

DIE BEDEUTUNG DER ABSCHATTUNG FÜR DIE SONNENSTRAHLUNG
 - DARGESTELLT AM BEISPIEL DES ALLINGER TALKESSELS -

von

ROBERT LANG⁺⁾

Zusammenfassung

Die Notwendigkeit, fundamentale Prozesse im Landschaftshaushalt quantitativ zu erfassen, veranlaßte die Erstellung des Computer-Programms STR 301 zur Berechnung potentieller Globalstrahlungswerte (Summe direkter und diffuser Sonnenstrahlung); dabei werden Hangneigung, Exposition und Abschattung berücksichtigt. Die sektorielle Aufsummierung der Direktstrahlung ermöglicht eine detaillierte Analyse des Einflusses von Fremd- und Eigenabschattung.

Folgende wichtige Ergebnisse wurden erzielt:

- a) Die Eigenabschattung (besonders bei "Nordexposition") bewirkt größere Unterschiede bei der Direktstrahlung als eine entsprechende Fremdotschattung.
- b) Die vier Sektoren - E/SE(II), SE/E(III), S/SW(IV), SW/W(V) - sind für die Besonnung nahezu gleichwertig, die beiden Sektoren - NE/E(I) und W/NW(VI) - mit einem gemeinsamen Anteil von durchschnittlich 5% an der Globalstrahlung nahezu unbedeutend.
- c) Die Fremdotschattung ist bei Abschattungswinkeln von unter 10° ohne große modifizierende Wirkung; bei Abschattungswinkeln von 25° - 30° tritt dagegen ein Globalstrahlungsverlust von bereits 25% auf. Bei größer werdender Abschattung steigt die Bedeutung der Sektoren II, III, IV, V, jedoch auch der prozentuale Anteil der diffusen Strahlung an der Globalstrahlung.

Die gewonnenen Resultate werden an einem regionalen Beispiel aus der südöstlichen Frankenalb verdeutlicht, wobei die Frage nach der Eignung einer durchschnittlichen oder "Gewichteten" Gesamtabschattung für alle Sektoren erörtert wird.

⁺⁾ Robert Lang, Geographisches Institut der Universität Regensburg
 Postfach 397, 8400 Regensburg 2

Summary

The necessity of quantitatively recording the fundamental processes in the landscape-household led to the development of the computer-program STR 301 which calculates potential global radiation data, whereby slope angle, exposition and shading are taken into consideration.

The summing up of the direct radiation in sectors enables a detailed analysis of the influence of extraneous and self-shading.

The following important results were gained.

- a) The self-shading (especially through north-facing) creates greater differences in the direct radiation than a corresponding extraneous shading.
- b) The radiation received in the four sectors - E/SE(II), SE/E(III), S/SW(IV), SW/W(V) - is almost identical. However the sectors - NE/E(I) and W/NW(IV) - which together constitute an average 5 percent of the global radiation are practically negligible.
- c) The extraneous shading has no great modifying effect with shading angles of under 10 degrees, but with shading angles of 25 - 30 degrees, a 25% loss of global radiation occurs. When shading increases then the importance of the sectors II, III, IV, V also increases. However this applies, as well, to the percent of the diffuse radiation of the global radiation.

The results gained are illustrated by a regional example from the South-Eastern Frankenalb, and this leads to a discussion of the suitability of an average or evaluated total shading for all sectors.

1. Einführung

Der Lehrstuhl für Physische Geographie an der Universität Regensburg versucht durch seine Forschungsprojekte, Teilkreisläufe des Landschaftshaushaltes zu bilanzieren (siehe H.KLUG und R.LANG in diesem Band). Unter den verschiedenen energetischen und stofflichen Prozessen, die auf der Erde ablaufen, ist der Strahlungskreislauf der wichtigste, da dieser alle anderen ursächlich bedingt.

Der Strahlungshaushalt, bei dem ein kurz- und ein langwelliger Bereich zu unterscheiden sind, wird in dieser Untersuchung über die kurzwellige Globalstrahlung (Direktstrahlung und die von ihr beding-

te diffuse Strahlung) zu quantifizieren versucht.

