

Handbuch für Solarplaner

**ENET**  
9201022-2

# METEONORM

Meteorologische Grundlagen für  
die Sonnenenergienutzung

ausgearbeitet durch



im Auftrag des

**Bundesamtes für Energiewirtschaft**

Ausgabe 1995

EF Nr. 194100

## Impressum

Herausgeber: Bundesamt für Energiewirtschaft

Autoren: Jan Remund  
Esther Salvisberg  
Stefan Kunz



Computerprogramm: Zu diesem Handbuch gehört das Programm *METEONORM* Version 2.0 für Personal Computer, lauffähig unter WINDOWS 3.1 (oder höher).

Copyright ©: Bundesamt für Energiewirtschaft, 3003 Bern, Juni 1995  
Auszugsweiser Nachdruck unter Quellenangabe gestattet.

Bezugsquelle: INFOENERGIE  
Postfach  
CH-5201 Brugg  
Tel. ++41 (0)56 41 60 80 / Fax ++41 (0)56 41 20 15  
**neu ab Nov. 95:** Tel.: ++41 (0)56 441 60 80  
Fax: ++41 (0)56 441 20 15

Haftung: Die in diesem Handbuch enthaltenen Angaben sind ohne Gewähr und können ohne weitere Benachrichtigung geändert werden. Die Programmentwickler gehen hiermit keinerlei Verpflichtung ein. Das in diesem Handbuch beschriebene Computerprogramm wird auf Basis einer Lizenz pro Standort (mit der Verpflichtung, es nicht weiterzugeben) geliefert. Es sind daraus keine Haftungsansprüche ableitbar. Es obliegt dem Anwender, die Richtigkeit und Plausibilität durch eine fachgerechte Kontrolle zu überprüfen.

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>KURZ-ÜBERSICHT</b> .....	<b>1</b>
1.1	WAS IST <i>METEONORM</i> ? .....	1
1.2	WAS STECKT DAHINTER ? .....	1
1.3	WELCHE DATEN FÜR WELCHES PROBLEM ? .....	4
1.4	WAS IST ANDERS ALS IN DER ERSTAUSGABE ? .....	4
1.5	WIE GENAU IST <i>METEONORM</i> ? .....	5
<b>2</b>	<b>COMPUTERPROGRAMM</b> .....	<b>7</b>
2.1	INSTALLATION.....	7
2.2	STANDARD AUSWERTUNGEN .....	8
2.2.1	Ein Beispiel zum Einstieg .....	8
2.2.2	Programmübersicht.....	10
2.2.2.1	Einleitung.....	10
2.2.2.2	Datei .....	11
2.2.2.3	Format.....	11
2.2.2.4	Standort.....	14
2.2.2.5	Basisdaten.....	17
2.2.2.6	Fläche.....	17
2.2.2.7	Horizont .....	17
2.2.2.8	Auswertung .....	18
2.2.2.9	Info .....	18
2.2.3	Beispiele .....	19
2.3	SCHNITTSTELLEN.....	22
2.4	SPEZIALANWENDUNGEN .....	22
2.5	BEZUG, LIZENZRECHTE.....	25
<b>3</b>	<b>DATEN-GRUNDLAGEN</b> .....	<b>27</b>
3.1	SONNENDATEN.....	27
3.1.1	Astronomie .....	27
3.1.1.1	Die Sonne.....	27
3.1.1.2	Die Solarkonstante .....	27
3.1.1.3	Das System Sonne-Erde .....	28
3.1.2	Strahlung auf Horizontalebene ausserhalb der Erdatmosphäre (extraterrestrische Sonnenstrahlung) .....	28
3.1.2.1	Tagesmittel der Bestrahlungsstärke .....	28
3.1.2.2	Monatsmittel .....	30
3.1.2.3	Sonnenscheinstunden.....	30
3.1.3	Maximale Strahlung auf Horizontalebene auf der Erdoberfläche.....	31
3.2	LANGE REIHEN.....	32
3.3	REFERENZSTATIONEN .....	41
3.3.1	Datenbasis Anetz 1983 - 1992 .....	41
3.3.1.1	Beschreibung der Temperatur- und Strahlungsdaten .....	41
3.3.1.2	Beschreibung der Sonnenscheindauer, der Luftfeuchtigkeit und des Windes.....	48
3.3.2	Abgeleitete Strahlungsgrössen .....	53
3.4	DRY: DESIGN REFERENCE YEAR (STUNDENWERTE).....	61
3.5	MITTELWERTE FÜR BELIEBIGE STANDORTE.....	86
<b>4</b>	<b>THEORIE</b> .....	<b>113</b>
4.1	DIE SONNE.....	113
4.2	DIE ZEIT.....	114
4.2.1	Zeitreferenz der <i>METEONORM</i> .....	115
4.3	DIE SONNENBAHN .....	117
4.3.1	Die Sonnenbahn über beliebig geneigten und orientierten Flächen .....	119
4.4	DIE EXTRATERRESTRISCHE SONNENSTRAHLUNG .....	122

4.5	DIE STRAHLUNG AUF DER ERDOBERFLÄCHE .....	123
4.5.1	Direkte und Diffuse Strahlung .....	123
4.5.2	Maximale Strahlung bei wolkenlosem Himmel.....	124
4.5.2.1	Modell für die Globalstrahlung.....	124
4.5.2.2	Modell für die Diffusstrahlung.....	126
4.6	RAUMMODELLE FÜR GLOBALSTRAHLUNG UND TEMPERATUR.....	127
4.6.1	Interpolation der Globalstrahlung .....	127
4.6.1.1	Klimatische Voraussetzungen.....	127
4.6.1.2	Datenbasis .....	127
4.6.1.3	Interpolationsmodell für die Globalstrahlung.....	127
4.6.2	Interpolation der Temperatur.....	129
4.6.2.1	Einleitung.....	129
4.6.2.2	Interpolationsmodell für die Temperatur.....	129
4.7	DIE STRAHLUNG AUF GENEIGTE FLÄCHEN .....	132
4.7.1	Grundkonzept der Berechnung .....	132
4.7.1.1	Modifikation der Direktstrahlung durch einen hohen Horizont.....	133
4.7.1.2	Modifikation der Diffusstrahlung durch einen hohen Horizont.....	133
4.7.2	Berechnung von Monatsmittelwerten .....	134
4.7.2.1	Berechnung der monatlichen Diffusstrahlung horizontal.....	135
4.7.2.2	Die monatliche Strahlung auf geneigte Flächen.....	136
4.7.3	Berechnung von Stundenwerten .....	138
4.7.3.1	Berechnung der Strahlungskomponenten bei gegebener Globalstrahlung horizontal.....	138
4.7.3.2	Berechnung der Globalstrahlung und Diffusstrahlung auf geneigte Flächen „Perez-Modell“.....	139
4.8	REFERENZJAHRE (DRY) .....	140
4.8.1	Einleitung.....	140
4.8.2	Formate und Parameter der DRY-Datensätze.....	141
4.8.3	Herstellung der DRY .....	141
4.9	GENERIERTE ZEITREIHEN .....	143
4.9.1	Einleitung.....	143
4.9.2	Stochastische Generierung der Globalstrahlung .....	143
4.9.2.1	Generierung von Tageswerten aus Monatswerten.....	143
4.9.2.2	Generierung von Stundenwerten aus Tageswerten .....	144
4.9.3	Generierung der Temperatur .....	150
4.9.3.1	Einleitung.....	150
4.9.3.2	Konzept der Generierung .....	150
4.9.3.3	Bestimmung der Umformungsfaktoren.....	154
4.9.3.4	Bestimmung der Tagesgangregionen .....	157
4.9.3.5	Schlussfolgerungen.....	158
4.9.4	Generierung der Ergänzungsparameter .....	161
4.9.4.1	Taupunkttemperatur und relative Luftfeuchtigkeit .....	161
4.9.4.2	Feuchttemperatur .....	163
4.9.4.3	Bewölkungsgrad.....	165
4.9.4.4	Langwellige Strahlung .....	167
4.9.4.5	Wind.....	169
4.9.4.6	Luftdruck.....	170
4.10	HEIZGRADTAGE .....	171
5	<b>WEITERFÜHRENDE HINWEISE .....</b>	<b>173</b>
6	<b>LITERATUR .....</b>	<b>175</b>
7	<b>ABKÜRZUNGEN UND SYMBOLE .....</b>	<b>179</b>
8	<b>GRÖSSEN UND EINHEITEN .....</b>	<b>181</b>
8.1	DEFINITION DER PARAMETER.....	181
8.2	UMRECHNUNGSFORMELN.....	183
9	<b>AUSLANDSTANDORTE .....</b>	<b>185</b>

# 1 Kurz-Übersicht

## 1.1 Was ist METEONORM?

**METEONORM** ist ein umfassendes klimatologisches Grundlagenwerk zur Sonnenenergienutzung:

- ein **Kataster**, welcher flächendeckend die wichtigsten schweizerischen Klimadaten zur Sonnenenergienutzung enthält. Daten einiger europäischer Stationen sind ebenfalls integriert.
- ein **Computerprogramm**, mit dessen Hilfe Klimadaten berechnet werden können.
- ein **Nachschlagewerk**, in welchem die wesentlichsten klimatologischen Grundlagen zur Sonnenenergienutzung zusammengestellt sind.
- eine **Datenbasis für Dimensionierungsprogramme** im Bereich der passiven, aktiven und photovoltaischen Nutzung der Sonnenenergie, ausgestattet mit zahlreichen Datenschnittstellen.
- ein **Normierungswerk**, welches Entwicklern und Anwendern von Dimensionierungsprogrammen ermöglicht, auf eine umfassende, einheitliche, und breit verfügbare Datenbasis zuzugreifen.

## 1.2 Was steckt dahinter ?

Hinter **METEONORM** stecken umfangreiche **Datengrundlagen** des nationalen Wetterdienstes (Schweizerische Meteorologische Anstalt SMA) und weiterer, auch ausländischer Institutionen, sowie **Auswertungen** von METEO-Daten im Rahmen von Energieforschungsprogrammen und **Berechnungsmodelle**, welche im Rahmen internationaler **Forschungsprojekte** entwickelt wurden.

**METEONORM** ist primär ein Verfahren zur **Berechnung der Strahlung auf beliebig orientierte Flächen für beliebige Standorte**. Dieses Verfahren besteht aus Daten und Algorithmen, welche in einem definierten Ablauf kombiniert werden. Dieser Ablauf beginnt damit, dass der Benutzer den Standort bestimmt, für welchen er meteorologische Daten benötigt und endet mit der Bereitstellung der Daten in der gewünschten Struktur.

Das Verfahren ist in Abb.1.2.2 mittels eines Ablaufschemas summarisch dargestellt. Die Erläuterung der verwendeten Abkürzungen befindet sich in Kapitel 7. Das Schema ist von oben nach unten zu durchlaufen und enthält folgende Elemente (Abb. 1.2.1).

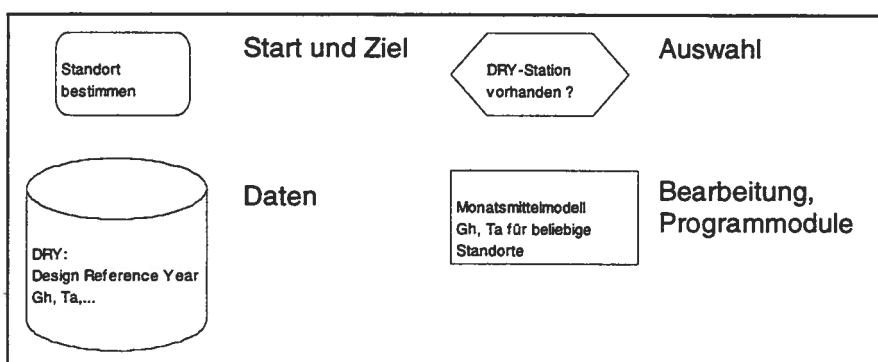


Abb. 1.2.1: Bedeutung der Symbole im Ablaufschema (Abb. 1.2.2)

Das Verfahren kombiniert je nach Anforderung durch den Benutzer bis zu vier Berechnungsmodelle miteinander. Falls für einen beliebigen Standort ohne nahegelegene meteorologische Station Strahlungsdaten in Stundenwert-Auflösung zur Verfügung gestellt werden sollen, werden gemäss Abb.1.2.2 folgende Berechnungsmodelle hintereinander durchlaufen (Tab. 1.2.1):

Tab. 1.2.1: Tabelle der sequentiell hintereinander geschalteten Berechnungsmodule zur Generierung von stündlichen Strahlungsdaten an einem Standort ohne Messung

Interpolation mit Monatsmittel-Modell $G_h, T_a$	Räumliche Interpolation von Globalstrahlung horizontal und Temperatur aufgrund von Stationsdaten des Anetz unter Berücksichtigung von Höheneffekten, topographischer Lage, Regionalisierung, etc.
Stundenwertgenerator $G_h, T_a$	Stochastische Generierung von Zeitreihen von Globalstrahlung horizontal und Temperatur, welche eine natürliche Variation beinhalten, jedoch im Monatsmittel dem Mittelwert von 10 Jahren entsprechen
Strahlungszерlegung $G_h \rightarrow D_h, B_n$	Zerlegung der Globalstrahlung in ihre Komponenten Diffus- und Direktanteil
$G_k$ geneigt mit Horizonteffekt, Stundenmodell	Berechnung der Globalstrahlung auf beliebig orientierte Flächen unter Berücksichtigung eines allfälligen Horizontes, welcher die Globalstrahlung reduziert

Dieser Ablauf wird in der Programmdokumentation in Kap. 2.2.1 (Ein Beispiel zum Einstieg) detailliert erläutert.

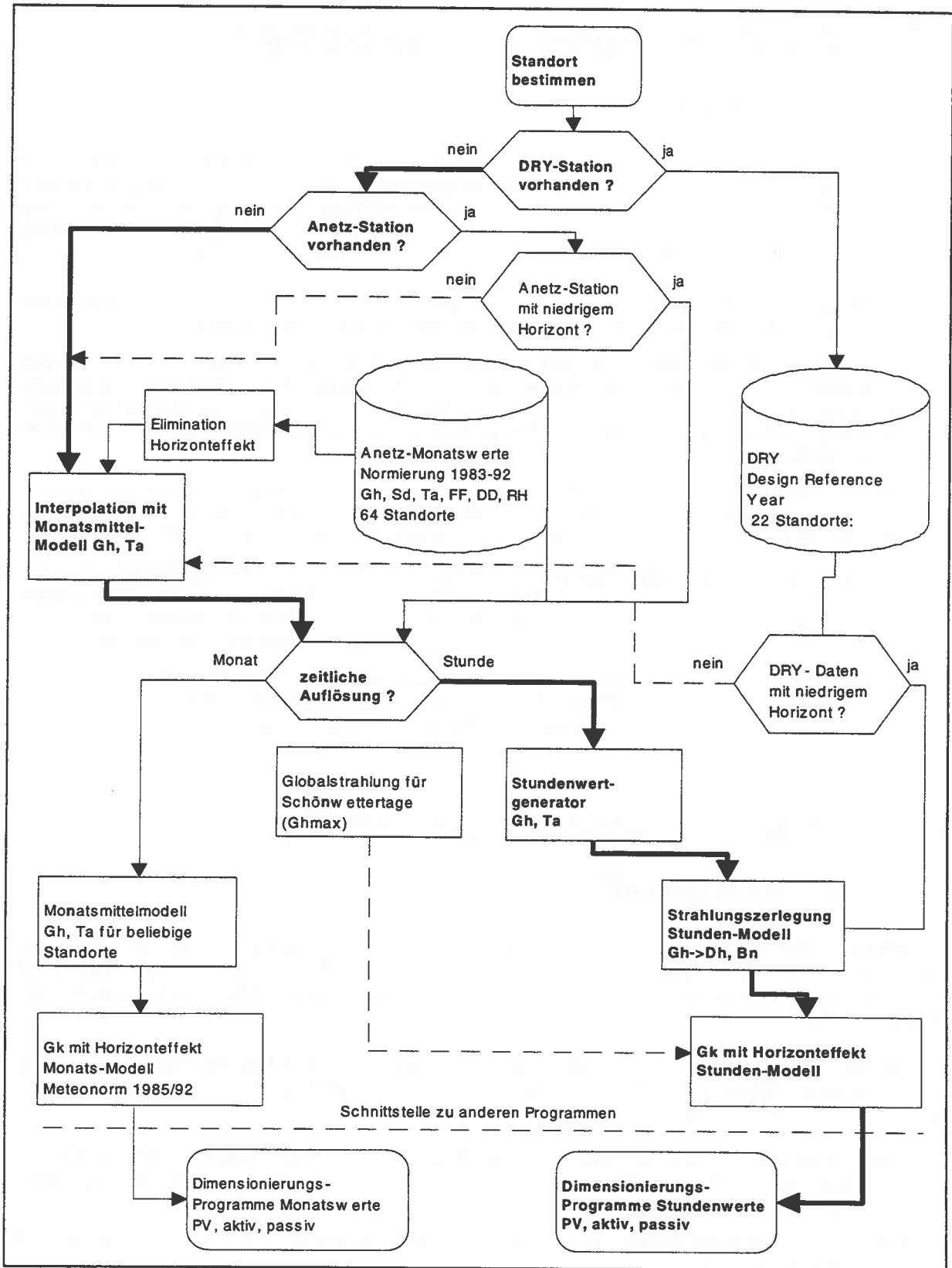


Abb. 1.2.2: Ablaufschema der Konzeption von **METEONORM**. Das beschriebene Beispiel ist fett hervorgehoben.

## 1.3 Welche Daten für welches Problem ?

Der Benutzer muss aus der Vielzahl von möglichen Verfahren in **METEONORM** zur Erstellung von Datengrundlagen das geeignete für seine Bedürfnisse auswählen. Um den Benutzern Informationen in umfassender Weise zur Verfügung zu stellen, beinhaltet **METEONORM** neben gemessenen auch eine Fülle von abgeleiteten Parametern. Die unterschiedlichen Daten sind auch bezüglich Repräsentativität und Qualität zu beurteilen. Folgende Entscheidungskriterien sind primär anzuwenden:

- Bei Fragen der **zeitlichen Auflösung** sind Monatswerte den Stundenwerten vorzuziehen, wenn dies das nachfolgende Berechnungsverfahren zulässt (Effizienz, Datenqualität).
- **Gemessene Monatswerte und interpolierte Monatswerte** sind von ähnlicher Qualität (Genauigkeit). Messwerte repräsentieren die spezifisch lokalen Eigenschaften des Standorts, sind daneben aber immer auch mit Messfehlern behaftet, welche bei Interpolationen eher ausgeglichen werden. Daher in grösserer Entfernung zu meteorologischen Stationen interpolierte Daten verwenden.
- **Design Reference Year** - Daten (DRY's) sind primär für Anwendungen zu verwenden, in deren Zusammenhang sie erstellt und getestet wurden (Gebäudesimulation), da sie - ähnlich wie generierte Daten - teilweise aus Originaldaten via Transformationen erzeugt wurden.
- Die **Strahlung auf geneigte Flächen** ist womöglich innerhalb von **METEONORM** und nicht durch ein nachfolgendes Dimensionierungsprogramm zu berechnen. So wird sichergestellt, dass einheitlich mit einem aktuellen, geprüften Algorithmus (Perez et al.,1987) und einem einheitlichen Zusatzalgorithmus zur Berücksichtigung des Horizonteffekts gerechnet wird.
- **Abgeleitete Parameter** wie beispielsweise die Diffusstrahlung, die Himmelsstrahlung, die Taupunkttemperatur etc. welche nicht aus Mess-, sondern aus berechneten Daten erzeugt werden, weisen aus Gründen der Fehlerfortpflanzung grössere Ungenauigkeiten auf.

## 1.4 Was ist anders als in der Erstausgabe ?

Die **METEONORM** Erstausgabe von 1985 umfasste neben meteorologischen Informationen auch umfassende Berechnungsverfahren zur Bestimmung des Bruttowärmeertrags von thermischen Flachkollektoren, sowie weitere ergänzende Hinweise zu Dimensionierungsfragen (z.B. Zusatz Photovoltaik von 1992).

An Stelle dieser Teile treten in der aktuellen Ausgabe Hinweise auf Dimensionierungsprogramme für die verschiedenen Bereiche der Sonnenenergienutzung. Der meteorologische Teil wurde jedoch umfassend überarbeitet und ergänzt:

- **Neue Datenbasis:** Messungen des Anetz seit 1983 sind vollständig integriert. Die Neuausgabe weist eine bessere Datenqualität auf. Neu integriert ist eine internationale Datenbasis, bestehend aus Strahlungs- und Temperaturwerten von 95 weiteren europäischen Stationen.
- **Neue Interpolationsverfahren:** Monatswerte der Globalstrahlung und Temperatur werden mit verbesserten Verfahren interpoliert.
- **Zeitliche Auflösung:** Neu stehen Stundenwerte für entsprechende Simulationsprogramme zur Verfügung, in der Ausgabe 1985 war die tageszeitliche Variation nur für wenige Standorte in Form von Monatstabellen verfügbar.
- **Horizont:** Die aktuelle Ausgabe erlaubt neu den Einbezug eines Horizonts in die Berechnung der Strahlung.

- **Strahlungsmodell:** Die Berechnung der Strahlung auf geneigte Flächen basiert auf neuesten Forschungsergebnissen.
- **Computerprogramm:** Die Neuausgabe enthält neben der vorliegenden Dokumentation ein umfassendes Computerprogramm, welches auf Personal-Computer (IBM-kompatiblen) unter WINDOWS 3.1 (oder höher) läuft.

## 1.5 Wie genau ist METEONORM ?

**METEONORM** weist gegenüber der Erstausgabe 1985 teilweise andere Basisdaten und auch andere Resultate aus Berechnungsverfahren auf. Innerhalb der vorliegenden Ausgabe werden zudem für gleiche Standorte oder Flächenorientierungen je nach gewähltem Verfahren (Monatsmodell, Stundenmodell) unterschiedliche Werte angegeben. Diese Inkonsistenzen sind im Rahmen des umfassenden Konzepts nicht vermeidbar. Für den Benutzer ist jedoch stets nachvollziehbar mit welcher Datenbasis und welchen Algorithmen gerechnet wurde. Hinweise darauf, welche Daten und Algorithmen verwendet werden sollen, finden sich in Kapitel 1.3. Untenstehend sind zusätzlich einige Hinweise auf die Abweichungen verschiedener Datenbasen und Algorithmen zusammengefasst.

- **Qualität der Basisdaten:**

In der Erstausgabe von **METEONORM** (1985) wurden die Strahlungswerte aus Sonnenscheindauer-Messungen berechnet. Heutige Analysen der damaligen Datenbasis zeigen, dass die Monatswerte bis zu 10% überschätzt wurden (Frühsommer), die Jahreswerte bis zu 5%.

- **Klimatische Schwankungen:**

**METEONORM** basiert auf 10-jährigen Messreihen. Vergleiche mit längeren Reihen zeigen, dass die Abweichung der mittleren jährlichen Strahlungssumme aufgrund der Wahl der Periode für alle Stationen unter 2% liegt.

- **Umrechnungsmodelle:**

Die in **METEONORM** verwendeten Modelle berechnen die Strahlung auf geneigte Flächen. Je nach Datenbasis sind mehrere und unterschiedliche Modelle hintereinandergeschaltet. Je nach Berechnungsart - Monatswerte oder Stundenwerte - sind die Resultate verschieden. Es sind daher bei der Weitergabe von Resultaten jeweils verwendete Datenbasis und Modelle mitzuteilen, damit die Berechnungen nachvollziehbar bleiben.

- ◆ Das **Monatsmodell** hat die Tendenz, die Strahlungssumme auf geneigte Flächen eher zu unterschätzen. Die Abweichung zu Messungen liegt in Einzelmonaten bei  $\pm 3\%$ , im Jahresmittel bei  $-2\%$ .

- ◆ Das **Stundenmodell** hat die Tendenz, die Strahlungssumme auf geneigte Flächen eher zu überschätzen. Die Abweichung zu Messungen liegt in Einzelmonaten bei  $\pm 3\%$ , abgesehen von den Wintermonaten, wo die Abweichung bei  $+10\%$  liegt. Im Winter ist jedoch die Einstrahlungssumme sowieso sehr gering, so dass sich der Fehler auf das Jahresmittel nur schwach auswirkt; er liegt bei  $+2\%$ .

Grundsätzlich soll das Monatsmodell dort Verwendung finden, wo anschliessend mit Monatswerten weitergearbeitet wird, das Stundenmodell soll für Anwendungen verwendet werden, wo Stundenwerte für weitere Analysen benötigt werden.

Generell müssen sich die Benutzer von **METEONORM** bewusst sein, dass Datenbasis und Modelle die Realität nur annähernd beschreiben. Die Schwankung der Strahlungssumme von Jahr zu Jahr ist jedoch grösser, als die Ungenauigkeit der Modelle.



## 2 Computerprogramm

### 2.1 Installation

Die Installation erfolgt mit den mitgelieferten Disketten. Der Ablauf ist im Installationsprogramm, das automatisch gestartet wird, genau angegeben. Sie müssen nur die erste Diskette in ein Floppy-Laufwerk einschieben und das Programm **install.exe** über den Datei Manager ausführen.

Das Programm erfordert einen Personal Computer (IBM-kompatibel) mit einem 386-er Chip (oder höher) und WINDOWS 3.1 (oder höher). Damit die Rechenzeiten in einem annehmbaren Rahmen bleiben, sollte der Rechner einen Coprozessor aufweisen. Auf der Harddisk muss im Minimum 10 MB Platz frei sein.

**Vor der Installation sind unbedingt die Lizenzbedingungen zu lesen (Kap. 2.5).**

Das Programm wird normalerweise im Windows-Verzeichnis in dem vom Installationsprogramm neu angelegten Verzeichnis MN95 installiert. Einige Files werden auch in das Windows-System-Verzeichnis kopiert (Programme, die für die Steuerung des exe - Programms dienen). Auf Wunsch können die Files aber auch in andere Verzeichnisse kopiert werden.

Das MN95-Verzeichnis besteht aus den 3 Unterverzeichnissen Data, Import und Output. Im MN95-Verzeichnis selbst befindet sich das MN95.ini-File, in dem die Pfade beschrieben sind, das MN95.exe-File und einige kleinere Files (icons). Mit diesem File oder mit einem vom Installationsprogramm selbst erzeugten Knopf können Sie das Programm starten. Im Data-Verzeichnis befinden sich die Datenbanken, die Stationswerte, die Horizonte und die Steuerfiles (zumeist in binärer Form). Das Import-Verzeichnis ist zu Beginn leer. Es ist für Import-Files (Monat oder Stundenwerte) vorgesehen. Ins anfänglich ebenfalls leere Output-Verzeichnis werden die Ausgabedateien geschrieben.

## 2.2 Standardauswertungen

### 2.2.1 Ein Beispiel zum Einstieg

Das **METEONORM**-Programm liefert Meteo-Daten für jeden Standort in der Schweiz in Monats- oder in Stundenwertauflösung in verschiedenen Ausgabeformaten. Zum Einstieg zeigen wir anhand eines einfachen Beispiels die wichtigsten Punkte des Programms. Das Hauptfenster ist in Abb. 2.2.2 abgebildet.

**Beispiel:** Für eine Dimensionierung im Dorfkern von Beromünster benötigen Sie Stundenwerte der Globalstrahlung auf eine 45° geneigte und nach Süden gerichtete Fläche sowie die Temperatur. Wenn Sie keine eigenen Daten besitzen, gehen Sie folgendermassen vor:

1. Wählen Sie *Standort / Wählen*, um den Standort zu bestimmen.
2. Wählen Sie *Gemeinden CH*, um eine der 3020 Gemeinden der Schweiz auswählen zu können. Für jede Gemeinde sind die Koordinaten und die Höhe des Gemeindegewerkes gespeichert. Schreiben Sie *Beromünster* (oder nur einen Teil des Namens) ins leere Feld (neben *Standort suchen*), und drücken Sie mit der Maustaste auf den Doppelpfeil (»). Im rechten Feld erscheint der Name der Ortschaft (oder der Ortschaften, die mit den gewählten Buchstaben anfangen). Klicken Sie auf den Namen, um die Ortschaft auszuwählen. Die wichtigsten geographischen Daten erscheinen dann in den linken Anzeigefeldern. Drücken Sie den Knopf *Auswählen*, um mit dem Standort zu arbeiten.
3. Wieder im Hauptmenü ist nun der Standort im Statusfeld angezeigt. Dieses Feld zeigt Ihnen die wichtigsten Informationen und Einstellungen, die Sie gewählt haben. Wählen Sie *Basisdaten / Monatswerte*. Damit werden nun die Monatswerte für Beromünster interpoliert und im Ausgabefeld gezeigt (in Standardeinheiten [kWh/m<sup>2</sup>] und [°C]).
4. Wählen Sie *Basisdaten / Stundenwerte*, um Stundenwerte zu generieren. Nun werden aus den Monatsmittelwerten Stundenwerte generiert. Die Berechnung dauert etwa 1½ Minuten (486-er PC, 33 MHz). Im Anzeigefeld erscheinen die Monatsmittel der gerade berechneten Daten (zuerst die Globalstrahlung, dann die Temperatur).
5. Wählen Sie *Fläche / Ausrichtung*, und geben Sie die dort unter Neigung 45° ein, und belassen Sie das Azimut bei 0° (Richtung Süden).
6. Wählen Sie *Auswertung / Stundenwerte*, um die Strahlung auf die geneigte Fläche zu berechnen. Diese Berechnungsschritte dauern ungefähr 2 Minuten. Die gerade berechneten Daten erscheinen im Anzeigefeld. Sie können auch direkt nach der Stations- und Flächenauswahl diesen Punkt anwählen, die nötigen Zwischenschritte werden automatisch ausgeführt. Die Monatsmittelwerte der berechneten Parameter können Sie mit dem Knopf *Auswertung ansehen* anschauen oder unter *Datei / Auswertung drucken* ausdrucken.
7. Unter *Datei / Speichern* können Sie die Monatsmittel (*Monat*) als auch die Stundenmittel (*Stunden*) speichern lassen. Im sogenannten Standard-Ausgabefeld werden die Globalstrahlung, Diffusstrahlung, Globalstrahlung geneigt, Diffusstrahlung geneigt, die direktnormale Strahlung und die Lufttemperatur aufgelistet (dieses Format wird benutzt, wenn kein anderes im Menü *Format / Ausabeformate* gewählt wurde).

Wie Ihnen vielleicht aufgefallen ist, **werden die „Pulldown-Menüs“ normalerweise in der Reihenfolge von links nach rechts ausgewählt**. In der Statusanzeige werden die wichtigsten Standort- und Flächendefinitionen dargestellt. Mit den dort angebrachten Knöpfe können die gebräuchlichsten Befehle ausgeführt werden. Nicht zwingend ist die Wahl der Menüs *Format*, *Basisdaten*, *Fläche* und *Horizont*. *Standort* muss definiert werden, um die *Auswertung* durchführen zu können. In der Abb. 2.2.1 ist der oben gewählte Weg fett hervorgehoben. Wie die anderen Wege eingeschlagen werden können und welche die wichtigsten Entscheidungspunkte sind, wird in den folgenden Kapiteln beschrieben.

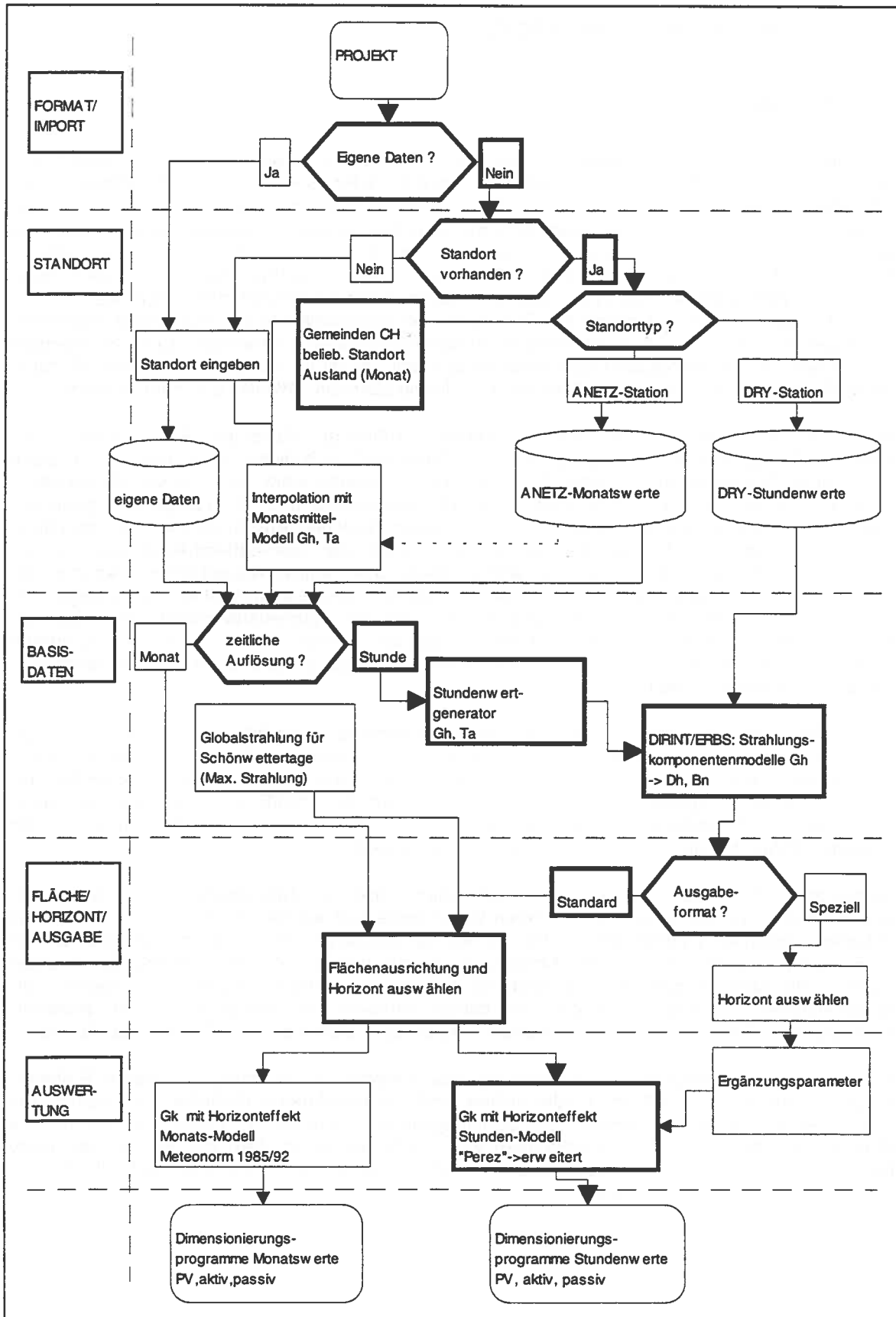


Abb. 2.2.1: Ablaufschema des METEONORM-Programms. Das vorhin beschriebene Beispiel ist fett hervorgehoben.

## 2.2.2 Programmübersicht

### 2.2.2.1 Einleitung

Um Meteo-Daten berechnen zu lassen, muss man sich zuerst überlegen, welche Datenbasis verwendet werden soll: Sind eigene Daten vorhanden oder soll eine der Datenbasen der **METEONORM** verwendet werden? Je nach dem, welche Datenbasis verwendet wird, muss der Standort ausgewählt werden, da **die Standorte mit den Datenbasen gekoppelt sind**. Wollen Sie zum Beispiel mit DRY-Daten rechnen, so müssen Sie den gewünschten DRY-Standort auswählen. Befindet sich Ihr Projekt in der Nähe einer DRY- oder eines Anetz-Standortes, so können diese Stationen ausgewählt werden. Abb. 3.3.1 zeigt den Standort der Anetz-Stationen und in Abb. 3.4.1 - 3.4.23 sind die repräsentativen Gebiete der DRY-Stationen dargestellt. Mit der Wahl dieser Standorte werden bei den nächsten Schritten die entsprechenden Stationsdaten verwendet. Liegt Ihr Standort weitab von einem Gemeindehauptort oder einer Messstation, so ist es ratsam, einen neuen Standort einzugeben (Menu *Standort / Eingeben/Editieren* oder Menu *Standort / Wählen* und dann *Ändern*).

Die nächste wichtige Frage betrifft nun die zeitliche Auflösung. Benötigen Sie Stunden- oder Monatswerte? Einzig bei der Verwendung von DRY-Daten stellt sich diese Frage nicht, da für diese Standorte bereits Stundenwerte vorliegen. Falls Sie sich für Stundenwerte entscheiden (*Basisdaten / Stundenwerte*) werden nun die Stundenwerte der Globalstrahlung und der Temperatur generiert. Spätestens zu diesem Zeitpunkt müssen Sie entscheiden, welches Ausgabeformat Sie benötigen (*Format / Ausgabeformate*). Wählen Sie das Standard- oder das User-defined-Ausgabeformat, so können Sie die Flächenausrichtung beliebig wählen. Beim User-defined-Ausgabeformat können Sie die Reihenfolge der Parameter frei wählen. Dieses Format wird gespeichert. Wählen Sie hingegen ein fixes Format für ein Dimensionierungsprogramm, so sind die Flächenausrichtung und auch die Einheiten vorgegeben. Wenn nur die Einheiten geändert werden sollen (und die Parameter beibehalten) so kann dies mittels *Format / Einheiten (User defined)* geschehen. Als Folge davon wird das User-defined-Format verwendet.

Falls das Standard- oder das User-defined-Ausgabeformat gewählt wird, kann nun die Flächenausrichtung angegeben werden (*Fläche / Ausrichtung*). Dies ist auch der Zeitpunkt, um einen allfälligen Horizont auszuwählen (*Horizont / Wählen*) oder, wenn er noch nicht vorhanden ist, einzugeben (*Horizont / Eingeben*). Nach diesen Schritten folgt die eigentliche Auswertung. Bei dieser werden die noch nicht vorhandenen und benötigten Parameter berechnet. Die Berechnungen der Stundenwerte können mit der Escape-Taste abgebrochen werden.

Das Hauptfenster (Abb. 2.2.2) ist in 2 Teile gespalten: Links die Statusanzeige und rechts das Auswertungsfenster, wo die jeweils berechneten Daten angezeigt werden. In der Statusanzeige sind die wichtigsten gewählten Definitionen des Standortes, der Fläche und des Horizontes dargestellt. Hier können die wichtigsten Befehle mit den Knöpfen angewählt werden. Mit den Befehlsknöpfen unten rechts können die Sprache geändert (*Sprache*), die Monatsauswertungen (*Auswertung ansehen*), die Standortdefinitionen (*Standort ansehen*) und ganze Stunden- und Monatsfiles (*\*.dat ansehen*) angesehen werden. Als Sprachen stehen Deutsch, Französisch, Italienisch und Englisch zur Auswahl.

Bei den Strahlungsdaten wird bei der Bezeichnung unterschieden, ob Strahlungssummen in Einheiten von Energie pro Fläche (z.B. [kWh/m<sup>2</sup>]) oder mittlere Bestrahlungsstärke in Einheiten von Leistung pro Fläche (z.B. [W/m<sup>2</sup>]) angezeigt werden. Die Strahlungssumme wird als „H“ bezeichnet, die mittlere Bestrahlungsstärke als „<G>“. Die Strahlungsart wird, nicht wie es im Text der Fall ist, als Index angeführt, sondern mit einem untergesetzten Strich (underscore) angehängt (z.B. H\_Gh für Strahlungssumme der Globalstrahlung).

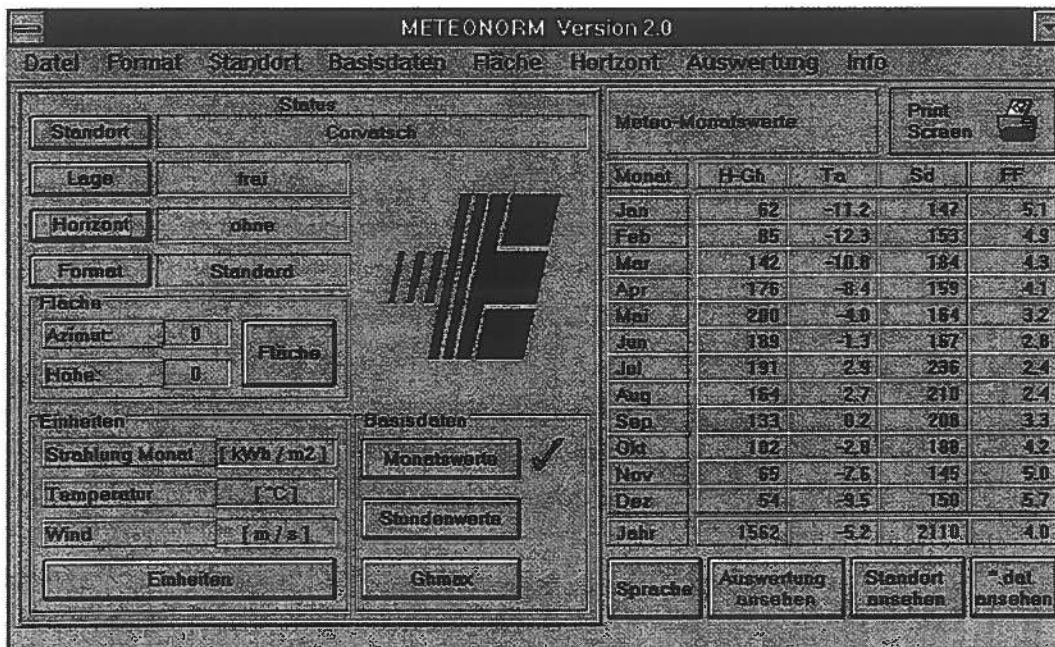


Abb. 2.2.2: Hauptfenster des **METEONORM**-Programms mit Monatswerten vom Corvatsch.

### 2.2.2.2 Datei

Dieses Menü erlaubt das Speichern der Monats- und Stundenwerte, das Drucken und ermöglicht das Verlassen des Programms. Sowohl die Standortinformationen als auch die Auswertungen (Monatswerte) können ausgedruckt werden. Der Bildschirm kann direkt über einen Befehlsknopf im Hauptbildschirm (*Print Screen*) gedruckt werden. Für die Namen der Ausgabefiles wird jeweils ein Vorschlag gemacht, der aus Teilen des Standortnamens und der Erweiterung „dat“ besteht. Die Daten werden ins Output-Verzeichnis geschrieben.

### 2.2.2.3 Format

Dieses Menü steuert die Eingabe von eigenen Daten (*Format / Import*), die Ausgabe im gewünschten Format (*Format / Ausgabeformate*) und - beim User-defined-Ausgabeformat - die Wahl der Einheiten (*Format / Einheiten*).

Stehen eigene Daten zur Verfügung, können diese über die Importfunktion eingelesen werden. Die ausführliche Beschreibung der Importfunktionen finden Sie im Kapitel 2.4 (Spezialanwendungen). Es stehen nur 2 Formate für den Import zur Wahl: Die Monatsdaten können eingelesen oder von Hand eingegeben werden, die Stundendaten werden mit einem fixen Format eingelesen.

Die Formate erlauben die Einstellung der gewünschten Parameter für die Ausgabefiles. Diese sind für die Stundenwertberechnung definiert. Für Monatswerte kann nur ein Standardformat verwendet werden. Die Ausnahme bilden die Heizgradtage (HGT<sub>12/20</sub>) (Kap. 4.10), die im User-defined-Ausgabeformat angewählt werden können und nur bei der Monatsauswertung zur Verfügung stehen. Die ausgegebenen Parameter hängen vom Standorttyp ab. Es werden jeweils alle gespeicherten und interpolierten Parameter ausgegeben.

Tab. 2.2.1: Definition der Ausgabeformate: Anzahl und Abfolge der Parameter. Symbole: y: Jahr, m: Monat, dm: Tag im Monat, dy: Tag im Jahr, h: Stunde, hy: Stunde im Jahr, Nr: Stations-Nummer, wc: weather code, N1: cloud type 1, N1a: cloud amount 1. Die restlichen Symbole sind in Kap. 7 erklärt.

Format	Kopfzeilen	Parameter	Trennzeich.	Einheiten
<b>Stundenwerte:</b>				
Standard	-	m, dm, h, hy, $G_{Gh}$ , $G_{Dh}$ , $G_{Gk}$ , $G_{Dk}$ , $G_{Bn}$ , Ta	Tabulator	Monat: [kWh/m <sup>2</sup> ], Stunde: [W/m <sup>2</sup> ], [°C]
HELIOS	-	y, dy, dm, m, h, $G_{Gh}$ , $G_{GvE}$ , $G_{GvS}$ , $G_{GvW}$ , $G_{GvN}$ , $G_{Dh}$ , $G_{Lin}$ , $G_{Lv}$ , Ta, RH, FF, FFaS, FFaW, FFaN, FFaE, $G_{Bn}$	Tabulator	[W/m <sup>2</sup> ], [°C], [%], [m/s]
DOE	-	Nr, Ta, Tp, Td, DD, FF, p, wc, N, N1a, N1, $G_{Gh}$ , $G_{Bn}$ , $G_{Dh}$ , y, m, dm, h	Tabulator	[btu/ft <sup>2</sup> h], [F], [1/100 inch Hg]
SUNCODE	-	$G_{Bn}$ , $G_{Gh}$ , Ta, Td, FF	Tabulator	[kJ/m <sup>2</sup> h], [1/10 °C], [1/10 m/s]
MATCH	-	Ta, Td, $G_{Gh}$ , $G_{Dh}$ , $G_{Bn}$ , N, FF	Komma (4 Std. auf einer Zeile)	[W/m <sup>2</sup> ], [1/10 °C], [kt]
PVSYST	6	$G_{Gh}$ , $G_{Dh}$ , Ta, FF	Tabulator	[W/m <sup>2</sup> ], [°C], [m/s]
EMPA-Basis	-	Nr, y, dy, h, FFE, FFN, Ta, RH, p, RR, $G_{Gh}$ , Sd, FF, Td, Tp, N	Tabulator	[W/m <sup>2</sup> ], [°C], [m/s], [cm], [h], [hPa]
User defined	4 / -	Auswahl aus: Nr, y, dm, dy, h, hy, $\epsilon_h$ , $\epsilon_v$ , Ta, Td, Tp, RH, DD, FF, p, N, $G_{Gh}$ , $G_{Dh}$ , $G_{Gk}$ , $G_{Dk}$ , $G_{Bn}$ , $G_{Lin}$ , $G_{Lv}$ , $G_R$ oder $H_{Gh}$ , $H_{Dh}$ , $H_{Gk}$ , $H_{Dk}$ , $H_{Bn}$ , $H_{Lin}$ , $H_{Lv}$ , $H_R$ . Reihenfolge wählbar	div.	div.
<b>Monatswerte:</b>				
Standard: DRY	5	Monat, $H_{Gh}$ , $H_{Dh}$ , $H_{Gk}^*$ , $H_{Dk}^*$ , $H_{Bk}^*$ , Ta, Sd, N, Td, Tp, p, RR, RH, FF, FFE, FFN	Tabulator	[kWh/m <sup>2</sup> ], [°C], [hPa], [m/s]
Standard: Anetz	5	Monat, $H_{Gh}$ , $H_{Dh}$ , $H_{Gk}^*$ , $H_{Dk}^*$ , $H_{Bk}^*$ , Ta, Sd, RH, FF, DD	Tabulator	[kWh/m <sup>2</sup> ], [°C], [%], [m/s], [°]
Standard: übrige	5	Monat, $H_{Gh}$ , $H_{Dh}$ , $H_{Gk}^*$ , $H_{Dk}^*$ , $H_{Bk}^*$ , Ta	Tabulator	[kWh/m <sup>2</sup> ], [°C]
User defined: DRY	5	Monat, $H_{Gh}$ , $H_{Dh}$ , $H_{Gk}^*$ , $H_{Dk}^*$ , $H_{Bk}^*$ oder $\langle G_{Gh} \rangle$ , $\langle G_{Dh} \rangle$ , $\langle G_{Gk} \rangle^*$ , $\langle G_{Dk} \rangle^*$ , $\langle G_{Bk} \rangle^*$ , Ta, Sd, N, Td, Tp, p, RR, RH, FF, FFE, FFN. Zusätzlich Heizgradtage (HGT <sub>12/20</sub> ) als Option	Tabulator	div.
User defined: Anetz	5	Monat, $H_{Gh}$ , $H_{Dh}$ , $H_{Gk}^*$ , $H_{Dk}^*$ , $H_{Bk}^*$ oder $\langle G_{Gh} \rangle$ , $\langle G_{Dh} \rangle$ , $\langle G_{Gk} \rangle^*$ , $\langle G_{Dk} \rangle^*$ , $\langle G_{Bk} \rangle^*$ , Ta, Sd, RH, FF, DD. Zusätzlich Heizgradtage (HGT <sub>12/20</sub> ) als Option	Tabulator	[kWh/m <sup>2</sup> ], [°C], [%], [m/s], [°]
User defined: übrige	5	Monat, $H_{Gh}$ , $H_{Dh}$ , $H_{Gk}^*$ , $H_{Dk}^*$ , $H_{Bk}^*$ oder $\langle G_{Gh} \rangle$ , $\langle G_{Dh} \rangle$ , $\langle G_{Gk} \rangle^*$ , $\langle G_{Dk} \rangle^*$ , $\langle G_{Bk} \rangle^*$ , Ta. Zusätzlich Heizgradtage (HGT <sub>12/20</sub> ) als Option	Tabulator	[kWh/m <sup>2</sup> ], [°C]

\*: Falls Fläche horizontal, wird statt  $H_{Gk}$ ,  $H_{Dk}$  und  $H_{Bk}$  nur  $H_{Bh}$ , bzw. statt  $\langle G_{Gk} \rangle$ ,  $\langle G_{Dk} \rangle$ ,  $\langle G_{Bk} \rangle$  nur  $\langle G_{Bh} \rangle$  herausgeschrieben.

Für die Stundenwertberechnung stehen 8 Formate zur Verfügung: Einerseits Formate für die Dimensionierungsprogramme HELIOS, DOE, MATCH, SUNCODE, PVSYST und andererseits das Standardformat, das User-defined-Format (durch den Anwender definiertes Format) und das Basisformat der EMPA. In Tab. 2.2.1 finden Sie die Parameter und Einheiten, die für die jeweiligen Formate berechnet werden. Im User-defined-Format können Sie selbst die Parameter auswählen, die im Ausgabefile stehen sollen, wobei die Reihenfolge wählbar ist.

Beim User-defined-Format können Sie die Einheiten ändern. Die Grundeinheiten der **METEONORM** sind für die Strahlung bei Monatssummen [ $\text{kWh/m}^2$ ] und für Stundenwerte [ $\text{W/m}^2$ ] und für die Temperatur [ $^{\circ}\text{C}$ ]. Falls die Einheiten geändert werden, gilt als Ausgabeformat das User-defined-Format. Wenn Sie nachträglich ein fixes Ausgabeformat auswählen, werden die Einheiten allenfalls wieder geändert.

Beim User-defined-Format können auf Wunsch 4 Kopfzeilen geschrieben werden. Die 1. Zeile enthält den Namen des Ortes, die 2. die geographische Breite und Länge, die Meereshöhe, die Zeitzone und die interne Zeitreferenz. Die 3. Zeile ist leer und die 4. Zeile enthält die Parameterbeschriftungen.

"Zermatt"								
46.02,-7.45,1638,-1,-30								
Monat	Tag (M)	Std	<G_Gh>	<G_Dh>	<G_Gk>	Ta	Td	<G_Lin>
1	1	1	0	0	0	-8.6	-15.7	225
1	1	2	0	0	0	-9.4	-15.4	222
1	1	3	0	0	0	-9.8	-15.3	221
1	1	4	0	0	0	-10.3	-15.2	219
1	1	5	0	0	0	-10.4	-15.1	219
1	1	6	0	0	0	-11.0	-15.0	217
1	1	7	0	0	0	-11.6	-14.9	216
1	1	8	0	0	0	-11.5	-14.9	216
1	1	9	16	16	12	-11.4	-14.9	216
1	1	10	111	50	59	-11.7	-14.8	215
1	1	11	190	86	136	-10.7	-15.1	227

Abb. 2.2.3: Als Beispiel die ersten 15 Zeilen eines mit dem User-defined-Ausgabeformat geschriebenen Files (mit Kopfzeilen) (Beispiel 3).

## 2.2.2.4 Standort

In diesem Menü können Sie den Standort wählen (*Standort / Wählen*). Grundsätzlich stehen 7 verschiedene Standorttypen zur Wahl: DRY-, Anetz-Standorte, Gemeinden CH (alle Gemeindehauptorte der Schweiz), Beliebiger Standort, Auslandstandort, Standort mit importierten Monatswerten (*User (Monat)*) und Standort mit importierten Stundenwerten (*User (Stunde)*). Mit der Wahl des Standorttyps ist somit auch die Wahl der Datenbasis verbunden. Die DRY- und Anetz-Standorte, die Auslandstandorte und die Gemeindehauptorte befinden sich in einer Datenbank, die nicht abgeändert werden kann. In einer 2. Datenbank befinden sich die von Ihnen definierten beliebigen Standorte und die Importstandorte. Nur auf diese können Sie mit *Standort / Ändern* zugreifen (löschen, ändern, eingeben). Sie können einen gegebenen Standort einfach abändern und in die veränderbare Datenbank überführen, indem Sie statt „Wählen“ „Ändern“ drücken. Auslandstandorte können nur als Importstandorte, für die eigene Daten vorhanden sind, eingegeben werden, da nur innerhalb der Schweiz interpoliert werden kann.

In der fixen Datenbank der **METEONORM** sind 22 DRY-Standorte, 59 Anetz-Standorte, zirka 3020 Gemeinden und 95 Auslandstandorte (Abb. 2.2.5, Tab. 9.1) enthalten. Haben Sie einen DRY-Standort ausgewählt, so werden bei den weiteren Berechnungsschritten automatisch die DRY-Daten (Stundenwerte) gelesen und verarbeitet. Für die Anetz-Stationen sind Monatsmittel gespeichert. Möchten Sie Stundenwerte verwenden, werden diese generiert. Bei den Gemeinden CH werden die Monatsmittel interpoliert (Datenbasis Anetz 1983 - 92) und die Stundenwerte nachfolgend generiert. Bei den beliebigen Standorten werden die Monatswerte ebenfalls interpoliert und die Stundenwerte generiert.

Wenn der Standort des Projekts nicht in der Nähe eines Gemeindehauptortes oder einer Messstation liegt, was vor allem in den Alpen oftmals der Fall sein dürfte, so ist es ratsam, einen neuen Standort einzugeben. Für eine Eingabe müssen im Minimum folgende Parameter bekannt sein: Standortname, Höhe über Meer und Landeskoordinaten (oder geographische Länge und Breite). Fakultativ ist die Eingabe der Zeitzone, der Lage, des Standortkürzels und der internen Zeitreferenz (IZRM). Für die Zeitzone wird standardmässig -1 eingesetzt (Mittleuropäische Zeit (MEZ), im Verhältnis zur universellen Zeit (UTC)). Es können Standorte des Typs beliebiger Standort (nur innerhalb der Schweiz) und der Typen User (Monat) und User (Stunde) eingegeben werden (auch im Ausland).

Die Lage wird als *frei* angenommen. Im Feld *Lagedefinition* kann diese allerdings geändert werden. Diese Lagedefinition ist für die Interpolation und die Generierung von sehr grosser Bedeutung und muss daher sorgfältig ausgewählt werden. Zur Auswahl stehen 14 Lagetypen (Tab. 2.2.2). Welche Lage diese im Gelände einnehmen, zeigt Abb. 2.2.4.

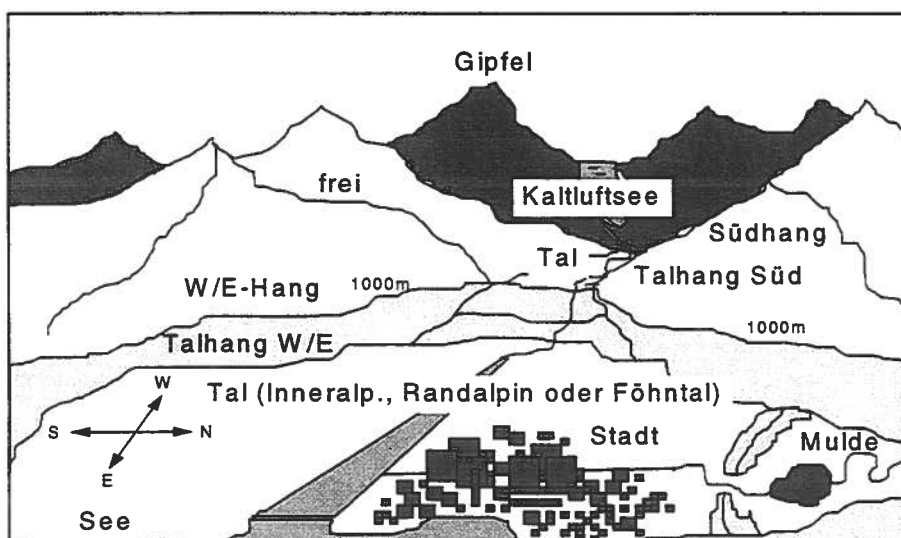


Abb. 2.2.4: Definition der 14 Lagetypen

Tab. 2.2.2: Lagedefinitionen

Lage	Höhenbereich	Merkmale
frei	0 - 4500 m	Freier Standort, offenes Gelände, Nordhang, kein hoher Horizont. Alle Gebiete oberhalb 3000 m.
Mulde	0 - 3000 m	Mulden oder sehr flache Talböden, in denen sich Kaltluft ansammelt. Vor allem im Jura und in den Alpen.
Kaltluftsee	1000 - 2000 m	Grosse Kaltluftseen im Talboden vom Goms und vom Oberengadin.
See	0 - 1000m	Uferbereich von grösserem See. Bis 1 km von Ufer entfernt.
Stadt	0 - 700m	Zentrum von grösserer Stadt (mehr als 100'000 Einw.).
Südhang	0 - 2000 m	Nach Süden gerichteter Hang (ab ca. 10° Neigung) (Hangrichtung SE - S - SW). Im Minimum 200 m oberhalb Talboden.
W/E-Hang	0 - 2000 m	Nach Westen oder Osten gerichteter Hang (ab ca. 10° Neigung) (Hangrichtung SW - W - NW bzw. NE - E - SE). Im Minimum 200 m oberhalb Talboden.
Tal	1000 - 3000 m	Talboden. Talachse sollte Gefälle aufweisen, sonst oftmals Muldenlage.
Inneralpin. Tal	0 - 1000 m	Talboden von grossem inneralpinem Tal (Wallis, Rheintal bei Chur, Magadinoebene,...).
Föhntal	0 - 1000 m	Talboden von Föhntälern der Zentral- und Ostschweiz und des Tessins (Nord- und Südföhn).
Randalpin. Tal	0 - 1000 m	Talboden in voralpiner Region auf der Alpennordseite (Aaretal, Simmental, Tal der Sarine,...).
Talhang Süd	0 - 2000 m	Nach Süden gerichteter Hang (ab ca. 10° Neigung) bis 200 m über Talboden (Hangrichtung SE - S - SW).
Talhang W/E	0 - 2000 m	Nach Westen oder Osten gerichteter Hang (ab ca. 10° Neigung) bis 200 m über Talboden (Hangrichtung SW - W - NW bzw. NE - E - SE).
Gipfel	1000 - 3000 m	Freistehender Gipfel. Übertagt Umgebung in allen Himmelsrichtungen.

Das Standortkürzel besteht aus 1 bis 4 Buchstaben und/oder Ziffern. Standardmässig werden die ersten 4 Buchstaben des Standortes verwendet. Bei den Gemeindehauptorten wird die Gemeindenummer des Bundesamtes für Statistik als Standortkürzel benützt. Die Ausgabefiles beginnen jeweils mit diesem Kürzel. Die interne Zeitreferenz in Minuten (IZRM) gibt den Unterschied zwischen der Mitte eines Intervalls und der vollen Stunde an. Standardmässig wird diese auf -30 gesetzt. Das bedeutet, dass die laufende volle Stunde den Endpunkt der Intervalle markiert. 14 Uhr bedeutet in diesem Fall das Zeitintervall 13-14 Uhr (siehe Kap. 4.2.1).



Abb. 2.2.5: Lage der 95 Auslandstandorte (Tab. 9.1). Die Standorte sind über ganz Westeuropa verteilt. Die Strahlungsdaten stammen vom Globalen Energiebilanz-Archiv (Gilgen, 1994) und von den Testreferenzstationen der EU (Commission of the European Communities, 1985). Die Temperaturdaten sind Müller-Westermeier (1990), dem Handbuch ausgewählter Klimastationen der Erde (Müller et al. 1983) und WMO (1971) entnommen. Anmerkung: Einige in der *METEONORM* verwendete Modelle sind nicht für ganz Europa validiert worden, sondern nur für die Schweiz! Je weiter der Standort von der Schweiz entfernt ist, desto grösser werden die Unsicherheiten.

### 2.2.2.5 Basisdaten

In diesem Menü werden die Basisdaten, die Globalstrahlung und die Temperatur in der gewünschten Auflösung berechnet, damit diese für verschiedene Auswertungen zur Verfügung stehen. Der Zwischenschritt über die Berechnung der Basisdaten ist allerdings fakultativ: Wird direkt die Auswertung gewählt, werden die Basisdaten automatisch vor der Auswertung berechnet. 3 verschiedene Untermenüs stehen dazu zur Verfügung. Die Monatswerte werden jeweils am Bildschirm angezeigt.

1. Monatswerte: Interpolation von Monatsdaten (Globalstrahlung und Temperatur) oder Lesen von Monatsmittelwerten bei DRY- oder Anetz-Standorten.
2. Stundenwerte: Stochastische Simulierung von Stundenwerten aus Monatsmittelwerten für die Parameter Globalstrahlung und Temperatur oder Lesen von Stundenwerten der DRY-Standorte.
3. Ghmax: Berechnung der maximalen Globalstrahlung und der entsprechenden Diffusstrahlung an Schönwettertagen (wolkenloser Himmel) in Stundenauflösung.

### 2.2.2.6 Fläche

Unter diesem Menü kann die Flächenneigung und die Flächenausrichtung definiert werden, insofern nicht ein fixes Ausgabeformat gewählt wurde. Standardmässig wird eine horizontale Fläche angenommen.

Die Neigung bezieht sich auf den Winkel zwischen der Fläche und der Horizontalebene. Die Neigung kann Werte zwischen  $0^\circ$  und  $90^\circ$  annehmen. Das Azimut bezieht sich auf den Winkel der auf eine Horizontalebene projizierte Flächennormalen und der Südrichtung. Es nimmt Werte zwischen  $-180^\circ$  und  $180^\circ$  an. Eine nach Süden gerichtete Fläche hat das Azimut  $0^\circ$ . Ostwärts gerichtete Flächen haben negative Azimute, westwärts gerichtete Flächen positive. Eine nach Osten gerichtete senkrechte Fläche besitzt demnach eine Neigung von  $90^\circ$  und ein Azimut von  $-90^\circ$ .

### 2.2.2.7 Horizont

Die **METEONORM** berücksichtigt die Horizonteinflüsse auf Monats- und Stundenwerte. Übersteigt der Horizont im Sektor NE über S bis NW  $10^\circ$ , so tritt eine nennenswerte Abschwächung der durchschnittlichen monatlichen Strahlung auf. Bei Stundenwerten reicht eine kleinere Horizontüberhöhung aus, um einzelne Werte stark zu verändern. Aus diesem Grund ist es sehr wichtig, einen hohen Horizont zu berücksichtigen.

Um den Horizont einzubeziehen, stehen 2 Untermenüs zur Verfügung: Das erste ermöglicht die Auswahl von schon gespeicherten Horizonten, das zweite erlaubt die tabellarische und graphische Eingabe und Änderung von Horizonten. Das Horizonteingabefenster besteht aus dem eigentlichen graphischen Horizonteingabefeld und einem Tabellenfeld. Der Horizont kann bei beiden auf 1 Grad genau eingegeben werden. Pro Grad des Azimuts ist nur ein Horizontpunkt zugelassen. Beim graphischen Feld können die Punkte mit der linken Maustaste gesetzt und verschoben und mit der rechten Maustaste gelöscht werden. Schon eingegebene Horizonte können angezeigt und bearbeitet werden.

Wenn ein Horizont ausgewählt wird, werden die Sonnenauf- und Untergangszeiten für jeden Tag berechnet und für die Monatsmitte am Bildschirm angezeigt. Sie können die täglichen Sonnenauf- und Untergangszeiten speichern. Das im Output-Verzeichnis gespeicherte File enthält für jeden Tag die Nummer des laufenden Tages, die Anzahl Sonnenauf- und -untergänge und die Zeiten der Auf- und Untergänge.

Bei den fixen Ausgabeformaten (HELIOS, DOE, MATCH, PVSYST, EMPA-Basis) wird die Globalstrahlung horizontkorrigiert (d.h. ein ausgewählter hoher Horizont wird in die Berechnung miteinbezogen) herausgeschrieben. Beim Standard und beim User-defined-Ausgabeformat wird nur Gk und Dk horizontkorrigiert, nicht aber Gh und Dh (d.h. Gh und Dh werden nur mit astronomischem Horizont berechnet und herausgeschrieben.).

Die Erfassung des Horizonts kann mittels Mützenbergersystem, geologischem Kompass, Theodolit oder Fischaugenkamera geschehen.

### 2.2.2.8 Auswertung

In diesem letzten Schritt werden die noch fehlenden abgeleiteten Parameter berechnet und in Ausgabefiles, deren Parameter und Einheiten durch das Ausgabeformat bestimmt sind, geschrieben.

Auch hier wird zwischen Monats- und Stundenauflösung unterschieden. 3 wichtige Berechnungen werden ausgeführt: Berechnung der Diffusstrahlung und des Beams aus der Globalstrahlung und, falls nötig, die Berechnung der Strahlung auf geneigte Flächen mit oder ohne Horizonteinbezug. Für Stundenwerte werden, wenn vom Ausgabeformat verlangt, zusätzlich Ergänzungsparameter (Feuchte, Wind, langwellige Strahlung etc.) berechnet.

Die Parameter des Ausgabefiles der Monatswerte hängen vom Vorhandensein eines hohen Horizontes ab. Ist kein hoher Horizont ausgewählt, werden die Temperatur, Global- und Diffusstrahlung sowie Global- und Diffusstrahlung auf die geneigte Fläche angegeben. Wird ein hoher Horizont ausgewählt, werden die horizontale Global- und Diffusstrahlung ohne diesen (d.h. nur mit astronomischem Horizont), die horizontale Global- und Diffusstrahlung mit hohem Horizont und Global- und Diffusstrahlung auf die geneigte Fläche mit hohem Horizont angegeben.

Die Stundenwert-Files enthalten - je nach Ausgabeformat - sehr verschiedene Parameter. Die Parameter sind in Tab. 2.2.1 enthalten. Grundsätzlich bestehen alle Files aus 8760 Zeilen. Jede Zeile enthält die Werte einer Stunde. Ein Kopf am Anfang des Files kann ausgegeben werden. Als Trennzeichen stehen Kommata, Tabulatoren oder Leerschläge zur Verfügung (beim User defined Ausgabeformat).

### 2.2.2.9 Info

Unter Info finden Sie eine Liste der Symbole (*Info / Symbole*), eine Liste der Parameter des Ausgabeformates (*Info / Parameter*) und das Impressum (*Info / Impressum*).

## 2.2.3 Beispiele

Anhand von 3 Beispielen wird der Programmablauf detailliert dargestellt. Die eingeschlagenen Wege sind in Abb. 2.2.6 dargestellt.

### 1. Beispiel:

Für ein Projekt in Mürren müssen Monatswerte der Globalstrahlung horizontal und geneigt (45°, Süd) (in [kWh/m<sup>2</sup>]), der Temperatur (in [°C]) und der Heizgradtage (HGT<sub>12/20</sub>) berechnet werden. Der Horizont von Mürren ist hoch und muss berücksichtigt werden.

1. Wahl des Ausgabeformats: Die meisten der angegebenen Formate sind für Stundenwertberechnungen definiert. Für die Monatswerte steht nur das Standardformat zur Verfügung. Die Anzahl der Parameter hängt vom Standorttyp ab: Es werden jeweils alle gespeicherten und berechneten Parameter ausgegeben. Die einzige Ausnahme bilden dabei die Heizgradtage. Diese können beim User-defined-Ausgabeformat gewählt werden und werden nur für die Monatsauswertung berechnet. *Format / Ausgabeformate: User defined*. Im konkreten Fall ist nur die Wahl der Heizgradtage und eines Strahlungsparameters auf geneigte Fläche nötig. Die anderen Parameter sind nur für die Stundenwertberechnung von Belang. Ferner ist ein Parameter auf geneigte Fläche nötig, um diese Fläche später definieren zu können.
2. Wahl des Standortes: Mürren ist kein Gemeindehauptort sondern gehört zur Gemeinde Lauterbrunnen. Am einfachsten wählen Sie deshalb den Gemeindehauptort Lauterbrunnen (*Standort / Wählen, Gemeinden CH*) und ändern diesen mittels *Ändern* ab. Damit wechselt das Programm zum Editierfenster der von Ihnen veränderbaren Datenbank. Korrigieren Sie den Namen, das Kürzel, die Höhe (1638 m), die Koordinaten (634.8 / 156.5) und die Lage (W/E-Hang) des Standortes und speichern Sie die Änderungen ab (*Speichern*). Der Standort kann nun nicht direkt ausgewählt werden, sondern muss mittels Doppelpfeil und Stationsliste, in der sich nun auch der neue Standort befindet, ausgewählt werden.
3. Einstellen der Fläche: Azimut: 0°, Neigung: 45°
4. Eingabe des Horizontes unter *Horizont / Eingeben*. Der Horizont eines Standortes kann mittels Fischeugebilder, direkten Messungen oder geographischen Informationssystemen ermittelt werden. Die Eingabe kann sowohl mit einer Tabelle, wie auch graphisch vorgenommen werden. Mit der linken Maustaste lassen sich neue Punkte setzen, mit der rechten Maustaste Punkte löschen.
5. Auswertung (*Auswertung / Monatswerte*).
6. Schreiben der Datei mit *Datei / Speichern / Monatswerte*.

### 2. Beispiel:

Für ein Projekt in Versoix werden Stundenwerte benötigt. Der Horizont ist praktisch flach. Als Dimensionierungsprogramm steht HELIOS zur Verfügung:

1. Wahl des Ausgabeformats HELIOS: *Format / Ausgabeformate: HELIOS*
2. Wahl der Datenbasis und des Standorts. Für den Standort Versoix können die DRY-Daten der Station Genève-Cointrin verwendet werden (Kap. 3.4 zeigt die repräsentativen Gebiete der DRY-Stationen). *Standort / Wählen: DRY* und nachfolgend Genève-Cointrin (DRY) auswählen.
3. Lesen und Anzeigen der Monatswerte unter *Basisdaten / Monatswerte* und Lesen der Stundenwerte unter *Basisdaten / Stundenwerte*. *Basisdaten* muss nicht zwingend aufgerufen werden. Wenn die Monats- oder die Stundenwerte nicht unter *Basisdaten* gelesen werden, liest das Programm diese bei der *Auswertung* automatisch ein.
4. Flächenausrichtung kann für das HELIOS-Ausgabeformat nicht gewählt werden.
5. Mit *Auswertung / Stundenwerte* werden die Strahlungsparameter auf 4 vertikale Flächen und Ergänzungparameter berechnet.
6. Schreiben der Datei mit *Datei / Speichern / Stundenwerte*.

### 3. Beispiel:

Für ein Projekt in Zermatt werden Stundenwerte benötigt. Folgende Parameter müssen berechnet werden:  $G_{Gh}$ ,  $G_{Dh}$  und  $G_{Gk}$  ( $45^\circ$ , S),  $T_a$ ,  $T_d$  und  $G_{Lv}$  in  $[W/m^2]$ , bzw.  $[^\circ C]$ . Es soll eine Kopfzeile geschrieben werden. Der Horizont von Zermatt ist sehr hoch und somit zu berücksichtigen. Als Zeitangaben sollen der Monat, der Tag im Monat und die Stunden geschrieben werden. Als Trennzeichen soll ein Tabulatorzeichen verwendet werden.

1. Wahl des Ausgabeformat: Format / Ausgabeformate: User defined. Im User defined Fenster erscheinen rechts die beim letzten Durchgang gewählten Parameter. Die nicht gewählten Parameter sind in den verschiedenen Textfeldern aufgelistet. Durch Doppelklicken auf einen Parameter in den Textfeldern kann dieser ausgewählt werden und erscheint dann im rechten Fenster. Durch Doppelklicken auf die ausgewählten Parameter kann die Wahl von dieser wieder rückgängig gemacht werden. Die Reihenfolge der ausgewählten Parametern kann mit den Pfeilen ( $\nabla$ ,  $\blacktriangle$ ) verändert werden. Wahl der Einheiten mit Knopf Einheiten. Die ausgewählten Parameter werden unter Info / Parameter angezeigt.
2. Wahl der Datenbasis und des Standortes: Die nächsten DRY-Standorte sind Sion und Montana. Bei beiden ist die klimatische Distanz zu gross. Zermatt besitzt jedoch eine Anetz-Station: Standort / Wählen: Anetz und nachfolgend Zermatt auswählen. Da die Monatsmittel der gemessenen Strahlung bei einem Horizont von Zermatt stark abgeschwächt sind (ca. 10-15%), fragt das Programm, ob die horizontbeeinflussten Messwerte durch interpolierte, horizontkorrigierte Monatsmittel ersetzt werden sollen. Wenn die Daten wie in diesem Beispiel als Ausgangsbasis für die Stundenwertgenerierung verwendet werden, ist es ratsam, interpolierte horizontkorrigierte Strahlungsdaten zu verwenden, da nachfolgend auf den Stundenwerten der Horizont wieder hinzugefügt wird.
3. Berechnen der Monatsmittel mit Basisdaten / Monatswerte und der Stundenwerte unter Basisdaten / Stundenwerte.
4. Flächenausrichtung: Azimut:  $0^\circ$  (S), Neigung:  $45^\circ$ .
5. Wählen des Horizontes mit Horizont / Wählen, falls der Horizont schon gespeichert ist, was im Falle von Zermatt zutrifft (Datei varhzer.hor). Der Horizont eines Standortes kann mittels Fischaugebilder, direkten Messungen oder geographischen Informationssystemen aufgenommen werden. Die Eingabe kann sowohl in einer Tabelle, wie auch graphisch erfolgen.
6. Auswertung: Berechnen der Stundenwerte der Strahlung unter Berücksichtigung des hohen Horizonts, der Temperatur und der Ergänzungsparameter (ohne den hohen Horizont).
7. Schreiben des Ausgabefiles im User-defined-Format und Einheiten mit Datei / Speichern / Stundenwerte (Abb. 2.2.3). Beim Ausgabefile ist der Einfluss des hohen Horizonts nur bei  $G_{Gk}$  berücksichtigt, nicht aber  $G_{Gh}$  und  $G_{Dh}$ .

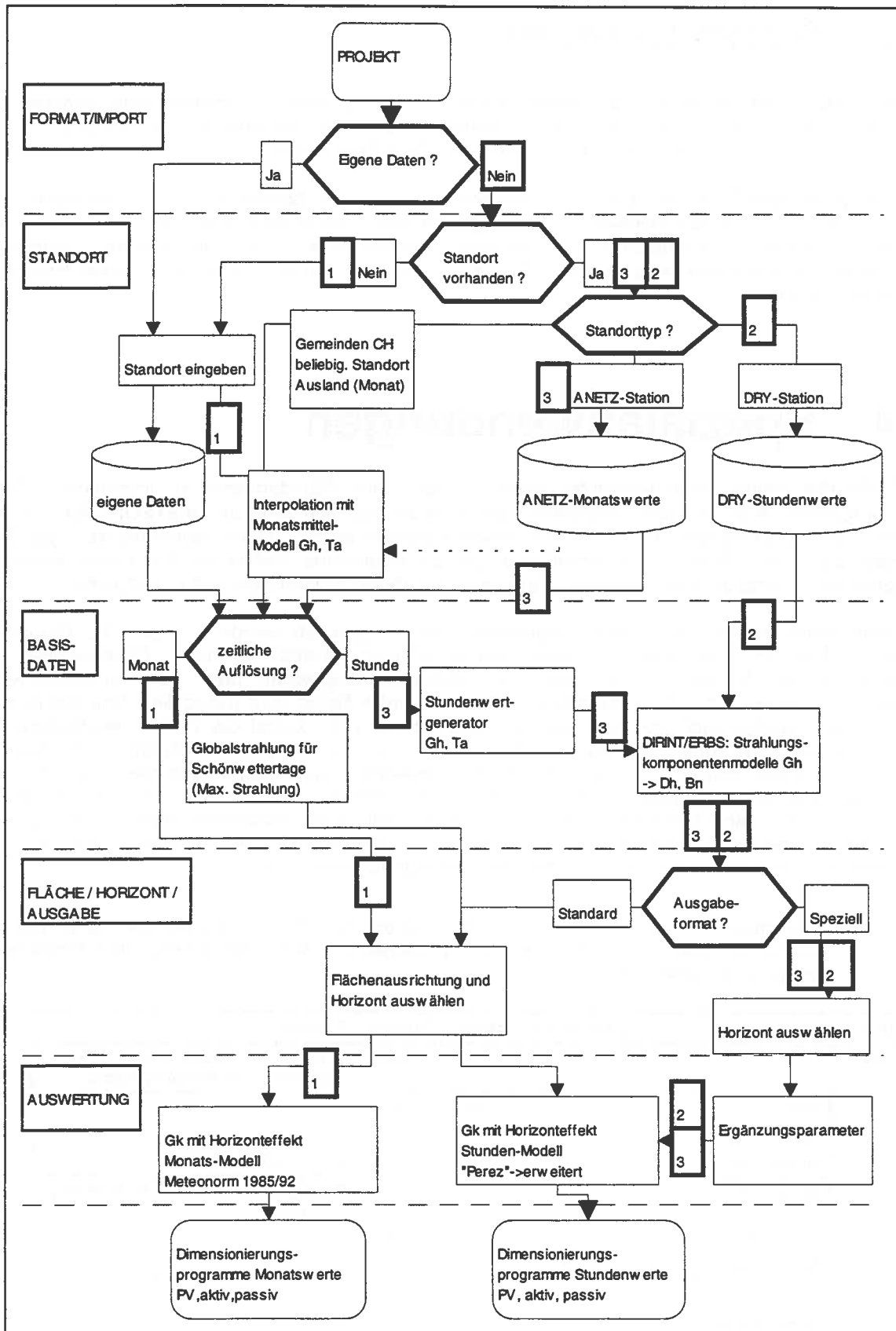


Abb. 2.2.6: Ablaufschema des METEONORM-Programms. Die weiter oben beschriebenen Beispiele sind mit den Nummern hervorgehoben.

## 2.3 Schnittstellen

Die neue **METEONORM** ist als Meteo-Modul konzipiert, das vor einer Dimensionierung gestartet wird und Meteo-Daten anbietet. Auf Grund dieses Konzeptes sind die Schnittstellen des Programms von sehr grosser Bedeutung. Alle Schnittstellen sind über ASCII-Files definiert.

Das **METEONORM**-Programm bietet 2 Schnittstellen an: 1. die Schnittstelle zum Importieren von Stundenwerten und von Monatswerten (siehe Kap. 2.4) und 2. die Schnittstellen der Ausgabefiles, die auf die wichtigsten Dimensionierungsprogramme zugeschnitten sind. Im Moment werden 8 verschiedene Ausgabeformate angeboten (Tab. 2.2.1). Im User-defined-Format können die Parameter frei gewählt werden.

## 2.4 Spezialanwendungen

**METEONORM** erlaubt dem Anwender eigene Monats- und Stundenwerte zu importieren. Diese Importfunktionen erlauben dem Anwender, die Berechnungsverfahren der **METEONORM** auf die eigenen Daten anzuwenden. Es können nur Werte importiert werden, wenn Standorte des Typs *User (Stunde)* oder *User (Monat)* ausgewählt sind. Um die unendliche Vielfalt der Parameter allerdings einzuschränken, sind die einzugebenden Parameter und deren Reihenfolge genau festgelegt.

Die Monatsfiles können von Hand eingegeben oder eingelesen werden, wobei die Parameter Globalstrahlung und Temperatur importiert werden können (*Format / Import / Monatswerte*). Für Standorte in der Schweiz können auch nur Globalstrahlungswerte oder nur Temperaturwerte eingegeben werden, die nicht vorhandene oder lückenhafte Reihe wird interpoliert (mit *Speichern*). Falls einzelne Reihen nicht komplett sind, so empfiehlt es sich, zuerst die Reihen interpolieren zu lassen und dann mit den vorhandenen Monatswerten zu korrigieren. Für Standorte im Ausland müssen die beiden Reihen komplett sein, da für Auslandsstandorte nicht interpoliert werden kann. Einmal eingegebene Monatswerte können als File geschrieben werden, das dann immer wieder importiert werden kann (*Speichern, Datei importieren*). Mit *Datei importieren* werden gespeicherte Monatsfiles eingelesen. Die Parameter sind in Tab. 2.4.1 beschrieben. In der 1. Zeile des Files sind die Einheiten der Globalstrahlung und der Temperatur angegeben (Abb. 2.4.1).

Tab. 2.4.1: Parameter der Importfunktionen. Parameter, die mit Ja bezeichnet sind müssen vorhanden sein, Parameter, die mit evtl. bezeichnet sind sind optional. Die Reihenfolge muss eingehalten werden.

Parameter		Abkürzung	Monat	Stunde	Einheiten
Kopfzeile			Ja	Nein	Einheiten für Globalstrahlung und für Temperatur, mit Komma getrennt
Zeit	Monat	m	Ja	Ja	[h] (1,...,24)
	Tag des Jahres	dy	Nein	Ja	
	Stunde (Tag)	h	Nein	Ja	
Strahlungsart	Globalstrahlung	Gh	Ja	Ja	[W/m <sup>2</sup> ], [kJ/m <sup>2</sup> h], [btu/ft <sup>2</sup> h], [kWh/m <sup>2</sup> ], [MJ/m <sup>2</sup> ]
	Diffusstrahlung	Dh	Nein	evtl.	
	Direktnormale Strahlung	Bn	Nein	evtl.	
Temperatur	Lufttemperatur	Ta	Ja	Nein	[°C], [1/10 °C], [F]
	Taupunkttemperatur	Td	Nein	evtl.	

Stundenfiles werden nach einem vorgegebenen Raster eingelesen (*Format / Import / Stundenwerte*). Die Parameter, die eingegeben werden können und die vorhanden sein müssen, sind der Tab. 2.4.1 zu entnehmen (Abb. 2.4.2). Fehlwerte sind zugelassen, müssen aber als -999 codiert sein. Zeitreihen, die nicht über ein ganzes Jahr laufen, sind ebenfalls erlaubt.

Als Ausgabeformat für Monats- und Stundenwerte bei Standorten des Typs *User (Stunde)* steht nur ein spezielles „**Import**“-Ausgabeformat zur Verfügung, das **m, dy, h, Gh, Dh, Bn, Gk, Dk** und - falls eingelesen - **Td** enthält. Die Einheiten können allerdings gewählt werden. Als Trennzeichen werden Kommas verwendet.

```
" Monat ", "[ kWh/m2 ] ", "[ °C ] "  
"Jan", 54, -5.9  
"Feb", 73, -6.9  
"Mar", 119, -5.5  
"Apr", 148, -3.3  
"Mai", 173, 1.1  
"Jun", 155, 3.9  
"Jul", 180, 8  
"Aug", 164, 7.6  
"Sep", 110, 5.1  
"Okt", 88, 2.4  
"Nov", 55, -2.3  
"Dez", 46, -3.7
```

Abb. 2.4.1: Monatsimportfile des Standorts Alvier (*alviimon.dat*) (Beispiel 4). In der ersten Zeile stehen „Monat“ und die Einheiten der Strahlung und der Temperatur. Die weiteren 12 Zeilen enthalten den Namen des Monats, die Werte der Globalstrahlung und der Temperatur. Die Werte müssen mit Kommas getrennt sein.

```
1, 1, 1, 0  
1, 1, 2, 0  
1, 1, 3, 0  
1, 1, 4, 0  
1, 1, 5, 0  
1, 1, 6, 0  
1, 1, 7, 0  
1, 1, 8, 0  
1, 1, 9, 20  
1, 1, 10, 51
```

Abb. 2.4.2: Die ersten 10 Zeilen des Importfiles *wynauimp.dat* (Beispiel 5). Die 1. Spalte enthält die Zahlengabe des Monats, 2. den Tag des Jahres, 3. die Stunde des Tages und 4. die Globalstrahlung. Die Werte müssen mit Kommas getrennt sein.

#### 4. Beispiel:

Für ein Projekt auf dem Alvier (Kt. St. Gallen) sind eigene Daten der Monate Juni, Juli, August und September der Globalstrahlung auf eine horizontale Fläche vorhanden. Die gemessenen Werte betragen 155, 180, 164, 108 [kWh/m<sup>2</sup>]. Für diese Monate soll die Globalstrahlung auf eine 60° geneigte Fläche (in [MJ/m<sup>2</sup>]) und Monatswerte der Temperatur (in [°C]) berechnet werden. Die Resultate sollen in gedruckter Form vorliegen.

1. Wahl des Ausgabeformates: Die meisten der angegebenen Formate sind für Stundenwertberechnungen definiert. Für die Monatswerte steht nur das Standardformat zur Verfügung. Die Anzahl der Parameter hängt vom Standorttyp ab: Es werden jeweils alle gespeicherten und berechneten Parameter ausgegeben. Die Einheiten (*Format / Einheiten*) können allerdings gewählt werden.
2. Wahl des Standortes: Der Alvier (Gipfel) liegt auf 2343 m (Koordinaten: 749,95 / 219,55) auf dem Gemeindegebiet von Wartau. Da keine Messstation nahe und der Gemeindegemeinschaft weit entfernt ist, zwingt es sich auf, einen neuen Standort einzugeben. Mit *Standort / Eingeben/Editieren* erscheint das Eingabefenster. Der Name, die Höhe und die Koordinaten müssen eingegeben werden. Als Standorttyp muss hier *User (Monat)* eingegeben werden. Die restlichen Parameter sind fakultativ. Im Falle vom Alvier muss als Lagetyp „*Gipfel*“ eingegeben werden.
3. Importieren der Monatsmittel: *Format / Import / Monatswerte*. Da nicht für alle Monate eigene Daten zur Verfügung stehen und nur ganze Jahre berechnet werden, ist es am einfachsten die Monatswerte zuerst interpolieren zu lassen und dann die gemessenen Monatswerte anstelle der interpolierten einzusetzen. Die Interpolation wird - falls der Standort innerhalb der Schweiz liegt - mit *Speichern* oder *O.K.* ausgelöst. Die gemessenen Monatswerte der Globalstrahlung können nun anstatt der interpolierten eingegeben und gespeichert werden.
4. Einstellen der Fläche: Azimut: 0°, Neigung: 60°. Der Horizont auf dem Alvier ist praktisch flach.
5. Auswertung (*Auswertung / Monatswerte*): Berechnen der Strahlung auf die geneigte Fläche.
6. Schreiben der Datei mit *Datei / Speichern / Monatswerte*.
7. Drucken der Monatswerte mit *Datei / Monatswerte*.

#### 5. Beispiel:

Für den Standort Wynau sollen Stundenwerte von einem Jahr importiert werden. Die Messdaten stammen von der Anetz-Station von Wynau und sind mit SMA-Zeitreferenz (Kap. 4.2.1) gespeichert. Bei dieser Zeitreferenz bezeichnet die Stunde 1 das Intervall von 00.40 bis 01.40 Uhr. Diese Zeitreferenz kann in der **METEONORM** mit einer internen Zeitreferenz (IZRM) von +10 Min eingestellt werden. Mit den gemessenen Globalstrahlungsdaten (in [W/m<sup>2</sup>]) soll die Strahlung auf eine 90° nach Süden gerichtete Fläche berechnet werden.

1. Wahl des Ausgabeformates: Für importierte Dateien steht nur ein spezielles Import-Format zur Verfügung (wird automatisch ausgewählt).
2. Wahl des Standortes: Am einfachsten wählen Sie die Anetz-Station Wynau (*Standort / Wählen, Anetz*) und ändern diesen mittels *Ändern* ab. Damit wechselt das Programm zum Editierfenster der von Ihnen veränderbaren Datenbank. Korrigieren Sie den Standorttyp (*User (Stunde)*), setzen Sie IZRM auf 10 Min. und speichern Sie die Änderungen ab (*Speichern*). Der Standort kann nun nicht direkt ausgewählt werden, sondern muss mittels Doppelpfeil und Stationsliste, in der sich nun auch der neue Standort befindet, ausgewählt werden.
3. Importieren der Stundenwerte: *Format / Import / Stundenwerte* (File *wynauimp.dat*, in Tat und Wahrheit ein generiertes File). Diese Datei muss dem in Tab. 2.4.1 definierten Format genau entsprechen.
4. Einstellen der Fläche: Azimut: 0°, Neigung: 90°.
5. Auswertung (*Auswertung / Stundenwerte*): Berechnen der Strahlung auf die geneigte Fläche.
6. Schreiben der Datei mit *Datei / Speichern / Stundenwerte*.

## 2.5 Bezug, Lizenzrechte

**METEONORM** wird als Computerprogramm inklusive Daten auf digitalem Datenträger ausgeliefert. Der Käufer erhält die Nutzungsrechte an der mitgelieferten Software und den dazugehörigen Daten für den Eigengebrauch. Die Lizenz-Bestimmungen, welche dabei einzuhalten sind, sind auf der **Verpackung des digitalen Datenträgers angebracht:**

**Wichtig:** Vor Öffnen der Verpackung und/oder vor Benutzung der Software sorgfältig lesen

Durch Öffnen der versiegelten Verpackung, die die Software enthält, und/oder durch Benutzung der Software, zeigen Sie Ihr Einverständnis mit dem folgenden Software-Lizenzvertrag an.

Dieser Lizenzvertrag erlaubt Ihnen, ein Exemplar der Software auf einem einzigen Computer zu benutzen. Die Installation auf einem Netzwerk-Server für den alleinigen Zweck der internen Verbreitung stellt keine "Benutzung" dar, für die eine gesonderte Lizenz erforderlich ist, vorausgesetzt, dass Sie eine gesonderte Lizenz für jeden Computer haben, an den die Software weitergegeben wird.

Die zusammen mit dem Programm gespeicherten Messdaten dürfen nicht an weitere Benutzer weitergegeben werden. Dies umfasst sämtliche Monatswerte der in der Software unter "Anetz", „DRY“ und „Ausland Monat“ gespeicherten Daten.

Die zusammen mit dem Programm gespeicherten Design Reference Years (DRY) dürfen nicht an weitere Benutzer weitergegeben werden.

Füllen Sie die Registrierkarte, welche der Software beiliegt, vollständig aus. Nur so ist sichergestellt, dass Sie bei Problemen mit der Software Unterstützung erhalten und über Updates direkt informiert werden.

### Registrierkarte

**METEONORM:            Version 2.0            Nr. \_\_\_\_\_**

Käufer:            Name: \_\_\_\_\_            Vorname: \_\_\_\_\_

Institution:            \_\_\_\_\_

Adresse:            \_\_\_\_\_

Telefon:            \_\_\_\_\_            Telefax: \_\_\_\_\_

Datum:            \_\_\_\_\_            Unterschrift: \_\_\_\_\_

zurücksenden an **INFOENERGIE, Postfach CH-5201 Brugg**



## 3 Daten-Grundlagen

### 3.1 Sonnendaten

In diesem Kapitel werden die astronomischen Daten der Sonne, die Strahlung am Rand der Atmosphäre und die maximale Strahlung (wolkenlos) aufgelistet. Für weitere Hinweise insbesondere theoretische Grundlagen siehe Kapitel 4.

#### 3.1.1 Astronomie

##### 3.1.1.1 Die Sonne

Tab. 3.1.1: Astronomische Daten der Sonne

Strahlungsleistung	$3.85 \cdot 10^{26} \text{ W}$
Durchmesser	$6.95 \cdot 10^8 \text{ m}$
Masse	$1.9891 \cdot 10^{30} \text{ kg}$
Gravitationskonstante	$273.4 \text{ m/s}^2$
Alter	$4.55 \cdot 10^9 \text{ Jahre}$
Elemente	75% Wasserstoff 23% Helium 2% schwere Elemente

##### 3.1.1.2 Die Solarkonstante

Die Solarkonstante ( $I_0$ ) beträgt nach neusten Messungen (Kap. 4.1):

$$I_0 = 1368 \pm 1 \text{ W/m}^2$$

Durch die elliptische Bahn der Erde um die Sonne variiert die Strahlung ausserhalb der Erdatmosphäre während eines Jahres. Die Monatsmittelwerte sind in Tab. 3.1.2 aufgelistet.

