehrsplanung:

Das Untersuchungsgebiet gehört zwar nicht zu den Heil- und Feriengebieten, doch sei auch hier der Problembereich angedeutet: Besonnung von Feriensiedlungen und Sportanlagen, insbesondere von Skipisten (Ausaperung).

4. Landwirtschaft:

1955 schreibt SCHNELLE: "Die Quantität einer Ernte hängt in erster Linie von der Strahlung und Besonnung und erst in zweiter Linie von der Temperatur ab". Deswegen sind Strahlungs- und Besonnungsmessungen für viele agrarmeteorologische und botanische Untersuchungen eine notwendige Voraussetzung.

Im Beitrag No. 5 liegt das Hauptgewicht auf der Untersuchung der Besonnungsverhältnisse in der Region Bern. Die Bearbeitung der Strahlung (... und einzelner Bereiche daraus) kann nur summarisch durchgeführt werden: Der instrumentelle Aufwand ist für unsere Verhältnisse zu gross; zudem sind von verschiedenen Autoren (THAMS und ZENONE 1952, HINZPETER 1959, ROTT 1974) Möglichkeiten aufgezeigt worden, wie aus der Sonnenscheindauer die Strahlung berechnet werden kann.

Die Sonnenscheindauer wird sowohl durch das Relief (= topographische Voraussetzung) wie auch durch die Bewölkung und den Nebel stark eingeschränkt. Um den ganzen Komplex "Sonnenscheindauer" zu verstehen, war es deshalb notwendig, diese Elemente einzeln zu untersuchen. Das Ergebnis, die Sonnenscheinkarte der Region Bern und die dazugehörigen Diagramme über die raum-zeitliche Verteilung der Bewölkung und des Nebels liefern uns weitere wichtige Informationen über die geländeklimatologische Gliederung des Raumes Bern.

Daneben werden einige praktische Aspekte wie z.B. die Besonnung in der Bauplanung, die Besonnung an Waldrändern und in verschiedenen Expositionen u.a. untersucht. Andere Detailfragen (Besonnung von Hausfassaden, Strassenschluchten, Innenräumen etc.) harren noch der weiteren Bearbeitung, denn die vorliegende Karte vermag niemals Einzelprobleme zu lösen - sie kann höchstens als Grundlage dazu dienen.

II. GRUNDLAGEN UND BEGRIFFE ZUR SONNENSCHENDAUER

2.1. Begriffe

Damit die vorliegende Besonnungskarte richtig interpretiert werden kann, ist es unumgänglich, vorerst einige Grundlagen und Begriffe zu erläutern. Ausgangspunkt bildet dabei die

astronomische Sonnenscheindauer (Sa): Es ist diejenige Zeit, welche die Sonne bei vollständiger Wolkenlosigkeit in einer Ebene oder auf einer Insel im Meer während einer bestimmten Zeit (Tag, Monat oder Jahr) scheinen würde. Diese astronomische Sonnenscheindauer ist allein von der geographischen Breite abhängig und beträgt für Bern (47° nördliche Breite) 4472 Stunden pro Jahr. Es ist leicht verständlich, dass diese Zahl nirgends in der Region Bern erreicht wird. An jedem Punkt des bearbeiteten Raumes wird die Sonne im Laufe eines Tages, eines Monats oder eines Jahres, abgesehen von Bewölkung und Nebel, durch den Horizont abgedeckt. Was übrig bleibt, ist die

effektiv mögliche Sonnenscheindauer (Se) eines bestimmten Punktes. Es ist diejenige Zeit, welche die Sonne bei vollständiger Wolkenlosigkeit an einem Punkt im Gelände scheinen würde. Die Differenz zu der astronomischen Sonnenscheindauer nennen wir Horizontabdeckung (H) oder Bergschatten (auch Horizonteinengung). Es gilt folglich die Beziehung $Sa - Se = H$. In einem reichdifferenzierten Relief, wie wir es im südlichen Teil der Region Bern antreffen, ist die Horizontabdeckung oft beträchtlich: Natürliche und künstliche Hindernisse (Hügel, Wälder und Gebäude) können die Besonnung stark reduzieren.

Im weiteren aber wird die Sonnenscheindauer durch das Bewölkungsgeschehen mitbestimmt. Wird die Zeit, in welcher die Sonne tatsächlich scheint, gemessen, so sprechen wir von der absoluten Sonnenscheindauer (Sab) (auch tatsächliche oder wirkliche Sonnenscheindauer). Wie die nachfolgende Figur 1 zeigt, ist diese für unseren Raum bedeutend kleiner als die effektiv mögliche Sonnenscheindauer. Es gilt hier die Beziehung $Se - Sab = B$ (Bewölkung).

Zu Vergleichszwecken wird sehr oft die

relative Sonnenscheindauer (S_r) bestimmt. Sie ist, in Prozenten ausgedrückt, das Verhältnis der absoluten zu der effektiv möglichen Sonnenscheindauer. So gilt denn:

$$S_r = \frac{S_{ab}}{S_e} \cdot 100 \% \text{ oder } S_r = 100 \% - B$$

Für die Station Bern MZA sind die Zusammenhänge der verschiedenen Sonnenscheinarten in der nachfolgenden Figur und Tabelle zusammengestellt.

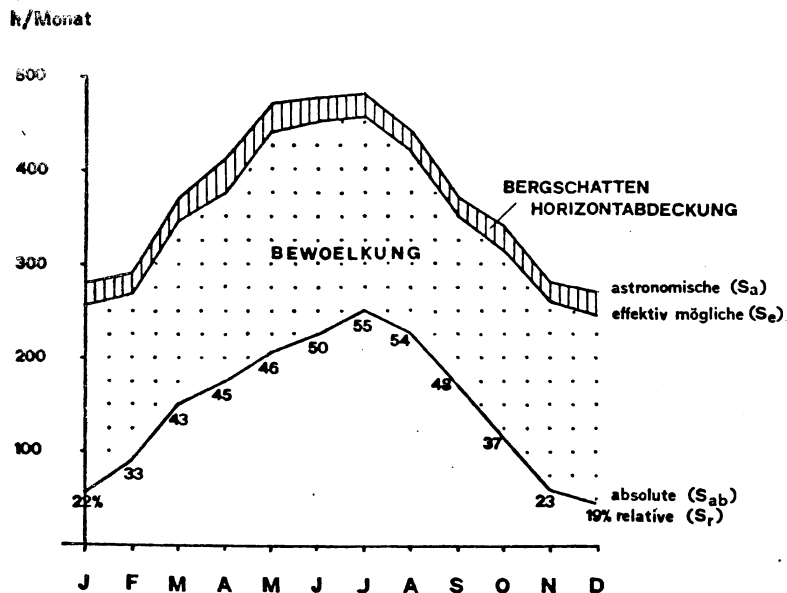


Fig. 1

astronomische Sonnenscheindauer: S_a

effektiv mögliche Sonnenscheindauer: S_e

absolute Sonnenscheindauer: S_{ab}

relative Sonnenscheindauer: S_r

der Station Bern MZA

(für S_{ab} und S_r : 30-jährige Mittelwerte 1931 - 1960)

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	J
Sa	279	293	369	408	467	475	479	440	370	337	282	266	4472
Se*1	254	268	343	384	442	448	455	418	352	314	259	243	4180
Se*2	242	287	340	380	426	456	442	396	357	307	256	231	4118
Sab	56	89	148	173	204	225	248	226	170	115	59	46	1759
Sr (%)	22	33	43	45	46	50	55	54	48	37	23	19	42

Sa-Sab: Angabe in Stunden pro Monat
 Se*1: Ermittelt nach der Methode von CONRAD
 (vgl. Kap. 2.2.)
 Se*2: Ermittelt nach der Methode von DE QUERVAIN
 (vgl. Kap. 2.2.)

Die Tatsache, dass in der vorliegenden Arbeit die effektiv mögliche Sonnenscheindauer in der Region Bern ermittelt wurde, liess es sinnvoll erscheinen, als gemeinsame Bezugsgrösse die astronomische Sonnenscheindauer zu wählen. An ihr kann die Horizontabdeckung und die effektiv mögliche Sonnenscheindauer klassifiziert werden (vgl. Legende der Karte). Die astronomische Sonnenscheindauer verändert sich in einer kleinen Region wie in unserem Untersuchungsgebiet so geringfügig, dass sie als eine Konstante für die ganze Region Bern betrachtet werden kann.

2.2. Messmethoden und Instrumente

A Messmethoden und Instrumente zur Bestimmung der effektiv möglichen Sonnenscheindauer

Um die effektiv mögliche Sonnenscheindauer irgendeines Punktes feststellen zu können, muss der Horizontverlauf aufgenommen und in Beziehung zu den Sonnenbahnen gebracht werden. Solche Messungen wurden vor allem in Gebieten mit stark bewegtem Relief schon vor längerer Zeit durchgeführt.

1912 suchte MERCANTON auf einer Alpweide die Stelle der längsten Besonnung, an der ein Hotel gebaut werden sollte. Mit einem kleinen Aequatorial (Winkelmessgerät) und einem Fernrohr konnte er die Sonnenbahnen verfolgen und so für jeden Tag den Sonnenaufgang bzw. Untergang bestimmen.

- 1933 wird von CONRAD ein einfaches Verfahren angegeben, um aus den Registrierungen des Sonnenscheins die effektiv mögliche Sonnenscheindauer für einen bestimmten Ort zu bezeichnen: Aus den Sonnenscheinregistrierungen an wolkenlosen Tagen kann mühelos die effektiv mögliche Sonnenscheindauer ermittelt werden. Der Nachteil dieser Methode besteht in der Ungenauigkeit der Sonnenscheinregistrierung mit dem Campbell-Stokes Gerät (vgl. dazu Abschnitt B dieses Kapitels).
- 1934 misst GUTERSOHN den Schattenwurf des Uetliberges auf die Stadt Zürich. Durch Messungen mit einem Theodolithen werden in der Stadt Zürich Linien gleichen Sonnenunterganges bzw. Aufganges ermittelt. Daraus kann der Wärmeverlust durch den Bergschatten berechnet werden.
- 1951 gibt SCHUEPP ein Verfahren zur Bestimmung der effektiv möglichen Sonnenscheindauer mit dem Wild-Theodolithen T 12 an. Nach einer genauen astronomischen oder geographischen Orientierung des Instrumentes wird der Horizont im Bereich der Sonnendeklination in Intervallen von 1° bestimmt. (Im Grenzbereich $20 - 23.5^\circ$ und bei markanten Horizonterhebungen werden die Intervalle auf $\frac{1}{2}^\circ$ reduziert). Damit kann ebenfalls die tägliche und jährliche effektiv mögliche Sonnenscheindauer ermittelt werden.
- 1954 bringt TONNE das Horizontoskop auf den Markt. Dies ist ein sehr billiges und handliches Gerät zum Bestimmen der Sonnenscheindauer an einem beliebigen Datum und Standort. Besonders für die Baufachleute genügt die Genauigkeit dieses Gerätes durchaus (vgl. Kap. 3.4.).

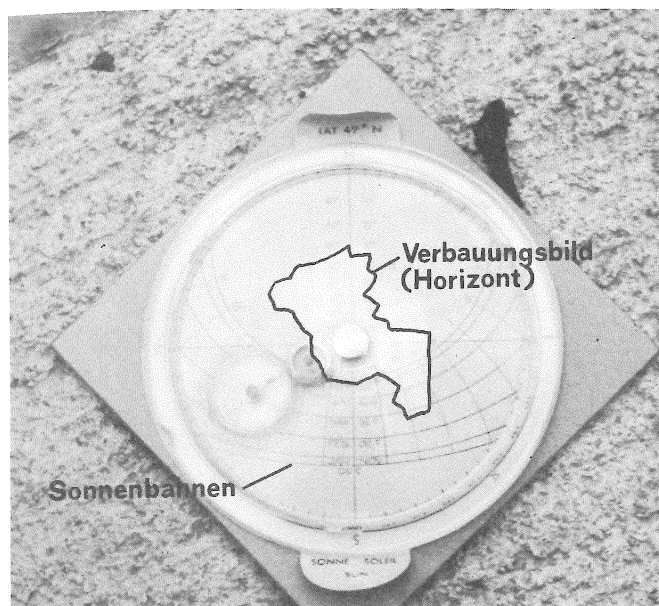


Abb. 1

Das Horizontoskop nach
TONNE
(Aufnahme in einem
Hinterhof)

Das Horizontoskop ist eine Glashalbkugel, welche, wenn man sie von oben betrachtet, das "Verbauungsbild", d.h. den Horizont, wiedergibt. Die gewölbte, spiegelnde Fläche kann mühelos mit den Sonnenbahnen versehen werden, so dass die Sonnenscheindauer beliebig abgelesen werden kann. Allerdings ist es mit dieser Methode nicht möglich, die Jahressumme der effektiv möglichen Sonnenscheindauer herauszulesen.

1957 konstruiert DE QUERVAIN ein neues Gerät, mit dessen Hilfe die Gesamtheit aller Tage und damit sowohl die tägliche wie auch die jährliche effektiv mögliche Sonnenscheindauer in einem Arbeitsgang festgehalten werden kann.

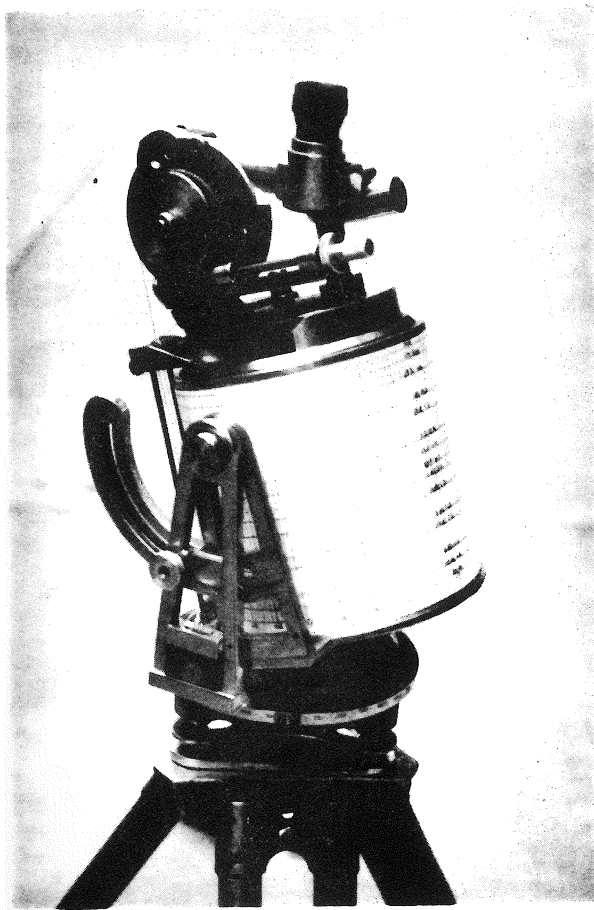


Abb. 2
Tagbogenschreiber von
DE QUERVAIN

DE QUERVAIN beschreibt sein Gerät wie folgt: "Es handelt sich um einen schreibenden Theodolithen. Indem das Fernrohr dem Horizont nachgeführt wird, zeichnet der Apparat das gesamte von den Tagbogen bestrichene Feld in derart transformierter Form als Diagramm auf, dass die Tagbogen als aequidistante Gerade erscheinen". Einzelne Tageswerte können folglich direkt herausgelesen werden (vgl. Figur 2). Zur Bestimmung der effektiv möglichen Sonnenscheinsumme beliebiger Zeitabschnitte ist nur noch eine Planimetrierung notwendig. Mit diesem Gerät kann die Aufnahme- und Auswertezeit von Tagbogenmessungen erheblich gekürzt werden. Die Feldaufnahmen in der Region Bern wurden ausschliesslich mit diesem Gerät durchgeführt. *

* Der Tagbogenschreiber wurde uns freundlicherweise von Prof. de Quervain, Eidg. Institut für Schnee- und Lawinenforschung, zur Verfügung gestellt.

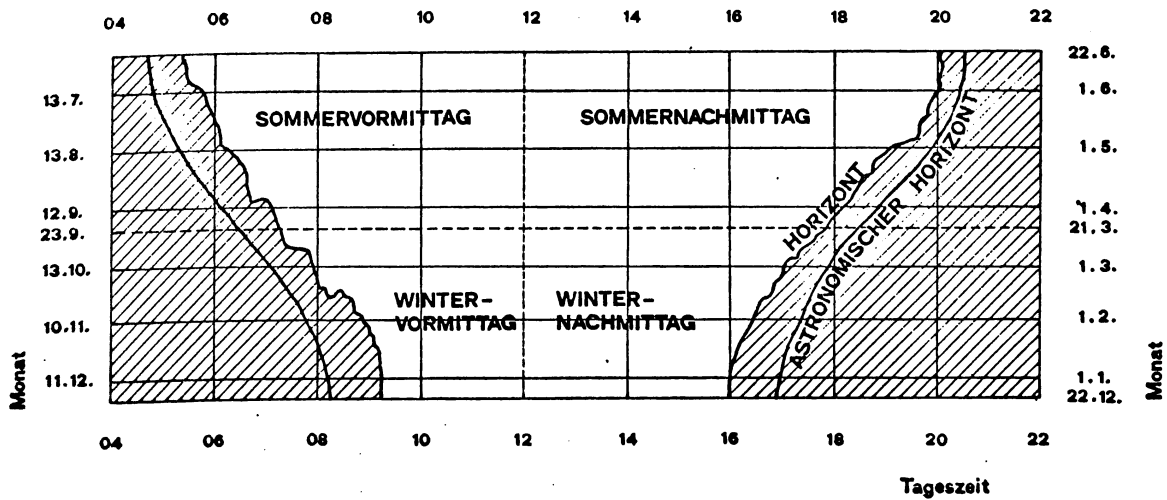


Fig. 2 Diagrammstreifen des Tagbogenschreibers von de Quervain (ca. dreimal verkleinert)

Morgen- und Abendhorizont werden mit dieser Methode im Bereich der Sonnendeklination deutlich sichtbar. Zu jedem beliebigen Zeitpunkt kann auf dem Diagrammstreifen die effektiv mögliche Sonnenscheindauer für Vormittag und Nachmittag herausgelesen werden. Zudem können beliebige Zeitabschnitte (Jahreszeiten, Quartale, Vegetationsperioden etc.) herausplanimetriert werden.

B Instrumente zur Bestimmung der absoluten Sonnenscheindauer

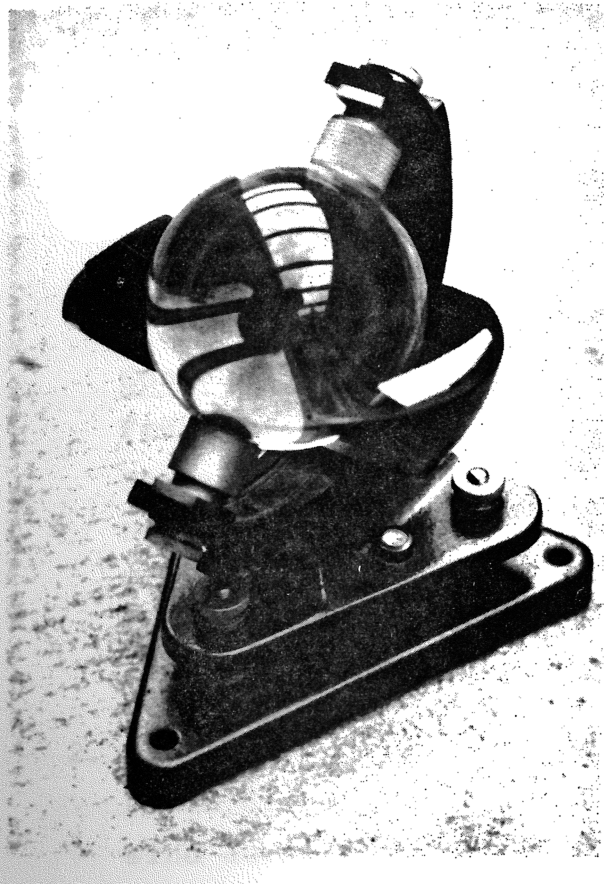


Abb. 3

Sonnenscheinautograph
von Campbell-Stokes

Dieses seit langer Zeit von den meisten nationalen Wetterdiensten benutzte Instrument besteht aus einer Glaskugel, welche die Sonnenstrahlen bricht und in einem besonders präparierten Registrierpapier Brandspuren erzeugt. Das Registrierpapier ist in einem besonderen Halter hinter der Kugel befestigt und läuft parallel zu der Aequator-ebene. Wenn sich die Sonne im Laufe eines Tages über den Himmel bewegt, entsteht so eine Brandspur auf dem Papier. Bei der Aufstellung muss der Sonnenscheinautograph in der Nord-Süd Richtung eingestellt und nach der geographischen Breite des Aufstellungsplatzes eingerichtet werden.

Leider haften diesem Instrument einige Fehler an, welche BIDER (1959) eingehend untersucht hat:

1. Die Intensitätsschwelle zum Einbrennen des Sonnenscheins liegt bei den meisten Instrumenten um $0.2 \text{ cal cm}^{-2} \text{ min}^{-1}$. Es ist folglich bei Sonnenauf- bzw. -untergang ein Sonnenscheinverlust zu verzeichnen, wie ihn BIDER zusammengestellt hat:

Zeitdifferenz (in Minuten) zwischen dem Erscheinen bzw. Verschwinden der Sonne und Beginn bzw. Ende der Registrier Spuren am Campbell-Stokes Gerät (Mittelwerte aus allen Tagen bei wolkenlosem Sonnenauf- bzw. -untergang in Basel).

<u>Sonnenaufgang</u>		<u>Sonnenuntergang</u>	
Frühling	45	Frühling	41
Sommer	44	Sommer	40
Herbst	41	Herbst	37
Winter	39	Winter	39
<hr/>		<hr/>	
Jahr	42	Jahr	39

2. Ein weiteres Problem stellen die Registrierstreifen dar: Durch die unterschiedliche Qualität und Farbe des Papiere sind auch Albedo und damit die Reaktionen des Einbrennens verschieden.
3. Durch die Trägheit des Instrumentes werden kurze Sonnenscheinunterbrüche (z.B. Schönwetterkumuli) auf der Brenns pur nicht mehr sichtbar. Man spricht dann vom "Ueberbrennen". Mit zunehmender Sonnenhöhe stellt sich eine grössere Tendenz zu diesem Ueberbrennen ein. Für die Ganzjahressumme beträgt der Fehler in Basel immerhin ca. 60 Stunden (= 3 %).
4. Im weiteren sind sehr grosse Differenzen (bis zu 18 % pro Monat) in der Auswertungsmethode der Registrierstreifen festzustellen, weil die Zeiteinteilung auf dem Registrierpapier sehr klein ist und die Auswertung praktisch mit der Lupe vorgenommen werden muss.

Diese Fehlerquellen und vor allem der grosse Zeitaufwand bei der Auswertung haben es mit sich gebracht, dass verschiedene neue Instrumente auf den Markt gebracht wurden. Das Prinzip der Sonnenscheinmessung mit Fotozellen scheint sehr erfolgversprechend. Bereits sind Parallelmessungen zu den herkömmlichen Campbell-Stokes Geräten im Gange, um die Fortsetzung der langjährigen Messreihen zu gewährleisten.

Es zeigt sich dabei, dass das Festlegen des Grenzwertes (= binäre Entscheidung: Sonne ja - Sonne nein) einige Probleme stellt: Helle Wolken können bei ungenügender Einstellung als Sonne registriert werden. Mit dem Einsatz einiger dieser neuen Geräte im Raum Bern wäre aber die Möglichkeit gegeben, die regionalen Bewölkungsdifferenzen mit geringem Aufwand sowohl zeitlich wie auch räumlich festzuhalten und zu verfolgen.

C Bestimmung der Bewölkung und des Nebels

Im Gegensatz zu der Sonnenscheindauer wird die Bewölkungsmenge nicht gemessen, sondern nur geschätzt, wobei dem Beobachter keinerlei Hilfsmittel zur Verfügung stehen. Die Bewölkung wird in Zehnteln (Achtel oder Viertel), ohne Rücksicht auf die Wolkenart, angegeben:

0/10	wolkenlos (auch bei starkem Dunst)
1/10	Spuren (CIRREN)
2-3/10	bewölkt
4-5/10	halb bedeckt
6-8/10	des Himmels überzogen = bedeckt
9/10	vereinzelte Wolkenlücken
10/10	vollständig bedeckt, dichter Nebel, Niederschlag

Die Ergebnisse können von Beobachter zu Beobachter sehr verschieden sein. Im weiteren zeigt es sich, dass gerade bei Stationen mit einem sehr weiten Gesichtskreis der menschlichen Beobachtung naturgemäss Fehler anhaften.

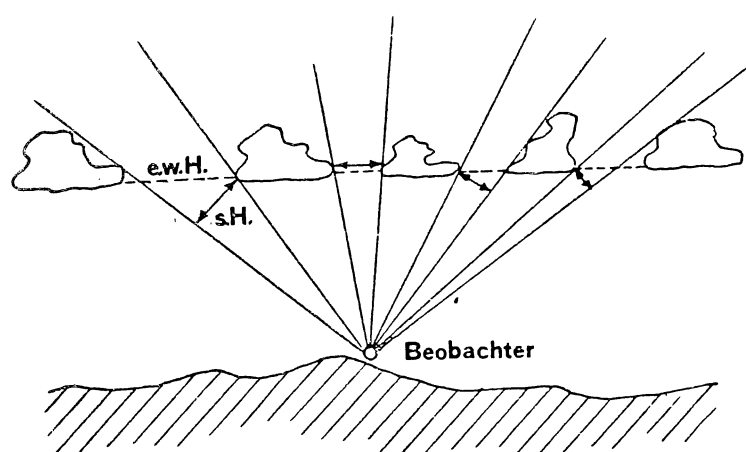


Fig. 3 Fehlerquellen bei der Bewölkungsbeobachtung
 e.w.H. = effektiv wolkenloser Himmel
 s.H. = für den Beobachter wolkenloser Himmel

Ähnliche Fehler entstehen natürlich auch, wenn die Bewölkung durch eine Fischaugkamera festgehalten wird. Eine Bewölkungsauswertung sollte folglich auf einer Referenzfläche am Himmel vorgenommen werden. Dieser Auswertungsperimeter dürfte demnach nicht den ganzen Gesichtskreis umfassen, d.h. es muss eine Fläche senkrecht über dem Beobachtungsstandort gewählt werden.

Für grössere Gebiete ist es möglich, mit Hilfe von Flug- bzw. Satellitenbildern Aussagen über die Bewölkungsverhältnisse zu einem bestimmten Zeitpunkt zu machen. WINIGER (1974) schlägt drei Methoden vor:

1. Binäre Entscheidungen über das Wolkenvorkommen an Schnittlinien eines beliebigen Koordinatennetzes. Nachteil : keine quantitative Aussage.
2. Bestimmung von Bewölkungsklassen in Planquadraten, welche in geeigneter Grösse über das Untersuchungsgebiet gelegt werden.
3. Halbautomatische Bestimmung der Wolkengrautöne durch den Classimat in zwei verschiedenen Spektralbereichen (infrarot und sichtbar).

Am Beispiel des 18. April 1974 werden die Bewölkungsverhältnisse der Schweiz aus der Sicht des Satelliten und aus der Sicht der Beobachter des MZA - Stationsnetzes gegenübergestellt.

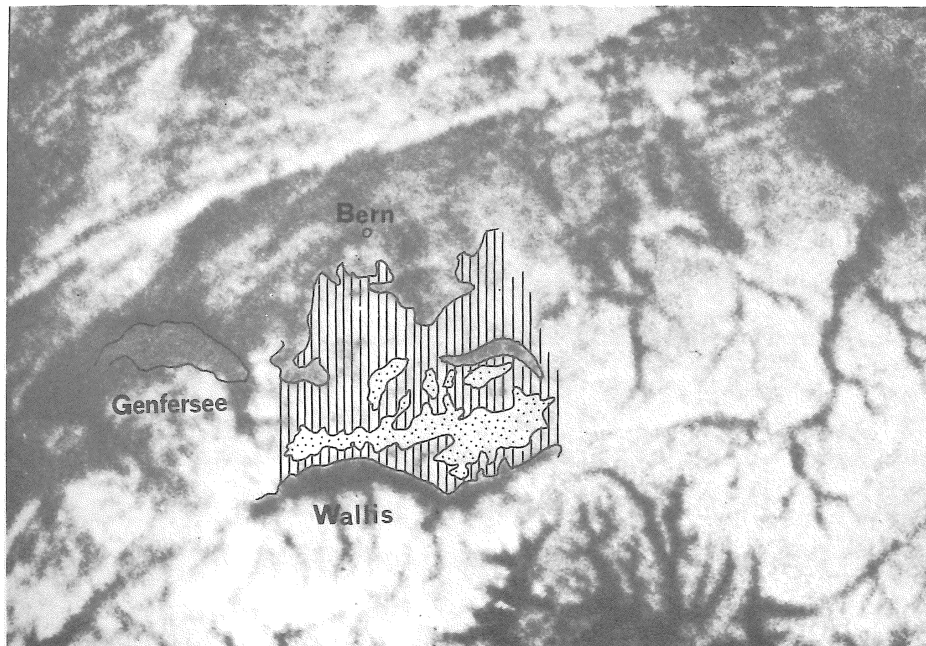


Abb. 4 Satellitenaufnahme (NOAA 3) der Schweiz aus 1500 km Höhe im Infrarotbereich (Bild 2016: Sternwarte Bochum)

 Wolken
  Schnee (\pm Wolken)

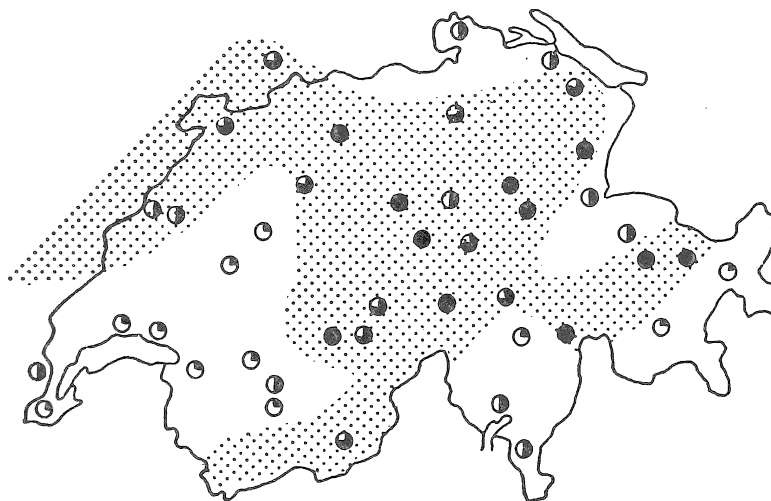





Fig. 4 Bewölkungsangaben der Stationsbeobachter des nationalen Messnetzes (Angabe in Vierteln)  =  - 

Durch die menschliche Beobachtung kann die Wolkenbedeckung über einer bestimmten Region mosaikartig zusammengesetzt werden (Fig. 4). Dabei ist die Netzdichte für die Abgrenzung und Genauigkeit der Wolkenfelder ausschlaggebend. Das Satellitenbild dagegen zeigt die flächenhafte Ausdehnung der Bewölkung im Ueberblick. Probleme stellen sich hier durch das Auflösungsvermögen der Satellitenbilder: Neuschneelagen können nicht ohne weiteres von Wolkenfeldern unterschieden werden (vgl. Abb. 4).