Um die auf einen beliebigen Ort der Erdoberfläche mögliche Einstrahlung bestimmen zu können, muß das Relief der Umgebung, genauer gesagt die von ihm verursachte Abschattung, berücksichtigt werden. Der Einfluß der Abschattung auf Direkt- und somit auch Globalstrahlung wird mittels eines Rechenprogramms bestimmt, in dem Hangneigung, Exposition und Abschattung variiert werden können.

2. Die Berechnung der potentiellen Globalstrahlung

Die Globalstrahlung, Summe direkter und diffuser Strahlung, wird mittels eines FORTRAN-PROGRAMMS sektorenweise täglich, monatlich, jährlich sowie speziell für die Vegetationsperiode berechnet.

2.1. FORMEL für die potentielle Globalstrahlung

Ausgangspunkt für die Berechnung der Globalstrahlung ist die Bestimmung der direkten Sonnenstrahlung Q_h pro Minute auf eine horizontale Fläche.

$$Q_h = SV^{-2} \cos Z T^m \quad (1)$$

In diese Formel gehen ein:

die Solarkonstante S ($S = 1,952 \text{ ly/min}$; $1 \text{ ly/min} = \text{cal/cm}^2 \text{ min}$)
 der Radiusvektor V ¹⁾ der Distanz Erde - Sonne, der Zenitwinkel Z ,
 der Transmissionskoeffizient T ²⁾ sowie die optische Luftmasse m ³⁾.

1) nach PALTRIDGE/PLATT, 1976, S. 57 gilt:

$$V^2 = 1.000110 + 0.034221 \cos TE + 0.001280 \sin TE + 0.000719 \cos 2TE + 0.000077 \sin 2TE, \text{ wobei } TE = 2\pi N/365 \text{ (N läuft von 0 bis 364).}$$

2) Der Transmissionskoeffizient T variiert im Tages- sowie im Jahresgang. Da eine nähere Spezifizierung von Tages- und Jahresgang für die gestellte Aufgabe, den Einfluß der Abschattung auf die Globalstrahlung festzustellen, nicht von Bedeutung ist, ist die vereinfachende Annahme eines konstanten Transmissionskoeffizienten $T = 0,75$ zulässig, der als Durchschnittswert dem Tages- und Jahresgang ohne größere Abweichungen entspricht. Der Einfluß der Höhe über NN auf optische Luftmasse und Transmissionskoeffizient kann wegen der im regionalen Beispiel auftretenden geringen Höhenunterschiede sowie der geringen Höhe über NN vernachlässigt werden.

3) Nach TERJUNG/LOUIE, 1971, S. 484 gilt:
 $m = 1/(\cos Z + 0,15 ((90 - Z) + 3,885)^{-1,253})$

Der Zenitwinkel Z kann sehr einfach für jede Minute mittels Geographischer Breite GB , Deklination DE und dem augenblicklichen Stundenwinkel SW der Sonne berechnet werden.

$$\cos Z = \sin GB \sin DE + \cos GB \cos DE \cos SW \quad (2)$$

Der Jahresgang der Deklination DE kann entweder aus Tabellen übernommen (siehe LIST, 1966) oder täglich⁴⁾ ermittelt werden.

Als nächster Schritt erfolgt die Berechnung der direkten Sonneneinstrahlung Q_{h_i} für einen Hang beliebiger Neigung und Exposition; diese wird über⁵⁾ einen Winkel ARG erreicht, der vom Normalenvektor des Hanges und dem Richtungsvektor zur Sonne gebildet wird.

$$Q_{h_i} = SV^{-2} \cos ARG \quad T^m \quad (3)$$

Die diffuse Strahlung besteht aus der Himmelsstrahlung sowie der Bodenreflexstrahlung, die jedoch wegen ihres in der Regel kleiner als 1% ausfallenden Anteils an der Globalstrahlung unberücksichtigt bleibt. Die diffuse Strahlung auf eine horizontale Fläche wird nach einer empirisch von G.V.PARMALEE 1954 (zitiert bei TERJUNG/LOUIE, 1971, S.485) gewonnenen Formel berechnet.

$$q_h = 0.00452 X - Y Q_h \quad (4)$$

4) nach PALTRIDGE/PLATT, 1976, S.63 ist:
 $DE = 0,006918 - 0,399912 \cos TE + 0,070257 \sin TE -$
 $- 0,006758 \cos 2TE + 0,000907 \sin 2TE -$
 $- 0,002697 \cos 3TE + 0,001480 \sin 3TE$
 mit $TE = 2\pi N/365$ (N läuft von 0 bis 364).