Tab. 3.1.2: Jahresverlauf der Bestrahlungsstärke ausserhalb der Erdatmosphäre  $I_{\text{ex}}$  (Monatsmittel).

	Einheit	Jan	Feb	März	April	Mai	Juni	Juli	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
$I_{\text{ex}}$	$[\text{W/m}^2]$	1411	1400	1380	1357	1337	1325	1325	1336	1356	1379	1400	1411

### 3.1.1.3 Das System Sonne-Erde

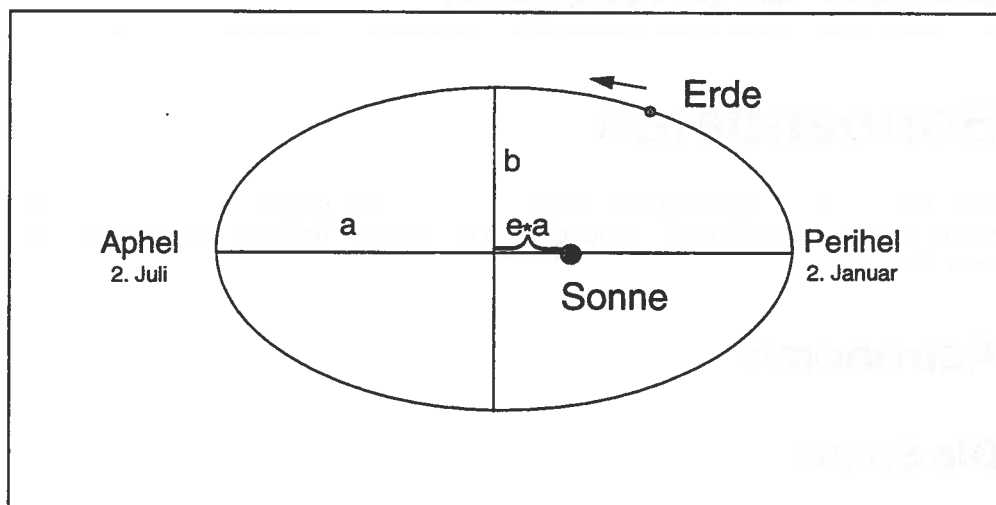


Abb. 3.1.1: Schematische Darstellung des Systems Erde-Sonne

Tab. 3.1.3: Wichtigste Daten des Systems Erde-Sonne

Mittlere Distanz Erde-Sonne	$1.496 \cdot 10^{11} \text{ m}$
Grösste Distanz Erde-Sonne (Aphel)	$1.521 \cdot 10^{11} \text{ m}$
Kleinste Distanz Erde-Sonne (Perihel)	$1.471 \cdot 10^{11} \text{ m}$
Elliptizität $e = \sqrt{1 - (b/a)^2}$	0.01675
Schiefe der Ekliptik	$23^\circ 27' 26.4''$
Tropisches Jahr	365 Tage 5 h 48 Min 46 Sek

## 3.1.2 Strahlung auf Horizontalebene ausserhalb der Erdatmosphäre (extraterrestrische Sonnenstrahlung)

### 3.1.2.1 Tagesmittel der Bestrahlungsstärke

Für jeden Tag des Jahres sind für die geographische Breite  $47^\circ \text{ N}$  die Tagesmittel der extraterrestrischen Bestrahlungsstärke  $\langle G_{G_0} \rangle$  berechnet und tabelliert (Tab. 3.1.4) worden. Unter jeder Spalte sind jeweils die mittleren monatlichen Tagesmittel sowie die Monatsmittel des betreffenden Monats angegeben. Je Monat ist der Tag angegeben, dessen Tagesmittel dem Monatsmittel am nächsten liegt.

Tab. 3.1.4: Tagesmittel der extraterrestrischen Bestrahlungsstärke  $\langle G_{Go} \rangle$  (horizontal) [W/m<sup>2</sup>]  
 Die unterste Zeile enthält den Monatsmittelwert und den Tag des Jahres, dessen Tagesmittel dem Monatsmittel am nächsten kommt.

dy	Jan	dm	dy	Feb	dm	dy	März	dm	dy	April	dm	dy	Mai	dm	dy	Juni	dm
1	111.2	1	32	157.9	1	60	235.4	1	91	335.7	1	121	420.7	1	152	476	1
2	111.9	2	33	160.1	2	61	238.6	2	92	339	2	122	423	2	153	476.9	2
3	112.8	3	34	162.3	3	62	241.8	3	93	342.2	3	123	425.3	3	154	477.8	3
4	113.6	4	35	164.5	4	63	244.9	4	94	345.4	4	124	427.6	4	155	478.6	4
5	114.6	5	36	166.8	5	64	248.1	5	95	348.6	5	125	430.5	5	156	479.4	5
6	115.6	6	37	169	6	65	251.3	6	96	351.8	6	126	432.9	6	157	480.1	6
7	116.6	7	38	171.3	7	66	254.4	7	97	354.9	7	127	435.2	7	158	480.8	7
8	117.7	8	39	173.7	8	67	257.6	8	98	358	8	128	437.5	8	159	481.4	8
9	118.9	9	40	176.8	9	68	260.7	9	99	361	9	129	439.7	9	160	482	9
10	120.1	10	41	179.4	10	69	263.9	10	100	364.1	10	130	441.8	10	161	482.5	10
11	121.3	11	42	182.1	11	70	267	11	101	367	11	131	443.9	11	162	483	11
12	122.6	12	43	184.7	12	71	270.1	12	102	370	12	132	446	12	163	483.4	12
13	124	13	44	187.4	13	72	273.3	13	103	372.9	13	133	448	13	164	483.7	13
14	125.4	14	45	190.1	14	73	276.4	14	104	375.7	14	134	450	14	165	484	14
15	126.8	15	46	192.8	15	74	279.5	15	105	378.6	15	135	451.9	15	166	484.3	15
16	128.3	16	47	195.6	16	75	282.5	16	106	381.4	16	136	453.7	16	167	484.4	16
17	129.8	17	48	198.3	17	76	285.6	17	107	384.1	17	137	455.5	17	168	484.6	17
18	131.4	18	49	201.1	18	77	288.7	18	108	386.8	18	138	457.2	18	169	484.7	18
19	133.1	19	50	203.9	19	78	291.7	19	109	389.5	19	139	458.9	19	170	484.7	19
20	134.7	20	51	206.7	20	79	294.7	20	110	392.1	20	140	460.6	20	171	484.7	20
21	136.5	21	52	210.3	21	80	297.7	21	111	394.7	21	141	462.1	21	172	484.6	21
22	138.2	22	53	213.4	22	81	301.4	22	112	397.3	22	142	463.7	22	173	484.5	22
23	140	23	54	216.6	23	82	304.6	23	113	399.8	23	143	465.1	23	174	484.5	23
24	141.9	24	55	219.7	24	83	308.5	24	114	402.3	24	144	466.6	24	175	484.4	24
25	143.7	25	56	222.8	25	84	312	25	115	405.5	25	145	467.9	25	176	484.4	25
26	145.7	26	57	226	26	85	315.4	26	116	408.1	26	146	469.2	26	177	484.2	26
27	147.6	27	58	229.1	27	86	318.9	27	117	410.7	27	147	470.5	27	178	484	27
28	149.6	28	59	232.3	28	87	322.3	28	118	413.3	28	148	471.7	28	179	483.8	28
29	151.6	29				88	325.7	29	119	415.8	29	149	472.9	29	180	483.5	29
30	153.7	30				89	329.1	30	120	418.3	30	150	474	30	181	483.1	30
31	155.8	31				90	332.4	31				151	475	31			
17	130.2	17	46	192.7	15	75	283.0	16	105	378.8	15	135	451.6	15	161	482.6	10

dy	Juli	dm	dy	Aug	dm	dy	Sep	dm	dy	Okt	dm	dy	Nov	dm	dy	Dez	dm
182	482.7	1	213	444.4	1	244	365.8	1	274	269.5	1	305	178.4	1	335	119.4	1
183	482.3	2	214	442.4	2	245	362.9	2	275	266.4	2	306	175.8	2	336	118.2	2
184	481.8	3	215	440.3	3	246	359.9	3	276	263.3	3	307	173.2	3	337	117.2	3
185	481.2	4	216	438.1	4	247	356.9	4	277	260.2	4	308	170.7	4	338	116.1	4
186	480.6	5	217	435.9	5	248	353.8	5	278	257	5	309	168.2	5	339	115.2	5
187	479.9	6	218	433.7	6	249	350.8	6	279	253.9	6	310	165.7	6	340	114.2	6
188	479.2	7	219	431.3	7	250	347.6	7	280	250.8	7	311	163.2	7	341	113.3	7
189	478.4	8	220	429	8	251	344.5	8	281	247.6	8	312	160.8	8	342	112.5	8
190	477.6	9	221	426.6	9	252	341.3	9	282	244.5	9	313	158.4	9	343	111.7	9
191	476.8	10	222	424.1	10	253	338.1	10	283	241.3	10	314	156.1	10	344	111	10
192	475.8	11	223	421.6	11	254	334.9	11	284	238.2	11	315	153.3	11	345	110.3	11
193	474.8	12	224	419.1	12	255	331.6	12	285	235	12	316	151.2	12	346	109.6	12
194	473.8	13	225	416.5	13	256	328.3	13	286	231.9	13	317	149.2	13	347	109.1	13
195	472.7	14	226	413.8	14	257	325	14	287	228.8	14	318	147.2	14	348	108.5	14
196	471.6	15	227	410.6	15	258	321.6	15	288	225.6	15	319	145.3	15	349	108	15
197	470.4	16	228	407.7	16	259	317.9	16	289	222.1	16	320	143.4	16	350	107.6	16
198	469.2	17	229	405.4	17	260	314.8	17	290	219.3	17	321	141.5	17	351	107.2	17
199	467.9	18	230	403	18	261	311.8	18	291	216.5	18	322	139.7	18	352	106.9	18
200	466.5	19	231	400.6	19	262	308.6	19	292	213.7	19	323	137.9	19	353	106.6	19
201	465.2	20	232	398.2	20	263	305.5	20	293	210.9	20	324	136.1	20	354	106.3	20
202	463.7	21	233	395.7	21	264	302.4	21	294	208.1	21	325	134.4	21	355	106.1	21
203	462.2	22	234	393.2	22	265	299.2	22	295	205.3	22	326	132.7	22	356	106	22
204	460.7	23	235	390.6	23	266	296	23	296	202.5	23	327	131.1	23	357	105.9	23
205	459.1	24	236	388	24	267	292.8	24	297	199.8	24	328	129.5	24	358	105.9	24
206	457.4	25	237	385.4	25	268	289.6	25	298	197.1	25	329	128	25	359	105.9	25
207	455.7	26	238	382.7	26	269	286.3	26	299	194.3	26	330	126.5	26	360	106.7	26
208	454	27	239	380	27	270	283	27	300	191.6	27	331	125.1	27	361	106.9	27
209	452.2	28	240	377.2	28	271	279.8	28	301	188.9	28	332	123.7	28	362	107.1	28
210	450.3	29	241	374.4	29	272	276.5	29	302	186.3	29	333	122.4	29	363	107.5	29
211	448.4	30	242	371.6	30	273	273.2	30	303	183.6	30	334	120.5	30	364	107.9	30
212	446.4	31	243	368.7	31				304	181	31				365	108.3	31
199	468.3	18	228	408.1	16	258	320.3	15	289	223.7	16	318	146.3	14	346	109.8	12

### 3.1.2.2 Monatsmittel

Für die geographischen Breiten von 46°10' (Locarno), 46°12' (Genf), 46°58' (Davos) und 47°27' (Zürich-Kloten) sind die Monatsmittel sowie die Jahresmittel der extraterrestrischen Bestrahlungsstärke  $\langle G_{Go} \rangle$  berechnet und tabelliert (Tab. 3.1.5). Für 47° N sind die Monatswerte in zwei weiteren Einheiten angegeben (Tab. 3.1.6).

Tab. 3.1.5: Monats- und Jahreswerte der extraterrestrischen Bestrahlungsstärke  $\langle G_{Go} \rangle$  in  $[W/m^2]$  auf eine Horizontalebene für 4 verschiedene Standorte.

Ort (Breite)	Jan	Feb	März	April	Mai	Juni	Juli	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr
Locarno-Monti 46°10'	134.9	198.8	287.9	381.6	452.7	482.8	468.2	410.7	323.7	229.2	152.4	116.0	303.2
Genève-Cointrin 46°12'	135.0	198.2	287.4	381.5	452.8	483.1	468.8	410.2	323.5	228.8	151.9	115.7	303.1
Davos 46°48'	130.5	194.4	284.2	379.3	451.9	482.5	467.9	408.8	320.6	225.1	148.0	111.4	300.4
Zürich-Kloten 47°27'	126.6	189.4	280.2	376.9	450.9	482.3	467.8	406.7	317.5	220.6	142.9	106.3	297.4

Tab. 3.1.6: Monats- und Jahreswerte der extraterrestrischen Strahlung  $G_o$  auf eine Horizontalebene für 47° N Breite (mittlere Bestrahlungsstärke:  $[W/m^2]$  und  $[kJ/m^2 h]$ ; Strahlungssummen:  $[MJ/m^2]$  und  $[kWh/m^2]$ ).

Einheit	Jan	Feb	März	April	Mai	Juni	Juli	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr
$[W/m^2]$	130.2	192.7	283.0	378.8	451.6	482.6	468.3	408.1	320.3	223.7	146.3	109.8	299.6
$[kJ/m^2 h]$	469	694	1020	1364	1626	1737	1686	1469	1152	805	527	395	1079
$[MJ/m^2]$	349	466	758	982	1210	1251	1254	1039	830	599	379	294	9408
$[kWh/m^2]$	96.9	129.4	160.6	272.8	336.1	347.5	348.3	288.6	230.6	166.4	105.3	81.7	2613

### 3.1.2.3 Sonnenscheinstunden

Für die geographischen Breiten von 46°10' (Locarno), 46°12' (Genf), 46°58' (Davos), 47° N und 47°27' (Zürich-Kloten) sind die monatlichen astronomischen Sonnenscheinstunden tabelliert (Tab. 3.1.7).

Tab. 3.1.7: Monatswerte der astronomischen Sonnenscheindauer  $S_0$  in Stunden [h].

Ort (Breite)	Jan	Feb	März	April	Mai	Juni	Juli	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr
Locarno-Monti 46°10'	277	285	364	401	459	466	472	433	373	334	279	264	4407
Genève-Cointrin 46°12'	277	285	364	402	459	466	472	434	373	334	279	263	4408
Davos 46°48'	275	284	364	402	461	468	474	435	373	333	277	261	4407
47° N	274	283	364	403	461	469	475	436	373	333	277	260	4408
Zürich-Kloten 47°27'	272	283	364	403	463	471	477	437	373	332	275	258	4408

### 3.1.3 Maximale Strahlung auf Horizontalebene auf der Erdoberfläche

Die Strahlung, die an wolkenlosen Tagen zu erwarten ist, ist für 47°N berechnet und tabelliert. Tab. 3.1.8 beschreibt die Globalstrahlung ( $\langle G_{Ghmax} \rangle$ ) auf 5 Höhenlagen (0 m, 500 m, 1000 m, 1500 m und 2000 m), Tab. 3.1.9 enthält die Diffusstrahlung ( $\langle G_{Dhmin} \rangle$ ) (keine Höhenabhängigkeit im Modell). Beide Tabellen (Tab. 3.1.8 und Tab. 3.1.9) basieren auf Stundenwertberechnungen der Strahlung an Schönwettertagen (vgl. Kap. 4.5.2).

Tab. 3.1.8: Mittlere monatliche Bestrahlungsstärken der Globalstrahlung an Schönwettertagen ( $\langle G_{Ghmax} \rangle$ ) in  $[W/m^2]$  auf 5 Höhenlagen für 47° N

Höhe [m]	Jan	Feb	März	April	Mai	Juni	Juli	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr
000	75	118	180	247	296	309	298	259	201	140	88	63	190
500	83	128	194	264	316	333	322	280	217	151	96	69	204
1000	88	136	204	277	332	351	340	295	230	160	101	74	216
1500	92	141	211	286	343	364	352	306	238	166	106	77	224
2000	95	145	217	293	350	373	361	314	245	170	109	80	229

Tab. 3.1.9: Monatsmittel der Bestrahlungsstärke der Diffusstrahlung an Schönwettertagen ( $\langle G_{Dhmin} \rangle$ ) in  $[W/m^2]$  für 47° N

alle Höhenlagen	Jan	Feb	März	April	Mai	Juni	Juli	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr
	22	30	39	46	51	53	52	48	42	33	24	19	38

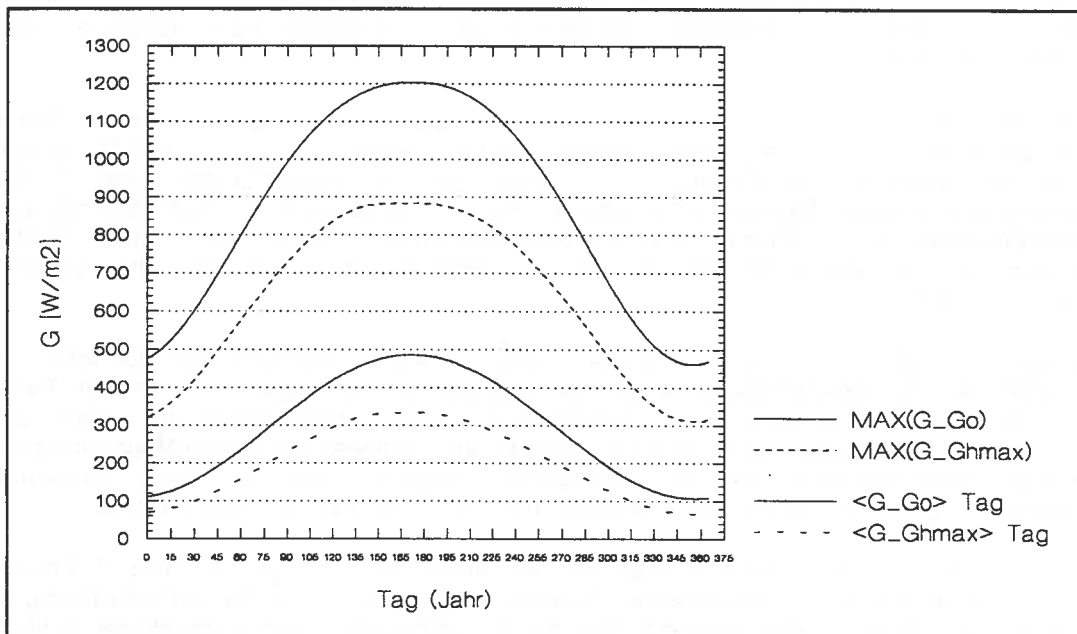


Abb. 3.1.2: Tagesmaxima am Sonnenhöchststand und Tagesmittel der Bestrahlungsstärken der extraterrestrischen Sonnenstrahlung und der Globalstrahlung an wolkenlosen Tagen für 47° N. Schönwetterstrahlung für einen Standort auf 500m Höhe. MAX( $G_{Go}$ ): Tägliche Maxima der extraterrestrischen Sonnenstrahlung; MAX( $G_{Ghmax}$ ): Tägliche Maxima der Bestrahlungsstärke der Globalstrahlung an Schönwettertagen;  $\langle G_{Go} \rangle$  Tag: Tagesmittel der extraterrestrischen Sonnenstrahlung;  $\langle G_{Ghmax} \rangle$  Tag: Tagesmittel der Bestrahlungsstärke der Globalstrahlung an Schönwettertagen.

## 3.2 Lange Reihen

Die Mittelwerte von meteorologischen Parametern verändern sich stark mit dem Zeitabschnitt und der Länge der ausgewählten Messperiode. Die neue Messperiode der Referenzstationen 1983-92 besitzt mit ihren 10-jährigen Durchschnittswerten ein Minimum an Zeitdauer für eine Mittelbildung. Da sich diese 10 Jahre aber aus messtechnischen Gründen aufzwingen (vor 1983 wurde nur an wenigen Stationen die Globalstrahlung gemessen) gilt es nun, diese mit langjährigen Daten zu vergleichen. In diesem Kapitel werden die 30-jährigen Mittel der Jahre 1961-90 mit den 10-jährigen Mittel der Jahre 1983-92 verglichen. Der Vergleich geschieht mit den Temperatur- ( $T_a$ ) und Sonnenscheindauerdaten ( $S_d$ ) von 4 Anez-Stationen, die über die ganze Schweiz verteilt sind (Zürich SMA, Genève-Cointrin, Lugano und Säntis). Diese Daten wurden im Rahmen des Projektes Klima'90 der SMA homogenisiert. Die Globalstrahlung wurde mit Hilfe der Angstroem-Gleichung berechnet. Die Parameter der Gleichung wurden mit Regressionen an der jeweiligen Station mit den Daten der neuen Periode (1983-92) angepasst (Tab. 3.2.4).

Die Monatsmittelwerte, die Extreme und die Standardabweichung der Temperatur und der Globalstrahlung für die Periode 1961 bis 1990 sind in Tab. 3.2.1 aufgelistet. Die Monatsmittel der beiden Parameter sind in den Abb. 3.2.5 und Abb. 3.2.6 dargestellt. Die Monatsmittel der Sonnenscheindauer finden sich in der Tab. 3.2.2. Der zeitliche Verlauf der Temperatur und der Sonnenscheindauer wird in den Abb. 3.2.1 - Abb. 3.2.4 gezeigt. Die Standardabweichungen der Temperatur weisen einen deutlichen Jahresgang auf: Im Winter schwanken diese auf der Alpennordseite um 2 - 2.5 °C und auf der Südseite um 1.5 °C. Im Sommer liegen die Standardabweichungen bei 1 - 1.5 °C. Die Grösse dieser Werte zeigen, dass die **Wahl der Referenzperiode den Mittelwert stark beeinflusst**. Die Standardabweichungen der Jahresmittel sind wesentlich kleiner und liegen bei 0.5 - 0.7 °C. Die Standardabweichungen der Globalstrahlung schwanken um 5 - 15% des Monatsmittelwertes. Die Standardabweichungen der Jahresmittel liegen bei 5 W/m<sup>2</sup>.

Der zeitliche Verlauf der Temperatur zeigt an allen Stationen einen mehr oder weniger starken Anstieg. Besonders stark ist dieser auf dem Säntis zu sehen. Der Anstieg beginnt Ende der siebziger Jahre. Die geglättete Kurve zeigt von Anfang der sechziger Jahre bis Anfang der neunziger Jahre einen Anstieg von ungefähr 1° C. Auch ein lineares Regressionsmodell ergibt einen statistisch signifikanten Anstieg. Der Verlauf der Sonnenscheindauer zeigt keinen eindeutigen Trend. Immerhin treten an allen Stationen Ende der siebziger Jahre Minima auf. Auffallend sind die sehr grossen Schwankungen, handelt es sich doch um 12-monatige Mittelwerte.

Die monatliche Auflösung (Abb. 3.2.5 und Abb. 3.2.6, Tab. 3.2.3) zeigt ein differenzierteres Bild. Nicht alle Monatstemperaturen sind bei der neuen Periode gleichermassen erhöht. Die grössten Abweichungen weisen bei der Temperatur die Monate Juli und August auf. Die Abweichungen liegen im Bereich der Standardabweichung dieser Monate der 30-jährigen Reihe. Ebenfalls erhöht haben sich die Januar- und die Dezemberwerte. Die Frühlings- und Herbsttemperaturen sind praktisch stabil geblieben. Im Jahresschnitt sind die Werte der Periode 83-92 gegenüber den 30-jährigen Mittelwerten an allen Stationen um ca. 0.5 °C höher.

Die Monatswerte der Globalstrahlung zeigen keine grossen Veränderungen zwischen den zwei Messperioden. Auf der Alpennordseite weisen die Monate Juli und August in der neuen Periode mehr Strahlung auf. Auf dem Säntis ist eine Verminderung im Juni festzustellen, in Lugano eine starke Verminderung im Frühling (April-Juni). Im Winter weisen alle Stationen bei beiden Messperioden praktisch die gleichen Strahlungswerte auf. Im Jahresschnitt ergeben sich nur kleine Änderungen. Die Jahresmittelwerte der neuen Messperiode weichen bis 2 W/m<sup>2</sup> vom langjährigen Mittel ab.

Die Abweichungen der neuen Messperiode von der langen Reihe zeigen an allen 4 Standorten das gleiche Bild: Die Temperatur ist besonders im Sommer deutlich höher, und die Globalstrahlung zeigt keine grosse Änderung. Da die 4 Standorte gut über die Schweiz verteilt sind, kann dieser Schluss auf die ganze Schweiz übertragen werden. Ob der Trend zur Erwärmung in der Schweiz weitergeht oder sogar mit dem Treibhauseffekt im Zusammenhang steht, kann nicht gesagt werden. Da von wissenschaftlicher Seite aber eher mit einer Erwärmung in den nächsten Jahrzehnten in Mitteleuropa gerechnet wird (Houghton et al., 1990), glauben wir, dass die Verwendung der Mittelwerte der neuen Messperiode 1983-92 gerechtfertigt ist.

Tab. 3.2.1: Monatsmittel, Extreme und Standardabweichung der Temperatur und Bestrahlungsstärke der Globalstrahlung  $\langle G_{Gh} \rangle$  der Jahre 1961-90 an den 4 ausgewählten Stationen.

		Zürich SMA	Genève- Cointrin	Lugano	Säntis	Zürich SMA	Genève- Cointrin	Lugano	Säntis
		Ta [°C]	Ta [°C]	Ta [°C]	Ta [°C]	$\langle G_{Gh} \rangle$ [W/m <sup>2</sup> ]	$\langle G_{Gh} \rangle$ [W/m <sup>2</sup> ]	$\langle G_{Gh} \rangle$ [W/m <sup>2</sup> ]	$\langle G_{Gh} \rangle$ [W/m <sup>2</sup> ]
Januar	Mittelwert	-0.5	0.7	2.7	-7.9	36	39	51	64
	Standardabw.	2.4	2.0	1.4	2.5	3.6	4.6	8.5	9.4
	Minimum	-6.4	-4.3	-0.2	-13.1	29	28	30	48
	Maximum	3.4	4.3	4.9	-1.8	44	48	66	88
Februar	Mittelwert	0.9	2.2	4.0	-8.1	67	71	78	107
	Standardabw.	2.7	2.2	1.5	2.5	8.9	9.4	13.3	17.5
	Minimum	-5.3	-2.7	0.8	-13.3	49	54	49	61
	Maximum	6.4	6.8	7.1	-3.3	90	91	106	151
März	Mittelwert	4.2	5.1	7.2	-7.0	110	124	119	155
	Standardabw.	2.1	1.7	1.5	2.2	14.1	14.4	18.8	16.3
	Minimum	0.4	1.3	4.3	-10.9	82	101	86	110
	Maximum	8.2	8.0	10.5	-3.1	142	162	168	184
April	Mittelwert	7.8	8.8	11.0	-4.5	154	176	152	209
	Standardabw.	1.6	1.3	1.0	1.8	21.4	24.6	21.4	15.5
	Minimum	4.9	6.5	9.3	-8.2	119	122	102	179
	Maximum	11.2	11.5	13.0	-1.1	196	233	184	244
Mai	Mittelwert	12.2	12.9	14.8	-0.4	191	210	183	227
	Standardabw.	1.4	1.3	1.3	1.6	20.0	19.5	30.5	11.7
	Minimum	9.7	10.4	11.5	-3.0	154	165	116	204
	Maximum	14.7	15.8	17.1	2.5	243	252	257	251
Juni	Mittelwert	15.4	16.4	18.5	2.7	213	242	214	224
	Standardabw.	1.2	1.1	1.0	1.3	20.5	24.7	14.5	19.8
	Minimum	13.8	14.4	17.1	0.6	180	191	190	190
	Maximum	18.3	19.6	21.1	5.0	272	302	251	274
Juli	Mittelwert	17.7	19.2	21.3	5.1	219	248	223	217
	Standardabw.	1.5	1.3	1.2	1.7	23.8	19.7	8.4	26.8
	Minimum	14.9	16.6	19.2	2.8	172	212	207	179
	Maximum	22.0	22.7	23.8	10.1	263	280	241	278
August	Mittelwert	16.8	18.3	20.4	5.1	185	212	202	193
	Standardabw.	1.1	1.1	1.2	1.3	12.4	6.8	16.5	17.9
	Minimum	15.1	16.2	18.0	2.9	166	200	172	165
	Maximum	18.9	20.3	22.5	7.2	219	232	246	233
September	Mittelwert	13.9	14.9	17.1	3.5	138	156	152	167
	Standardabw.	1.4	1.3	1.4	1.9	14.7	14.7	9.7	17.1
	Minimum	10.5	11.9	13.5	-0.6	102	122	131	136
	Maximum	17.4	17.7	19.8	7.5	164	193	173	194
Oktober	Mittelwert	9.2	10.1	12.2	1.2	80	90	95	127
	Standardabw.	1.6	1.5	1.2	2.3	12.3	13.0	15.2	18.5
	Minimum	4.2	5.4	8.2	-7.8	53	68	60	73
	Maximum	11.7	12.2	13.9	4.1	109	119	118	160
November	Mittelwert	3.9	5.0	7.0	-4.0	42	46	56	76
	Standardabw.	1.4	1.1	0.9	1.9	6.8	6.6	9.1	11.7
	Minimum	1.1	2.9	4.6	-7.4	32	34	42	57
	Maximum	7.2	7.5	8.8	0.0	61	60	80	118
Dezember	Mittelwert	0.6	1.8	3.7	-6.5	27	30	45	57
	Standardabw.	2.1	1.5	1.1	2.2	5.0	4.9	4.9	9.2
	Minimum	-4.0	-1.6	1.8	-10.5	18	22	36	38
	Maximum	4.1	3.9	6.5	-2.2	42	40	55	75
Jahr	Mittelwert	8.5	9.6	11.6	-1.7	122	137	131	152
	Standardabw.	0.6	0.6	0.5	0.7	5.4	5.6	5.4	4.8
	Minimum	7.5	8.4	10.7	-2.9	113	128	121	148
	Maximum	9.7	11.0	12.6	0.1	132	147	142	164

Tab. 3.2.2: Monatsmittel der effektiven Sonnenscheindauer (Sd) von 1961-90 in Stunden.

	Zürich-SMA [h]	Genève-Cointrin [h]	Lugano [h]	Säntis [h]
Januar	42.4	49.8	118.2	114.7
Februar	76.2	76.2	122.8	134.3
März	118	130.8	164.8	148.1
April	139.5	161.2	175.7	141.9
Mai	166.1	180.6	181.6	153.7
Juni	178.3	212.3	215.5	147.4
Juli	210.7	255.2	250.7	169.1
August	191.9	225.5	230.0	165.7
September	158.1	184.9	189.5	176.1
Oktober	104.6	114.9	152.5	187.6
November	58.2	60.9	109.0	132.6
Dezember	38.0	42.0	117.4	120.6
<b>Jahr</b>	<b>1482</b>	<b>1694</b>	<b>2028</b>	<b>1792</b>

Tab. 3.2.3: Abweichung der Monatsmittelwerte der Temperatur und der Bestrahlungsstärke der Globalstrahlung der Messperiode 1983-92 bezüglich der Messperiode 1961-90. Positive Werte bedeuten höhere Temperatur-, bzw. Globalstrahlungswerte der neuen Messperiode.

Abweichung:	Temperatur ( $\Delta T_a$ ) [°C]				Bestrahlungsstärke der Globalstrahlung ( $\Delta \langle G_{gh} \rangle$ ) [W/m <sup>2</sup> ]			
	Zürich SMA	Genève- Cointrin	Lugano	Säntis	Zürich SMA	Genève- Cointrin	Lugano	Säntis
Januar	+0.6	+0.3	+0.3	+1.1	+2	0	+2	+3
Februar	-0.4	+0.4	+0.1	+0.1	+1	-2	0	-1
März	+0.6	+0.5	+0.8	+0.5	0	0	0	-3
April	+0.2	0.0	-0.2	+0.1	-1	-6	-12	-4
Mai	+0.3	+0.3	+0.1	+0.4	+1	0	-8	-1
Juni	+0.2	+0.2	-0.1	-0.2	-3	-4	-5	-9
Juli	+1.1	+1.1	+1.0	+1.5	+9	+7	+1	+10
August	+1.3	+1.2	+1.0	+1.3	+9	+4	+6	+6
September	+0.6	+1.0	+0.6	+0.5	+2	+5	+1	-5
Oktober	+0.7	+0.9	+0.7	+0.4	+2	+3	-6	-4
November	+0.2	+0.3	+0.4	+0.7	-1	-2	+2	+1
Dezember	+1.0	+0.6	+0.6	+1.5	+3	+3	0	+2
<b>Jahr</b>	<b>+0.5</b>	<b>+0.5</b>	<b>+0.5</b>	<b>+0.6</b>	<b>+2</b>	<b>+1</b>	<b>-2</b>	<b>-1</b>

Tab. 3.2.4: Regressionskoeffizienten a und b der Angstroemgleichung für Monatswerte von den 4 ausgewählten Stationen ( $G_h/G_0 = a + b \cdot S_d/S_0$ ). Bestimmt mit den Daten von 1983-92 der jeweiligen Station. P(F) gibt die Wahrscheinlichkeit an, das der F-Test nicht signifikant ist. Obwohl der  $r^2$ -Wert bis 0.39 absinkt, ist das Signifikanzniveau von 5% nie überschritten. Gerechnet mit der extraterr. Strahlung und der astronomischen Sonnenscheindauer von 47° N (Tab. 3.1.6 und Tab. 3.1.7).

	Zürich SMA				Genève-Cointrin				Lugano				Säntis			
	a	b	$r^2$	P(F)	a	b	$r^2$	P(F)	a	b	$r^2$	P(F)	a	b	$r^2$	P(F)
Januar	0.200	0.463	0.50	0.02	0.190	0.616	0.74	0.00	0.151	0.556	0.83	0.01	0.286	0.492	0.92	0.00
Februar	0.212	0.508	0.72	0.00	0.244	0.460	0.80	0.00	0.195	0.486	0.83	0.01	0.244	0.657	0.41	0.05
März	0.222	0.510	0.89	0.00	0.280	0.433	0.85	0.00	0.198	0.486	0.75	0.00	0.312	0.571	0.74	0.00
April	0.199	0.602	0.91	0.00	0.237	0.570	0.94	0.00	0.168	0.536	0.87	0.00	0.398	0.434	0.53	0.02
Mai	0.228	0.540	0.95	0.00	0.282	0.470	0.97	0.00	0.141	0.674	0.93	0.00	0.405	0.295	0.60	0.01
Juni	0.236	0.538	0.67	0.00	0.244	0.568	0.83	0.00	0.244	0.437	0.65	0.01	0.261	0.650	0.74	0.01
Juli	0.224	0.552	0.88	0.00	0.257	0.508	0.84	0.00	0.304	0.327	0.39	0.05	0.243	0.618	0.85	0.00
August	0.269	0.420	0.88	0.00	0.407	0.220	0.50	0.02	0.182	0.593	0.90	0.00	0.250	0.583	0.81	0.00
September	0.214	0.510	0.91	0.00	0.258	0.465	0.91	0.00	0.308	0.328	0.43	0.04	0.255	0.567	0.94	0.00
Oktober	0.180	0.564	0.91	0.00	0.219	0.536	0.97	0.00	0.170	0.554	0.94	0.00	0.273	0.520	0.87	0.00
November	0.164	0.589	0.91	0.00	0.185	0.584	0.93	0.00	0.124	0.657	0.70	0.00	0.215	0.636	0.88	0.00
Dezember	0.138	0.715	0.95	0.00	0.176	0.611	0.80	0.00	0.116	0.646	0.77	0.00	0.283	0.509	0.64	0.01

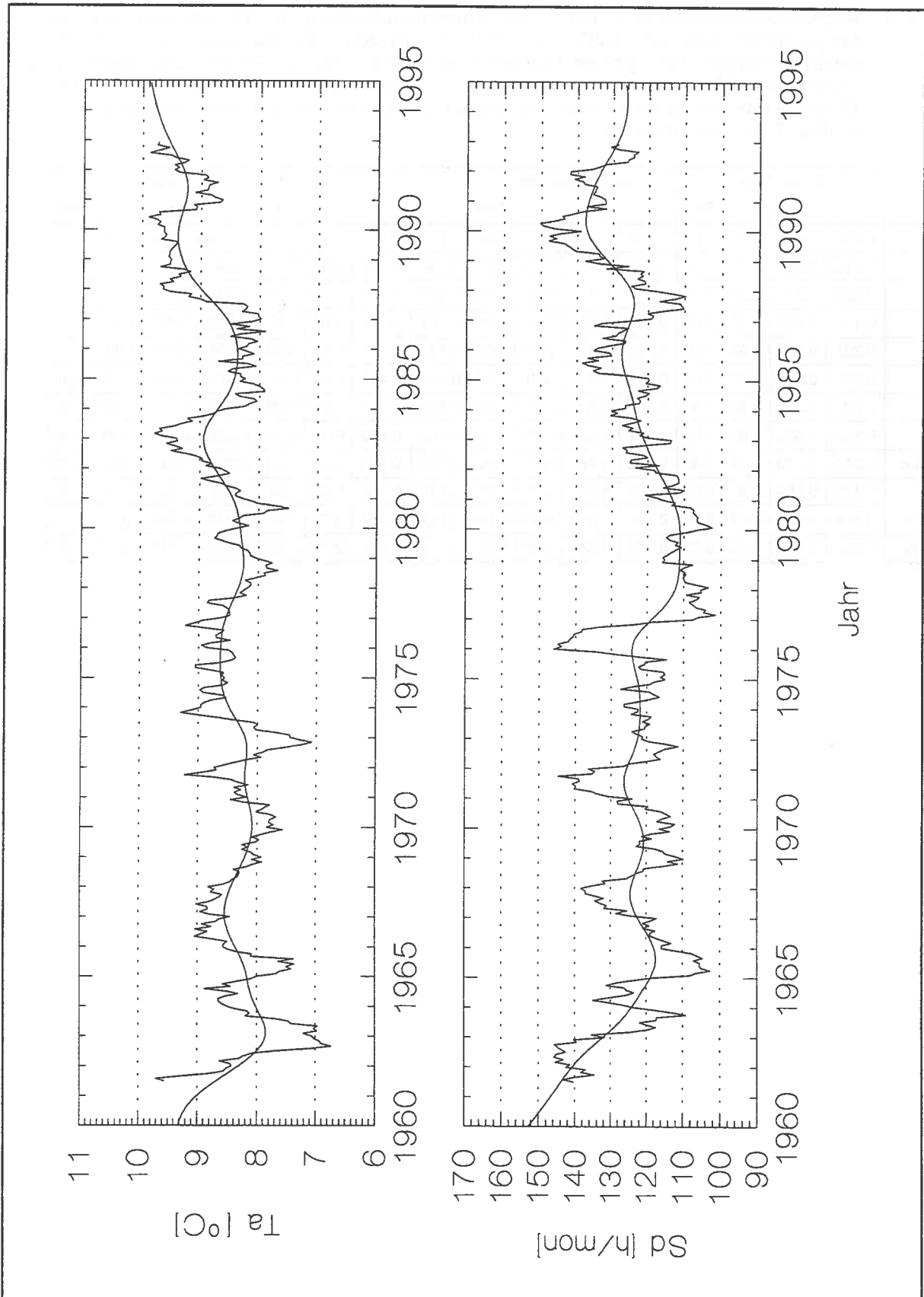


Abb. 3.2.1: Zeitlicher Verlauf der Temperatur ( $T_a$ ) und der effektiven Sonnenscheindauer ( $S_d$ ) zwischen 1961-92 von **Zürich SMA**. Geglättete Kurven mit 12 Monaten Glättungslänge beziehungsweise distance-weighted-least-square-Glättung der ersten Kurve. Letztere Glättung kommt etwa einer Glättungslänge von 5 Jahren gleich.

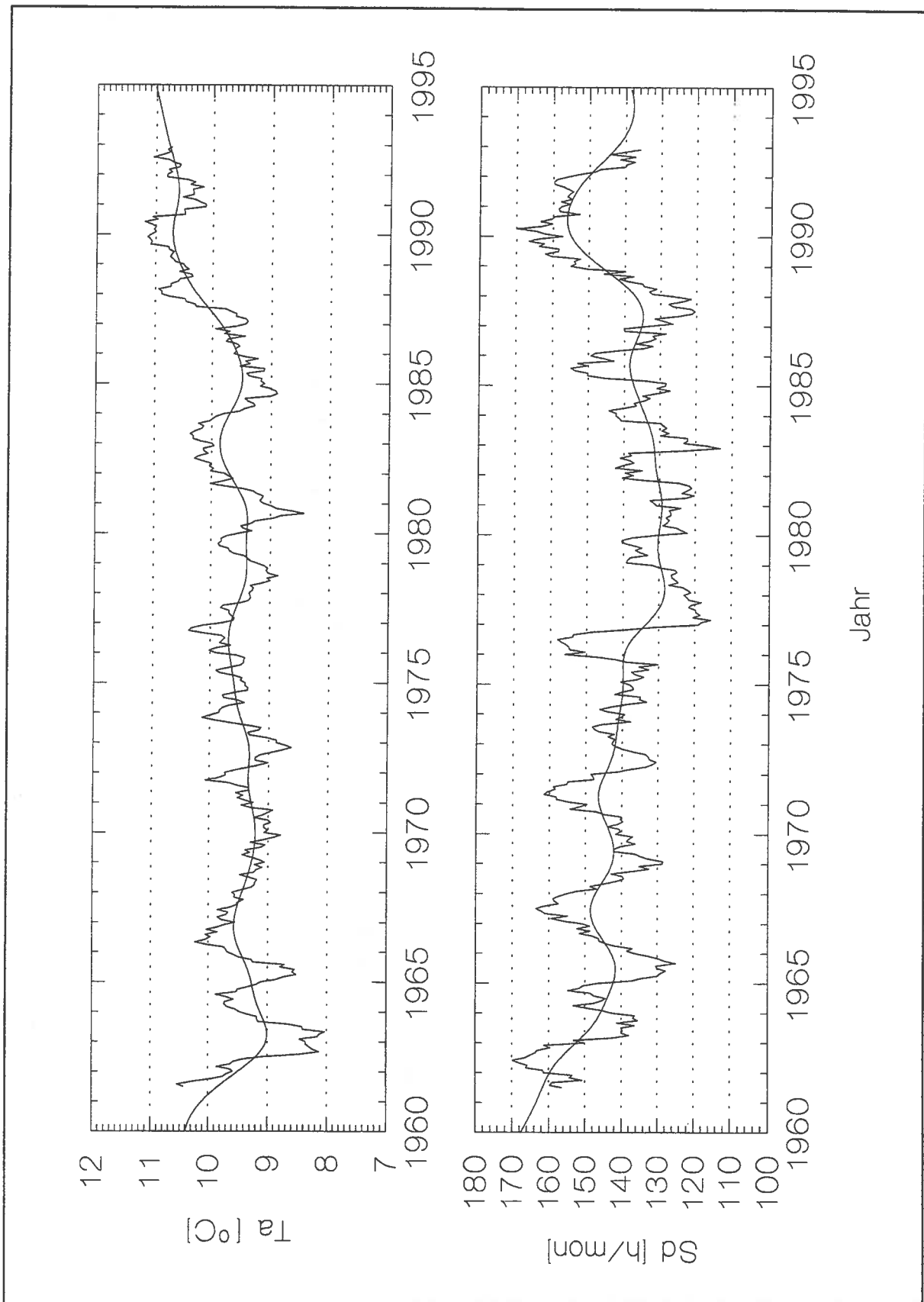


Abb. 3.2.2: Zeitlicher Verlauf der Temperatur ( $T_a$ ) und der effektiven Sonnenscheindauer ( $S_d$ ) zwischen 1961-92 von **Genève-Cointrin**. Geglättete Kurven mit 12 Monaten Glättungslänge beziehungsweise distance-weighted-least-square-Glättung der ersten Kurve. Letztere Glättung kommt etwa einer Glättungslänge von 5 Jahren gleich.

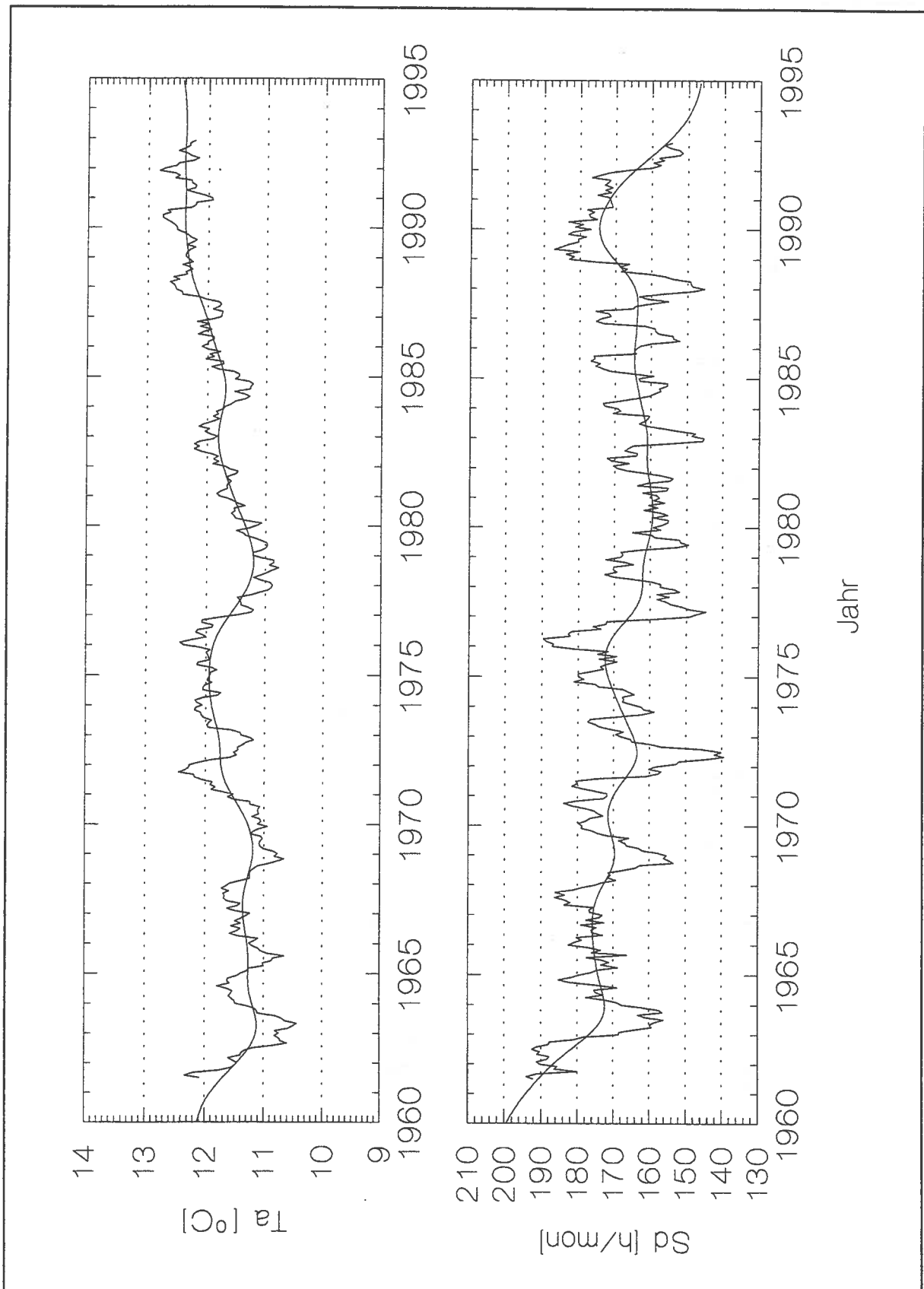


Abb. 3.2.3: Zeitlicher Verlauf der Temperatur ( $T_a$ ) und der effektiven Sonnenscheindauer ( $S_d$ ) zwischen 1961-92 von **Lugano**. Geglättete Kurven mit 12 Monaten Glättungslänge beziehungsweise distance-weighted-least-square-Glättung der ersten Kurve. Letztere Glättung kommt etwa einer Glättungslänge von 5 Jahren gleich.

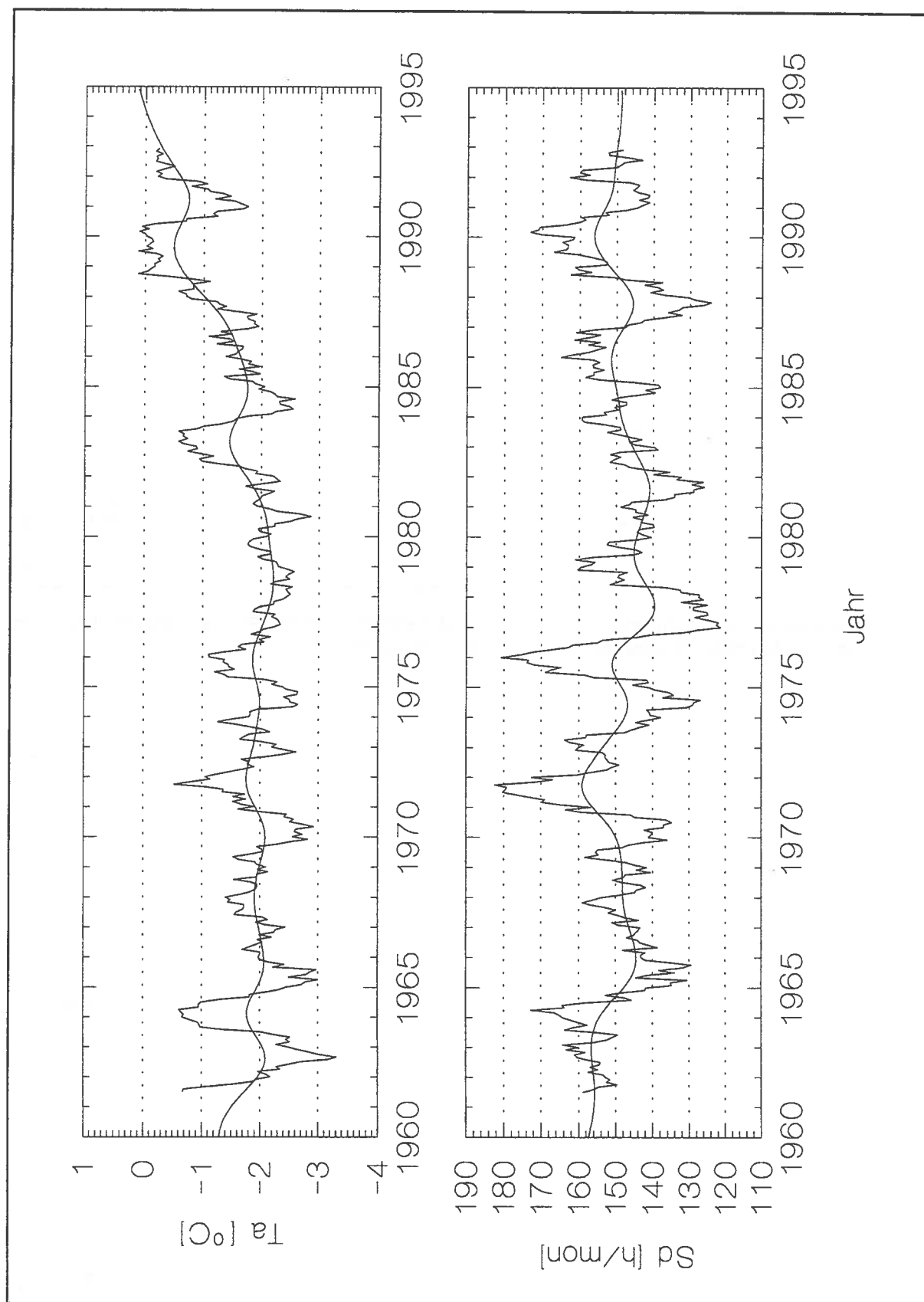


Abb. 3.2.4: Zeitlicher Verlauf der Temperatur (Ta) und der effektiven Sonnenscheindauer (Sd) zwischen 1961-92 von **Sântis**. Geglättete Kurven mit 12 Monaten Glättungslänge beziehungsweise distance-weighted-least-square-Glättung der ersten Kurve. Letztere Glättung kommt etwa einer Glättungslänge von 5 Jahren gleich.

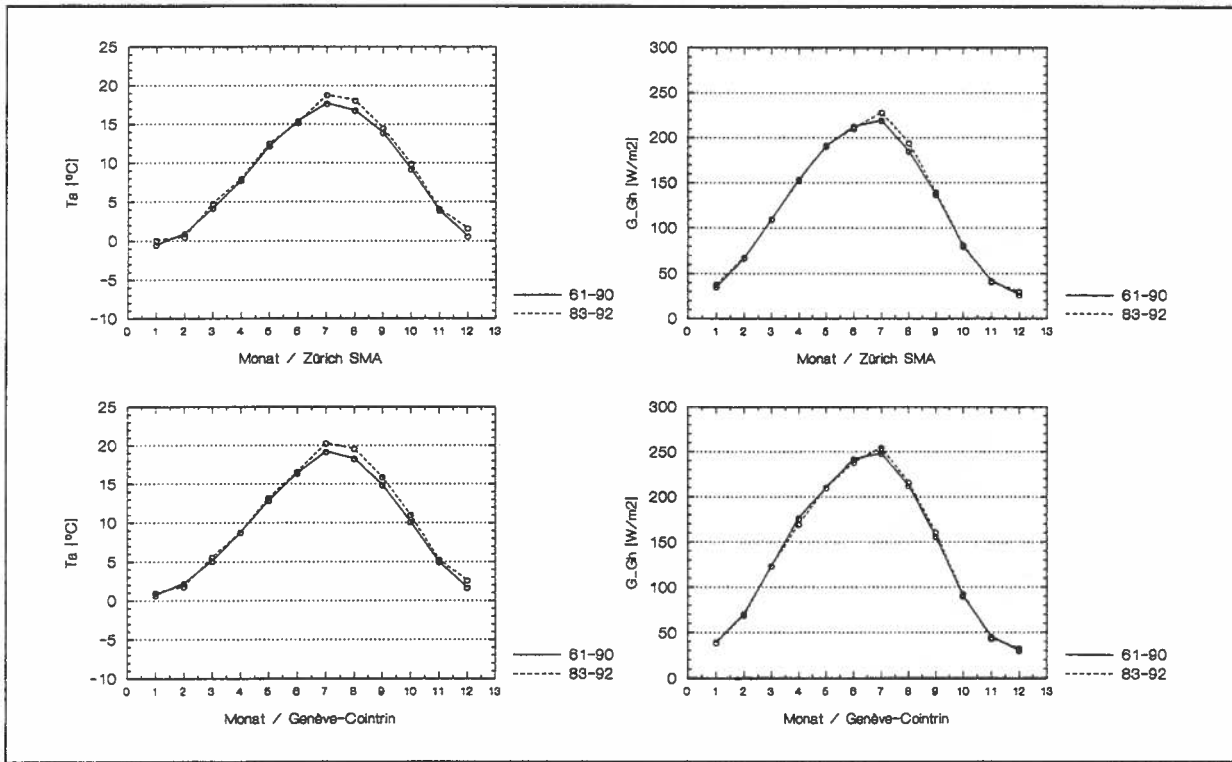


Abb. 3.2.5: Monatswerte der Temperatur ( $T_a$ ) und der Globalstrahlung ( $\langle G_{Gh} \rangle$ ) von **Zürich SMA** und **Genève-Cointrin**. Mittelwerte der Jahre 1961-90 und 1983-92.

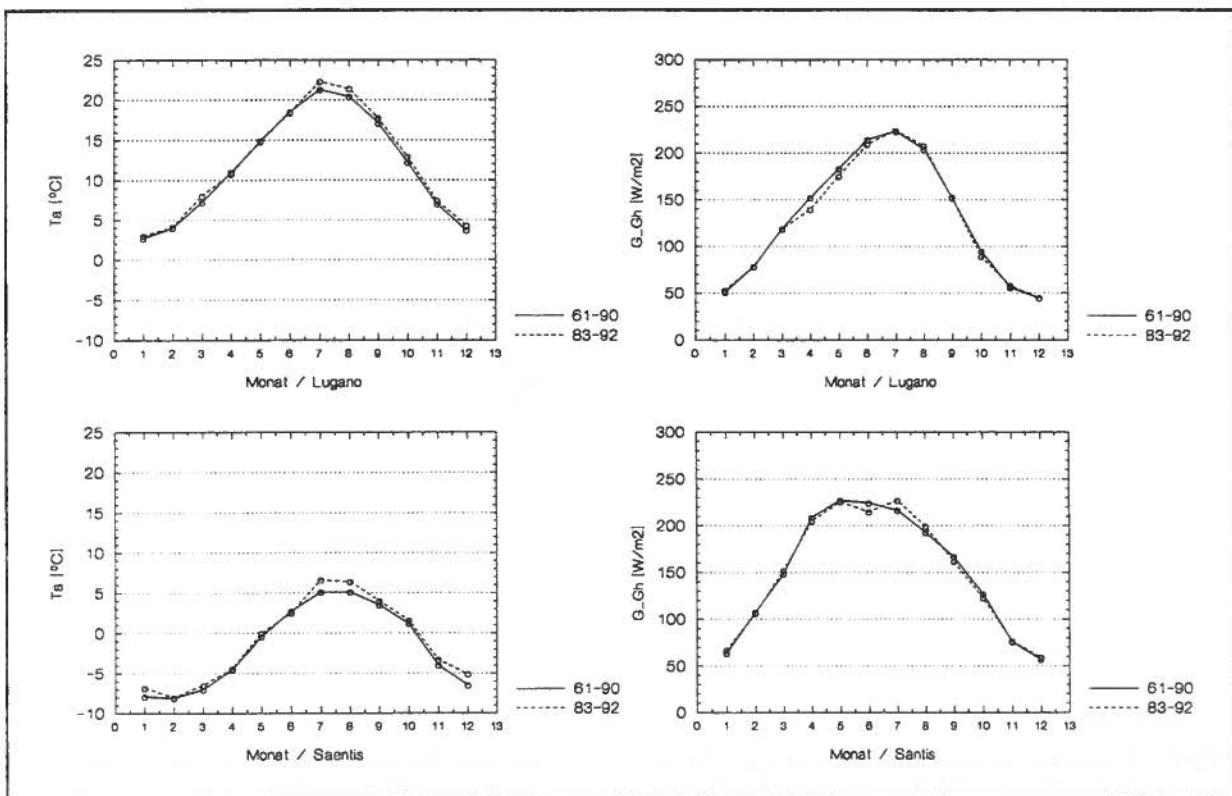


Abb. 3.2.6: Monatswerte der Temperatur ( $T_a$ ) und der Globalstrahlung ( $\langle G_{Gh} \rangle$ ) von **Lugano** und vom **Sântis**. Mittelwerte der Jahre 1961-90 und 1983-92.

## 3.3 Referenzstationen

### 3.3.1 Datenbasis Anetz 1983 - 1992

Die Datengrundlage der *METEONORM* bilden die 10 Jahre 1983 - 1992. Diese wurde vorab aus messtechnischen Gründen gewählt. Die meisten Anetz-Stationen sind seit 1983 in Betrieb und liefern gute Messwerte (ohne grössere Unterbrechungen). 59 Stationen sind praktisch seit Anfang der zehnjährigen Periode im Betrieb. Von diesen **59 Stationen** stehen **Monatswerte** von folgenden Parametern zur Verfügung: Temperatur (Ta), Globalstrahlung (Gh), Sonnenscheindauer (Sd), relative Luftfeuchtigkeit (RH), Windrichtung (DD) und -stärke (FF). Von weiteren 5 Stationen, die ihren Betrieb zwischen 1983 und 1989 aufnahmen, konnten mittels Ausdehnung (Differenzverfahren) der Temperatur- und Strahlungsreihen die Monatsmittel der 10 Jahre berechnet werden. Somit stehen von **64 Stationen** die Mittelwerte der Temperatur (Ta) und der Globalstrahlung (Gh) zur Verfügung. Diese Daten wurden von der SMA im Rahmen des Projekts Klima '90 noch nicht korrigiert und können allenfalls noch gewisse Fehler aufweisen. Abb. 3.3.1 zeigt die Standorte der Anetz-Stationen und in Tab. 3.3.1 sind die Stationsdaten aufgelistet.

#### 3.3.1.1 Beschreibung der Temperatur- und Strahlungsdaten

Die Messwerte der Globalstrahlung und der Temperatur sind in den Tab. 3.3.2 und Tab. 3.3.3 aufgelistet. Einzelne typische Jahressgänge der Temperatur und der Globalstrahlung sind in Abb. 3.3.2 und Abb. 3.3.3 dargestellt.

Die Jahresmittel der Temperatur schwanken zwischen  $-7.3\text{ °C}$  auf dem Jungfrauoch und  $12.1\text{ °C}$  in Lugano. Im Mittelland liegen sie bei 8 bis  $10\text{ °C}$ . Das tiefste Monatsmittel wird im Februar auf dem Jungfrauoch mit  $-14.1\text{ °C}$  erreicht, das höchste im Juli in Lugano mit  $22.3\text{ °C}$ . Der wärmste Monat ist an allen Stationen der Juli, der kälteste an den tiefer gelegenen Stationen der Januar, an den höheren Stationen der Februar.

Die Jahreswerte der mittleren Bestrahlungsstärken der Globalstrahlung liegen im Mittelland bei 120 bis  $135\text{ W/m}^2$  (Strahlungssummen: 1050 bis  $1200\text{ kWh/m}^2$ ). Im Sommer erreichen die Werte 230 bis  $250\text{ W/m}^2$ , im Dezember allerdings nur noch 30 bis  $40\text{ W/m}^2$ . Die höchsten Strahlungswerte im 10-Jahresschnitt weist die Station Corvatsch mit  $178\text{ W/m}^2$ , die tiefsten Buchs-Suhr mit  $117\text{ W/m}^2$  auf (tiefer als alle Alpenstationen, die zum Teil beträchtliche Verluste auf Grund des hohen Horizontes aufweisen). Der tiefste Monatswert beträgt  $21\text{ W/m}^2$  in Piotta im Dezember (sehr hoher Horizont), der höchste  $269\text{ W/m}^2$  in Montana-Vermala im Juli.

Für die Interpolation muss bei den Strahlungsdaten zuerst der Horizonteffekt eliminiert werden. Die verwendete Methode ist in der Technischen Dokumentation (BEW, 1995) beschrieben. Die korrigierten Werte der 26 Stationen mit hohem Horizont sind in Tab. 3.3.4 aufgelistet.

Mit den horizontkorrigierten Daten weist nun nicht mehr Montana-Vermala die höchsten monatlichen Globalstrahlungswerte auf, sondern Visp und Zermatt mit je  $279\text{ W/m}^2$  im Juli. Das höchste Jahresmittel von der Station Corvatsch ( $178\text{ W/m}^2$ ) wird allerdings nirgends übertroffen.

**Anetz-Stationen mit Strahlungs-/Temperaturregionen  
Stations Anetz avec les zones d'ensoleillement et de température**

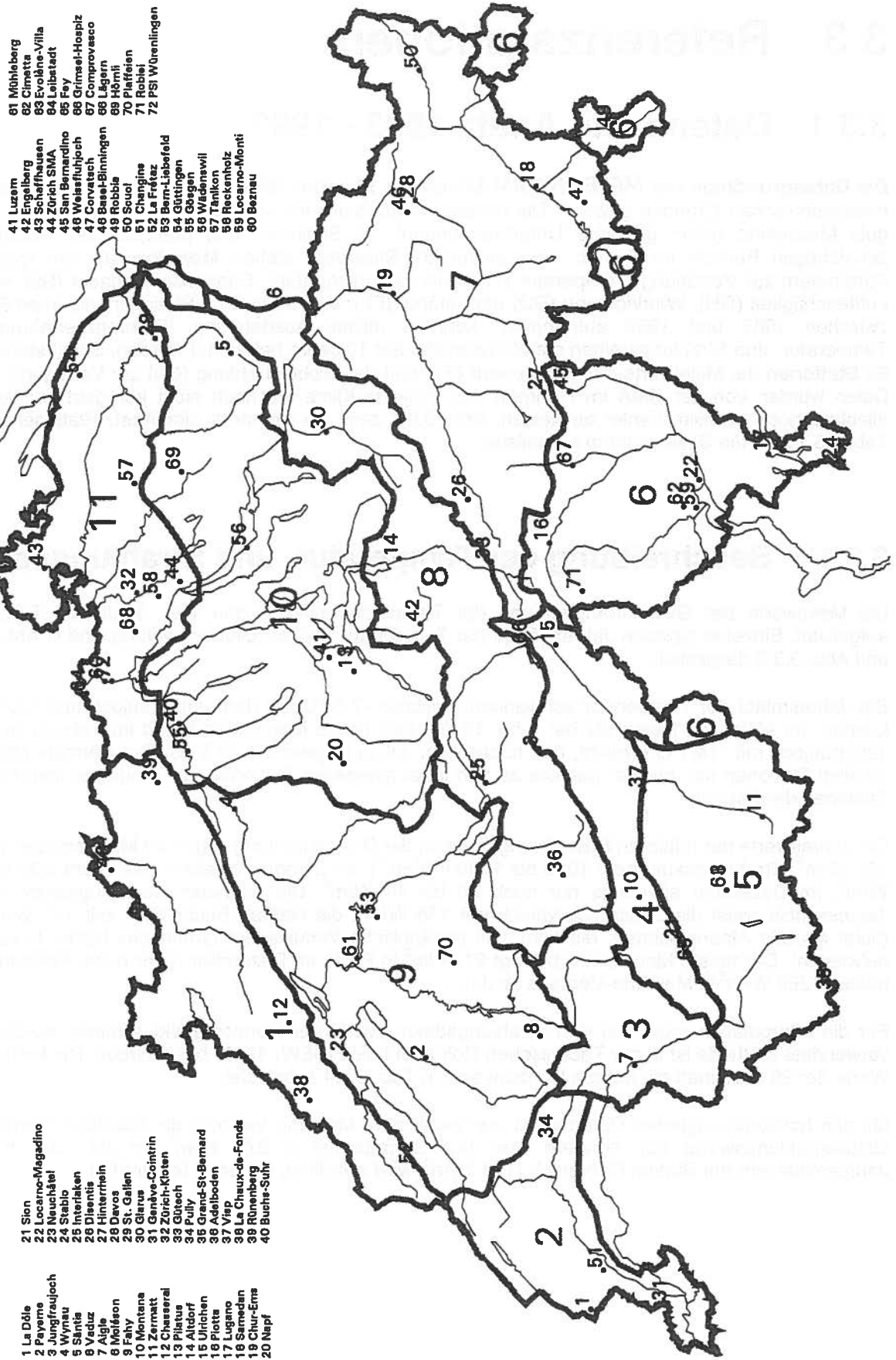


Abb. 3.3.1: Anetz-Stationen mit Strahlungs- und Temperaturregionen (Quelle Hintergrunddaten: BFS-GEOSTAT)

Tab. 3.3.1: In der **METEONORM** verwendete Anetz-Stationen.Legende:

SH: Synoptische Hauptstation

SN: Synoptische Nebenstation

KS: KLIMA-Station

KB: KLIMA-Bulletinstation

SMA Nr.	Station	Kürzel	Geogr. Koordinaten		Landeskoordinaten		Höhe [m]	Typ
			X	Y	X [km]	Y [km]		
1	La Dôle	DOL	46°26'	-6°06'	497.050	142.380	1670	SH
2	Payeme	PAY	46°49'	-6°57'	562.150	184.855	490	SH
3	Jungfrauoch	JUN	46°33'	-7°59'	641.930	155.275	3580	SH
4	Wynau	WYN	47°15'	-7°47'	626.400	233.860	422	SN
5	Sântis	SAE	47°15'	-9°21'	744.100	234.900	2490	SH
6	Vaduz	VAD	47°08'	-9°31'	575.700	221.700	460	SH
7	Aigle	AIG	46°20'	-6°55'	560.120	130.630	381	SN
8	Moléson	MOL	46°33'	-7°01'	567.740	155.175	1972	KS
9	Fahy	FAH	47°26'	-6°57'	582.460	252.650	596	SN
10	Montana	MVE	46°19'	-7°29'	603.600	129.160	1506	SN
11	Zermatt	ZER	46°02'	-7°45'	624.350	97.550	1638	KB
12	Chasseral	CHA	47°08'	-7°04'	571.290	220.320	1599	KS
13	Pilatus	PIL	46°59'	-8°15'	661.910	203.410	2106	KB
14	Altdorf	ALT	46°52'	-8°38'	690.960	191.700	449	SN
15	Ulrichen	ULR	46°30'	-8°19'	666.740	150.760	1345	KS
16	Piotta	PIO	46°31'	-8°41'	694.930	152.500	1007	SN
17	Lugano	LUG	46°00'	-8°58'	717.880	095.870	273	SN
18	Samedan	SAM	46°32'	-9°53'	787.150	156.040	1705	SN
19	Chur-Ems	CHU	46°52'	-9°32'	759.460	193.170	555	SN
20	Napf	NAP	47°00'	-7°56'	638.138	206.075	1406	KS
21	Sion	SIO	46°13'	-7°20'	592.200	118.625	482	SH
22	Locarno-Magadino	MAG	46°10'	-8°53'	711.180	113.540	197	SH
23	Neuchâtel	NEU	47°00'	-6°57'	563.150	205.600	485	SN
24	Stabio	SBO	45°51'	-8°56'	716.040	077.970	353	KS
25	Interlaken	INT	46°40'	-7°52'	633.070	169.120	580	SN
26	Disentis	DIS	46°42'	-8°51'	706.230	173.780	1190	SN
27	Hinterrhein	HIR	46°31'	-9°11'	733.900	153.980	1611	KB
28	Davos	DAV	46°49'	-9°51'	783.580	187.480	1590	KB
29	St.Gallen	STG	47°26'	-9°24'	747.940	254.600	779	SN
30	Glarus	GLA	47°02'	-9°04'	723.750	210.580	515	KB
31	Genève-Cointrin	GVE	46°15'	-6°06'	498.580	122.320	420	SH
32	Zürich-Kloten	KLO	47°29'	-8°32'	682.280	259.220	436	SH
33	Gütsch	GUE	48°39'	-8°37'	690.140	167.590	2287	SH
34	Pully	PUY	46°31'	-6°40'	540.820	151.500	461	KB
35	Grand-St-Bernard	GSB	45°52'	-7°10'	579.200	079.720	2472	KB
36	Adelboden	ABO	46°30'	-7°34'	609.400	148.975	1320	KB
37	Visp	VIS	46°18'	-7°51'	631.150	128.020	840	KB
38	La Chaux-de-Fonds	CDF	47°05'	-6°48'	551.290	215.150	1018	KB
39	Rünenberg	RUE	47°26'	-7°53'	633.250	253.840	610	KS
40	Buchs-Suhr	BUS	47°23'	-8°05'	648.400	248.360	387	KB
41	Luzern	LUZ	47°02'	-8°18'	665.520	209.860	456	KB
42	Engelberg	ENG	46°49'	-8°25'	674.150	186.080	1035	KB
43	Schaffhausen	SHA	47°41'	-8°37'	688.700	282.800	437	KB
44	Zürich-SMA	SMA	47°23'	-8°34'	685.125	248.090	556	SH
45	San Bernardino	SBE	46°28'	-9°11'	734.120	147.270	1639	SN
46	Weissfluhoch	WFJ	46°50'	-9°49'	780.600	189.630	2690	KB
47	Corvatsch	COV	46°25'	-9°49'	783.160	143.525	3315	SN
48	Basel-Binningen	BAS	47°33'	-7°35'	610.850	265.620	316	KB
49	Robbia	ROB	46°21'	-10°04'	801.850	136.180	1078	SN
50	Scuol	SCU	46°48'	-10°17'	817.130	186.400	1296	KB
51	Changins	CGI	46°24'	-6°14'	507.280	139.170	430	KS
52	La Frétaz	FRE	46°50'	-6°35'	534.230	188.080	1202	KS
53	Bern-Liebefeld	BER	46°56'	-7°25'	598.610	197.470	565	KB
54	Güttingen	GUT	47°36'	-9°17'	738.430	273.950	440	KB
56	Wädenswil	WAE	47°13'	-8°41'	693.770	230.780	463	KS
57	Tänikon	TAE	47°29'	-8°54'	710.550	259.820	536	KB
58	Reckenholz	REH	47°26'	-8°31'	681.400	243.550	443	KS
59	Locarno-Monti	OTL	46°10'	-8°47'	704.160	114.350	366	SH
62	Cimetta	CIM	46°12'	-8°48'	704.370	117.515	1672	KS
63	Evolène-Villa	EVO	46°07'	-7°31'	605.415	106.740	1825	KB
66	Grimsel-Hospiz	GRH	46°34'	-8°20'	668.460	158.160	1980	KB
67	Comprovasco	COM	46°28'	-8°56'	714.996	146.440	575	KS
68	Lägern	LAE	47°29'	-8°24'	672.250	259.460	868	KS
70	Plaffeien	PLF	46°45'	-7°18'	586.850	177.400	1042	KB

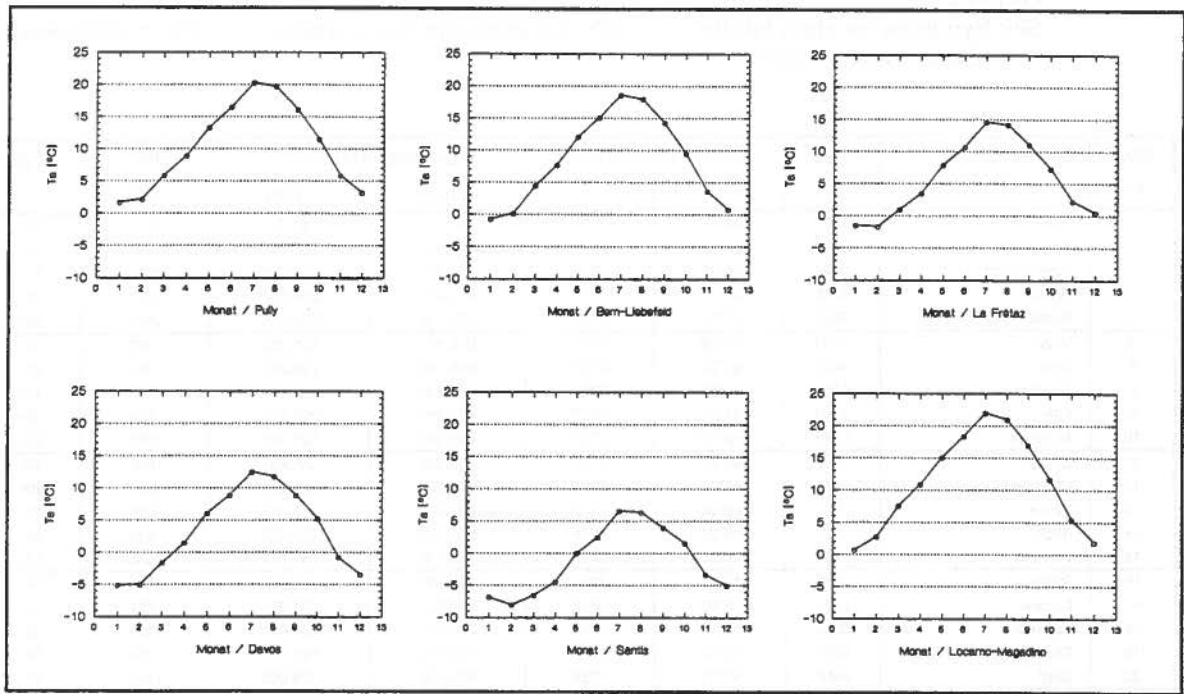


Abb. 3.3.2: Monatswerte der Temperatur der Anetz-Stationen **Pully, Bern-Liebefeld, La Frétaz, Davos, Säntis, Locarno-Magadino** (Werte vgl. Tab. 3.3.2).

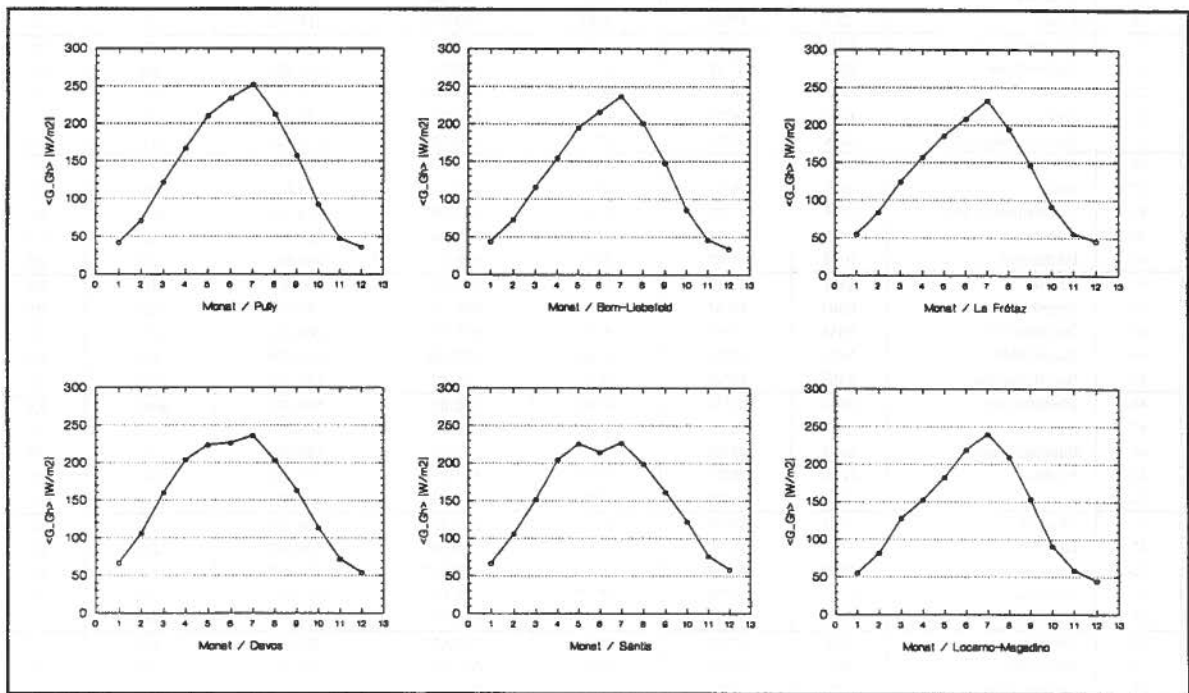


Abb. 3.3.3: Monatswerte der Bestrahlungsstärke der Globalstrahlung ( $\langle G_{Gh} \rangle$ ) in  $W/m^2$  der Anetz-Stationen **Pully, Bern-Liebefeld, La Frétaz, Davos, Säntis, Locarno-Magadino** (Werte vgl. Tab. 3.3.3).

Tab. 3.3.2: 10-jährige Monatsmittel der Temperatur in [°C] (1983-92) von 64 Anetz-Stationen

Station	Nr SMA	Jan	Feb	März	April	Mai	Juni	Juli	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr
La Dôle	1	-2.7	-3.4	-1.5	0.6	5.1	8.0	12.2	11.8	9.1	5.6	0.8	-0.9	3.7
Payeme	2	-0.1	0.6	4.8	8.0	12.4	15.5	19.0	18.4	14.7	9.8	4.2	1.3	9.0
Jungfrauojoch	3	-13.1	-14.1	-13.0	-10.8	-6.4	-3.7	0.2	-0.0	-2.1	-4.9	-9.4	-10.9	-7.3
Wynau	4	-0.3	0.0	4.2	7.7	12.4	15.3	18.6	17.8	14.2	9.5	3.9	1.1	8.7
Säntis	5	-6.8	-8.0	-6.5	-4.4	0.0	2.5	6.6	6.4	4.0	1.6	-3.3	-5.0	-1.1
Vaduz	6	0.3	1.0	5.7	9.1	13.4	15.7	18.9	18.3	15.0	10.8	4.6	1.6	9.5
Aigle	7	0.4	1.4	5.4	8.8	13.0	15.9	19.3	18.5	14.9	10.3	4.8	1.6	9.5
Moléson	8	-3.3	-4.1	-2.7	-0.9	3.3	6.2	10.4	10.1	7.7	4.8	0.1	-1.4	2.5
Fahy	9	0.1	0.5	4.3	7.2	11.4	14.3	17.9	17.5	13.9	9.5	4.2	1.8	8.6
Montana	10	-1.9	-2.1	0.5	3.3	7.9	10.8	15.0	14.3	11.3	7.2	2.0	-0.2	5.7
Zermatt	11	-4.1	-3.8	-0.7	2.4	7.1	9.9	13.8	13.0	9.8	5.6	0.0	-2.6	4.2
Chasseral	12	-2.6	-3.4	-1.4	0.7	5.2	8.0	11.9	11.6	8.8	5.7	0.8	-0.7	3.7
Pilatus	13	-3.9	-4.9	-3.2	-1.5	2.7	5.4	9.6	9.3	6.8	4.2	-0.6	-2.2	1.8
Altdorf	14	0.7	1.2	5.3	8.8	13.1	15.6	19.0	18.2	14.9	10.7	5.0	2.0	9.5
Ulrichen	15	-7.9	-6.3	-1.3	2.4	7.4	10.7	14.5	13.5	10.2	5.4	-1.4	-6.3	3.4
Piotta	16	-1.2	-0.5	3.3	6.0	10.5	13.8	17.5	16.5	13.2	8.3	2.6	0.0	7.5
Lugano	17	3.0	4.1	8.0	10.8	14.9	18.4	22.3	21.4	17.7	12.9	7.4	4.3	12.1
Samedan	18	-9.8	-8.4	-3.5	0.7	5.6	8.6	12.1	11.2	8.0	3.5	-3.6	-8.3	1.3
Chur-Ems	19	-0.2	0.7	5.2	8.5	12.9	15.3	18.7	18.0	14.5	10.4	4.3	1.1	9.1
Napf	20	-1.8	-2.4	0.1	2.4	6.9	9.7	13.8	13.4	10.3	7.0	1.9	0.1	5.1
Sion	21	-0.8	1.0	6.0	9.6	13.9	16.7	20.0	19.0	15.2	10.1	3.8	0.1	9.5
Locarno-Magadino	22	0.7	2.8	7.6	10.9	15.1	18.4	22.0	21.0	17.0	11.7	5.5	1.9	11.2
Neuchâtel	23	1.0	1.5	5.5	8.8	13.3	16.3	20.2	19.6	15.8	10.9	5.2	2.4	10.0
Stabio	24	0.2	1.6	6.3	9.7	13.9	17.3	20.9	19.9	16.0	11.0	5.0	1.3	10.3
Interlaken	25	-1.1	-0.1	4.2	7.6	12.0	14.8	18.3	17.3	13.9	9.2	3.5	0.5	8.3
Disentis	26	-1.5	-1.6	1.6	4.6	9.1	11.9	15.8	15.0	11.9	8.2	2.3	-0.1	6.4
Hinterrhein	27	-6.5	-6.1	-2.5	0.8	5.5	8.7	12.6	11.9	8.8	4.8	-1.3	-4.8	2.6
Davos	28	-5.1	-5.0	-1.6	1.5	6.1	8.9	12.5	11.8	8.9	5.3	-0.7	-3.4	3.3
St.Gallen	29	-0.6	-0.5	3.5	6.5	11.0	13.6	17.2	16.7	13.4	9.1	3.4	1.0	7.9
Glarus	30	-1.1	-0.3	4.1	8.0	12.3	14.8	18.0	17.2	13.9	9.7	3.6	0.6	8.4
Genève-Cointrin	31	1.0	1.8	5.6	8.8	13.2	16.6	20.3	19.6	15.9	11.0	5.3	2.6	10.1
Zürich-Kloten	32	-0.0	0.3	4.8	8.2	12.8	15.7	19.0	18.3	14.6	9.8	4.0	1.4	9.1
Gütsch	33	-5.9	-6.8	-5.2	-3.2	1.2	4.4	8.9	8.6	6.1	2.6	-2.2	-3.9	0.4
Pully	34	1.7	2.2	5.9	8.9	13.3	16.5	20.3	19.7	16.1	11.5	5.9	3.2	10.4
Grand-St-Bernard	35	-7.2	-7.9	-6.2	-4.1	0.3	3.7	8.4	8.0	5.4	1.2	-3.5	-5.3	-0.6
Adelboden	36	-1.5	-1.7	0.9	3.7	8.1	10.9	14.7	14.1	11.2	7.5	2.1	0.1	5.8
Visp	37	-1.9	0.3	5.5	9.0	13.3	15.9	19.3	18.4	14.7	9.8	3.3	-0.8	8.9
La Chaux-de-Fonds	38	-2.0	-1.5	1.3	4.4	8.7	11.7	15.4	14.7	11.6	7.8	2.4	0.0	6.2
Rünenberg	39	-0.4	0.5	4.5	7.4	11.8	14.6	18.1	17.7	14.2	9.7	4.0	1.6	8.7
Buchs-Suhr	40	0.1	0.4	4.8	8.2	12.9	15.8	19.1	18.3	14.6	9.9	4.2	1.6	9.2
Luzern	41	0.1	0.8	5.0	8.4	13.0	15.8	19.3	18.4	14.9	10.2	4.4	1.7	9.3
Engelberg	42	-2.4	-1.9	1.7	4.8	9.2	11.9	15.4	14.6	11.6	7.7	1.9	-0.8	6.1
Schaffhausen	43	-0.3	0.1	4.7	8.2	12.8	15.5	18.9	18.2	14.4	9.5	3.7	1.1	8.9
Zürich-SMA	44	0.1	0.5	4.8	8.0	12.5	15.2	18.8	18.1	14.5	9.9	4.1	1.6	9.0
San Bernardino	45	-3.6	-4.1	-1.2	1.1	5.2	9.0	13.0	12.2	9.3	4.9	-0.2	-2.4	3.6
Weissfluhjoch	46	-8.1	-9.2	-7.7	-5.5	-1.1	1.6	6.0	5.8	3.4	0.6	-4.4	-6.3	-2.1
Corvatsch	47	-11.2	-12.3	-10.8	-8.4	-4.0	-1.3	2.9	2.7	0.2	-2.8	-7.6	-9.5	-5.2
Basel-Binningen	48	1.2	1.7	6.1	9.1	13.3	16.3	19.6	19.1	15.3	10.8	5.1	2.6	10.0
Robbia	49	-1.8	-1.4	2.9	6.0	10.0	12.8	16.3	15.5	12.2	7.6	2.1	-0.3	6.8
Scuol	50	-4.7	-3.7	1.0	4.5	9.0	11.7	15.4	14.6	11.4	6.8	0.1	-3.5	5.2
Changins	51	1.1	1.7	5.7	8.8	13.2	16.4	20.1	19.5	15.8	11.0	5.4	2.6	10.1
La Frétagaz	52	-1.5	-1.7	1.0	3.5	7.9	10.7	14.6	14.2	11.1	7.3	2.3	0.5	5.8
Bern-Liebfeld	53	-0.7	0.2	4.5	7.7	12.1	15.1	18.6	18.0	14.3	9.5	3.7	0.8	8.6
Güttingen	54	0.0	0.3	4.5	7.8	12.5	15.3	18.5	17.8	14.2	9.6	4.0	1.5	8.8
Wädenswil	56	-0.0	0.5	4.8	8.2	12.8	15.6	19.1	18.2	14.7	10.1	4.3	1.6	9.1
Tänikon	57	-0.6	-0.5	4.0	7.2	11.8	14.8	18.0	17.3	13.8	9.1	3.4	1.0	8.3
Reckenholz	58	-0.1	0.2	4.7	8.1	12.7	15.5	18.9	18.2	14.4	9.7	4.0	1.4	9.0
Locarno-Monti	59	3.1	4.1	8.2	10.8	14.8	18.1	22.0	21.2	17.5	12.5	7.0	4.4	12.0
Cimetta	62	-1.4	-2.4	-0.1	1.9	6.2	9.6	13.6	13.1	10.3	6.3	1.8	0.4	4.9
Evolène-Villa	63	-1.6	-2.2	-1.1	2.6	7.0	8.5	13.9	13.6	9.4	6.7	1.6	-0.3	4.8
Grimsel-Hospiz	66	-5.6	-5.9	-3.8	-1.5	3.1	6.1	10.4	10.0	7.7	4.2	-0.6	-3.3	1.7
Comprovasco	67	2.4	2.3	6.4	8.8	12.7	15.9	19.3	18.7	15.1	10.1	5.3	2.9	10.0
Lägern	68	-1.3	-1.1	2.5	5.8	10.4	12.5	16.1	16.3	12.6	8.0	1.9	0.2	7.0
Plaffeien	70	-0.5	-0.5	2.3	4.7	9.0	12.2	15.9	15.6	12.0	7.5	2.6	0.5	6.8

Tab. 3.3.3: 10-jährige Monatsmittel der Bestrahlungsstärke der Globalstrahlung in [W/m<sup>2</sup>] (1983-92) von 64 Anetz-Stationen

Station	Nr SMA	Jan	Feb	März	April	Mai	Juni	Juli	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr
La Dôle	1	60	88	130	161	179	195	222	192	151	102	65	53	133
Payerne	2	41	71	120	164	205	230	249	211	152	85	43	32	134
Jungfrauoch	3	68	104	159	217	252	264	267	234	188	124	81	65	169
Wynau	4	34	65	109	151	197	217	236	196	140	77	36	26	124
Säntis	5	67	106	152	205	226	215	227	199	162	123	77	59	151
Vaduz	6	45	76	117	160	197	204	215	183	136	91	49	35	126
Aigle	7	49	77	124	168	203	218	241	205	155	99	55	43	136
Moléson	8	63	99	141	184	199	199	225	200	156	111	70	56	142
Fahy	9	41	71	108	146	182	209	229	195	141	85	48	35	124
Montana	10	68	103	155	195	235	246	269	230	177	118	74	59	155
Zermatt	11	64	103	160	203	226	236	248	213	170	114	70	54	155
Chasseral	12	66	97	139	178	191	206	233	202	156	111	70	58	142
Pilatus	13	62	96	138	175	188	174	194	181	147	113	68	53	133
Altdorf	14	36	69	117	164	200	204	212	179	131	85	43	29	122
Ulrichen	15	55	98	155	194	222	235	249	211	164	104	60	43	149
Piotta	16	34	79	135	161	181	210	224	192	147	86	43	21	126
Lugano	17	53	78	119	140	175	209	224	208	153	89	58	45	129
Samedan	18	72	110	167	210	232	239	249	213	169	115	76	61	160
Chur-Ems	19	54	86	131	173	204	211	224	192	148	99	58	43	135
Napf	20	55	81	118	144	170	186	214	184	138	95	58	46	124
Sion	21	50	88	141	192	231	247	260	222	167	107	60	41	151
Locarno-Magadino	22	56	82	128	153	183	219	240	210	154	91	59	45	135
Neuchâtel	23	34	66	116	160	200	222	243	205	149	83	39	28	129
Stabio	24	53	80	120	143	177	215	233	212	152	88	56	44	131
Interlaken	25	45	73	119	165	201	213	230	194	146	91	50	36	130
Disentis	26	59	96	148	177	200	220	233	202	160	102	64	49	142
Hinterrhein	27	57	102	158	200	219	225	237	202	150	93	59	42	145
Davos	28	67	106	160	204	224	227	236	204	163	113	72	55	153
St.Gallen	29	44	75	116	157	195	206	225	192	135	84	46	36	126
Glarus	30	43	70	107	152	189	194	206	172	121	80	46	35	118
Genève-Cointrin	31	39	69	124	170	210	238	255	216	161	93	44	33	138
Zürich-Kloten	32	38	69	112	157	199	217	233	197	141	80	39	29	126
Gütsch	33	75	119	181	232	246	246	252	215	173	117	80	64	167
Pully	34	43	72	122	167	211	234	252	213	157	93	48	37	137
Grand-St-Bernard	35	55	111	174	216	241	243	250	215	164	108	66	39	157
Adelboden	36	56	86	134	170	193	200	218	190	148	98	60	48	133
Visp	37	31	89	148	201	243	256	269	226	174	110	46	21	151
La Chaux-de-Fonds	38	55	86	127	161	183	208	234	198	148	95	58	45	133
Rünenberg	39	44	74	112	153	193	216	235	198	144	86	48	36	129
Buchs-Suhr	40	33	63	105	145	184	204	223	184	130	73	35	25	117
Luzern	41	38	65	109	148	184	193	214	187	134	80	41	30	119
Engelberg	42	43	82	129	165	197	200	207	177	134	93	50	31	126
Schaffhausen	43	35	66	108	154	199	222	236	197	142	79	38	27	125
Zürich-SMA	44	38	68	110	153	192	210	228	194	140	82	41	30	124
San Bernardino	45	64	101	153	179	196	218	228	193	150	94	66	52	141
Weissfluhjoch	46	78	121	180	233	252	239	232	199	167	126	85	66	165
Corvatsch	47	84	127	191	244	269	263	257	220	185	137	91	73	178
Basel-Binningen	48	40	68	106	149	192	215	233	197	141	84	47	34	125
Robbia	49	61	93	139	171	198	216	229	191	148	94	65	50	138
Scuol	50	65	104	159	200	224	231	246	206	164	111	69	52	153
Changins	51	41	72	122	167	208	233	253	214	160	94	46	34	137
La Frétaz	52	55	84	125	157	186	209	233	197	147	92	56	46	132
Bern-Liebefeld	53	44	73	116	155	195	217	237	201	148	86	47	35	130
Güttingen	54	36	67	113	161	202	221	234	195	136	78	38	26	126
Wädenswil	56	39	71	118	163	203	217	233	198	141	83	42	31	128
Tänikon	57	39	70	114	159	196	215	232	197	139	80	41	30	126
Reckenholz	58	38	68	112	159	200	221	236	198	140	79	39	29	127
Locarno-Monti	59	60	89	138	165	199	236	252	219	160	95	63	50	144
Cimetta	62	71	106	155	178	197	237	259	226	165	106	75	60	154
Evolène-Villa	63	73	108	172	215	242	239	248	217	173	121	76	60	162
Grimsel-Hospiz	66	64	105	173	202	226	225	233	198	151	100	66	50	149
Comprovasco	67	55	80	125	147	173	201	212	185	139	85	56	44	125
Lägern	68	48	79	121	166	212	222	248	206	151	87	40	39	135
Plaffeien	70	65	86	126	159	193	215	239	210	150	90	60	49	137

Tab. 3.3.4: Korrigierte zehnjährige Monatsmittel der Bestrahlungsstärke der Globalstrahlung in [W/m<sup>2</sup>] der 26 Stationen mit hohem Horizont.