In beiden Fällen ist zur Erfassung der Bewölkungsdynamik das Beobachtungsintervall bzw. die zeitliche Aufnahmefolge ausschlaggebend.

In Kapitel 6 (H. Wanner) wird das Nebelgeschehen des Raumes Bern als Spezialfall der Bewölkung behandelt. Nebel wird nach internationaler Uebereinkunft dann notiert, wenn die horizontale Sichtweite weniger als 1 km beträgt. Jeder Tag, an dem zu irgendeiner Zeit Nebel herrscht, gilt als Nebeltag; gleichgültig, ob die Nebeldauer kurz oder lang ist. Da der Nebel, (wie die Bewölkung) nicht direkt gemessen werden kann, entstehen einige Unsicherheiten: Sichtweite unter 1 km bei starkem Schneefall, einseitiges Einsetzen des Nebels in nur einer oder zwei Himmelsrichtungen etc. (SCHUEPP, 1963). In der vorliegenden Bearbeitung des Nebels werden zweierlei Daten verwendet:

1. Daten der Station Bern (MZA): nationales Messnetz, sowie Daten der Station Belpmoos: Flugwetterdienst.
2. Daten aus dem Klimaprogramm des Kantons Bern. (Im Gegensatz zu der internationalen Definition wird bei diesen Stationen ein Nebeltag dann verzeichnet, wenn zum Beobachtungstermin (07.00 - 08.00) Nebel vorhanden ist).

D Messung der Strahlung

Die von der Sonne ausgesandte Strahlung ist ein Gemisch von Strahlen verschiedener Wellenlängen. Beim Durchdringen der Erdatmosphäre werden diese Wellenlängen nicht alle gleich stark betroffen. Die Strahlen, welche auf die Erdoberfläche auftreten, lassen sich in zwei Bereiche aufteilen:

- langwellige, unsichtbare infrarote Strahlen
($> 3\mu$ = Wärmestrahlen)
 - kurzwellige, unsichtbare ultraviolette Strahlen
($< 0.36\mu$ = UV-Strahlen)
- Die sichtbaren Strahlen befinden sich im Zwischenbereich von $0.36 - \text{ca. } 3.0\mu$ (= nahes Infrarot).

Bei der Strahlungsmessung wird die Wärmemenge, die pro Zeiteinheit auf eine Flächeneinheit einer Ebene fällt, angegeben ($\text{cal cm}^{-2} \text{min}^{-1}$). Die Intensität der Bestrahlung einer Fläche ist nicht nur von der Bestrahlung selbst, sondern auch vom Einfallswinkel der Sonnenstrahlen abhängig. Dieser Einfallswinkel wiederum ist gegeben durch den Sonnenstand, die Hangneigung und Exposition der Auftrefffläche. Naturgemäss ändern sich diese Grössen im Verlaufe eines Tages oder eines Jahres.

Daneben strahlt nicht nur die Sonne Wärmeenergie aus, sondern auch der Himmel. Je nach Wolkenart kann diese sogar grösser als diejenige der Sonne sein (z.B. bei ganz hellem Cirrus). Die Wärmemenge, die von Sonne und Himmel zugeführt wird, heisst Globalstrahlung.

In der vorliegenden Untersuchung wurde die Globalstrahlung im Bereich von $0.3 - 2 \mu$ während eines Jahres gemessen. Als Messinstrument diente dabei ein Solarimeter der Firma Kipp und Zonen. *

* Die Messung der kurzwelligen Globalstrahlung wurde durch Herrn R. Bonjour der Eidg. Forschungsanstalt für Agrikulturchemie Bern im Rahmen eines internationalen Versuches gemessen. Die Messdaten wurden uns freundlicherweise zur Verfügung gestellt.

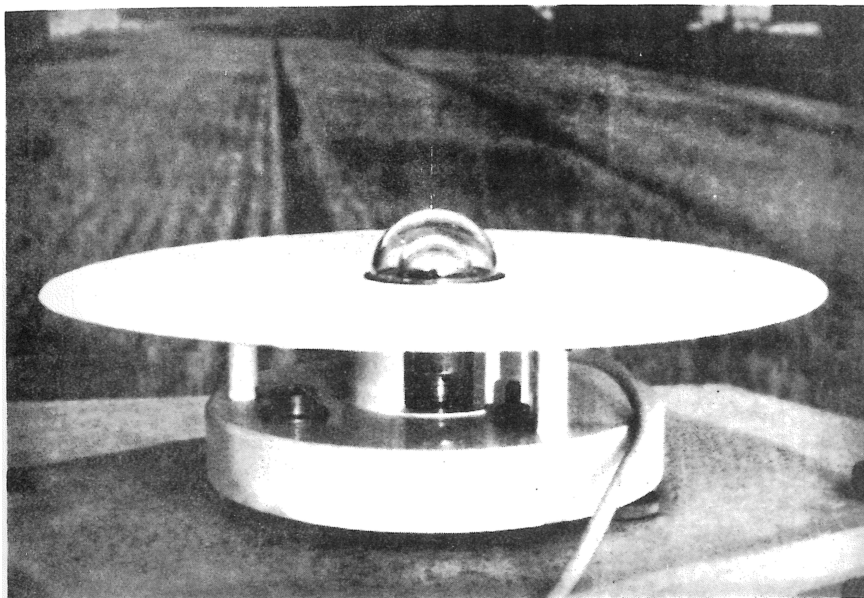


Abb. 5 Solarimeter der Firma Kipp + Zonen zur Messung der kurzwelligigen Globalstrahlung

Die Messung der kurzwelligigen Globalstrahlung beruht bei diesem Gerät auf dem Prinzip der Wärmemessung: Schwarz und weiss lackierte Kupferplättchen erwärmen sich bei der Bestrahlung unterschiedlich. An der Unterseite dieser Plättchen wird die Temperaturdifferenz zwischen schwarz und weiss gemessen und in die Strahlungseinheit (Wärmemenge pro Zeit- und Flächeneinheit) umgerechnet .

Andere Wellenbereiche konnten aus gerätetechnischen Gründen in unserer Untersuchung nicht gemessen werden, obwohl für viele Fragestellungen (Strahlungsbilanz, Infrarot-Thermal Aufnahmen etc.) die langwellige Strahlung miteinbezogen werden müsste (vgl. Kap.8).

E Messung des Horizontes bzw. der Tagbogen mit der Fisch-
augkamera

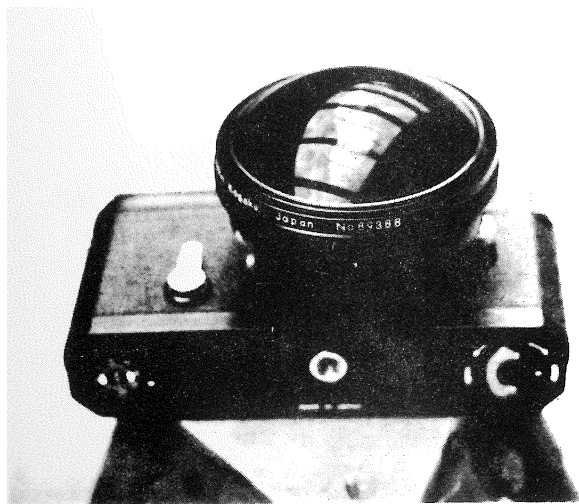


Abb. 6

Fischaug-Kamera *
NIKON (Bildwinkel
 180° : NIKKOR Fish Eye
0,8 cm Brennweite und
Rotfilter)

HEGG (1975) beschreibt die Fischaugaufnahmen wie folgt: "Berge, Bäume, Häuser usw. werden auf der entstehenden, kreisrunden Photo unter dem richtigen Azimut von aussen nach innen abgebildet, und zwar entsprechen 10° Höhenwinkel über dem Horizont dem neunten Teil des Radius auf der Aufnahme. Um die Auswertung zu ermöglichen, ist es notwendig, die Aufnahme zu orientieren; sei es, indem der Fotoapparat genau Nord-Süd ausgerichtet wird; sei es, indem man z.B. genau im Norden des Aufnahmeortes eine Markierungsstange aufstellt, die mitfotographiert wird".

* Die Fischaug-Kamera wurde uns freundlicherweise von Dr. O. Hegg, Botanisches Institut der Universität Bern, zur Verfügung gestellt.

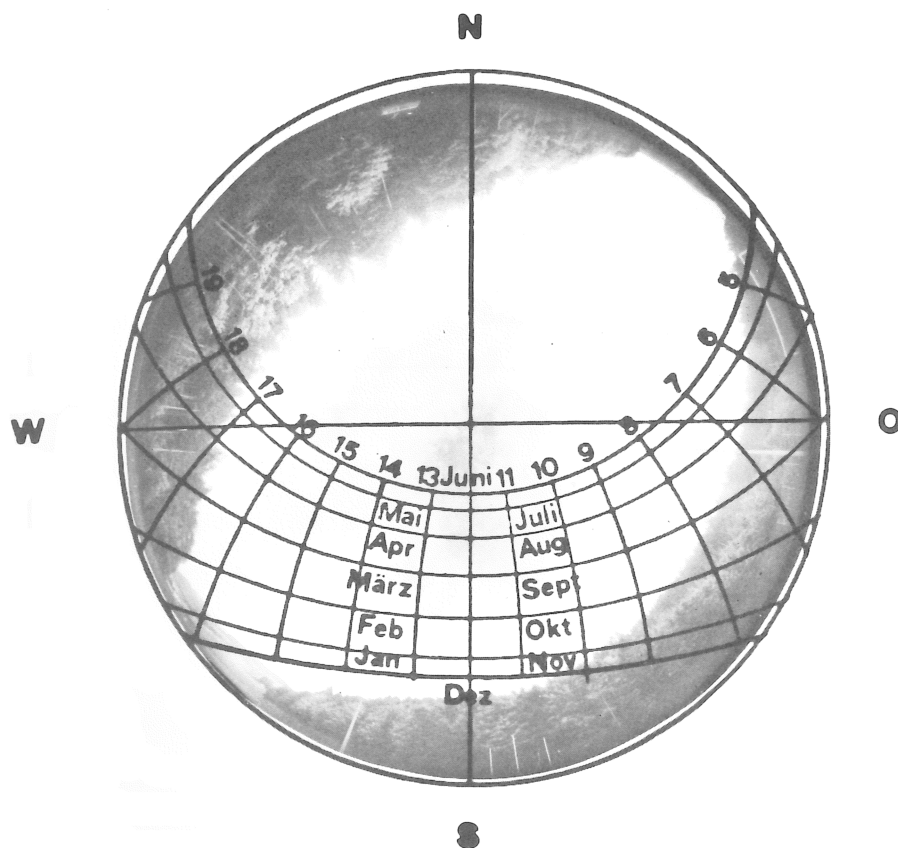


Abb. 7 Fischaugaufnahme mit den Tagbogen versehen

Das Bild, das durch die Fischaug-Kamera entsteht, bildet den ganzen Horizont (360°) ab. Werden diese Aufnahmen nun mit den Tagbogen der Sonne versehen, so kann die Sonnenscheindauer für jeden beliebigen Tag im Jahr herausgelesen werden.

Um die Jahressumme der effektiv möglichen Sonnenscheindauer zu errechnen, muss die Horizontlinie auf ein aequidistantes Sonnenbahndiagramm übertragen werden (ANDERSON 1964, HEGG 1973). Anschliessend kann, ähnlich wie bei den Diagrammstreifen des Tagbogenschreibers von de Quervain, die Summe beliebiger Zeitabschnitte (Monat, Jahreszeit etc.) ausplanimetriert werden. Der Vorteil der Fischaug-Methode liegt darin, dass die Feldarbeit und damit auch die Wetterabhängigkeit stark reduziert wird.

Dagegen ist der Zeitaufwand für die Auswertung bedeutend grösser als bei der de Quervain-Methode. Wie es sich mit der Genauigkeit der photographischen Methode verhält, wird gegenwärtig in einem Testprogramm überprüft.

2.3. Darstellungsarten der Sonnenscheindauer

- 1934 zeichnete GUTERSOHN vier Karten der Stadt Zürich mit Isolinien des Sonnenauf- und -unterganges. Er erreichte auf diese Art und Weise eine zeitliche Stufung des Schattenwurfes durch die umliegenden Höhenzüge Uetliberg und Zürichberg. Für die Quartiere der Stadt Zürich wurde so eine Horizonteinengung von $\frac{1}{2}$ - 2 Stunden pro Tag ermittelt. Gutersonn stellte folglich in seiner Untersuchung eine Beziehung zwischen der astronomischen und der effektiv möglichen Sonnenscheindauer dar.
- 1952 zeichneten THAMS und ZENONE monatliche Isohelienkarten (Isohelien sind in diesem Sinne als Linien gleicher effektiv möglicher Sonnenscheindauer zu verstehen) für die Magadinoebene. Anhand von 71 Messpunkten wurde das Untersuchungsgebiet aufgearbeitet. Dank der nahegelegenen meteorologischen Beobachtungsstation Locarno-Monti konnte die absolute Sonnenscheindauer annähernd für alle 71 Messpunkte ermittelt werden. So entstanden zwölf Monatskarten der absoluten Sonnenscheindauer. In der Annahme, dass über längere Zeit gesehen die Globalstrahlung eine einfache Funktion der absoluten Sonnenscheindauer ist, (vgl. Kap. VIII) wurde darauf eine Strahlungskarte gezeichnet (die langjährigen Globalstrahlungswerte lagen für die Station Locarno-Monti vor).
- 1956 postulierte STEINHAUSER, dass ausschliesslich die relative Sonnenscheindauer kartiert werden soll. Diese Forderung macht es allerdings notwendig, dass wiederum mehrere Karten (Monats- oder Jahreszeitenkarten) erstellt werden, da sonst der Bewölkungsverlauf nicht festgehalten werden kann. Regionale Sonnenscheindifferenzen werden aber bei dieser Darstellungsart deutlich sichtbar.

- 1970 Im Zusammenhang mit einer hydrologischen Studie über den Einfluss einer Aufforstung auf das Abflussregime der Baye de Montreux untersuchten KASSER, SCHRAM und THAMS die Sonnenscheindauer im Einzugsgebiet dieses Baches.
- Anhand von 150 Tagbogenmessungen entstanden Karten mit Isolinien der Jahres- und Monatssummen der effektiv möglichen Sonnenscheindauer. Das Umsetzen dieser Sonnenscheinkarten in Strahlungskarten scheiterte an der ungenügend dotierten Strahlungsmessung und am intensiven Relief des Untersuchungsgebietes (grosse Höhendifferenzen).
- 1972 Auch MARR mass in seinem Untersuchungsgebiet südlich von Basel die effektiv mögliche Sonnenscheindauer. Mit dem von ihm verbesserten Nomogramm von Peucker ermittelte er den Anteil an absolutem Sonnenschein, welcher durch die Horizontabdeckung verloren geht. Marr entwickelte diese Methode aus der Ueberlegung, dass der Verlust einer Stunde Sonnenschein eines Sommertages bei einer Tageslänge von 16 Stunden anders zu beurteilen ist als der Sonnenscheinverlust eines Wintertages bei einer Tageslänge von 8 Stunden. Der Verlust an Sonne im Winter ist stärker zu gewichten als im Sommer. Anhand dieses Sonnenscheinverlustes stellte er eine Güteklassifikation (sehr günstig, günstig, ungünstig) der Sonnenscheindauer für seine Untersuchung auf.
- 1972 PRIMAULT ermittelte im Kanton Waadt die effektiv mögliche Sonnenscheindauer und stellte diese mit Isolinien in vier Karten dar:
- Ganzjahreskarte
 - Winterhalbjahreskarte
 - Sommerhalbjahreskarte
 - Sonnenscheindauerkarte Mai-August
- 1973 erstellten KRUMMEN und WANNER mit Hilfe des Tagbogenschreibers von de Quervain eine Sonnenscheinkarte des Raumes südöstlich von Bern. Jeder Messpunkt wurde mit vier Ziffern versehen, welche die effektiv mögliche Sonnenscheindauer

in Prozenten der astronomischen Sonnenscheindauer für Wintervormittag bzw. -nachmittag und Sommervormittag bzw. -nachmittag angibt. Daneben geben eine Isoplethendarstellung der Bewölkung und ein Nebelverbreitungskärtchen den jährlichen und täglichen Gang der Bewölkung bzw. des Nebels wieder. Aus der Kombination der Sonnenscheinkarte und der Isoplethendarstellung der Bewölkung bzw. Nebelkarte lassen sich die absoluten Sonnenscheinmittelwerte herauslesen. Der grosse Vorteil dieser Darstellungsart liegt darin, dass mehrere Informationen in einer einzigen Karte zusammengefasst sind. Nachteilig dagegen wirkt sich aus, dass vom Betrachter dieser Karte einiges Verständnis für diese komplexen Zusammenhänge verlangt wird.

Die Vielfältigkeit der Sonnenscheindauer-Darstellungsweise hängt offenbar damit zusammen, dass verschiedene Möglichkeiten zur quantitativen Erfassung der Sonnenscheindauer bestehen, und dass in jedem Falle angestrebt wurde (siehe oben), jeweils diejenige Messgrösse zu verwenden, welche der spezifischen Fragestellung am nächsten kommt. Der vorliegenden Untersuchung liegt nun keine spezifische Fragestellung zugrunde (vgl. Kap. 1 Einleitung), deshalb wurde versucht, eine möglichst vielseitig verwendbare Sonnenscheinkarte zu zeichnen.

2.4. Feldarbeit, Zeit- und Arbeitsaufwand, Probleme

Das Untersuchungsgebiet für die Sonnenscheindauer deckt sich mit dem Gebiet, in welchem die Temperaturen, die Winde, der Frost etc. (vgl. Liste der Beiträge S.117) untersucht werden und ist dem Bearbeiter dieses Berichtes sehr vertraut. Es umfasst ca. 177 km². Bereits 1972 wurde der südöstliche Teil (ca. 50 km²) der Region Bern durch KRUMMEN und WANNER (1973) an 128 Standorten vermessen. Mit dem Prototyp des Tagbogenschreibers von de Quervain konnte die ganze Region Bern anhand von weiteren 163 Messpunkten ergänzt werden. Dabei erwies sich die Witterungsabhängigkeit der Feldaufnahmen als eigentliches Problem ! Für die Messpunkte mit einem grossen

Gesichtskreis ist eine gute Fernsicht unbedingt notwendig, da sonst der Horizont nicht aufgenommen werden kann.

Es erwies sich als sehr zweckmässig, die Messstandorte sowohl auf der Karte wie auch durch Geländebegehungen festzulegen. Die Messorte wurden nach folgenden Kriterien ausgewählt:

1. Messstandorte, welche für eine grössere Fläche repräsentativ sind (Plateaus, Hänge gleicher Exposition etc.)
2. Messstandorte, welche bei grosser Aenderung der Sonnenscheinwerte mithelfen, Isohelien (vgl. Kap.2.3.) festzulegen. (Messketten über Geländekanten, durch Gräben etc.).

Die Dichte der Messpunkte richtet sich nach dem Massstab der darzustellenden Karte und nach den Reliefbedingungen: Ein sehr wechselhaftes Relief benötigt ein dichtes Messnetz, während ein ausgeglichenes oder regelmässiges Relief durch wenige Messpunkte erfasst werden kann. In unserem Falle ergibt dies eine durchschnittliche Punktedichte von 3-4 Messpunkten pro km^2 , (vgl. Karte) wobei zu berücksichtigen ist, dass die Waldgebiete für die Messungen ausfallen (vgl. dazu Kap.3.2.).

Anschliessend an die Feldarbeit wurden die Sonnenscheinstreifen für die vier Zeitabschnitte Wintervor- und -nachmittag, Sommervor- und -nachmittag ausplanimetriert. Für die Detailkartierung, besonders in der reliefintensiven Gegend südlich von Bern, erwies sich der Kartenmassstab 1:25'000 als günstig. Zu Uebersichtszwecken (je nach Fragestellung) ist es auch möglich die Karte 1:50'000 zu verwenden; allerdings muss in diesem Falle stark generalisiert werden (KNOCH, 1963).

Arbeitsschritte und Arbeitsaufwand

- | | <u>Zeitbedarf</u> |
|--|---|
| 1. Auswahl der Messpunkte nach Karte und durch Geländebegehung | unbestimmt
(je nach Kenntnis des Geländes) |

2. Aufnahme eines Messpunktes bei günstigen Witterungs- und Standortverhältnissen (ohne Anmarschweg) 30 Minuten
3. Planimetrieren des Registrierstreifens nach den vier Halbjahreswerten 30 Minuten
4. Verifikation im Gelände
Zeichnen der Karte unbestimmt

III. DIE AUSSAGEKRAFT DER VORLIEGENDEN SONNENSCHHEINKARTE
(vgl. Kartenbeilage)

3.1. Farben und Ziffern

Die vier Farbstufen (gelb, hellgrün, mittelgrün und dunkelgrün) geben vorerst eine Uebersicht der Besonnung in der Region Bern. Aus der Tatsache, dass die effektiv mögliche Sonnenscheindauer gemessen wurde, ergibt sich eine klare, reliefbedingte räumliche Gliederung des Raumes Bern: Die tieferen Einschnitte, das engere Flusstal der Aare (Aarelauf in der Stadt Bern und Wohlensee) sowie die Nebentäler Gümligen- und Gurtental treten als sonnenscheinarme Gebiete zurück. Ebenso alle NE-NW Abhänge an der Stufe vom höheren zum tieferen Mittelland: Bantiger, Grauholz, Ulmizberg und Gurten. Dagegen treten die Plateaus und Ebenen (Frienisberg und Belpmoos) als sonnenscheinreiche Gebiete hervor.

Die mittleren Stufen (hell- und mittelgrün) bedeuten Uebergangszonen. Sie sind vor allem an den Süd-, West- und Osthängen anzutreffen. Schwächere Geländeformen (Mulden), sanftere Abhänge) werden ebenfalls mit dieser Farbe erfasst.

Die Grenzwerte der vier Stufen wurden so festgelegt, dass sie einer eigentlichen Güteklassifikation entsprechen:

über 4000 Stunden (gelb) pro Jahr: sehr gut
 3600 - 4000 Stunden (hellgrün): gut
 3200 - 3600 Stunden (mittelgrün): mässig
 unter 3200 Stunden (dunkelgrün): schlecht

Die effektiv mögliche Sonnenscheindauer kann lokal an den Messstellen mit Hilfe des Zifferncodes leicht für verschiedene Jahreszeiten abgeschätzt werden. Besonders auf den mittleren Stufen (hell- und mittelgrün) bedeuten diese Zahlen eine grosse Hilfe.

1. Zahl: Prozentsatz der effektiv möglichen Sonnenscheindauer, gemessen an der astronomischen Sonnenscheindauer für die Sommervormittage (SV)
2. Zahl: für die Sonnernachmittage (SN)
3. Zahl: für die Wintervormittage (WV)
4. Zahl: für die Winternachmittage (WN)
(vgl. Legende der Karte)

Als Bezugsgrösse für die ganze Region Bern ist die astronomische Sonnenscheindauer für Bern (47° nördliche Breite) verwendet worden (vgl. Kap.2.1.). Die Zahlen für Bern lauten (Angaben in Stunden pro Jahr):

	100%	90%	80%	70%	60%	50%	40%	30%	20%	10%
SV	1240	1116	992	868	744	620	496	372	248	124
SN	1430	1287	1144	1001	858	715	572	429	286	143
WV	790	711	632	553	474	395	316	237	158	79
WN	980	882	784	686	588	490	392	294	196	98

Nun kann ohne grosse Mühe ein zu analysierender Standort eingestuft werden (vgl. Kap.3.2. und 3.3.). Je nach Fragestellung oder Bedürfnis sind damit bereits Entscheidungskriterien gegeben.

Extrem tiefe Werte werden in der Karte durch Unterstreichen noch hervorgehoben. Diese Werte, z.B. effektiv mögliche Sonnenscheindauer während mindestens eines Monats 0 Stunden pro Tag (vgl. Legende der Karte: Extremwerte), sind im Mittelland eher selten anzutreffen. Im Voralpen- und Alpengebiet dagegen dürften diese Extremwerte recht häufig und von besonderer oekologischer Bedeutung sein.

Durch den Zifferncode an den Messpunkten ist es möglich geworden, die Aussagekraft einer Sonnenscheinkarte zu vergrössern, ohne dass dabei bereits einer speziellen Fragestellung nachgegangen wird.

3.2. Grenzen und Genauigkeit der Sonnenscheinkarte

Da jeder Messpunkt für eine bestimmte Fläche als repräsentativ gelten muss, wurde bei der Geländeaufnahme einzelne nahegelegene Häuser, Bäume und andere Hindernisse, welche den weiteren Horizont verdeckten, nicht aufgenommen. Für eine spezielle Fragestellung (vgl. Kap.3.4. Sonnenscheindauer und Bauplanung) müssten daher diese einzelnen Objekte selbstverständlich miteinbezogen werden. Gerade im dichtbebauten Gebiet (Stadt Bern und Agglomeration) gestaltete sich die Horizontaufnahme sehr schwierig. Für unsere allgemein gültige Karte schien es deshalb sinnvoll, die Messungen auf den Dächern durchzuführen. Die so ermittelten Werte sind also für eine gedachte Fläche ca. 20 m über dem Erdboden gültig (Strassenschluchten, Fassaden etc. sind somit nicht berücksichtigt).

Ein besonderes Problem stellen die Wälder dar : Da dort nur bedingt gemessen werden konnte (nur im Laubwald sind Messungen im Winter annäherungsweise möglich), wurden diese nach der Geländeform und den umliegenden Werten in die Karte integriert. Auch die Horizontüberhöhung durch die Waldränder konnte nicht berücksichtigt werden. Die nachfolgende Tabelle und Figur 5 zeigen die Beziehung zwischen der Sonnenscheindauer und dem Schattenwurf an Waldrändern auf:

Waldrand und Sonnenscheindauer
(ebenes Gelände - der Wald liegt im Süden)

Entfernung zum Waldrand	SV	SN	WV	WN	J
230 m	1110	1384	628	908	4030
180 m	1100	1374	585	902	3961
135 m	1074	1374	525	897	3870
90 m	1017	1374	399	900	3690
50 m	939	1373	191	877	3380
22 m	283	1371	1	657	2313
10 m	12	1269	-	411	1692

Angaben in Stunden

Richtwert bei einer Entfernung von 1150 m vom Waldrand: 4184 Std/Jahr

Die Sonnenscheinstunden für die Vormittage (Sommer und Winter) nehmen in diesem Falle mit der Verkleinerung der Distanz zum Waldrand stark ab, während die Nachmittagsstunden, insbesondere im Sommer, eine beachtliche Konstanz aufweisen. In Figur 5 wird ein Hinweis auf die differenzierte Situation an andersorientierten Waldrändern gegeben.

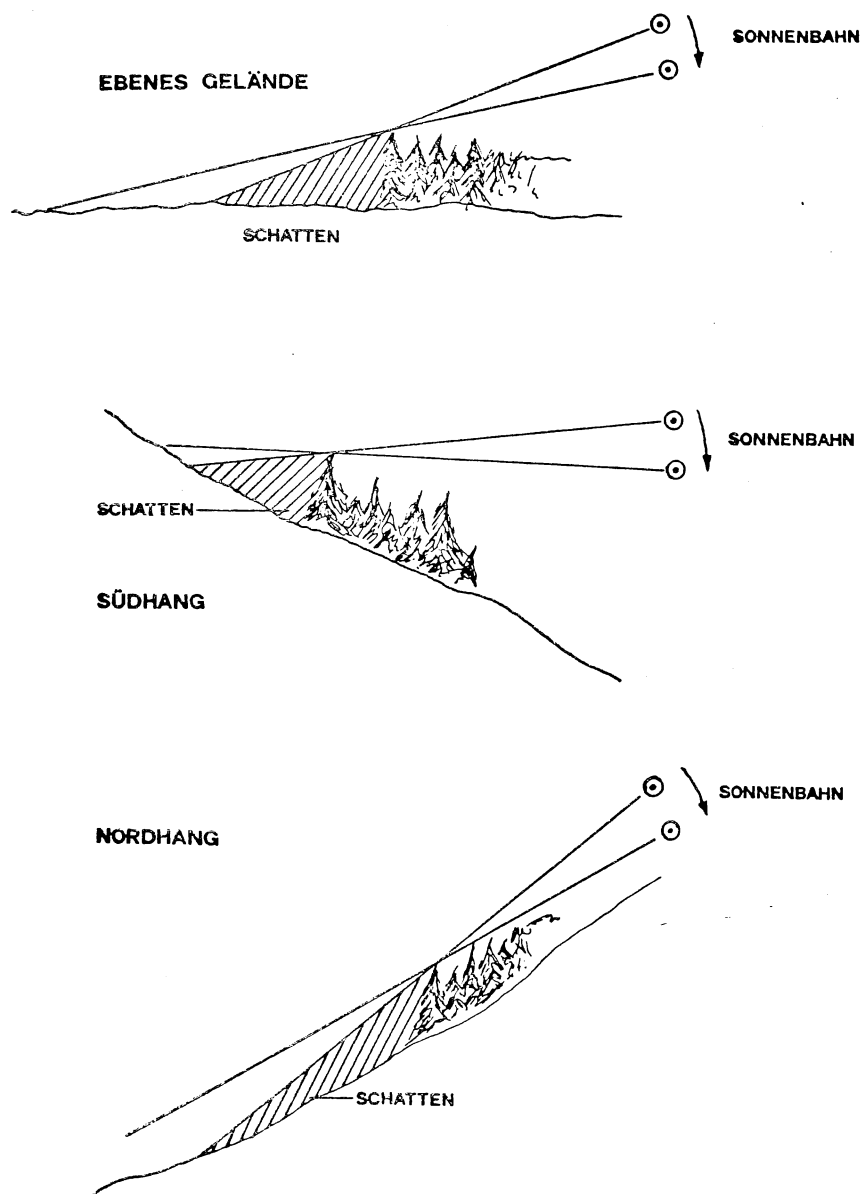


Fig. 5 Schattenwurf an Waldrändern bei unterschiedlichem Sonnenstand und verschiedenen Expositionen

Je nach Lage, Exposition und Neigung des Waldes verhalten sich die Schattenwurfzahlen des Waldrandes verschieden. Diese Tatsache muss bei der Interpretation der Karte mitberücksichtigt werden.