5) Die Herleitung von $\cos ARG$ ist über den Kosinussatz für allg. Kugeldreiecke möglich, für $\cos ARG$ gilt nach GARNIER/OHMURA, 1970, S.23:

$$\cos ARG = ((\sin GB \cos SW)(-\cos AZ \sin HN) - \sin SW (\sin AZ \sin HN) + (\cos GB \cos SW) \cos HN) \cos DE + (\cos GB (\cos AZ \sin HN) + (\sin GB \cos HN)) \sin DE$$

AZ bedeutet hierbei die Exposition des Hanges.

6) Hierbei gilt nach TERJUNG/LOUIE, 1971, S.485:

$$X = 198.855 - 0.234 Z - 0.057338 Z^2 + 0.000406834 Z^3$$

$$Y = 0.57622 - 0.0035976 Z - 0.0000009255 Z^2$$

Verändert wird diese Gleichung bei der Berücksichtigung der Reliefgegebenheiten durch die Einbeziehung der Hangneigung.

$$q_{h_i} = q_h \cos^2(HN/2) \quad (5)$$

Die Exposition des Hanges spielt hierbei keine Rolle, wenn man vereinfachend eine aus allen Richtungen des Himmels mit gleicher Intensität (isotrop) einfallende diffuse Strahlung annimmt. Hiermit läßt sich nun die potentielle Globalstrahlung für einen Hang beliebiger Neigung und Exposition berechnen.

$$Q_{g_i} = Q_{h_i} + q_{h_i} \quad (6)$$

Die Aufsummierung dieser Minutenwerte der potentiellen Globalstrahlung zu Stunden-, Tages-, Monats- und Jahreswerten, die sektorenweise unterteilt werden, wird jedoch durch drei Bedingungen gesteuert. Die erste muß gewährleisten, daß die Globalstrahlung nur von Sonnenauf- bis Sonnenuntergang berechnet wird. Die Sonne muß also über dem Horizont stehen, dies bedeutet, der Zenitwinkel muß kleiner sein als 90° .

$$\cos Z > 0 \quad (7)$$

Die Direktstrahlung kann sowohl durch Fremd- als auch Eigenabschattung (bedingt durch Hangneigung und Exposition) verhindert werden. Die Entscheidung, "Eigenabschattung, Ja oder Nein", wird durch Überprüfen von ARG getroffen, dieser Winkel zwischen Hangnormale und einfallenden Sonnenstrahlen muß ebenfalls kleiner als 90° sein.

$$\cos ARG > 0 \quad (8)$$

Eine eventuelle Abschattung durch das Umgebungsrelief ist natürlich für jede Minute im Tages- und Jahresgang der Sonne zu kontrollieren. Hierzu ist zunächst die Bestimmung des jeweiligen Sonnenstandes, des sogenannten Sonnenazimuts AS (Winkel zwischen Süd und Sonnenstand), notwendig. Für den jeweiligen Sonnenazimut gilt:

$$AS = (\arccos((\sin GB \cos Z - \sin DE)/(\cos GB \sin Z))) \frac{SW}{\|SW\|} \quad (9)$$

Ist der Stand der Sonne AS und mit diesem auch die dazugehörige Sonnenhöhe Z3 über dem Horizont bekannt,

$$Z3 = 90^{\circ} - \arccos(\cos Z) \quad (10)$$

so kann durch einen Vergleich mit dem diesem Sonnenazimut entsprechenden Abschattungswinkel AW festgestellt werden, ob dieser Punkt direkte Sonneneinstrahlung oder nur diffuse Strahlung empfängt.

$$Z3 > AW \quad (11)$$

Ist der Abschattungswinkel AW größer oder gleich der Sonnenhöhe, wird die direkte Sonneneinstrahlung Null; der Ort liegt zu diesem Zeitpunkt im Schatten. Aufaddiert wird in diesem Fall nur die diffuse Strahlung.