Station	Nr SMA	Jan	Feb	März	April	Mai	Juni	Juli	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr
Jungfrauoch	3	70	110	164	219	257	275	270	233	189	131	84	66	172
Vaduz	6	48	83	124	166	207	212	224	190	142	95	49	38	132
Aigle	7	52	81	127	170	207	227	252	214	160	101	57	45	141
Montana	10	69	106	155	197	239	256	275	233	177	119	75	58	163
Zermatt	11	71	119	178	231	257	275	279	241	192	127	79	62	176
Altdorf	14	41	77	127	170	216	217	224	187	145	91	51	35	132
Ulrichen	15	63	108	161	204	239	246	257	222	171	111	64	50	158
Piotta	17	*	88	141	166	189	227	234	198	151	91	56	*	*
Samedan	18	76	117	178	231	253	260	266	233	180	121	75	64	171
Chur-Ems	19	58	92	141	185	216	227	238	202	157	107	61	45	144
Sion	21	58	94	144	197	234	256	266	225	168	111	65	49	156
Interlaken	25	49	83	130	170	207	217	234	198	151	101	56	39	136
Disentis	26	66	106	158	181	207	236	243	210	165	109	69	53	150
Hinterrhein	27	70	119	178	219	230	241	247	210	162	105	69	55	159
Davos	28	71	113	169	216	243	241	257	218	168	117	75	57	162
Glarus	30	49	81	130	163	198	207	220	179	145	93	52	39	130
Grand-St-Bernard	35	69	121	178	219	248	251	257	218	168	111	73	57	164
Adelboden	36	60	94	141	178	207	207	234	202	157	107	65	52	142
Visp	37	*	92	152	200	248	265	279	233	174	109	59	*	*
Engelberg	42	53	90	136	174	212	207	215	187	139	99	60	39	134
San Bernardino	45	69	112	164	193	212	236	248	210	160	101	71	56	152
Robbia	49	69	106	155	193	225	246	257	214	168	107	72	56	156
Scuol	50	70	103	159	200	224	231	246	206	164	111	69	52	153
Evolène-Villa	63	78	115	186	227	257	251	257	229	183	131	80	66	172
Grimsel-Hospiz	66	72	113	178	208	239	241	247	210	154	101	75	58	158
Comprovasco	67	63	92	141	159	185	227	234	198	145	89	63	50	137

\* Monate, an denen die direkte Sonnenstrahlung auf Grund des hohen Horizontes die Station nicht erreicht, können nicht korrigiert werden. Wegen den fehlenden Monatswerten wird auf eine Jahresmittelung verzichtet.

### 3.3.1.2 Beschreibung der Sonnenscheindauer, der Luftfeuchtigkeit und des Windes

Die zehnjährigen Mittelwerte der effektiven Sonnenscheindauer, der relativen Luftfeuchtigkeit, der Windgeschwindigkeit und der Windrichtung von 59 Stationen sind in den Tabellen 3.3.5 bis 3.3.8 aufgelistet.

Tab. 3.3.5a: 10-jährige Monatsmittel der effektiven Sonnenscheindauer in Stunden [h] (1983-92) von 59 Anetz-Stationen

Station	Nr SMA	Jan	Feb	März	April	Mai	Juni	Juli	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr ( $\Sigma$ )
La Dôle	1	114	111	122	118	136	155	219	204	175	145	116	123	1738
Payerne	2	51	68	127	148	181	199	259	237	178	108	50	41	1646
Jungfrauoch	3	119	114	140	143	149	148	212	207	188	152	124	129	1826
Wynau	4	37	62	108	130	171	177	236	212	159	93	39	31	1455
Säntis	5	129	132	143	131	149	133	186	178	165	176	134	131	1787
Vaduz	6	67	86	118	130	158	154	202	190	148	119	68	56	1495
Aigle	7	84	89	134	141	163	174	240	219	183	143	87	85	1742
Moléson	8	129	129	137	131	141	140	212	201	177	166	131	134	1826
Fahy	9	61	85	110	131	161	170	234	219	162	114	77	64	1588
Montana	10	134	127	163	158	189	194	267	244	210	180	133	137	2136
Zermatt	11	95	104	144	137	153	164	208	191	172	141	96	95	1700
Chasseral	12	115	112	124	126	140	145	213	199	166	151	116	115	1722
Pilatus	13	127	128	141	123	136	113	169	176	161	170	124	126	1694
Altdorf	14	39	65	113	134	155	149	197	184	135	106	50	36	1364
Ulrichen	15	78	102	134	124	155	167	230	206	179	143	85	73	1676
Piotta	16	30	98	154	141	142	163	214	199	176	124	55	10	1503
Lugano	17	126	123	164	151	170	204	253	240	192	137	115	116	1992
Samedan	18	119	119	139	129	152	161	213	193	169	148	118	121	1781
Chur-Ems	19	100	108	135	132	157	157	209	196	163	139	100	93	1691
Napf	20	112	103	125	112	135	140	202	196	156	141	103	106	1633
Sion	21	79	112	165	181	208	220	277	253	212	161	97	72	2037
Locarno-Magadino	22	138	133	174	159	172	205	256	242	194	148	127	126	2073
Neuchâtel	23	42	69	124	144	175	189	251	228	177	105	48	40	1592
Stabio	24	121	120	155	146	157	198	238	235	179	128	109	114	1900
Interlaken	25	65	69	112	137	165	166	228	201	159	111	70	58	1540
Disentis	26	91	97	128	114	134	148	204	197	169	128	90	86	1586
Hinterrhein	27	58	89	106	93	135	148	205	189	141	109	65	46	1386
Davos	28	115	122	143	124	141	142	198	187	172	155	113	108	1719
St.Gallen	29	59	78	107	133	171	164	218	206	149	109	60	50	1504
Glarus	30	63	66	86	114	146	140	184	168	109	92	62	59	1289
Genève-Cointrin	31	50	70	131	149	178	206	267	242	196	121	53	52	1717
Zürich-Kloten	32	46	69	114	139	178	185	241	220	163	97	44	35	1530
Gütsch	33	127	125	145	118	137	157	225	211	186	154	121	132	1838
Pully	34	62	80	139	156	192	201	258	244	193	127	65	60	1778
Grand-St-Bernard	35	55	101	142	127	141	163	229	214	178	131	76	33	1591
Adelboden	36	91	91	118	123	145	144	195	188	154	124	85	94	1547
Visp	37	9	105	172	188	212	215	278	255	219	160	45	0	1859
La Chaux-de-Fonds	38	100	103	126	129	145	157	226	209	170	138	107	103	1713
Rünenberg	39	73	88	117	134	167	175	235	216	169	121	78	71	1652
Buchs-Suhr	40	35	64	103	130	186	177	229	214	155	87	39	29	1460

Tab. 3.3.5b: 10-jährige Monatsmittel der Sonnenscheindauer in Stunden [h] (1983-92) von 59 Anetz-Stationen. Fortsetzung

Station	Nr SMA	Jan	Feb	März	April	Mai	Juni	Juli	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr ( $\Sigma$ )
Luzern	41	47	63	112	121	148	145	201	200	143	100	44	39	1361
Engelberg	42	51	85	122	121	140	137	177	167	137	122	65	37	1363
Schaffhausen	43	39	65	103	128	165	172	224	203	151	91	41	35	1417
Zürich-SMA	44	55	78	119	137	169	174	227	215	164	109	55	49	1550
San Bernardino	45	100	103	127	100	119	142	185	169	151	117	98	98	1509
Weissfluhjoch	46	140	145	156	135	153	147	204	190	178	179	141	140	1908
Corvatsch	47	147	153	184	159	163	167	236	210	208	188	145	150	2110
Basel-Binningen	48	70	84	116	136	167	176	236	222	167	117	79	66	1635
Robbia	49	100	98	128	123	130	146	192	167	142	115	97	94	1532
Scuol	50	99	116	152	147	159	163	222	205	178	149	103	92	1783
Changins	51	56	77	133	152	179	205	267	239	196	127	60	56	1747
La Frétaz	52	98	99	125	127	152	166	229	205	169	130	97	103	1700
Bern-Liebefeld	53	65	79	125	136	170	182	243	226	177	116	64	54	1636
Güttingen	54	40	67	114	147	185	185	236	214	151	94	41	31	1504
Wädenswil	56	50	71	120	143	178	177	229	217	157	107	49	44	1541
Tänikon	57	45	67	108	134	167	170	224	209	154	102	44	38	1462
Reckenholz	58	47	67	112	135	170	178	235	216	158	96	43	36	1493
Locarno-Monti	59	134	134	177	165	176	207	256	246	198	150	125	128	2096
Cimetta	62	160	151	184	158	159	189	251	235	188	162	149	160	2147

Tab. 3.3.6: 10-jährige Monatsmittel der rel. Luftfeuchtigkeit in [%] (1983-92) von 59 Anetz-Stationen

Station	Nr SMA	Jan	Feb	März	April	Mai	Juni	Juli	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr
La Dôle	1	71	76	79	82	83	84	77	77	79	76	74	69	77
Payeme	2	85	82	76	74	74	73	71	71	78	84	85	86	78
Jungfrauoch	3	63	68	72	75	80	79	72	72	69	66	64	61	70
Wynau	4	86	83	79	76	75	74	73	76	81	85	87	87	80
Säntis	5	64	69	75	80	82	86	81	80	76	67	65	62	74
Vaduz	6	76	74	68	67	69	72	71	72	75	76	79	79	73
Aigle	7	82	81	76	73	75	74	73	75	79	83	84	84	78
Moléson	8	64	70	75	81	83	84	79	78	77	69	66	61	74
Fahy	9	82	79	74	72	74	73	70	69	76	81	83	82	76
Montana	10	66	70	68	67	68	68	65	67	69	69	68	66	68
Zermatt	11	62	64	62	63	64	67	61	64	67	67	65	63	64
Chasseral	12	72	77	81	83	83	85	80	79	81	76	74	70	78
Pilatus	13	61	67	72	79	83	86	81	79	76	66	63	59	73
Altdorf	14	79	78	72	69	70	73	72	74	76	79	81	81	75
Ulrichen	15	85	81	76	73	69	69	67	70	73	77	81	85	75
Piotta	16	69	68	61	64	66	65	64	67	71	75	72	70	68
Lugano	17	69	68	63	68	71	69	67	68	73	78	72	70	70
Samedan	18	75	72	69	70	69	69	69	72	74	75	75	78	72
Chur-Ems	19	72	70	66	64	65	68	67	68	72	72	73	75	69
Napf	20	72	77	78	80	81	81	75	76	79	75	74	69	76
Sion	21	78	74	65	62	63	64	64	67	72	78	80	82	71
Locarno-Magadino	22	75	71	64	67	70	69	68	70	75	80	77	78	72
Neuchâtel	23	83	79	72	69	69	68	65	66	72	79	82	83	74
Stabio	24	80	76	68	72	74	74	72	76	81	85	82	81	77
Interlaken	25	82	80	74	72	73	74	72	75	79	83	83	84	77
Disentis	26	66	68	67	68	67	68	67	69	71	70	70	68	68
Hinterrhein	27	72	71	72	75	74	74	72	74	77	76	74	75	74
Davos	28	74	73	72	72	73	75	73	75	76	74	75	76	74
St.Gallen	29	80	79	74	73	73	74	72	73	77	80	82	81	76
Glarus	30	81	79	73	69	70	73	73	75	79	80	82	83	76
Genève-Cointrin	31	81	77	71	69	70	68	64	64	71	78	81	82	73
Zürich-Kloten	32	84	81	75	73	72	72	70	72	77	83	85	85	77
Gütsch	33	62	68	74	81	81	80	76	75	74	70	65	60	72
Pully	34	77	74	69	67	68	68	65	66	72	78	79	79	72
Grand-St-Bernard	35	64	70	76	83	83	79	72	73	74	75	68	61	73
Adelboden	36	71	74	74	77	78	79	78	77	78	76	74	71	76
Visp	37	80	74	64	61	62	64	63	66	71	74	79	83	70
La Chaux-de-Fonds	38	82	80	79	77	77	77	73	74	78	79	81	81	78
Rünenberg	39	82	78	72	71	72	73	69	70	75	80	82	82	75
Buchs-Suhr	40	85	83	77	75	72	75	73	74	79	84	86	85	79
Luzern	41	83	80	74	72	71	72	70	73	78	82	84	84	77
Engelberg	42	77	78	76	75	76	79	78	79	81	81	80	79	78
Schaffhausen	43	85	80	75	71	70	72	69	71	77	83	86	86	77
Zürich-SMA	44	83	80	73	71	71	72	70	72	77	82	85	84	77
San Bernardino	45	61	65	65	73	74	71	69	72	72	74	68	65	69
Weissfluhjoch	46	61	66	73	79	81	83	76	76	74	67	62	60	72
Corvatsch	47	59	65	71	75	79	80	73	72	69	64	61	58	69
Basel-Binningen	48	81	78	72	70	72	71	69	70	76	81	83	83	75
Robbia	49	67	68	63	66	70	71	70	72	74	78	72	68	70
Scuol	50	73	73	67	67	67	68	66	69	71	75	76	77	71
Changins	51	81	78	72	69	70	68	64	65	72	79	81	81	73
La Frétaz	52	76	77	77	77	78	79	75	75	79	79	78	74	77
Bern-Liebfeld	53	84	81	75	73	74	72	70	72	78	84	86	86	78
Güttingen	54	84	81	77	74	73	74	72	75	80	84	86	86	79
Wädenswil	56	81	78	72	69	69	68	67	70	75	80	83	83	75
Tänikon	57	84	82	77	75	73	73	72	73	78	83	86	86	78
Reckenholz	58	84	81	75	73	72	72	70	72	77	83	86	85	77
Locarno-Monti	59	63	63	56	63	66	65	63	64	69	75	69	65	65
Cimetta	62	53	61	62	71	73	71	70	71	71	69	60	52	65

Tab. 3.3.7: 10-jährige Monatsmittel der Windgeschwindigkeit in [m/s] (1983-92) von 59 Anetz-Stationen

Station	Nr SMA	Jan	Feb	März	April	Mai	Juni	Juli	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr
La Dôle	1	10.0	9.8	8.9	8.3	7.1	6.7	6.4	6.5	7.1	8.0	8.6	9.8	8.1
Payeme	2	2.4	2.4	2.6	2.4	2.2	2.1	1.9	1.8	1.9	1.9	2.1	2.1	2.1
Jungfrauoch	3	8.5	7.5	7.8	7.9	7.1	6.5	6.4	6.3	7.1	7.5	7.8	7.9	7.4
Wynau	4	2.3	2.3	2.2	2.1	2.0	1.8	1.5	1.3	1.5	1.7	2.0	2.1	1.9
Sântis	5	8.5	7.6	7.0	6.3	5.5	5.7	5.5	5.2	6.3	6.3	7.8	8.1	6.6
Vaduz	6	2.4	2.4	2.7	3.0	2.5	2.2	2.2	2.2	2.1	2.2	2.2	2.4	2.4
Aigle	7	1.9	1.8	2.1	2.4	2.1	1.9	1.8	1.6	1.4	1.5	1.7	1.6	1.8
Moléson	8	6.6	7.0	6.1	5.2	4.8	4.6	4.2	4.0	4.6	5.0	5.9	6.9	5.4
Fahy	9	3.3	3.5	3.3	2.9	2.6	2.6	2.5	2.3	2.6	2.8	3.0	3.0	2.9
Montana	10	1.8	1.9	2.1	2.2	2.1	1.9	1.9	1.8	1.7	1.7	1.7	1.6	1.9
Zermatt	11	1.3	1.4	1.8	2.2	2.5	2.4	2.3	2.3	2.0	1.8	1.4	1.3	1.9
Chasseral	12	9.7	9.2	8.2	7.1	6.5	7.4	7.4	7.6	8.4	8.6	9.8	9.9	8.3
Pilatus	13	5.4	5.3	5.0	6.0	6.3	5.7	5.4	5.5	5.5	6.3	5.5	5.8	5.6
Altdorf	14	2.6	2.4	2.8	3.6	3.0	2.5	2.4	2.2	2.2	2.5	2.4	2.4	2.6
Ulrichen	15	0.9	1.3	1.8	2.1	2.3	2.3	2.4	2.1	1.8	1.4	1.1	1.0	1.7
Piotta	16	2.3	2.4	2.8	3.1	3.0	3.1	3.1	2.9	2.5	2.1	2.2	2.5	2.7
Lugano	17	1.6	1.7	2.0	2.0	1.8	1.8	1.9	1.9	1.8	1.6	1.7	1.7	1.8
Samedan	18	1.7	1.9	2.2	2.5	2.7	2.6	2.7	2.7	2.5	2.3	1.8	1.5	2.2
Chur-Ems	19	2.8	2.8	3.2	3.6	3.3	2.9	3.1	2.9	2.7	2.7	2.6	2.5	2.9
Napf	20	4.5	4.2	3.9	3.5	3.2	3.4	3.1	3.2	3.6	3.9	4.4	4.3	3.8
Sion	21	1.8	1.9	2.4	2.8	2.7	2.7	2.7	2.4	2.2	1.8	1.6	1.6	2.2
Locarno-Magadino	22	1.7	1.8	2.0	2.2	2.0	2.0	1.9	1.9	1.6	1.4	1.6	1.7	1.8
Neuchâtel	23	2.7	2.9	2.7	2.7	2.4	2.5	2.3	2.2	2.4	2.3	2.5	2.5	2.5
Stabio	24	1.1	1.2	1.4	1.4	1.3	1.2	1.2	1.2	1.0	0.9	1.1	1.1	1.2
Interlaken	25	1.6	1.6	1.9	2.1	2.1	1.9	1.9	1.7	1.6	1.4	1.6	1.6	1.7
Disentis	26	0.8	0.9	1.2	1.3	1.3	1.4	1.4	1.3	1.2	1.1	0.8	0.7	1.1
Hinterrhein	27	2.8	3.1	3.2	3.6	3.3	2.8	2.7	2.8	2.7	3.2	2.9	2.9	3.0
Davos	28	1.6	1.8	2.3	2.7	2.7	2.8	3.1	2.9	2.7	2.4	2.0	1.7	2.4
St.Gallen	29	2.0	2.0	2.3	2.4	2.1	2.1	1.9	1.9	1.9	1.8	1.8	1.9	2.0
Glarus	30	1.6	1.8	2.3	3.1	2.9	2.8	2.7	2.3	2.0	1.9	1.6	1.5	2.2
Genève-Cointrin	31	2.2	2.5	2.5	2.5	2.2	2.0	1.9	1.8	1.9	1.9	2.0	2.2	2.1
Zürich-Kloten	32	2.5	2.5	2.6	2.6	2.4	2.2	2.1	1.8	2.0	2.0	2.2	2.3	2.3
Gütsch	33	6.0	5.7	5.7	6.3	5.7	4.8	4.4	4.7	5.1	5.9	5.4	6.0	5.5
Pully	34	1.8	1.9	1.8	1.9	1.8	1.9	1.9	1.9	1.9	1.8	1.9	1.7	1.9
Grand-St-Bernard	35	6.0	6.3	6.7	6.6	5.8	5.9	6.0	5.9	5.7	5.8	5.7	5.9	6.0
Adelboden	36	1.4	1.4	1.7	1.6	1.6	1.7	1.6	1.5	1.5	1.4	1.4	1.3	1.5
Visp	37	2.4	2.8	3.8	4.4	3.9	3.5	3.2	3.0	2.8	2.6	2.4	2.1	3.0
La Chaux-de-Fonds	38	2.8	2.9	2.8	2.7	2.5	2.4	2.2	2.1	2.4	2.5	2.6	2.6	2.5
Rünenberg	39	3.1	3.1	2.9	2.6	2.2	2.1	2.0	1.8	2.0	2.4	2.7	2.8	2.5
Buchs-Suhr	40	1.8	1.8	2.0	1.7	1.5	1.5	1.4	1.2	1.2	1.3	1.5	1.7	1.5
Luzern	41	1.4	1.5	1.7	1.7	1.5	1.4	1.3	1.3	1.2	1.2	1.2	1.3	1.4
Engelberg	42	1.1	1.2	1.5	1.7	1.7	1.5	1.6	1.4	1.3	1.3	1.2	1.1	1.4
Schaffhausen	43	3.6	3.7	3.8	3.6	3.3	3.4	3.1	3.0	3.2	3.2	3.2	3.3	3.4
Zürich-SMA	44	2.4	2.5	2.6	2.3	2.1	2.1	1.9	1.8	1.9	2.0	2.2	2.2	2.2
San Bernardino	45	3.1	3.4	3.5	3.2	2.7	3.0	2.9	2.8	2.8	2.5	2.9	3.6	3.0
Weissfluhjoch	46	4.6	4.6	4.4	4.3	3.0	3.1	2.7	2.7	3.0	3.6	4.4	5.2	3.8
Corvatsch	47	5.1	4.9	4.3	4.1	3.2	2.8	2.4	2.4	3.3	4.2	5.0	5.7	3.9
Basel-Binningen	48	3.1	3.0	3.0	2.6	2.2	2.3	2.2	2.1	2.1	2.3	2.7	2.9	2.5
Robbia	49	1.9	2.0	2.6	2.6	2.2	1.9	1.9	1.7	1.6	1.5	1.8	2.2	2.0
Scuol	50	1.5	1.4	1.6	1.9	1.9	1.7	1.7	1.6	1.6	1.3	1.2	1.4	1.6
Changins	51	2.5	2.7	2.8	2.9	2.7	2.5	2.5	2.4	2.4	2.3	2.5	2.6	2.6
La Frétaz	52	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.1	2.0	1.9	2.0	2.1	2.1	2.2	2.1
Bern-Liebefeld	53	1.8	2.0	2.2	2.1	1.9	1.9	1.7	1.7	1.7	1.6	1.6	1.6	1.8
Güttingen	54	2.5	2.6	2.6	2.4	2.2	2.3	2.0	2.0	2.0	2.0	2.2	2.4	2.3
Wädenswil	56	1.7	1.7	1.8	1.9	1.7	1.8	1.6	1.5	1.5	1.4	1.6	1.6	1.7
Tänikon	57	2.1	2.1	2.2	2.1	1.9	2.0	1.7	1.6	1.6	1.6	1.8	1.9	1.9
Reckenholz	58	2.2	2.3	2.4	2.2	2.0	2.0	1.7	1.6	1.6	1.6	1.9	2.0	2.0
Locarno-Monti	59	1.0	1.3	1.6	1.7	1.7	1.7	1.6	1.7	1.4	1.2	1.2	1.1	1.4
Cimetta	62	2.6	2.5	2.8	3.0	2.7	2.6	2.5	2.4	2.4	2.4	2.4	2.6	2.6

Tab. 3.3.8: 10-jährige Monatsmittel der Windrichtung in [°] (1983-92) von 59 Anetz-Stationen (Nord: 0° und 360°, Ost: 90°, Süd: 180° und West: 270°).

Station	Nr SMA	Jan	Feb	März	April	Mai	Juni	Juli	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr
La Dôle	1	209	225	255	225	220	187	281	209	253	229	244	155	224
Payeme	2	179	167	193	230	188	222	246	178	222	200	183	169	198
Jungfrauojoch	3	275	293	274	231	199	294	302	279	292	218	288	284	269
Wynau	4	210	178	215	181	187	144	221	213	228	258	163	203	200
Säntis	5	224	236	236	237	217	237	242	238	234	222	234	231	232
Vaduz	6	137	127	94	226	302	223	214	191	226	133	142	134	179
Aigle	7	176	242	326	301	333	334	332	329	326	235	194	160	274
Moléson	8	234	262	265	269	254	283	261	271	264	245	257	275	262
Fahy	9	192	171	208	174	183	157	212	201	189	176	189	178	186
Montana	10	144	227	211	206	118	246	267	225	184	80	184	114	184
Zermatt	11	202	112	56	55	59	53	59	62	57	89	160	211	98
Chasseral	12	244	224	271	266	176	272	290	226	272	231	250	239	247
Pilatus	13	188	193	202	194	204	223	227	212	207	190	201	193	203
Altdorf	14	140	230	256	237	261	290	291	261	241	188	156	130	224
Ulrichen	15	155	140	86	83	82	79	79	83	93	105	101	96	99
Piotta	16	287	289	287	292	276	293	296	263	284	281	289	288	286
Lugano	17	272	270	144	91	127	126	115	237	309	301	337	305	219
Samedan	18	214	243	241	233	238	244	242	228	220	210	186	185	224
Chur-Ems	19	184	135	138	122	103	48	45	48	69	150	179	187	117
Napf	20	226	219	223	209	216	257	245	189	245	215	232	232	226
Sion	21	127	214	245	248	249	250	251	250	247	165	121	99	205
Locarno-Magadino	22	101	105	147	171	189	203	197	163	132	105	99	97	142
Neuchâtel	23	204	137	223	163	191	150	227	178	209	263	176	161	190
Stabio	24	263	244	169	106	218	192	199	204	206	213	231	242	207
Interlaken	25	221	237	263	281	287	284	279	282	240	258	228	218	256
Disentis	26	294	92	91	91	124	70	71	67	69	160	156	311	133
Hinterrhein	27	220	228	199	214	195	218	226	267	227	250	248	200	224
Davos	28	46	36	35	50	48	26	28	28	30	47	65	79	43
St.Gallen	29	208	209	214	177	177	165	211	190	218	192	206	206	198
Glarus	30	276	295	288	277	291	298	296	291	290	274	273	261	284
Genève-Cointrin	31	189	176	153	112	123	132	164	133	159	233	211	90	156
Zürich-Kloten	32	212	225	240	199	184	204	308	260	286	253	248	199	235
Gütsch	33	98	88	83	106	111	80	65	75	94	135	107	88	94
Pully	34	176	144	209	153	148	179	122	89	117	217	150	91	150
Grand-St-Bernard	35	176	123	146	166	244	102	72	95	121	232	133	133	145
Adelboden	36	212	199	192	143	93	105	83	96	112	177	197	217	153
Visp	37	189	232	246	215	212	269	277	272	267	188	221	166	229
La Chaux-de-Fonds	38	224	195	230	251	161	231	254	251	237	212	214	226	224
Rünenberg	39	155	156	200	168	194	176	235	194	216	157	162	150	180
Buchs-Suhr	40	206	192	221	198	156	292	274	196	210	215	223	218	217
Luzern	41	287	296	285	301	319	306	308	278	289	299	303	303	298
Engelberg	42	106	192	195	187	225	246	244	229	221	176	127	99	187
Schaffhausen	43	238	139	216	238	182	265	259	222	217	232	255	247	226
Zürich-SMA	44	232	216	206	234	186	209	214	235	229	264	217	174	218
San Bernardino	45	301	304	301	295	274	312	313	281	308	291	304	304	299
Weissfluhjoch	46	223	250	246	258	238	280	290	289	279	224	246	276	258
Corvatsch	47	176	190	163	130	129	138	261	224	209	135	128	140	169
Basel-Binningen	48	173	200	213	230	272	262	264	237	241	184	175	152	217
Robbia	49	77	78	75	86	166	85	105	109	55	95	80	77	91
Scuol	50	250	256	254	202	169	209	189	214	228	240	248	252	226
Changins	51	232	188	163	119	110	137	181	246	244	275	248	194	195
La Frétaz	52	237	218	193	178	140	149	176	204	216	227	236	250	202
Bern-Liebfeld	53	215	228	249	230	221	245	269	206	254	250	250	231	237
Güttingen	54	229	223	261	230	228	263	249	245	248	232	249	269	244
Wädenswil	56	205	237	252	242	242	260	208	188	214	242	218	228	228
Tänikon	57	209	202	214	208	203	291	245	237	243	217	206	192	222
Reckenholz	58	243	220	278	262	208	296	296	292	285	250	248	214	258
Locarno-Monti	59	104	248	297	197	286	296	284	255	275	315	179	120	238
Cimetta	62	203	229	202	146	134	211	200	185	146	126	205	210	183

### 3.3.2 Abgeleitete Strahlungsgrössen

Abgeleitete Strahlungsgrössen stellen all diejenigen Strahlungswerte dar, die in der **METEONORM** berechnet werden. Dies sind die einzelnen Strahlungskomponenten (vorab die Diffusstrahlung) und die Globalstrahlung auf geneigte Flächen (Gk). In den Tabellen 3.3.9 bis 3.3.14 sind die Monatswerte der Diffusstrahlung (Dh) und einiger ausgewählter Globalstrahlungen auf geneigte Flächen (Süd mit Neigungswinkel 30°, 45°, 60° und 90°; sowie Nord (-180°), Ost (-90°) und West (90°) vertikal) von den sechs Stationen Säntis, Davos, La Frétaz, Pully, Locarno-Magadino und Bern-Liebefeld aufgelistet.

Bei den Globalstrahlungswerten horizontal (Gh) handelt es sich um die 10-jährigen Monatsmittel, die auch in der Tabelle 3.3.3 aufgeführt sind, ausser bei Davos, wo anstelle der Anetz-Daten interpolierte horizontkorrigierte Daten verwendet wurden. Aus den Monatsmittelwerten wurde die Diffusstrahlung horizontal gemäss Kapitel 4.7.2.1 berechnet. Anschliessend wurde mit Hilfe von Gleichung (4.7.9) die Globalstrahlung auf geneigte Flächen ermittelt (Kap. 4.7.2.2).

Tab. 3.3.9: Monatsmittel einiger abgeleiteter Strahlungsparameter  
(Bestrahlungsstärke in  $[\text{W}/\text{m}^2]$ )

Station **Säntis**

Parameter	Jan	Feb	März	April	Mai	Juni	Juli	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr
<G <sub>Dh</sub> >	32	47	70	93	112	118	116	101	79	55	36	27	74
<G <sub>Gh</sub> >	67	106	152	205	226	215	227	199	162	123	77	59	151
<G <sub>Gk</sub> > 0/30	111	154	188	226	232	214	228	211	190	170	123	106	179
<G <sub>Gk</sub> > 0/45	126	168	195	225	223	203	216	203	191	181	138	123	183
<G <sub>Gk</sub> > 0/60	134	173	194	215	207	187	195	186	183	183	147	133	178
<G <sub>Gk</sub> > 0/90	130	160	167	172	159	141	137	132	144	161	140	131	148
<G <sub>Gk</sub> > -180/90	33	50	73	98	116	115	102	77	63	49	37	28	70
<G <sub>Gk</sub> > -90/90	54	82	111	144	157	147	140	117	102	85	62	49	104
<G <sub>Gk</sub> > 90/90	54	82	111	144	157	147	140	117	102	85	62	49	104

Tab. 3.3.10: Monatsmittel einiger abgeleiteter Strahlungsparameter  
(horizontkorrigierte Daten) (Bestrahlungsstärke in  $[\text{W}/\text{m}^2]$ )

Station **Davos**

Parameter	Jan	Feb	März	April	Mai	Juni	Juli	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr
<G <sub>Dh</sub> >	32	47	68	93	112	119	115	101	79	55	36	27	74
<G <sub>Gh</sub> >	70	110	166	208	232	238	246	210	166	117	72	56	158
<G <sub>Gk</sub> > 0/30	117	160	210	230	234	233	245	221	193	156	111	98	184
<G <sub>Gk</sub> > 0/45	133	175	219	226	220	216	227	211	192	164	123	112	185
<G <sub>Gk</sub> > 0/60	141	181	218	213	196	190	201	192	183	164	128	120	177
<G <sub>Gk</sub> > 0/90	137	167	188	163	128	121	128	131	139	139	120	118	140
<G <sub>Gk</sub> > -180/90	33	51	75	87	83	90	88	73	56	41	31	28	61
<G <sub>Gk</sub> > -90/90	57	85	122	135	126	128	132	116	96	73	52	46	97
<G <sub>Gk</sub> > 90/90	57	85	122	135	126	128	132	116	96	73	52	46	97

Tab. 3.3.11: Monatsmittel einiger abgeleiteter Strahlungsparameter  
(Bestrahlungsstärke in  $[W/m^2]$ )Station **La Frétaz**

Parameter	Jan	Feb	März	April	Mai	Juni	Juli	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr
<G <sub>Dh</sub> >	27	40	60	78	92	101	103	89	69	46	29	23	63
<G <sub>Gh</sub> >	55	84	125	157	186	209	233	197	147	92	56	46	132
<G <sub>Gk</sub> > 0/30	90	118	153	171	187	205	232	208	171	121	85	80	152
<G <sub>Gk</sub> > 0/45	101	128	158	167	176	189	216	199	171	126	94	91	151
<G <sub>Gk</sub> > 0/60	107	132	156	157	157	166	191	181	163	126	98	98	144
<G <sub>Gk</sub> > 0/90	104	121	132	118	103	105	121	123	124	105	91	96	112
<G <sub>Gk</sub> > -180/90	27	41	58	65	68	77	81	66	49	32	24	22	51
<G <sub>Gk</sub> > -90/90	44	65	88	98	101	112	125	108	85	56	40	37	80
<G <sub>Gk</sub> > 90/90	44	65	88	98	101	112	125	108	85	56	40	37	80

Tab. 3.3.12: Monatsmittel einiger abgeleiteter Strahlungsparameter  
(Bestrahlungsstärke in  $[W/m^2]$ )Station **Pully**

Parameter	Jan	Feb	März	April	Mai	Juni	Juli	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr
<G <sub>Dh</sub> >	26	41	62	84	101	108	105	92	72	49	29	22	66
<G <sub>Gh</sub> >	43	72	122	167	211	234	252	213	157	93	48	37	137
<G <sub>Gk</sub> > 0/30	61	93	144	179	212	229	252	227	186	121	67	57	152
<G <sub>Gk</sub> > 0/45	67	99	146	173	198	212	235	217	186	126	72	64	149
<G <sub>Gk</sub> > 0/60	69	99	141	159	177	186	206	197	176	125	74	67	140
<G <sub>Gk</sub> > 0/90	64	87	112	113	115	116	129	134	134	104	66	63	103
<G <sub>Gk</sub> > -180/90	20	31	46	60	75	85	84	69	52	34	20	17	49
<G <sub>Gk</sub> > -90/90	30	47	73	94	114	125	134	117	91	57	31	26	78
<G <sub>Gk</sub> > 90/90	30	47	73	94	114	125	134	117	91	57	31	26	78

Tab. 3.3.13: Monatsmittel einiger abgeleiteter Strahlungsparameter  
(Bestrahlungsstärke in  $[W/m^2]$ )Station **Locarno-Magadino**

Parameter	Jan	Feb	März	April	Mai	Juni	Juli	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr
<G <sub>Dh</sub> >	27	40	60	77	92	103	104	90	70	45	30	22	63
<G <sub>Gh</sub> >	56	82	128	153	183	219	240	210	154	91	59	45	135
<G <sub>Gk</sub> > 0/30	87	113	153	163	183	214	240	223	181	120	91	75	154
<G <sub>Gk</sub> > 0/45	97	120	155	158	171	198	223	213	180	125	100	85	152
<G <sub>Gk</sub> > 0/60	102	121	150	145	152	173	196	194	171	124	103	90	143
<G <sub>Gk</sub> > 0/90	95	105	117	103	100	108	123	131	130	104	93	85	108
<G <sub>Gk</sub> > -180/90	21	29	43	54	67	80	82	68	50	32	21	16	47
<G <sub>Gk</sub> > -90/90	38	52	74	85	99	117	128	115	89	56	38	31	77
<G <sub>Gk</sub> > 90/90	38	52	74	85	99	117	128	115	89	56	38	31	77

Tab. 3.3.14: Monatsmittel einiger abgeleiteter Strahlungsparameter  
(Bestrahlungsstärke in  $[W/m^2]$ )Station **Bern-Liebelfeld**

Parameter	Jan	Feb	März	April	Mai	Juni	Juli	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr
<G <sub>Dh</sub> >	30	45	68	91	109	117	112	98	78	53	32	24	72
<G <sub>Gh</sub> >	44	73	116	155	195	217	237	201	148	86	47	35	130
<G <sub>Gk</sub> > 0/30	61	93	135	164	195	212	236	211	169	105	62	50	141
<G <sub>Gk</sub> > 0/45	66	98	135	158	183	196	219	202	168	108	65	54	138
<G <sub>Gk</sub> > 0/60	68	98	131	146	163	173	194	183	159	106	66	56	129
<G <sub>Gk</sub> > 0/90	62	86	105	106	109	112	124	126	121	88	58	52	96
<G <sub>Gk</sub> > -180/90	23	35	50	63	77	86	85	71	54	35	22	18	52
<G <sub>Gk</sub> > -90/90	32	50	72	90	108	118	128	111	86	52	31	25	75
<G <sub>Gk</sub> > 90/90	32	50	72	90	108	118	128	111	86	52	31	25	75

Der in den folgenden Abbildungen für die sechs Stationen Säntis, Davos, La Frétaz, Pully, Locarno-Magadino und Bern-Liebefeld halbjährlich dargestellte R-Faktor bezeichnet das Verhältnis der Globalstrahlung auf eine geneigte Fläche mit Azimut ( $\gamma$ ) und Neigungswinkel ( $\beta$ ) zur Globalstrahlung horizontal (Gh) (vgl. Kap.4.7.2.2 Gleichung 4.7.15). Bei der Berechnung des halbjährlichen R-Faktors wurde zuerst die mittlere monatliche Globalstrahlung geneigt und horizontal der 6 Monate und daraus anschließend der R-Faktor berechnet. Bei Kenntnis der Globalstrahlung horizontal kann mit Hilfe der Grafiken 3.3.4 bis 3.3.15 die Globalstrahlung auf eine beliebig orientierte Fläche (Azimut und Neigungswinkel) berechnet werden, indem Gh mit dem aus der Grafik abgelesenen R-Faktor multipliziert wird.

Beispiel: Aus dem Diagramm soll der R-Faktor für das Sommerhalbjahr der Station Säntis für eine nach Südosten orientierte und  $60^\circ$  geneigte Fläche abgelesen werden. Das Azimut beträgt  $-45^\circ$  und der Neigungswinkel  $60^\circ$ . Beim Schnittpunkt der beiden Geraden in Abbildung 3.3.4 (mit Kreuz markiert) kann der R-Faktor abgelesen werden: Er beträgt in diesem Fall 0.91. Das bedeutet, dass die oben genannte Fläche nur 91% von der Strahlung empfängt, die eine horizontale Fläche empfangen würde.

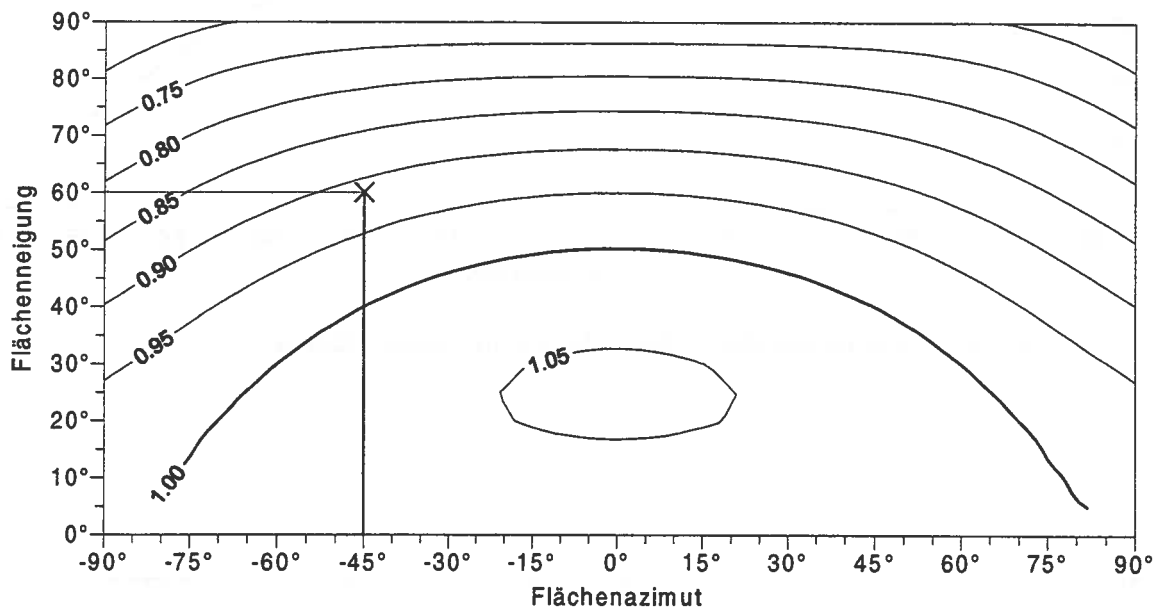


Abb. 3.3.4: R-Faktor im Sommerhalbjahr (April - September) Station **Säntis**

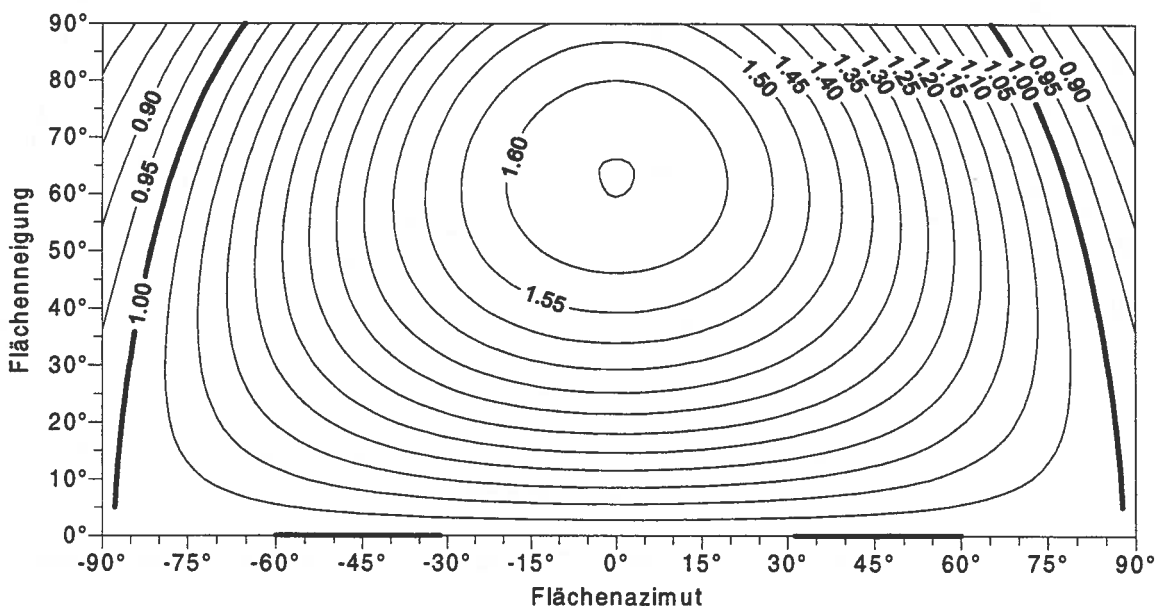


Abb. 3.3.5: R-Faktor im Winterhalbjahr (Oktober - Dezember und Januar - März) Station **Säntis**

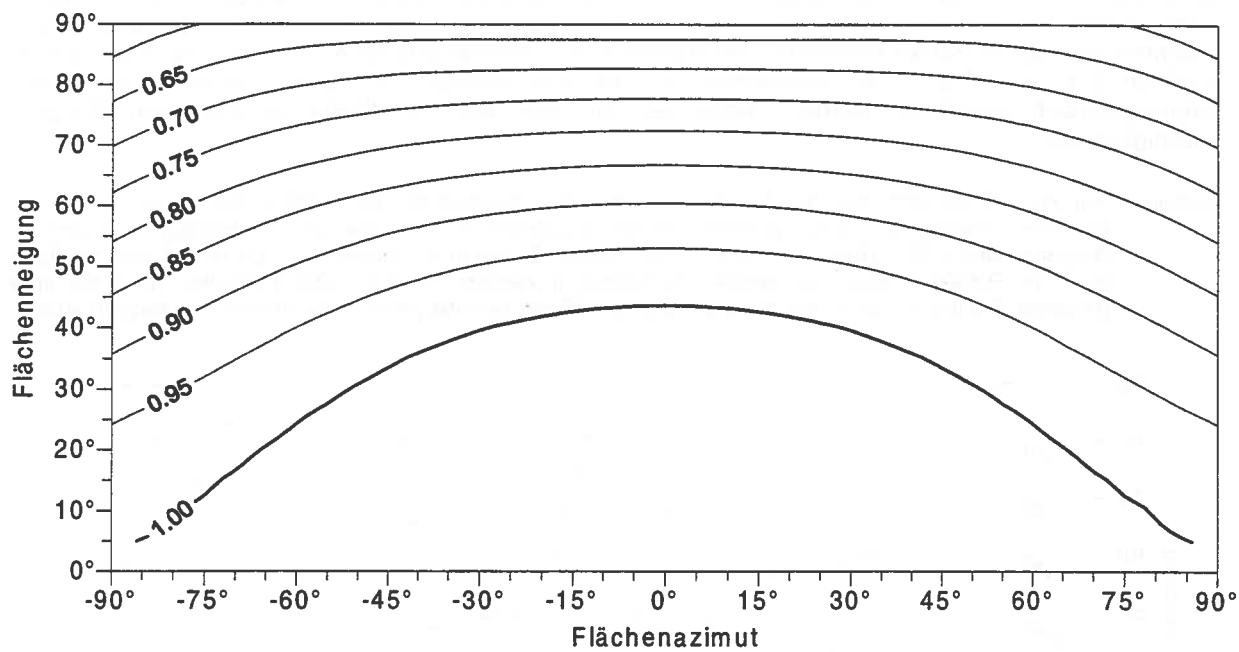


Abb. 3.3.6: R-Faktor im Sommerhalbjahr (April - September) Station Davos

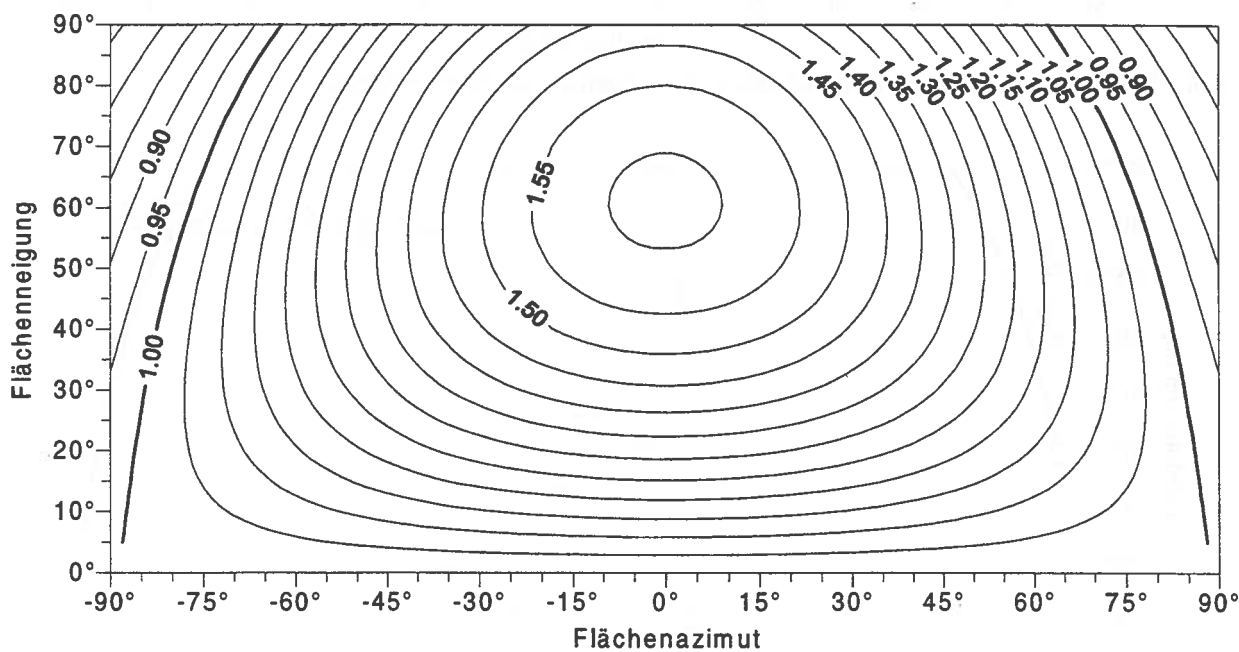


Abb. 3.3.7: R-Faktor im Winterhalbjahr (Oktober - Dezember und Januar - März) Station Davos

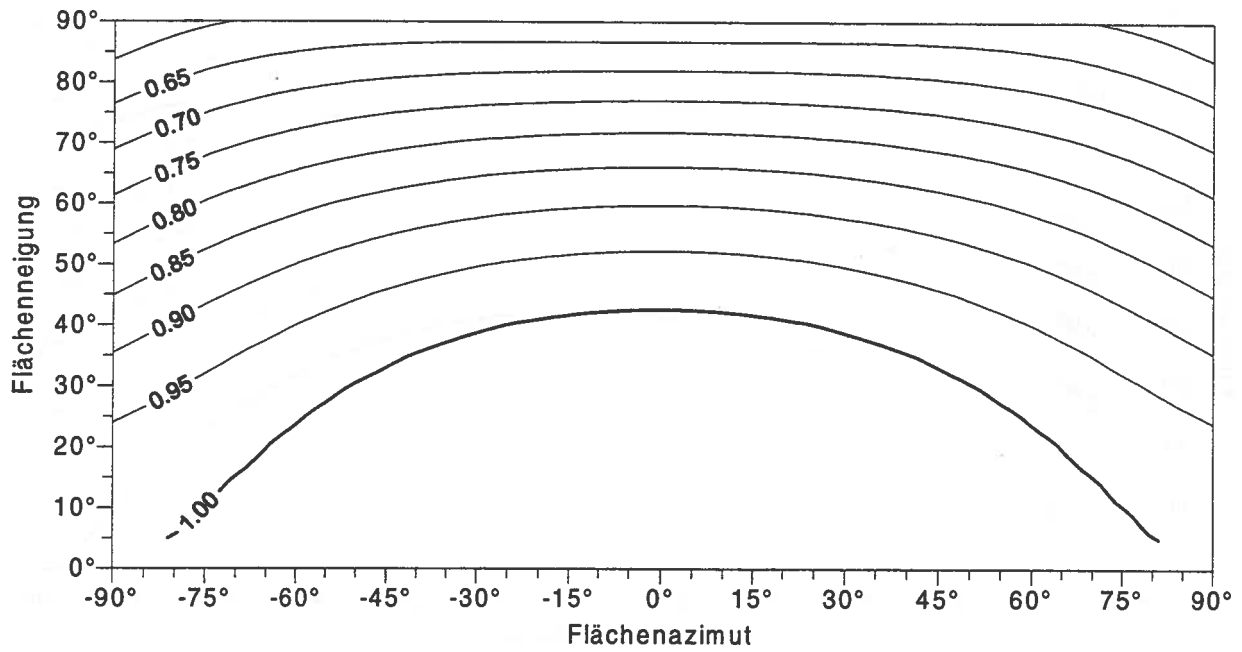


Abb. 3.3.8: R-Faktor im Sommerhalbjahr (April - September) Station La Frétaz

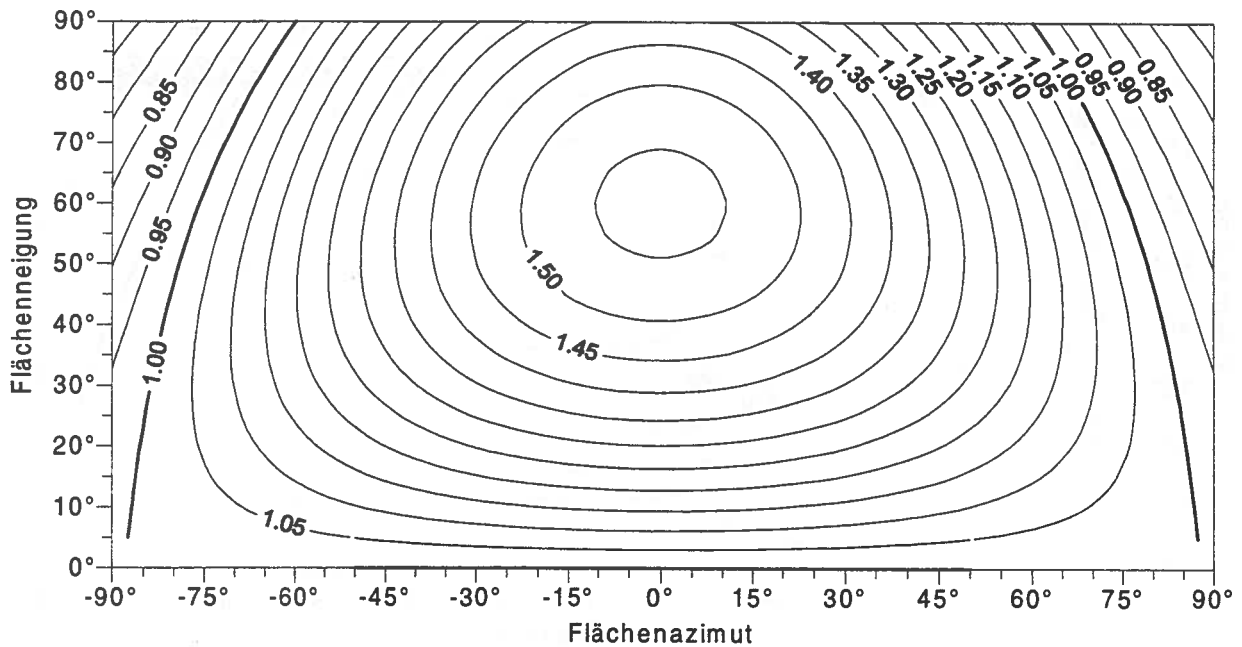


Abb. 3.3.9: R-Faktor im Winterhalbjahr (Oktober - Dezember und Januar - März) Station La Frétaz

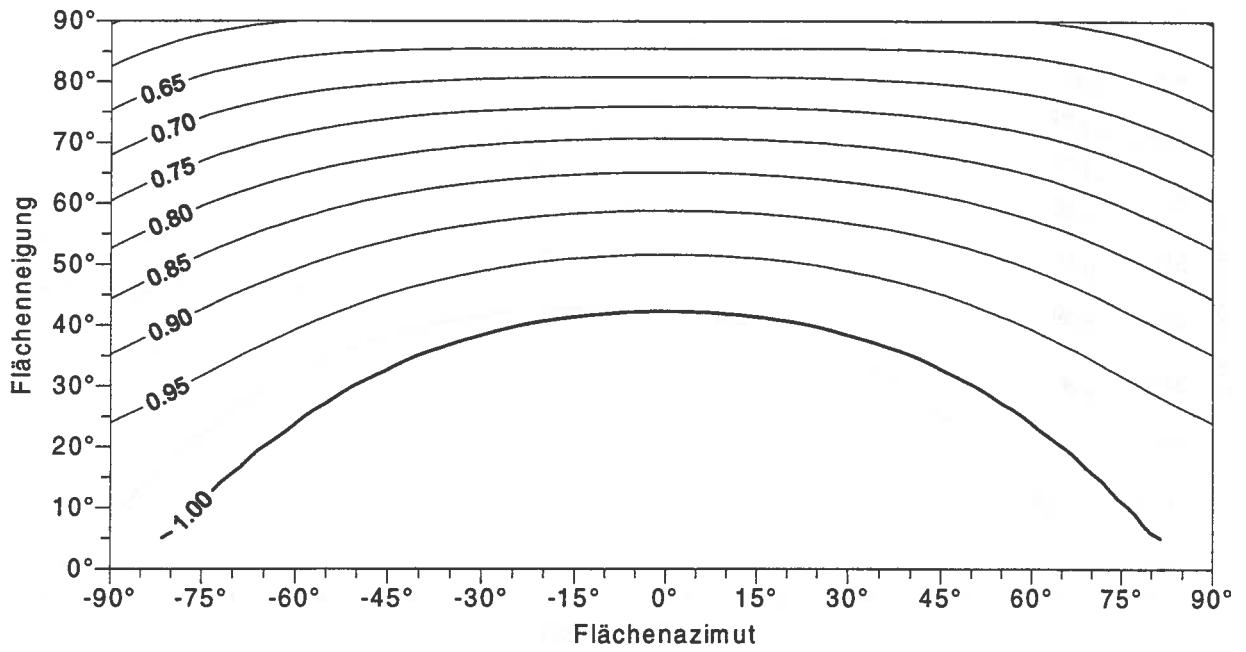


Abb. 3.3.10: R-Faktor im Sommerhalbjahr (April - September) Station Pully

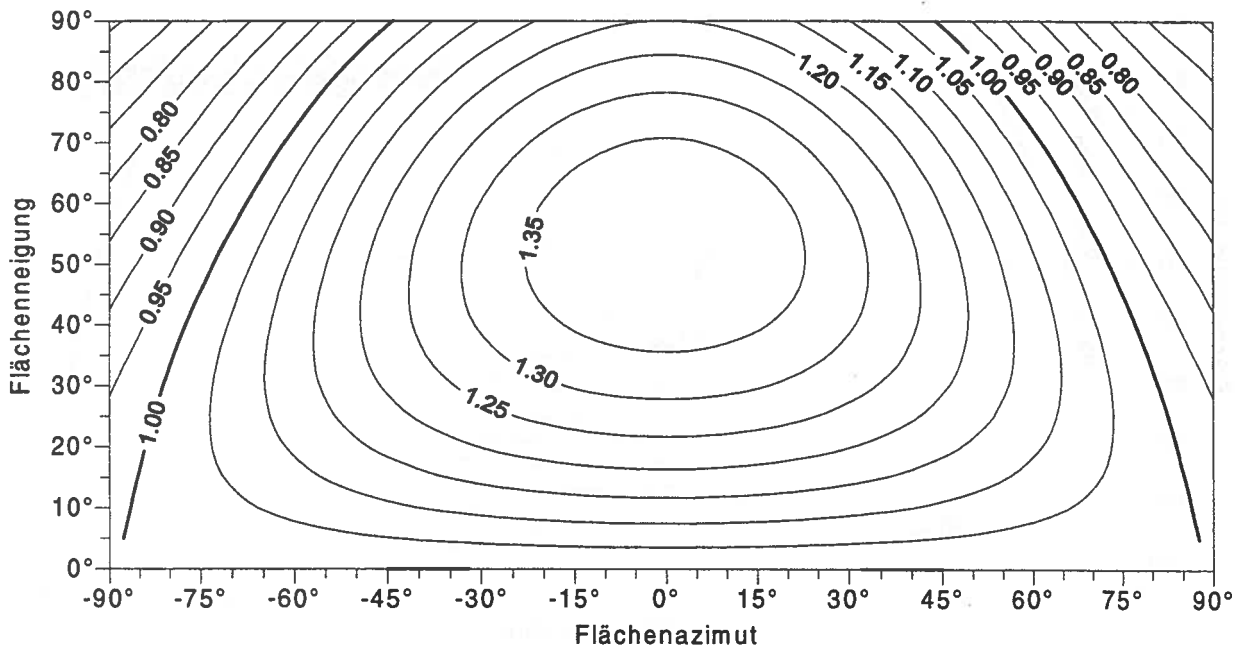


Abb. 3.3.11: R-Faktor im Winterhalbjahr (Oktober - Dezember und Januar - März) Station Pully

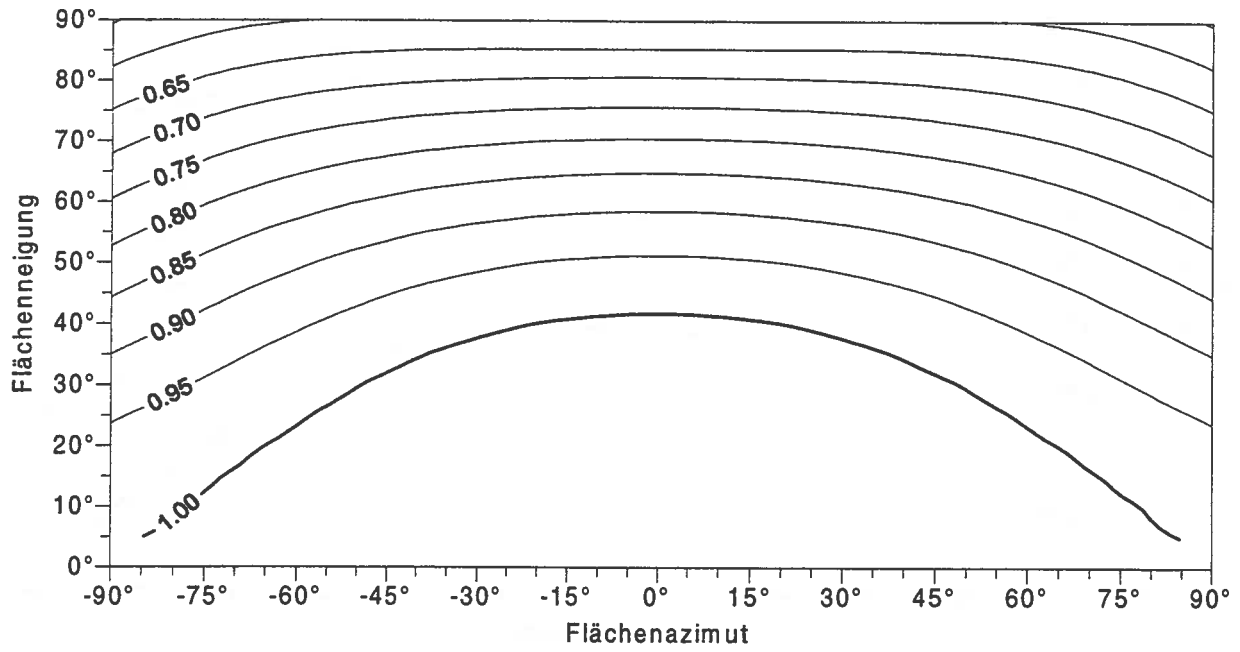


Abb. 3.3.12: R-Faktor im Sommerhalbjahr (April - September) Station **Locarno-Magadino**

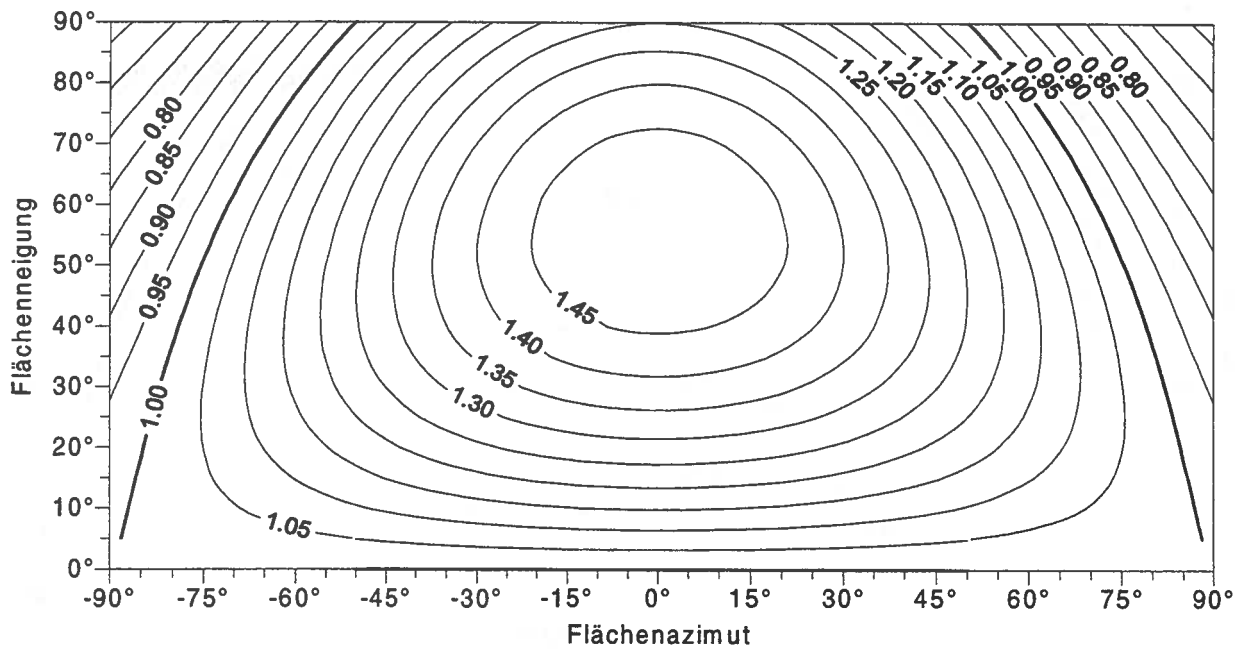


Abb. 3.3.13: R-Faktor im Winterhalbjahr (Oktober - Dezember und Januar - März) Station **Locarno-Magadino**

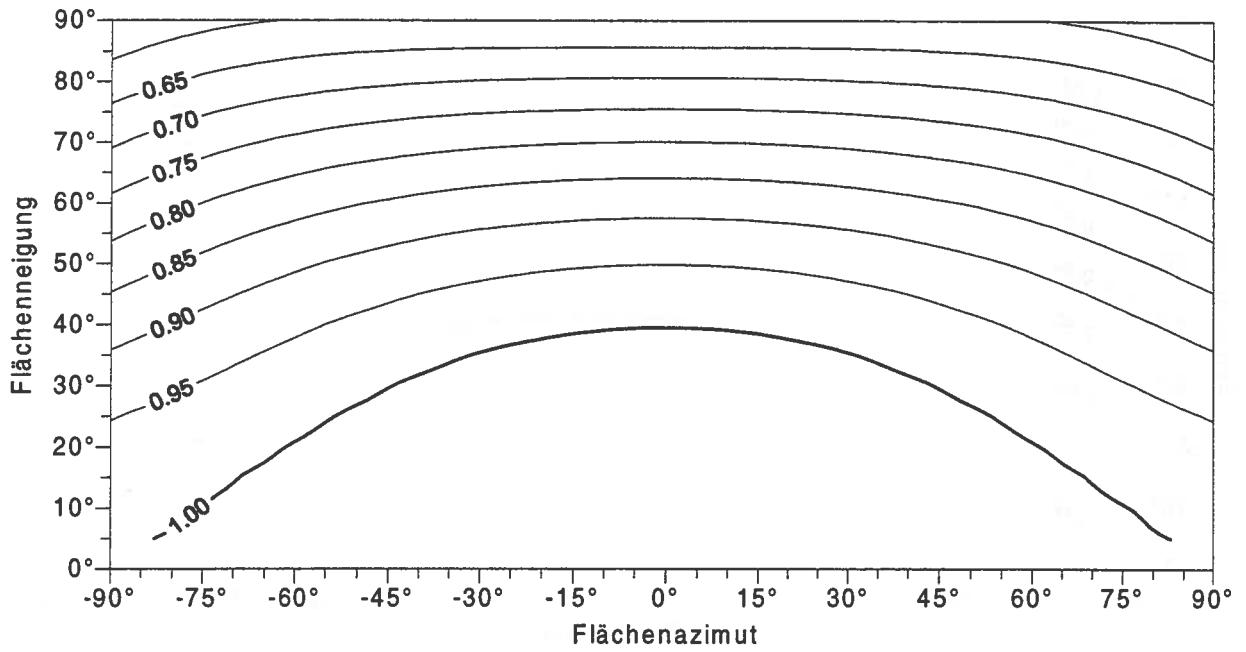


Abb. 3.3.14: R-Faktor im Sommerhalbjahr (April - September) Station **Bern-Liebefeld**

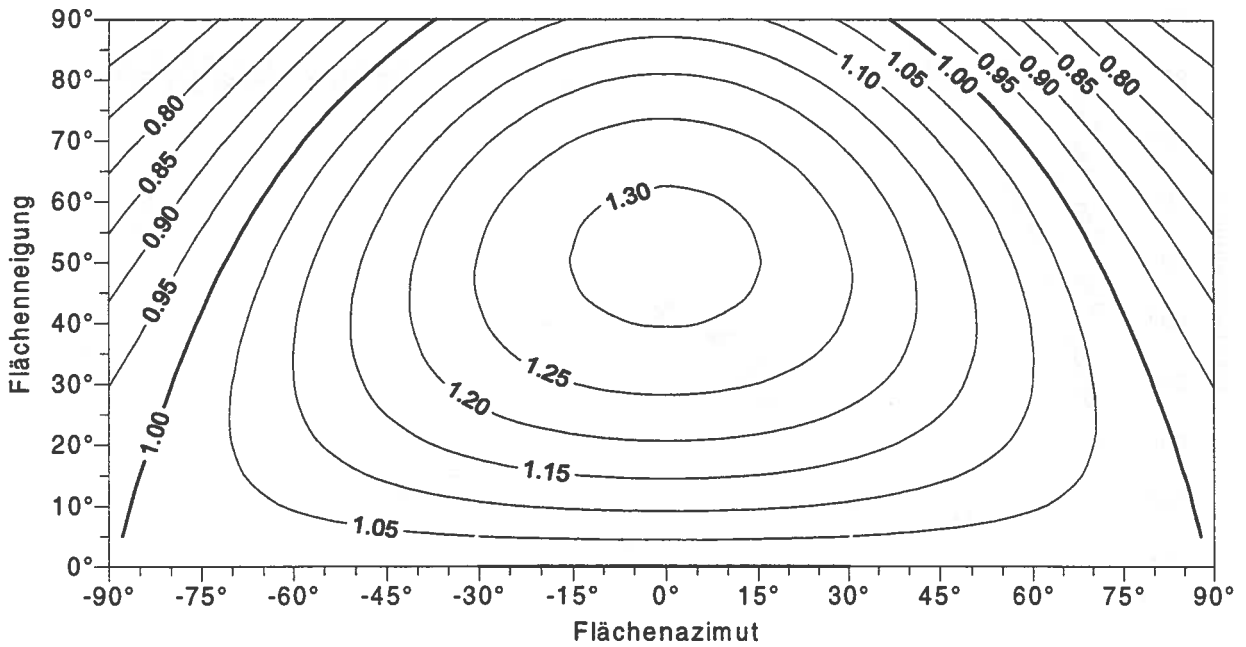


Abb. 3.3.15: R-Faktor im Winterhalbjahr (Oktober - Dezember und Januar - März) Station **Bern-Liebefeld**

## 3.4 DRY: Design Reference Year (Stundenwerte)

Design Reference Years (DRY) enthalten Jahresdatensätze in Stundenauflösung der wichtigsten meteorologischen Parameter (Kap. 4.8). Die **METEONORM** bietet DRY's von **22 Standorten** in der Schweiz (Tab. 3.4.1) an. Die Datensätze wurden im Rahmen eines internationalen Projekts an der EMPA Dübendorf erstellt (Skartveit et al., 1992). Sie repräsentieren für jede Station ein mittleres synthetisches Jahr, welches aus Messungen des Zeitraumes 1981-1990 erstellt wurde. Die 22 Standorte sind über alle klimatischen Regionen der Schweiz verteilt - abgesehen von Kreten- und Gipfellagen.

Einzelne Standorte - insbesondere im Alpengebiet - weisen spezifische lokale Besonderheiten auf. Vor allem der Horizont ist teilweise sehr eingengt und damit die Strahlung reduziert. Die Daten dieser Standorte sind nur für ein beschränktes Gebiet repräsentativ.

Tab. 3.4.1: Die 22 DRY-Standorte der Schweiz in alphabetischer Reihenfolge.

Standort	Höhe[m]	Region	Horizont	Grösse des repräsentativen Gebietes
Altdorf	449	Alpenordhang, Föhntal	sehr hoch	sehr klein
Basel-Binningen	316	Juranordfuss, Stadtrand	flach	mittel
Bern-Liebefeld	565	Mittelland, Stadtrand	flach	gross
Chur-Ems	555	Alpen, grosses Tal	hoch	klein
Davos	1590	Alpen, Tal	hoch	klein
Genève-Cointrin	420	Mittelland, Stadtrand	flach	gross
Glarus	515	Alpenordhang	sehr hoch*	sehr klein
Güttingen	440	Mittelland	flach	gross
Interlaken	580	Alpenordhang	hoch	klein
Montana	1506	Alpen	flach	klein
La Chaux-de-Fonds	1018	Jura	flach	gross
Locarno-Magadino	197	Alpensüdhang, grosses Tal	flach	klein-mittel
Lugano	273	Alpensüdseite, See	flach	klein-mittel
Luzern	456	Mittelland, Stadtrand	flach	mittel
Payeme	490	Mittelland	flach	gross
Pully	481	Mittelland, See	flach	mittel
Samedan	1705	Alpen, Tal	hoch	klein
Sion	482	Alpen, inneralpines Tal	hoch	klein-mittel
St.Gallen	779	Mittelland	flach	mittel
Wynau	422	Mittelland	flach	gross
Zürich-Kloten	436	Mittelland	flach	gross
Zürich-SMA	556	Mittelland, Stadt	flach	gross

\*Die Station Glarus weist einen der höchsten Horizonte der Anetz-Stationen auf.

Die räumliche Repräsentativität der Daten ist grundsätzlich je nach Klimaelement und Jahreszeit unterschiedlich. In einem vereinfachenden Ansatz wurde das repräsentative Gebiet durch zwei einander ergänzende Parameter  $K_d$  und  $H_a$  definiert:

### - Entfernung zum Standort (Klimadistanz $K_d$ ):

Meteorologische Messungen können in unseren Breiten in einem maximalen Umkreis von  $d = 20$  km Radius als repräsentativ für Temperatur und Globalstrahlung betrachtet werden. Dieser Radius von 20 km kommt durch folgende Überlegungen zustande: Als maximale Temperaturabweichung wird  $1$  °C toleriert. Für den durchschnittlichen vertikalen Gradienten wird  $0.5$  °C pro 100 m angenommen, was einer maximalen vertikalen Distanz von 200 Meter entspricht. Bei den Parametern Temperatur

und Strahlung ist die Varianz in der Vertikalen rund 100 Mal so gross wie die der Horizontalen. Wenn nun die maximale vertikale Distanz mit diesem Faktor 100 multipliziert wird, so erhält man die 20 km horizontale Maximaldistanz. Die Klimadistanz ist die Summe der beiden Komponenten Horizontaldistanz ( $d$ ) und Vertikaldistanz ( $\Delta z$ ). Das repräsentative Gebiet eines DRY-Standes liegt innerhalb einer Klimadistanz  $Kd = 20$  km (3.4.1):

$$Kd = \sqrt{d^2 + (100 \cdot \Delta z)^2}$$

(3.4.1)





Die Alpen beeinflussen die Form des repräsentativen Gebiets. Parallel zu den Alpen variieren Temperatur und Strahlung weniger, als senkrecht dazu. Die Abgrenzung des repräsentativen Gebiets trägt dem Rechnung durch eine angepasste Transformation der Horizontaldistanz. Die gewählte Deformation von 60% entspricht in etwa den beobachteten mittleren Varianzen im Umfeld der Stationen. Alpenparallel beträgt somit die transformierte Maximaldistanz (grosse Halbachse)  $d' = 25.7$  km, senkrecht dazu (kleine Halbachse) ist  $d' = 15.6$  km.

#### - Unterschiede im fernen Horizont (Horizontähnlichkeit $H_a$ ):

Ein Horizont über  $10^\circ$  Höhe beeinflusst die Strahlung signifikant (insbesondere auf geneigte Flächen). Die Horizontähnlichkeit ist so festgelegt, dass am Mittwintertag (15. Februar) die Abweichung der Globalstrahlung für horizontale Flächen nicht über 5% liegen darf. Die Übereinstimmung des Horizonts der Meteo-Station mit dem Horizont in der Umgebung wurde im Bereich ENE bis WNW ( $-130^\circ$  bis  $+130^\circ$ , in  $10^\circ$  Schritten) überprüft (Technische Dokumentation BEW, 1995).

In Abb. 3.4.1 ist in einer gesamtschweizerischen Uebersicht wiedergegeben, welche Gebiete innerhalb der vorgegebenen Klimadistanz liegen. Gewisse Standorte weisen Gebiete auf, welche sich überlappen. Hier ist der Benutzer frei, den ihm am geeignetsten erscheinenden Standort zu wählen. Die Grenzen der Gebiete sind nicht als klare Grenzlinien aufzufassen, sondern eher als verschwommene Uebergangsbereiche. Gerade im Mittelland können Stationsdaten auch für Gebiete verwendet werden, die knapp ausserhalb der Klimadistanz und ungefähr auf gleicher Meereshöhe liegen. In Abb 3.4.2 bis 3.4.23 ist für jeden Standort das repräsentative Gebiet im Detail wiedergegeben. Die drei einschränkenden Signaturen sind wie folgt zu interpretieren (Tab. 3.4.2):

Tab. 3.4.2: Erklärung der Signaturen der Karten der repräsentativen Gebiete (Abb. 3.4.2 bis 3.4.23)

	Legende	Erklärung
	direkt verwendbar	Gebiet liegt innerhalb zulässiger Klimadistanz $Kd$ , Horizont weicht wenig ab. Horizontähnlichkeit $H_a$ zu mehr als 75% erfüllt.
	bedingt verwendbar Horizont leicht abweichend	Globalstrahlungswerte weichen im Sommerhalbjahr und für wenig geneigte Flächen (unter $30^\circ$ ) wenig ab, hier sind die Daten verwendbar. Horizontähnlichkeit $H_a$ zu 60%-75% erfüllt.
	nicht verwendbar Horizont stark abweichend	Globalstrahlungswerte weichen insbesondere im Winter und für stark geneigte Flächen (über $45^\circ$ ) stark ab. Horizontähnlichkeit $H_a$ zu weniger als 60% erfüllt.
	nicht verwendbar zu grosse Distanz, grosser Höhenunterschied	Klimadistanz $Kd > 20$ km: Distanz und Höhenunterschied zum Standort der dem DRY zugrunde liegenden Meteo-Station ergeben systematische Abweichungen in Temperatur und/oder Strahlung

Nachfolgende Uebersicht: Lage der 22 DRY-Standorte und der durch sie klimatisch repräsentierten Gebiete (Abbildung 3.4.1 bis 3.4.23). Die Hintergrunddaten (Gewässer, Landesgrenzen) der Abbildungen 3.4.1 bis 3.4.22 und das digitale Geländemodell (DGM) stammen von der Servicestelle GEOSTAT des Bundesamtes für Statistik (BFS, 1992).

Repräsentative Gebiete der 22 DRY Standorte  
*Régions représentatives des 22 sites DRY*

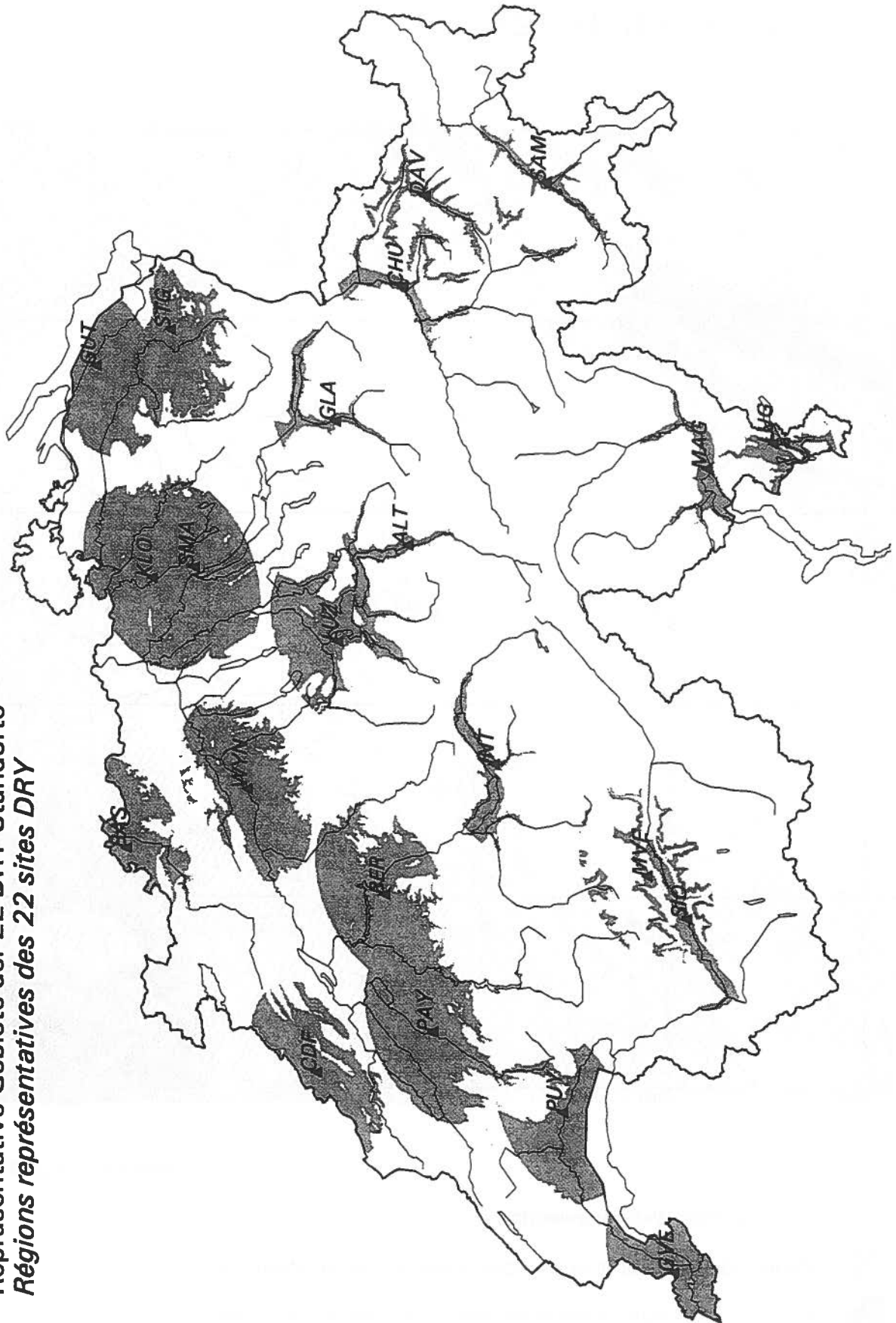
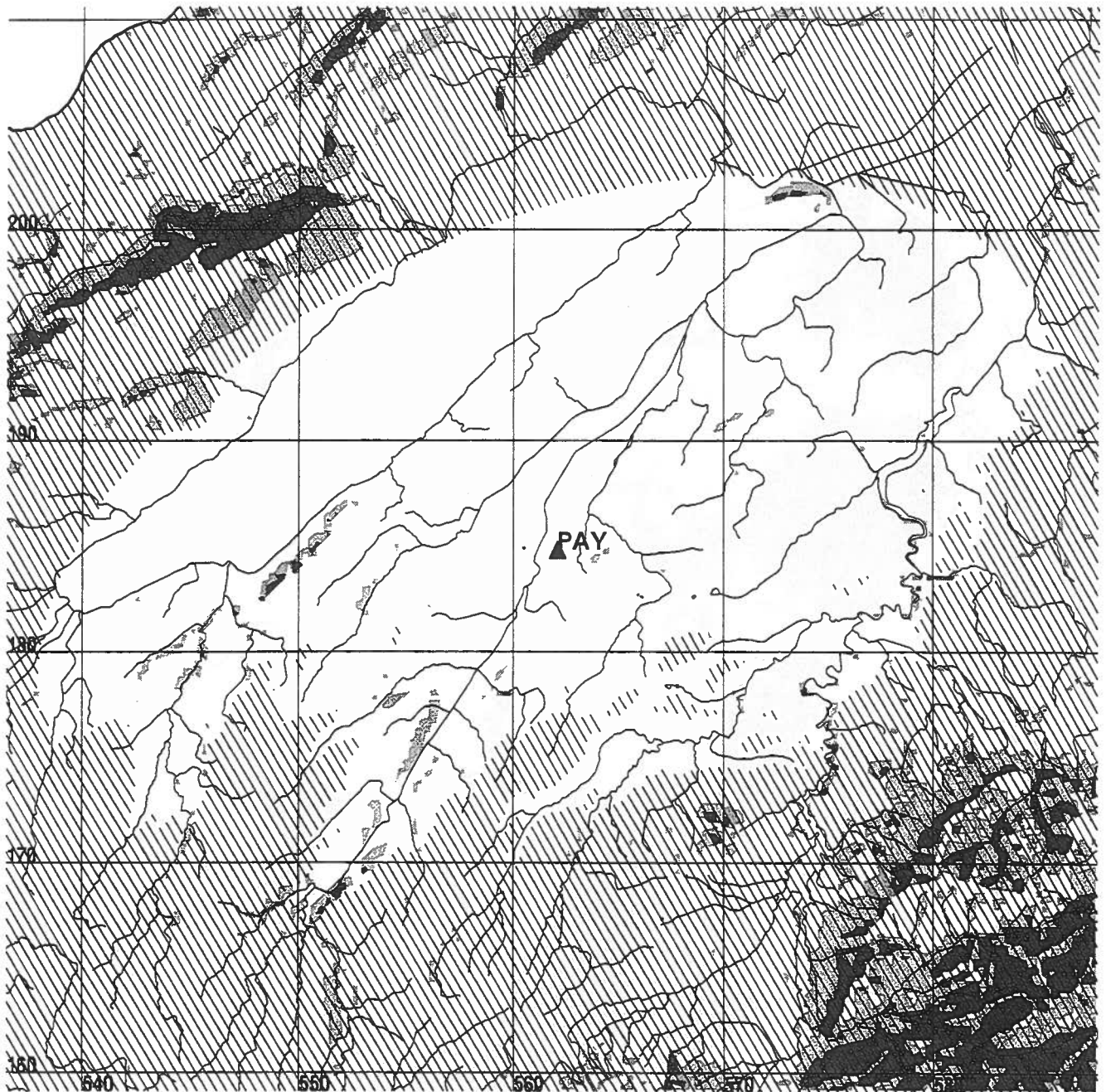


Abb. 3.4.1: Übersicht über die Lage der 22 DRY-Standorte und der durch sie klimatisch repräsentierten Gebiete mit Klimadistanz unter 25.7 Kilometer.  
 (Quelle Hintergrunddaten: BFS-GEOSTAT)

# Payerne (Anetz-Nr. 2)



Masstab 1:300'000





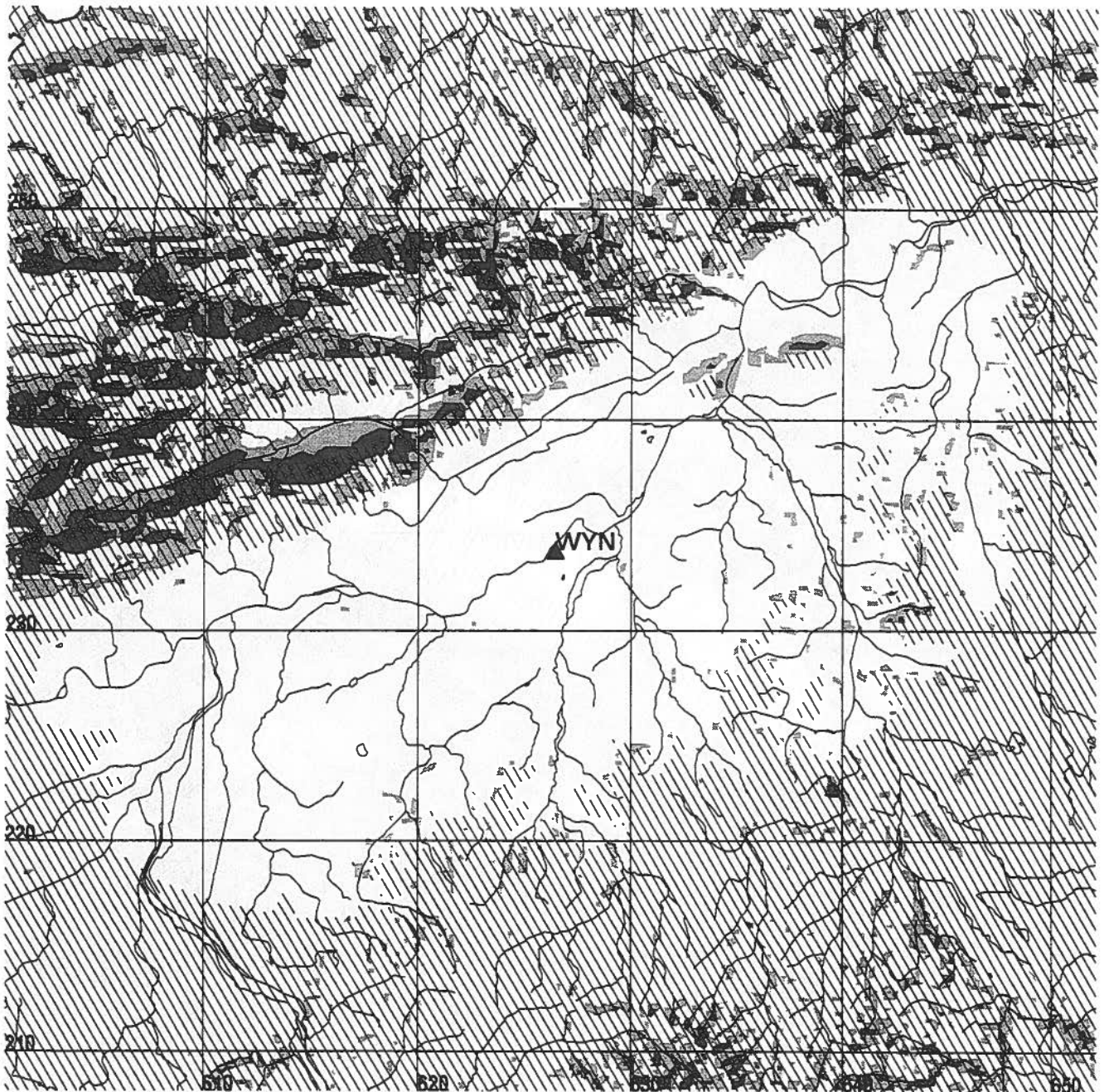
-  Stationsdaten direkt verwendbar
-  Stationsdaten bedingt verwendbar (Horizont leicht abweichend)
-  Stationsdaten nicht verwendbar (Horizont stark abweichend)
-  Stationsdaten nicht verwendbar (zu grosse Distanz, grosser Höhenunterschied)

Abb. 3.4.2: Repräsentativitätsperimeter für Strahlung und Temperatur der Station **Payerne**.