Bei extremen Geländeänderungen (intensive Topographie) variiert die Sonnenscheindauer auf kleinstem Raum derart stark, dass diese abrupten Wechsel auch in der Karte 1:25'000 nicht mehr wiedergegeben werden können. (So stösst beispielsweise auf dem Ulmizberg ein gelbes Gebiet ohne Zwischenstufen direkt an die dunkelgrüne Farbe = markante Geländekante). Für spezielle Fragen in solchen Gebieten muss zur Darstellung der Sonnenscheindauer auf den Grundbuchplan 1:1'000 (1:5'000, 1:10'000) ausgewichen und entsprechend mehr Punkte ausgemessen werden.

Aus der Tatsache, dass auf einen km^2 3-4 Messpunkte entfallen, ergibt es sich, dass die Farbgrenzen (= Güteklassifikation) nicht absolut in das Gelände zu interpretieren sind: Solche Grenzen bedeuten Übergangssituationen von einer schlechten in eine bessere Klasse und umgekehrt. Im einzelnen müssten auch diese Grenzen durch unzählige Messpunkte ermittelt werden (vgl. Kap.2.4.).

3.3. Verschiedene Spezialfälle

A Die Besonnung der Nord-Südtäler am Beispiel von Platten bei Köniz

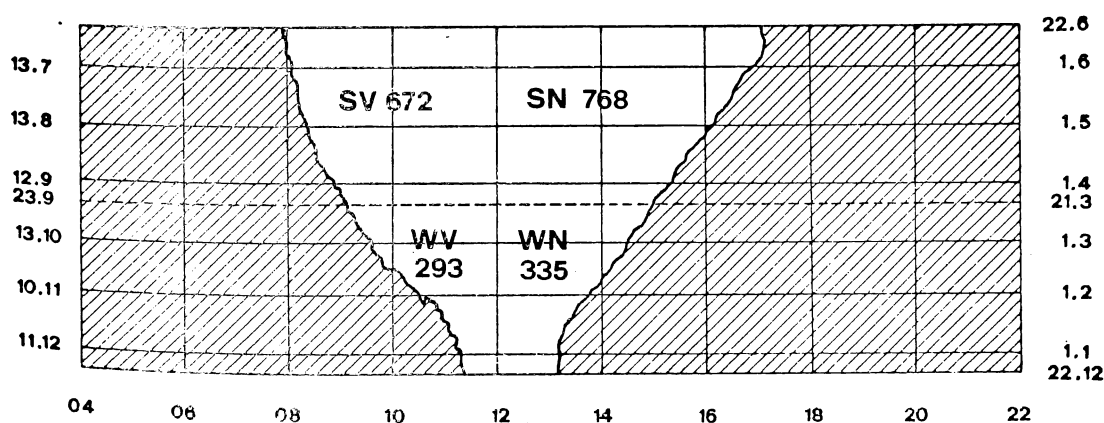


Fig. 6 Horizontverlauf und Zahlen der effektiv möglichen Sonnenscheindauer in einem Nord-Südtal (Registrierstreifen des Tagbogenschreibers von de Quervain)
Angabe in Stunden: Jahrestotal: 2068

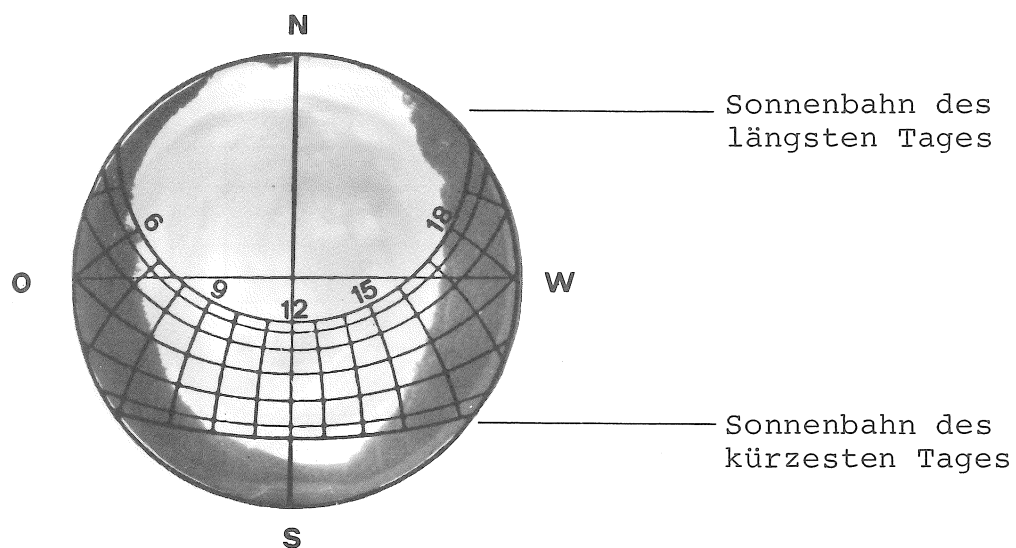


Abb. 8 Horizontaufnahme mit der Fischaugkamera in demselben Nord-Südtal (Platten bei Köniz)

Nord-Südtäler erhalten am Talgrund während des ganzen Jahres sehr wenig Sonnenschein (jährliche Sonnenscheinsumme nur 2068 Stunden !). Der Horizont ist sowohl für die Abend- wie auch für die Morgensonne stark überhöht (vgl. dazu auf der Karte: Gümligentäl).

B Besonnung von West-Osttälern am Beispiel des Gurtentales

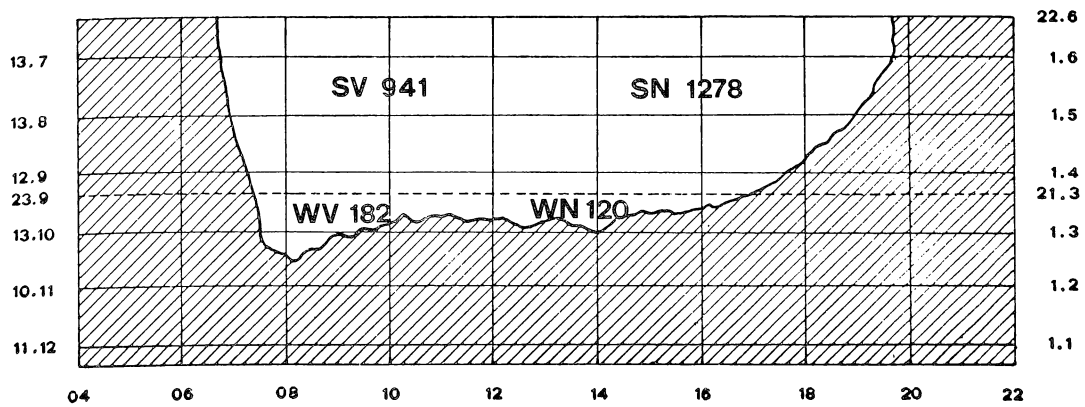


Fig. 7 Horizontverlauf und Zahlen der effektiv möglichen Sonnenscheindauer in einem West-Osttal (Registrierstreifen des Tagbogenschreibers von de Quervain). Angabe in Stunden: Jahrestotal 2521

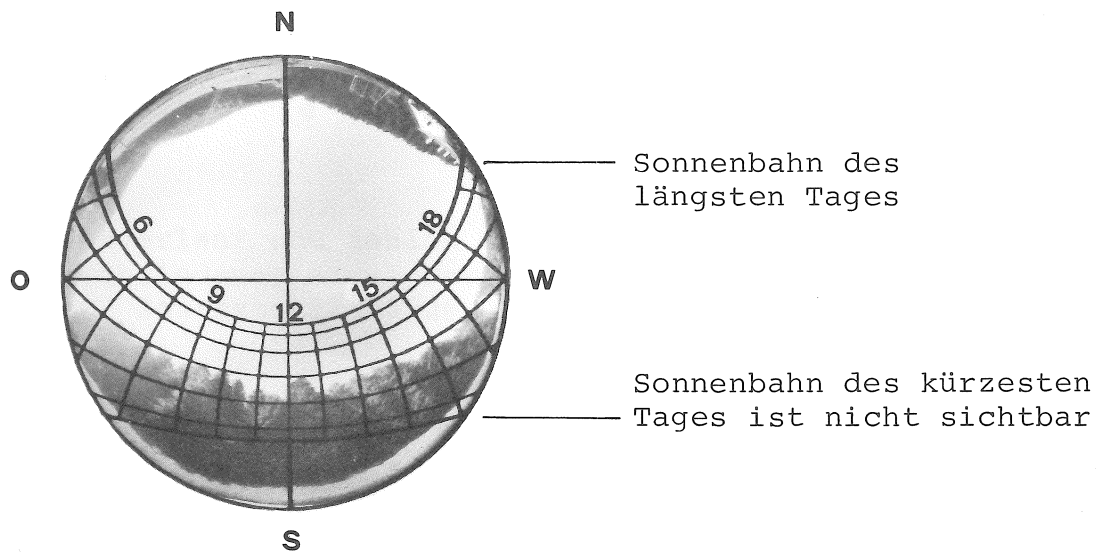


Abb. 9 Fischaufnahme in demselben West-Osttal (Gurtental)

Die Unterschiede der Sonnenscheindauer zwischen dem Nord- und Südabhang eines West-Osttales können sehr gross werden. Bei diesen Tälern haben sich auch die Begriffe Sonn- und Schattseite eingebürgert (vgl. Ortsnamen wie Sunnigrain, Schattigrain etc.).

Während die Sonnseite eine recht hohe Sonnenscheinzahl erreicht, kann es am Talgrund oder auf der Schattseite durchaus vorkommen, dass die Sonne während längerer Zeit überhaupt nicht mehr scheint. In unserem Beispiel liegt der Talboden des Gurtentälis vom 28. Oktober bis zum 12. Februar im Schatten.

C Besonnung eines Osthanges (Ostabhang des Gurtens)

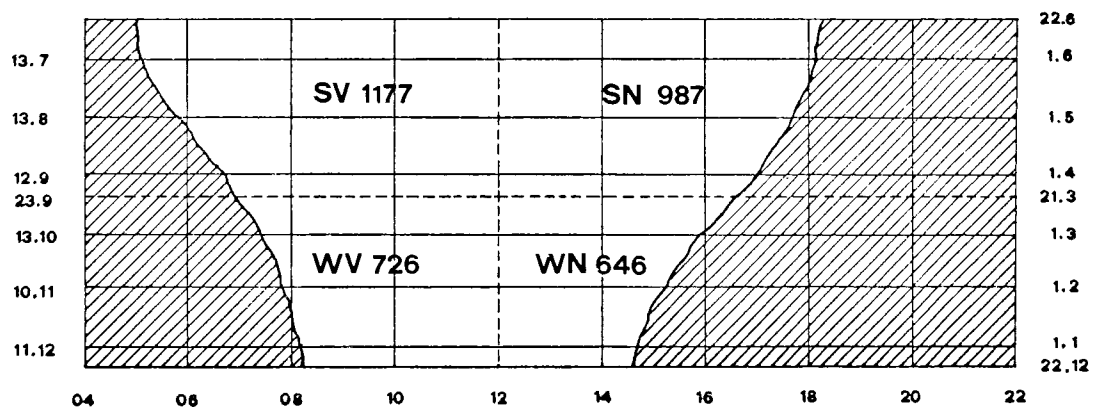


Fig. 8 Horizontverlauf und Zahlen der effektiv möglichen Sonnenscheindauer eines Osthanges. Angaben in Stunden. Jahrestotal: 3536

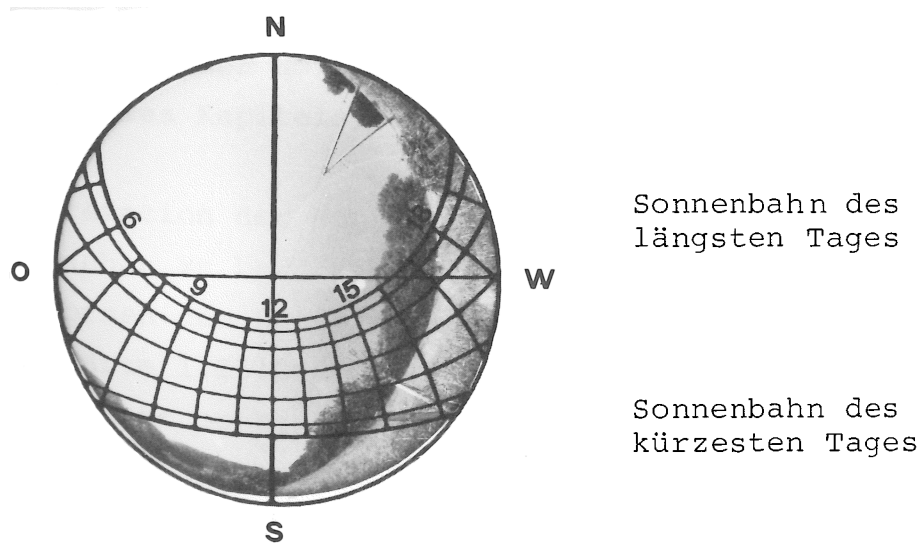


Abb. 10 Fischaugaufnahme am Osthang des Gurtens

Die Wirkung der Ostexposition auf die Sonnenscheindauer zeigt sich in erster Linie in den Nachmittags- und Abendstunden: Zu dieser Zeit ist der Horizont im Westen sehr stark überhöht, was eine Reduktion der Sonnenscheindauer nach Mittag bewirkt (ganzjährlich). Das Sonnenscheindesizit des Osthanges gegenüber dem ebenen Gelände beträgt in diesem Falle für die Nachmittage des ganzen Jahres eine beträchtliche Summe von ca. 700 Stunden. Zudem fallen die Sonnenstrahlen nach dem Mittag nur noch in einem spitzen Winkel auf den Osthang, was naturgemäss die Sonneneinwirkung stark reduziert. *

Anhand des Beispiels Osthang kann man sich nun die Besonnungsverläufe an den andersexponierten Hängen recht gut vorstellen:

Westhang: Reduzierte Sonnenscheindauer am Vormittag. -
Verstärkte Besonnung am Nachmittag (Zeitdauer
und Einfallswinkel)

Südhang: Vor- und Nachmittag intensive Besonnung. Re-
duktion der Sonnenscheindauer besonders im
Sommerhalbjahr in den frühen bzw. späten
Morgen- und Abendstunden.

Nordhang: Schwache und kurze Besonnung in den täglichen
Randstunden. Tagsüber ist die Sonne oft nur
vom Frühling bis in den Herbst zu sehen; im
Winter bleibt sie unter dem Horizont (je nach
Grösse der Horizontüberhöhung: vgl. Abschnitt B
dieses Kapitels).

Bei der Interpretation der Sonnenscheinkarte sind diese expositionsbedingten Tatsachen zu berücksichtigen. Sehr oft ist es so, dass bereits Kleinstformen des Reliefs starke Differenzen erzeugen. Dies konnte in der Karte 1:25'000 nicht wiedergegeben werden; ist aber im Gelände unbedingt zu realisieren (vgl. dazu Kap.3.2.: Grenzen und Genauigkeit der Sonnenscheinkarte).

* Es würde den Rahmen dieser Arbeit sprengen, die Globalstrahlung von verschieden geneigten Flächen in verschiedenen Expositionen

näher zu behandeln. Es sei mir deshalb an dieser Stelle gestattet, auf die umfangreiche Literatur über dieses Thema hinzuweisen: DIRMHIRN (1958), GEIGER (1961), BRICHIMBAUT (1963), INDERMUEHLE (1972), ROTT (1974), KAEMPFERT und MORGEN (1952).

3.4. Sonnenscheindauer und Bauplanung

Aus den Untersuchungen von GILGEN und BARRIER (1973) geht deutlich hervor, dass die Besonnung ein sehr wichtiges Wohnkriterium darstellt. Von neun Wohnkriterien, die den 335 Befragten zur Einordnung vorgelegt wurden, nahm die Besonnung den ersten Platz ein. Untersuchungen in anderen mitteleuropäischen Ländern (Holland, Deutschland, Dänemark und Belgien) zeigen ähnliche Ergebnisse.

Da in der vorliegenden Sonnenscheinkarte der Region Bern die Ueberbauungsverhältnisse bewusst weggelassen wurden (vgl. Kap.3.2.), ist es notwendig, den Problembereich der Besonnung speziell für die Bauplanung etwas näher zu erläutern. Ausgangspunkt zu dieser Betrachtungsweise bilden vielerorts die Gesetzesbestimmungen. Als Beispiel dafür sei der entsprechende Artikel aus der kantonbernischen Bauverordnung (1970) zitiert:

- Art. 130:
- ¹ Höhere Häuser, Hochhäuser und Sonderbauformen dürfen bestehende oder nach den geltenden Vorschriften mögliche Wohnbauten nicht durch Schattenwurf übermässig beeinträchtigen.
 - ² Die zulässige Beschattungsdauer beträgt:
 - a) bei Tag- und Nachtgleiche (21. März und 23. September) zwischen 07.30 und 17.30 Uhr: 2 Stunden
 - b) bei mittlerem Wintertag (8. Februar und 4. November) zwischen 08.30 und 16.30 Uhr: 2½ Stunden
 - ³ Ist die Besonnung einer Liegenschaft infolge topographischer Gegebenheiten oder durch bestehende Bauten bereits erheblich eingeschränkt, so sind die Beschattungstoleranzen angemessen zu reduzieren.
 - ⁴ Diese Regeln gelten auch für die Besonnung innerhalb einer Gesamtüberbauung.

zur Beurteilung von Besonnungsfragen hat sich in der Bauplanung der mittlere Wintertag (= Mittwintertag: 8. Februar und 4. November) als Stichtag bereits eingebürgert. Es ist nicht zweckmässig, extreme Tage wie zum Beispiel den kürzesten oder gar den längsten Tag des Jahres zu wählen, da in den meisten Fällen das Besonnungsproblem in der Zeitspanne und nicht im Zeitpunkt der Sonnenarmut interessiert. Aus diesem Grunde wurden für diese Tage minimale Besonnungsanforderungen gestellt.

Aus der Erfahrung der Baufachleute ergibt sich, dass im Planungs- und Bauwesen zwei verschiedenegeartete Problemkreise hinsichtlich Besonnung und Schattenwurf zu bearbeiten sind: Die Besonnungsbeurteilung in Gestaltungsplänen und die effektive Besonnung eines bestimmten Punktes (vgl. REINHARD, 1975).

Aus der Vielzahl der Methoden (vgl. GILGEN und BARRIER, 1973), welche von den Bau- und Planungsfachleuten verwendet werden; sollen an dieser Stelle drei herausgegriffen werden. Alle drei Methoden sind sehr einfach und können der Forderung, dass auch nicht technisch geschulte Leute den Zugang finden, gerecht werden.

A Die Besonnungsermittlung für bestehende Bauten

Aufnahme des Verbauungsbildes mit dem Tagbogenmesser von de Quervain:

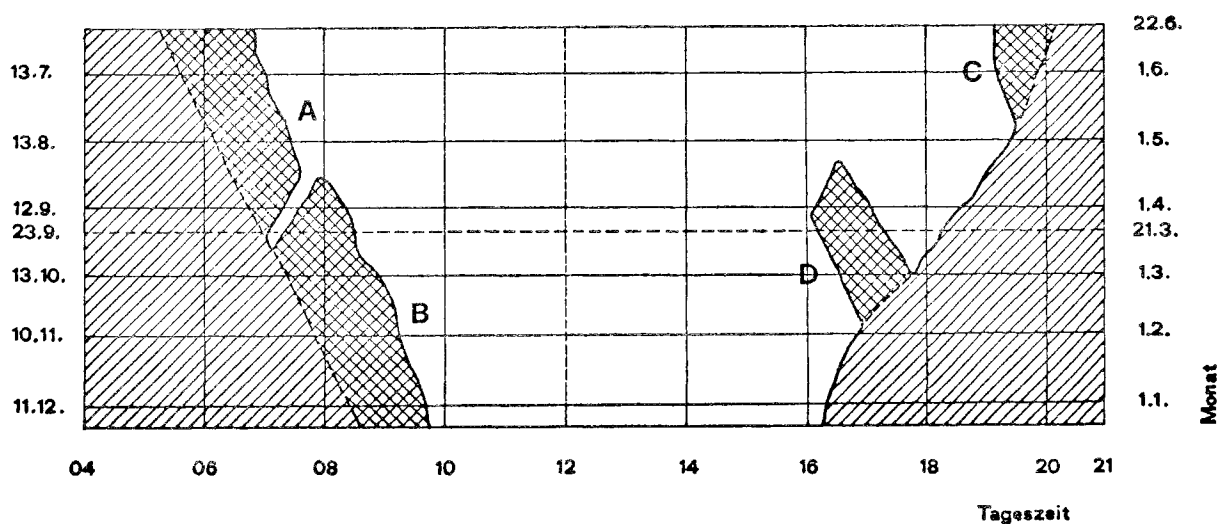


Fig. 9 Verbauungsbild auf dem Kinderspielplatz einer Hochhaussiedlung in der Agglomeration Bern

Besonnungszahlen vor der Ueberbauung:

Sommervormittag:	1094 Std / Jahr
Sommernachmittag:	1275 Std / Jahr
Wintervormittag:	741 Std / Jahr
Winternachmittag:	903 Std / Jahr

Besonnungsverlust durch die umliegenden Hochhäuser:

Hochhaus A:	206 Std/Jahr an den Vormittagen des Sommerhalbjahres
Hochhaus B:	278 Std/Jahr: vorwiegend an den Vormittagen des Winterhalbjahres
Hochhaus C:	47 Std/Jahr an den Sommerabenden
Hochhaus D:	117 Std/Jahr an den Sommer- und Winternachmittagen

Der totale Sonnenscheinverlust auf dem Kinderspielplatz beträgt 648 Std/Jahr oder 16 % der ursprünglich möglichen Sonnenscheindauer.

Das vorliegende Beispiel zeigt, dass sich der Tagbogenmesser von de Quervain auch für die Aufnahme von künstlichen Horizonten, wie sie sich bei Ueberbauungsfragen stellen, sehr gut eignet. Mit geringem Aufwand können so die Beschattungszeiten während eines Jahres herausgelesen und nach den bestehenden Bauvorschriften interpretiert werden.

Der grosse Vorteil dieser Aufnahme liegt darin, dass die Sonnenscheinverhältnisse aufgezeichnet und jederzeit überprüft werden können.

Aufnahme des Verbauungsbildes mit dem Horizontoskop von TONNE (1954)

Als weiteres sehr einfaches Verfahren zur Bestimmung der effektiv möglichen Sonnenscheindauer auf Bauplätzen bietet sich das Horizontoskop von TONNE an. Mit der in Kapitel 2.2. beschriebenen Messmethode kann der Besonnungsverlust durch ein künstliches Hindernis für jedes Datum im Jahr an einem beliebigen Standort sofort herausgelesen werden. Der grosse Vorteil dieses Messverfahrens liegt darin, dass es bei jeder Witterung, im Freien und in Räumen, angewendet werden kann.

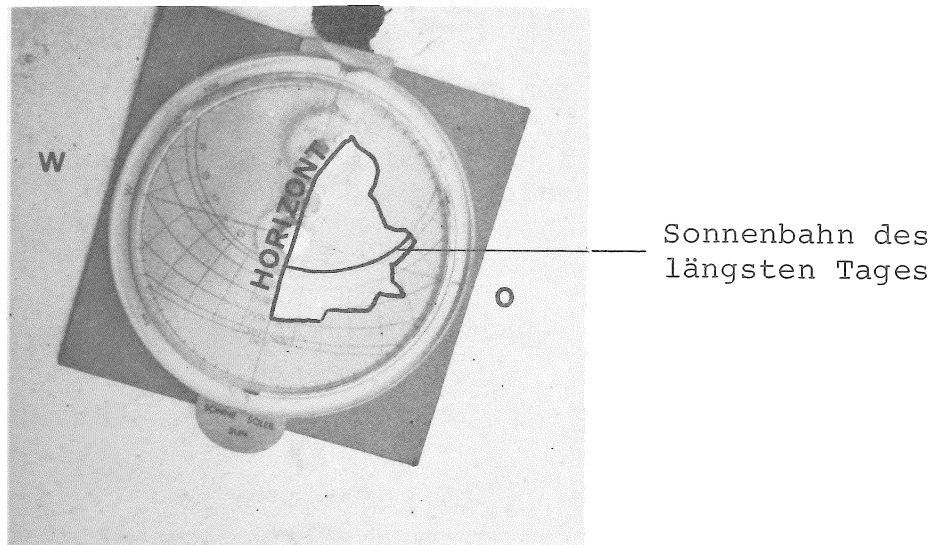


Abb. 11

Ueberbauungsbild am Fenster eines ostorientierten Kinderzimmers einer Neusiedlung in der Agglomeration: Keine Sonne vom 1. Oktober bis zum 28. Februar. Die Problematik der Besonnung von Wohnräumen sei damit nur angetönt (vgl. GILGEN und BARRIER, 1973).

B Besonnungs- und Schattenwurfermittlung für geplante Ueberbauungen nach REINHARD

REINHARD (1975) legt ein Beschattungsdiagramm vor, welches erlaubt, mit einer einfachen Formel die Schattenlänge jeder Tagesstunde an einem Mittwintertag zu berechnen. Die Formel lautet:

$$L \text{ (in cm)} = H \text{ (in m)} \cdot F$$

L = Schattenlänge (in cm)

H = In Metern gemessene Höhe des Gebäudes

F = Tabellenwert

(dieser hat theoretisch nur Gültigkeit für die geographische Breite von Bern, trotzdem darf er für die ganze Schweiz, mindestens für die Nordschweiz, verwendet werden, da die auftretenden Fehler sehr gering sind).

Tabellenwerte für den Mittwintertag

Zeit MEZ	Tabellenwert F (Pläne 1:100)	Azimut der Sonne	Sonnen- höhe
12.00 u. 13.00	1.910	8.2°	28°
11.00 u. 14.00	2.165	24.0°	25°
10.00 u. 15.00	2.828	38.6°	20°
09.00 u. 16.00	4.616	51.6°	13°
08.30 u. 16.30	7.044	57.7°	8°

Ohne grossen Aufwand kann die Fläche, auf welcher der Schatten an einem Mittwintertag mindestens 2½ Stunden lang liegenbleibt, konstruiert und in die Gestaltungspläne eingezeichnet werden.

Die nachstehende Bildserie zeigt, wie stark der Einfluss von Verbauungen im Alltag sein kann.

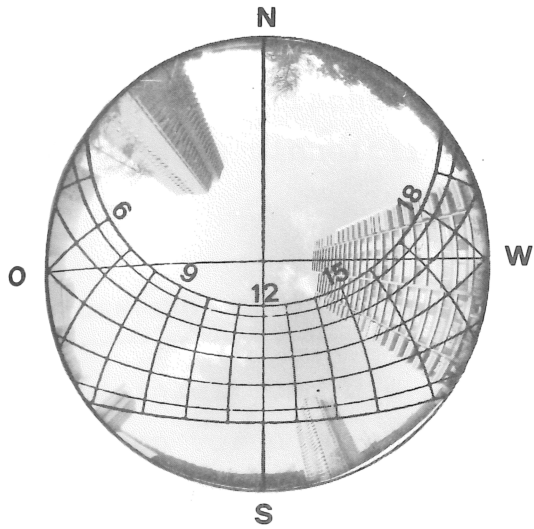


Abb. 12

Besonnung eines Kinderspielplatzes in einer Hochhaus-siedlung: Einzelne Hochhäuser verdecken ganzjährig zu bestimmten Tageszeiten die Sonne

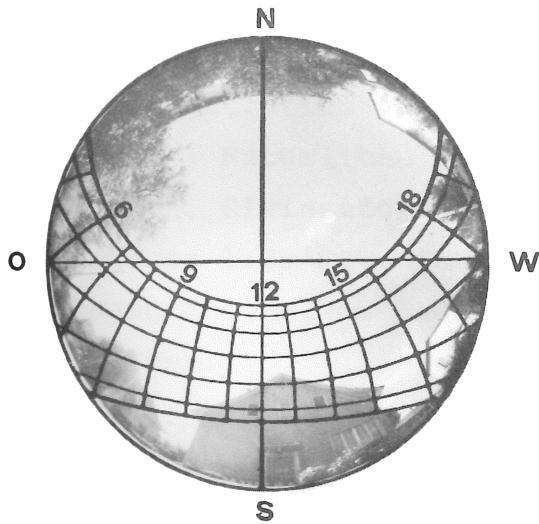


Abb. 13

Besonnung in einem Garten eines Einfamilienhausquartiers: recht gute Sonnenscheinverteilung während des ganzen Jahres.

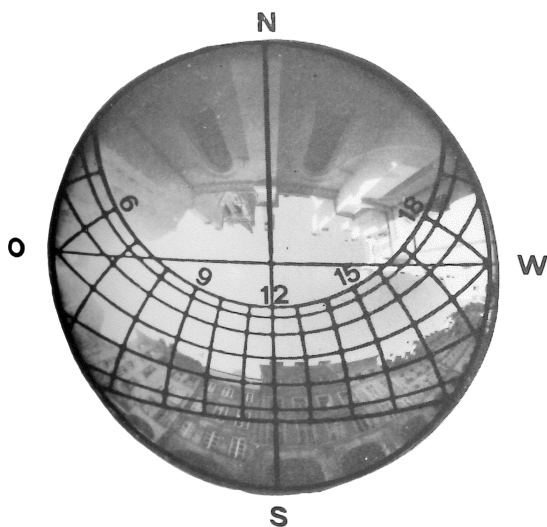


Abb. 14

Besonnung im Parterre einer Altstadtgasse (West-Ost orientiert: Sonnseite) Während eines grossen Teils des Jahres fällt kein Sonnenstrahl auf die Fenster im Erdgeschoss.