(Quelle Hintergrunddaten: BFS-GEOSTAT)

# Wynau (Anetz-Nr. 4)



Masstab 1:300'000





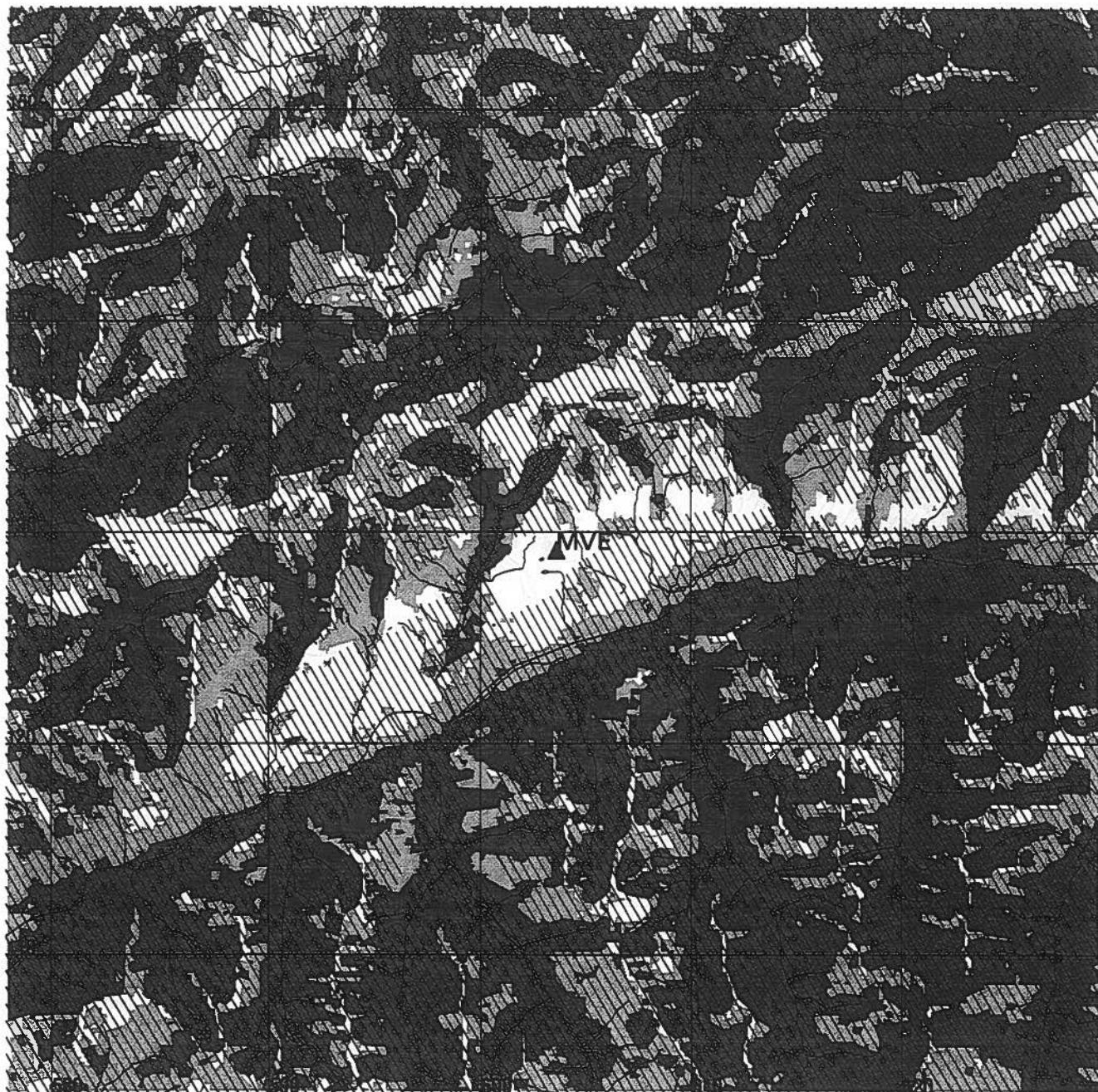
-  Stationsdaten direkt verwendbar
-  Stationsdaten bedingt verwendbar (Horizont leicht abweichend)
-  Stationsdaten nicht verwendbar (Horizont stark abweichend)
-  Stationsdaten nicht verwendbar (zu grosse Distanz, grosser Höhenunterschied)

Abb. 3.4.3: Repräsentativitätsperimeter für Strahlung und Temperatur der Station **Wynau**.

(Quelle Hintergrunddaten: BFS-GEOSTAT)

# Montana (Anetz-Nr. 10)



Masstab 1:300'000





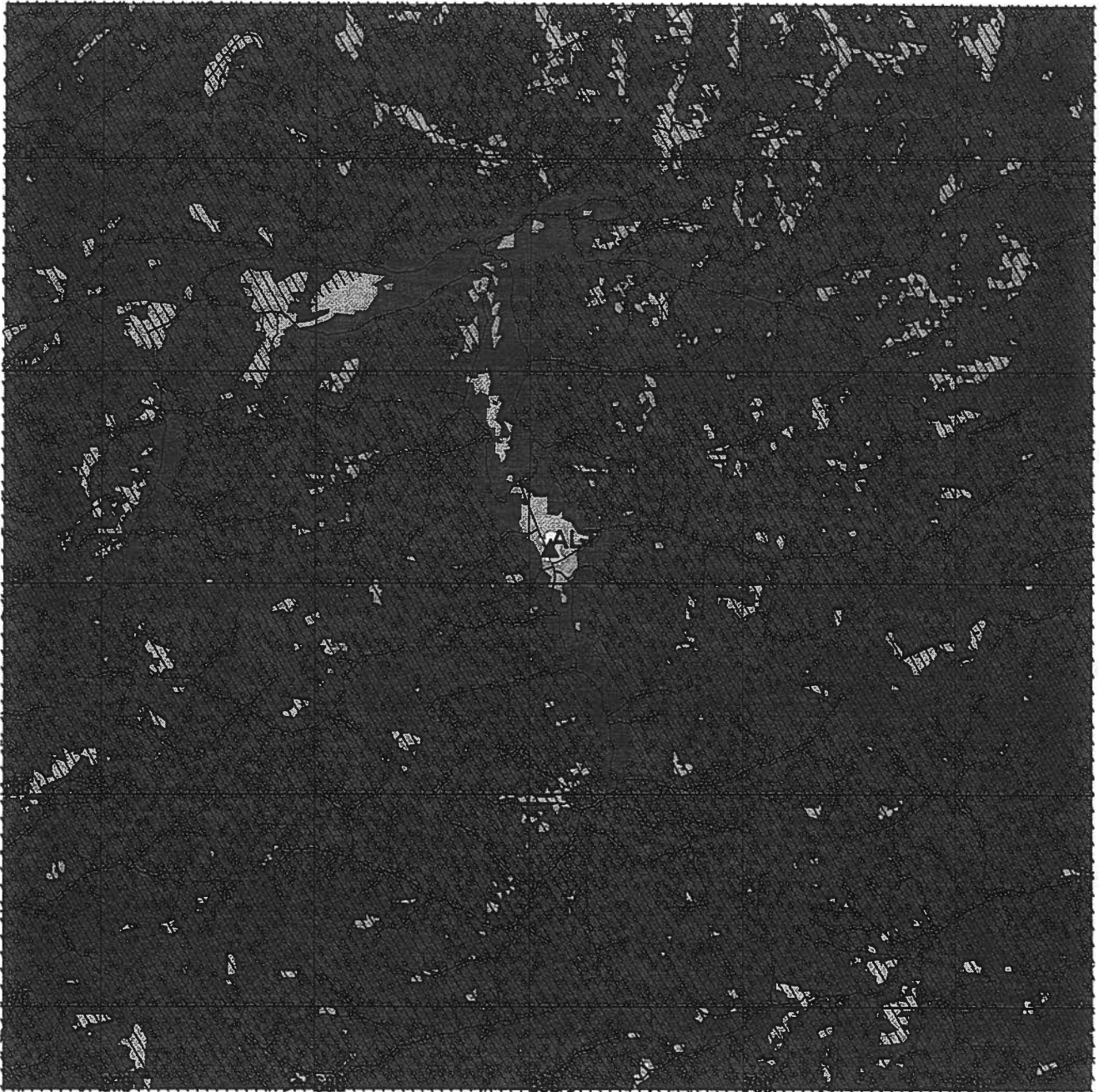
-  Stationsdaten direkt verwendbar
-  Stationsdaten bedingt verwendbar (Horizont leicht abweichend)
-  Stationsdaten nicht verwendbar (Horizont stark abweichend)
-  Stationsdaten nicht verwendbar (zu grosse Distanz, grosser Höhenunterschied)

Abb. 3.4.4: Repräsentativitätsperimeter für Strahlung und Temperatur der Station **Montana**.  
(Quelle Hintergrunddaten: BFS-GEOSTAT)

# Altdorf (Anetz-Nr. 14)



Masstab 1:300'000





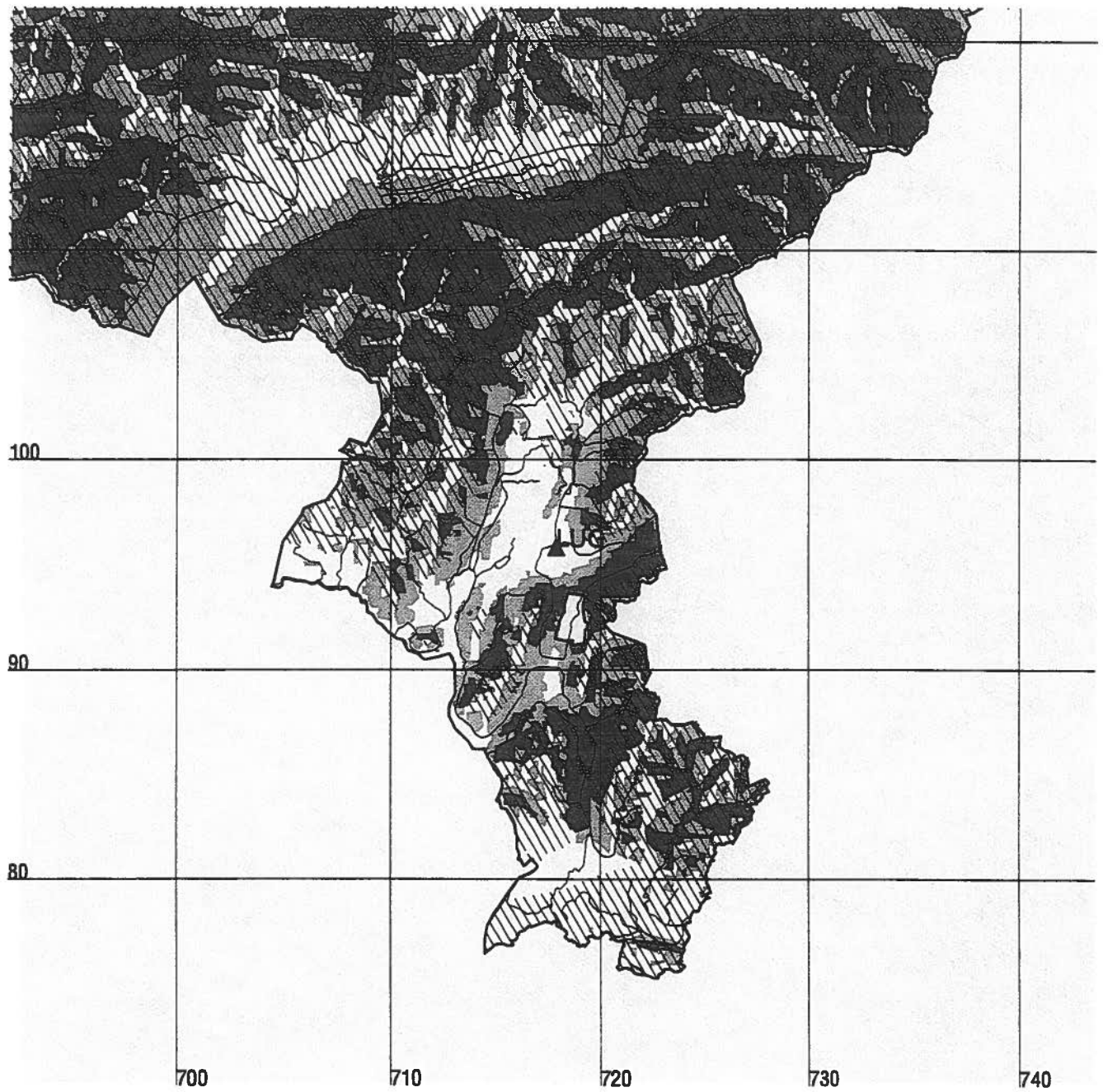
-  Stationsdaten direkt verwendbar
-  Stationsdaten bedingt verwendbar (Horizont leicht abweichend)
-  Stationsdaten nicht verwendbar (Horizont stark abweichend)
-  Stationsdaten nicht verwendbar (zu grosse Distanz, grosser Höhenunterschied)

Abb. 3.4.5: Repräsentativitätsperimeter für Strahlung und Temperatur der Station **Altdorf**.

(Quelle Hintergrunddaten: BFS-GEOSTAT)

# Lugano (Anetz-Nr. 17)



Massstab 1:300'000





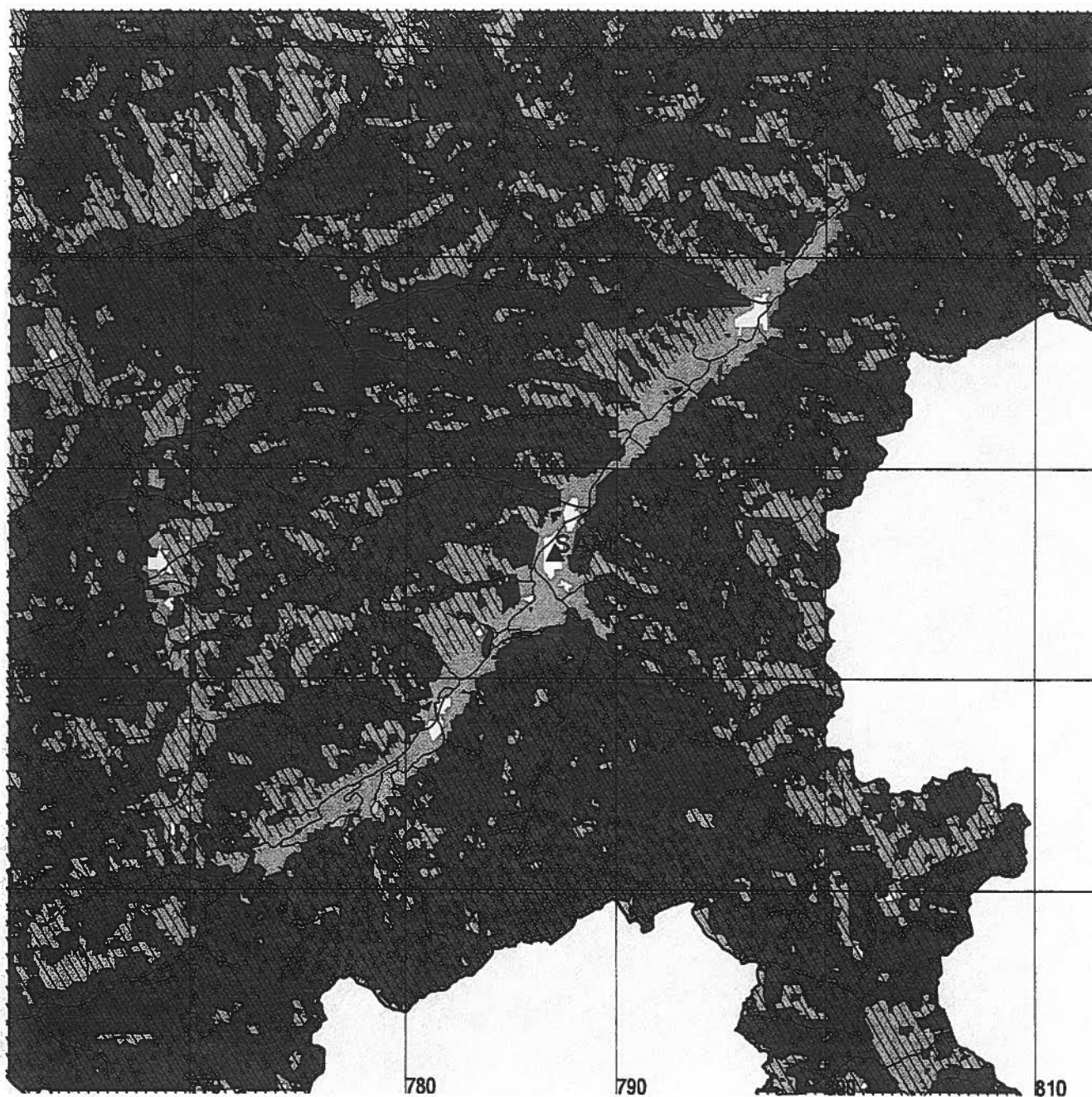
-  Stationsdaten direkt verwendbar
-  Stationsdaten bedingt verwendbar (Horizont leicht abweichend)
-  Stationsdaten nicht verwendbar (Horizont stark abweichend)
-  Stationsdaten nicht verwendbar (zu grosse Distanz, grosser Höhenunterschied)

Abb. 3.4.6: Repräsentativitätsperimeter für Strahlung und Temperatur der Station **Lugano**.  
 (Quelle Hintergrunddaten: BFS-GEOSTAT)

## Samedan (Anetz-Nr. 18)



Masstab 1:300'000





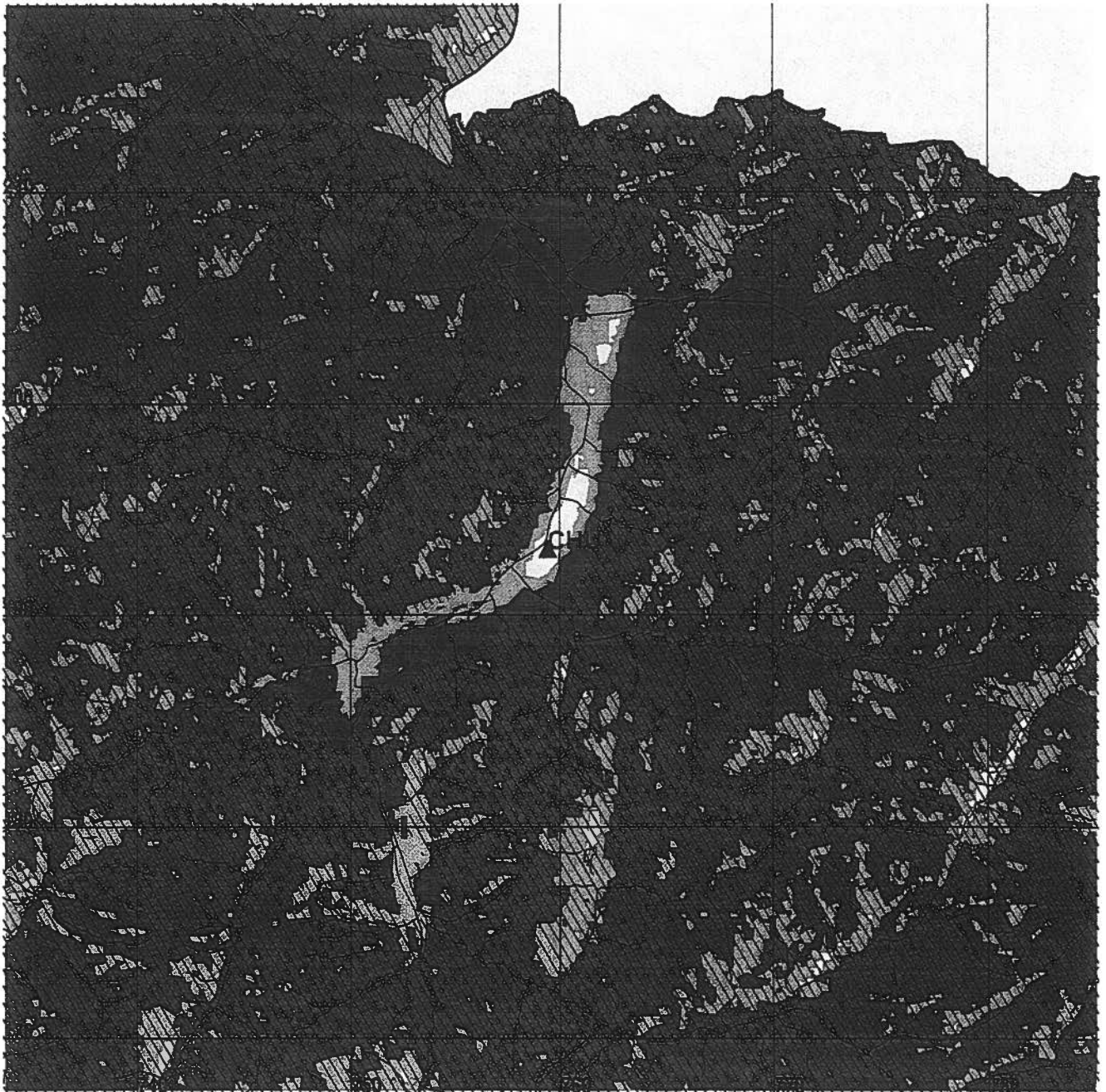
-  Stationsdaten direkt verwendbar
-  Stationsdaten bedingt verwendbar (Horizont leicht abweichend)
-  Stationsdaten nicht verwendbar (Horizont stark abweichend)
-  Stationsdaten nicht verwendbar (zu grosse Distanz, grosser Höhenunterschied)

Abb. 3.4.7: Repräsentativitätsperimeter für Strahlung und Temperatur der Station **Samedan**.

(Quelle Hintergrunddaten: BFS-GEOSTAT)

# Chur-Ems (Anetz-Nr. 19)



Masstab 1:300'000





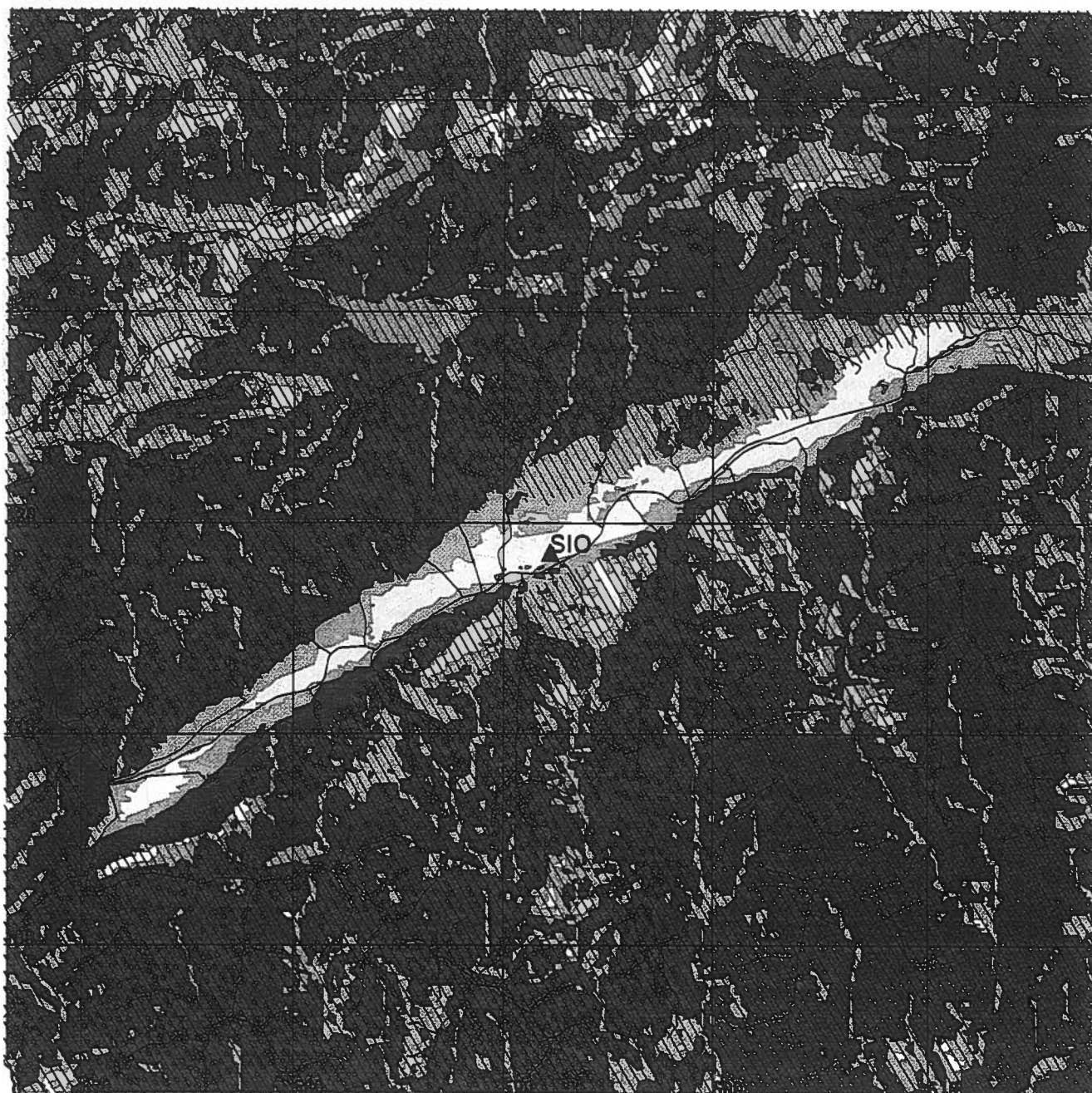
-  Stationsdaten direkt verwendbar
-  Stationsdaten bedingt verwendbar (Horizont leicht abweichend)
-  Stationsdaten nicht verwendbar (Horizont stark abweichend)
-  Stationsdaten nicht verwendbar (zu grosse Distanz, grosser Höhenunterschied)

Abb. 3.4.8: Repräsentativitätsperimeter für Strahlung und Temperatur der Station **Chur-Ems**.

(Quelle Hintergrunddaten: BFS-GEOSTAT)

# Sion (Anetz-Nr. 21)



Masstab 1:300'000





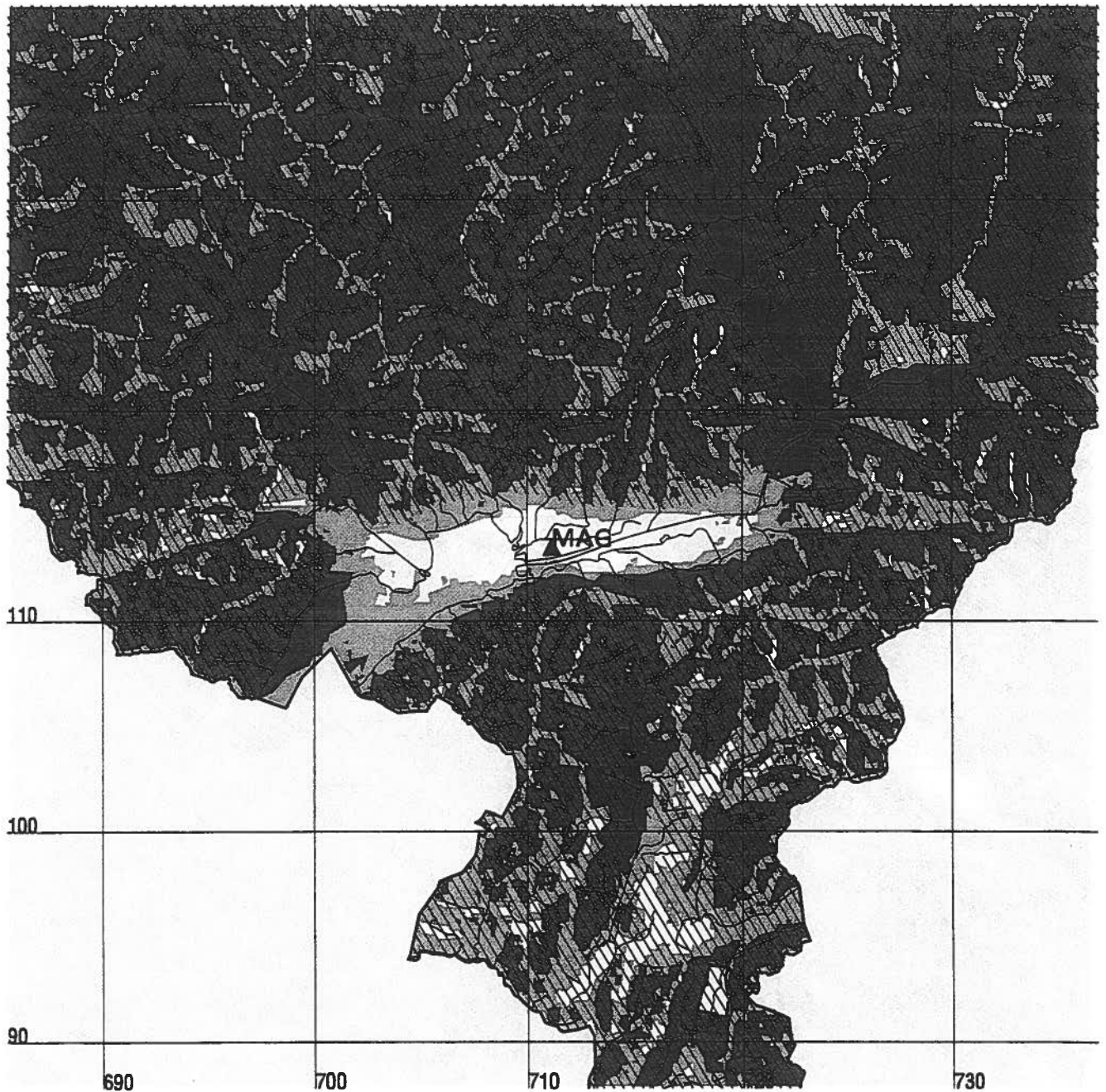
-  Stationsdaten direkt verwendbar
-  Stationsdaten bedingt verwendbar (Horizont leicht abweichend)
-  Stationsdaten nicht verwendbar (Horizont stark abweichend)
-  Stationsdaten nicht verwendbar (zu grosse Distanz, grosser Höhenunterschied)

Abb. 3.4.9: Repräsentativitätsperimeter für Strahlung und Temperatur der Station **Sion**.

(Quelle Hintergrunddaten: BFS-GEOSTAT)

## Locarno-Magadino (Anetz-Nr. 22)

110 100 90



Masstab 1:300'000





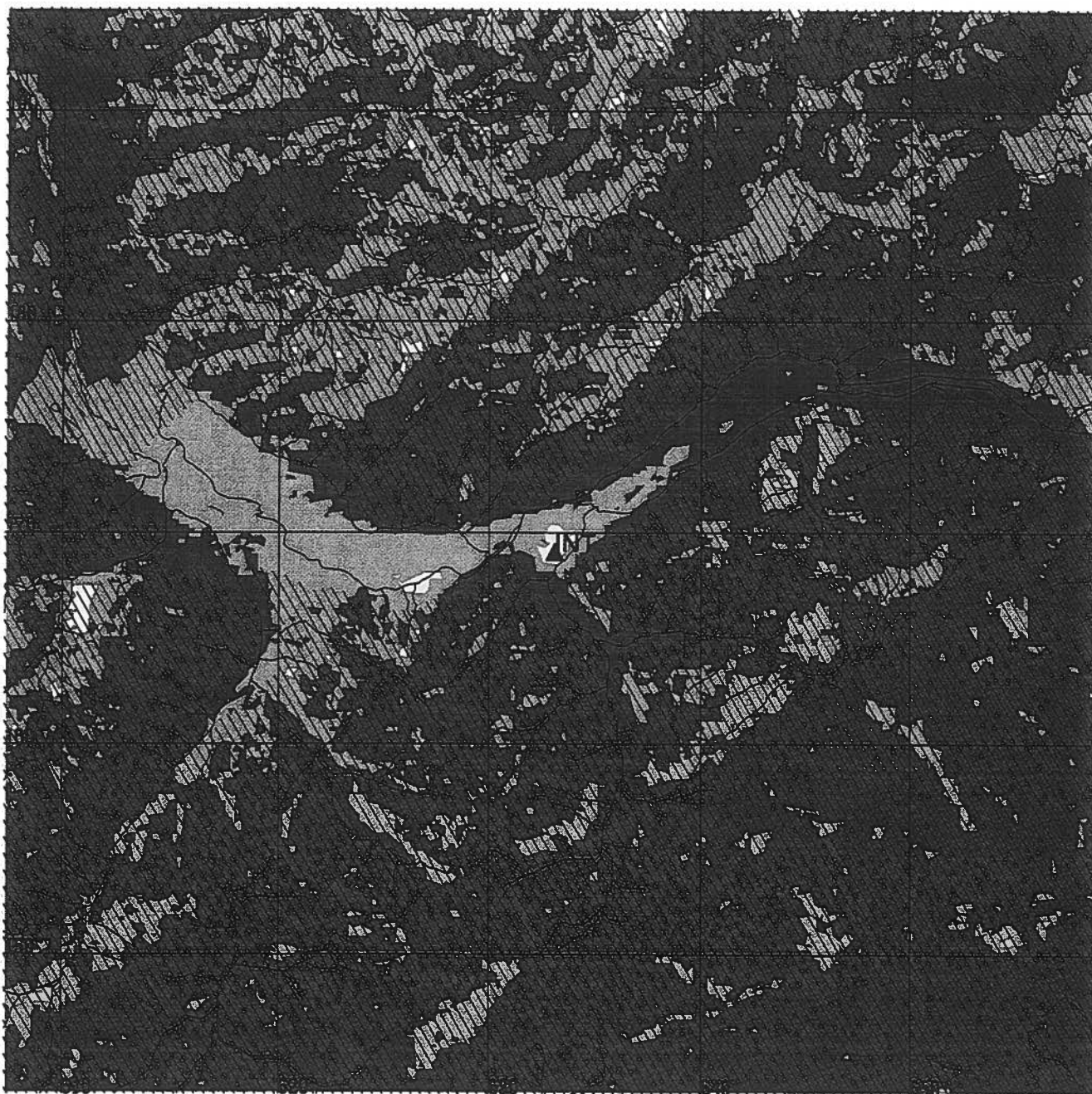
-  Stationsdaten direkt verwendbar
-  Stationsdaten bedingt verwendbar (Horizont leicht abweichend)
-  Stationsdaten nicht verwendbar (Horizont stark abweichend)
-  Stationsdaten nicht verwendbar (zu grosse Distanz, grosser Höhenunterschied)

Abb. 3.4.10: Repräsentativitätsperimeter für Strahlung und Temperatur von **Locarno-Magadino**.

(Quelle Hintergrunddaten: BFS-GEOSTAT)

## Interlaken (Anetz-Nr. 25)



Masstab 1:300'000





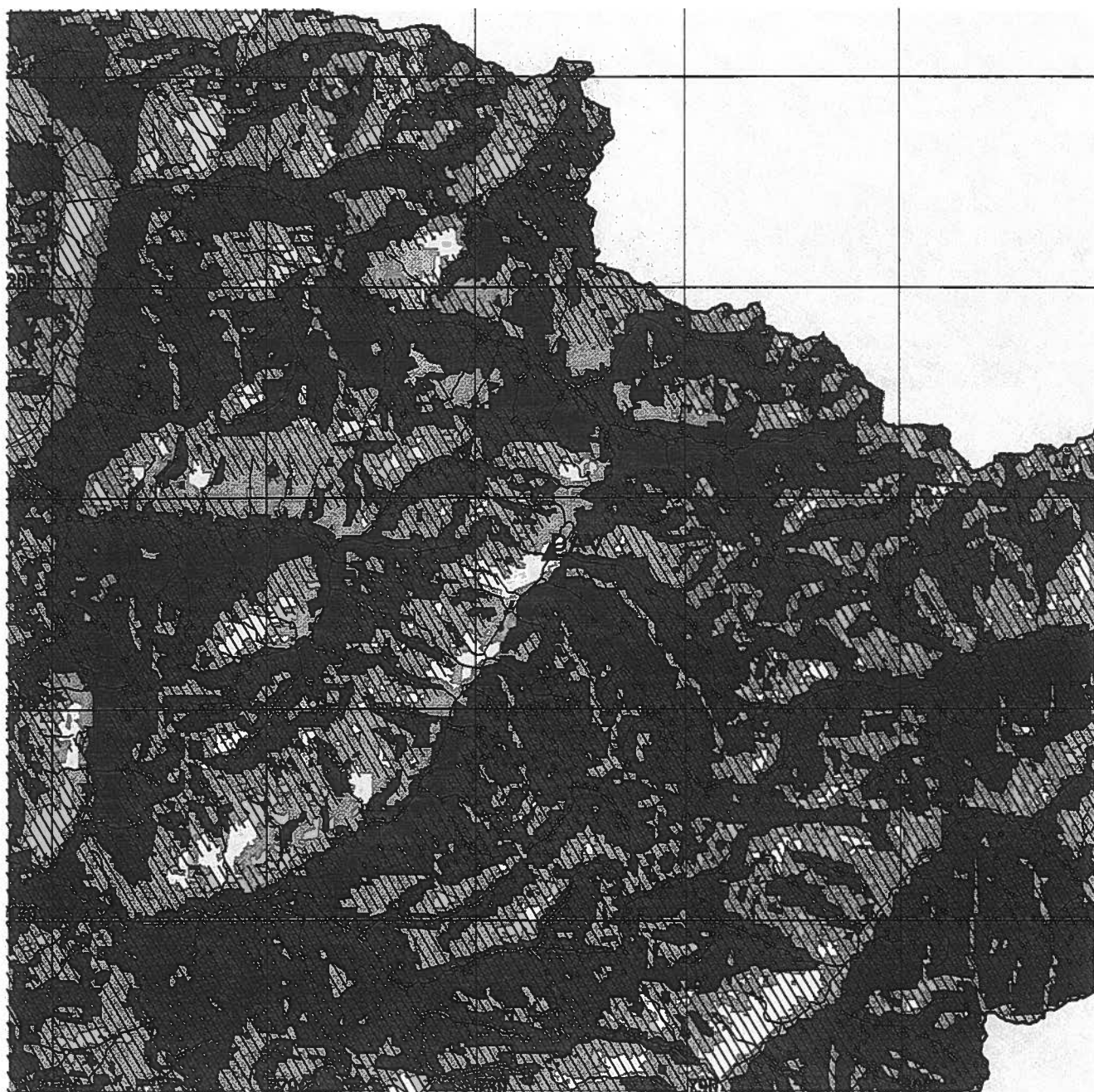
-  Stationsdaten direkt verwendbar
-  Stationsdaten bedingt verwendbar (Horizont leicht abweichend)
-  Stationsdaten nicht verwendbar (Horizont stark abweichend)
-  Stationsdaten nicht verwendbar (zu grosse Distanz, grosser Höhenunterschied)

Abb. 3.4.11: Repräsentativitätsperimeter für Strahlung und Temperatur der Station **Interlaken**.

(Quelle Hintergrunddaten: BFS-GEOSTAT)

## Davos (Anetz-Nr. 28)



Massstab 1:300'000





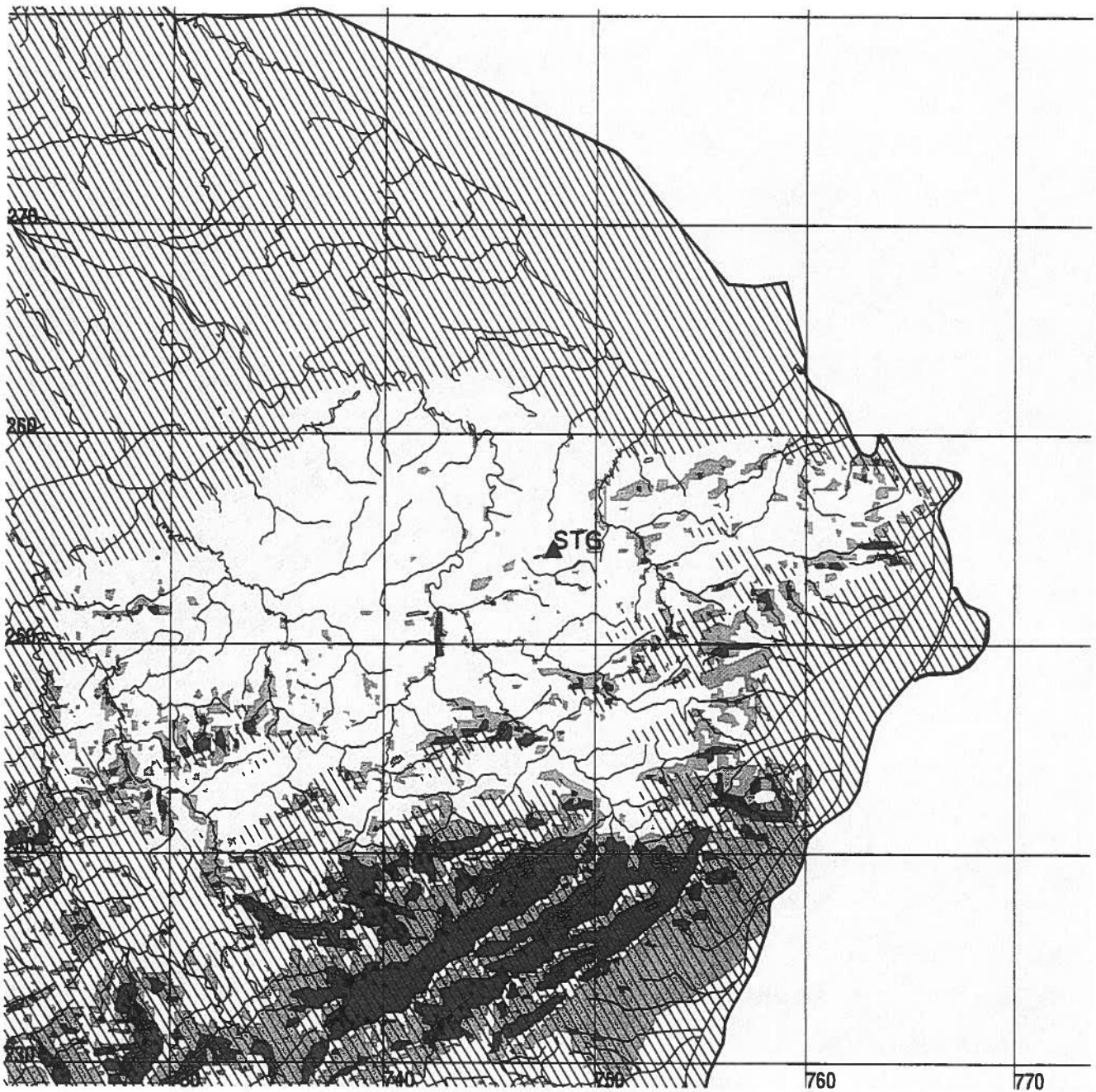
-  Stationsdaten direkt verwendbar
-  Stationsdaten bedingt verwendbar (Horizont leicht abweichend)
-  Stationsdaten nicht verwendbar (Horizont stark abweichend)
-  Stationsdaten nicht verwendbar (zu grosse Distanz, grosser Höhenunterschied)

Abb. 3.4.12: Repräsentativitätsperimeter für Strahlung und Temperatur der Station **Davos**.

(Quelle Hintergrunddaten: BFS-GEOSTAT)

# St. Gallen (Anetz-Nr. 29)



Masstab 1:300'000





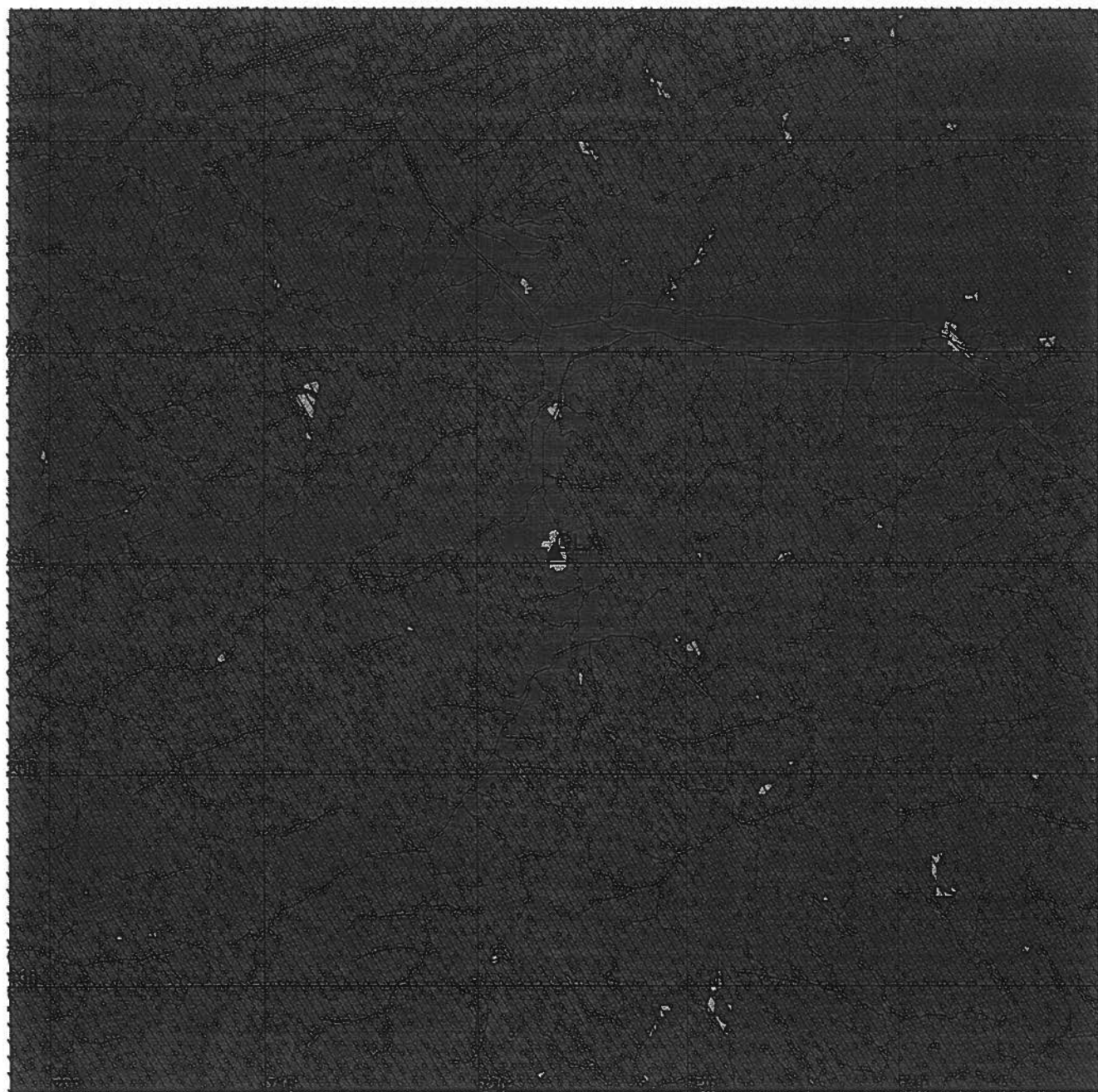
-  Stationsdaten direkt verwendbar
-  Stationsdaten bedingt verwendbar (Horizont leicht abweichend)
-  Stationsdaten nicht verwendbar (Horizont stark abweichend)
-  Stationsdaten nicht verwendbar (zu grosse Distanz, grosser Höhenunterschied)

Abb. 3.4.13: Repräsentativitätsperimeter für Strahlung und Temperatur der Station **St. Gallen**.

(Quelle Hintergrunddaten: BFS-GEOSTAT)

## Glarus (Anetz-Nr. 30)



Masstab 1:300'000





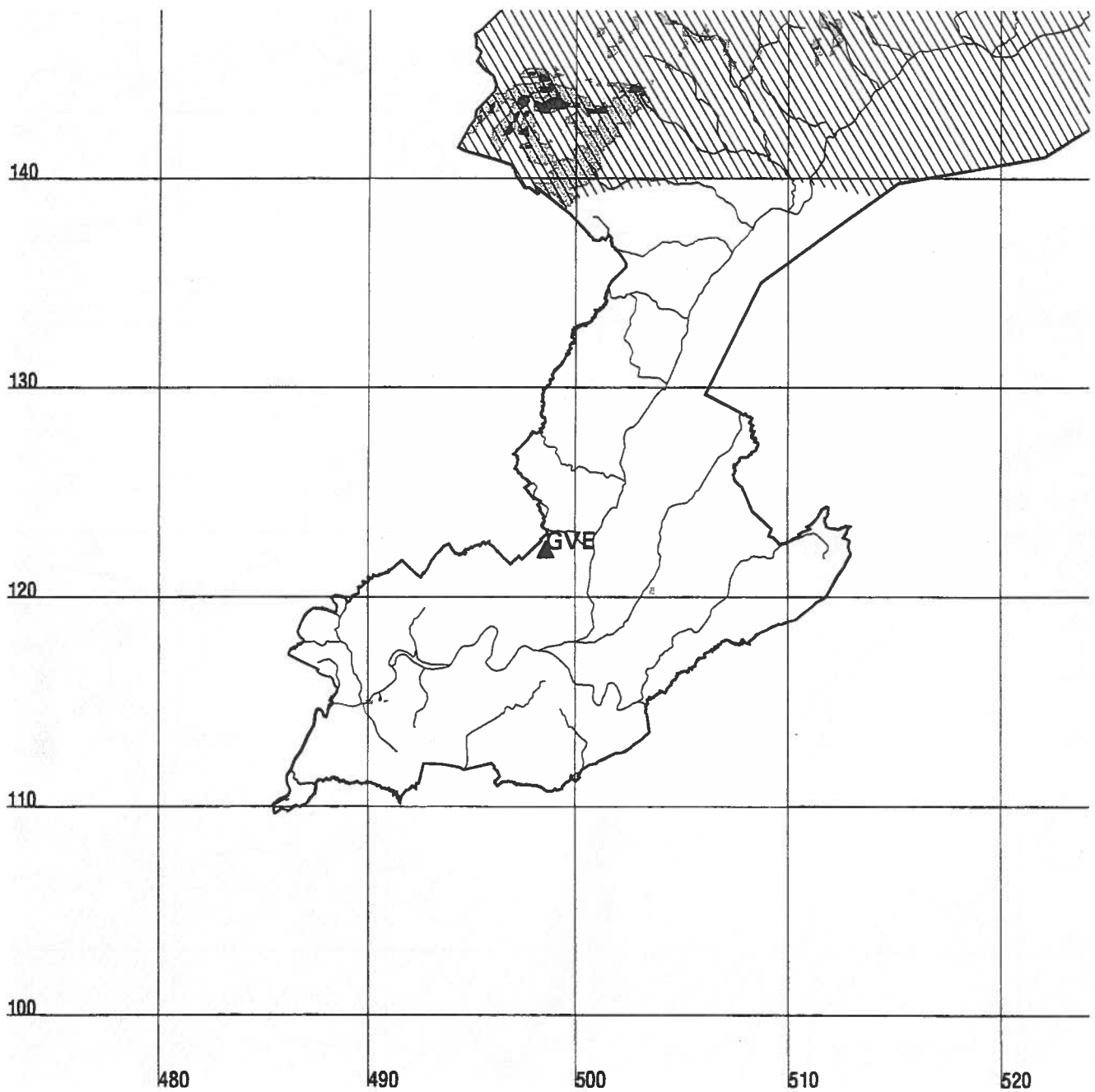
-  Stationsdaten direkt verwendbar
-  Stationsdaten bedingt verwendbar (Horizont leicht abweichend)
-  Stationsdaten nicht verwendbar (Horizont stark abweichend)
-  Stationsdaten nicht verwendbar (zu grosse Distanz, grosser Höhenunterschied)

Abb. 3.4.14: Repräsentativitätsperimeter für Strahlung und Temperatur der Station **Glarus**.

(Quelle Hintergrunddaten: BFS-GEOSTAT)

# Genève-Cointrin (Anetz-Nr. 31)



Masstab 1:300'000





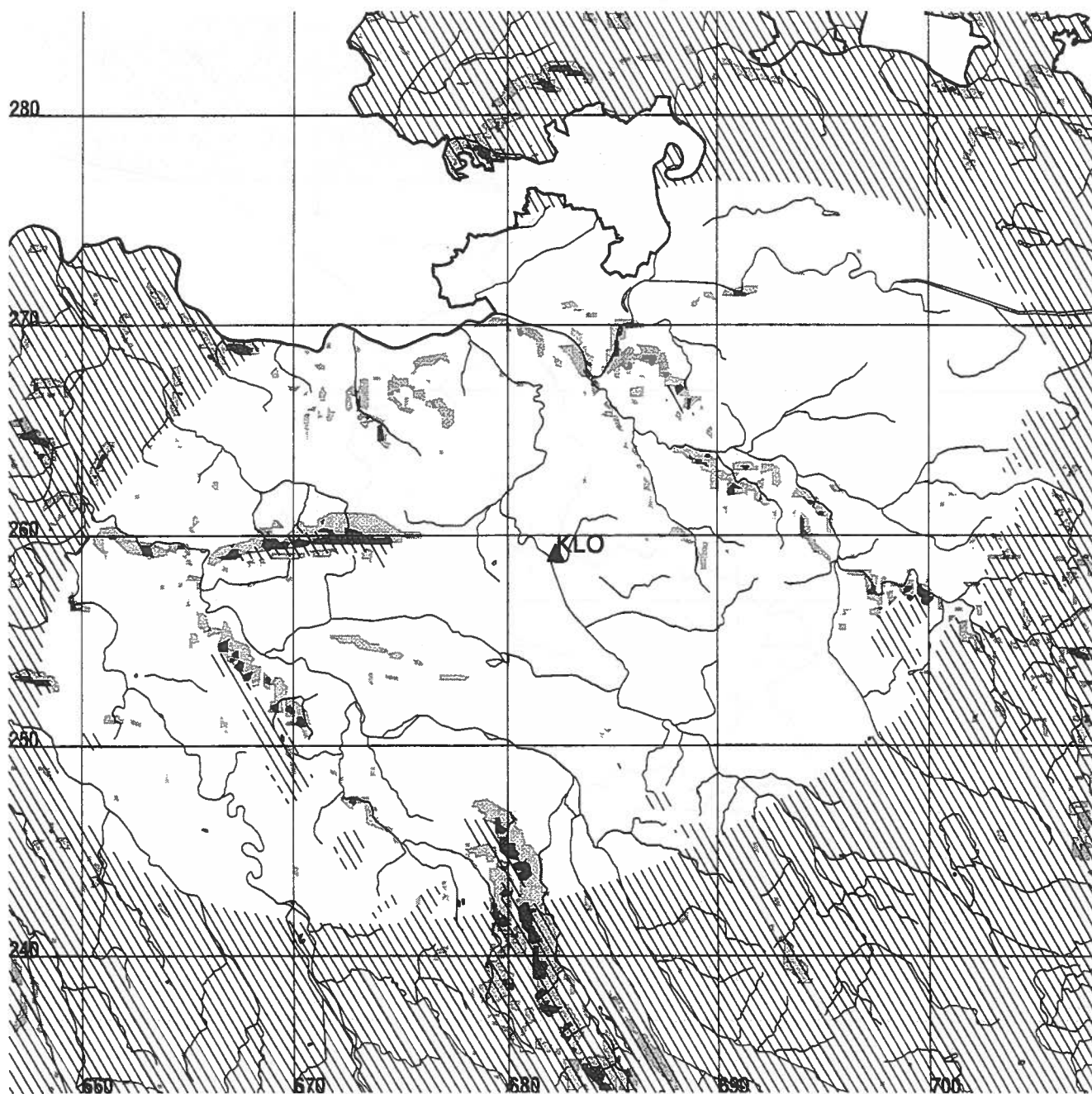
-  Stationsdaten direkt verwendbar
-  Stationsdaten bedingt verwendbar (Horizont leicht abweichend)
-  Stationsdaten nicht verwendbar (Horizont stark abweichend)
-  Stationsdaten nicht verwendbar (zu grosse Distanz, grosser Höhenunterschied)

Abb. 3.4.15: Repräsentativitätsperimeter für Strahlung und Temperatur der Station **Genève-Cointrin**.  
(Quelle Hintergrunddaten: BFS-GEOSTAT)

# Zürich-Kloten (Anetz-Nr. 32)



Masstab 1:300'000





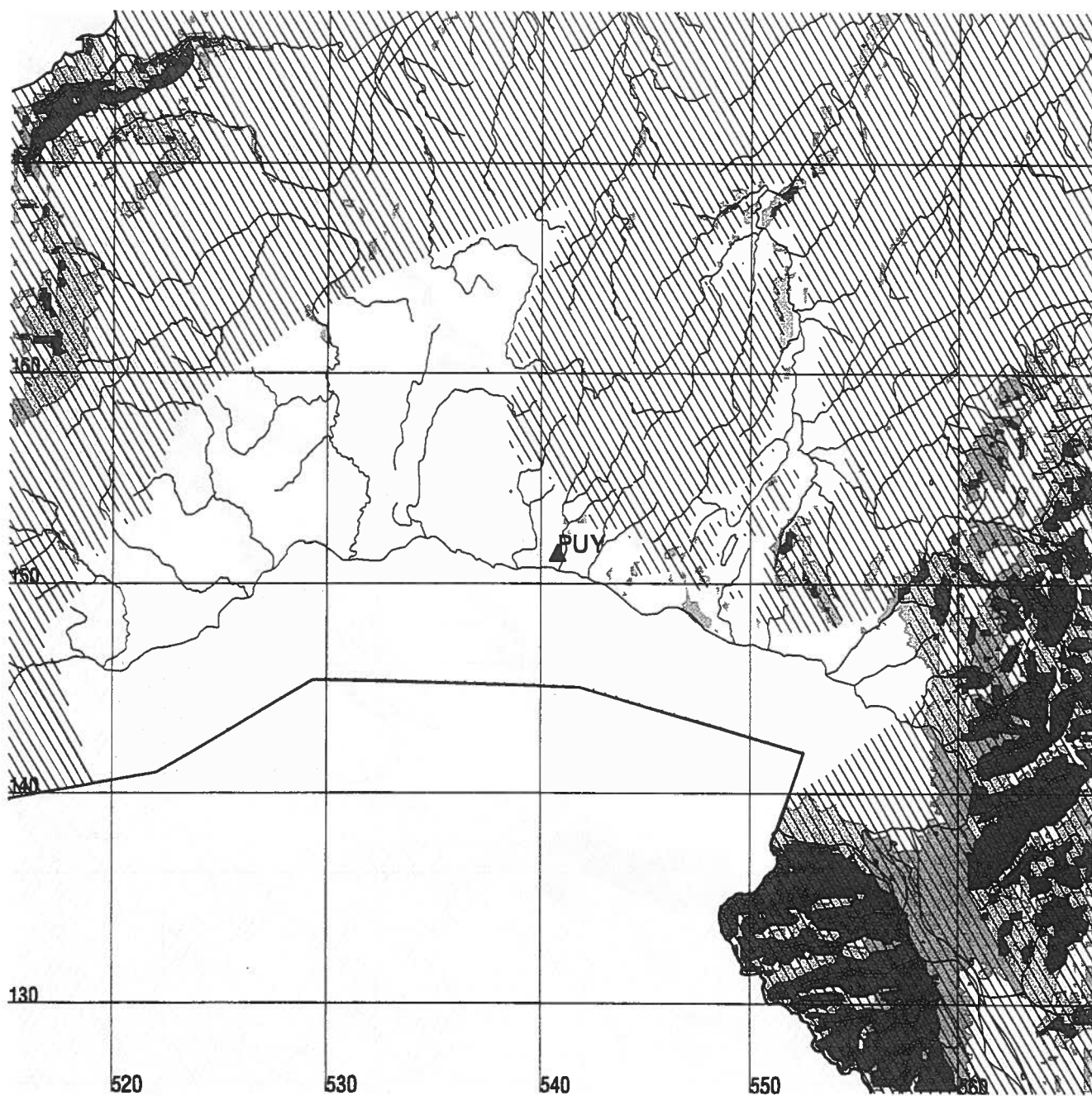
-  Stationsdaten direkt verwendbar
-  Stationsdaten bedingt verwendbar (Horizont leicht abweichend)
-  Stationsdaten nicht verwendbar (Horizont stark abweichend)
-  Stationsdaten nicht verwendbar (zu grosse Distanz, grosser Höhenunterschied)

Abb. 3.4.16: Repräsentativitätsperimeter für Strahlung und Temperatur der Station **Zürich-Kloten**.  
(Quelle Hintergrunddaten: BFS-GEOSTAT)

# Pully (Anetz-Nr. 34)



Masstab 1:300'000





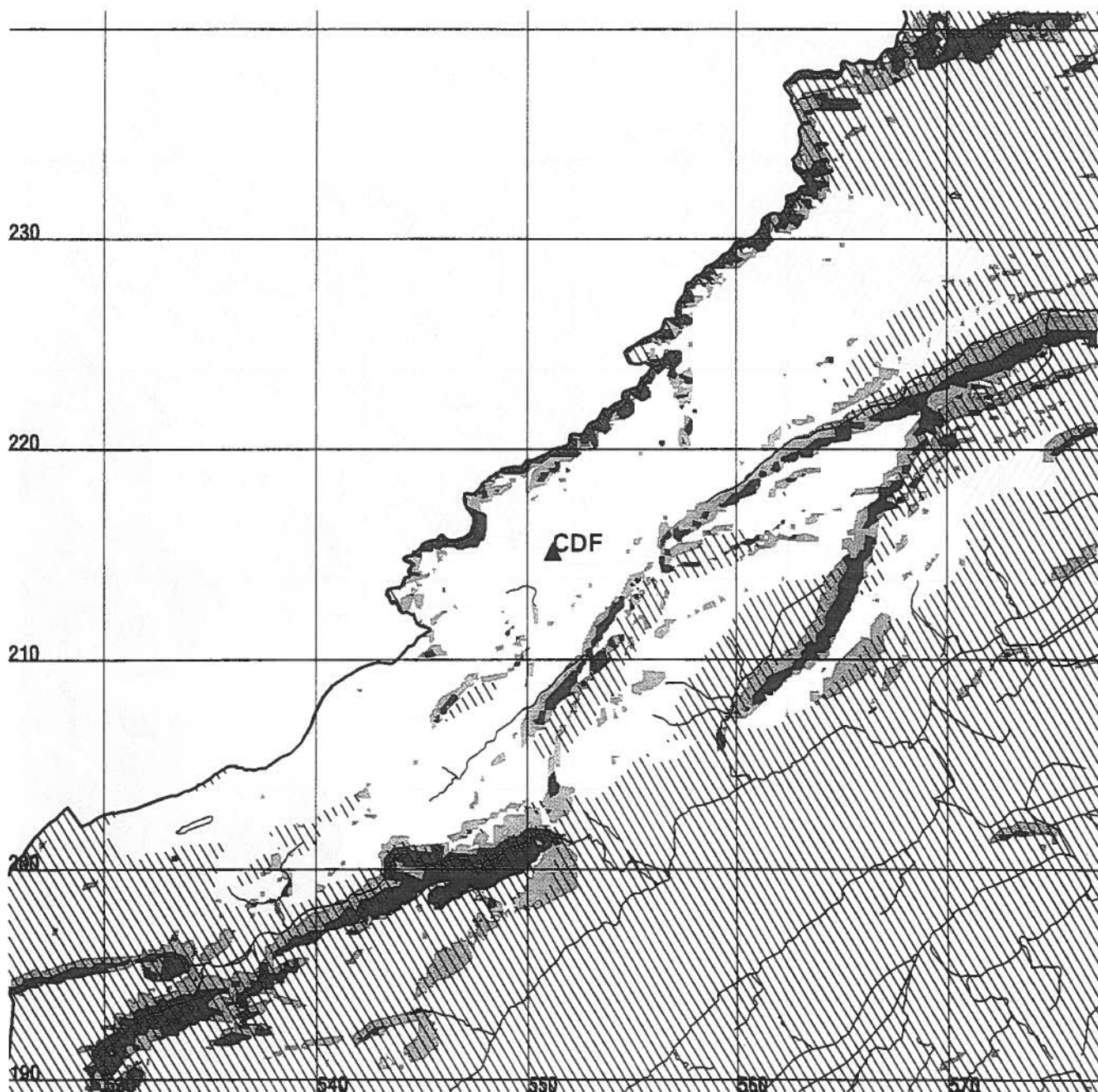
-  Stationsdaten direkt verwendbar
-  Stationsdaten bedingt verwendbar (Horizont leicht abweichend)
-  Stationsdaten nicht verwendbar (Horizont stark abweichend)
-  Stationsdaten nicht verwendbar (zu grosse Distanz, grosser Höhenunterschied)

Abb. 3.4.17: Repräsentativitätsperimeter für Strahlung und Temperatur der Station **Pully**.

(Quelle Hintergrunddaten: BFS-GEOSTAT)

# La Chaux-de-Fonds (Anetz-Nr. 38)

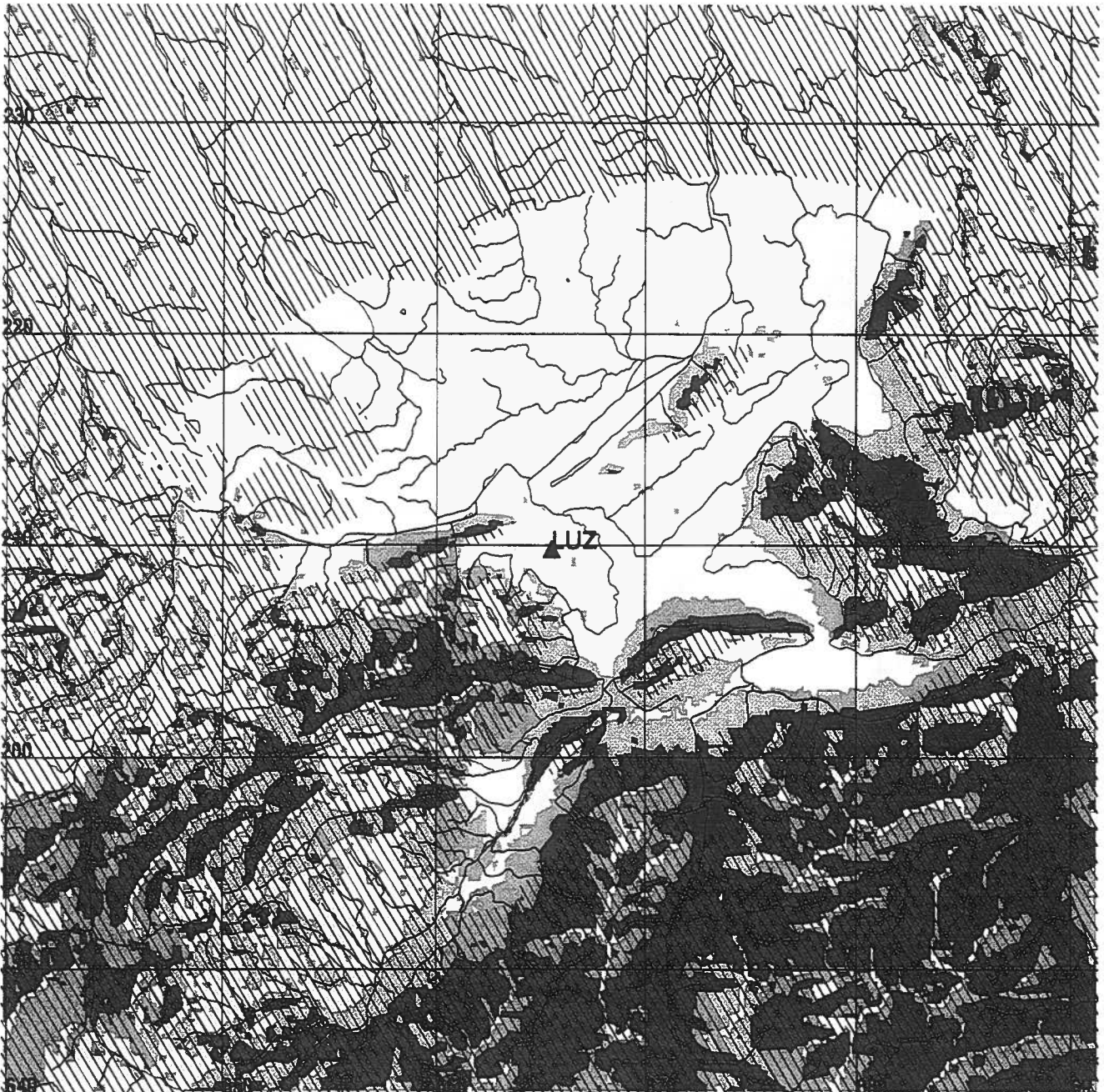


Masstab 1:300'000

- Stationsdaten direkt verwendbar
- Stationsdaten bedingt verwendbar (Horizont leicht abweichend)
- Stationsdaten nicht verwendbar (Horizont stark abweichend)
- Stationsdaten nicht verwendbar (zu grosse Distanz, grosser Höhenunterschied)

Abb. 3.4.18: Repräsentativitätsperimeter für Strahlung und Temperatur von **La Chaux-de-Fonds**.  
 (Quelle Hintergrunddaten: BFS-GEOSTAT)

# Luzern (Anetz-Nr. 41)



Masstab 1:300'000





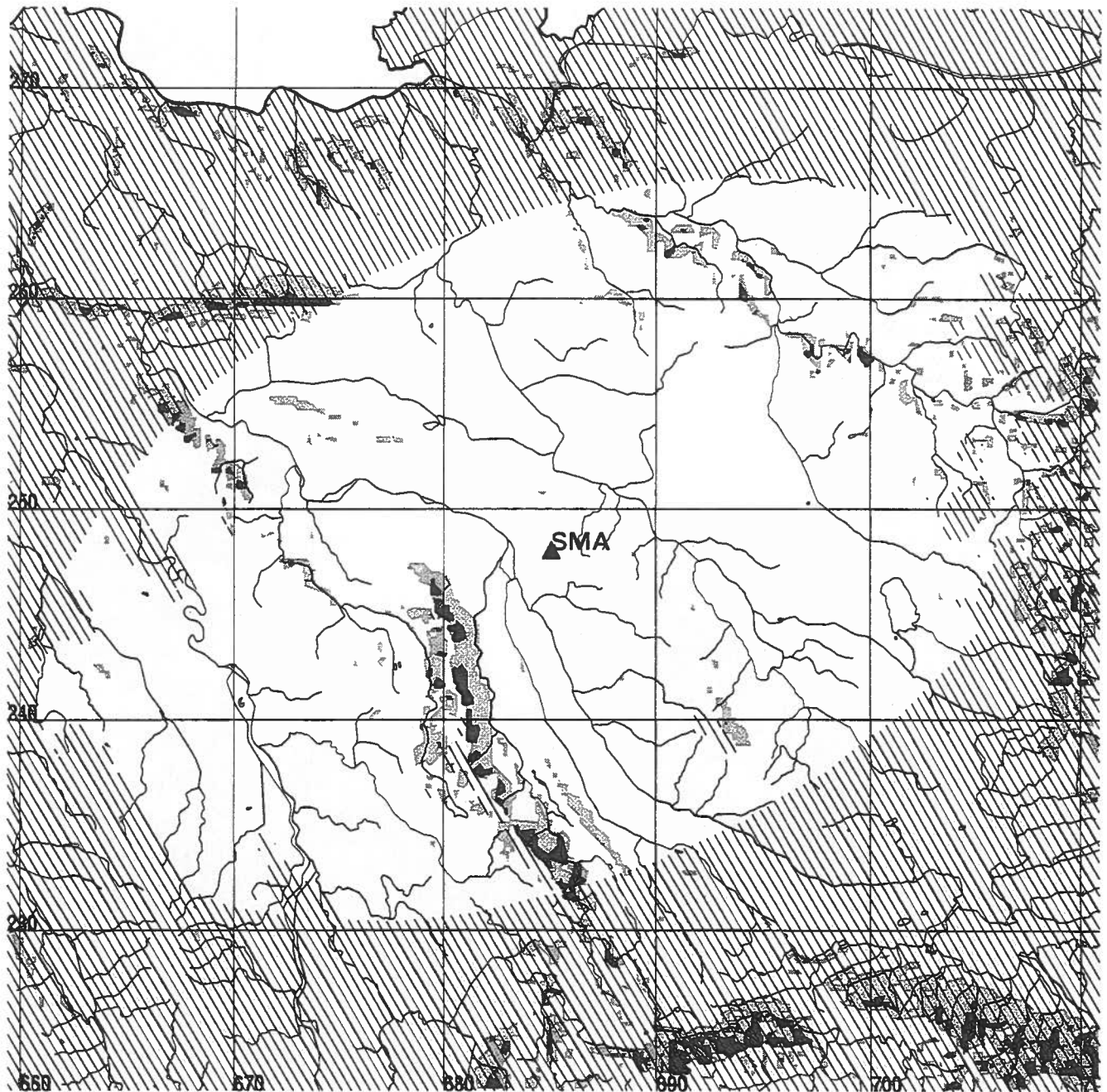
-  Stationsdaten direkt verwendbar
-  Stationsdaten bedingt verwendbar (Horizont leicht abweichend)
-  Stationsdaten nicht verwendbar (Horizont stark abweichend)
-  Stationsdaten nicht verwendbar (zu grosse Distanz, grosser Höhenunterschied)

Abb. 3.4.19: Repräsentativitätsperimeter für Strahlung und Temperatur der Station **Luzern**.

(Quelle Hintergrunddaten: BFS-GEOSTAT)

# Zürich SMA (Anetz-Nr. 44)



Masstab 1:300'000





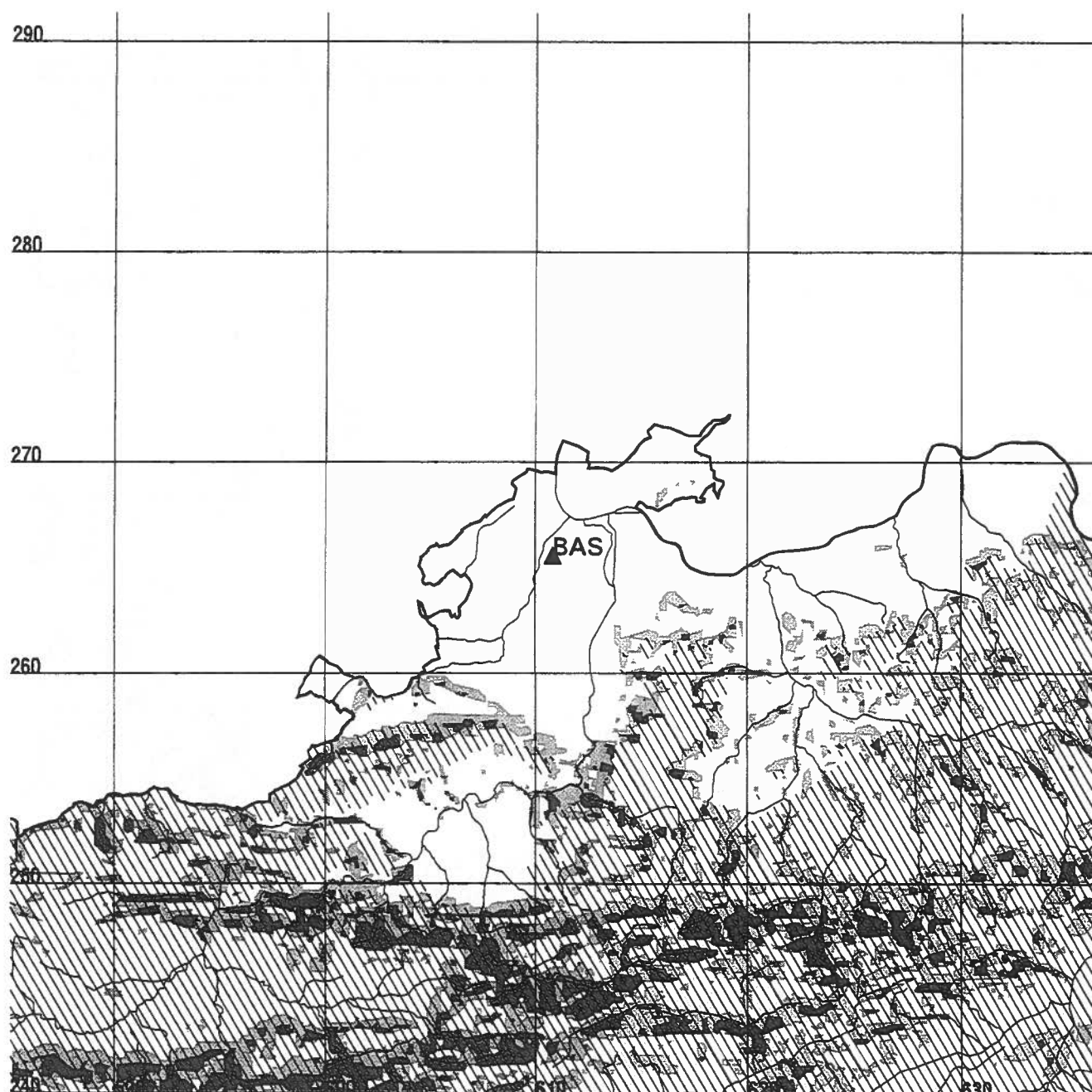
-  Stationsdaten direkt verwendbar
-  Stationsdaten bedingt verwendbar (Horizont leicht abweichend)
-  Stationsdaten nicht verwendbar (Horizont stark abweichend)
-  Stationsdaten nicht verwendbar (zu grosse Distanz, grosser Höhenunterschied)

Abb. 3.4.20: Repräsentativitätsperimeter für Strahlung und Temperatur der Station **Zürich SMA**.  
(Quelle Hintergrunddaten: BFS-GEOSTAT)

## Basel-Binningen (Anetz-Nr. 48)

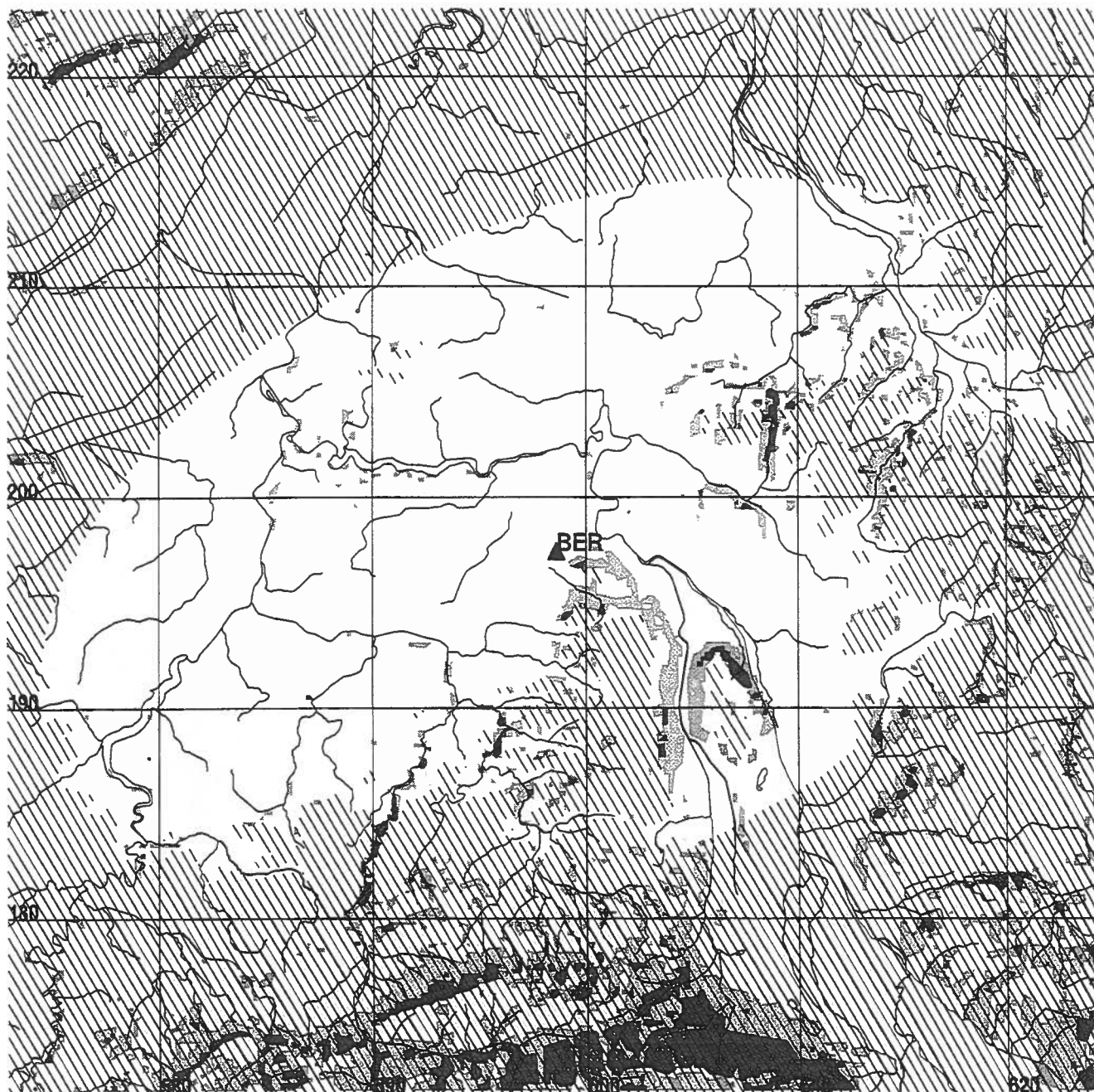


Masstab 1:300'000

- Stationsdaten direkt verwendbar
- Stationsdaten bedingt verwendbar (Horizont leicht abweichend)
- Stationsdaten nicht verwendbar (Horizont stark abweichend)
- Stationsdaten nicht verwendbar (zu grosse Distanz, grosser Höhenunterschied)

Abb. 3.4.21: Repräsentativitätsperimeter für Strahlung und Temperatur der Station **Basel-Binningen**.  
(Quelle Hintergrunddaten: BFS-GEOSTAT)

# Bern-Liebefeld (Anetz-Nr. 53)



Massstab 1:300'000





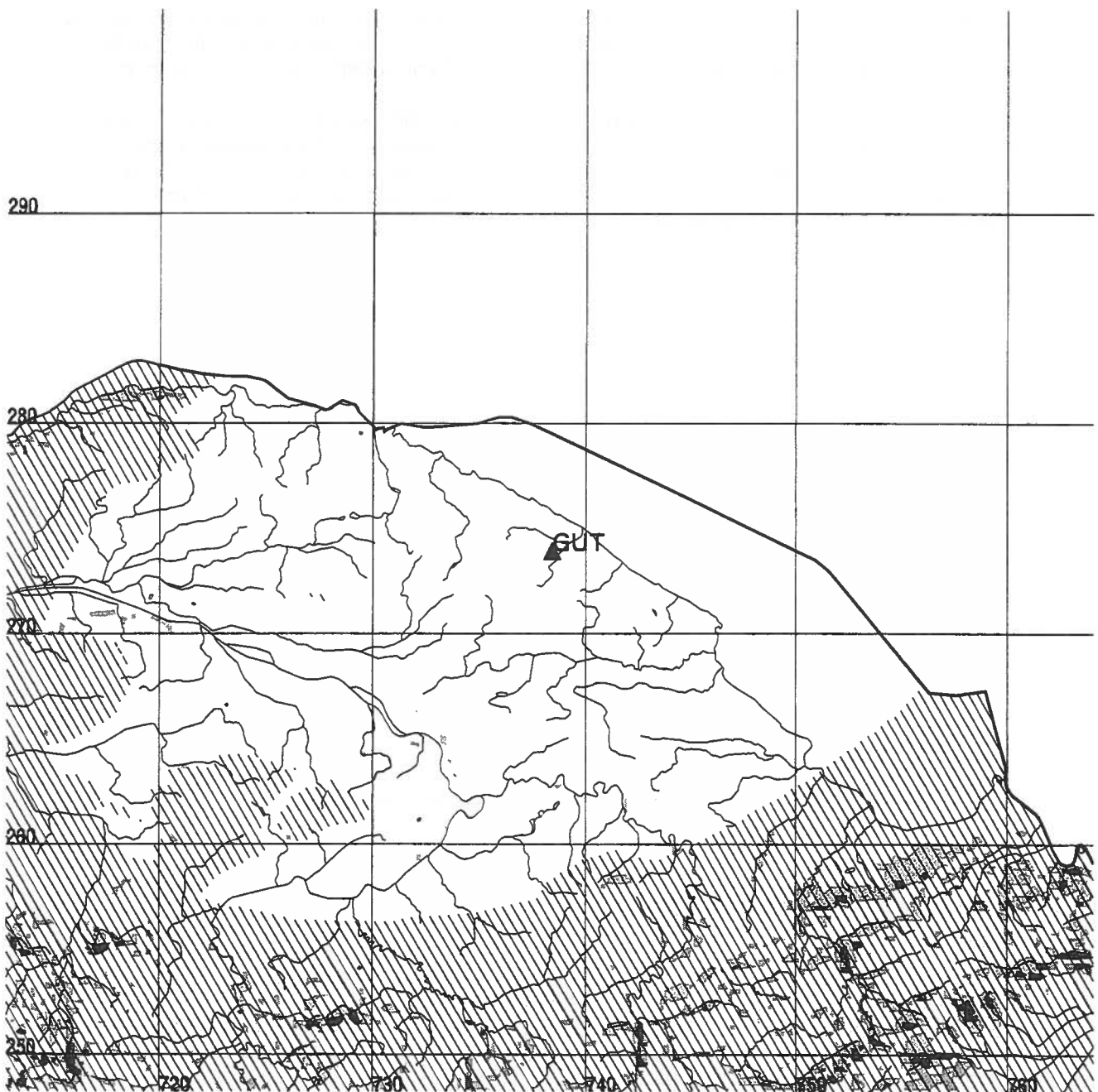
-  Stationsdaten direkt verwendbar
-  Stationsdaten bedingt verwendbar (Horizont leicht abweichend)
-  Stationsdaten nicht verwendbar (Horizont stark abweichend)
-  Stationsdaten nicht verwendbar (zu grosse Distanz, grosser Höhenunterschied)

Abb. 3.4.22: Repräsentativitätsperimeter für Strahlung und Temperatur der Station **Bern-Liebefeld**.  
(Quelle Hintergrunddaten: BFS-GEOSTAT)

# Göttingen (Anetz-Nr. 54)



Masstab 1:300'000





-  Stationsdaten direkt verwendbar
-  Stationsdaten bedingt verwendbar (Horizont leicht abweichend)
-  Stationsdaten nicht verwendbar (Horizont stark abweichend)
-  Stationsdaten nicht verwendbar (zu grosse Distanz, grosser Höhenunterschied)

Abb. 3.4.23: Repräsentativitätsperimeter für Strahlung und Temperatur der Station **Göttingen**.

(Quelle Hintergrunddaten: BFS-GEOSTAT)

## 3.5 Mittelwerte für beliebige Standorte

Die korrigierten Daten der Referenzstationen wurden mit Hilfe der im Kap. 4.6 beschriebenen Raummodelle innerhalb der ganzen Schweiz interpoliert. Die regionalen Höhenvariationen der Globalstrahlung und der Temperatur sind in den Tabellen 3.5.1 und 3.5.2 aufgelistet. Die Abbildungen 3.5.2 bis 3.5.25 zeigen die interpolierte Globalstrahlung und die interpolierte Temperatur jedes Monats.

Die Globalstrahlungswerte, die vom Computerprogramm der **METEONORM** ausgegeben werden, werden allerdings nicht mit Hilfe der Tabelle 3.5.1 berechnet, sondern mit Tabellenwerten, die mit der im Kap. 4.6.1.3 beschriebenen Interpolationsmethode erhalten wurden (Kap. 4.6.1.3). Die Strahlungskarten (Abb. 3.5.2 bis Abb. 3.5.13) wurden ebenfalls mit der im Kapitel 4.6.1.3 beschriebenen Interpolationsmethode berechnet.

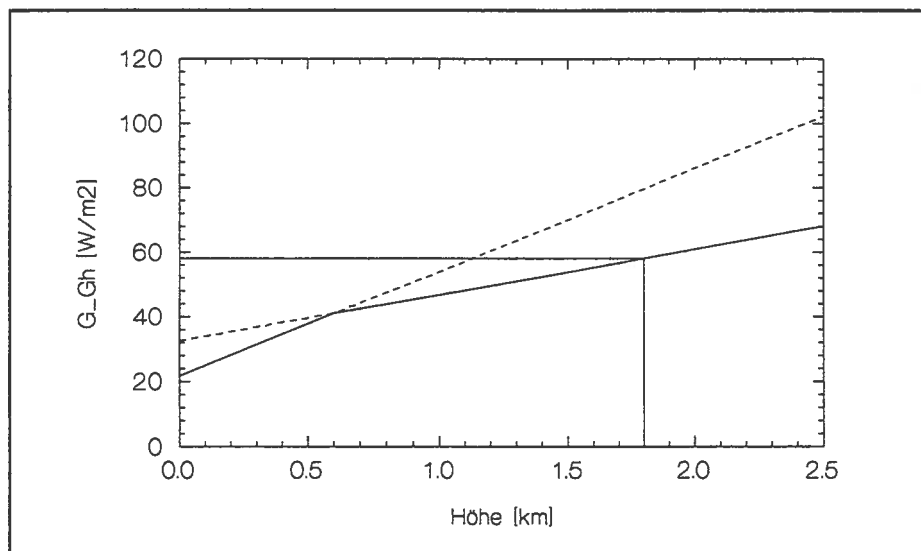


Abb. 3.5.1: Skizze zur Erklärung der Tab. 3.5.1 (siehe untenstehendes Beispiel)

### Erklärung zu Tab. 3.5.1 (folgende Seite):

#### Regionen:

- |  |  |
|--|--|
| 1: Nordwestlicher Jura                           | 2: Westjura und Genferseebecken                      |
| 3: Westalpen und Unterwallis                     | 4: Wallis Nordseite                                  |
| 5: Wallis Südseite                               | 6: (Nord- und Süd-) Tessin und Bündner Südtäler      |
| 7: Graubünden                                    | 8: Ostschweizer-, Zentralschweizer- und Berner Alpen |
| 9: Westliches und Berner Mittelland und Voralpen |  |
| 10: Zentrales Mittelland und Voralpen            | 11: Nordöstliches Mittelland                         |

Beispiel: Region 10, Höhe: 1800 m, Januar:

- Oberhalb Knickpunkt: 0.6 km →
- Basis auf 0 m.ü.M.: 32.5 W/m<sup>2</sup>; Höhengradient: 14.2 W/m<sup>2</sup>km
- $\langle G_{Gh} \rangle = 32.5 + 14.2 \cdot 1.8 = \underline{58.1 \text{ W/m}^2}$

Tab. 3.5.1: Regionale, monatliche Höhenvariationen der Globalstrahlung (Bestrahlungsstärke). Angegeben sind die Stützwerte auf Meereshöhe (Basis) [ $\text{W/m}^2$ ], die Gradienten [ $\text{W/m}^2\text{km}$ ] und die Knickpunkte [km].

Re- gion	Höhen- Bereich		Jan	Feb	März	April	Mai	Juni	Juli	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
1	0.0 - 2.5 km	Basis	33.1	61.7	98.6	141.4	190.7	219.8	234.8	197.1	136.8	76.1	39.0	26.0
		Gradient	18.2	19.2	22.3	16.3	-4.1	-11.6	-3.7	0.0	9.7	17.4	17.0	17.6
2	0.0 - 2.5 km	Basis	34.7	73.3	117.5	170.9	220.5	245.9	261.3	218.8	166.3	94.0	38.5	28.5
		Gradient	14.9	16.5	9.3	-7.9	-26.2	-27.0	-21.1	-13.2	-16.0	-2.0	15.7	14.3
		Knick				>1.4	>1.4				>1.2	>1.2		
		Basis				114.9	164.2				133.3	61.6		
		Gradient				32.1	14.0			11.5	25.0			
3	0.0 - 3.0 km	Basis	49.4	77.2	125.1	166.7	210.6	232.4	258.1	216.1	160.1	98.5	54.5	43.2
		Gradient	7.0	11.4	9.3	8.3	-5.0	-17.4	-17.0	-8.9	-2.1	6.3	7.9	6.5
4	0.0 - 4.5 km	Basis	52.9	85.8	136.4	193.2	234.5	266.6	280.6	235.9	166.9	105.5	61.0	46.1
		Gradient	9.6	14.2	18.1	7.2	5.0	-11.6	-13.3	-9.3	6.2	7.1	6.4	5.7
		Knick	>2.0	>2.0	>2.2			>2.0	>2.3	>2.3				
		Basis	74.9	120.0	196.0			203.8	213.2	180.5				
		Gradient	-1.4	-2.9	-9.0			19.8	16.0	14.8				
5	0.0 - 4.5 km	Basis	55.5	82.5	130.8	191.3	234.9	257.9	274.6	233.2	171.3	106.3	59.5	44.8
		Gradient	8.2	19.6	28.2	15.5	9.0	0.0	-6.0	-3.5	3.8	7.9	8.5	7.9
		Knick		>1.8	>1.7									
		Basis		107.3	170.1									
		Gradient		5.8	5.1									
6	0.0 - 3.5 km	Basis	55.1	78.9	119.5	138.8	175.9	221.3	238.9	208.7	149.5	84.8	57.0	45.1
		Gradient	8.9	19.0	28.0	38.6	28.9	12.5	6.9	3.9	10.3	14.7	10.3	8.4
		Knick		>1.95	>1.85	>1.65								
		Basis		100.2	144.7	157.6								
		Gradient		8.1	14.4	27.2								
7	0.0 - 4.0 km	Basis	56.9	78.5	121.1	173.5	201.1	224.2	244.4	207.6	154.5	97.3	55.4	41.2
		Gradient	8.4	22.9	32.2	23.4	20.3	10.1	2.3	2.7	8.3	10.7	10.8	9.7
		Knick		>1.7	>1.7									
		Basis		107.6	161.4									
		Gradient		5.8	8.5									
8	0.0 - 4.5 km	Basis	40.4	72.3	116.1	157.7	197.9	205.9	220.1	180.7	136.2	88.2	47.6	30.7
		Gradient	13.6	17.5	22.9	20.8	16.2	10.6	8.7	13.2	13.3	11.9	11.7	13.2
		Knick	>2.3	>2.3	>2.3			>2.0	>2.0					>2.2
		Basis	76.1	126.4	189.0			179.9	205.5					51.2
		Gradient	-1.9	-6.0	-8.8			23.6	16.0				3.9	
9	0.0 - 3.0 km	Basis	2.7	58.5	105.9	147.8	199.3	228.5	246.2	204.8	143.9	72.0	31.4	0.0
		Gradient	72.9	22.1	18.4	16.3	-4.1	-14.9	-9.6	-1.9	6.2	20.4	21.8	61.8
		Knick	>0.57											>0.55
		Basis	34.6											24.5
		Gradient	17.0										17.3	
10	0.0 - 2.5 km	Basis	21.7	57.7	106.2	155.4	202.5	218.4	235.7	195.1	136.5	68.8	30.6	15.1
		Gradient	32.2	18.7	9.3	-5.7	-20.7	-21.2	-18.3	-6.6	0.9	21.0	18.4	29.0
		Knick	>0.60		>1.6	>1.5	>1.5	>2.1	>2.1	>2.1	>1.5			>0.60
		Basis	32.5		71.3	65.7	98.4	-49.8	19.2	81.7	105.9			23.9
		Gradient	14.2		31.1	54.1	48.7	106.5	84.8	47.4	21.3		14.3	
11	0.0 - 1.5 km	Basis	25.4	56.4	101.7	168.6	221.4	223.2	228.8	191.6	134.1	71.6	27.2	16.3
		Gradient	25.9	25.0	19.8	-25.0	-48.7	-11.6	9.6	8.9	12.1	17.6	26.5	26.2
		Knick				>0.60	>0.60							
		Basis				130.4	159.4							
		Gradient				38.6	54.6							

Tab. 3.5.2: Regionale, monatliche Höhenvariationen der Temperatur. Angegeben sind die Stützwerte auf Meereshöhe (Basis) [°C], die Gradienten [°C/km] und Knickpunkte [km].

Re- gion	Höhen- Bereich		Jan	Feb	März	April	Mai	Juni	Juli	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
1	0.0 - 2.5 km	Basis	1.9	2.9	7.8	11.2	15.4	18.3	21.4	20.9	16.9	12.0	6.1	1.1
		Gradient	-2.7	-3.8	-5.7	-6.4	-6.2	-6.3	-5.7	-5.7	-4.9	-3.9	-3.2	-2.5
2	0.0 - 2.5 km	Basis	2.1	1.1	8.1	11.4	16.4	19.65	23.1	22.3	18.1	12.7	6.8	3.6
		Gradient	-2.8	-3.9	-5.7	-6.4	-6.7	-7.0	-6.6	-6.3	-5.4	-4.2	-3.5	-2.6
3 8	0.0 - 4.5 km	Basis	0.8	2.1	7.7	11.3	15.7	18.3	21.6	20.7	17.1	11.7	5.5	2.1
		Gradient	-2.3	-3.5	-5.6	-6.2	-6.2	-6.1	-5.8	-5.6	-5.1	-3.6	-2.8	-2.0
		Knick	>1.94	>1.94								>1.96	>1.95	>1.94
		Basis	7.6	6.8								16.4	11.5	9.3
		Gradient	-5.8	-5.9							-6.0	-5.9	-5.7	
4 5	0.0 - 4.5 km	Basis	1.3	3.7	9.0	12.6	17.3	20.0	23.6	22.4	18.3	12.5	6.0	1.9
		Gradient	-3.5	-4.9	-6.1	-6.5	-6.6	-6.6	-6.3	-6.0	-5.5	-4.3	-3.8	-2.9
		Knick	>2.7									>2.29	>2.68	>2.61
		Basis	6.7									15.7	11.1	8.4
		Gradient	-5.5								-5.7	-5.7	-5.4	
6	0.0 - 3.5 km	Basis	1.6	3.3	8.9	12.1	16.3	19.7	23.2	22.0	18.1	12.6	6.5	2.6
		Gradient	-2.9	-3.8	-5.9	-6.3	-6.3	-6.4	-6.1	-5.8	-5.3	-4.5	-4.2	-2.7
		Knick	>1.06	>1.71									>0.74	>1.00
		Basis	-1.2	6.5									4.9	0.3
		Gradient	-0.30	-5.7									-2.0	-0.4
		Knick	>1.6										>1.65	>1.65
		Basis	7.4									10.3	8.7	
		Gradient	-5.7									-5.3	-5.5	
7	0.0 - 4.0 km	Basis	2.5	3.8	8.0	11.7	16.4	19.1	22.4	21.2	17.5	12.9	6.8	3.7
		Gradient	-4.7	-5.5	-5.8	-6.3	-6.3	-6.3	-5.9	-5.6	-5.2	-4.7	-4.7	-4.6
		Knick	>1.65	>1.65									>1.62	>1.63
		Basis	-3.4	-1.5									2.8	-3.1
		Gradient	-1.1	-2.3									-2.2	-0.4
		Knick	>2.30	>2.27									>2.29	>2.30
		Basis	6.0	5.3								9.9	8.4	
		Gradient	-5.2	-5.3								-5.3	-5.4	
9	0.0 - 3.0 km	Basis	0.8	2.0	7.3	11.2	15.9	18.9	22.1	21.3	17.0	11.4	5.4	2.0
		Gradient	-2.0	-3.1	-5.2	-6.3	-6.5	-6.6	-6.1	-5.8	-4.9	3.5	-2.7	-1.6
10	0.0 - 3.0 km	Basis	1.0	1.9	7.2	10.9	15.5	18.5	21.7	20.8	16.9	11.8	5.5	2.5
		Gradient	-2.2	-3.1	-5.2	-6.0	-6.2	-6.3	-5.9	-5.6	-5.0	-3.8	-2.8	-2.1
		Knick	>2.11	>2.11									>2.11	>2.11
		Basis	12.4	12.5									14.6	13.9
		Gradient	-7.6	-8.1								-7.1	-7.5	
11	0.0 - 1.5 km	Basis	0.9	1.4	6.7	10.3	15.0	18.4	21.5	20.0	16.1	11.0	5.6	2.1
		Gradient	-2.2	-2.6	-4.4	-4.9	-5.2	-6.4	-5.8	-5.8	-3.7	-2.9	-3.4	-2.0

**Erklärung:**

**Regionen:** 1: Nordwestlicher Jura; 2: Westjura und Genferseebecken; 3: Westalpen und Unterwallis  
4: Wallis Nordseite; 5: Wallis Südseite; 6: (Nord- und Süd-) Tessin und Bündner Südtäler  
7: Graubünden; 8: Ostschweizer-, Zentralschweizer- und Berner Alpen; 9: Westliches und Berner  
Mittelland und Voralpen; 10: Zentrales Mittelland und Voralpen; 11: Nordöstliches Mittelland

**Beispiel:** Region 10, Höhe: 1800m, Januar:

- Unterhalb Knickpunkt: 2.11 km →
- Basis auf 0 m.ü.M.: 1.0 °C; Höhengradient: -2.2 °C/km
- $T_a = 1.0 + (-2.2) * 1.8 = -3.0$  °C

**Abbildungen 3.5.2 - 3.5.25**

Die Abbildungen 3.5.2 bis 3.5.13 zeigen die monatlichen Verteilungen der horizontalkorrigierten Globalstrahlung horizontal in der Schweiz. Die Abbildungen 3.5.14 - 3.5.25 zeigen die monatlichen Verteilungen der Temperatur. Den Abbildungen 3.5.2 bis 3.5.25 liegen Hintergrunddaten (Gewässer, Landesgrenzen) und das digitale Geländemodell (DGM) der Servicestelle GEOSTAT des Bundesamtes für Statistik (BFS, 1992) zugrunde.

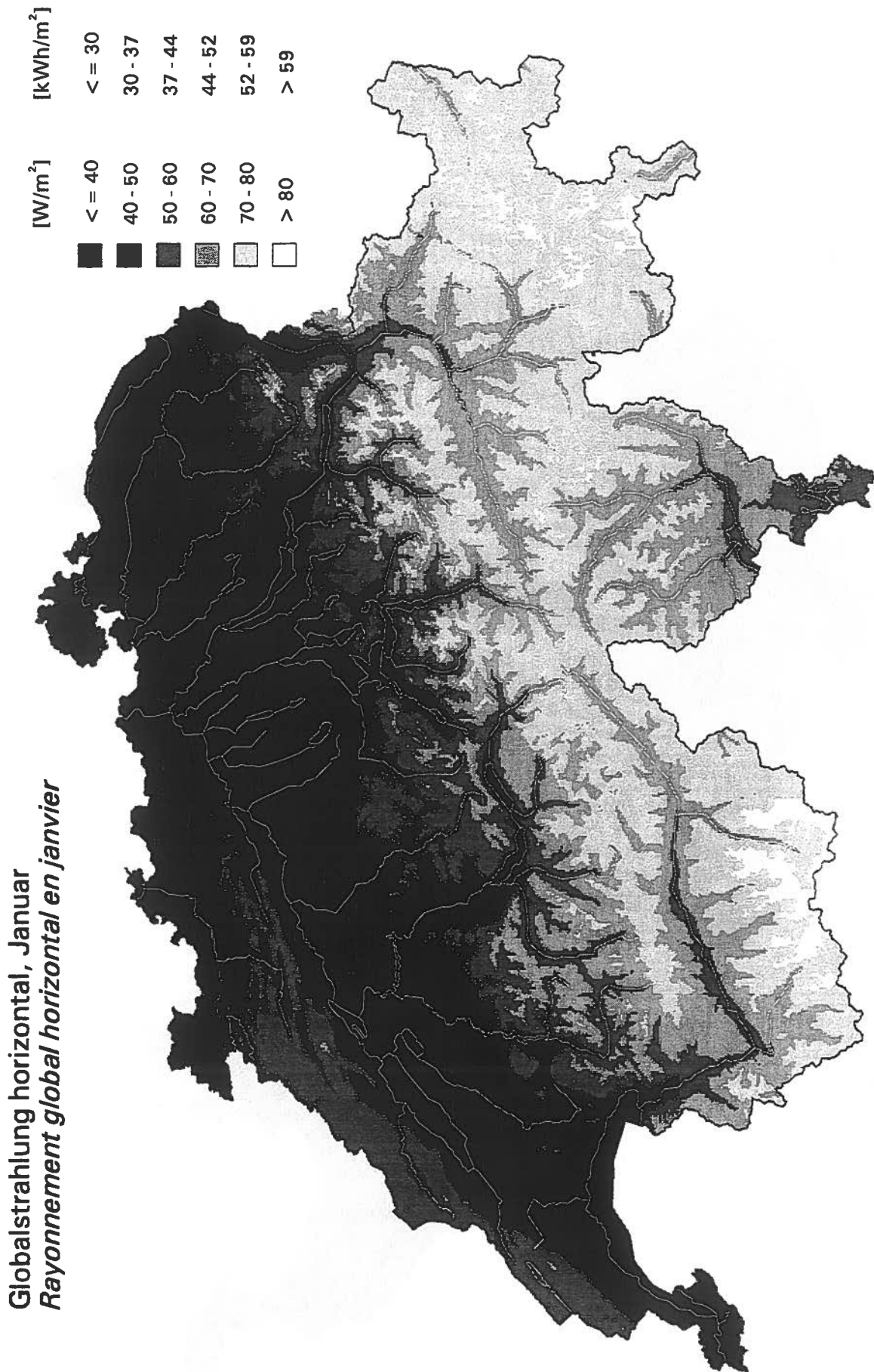


Abb. 3.5.2: Verteilung der horizontkorrigenen Globalstrahlung horizontal (Mittelwerte 1983-1992) in der Schweiz im Januar.

(Quelle Hintergrunddaten: BFS-GEOSTAT)

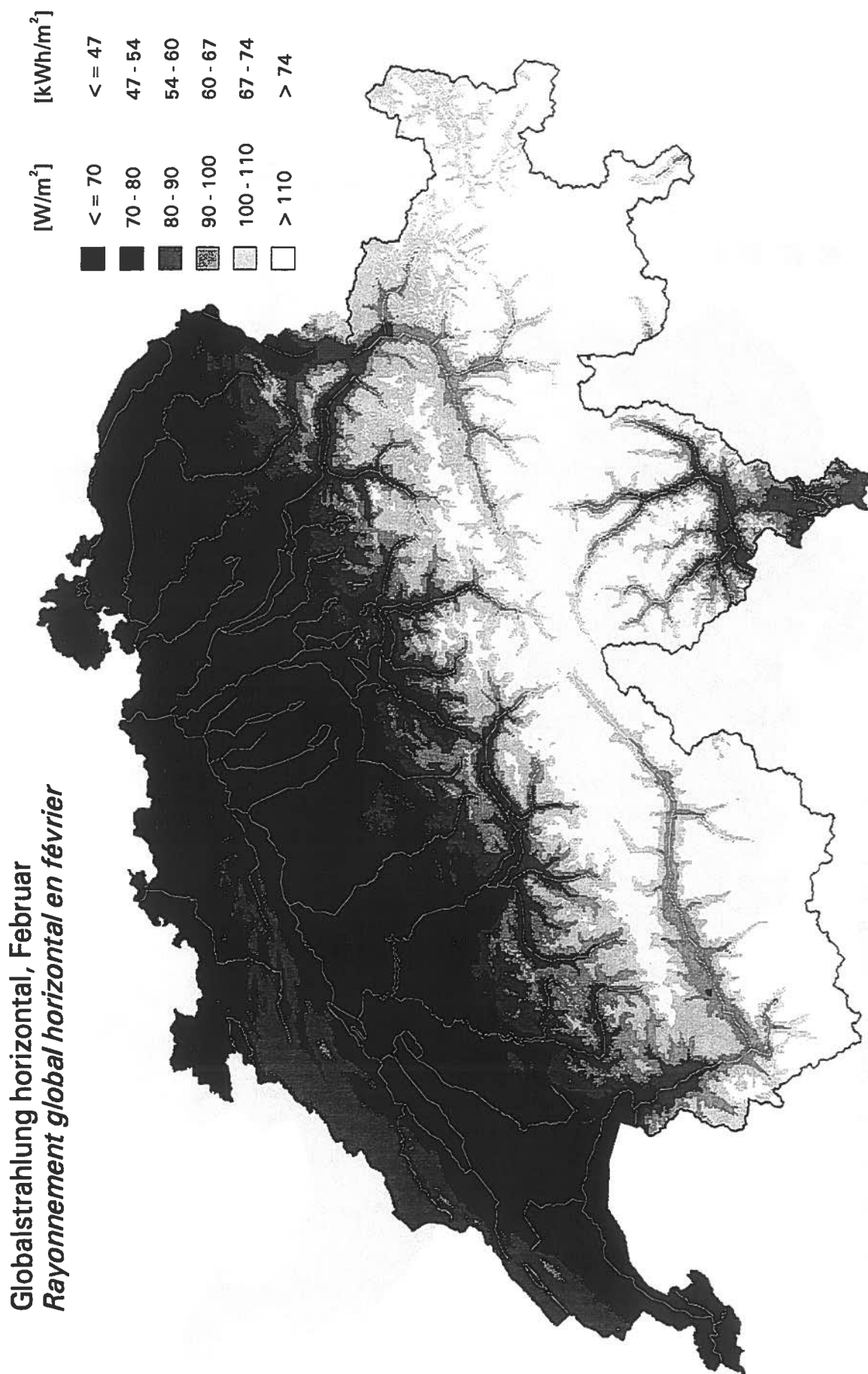


Abb. 3.5.3: Verteilung der horizontkorrigierten Globalstrahlung horizontal (Mittelwerte 1983-1992) in der Schweiz im Februar.

(Quelle Hintergrunddaten: BFS-GEOSTAT)

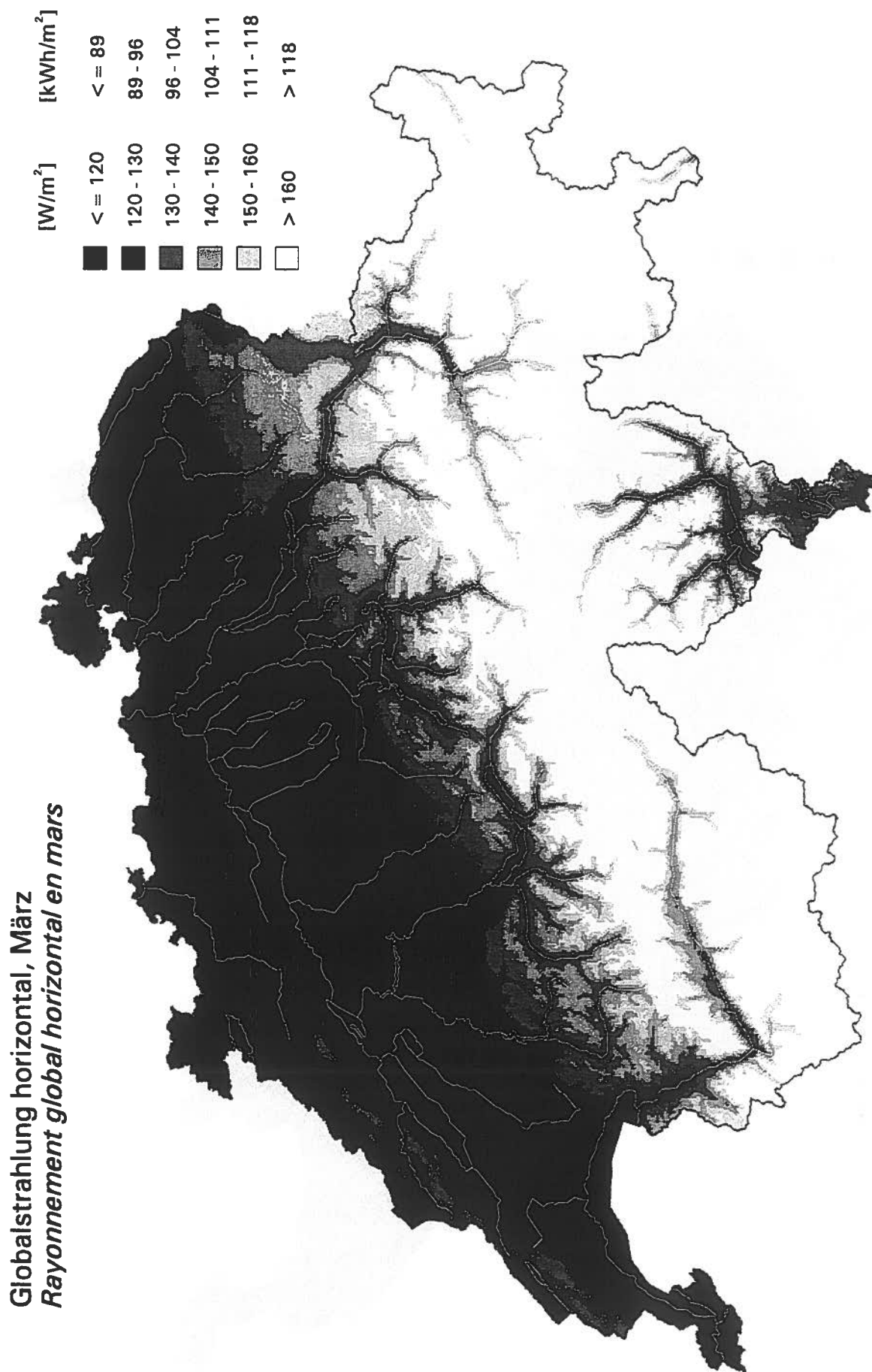


Abb. 3.5.4: Verteilung der horizontkorrigierten Globalstrahlung horizontal (Mittelwerte 1983-1992) in der Schweiz im März.

(Quelle Hintergrunddaten: BFS-GEOSTAT)

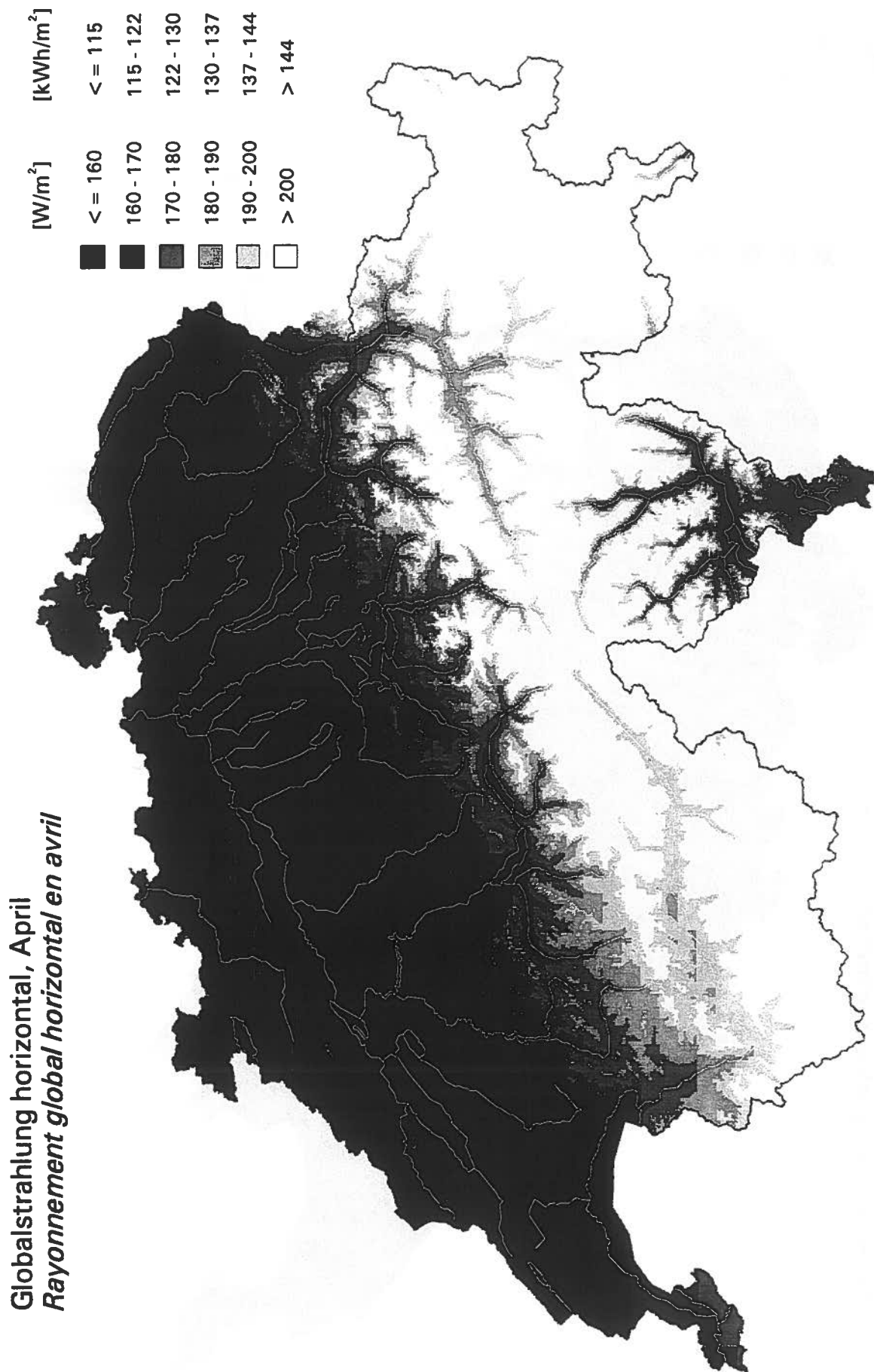


Abb. 3.5.5: Verteilung der horizontkorrigierten Globalstrahlung horizontal (Mittelwerte 1983-1992) in der Schweiz im April.

(Quelle Hintergrunddaten: BFS-GEOSTAT)

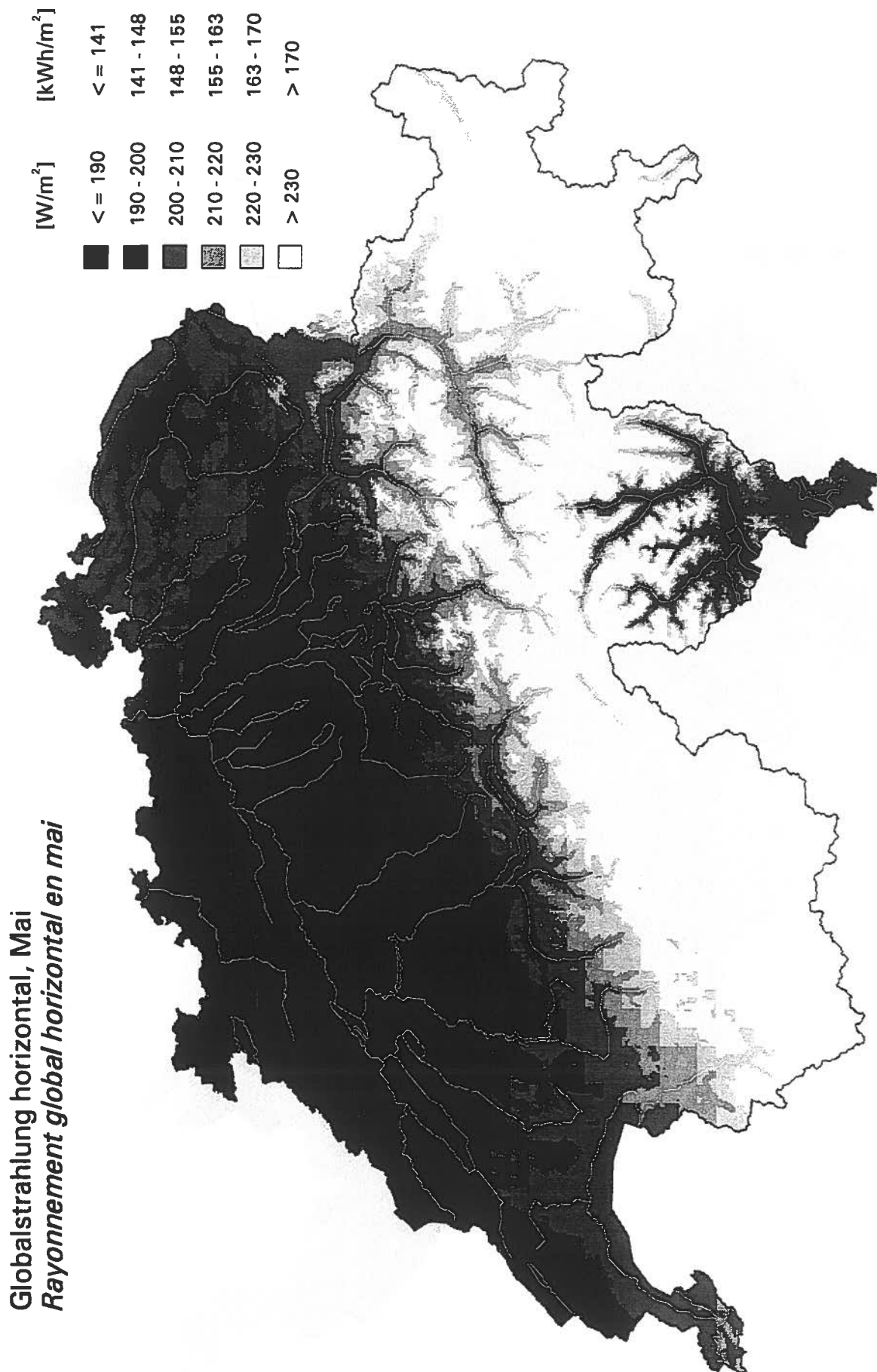


Abb. 3.5.6: Verteilung der horizontkorrigierten Globalstrahlung horizontal (Mittelwerte 1983-1992) in der Schweiz im **Mai**.

(Quelle Hintergrunddaten: BFS-GEOSTAT)

**Globalstrahlung horizontal, Juni**  
*Rayonnement global horizontal en juin*

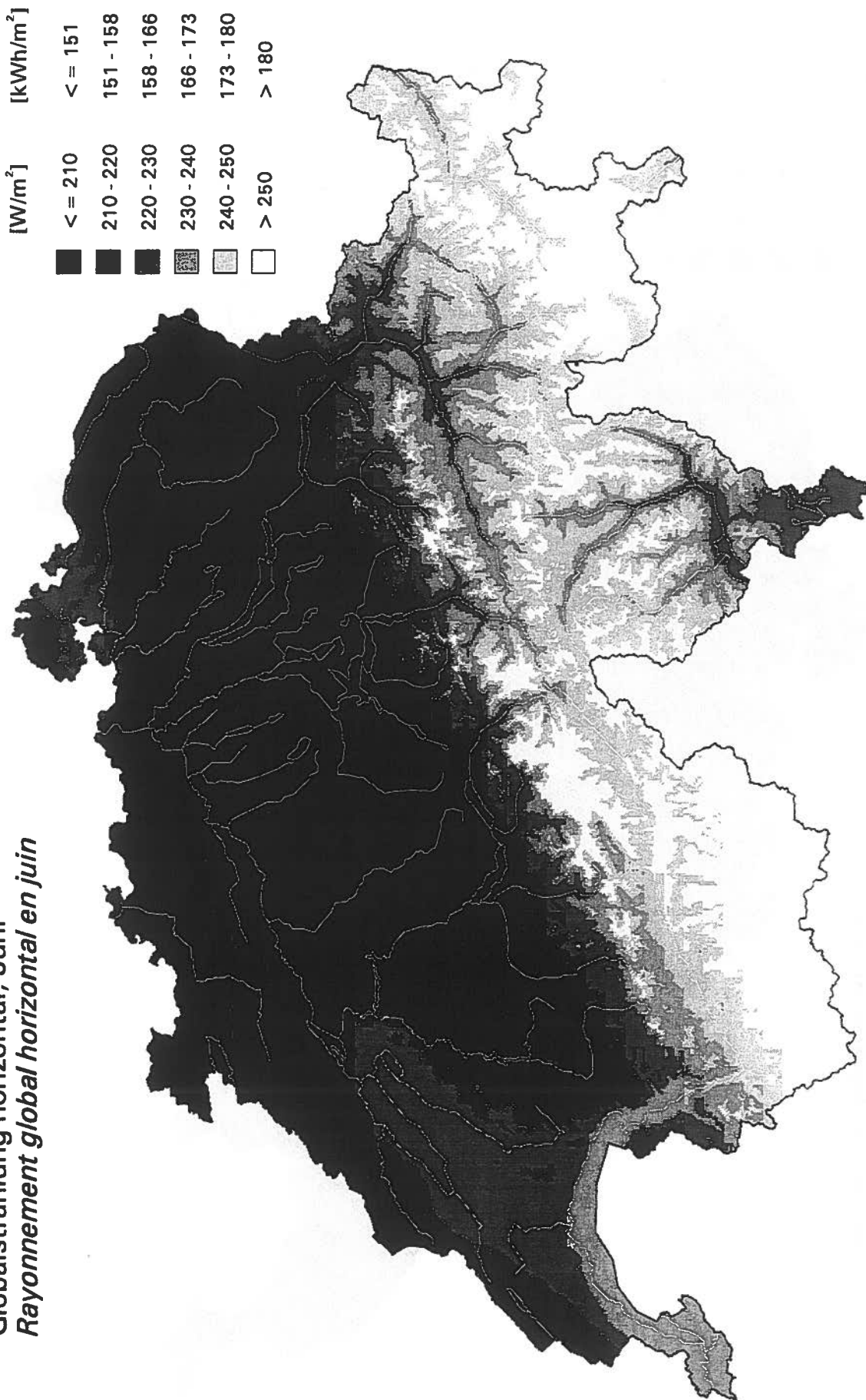


Abb. 3.5.7: Verteilung der horizontkorrigierten Globalstrahlung horizontal (Mittelwerte 1983-1992) in der Schweiz im Juni.

(Quelle Hintergrunddaten: BFS-GEOSTAT)

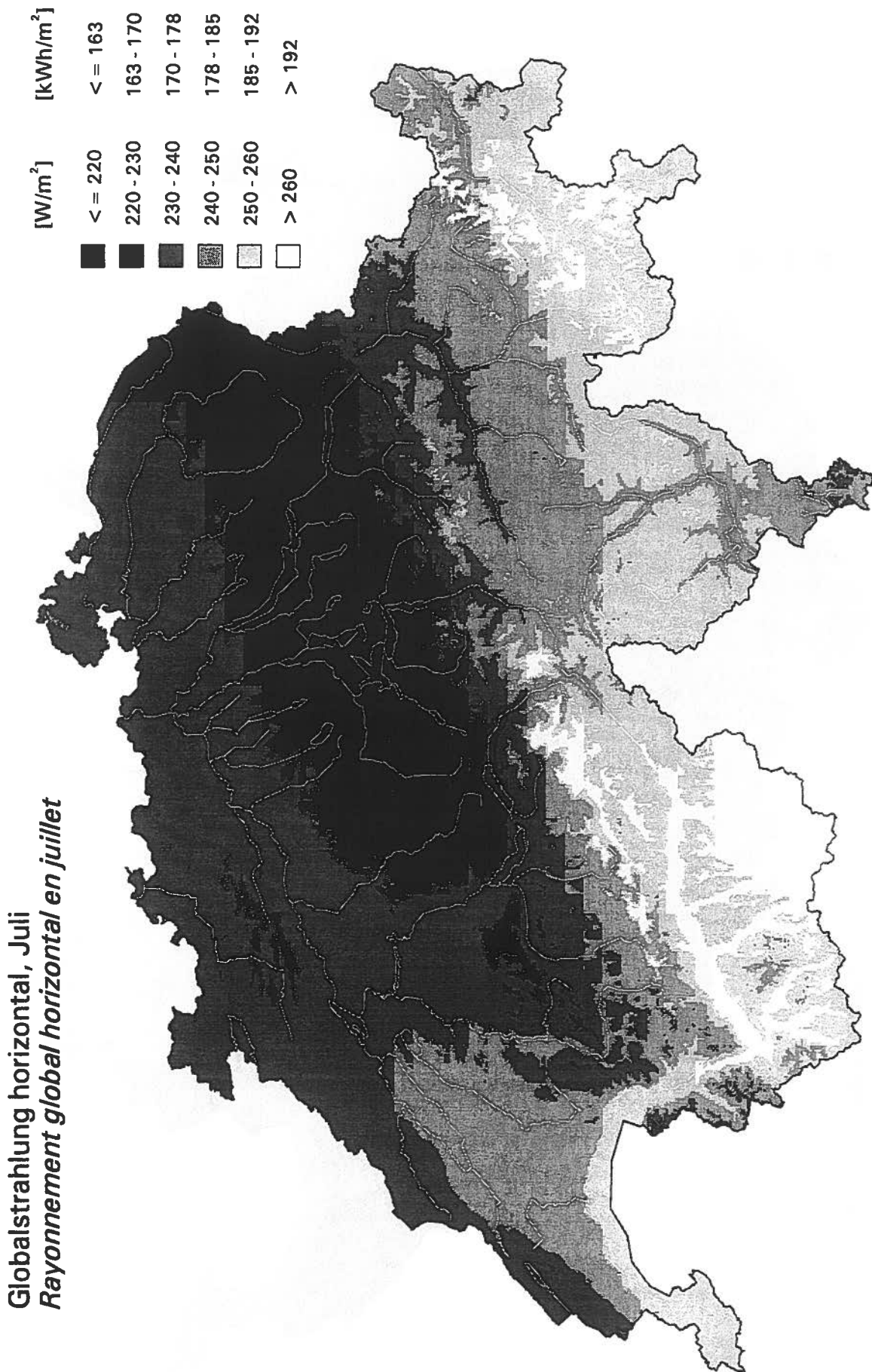


Abb. 3.5.8: Verteilung der horizontkorrigierten Globalstrahlung horizontal (Mittelwerte 1983-1992) in der Schweiz im **Juli**.

(Quelle Hintergrunddaten: BFS-GEOSTAT)

Globalstrahlung horizontal, August  
*Rayonnement global horizontal en août*

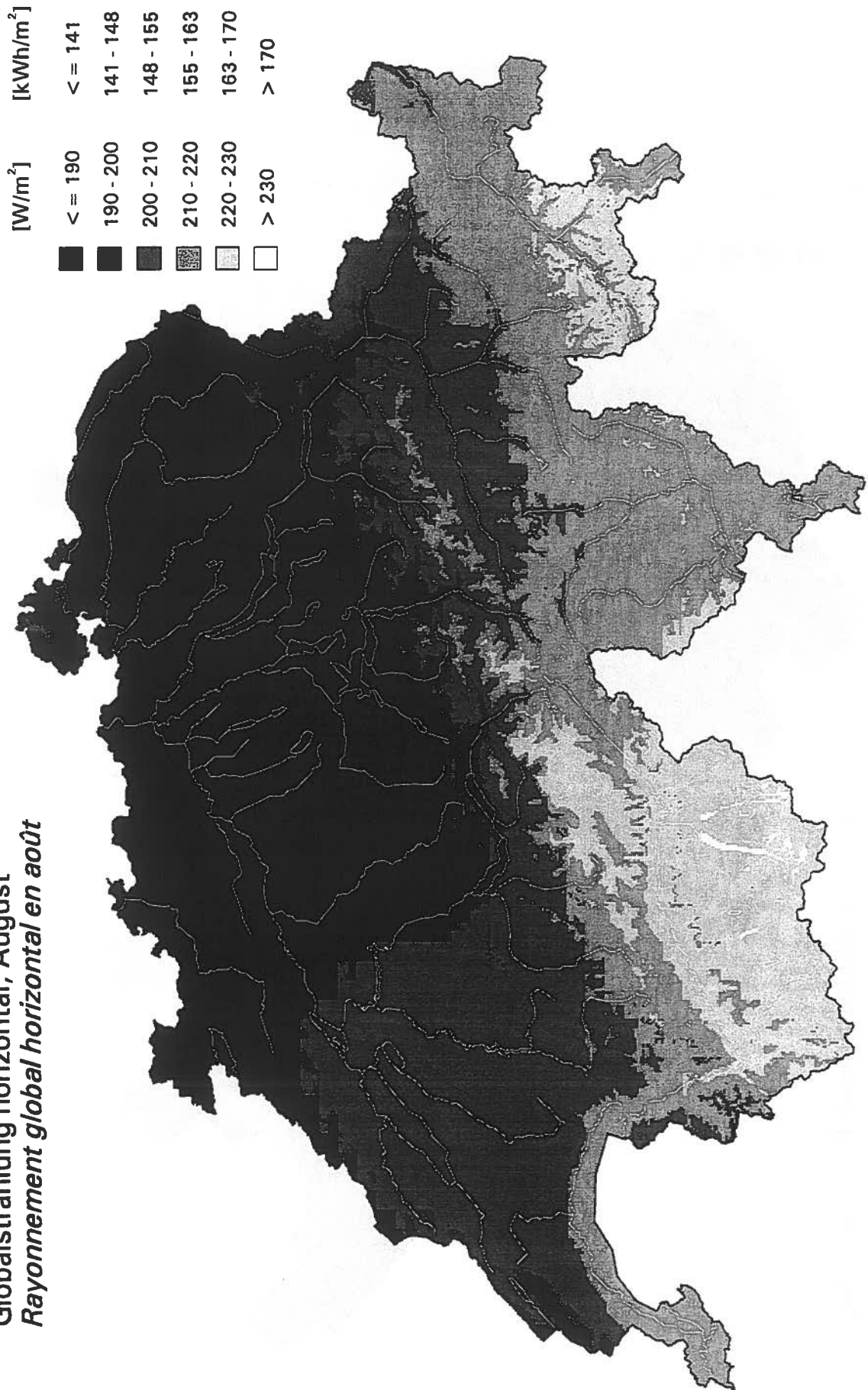


Abb. 3.5.9: Verteilung der horizontkorrigierten Globalstrahlung horizontal (Mittelwerte 1983-1992) in der Schweiz im August.

(Quelle Hintergrunddaten: BFS-GEOSTAT)

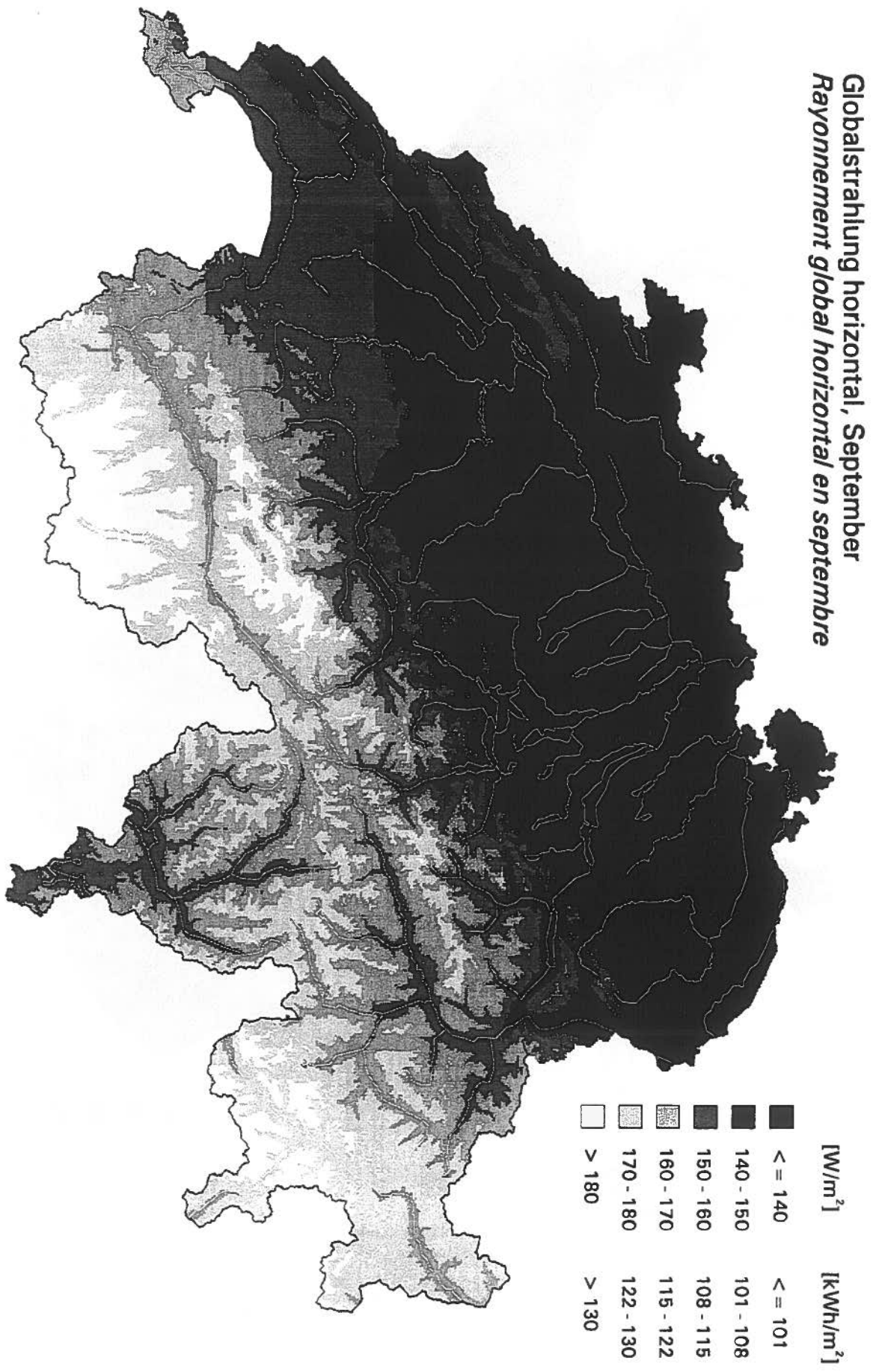


Abb. 3.5.10: Verteilung der horizontalkorrigierten Globalstrahlung horizontal (Mittelwerte 1983-1992) in der Schweiz im September. (Quelle Hintergrunddaten: BFS-GEOSTAT)

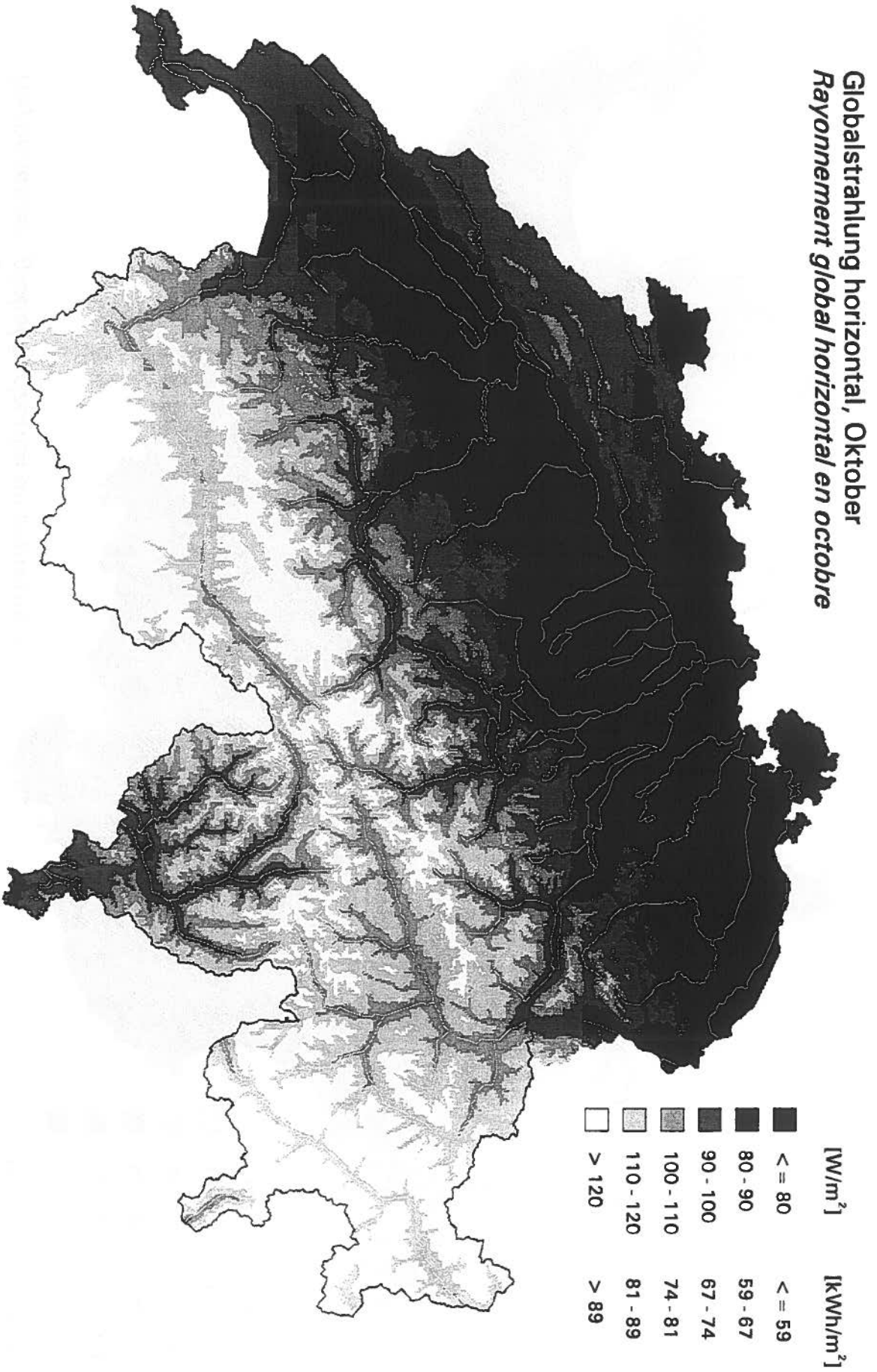


Abb. 3.5.11: Verteilung der horizontalkorrigierten Globalstrahlung horizontal (Mittelwerte 1983-1992) in der Schweiz im Oktober. (Quelle Hintergrunddaten: BFS-GEOSTAT)

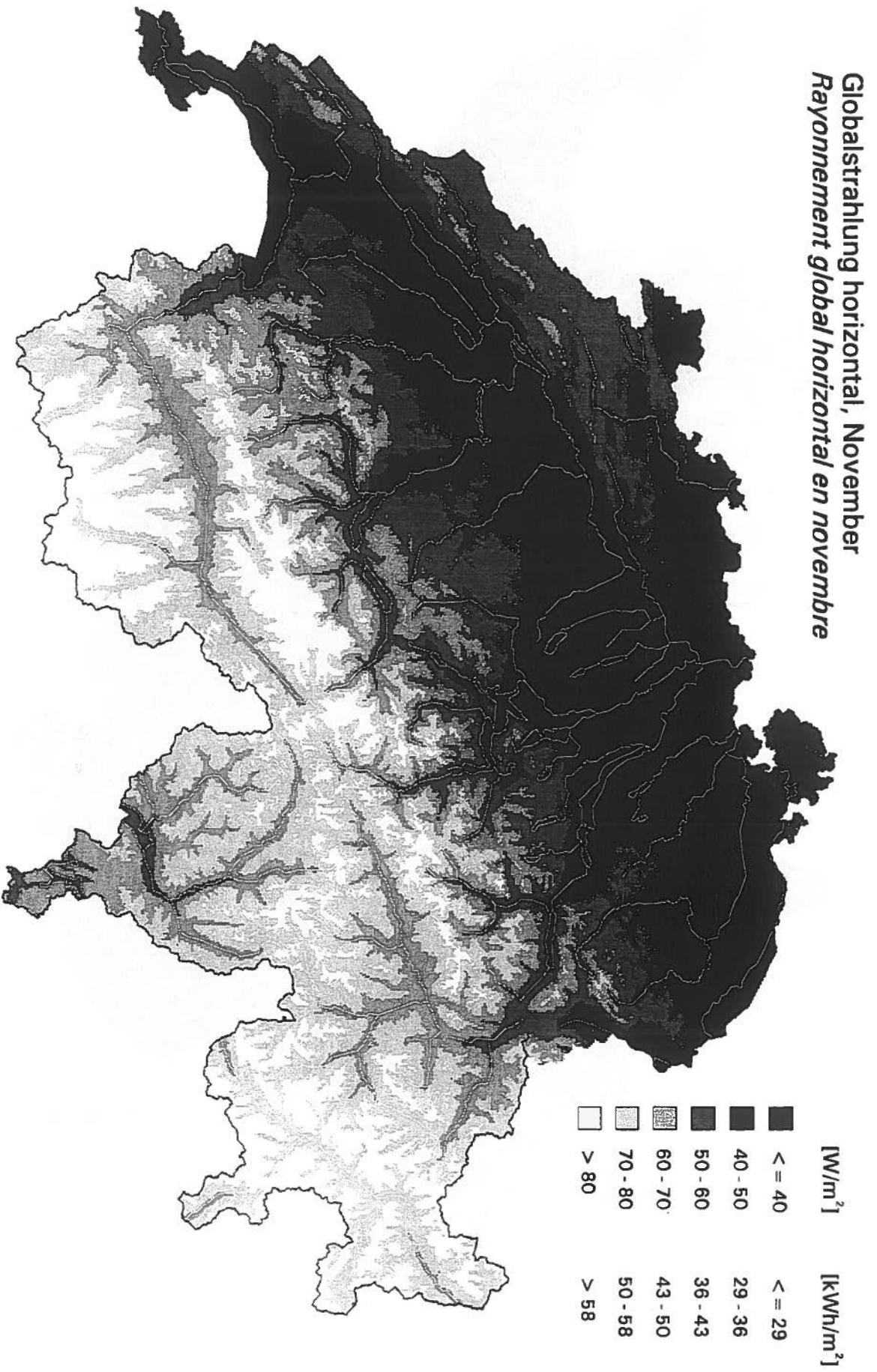


Abb. 3.5.12: Verteilung der horizontkorrigierten Globalstrahlung horizontal (Mittelwerte 1983-1992) in der Schweiz im November.  
(Quelle Hintergrunddaten: BFS-GEOSTAT)

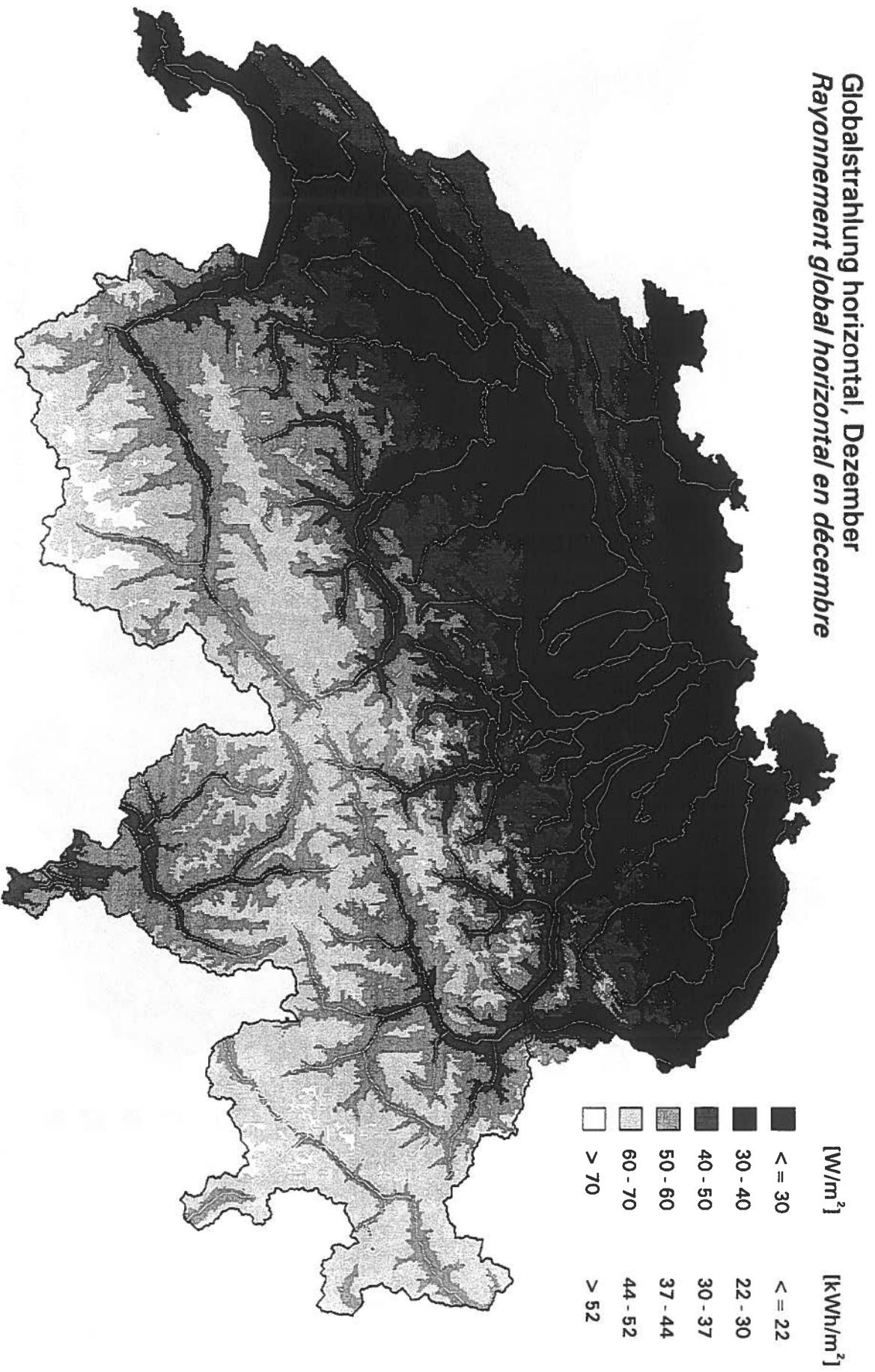


Abb. 3.5.13: Verteilung der horizontkorrigierten Globalstrahlung horizontal (Mittelwerte 1983-1992) in der Schweiz im Dezember. (Quelle Hintergrunddaten: BFS-GEOSTAT)

Temperatur, Januar  
Température de l'air en janvier

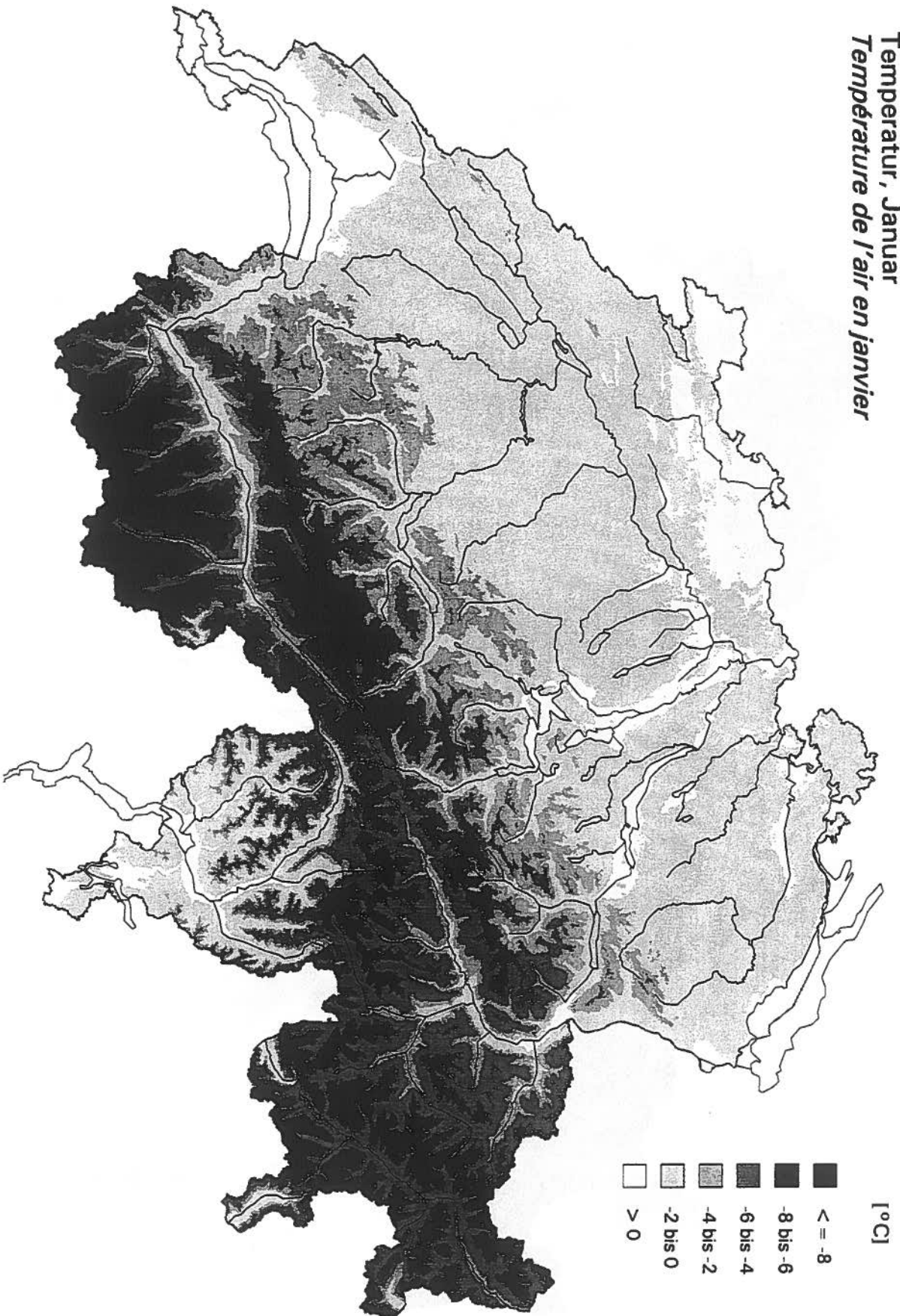


Abb. 3.5.14: Verteilung der Temperatur (Mittelwerte 1983-1992) in der Schweiz im Januar.  
(Quelle Hintergrunddaten: BFS-GEOSTAT)

**Temperatur, Februar**  
**Température de l'air en février**

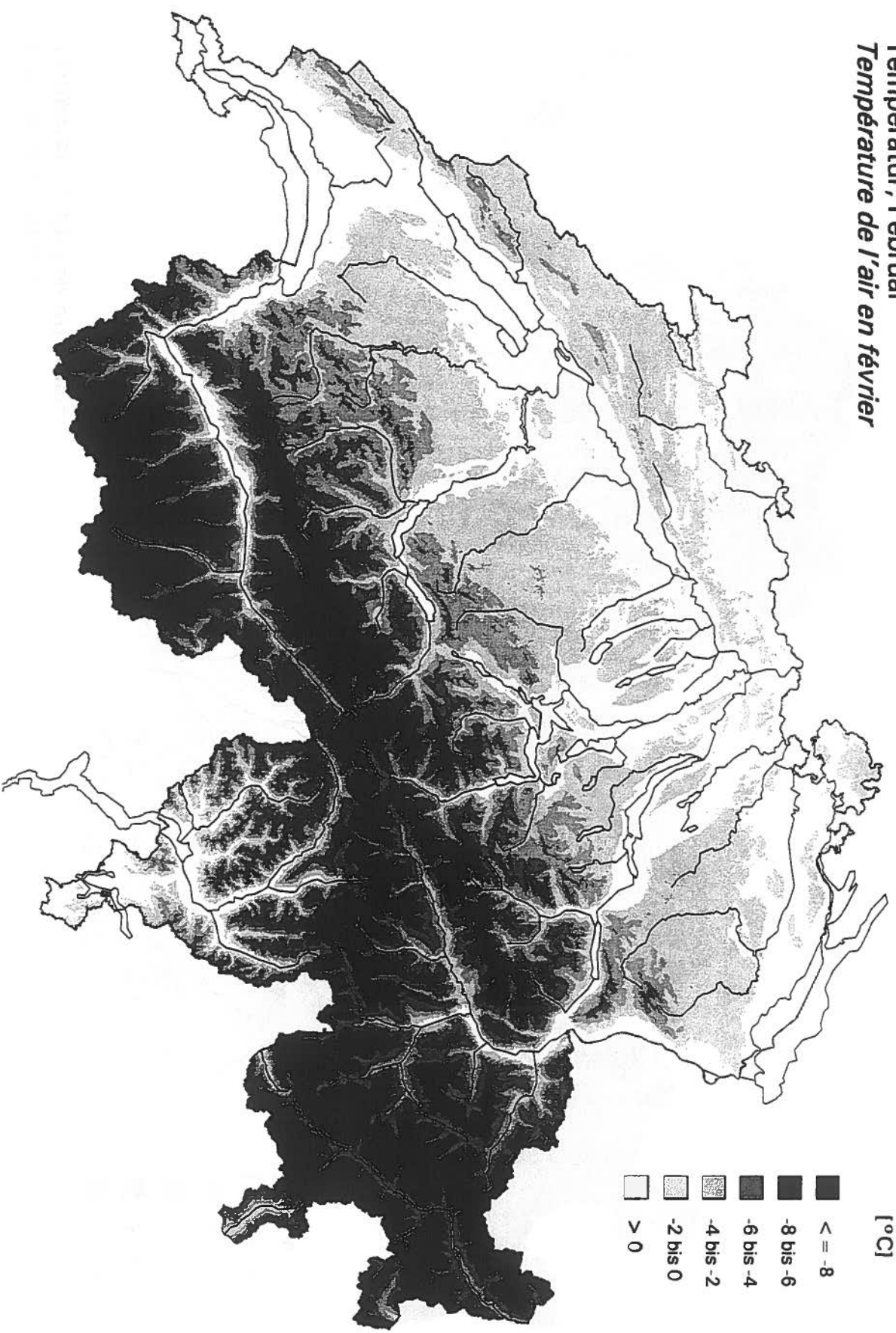


Abb. 3.5.15: Verteilung der Temperatur (Mittelwerte 1983-1992) in der Schweiz im Februar.

(Quelle Hintergrunddaten: BFS-GEOSTAT)

**Temperatur, März**  
**Température de l'air en mars**

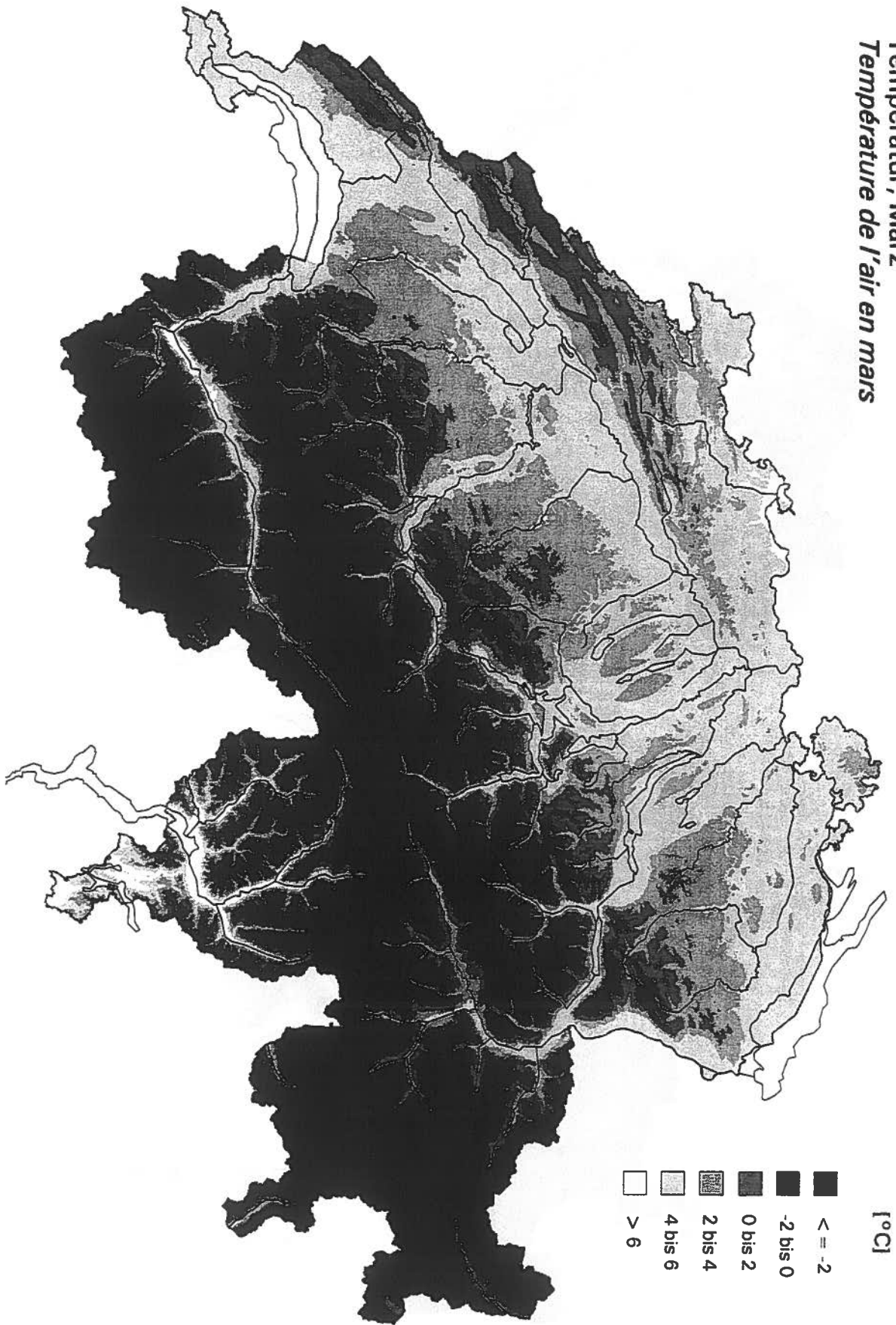


Abb. 3.5.16: Verteilung der Temperatur (Mittelwerte 1983-1992) in der Schweiz im März.  
(Quelle Hintergrunddaten: BFS-GEOSTAT)

**Temperatur, April**  
**Température de l'air en avril**

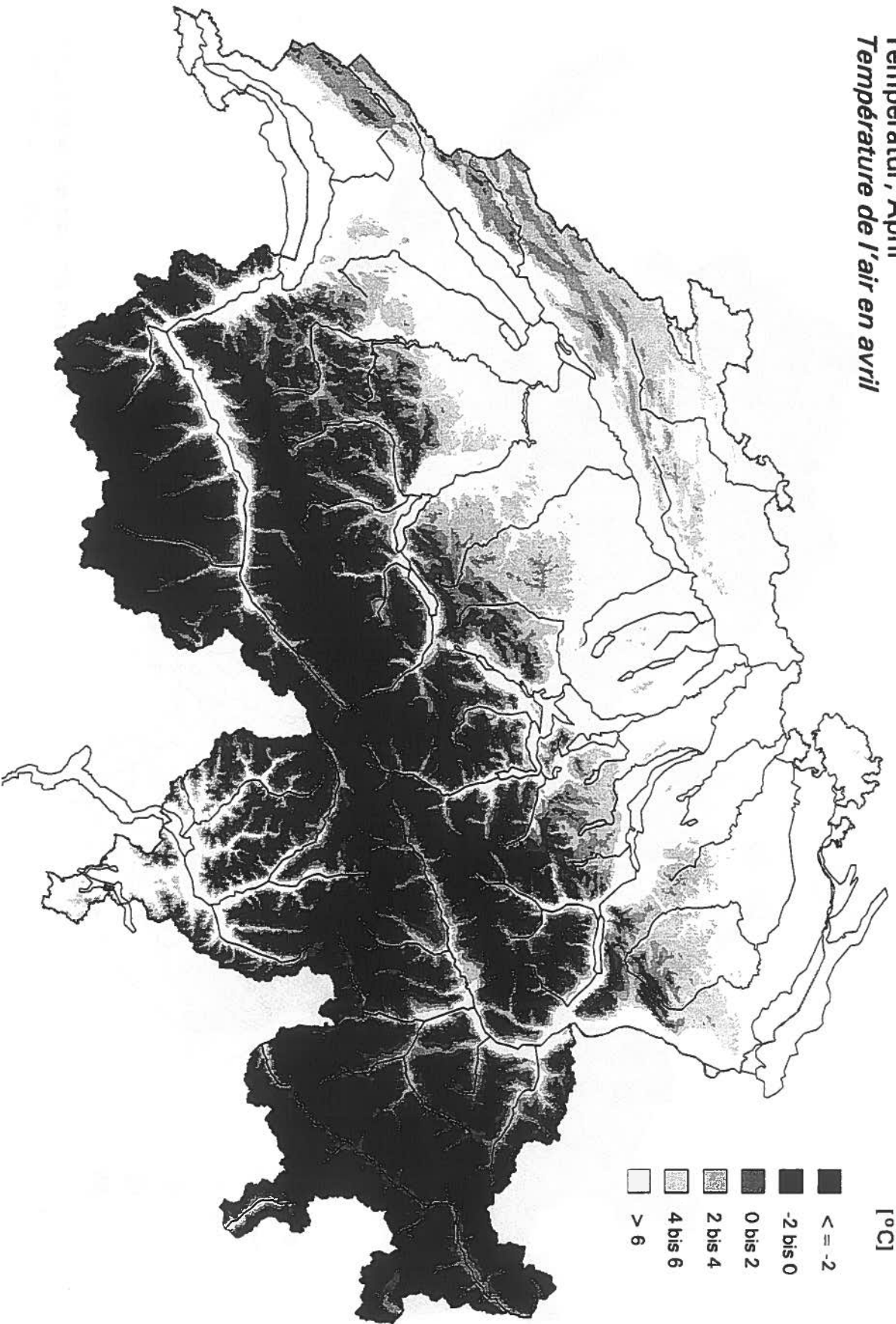


Abb. 3.5.17: Verteilung der Temperatur (Mittelwerte 1983-1992) in der Schweiz im April.  
(Quelle Hintergrunddaten: BFS-GEOSTAT)

**Temperatur, Mai**  
*Température de l'air en mai*

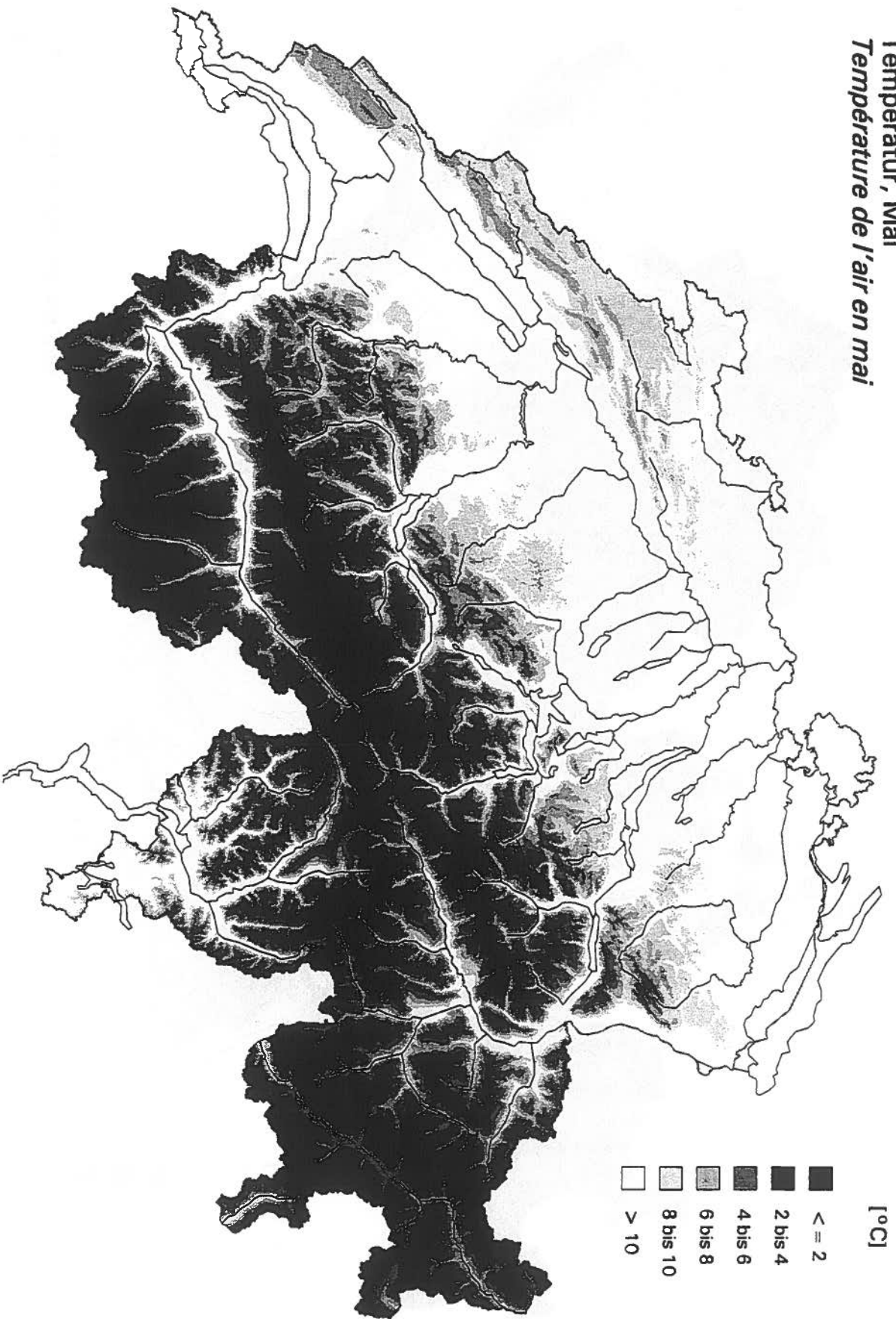


Abb. 3.5.18: Verteilung der Temperatur (Mittelwerte 1983-1992) in der Schweiz im Mai.  
(Quelle Hintergrunddaten: BFS-GEOSTAT)

**Temperatur, Juni**  
**Température de l'air en juin**

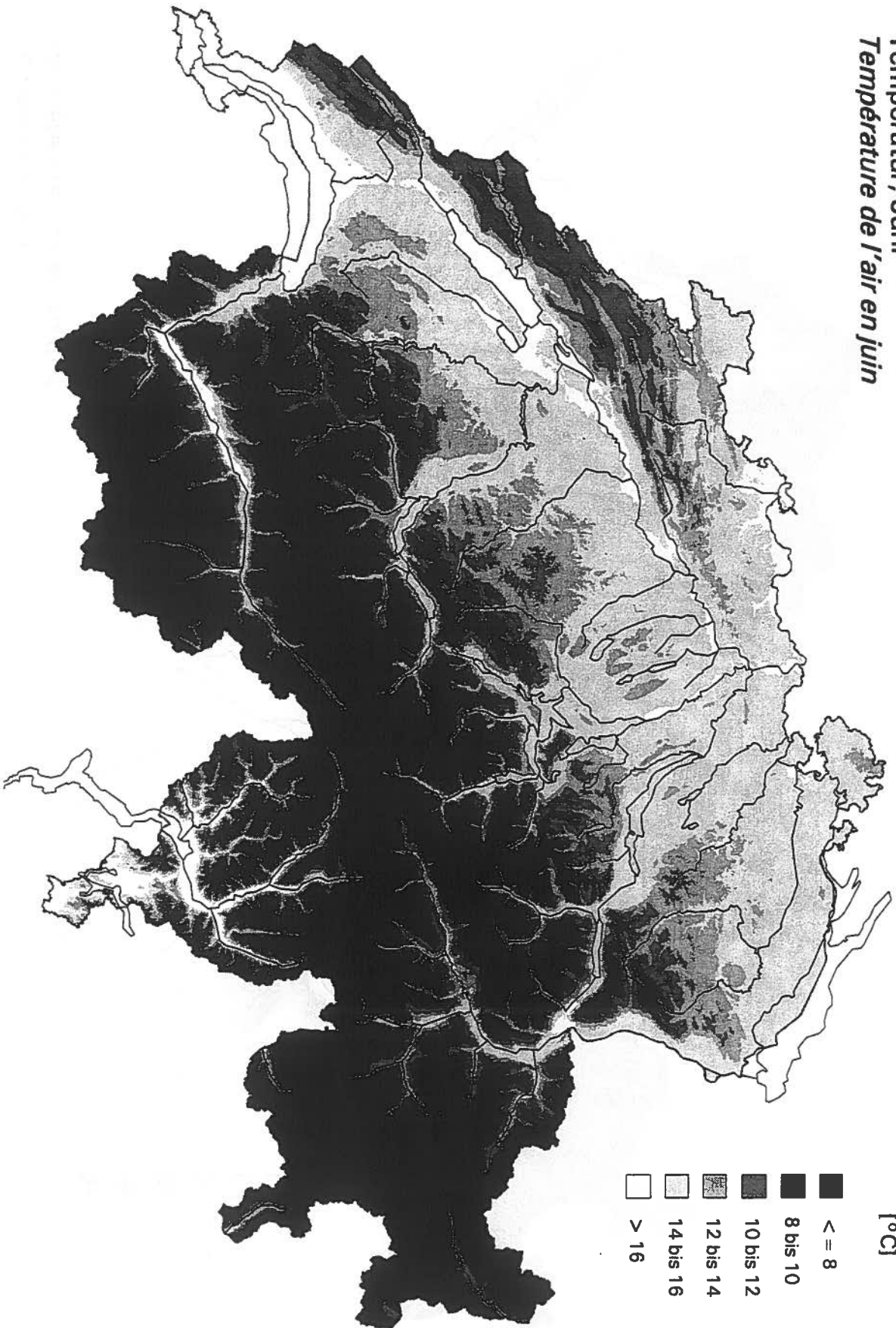


Abb. 3.5.19: Verteilung der Temperatur (Mittelwerte 1983-1992) in der Schweiz im Juni.

(Quelle Hintergrunddaten: BFS-GEOSTAT)

**Temperatur, Juli**  
**Température de l'air en juillet**

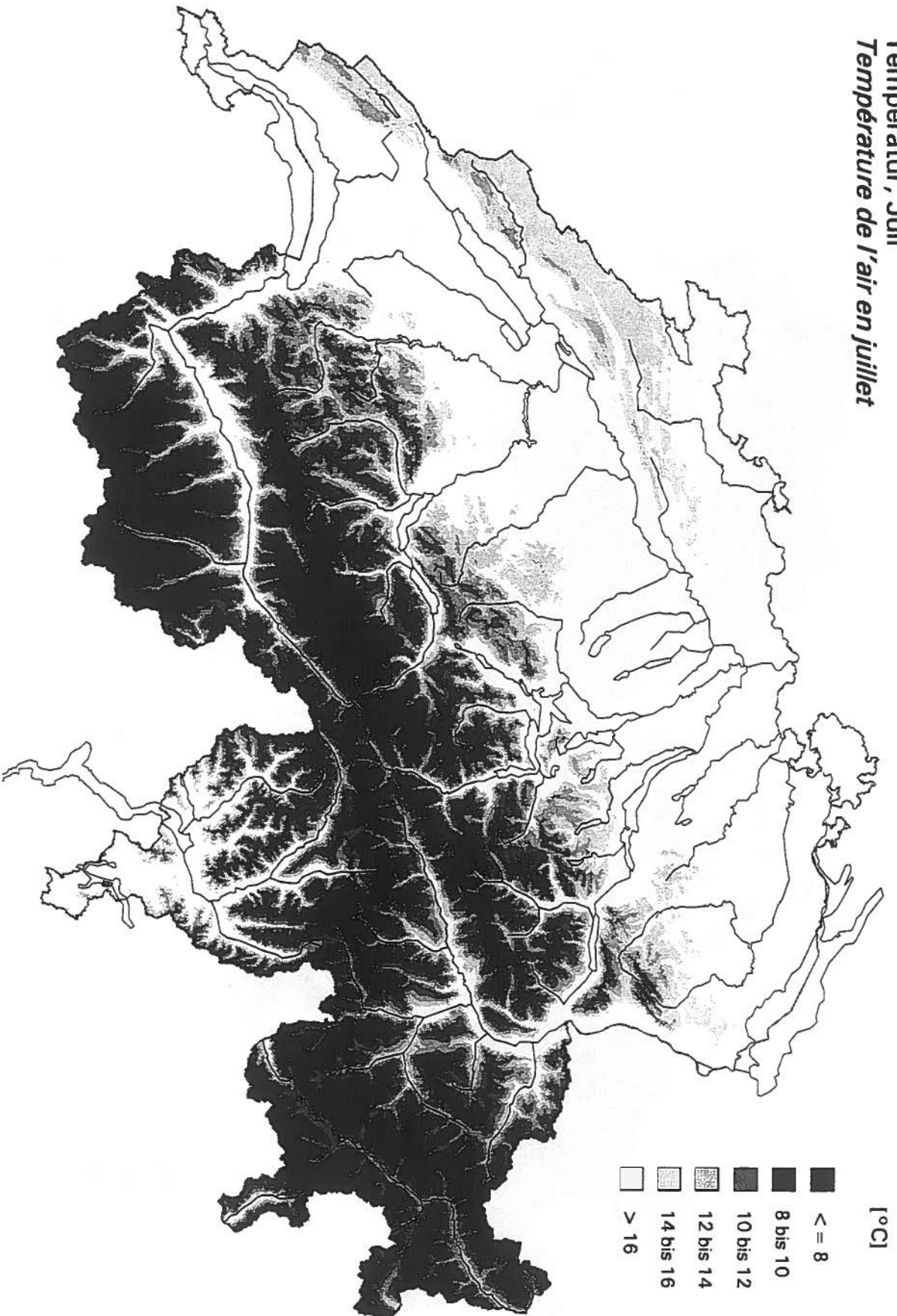


Abb. 3.5.20: Verteilung der Temperatur (Mittelwerte 1983-1992) in der Schweiz im Juli.

(Quelle Hintergrunddaten: BFS-GEOSTAT)

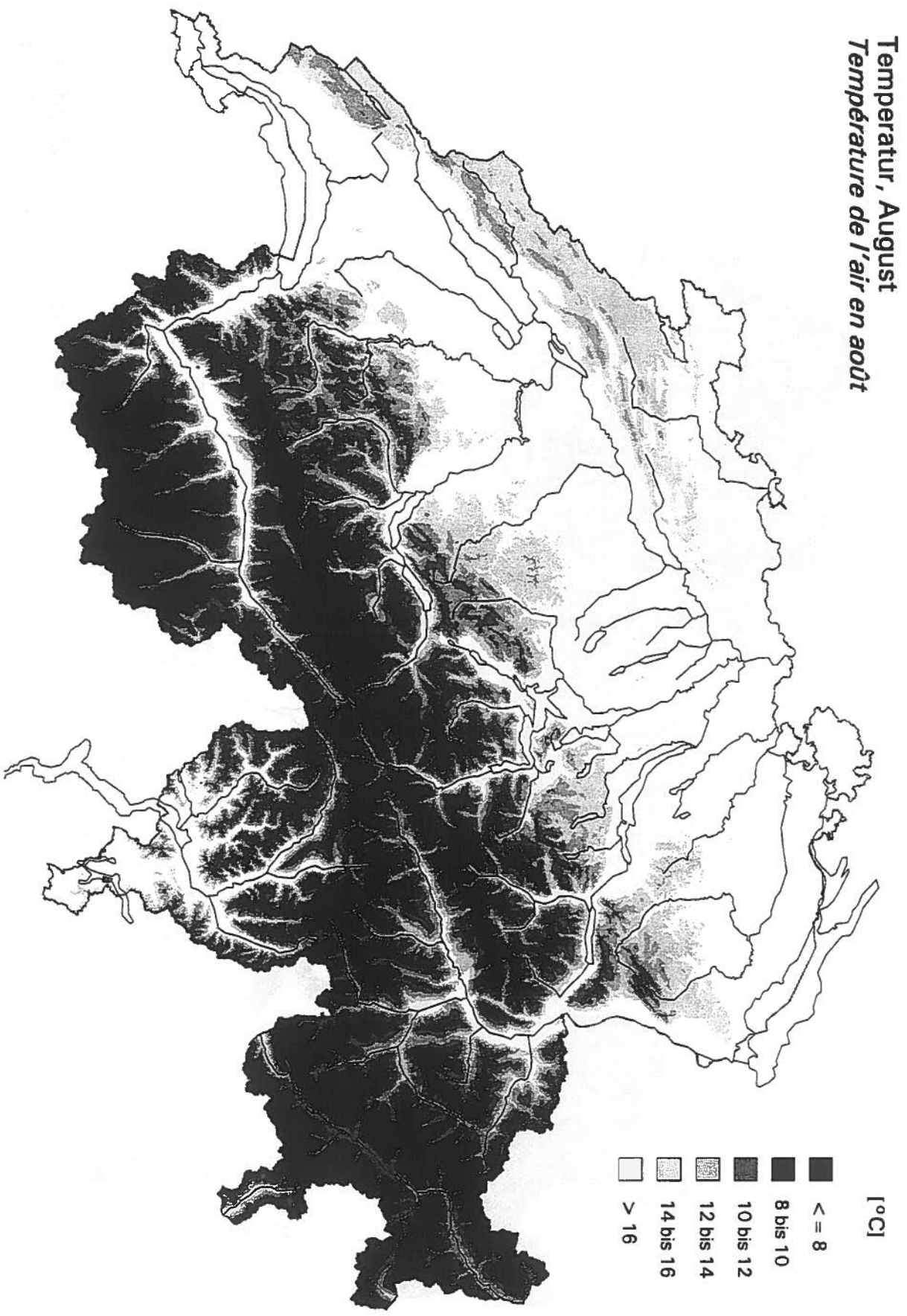


Abb. 3.5.21: Verteilung der Temperatur (Mittelwerte 1983-1992) in der Schweiz im August.

(Quelle Hintergrunddaten: BFS-GEOSTAT)

**Temperatur, September**  
**Température de l'air en septembre**

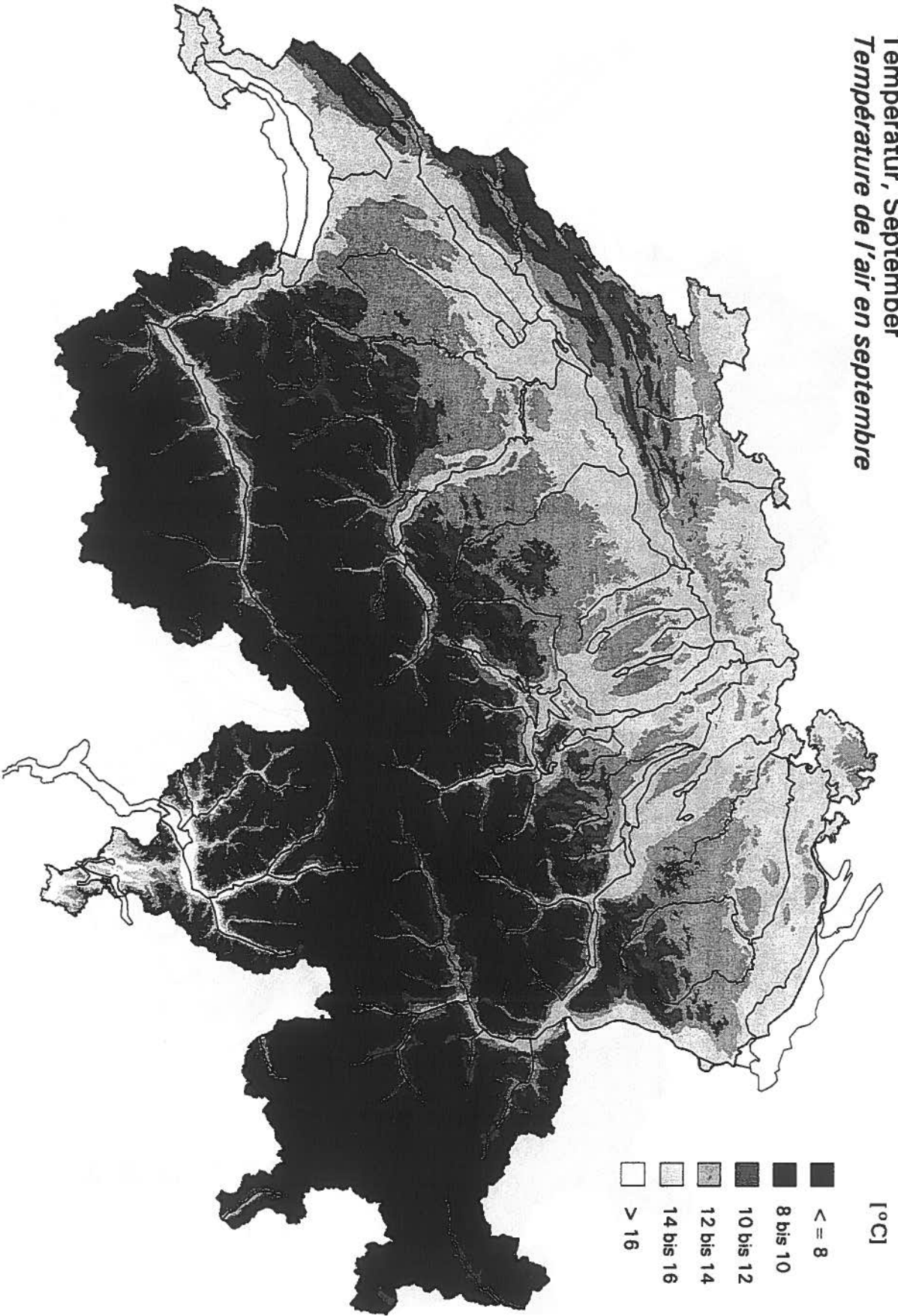
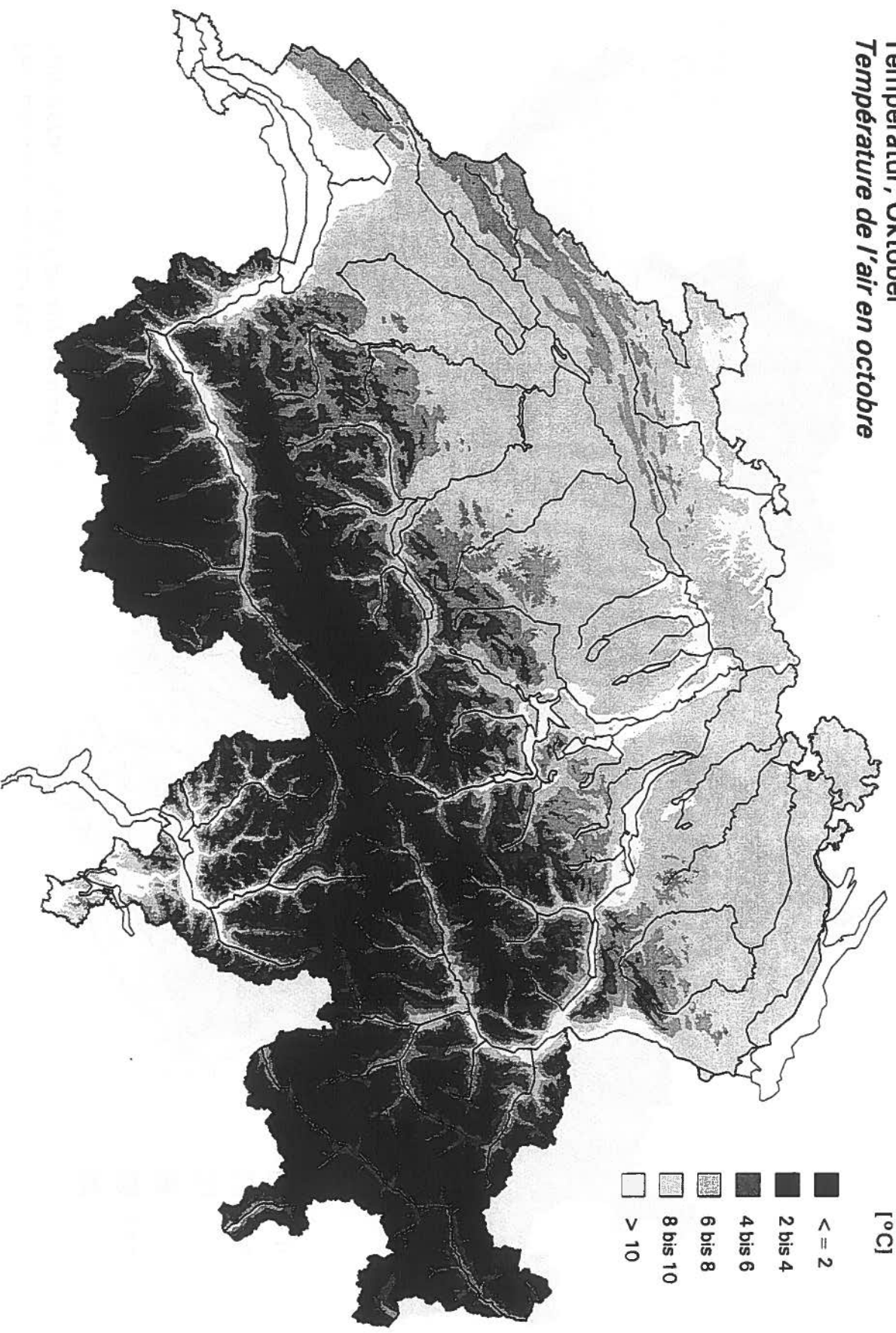


Abb. 3.5.22: Verteilung der Temperatur (Mittelwerte 1983-1992) in der Schweiz im **September**.  
(Quelle Hintergrunddaten: BFS-GEOSTAT)

**Temperatur, Oktober**  
**Température de l'air en octobre**



- [°C]
- < = 2
  - 2 bis 4
  - 4 bis 6
  - 6 bis 8
  - 8 bis 10
  - > 10

Abb. 3.5.23: Verteilung der Temperatur (Mittelwerte 1983-1992) in der Schweiz im Oktober.