Zu Recht besteht heute die Forderung von seiten der Bau- und Planungsfachleute nach einer einheitlichen Mess- und Darstellungsmethode der Besonnung. Probleme wie Dimensionierung von Klima- und Heizanlagen, Wirkung von Sonnenschutzeinrichtungen, Festlegen effektiver Beeinträchtigung im Entschädigungsfalle etc., könnten damit auf eine einheitliche Grundlage gestellt werden.

3.5. Aussagewert der Sonnenscheinkarte

Die Genauigkeit und die Grenzen der vorliegenden Sonnenscheinkarte sind in den vorangehenden Kapitel (3.1. - 3.4.) dargelegt worden. Zusammengefasst heisst dies: Die Karte der effektiv möglichen Sonnenscheindauer gibt einen Ueberblick über die stark reliefbedingten terrestrischen Einschränkungen der Besonnung in der Region Bern. Es sei aber nachdrücklich darauf hingewiesen, dass bei der Interpretation verschiedene Gesichtspunkte berücksichtigt werden müssen: Natürliche und künstliche Hindernisse, Expositionen, Hangneigungen, Kleinstformen des Reliefs etc. können in einer Karte des Massstabes 1:25'000 nicht zur Darstellung gebracht werden. Für Detailfragen müssen, je nach Fragestellung, weitere Messungen durchgeführt werden.

Mit der kartographischen Darstellung der effektiv möglichen Sonnenscheindauer können bereits viele Fragen aus dem Anwendungsbereich beantwortet werden. Sehr oft aber genügt auch die genaueste Abklärung der terrestrischen Möglichkeit der Besonnung nicht; es wird dann unumgänglich, auf das Bewölkungsgeschehen einzugehen, um die absolute Sonnenscheindauer zu ermitteln. Auf diesen Problemkreis soll in der Folge etwas näher eingegangen werden.

IV. SONNENSCHENDAUER UND BEWELKUNG

4.1. Die Lage der Region Bern im übergeordneten Bewölkungs- geschehen

Im Rahmen der mesoklimatischen Untersuchung der Region Bern kommt der Bewölkung eine recht grosse Bedeutung zu, schränkt sie doch die effektiv mögliche Sonnenscheindauer stark ein (vgl. Fig.1). Allerdings ist sie das Element, welches über grosse Gebiete nur kleine Unterschiede aufweist (vgl. Fig. 4 und Abb. 4). Immerhin treten auch kleinräumig Differenzen auf, nämlich dort, wo eine Stauwirkung vorliegt oder dann, wenn sich lokale Konvektionswolken bilden.

Zum besseren Verständnis des Bewölkungsgeschehens in der Region Bern sei deshalb an dieser Stelle ein Ausholen in den makroklimatischen Bereich gestattet. Zu diesem Zweck werden vorerst die Jahresgänge der Bewölkung in einem Querprofil vom Jurasüdfuss bis in die Alpen erläutert.

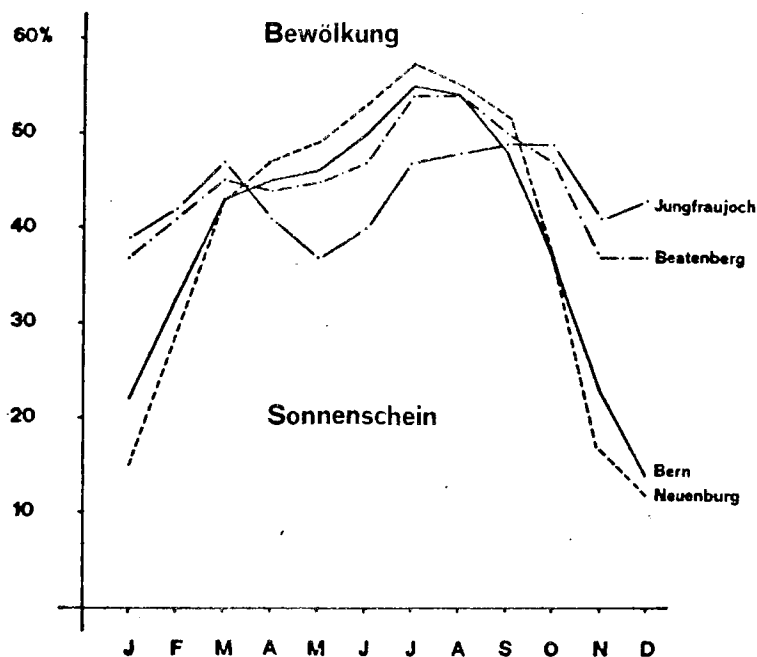


Fig. 10
Jahresgang der relativen Sonnenscheindauer (30-jähriges Mittel 1921 - 1950)
von vier Stationen:

Neuenburg:	Jurasüdfuss	(487 m.ü.M.)
Bern:	Mittelland	(572 m.ü.M.)
Beatenberg:	Voralpen	(1230 m.ü.M.)
Jungfraujoch:	Alpen	(3576 m.ü.M.)

Aus dieser Darstellung lässt sich der jährliche Bewölkungsgang der vier Stationen herauslesen: Die Differenz zu 100% ergibt gemäss Definition (vgl. Kap.2.1.) den Bewölkungsanteil eines jeden Monates.

Der jährliche Bewölkungsgang der Station Neuenburg am Jurasüdfuss zeigt sich als einfache Kurve: Die höchsten Bewölkungsprozente sind im Winter festzustellen, während das Bewölkungsminimum auf die Monate Juli/August fällt.

Dieselbe einfache Kurve, wenn auch etwas abgeschwächt, zeigt die Mittellandstation Bern. Bereits aber zeichnet sich ein leichtes sekundäres Bewölkungsminimum im Monat März ab.

Dieses sekundäre Minimum an Bewölkung wird im Jahresgang der Voralpenstation Beatenberg nun deutlich sichtbar (März).

In den höchsten Lagen des gesamten Alpengebietes zeigt der Jahresgang der Bewölkung eine Doppelwelle (STEINHAUSER, 1956). Die Hochgebirgsstation Jungfraujoch erreicht ihr erstes Bewölkungsmaximum im Monat Mai. Im Frühjahr, zur Zeit der grössten Unstabilität der Atmosphäre, tritt eine gesteigerte Konvektion und damit verbunden eine verstärkte Wolkenbildung auf. Dagegen fällt das winterliche Bewölkungsmaximum dieser Station im November/Dezember sehr gering aus, da die Hochgebirgsregion im Winter oft unter dem Einfluss der Absinkbewegungen im Hochdruckgebiet lange Zeit über die mit Nebel und Wolken bedeckten Niederungen herausragt.

Die Jahresgänge der Bewölkung, rückwärts betrachtet vom Alpenkamm in das Mittelland hinaus, zeigen, dass sich die Doppelwelle mit zunehmender Entfernung vom Hochgebirge zu der einfachen Welle im Mittelland ausglättet. Die Region Bern, am Uebergang vom tieferen zum höheren Mittelland, weist in ihrer einfachen Wellenbewegung des Jahresganges eine leichte Betonung der Bewölkung im Mai auf.

Dieselben Jahresverläufe lassen sich auch in der Extremwertstatistik der heitern und trüben Tage feststellen.

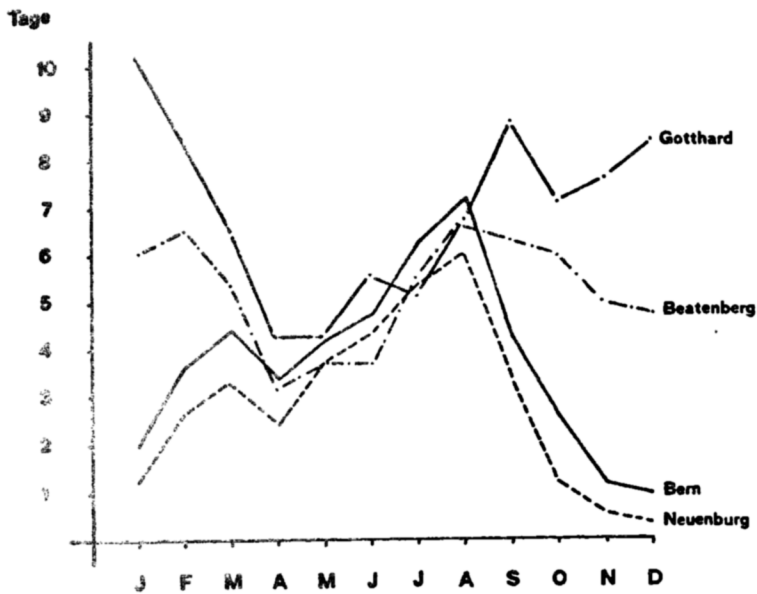


Fig. 11
Jahresverlauf der heiteren Tage (Mittel 1901-1940)
Heitere Tage: Bewölkungsmittel < 2 Zehntel.

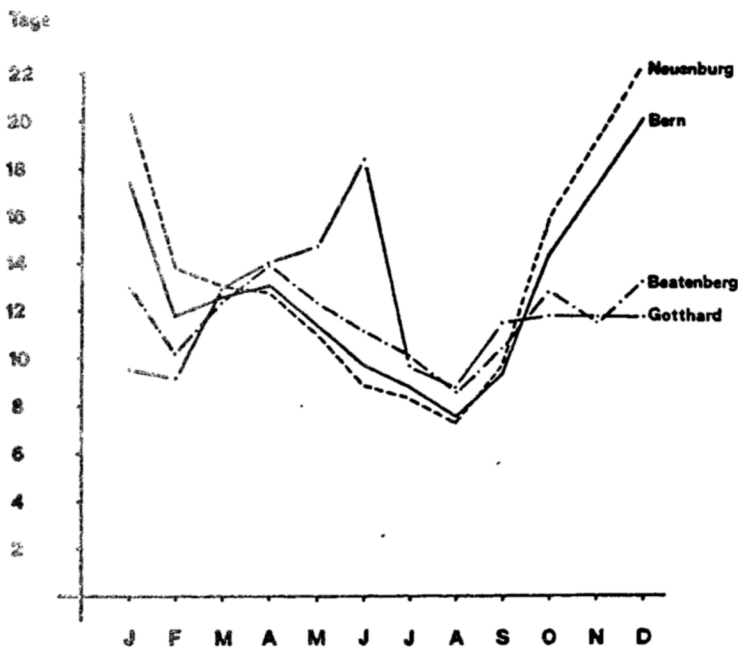


Fig. 12
Jahresverlauf der trüben Tage (Mittel 1901-1940)
Trübe Tage: Bewölkungsmittel > 8 Zehntel

Station Neuenburg: Höchste Anzahl der trüben Tage im Winter.

Gleichmässige Abnahme bis in den August - anschliessend wiederum Zunahme. Die Verteilung der heiteren Tage verläuft genau umgekehrt: Maximum im August.

Station Bern: Bei den trüben Tagen liegt das Maximum wie in Neuenburg im Winter (Dezember/Januar). Im April bildet sich ein sekundäres Maximum (verstärkte Konvektion, Instabilität). Wiederum umgekehrter Verlauf der heiteren Tage.

Station Beatenberg: Bei dieser Voralpenstation sind bereits zwei deutliche ebenbürtige Maxima der trüben Tage im April und im Oktober festzustellen. Die heiteren Tage zeigen ihre Maxima im Februar und August.

Station Gotthard: Im Hochgebirge, am Alpenkamm, wird das Frühlingsmaximum der trüben Tage (etwas verzögert, im Juni) so dominant, dass die Winterhöchstwerte zum sekundären Maximum werden. Dagegen liegen die Maxima der heiteren Tage im September und im Winter (Januar) extrem hoch.

In der nachfolgenden Figur 13 ist das langjährige Bewölkungsgeschehen (1901-1940) der Station Bern zusammengefasst.

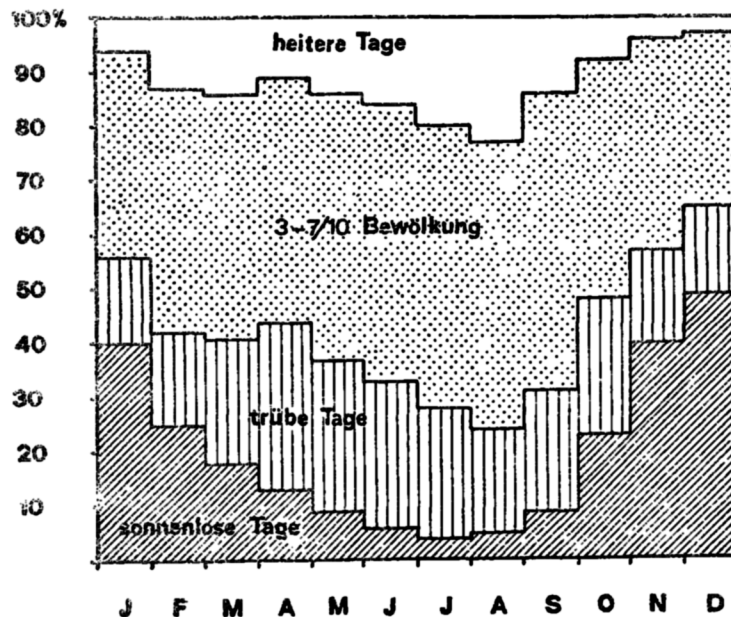


Fig. 13 Verteilung der verschiedenen Bewölkungsanteile über das Jahr

heitere Tage	B	< 2/10
mittlere Bewölkung	B	3-7/10
trübe Tage	B	> 8/10
sonnenslose Tage	B	= 10/10

Abgesehen von einer kleinen Störung im April (leichte Zunahme der Bewölkung) setzt sich der einfache Kurvenverlauf bei allen Bewölkungsanteilen über das restliche Jahr durch.

Hauptanteil bildet eine mittlere Bewölkung von 3-7 Zehnteln. Die heiteren, trüben und sonnenlosen Tage passen sich diesem Jahresverlauf an. Es ist der typische Bewölkungsverlauf für das ganze schweizerische Mittelland. Die Station Bern kann in diesem Sinne als repräsentativ betrachtet werden.

4.2. Der tägliche und jährliche Verlauf der Bewölkung für die MZA Station Bern

1954 - 1962 wurde in der MZA-Station Bern die Bewölkung an acht Beobachtungsterminen geschätzt. Diese dreistündigen Beobachtungsintervalle ergeben einen ungefähren Bewölkungsverlauf über 24 Stunden und über das Jahr. In der nachfolgenden Isoplethen-Darstellung (Isoplethen = Linien gleicher Bewölkungsprozente) sind die Ergebnisse zusammengestellt:

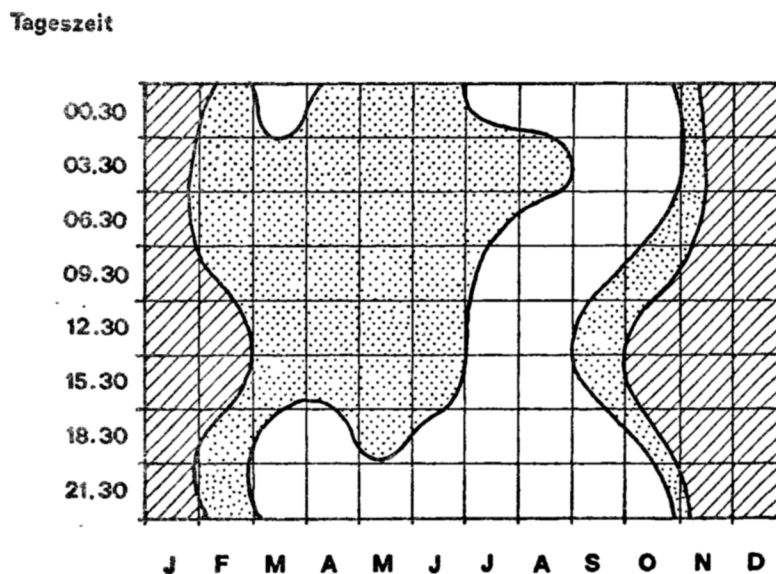


Fig. 14 Isoplethendarstellung der Bewölkung in Bern (neunjähriges Mittel: 1954 - 1962)

November, Dezember und Januar fallen als ganztägig bewölkungsin-
tensiv auf. Dagegen liegt die grösste Bewölkungsarmut (während des
ganzen Tages) in den Sommermonaten Juli, August und September. In
den Zwischenmonaten (März, April, Mai, Juni und Oktober sind vor
allem die Nachtstunden sehr bewölkungsarm.

Die Aussage im vorangehenden Kapitel (Bewölkungsarmut im Sommer)
erfährt durch diese Darstellung eine Verfeinerung. Allerdings gibt
das Beobachtungsintervall von drei Stunden nur die Grundzüge des
Bewölkungsablaufes wieder, denn innerhalb von drei Stunden können
sich die Bewölkungsverhältnisse sehr stark verändern.

Durch die 50-jährige Messreihe der relativen Sonnenscheindauer für
jede Tagesstunde (von Sonnenauf- bis zum Sonnenuntergang) lässt
sich der Jahres- und Tagesverlauf noch genauer verfolgen. Im Zu-
sammenhang mit der Sonnenscheindauer kommt der Bewölkung zur Nacht-
zeit nur eine geringe Bedeutung zu. Es ist deshalb sinnvoll, die
Bewölkung nur während der effektiv möglichen Sonnenscheindauer zu
betrachten.

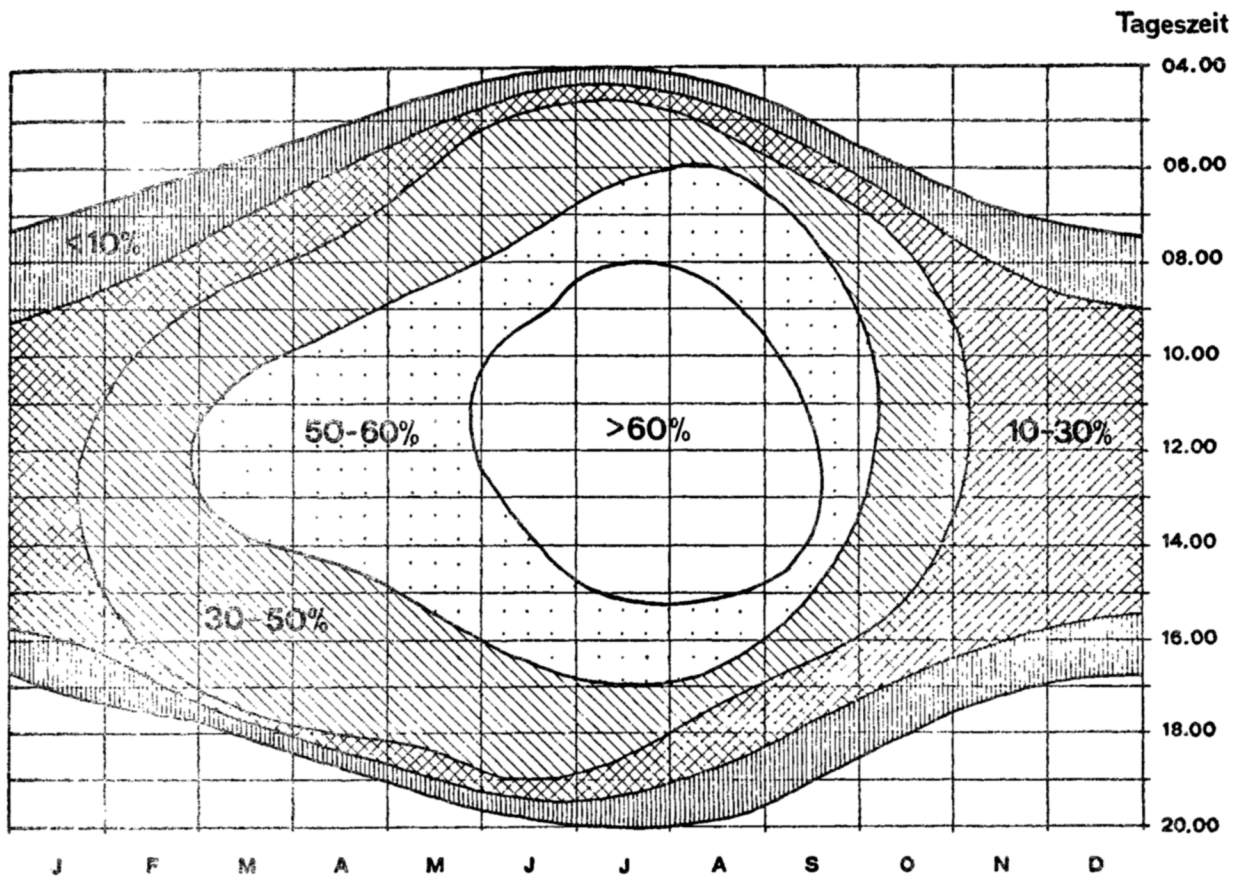


Fig. 15 Isoplethendarstellung der relativen Sonnenscheindauer für die Station Bern (1921-1970). Aus der Differenz zu 100% ergibt diese Darstellung zugleich die Bewölkung von Sonnenauf- bis zum Sonnenuntergang.

Das jährliche Sonnenscheinmaximum bzw. Bewölkungsminimum liegt für Bern in den Sommermonaten Juni, Juli und August zwischen 08 Uhr und 15 Uhr. Diese mittägliche Bewölkungsarmut lässt sich etwas abgeschwächt bereits ab Februar feststellen. Sie dauert bis in den Oktober an. Am Morgen und am Abend gegen die Randstunden hin, nimmt die Bewölkungsintensität während des ganzen Jahres stark zu. Eine ganztägige Sonnenscheinarmut in den Wintermonaten November, Dezember und Januar kommt auch in dieser Darstellung zum Ausdruck (vgl. Fig.14).

Die beiden Bewölkungsdarstellungen (Fig.14 + 15) sind für eine sinnvolle Verwendung der vorliegenden Sonnenscheinkarte miteinzubeziehen. Die Reduktion der effektiv möglichen Sonnenscheindauer (= terrestrische Voraussetzung) durch die Bewölkung muss bei der Beurteilung eines Standortes in Betracht gezogen werden. Je nach Fragestellung kann die Isoplethen-Darstellung waagrecht oder senkrecht gelesen werden:

waagrecht: Verlauf der Bewölkung einer bestimmten Tagesstunde während eines Jahres.

senkrecht: Verlauf der Bewölkung eines bestimmten Monats während eines Tages.

Bei dieser Betrachtungsweise wird allerdings von der Annahme ausgegangen, dass die Bewölkungsverhältnisse innerhalb des Untersuchungsgebietes keiner grossen Veränderung unterworfen sind, so dass die Station Bern (im Zentrum des bearbeiteten Raumes) als repräsentativ für die ganze Region Bern betrachtet werden kann, was im folgenden Kapitel genauer untersucht werden soll.

4.3. Die Veränderung der Bewölkung innerhalb der Region Bern

Da sich die Region Bern am Übergang vom tieferen zum höheren Mittelland befindet (immerhin eine markante Geländestufe mit Höhendifferenzen bis zu 500 m), muss damit gerechnet werden, dass innerhalb des Untersuchungsgebietes dennoch gewisse Bewölkungsdifferenzen auftreten. Um dieses Problem etwas genauer zu untersuchen, wurde während zwei Jahren die absolute Sonnenscheindauer zwischen drei Stationen verglichen (alle drei Stationen sind vergleichbar, da sie in dieselbe Sonnenscheinklasse gehören).

Station Oeschberg: 505 m.ü.M, 20 km nordöstlich von Bern,
 tieferes Mittelland
 effektiv mögliche Sonnenscheindauer
 4224 Std/Jahr.

Station Bern MZA: 561 m.ü.M. Am Ausgang des Aaretals:

Üebergang vom tiefern zum höhern Mittelland
4118 Std/Jahr effektiv mögliche Sonnenscheindauer.

Station Uecht (Längenberg): 950 m.ü.M. 11 km südlich von Bern,
höheres Mittelland

effektiv mögliche Sonnenscheindauer:
4268 Std/Jahr.

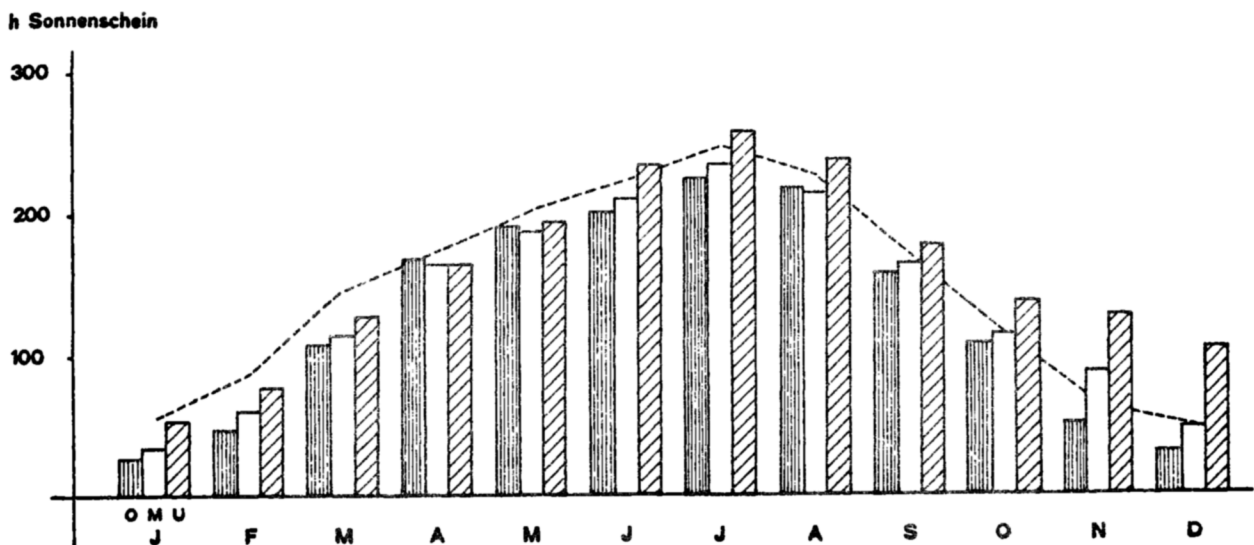


Fig. 16 Zweijähriges Mittel (1973/74) der absoluten Sonnenscheindauer der Stationen Oeschberg (O), Bern (M) und Uecht (U) im Vergleich zu den langjährigen Mittelwerten (1931-60) der Station Bern (-----)

Betrachten wir vorerst das zweijährige Mittel (1973/74) der Station Bern MZA und vergleichen dieses mit den langjährigen Mittelwerten der absoluten Sonnenscheindauer (1931-60), so stellen wir bis zum Monat September ein Sonnenscheindefizit von 160 Stunden fest. Dagegen liegen die Monatswerte Oktober, November und Dezember über dem langjährigen Mittel (um 26 Stunden). Gesamthaft gesehen waren beide Jahre (1973 und 1974) sonnenscheinmässig defizitär.

Der Vergleich der drei Stationen untereinander zeigt folgendes Bild:

Januar, Februar, März: Die Station Oeschberg im tieferen Mittelland hat in diesen drei Monaten am wenigsten Sonne. Das höhere Mittelland dagegen (Station Uecht) zeigt die höchsten Werte, während Bern in der Mitte liegt. Die Sonnenscheindauer nimmt mit zunehmender Meereshöhe zu.

April, Mai: In diesen beiden Frühlingsmonaten fallen die Stationen Bern und Uecht etwas zurück. Im tieferen Mittelland (Oeschberg) ist am meisten Sonne zu verzeichnen.

Juni-Dezember: Wiederum liegen die Monatswerte der Station Uecht am höchsten, diejenigen von Bern und Oeschberg in regelmässiger Reihenfolge tiefer. In den Herbstmonaten wird die Differenz zwischen Oeschberg bzw. Bern gegenüber Uecht sehr ausgeprägt. Im Dezember erhält die Station Uecht mehr als dreimal soviel Sonne als die Station Oeschberg (Oeschberg, Dezember: 29.4 Stunden; Bern: 45.6 Stunden, Uecht: 104.3 Stunden Sonnenschein).

Diese Tatsachen zeigen, dass selbst innerhalb der Region Bern Bewölkungsdifferenzen auftreten. Die Zunahme der Sonnenscheindauer vom tiefern zum höhern Mittelland im Winter (Januar, Februar, März) und im Herbst (Oktober, November und Dezember) ist wohl auf das regionale Nebelgeschehen zurückzuführen (vgl. dazu die Ausführungen in Kap. 6+7), während die Umkehr in den Frühlingsmonaten April und Mai (mehr Sonnenschein im tieferen Mittelland) bereits auf eine verstärkte Konvektion im höheren Mittelland (gegen den Alpenrand hin) hinweist (vgl. Kap. 4.1.).

Für das Bewölkungsgeschehen in der Region Bern ist folglich eine leichte Korrektur anzubringen: Das Untersuchungsgebiet ist in zwei "Bewölkungsprovinzen" aufzuteilen: in das höhere und tiefere Mittelland. Dabei sind die Frühjahrs-, Spätherbst- und Winterwerte der Sonnenscheindauer besonders zu beachten. Es sei aber mit Nachdruck darauf hingewiesen, dass sich diese Untersuchung auf die

Messungen von zwei Jahren stützt. Ohne Zweifel muss die Sonnenscheindauer der drei Stationen * noch während mehrerer Jahre verfolgt werden, um allgemein gültige Schlüsse daraus ziehen zu können.

* Die Messung und Auswertung der absoluten Sonnenscheindauer der Station Uecht wurde durch Herrn Dr.h.c. W. Schaerer durchgeführt. Die Daten wurden uns freundlicherweise zur Verfügung gestellt.

V. SONNENSCHWEINDAUER (BEWÖLKUNG) UND DIE WETTERLAGEN

Um einen besseren Einblick in den Problembereich der Sonnenscheindauer bzw. Bewölkung in der Region Bern zu erhalten, wird in der Folge versucht, das Datenmaterial von zwei Jahren (1973/74) in Verbindung mit den Wetterlagen zu bringen. (Wetterlage = Wetterzustand während eines kurzen, höchstens eintägigen Zeitintervalls. Witterungslage: gleichbleibender Wettertypus während einer mehrtägigen Zeitspanne). Zu diesem Zweck sei vorerst das System, nach welchem die Wetterlagen klassifiziert werden, erläutert.