(Quelle Hintergrunddaten: BFS-GEOSTAT)

Temperatur, November  
*Température de l'air en novembre*

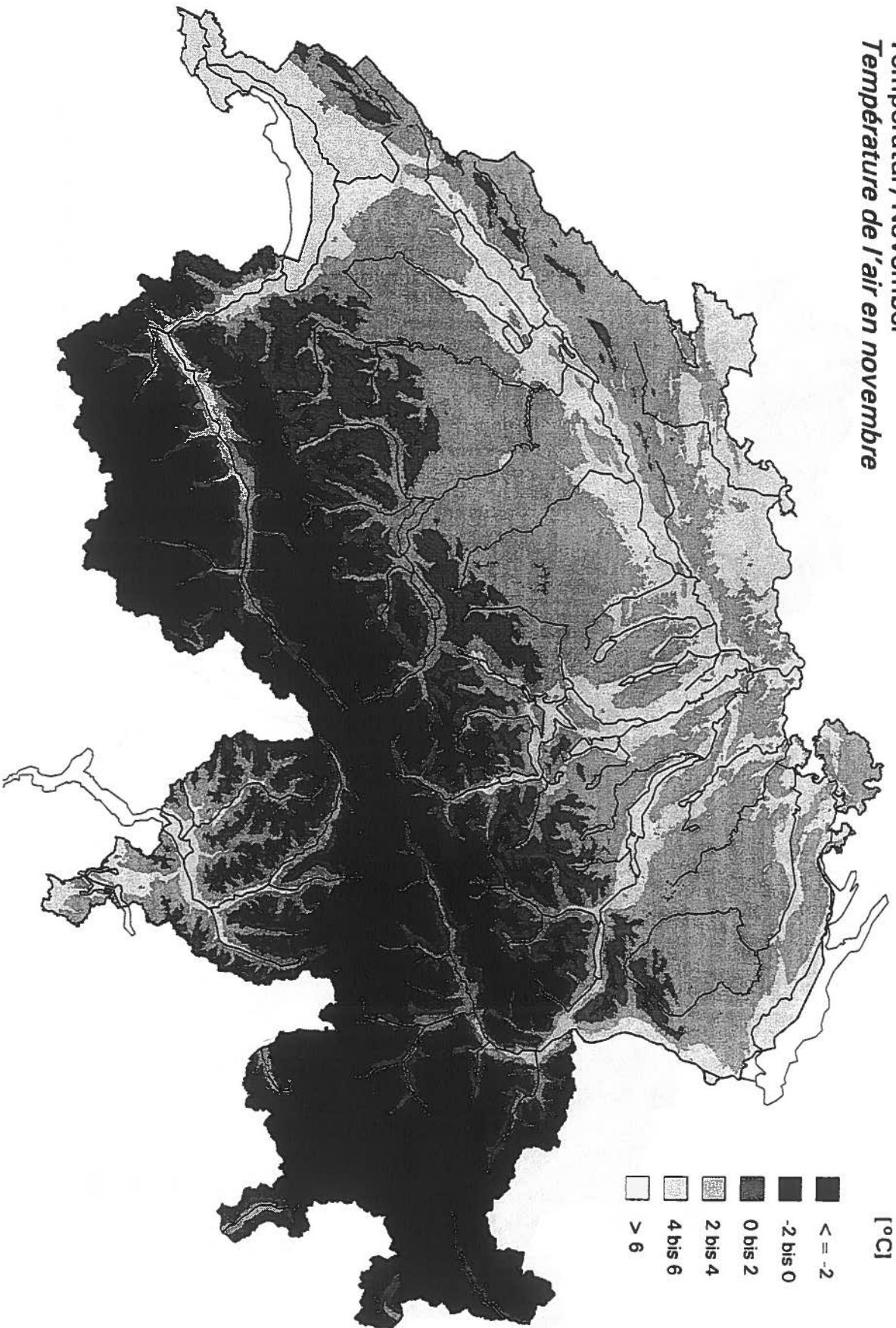
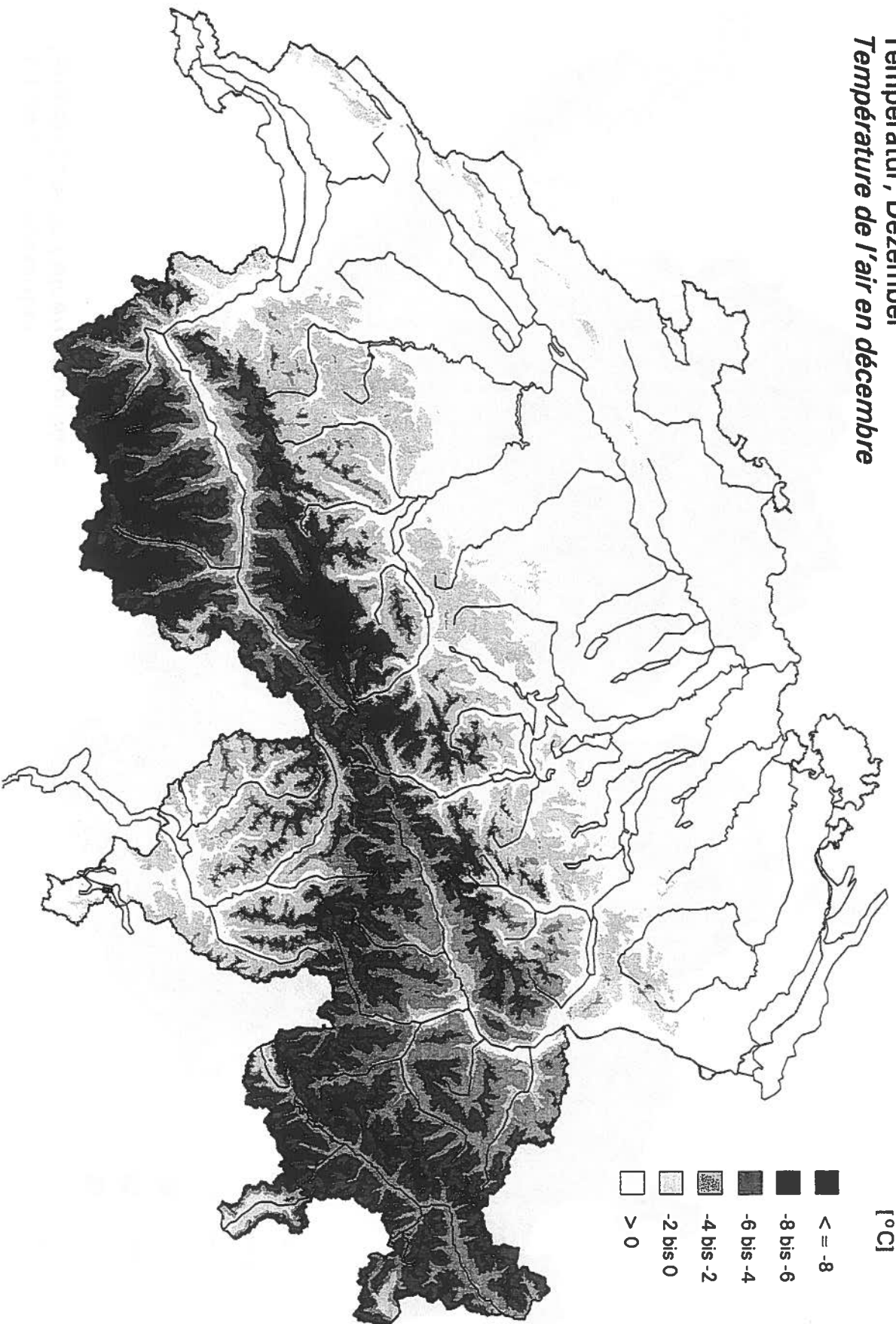


Abb. 3.5.24: Verteilung der Temperatur (Mittelwerte 1983-1992) in der Schweiz im November.  
(Quelle Hintergrunddaten: BFS-GEOSTAT)

**Temperatur, Dezember**  
*Température de l'air en décembre*



- [°C]
- < -8
  - -8 bis -6
  - -6 bis -4
  - -4 bis -2
  - -2 bis 0
  - > 0

Abb. 3.5.25: Verteilung der Temperatur (Mittelwerte 1983-1992) in der Schweiz im **Dezember**.  
 (Quelle Hintergrunddaten: BFS-GEOSTAT)

## 4 Theorie

Im vorliegenden Kapitel werden theoretische Grundlagen der **METEONORM** erläutert. Um dieses Kapitel nicht allzu gross werden zu lassen, wurde auf einige Erläuterungen und Erklärungen verzichtet. Weitergehende Ausführungen einzelner Problemkreise werden ausführlicher in der Technischen Dokumentation (BEW, 1995) behandelt.

### 4.1 Die Sonne

Seit ihrer Entstehung vor rund 5 Milliarden Jahren läuft in der Sonne eine Kernreaktion ab, bei der durch Kernfusion eine Umwandlung von Wasserstoff in Helium erfolgt. Die Leistung der Sonne beträgt  $3.85 \cdot 10^{26}$  W. Die Brennstoffreserve ist für menschliche Begriffe unerschöpflich; sie reicht für weitere 5 Milliarden Jahre aus.

Durch elektromagnetische Wellen wird die Energie ins Weltall ausgestrahlt. Bei einer mittleren Distanz zwischen Erde und Sonne von  $1.496 \cdot 10^{11}$  m reduziert sich der Strahlungsfluss ausserhalb der Erdatmosphäre auf  $1368 \text{ W/m}^2$ . Dieser Wert wird als Solarkonstante ( $I_0$ ) bezeichnet. Die mittlere eingestrahelte Leistung auf die Erde beträgt somit  $1.74 \cdot 10^{17}$  W (4.1.1).

$$\begin{aligned}
 E_E &= E_S \cdot \frac{r_E^2}{4 \cdot R_S^2} = 1.74 \cdot 10^{17} \text{ W} \\
 I_0 &= \frac{E_S}{4 \cdot \pi \cdot R_S^2} = 1368 \pm 1 \text{ W/m}^2
 \end{aligned}
 \tag{4.1.1}$$

$E_S$ : Leistung der Sonne [W]

$E_E$ : Leistung bei mittlerem Abstand Erde-Sonne [W]

$R_S$ : Mittlerer Abstand Erde-Sonne [m]

$r_E$ : Radius der Erde ( $6.368 \cdot 10^6$  m)

$I_0$ : Solarkonstante (Ohmura, 1992) [ $\text{W/m}^2$ ]

Die Solarkonstante bezeichnet nicht eine Konstante im eigentlichen Sinn, da sie um  $1 \text{ W/m}^2$  innerhalb 11.2 Jahre schwankt (astronomische Schwankungen) (Ohmura, 1992). Sie wird heute mittels Satelliten gemessen. Früheren Werten lagen Messungen auf der Erdoberfläche und von Ballonen zugrunde. In älterer Literatur findet man häufig Messwerte von 1322, 1353, 1367 bzw.  $1370 \text{ W/m}^2$ .

Auf Grund der elliptischen Umlaufbahn der Erde variiert die Distanz Erde-Sonne um 1.7 % und damit die Sonnenstrahlung ausserhalb der Atmosphäre ( $I_{\text{ex}}$ ) um 3,3 %. Der maximale Wert der Strahlung wird Anfang Januar erreicht, das Minimum Anfang Juli (4.1.2) (Tab. 3.1.2)).

$$I_{\text{ex}} = I_0 \cdot \left[ 1 + 0.033 \cdot \cos \left( \frac{2 \cdot \pi}{365.25} \cdot dy \right) \right]
 \tag{4.1.2}$$

$I_{\text{ex}}$ : Strahlung ausserhalb der Erdatmosphäre [ $\text{W/m}^2$ ]

$dy$ : Tag des Jahres

## 4.2 Die Zeit

Die Dauer eines Jahres entspricht nicht einer ganzen Anzahl von Tagen, sondern beträgt knapp 365.25 Tage. Zur Korrektur dieser Differenz wird alle 4 Jahre ein Schaltjahr eingeschoben. An Jahrhundertwenden werden zusätzlich 3 von 4 Schaltjahren ausgelassen.

Die DRY-Daten und die generierten Datensätze sind grundsätzlich auf Jahre mit 365 Tagen bezogen. Bei importieren (gemessenen) Daten werden jedoch die Schaltjahre berücksichtigt. Der durchnummerierte Tag von 1 bis 365 wird in der **METEONORM** als Tag des Jahres (dy) bezeichnet.

Für die Berechnung der Sonnenbahn ist die Kenntnis der wahren Sonnenzeit nötig. Der **wahre Sonnentag** wird als die Zeit definiert, die zwischen 2 Durchgängen der Sonne durch den höchsten Punkt ihrer Bahn (wahrer Mittag) liegt. Der Mittelwert der wahren Sonnentagelängen heisst mittlerer Sonnentag. Er bildet die Basis unserer Zeitzählung und wird gleichmässig in 24 Stunden eingeteilt (BEW, 1985). Die dadurch definierte Sonnenzeit gilt für eine hypothetische Erde mit kreisförmiger Umlaufbahn und senkrecht stehender Drehachse. Durch die elliptische Umlaufbahn und die schiefe Drehachse braucht die Erde mehr oder weniger als 24 Stunden, um der Sonne wieder dieselbe Seite zuzuwenden. Die Zeitdifferenzen betragen pro Tag bis 20 Sekunden. Diese Zeitdifferenzen summieren sich auf und ergeben Abweichung des Mittags der wahren Sonnenzeit vom Mittag der mittleren Sonnenzeit von bis zu 15 Minuten. Die Zeitgleichung (ET) (4.2.1) gibt die Differenz der wahren von der mittleren Sonnenzeit in Abhängigkeit von der Jahreszeit an (Abb. 4.2.1). Der mittlere Fehler dieser Gleichung (Dognaux, 1975) beträgt 0.8 s, der maximale Fehler 24 s (Ineichen, 1983).

$$ET = \sum_{k=1}^3 [a_k \cdot \cos(k \cdot J) + b_k \cdot \sin(k \cdot J)]$$

$$J = \frac{2 \cdot \pi}{365.25} \cdot dy$$
(4.2.1)

$$a_1 = 0.0072 \quad b_1 = -0.1229$$

$$a_2 = -0.0528 \quad b_2 = -0.1565$$

$$a_3 = -0.0012 \quad b_3 = -0.0041$$

dy : Tagnummer des Jahres      ET : Zeitgleichung [h]

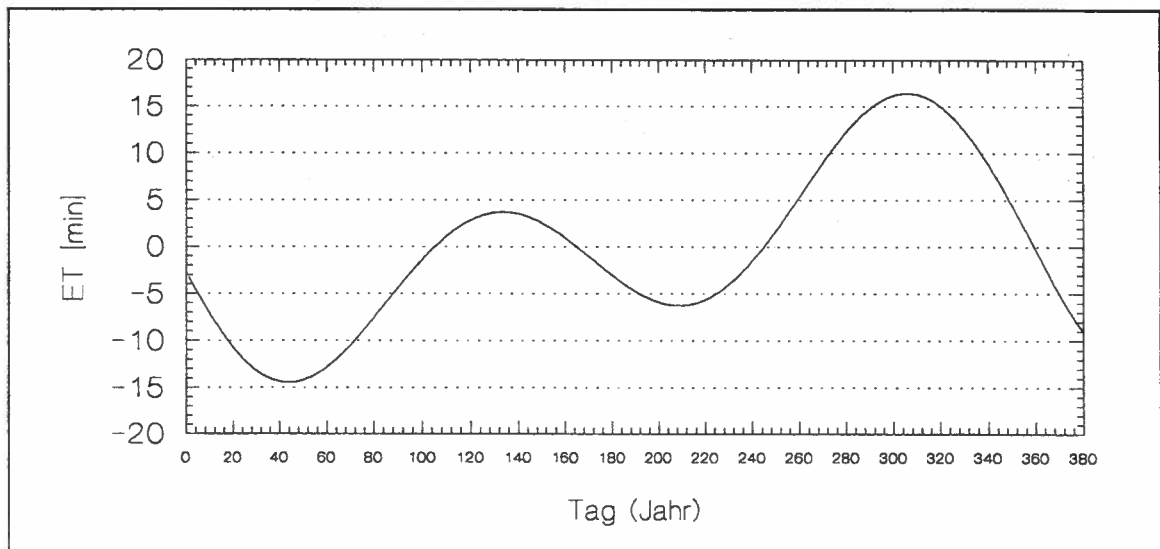


Abb. 4.2.1: Verlauf der Zeitgleichung ET.

Die Abweichung der bürgerlichen Zeit ( $t$ ) von der wahren Sonnenzeit (ST) ist nicht nur durch die Zeitgleichung bedingt: Um von der bürgerlichen Zeit auf die mit der Zeitgleichung korrigierten Zeit zu kommen, bedarf es 3 weiterer Schritte.

1. Berechnung der **universellen Zeit** UTC (universal time coordinated): Addition der Zeitdifferenz  $\Delta t_z$ . Die in der Schweiz geltende mitteleuropäische Zeit (MEZ) besitzt eine Abweichung  $\Delta t_z$  von -1 Stunde zur Referenzzeit des 0°-Meridians.
2. Berechnung der **Ortszeit** aus der universellen Zeit: Berechnung der Lage eines Standortes bezüglich des Referenzmeridians (0°). Die Sonne bewegt sich von der Erde aus gesehen pro Stunde um 15°. Oestliche Längengrade werden negativ gezählt, westliche positiv !
3. Nun muss noch die Sommerzeit berücksichtigt werden. Addition von  $\Delta t_s$  (Sommerzeit: -1 h; Winterzeit 0 h).

Die vollständige Berechnung der wahren Sonnenzeit (ST) wird in Formel 4.2.2 beschrieben.

$$ST = t + \Delta t_s + \Delta t_z - \frac{\lambda}{15^\circ} + ET \quad (4.2.2)$$

$\lambda$ : geographische Länge in [°]

**Beispiel:** Wahre Sonnenzeit um 14 Uhr Mittags mitteleuropäische Zeit (MEZ) am 24. Oktober (297. Tag des Jahres) in Payerne ( $\lambda$ : -6°57):

$$ST = 14 + 0 - 1 + 6.95/15 - 12 + 0.264 = 1.72 \text{ h} = 1 \text{ h } 43 \text{ Min}$$

## 4.2.1 Zeitreferenz der METEONORM

Die Zeitreferenz der **METEONORM** ist grundsätzlich die Mitteleuropäische Zeit MEZ. Bei den Stundenwerten wird jeweils die **Endzeit** des Intervalls angegeben. Der 14 Uhr-Wert bedeutet somit der Mittelwert der Stunde von 13 bis 14 Uhr. Der Schwerpunkt oder Mittelpunkt dieses Intervalls ist 13 Uhr 30. Im Computerprogramm ist ein Parameter verfügbar (IZRM), welcher diese Intervallmitte in Bezug auf die Endzeit definiert. Im vorliegenden Beispiel -30 Minuten.

Die Zeitreferenz kann im Computerprogramm geändert werden. Eine Änderung ist jedoch nur in zwei Fällen nötig:

1. Wenn Stundenwerte importiert werden, deren Intervallmittelpunkt nicht die halbe Stunde ist.
2. Wenn Stundenwerte generiert werden sollen, deren Intervallmittelpunkt nicht die halbe Stunde ist.

**Beispiel zu 1:** Es liegen gemessenen Stundenwerte vor. Ein Messintervall dauerte jeweils von einer halben Stunde zur nächsten (z.B. 00:30 bis 01:30). Daraus wurde das Stundenmittel gerechnet und bei der Endzeit (z.B. 01:30) eingetragen. Da aber als Stunden [h] in der **METEONORM** nur ganze Zahlen von 1 bis 24 zugelassen sind, kann als Endzeit nur die volle Stunde (z.B. 1) angegeben werden. Im Computerprogramm muss bekannt sein, wieviel die **angegebene** Endzeit (z.B. 1) von der **effektiven** Intervallmitte (z.B. 01:00) abweicht. Da die Messintervallmitte (z.B. 01:00) in diesem Beispiel mit der angegebenen Endzeit (z.B. 1) übereinstimmt, muss als **METEONORM** Zeitreferenz (IZRM: Abweichung der **effektiven** Intervallmitte von der **angegebenen** Endzeit in Minuten) 0 eingegeben werden.

Beispiel zu 2: Es sollen Stundenwerte mit der Zeitreferenz der ANETZ-Daten der SMA generiert werden. Das Messintervall der SMA dauert von zehn Minuten vor der vollen Stunde bis zwanzig Minuten vor der nächsten vollen Stunde (z.B. 00:50 bis 01:40), d.h. die sechs Zehn-Minutenwerte werden gemittelt und der Endzeit (z.B. 01:40) zugewiesen. Die Intervallmitte ist zehn Minuten nach der vollen Stunde (z.B. 01:10). Als Endzeit wird im Computerprogramm der **METEONORM** nur die ganze Stunde ausgegeben (z.B. 1). Die **effektive** Intervallmitte (z.B. 01:10) weicht in diesem Fall 10 Minuten von der **angegebenen** Endzeit (z.B. 1) ab. Als **METEONORM** Zeitreferenz ist also **10** einzugeben.

Die folgende Tabelle (Tab. 4.2.1) gibt eine Übersicht über die gebräuchlichsten Zeitintervallen und deren Zeitreferenz im Computerprogramm der **METEONORM**.

Tab. 4.2.1: Definition der Zeitreferenzen (IZRM) für die gebräuchlichsten Zeitintervalle (MEZ, Endzeit; MEZ, Mitte und SMA).

	MEZ, Endzeit (MN Standard)	MEZ, Mitte	SMA
Intervall von bis (MEZ)	00.00 - 01.00	00.30 - 01.30	00.40 - 01.40
Intervallmitte (MEZ)	00.30	01.00	01.10
Zeitreferenz (IZRM) [Min]	-30	0	10
Angegebene Zeit (Stunde) in der Datei	1	1	1

## 4.3 Die Sonnenbahn

Für die Sonnenenergieanwendung ist die Kenntnis der geometrischen Parameter der Sonnenbahn von zentraler Bedeutung. Der grösste Teil der Sonnenbahnformeln wurden von Ineichen (1983) übernommen. In den nachfolgenden Formeln sind die Winkel in der Einheit Radian [rad] angegeben, wenn nichts anderes vermerkt ist.

Von einem festen Punkt auf der Erde aus gesehen ist die Sonnenposition durch zwei Winkel (Abb. 4.3.1 und 4.3.2) definiert:

1. **Sonnenhöhe  $h_s$** : Winkel zwischen horizontaler Ebene und Verbindungslinie von der Erd- zur Sonnenmitte (Sonnenelevation).
2. **Sonnenazimut  $\gamma_s$** : Abweichung der senkrecht auf die Horizontalebene projizierten Verbindungslinie von der Südrichtung.  $\gamma_s > 0$  in Sonnenbahnrichtung,  $\gamma_s < 0$  in Sonnenbahn-Gegenrichtung.

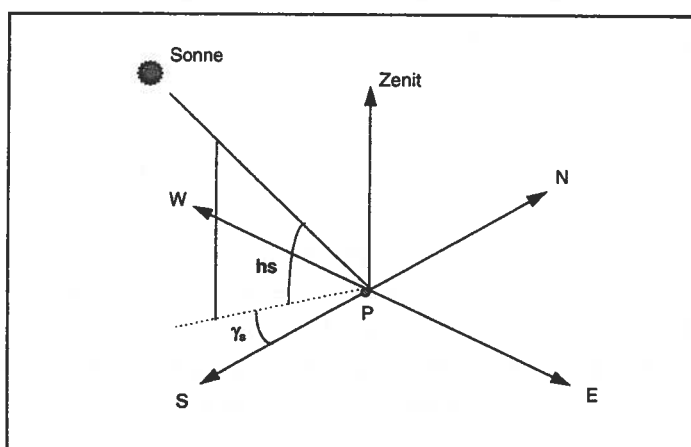


Abb. 4.3.1: Beschreibung der Sonnenposition von einem Punkt (P) auf der Erdoberfläche aus gesehen

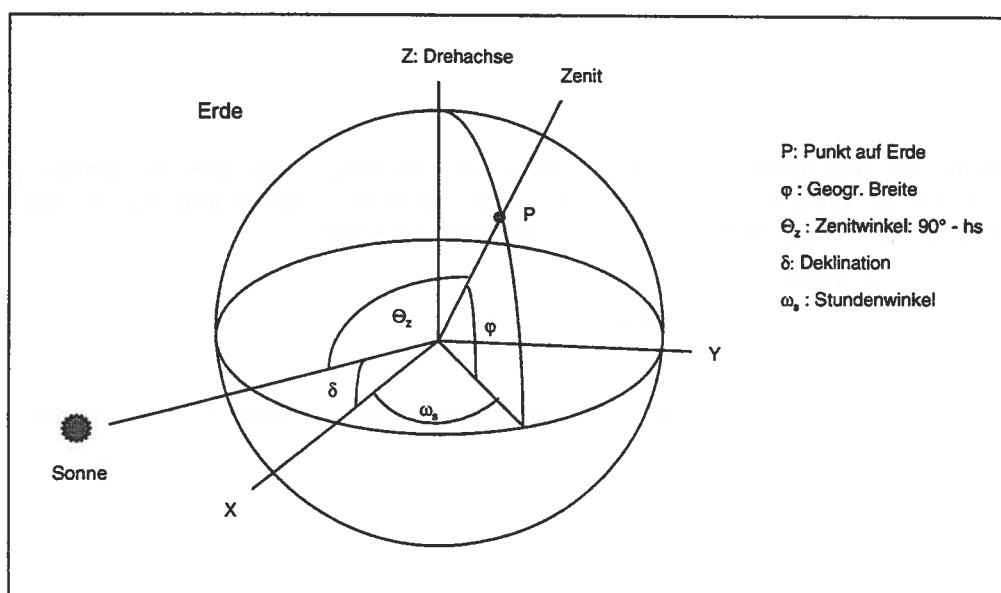


Abb. 4.3.2: Beschreibung der Sonnenposition (Deklination, Zenitwinkel und Stundenwinkel)

Beide Winkel lassen sich mit Hilfe der geographischen Breite ( $\varphi$ ), der Sonnendeklination ( $\delta$ ) und des Stundenwinkels ( $\omega_s$ ) beschreiben (4.3.1 bis 4.3.4).

$$hs = \text{Arc sin} \left[ \sin(\varphi) \cdot \sin(\delta) + \cos(\varphi) \cdot \cos(\delta) \cdot \cos(\omega_s) \right] \quad (4.3.1)$$

$$\gamma_s = \text{Arc sin} \left[ \frac{\cos(\delta) \cdot \sin(\omega_s)}{\cos(hs)} \right] \quad (4.3.2)$$

Die Deklination ( $\delta$ ) ist der Winkel zwischen der Aequatorebene und der Verbindungslinie von der Erde zur Sonnenmitte. Sie ist durch die Gesetze der Umlaufbahn bestimmt und wird mit Formel (4.3.3) wiedergegeben (Ineichen, 1983). Der maximale Fehler dieser Approximation beträgt  $0.2^\circ$ .

$$\begin{aligned} \delta &= \text{Arc sin} \left[ 0.398 \cdot \sin \left( 2 \cdot \pi \cdot \frac{dy - Eq}{365.25} \right) \right] + \Delta \\ \Delta &= 0.026 \cdot \sin \left( 2 \cdot \pi \cdot \frac{dy - 173}{365.25} \right) \quad \text{für } 173 < dy \leq 365 \\ \Delta &= 0 \quad \text{für } dy \leq 173 \end{aligned} \quad (4.3.3)$$

$\delta$  : Deklination [rad]       $dy$  : Tag des Jahres

$Eq$  : Tagundnachtgleiche im Frühling (equinox): Zwischen 79 und 79.75 (Schaltjahre: 79, Schaltjahre+1: 79.25, Schaltjahre+2: 79.5, Schaltjahre+3: 79.75)

Zur Tagundnachtgleiche beträgt die Deklination Null, zur Sommersonnenwende  $+23.4^\circ$  und zur Wintersonnenwende  $-23.4^\circ$ . Diese Variation ist verantwortlich für die Jahreszeiten.

Der Stundenwinkel ( $\omega_s$ ) entspricht der wahren Sonnenzeit (ST) in Winkelgrad (4.3.4).

$$\omega_s = (ST - 12) \cdot \frac{\pi}{12} \quad (4.3.4)$$

Der astronomische Tag beginnt und endet, wenn der Mittelpunkt der Sonnenscheibe gerade am (ebenen) Horizont ist. Die Berechnung des Sonnenauf- und -untergangswinkels ( $\omega_{ss}$ ) erfolgt mit Formel 4.3.5, die man durch Auflösung der Formel 4.3.1 nach  $hs = 0$  erhält.

$$\omega_{ss} = \text{Arc cos} \left[ -\tan(\varphi) \cdot \tan(\delta) \right] \quad (4.3.5)$$

Die astronomische Sonnenscheindauer  $S_0$  ([h]) lässt sich mit dem Sonnenauf- und -untergangswinkel berechnen (4.3.6):

$$S_0 = \frac{24}{\pi} \cdot |\omega_{ss}| \quad (4.3.6)$$

Die monatliche astronomische Sonnenscheindauer ist die Summe der einzelnen Tage. Die Schweiz liegt zwischen dem 46. und dem 48. Breitengrad. Da sich in diesem Bereich die astronomische Sonnenscheindauer nicht stark ändert (vgl. Tab. 3.1.7), werden die Werte nur für einen Ort auf  $47^\circ$  Breite aufgelistet (Tab. 4.3.1).

Tab. 4.3.1: Monatswerte der astronomischen Sonnenscheindauer  $S_0$  auf  $47^\circ$  N Breite (nur ganze Stunden) (Auszug aus Tab. 3.1.7).

Einheit	Jan	Feb	März	April	Mai	Juni	Juli	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr
[h]	274	283	364	403	461	469	475	436	373	333	277	260	4408

Der tägliche Sonnenhöchststand ( $hs_{\max}$ ) wird mit folgender Formel (4.3.7) berechnet.

$$hs_{\max} = \frac{\pi}{2} - \varphi + \delta \quad (4.3.7)$$

Ein wichtiger Wert für die Berechnung der Strahlung auf der Erdoberfläche ist die optische Luftmasse AM. Diese ist definiert als die Dicke der Luft, die ein Sonnenstrahl bis zum Erreichen des Bodens zu durchqueren hat. Auf Meereshöhe nimmt AM bei senkrecht einfallender Strahlung den Wert 1 an. Die optische Luftmasse nimmt mit zunehmender Höhe ab, mit kleiner werdendem Einfallswinkel zu (4.3.8) (Guarracino und Sfeir, 1981). Die Höhe der Atmosphäre ist auf 10 km festgelegt. Die verwendete Formel (4.3.8) ergibt bei flacherem Einfallswinkel bessere Resultate als eine andere, die im Nenner nur den Sinus des Sonnenwinkels, nicht aber die Erdkrümmung berücksichtigt.

$$AM = \frac{1 - 0.0001 \cdot z}{\sin(hs) + 0.15 \cdot \left( hs \cdot \frac{180^\circ}{\pi} + 3.885 \right)^{-1.253}} \quad (4.3.8)$$

$z$ : Höhe über Meer [m]

$hs$ : Sonnenhöhe [rad]

### 4.3.1 Die Sonnenbahn über beliebig geneigten und orientierten Flächen

Die Ausrichtung einer Fläche wird mit folgenden zwei Winkeln definiert (Abb. 4.3.3):

- dem Neigungswinkel  $\beta$  der betreffenden Fläche bezüglich der Horizontalebene sowie mit
- dem Azimut  $\gamma$  der Fläche in Bezug auf die Südrichtung

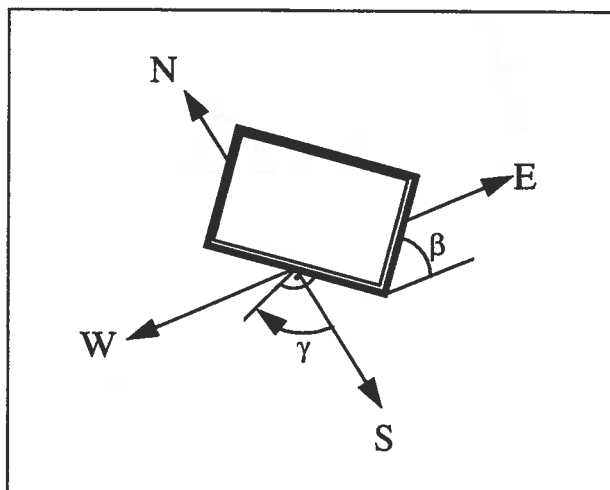


Abb. 4.3.3: Winkel zur Beschreibung einer beliebig ausgerichteten Fläche

Als wichtige Grösse zur Beschreibung der Sonnenstrahlung wird der Einfallswinkel  $\Theta$  zwischen der Sonnenposition und der Flächennormalen ( $\vec{n}$ ) benutzt (Abb. 4.3.4).

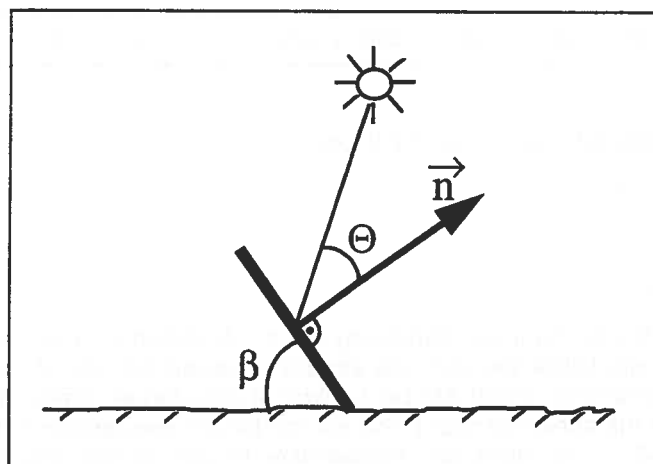


Abb. 4.3.4: Einfallswinkel der Sonnenstrahlen auf eine geneigte Fläche

Werden die geometrischen Beziehungen zwischen den 6 Winkeln  $\varphi$ ,  $\delta$ ,  $\omega$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$  und  $\Theta$  mathematisch dargestellt, ergibt sich eine unüberschaubare Gleichung mit 21 trigonometrischen Funktionen. Eine wesentliche Vereinfachung wird mit dem Begriff der äquivalenten Horizontalfäche ( $A'$ ) erreicht. Dabei handelt es sich um eine, durch Parallelverschiebung entstehende Fläche, deren Neigungswinkel ( $\beta$ ) und Flächenazimut ( $\gamma$ )  $0^\circ$  betragen. Diese Vereinfachung ist möglich, da jeder geneigten Fläche ( $A$ ) eine parallele Horizontalfäche anderswo auf der Erde entspricht. Dieser Zusammenhang wird in der folgenden Abbildung am einfacheren Fall einer südgerichteten Fläche erläutert (Abb. 4.3.5).

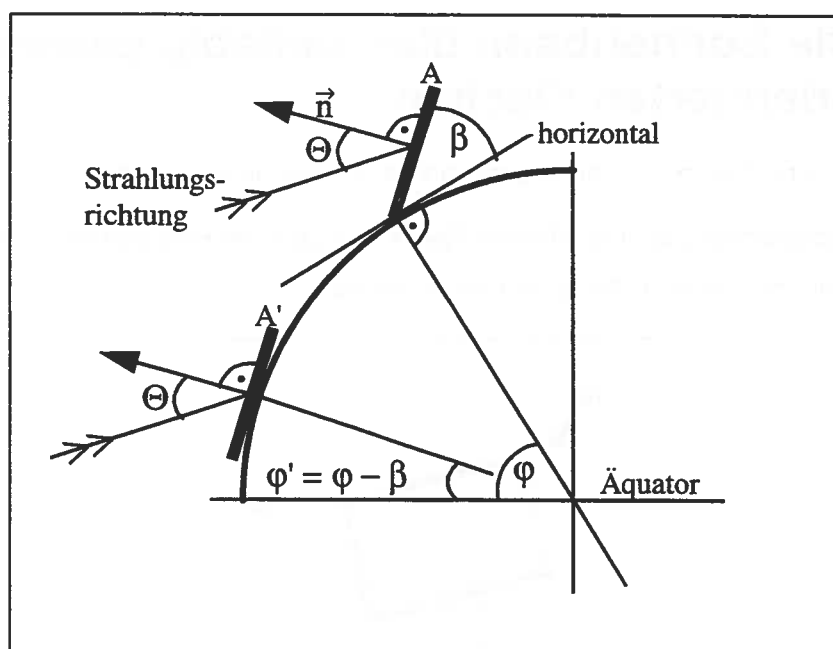


Abb. 4.3.5: Äquivalente Horizontalfäche ( $A'$ ) einer südgerichteten Fläche ( $A$ ) an einem Ort mit der Breite  $\varphi$ .

Geometrisch bedeutet dies, dass die äquivalente Horizontalfäche einer südgerichteten, um  $\beta$  geneigten Fläche auf der geographischen Breite  $\varphi$ , auf der Breite  $\varphi' = \varphi - \beta$  liegt. Es genügt also, in den Gleichungen des vorigen Abschnittes die Breite  $\varphi$  durch  $\varphi'$  zu ersetzen.

Wenn die Empfängerfläche nicht nach Süden gerichtet ist, verschiebt sich die äquivalente Horizontalfläche auch in der geographischen Länge, was zu einer Verschiebung ihrer wahren Sonnenzeit führt. Es ist deshalb sinnvoll, die äquivalente geographische Länge gleich als Stundenwinkel ( $\omega_o$ ) anzusehen. Sie entspricht der Verschiebung der äquivalenten (wahren) Mittagszeit in Bezug auf die örtliche (wahre) Sonnenzeit.

In der allgemeinen Form sind die Koordinaten der äquivalenten Horizontalfläche durch folgende Gleichungen gegeben:

$$\text{Äquivalente Breite: } \sin(\varphi') = \sin(\varphi) \cdot \cos(\beta) - \sin(\beta) \cdot \cos(\varphi) \cdot \cos(\gamma) \quad (4.3.9)$$

$$\text{Äquivalente Länge: } \sin(\omega_o) = \frac{\sin(\beta) \cdot \sin(\gamma)}{\cos(\varphi')} \quad (4.3.10)$$

Beispiel: Für eine Westfassade ist  $\beta = 90^\circ$  und  $\gamma = 90^\circ$  gegeben.

Damit wird die äquivalente Breite:

$$\sin(\varphi') = \sin(\varphi) \cdot 0 - 1 \cdot \cos(\varphi) \cdot 0 = 0 \rightarrow \varphi' = 0$$

und die äquivalente Länge:

$$\sin(\omega_o) = \frac{1}{1} = 1 \rightarrow \omega_o = 90^\circ.$$

Die äquivalente Horizontalfläche ist gegenüber ihrer ursprünglichen Lage um  $90^\circ$  nach Westen gedreht und kommt am Äquator zu liegen. Ihr Mittag wird erst um 6 Uhr Abends örtliche Sonnenzeit erreicht. Die Besonnung einer Westfassade beginnt also erst um 12 h und endet schon beim örtlichen Sonnenuntergang ( und nicht um 24 h örtliche Sonnenzeit).

Beliebig ausgerichtete Flächen sind also nur besonnt, wenn die Sonne über der örtlichen und über der äquivalenten Horizontalfläche steht. Eine Nordfassade befindet sich im Winter stets im Schatten; im Sommer "sieht" sie zwei Teiltage je am frühen Vormittag und am späten Nachmittag.

Mit Hilfe der äquivalenten Breite und Länge berechnet sich nun der Einfallswinkel auf eine geneigte Fläche wie folgt:

$$\cos(\Theta) = \cos(\varphi') \cdot \cos(\delta) \cdot (\cos(\omega_s - \omega_o) - \cos(\omega_{ss}')) \quad (4.3.11)$$

$$\cos(\omega_{ss}') = -\tan(\varphi') \cdot \tan(\delta) \quad (4.3.12)$$

- $\Theta$  : Einfallswinkel auf die geneigte Fläche       $\varphi'$  : äquivalente Breite  
 $\omega_s$  : Stundenwinkel       $\delta$  : Deklination  
 $\omega_o$  : äquivalente geographische Länge (als Stundenwinkel)  
 $\omega_{ss}'$  : Stundenwinkel des Sonnenauf- bzw. Sonnenuntergangs auf die äquivalente Fläche

## 4.4 Die extraterrestrische Sonnenstrahlung

Ausserhalb der Erdatmosphäre beträgt die Bestrahlungsstärke der Sonne im Mittel  $1368 \text{ W/m}^2$  ( $I_0$ ) (4.1.1). Eine der Sonne ausgesetzte Fläche kann diese Leistung nur empfangen, wenn sie senkrecht zur Strahlungsrichtung steht. Jede Abweichung von dieser Ausrichtung schwächt die auf die Fläche fallende Leistung ab. Im Falle einer ausserhalb der Erdatmosphäre liegenden, zur Horizontalebene parallelen Ebene wird diese Strahlung als extraterrestrische Sonnenstrahlung horizontal ( $G_{Go}$ ) bezeichnet. Diese Strahlung entspricht der maximal möglichen Strahlung, die auf der Erdoberfläche auftreten würde, wenn keine Beeinträchtigungen durch die Lufthülle und den Horizont erfolgen würden.

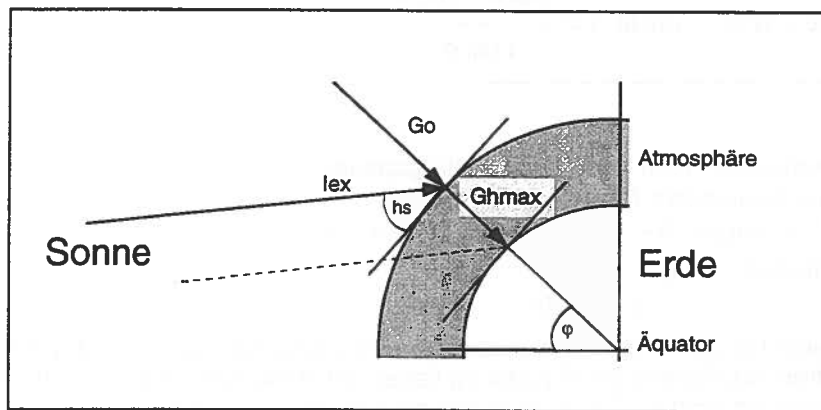


Abb. 4.4.1: Extraterrestrische Sonnenstrahlung ( $G_{Go}$ ) und maximale Strahlung bei wolkenlosem Himmel ( $G_{hmax}$ ).

Mit den Formeln für die Strahlung ausserhalb der Erdatmosphäre (4.1.2) und für den Sonnenwinkel ( $hs$ ) (4.3.1) lässt sich die extraterrestrische Sonnenstrahlung horizontal berechnen (4.4.1) (Sfeir und Guarracino, 1981). Die Monatswerte für  $47^\circ \text{N}$  Breite sind in Tabelle 4.4.1 aufgelistet (Tab. 3.1.5 und 3.1.6).

$$\begin{aligned} G_{Go} &= I_{ex} \cdot \sin(hs) & hs > 0 \\ G_{Go} &= 0 & hs \leq 0 \end{aligned}$$

(4.4.1)

dy : Tag des Jahres      hs : Sonnenwinkel

Tab. 4.4.1: Monatswerte der extraterrestrischen Strahlung  $G_{Go}$  für  $47^\circ \text{N}$  Breite (Bestrahlungsstärke:  $[\text{W/m}^2]$ , Strahlungssummen:  $[\text{MJ/m}^2]$ ); mit Formel 4.4.1 in Stundenschritten berechnet (Tab. 3.1.6).

Einheit	Jan	Feb	März	April	Mai	Juni	Juli	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr
$[\text{W/m}^2]$	130.2	192.7	283.0	378.8	451.6	482.6	468.3	408.1	320.3	223.7	146.3	109.8	299.6
$[\text{MJ/m}^2]$	349	466	758	982	1210	1251	1254	1039	830	599	379	294	9408

## 4.5 Die Strahlung auf der Erdoberfläche

### 4.5.1 Direkte und Diffuse Strahlung

Die einfallende Sonnenstrahlung unterliegt beim Durchgang durch die Atmosphäre einem Leistungsverlust. Diese Schwächung der Strahlung, die Extinktion, entsteht durch Absorption, verursacht durch den Wasserdampf der Atmosphäre und durch Streuung (diffuse Reflexion) teils an den Molekülen der Luft, teils an Staubteilchen und anderen in der Luft schwebenden Partikel.

In der folgenden Figur (Abb. 4.5.1) sind die Teilmlieder der kurzwelligigen Strahlung, welche auf die Erde auftrifft, wiedergegeben. Der Darstellung sind globale Mittelwerte von Albedo, Bewölkung, Wasserdampf- und Aerosolgehalt zu Grunde gelegt.

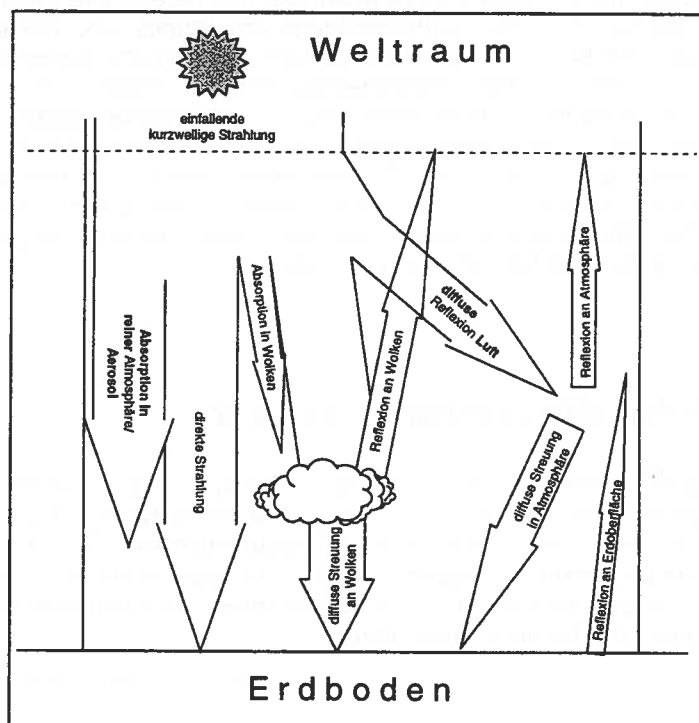


Abb. 4.5.1 Die kurzwellige Strahlung an der Obergrenze der Atmosphäre und ihre Aufteilung innerhalb (leicht abgeändert nach W. Weischet, 1983).

Von der im Jahresmittel der Erde zugestrahlten Sonnenenergie passiert durchschnittlich nur gerade  $\frac{1}{4}$  ungestört die Atmosphäre und erreicht so als direkte Sonnenstrahlung die Erdoberfläche. Knapp die Hälfte der gesamten Strahlung wird in Vorgänge der Streuung (diffuse Reflexion) einbezogen, rund  $\frac{1}{4}$  absorbiert. Knapp die Hälfte der diffus gestreuten Strahlung (rund  $\frac{1}{4}$  der gesamten einfallenden kurzwelligen Strahlung) erreicht als diffuses Himmelslicht die Erdoberfläche. Von der kurzwelligen Strahlung, die als direkte oder indirekte Strahlung die Erdoberfläche erreicht, wird ein Teil in der Größenordnung von 5% der gesamten Strahlungsenergie der Sonne reflektiert (Reflexstrahlung).

Bei den oben genannten Werten handelt es sich um globale Jahresmittel. Die Extinktion der Sonnenstrahlung beruht u.a. auf der Luftmenge, die die Sonnenstrahlung durchlaufen muss, ehe sie die Erdoberfläche erreicht. Bei konstanten atmosphärischen Verhältnissen an einer Stelle variiert diese durchstrahlte Luftmenge im Laufe eines Tages in Abhängigkeit von der Sonnenhöhe über dem Horizont. Bei gleicher Sonnenhöhe ist die direkte Sonnenstrahlung am schwächsten bei feuchter Luft und grosser Trübung (grosse Streuung und starke Absorption).

Den Strahlungsfluss direkter und diffuser Strahlung auf eine horizontale Fläche nennt man Globalstrahlung horizontal (4.5.1).

$$G_{Gh} = G_{Bh} + G_{Dh} \quad (4.5.1)$$

$G_{Gh}$  : Globalstrahlung horizontal       $G_{Bh}$  : Direktstrahlung horizontal  
 $G_{Dh}$  : diffuse Himmelsstrahlung auf horizontale Fläche

## 4.5.2 Maximale Strahlung bei wolkenlosem Himmel

Die maximale Strahlung ist definiert als die Strahlung, die an Tagen mit klarem, wolkenlosem Himmel zu erwarten ist. Dabei interessieren sowohl die Global- als auch die Diffusstrahlung. Bei wolkenlosem Himmel nimmt die Globalstrahlung maximale Werte an. Die hier berechnete maximale Globalstrahlung gibt also den grösstmöglichen Wert der Globalstrahlung pro Stunde und Höhenlage an. Kurzfristig kann die Globalstrahlung auch bei bewölktem Himmel sehr hohe Werte annehmen. Dies ist der Fall, wenn direktes Sonnenlicht zwischen hell reflektierenden Wolken ungehindert auf die Erdoberfläche trifft. Die maximale Globalstrahlung weist eine starke Höhenabhängigkeit auf. Sie steigt mit wachsender Höhe über Meer. Am oberen Rand der Atmosphäre nimmt sie den Wert der extraterrestrischen Globalstrahlung an. Die Diffusstrahlung nimmt an wolkenlosen Tagen nicht maximale, sondern minimale Werte an. Die hier berechnete Diffusstrahlung gibt also den minimalen Wert pro Stunde an. Die Diffusstrahlung weist zwar auch eine Höhenabhängigkeit auf, diese wird allerdings in unserem einfachen Modell nicht berücksichtigt.

### 4.5.2.1 Modell für die Globalstrahlung

Bei dem einfachen, flächendeckenden Modell für die maximale Globalstrahlung von Kasten (1990) fliessen nur die geographische Breite und Länge und die Meereshöhe ein (4.5.2). Die Absorption und die Streuung wird mit Hilfe des Linke'schen Trübungsfaktors ( $T_L$ ) berechnet. In diesem höhenabhängigen Trübungsfaktor fliessen die durchschnittliche Wassermenge und Staubkonzentration ein. Dabei werden die durchschnittlichen Trübungsfaktoren von Deutschland (West) für das ganze Gebiet der Schweiz übernommen.

$$G_{Gh\max}(z) = G_{Go} \cdot 0.84 \cdot \exp \left\{ -0.027 \cdot AM'(hs) \cdot \left[ \exp \left( \frac{-z}{H_R} \right) + (T_L - 1) \cdot \exp \left( \frac{-z}{H_D} \right) \right] \right\} \quad (4.5.2)$$

$$AM'(hs) = \left[ \sin(hs) + 0.15 \cdot \left( hs \cdot \frac{180}{\pi} + 3.885 \right)^{-1.253} \right]^{-1}$$

$\exp \left( \frac{-z}{H_R} \right)$  : Abnahme der Rayleigh-Streuung       $H_R$  : 8000m

$\exp \left( \frac{-z}{H_D} \right)$  : Abnahme der Dunst-Extinktion und Absorption       $H_D$  : 1250m

$hs$  :      Sonnenhöhe       $G_o$  : Extraterr. Sonnenstrahlung  
 $H_R$  :      Skalenhöhe bez. Rayleigh-Streuung       $H_D$  : Skalenhöhe bez. Dunst-Extinktion  
 $z$  :      Höhe über Meer [m]       $T_L$  : Linke'scher Trübungsfaktor auf Meereshöhe  
 $AM'(hs)$  :      Optische Luftmasse ohne Höhenabhängigkeit

Die Höhenabhängigkeit des Trübungsfaktors wird mit zwei Exponentialfunktionen berechnet: Eine Funktion beschreibt die Änderung der Rayleigh-Streuung (trockene Atmosphäre), die andere die Änderung der Absorption und der Dunst-Extinktion mit der Höhe. Die Abnahme der Rayleigh-Streuung besitzt eine Skalenhöhe von 8 km, diejenige der Dunst-Extinktion 1.25 km. Für den Trübungsfaktor auf Meereshöhe werden die durchschnittlichen, monatlichen Trübungsfaktoren von Deutschland benutzt (Tab. 4.5.1) (Kasten, 1984).

Tab. 4.5.1: Mittlere monatliche Linke'sche Trübungsfaktoren ( $T_1$ ) von Deutschland (Kasten, 1984).

Monat	Jan	Feb	Mar	Apr	Mai	Juni	Juli	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
Trübungsfaktoren	3.8	4.2	4.8	5.2	5.4	6.4	6.3	6.1	5.5	4.3	3.7	3.6

Zwischen den Monatswerten, die als Wert für die Monatsmitte genommen werden, wird linear interpoliert.

Die Resultate sind in Tab. 3.1.8 und Abb. 3.1.2 abgebildet.

Die Validierung dieses Modells an 3 Standorten (Lausanne, Bern und Davos) ergibt sehr gute Resultate (BEW, 1995). Einzig an inneralpiner, trockenen Standorten werden die Maximalwerte der Globalstrahlung leicht unterschätzt. Abb. 4.5.2 zeigt, dass die, mit dem gewählten Modell berechnete, maximale Globalstrahlung gut die Hüllkurve der gemessenen Globalstrahlung wiedergibt.

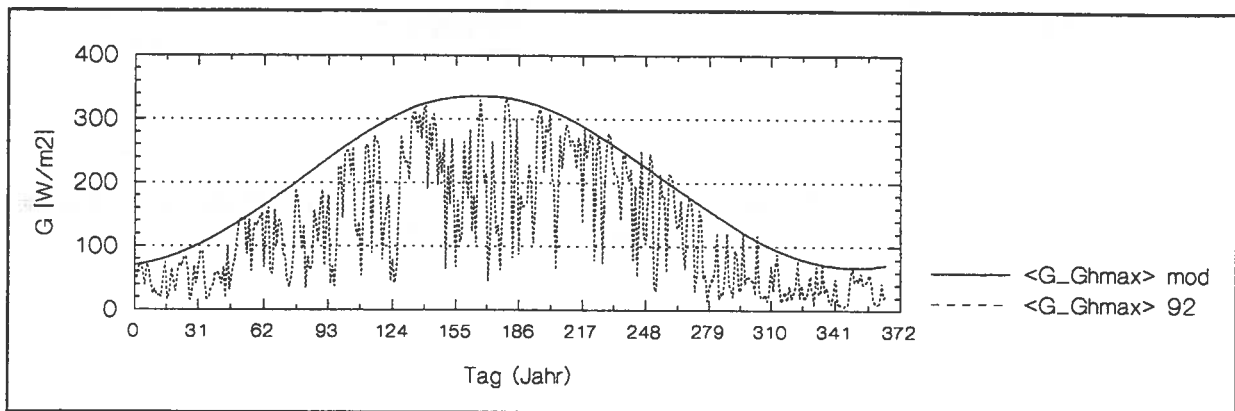


Abb. 4.5.2: Tagesmittel der maximalen Globalstrahlung von **Bern-Liebfeld**: Modell von Kasten ( $\langle G_{Ghmax} \rangle_{\text{mod}}$ ) und gemessene Werte von 1992 ( $\langle G_{Ghmax} \rangle_{92}$ ).

## 4.5.2.2 Modell für die Diffusstrahlung

Da das Modell von Perez (1991), mit dem in der *METEONORM* die Diffusstrahlung aus der Globalstrahlung berechnet wird, gerade bei klarem Himmel die grössten Fehler aufweist, wurde für die Diffusstrahlung an Schönwettertagen ein Modell von Ineichen (1983) (4.5.3) verwendet. Dieses ist für Genf angepasst worden, stimmt aber für den grössten Teil der Schweiz gut. Die Diffusstrahlung nimmt bei wolkenlosem Himmel - ganz im Gegensatz zur Globalstrahlung - minimale Werte an. Die Resultate sind in Tab. 3.1.9 und Abb. 3.1.2 wiedergegeben. Die Abbildung 4.5.3 zeigt den Verlauf der Tagesmittel der Modellwerte im Vergleich mit gemessenen Werten von 1990. Wie eine kurze Validierung zeigte, liefert das Modell gute Werte für das Mittelland. Für höher gelegene Stationen wird die Diffusstrahlung überschätzt.

$$G_{Dh\ min} = 160 \cdot [\sin(hs)]^{0.8} \cdot (1 - 0.428 \cdot \sin(\delta)) \quad (4.5.3)$$

$\delta$ : Deklination

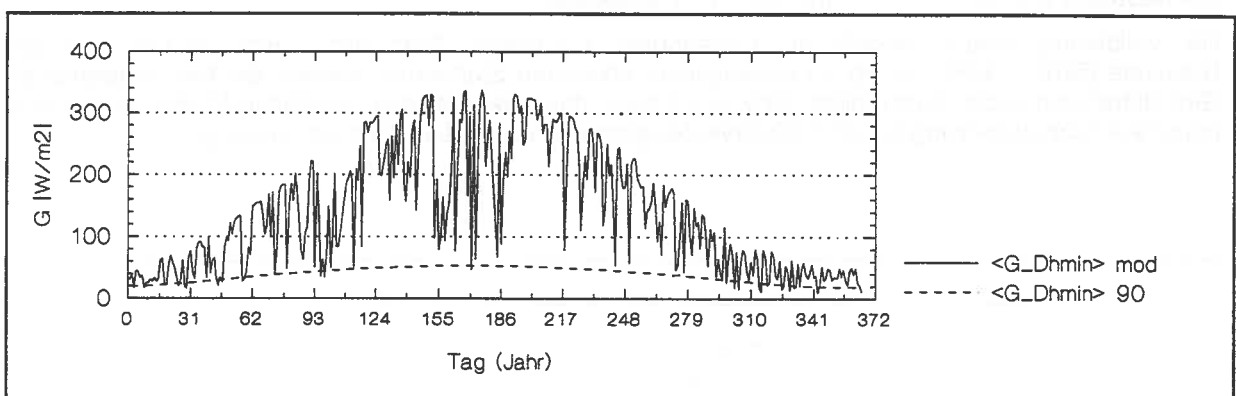


Abb. 4.5.3: Tagesmittel der Schönwetter-Diffusstrahlung von **Payerne**: Modell von Ineichen (<G\_Dhmin> mod) und gemessene Werte von 1990 (<G\_Dhmin> 90)

## 4.6 Raummodelle für Globalstrahlung und Temperatur

### 4.6.1 Interpolation der Globalstrahlung

#### 4.6.1.1 Klimatische Voraussetzungen

Das Strahlungsangebot der Schweiz ist geprägt durch das vielfältige Relief. Grossräumig sind es die Alpen und der Jura, kleinräumig die Bergketten und Täler, die das Strahlungsklima bestimmen.

Im Winter sind die Unterschiede im Sonnenenergie-Angebot hauptsächlich durch die Nebelverhältnisse geprägt. Im Mittelland bildet sich häufig ein Kaltluftsee mit einer geschlossenen Nebeldecke. Diese reicht oft bis in die Alpentäler hinein. Demgegenüber sind die grossen inneralpinen Täler meist nebelfrei. Die Strahlung nimmt mit der Höhe stark zu.

Im Sommer werden die Unterschiede des Sonnenenergie-Angebotes primär durch die Bewölkung bestimmt. Die häufig von Nordwesten her anströmenden Luftmassen stauen sich bei der Ueberquerung des Juras und der Alpen und erzeugen dadurch eine stärkere Bewölkung in erhöhten Lagen insbesondere auf der (dem Wind zugekehrten) Luvseite der Gebirge. Die Westschweiz, die mehr im Einflussbereich des sommerlichen atlantischen Hochdruckgebiets liegt, ist generell strahlungsreicher als die Ostschweiz. Die Südschweiz liegt in begünstigter Leelage. Das Wallis, welches auf allen Seiten von Bergen abgeschirmt ist, weist die höchsten Besonnungswerte auf.

#### 4.6.1.2 Datenbasis

Voraussetzung für die Bestimmung der mittleren Globalstrahlung an einem beliebigen Ort der Schweiz ist ein dichtes Messnetz mit langjährigen Messungen. Diese Bedingung ist nun mittlerweile erfüllt: Seit Anfang der Achtzigerjahre wird an über 50 automatischen Stationen der SMA (Anetz-Stationen) in der Schweiz die Globalstrahlung gemessen. Mit der Wahl der Datenbasis von 1983-92 und der Ausdehnung der Messreihen an 5 Stationen, die zwischen 1983 und 1988 in Betrieb genommen wurden, stehen uns von 64 Stationen verlässliche Globalstrahlungswerte zur Verfügung (Tab. 3.3.3).

Bei der Verwendung von Globalstrahlungsdaten spielt der Horizont der Station eine wichtige Rolle. Uebersteigt der Horizont an einer Stelle im Raum von Nordost über Süd bis Nordwest  $10^\circ$ , sind die Strahlungswerte zumindest in einzelnen Monaten nennenswert vermindert. Dieses Kriterium tritt bei 26 Stationen im Alpenraum auf. Damit die Strahlungsdaten nicht nur für ein sehr kleines Gebiet repräsentativ sind (Kap. 3.2) und als Stützpunkte für die Interpolation gebraucht werden können, muss zuerst der Horizonteinfluss eliminiert werden (vgl. Tab. 3.3.4).

#### 4.6.1.3 Interpolationsmodell für die Globalstrahlung

Um Strahlungswerte für beliebige Standorte zu erhalten, müssen die Stationswerte interpoliert werden. Die Strahlung hängt stark von der Meereshöhe ab. Deshalb kann die räumliche Interpolation nicht einfach mit den gegebenen Stützpunktwerten, die von Stationen mit unterschiedlicher Meereshöhe stammen, berechnet werden (Zelenka et al, 1992). Um den grossen Einfluss der Höhe (und damit die ausgeprägte Topographie der Schweiz) zu berücksichtigen, werden die Stationswerte zuerst mit regionalen, monatlichen Höhengradienten auf verschiedene Höhenniveaus extrapoliert und dann die zweidimensionale Interpolation auf diesen Niveaus durchgeführt. Als Resultat erhält man Strahlungswerte für Gitterpunkte auf den Höhenniveaus. Der eigentliche Wert eines beliebigen

Standortes erhält man durch Interpolation zwischen den 8 den Standort umgebenden Gitterpunkten (vgl. Abb. 4.6.1).

Die Höhengradienten der Strahlung werden mit Hilfe von regionalen, monatlichen Regressionsgeraden bestimmt. Die 16 Klimaregionen der **MN '85** (Tab. 4.6.1 und Abb. 3.3.1) (Kunz und Volz, 1984) können aufgrund der neuen Daten und Stationen auf 11 verschiedene regionale, monatliche Höhengradienten mit maximal einem Knick (Tab. 3.5.1) zusammengefasst werden. Die Höhengradienten sind im Winter markant. In den Sommermonaten weist in einigen Regionen die Sonnenstrahlung keine Höhenabhängigkeit auf. Mit den Höhengradienten werden die Stationswerte auf 9 Höhenniveaus (alle 500 m von 0 bis 4000 m) berechnet.

Auf diesen 9 Niveaus wird dann die eigentliche flächenhafte Interpolation mit Hilfe des Kriging-Verfahrens durchgeführt. Anisotropien im Strahlungsfeld werden mittels Koordinatentransformationen und -Rücktransformationen berücksichtigt. Mittels Interpolationsverfahren werden in einem 5x5 km Raster Stützpunkte berechnet.

Resultat dieser zwei Schritte ist eine dreidimensionale Tabelle, welche die Sonnenstrahlung in einer räumlichen Auflösung von 5 km horizontal und 500 Meter vertikal enthält (Abb. 4.6.1). Diese Tabelle ist im Computerprogramm enthalten und dient zur Berechnung der Strahlung für beliebige Standorte. Dabei werden jeweils die 8 nächsten Gitterpunkte (des umgebenden Quaders) verwendet, wobei die Höhe mit dem Faktor 100 gewichtet wird. Die eigentliche Interpolation geschieht mit dem Ansatz der inversen Distanz (Gewicht:  $\text{Distanz}^{-1}$ ). Dieses Verfahren wurde auch angewandt, um die Karten (Abb. 3.5.2 bis 3.5.13) zu erstellen. Dabei wurde für jeden Punkt eines digitalen Höhenmodells (Maschenweite 250 m) die monatliche Globalstrahlung (Gh) berechnet.

Gemittelt über alle Stationen und Monate beträgt der durchschnittliche Fehler der Interpolation (mean biased error, MBE)  $-0.1 \text{ W/m}^2$  und die mittlere Abweichung (root mean square error, RMSE)  $6.0 \text{ W/m}^2$ , d.h. 95% aller Werte liegen im Intervall von  $\pm 12 \text{ W/m}^2$  um den Messwert. Der MBE ist das ganze Jahr hindurch sehr klein. Die mittlere Abweichung ist im Winter kleiner (um  $3 \text{ W/m}^2$ ) und im Sommer grösser (um  $8 \text{ W/m}^2$ ), so dass die relative mittlere Abweichung immer etwa 2 bis 3% des Messwertes ausmacht.

Tab. 4.6.1: Einteilung der Schweiz in 11 Strahlungsregionen. Die Regionen mussten auf Grund der Standorte der neuen Anetz-Stationen leicht modifiziert werden (Abb. 3.3.1).

Region	Region der alten METEONORM	Bezeichnung
1	1 und 2	Nordwestlicher Jura
2	3	Westjura und Genferseebecken
3	4	Westalpen und Unterwallis
4	5 und 7	Wallis Nordseite
5	6	Wallis Südseite
6	8 und 9	(Nord- und Süd-) Tessin und Bündner Südtäler
7	10	Graubünden
8	11 und 12	Ostschweizer-, Zentralschweizer- und Berner Alpen
9	13 und 14	Westliches und Berner Mittelland und Voralpen
10	15	Zentrales Mittelland und Voralpen
11	16	Nordöstliches Mittelland

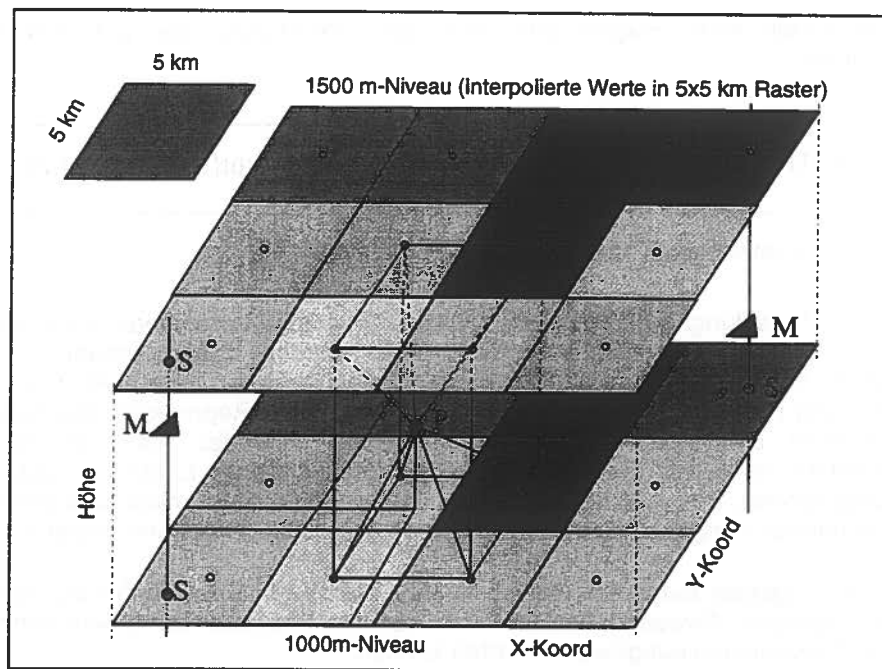


Abb. 4.6.1: Skizze zur Interpolationsmethode: Die Werte der Messstationen (M) werden mittels Höhengradienten auf die Höhenniveaus umgerechnet (S: Stützpunkte der Interpolation). Auf den Höhenniveaus wird interpoliert und die Werte in 5x5 km Raster gespeichert. P ist der Standort für den die Strahlung interpoliert werden soll. Die Werte werden aus den 8 den Punkt umgebenden Rasterwerten berechnet.

## 4.6.2 Interpolation der Temperatur

### 4.6.2.1 Einleitung

Die Datenbasis der Interpolation der Temperatur bilden - wie bei der Globalstrahlungsinterpolation - die Jahre 1983-92. Von 64 Anetz-Stationen liegen 10-jährige Monatsmittelwerte vor (vgl. Tab. 3.3.2).

Bei der detaillierten Überprüfung des in der *MN '85* verwendeten sia-Modells wurden erhebliche Mängel festgestellt (BEW, 1985). Deshalb musste für die Interpolation der Temperatur ein neues Modell gefunden werden. Im Folgenden sind die 3 wichtigsten Gründe beschrieben, die gegen den erneuten Gebrauch des sia-Modells sprechen.

1. Die meisten der Basisstationen des alten Modells sind heute keine Anetz-Stationen und können deshalb nur schwerlich auf die neue Zeitperiode 1983-92 umgerechnet werden.
2. Die Zuordnung der Basisstation ist willkürlich und für Standorte, die nicht in der Tabelle aufgelistet sind, nur mit Fachwissen zu bestimmen.
3. Beim Vergleich der alten Methode mit den neuen Daten zeigten sich für gewisse Ortschaften Abweichungen von bis gegen 3 °C. Bei Gipfelstationen sind die Abweichungen zum Teil noch grösser.

### 4.6.2.2 Interpolationsmodell für die Temperatur

Bei der Temperaturinterpolation wird eine Methode verwendet, die der Strahlungsinterpolationsmethode der *MN '85* sehr ähnlich ist: Mit den von den lokalen Geländeeinflüssen korrigierten Stationswerten der einzelnen Regionen werden regionale Höhengradienten der Temperatur berechnet. Von diesen wird dann angenommen, dass sie, abgesehen von den wiederum zu berücksichtigenden lokalen Einflüssen, für die ganze Region gelten (4.6.1). Das bedeutet, dass für die

gleiche Höhe innerhalb einer Region und ohne Berücksichtigung des Lokalklimas die gleiche Monatstemperatur gilt.

$$T_{a_{\text{Standort}}}(\text{Region, Höhe, Lage}) = T_{a_0}(\text{Region}) + \text{Höhe} \cdot \text{Gradient}(\text{Region}) + \text{Lage} \quad (4.6.1)$$

$T_{a_0}$ : Regionaler Basiswert der Temperatur auf Meereshöhe

Dabei werden die 11 Strahlungsregionen (Tab. 4.6.1) zu 9 Temperaturregionen zusammengefasst: Die Regionen 4 und 5 und die Regionen 3 und 8 wurden zusammengelegt. In diesen 9 Temperaturregionen lassen sich für alle Monate die Höhenkorrekturen berechnen (Tab. 3.5.2). In den meisten Monaten und Regionen liegt das Bestimmtheitsmass der Regression über 0.99. Die grösste Schwierigkeit bereitet der starke Einfluss des lokalen Geländes, der vor der Berechnung herausgefiltert werden muss. Für die Bestimmung der Grösse dieses Einflusses wurde auf das alte sia-Modell zurückgegriffen. Einige Kategorien (z.B. Gipfelage) konnten nicht verwendet werden. Für die extremen Kaltluftseen (Engadin, Goms) musste eine zusätzliche Kategorie eingeführt werden.

Die Zuordnung des Lagetyps eines Standortes ist sehr heikel. Ein Grund dafür ist, dass in der Natur die Grenzen der Lagetypen fließend sind und sich mehrere Einflüsse überlagern können, im Modell aber nur einzelne Extremlagen ausgewählt werden können.

Die Korrekturwerte (Tab. 4.6.2) bewegen sich zwischen  $-3.9\text{ °C}$  und  $+3.7\text{ °C}$ . Der maximale Unterschied in einem Monat beträgt  $7.5\text{ °C}$  (extremer Kaltluftsee oder Südhang auf der Alpensüdseite oder im Südwallis im Dezember). Ein solcher Temperaturunterschied wird bei einem durchschnittlichen Gradienten von  $0.5\text{ °C/km}$  erst bei einem Höhenunterschied von 1500 Metern erreicht. Dies macht deutlich, wie stark der lokale Einfluss sogar gegenüber dem starken Einfluss der Höhe zu gewichten ist. Demgegenüber ist der horizontale Gradient fast vernachlässigbar, was auch die relativ grossen Temperaturregionen zulässt.

Tab. 4.6.2: Die monatlichen lokalen Lagekorrekturwerte in [°C] (leicht modifiziertes sia-Modell)

Nr	Gebiet	Lage	Jan	Feb	Mar	April	Mai	Juni	Juli	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
0	A	frei	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
3	A	Mulde	-1.6	-0.7	-0.5	-0.4	-0.4	-0.3	-0.3	-0.2	-0.2	-0.4	-0.7	-1.2
10	A	Kaltluftsee	-3.9	-2.8	-1.7	-0.4	-0.4	-0.3	-0.3	-0.2	-0.2	-1.0	-2.2	-3.8
4	A	See	1.2	0.8	0.0	-0.5	-0.7	-0.7	-0.4	-0.1	0.4	0.6	0.7	1.1
5	A	Stadt	1.1	1.0	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.9	0.9	0.9	1.1	1.2
1	N	Südhang	1.8	1.2	1.0	0.8	0.8	0.6	0.8	0.8	1.1	1.4	1.7	1.7
6	S	Südhang	3.4	2.9	1.9	1.3	1.3	1.3	1.5	1.7	1.8	2.1	2.8	3.7
8	N	W/E-Hang	0.9	1.8	0.6	0.5	0.4	0.4	0.3	0.4	0.4	0.6	0.7	0.9
9	S	W/E-Hang	1.7	1.5	1.0	0.7	0.7	0.7	0.8	0.9	0.9	1.1	1.4	1.9
2	N	Tal	0.3	0.3	0.2	0.2	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1	0.2	0.2	0.2
7	S	Tal	1.8	1.6	1.1	1.0	1.0	0.7	0.9	1.0	1.0	1.2	1.6	2.1

**Gebiet:** N: Alpennordseite

A: Allgemein

S: Alpensüdseite und Südseite des Wallis

**Lage: Mulde:**

Kleine bis mittlere Mulden, in denen sich, vor allem im Winter, Kaltluftseen bilden oder die sehr schattig sind. Hauptsächlich im Jura und den Alpen (z.B.: Anetz-Stationen La Chaux-de-Fonds, Hinterrhein und Visp). Kaltluftseen im Mittelland gehören nicht zu dieser Klasse, da die Temperaturen dort zu wenig vermindert sind (nur im Tagesgang spürbar).

**See:**

Seeuferbereich von grösseren Seen. Der Standort sollte nicht weiter als 1 km vom Ufer entfernt sein und der See muss eine gewisse Grösse erreichen (z.B.: Anetz-Stationen Pully und Lugano).

**Stadt:**

Tritt nur im Zentrum von grösseren Städten auf (mehr als 100'000 Einwohner: Genf, Lausanne, Bern, Basel, Zürich).

**Kaltluftsee:**

In diese Kategorie fallen die grossen Kaltluftseen vom Oberengadin und vom Goms.

**Beispiel:**

*Mitteltemperatur vom März in Feutersoey (bei Gstaad) ?*

Strahlungsregion 8; Höhe über Meer: 1130 m; Lage: Mulde (Kaltluftsee im Talboden, jedoch nicht stark genug für die Klasse Kaltluftsee). Basistemperatur der Strahlungsregion: 7.7 °C, Gradient: -5.6 °C/km (Tabelle 3.5.2) = 1.4 °C Mitteltemperatur ohne Lagekorrektur. Lagekorrektur: Mulde (A): -0.5 °C = korrigierte Mitteltemperatur März: 0.9 °C.

Die Lageklassen der Temperaturinterpolation decken sich nur zum Teil mit den Lageklassen des Temperaturgenerators (Tab. 4.9.5). Die entscheidenden Faktoren für die Lagekorrektur von Monatswerten und die Berechnung von Stundenwerten sind nicht genau die gleichen. So hat zum Beispiel die Lageklasse „Gipfel“ bei der Interpolation keine Änderung der Monatswerte zur Folge, bei der Berechnung der Stundenwerte spielt sie jedoch eine grosse Rolle, da die Tagesgänge auf Gipfeln flacher sind als an Standorten mit der Lageklasse „frei“.

Im Computerprogramm der **METEONORM** kann eine Kombination von beiden Lagespezifikationen eingegeben werden, damit beide Lageklassen definiert sind. Tab. 4.6.3 zeigt die möglichen Kombinationen der beiden Spezifikationen. Viele der 40 Kombinationen ergeben sich aus der Meereshöhe und der Lage bezüglich der Alpen. Dadurch können die 40 Klassen mit nur 14 Lagedefinitionen (Tab. 2.2.2) bestimmt werden.

Tab. 4.6.3: Definition der 40 Lagespezifikationen. Diese sind definiert durch die Kombination der Lageklassen der Interpolation (I<sub>i</sub>) mit den Tagesgangregionen der Stundenwertgenerierung (G<sub>i</sub>).

Höheniveau	Alpennordseite (N)	Nr	Alpen (N und S)	Nr	Alpensüdseite (S)	Nr
0 m	1. frei: (G1, I0)	1	1. frei: (G5, I0)	7	1. frei: (G6, I0)	35
	2. Stadt: (G3, I5)	2	2. See: (G4, I4)	3	2. See: (G6, I4)	36
	3. See: (G4, I4)	3	3. Inneralpines Tal (G7, I0)	16	3. Südhang: (G6, I6)	37
	4. Mulde: (G2, I0)	4	4. Föhntal (N): (G8, I2)	17	4. W/E-Hang: (G6, I9)	38
	5. Südhang: (G1, I1)	5	5. Föhntal (S): (G7, I7)	18		
500 m	6. W/E-Hang: (G1, I8)	6	6. Randalpines Tal: (G9, I2)	19	<-- Alpen (S)	
			7. Mulde: (G7, I3)	39		
			8. Südhang (N): (G5, I1)	9		
			9. W/E-Hang (N): (G5, I8)	10		
700 m	7. frei: (G5, I0)	7	10. Südhang (S): (G5, I6)	20		
	8. Tal: (G2, I2)	8	11. W/E-Hang (S): (G5, I9)	21		
	9. Mulde: (G2, I0)	4	12. Talhang Süd (N): (G7, I1)	22		
	10. Südhang: (G5, I1)	9	13. Talhang W/E (N): (G10, I8)	23		
	11. W/E-Hang: (G5, I8)	10	14. Talhang Süd (S): (G7, I6)	24		
			15. Talhang W/E (S): (G7, I9)	25		
1000 m	1. frei: (G13, I0)	11	1. frei: (G13, I0)	11		
	2. Mulde: (G12, I3)	12	2. Tal: (G10, I0):	26		
	3. Gipfel: (G14, I0)	13	3. Mulde: (G10, I3)	40		
	4. Südhang: (G13, I1)	14	4. Kaltluftsee: (G11, I10)	27		
	5. W/E-Hang: (G13, I8)	15	5. Gipfel: (G14, I0)	13		
			6. Südhang (N): (G13, I1)	14		
			7. W/E-Hang (N): (G13, I8)	15		
			8. Südhang (S): (G13, I6)	28		
			9. W/E-Hang (S): (G13, I9)	29		
			10. Talhang Süd (N): (G10, I1)	30		
			11. Talhang W/E (N): (G10, I8)	31		
1700 m	--> Alpen (N)		12. Talhang Süd (S): (G10, I6)	32		
			13. Talhang W/E (S): (G10, I9)	33		
2000 m			1. frei: (G14, I0)	13		
			2. Tal: (G10, I0)	26		
			3. Mulde: (G10, I3)	40		
3000 m			1. frei: (G15, I0)	34		

## 4.7 Die Strahlung auf geneigte Flächen

Nur in wenigen Fällen werden Strahlungsdaten auf horizontale Flächen benötigt. Ein Kollektor, eine Gebäudewand oder ein Dach „sehen“ die Sonne unter einem anderen Blickwinkel. Sowohl für die Monatswerte, wie für die Stundenwerte werden Methoden gebraucht, die es erlauben - ausgehend von bekannten Strahlungsdaten - die Strahlungsverhältnisse auf beliebig ausgerichtete Flächen umzurechnen.

Im vorliegenden Kapitel wird von der sonst in diesem Buch verwendeten Notation abgewichen. Im Interesse einer besseren Lesbarkeit wird nur die Strahlungsart, nicht aber die Strahlungsgrösse bezeichnet.

### 4.7.1 Grundkonzept der Berechnung

Wie bereits in Kap. 4.5.1 beschrieben, setzt sich die Globalstrahlung horizontal aus den beiden Teilen direkte Strahlung und diffuse Strahlung zusammen (vgl. Gleichung 4.5.1).

Bei der Globalstrahlung auf eine geneigte Fläche ( $G_k$ ) kommt zusätzlich noch die diffuse Reflexstrahlung hinzu. Die Fläche „sieht“ in geneigtem Zustand auch einen Teil der Erdoberfläche, die je nach Beschaffenheit mehr oder weniger der einfallenden Strahlung reflektiert.

$$G_k = B_k + D_{k_{\text{Him}}} + D_{k_{\text{Ref}}} \quad (4.7.1)$$

$G_k$  : Globalstrahlung geneigt

$D_{k_{\text{Him}}}$  : diffuse Himmelsstrahlung auf geneigte Fläche

$B_k$  : Direktstrahlung

$D_{k_{\text{Ref}}}$  : diffuse Reflexstrahlung auf geneigte Fläche

Üblicherweise - und auch in **METEONORM** - sind die Globalstrahlung horizontal ( $G_h$ ) und die Diffusstrahlung horizontal ( $D_h$ ) als Ausgangsgrössen bekannt. Aus diesen ist die Globalstrahlung auf eine geneigte Fläche ( $G_k$ ) zu bestimmen. Dies geschieht in folgenden Schritten.

Die direkte Strahlung auf geneigte Flächen lässt sich nach folgender Formel berechnen:

$$B_k = \frac{G_h - D_h}{\sin(h_s)} \cdot \cos(\Theta) \quad (4.7.2)$$

$G_h$  : Globalstrahlung horizontal

$D_h$  : Diffusstrahlung horizontal

$h_s$  : Sonnenhöhe

$\Theta$  : Einfallswinkel der Strahlung auf die geneigte Fläche

Die Diffusstrahlung auf eine geneigte Fläche setzt sich aus den beiden Teilen Himmelsstrahlung und Reflexstrahlung zusammen.

$$D_k = D_{k_{\text{Him}}} + D_{k_{\text{Ref}}} \quad (4.7.3)$$

$D_k$  : Diffusstrahlung geneigt

Diese Diffusstrahlungsanteile werden folgendermassen berechnet:

$$Dk_{\text{Him}} = Dh \cdot \underbrace{\frac{1 + \cos(\beta)}{2}}_{\substack{\text{isotropic diffuse} \\ \text{view factor} \\ (\text{Rdiso})}} \quad (4.7.4)$$

$$Dk_{\text{Rex}} = \underbrace{\frac{1 - \cos(\beta)}{2}}_{\substack{\text{isotropic reflex} \\ \text{view factor} \\ (\text{Rriso})}} \cdot (\alpha \cdot Gh) \quad (4.7.5)$$

$\alpha$ : Albedo       $\beta$ : Neigungswinkel der Fläche

#### 4.7.1.1 Modifikation der Direktstrahlung durch einen hohen Horizont

Die Beeinflussung der Direktstrahlung durch einen hohen Horizont ist offensichtlich. Verschwindet die Sonne hinter dem Horizont, fällt für die betrachtete Fläche auch die Direktstrahlung weg.

Das bedeutet, dass die betrachtete Fläche weniger Direktstrahlung empfängt, als sie mit astronomischem Horizont empfangen würde.

Bei der Berechnung von Stundenwerten muss deshalb für jede Stunde geprüft werden, ob sich die Sonne über oder unter (hinter) dem Horizont befindet. Ist sie durch den Horizont verdeckt, so ist die Direktstrahlung auf die betrachtete Fläche Null.

Die stündliche Direktstrahlung auf eine geneigte Fläche wird in folgenden Fällen Null gesetzt:

1. Wenn die Sonne noch nicht aufgegangen bzw. bereits untergegangen ist ( $h_s < 0$ ).
2. Wenn die Sonne *hinter* der Fläche steht ( $\cos(\Theta) < 0$ ;  $\Theta$ : = Einfallswinkel der Strahlung auf die geneigte Fläche)
3. Wenn sich die Sonne hinter dem Horizont befindet ( $h_s < \text{Höhe des Horizontes}$ ). Es muss also für das Azimut und die Sonnenhöhe in jeder Stunde geprüft werden, ob die Horizonthöhe grösser oder kleiner ist.

#### 4.7.1.2 Modifikation der Diffusstrahlung durch einen hohen Horizont

Wie bereits in Kap. 4.7.1 beschrieben, setzt sich die von einer geneigten Fläche empfangene Diffusstrahlung aus dem Anteil an Himmelsstrahlung und demjenigen an Reflexstrahlung zusammen. Je nach Neigung ( $\beta$ ) der Fläche „sieht“ diese mehr oder weniger Himmel respektive mehr oder weniger Boden. Den Anteil des Himmels, den die geneigte Fläche „sieht“ wird „isotropic diffuse view

factor“ genannt. Entsprechend wird der von der Fläche gesehene Anteil des Bodens „isotropic reflex view factor“ genannt.

Die beiden "view factors" ergänzen sich auf 1. Das heisst, wenn die Fläche die ganze Himmelshalbkugel sieht (also horizontal ist,  $\cos(\beta) = 1$ ), so sieht sie nichts vom Boden. Entsprechend ist  $R_{\text{diso}}$  (isotropic diffuse view factor) 1 und  $R_{\text{riso}}$  (isotropic reflex view factor) 0. Daraus folgt, dass bei bekanntem  $R_{\text{diso}}$  auch  $R_{\text{riso}}$  berechnet werden kann.

$$R_{\text{riso}} = 1 - R_{\text{diso}}$$

(4.7.6)

$R_{\text{riso}}$  : isotropic reflex view factor

$R_{\text{diso}}$  : isotropic diffuse view factor

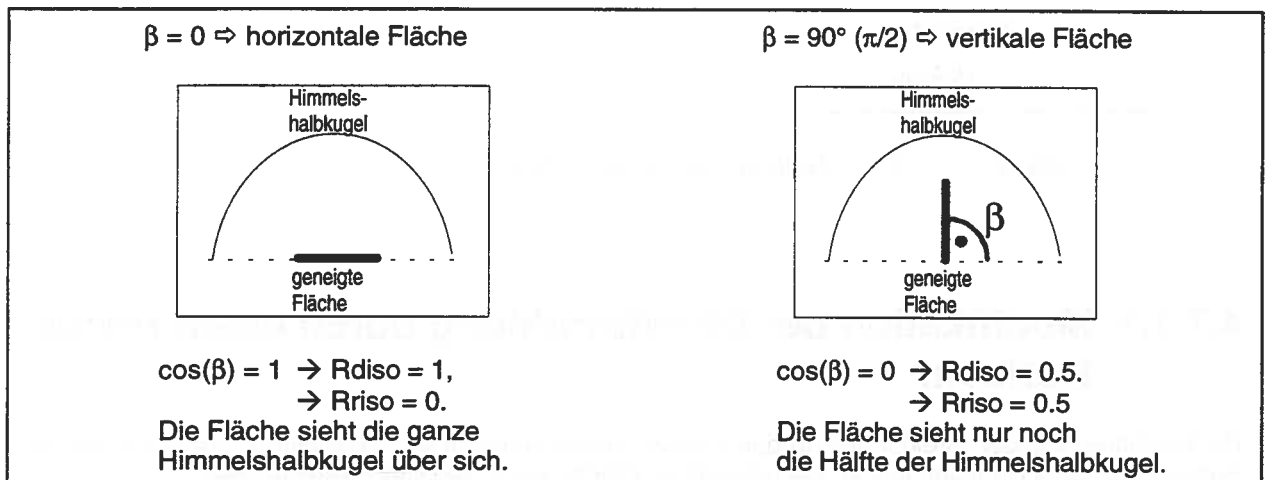


Abb. 4.7.1: Darstellung der "isotropic view factors" für horizontale und vertikale Flächen

Der "isotropic diffuse view factor" kann, solange nur ein astronomischer Horizont vorhanden ist (Abb. 4.7.1), Werte zwischen 0.5 und 1.0 annehmen.

Ist ein hoher Horizont vorhanden, so ist für die geneigte Fläche mehr Boden und weniger Himmel sichtbar. Dies bedingt, dass die „view factors“ beim Vorhandensein eines hohen Horizontes modifiziert werden müssen. Der hohe Horizont ist normalerweise als geschlossener Polygonzug erfasst (Stützpunkte in Azimut und Höhe). Mittels einer numerischen Integration kann der Anteil des Himmels berechnet werden, den die geneigte Fläche trotz des Horizontes noch sieht. Aus dem so ermittelten „isotropic diffuse view factor“ lässt sich gemäss obigen Angaben der „isotropic reflex view factor“ berechnen.

Da die isotropic view factors nur von der Flächenneigung, deren Exposition und dem Horizont selbst abhängen, müssen sie für eine **bestimmte** Fläche mit **festgelegtem** Horizont nur einmal berechnet werden.

## 4.7.2 Berechnung von Monatsmittelwerten

Häufig ist an einem bestimmten Ort nur die durchschnittliche monatliche Globalstrahlung horizontal ( $G_h$ ) bekannt. Um jedoch die Strahlung von horizontalen auf geneigte Flächen umzurechnen, oder einen Horizont miteinzubeziehen, muss auch die durchschnittliche monatliche Diffusstrahlung horizontal bekannt sein.

### 4.7.2.1 Berechnung der monatlichen Diffusstrahlung horizontal

Die primäre Datenbasis in **METEONORM** sind monatliche Werte der Globalstrahlung horizontal für beliebige Standorte. Die Berechnung auf geneigte Flächen erfordert Angaben über die Diffusstrahlung. Zur Berechnung der monatlichen Diffusstrahlung auf horizontale Flächen wird oft die lineare Gleichung nach Page (1961) vorgeschlagen, so auch von Al-Hamadani (1989) und Gopinathan (1988). Dabei wird das Verhältnis zwischen der Diffus- und der Globalstrahlung mit Hilfe einer linearen Regression mit dem Clearness index (KT) abgeschätzt. Der Clearness index (KT) stellt das Verhältnis zwischen der monatlichen Globalstrahlung horizontal und der extraterrestrischen Sonnenstrahlung dar.

$$\frac{D_h}{G_h} = a + b \cdot \frac{G_h}{G_0} \quad (4.7.7)$$

D<sub>h</sub> : monatliche Diffusstrahlung horizontal

G<sub>h</sub> : monatliche Globalstrahlung horizontal

G<sub>0</sub> : extraterrestrische Sonnenstrahlung (vgl. Tab. 4.4.1)

a, b : Regressionskoeffizienten (tabelliert für die vier Referenzstationen in Tab. 4.7.1)

Mit Hilfe dieser Gleichung kann die Diffusstrahlung horizontal bestimmt werden, falls die Regressionskoeffizienten bekannt sind. Die Regressionskoeffizienten (Tab. 4.7.1) wurden für die vier Stationen Davos, Genève-Cointrin, Zürich-Kloten und Locarno-Monti bestimmt (BEW, 1985).