5.1. Der Witterungskalender nach SCHUEPP

Der Witterungskalender von SCHUEPP (1968) ist nach vier Grundelementen aufgebaut (vgl. auch BEITRAG 12):

1. Bodenströmung
2. Höhenströmung (500 mb, ca. 5500 m.ü.M.)
3. Wettercharakter (kombiniert aus Niederschlag und Sonnenschein)

Diese drei bzw. vier Parameter, welche aus dem täglichen synoptischen Datenmaterial hervorgehen, ergeben 36 Witterungslagen; nämlich: Drei Unterteilungen des Wettercharakters in antizyklonal, indifferent und zyklonal. Zu jedem Wettercharakter kommen nun acht Windrichtungen (Strömungslagen) und vier Kernlagen (Windrichtung uneinheitlich) hinzu. In unserem Falle wurden die je vier Kernlagen zu einer zusammengefasst, so dass total 27 Witterungslagen entstehen, wie sie im nachfolgenden Schema zusammengestellt sind.

	STROEMUNGSLAGEN (ADVEKTIVE L.)								KERNLAGEN KONVEKTIVE L.
Wetter- charakter	Windrichtung einheitlich								Windrichtung uneinheitlich
	1	2	3	4	5	6	7	8	0
antizyklonal (absinkende Luft)	NE	E	SE	S	SW	W	NW	N	Tief, Sattel od. Hoch Wirbel
indifferent (horizontal)	NE	E	SE	S	SW	W	NW	N	Tief, Sattel od. Hoch Wirbel
zyklonal (aufsteigen- de Luft)	NE	E	SE	S	SW	W	NW	N	Tief, Sattel od. Hoch Wirbel

Wie sich diese Wetterlagen während der Untersuchungsperiode 1973/74 und während längerer Zeit verteilen, zeigt die nachfolgende Figur:

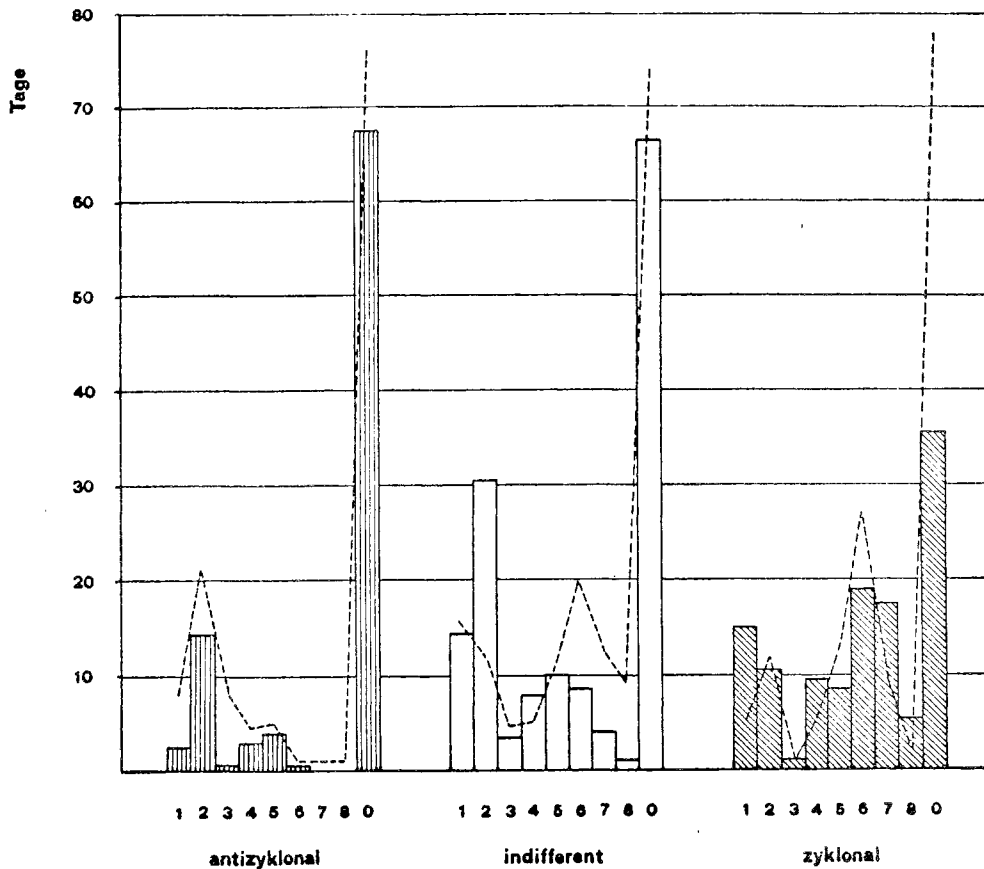


Fig. 17 Durchschnittliche Häufigkeit der Wetterlagen in den Jahren 1973/74; dazu das 13-jährige Häufigkeitsmittel der Wetterlagen ---- (1955-67)

Es fällt auf, dass die Kernlagen mit uneinheitlicher Windrichtung bei allen drei Wettercharakteren ausserordentlich häufig sind. Die Strömungslagen (1-8) treten dagegen etwas zurück. Innerhalb der advektiven Lagen sind die NE- und E-Winde (1+2) sowie die SW-, W- und NW-Winde (5, 6, 7) recht stark vertreten. Diese Häufigkeit entspricht genau dem Bild der vorherrschenden Winde im schweizerischen Mittelland. Vergleichen wir nun dazu das 13-jährige Mittel (1955-67), so sind nur geringe Abweichungen festzustellen. Die beiden Jahre 1973, 1974 dürfen somit wetterlagenmässig als repräsentativ betrachtet werden.

5.2. Sonnenscheindauer und einzelne Wetterlagen der Station Bern MZA

Da in der Definition der Wetter- und Witterungslagen der Parameter "Wettercharakter" aus Sonnenschein bzw. Bewölkung und Niederschlag zusammengesetzt ist, kann erwartet werden, dass die absolute Sonnenscheindauer gut mit den drei Wettercharakteren korreliert. Die nachfolgende Figur zeigt den Zusammenhang Wettercharakter - Sonnenscheindauer deutlich.

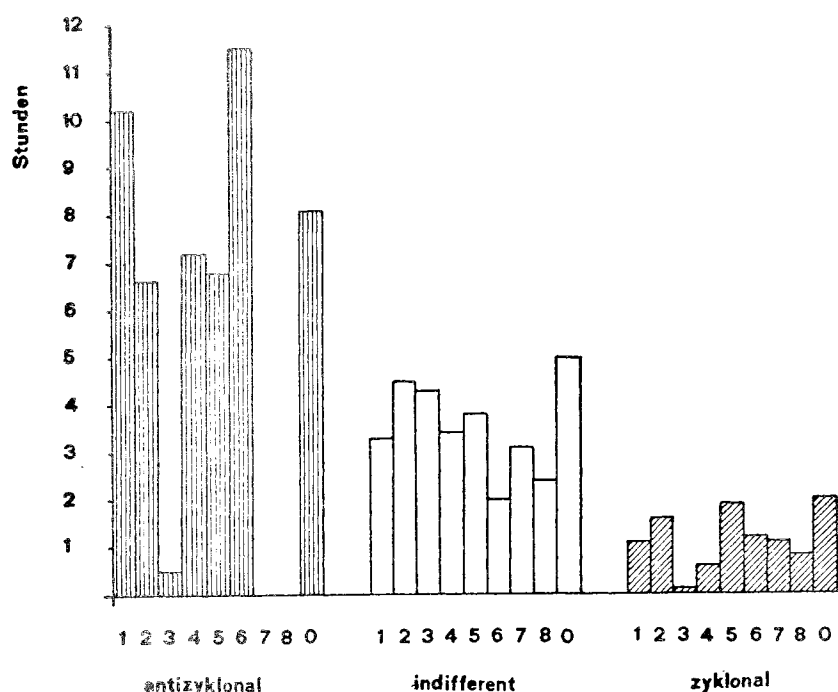


Fig. 18 Durchschnittliche tägliche Sonnenscheindauer pro Wetterlage in den Jahren 1973/74.

Die höchsten absoluten Tageswerte der Sonnenscheindauer sind in den antizyklonalen Lagen festzustellen: Durch die Absinkbewegung der Luftmassen löst sich die Bewölkung auf. Wie aber Figur 17 zeigt, sind verschiedene antizyklonale Lagen (1, 3, 4, 5, 6, 7, 8) recht selten. Dagegen fallen die Sonnenscheinwerte der indifferenten Lagen deutlich zurück; sie sind aber gleichmässig über alle Wetterlagen verteilt, was dennoch zu einer ansehnlichen Sonnenscheinsumme führt.

In den zyklonalen Lagen herrschen die aufsteigenden Luftmassen vor. Aufsteigende Luft ist gekoppelt mit starker Kondensation (Bewölkung und Niederschläge). Deshalb sind in diesen Fällen die niedrigsten Sonnenscheinwerte zu verzeichnen.

Im Ueberblick bestätigt die Figur 18 die anfängliche Erwartung, dass die Wettercharaktere eng mit der Sonnenscheindauer korreliert. Auf einzelne Wetterlagen kann an dieser Stelle nicht eingegangen werden, da es uns scheint, dass das Zahlenmaterial von zwei Jahren zu wenig umfangreich und aussagekräftig ist.

5.3. Abweichung der Sonnenscheindauer bei einzelnen Wetterlagen innerhalb der Region Bern

Um die Differenzierung der Sonnenscheindauer in der Region Bern noch genauer zu erfassen als in Kapitel 4.3. (Figur 16), wurde das tägliche Datenmaterial zweier Jahre (1973/74) der Station Bern mit Uecht (höheres Mittelland) und mit Oeschberg (tieferes Mittelland) in den einzelnen Wetterlagen verglichen. Zur Darstellung gelangen nun nicht mehr die absoluten Sonnenscheinwerte der drei Stationen, sondern die mittleren Abweichungen von der Station Bern im Zentrum des Untersuchungsgebietes.

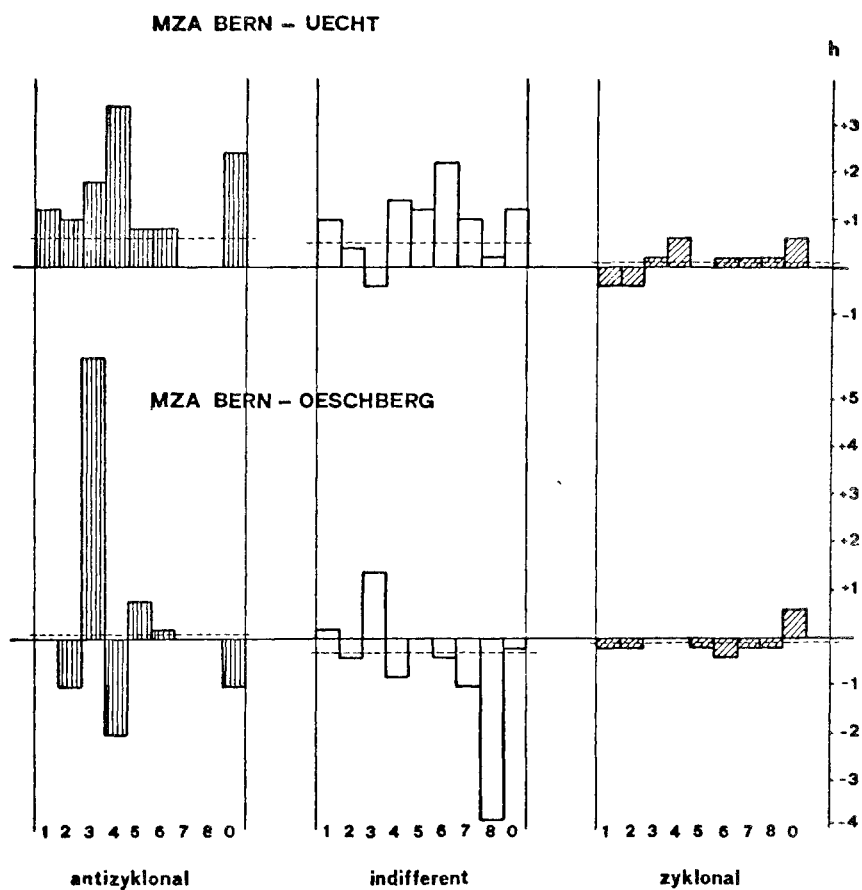


Fig. 19 Abweichung der absoluten Sonnenscheindauer Bern-Uecht (höheres Mittelland) und Bern-Oeschberg (tieferes Mittelland). Mittel aus den Jahren 1973/74

Antizyklonale Lagen

Bern-Uecht: In allen Wetterlagen zeigen sich positive Abweichungen; d.h. Uecht hat mehr Sonne als Bern. Diese positiven Abweichungen entstehen vor allem im Herbst und im Winter, wenn die Niederungen durch Nebel und Dunst bedeckt sind (vgl. Kap.6). Sie werden allerdings im Frühjahr zur Zeit der verstärkten Konvektion im Alpenraum wieder etwas abgeschwächt.

Bern-Oeschberg: Bei diesem Vergleich sind die Abweichungen wenig einheitlich. Positive und negative Abweichungen halten sich fast die Waage. Die Sonnenarmut in Oeschberg in den E-, S- und indifferenten Lagen (2,4 und 0) sind in der Jahresverteilung vorwiegend im Herbst anzutreffen, nämlich dann, wenn die Nebeldecke nur über dem tieferen Mittelland liegt, und die Station Bern nicht mehr erfasst wird.

Ueber die stark positive Abweichung in der SE-Lage (3) lässt sich keine Aussage machen, weil es sich dabei um ein Einzelereignis handelt (vgl. Fig. 17).

Indifferente Lagen

Bern-Uecht: Mit einer Ausnahme wird im höheren Mittelland (Uecht) in allen Wetterlagen mehr Sonne registriert als in Bern. In der Jahresverteilung ist wiederum der Winter für diese positive Bilanz verantwortlich (Nebellagen).

Bern-Oeschberg: Hier zeigt es sich nun, dass das tiefere Mittelland (Oeschberg) an Sonnenschein stark defizitär ist. Bei den horizontalen Strömungslagen ist das tiefere Mittelland dem Wettergeschehen voll ausgesetzt, während Bern von seiner geschützten Lage und gewissen Einflüssen aus dem Alpenraum (Aaretal) profitiert (vgl. BEITRAG 2).

Zyklonale Lagen

Gesamthaft betrachtet sind in den zyklonalen Lagen die kleinsten Abweichungen zu verzeichnen - es sind ja auch die sonnenscheinärmsten Wetterlagen (vgl. Fig. 18). Aus beiden Vergleichen ergeben sich wenig signifikante Abweichungen. (Bern-Uecht ist leicht positiv, während Bern-Oeschberg knapp negativ ist). In den zyklonalen Lagen ist die Sonnenscheindauer bzw. die Bewölkung im ganzen Untersuchungsgebiet wenig differenziert - die aufsteigenden Luftmassen erfassen demnach den ganzen Raum Bern gleichmässig.

Die Betrachtung der Sonnenscheindauer nach Wetterlagen und Regionen zeigt interessante Ansatzpunkte zu einer Typisierung der Sonnenscheindauer. Das Ziel dieser Forschungsrichtung ist letztlich die Möglichkeit, Sonnenscheinprognosen für eine bestimmte Region bzw. Lokalität stellen zu können. Mit dem bescheidenen Zahlenmaterial von zwei Jahren (1973/74) ist es allerdings verfrüht, signifikante Unterschiede einzelner Wetterlagen herauslesen zu wollen. Vorerst können lediglich die grossen Trends zu einer solchen Typisierung festgestellt werden.

VI. DER NEBEL IN DER REGION BERN

6.1. Die Nebelarten und ihr jahreszeitliches Auftreten

Es wurde bereits erwähnt, dass der Nebel als Kondensationsprodukt der bodennahen Luftschicht (MOELLER 1973: 155, I) eine spezielle Form der Bewölkung darstellt, welche die absolute Sonnenscheindauer massgeblich beeinflusst. Da sich sein Auftreten vornehmlich auf Herbst und Winter konzentriert, nimmt die folgende Untersuchung vor allem Bezug auf diese Jahreszeit.

Die Definitionsprobleme wurden bereits in 2.2. erläutert, und wir können uns in der Folge nur noch auf die Diskussion der entscheidenden nebelbildenden Faktoren sowie der sich daraus ergebenden wichtigsten Nebelarten mit ihrer raum-zeitlichen Verteilung beschränken.

Fragen wir zuerst nach den Grundbedingungen der Nebelbildung, so können wir vereinfachend die zwei folgenden Faktoren erwähnen:

- A. Uebersteigen des Sättigungsdampfdruckes durch den Dampfdruck.
- B. Vorhandensein einer ausreichenden Zahl an Kondensationskernen.

Die Analyse der einzelnen Nebelfälle zeigt uns, dass ganz verschiedene Witterungsvorgänge zur Erfüllung dieser Bedingungen führen können. Wir stossen dadurch automatisch auf die Existenz verschiedener Nebelarten, die wir grob nach den folgenden Klassifikationskriterien einteilen möchten:

6.1.1. Substratphysikalische Klassifikation (S)

SCHOENWIESE (1970: 186-187) unterscheidet drei Endphasen der Nebelbildung und beschreibt die entstandenen Formen:

- S1) Aerosolnebel
- S2) Wassernebel
- S3) Eisnebel

6.1.2. Genetische Klassifikation (G)

Die Unterscheidung nach funktionalen Entstehungskriterien führt uns zu den folgenden wichtigsten Nebelarten (vollständigere Darstellungen in deutscher Sprache finden sich in CHROMOW 1940, SCHERHAG 1948, MOELLER 1973, LILJEQUIST 1974 und WEBER 1975):

- G1) Strahlungsnebel (Bildung infolge grosser nächtlicher Ausstrahlung bei bewölkungsfreiem Nachthimmel).
- G2) Advektionsnebel (Entstehung bei Ueberströmen einer kalten Unterlage durch warmfeuchte, bei uns meist maritime Luftmassen subtropischen Ursprungs).
- G3) Mischungsnebel (Bildung bei horizontaler oder vertikaler Durchmischung von Luftmassen mit unterschiedlichem Wärmegehalt).
- G4) Dampfnebel oder Seerrauch (Verdunstung über warmen Wasserflächen mit erneuter Kondensation, weil sich die darüberliegende Luft bereits stark abgekühlt hat).
- G5) Orographischer Nebel (Bildung durch adiabatisches Aufsteigen, vor allem bei tiefem Kondensationsniveau).
- G6) Industrienebel oder "smog" (Entstehung infolge Durchmischung von Rauch und Nebel, hauptsächlich bei Höheninversionen; vgl. MATHYS 1974: 37).

6.1.3. Räumliche Klassifikation (R)

Wenn wir den Nebel schliesslich nach seinem räumlichen Erscheinungsbild klassieren, so muss bemerkt werden, dass verschiedene Autoren die räumliche und die genetische Klassierungsweise verknüpfen und häufig die Strahlungsnebel als Boden- (bei Bodeninversion) oder Hochnebel (bei Höheninversion) bezeichnen (SCHERHAG 1948: 301, MOELLER 1973: 161-162). Wir möchten diese Verknüpfung insofern übernehmen, als wir bei der räumlichen Klassifikation in Klammer die möglichen genetischen Erscheinungsformen aufführen:

- R1) Bodennebel (G1, G2, G4, G6)
- R2) Hochnebel (G1, G3, G6)
- R3) Hangnebel (G5)

Im Zusammenhang mit der räumlichen Differenzierung der Sonnenscheindauer im Raum Bern gewinnen vor allem jene Nebel an Bedeutung, welche bei antizyklonalen Wetterlagen im Winterhalbjahr die Tiefenregionen einhüllen. Die zwei wichtigsten Nebelarten sollen in ihrer zeitlichen und räumlichen Erscheinung etwas näher betrachtet werden (Fig. 20).

6.1.4. Die wichtigsten bei uns auftretenden Nebelarten (Fig.20)

A) Strahlungsnebel mit Bodeninversion

Obschon der grösste Teil der Nebelvorkommen als Strahlungsnebel bezeichnet werden kann, so müssen wir doch festhalten, dass die Entstehung eines Nebels selten auf einen einzigen meteorologischen Faktor zurückgeführt werden kann. Dies gilt auch für die häufigste Art des Bodennebels, die sich vor allem im Herbst und Frühwinter während klaren und windstillen Nächten bildet (vgl. auch Fig.23 und 25). Vorher in unser Gebiet eingeflossene feuchtwarmluftmassen kühlen sich bei bewölkungsfreiem Nachthimmel infolge Ausstrahlung stark ab, wodurch das spezifische Gewicht erhöht wird. Dies hat zur Folge, dass diese relativ schweren Luftpakete in den Tälern und Mulden zusammenfliessen, wo es dann zumeist im Verlaufe der Abendstunden zum Erreichen des Taupunktes und somit zur Kondensation und Nebelbildung kommt (SCHÜEPP 1950: 186-190, MATHYS 1975: 53-55). Wir können diese häufig auftretende Nebelform genetisch als Strahlungsnebel mit Bodeninversion bezeichnen, wobei wie erwähnt auch die Vorgeschichte der bodennahen Luftschicht eine entscheidende Rolle spielt.

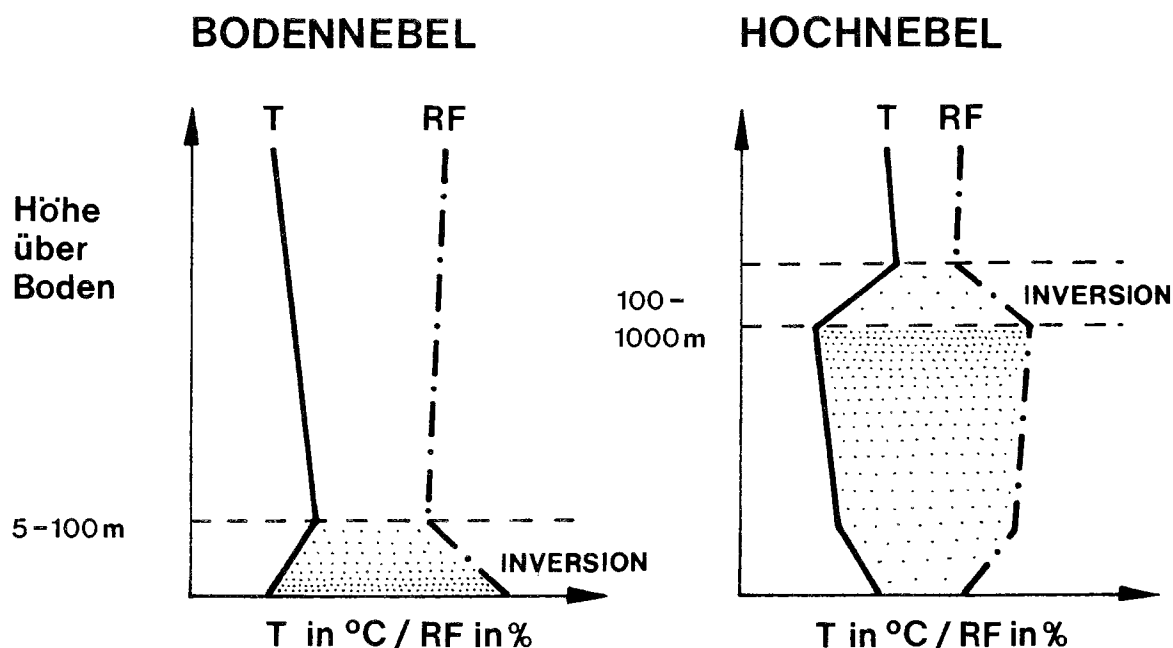


Fig. 20 Höhenverteilung von Temperatur (T) und relativer Feuchtigkeit (RF) bei den am häufigsten vorkommenden Arten von Boden- und Hochnebel.

B) Strahlungsnebel mit Höheninversion

Diese häufigste Hochnebelart erlebt ihre Spitze in Spätherbst und Winter bei tiefstem Sonnenstand. Ihr Erscheinen ist ebenfalls stark mit antizyklonalem Witterungsgepräge verknüpft (vgl. Fig. 23), wobei praktisch immer ein erfolgter oder schwach andauernder Vorstoss kalter, kontinentaler Festlandluft die Bildung begünstigt (SCHÜEPP 1950: 110-118, WANNER 1971: 13, WINIGER 1974: 24-29). SCHIRMER (1974: 278) erwähnt für diese Nebelform zwei wichtige Bildungsmechanismen:

- Einsetzen der Kondensation an der Obergrenze der Dunstschicht infolge verstärkter Ausstrahlung (Anwachsen des dichten Nebels von der Obergrenze gegen den Erdboden; häufigere Form)
- Thermisch bedingte Hebung einer nächtlich gebildeten Bodennebelschicht bis zur bereits vorher ausgebildeten Obergrenze einer Höheninversion.

Diese wie angetönt von Kaltluftvorstössen abhängige Form des Nebels können wir als Strahlungsnebel mit Höheninversion bezeichnen.

Zum Schluss sei beigefügt, dass sich die dritte häufige Nebelart, der Hangnebel, sehr wesentlich von den bisher genannten unterscheidet: Sie tritt im Gegensatz zu den erwähnten "Schönwetternebeln" bei zyklonalem Wetter auf und hüllt als herunterhängende Wolken Gipfel und Berghänge ein. Damit ist bereits erklärt, warum diese Nebelart trotz einem leichten Häufigkeitsmaximum im Winterhalbjahr auch im Sommer regelmässig auftreten kann (vgl. Fig. 22).

6.2. Aus den langjährigen Beobachtungen in der Stadt Bern

6.2.1. Die Nebelverhältnisse der Jahre 1960 - 1970

MOSER (1972: 31-36) hat den Versuch gewagt, die langjährige Nebelhäufigkeit der Stadt Bern aus alten Quellen zu ermitteln. Figur 21 zeigt eine Darstellung des bis in die Gegenwart ergänzten Zahlenmaterials.

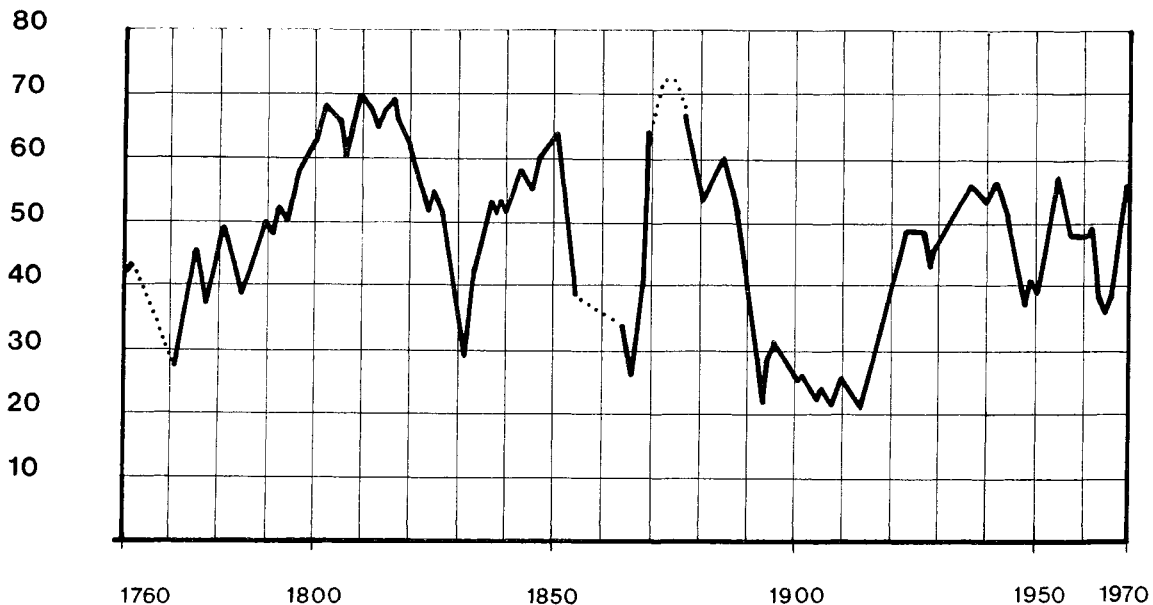
NEBEL-
TAGE

Fig. 21 Stadt Bern: Gang der jährlichen Nebelhäufigkeit von 1760 bis 1970 (fünffährige übergreifende Mittel)

Die Aufzählung der verwendeten Quellen finden wir bei MOSER (1972: 31-32). Zur Qualität des Datenmaterials sei bloss noch das folgende bemerkt: Verschiedene Beobachter im 18. und 19. Jahrhundert berücksichtigten nur den Morgentermin, so dass die Daten der internationalen Definition des Nebeltages (vgl. 2.2.) nicht vollaufgerecht werden und wohl etwas zu tief sind. Zu hoch dagegen liegen im Vergleich mit andern Stationen die Werte des Meteorologischen Observatoriums zwischen 1881 und 1914 (vgl. auch SCHÜEPP 1963: 58). Der Beobachter hatte nämlich auch dann Nebel registriert, wenn derselbe den Gurten, die Altstadt oder andere Gebiete, nicht aber die Station einhüllte. Die Daten wurden deshalb für die weitere Bearbeitung reduziert. Betrachten wir die Einzelwerte, so errechnet sich daraus ein Mittelwert von 47 Nebeltagen pro Jahr. Die hier nicht dargestellte Häufigkeitsfunktion der Klassen von 10 zu 10 Tagen zeigt eine Zweigipfligkeit mit einem Höchstwert der Klasse von 51 - 60 Tagen sowie einem Nebenmaximum der Klasse von 21 - 30 Tagen. Betrachten wir Figur 21, so erkennen wir deutlich, dass die

Zahl der Nebeltag pro Jahr zwischen 20 und 70 schwankt.

Liegt die zentrale Bedeutung langjähriger Reihen im Erkennen möglicher Tendenzen der zukünftigen Entwicklung, so stellen wir bei den neuesten Daten eine Verminderung sowohl der Schwankungsbreite als auch der Zahl der jährlichen Nebeltage fest. Eine mögliche Erklärung für dieses Phänomen könnte in der zunehmenden Verstädterung des Raumes Bern gefunden werden, die trotz der mutmasslichen Erhöhung des Aerosolgehaltes die Nebelbildung herabsetzt (allgemeine Erwärmung und Reduktion der relativen Feuchtigkeit) oder zumindest zu einem Anheben der Nebeldecke führt ?

6.2.2. Die mittlere monatliche Nebelhäufigkeit ausgewählter Stationen des Kantons Bern

Bevor wir die spezifischen Nebelverhältnisse des Raumes Bern betrachten, wollen wir die Station Bern der MZA in den Zusammenhang mit andern Beobachtungsstationen im Querschnitt Berner Alpen - Jura stellen (Figur 22). In den 6 Diagrammen, welche die mittlere monatliche Zahl der Nebeltage über das ganze Jahr zeigen, vereinigen sich vom Boden- über den Hoch- bis zum Hangnebel alle Nebelarten. Dennoch lassen sich aus der jahreszeitlichen Struktur genauere Rückschlüsse auf die hauptsächlich auftretenden Nebelarten ziehen. Wenn wir dabei besonders die Nebel bei antizyklonalem Wettergeschehen betrachten, so tun wir dies deshalb, weil diese Nebel (gemäss Figur 20 meist verknüpft mit hartnäckigen Boden- oder Höheninversionen) als Indikator für austauscharme winterliche Wetter-situationen von grösster bioklimatischer Bedeutung sind (ERIKSEN 1975: 33-34).

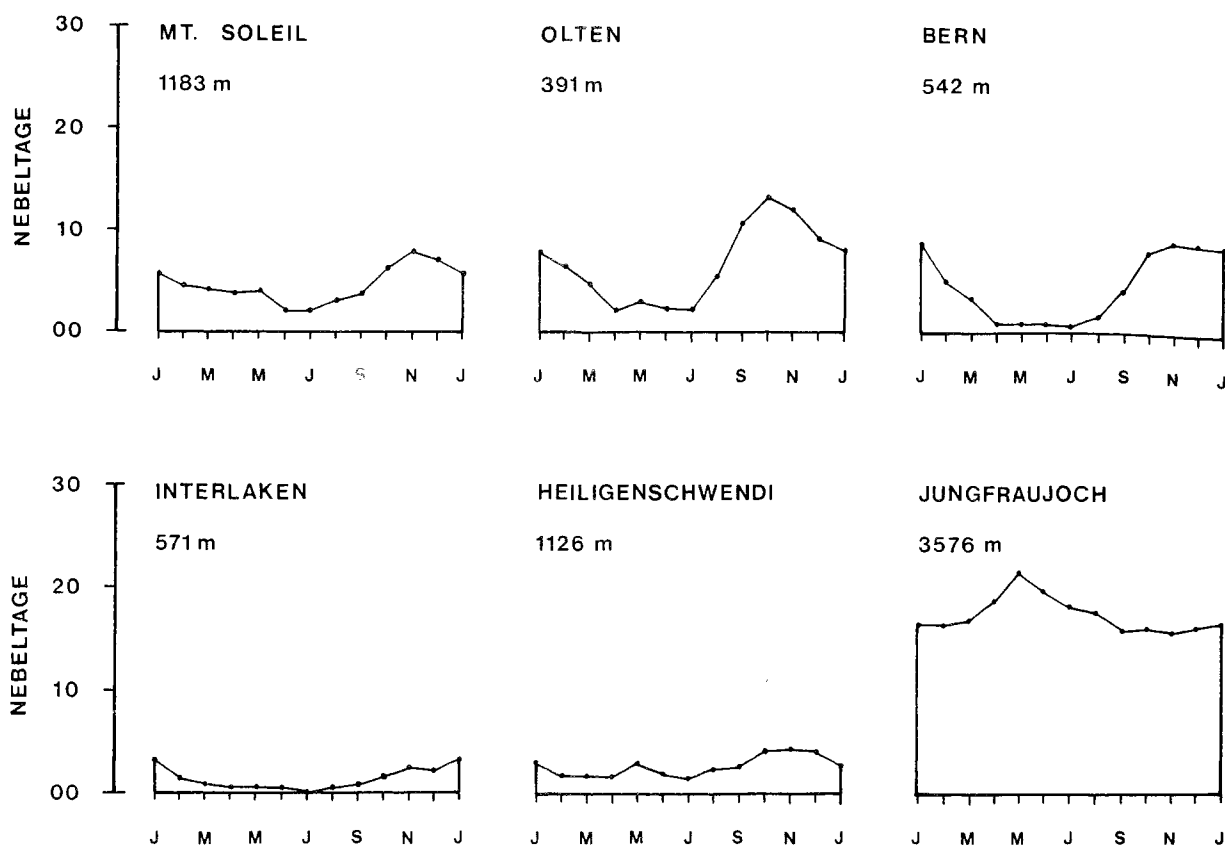


Fig. 22 Mittlere monatliche Nebelverteilung ausgewählter Stationen im Querschnitt durch den Kanton Bern (1931 - 60, Jungfrauoch 1938 - 60; Daten aus: Beiheft Annalen MZA, H/1973).

Vergleichen wir die Daten Berns mit denjenigen der andern Stationen (Figur 22), so stellen wir anhand der Stationen Olten - Bern - Interlaken eine klare Abnahme der Nebelhäufigkeit Richtung Alpen fest. Bern weist dabei gegenüber Olten insofern Vorzüge auf, als die Stadt mit ihrer Lage an der Grenze vom höheren zum tieferen Mittelland von den frühherbstlichen Bodennebeln (Strahlungsnebel mit Bodeninversion bei massiver Kälteseebildung im tieferen Mittelland) teilweise verschont wird. Klar zeigt sich auch im Vergleich mit höheren Stationen (Mt. Soleil, Heiligenschwendi) die Anfälligkeit für Nebel im Spätherbst oder Winter (Strahlungsnebel mit Höheninversion, vgl. Figur 20 und Abb. 15). Als typische Station mit einem massiven Hangnebelanteil sei noch das Jungfrauoch beigefügt.

6.3. Der Nebel in seiner Beziehung zu den Wetterlagen

Bei der Gruppe der Boden- und Hochnebel stellen wir einen klaren Jahresgang fest (Häufung bei tiefstem Sonnenstand und somit stärkster Abkühlung des Bodens). Das spezifische Erscheinen dieser Nebel ist aber eindeutig an bestimmte Wetterlagen gebunden (vgl. 6.1.). Figur 23 zeigt die Morgennebelhäufigkeit verschiedener Stationen im Querschnitt durch den Kanton Bern in ihrer Abhängigkeit von ausgewählten Wetterlagen, welche mit Hilfe des Kalenders der Wetter- und Witterungslagen (SCHÜEPP 1968) ausgewählt wurden.

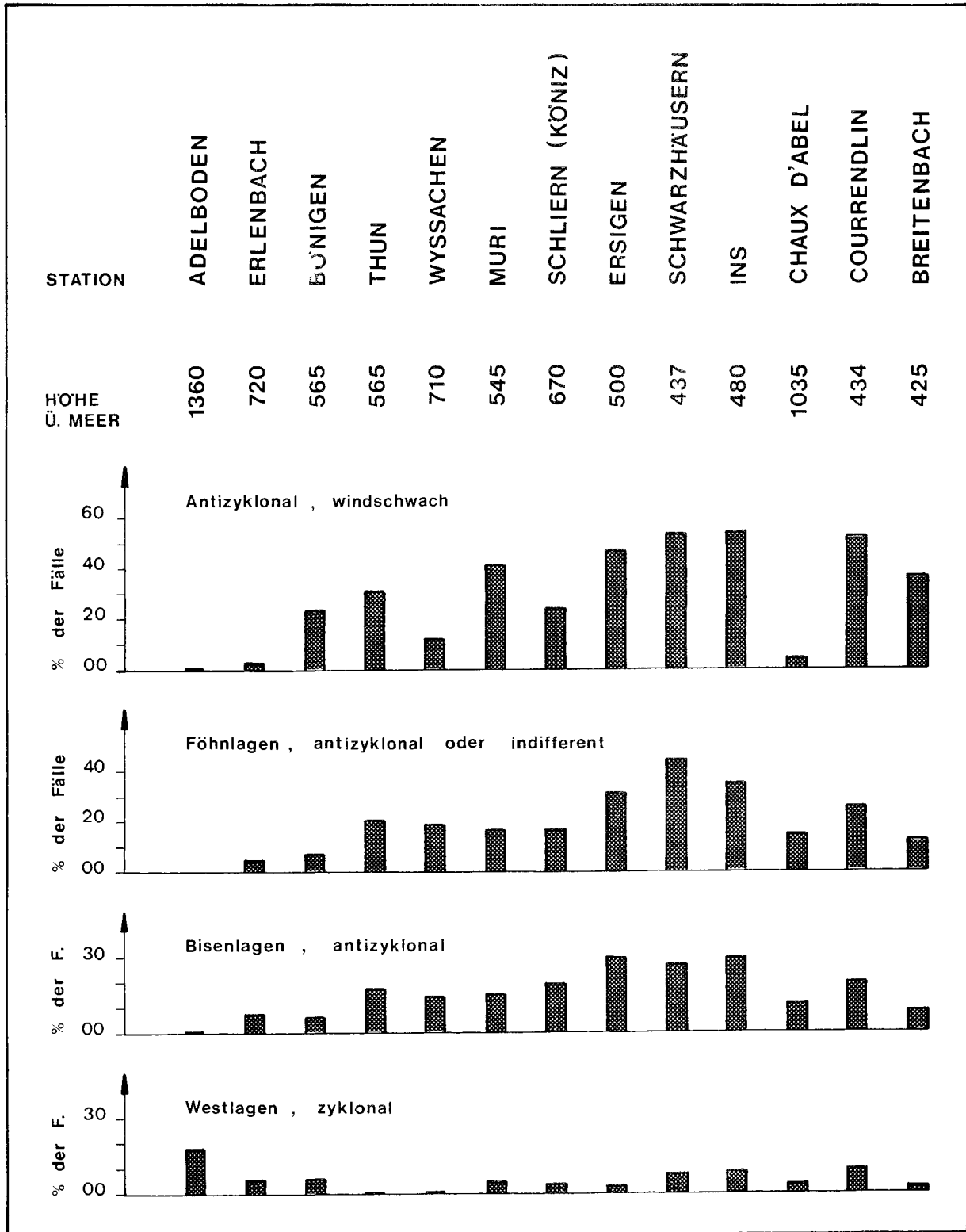


Fig. 23 Morgennebel (07.00 - 08.00 Uhr) bei verschiedenen Wetter- oder Witterungslagen (1970-1974). Querschnitt durch den Kanton Bern.

Die Region Bern wird dabei durch die beiden Stationen Muri (Aaretal) und Köniz-Schliern (NW-Teil der Stadt) repräsentiert. Aus der Figur lassen sich die folgenden Merkmale ableiten: Beim ersten Typ, der vor allem die Verteilung der Bodennebel bei Strahlungswetter zeigt, stehen die Werte Berns wiederum zwischen denjenigen des Thunerseegebietes und des Mittellandes. Im Falle der Föhnlagen, welche die nächtliche Ausstrahlung ebenfalls begünstigt, liegen die Verhältnisse des Aaretals bis Bern recht ähnlich. Bei den Bisenlagen tritt die Differenz zu den Mittellandstationen etwas zurück, gibt es doch Fälle, bei denen sich der Nebel im Mittelland infolge stärkerer Bise auflöst, währenddem das windgeschützte Aaretal Bern - Meiringen noch unter der Nebeldecke liegt. Die zyklonalen Westlagen zeigen als Vergleich die mögliche Verteilung bei Hangnebelsituationen.

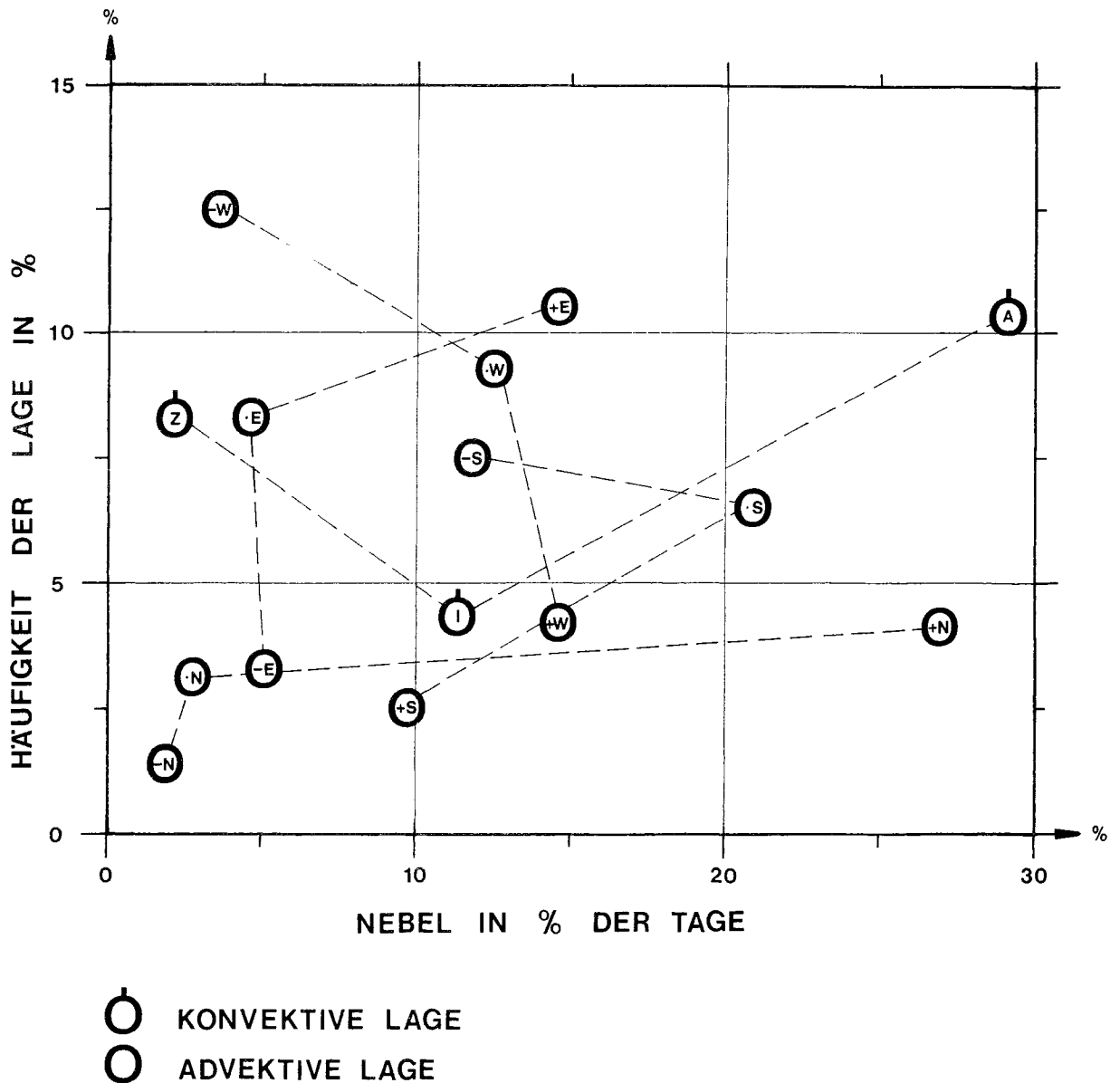


Fig. 24 Nebel- und Witterungslagenhäufigkeit der Station Bern MZA (Beobachtungen 07.00 Uhr, Oktober bis März, 1963 - 1972). Die Lagen mit gleicher Strömungsrichtung wurden miteinander verbunden.

A	Antizyklonale Lage	N	Nordlage	+	Antizyklonal
I	Indifferente Lage	E	Ostlage	.	Indifferent
Z	Zyklonale Lage	S	Südlage	-	Zyklonal
		W	Westlage		

Figur 24 vermittelt die Zusammenhänge im Stadtgebiet. Das dabei benutzte Schema der Witterungslagen wurde vereinfacht: Reduktion der advektiven Lagen auf die 4 Hauptwindrichtungen (pro Hauptwindrichtung wurde die Trennung antizyklonal - indifferent - zyklonal belassen), Dreiteilung bei den konvektiven Lagen. Mit der Angabe von Witterungslagen- und Nebelhäufigkeit lassen sich die nebelbringenden Witterungssituationen feststellen. Nehmen wir das Beispiel der antizyklonalen Lage (A): Wir erkennen sofort, dass diese Lage an 10% aller Tage, also an 18 Wintertagen erwartet werden darf. Wird diese Lage vorausgesagt, so stellen wir weiter fest, dass sie eine 30%ige Nebelwahrscheinlichkeit aufweist. Wir könnten also folgern, dass in Bern im Winterhalbjahr im Mittel 5-6 Tage mit Morgennebel bei konvektiver, antizyklonaler Witterung auftreten !

Neben den antizyklonalen Lagen sind es erstaunlicherweise auch die indifferenten Föhnlagen, die im Winterhalbjahr eine grosse Nebelhäufigkeit aufweisen (grosse Ausstrahlung und schwache Winde , ev. sogar Einfluss des "Aaretalwindes"). Im Falle der antizyklonalen Nord- und Ostlagen dürften es vor allem Kaltluftvorstösse in unseren Raum sein, welche die Nebelbildung bei eher verstärkten Winden begünstigen (vgl. 6.2.).

Da der Wetter- und Witterungslagenkalender für eine lokale Charakterisierung von seinen Definitionsgrundlagen her nur eine beschränkte Gültigkeit aufweisen kann, wurde die Bildung des Nebels im Berner Stadtgebiet in der folgenden Tabelle noch in den Zusammenhang mit lokalen Parametern gestellt. Es soll damit eine Antwort auf die spannende Frage gefunden werden, bei welchen Ausgangsbedingungen (Vorabend um 21.30 Uhr) wir in Bern (Station MZA) Morgennebel zu erwarten haben:

Windrichtung, Temperatur und relative Feuchtigkeit um 21.30 Uhr bei Neubildung von Nebel in der folgenden Nacht (Okt. - März, 1961 - 70)

Windrichtung	Anteil an allen Fällen in %	Temperatur: Anteil der Werte zwischen $-2,0$ und $+6,0^{\circ}$ C (in %)	Relative Feuchtigkeit	
			% der Werte unter 92% RF	% der Werte über 92% RF
N - ENE	43,80	50,94	15,09	84,91
E - SSE	29,75	47,22	30,56	69,44
S - WSW	09,92	41,67	16,67	83,33
W - NNW	16,53	55,00	30,00	70,00

Wir stellen fest, dass sich die Nebel vor allem bei Strömungen aus dem Ostsektor einstellen. Neben der bedeutenden grossräumigen Kaltluftadvektion dürfte dabei die aus dem Alpenraum durchs Aaretal abfliessende Kaltluft eine recht bedeutende Rolle spielen ("Aaretalwind", vgl. MAURER 1974: 40-42). Lassen sich kaum charakteristische Temperaturwerte ableiten (etwa die Hälfte der Werte liegt zwischen -2 und $+6^{\circ}$ C), so stellt dagegen die relative Feuchtigkeit einen guten Indikator für die mögliche Nebelbildung dar. Zusammenfassend können wir für Bern festhalten, dass bei Winden aus dem Sektor N bis SSE und einer Luftfeuchtigkeit von 92% oder mehr (Vorabend) eine hohe Wahrscheinlichkeit für Nebelbildung in der darauffolgenden Nacht besteht.

Nach der Diskussion der regional-meteorologischen Zusammenhänge soll in der Folge die räumlich-dreidimensionale Nebelverteilung im Raume Bern dargestellt werden.

6.4. Versuche einer räumlichen Darstellung der Nebelverhältnisse

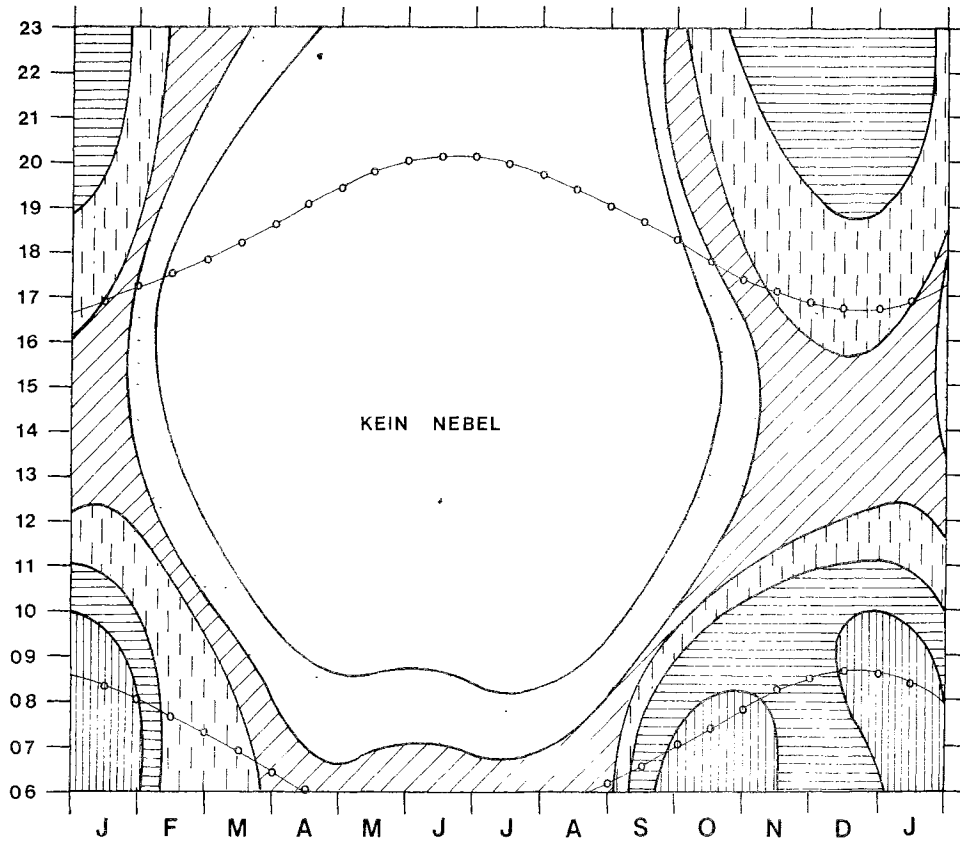
6.4.1. Tages- und Jahresgang der Nebelhäufigkeit der Stationen Belpmoos-Flugplatz und Bern MZA

Wir gehen mit SCHNEIDER (1957: 8/1 - 8/10) einig, dass eine Nebelvorhersage immer wieder zu überraschenden Fehlbeurteilungen führen kann. Gerade deshalb empfiehlt es sich, am Anfang der räumlichen Darstellung die zwei längeren Beobachtungsreihen der Stationen Belpmoos und Bern MZA zu betrachten (Figur 25). Die Werte des Belpmooses dürften dabei als repräsentativ für die Verhältnisse im kaltluftgefährdeten Aaretal gelten, das bezüglich der Ventilationsverhältnisse sozusagen ein Bindeglied zwischen Alpenraum und tieferem Mittelland darstellt. Wir möchten die zwei folgenden Tatsachen speziell hervorheben:

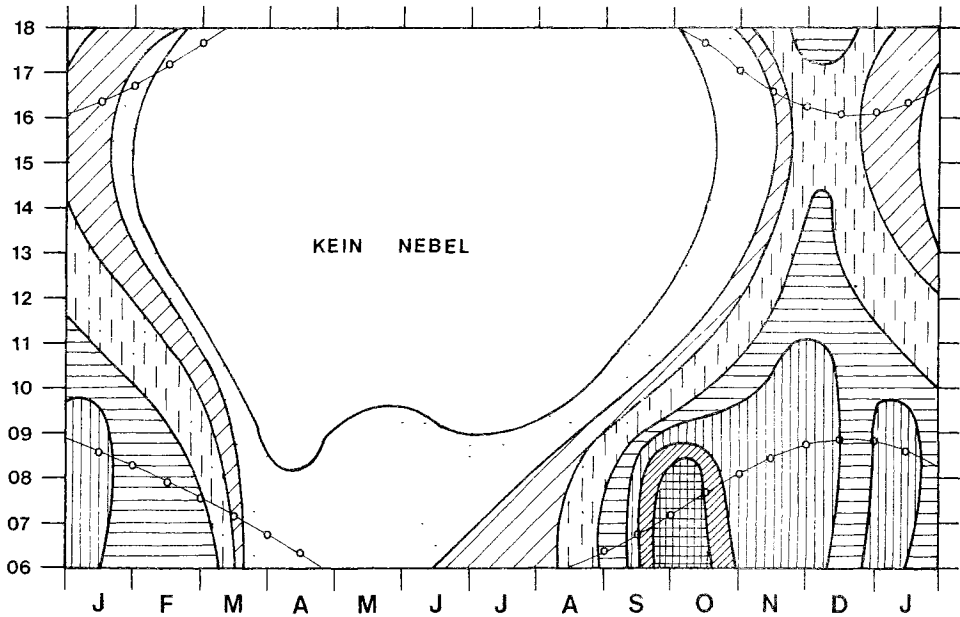
A) Zum Jahresgang: Der Jahresgang und die Hauptnebelzeiten sind klar zu erkennen. Wie bereits ZINGG (1945: 8) und SCHNEIDER (1954: 2) in Dübendorf und Zürich festgestellt haben, tritt in der Zeit Ende September - Oktober ein absolutes Bodennebelmaximum auf. Eine zweite Häufung derartiger Morgennebelfälle registrieren wir im Januar (schwache Föhnlage oder Absinken des Nebelmeeres bei abflauender Bise). Das Maximum der Ganztagsnebel stimmt praktisch mit dem tiefsten Sonnenstand im Dezember überein, abgesehen von einer kleinen Verfrühung im Falle des Belpmooses. Abschliessend ist zum Jahresgang auf beiden Figuren zu sagen, dass die meisten Hochnebel der Monate Dezember und Januar bei diesen tiefliegenden Stationen (Belpmoos 510m, Bern MZA 540m) lediglich unter den Aufzeichnungen der Bewölkung figurieren.

B) Zu den Differenzen Belpmoos - Stadt: Obschon sich die Reihen zeitlich nicht überdecken, können wir feststellen, dass die feuchte Mulde des Belpmooses mehr Morgen- und Abendnebel als der etwas höher liegende, wohl auch wärmere und trockenere Stadtraum aufweist. Die bereits weiter oben erwähnte Existenz des Aaretalwindes dürfte dabei als Kaltluftspender eine nicht unbedeutende Rolle spielen. Zum Schluss sei darauf hingewiesen, dass die nebelfreien Perioden beider Stationen praktisch übereinstimmen.

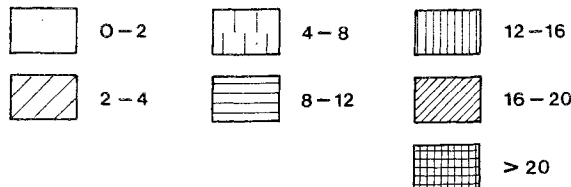
BERN MZA



BELPMOOS



NEBELHÄUFIGKEIT IN %



SONNENAUFGANG/
-UNTERGANG

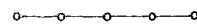


Fig. 25 Bern MZA (1964-62) und Bern-Belpmoos (1961-68):
Isoplethen der Nebelhäufigkeit (Daten aus: Beiheft
Annalen MZA H/1963 und Aufzeichnungen der Wetterbeobachtungen des Flugplatzes Bern-Belpmoos, vgl. deshalb die ungleichen Beobachtungszeiten).

6.4.2. Die vertikale Verteilung der Nebelhäufigkeit

Die räumliche Darstellung der Nebel gehört zu den besonders heiklen Problemen der Klimakartierung (WANNER 1971: 10). SCHIRMER (1974: 277) erwähnt dazu die wichtige Tatsache, dass die Nebelhäufigkeit mit steigender Höhe einer nichtstetigen Zunahme unterliegt. In unserem Falle stellte sich zusätzlich die Frage, wie weit noch spezifische lokalklimatische Verhältnisse berücksichtigt werden müssen. Wir haben uns aus diesen Gründen entschlossen, zuerst eine mittlere regionale Höhenverteilung der Nebelhäufigkeit zu berechnen, um dann die lokalen Verhältnisse anhand einer Nebelkarte zu diskutieren.

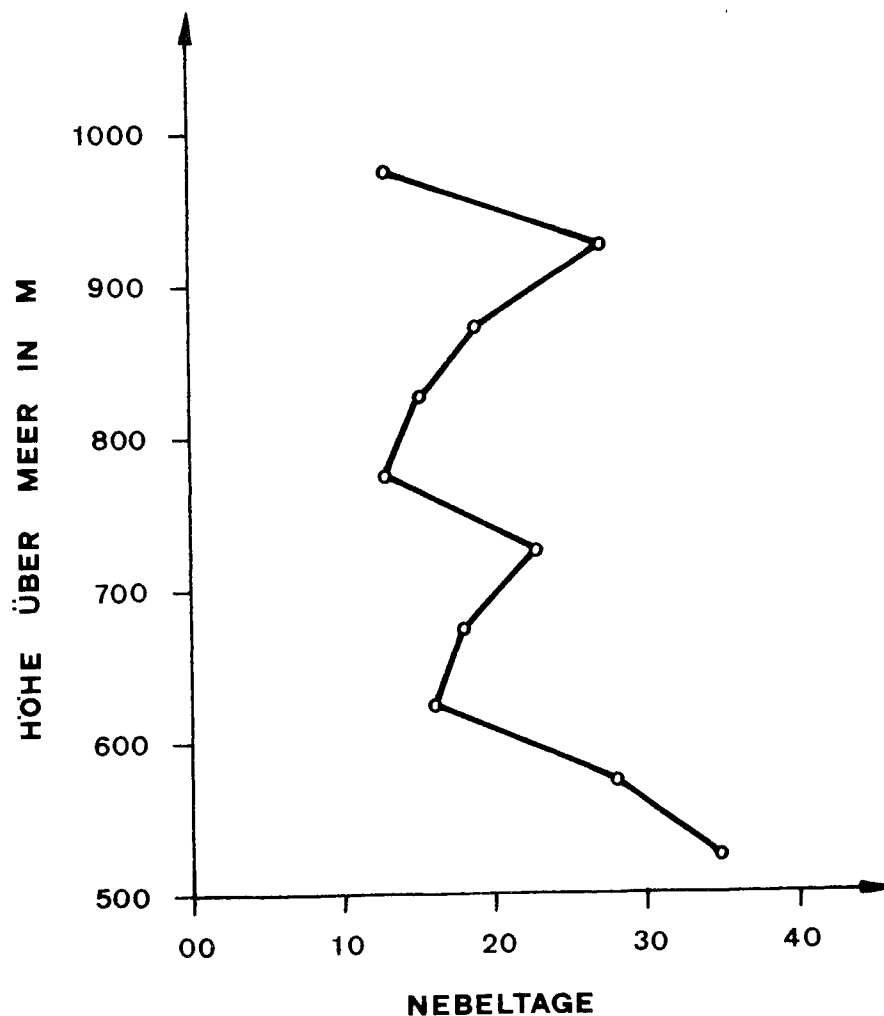


Fig. 26 Raum Bern: Vertikale Verteilung der Nebelhäufigkeit im Winterhalbjahr (1970-73, Morgenbeobachtungen 07.00 - 08.00 Uhr).