Tab. 4.7.1: Regressionskoeffizienten der Referenzstationen

	Davos	Genève-Cointrin	Zürich-Kloten	Locarno-Monti
a	1.0	0.9	1.07	0.76
b	-1.01	-0.9	-1.18	-0.64

Die monatliche Diffusstrahlung eines beliebigen Standortes in der Schweiz kann nun mit Hilfe der in Tabelle 4.7.1 aufgeführten Regressionskoeffizienten folgendermassen bestimmt werden: Zuerst muss die Referenzstation bestimmt werden. Als geeignetes Kriterium gilt die Ähnlichkeit des Globalstrahlungsverlaufes zwischen dem betreffenden Standort und der Referenzstation. Ein Mass dieser Ähnlichkeit ist die Summe der quadratischen Abweichungen der relativen Globalstrahlungen (Clearness index) (4.7.8).

$$\sigma^2 = \sum_1^{12} (KT_{\text{Standort}} - KT_{\text{Referenzstation}})^2$$

$$KT = \frac{G_h}{G_0} : \text{Clearness index; rel. Globalstrahlung} \quad (4.7.8)$$

Als Referenzstation wird diejenige Station mit der kleinsten Varianz ( $\sigma^2$ ) gewählt. Somit sind auch die Regressionskoeffizienten bestimmt, und die monatliche Diffusstrahlung kann mit der Gleichung (4.7.7) berechnet werden.

Somit kann auch die Diffusstrahlung horizontal für jeden beliebigen Standort in der Schweiz berechnet werden.

## 4.7.2.2 Die monatliche Strahlung auf geneigte Flächen

### Einfaches Strahlungsmodell für Monatsmittelwerte (isotropes Drei-Strahlungskomponenten-Modell)

Das isotrope Drei-Strahlungskomponenten-Modell (BEW, 1985) geht von der Annahme aus, dass die Globalstrahlung in mindestens drei Komponenten zerlegt werden kann:

- Die Strahlung von der Fläche der Sonnenscheibe (*direkte Strahlung*)
- Die Strahlung aus allen Richtungen des Himmelsgewölbes (*diffuse Strahlung*)
- Die Strahlung aus der Umgebung des Empfängers (hauptsächlich direkte und diffuse *Reflexionsstrahlung* vom Boden, von Gebäuden, etc.)

Die Globalstrahlung auf eine Ebene mit dem Neigungswinkel ( $\beta$ ) und dem Azimut ( $\gamma$ ) zu einem bestimmten Zeitpunkt ist dann:

$$G_k = \underbrace{\frac{(G_h - D_h)}{B_h} \cdot \frac{\cos(\Theta)}{\sin(h_s)}}_{B_k} + \underbrace{\frac{1 + \cos(\beta)}{2} \cdot D_h}_{D_{k_{Him}}} + \underbrace{\frac{1 - \cos(\beta)}{2} \cdot \alpha \cdot G_h}_{D_{k_{Ref}}} \quad (4.7.9)$$

Dabei werden folgende Annahmen gemacht:

- Die Direktstrahlung auf die geneigte Fläche ( $B_k$ ) kann aus der Differenz  $G_h - D_h$  gewonnen werden. Der Ausdruck  $\cos(\Theta)/\sin(h_s)$  ist ein rein geometrischer Umrechnungsfaktor.
- Die Strahlung des Himmelsgewölbes ( $D_{k_{Him}}$ ) ist richtungunabhängig (isotrop). Die Fläche empfängt aber nur den Anteil  $(1 + \cos(\beta))/2$  ( $R_{diso}$ ) der horizontalen Diffusstrahlung.
- Auch die Strahlung aus der Umgebung ist in erster Näherung isotrop und ihre Intensität ist proportional zu  $G_h$  mit dem Proportionalitätsfaktor  $\alpha$  (Reflexionsvermögen, Albedo). Der geometrische Faktor  $(1 - \cos(\beta))/2$  ( $R_{riso}$ ) gibt den Anteil, der von der Fläche erfasst wird.

Soll das Drei-Komponenten-Modell auch für Monatsmittelwerte angewendet werden können, so muss der erste Summand etwas umformuliert werden (4.7.10), da die beiden Winkel ( $\Theta$  und  $h_s$ ) tageszeitabhängig sind.

$$G_k = R_B \cdot (G_h - D_h) + \frac{1 + \cos(\beta)}{2} \cdot D_h + \frac{1 - \cos(\beta)}{2} \cdot \alpha \cdot G_h \quad (4.7.10)$$

$G_k$ : Monatsmittel der Globalstrahlung auf geneigte Fläche

Der Faktor  $R_B$  beschreibt das mittlere monatliche Verhältnis der direkten Strahlung auf die geneigte Fläche zur horizontalen Direktstrahlung. Es ist im wesentlichen durch die Flächenorientierung ( $\beta, \gamma$ ) beziehungsweise den daraus resultierenden Einfallswinkel der Strahlung auf die geneigte Fläche ( $\Theta$ ) sowie die geographische Breite ( $\varphi$ ) beziehungsweise die entsprechende Sonnenhöhe ( $h_s$ ) bestimmt. Der  $R_B$ -Faktor kann aus Stundenwerten folgendermassen berechnet werden:

$$R_B = \frac{\sum B_k}{\sum B_h} = \frac{\sum \frac{G_h - D_h}{\sin(h_s)} \cdot \cos(\Theta)}{\sum (G_h - D_h)} = \frac{\sum B_n \cdot \cos(\Theta)}{\sum B_n \cdot \sin(h_s)} \quad (4.7.11)$$

Gemäss Formel (4.7.2) lässt sich die direkte Strahlung auf eine geneigte Fläche aus der Direktnormalstrahlung ( $B_n$ ) und dem Einfallswinkels ( $\Theta$ ) berechnen. Die Direktstrahlung horizontal lässt sich mit Hilfe der Direktnormalstrahlung und der Sonnenhöhe berechnen (vgl. Formel 4.7.11). Die Direktnormalstrahlung lässt sich annäherungsweise aus der extraterrestrischen Strahlung und der Schwächung derselben durch die Atmosphäre berechnen. Beim Durchdringen der Atmosphäre wird die direkte Strahlung durch Luftmoleküle und Schwebeteilchen absorbiert und gestreut. Dadurch nimmt die Strahlungsintensität mit der Länge des Weges durch die Atmosphäre ab. Der kürzeste Weg und damit die grösste Intensität ist gegeben, wenn die Sonne im Zenit steht. Die Direktnormalstrahlung lässt sich also in erster Näherung durch die Gleichung (4.7.12) darstellen. Dabei wird vereinfachend angenommen, dass die Intensität der Direktstrahlung umgekehrt proportional mit der optischen Masse ( $m$ ) abnimmt. Die optische Masse ( $m$ ) ist ein Mass für das Verhältnis zwischen der tatsächlichen und der kürzesten Länge des Weges durch die Atmosphäre. Im Gegensatz zu der Formel (4.3.8) wurde die Erdoberfläche als flach angenommen und die Höhenabhängigkeit nicht berücksichtigt.

$$B_n \approx \frac{I_{ex}}{m} \approx I_{ex} \cdot \sin(hs) \quad m \approx \frac{1}{\sin(hs)} \quad (4.7.12)$$

Mit Hilfe dieser Annahmen lässt sich der Faktor  $R_B$  rein geometrisch formulieren (4.7.13).

$$R_B = \frac{\sum I_{ex} \cdot \sin(hs) \cdot \cos(\Theta)}{\sum I_{ex} \cdot \sin(hs) \cdot \sin(hs)} = \frac{\sum \sin(hs) \cdot \cos(\Theta)}{\sum \sin^2(hs)} \quad (4.7.13)$$

Mit den Gleichungen zur Berechnung der Sonnenbahn und zur Berechnung der Sonnenbahn über beliebig orientierter Fläche können die Aufsummierungen analytisch ermittelt werden:

$$R_B = \frac{\overset{\text{Flächentag}}{\int \sin(hs) \cdot \cos(\Theta) \cdot dt}}{S_0 \int \sin^2(hs) \cdot dt} = \frac{\text{Zähler}}{\text{Nenner}} \quad (4.7.14)$$

$$\text{Zähler} = \cos(\varphi') \cdot \left\{ \begin{aligned} & \left( (\omega^+ - \omega^-) \cdot \left( \frac{1}{2} \cdot \cos(\omega_0) + \cos(\omega_{ss}) \cdot \cos(\omega_{ss}') \right) \right) + \\ & \frac{1}{4} \cdot \left( \sin(2 \cdot \omega^+ - \omega_0) - \sin(2 \cdot \omega^- - \omega_0) \right) - \\ & \left( \sin(\omega^+) - \sin(\omega^-) \right) \cdot \cos(\omega_{ss}') - \\ & \left( \sin(\omega^+ - \omega_0) - \sin(\omega^- - \omega_0) \right) \cdot \cos(\omega_{ss}) \end{aligned} \right\}$$

$$\text{Nenner} = \cos(\varphi) \cdot \left\{ \omega_{ss} \cdot \left( 1 + 2 \cdot \cos^2(\omega_{ss}) - \frac{3}{2} \cdot \sin(2 \cdot \omega_{ss}) \right) \right\}$$

- $S_0$ : astronomische Sonnenscheindauer  
 $\varphi$ : geographische Breite  
 $\varphi'$ : geographische Breite der äquivalenten Horizontalfäche ( $\varphi' = \varphi - \beta$ )  
 $\omega_0$ : äquivalente Länge (Stundenwinkel)  
 $\omega_{ss}$ : Stundenwinkel bei Sonnenauf- bzw. untergang  
 $\omega_{ss}'$ : Stundenwinkel des Sonnenauf- bzw. -untergangs auf äquivalente Horizontalfäche  
 $\omega^-$ : Stundenwinkel des Sonnenaufgangs über einer Fläche ( $\omega^- = \text{MAX}(-\omega_{ss}, \omega_0 - \omega_{ss}')$ )  
 $\omega^+$ : Stundenwinkel des Sonnenuntergangs über einer Fläche ( $\omega^+ = \text{MAX}(+\omega_{ss}, \omega_0 + \omega_{ss}')$ )  
 Flächentag: Zeit zwischen Sonnenauf- und -untergang über der Fläche

Es genügt, die Werte  $\omega_{ss}$ ,  $\omega_{ss}'$ ,  $\omega^+$  und  $\omega^-$  eines mittleren monatlichen Tages einzusetzen, um  $R_B$  genügend genau zu berechnen, womit nach Formel 4.7.10 die mittlere monatliche Globalstrahlung auf geneigte Flächen berechnet werden kann.

Bezieht man die Globalstrahlung  $G_k$  auf die Globalstrahlung  $G_h$  einer Horizontalebene, so gilt allgemein für das 3-Komponentenmodell:

$$R - \text{Faktor} = \frac{G_k}{G_h} = \left(1 - \frac{D_h}{G_h}\right) \cdot R_B + \frac{1 + \cos(\beta)}{2} \cdot \frac{D_h}{G_h} + \frac{1 - \cos(\beta)}{2} \cdot \alpha \quad (4.7.15)$$

## 4.7.3 Berechnung von Stundenwerten

### 4.7.3.1 Berechnung der Strahlungskomponenten bei gegebener Globalstrahlung horizontal

Ausgehend von der durchschnittlichen stündlichen Globalstrahlung horizontal, ist zur Umrechnung auf eine geneigte Fläche die Aufteilung der Globalstrahlung in einen direkten und einen diffusen Anteil unerlässlich.

Das dynamische Modell (Perez et al., 1991) zur Umrechnung von stündlichen Globalstrahlungswerten horizontal in stündliche Werte der Direktnormalstrahlung (Direktstrahlung auf eine zur Strahlung senkrecht stehende Fläche) basiert auf einer Parametrisierung des Zustands des Himmels. Als Input verlangt das Modell nur eine Zeitreihe von Globalstrahlungswerten. In Erweiterung des Modells kann auch noch die Taupunkttemperatur eingegeben werden.

Das Modell basiert auf einer variablen Zahl von Input-Parameter. Je mehr Parameter verfügbar sind, desto besser wird die Schätzung der Direktnormalstrahlung. Folgende Parameter werden verwendet.

- Globalstrahlung horizontal respektive der normalisierte Clearness index  $kt'$ , dabei wird für  $kt'$  eine Zenitwinkel-unabhängige Formel (Perez et al. 1990b) verwendet.
- Zeit und Ort respektive der Zenitwinkel der Sonne, der aus diesen Angaben berechnet werden kann.
- Wenn Globalstrahlungswerte als Zeitreihe vorliegen, kann ein Stabilitätsindex  $\Delta kt'$  berechnet werden, der die Dynamik der Zeitreihe widerspiegelt.  

$$\Delta kt' = 0.5 \cdot \left( |kt'_i - kt'_{i+1}| + |kt'_i - kt'_{i-1}| \right)$$
 wobei  $i$  und  $i \pm 1$  auf die aktuelle bzw. die vorangehende oder nachfolgende Stunde verweisen.
- Wenn die Taupunkttemperatur ( $T_d$ ) vorhanden ist, kann sie als adäquater Schätzer für das verfügbare Wasser (Wasserdampf) in der Atmosphäre, welches die Absorption und das Aerosolwachstum beeinflusst, verwendet werden. Der Wasserdampf wird basierend auf der Taupunkttemperatur nach Wright et al. (1989) geschätzt.

In Abhängigkeit der Inputdaten rechnet das Modell, welches empirisch aus grossen Datensets von verschiedenen Klimaräumen in Europa und Amerika hergeleitet wurde, mit zwei bis vier Parametern. Es besteht vor allem aus "look-up tables" und einem einfachen mathematischen Teil.

Für weitere Informationen über die Modelle und deren Aufbau sei auf den Kongressbericht der International Solar Energy Society (Perez et al., 1991) verwiesen.

### 4.7.3.2 Berechnung der Globalstrahlung und Diffusstrahlung auf geneigte Flächen „Perez-Modell“

Das Perez-Modell (Perez et al. 1986) berechnet die Globalstrahlung und die Diffusstrahlung auf eine geneigte Fläche aus den zwei eingegebenen Grössen Global- und Diffusstrahlung horizontal.

Gemäss Gleichung (4.7.3) wird die Diffusstrahlung auf eine geneigte Fläche in zwei Teile zerlegt (diffuse Himmelsstrahlung und diffuse Reflexstrahlung).

Da die diffuse Himmelsstrahlung bei Stundenwertauflösung nicht als isotrop angenommen werden kann, wird sie weiter zerlegt in:

$$Dk_{\text{Him}} = \text{Circumsolar} + \text{Isotrop} + \text{Horizontband} \quad (4.7.16)$$

Die drei Teile werden separat berechnet und ergeben aufsummiert die diffuse Himmelsstrahlung. Für eine detailliertere Beschreibung des Perez-Modells sei auf die drei Artikel von Perez et al. (Perez et al. 1986, 1987 und 1990a) verwiesen.

Wird ein hoher Horizont miteinbezogen, so werden die Diffusstrahlungsanteile folgendermassen behandelt:

- Circumsolar      ⇒ wird wie Direktstrahlung behandelt.
- Horizontband     ⇒ An diesem Teil der Diffusstrahlung wird gar nichts geändert. Er wird auch bei hohem Horizont in seinem ursprünglichen Zustand belassen.
- Isotrop und Reflex ⇒ Die  $R_{\text{diso}}$  und  $R_{\text{riso}}$  werden neu berechnet (vgl. Kapitel 4.7.1.2).  $R_{\text{diso}}$  wird um so kleiner je stärker der Horizonteinfluss ist.

## 4.8 Referenzjahre (DRY)

### 4.8.1 Einleitung

Die in der **METEONORM** enthaltenen DRY's (Design Reference Years) wurden von der EMPA hergestellt. Die Methode wurde im Rahmen der IEA - SHCP Task 9E (BEW-Projekt EF-REN(88) 1B) in Zusammenarbeit mit anderen europäischen Forschungsanstalten entwickelt (Skartveit et al., 1992). Ein Design Reference Year (DRY) enthält 8760 Stundenwerte der in Tabelle 4.8.2 aufgeführten Parameter einer Station. Der wichtigste Anwendungszweck stellen Simulationsprogramme für Gebäude und Solarenergiesysteme dar.

Die **METEONORM** bietet DRY's von **22 Standorten** in der Schweiz an. Diese Stationen decken die bevölkerungsreichsten Gebiete der Schweiz ab (Tab. 3.4.1, Abb. 3.4.1). Ob diese Daten benutzt werden oder eine andere Datenbasis verwendet wird, hängt in erster Linie vom Berechnungsstandort ab. Die Ausdehnung der Gebiete in denen die DRY's ohne Einschränkungen angewendet werden dürfen, wurde im Kapitel 3.4 gezeigt. Das Mittelland ist mit den vorhandenen Stationen praktisch abgedeckt. Weniger gut sind die Verhältnisse in den Alpen: Zwar liegen 9 der 22 Standorte in den Alpen, aufgrund der hohen Horizonte an 7 der 9 Alpenstandorte, sind diese jedoch nur in einem sehr kleinen Gebiet anwendbar. Da die Strahlungsdaten dieser 7 Stationen durch einen hohen Horizont beeinflusst sind, ist auch bei der Verwendung der Algorithmen zur Berechnung der Strahlung auf geneigte Flächen Vorsicht geboten.

Der Vorteil der DRY's ist die grosse Menge der Parameter, die in komprimierter Form enthalten sind (Kap. 4.8.2). Die andere Datenbasis der **METEONORM**, die Mittelwerte der Anetz-Stationen, bietet weniger Parameter an. Mit Hilfe von Annäherungsformeln können zwar auch mehr Parameter generiert werden, diese werden aber beim grössten Teil der Parameter nur in einfacher Weise approximiert. Die stochastische Generierung von mehr als 2-3 Parameter ist sehr schwierig, da diese stark miteinander gekoppelt sind. Werden für eine Anwendung viele Parameter benötigt, so sollten wenn möglich DRY's verwendet werden.

Über die Verwendung der DRY-Daten entscheidet nicht allein die Distanz zum nächsten DRY-Standort und die Anzahl der gewünschten Parameter, sondern auch die spezielle Art dieser synthetischen Daten. Bei der Herstellung der DRY's werden die gemessenen Daten verändert (vgl. Kap. 4.8.3). Je nach Anwendung, könnte die Veränderung der Messdaten unerwünschte Auswirkungen haben. Die Tabelle 4.8.1 zeigt die Vor- und Nachteile der DRY-Daten. Zusammenfassend kann folgendes gesagt werden: Werden für einen Standort im Mittelland viele Parameter benötigt, sollten DRY-Daten verwendet werden. Für Standorte in den Alpen, besonders für solche mit hohem Horizont, sollte die Anetz-Datenbasis verwendet werden.

Tab. 4.8.1: Faktoren, die für die Verwendung von DRY-Datensätze oder der Anetz-Datenbasis sprechen.

Faktor	Datenbasis	
	DRY	Anetz (Interpolation, stochast. Generierung)
Gebiet	Mittelland, Jura, Nähe von DRY-Standort	flächendeckend
Parameter	viele	wenige: Strahlung und Temperatur. Zusatzparameter als Annäherung berechnet.
Charakteristik der Daten	Streuung und Extremwerte von 10 Jahren in einem Jahr enthalten.	Durchschnittliche Jahre.

## 4.8.2 Formate und Parameter der DRY-Datensätze

Die DRY-Datensätze enthalten im Grundformat 12 meteorologische Parameter (Tab. 4.8.2).

Tab. 4.8.2: Parameter der DRY-Datensätze. Auf die Hauptparameter werden die Verteilungsanpassungen (Kap. 4.8.3) angewendet. Die restlichen Parameter weisen unveränderte Messwerte auf.

Parameter	Abkürzung	Hauptparameter
Ost-Komponente der Windgeschwindigkeit	FFE	JA
Nord-Komponente der Windgeschwindigkeit	FFN	JA
Lufttemperatur	Ta	JA
Relative Luftfeuchtigkeit	RH	
Luftdruck	p	
Niederschlag	RR	
Globalstrahlung horizontal	Gh	JA
Sonnenscheindauer	Sd	
Windgeschwindigkeit	FF	JA
Taupunkt-Temperatur	Td	JA
Psychrometer-Temperatur	Tp	JA
Gesamtbewölkung	N	

## 4.8.3 Herstellung der DRY

Bei der Herstellung dieser synthetischen Datensätze wurde speziell darauf geachtet, dass die Häufigkeitsverteilungen, die Auto- und Kreuzkorrelationen der Daten erhalten bleiben. Als Grundlage für die Herstellung der DRY's müssen Datensätze von mindestens 10 Jahren vorhanden sein. Die Datenbasis für die schweizerischen DRY's bilden Anetz-Daten von 1981-90. Der Ablauf der Herstellung ist in 3 Schritte gegliedert:

1. Wahl des besten (durchschnittlichsten) Monats für jeden Kalendermonat aus einem mehrjährigen Datensatz.
2. Anpassung der Verteilungen dieses Monats an die langjährigen Verteilungen für die wichtigsten Parameter.
3. Rekonstruktion von nicht erhältlichen Daten.

Die jeweils besten Monate mit ihren angepassten Verteilungen werden aneinander gefügt. Die Sprünge zwischen den einzelnen Monaten werden geglättet (6 Stunden während der Nacht).

Die Auswahl des besten Monats erfolgte mit der sogenannten "dänischen Methode": Als Parameter werden das Tagesmittel und das tägliche Minimum der Lufttemperatur und das Tagesmittel der Globalstrahlung verwendet. Dabei werden die drei Monate ausgewählt, deren Verteilung der vorhin genannten Parameter am besten mit den mittleren Verteilungen der 10 Jahre übereinstimmen. Aus den durch diese Methode erhaltenen besten 3 Monaten wird dann auf Grund des Studiums des Wetterablaufs und der anderen Parameter der beste, durchschnittlichste Monat ausgewählt.

Die Anpassung der Verteilung geschieht mit den Parametern Lufttemperatur, Windgeschwindigkeit und Direktnormalstrahlung. Die Globalstrahlung wird dann aus der unkorrigierten Diffusstrahlung und der korrigierten Direktnormalstrahlung abgeleitet. Die Taupunkttemperatur wird aus der korrigierten Lufttemperatur und der unkorrigierten relativen Luftfeuchtigkeit berechnet.

Die Anpassung erfolgt durch die Übertragung der Verteilung der 10 Monate auf den ausgewählten Monat. Die Übertragung erfolgt folgendermassen: Die Temperatur  $x$  des besten Monats wird einer neuen Temperatur  $y$  zugeordnet, so dass der Anteil der Temperaturwerte unterhalb  $y$  demjenigen Anteil der Temperaturwerte unterhalb  $x$  entspricht. Der Rang der Werte bleibt somit erhalten. Mit dieser Methode können die 10-jährigen Extremwerte in die Daten von einem Jahr integriert werden. Nach Meinung der Autoren der Methode verändert sich die Auto- und Kreuzkorrelation nur wenig.

Der grösste Nachteil dieser Methode ist, dass unnatürlich grosse Tagesgänge berechnet werden. Besonders bei der Lufttemperatur im Hochwinter treten dadurch extreme Tagesgänge auf. Die Extremwerte der Verteilung des besten Monats werden viel stärker verschoben als die mittleren Werte. Wenn zum Beispiel im besten Monat des Januars die Minimaltemperatur  $-12\text{ °C}$  beträgt (um 6 Uhr) und die Temperatur um 15 Uhr des gleichen Tags  $-5\text{ °C}$ , die Minimaltemperatur der 10 Jahre allerdings  $-19\text{ °C}$ , so wird die Temperatur am Morgen auf  $-19\text{ °C}$  gesenkt. Die Mittagstemperatur wird hingegen um viel weniger verschoben. Dadurch wird ein Tagesgang berechnet, der für das entsprechende Klima viel zu gross ist. Wie weit Dimensionierungsprogramme auf solche, in der Natur nicht auftretende, Tagesgänge reagieren, wurde nicht untersucht.

Die Rekonstruktion von nicht gemessenen Parametern beschränkt sich auf Diffusstrahlung und Direktnormalstrahlung, da diese beiden Parameter an den Anetz-Stationen nicht gemessen werden. In der **METEONORM** ist die Diffusstrahlung nicht gespeichert, sondern wird erst berechnet, wenn sie benötigt wird. Damit die Diffusstrahlung mit den von der EMPA bereits veröffentlichten DRY's übereinstimmt, wird diese nicht mit dem DIRINT-Modell (Kap. 4.7.3.1) (Perez et al. 1991), sondern mit dem einfacheren ERBS-Modell (4.8.1) berechnet.

$kt \leq 0.22$	$G_{Dh} = G_{Gh} \cdot (1 - 0.09 \cdot kt)$	(4.8.1)
$0.22 < kt \leq 0.80$	$G_{Dh} = G_{Gh} \cdot (a - b \cdot kt + c \cdot kt^2 - d \cdot kt^3 + e \cdot kt^4)$ $a = 0.9511 \quad b = 0.1604 \quad c = 4.388 \quad d = 16.638 \quad e = 12.336$	
$0.80 \leq kt$	$G_{Dh} = 0.165 \cdot G_{Gh}$	

## 4.9 Generierte Zeitreihen

### 4.9.1 Einleitung

Monatswerte allein genügen den heutigen Anforderungen der Benutzer nicht mehr, da viele Dimensionierungsprogramme Stundenwerte benötigen. Da eine Interpolation der stündlichen Werte für beliebige Standorte nur mit sehr grossem Aufwand machbar ist (nur mit Satellitendaten) und die Speicherung der Stundenwerte zudem sehr viel Platz in Anspruch nimmt, werden nur die räumlich interpolierten Monatswerte gespeichert.

Damit gleichwohl flächendeckend Stundenwerte angeboten werden können, werden diese mit stochastischen Modellen simuliert. Stochastische Modelle generieren Datenreihen, die die gleichen statistischen Charakteristiken aufweisen wie die gemessenen Zeitreihen: Mittelwerte, Varianzen, aber auch die charakteristische Abfolgen (Autokorrelation) werden von solchen Modellen möglichst naturgetreu wiedergegeben. Neuste Untersuchungen zeigen, dass solche generierte Daten gut anstelle langjähriger Reihen eingesetzt werden können (Gansler et al., 1994).

Der Ablauf der Generierung in der **METEONORM** sieht folgendermassen aus: Aufgrund der Monatswerte werden die Tages- und aus diesen dann die Stundenwerte der Globalstrahlung stochastisch generiert. Aus diesem Strahlungsgang wird der stündliche Verlauf der Temperatur simuliert. Der Mittelwert dieser Reihen entspricht immer dem 10-jährigen Mittel. Falls benötigt, werden aus diesen Hauptparametern Ergänzungsparameter abgeleitet (Feuchte, Wind, langwellige Strahlung etc.).

### 4.9.2 Stochastische Generierung der Globalstrahlung

#### 4.9.2.1 Generierung von Tageswerten aus Monatswerten

Für die Generierung der Tageswerte wurde ein Modell von Aguiar und Collares-Pereira (1988) ausgewählt. Dieses Modell ist nicht standortgebunden und arbeitet mit Markov-Ketten. Es beruht auf der Annahme, dass die Form der Wahrscheinlichkeitsverteilung der Strahlung einer Periode (in diesem Fall Monate) bei gleichem Mittelwert immer dieselbe ist. Der Tageswert der Strahlung hängt nur vom Monatswert des Clearness index (KT) und vom vorhergehenden Tageswert (Kt) ab. Die Verteilungen sind in einer  $10 \times 10$ -Matrix (Markov-Transition-Matrix: MTM) gespeichert.

Für die Definition der MTM wurden Daten von Westeuropa (Portugal, Frankreich), Azoren, Madeira, Afrika (Mozambique) und Macao aus den Jahren 1965-79 (pro Station verschieden) verwendet. Die Validierung zeigte, dass das Modell auch in der Schweiz angewendet werden darf. Die monatlichen Mittelwerte und Verteilungen werden sehr gut wiedergegeben. Die Autokorrelation zwischen zwei aufeinanderfolgenden Tagen wird vom Modell etwas zu gering berechnet.

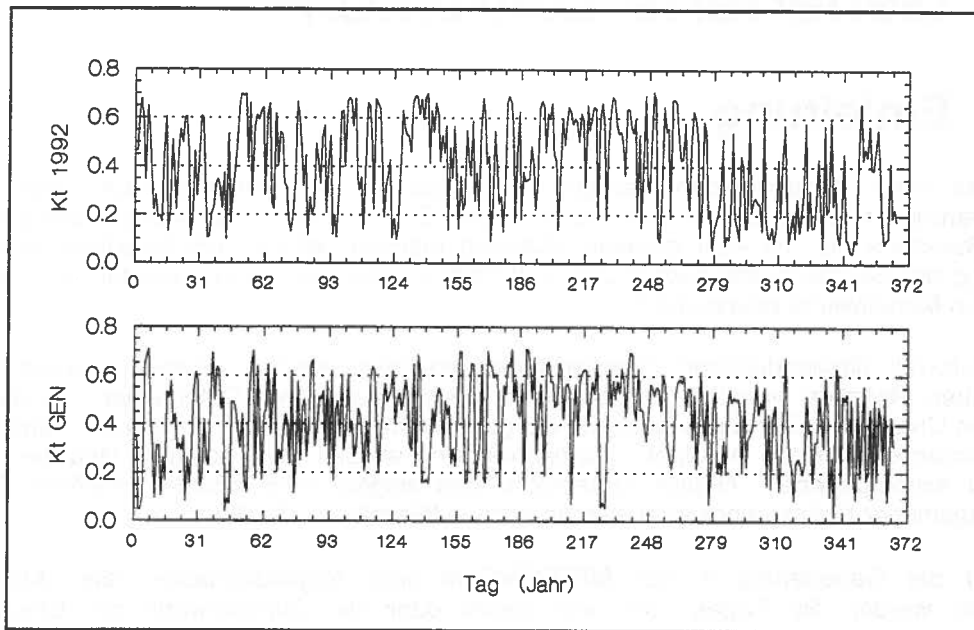


Abb. 4.9.1: Verlauf der Tageswerte des Clearness index (Kt): Oben Messwerte 1992 von **Bern-Liebfeld** (1992), unten mit den Mittelwerten von 1983-92 generierte Werte (GEN).

### 4.9.2.2 Generierung von Stundenwerten aus Tageswerten

Für die Generierung der Stundenwerte wird ebenfalls ein Modell von Aguiar und Collares-Pereira (1992) verwendet (**TAG-Modell: Time dependent, Autoregressive, Gaussian model**). Dieses Modell (4.9.1) besteht aus einem Tagesgangmodell, das einen durchschnittlichen Tagesverlauf berechnet (4.9.2), und einem darübergelegten autoregressiven Prozess 1. Ordnung (AR(1)-Prozess) (Box et al., 1994), der die stündlichen Schwankungen simuliert (4.9.3).

$$kt(h) = kt_M(h) + y(h)$$

(4.9.1)

$kt(h)$ : Stundenwert des Clearness index

$kt_M(h)$ : Stundenwert des Clearness indexes des durchschnittlichen Tagesganges

$y(h)$ : Autoregressiver Prozess 1. Ordnung

$h$ : Stunde

$$\begin{aligned}
 kt_M(h) &= \lambda + \varepsilon \cdot \exp\left(\frac{-\kappa}{\sin(hs)}\right) \\
 \lambda &= -0.19 + 1.12 \cdot Kt + 0.24 \cdot e^{-8 \cdot Kt} \\
 \varepsilon &= 0.32 - 1.60 \cdot (Kt - 0.5)^2 \\
 \kappa &= 0.19 + 2.27 \cdot Kt^2 - 2.51 \cdot Kt^3
 \end{aligned}
 \tag{4.9.2}$$

Kt: Tageswert des Clearness index

hs: Sonnenhöhe

Die Amplitude des Tagesgangs und die Standardabweichung der Schwankungen sind vom Tages-Kt-Wert (Kt) und von der Sonnenhöhe (hs) abhängig. Die 1. Autokorrelation hängt vom Kt-Wert ab: Bei kleinen und grossen Kt-Werten ist diese kleiner als bei mittleren. Die Standardabweichung von zwei aufeinanderfolgenden Stundenwerten ist bei mittleren Kt-Werten viel grösser als bei kleinen und grossen (4.9.3) (Abb. 4.9.6). Damit werden die Tagesgänge bei kleiner täglicher Strahlungssumme relativ flach, bei mittlerer Summe stark bewegt und bei hoher Summe wieder ruhiger.

Der Schönwettertagesgang wird von diesem Modell, im Gegensatz zum Modell von Graham und Hollands (1990) (GH-Modell), sehr gut wiedergegeben. Aufgrund dieses Vergleichs wählten wir das TAG-Modell und nicht das GH-Modell. Das Modell ist nicht standortgebunden. Zur Konstruktion und Validierung des Modells wurden Daten von Portugal, Spanien, Frankreich, Belgien, Griechenland und Mozambique verwendet. Der autoregressive Prozess  $y(h)$  ist folgendermassen bestimmt:

$$\begin{aligned}
 y(h) &= \phi_1 \cdot y(h-1) + r \\
 \phi_1 &= 0.38 + 0.06 \cdot \cos(7.4 \cdot Kt - 2.5) \\
 \sigma(Kt, hs) &= A \cdot \exp\{B \cdot [1 - \sin(hs)]\} \\
 A &= 0.14 \cdot \exp[-20 \cdot (Kt - 0.35)^2] \\
 B &= 3 \cdot (Kt - 0.45)^2 + 0.16 \cdot Kt^5 \\
 \sigma' &= \sigma \cdot (1 - \phi_1^2)^{0.5} \\
 r &= N(0, \sigma')
 \end{aligned}
 \tag{4.9.3}$$

$\phi_1$ : 1. Autokorrelation

$\sigma(Kt, hs)$ : Standardabweichung der Schwankungen  $y$

$\sigma'$ : Standardabweichung des normalverteilten Zufallsprozesses

$r$ : Normalverteilte Zufallsvariable mit Erwartungswert 0 und Standardabweichung  $\sigma'$

Die Grenzen möglicher kt-Werte sind definiert durch die Strahlung an Schönwettertagen (4.9.4) und die Tatsache, dass nur positive Werte auftreten können.

$$kcs(h) = 0.88 \cdot \cos \left[ \frac{\pi \cdot (ST - 0.5)}{30} \right] \quad (4.9.4)$$

$kcs(h)$ : Clearness index (kt) an Schönwettertagen (clear sky)

ST: Wahre Sonnenzeit

Durch diese Grenzwerte wird der AR(1)-Prozess allerdings verändert, da die Stundenwerte der Schwankungen in diesem Fall nicht mehr normalverteilt sind (Abb. 4.9.4). Die Folge dieser notwendigen Einschränkungen ist, wie unsere Validierungen mit dem Originalmodell zeigten, eine Verminderung des 1. Autokorrelationswertes. Die generierten Daten weisen nicht die 1. Autokorrelationswerte auf, die vom Modell her definiert sind ( $\phi_1$ ). Im Verlaufe der Validierung des TAG-Modells wurde so festgestellt, dass die Autokorrelationsfunktion abgeändert werden sollte. Dabei sprachen 2 Gründe für eine Änderung (Abb. 4.9.2-3):

1. Die Autokorrelationen der generierten Daten sind nicht gleich, wie die im Modell definierten.
2. Die 1. Autokorrelationswerte von gemessenen Daten in der Schweiz nehmen andere Werte an, als die im Modell definierten.

Gerade bei der Verwendung des DIRINT-Modells von Perez (1990) zur Berechnung der Diffusstrahlung aus der (generierten) Globalstrahlung ist eine korrekte Wiedergabe der Autokorrelation und der Standardabweichung unbedingt nötig. Das Problem der nicht-gauss'schen Verteilung der Stundenwerte der Schwankungen wird im Modell von Graham und Hollands mit Hilfe einer Beta-Verteilung behandelt. Es wurde eine einfachere Lösung verwendet, indem die Veränderung der im Modell definierten 1. Autokorrelationswerte mit einem Multiplikationsfaktor ( $k$ ) korrigiert wird. Dabei gilt es die Standardabweichung, die vom Modell gut wiedergegeben wird (4.9.6), nicht zu verändern. Für die Berechnung der Standardabweichung muss deshalb der unkorrigierte 1. Autokorrelationswert verwendet werden (4.9.5). Der Faktor ( $k$ ) würde die theoretische Standardabweichung erhöhen. Da jedoch  $\phi_1$  durch die Generierung wieder vermindert wird, wird die vom Modell definierte Standardabweichung ( $\sigma$ ) berechnet.

Das korrigierte Modell wurde für 11 Stationen (Tab. 4.9.1) angepasst, welche über die ganze Schweiz verteilt sind. Die Werte der Autokorrelation weisen eine Abhängigkeit mit der Höhe auf, variieren aber auch stark von Jahr zu Jahr (mit der Höhe nimmt der 1. Autokorrelationswert ab). Damit das Modell nicht zu kompliziert wird, wurde jedoch nur eine Kurve für die ganze Schweiz angepasst. Der Mittelwert der gemessenen 1. Autokorrelation beträgt 0.45, derjenige der generierten 0.46.

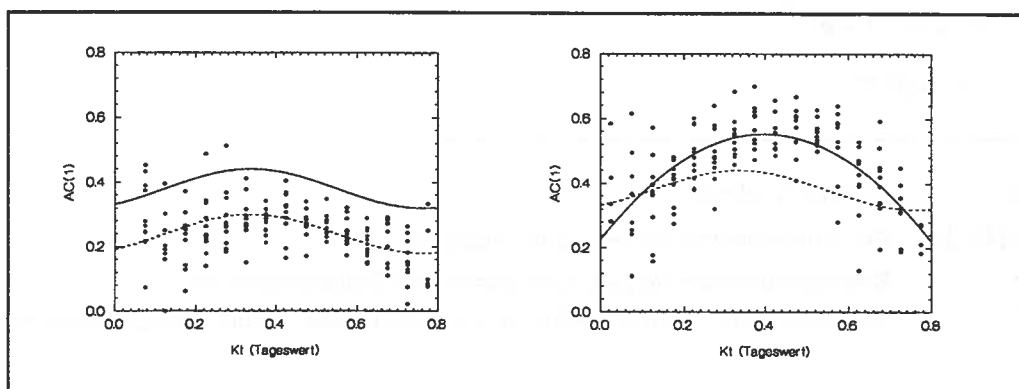


Abb. 4.9.2: Links: Im Modell definierte 1. Autokorrelation  $AC(1)$  in Abhängigkeit des  $K_t$ -Werts (ausgezogene Linie) und  $AC(1)$ -werte von generierten Daten (strichliert). Rechts: 1. Autokorrelation von gemessenen Daten (Tab. 4.9.1) und quadratisches Modell, das durch die Messwerte gelegt ist (4.9.4) (ausgezogene Linie). Zudem ist als strichlierte Linie die im Modell definierte 1. Autokorrelation angegeben.

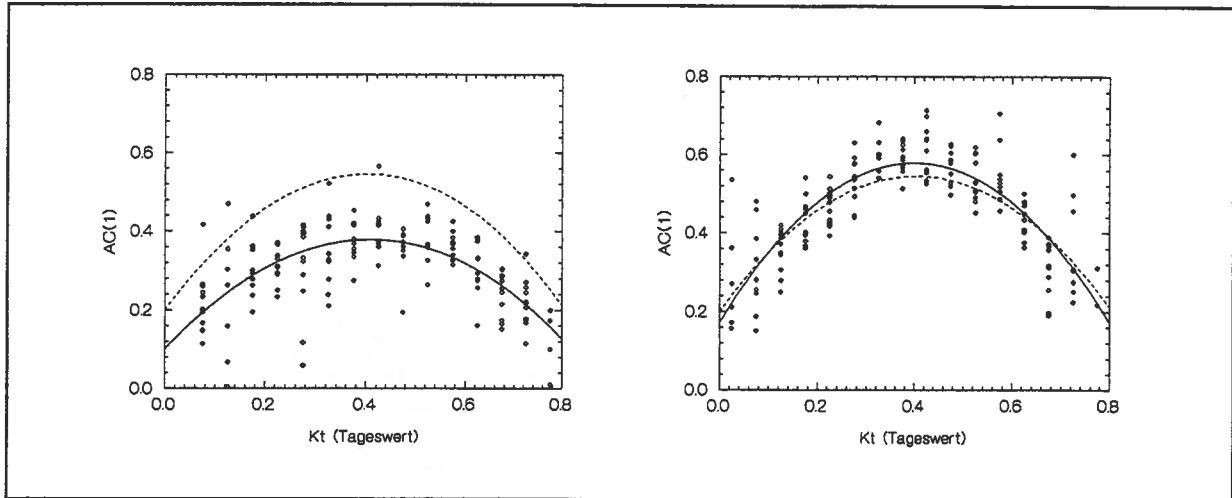


Abb. 4.9.3: Links: 1. Autokorrelation  $AC(1)$  der mit dem neuen Modell generierten Daten (ausgezogene Linie): Auch beim neuen Modell vermindert sich der  $AC(1)$ -Wert durch die Generierung stark. Der Faktor zwischen generierten und den gemessenen Daten beträgt 1.5. Die strichlierte Linie stellt das quadratische Modell dar. Rechts: 1. Autokorrelation der mit dem neuen, korrigierten Modell (4.9.6) generierten Daten. Das quadratische Modell, das durch diese Autokorrelationswerte gelegt wird (ausgezogene Linie), stimmt sehr gut mit dem eingegebenen, unkorrigierten Modell überein (strichliert).

Wie im Modell von Graham und Hollands (1990), wurden die Werte mit einem quadratischen Modell approximiert. Ihre Funktion ( $\phi_1 = -1.1 \cdot Kt^2 + 1.1 \cdot Kt + 0.35$ ) passt allerdings nicht gut zu den Schweizer Daten. Als neues Modell für die Autokorrelation wird darum die Formel (4.9.5) vorgeschlagen.

$$\phi_1 = (-2.12 \cdot Kt^2 + 1.71 \cdot Kt + 0.20) \quad (4.9.5)$$

$$y(h) = k \cdot \phi_1 \cdot y(h-1) + r \quad (4.9.6)$$

Korrekturfaktor:  $k = 1.5$

Das TAG-Modell lässt kleine Abweichungen des Monatsmittels der generierten Werte von den gegebenen Monatsmittel zu (ca. 5%). Damit die generierten Mittelwerte immer gleich gross sind, werden die generierten Werte an das vorgegebene Monatsmittel angepasst. Diese Anpassung wird erreicht, indem die generierten Daten mit einem Faktor multipliziert werden.

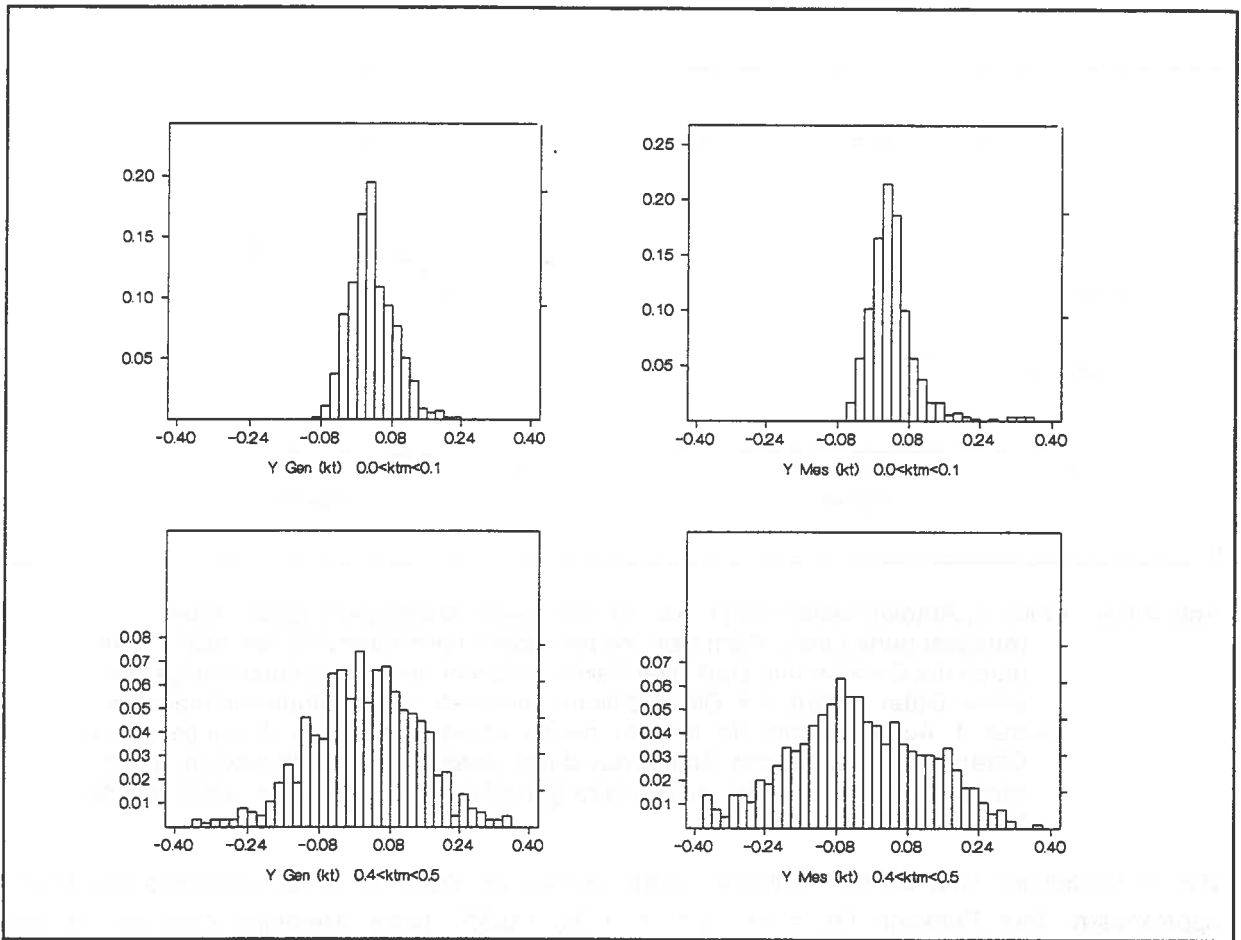


Abb. 4.9.4: Vergleich der Verteilung der mittleren Schwankungen zwischen generierter (Y GEN) und gemessener (Y Mes) Strahlung von **Locarno-Magadino**. Oben Durchschnittsmodell ( $kt_m$ ) zwischen 0.0 und 0.1, unten  $kt_m$  zwischen 0.4 und 0.5. Die Stundenwerte der Schwankungen bei  $kt_m$ -Werten nahe der Grenzwerte sind nicht normalverteilt.

Tab. 4.9.1: 11 Stationen für die das neue Modell angepasst wurde. Daten aus den Jahren 1992 und 1993 (Anetz-Stundenwerte).

Station	Höhe	Region
Pully	481	Mittelland, Grosser See, Stadt
Payerne	490	Mittelland, ländlich
Bern-Liebefeld	565	Mittelland, Stadtrand
Zürich SMA	556	Mittelland, Stadt
La Frétaz	1202	Jura, Anhöhe
Sion	482	Alpen, grosses Tal
Davos	1590	Alpen, Tal
Pilatus	2106	Alpen, Gipfel
Jungfraujoch	3580	Alpen
Locarno-Magadino	197	Alpensüdhang, grosses Tal
Lugano	273	Alpensüdseite, See

Das korrigierte Modell wurde mit Daten von La Frétaz, Bern-Liebefeld, Davos und Locarno-Magadino validiert. Dabei wurde zuerst nur dieses Modell alleine und dann die beiden Modelle, die die Berechnung der Stundenwerte aus den Tageswerten erlauben, zusammen validiert. Beide Vergleiche zeigten an allen Standorten sehr gute Resultate.

Die mittleren Verteilungen, die maximalen Stundenwerte, die Form der Tagesverläufe sowie die Autokorrelationen werden vom Modell in allen Regionen gut wiedergegeben. Der Generator liefert durchschnittliche Mittel- und Maximalwerte (Abb. 4.9.5) und keine Extremwerte. Die Validierungen brachten zwei Schwachpunkte des Generators zutage: Erstens wird die Abhängigkeit von zwei aufeinanderfolgenden Tagen zu klein berechnet, und zweitens können die asymmetrischen Tagesgänge nicht nachgebildet werden. Die grösste Anforderung an die Modelle, die benötigte flächendeckende Verwendbarkeit, wird erfüllt. Insgesamt produziert der Generator zufriedenstellende Resultate und darf auch in der Schweiz angewendet werden.

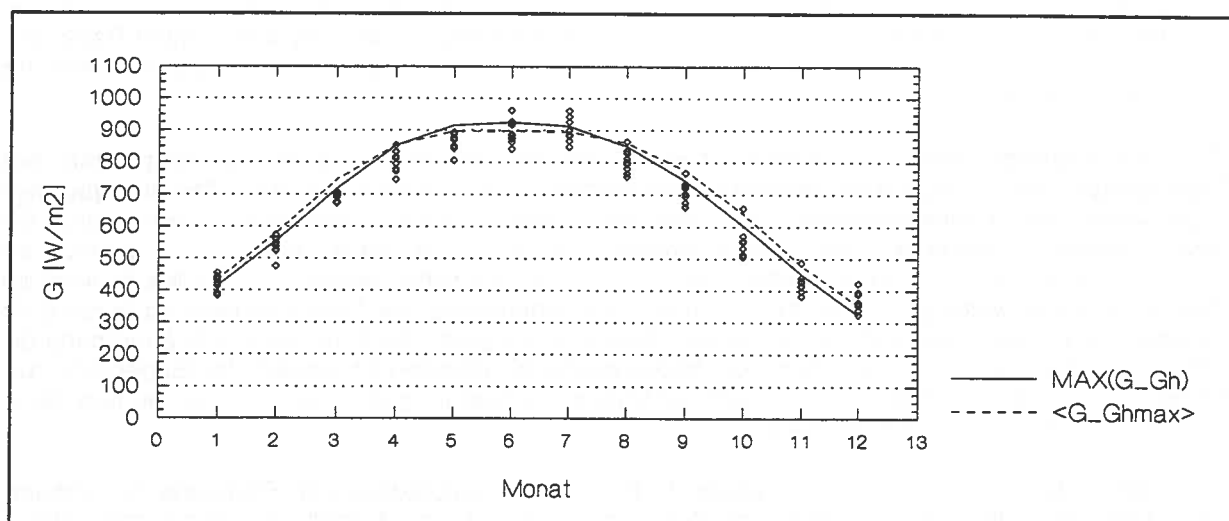


Abb. 4.9.5: Maximale Stundenwerte der Globalstrahlung (Bestrahlungsstärke) von **Bern-Liebefeld**: Vergleich zwischen 10 Generierungen (Punkte) und den gemessenen Daten der Jahre 1981-90 (tägliche Maxima: MAX(G\_Ghmax)). Linie: 1981 - 90, Punkte: 1983 - 92. Das Schönwettermodell (Kasten, 1990) ist als feine, gepunktete Linie gezeichnet.

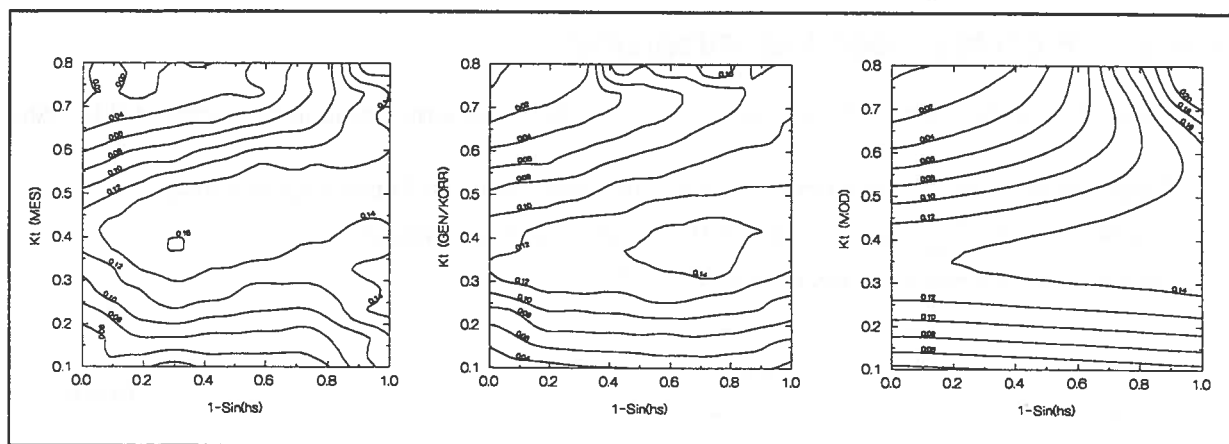


Abb. 4.9.6: Standardabweichung der Schwankungen (in kt) in Abhängigkeit der Sonnenhöhe ( $h_s$ ) und des  $K_t$ -Werts. Messwerte (MES), Generierte Werte (GEN/KORR) und Modell (MOD). Mittelwerte von 11 Standorten in der Schweiz (Tab. 4.9.1). Der Mittelwert der gemessenen Standardabweichung beträgt 0.104, derjenige der generierten 0.088 und derjenige des Modells 0.100.

## 4.9.3 Generierung der Temperatur

### 4.9.3.1 Einleitung

Nach der Interpolation und der Strahlungsgenerierung sind für die Generierung der Temperatur die Stundenwerte der Globalstrahlung und die Monatswerte der Temperatur flächendeckend bekannt. Aus diesen beiden Informationen gilt es nun, Stundenwerte der Temperatur zu berechnen.

Es existiert bis anhin kein Modell zur stochastischen Generierung von Temperaturen, welches flächendeckend verwendbar ist und zudem die Globalstrahlung als wichtigen Input-Parameter berücksichtigt. Aus diesen Gründen wurde in Anlehnung an das Modell von Scartezzini (1992) ein neues Modell gebaut.

**Die grundlegende Idee des Modells basiert auf der Annahme, dass die Amplitude des Tagesgangs der Temperatur ungefähr proportional zur Amplitude des Strahlungsgangs (Tagesgang der Globalstrahlung) ist.** Aus dem Strahlungsgang wird durch Umformung der Temperaturgang berechnet. Der Strahlungsgang muss - je nach Klima und Monat mit Umformungsfaktoren - gestreckt, zeitlich verschoben und geglättet werden. In der Nacht wird die Temperaturkurve weitergeführt bis zum nächsten Sonnenaufgang. Als Ausgangspunkt dafür dient die Temperatur und die Temperaturabnahme beim Sonnenuntergang. Durch die regionale Zuordnung der Umformungsfaktoren kann diese Methode flächendeckend angewendet werden. Im Gegensatz zum Modell von Scartezzini (1992) müssen nicht die lokalen Temperaturgänge, sondern nur die regionalen Umformungsfaktoren gespeichert werden.

Über dieses Modell werden Schwankungen in Form eines autoregressiven Prozesses 1. Ordnung (AR(1)-Prozess) (Box et al., 1994) mit Gewichten, wie sie im Modell von Scartezzini (1992) Verwendung finden, gelegt. Zusätzlich wird, wie bei Scartezzini, ein Temperaturwechsel von Tag zu Tag (slope) bestimmt, der von der Jahreszeit und der Strahlungssumme des Tages abhängt.

Die folgenden Kapitel enthalten die Beschreibung des Ablaufs der Generierung, die Methode der Anpassung der Parameter des Generators an lokale Verhältnisse und die Bestimmung der Tagesgangregionen (Region mit einheitlichen Umformungsfaktoren).

### 4.9.3.2 Konzept der Generierung

Der Generator besteht aus 3 Teilen, deren Summe die generierte Temperatur ergibt (4.9.8) (Abb. 4.9.7):

1. Tagesgangmodell ( $T_M$ ), das einen „flachen“, durchschnittlichen Tagesgang produziert.
2. Schwankungen ( $T_{AR}$ ), die mit einem AR(1)-Prozess simuliert werden.
3. Mitternachtsdifferenz der Temperatur (slope,  $T_S(d)$ )

$$T_a(h) = T_M(h) + T_{AR}(h) + T_S(d)$$

(4.9.8)

#### Das Tagesgangmodell ( $T_M$ )

Der Verlauf der Temperatur während des Tages wird durch Umformung des Strahlungsganges berechnet. Der geglättete, zeitlich verschobene und gestauchte Tagesgang der Strahlung wird als Tagesgang der Temperatur benutzt. Dabei wird dieser Tagesgang an der Temperatur vor Sonnenaufgang angehängt.

Als Input werden stündliche Strahlungswerte und monatliche Temperaturwerte benötigt. Der Strahlungsgang wird zuerst geglättet. Die Glättungslänge (rechteckige Glättung) schwankt zwischen 6 Stunden (im Winter) und 9 Stunden (im Sommer) und ist in allen Regionen und Höhenlagen sehr ähnlich. Danach werden die Werte um 2 oder 3 Stunden verschoben (LAG) (der Strahlungswert von 12 Uhr beeinflusst den Temperaturwert von 14 oder 15 Uhr).

Am meisten Veränderung von Ort zu Ort erfährt der Streckungsfaktor, der die geglätteten Globalstrahlungswerte (Bestrahlungsstärke) in Temperaturwerte umrechnet. Die Werte liegen zwischen  $0.005 \text{ [}^\circ\text{C/Wm}^2\text{]}$  (Jungfrauojoch, 3580 m, freie Atmosphäre, Sommer) und  $0.040 \text{ [}^\circ\text{C/Wm}^2\text{]}$  (Samedan, 1705 m, Kaltluftsee, Winter) (Tab. 4.9.4). Die regional und lokal verschiedenen Faktorwerte sind fachwissenschaftlich gut erklärbar.

Verlauf nach Sonnenuntergang:

Wenn die zeitliche Verschiebung der Glättungslänge (LAG) 2 Stunden beträgt, verläuft die Temperaturabnahme eine Stunde lang wie vor Sonnenuntergang weiter (d.h. die Temperatur wird mit dem umgeformten Strahlungsgang bestimmt). Beträgt der LAG 3 Stunden, verläuft die Temperaturabnahme 2 Stunden lang wie vor Sonnenuntergang weiter. Danach verkleinert sich der Gradient der Abnahme stündlich um einen Faktor, der zwischen 1.5 und 1.15 liegt (Tab. 4.9.2). Dieser Faktor hängt von der Glättungslänge ab. Nach Mitternacht verläuft die Abnahme linear. Falls am folgenden Tag mehr als  $\frac{1}{4}$  der möglichen Strahlungssumme empfangen wird, beträgt der nachmittägliche Gradient den halben Wert des Gradienten von Mitternacht, sonst nur noch  $\frac{1}{3}$  des mitternächtlichen Gradienten.

Tab. 4.9.2: Faktoren der stündlichen Änderung des Gradienten der abendlichen Abkühlung (Faktor = Gradient(h-1) / Gradient(h)).

Glättungslänge [h]	6	7	8	9
Faktor	1.5	1.35	1.3	1.15

## Stündliche Schwankungen ( $T_{AR}$ )

Die stündlichen Schwankungen werden mit folgendem AR(1)-Prozess generiert (4.9.9):

$$T_{AR}(h) = 0.7 \cdot T_{AR}(h-1) + 0.385 \cdot r(h)$$

(4.9.9)

$T_{AR}(h)$ : Temperatur der Schwankung zur Zeit h

$r(h)$ : Normalverteilte Zufallszahl  $N(0,1)$

Diese Funktion wurde aus dem Generator von Scartezzini (1992) übernommen.

## Mitternachtsdifferenz der Temperatur ( $T_S$ )

Die Temperaturdifferenzen von Mitternacht zu Mitternacht (slope) werden ebenfalls vom Modell von Scartezzini (1992) übernommen. Die Mitternachtsdifferenzen berechnen sich aus der durchschnittlichen Mitternachtsdifferenz und einer darübergelegten, zufälligen Temperaturdifferenz. Dabei werden die durchschnittlichen Mitternachtsdifferenzen von Scartezzini allerdings zusammengefasst: In den Wintermonaten Dezember bis Februar wird an Tagen mit weniger als 25% der möglichen Globalstrahlung (Strahlungsklasse 1) eine Erwärmung von  $1 \text{ }^\circ\text{C}$  pro Tag angenommen. An Tagen mit mehr als 75% der möglichen Strahlung (Strahlungsklassen 4) wird eine Abkühlung von  $1 \text{ }^\circ\text{C}$  angenommen. In den restlichen Monaten wird an Tagen der Strahlungsklasse 1  $1 \text{ }^\circ\text{C}$  Abkühlung angenommen, an Tagen mit Strahlungsklassen 4 eine Erwärmung von  $1 \text{ }^\circ\text{C}$  festgelegt. Die Standardabweichung der zufälligen Mitternachtsdifferenzen wird das ganze Jahr auf  $1 \text{ }^\circ\text{C}$  festgelegt.

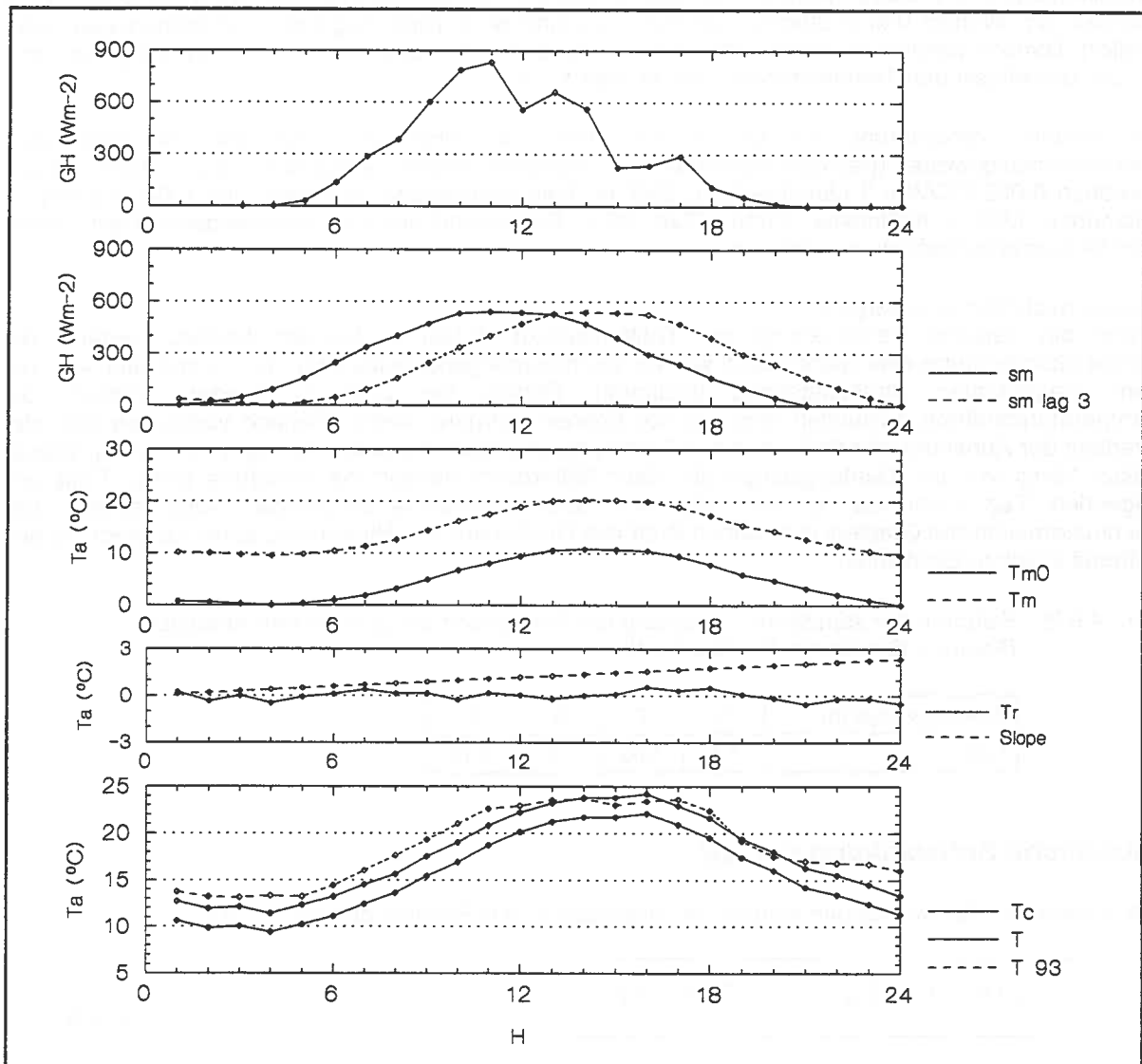


Abb. 4.9.7: Ablauf der Temperaturgenerierung. Beispiel mit Daten vom 1.7.93 von Bern-Liebefeld: Die Globalstrahlung (Gh) wird zuerst geglättet (sm) und zeitlich verschoben (sm lag 3), danach werden die Daten gestreckt (Tagesmodell: Tm0) und an die Temperatur vor Sonnenaufgang angehängt und die Nachtabkühlung berechnet (Tm). Dazu werden noch die stündlichen Schwankungen (Tr) und die Mitternachtsdifferenz (Slope) berechnet und addiert, womit der Temperaturverlauf (T) berechnet ist. Jeder berechnete Monatsmittelwert wird an den Mittelwert von 1983-92 angepasst, was eine nochmalige Verschiebung des Tagesganges zur Folge hat (Tc) (Erhöhung um  $+2.1^{\circ}C$ ). T 93 ist die gemessene Temperatur.

## Zusätzliche Regulierungen

Damit der Temperaturverlauf auf jeden Fall stabil ist und nicht zu heisse oder zu kalte Temperaturen generiert werden, werden zusätzlich folgende Einschränkungen gemacht:

### Anpassung der Monatsübergänge:

Da die Einstellungen für den ganzen Monat die gleichen sind, können im Herbst Ende Monat zu hohe Temperaturen auftreten (oder im Frühling zu tiefe). Da die Anfangswerte des nächsten Monats möglichst sprunfrei an die Endtemperatur des Vormonats angehängt werden, treten am ersten Tag des nächsten Monats zu hohe Tagestemperaturen auf. Da diese nicht immer durch den slope auf das richtige Niveau gebracht werden können, wird ein zusätzlicher slope für den 1. Tag des Monats zugefügt. Dieser zusätzliche slope ist so definiert, dass die Mitternachtstemperatur der Nacht vom 1. auf den 2. Tag des Monats nur 4 Grad vom Monatsmittel abweichen darf.

### Begrenzung der Extremwerte:

Für jeden Tag wird geprüft, ob die Tagesmitteltemperatur nicht mehr als 10 °C vom Monatsmittel abweicht und ob die Stundenwerte nicht ausserhalb eines Bereiches liegen, der durch festgesetzte Minimal- und Maximaltemperaturen definiert ist.

Die Minimal- und die Maximaltemperaturen wurden anhand der 10-jährigen Monatsminima und -maxima der Stundenwerte von verschiedenen Stationen der Schweiz bestimmt. Dabei wurde festgestellt, dass die Differenzen zwischen der Monatsmitteltemperatur und den 10-jährigen Extremwerten an fast allen Stationen die gleichen Werte annehmen. So fällt zum Beispiel die Temperatur im März an keiner Station mehr als 14 Grad unter das jeweilige Monatsmittel. Für alle Stationen wurde deshalb die gleiche Tabelle definiert, die angibt, wie gross die Temperaturdifferenz zum jeweiligen Monatsmittel sein darf (pro Monat je eine untere und eine obere Grenze in [°C], Tab. 4.9.3).

Tab. 4.9.3: Maximale Temperaturdifferenz in [°C] zwischen Stundenwerten und Monatsmittel.  
 $T_{\max}(\text{Stunde}) = T(\text{Monat}) + \text{Temperaturdifferenz } (\Delta T \text{ MAX}).$

Monat	Jan	Feb	März	April	Mai	Juni	Juli	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
$\Delta T \text{ MIN}$	-19	-15	-14	-14	-11	-11	-11	-11	-11	-11	-13	-14
$\Delta T \text{ MAX}$	13	16	16	13	13	14	14	14	14	14	14	16

Falls solche Extremwerte erreicht oder überschritten werden, was allerdings selten vorkommt, wird zur Korrektur ein zusätzlicher slope von  $\pm 6$  °C pro Tag eingeführt, der den Temperaturverlauf wieder gegen die Monatsmitteltemperatur führt. Falls nach 10 Generierungen trotz dieser zusätzlichen Korrektur die Extremtemperatur noch immer überschritten wird, wird der slope auf  $\pm 10$  °C gesetzt.

Beim Vergleich der gemessenen und der generierten Daten wurde festgestellt, dass im Januar und Februar die generierten Minimaltemperaturen nie so tiefe Werte erreichten wie die gemessenen. Deshalb wurde dem Generator eine zusätzliche Funktion eingebaut, die Kaltluftausbrüche simuliert: Im Januar und Februar kann ein zusätzlicher slope (Mitternachtsdifferenzen) mit einer Abnahme von -2.4 bis -10 °C/Tag auftreten. Im Mittelland beträgt der Gradient -6 °C/Tag, im Südtessin -2.4 °C/Tag und in den höheren Gebieten -10 °C/Tag. Ausgelöst wird dieser zusätzliche slope mit einem Zufallsgenerator. Pro Tag wurde die Wahrscheinlichkeit eines Kaltluftausbruches auf 5% gesetzt, wodurch innerhalb der ersten 60 Tagen mit einer Wahrscheinlichkeit von 95% ein Kaltluftausbruch generiert wird.

Nach der Generierung eines Monats wird das Monatsmittel an das gemessene Mittel angepasst, falls das generierte Mittel nicht mehr als 4 °C vom gemessenen abweicht, sonst wird der Monat noch einmal generiert. Diese Anpassung kann bei Monatsbeginn zu Sprüngen führen.

### 4.9.3.3 Bestimmung der Umformungsfaktoren

Die Umformungsfaktoren wurden mit Hilfe von Messwerten der Jahre 1992 und 1993 (Anetz- und NABEL-Daten) und einigen DRY-Datensätzen an 31 Stationen für jeden Monat bestimmt. In Bern-Liebfeld wurden die Faktoren einzelner Monate sowohl mit DRY-Daten als auch mit Daten von 1992 angepasst, wobei die Umformungsfaktoren die gleichen Werte annahmen. Die Anpassung erfolgte primär auf der Basis von Normtagesgängen, wie sie Scartezzini (1992) verwendet. Dabei werden alle Tage in 4 Strahlungsklassen eingeteilt:

- Strahlungsklasse 1: 0 - 25% der Strahlung an Schönwettertagen (Kap. 4.5.2)
- Strahlungsklasse 2: 25 - 50% der Strahlung an Schönwettertagen
- Strahlungsklasse 3: 50 - 75% der Strahlung an Schönwettertagen
- Strahlungsklasse 4: 75 - 100% der Strahlung an Schönwettertagen

Für diese 4 Klassen wurden die Mitteltemperaturen der generierten und der gemessenen Daten berechnet und verglichen. Dazu wurden auch die Klassenmittel und der Monatsdurchschnitt verglichen. Da in eine Strahlungsklasse zum Teil nur sehr wenige Tageswerte fallen, können die Mittelwerte der Klassen von Jahr zu Jahr stark schwanken. Darum musste nicht primär der Mittelwert der Klasse, sondern die **Form** der Tagesgangkurve stimmen. In den Abbildungen (Abb. 4.9.8 bis 4.9.11) sind einige typische Normtagesgänge dargestellt. Aus den genannten Gründen stimmen die Niveaus nicht immer mit den gemessenen Kurven überein. Die Formen der einzelnen Tagesgänge werden jedoch sehr gut wiedergegeben. Diese Normtagesgänge dienen auch zur Bestimmung der Parameter, die die Nachtabkühlung definieren.

Spezielle Anpassungen des Tagesganges fordern Stationen in ausgeprägten Kaltluftseegebieten. In diesen ist die Nachtabkühlung nicht allein durch die nächtliche Abstrahlung, sondern auch durch den Zufluss von kalter Luft aus der Umgebung bestimmt. Die Stärke der Abkühlung und der Zeitpunkt des Zuflusses ist allein durch den Strahlungsverlauf schwer zu simulieren.

An einigen Stationen wurden die Normtagesgänge der Jahre 1992 und 1993 verglichen, wobei diese in beiden Jahren die genau gleichen Formen annahmen. Dieser Befund zeigt, dass die Normtagesgänge von einem Jahr ausreichen, um den Temperaturgenerator anzupassen.

Wenn die Temperatur anstatt mit der gemessenen Strahlung mit der generierten Strahlung als Input berechnet wird, nehmen die Tagesgangkurven leicht andere Formen an.

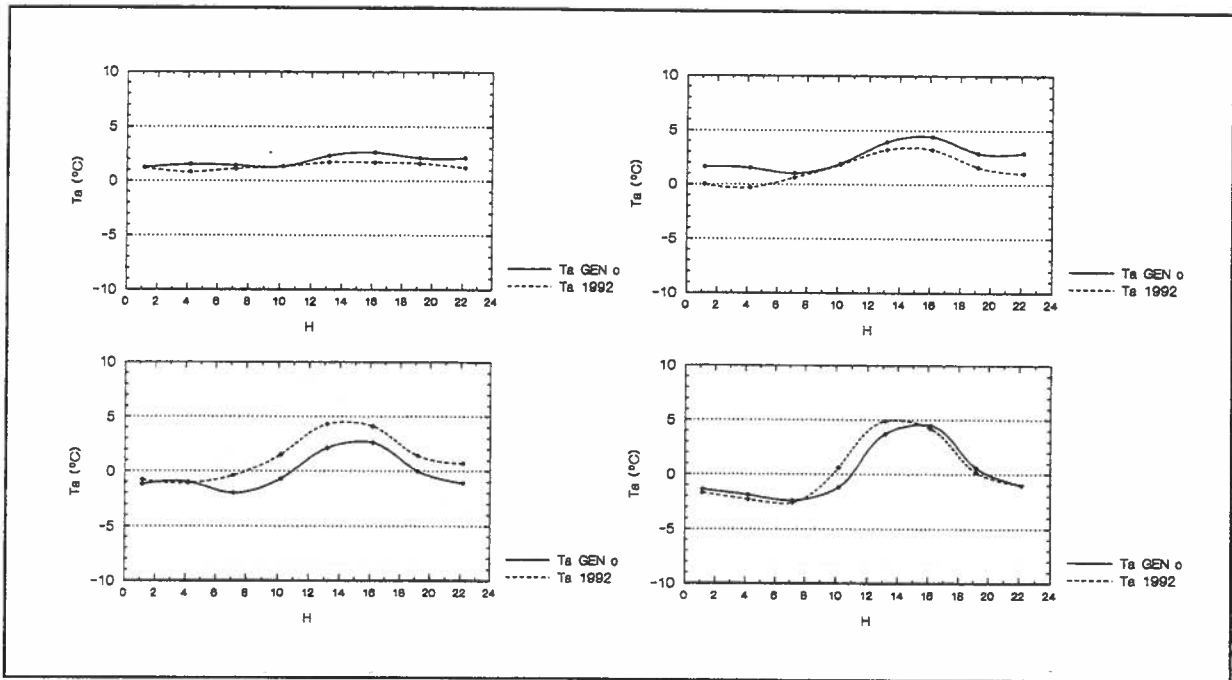


Abb. 4.9.8: Normtagesgänge von **Locarno-Magadino** (197 m.ü.M.) im **Januar**. Oben links Strahlungsklasse 1, oben rechts Strahlungsklasse 2, unten links Strahlungsklasse 3 und unten rechts Strahlungsklasse 4.  $T_a$  1992: gemessene Temperatur,  $T_a$  GEN o: mit gemessener Strahlung generierte Temperatur.

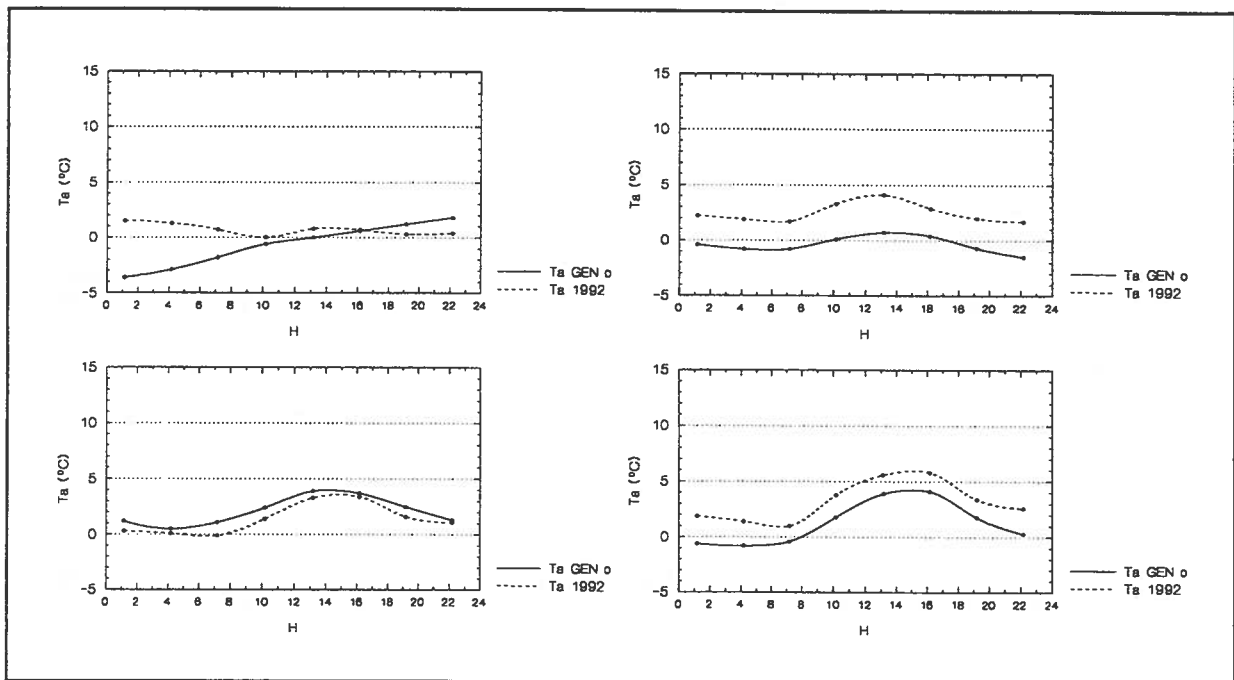


Abb. 4.9.9: Normtagesgänge von **La Frétaz** (1202 m.ü.M, Jura) im **März**. Oben links Strahlungsklasse 1, oben rechts Strahlungsklasse 2, unten links Strahlungsklasse 3 und unten rechts Strahlungsklasse 4.  $T_a$  1992: gemessene Temperatur,  $T_a$  GEN o: mit gemessener Strahlung generierte Temperatur.

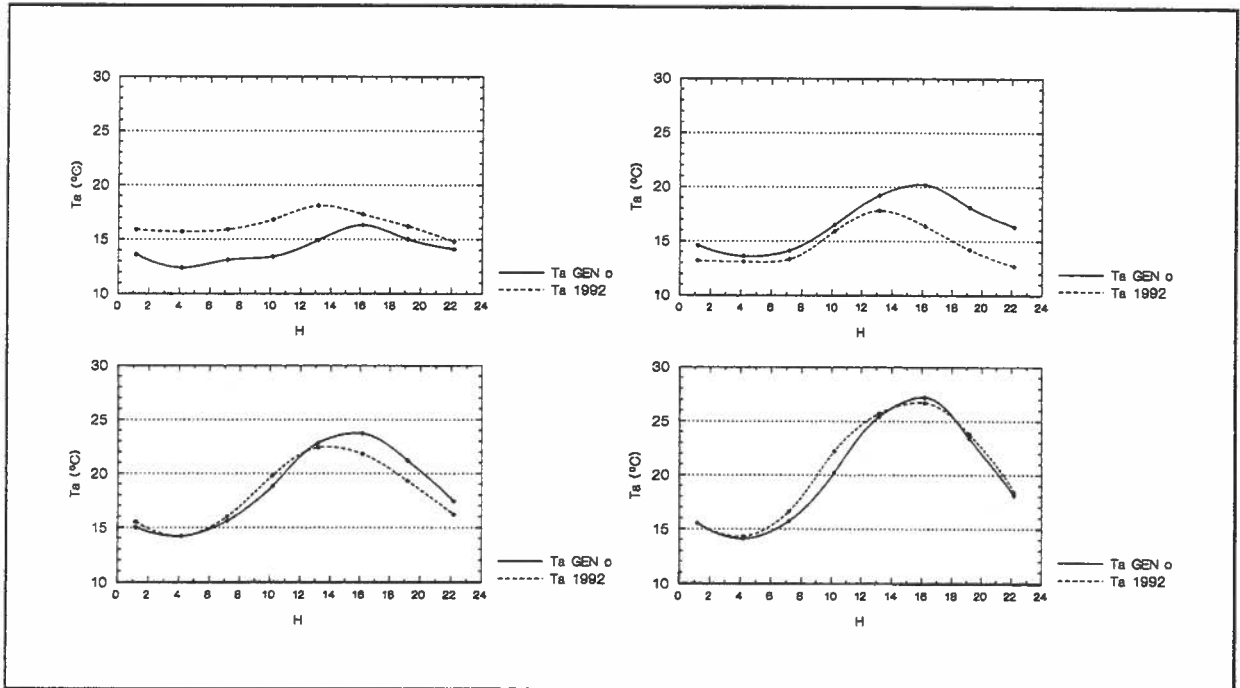


Abb. 4.9.10: Normtagesgänge von **Bern-Liebefeld** (565 m.ü.M.) im **Juli**. Oben links Strahlungsklasse 1, oben rechts Strahlungsklasse 2, unten links Strahlungsklasse 3 und unten rechts Strahlungsklasse 4. Ta 1992: gemessene Temperatur, Ta GEN o: mit gemessener Strahlung generierte Temperatur.

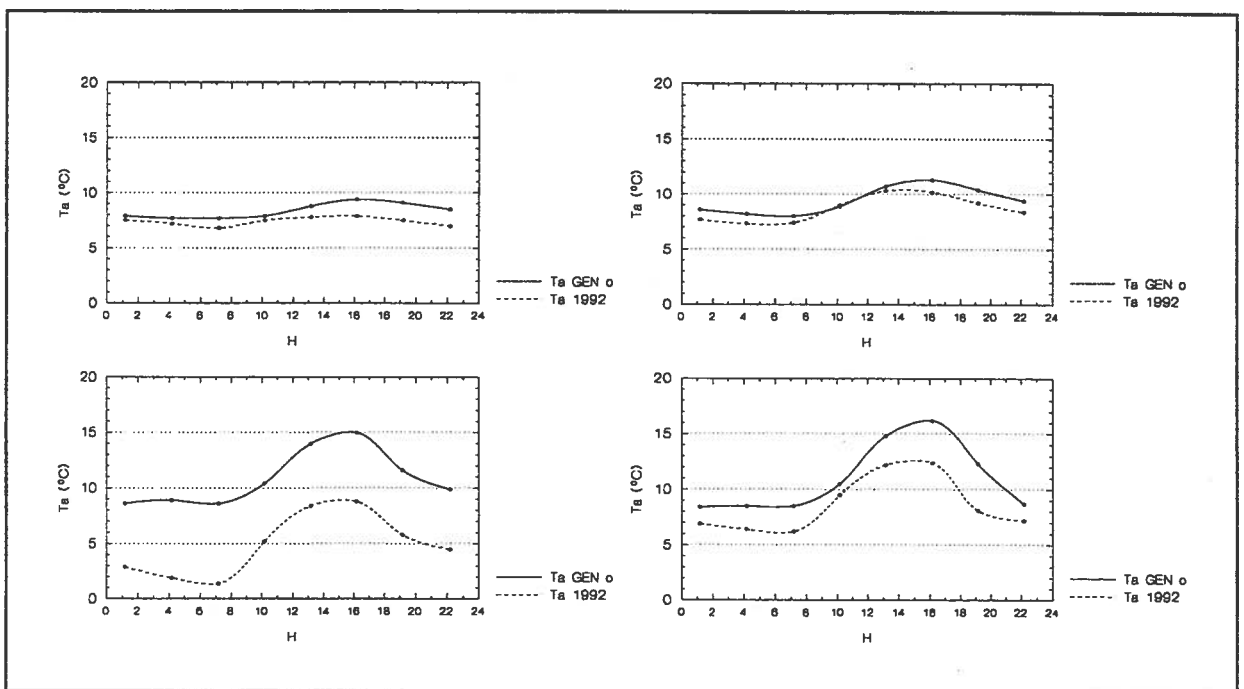


Abb. 4.9.11: Normtagesgänge von **Bern-Liebefeld** (565 m.ü.M.) im **Oktober**. Oben links Strahlungsklasse 1, oben rechts Strahlungsklasse 2, unten links Strahlungsklasse 3 und unten rechts Strahlungsklasse 4. Ta 1992: gemessene Temperatur, Ta GEN o: mit gemessener Strahlung generierte Temperatur.

### 4.9.3.4 Bestimmung der Tagesgangregionen

Bei der Bestimmung der 3 Umformungsfaktoren (Glättungslänge, Zeitverschiebung, Streckung) fiel auf, dass diese an vielen Stationen die gleichen Werte annahmen, und somit viele Stationen ähnliche Tagesgänge aufweisen. Stationen mit derselben lokalklimatischen Lage besitzen oftmals die gleichen charakteristischen Tagesgangkurven. Die drei Umformungsfaktoren wurden an 31 Stationen untersucht. Daraus ergaben sich 15 verschiedene Tagesgangregionen (Tab. 4.9.4 und 4.9.5).

Mit Hilfe der Merkmale (der lokalen und regionalen Lage) der Stationen konnten 15 Lagetypen definiert werden, die die Zuordnung eines beliebigen Standortes zu einer Tagesgangregion ermöglichen. Diese Lagetypisierung erlaubt nun die flächendeckende Generierung der Stundenwerte der Temperatur. Die einzelnen Regionen unterscheiden sich vor allem durch die Form und Art des lokalen Geländes und weniger durch regionale, klimatische Unterschiede. Allgemein gilt, dass die Tagesgänge mit zunehmender Höhe über Talgrund mehr und mehr abflachen. In den Abbildungen 4.9.8-11 sind typische Normtagesgänge von 4 Stationen abgebildet.

Tab. 4.9.4: Regionale, monatliche Umformungsfaktoren des Temperaturgenerators

Faktor	Region	Jan	Feb	März	April	Mai	Juni	Juli	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
Glättungslänge [h]	1	6	7	8	9	9	9	9	9	8	8	7	6
	2	6	7	8	9	9	9	9	9	8	8	7	6
	3	7	8	8	9	9	9	9	9	9	8	8	7
	4	7	8	9	9	9	9	9	9	9	9	8	7
	5	6	7	8	9	9	9	9	9	8	7	7	6
	6	8	8	9	9	9	9	9	9	9	9	8	8
	7	6	7	9	9	9	9	9	9	9	8	7	6
	8	6	7	9	9	9	9	9	9	9	8	7	6
	9	6	7	9	9	9	9	9	9	9	7	7	6
	10	6	7	9	9	9	9	9	9	9	9	7	6
	11	6	8	9	9	9	9	9	9	9	8	6	6
	12	6	7	8	9	9	9	9	8	8	8	7	6
	13	6	7	9	9	9	9	9	9	9	9	7	6
	14	8	8	9	9	9	9	9	9	9	9	8	8
	15	8	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	8
Zeitverschiebung [h]	1	2	2	3	3	3	3	3	3	3	3	2	2
	2	2	2	3	3	3	3	3	3	3	3	2	2
	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	2	2
	4	2	2	3	3	3	3	3	3	3	2	2	2
	5	2	2	3	3	3	3	3	3	3	3	2	2
	6	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
	7	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
	8	2	2	2	3	3	3	3	3	2	2	2	2
	9	1	2	2	3	3	3	3	3	3	2	2	1
	10	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
	11	3	3	3	2	2	2	2	2	2	2	2	3
	12	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
	13	2	2	2	3	3	3	3	3	3	2	2	2
	14	2	2	2	3	3	3	3	3	3	2	2	2
	15	2	2	2	3	3	3	3	3	3	2	2	2
Streckungsfaktor [ $^{\circ}\text{C}/\text{Wm}^{-2}$ ]	1	0.025	0.025	0.024	0.022	0.020	0.020	0.020	0.020	0.020	0.024	0.024	0.025
	2	0.030	0.025	0.025	0.022	0.020	0.020	0.020	0.020	0.020	0.025	0.022	0.030
	3	0.028	0.022	0.020	0.018	0.018	0.016	0.016	0.016	0.018	0.020	0.022	0.028
	4	0.016	0.018	0.018	0.016	0.014	0.014	0.014	0.014	0.015	0.016	0.018	0.016
	5	0.020	0.020	0.014	0.016	0.015	0.015	0.015	0.015	0.014	0.022	0.020	0.020
	6	0.025	0.020	0.020	0.016	0.016	0.014	0.014	0.014	0.016	0.020	0.020	0.025
	7	0.035	0.030	0.025	0.022	0.020	0.018	0.018	0.018	0.021	0.028	0.035	0.035
	8	0.035	0.030	0.025	0.022	0.018	0.018	0.018	0.018	0.020	0.025	0.035	0.035
	9	0.025	0.025	0.025	0.022	0.018	0.018	0.018	0.018	0.021	0.028	0.035	0.035
	10	0.025	0.020	0.020	0.018	0.016	0.016	0.016	0.018	0.020	0.020	0.025	0.025
	11	0.040	0.035	0.025	0.020	0.018	0.020	0.022	0.022	0.025	0.030	0.038	0.040
	12	0.040	0.032	0.020	0.020	0.018	0.018	0.018	0.020	0.020	0.032	0.040	0.040
	13	0.016	0.014	0.012	0.012	0.012	0.012	0.012	0.012	0.014	0.015	0.016	0.016
	14	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010
	15	0.008	0.008	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.008	0.008

Die Tagesgangregionen weisen nicht die genau gleichen Gruppen auf wie die Temperaturregionen des Interpolationsmodells, da für die Form des Tagesgangs (zum Teil) andere Faktoren zu berücksichtigen sind, als für die Lagekorrektur der Monatswerte. Die Lagetypen, die im Computerprogramm der **METEONORM** eingegeben werden können, sind eine Zusammenstellung von beiden Lageklassierungen (Kap. 2.2.2.4).

Tab. 4.9.5: Die 15 Tagesgangregionen der Schweiz.

Region	Gebiet	Merkmal 1	Merkmal 2	Stationen
1	Mittelland	Allgemein		Basel-Binningen, Genève-Contrin, Härkingen, Luzern, Payerne, Zürich SMA, Zürich-Kloten
2	Mittelland	Tal, Mulde	Kaltluftsee	Bern-Liebefeld, Wynau
3	Mittelland	Stadtzentrum	grosse Stadt	Bern-Bollwerk, Zürich-Kaseme
4	Mittelland	grosser See		Pully, Neuchâtel
5	Mittelland-Voralpen	über 700 m		St.Gallen
6	Alpensüdseite	Südtessin	See	Lugano
7	Alpen	inneralpines Tal	unter 1000 m	Sion, Locarno-Magadino, Chur
8	Alpen	Föhntal	unter 1000 m	Altdorf
9	Alpen	randalpines Tal	unter 1000 m	Interlaken
10	Alpen	Tal	über 1000 m	Davos
11	Alpen	Tal	extremer Kaltluftsee	Samedan
12	Jura	Tal	Kaltluftsee	La Chaux-de-Fonds
13	Jura, Voralpen, Alpen	ländlich, Anhöhe	über 1000 m	La Fretaz, Seebodenalp, Chaumont
14	Jura, Voralpen, Alpen	freier Gipfel	über 1000 m	Napf, Hörnli, Pilatus
15	Hochalpen	über 3000 m		Jungfrauoch

### 4.9.3.5 Schlussfolgerungen

Die Validierung des Modells ergibt zufriedenstellende Resultate. Im Allgemeinen liefert der Generator zu flache und zu nahe am Monatsmittelwert liegende Tagesgänge, deren Zusammenhang mit der Strahlung leicht überschätzt wird. Die Minima und Maxima werden mit Ausnahme der Tiefstwerte im Winter gut berechnet. Die Mittelwerte werden automatisch angepasst. Für mittlere Jahre liefert der Generator gute Verteilungen. Langjährige Extremwerte sind - im Gegensatz zu den DRY's - in den generierten Daten nicht notwendigerweise enthalten. Die generierten Extremwerte liegen meistens im Bereich der mittleren, gemessenen Extremwerte (Abb. 4.9.12). Da die generierten Monatsmittel immer den 10-jährigen Mittelwerten entsprechen, sind extreme Minima und Maxima auch nicht sinnvoll. In höheren Gebieten ist die Genauigkeit der Berechnung der Extremwerte schlechter. Oft werden dort zu flache und zu nahe am Monatsmittelwert liegende Tagesgänge und damit zu kleine Extremwerte berechnet (Abb. 4.9.13).

Da der Strahlungsgenerator zur Sonnenhöhe symmetrische Werte liefert, berechnet auch der Temperaturgenerator nur symmetrische Tagesgänge. Vor allem bei hohem Sonnenstand führt dies zu Abweichungen der berechneten von den gemessenen Normtagesgängen. Die Verteilung der Tageswerte und deren Verlauf werden, obwohl diese bei der Generierung nicht als Zwischenschritt erzeugt werden, gut wiedergegeben.

Insgesamt produziert der Generator zufriedenstellende Resultate und kann in der Schweiz angewendet werden.

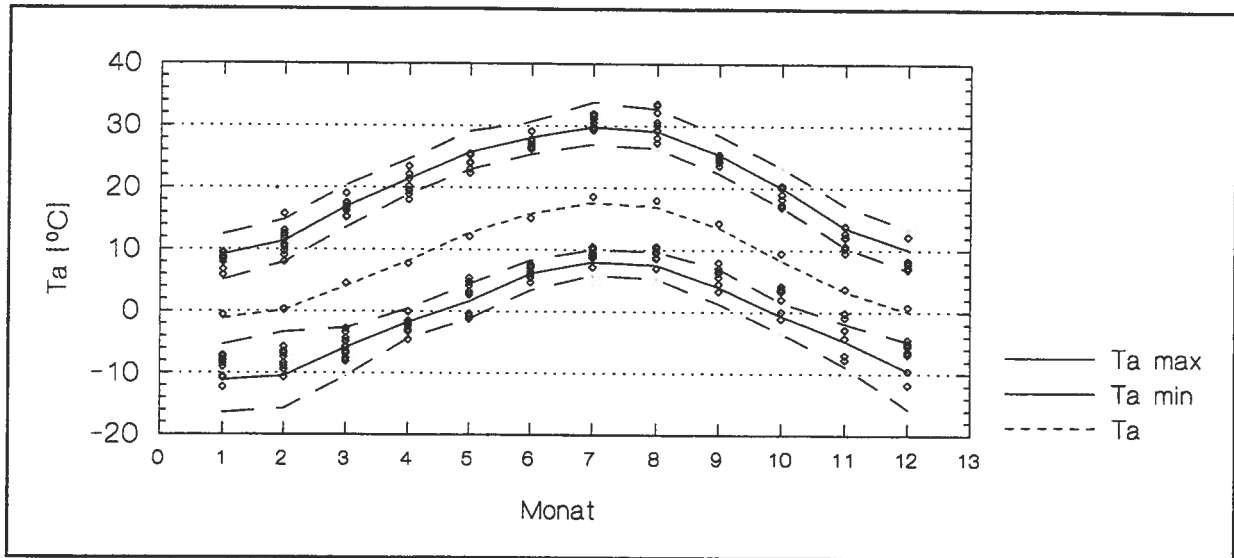


Abb. 4.9.12: Minimale und maximale Stundenwerte der Temperatur von **Bern-Liebefeld**: Vergleich zwischen 10 Generierungen (Punkte) und den gemessenen Daten der Jahren 1901-60 (Schüepp, 1967). Mittelwert ( $T_a$ ), mittlere Minima ( $T_a \text{ min}$ ) und Maxima ( $T_a \text{ max}$ ) und 1. und 11. Duodezil (1/12) der Minima und Maxima (strichliert). Es gilt zu beachten, dass die Monatsmitteltemperaturen von 1983-92 (Punkte) vom Mittelwert 1901-60 ( $T_a$ ) bis zu 1.2 °C abweichen (im Sommer und Herbst viel wärmer, im Frühling kälter, im Schnitt 0.3 °C wärmer).

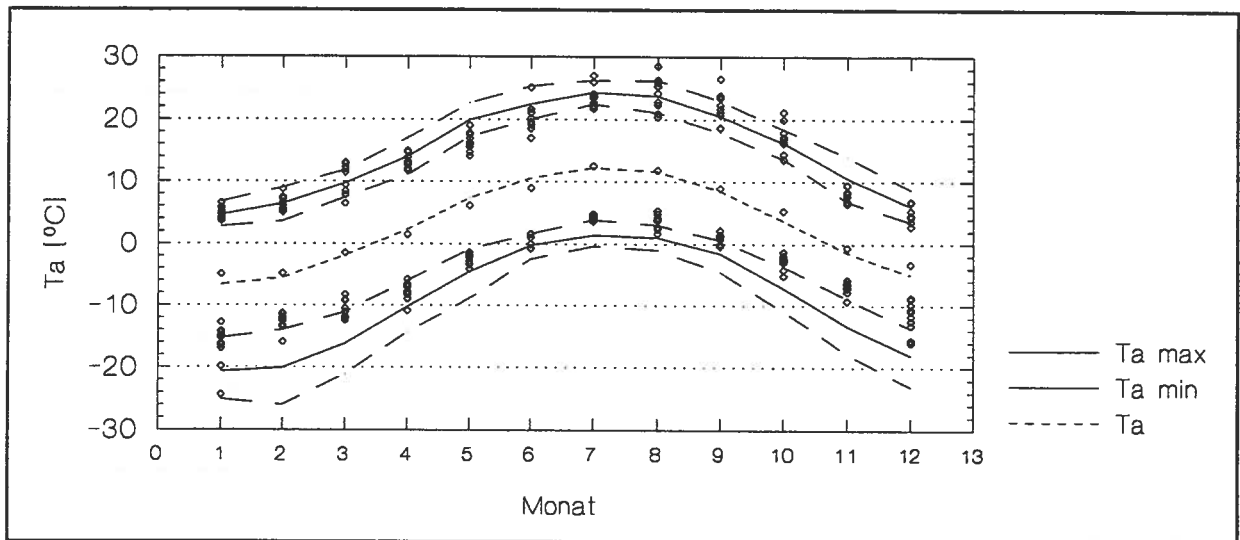


Abb. 4.9.13: Minimale und maximale Stundenwerte der Temperatur von **Davos**: Vergleich zwischen 10 Generierungen (Punkte) und den gemessenen Daten der Jahren 1901-60 (Schüepp, 1967). Mittelwert ( $T_a$ ), mittlere Minima ( $T_a \text{ min}$ ) und Maxima ( $T_a \text{ max}$ ) und 1. und 11. Duodezil (1/12) der Minima und Maxima (strichliert). Es gilt zu beachten, dass die Monatsmitteltemperaturen von 1983-92 (Punkte) vom Mittelwert 1901-60 ( $T_a$ ) bis zu 1.7 °C abweichen (im Herbst viel wärmer, im Frühling kälter, im Schnitt 0.3 °C wärmer).

Als Beispiel für stochastisch generierte Daten, wie sie das **METEONORM**-Programm liefern kann, werden Grafiken mit Tagesreihen der Temperatur ( $T_a$ ) und der Globalstrahlung ( $G_h$ ) von Bern-Liebefeld dargestellt. Ausgehend von Monatsmitteln der Anetz-Station wurden die Tagesreihen mit den im Kap. 4.9.2-3 beschriebenen stochastischen Generatoren berechnet. Die Abbildungen 4.9.14 und 4.9.15 zeigen Ausschnitte der Tagesreihen von jeweils 7 Tagen im Winter und im Sommer.

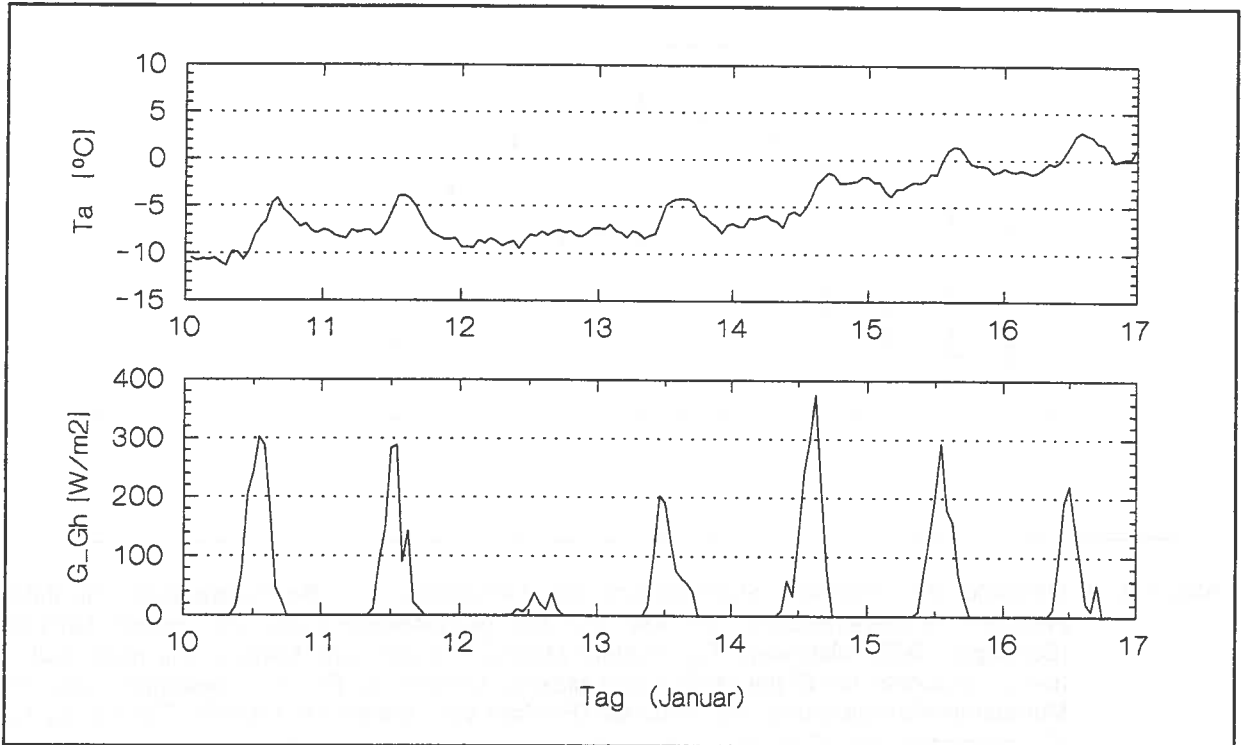


Abb. 4.9.14: Generierte Temperatur ( $T_a$ ) und Globalstrahlung (Bestrahlungsstärke  $G_{Gh}$ ) von Bern-Liebfeld vom 10. - 16. Januar.

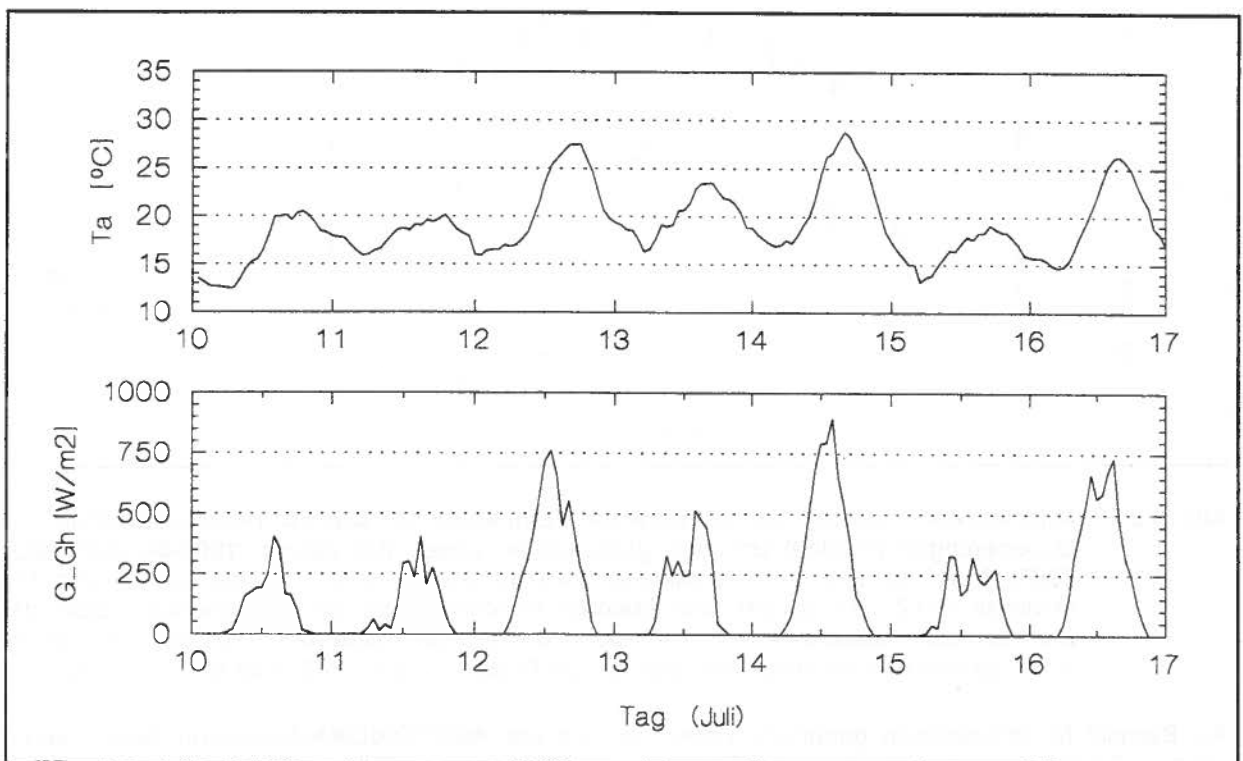


Abb. 4.9.15: Generierte Temperatur ( $T_a$ ) und Globalstrahlung (Bestrahlungsstärke  $G_{Gh}$ ) von Bern-Liebfeld vom 10. - 16. Juli.

## 4.9.4 Generierung der Ergänzungsparameter

Das Konzept der **METEONORM** sieht vor, möglichst gute Schnittstellen zu den am meisten verwendeten Dimensionierungsprogrammen im Bereich Photovoltaik, solarthermische Nutzung und Gebäudesimulation zu bieten. Dazu gehört, dass verschiedene Ausgabeformate angeboten werden. Viele dieser Programme benötigen neben Globalstrahlung und Temperatur weitere meteorologische Parameter. Um solche Formate anbieten zu können, werden im folgenden für die Abschätzung der wichtigsten Parameter einfache Formeln presentiert. Diese Parameter werden in der Folge Ergänzungsparameter genannt, um sie von den in den vorhergehenden Kapiteln beschriebenen Hauptparametern, der Strahlung und der Temperatur, zu unterscheiden. Monatswerte von Ergänzungsparameter können grundsätzlich nur über die Berechnung von Stundenwerten erhalten werden. Die vorgängige Stundenwertberechnung der Ergänzungsparameter für Monatsmittelwerte kann für bestimmte Parameter entfallen, wenn ein Anetz oder ein DRY-Standort gewählt wurde. Um welche Parameter es sich dabei handelt, kann in Tabelle 2.2.1 unter den Formaten für Monatswerte "Standard DRY" und "Standard Anetz" nachgelesen werden.

Das grösste Problem bei der Simulation von weiteren Parametern ist, die richtige Wiedergabe des Zusammenhangs mit den schon generierten Parametern. In der Folge werden nun die Abschatzungsformeln- und Methoden dargestellt. Die Ergänzungsparameter besitzen nicht die gleiche Qualität wie die Hauptparameter Globalstrahlung und Temperatur und wurden auch nicht in gleich ausführlicher Weise validiert. Die Anpassung erfolgte mit Daten von 15 über die Schweiz verteilten DRY-Stationen.

In der **METEONORM** werden folgende Ergänzungsparameter berechnet: Taupunkttemperatur, Relative Feuchte, Feuchttemperatur, Bewölkungsgrad, Langwellige Strahlung, Wind und Luftdruck. Nachstehend werden die Berechnungsalgorithmen für die Ergänzungsparameter beschrieben.

### 4.9.4.1 Taupunkttemperatur und relative Luftfeuchtigkeit

Die Taupunkttemperatur ( $T_d$ ) und die relative Luftfeuchtigkeit (RH) sind miteinander verbunden. Mit der Formel (4.9.10) kann die Taupunkttemperatur aus der relativen Luftfeuchtigkeit berechnet werden (Iribarne und Godson, 1981). Die relative Luftfeuchtigkeit kann aus der Taupunkttemperatur mit Formel (4.9.11) berechnet werden (DWD, 1979).

$$T_d = \left[ \frac{1}{T_a + 273.15} - (1.85 \cdot 10^{-4}) \cdot \log\left(\frac{RH}{100}\right) \right]^{-1} - 273.15 \quad (4.9.10)$$

$$\begin{aligned} RH &= 100 \cdot \left( \frac{e_s}{e} \right) \\ e(T_a) &= 6.11 \cdot \exp\left(\frac{17.1 \cdot T_a}{234.2 + T_a}\right) \\ e_s(T_d) &= 6.11 \cdot \exp\left(\frac{17.1 \cdot T_d}{234.2 + T_d}\right) \end{aligned} \quad (4.9.11)$$

$T_a$ : Lufttemperatur [°C]  
 $e$ : Sättigungsdampfdruck bei  $T_a$  [hPa]  
 RH: Relative Luftfeuchtigkeit [%]

$T_d$ : Taupunkttemperatur [°C]  
 $e_s$ : Sättigungsdampfdruck bei  $T_d$  [hPa]

Die Taupunkttemperatur hat auf die meisten der zu dimensionierenden Anlagentypen keinen grossen Einfluss. Deshalb wird diese der Einfachheit halber den ganzen Tag über auf den gleichen Wert gesetzt. Da die Taupunkttemperatur vor allem mit der Luftmasse gekoppelt ist, ist diese Annahme auch sachwissenschaftlich vertretbar. Bei der Suche nach einer einfachen Definition stellten wir fest, dass die relative Luftfeuchtigkeit, die im Jahresschnitt im Mittelland bei 75% liegt, um 6 Uhr morgens im Schnitt 90% beträgt. Auf Grund dieser Erkenntnis wird die Taupunkttemperatur so gesetzt, dass die relative Luftfeuchtigkeit um 6 Uhr Morgens 90 % beträgt (4.9.10). Den ganzen Tag über wird die Taupunkttemperatur gleich gesetzt, ausser die Lufttemperatur sinkt unter die Taupunkttemperatur. In diesem Fall wird die Taupunkttemperatur der Lufttemperatur gleichgesetzt, was einer relativen Luftfeuchtigkeit von 100% entspricht. Mit der Formel 4.9.11 wird die relative Luftfeuchtigkeit berechnet.

Nachträglich werden die Monatswerte der generierten Daten an die gemessenen Monatsmittelwerte angepasst, indem zu den generierten Stundenwerten die Differenz zwischen generierten und gemessenen Monatsmittel addiert wird. Die Differenzen sind meistens klein (im Bereich von einigen Prozenten). Die Monatsmittel werden für Stationen, für die sie nicht schon vorhanden sind (DRY, Anetz-Standorte) mit einem einfachen Interpolationsmodell berechnet. Die Monatswerte der relativen Luftfeuchtigkeit werden mit Höhenregressionen bestimmt (Tab. 4.9.6). Für die ganze Schweiz werden die gleichen Höhengradienten benutzt. Sie weisen in jedem Monat einen Knickpunkt zwischen 2200 m und 2900 m auf. Die Anpassung erfolgte mit den 10-jährigen Monatsmittel von 59 Anetz-Stationen (1983-92). In gewissen Monaten wurde der Höhengradient auf 0.0 gesetzt, weil aus den Messwerten keine signifikante Variation mit der Höhe festgestellt werden konnte.

Tab. 4.9.6: Höhenvariation der Monatswerte der relativen Luftfeuchtigkeit (RH) in [%/km]. Basis auf Meereshöhe in [%], Knick in [km].

Region		Jan	Feb	März	April	Mai	Juni	Juli	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
alle	Basis	84.5	79.6	72	67.7	68.1	68.4	67.2	69.5	76	83.2	85.8	86.8
	Gradient	-9.5	-4.9	0.0	4.5	4.7	4.8	3.5	2.6	0.0	-6.0	-8.9	-11.0
	Knick	>2.3	>2.4	>2.5	>2.6	>2.8	>2.9	>2.6	>2.5	>2.2	>2.5	>2.4	>2.4
	Basis	62	68	74	88.9	87.1	82	76	86.5	86.7	68	64	60
	Gradient	0.0	0.0	0.0	-3.7	-2.2	0.0	0.0	-4.1	-5.1	0.0	0.0	0.0

**Beispiel:** Standorthöhe 1200 m, Mai:  
 - Unterhalb Knickpunkt: 2.8 km  
 - Basis auf 0 m.ü.M.: 68.1 %; Höhengradient: 4.7 %/km  
 -  $RH = 68.1 + 4.7 \cdot 1.2 = \underline{73.7\%}$

Vergleiche an mehreren Stationen zeigen ein sehr gutes Resultat. Der mittlere Fehler (MBE) an den 15 DRY-Stationen liegt für die relative Luftfeuchtigkeit bei -0.2%, die Standardabweichung des Fehlers (RMSE) bei 13%. Bei der Taupunkttemperatur liegt der MBE bei -0.1 °C und der RMSE bei 2.8 °C.

## 4.9.4.2 Feuchttemperatur

Die Feuchttemperatur lässt sich nicht mit einer einfachen Formel berechnen, sondern muss mittels mehrerer Zwischenschritte und Iterationen angenähert werden. Wie die Feuchttemperatur auf dem Messniveau mit der Luft- und der Taupunkttemperatur zusammenhängt, zeigt Abb. 4.9.16. Die Feuchttemperatur wird bestimmt, indem die Luftmasse der Temperatur ( $T_a$ ) trocken-adiabatisch bis zur Sättigung expandiert wird und dann entlang der Feuchtadiabate auf das Ausgangsniveau komprimiert wird.

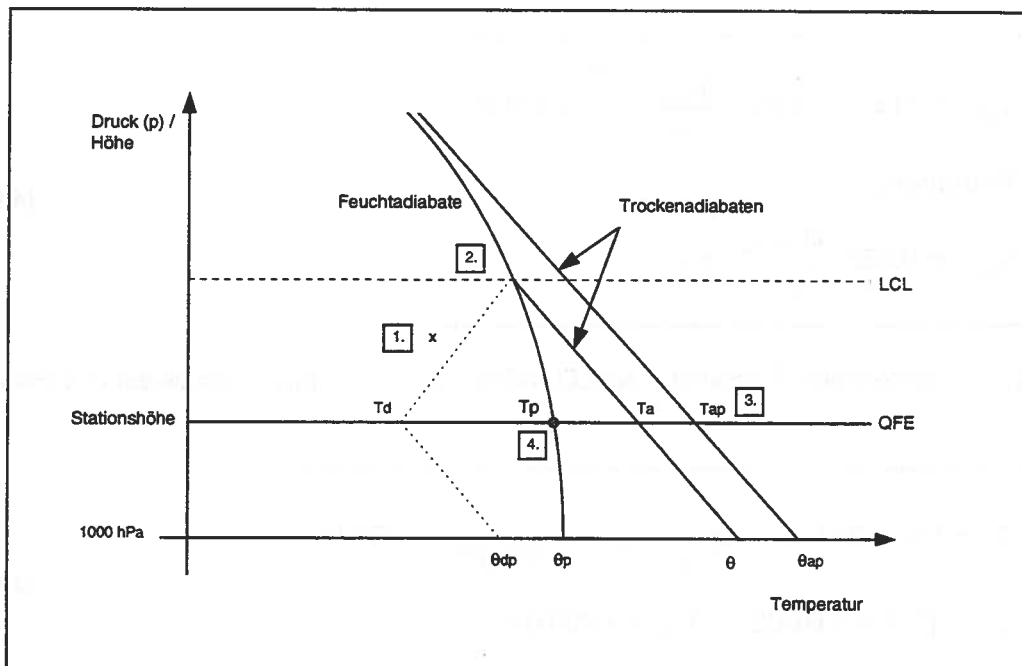


Abb. 4.9.16: Zusammenhang zwischen Taupunkt-, Feucht- und Lufttemperatur. Die Nummern zeigen den Ablauf der Berechnung der Feuchttemperatur ( $T_p$ ) aus der Lufttemperatur ( $T_a$ ) und der Taupunkttemperatur ( $T_d$ ).  $\theta$  bezeichnet die potentiellen Temperaturen bezogen auf das 1000 hPa-Niveau. QFE bedeutet den Luftdruck auf Stationshöhe.

Der Ablauf der Berechnungen sieht wie folgt aus:

1. Berechnung des Mischungsverhältnisses  $x$ . Diese dimensionslose Grösse bezeichnet das Gewicht des Wasserdampfes pro kg trockener Luft (4.9.12).
2. Iterative Berechnung der Temperatur im Kondensationsniveau (lifting condensation level: LCL) (4.9.13). Die Temperatur wird bestimmt, indem der Druck sukzessive erniedrigt wird bis das Mischungsverhältnis, das mit der potentiellen Temperatur des jeweiligen Druckes berechnet wird, dem Mischungsverhältnis  $x$  entspricht. Dabei wird ausgenutzt, dass das Mischungsverhältnis, bis zum Erreichen des LCL konstant bleibt. Die Höhe wird dann mittels Umkehrung der barometrischen Höhenformel (4.9.21) berechnet.
3. Berechnung der pseudo-äquivalenten Temperatur ( $T_{ap}$ ) mit Hilfe der Temperatur auf LCL-Niveau (4.9.14). Diese wird erreicht, indem trocken-adiabatisch expandiert wird bis zum LCL (Abb. 4.9.16), dann entlang der Feuchtadiabate bis alle Feuchtigkeit kondensiert ist und damit die gesamte Verdunstungswärme freigesetzt wurde. Anschliessend wird trocken-adiabatisch bis zum ursprünglichen Druck komprimiert.
4. Iterative Berechnung der Feuchttemperatur (4.9.15). Diese wird erreicht, indem die Taupunkttemperatur so lange erhöht wird, bis die pseudo-äquivalente Temperatur ( $T_{apx}$ ) der erhöhten Taupunkttemperatur ( $T_{dx}$ ) die unter 3. berechnete pseudo-äquivalente Temperatur ( $T_{ap}$ ) erreicht. Die erreichte Taupunkttemperatur entspricht dann der Feuchttemperatur.

$$x = 0.622 \cdot \frac{e(T_d)}{p} \quad (4.9.12)$$

$x$ : Mischungsverhältnis

$p$ : Luftdruck auf Stationshöhe [hPa]

$e(T_d)$ : Sättigungsdampfdruck

$$T_{LCL} = (T_a + 273.15) \cdot \left( \frac{P_{LCL}}{p} \right)^{0.286} - 273.15$$

Bedingung:

$$x_{LCL} = 0.622 \cdot \frac{e(T_{LCL})}{P_{LCL}} = x \quad (4.9.13)$$

$T_{LCL}$ : (potentielle) Temperatur auf LCL-Höhe [°C]

$P_{LCL}$ : Druck auf LCL-Höhe [hPa]

$$T_{ap} = (T_a + 273.15) \cdot \exp \left[ \frac{L_v \cdot x}{c_p \cdot (T_{LCL} + 273.15)} \right] - 273.15$$

$$L_v = (2.501 - 0.00237 \cdot T_{LCL}) \cdot 1'000'000 \quad (4.9.14)$$

$c_p$ : Spez. Wärme für trockene Luft ( $c_p = 1004.67 \text{ Jkg}^{-1}\text{K}^{-1}$ )

$L_v$ : Spez. Verdampfungswärme [ $\text{Jkg}^{-1}$ ]

$T_{ap}$ : pseudo-äquivalenten Temperatur  $T_{ap}$  [°C]

$$T_p = T_{dx}$$

Bedingung:

$$x_x = 0.622 \cdot \frac{e(T_{dx})}{p} \quad (4.9.15)$$

$$L_{vx} = (2.501 - 0.00237 \cdot T_{dx}) \cdot 1'000'000$$

$$T_{apx} = (T_{dx} + 273.15) \cdot \exp \left[ \frac{L_{vx} \cdot x_x}{c_p \cdot (T_{dx} + 273.15)} \right] - 273.15 = T_{ap}$$

$T_p$ : Feuchttemperatur [°C]

### 4.9.4.3 Bewölkungsgrad

Der Bewölkungsgrad, der hier in 9 Klassen zwischen 0 - 8 Oktas angegeben wird, wird mit den Globalstrahlungswerten abgeschätzt. Bewölkungsgrad 0 bedeutet ganz klarer Himmel, Bewölkungsgrad 8, vollständig bedeckter Himmel. Für die Abschätzung wird aus der Globalstrahlung zuerst der Clearness index berechnet (vgl. Formel 4.7.8). Im Weiteren wird die Annahme getroffen, dass mit zunehmendem Clearness index der Bewölkungsanteil sinkt. Während der Nacht wird zwischen dem letzten Wert des Vortages und dem ersten Wert des neuen Tages linear interpoliert.

Der Zusammenhang zwischen dem Clearness index und dem Bewölkungsgrad wurde an 15 Stationen im Mittelland und in den Alpen untersucht. Um Grenzwerte des Clearness index zu erhalten wurde die prozentuale Verteilung der Bewölkungsgrade auf die Verteilung des Clearness index übertragen. Diese Methode ergibt die besseren Resultate als die Verwendung eines (exponentiellen) Regressionsmodells. Die Klassengrenzen wurden pro Bewölkungsgrad und pro Sonnenhöhe-Klasse (Winkel der Sonne über flachem Horizont) definiert, wobei die Sonnenhöhe in 6 Klassen zu 10° von 5-65° eingeteilt wurde. Wenn zur Stundenmitte die Sonnenhöhe kleiner als 5° ist, so wird die Stunde zur Nacht gezählt und der Bewölkungsgrad interpoliert. Stunden mit Sonnenhöhen über 65° werden der höchsten Klasse zugeordnet.

An tiefer gelegenen Stationen im Mittelland und in den Alpentälern sind die Grenzwerte sehr ähnlich. Eine Höhenabhängigkeit lässt sich keine finden. Folglich werden für alle Standorte unter 1000 m die gleichen Grenzwerte benutzt (Tab. 4.9.7). Die Grenzwerte in Tabelle 4.9.7 wurden aus den 3 Standorten Bern-Liebefeld, Zürich-SMA und Zürich-Kloten bestimmt.

Tab. 4.9.7: Grenzwerte des Clearness index pro Sonnenhöhen-Klasse und Bewölkungsgrad (N) für Stationen unter 1000 m (BGg: Bewölkungsgradgrenze).

BGg		1	2	3	4	5	6	7	8
Sonnenhöhen-Klasse (hsk)	Sonnenhöhe	N 0- N 1	N 1- N 2	N 2- N 3	N 3- N 4	N 4- N 5	N 5- N 6	N 6- N 7	N 7- N 8
1	5°-15°	0.494	0.467	0.420	0.400	0.370	0.322	0.249	0.175
2	15°-25°	0.597	0.574	0.544	0.513	0.468	0.394	0.296	0.199
3	25°-35°	0.641	0.631	0.607	0.578	0.508	0.455	0.326	0.185
4	35°-45°	0.677	0.665	0.651	0.621	0.568	0.485	0.336	0.189
5	45°-55°	0.701	0.691	0.671	0.640	0.563	0.486	0.342	0.223
6	55°-67°	0.714	0.705	0.688	0.661	0.601	0.484	0.337	0.196

Die Grenzwerte von Standorten oberhalb 1000 Meter weisen eine deutliche Höhenabhängigkeit auf. Um die Grenzwerte für einen solchen Standort zu bestimmen, wird die Regressionsgleichung (4.9.16), welche aus den Stationswerten von La Chaux-de-Fonds, Davos, Samedan und dem 3-fach gewichteten Durchschnitt der Mittellandstationen bestimmt wurde, angewendet. Mit Hilfe dieser Regressionsgleichung lässt sich für jede beliebige Höhe über 1000 Meter eine Tabelle (analog Tab. 4.9.7) mit den jeweiligen Grenzwerten erstellen. Das quadratische Modell liefert ein Bestimmtheitsmass von 0.944.

$$K_{tg} = 45.54 \cdot z - 11.07 \cdot hsk^2 + 115.43 \cdot hsk - 9.68 \cdot BGg^2 + 24.94 \cdot BGg + 359.20 \quad (4.9.16)$$

$K_{tg}$ : Grenzwerte des Clearness index [‰]

$z$ : Höhe über Meer [km]

$hsk$ : Sonnenhöhen-Klasse

$BGg$ : Bewölkungsgradgrenzen

Die Fehlerberechnung zeigt auch bei dieser Abschätzung ein gutes Resultat (Abb. 4.9.18). Wenn nur Tageswerte betrachtet werden, liegt der MBE bei 0.0 Klasseneinheiten ([Oktas]) und der RMSE bei 1.7 Oktas. Werden die interpolierten Nachtwerte einbezogen, so liegt der MBE bei 0.3 Oktas und der RMSE bei 2.2 Oktas.

Bei der Generierung des Bewölkungsgrades aufgrund von Globalstrahlungs-Messdaten für Alpenstationen mit hohem Horizont können zum Teil systematische Fehler auftreten: An Standorten mit hohem Horizont fallen die  $K_t$ -Werte am Morgen und Abend, nachdem die Sonne hinter den Bergen untergegangen ist ab. Dies hat zur Folge, dass der Bewölkungsgrad fälschlicherweise angehoben wird. Dieser Effekt wird nur teilweise abgefangen, indem nur Stundenwerte mit einer Sonnenhöhe (in der Mitte der Stunde) von  $>5^\circ$  verwendet werden. Durch die Interpolation während der Nacht werden dadurch alle Nachtwerte angehoben.

### 4.9.4.4 Langwellige Strahlung

Die langwellige Strahlung (Wellenlänge länger als 3  $\mu\text{m}$ ) wird in 2 Komponenten aufgeteilt:

1. Langwellige Strahlung horizontal, **abwärtsgerichtet** ( $L_{\text{in}}$ ); Strahlung, die vom Halbraum oberhalb - vom Himmel - auf eine horizontale Fläche fällt (longwave incoming);
2. Langwellige Strahlung horizontal, **aufwärtsgerichtet** ( $L_{\text{up}}$ ); Strahlung, die von der Erdoberfläche gegen oben ausgestrahlt wird (longwave outgoing).

Die langwellige Strahlung auf eine vertikale Fläche ( $L_{\text{v}}$ ) ist aus diesen beiden Komponenten zusammengesetzt. Aus den ersten beiden Komponenten ( $L_{\text{in}}$  und  $L_{\text{up}}$ ) lässt sich mit Hilfe der kurzwelligen Strahlung (Globalstrahlung) und der Albedo die Strahlungsbilanz ( $R$ ) berechnen (4.9.19).

Die langwellige Strahlung wird mit der Formel berechnet, welche auch bei der Berechnung der langwelligen Strahlungsparameter der DRY verwendet wurde (4.9.18) (Unsworth, 1975). Die Lufttemperatur, die Taupunkttemperatur und der Bewölkungsanteil müssen bekannt sein. Die langwellige Strahlung wird mit dem Stefan-Boltzmann Gesetz berechnet. Da die Temperatur des Himmels nicht bekannt ist, wird die langwellige Strahlung mit dem Emissionsvermögen ( $\epsilon$ ) modifiziert. Das Emissionsvermögen wird mit dem Bewölkungsgrad und der Taupunkttemperatur parametrisiert (4.9.17) (EMPA, 1985).

$$\begin{aligned} \epsilon_h(0) &= 0.75 + 0.005 \cdot T_d \\ \epsilon_h(N) &= (1 - 0.84 \cdot N) \cdot \epsilon_h(0) + 0.84 \cdot N \end{aligned} \quad (4.9.17)$$

$T_d$ : Taupunkttemperatur [ $^{\circ}\text{C}$ ]                       $N$ : Bewölkungsgrad in [Oktas/8]  
 $\epsilon_h(0)$ : Emissivitätskonstante für Schönwetterbedingungen  
 $\epsilon_h(N)$ : Emissivitätskonstante für bewölkte Verhältnisse

$$\begin{aligned} L_{\text{in}} &= \epsilon_h(c) \cdot \sigma \cdot (T_a + 273.15)^4 \\ L_{\text{up}} &= \epsilon_{\text{up}} \cdot \sigma \cdot (T_a + 273.15)^4 \\ L_{\text{v}} &= 0.5 \cdot L_{\text{in}} + 0.5 \cdot L_{\text{up}} \end{aligned} \quad (4.9.18)$$

$L_{\text{in}}$ : Langwellige Strahlung auf horizontale Flächen, abwärts gerichtet [ $\text{W}/\text{m}^2$ ]  
 $L_{\text{up}}$ : Langwellige Strahlung auf horizontale Flächen, aufwärts gerichtet [ $\text{W}/\text{m}^2$ ]  
 $L_{\text{v}}$ : Langwellige Strahlung auf vertikale Fläche [ $\text{W}/\text{m}^2$ ]  
 $T_a$ : Lufttemperatur [ $^{\circ}\text{C}$ ]                       $\sigma$ : Stefan-Boltzmann Konstante [ $\text{Wm}^{-2}\text{K}^{-4}$ ]:  $5.67 \cdot 10^{-8}$   
 $\epsilon_{\text{up}}$ : Emissivitätskonstante (vom Boden): wird als 1.0 angenommen

Mit  $L_{\text{in}}$  und  $L_{\text{up}}$  kann die langwellige Strahlungsbilanz berechnet werden. Mit der Globalstrahlung und der Albedo, deren Berechnungsmethode in Brühwiler 1990 beschrieben ist, ist es nun möglich die gesamte Strahlungsbilanz ( $R$ ) zu berechnen (4.9.19).

$$R = G_h \cdot (1 - \alpha) + L_{\text{in}} - L_{\text{up}} \quad (4.9.19)$$

$R$ : Strahlungsbilanz [ $\text{W}/\text{m}^2$ ]                       $G_h$ : Globalstrahlung [ $\text{W}/\text{m}^2$ ]  
 $\alpha$ : Albedo

Die Validierung des Modells wurde an 15 DRY-Standorten durchgeführt. Dabei wurden die Parameter jeweils mit den aus Originalwerten (Taupunkttemperatur und Bewölkungsgrad) der DRY-Stationen berechneten Daten verglichen. Der Vergleich validiert also nicht eigentlich das langwellige Strahlungsmodell (da dieses auch für die DRY's Verwendung fand), sondern die aneinander gehängte Berechnung der Taupunkttemperatur, des Bewölkungsgrads und der langwelligigen Strahlung (Abb. 4.9.17 und Abb. 4.9.18).

Der MBE und der RMSE der einfallenden langwelligigen Strahlung (Lin) und der Strahlungsbilanz (R) sind gleich gross. Der MBE und der RMSE halbieren sich bei der langwelligigen Strahlung auf eine vertikale Fläche (Lv) (Lup, Gh und  $\alpha$  sind bei beiden Modellen gleich gross). Der MBE beträgt  $2.0 \text{ W/m}^2$ , der RMSE  $19 \text{ W/m}^2$ .

Vergleicht man die berechneten Strahlungswerte mit Messdaten von Payerne, Reckenholz, Rietholzbach und Arosa (Müller und Ohmura, 1993), so zeigt sich, dass die einfallende langwellige Strahlung und die Strahlungsbilanz sehr gut berechnet werden (Abb. 4.9.17). Die Daten wurden in diesem Fall mit simulierten Strahlungs-, Temperatur-, Taupunkttemperatur- und Bewölkungsgradwerten berechnet.

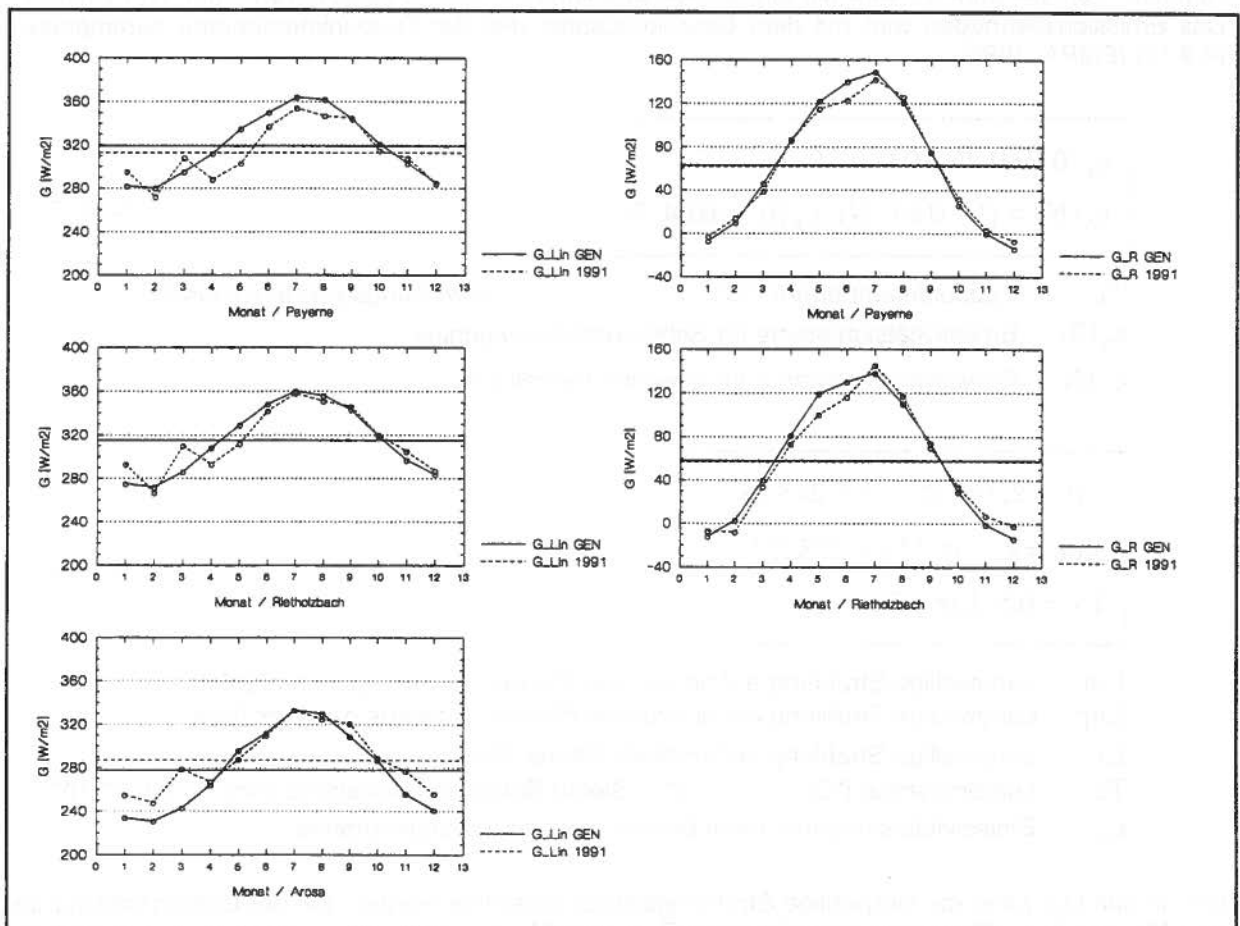


Abb. 4.9.17: Monatswerte der Bestrahlungsstärke der einfallenden langwelligigen Strahlung ( $G_{Lin}$ ) und der Strahlungsbilanz ( $G_R$ ) von Payerne, Rietholzbach und Arosa. Vergleich der generierten Daten (für mittlere Jahre, aus generierten Stundenwerten der Strahlung, Temperatur, Taupunkttemperatur und Bewölkungsgrad!) mit den gemessenen Daten von 1991 (Müller und Ohmura, 1993). Horizontale Linien deuten die Jahresmittel an.

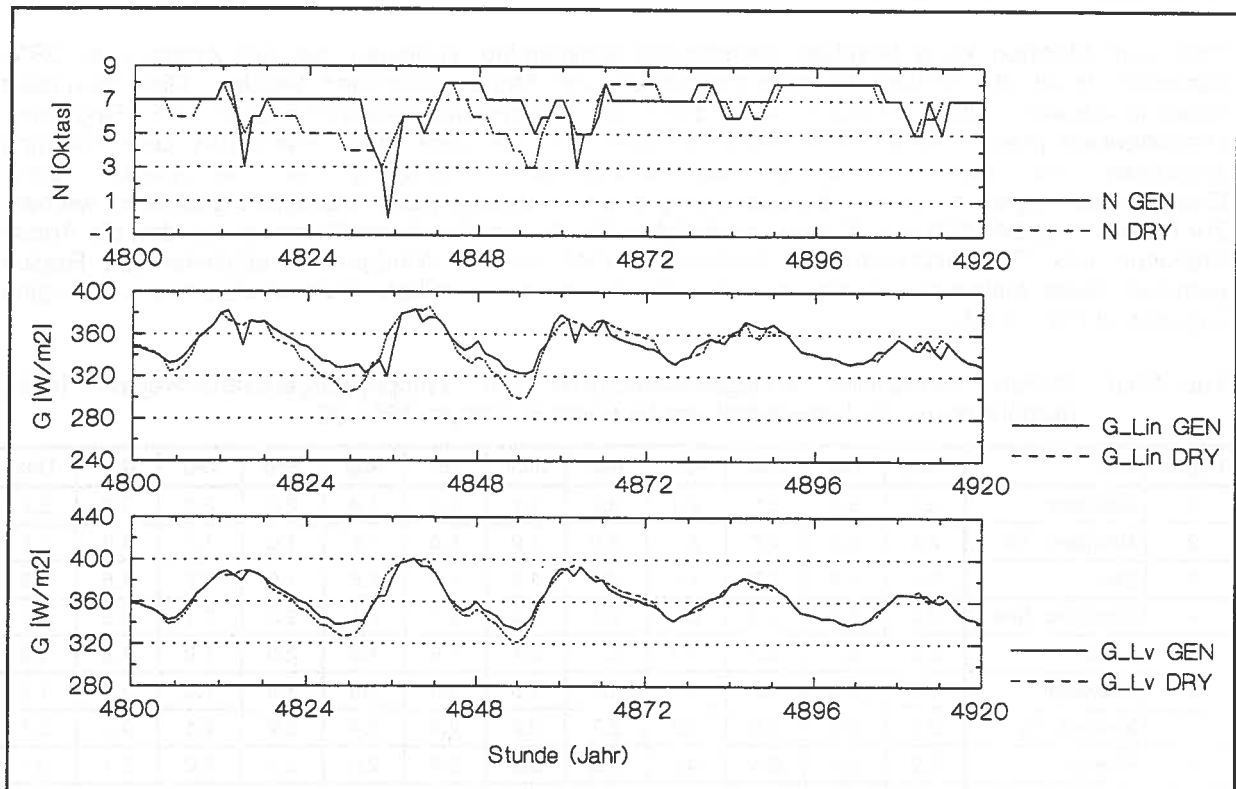


Abb. 4.9.18: Oben: Vergleich von beobachtetem Bewölkungsgrad (N DRY) und berechnetem Bewölkungsgrad aus der Globalstrahlung der DRY-Daten (N GEN) für Samedan vom 19.-23. Juli. Mitte: Auswirkung der unterschiedlichen Bewölkungsgrade auf die abwärtsgerichtete langwellige Strahlung (Lin), Unten: Auswirkung der unterschiedlichen Bewölkungsgrade auf die langwellige Strahlung auf eine vertikale Fläche (Lv).

#### 4.9.4.5 Wind

Die Angabe von Windgeschwindigkeit und Windrichtung dient in **METEONORM** einzig der Ergänzung des Outputs für Dimensionierungsprogramme, welche Winddaten als Input benötigen. Der Wind ist dabei meist von untergeordneter Bedeutung. Die hier vorgestellte Modellierung ist in diesem Sinne eine sehr einfache erste Abschätzung. Die flächendeckende Simulation des Windes ist ein fast unlösbares Problem. Kleinste lokale Unterschiede machen bei der Windgeschwindigkeit sehr grosse Beträge aus. Die räumliche Variabilität ist sehr gross. Schon die Abschätzung des Monatsmittelwertes an einer Station ohne genaue Kenntnisse der lokalen Verhältnisse bereitet grosse Schwierigkeiten. Detailliertere Angaben zu den Windverhältnissen der Schweiz finden sich in der *Meteonorm Wind* (BEW, 1990).

Glücklicherweise ist der Windeinfluss für die meisten Anlagentypen nicht entscheidend. Die Monatsmittelwerte werden mit einem einfachen Interpolationsmodell bestimmt. Bei Anetz- und DRY-Standorten ist keine Interpolation nötig, da die Monatswerte in der Datenbank gespeichert sind. Für jeden Stundenwert des Monats wird das entsprechende Monatsmittel der Windgeschwindigkeit und der Windrichtung eingesetzt.

## Windgeschwindigkeit

Falls vom Standort keine Windgeschwindigkeits-Monatsmittel vorliegen, wie bei Anetz- und DRY-Stationen, muss die mittlere Windgeschwindigkeit pro Monat interpoliert werden. Dies geschieht folgendermassen: Jeder Standort wird durch die Temperaturgenerator-Region (15 Regionen) charakterisiert (Kap. 4.9.3.4). Diese hängt vor allem mit der Lage eines Standortes über Talgrund zusammen und bestimmt bei der Generierung den Tagesgang der Temperatur. Diese Charakterisierung kann auch für die Zuordnung zu einem bestimmten Windregime gebraucht werden. Zur Berechnung der mittleren Windgeschwindigkeit für die verschiedenen Regionen wurden die Anetz-Stationen nach Temperaturgenerator-Regionen sortiert und die Windgeschwindigkeiten pro Region gemittelt. Diese Mittelwerte werden nun den Standorten der jeweiligen Temperaturgenerator-Region zugeordnet (Tab. 4.9.5).

Tab. 4.9.8: Mittlere monatliche Windgeschwindigkeit pro Temperaturgenerator-Region [m/s]; berechnet aus 10-Jahresmittel von 55 Anetz-Stationen (1983-92).

Region	Lage	Jan	Feb	März	April	Mai	Juni	Juli	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
1	Mittelland	2.5	2.5	2.6	2.4	2.2	2.1	2.0	1.9	2.0	2.0	2.2	2.2
2	Mittelland, Tal	2.1	2.2	2.2	2.1	2.0	1.9	1.6	1.5	1.6	1.7	1.8	1.8
3	Stadt	2.1	2.2	2.2	2.1	2.0	1.9	1.6	1.5	1.6	1.7	1.8	1.8
4	Mittelland, See	2.3	2.4	2.3	2.3	2.1	2.2	2.1	2.1	2.2	2.1	2.2	2.2
4	> 700 m	2.0	2.0	2.3	2.4	2.1	2.1	1.9	1.9	2.0	1.8	1.8	1.8
6	Südtessin	1.4	1.5	1.7	1.7	1.6	1.5	1.6	1.6	1.9	1.3	1.4	1.4
7	Inneralp. Tal	2.2	2.3	2.6	2.9	2.7	2.6	2.6	2.4	2.2	2.1	2.1	2.1
8	Föhntal	2.2	2.2	2.6	3.2	2.8	2.5	2.4	2.2	2.1	2.2	2.1	2.1
9	Randalp. Tal	1.8	1.7	2.0	2.3	2.1	1.9	1.9	1.7	1.5	1.5	1.7	1.7
10	Tal > 1000 m	1.6	1.7	2.1	2.2	2.2	2.2	2.2	2.0	1.9	1.7	1.6	1.6
11	extr. Kaltluftsee	1.3	1.6	2.0	2.3	2.5	2.5	2.6	2.4	2.2	1.9	1.5	1.5
12	Kaltluftsee	1.9	2.1	2.4	2.6	2.2	2.2	2.1	2.0	2.0	2.0	1.9	1.9
13	> 1000 m	2.4	2.5	2.6	2.5	2.3	2.3	2.3	2.2	2.2	2.1	2.2	2.2
14	Gipfel > 1000 m	6.2	6.1	5.8	5.5	4.9	4.9	4.7	4.7	5.1	5.5	4.9	5.9
15	> 3000 m	6.8	6.2	6.1	6.0	4.7	4.7	4.4	4.4	5.2	5.9	6.4	6.4

## Windrichtung

Aus den einleitend zu diesem Kapitel genannten Gründen wurden die Windrichtung und die Windrichtungsanteile für alle Standorte auf die gleichen Werte gesetzt. Die Windrichtung ist auf 247° (0° → Nordwind, 90° → Ostwind, 180° → Südwind und 270° → Westwind) und die Anteile auf 10% N, 23% E, 20% S, 47% W festgesetzt. Diese Werte entsprechen in etwa der mittleren Windrichtung und der Verteilung der Windrichtung in der freien Atmosphäre (aus Sondierungen Payerne auf 1500 m (BEW, 1990)). Als Stundenwerte werden während des ganzen Jahres dieselben Werte eingesetzt.

### 4.9.4.6 Luftdruck

Der Luftdruck wird an einem bestimmten Standort das ganze Jahr hindurch konstant gesetzt. Für den mittleren Luftdruck wird ein Modell verwendet, das eine polytrope Atmosphäre mit konstanter Temperaturabnahme (-6.5 °C/km) und konstanter Temperatur auf Meereshöhe (15 °C) nachbildet (4.9.21).

$$p = 1013 \cdot \left[ 1 - \frac{0.0065 \cdot z}{288.15} \right]^{5.264}$$

(4.9.21)

p: Luftdruck [hPa]      z: Höhe über Meer [m]

## 4.10 Heizgradtage

Die Heizgradtage (HGT) stellen eine einfache, weit verbreitete Hilfsgrösse zur Berechnung des Energieverbrauchs von beheizten Gebäuden dar. Die Heizgradtage werden in der **METEONORM** auf Monatsbasis nach der sia-Empfehlung 381/3 (sia, 1982) berechnet. Dabei werden die Heizgradtage mit Hilfe der Monatsmitteltemperaturen abgeschätzt. Die Heizgradtage werden für 20 °C Raumlufttemperatur und eine Heizgrenze von 12 °C berechnet ( $HGT_{12/20}$ ).

In sia 381/3 wird die Berechnung der Heizgradtage mit Hilfe von Basisstandorten an die regionalen Verhältnisse angepasst, wobei in erster Linie die Stützwerte verändert werden. Da die automatisierte Zuordnung eines Standorts zu einer regionalen Basisstation nur mit grossem Aufwand zu bewerkstelligen ist, werden in der **METEONORM** für die ganze Schweiz die gleichen Gradienten und Stützpunkte verwendet (4.10.1). Die vereinfachte Methode führt zu kleinen Abweichungen zu den mit der sia 381/1-Methode berechneten Daten: Ein kurzer Vergleich zwischen den Modellen an den Anetz-Stationen La Chaux-de-Fonds, Bern, Davos und Lugano mit den 10-jährigen Mittelwerten ergab einen durchschnittlichen Fehler (MBE) von -4  $HGT_{12/20}$  (berechnete Werte sind tiefer) und eine Standardabweichung (RMSE) von ungefähr 10  $HGT_{12/20}$  für Monatswerte. Ein weiterer Vergleich an den gleichen Stationen mit den Monatswerten des Jahres 1994 ergab einen MBE von -1  $HGT_{12/20}$  und einen RMSE von 24  $HGT_{12/20}$ .

$T_a \leq 0.0$	$HGT = (20 - T_a) \cdot n$
$T_a > 0.0$	
<b>Januar, März, Mai, Juli, August, Oktober, Dezember (n = 31)</b>	
$0.0 < T_a \leq 8.0$	$HGT = 615 - 34.38 \cdot (T_a)$
$8.0 < T_a \leq 9.1$	$HGT = 340 - 36.36 \cdot (T_a - 9.1)$
$9.1 < T_a \leq 10.5$	$HGT = 300 - 53.57 \cdot (T_a - 10.5)$
$10.5 < T_a \leq 13.9$	$HGT = 225 - 44.12 \cdot (T_a - 13.9)$
$13.9 < T_a \leq 15.0$	$HGT = 75 - 18.18 \cdot (T_a - 15.0)$
$15.0 < T_a \leq 20.0$	$HGT = 55 - 11.00 \cdot (T_a - 20.0)$
$20.0 < T_a$	$HGT = 0.0$
<b>April, Juni, September, November (n = 30)</b>	
$0.0 < T_a \leq 8.1$	$HGT = 600 - 33.95 \cdot (T_a)$
$8.1 < T_a \leq 9.1$	$HGT = 325 - 45.00 \cdot (T_a - 9.1)$
$9.1 < T_a \leq 10.3$	$HGT = 280 - 45.83 \cdot (T_a - 10.3)$
$10.3 < T_a \leq 14.0$	$HGT = 225 - 40.54 \cdot (T_a - 14.0)$
$14.0 < T_a \leq 15.0$	$HGT = 75 - 20.00 \cdot (T_a - 15.0)$
$15.0 < T_a \leq 20.0$	$HGT = 55 - 11.00 \cdot (T_a - 20.0)$
$20.0 < T_a$	$HGT = 0.0$
<b>Februar (n = 28)</b>	
$0.0 < T_a \leq 8.0$	$HGT = 570 - 32.50 \cdot (T_a)$
$8.1 < T_a \leq 9.1$	$HGT = 310 - 36.36 \cdot (T_a - 9.1)$
$9.1 < T_a \leq 14.5$	$HGT = 270 - 50.0 \cdot (T_a - 14.5)$
$14.5 < T_a$	$HGT = 0.0$

(4.10.1)

HGT : Heizgradtage ( $HGT_{12/20}$ )  
n : Anzahl Tage pro Monat

$T_a$  : Monatsmittel der Lufttemperatur [°C]



## 5 Weiterführende Hinweise

In Tab. 5.1 sind einige der gebräuchlichsten Dimensionierungsprogramme aufgelistet. Für den grössten Teil von diesen bietet die **METEONORM** spezielle Ausgabeformate an (Kap. 2.3). Die Tab. 5.2 enthält Kontaktstellen, an die man sich bei offenen Fragen bezüglich erneuerbaren Energien und Dimensionierungsprogrammen wenden kann.

Tab. 5.1: Einige der gebräuchlichsten Dimensionierungsprogramme

Name	Kontaktstelle	Zweck
DOE 2.1e	EMPA, Dübendorf	Dynamische Simulation thermischer Vorgänge in mehrzonigen Gebäuden mit Haustechniksystemen
G3	UNI Genève, GAP	Dimensionierung und Analyse von Wassererwärmungsanlagen NT und HT. Berechnung von Meteodaten aus Monatswerten.
HELIOS-PC	EMPA, Dübendorf	Dynamische Simulation thermischer Vorgänge in einzonigen Gebäuden
MATCH	EMPA, Dübendorf	Berechnung des kombinierten Wärme- und Feuchte-transportes in Wänden
POLYSUN	Technikum Rapperswil (SPF / ITR)	Vordimensionierung und Berechnung von Wassererwärmungsanlagen NT und HT. Bestimmung des Bruttowärmeertrages
PVSYST	UNI Genève, GAP	Dimensionierung von Photovoltaikanlagen
SUNCODE	EMPA, Dübendorf	Dynamische Simulation thermischer Vorgänge in mehrzonigen Gebäuden
...		

Tab. 5.2: Kontaktstellen

Kontaktstelle	Art / Programme	Adresse
Bundesamt für Energiewirtschaft	Allgemein	Belpstr. 36, 3003 Bern
INFOENERGIE	Allgemein	Postfach, 5201 Brugg
INFOENERGIE	Allgemein	Tivoli 16, 2003 Neuchâtel
ENET	Allgemein, Technologietransfer im Energiebereich	ENET, Postfach 142, 3000 Bern 6
EMPA	HELIOS, DOE, MATCH, SUNCODE	EMPA, Überlandstr. 129, 8600 Dübendorf
ITR	POLYSUN	SPF / ITR, Oberseestr. 10, 8640 Rapperswil
UNI Genève, GAP	G3, PVSYST	Groupe de Physique Appliquée, 4. ch. de Conches, 1231 Conches



## 6 Literatur

- Aguiar, R. and M. Collares-Pereira (1988): A simple procedure for generating sequences of daily radiation values using a library of markov transition matrices. *Solar Energy*, Vol. 40, No 3, pp. 269-279.
- Aguiar, R. and M. Collares-Pereira (1992): TAG: A time-dependent auto-regressive, gaussian model. *Solar Energy*, Vol. 49, No 3, pp. 167-174.
- Al-Hamdani, N., M. Al-Riahi, K. Tahir (1989): Estimation of diffuse fraction of daily and monthly average global radiation for Fudhaliyah, Baghdad (Iraq). *Solar Energy* Vol. 42, No 1, pp. 81-85.
- Aubinet, M. (1994): Longwave sky radiation parametrizations. *Solar Energy*, Vol. 53, No 2, pp. 174-154.
- Box, G. O., G.M. Jenkins and G.C. Reinsel. (1994): Time series analysis: Forecasting and control. 3. edition. Prentice Hall, Englewood Cliffs, NJ.
- Brühwiler, D. (1990): schr. Mitteilung vom 7. Nov. über die Albedoberechnung im Programm DO10
- Bundesamt f. Energiewirtschaft (BEW) (1985): **METEONORM'85**. Infoenergie, Postfach 311, 5200 Brugg.
- Bundesamt für Energiewirtschaft (BEW) (1990): Meteonorm Wind. Leitfaden für den Windenergieplaner. Infoenergie, Postfach 311, 5200 Brugg.
- Bundesamt für Energiewirtschaft (BEW) (Hrsg.) (1995): **METEONORM** Ausgabe 1995. Technische Dokumentation.
- Bundesamt für Statistik (BFS) (Hrsg.) (1992): GEOSTAT Benutzerhandbuch. BFS, Servicestelle GEOSTAT, Bern.
- Commission of the European Communities, Directorate General XII for Science, Research and Development (1985): Test Reference Year TRY. Weather Data Sets for Computer Simulations of Solar Energy Systems and Energy Consumptions in Buildings. 1985 ECSC, EEC, EAEC Brussels and Luxemburg.
- Deutscher Wetterdienst (DWD) (1979): Aspirations-und Psychrometertafeln. 6. Auflage. Friedrich Vieweg&Sohn. Braunschweig/Wiesbaden.
- Dognaux, P. (1975): Variations géographiques et climatiques des expositions énergétiques solaires sur des surfaces réceptrices horizontales et verticales. IRM, Miscsell. B38.
- Eidg. Materialprüfungs Anstalt (EMPA) (1985): Proposal for calculating the thermal irradiance of the environment. Draft.
- Gansler, R.A., S.A. Klein and W.A. Beckman (1994): Assessment of the accuracy of generated meteorological data for use in solar energy simulation studies. *Solar Energy*, Vol. 53, No 3, pp. 279 - 287.
- Gilgen, H. (1994): Daten vom Globalen Energiebilanz-Archiv (GEBA). Pers. Mitteilung (Projekt am Geographischen Institut der ETH Zürich, Winterthurerstr. 190, 8057 Zürich).
- Gopinathan, K. K. (1988): Empirical correlations for diffuse solar irradiation. *Solar Energy* Vol. 40, No 4, pp. 369-370.
- Graham, V. and K. Hollands (1990): A method to generate synthetic hourly solar radiation globally. *Solar Energy*, Vol. 44, No 6, pp. 333-341.
- Ineichen, P. (1983): Quatre années de mesures d'ensoleillement à Genève. Thèse No. 2089, Faculté des sciences de l'Université de Genève.
- Houghton, J.T., J. Jenkins and J.J. Ephraums (eds.) (1990): Climate Change. The IPCC scientific assessment. Cambridge University Press, Cambridge.

- Iribarne, J.V. and W.L. Godson (1981): Atmospheric thermodynamics. D. Reidel Publishing Company. p. 259.
- Kasten, F. (1980): A Simple Parameterization of the Pyrheliometric Formula for Determining the Linke Turbidity Factor. *Meteorol. Rdsch.* 33. 124-127.
- Kasten, F., K. Dehne, H.D. Behr und U. Bergholter (1984): Die räumliche Verteilung der diffusen und direkten Sonnenstrahlung in der Bundesrepublik Deutschland. Bundesministerium für Forschung und Technologie, Forschungsbericht T 84-125, Juni 1984.
- Kasten, F. (1990): Höhenabhängigkeit der Globalstrahlung bei wolkenlosem Himmel. Mitteilung von F. Kasten, DWD, an A. Zelenka, SMA.
- Krist, T. (1976): Formeln und Tabellen der Internationalen Einheiten mit SI-Einheiten. Technik-Tabellen-Verlag Fikentscher & Co., Darmstadt.
- Kunz, S. und R. Volz (1984): Sonnenenergie Nutzungszonen Schweiz (SONUS). Bundesamt f. Energiewirtschaft (BEW), Bem.
- Müller, G. und A. Ohmura (1993): Radiation Annual Report ETH No 2 1990 and 1991. Zürcher Geographische Schriften (ZGS), Heft 52. vdf, Zürich. pp. 17-18.
- Müller-Westermeier, G. (1990): Klimadaten der Bundesrepublik Deutschland, Zeitraum 1951-80. Selbstverlag des Deutschen Wetterdienstes. Offenbach am Main, 1990.
- Ohmura, A. (1992): Mündl. Mitteilung.
- Page, J. K. (1961): The estimation of monthly mean values of daily total short wave radiation on vertical and inclined surfaces from sunshine records for latitudes 40 ° N-40 ° S. Proc. U.N. Conf. on New Sources of Energy, paper No S 98, 4, 378, (1961).
- Perez, R., R. Stewart, C. Arbogast, R. Seals and J. Scott (1986): An anisotropic hourly diffuse radiation model for sloping surfaces: Description, performance validation, site dependency evaluation. *Solar Energy*, 36, 6, 481-497.
- Perez, R., R. Seals, P. Ineichen, R. Stewart and D. Menicucci (1987): A new simplified version of the Perez Diffuse Irradiance Model for tilted surfaces. *Solar Energy*, Vol. 39, No 3, pp. 221-231.
- Perez, R., P. Ineichen, R. Seals, J. Michalsky and R. Stewart (1990): Modeling daylight availability and irradiance components from direct and global irradiance. *Solar Energy*, Vol. 44, No 5, pp. 271-289.
- Perez, R., P. Ineichen, E. Maxwell, R. Seals and A. Zelenka (1991): Dynamic Models for hourly global-to-direct irradiance conversion. Edited in: Solar World Congress 1991. Volume 1, Part II. Proceedings of the Biennial Congress of the International Solar Energy Society, Denver, Colorado, USA, 19-23 August 1991.
- Müller, M.J., K. Baltes, E. Lutz, G. Richter und D. Werle (1985): Handbuch ausgewählter Klimastationen der Erde. Forschungsstelle Bodenerosion der Universität Trier Mertensdorf (Ruwertal). 3. Auflage.
- Müller-Westermeier, G. (1990): Klimadaten der Bundesrepublik Deutschland Zeitraum 1951-80. Selbstverlag des Deutschen Wetterdienstes, Offenbach am Main 1990.
- sia (1982): sia Empfehlung 381/3: Heizgradtage der Schweiz. Ausgabe 1982. Schweizerischer Ingenieur- und Architekten-Verein, Postfach, 8039 Zürich.
- Scartezzini, J.-L., M. Nygard Ferguson and F. Bochud (1990): Compression of multi-year meteorological data. Final Report. OFEN Project EF-REN (90)009. Solar energy and building physics laboratory, department of architecture, EPFL Lausanne.
- Schüepp, M. (1967): Klimatologie der Schweiz: C.: Lufttemperatur, 3. und 4. Teil. Beilagen zu den Annalen 1966. Schweizerische Meteorologische Anstalt, Zürich.
- Sfeir, A.A. und G. Guarracino (1981): Ingénierie des systèmes solaires TEC&DOC.

- Skartveit, A., H. Lund. and J.A. Olseth (1992): The Design Reference Year. Recent Advancements in Solar Radiation Resource Assessment. Seminar, Denver, Colorado, November 16-19,1992.
- Unsworth, M.H. et al. (1975): Longwave radiation at the ground. *Quarterly Journal of Royal Meteorological Society*.
- World Meteorological Organisation (WMO) (1971): Climatological Normals (Clino) for climat and climat ship stations for the period 1931-60. WMO/OMM - No 117.TP.52.
- Wright, J., R. Perez and J.J. Michalsky (1989): Luminous Efficacy of Direct Irradiance: Variation with Moisture Conditions. *Solar Energy*,Vol. 42,pp. 387-394.
- Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik (ZAMG) (1994): Wetter- und Klimaübersicht Januar - Dezember 1994.
- Zelenka, A., G. Czeplak.,V. D'Agostino, J. Weine., E. Maxwell., R. Perez, M. Noia, C. Ratto and R. Festa (1992): Techniques for supplementing solar radiation network data, Volume 1-3. IEA Report No IEA-SHCP-9D-1.
- Zelenka, A. (1994): Mündliche Mitteilung über das von ihm verwendete Horizontkorrekturverfahren.



## 7 Abkürzungen und Symbole

Tab. 7.1: Alphabetisches Verzeichnis der Abkürzungen und Symbole

Gruppe	Abkürzung/Symbole	Bedeutung
Allgemein	Anetz	Automatisches Netz der SMA
	BEW	Bundesamt für Energiewirtschaft
	BFS	Bundesamt für Statistik
	DRY	Design Reference Year
	DWD	Deutscher Wetterdienst
	EMPA	Eidgenössische Materialprüfungs- und Forschungsanstalt
	GEN	Generiert
	MBE	mean biased error; durchschnittlicher Fehler
	MN	Meteonorm
	MN'85	Meteonorm Ausgabe 1985 (BEW, 1985)
	NABEL	Nationales Beobachtungsnetz für Luftfremdstoffe
	PV	Photovoltaik
	RMSE	root mean square error; mittlere Abweichung
	WMO	World Meteorological Organisation
SMA	Schweizerische Meteorologische Anstalt	
Parameter	$\alpha$	Albedo (mittleres Reflexionsvermögen der Erde)
	Bh	Direktstrahlung auf horizontale Fläche
	Bk	Direktstrahlung auf geneigte Fläche
	Bn	Direktnormale Strahlung (Beam)
	DD	Windrichtung
	Dh	Diffusstrahlung (horizontal)
	Dhhor	Diffusstrahlung (horizontal) mit Horizont
	Dhmin	Diffusstrahlung an Schönwettertagen
	Dk	Diffusstrahlung auf geneigte Fläche
	$Dk_{Him}$	diffuse Himmelsstrahlung auf geneigte Fläche
	$Dk_{Ref}$	diffuse Reflexstrahlung auf geneigte Fläche
	$\epsilon_h$	Emissivitätsvermögen horizontal
	$\epsilon_v$	Emissivitätsvermögen vertikal
	FF	Windgeschwindigkeit
	FFE	Windgeschwindigkeit Richtung Osten
	FFN	Windgeschwindigkeit Richtung Norden
	FFaE, N, W, S	Windrichtungshäufigkeitsanteil E, N, W, S (in %)
	<G>	Mittlere Bestrahlungsstärke
	Gh	Globalstrahlung (horizontal)
	Ghhor	Globalstrahlung (horizontal) mit Horizont
	Ghmax	Maximale Globalstrahlung (an Schönwettertagen) (horizontal)
	Gk	Globalstrahlung auf geneigte Fläche
	GvE, N, W, S	Globalstrahlung auf vertikal nach E, N, W, oder S gerichtete Fläche
	H	Strahlungssumme (Strahlungsenergie)
	HGT <sub>12/20</sub>	Heizgradtage
	Lin	Langwellige Strahlung horizontal einfallend (longwave incoming)
	Lup	Langwellige Strahlung horizontal ausgehend (longwave outgoing)
	Lv	Langwellige Strahlung auf vertikale Fläche
	N	Bewölkungsgrad
	p	Luftdruck

Gruppe	Abkürzung/Symbole	Bedeutung
	$\rho$ R Rb R-Faktor RH RR Ta Td Tp	Reflexionskoeffizient, -vermögen, - grad Strahlungsbilanz Verhältnis zwischen direkten Strahlungssummen auf geneigter und horizontaler Fläche Verhältnis zwischen globalen Strahlungssummen auf geneigter und horizontaler Fläche Relative Luftfeuchtigkeit Niederschlag Lufttemperatur Taupunkttemperatur Feuchttemperatur (Psychrometertemperatur)
Erde	$\varphi$ $\varphi'$ $\lambda$	geographische Breite geographische Breite der äquivalenten Horizontalfläche geographische Länge
Fläche	$\beta$ $\gamma$ $\Theta$ Rdiso Rriso	Flächenneigung (Anstellwinkel der Fläche) Flächenazimut (Ausrichtung der Fläche) Einfallswinkel der Strahlung auf die geneigte Fläche isotropic diffuse view factor isotropic reflex view factor
Sonne	AM $\delta$ $\gamma_s$ hs hs <sub>max</sub> I <sub>0</sub> I <sub>ex</sub> G <sub>0</sub> KT Kt kt S <sub>0</sub> Sd $\omega_s$ $\omega_{ss}$	Optische Luftmasse Deklination Sonnenazimut Sonnenhöhe täglicher Sonnenhöchststand Solarkonstante Strahlung am oberen Rand der Atmosphäre (Solarkonstante mit Anpassung an jeweilige Distanz Erde-Sonne) Extraterrestrische Sonnenstrahlung (horizontal) Clearness index (Monat) Clearness index (Tag) Clearness index (Stunde) Astronomische Sonnenscheindauer effektive Sonnenscheindauer Stundenwinkel der Sonne Stundenwinkel bei Sonnenauf- und -untergang
Zeit	dm dy ET GMT h hy IZRM m MEZ ST t t <sub>s</sub> t <sub>z</sub> UTC	Tag des Monats (1..28/29/30/31) Tag des Jahres (1..365/366) Zeitgleichung Greenwich mean time (=UTC) Stunde im Tag Stunde im Jahr Interne Zeitreferenz in Minuten Monat Mittleuropäische Zeit Wahre Sonnenzeit bürgerliche Zeit (Uhrzeit) Zeitdifferenz zwischen der bürgerlichen Zeit und der Zonenzeit Zeitdifferenz Zonenzeit-Universelle Zeit universal time coordinated; Universelle Zeit

## 8 Größen und Einheiten

### 8.1 Definition der Parameter

Tab. 8.1: Definition der verwendeten Parameter

Parameter	Beschreibung	Grund-einheit	weitere Einheiten
DD	Windrichtung	[°]	-
FF	Windgeschwindigkeit	[m/s]	[1/10 m/s], [kt], [km/h]
G	mittlere stündliche Bestrahlungsstärke: $(H/\Delta t)$ (Index gibt Strahlungsarten an)	[W/m <sup>2</sup> ]	[btu/ft <sup>2</sup> h], [kJ/m <sup>2</sup> h]
<G>	mittlere Bestrahlungsstärke: $(H/\Delta t)$ (Index gibt Strahlungsarten an). Für Tages-, Monats- und Jahresmittel verwendet	[W/m <sup>2</sup> ]	[btu/ft <sup>2</sup> h], [kJ/m <sup>2</sup> h]
H	Einstrahlungssumme (Index gibt Strahlungsarten an)	[kWh/m <sup>2</sup> ]	[MJ/m <sup>2</sup> ]
hs	Sonnenhöhe: Der Winkel zwischen der Linie, die die Mitte der Sonnenscheibe mit dem Standpunkt verbindet und der horizontalen Ebene durch den Standpunkt.	[rad]	[°]
KT, Kt, kt	Clearness index: Globalstrahlung auf Erdoberfläche dividiert durch extra-terrestrische Strahlung ( $G_h / G_o$ ). KT bezeichnet Monatswerte, Kt Tageswerte und kt Stundenwerte.	[ ]	-
N	Bewölkungsgrad, -anteil.	[Oktas]	-
p	Luftdruck	[hPa]	[1/100 inch Hg]
RH	Relative Luftfeuchtigkeit	[%]	-
RR	Niederschlag	[cm]	-
Sd	effektive Sonnenscheindauer	[h]	-
Ta	Lufttemperatur (ambient temperature)	[°C]	[1/10 °C], [F]
Td	Taupunkttemperatur (dewpoint temperature)	[°C]	[1/10 °C], [F]
Tp	Feuchttemperatur (Psychrometertemperatur)	[°C]	[1/10 °C], [F]

Tab. 8.2: Definition der Strahlungsarten

Parameter	Beschreibung
Bh	Direktstrahlung, horizontal: Kurzwellige Strahlung ( $\lambda < 3 \mu\text{m}$ ), die aus einem kleinen Raumwinkel, der um die Sonnenscheibe zentriert ist ( $6^\circ$ Öffnungswinkel), auf eine horizontale Fläche fällt
Bk	Direktstrahlung, geneigt: Kurzwellige Strahlung ( $\lambda < 3 \mu\text{m}$ ), die aus einem kleinen Raumwinkel, der um die Sonnenscheibe zentriert ist ( $6^\circ$ Öffnungswinkel), auf eine geneigte Fläche fällt
Bn	Beam: Direktnormale Strahlung: Kurzwellige Strahlung ( $\lambda < 3 \mu\text{m}$ ), die aus einem kleinen Raumwinkel, der um die Sonnenscheibe zentriert ist ( $6^\circ$ Öffnungswinkel), auf eine senkrecht zur Strahlungsrichtung stehende Fläche fällt
Dh	Diffusstrahlung, horizontal: Kurzwellige, isotrope Strahlung ( $\lambda < 3 \mu\text{m}$ ) aus oberem Halbraum abzüglich der direkten Sonnenstrahlung von der Sonnenscheibe und ihrer Umgebung ( $6^\circ$ Öffnungswinkel)
Dhhor	Diffusstrahlung, horizontal mit Horizonteinengung: Kurzwellige, isotrope Strahlung ( $\lambda < 3 \mu\text{m}$ ) aus oberem Halbraum abzüglich der direkten Sonnenstrahlung von der Sonnenscheibe und ihrer Umgebung ( $6^\circ$ Öffnungswinkel) mit Berücksichtigung des Horizonts
Dhmin	Diffusstrahlung, horizontal, minimal: Minimale Diffusstrahlung auf eine horizontale Fläche an klaren, wolkenlosen Tagen (Schönwettertagen; clear sky-Bedingungen)
Dk	Diffusstrahlung, geneigt: Kurzwellige, isotrope Strahlung ( $\lambda < 3 \mu\text{m}$ ) aus oberem Halbraum abzüglich der direkten Sonnenstrahlung von der Sonnenscheibe und ihrer Umgebung ( $6^\circ$ Öffnungswinkel) auf geneigte Fläche
Gh	Globalstrahlung, horizontal: Kurzwellige Strahlung ( $\lambda < 3 \mu\text{m}$ ), die auf einer horizontalen Fläche aus einem Raumwinkel von $2 \pi$ sr empfangen wird
Ghhor	Globalstrahlung, horizontal mit Horizonteinengung Kurzwellige Strahlung ( $\lambda < 3 \mu\text{m}$ ), die auf einer horizontalen Fläche aus einem Raumwinkel von $2 \pi$ sr empfangen wird, mit Berücksichtigung des Horizonts
Ghmax	Globalstrahlung, horizontal, maximal: Maximale Globalstrahlung auf eine horizontale Fläche an klaren, wolkenlosen Tagen (Schönwettertagen; clear sky-Bedingungen)
Gk	Globalstrahlung, geneigt: Kurzwellige Strahlung ( $\lambda < 3 \mu\text{m}$ ), die auf einer geneigten Fläche aus einem Raumwinkel von $2 \pi$ sr empfangen wird
G <sub>0</sub>	Extraterrestrische Strahlung, horizontal: Kurzwellige Strahlung ( $\lambda < 3 \mu\text{m}$ ) vom oberen Halbraum auf horizontale Fläche am oberen Rand der Atmosphäre
Lin	Langwellige (thermische) Strahlung auf horizontale Fläche vom oberen Halbraum eingestrahlt (longwave incoming). Wellenlänge $> 3 \mu\text{m}$
Lup	Langwellige (thermische) Strahlung auf horizontale Fläche von Erdboden ausgestrahlt (longwave outgoing). Wellenlänge $> 3 \mu\text{m}$
Lv	Langwellige (thermische) Strahlung auf vertikale Fläche. Wellenlänge $> 3 \mu\text{m}$
R	Strahlungsbilanz: Bilanz der gesamten einfallenden und der ausgehenden Strahlung (kurz- und langwellig)

Anmerkung: Da die meisten Computerprogramme keine tiefgestellten Buchstaben zulassen, gibt es für jede Variable zwei Darstellungsarten. Anstatt die Buchstaben tief zu stellen, werden sie mit einem

Strich (under score) angehängt. Letztere Darstellung wird im Computerprogramm der **METEONORM** sowie in den meisten Abbildungen verwendet.

Beispiele für die Darstellung:

$G_{\text{Gh}} = \underline{G}_{\text{Gh}}$  : Diese Abkürzungen bezeichnen die mittlere stündliche Bestrahlungsstärke der horizontalen Globalstrahlung.

$H_{\text{Gh}} = \underline{H}_{\text{Gh}}$  : Diese Abkürzungen bezeichnen die Einstrahlungssumme der horizontalen Globalstrahlung

## 8.2 Umrechnungsformeln

In diesem Kapitel werden die Formeln vorgestellt, die zur Umrechnung der Einheiten verwendet werden.

Tab. 8.3: Umrechnungsformeln der verschiedenen Einheiten (Krist, 1976).

	Parameter	Grundeinheit (1)	gesuchte Einheit (2)	Formel
Strahlung	H <G>	[kWh/m <sup>2</sup> ]	[MJ/m <sup>2</sup> ]	(2) = 3.6*(1)
		[W/m <sup>2</sup> ]	[kJ/m <sup>2</sup> h] [btu/ft <sup>2</sup> h] [MJ/m <sup>2</sup> h] [MJ/m <sup>2</sup> mon]  [kWh/m <sup>2</sup> h] [kWh/m <sup>2</sup> mon]	(2) = 3.6*(1) (2) = 2.95*(1) (2) = 0.0036*(1) Monat mit 28 Tagen: (2) = 2.42*(1) 30 Tagen: (2) = 2.59*(1) 31 Tagen: (2) = 2.68*(1) Jahr: (2) = 31.54*(1)  (2) = 0.001*(1) Monat mit 28 Tagen: (2) = 0.67*(1) 30 Tagen: (2) = 0.72*(1) 31 Tagen: (2) = 0.74*(1) Jahr: (2) = 8.76*(1)
Temperatur	Ta, Td, Tp	[°C]	[°F]	(2) = 1.8*(1)+32
Wind	FF	[m/s]	[kn]	(2) = 1.94*(1)
			[km/h]	(2) = 3.6*(1)
Druck	p	[hPa] = [100 N/m <sup>2</sup> ]	[1/100 inch Hg]	(2) = 2.95*(1)

[btu]: British thermal unit



## 9 Auslandstandorte

Tab. 9.1: Tabelle der 95 Auslandstandorte in alphabetischer Reihenfolge (Abb. 2.2.4).  
 Quellen: Österreich (A): Gh: Gilgen (1994), Ta: ZAMG (1994). Belgien (B), Grossbritannien (GB), Irland (EIR),  
 Niederlande (NL) und Dänemark (DK): Gh und Ta: Commission of the European Communities (1985).  
 Deutschland (D): Gh: Gilgen (1994), Ta: Müller-Westermeier (1990). Spanien (E) und Portugal (P): Gh und Ta:  
 Müller et al. (1983). Frankreich (F) und Italien (I): Gh: Gilgen (1994), Ta: WMO (1971).

Name	Geogr. Breite	Geogr. Länge	Höhe (m)	Lage	Messreihe
A_Feuerkogel	47°49'	-13°44'	1598	Gipfel	Gh:65-89, Ta:61-90
A_Graz	46°59'	-15°27'	342	frei	Gh:64-90, Ta:61-90
A_Innsbruck	47°16'	-11°24'	582	inneralpines Tal	Gh:69-90, Ta:51-80
A_Klagenfurt	46°39'	-14°20'	452	frei	Gh:64-90, Ta:61-90
A_Salzburg	47°48'	-13°00'	435	frei	Gh:57-90, Ta:61-90
A_Sonnblick	47°03'	-12°57'	3106	frei	Gh:64-90, Ta:61-90
A_Wien	48°15'	-16°22'	202	Stadt	Gh:64-90, Ta:61-90
B_Oostende	51°12'	-2°52'	4	See	Gh: 10y, Ta: 10y
B_Saint Hubert	50°02'	-5°24'	563	frei	Gh: 10y, Ta: 10y
B_Uccle (Bruxelles)	50°48'	-4°21'	105	frei	Gh: 10y, Ta: 10y
D_Bocholt	51°50'	-6°32'	24	frei	Gh:73-91, Ta:51-80
D_Bonn	50°42'	-7°09'	65	frei	Gh:76-91, Ta:51-80
D_Braunlage	51°43'	-10°37'	607	frei	Gh:57-91, Ta:51-80
D_Braunschweig	52°18'	-10°27'	81	frei	Gh:58-91, Ta:51-80
D_Bremen	53°03'	-8°48'	24	frei	Gh:76-91, Ta:51-80
D_Coburg	50°16'	-10°57'	357	frei	Gh:81-91, Ta:51-80
D_Dresden	51°07'	-13°41'	246	frei	Gh:64-91, Ta:51-80
D_Fichtelberg	50°26'	-12°57'	1257	Gipfel	Gh:64-90, Ta:51-80
D_Freiburg	48°00'	-7°51'	308	frei	Gh:73-91, Ta:51-80
D_Geisenheim	49°59'	-7°57'	131	frei	Gh:76-91, Ta:51-80
D_Giessen	50°35'	-8°42'	201	frei	Gh:81-91, Ta:51-80
D_Hamburg	53°38'	-10°00'	14	frei	Gh:49-91, Ta:51-80
D_Hohenpeissenberg	47°48'	-11°01'	990	frei	Gh:53-91, Ta:51-80
D_Kassel	51°18'	-9°27'	237	frei	Gh:79-91, Ta:51-80
D_Konstanz	47°41'	-9°11'	450	See	Gh:77-89, Ta:51-80
D_List	55°01'	-8°25'	33	See	Gh:72-91, Ta:51-80
D_Mannheim	49°31'	-8°33'	106	frei	Gh:79-91, Ta:51-80
D_Norderney	53°43'	-7°09'	13	See	Gh:66-91, Ta:51-80
D_Nürnberg	49°30'	-11°05'	312	frei	Gh:76-91, Ta:51-80
D_Osnabrück	52°15'	-8°03'	104	frei	Gh:77-91, Ta:51-80
D_Passau	48°35'	-13°28'	412	frei	Gh:79-91, Ta:51-80
D_Potsdam	52°35'	-13°06'	33	frei	Gh:37-91, Ta:51-80
D_Saarbrücken	49°13'	-7°07'	325	frei	Gh:81-91, Ta:51-80
D_Schleswig	54°32'	-9°33'	59	frei	Gh:80-91, Ta:51-80
D_Stuttgart	48°50'	-9°12'	318	frei	Gh:79-91, Ta:51-80
D_Trier	49°45'	-6°40'	265	frei	Gh:58-91, Ta:51-80
D_Weihenstephan	48°24'	-11°44'	476	frei	Gh:61-91, Ta:51-80
D>Weissenburg	49°01'	-10°58'	428	frei	Gh:81-91, Ta:51-80
D_Würzburg	49°46'	-9°58'	275	frei	Gh:57-91, Ta:51-80
DK_København	55°46'	-12°19'	19	See	Gh: 10y, Ta: 10y
E_Madrid	40°25'	3°41'	667	frei	Gh: ?, Ta: ?
E_Sevilla	37°24'	6°00'	30	frei	Gh: ?, Ta: ?
E_Almeria	36°50'	2°28'	7	See	Gh: ?, Ta: ?
EIR_Dublin	51°26'	6°15'	85	frei	Gh: 10y, Ta: 10y
EIR_Valentia	51°56'	10°15'	20	See	Gh: 10y, Ta: 10y

Name	Geogr. Breite	Geogr. Länge	Höhe (m)	Lage	Messreihe
F_Ajaccio	41°55'	-8°48'	4	See	Gh:70-91, Ta:31-60
F_Auxerre	47°48'	-3°33'	212	frei	Gh:76-91, Ta:31-60
F_Bordeaux	44°50'	0°42'	46	frei	Gh:78-91, Ta:31-60
F_Carpentras	44°05'	-5°03'	105	frei	Gh:69-91, Ta:10y
F_Clermont-Ferrand	45°48'	-3°09'	329	frei	Gh:78-91, Ta:31-60
F_Dijon	47°16'	-5°05'	222	frei	Gh:76-91, Ta:31-60
F_Limoges	45°49'	-1°17'	284	frei	Gh:69-91, Ta:31-60
F_Mâcon	46°18'	-4°48'	217	frei	Gh:69-91, Ta:31-60
F_Marseille-Marignane	43°26'	-5°13'	4	See	Gh:80-91, Ta:31-60
F_Nice	43°39'	-7°12'	10	See	Gh:69-91, Ta:31-60
F_Millau	44°07'	-3°31'	715	frei	Gh:69-91, Ta:31-60
F_Nancy	48°41'	-6°13'	204	frei	Gh:69-91, Ta:31-60
F_Paris-Montsouris	48°89'	-2°20'	75	Stadt	Gh:78-91, Ta:31-60: Le Bourget
F_Perpignan	42°44'	-2°52'	42	frei	Gh:80-91, Ta:31-60
F_Reims	49°18'	-4°02'	94	frei	Gh:74-91, Ta:31-60
F_Rennes	48°04'	1°43'	35	frei	Gh:69-91, Ta:31-60
F_Strasbourg	48°33'	-7°38'	150	frei	Gh:74-91, Ta:31-60
F_Tours	47°27'	-0°43'	108	frei	Gh:76-91, Ta:31-60
F_Trappes	48°46'	-2°01'	168	frei	Gh:69-91, Ta:31-60
GB_Aberporth	52°08'	4°34'	133	See	Gh: 10y, Ta: 10y
GB_Eskdalemuir	55°19'	3°12'	242	frei	Gh: 10y, Ta: 10y
GB_Kew (London)	51°28'	0°19'	77	frei	Gh: 10y, Ta: 10y
GB_Lerwick	60°08'	1°11'	82	frei	Gh: 10y, Ta: 10y
I_Amendola-Foggia	41°31'	-15°43'	56	frei	Gh:64-91, Ta:31-60
I_Alghero	40°38'	-8°17'	40	See	Gh:64-89, Ta:31-60
I_Ancona	43°37'	-13°31'	105	See	Gh:64-78, Ta:31-60
I_Bologna	44°32'	-11°18'	49	frei	Gh:64-89, Ta:31-60
I_Bolzano	46°28'	-11°20'	241	Inneralpinen Tal	Gh:64-89, Ta:31-60
I_Brindisi	40°39'	-17°57'	10	See	Gh:64-91, Ta:31-60
I_Cagliari	39°15'	-9°03'	18	See	Gh:64-91, Ta:31-60
I_Crotone	39°04'	-17°04'	158	frei	Gh:64-91, Ta:31-60
I_Gela	37°05'	-14°13'	33	See	Gh:65-91, Ta:31-60: Malta
I_Genova Sestri	44°25'	-8°51'	3	See	Gh:64-89, Ta:31-60
I_Messina	38°12'	-15°33'	59	See	Gh:64-91, Ta:31-60
I_Milano Linate	45°26'	-9°17'	103	frei	Gh:64-91, Ta:31-60
I_Monte Terminillo	42°28'	-12°59'	1875	Gipfel	Gh:64-91, Ta:31-60
I_Napoli	40°51'	-14°18'	72	frei	Gh:64-89, Ta:31-60
I_Pescara	42°26'	-14°12'	16	See	Gh:64-87, Ta:31-60
I_Pisa	43°40'	-10°23'	1	frei	Gh:64-91, Ta:31-60
I_Roma Ciampino	41°48'	-12°35'	131	frei	Gh:64-91, Ta:31-60
I_Torino	45°11'	-7°39'	282	frei	Gh:64-91, Ta:31-60
I_Trapani	37°55'	-12°30'	14	See	Gh:64-91, Ta:31-60
I_Trieste	45°39'	-13°45'	20	See	Gh:64-91, Ta:31-60
I_Udine	46°02'	-13°11'	92	frei	Gh:64-88, Ta:31-60
I_Venezia	45°30'	-12°20'	6	See	Gh:64-91, Ta:31-60
NL_De Bilt	52°06'	-5°11'	40	frei	Gh: 10y, Ta: 10y
NL_Eelde	53°08'	-6°35'	5	See	Gh: 10y, Ta: 10y
NL_Vlissingen	51°27'	-3°36'	22	frei	Gh: 10y, Ta: 10y
P_Lisboa	38°43'	9°09'	77	See	Gh: ?, Ta: ?
P_Porto	41°08'	8°36'	95	See	Gh: ?, Ta: ?