Figur 26 zeigt die für Höhenstufenklassen von 50 zu 50m gemittelten Werte der Nebelhäufigkeit im Winterhalbjahr (07.00 Uhr), wobei leider nur Beobachtungen aus den drei Wintern 1970/71 bis 1972/73 berücksichtigt werden konnten. Wollen wir die Darstellung zur Beurteilung der absoluten Sonnenscheindauer heranziehen, so weist sie einen gewichtigen Nachteil auf: Bei tiefliegenden Stationen kann die Zahl der Nebeltage nicht direkt als Indikator für die Abdeckung der Sonne durch Boden- oder Hochnebel benutzt werden, da diese Stationen bei Hochnebel mit beschränkter Mächtigkeit (Figur 20) gemäss Definition keinen Nebel verzeichnen (Sichtweite höhe als 1000m). Die Figur mag dennoch die Hauptcharakteristiken des Raumes Bern zeigen:

- A. In den Tiefenlagen (500 - 550m) erzeugen die Bodennebel ein Nebelmaximum.
- B. In der Klasse 900 - 950m registrieren wir ein sekundäres Maximum (Hochnebel).
- C. Ein zweites, sichtbares Hochnebelniveau liegt bei 700 - 750m (zufällige Häufung oder Charakteristikum?).
- D. Nebelärmere Zonen liegen in den Höhenbereichen von 600 - 650 und 750 - 800m.
- E. Als eigentliche Gunstregion des Raumes kann das Gebiet über 950m angesprochen werden.

Es leuchtet ein, dass dieses Höhenprofil bei homogenen Verhältnissen in eine Karte des Untersuchungsgebietes übertragen werden könnte. Markante lokale Differenzen haben uns aber dazu veranlasst, dennoch eine Nebelkarte für das Winterhalbjahr zu entwerfen (Fig. 27).

Um einerseits die komplexe Form und Struktur des Nebelkörpers und andererseits eine typische Situation mit tiefliegender Hochnebel bei antizyklonalem Wetter mit Bisenströmung, der auch das Aaretal zwischen Bern und Meiringen erfüllt, zeigen zu können, möchten wir vorerst eine Luftaufnahme mit einer derartigen Situation diskutieren (Mirage-Aufnahme vom 18.12.1972, 11.15 Uhr). Wir halten folgende Punkte fest (Abb. 15):

- A. Die Nebeldecke liegt auf einer Höhe von 650 - 750m (Obergrenze). Die höheren Erhebungen wie Belpberg, Längenberg, Gurten, Dentenberg und Bantiger ragen deshalb deutlich daraus hervor.
- B. Die Nebelmasse weist eine sehr differenzierte Strukturierung auf: Zwischen Belpberg und Längenberg wird eine markante Lamellierung sichtbar. Ueber den Gebieten des östlichen Wohlensees und des Worblentals ist die Nebeldecke praktisch aufgelöst. Turmartige Aufwölbungen kennzeichnen die Orte mit verstärkter Thermik (z.B. Hochkamin der Kehrrechtverbrennungsanlage KVA).
- C. Trotz der genannten Auflösungsstendenzen ist sowohl die Existenz einer Verbindung innerhalb der homogeneren Nebeldecke zwischen Aaretal und Mittelland als auch die Nebelfreiheit der engen, zum Teil wesentlich tiefer als die Nebelobergrenze gelegenen Talungen Richtung Burgdorf-Emmental (Lutzeren, Lindental, Bigental), deutlich nachzuweisen (vgl. auch WINIGER 1974: 24-29).

Zum Schluss möchten wir die wichtigsten verteilungsmässigen Aspekte der mit der effektiv möglichen Sonnenscheindauer kombinierten Nebelkarte des Winterhalbjahres anfügen (Fig. 27):

A. Zur Kartierungstechnik: Leider liess sich für den beschränkten Raum mit seinen komplexen Verhältnissen (Ueberbauung, Relief) keine differenzierte Kartierung vornehmen, wie dies von SCHIRMER (1970) für grössere Massstäbe vorgeschlagen wird. Deshalb wurden 6 Zonen mit unterschiedlicher Nebelhäufigkeit abgegrenzt. Für jede Zone wurde schliesslich die Häufigkeit des Auftretens der drei wichtigsten Nebelarten in Buchstabenform angegeben. Dabei muss deutlich betont werden, dass in der Natur sehr unterschiedliche Verteilungsmuster mit meist fliessenden Uebergängen verwirklicht werden, die dann in der Karte als zu markante Grenzlinien hervortreten.

B. Zum Kartenbild: Wir erkennen klar die bodennebelgefährdeten Mulden- und Tallagen, unter denen das tiefere Mittelland (Raum Münchenbuchsee - Schönbühl) als Kaltluftsee 1. Ordnung (MARR 1970: 93) noch besonders ausgeschieden werden musste. Ein Grosseil der Stadt wird durch die Terrassenlage eingenommen. Der eng überbaute Stadtraum musste davon als nebelärmeres Gebiet abgetrennt werden, da hier die Sicht aufgrund der thermischen und

hygrischen Verhältnisse zeitweise erweitert wird. Schliesslich seien die Hang- und Höhenlagen erwähnt, die bloss bei spezifischen Wettersituationen von Hochnebel betroffen werden.

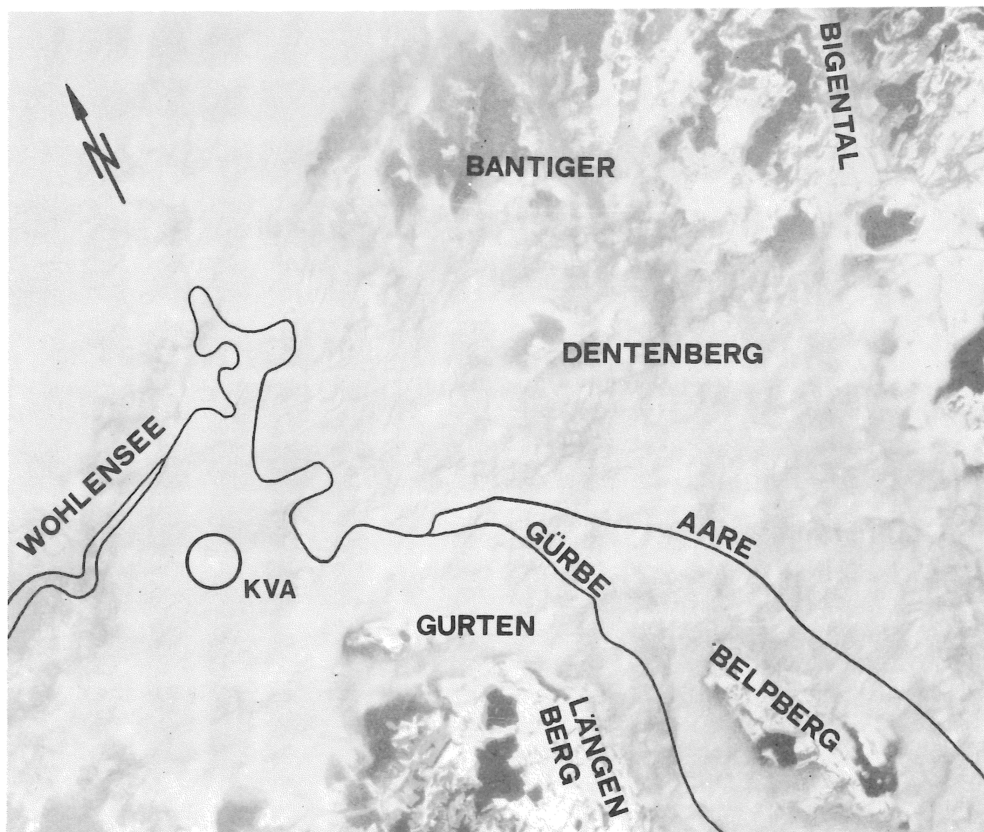
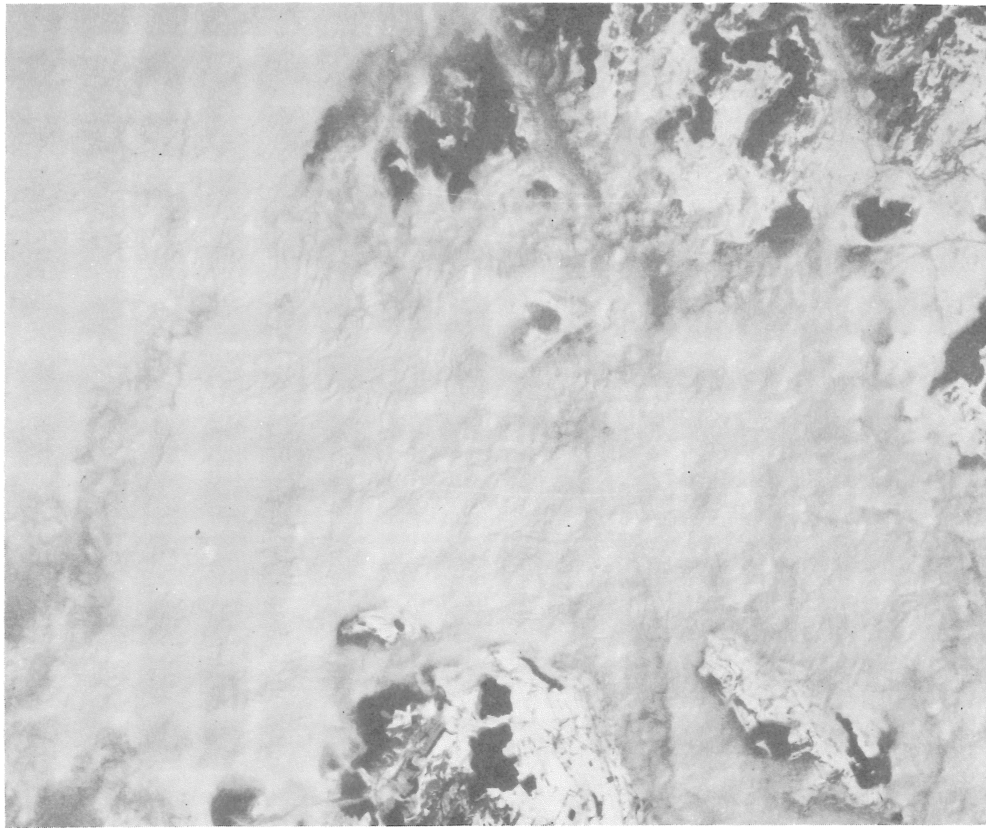


Abb. 15 Die Verbreitung des Hochnebels über Bern am 18.12.1972, 11.15 Uhr (Flugaufnahme des Luftaufklärungs-Dienstes Dübendorf)

VII. SONNENSCHENDAUER IM WINTERHALBJAHR

In den vorangehenden Kapitel konnte gezeigt werden, dass die effektiv mögliche Sonnenscheindauer je nach Region durch die Bewölkung verschieden stark reduziert wird.

Durch die detaillierte Untersuchung des Nebelgeschehens im Raum Bern (H. Wanner), wird es möglich, den Nebel als Spezialfall der Bewölkung in Beziehung zu der effektiv möglichen Sonnenscheindauer des Winterhalbjahres zu bringen. Obwohl der Nebel bei der Bewölkung bereits miteingerechnet ist (in den Beobachtungen wird der Nebel zu der Bewölkung gezählt), verdient er aus verschiedenen Gründen eine grössere Berücksichtigung: psychologische Wirkung, Lufthygiene (Inversionen), Verkehr etc.

Die nachfolgende Sonnenscheinkarte des Winterhalbjahres mit dem Nebelgeschehen zeigt folgende Resultate:

1. Höhenlagen (1) schneiden sowohl bei der Sonnenscheindauer wie auch beim Nebel sehr vorteilhaft ab: Normalerweise kommen diese Gebiete (Längenberg, Bantiger und Grauholz) über die Obergrenze des Nebelmeeres zu liegen.
2. Eng an diese Gunstlagen schliessen die "warmen Hangzonen" (2) an (vgl. BEITRAG 3). Die höher gelegenen Teile dieser Hanglagen ragen ebenfalls oft aus dem Nebel heraus.
3. Grosse Teile des Beckens von Bern werden durch die Nebelzone 3 bedeckt, was einen recht grossen Anteil an Nebel bedeutet. Dass in der Untergruppe 3A (zentrales Stadtgebiet) mit weniger Nebel zu rechnen ist (20-30 Nebeltage) als in 3B (Terrassenlagen: 25-35 Nebeltage) ist auf den Ueberbauungseffekt der Stadt (= wärmer und trockener) zurückzuführen (vgl. Kap. 6.4.1.B). Die sonnenscheinmässige Gunstlage dieser Gebiete im Winterhalbjahr (über 1'400 Stunden) wird durch eine erhöhte Nebelhäufigkeit reduziert.
4. Die Tal- und Muldenlagen (4A, 4B) zeigen die stärkste Nebelbildung (35-45 Tage). Dabei kommt es in den relativ offenen Senken (Belpmoos, Münchenbuchsee-Schönbühl) zu einer starken

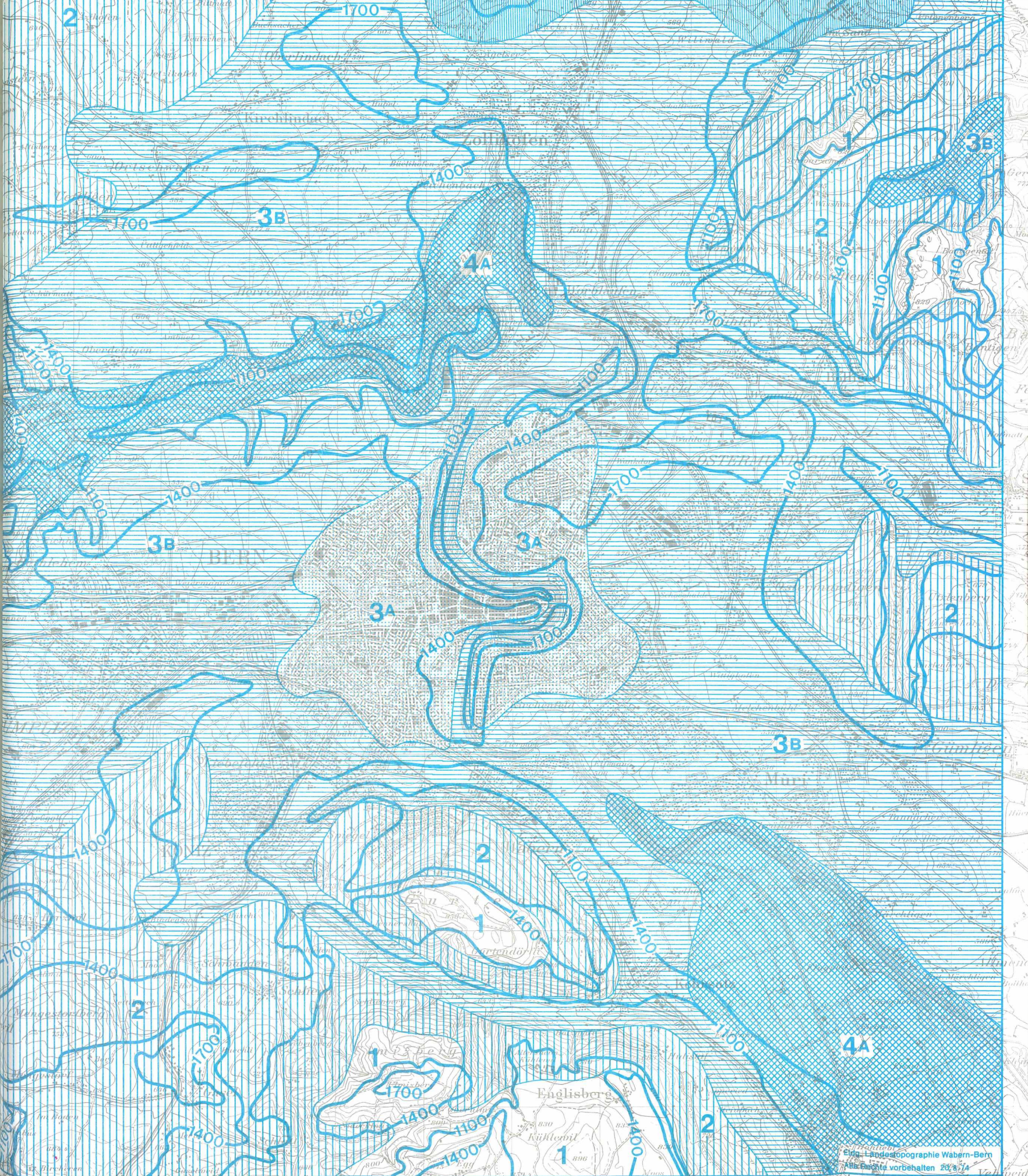
Entwertung der vorteilhaften Sonnenscheindauer. Besonders eindrucksvoll aber ist das Nebelgeschehen in engen Tallagen mit niedriger Sonnenscheindauer, wie beispielsweise im Wohlensee-Aaregraben nördlich der Stadt Bern. Hier kommt es durch Sonnenschein und Nebel zu einer Kumulation, welche sich auf dieses Gebiet doppelt negativ auswirken kann (vgl. BEITRAG 8: Der Aaregraben nördlich von Bern).

Zusammenfassend sei festgehalten: Durch das Nebelgeschehen wird die Bewölkung im Winterhalbjahr räumlich stark differenziert. Die effektiv mögliche Sonnenscheindauer erfährt dadurch im positiven wie im negativen Sinne Modifikationen - es entstehen in der Region Bern neben absoluten Gunsträumen auch sehr stark benachteiligte Gebiete.

EBELTAGE UND SONNENSCHENDAUER

WINTERHALBJAHR (Fig. 27)

Legende siehe nachfolgende Seite)









Legende zur Karte Sonnenscheindauer und Nebel im Winterhalbjahr

(Figur 27)

Nebel:

- BO Bodennebel (vor allem in Herbst und Frühwinter auftretend)
 HO Hochnebel (vor allem in Spätherbst und Winter auftretend)
 HA Hangnebel (in allen Jahreszeiten auftretend)

- s selten auftretend
 p phasenweise auftretend
 h häufig auftretend

		Nebeltage pro Winter- halbjahr (Richtwerte)	Nebelart/ Häufigkeit
1)	 Höhenlagen	05 - 15	BO s HO s HA p
2)	 Hanglagen	10 - 20	BO s HO h HA s
3A)	 Zentrales Stadtgebiet	20 - 30	BO p HO h HA s
3B)	 Terrassenlagen	25 - 35	BO p HO h HA s
4A)	 Mulden- und Tallagen	30 - 40	BO h HO h HA s
4B)	 Muldenlagen des tieferen Mittellandes	35 - 45	BO h HO h HA s

Sonnenscheindauer:

— 1700 —

— 1400 —

— 1100 —

Isohelien für das Winterhalbjahr
(Linien gleicher effektiv möglicher
Sonnenscheindauer)

Bei der Interpretation der vorliegenden Winterhalbjahreskarte für Sonnenscheindauer und Nebel ist darauf zu achten, dass zwei verschiedene Zeiteinheiten (Stunden und Tage) miteinander verglichen werden.

VIII. SONNENSCHENDAUER UND STRAHLUNG

Obwohl die Sonnenscheindauer auf sehr viele Fragen erschöpfend Auskunft geben kann, gibt es Fälle, in denen es notwendig ist, den dazugehörigen Strahlungswert zu kennen (Heiz- und Klimatechnik, agrarmeteorologische Forschung etc.). Sonnenschein heisst in diesem Falle nicht einfach Wärme und Licht, denn eine bestimmte Stunde Sonnenschein z.B. im Frühjahr ergibt einen ganz anderen Strahlungswert ($\text{cal cm}^{-2} \text{min}^{-1}$) als dieselbe Stunde im Sommer oder gar im Winter. Die Wärmemenge, welche eine Fläche erhält, ist vom Einfallswinkel (Sonnenhöhe), von der geographischen Breite und von der Meereshöhe abhängig (vgl. Kap. 2.2.).

Da in der vorliegenden Untersuchung nicht auf eine langjährige Berner Strahlungsmessreihe zurückgegriffen werden kann, wird vorerst in einem Vergleich mit Zürich und Oesterreich (SCHRAM und THAMS, 1970) geprüft, ob die einjährige Messreihe von Bern (1974) eine Uebereinstimmung mit den langjährigen Werten aus Zürich und Wien (Kahlenberg) zeigt.

Mittelwerte der Globalstrahlung an wolkenlosen Tagen $\text{cal cm}^{-2} \text{min}^{-1}$
(für Zürich und Oesterreich Mittelwerte, für Bern Einzeltage)

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	J
Wien													
483 m ü.M.	155	255	395	533	644	703	670	582	455	302	187	133	5014
Zürich													
446 m ü.M.	155	256	402	542	681	734	710	606	445	293	184	129	5137
Bern													
560 m ü.M.	182	262	355	525	689	716	746	615	520	396	220	184	5410

Diese Zusammenstellung zeigt, dass die Berner Werte im Jahresverlauf mit den langjährigen Mittelwerten von Zürich und Wien korrelieren. Die oft recht grossen Abweichungen der einzelnen Monatswerte von Bern sind hauptsächlich darauf zurückzuführen, dass es sich dabei um Einzelwerte aus dem Jahre 1974 handelt (an irgendeinem Tag des betreffenden Monates).

Ueber den Strahlungsverlauf im Jahre 1974 in Bern gibt die nachfolgende Figur 28 Auskunft.

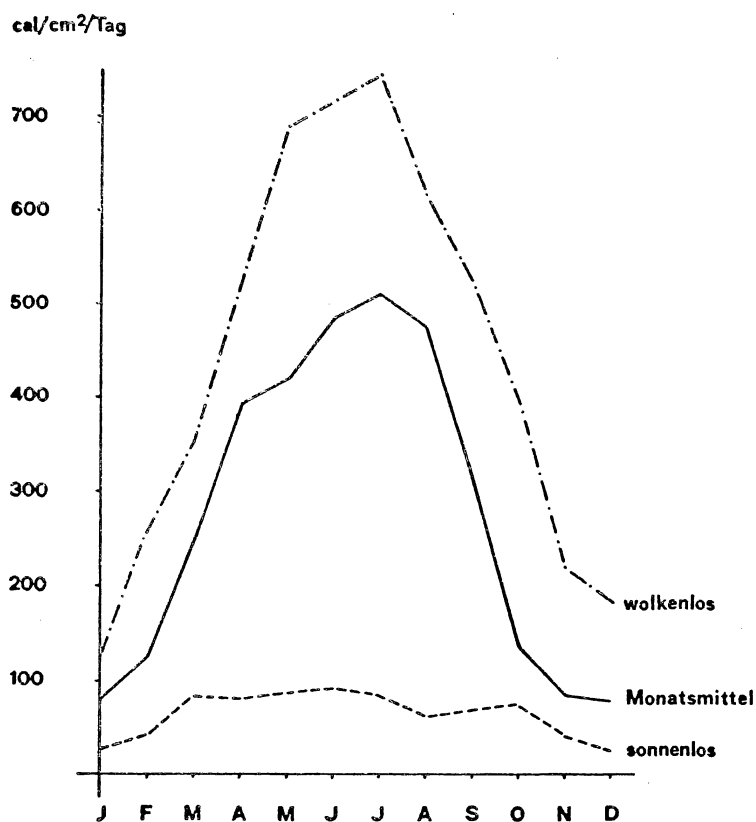


Fig. 28 Jahresverlauf der Globalstrahlung an wolkenlosen und sonnenlosen Tagen in Bern, dazu das Monatsmittel 1974.

Den Sonnenhöhen und Tageslängen entsprechend zeigt diese Figur das uns wohlbekannte Bild: Tiefste Strahlungswerte im Dezember/Januar; Strahlungsmaximum im Juni/Juli. Dagegen ist die Kurve der sonnenlosen Tage noch etwas undifferenziert, da es sich um Einzeltage handelt, und die Definition sonnenlos sehr stark von der jeweiligen Bewölkungsart abhängig ist.

Durch das relativ späte Einsetzen der Strahlungsforschung wird die Globalstrahlung in der Schweiz nur an vereinzelt Stellen fortlaufend gemessen; ganz im Gegensatz zu dem relativ dichten Netz der Sonnenscheinregistrierungen: Das nationale Messnetz zählt immerhin ca. 55 Sonnenscheinaufzeichnungs-Stationen (Campbell-Stokes). Dies führte dazu, dass bereits seit längerer Zeit versucht wurde, auf dem mathematischen Weg von der Sonnenscheindauer

zu der Globalstrahlung und dem Wärmehaushalt der Erde zu gelangen. Dass ein sehr enger Zusammenhang zwischen diesen beiden Grössen besteht, zeigen bereits die Zahlen eines einzelnen Jahres:

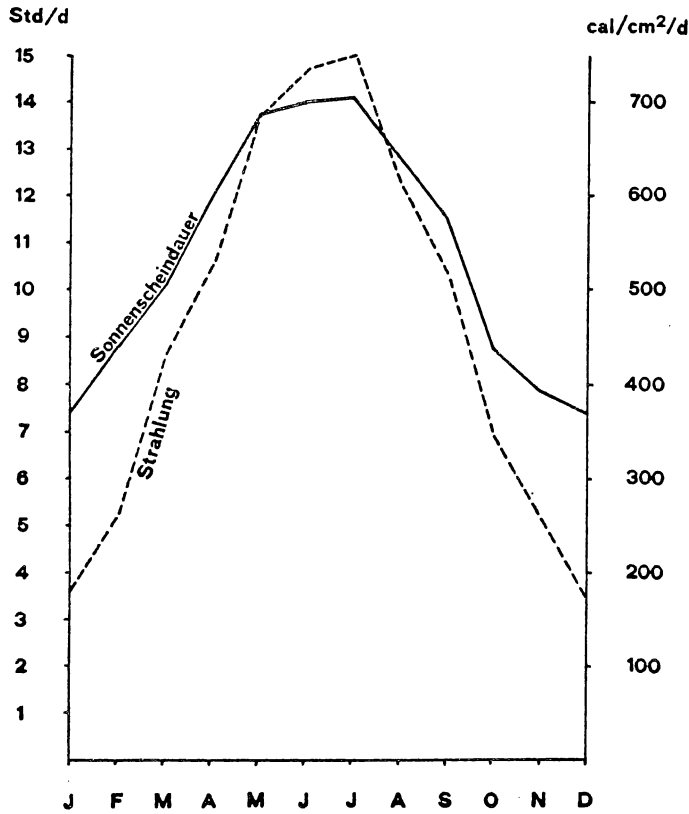


Fig. 29
 Jahresgang der absoluten Sonnenscheindauer und der Globalstrahlung an wolkenlosen Tagen (Bern, 1974)

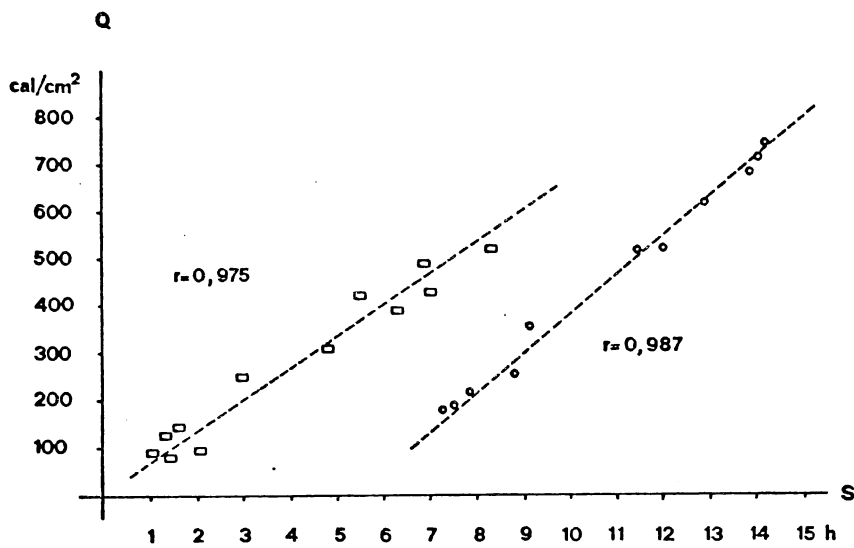


Fig. 30 Korrelation zwischen der absoluten Sonnenscheindauer und den Globalstrahlungssummen (Bern, 1974) an

- wolkenlosen Tagen
- Monatsmittel

Die beiden Korrelationskoeffizienten 0.987 und 0.975 können als sehr gut bezeichnet werden. Viele Berechnungen gehen von der Voraussetzung aus, dass die Globalstrahlung (Mittel über längere Zeit) eine einfache, lineare Funktion der absoluten oder relativen Sonnenscheindauer ist. Aufgrund der Beziehung

$$\frac{Q}{S} = F$$

Q = Globalstrahlung
 S = Sonnenscheindauer
 (absolut oder relativ)
 F = Konstante

ist es möglich, eine monatliche Konstante (F) zu berechnen (THAMS und ZENONE, 1952). Diese Formel kann natürlich nur in einem sehr beschränkten Umkreis von der Station, welche der Berechnung des Quotienten (F) zugrunde liegt, angewendet werden. Selbst für Stationen in der näheren Umgebung, die aber eine erheblich abweichende Sonnenscheindauer, Meereshöhe oder Exposition haben, ist diese Berechnungsart ungültig.

HINZPETER (1959) untersuchte verschiedene mathematische Weiterentwicklungen und Fehlerquellen zur Berechnung der Globalstrahlung aus der Sonnenscheindauer. Ausgangspunkt bildet dabei in jedem Falle die Gleichung von Ångström:

$$Q_d = a + b R_d$$

Q_d = Tagessumme der Globalstrahlung
 R_d = relative Sonnenscheindauer pro Tag
 a+b= Konstanten

Aus dieser Formel ergeben sich wiederum lineare Zusammenhänge zwischen Q und R.

STOLLEY (1955) zeigte nun aber in seinen Untersuchungen über das Strahlungsklima, dass diese lineare Beziehung nur für den Bereich $R > 20\%$ gilt. Einzig für Stationen in grösseren Höhen und für wenige andere Stationen, an denen mittelhohe und hohe Bewölkung auftritt, sind lineare Zusammenhänge für den ganzen Bereich (R=0-100%) der relativen Sonnenscheindauer zu verzeichnen. In der Regel aber

muss für den unteren Randbereich von R (0-20%) die Abhängigkeit von Q durch eine Kurve höheren Grades angenähert werden.

Auf die Trübungs- und Extinktionsvorgänge kann in der vorliegenden Arbeit nicht eingegangen werden, da die Messinstrumente und das Datenmaterial dazu nicht geeignet sind. Gerade über einer mittleren Agglomeration wie Bern (ca. 200'000 Einwohner), welche wenig Industrie, dafür aber ein intensives Relief aufweist, dürfte es sehr interessant sein, diese Vorgänge zu verfolgen.

Aus den Resultaten der Strahlungsuntersuchungen an einer einzigen Stelle des Raumes Bern lässt sich immerhin eine recht grosse Anzahl von weiteren Punkten annähernd berechnen. Da die Region Bern eine Höhendifferenz von über 500 m umfasst, ist es aber unbedingt notwendig, Parallelmessungen auf verschiedenen Höhenstufen vorzunehmen. Zudem sollte, wenn immer möglich, eine Strahlungsmessstation instrumentell so ausgerüstet sein, dass die Strahlungsbilanz berechnet werden kann. (Kurzwellige Strahlungsbilanz = direkte Sonnenstrahlung + Himmelstrahlung - Reflexion).

IX. ZUSAMMENFASSUNG

In der vorliegenden Arbeit wurden die Besonnung, die Bewölkung und der Nebel innerhalb eines kleinen geographischen Raumes, der Region Bern, näher untersucht. Das Ergebnis, die Karte der effektiv möglichen Sonnenscheindauer, zeigt durch ihre vierteilige Farbstufung (= Güteklassifikation) einen Ueberblick über die Region Bern. Dabei kommt die stark reliefbedingte Abhängigkeit der effektiv möglichen Sonnenscheindauer deutlich zum Ausdruck: Gipfelregionen, Terrassen und Ebenen, sowie weite Mulden und Südhänge sind reich an Sonnenschein, während enge Täler, Nord- Ost- und Westhänge eher sonnenarm sind. Jeder Messpunkt auf der Karte wurde mit einem Zifferncode versehen, wodurch es möglich wird, in derselben Karte zu einer weiteren Differenzierung zu gelangen: Je nach Fragestellung kann die Sonnenscheindauer des Winters oder Sommers, bzw. Vor- oder Nachmittages unterschieden werden. Die Horizonteinengung ist für diese Zeitabschnitte oft sehr unterschiedlich.

Im weiteren sind einige Einzelprobleme, welche auf der Karte nicht zur Darstellung gebracht werden konnten, aufgegriffen worden:

Sonnenscheindauer an Waldrändern

Sonnenscheindauer in verschiedenen Expositionen und
Geländeformen

Sonnenscheindauer in überbauten Gebieten

Damit soll gezeigt werden, dass es aufgrund der vorliegenden Karte möglich ist, weitere Detailabklärungen (besonders für die Bauplanung) ohne allzu grossen Aufwand vorzunehmen. Es wurde denn auch grosses Gewicht auf methodische Aspekte gelegt: Instrumente, Messmethoden und Darstellungsfragen. Dies hat zum Zweck, dass für weitere Untersuchungen auf dem Gebiete der Besonnung, ob für die Forschung oder für die Praxis, eine gemeinsame Diskussionsbasis vorhanden ist.

Mit der effektiv möglichen Sonnenscheindauer werden die terrestrischen Möglichkeiten der Besonnung dargestellt (= theoretischer Wert). Sie ist in der Untersuchung das statische Element, welches

sich grossräumig kaum je verändern wird. Dagegen befasst sich die Untersuchung des Bewölkungs- und Nebelgeschehens mit den atmosphärischen Voraussetzungen, d.h. mit den dynamischen Elementen. Obwohl die Bewölkung die effektiv mögliche Sonnenscheindauer je nach Jahres- oder Tageszeit reduziert, wurde diese in der Karte nicht zur Darstellung gebracht. Anhand einer Isoplethendarstellung der relativen Sonnenscheindauer kann eine mittlere Bewölkung in die Karte hineininterpretiert werden. Es zeigt sich dabei, dass bereits innerhalb einer kleinen Region Bewölkungsunterschiede auftreten. Im Untersuchungsgebiet, am Uebergang vom tieferen zum höheren Mittelland, sind deutlich zwei Einflüsse festzustellen:

Höheres Mittelland: verstärkter Einfluss aus dem Alpenraum (Konvektion, Staulagen)

Tieferes Mittelland: verstärkter Einfluss aus dem Seeland (advective Einflüsse)

Noch deutlicher wird dieser Unterschied, wenn wir das Nebelgeschehen im Winterhalbjahr betrachten: Auf den Höhen und in den Hanglagen entstehen absolute Gunsträume, während in den Ebenen und auf den Terrassen bereits eine starke Einschränkung durch den Nebel festzustellen ist. Sehr stark benachteiligt sind in diesem Sinne die tiefgelegenen Täler und Gräben.

In einem weiteren Kapitel wurden Ansätze und erste Ergebnisse der Strahlungsmessung gezeigt. Damit aber den mit dem Strahlungshaushalt verknüpften Fragen gründlich nachgegangen werden kann, ist es unumgänglich, weitere Messungen vorzunehmen. Immerhin zeigt sich die Möglichkeit, solange nicht weitere Messdaten vorliegen, auf rechnerischem Wege von der Sonnenscheindauer zur Globalstrahlung zu gelangen, was für verschiedene Fragestellungen bereits sehr nützlich sein kann.

Zusammenfassend können wir festhalten: Die vorliegende Arbeit stellt eine wertvolle Studie der raum - zeitlichen Gliederung des Mesoklimas der Region Bern dar. Wir sind uns bewusst, dass einige Untersuchungen noch nicht allgemeingültige Aussagen zulassen (besonders die Strahlung und die Verknüpfung Sonnen-

scheindauer - Wetterlagen). Es wird folglich notwendig sein, diese Probleme weiterzuverfolgen. Wir sind aber überzeugt, dass die Untersuchung der Besonnung in der Region Bern zusammen mit anderen Klimaelementen (Wind, Temperaturen, Niederschlag, Frost etc.) eine wesentliche Grundlage für die Raumordnung ist.

RÉSUMÉ

Le travail présent analyse l'insolation, la nébulosité et le brouillard dans le cadre d'un espace géographique restreint, la région de Berne. Le résultat, la carte de l'insolation potentielle réelle, montre par ses quatre couleurs (= classification qualitative) un aperçu de la région de Berne. Ici apparaît l'interdépendance entre l'insolation potentielle et le relief: les environs des sommets, les terrasses, les plaines, les cuvettes et les versants sud sont bien ensoleillés, tandis que les vallées étroites, les versants nord, est et ouest sont mal ensoleillés. Chaque point de mesure est muni d'un numéro codé, par lequel est rendu possible une autre différenciation: selon la question posée, l'on peut distinguer l'insolation d'hiver ou d'été, ou respectivement du matin ou de l'après-midi. L'ombre causé par l'horizon est souvent très considérable.

Quelques autres problèmes de détail furent attaqués par la suite. Ceux-ci ne peuvent pas être démontrés sur la carte:

l'insolation des lisières des bois

l'insolation de différentes expositions et formes de terrain

l'insolation des terrains bâtis

Ainsi sont démontrées des possibilités de résoudre des problèmes de détail (surtout pour l'aménagement des bâtiments) avec peu de frais, à partir de la carte de l'insolation potentielle réelle. Les aspects méthodiques furent accentuées: les instruments, les méthodes de mesure et les questions de représentation. Ceci a pour but d'établir une base commune de discussion pour d'autres analyses scientifiques et pratiques de l'insolation.

Par l'insolation potentielle effective sont représentées les possibilités terrestres de l'insolation (= valeur théorique). Au cours de cette analyse, elle reste une valeur statique qui ne varie guère dans les grandes lignes. Par contre, l'analyse des procès de la nébulosité et du brouillard tient compte des conditions atmosphériques, c'est-à-dire des éléments dynamiques. La carte ne montre pas comment la nébulosité réduit l'insolation selon la saison

et l'heure. Par une représentation d'isoplètes de l'insolation relative la nébulosité moyenne peut être interprétée dans la carte. Déjà au sein d'une petite région, il y a des différences de nébulosité. Dans la région analysée, à la transition du plateau inférieur au plateau supérieur, deux influences peuvent être distinguées:

Plateau supérieur: influences accentuées des alpes (convections, barrages atmosphériques)

Plateau inférieur: influences accentuées du Seeland (influences advectives)

Cette différence est encore plus distincte si l'on considère l'évolution du brouillard en hiver: dans les hauteurs et sur les pentes se forment des emplacements favorisés, tandis que dans les plaines et sur les terrasses l'on observe une restriction due au brouillard. Les vallées profondes et les fossés sont très désavantagés en ce sens.

Un chapitre concerne des éléments et les premiers résultats des mesures de la radiation. Il est cependant indispensable de poursuivre les mesures avant de pouvoir trancher les questions en rapport avec le bilan de la radiation. Néanmoins, l'on peut déjà démontrer les possibilités de calculer la radiation globale en partant de l'insolation, ce qui peut être assez utile pour différentes questions, tant que des mesures ne sont pas encore disponibles.

En résumant, nous pouvons dire que ce travail est une étude précieuse de la structure spatiale et temporelle du mésoclimat de la région de Berne. Nous sommes conscient du fait que quelques analyses ne permettent pas encore des conclusions générales (surtout pour la radiation et pour le rapport entre l'insolation et la situation météorologique). Il sera donc nécessaire de poursuivre ces recherches. Nous sommes cependant convaincus que l'analyse de l'insolation de la région de Berne combinée avec d'autres éléments climatiques (vents, températures, précipitations, gels etc.) sera une base importante pour l'aménagement du territoire.

RIASSUNTO

Nel presente lavoro vennero scruttati il soleggiamento, l'annuvolamento e la nebbia entro un piccolo spazio geografico, la regione di Berna. Il risultato, la carta concernente la durata effettivamente possibile del soleggiamento, ci dà tramite la sua gradazione squartata di colore (= classificazione di qualità) una vista generale della regione di Berna. Si nota che la durata effettivamente possibile del soleggiamento dipende molto dal rilievo: le regioni delle vette, le terrazze e le pianure come anche le vaste conche ed i pendii a sud sono ricchi di sole, mentre le valli strette ed i pendii a nord, ad est ed ovest sono poveri di sole. Per ogni punto di misura sulla carta venne stabilito un codice in cifre rendendo così possibile un ulteriore differenziamento sulla stessa carta. Secondo il problema si può distinguere tra la durata del soleggiamento d'inverno o d'estate, rispettivamente di mattina o di pomeriggio. Il restringimento dell'orizzonte differisce di molto per questi periodi.

Inoltre vennero toccati alcuni problemi singoli che non potevano essere illustrati sulla carta: la durata del soleggiamento ai bordi dei boschi. La durata del soleggiamento in diverse esposizioni e forme di terreno. La durata del soleggiamento in aree fabbricate.

Vogliamo mostrare con questo che in base alla presente carta è possibile fare delle altre analisi particolareggiate (in special modo per la pianificazione edilizia) senza troppo dispendio. Si diede perciò anche grande importanza agli aspetti metodologici: strumenti, metodi di misura e questioni di presentazione. Ciò venne fatto con lo scopo di avere una base di discussione comune per ulteriori analisi nel campo del soleggiamento, sia per la ricerca, sia per la pratica. Con la durata effettivamente possibile del soleggiamento vengono rappresentate le possibilità terrestri del soleggiamento (valore teorico). Essa è nell'indagine l'elemento statico che muterà difficilmente entro vasti spazi. L'indagine nel campo dell'annuvolamento e della nebbia invece si occupa delle condizioni atmosferiche, cioè degli elementi dinamici. Benchè l'annuvolamento riduca a seconda della stagione e dell'ora la durata effettivamente possibile del soleggiamento, non l'abbiamo illustrato sulla carta. Per via di una presentazione di un grafico isofletico della durata relativa del soleggiamento si può interpretare nella carta l'annuvolamento medio. Ne risulta che già entre una piccola regione si notano differenze nell'annuvolamento.

Nella regione della nostra indagine, al passaggio dal basso all'alto altopiano, si possono distinguere nettamente due influssi:

alto altopiano: influsso rinforzato dalla regione alpina
 (convezione, accumulamenti)

basso altopiano: influsso rinforzato dal Seeland (influssi avvet-
 tivi)

Questa differenza è ancora più evidente considerando le condizioni di nebbia nel semestre invernale: sulle alture e in posizioni di pendenza si formano degli spazi privilegiati, mentre nelle pianure e sulle terrazze si nota già una forte restrizione provocata dalla nebbia. Le valli del bassopiano e le fosse sono specialmente svantaggiate in questo senso.

In un altro capitolo vennero mostrati i primi tentativi e i primi risultati nel misurare la radiazione. Delle nuove misure sono però inevitabili se si vogliono scrutare più a fondo le questioni concernenti il campo delle radiazioni. Tanto che non esistono degli altri dati di misura, è tuttavia possibile giungere per via di calcolo dalla durata del soleggiamento alla radiazione globale; ciò può essere già molto utile per diversi problemi.

Riassumendo possiamo ritenere: Questo lavoro rappresenta un prezioso studio della struttura spazio-temporale del mesoclima della regione di Berna. Siamo coscienti che alcune indagini non permettono ancora di fare delle asserzioni valide generalmente (soprattutto per ciò che concerne la radiazione e la connessione durata del soleggiamento - condizioni del tempo). Questi problemi dovranno quindi essere seguiti. Comunque siamo convinti che l'indagine sul soleggiamento nella regione di Berna forma insieme ad altri elementi climatici (vento, temperatura, precipitazioni, gelo ecc.) una base importante per la sistemazione del territorio.

VERZEICHNIS DER FIGUREN

- Fig. 1 astronomische
effektiv mögliche } Sonnenscheindauer in Bern
absolute
relative }
- Fig. 2 Diagrammstreifen des Tagbogenstreifens von de Quervain
- Fig. 3 Fehlerquellen bei der Bewölkungsbeobachtung
- Fig. 4 Bewölkungsangaben der Stationsbeobachter des nationalen Messnetzes
- Fig. 5 Schattenwurf an Waldrändern bei unterschiedlichem Sonnenstand und verschiedenen Expositionen
- Fig. 6 Horizontverlauf in einem Nord-Südtal
- Fig. 7 Horizontverlauf in einem West-Osttal
- Fig. 8 Horizontverlauf an einem Osthang
- Fig. 9 Verbauungsbild auf dem Kinderspielplatz einer Hochhaus-siedlung in der Agglomeration Bern
- Fig. 10 Jahresgang der relativen Sonnenscheindauer von vier Stationen
- Fig. 11 Jahresverlauf der heiteren Tage
- Fig. 12 Jahresverlauf der trüben Tage
- Fig. 13 Verteilung der verschiedenen Bewölkungsanteile über das Jahr
- Fig. 14 Isoplethendarstellung der Bewölkung in Bern
- Fig. 15 Isoplethendarstellung der relativen Sonnenscheindauer in Bern (1921 - 1970)
- Fig. 16 Zweijähriges Mittel (1973/74) der absoluten Sonnenscheindauer der Stationen Oeschberg, Bern und Uecht im Vergleich zu den langjährigen Mittelwerten (1931 - 1960) der Station Bern
- Fig. 17 Durchschnittliche Häufigkeit der Wetterlagen in den Jahren 1973/74
- Fig. 18 Durchschnittliche tägliche Sonnenscheindauer pro Wetterlage in den Jahren 1973/74
- Fig. 19 Abweichung der absoluten Sonnenscheindauer Bern - Uecht
- Fig. 20 Die häufigsten Formen des Boden- und Hochnebels
- Fig. 21 Raum Bern: Jährliche Nebelhäufigkeit 1760 - 1970 (5-jährige übergreifende Mittel)
- Fig. 22 Mittlere monatliche Nebelverteilung ausgewählter Stationen des Kantons Bern
- Fig. 23 Morgennebel (07.00 - 08.00 Uhr) bei verschiedenen Wetter- oder Witterungslagen

- Fig. 24 Nebel- und Witterungslagenhäufigkeit der Station Bern MZA
- Fig. 25 Isoplethen des Nebels im Winterhalbjahr (Raum Bern)
- Fig. 26 Vertikale Nebelverteilung des Raumes Bern im Winterhalbjahr
- Fig. 27 Nebeltage und Sonnenscheindauer im Winterhalbjahr
- Fig. 28 Jahresverlauf der Globalstrahlung an wolkenlosen und sonnenlosen Tagen in Bern, dazu das Monatsmittel 1974
- Fig. 29 Jahresgang der absoluten Sonnenscheindauer und der Globalstrahlung an wolkenlosen Tagen
- Fig. 30 Korrelation zwischen der absoluten Sonnenscheindauer und den Globalstrahlungssummen

VERZEICHNIS DER ABBILDUNGEN

- Abb. 1 Das Horizontoskop von Tonne
- Abb. 2 Tagbogenschreiber von de Quervain
- Abb. 3 Sonnenscheinautograph von Campbell-Stokes
- Abb. 4 Satellitenaufnahme (NOAA 3) der Schweiz aus 1500 km Höhe
- Abb. 5 Solarimeter der Firma Kipp & Zonen zur Messung der kurzwelligen Globalstrahlung
- Abb. 6 Fischaugkamera NIKON
- Abb. 7 Fischaugaufnahme mit den Tagbogen versehen
- Abb. 8 Horizontaufnahme mit der Fischaugkamera in einem Nord-Südtal
- Abb. 9 Fischaufaufnahme in einem West-Osttal
- Abb. 10 Fischaufaufnahme am Osthang des Gurtens
- Abb. 11 Ueberbauungsbild am Fenster eines ostorientierten Kinderzimmers
- Abb. 12 Besonnung eines Kinderspielplatzes in einer Hochhaussiedlung
- Abb. 13 Besonnung in einem Garten eines Einfamilienquartiers
- Abb. 14 Besonnung im Parterre einer Altstadtgasse
- Abb. 15 Die Nebelverteilung über Bern am 18.12.1972

LITERATURVERZEICHNIS

- ANDERSON, M. C., 1964: Studies of the Woodland Light Climate. The Journal of Ecology, British Ecological Soc., Oxford
- BAUDIREKTION DES KANTONS BERN, 1967: Differenzierte Bauweise. Kreis-schreiben der Baudirektion Bern, No. 1, 2, 3 und 4
- BIDER, M., 1959: Ueber die Genauigkeit der Registrierungen des Sonnenscheinautographen Campbell-Stokes. Archiv f. Met., Geophys. und Bioklim., H. 5 - 7, Wien
- BRICHIMBAUT DE, P., 1963: Rayonnement solaire et échanges radiatifs naturels. Gauthier-Villars, Paris
- CHROMOW, S. P., 1940: Einführung in die synoptische Wetteranalyse, Wien
- CONRAD, V., 1929: Ermittlung der effektiv möglichen Sonnenscheindauer bei Horizontüberhöhungen. Gerlands Beitr. z. Geophysik, H. 4, Leipzig
- " 1957: Höhenlage und Sonnenscheindauer an Niederschlagstagen. Wetter und Leben, H. 1 - 2, Wien
- ERIKSEN, W., 1975: Probleme der Stadt- und Geländeklimatologie. Erträge der Forschung, Bd. 35, Darmstadt
- FLIRI, F., 1975: Das Klima der Alpen im Raume Tirol. Monographien zur Landeskunde Tirols, Innsbruck-München
- GEIGER, R., 1961: Das Klima der bodennahen Luftschicht. Lehrbuch der Mikroklimatologie, Braunschweig
- GILGEN, A. und BARRIER, A., 1965: Besonnung und natürliche Belichtung von Wohnungen. Bericht erarb. im Auftrag d. ORL-Institutes ETH, Zürich, Ott, Thun
- GUTERSOHN, H., 1933: Sonnenstrahlung und Bergschatten auf dem Gebiet der Stadt Zürich. Vierteljahrsschr. d. Nat.forsch. Ges. Zürich, Jg. 79
- HEGG, O., 1973: Mikroklimatische Wirkung der Besonnung auf die phänologische Entwicklung und auf die Vegetation in der alpinen Stufe der Alpen. Unveröff. Manusk. zu einem Vortrag, Bot. Inst. d. Uni Bern
- HINZPETER, H., 1959: Vergleichende Prüfung von Formeln zur Berechnung von Globalstrahlungssummen. Arch. f. Met., Geophys. u. Bioklimat., Bd. 9, Wien
- HITZLER, I. und LAUSCHER, F., 1970: Die Bestrahlung des Menschen durch die Sonne in allen Zonen der Erde. Wetter und Leben, Jg. 22, Wien
- HOEPLER, O., 1939: Registrierungen der Sonnen- und Himmelsstrahlung im Allgäu. Meteorol. Zeitschr., Bd. 56, Braunschweig
- INDERMUEHLE, D., 1972: Mikroklimatische Untersuchungen im Tibesti Gebirge (Sahara). Hochgebirgsforschung, H. 2, München

- KAEMPFFERT, W. und MORGEN, A., 1952: Die Besonnung. Zeitschr. f. Meteor., H. 5, Potsdam
- KASSER, P., SCHRAM, K. und THAMS, J. C., 1970: Die Strahlungsverhältnisse im Gebiet der Baye de Montreux. Veröffent. d. Schweiz. Meteorol. Zentr. anstalt, Bd. 17, Zürich
- KNOCH, K., 1963: Die Landesklimaaufnahme. Ber. d. Deutsch. Wetterdienstes, Offenbach
- KRUMMEN, A., 1973: Bericht zur Karte "Sonnenscheindauer, Bewölkung und Nebel im Raum SE Bern. Geogr. Institut d. Uni Bern (unveröff.)
- LAUSCHER, F., 1973: Zur Bestrahlung des Menschen auf Himmelskörpern mit und ohne Atmosphäre. Wetter und Leben, Jg. 25, Wien
- " 1973: Ein Vergleich französischer und österreichischer Papiere für Sonnenscheinschreiber. Wetter und Leben, Jg. 25, Wien
- " 1965: Die Sonnenscheindauer des Marchfeldes. Wetter und Leben, Jg. 13, Wien
- LILJEQUIST, G. H., 1974: Allgemeine Meteorologie, Braunschweig
- MAHRINGER, W., 1973: Ueber das Strahlungsklima im Raum Salzburg. Festschrift f. Hanns Tollner z. 70. Geburtstag, Salzburg
- MAEDER, F., 1970: Hinweise und Quellenangaben zu den Klimaeignungskarten. ORL-Institut ETH, Zürich
- MARR, R. L., 1968: Die Wirkung von Horizontüberhöhung und Bewölkung auf die Sonnenscheindauer in Basel. Regio Basiliensis IX/1, Basel
- " 1970: Geländeklimatische Untersuchung im Raum südlich von Basel. Basler Beitr. z. Geographie, H. 12, Basel
- MATHYS, H. und MAURER, R., 1974: Der Aaregraben nördlich von Bern. Beitr. zum Klima d. Reg. Bern, Nr. 8, Geogr. Institut d. Uni Bern
- MATHYS, H., 1975: Spätfrostschäden in der Region Bern. Beitr. zum Klima d. Reg. Bern, Nr. 6, Geogr. Inst. d. Uni Bern
- MERCANTON, P. L., 1934: Zur Frage der Messung der möglichen Sonnenscheindauer (Insolation) eines Ortes. Meteorol. Zeitschr.. Bd. 51, Braunschweig
- MOELLER, F., 1973: Einführung in die Meteorologie. Hochschultaschenbücher, Bde. 276, 288, Mannheim
- MOSER, D., 1972: Untersuchungen über die Nebelhäufigkeit in Bern zwischen 1761 und 1969. Inform. u. Beitr. zur Klimaforschung, Nr. 7, Geogr. Inst. d. Uni Bern
- NAGEL, E., 1955: Die Sonnenscheinverhältnisse in der Schweiz. Ann. d. Schweiz. Ges. f. Balneol. u. Klimatol., Genf
- PRIMAULT, B., 1972: Etude mésoclimatique du Canton de Vaud. Cahiers de l'aménagement régional, No 14, Lausanne
- " 1973: Du calcul de l'ombre portée. Arbeitsber. d. Schweiz. Met. Zentr. anst., H. 35, Zürich

- QUERVAIN DE, M., 1957: Ein neuer Tagbogenschreiber. *La Météorologie*, Janvier-Juillet, Paris : 371 - 377
- REINHARD, H. und G., 1975: Besonnungs- bzw. Schattenwurfermittlung und -Darstellung (interner Ber.) Architekturbüro Reinhard, Bern
- ROTT, H., 1974: Sonnenschein, Globalstrahlung und Lufttrübung in Innsbruck. Diss., Uni Innsbruck
- SAUBERER, F., 1951: Ueber die Abhängigkeit der Tagessummen der Sonnenstrahlung von der Sonnenscheindauer in Wien - Hohe Warte. *Wetter und Leben*, H. 2, Jg. 24, Wien
- SCHERHAG, R., 1948: Neue Methoden der Wetteranalyse und Wetterprognose, Berlin
- SCHIRMER, H., 1970: Beitrag zur Methodik der Erfassung der regionalen Nebelstruktur. Abh. d. l. Geogr. Institutes d. Freien Universität Berlin, Bd. 13, Berlin
- " 1974: Methodischer Beitrag zur Kartierung der Nebelverhältnisse in Gebirgsgebieten. *Zbornik meteoroloških i hidroloških radova*, Nr. 5, Beograd
- SCHNEIDER, R., 1954: Brouillard et Stratus bas (brouillards élevés) à l'Aéroport de Zürich-Kloten, période 1948 - 1953. *Ann. d. Schweiz. Met. Zentr. anst.* 1953, Zürich
- " 1957: Formation et dissolution des brouillards à l'Aéroport de Zürich-Kloten. *Ann. d. Schweiz. Met. Zentr. anst.* 1956, Zürich
- SCHÖNWIESE, C.-D., 1970: Zur Systematik der Nebelerschienungen. *Wetter und Leben*, H. 9 - 10, Wien
- SCHRAM, K., THAMS, J. C., 1970: Die kurzweilige Globalstrahlung und diffuse Himmelsstrahlung auf dem Flugplatz Zürich-Kloten. *Veröff. d. Schweiz. Met. zentr. anst.*, Bd. 16, Zürich
- SCHÜEPP, M., 1950: *Wolken, Wind und Wetter*, Zürich
- " 1962: Sonnenscheindauer. *Beih. z. d. Ann. d. Schweiz. Met. Zentr. anst.*, H. J, Zürich
- " 1963: Bewölkung und Nebel. *Beih. z. d. Ann. d. Schweiz. Met. Zentr. anst.*, H. G., Zürich
- " 1968: Kalender der Wetter- und Witterungslagen von 1955 - 1967 im zentralen Alpengebiet. *Veröff. d. Schweiz. Met. zentr. anst.*, H. 11, Zürich
- STEINHAUSER, F., SAUBERER, F. und DIRMHIRN, I., 1958: *Klimatographie von Oesterreich*. *Oester. Akad. d. Wissensch.*, Bd. 3, Wien
- STEINHAUSER, F., 1974: Die Höhenabhängigkeit der Sonnenscheindauer in Oesterreich. *Wetter und Leben*, Jg. 26, Wien
- STOLLEY, G., 1955: Das natürliche Strahlungsklima. *Meteorol. Rundschau*, H. 8
- THAMS, J. C., ZENONE, E., 1952: Ueber Sonnenscheindauer und Globalstrahlung auf der Magadinoebene unter besonderer Berücksichtigung des Tabakanbaus. *Landwirtschaftl. Jb. d. Schweiz*, Jg. 66

- TONNE, F., 1954: Besser Bauen mit Besonnungs- und Tageslichtplanung, Stuttgart
- VALKO, P., 1973: Probabilities of sunshine hours. Arbeitsber. d. Schweiz. Met. zentr. anst., Nr. 38, Zürich
- WANNER, H., 1971: Die Nebelverhältnisse im Winter 1970/71 (Oktober bis März). Beitr. z. Klimatolog. Grundlagenforschung, Nr. 6, Bern
- " 1973: Beiträge zum Klima des Raumes Bern. Jb. d. Geogr. Ges. Bern, Bd. 50
- WEBER, O., 1975: Nebel / Sichtweiten. Arbeitsber. d. Schweiz. Met. zentr. anst., Nr. 50, Zürich
- WINIGER, M., 1974: Die raum-zeitliche Dynamik der Nebeldecke aus Boden- und Satellitenbeobachtungen. Inform. u. Beitr. z. Klimaforsch., Nr. 12, Bern
- " 1974: Methodical Aspects of the Interpretation of Weather-Satellite Imagery with Regard to Cloud-cover, Precipitation and Atmospheric Circulation in Subtropical Arid Regions. Ber. v. UNO Interregional Seminar in Sao Jose dos Campos, Brasilien
- ZINGG, T., 1945: Die Nebel- und Hochnebelhäufigkeiten in Dübendorf in den Jahren 1938 - 1944. Ann. d. Schweiz. Met. zentr. anst., 1944, Zürich

"BEITRAEGE ZUM KLIMA DER REGION BERN"

Uebersicht über die im Rahmen dieser Reihe durch das Geographische Institut der Universität Bern vorgesehenen Beiträge

- | | | |
|---------|----|---|
| Beitrag | 1 | Das Messnetz der Region Bern: Grundlagen und Probleme |
| Beitrag | 2 | Das regionale Windgeschehen |
| Beitrag | 3 | Die Temperaturverhältnisse in der Region Bern |
| Beitrag | 4 | Niederschlag, Schnee, Hagel
(erscheint im September 1975) |
| Beitrag | 5 | Sonnenscheindauer, Nebel und Bewölkung
(erscheint im September 1975) |
| Beitrag | 6 | Spätfrostkartierung
Kartierung des Einzelereignisses im April 1974
am Beispiel des Nussbaumes
(erschienen im Mai 1975) |
| Beitrag | 7 | Ausgewählte lufthygienische Elemente |
| Beitrag | 8 | Der Aaregraben nördlich von Bern.
Eine klimatische Untersuchung als Planungsgrundlage
(erschienen im Oktober 1974) |
| Beitrag | 9 | Die Bedeutung von städtischen Hochbausiedlungen
im Zusammenhang mit Fragen der Lufthygiene und
Ventilation |
| Beitrag | 10 | Die Kleinwetterlagen der Region Bern |
| Beitrag | 11 | Mikroklimatische Analyse einer bestimmten Siedlungsstruktur
am Beispiel des Tscharnergutes |
| Beitrag | 12 | Zusammenfassung und ungelöste Probleme |

Ergänzungen und Aenderungen dieser Aufstellung bleiben vorbehalten