Durch die Bestimmung von Hangneigung, Exposition und Fremdabschattung, die in einem externen Programmschritt berechnet werden, ist die potentielle Globalstrahlung für jeden Ort festgelegt.

2.2. Erläuterungen zum Programm

Das abgedruckte FORTRAN-PROGRAMM STR 301 setzt die Formel (6) unter Einbeziehung der Nebenbedingungen (7), (8) und (11) in ein Rechenprogramm um. Um dabei die Bedeutung der Abschattung durch das Relief näher erfassen zu können, werden die täglichen und später monatlichen Summen der diffusen und direkten Strahlung getrennt aufsummiert⁷⁾, bei der letzteren sektorenweise. Ausgehend von der Tatsache, daß bei 49° Geogr. Breite die Sonne sich niemals im Bereich zwischen Nordost und Nordwest befindet und dementsprechend die Abschattung in diesem Bereich uninteressant ist, wurden von Nordost bis Nordwest sechs Sektoren zu je 45° eingeteilt, wobei, um Übereinstimmungen mit dem Stundenwinkel und der Exposition zu erzielen, Süden mit 0° festgelegt wurde. Entsprechend dem Stand der Sonne wird die direkte Strahlung jeweils einem bestimmten Sektor hinzugezählt. Den 6 Sektoren wird vorher durch eine DATA-Anweisung ein durchschnittlicher Abschattungswinkel zugewiesen, der in den jeweiligen Sektoren immer mit der zu jedem Minutenwert gehörigen Sonnen-

7) Die Aufsummierung erfolgt in Schritten von je zehn Minuten, um Rechenzeit zu sparen. Der Genauigkeitsverlust gegenüber einminütiger Addierung liegt unter 1%, er kann deshalb vernachlässigt werden.

```

10 C
20 C STR301 PROGRAMM ZUR TABELLIERUNG DER POTENTIELLEN GLOBALSTRAHLUNG
30 C
40 C BEI VORGEGEBENEM AZIMUTH UND VORGEGEBENER HANGNEIGUNG
50 C UND BEI VORGEGEBENEN ABSCHATTUNGSWINKELN
60 C RAD : STRAHLUNGSWERTE IN MINUTEN
70 C RADD : DIFFUSE STRAHLUNGSWERTE IN MINUTEN
80 C HN : HANGNEIGUNG
90 C AZ : EXPOSITION
100 C DE : DEKLINATION
110 C GB : GEOGRAPHISCHE BREITE
120 C SW : STUNDENWINKEL
130 C AW : ABSCHATTUNGSWINKEL
140 C AS : SONNENAZIMUTH
150 C ZS : SONNENHOEHE UEBER DEM HORIZONT
160 C TE : TAGARHAENGIG
170 C VZ : STELLUNG ERDACHSE
180 C TS : TAGESSUMME DER DIFFUSEN STRAHLUNG
190 C SEKSUM : TAGESSEKTORENSUMME
200 C TS : TAGESSUMME
210 C SEK : MONATSSSEKTORENSUMME
220 C DSUM : MONATSSUMME DER DIFFUSEN STRAHLUNG
230 C SUM : MONATSSUMME
240 C JSEK : JAHRESSEKTORENSUMME
250 C DJSUM : JAHRESUMME DER DIFFUSEN STRAHLUNG
260 C SUMG : JAHRESSUMME
270 C DIV : MONATSPROZENTWERTE
280 C JDIV : JAHRESPROZENTWERTE
290 DATA FA(1100),TSUM(20),TSP(400),MON(12,4),NMON(13),SEK(6)
300 REAL SEKSUM(365,6),JSEK(6),SUMG,AW(6),DIV(6)
310 REAL JDIV(12),NUN(6)/3627.1,25603.2,34250.4,34250.4,25603.2,3627.1/
320 REAL PI(6),RADD(1100),DSUM,DJSUM
330 NH = 12
340 NH1 = NH+1
350 S = 1.952
360 T = 0.75
370 PI = 3.1415926
380 RADFA = PI/180.0
390 PIP = 2.*PI
400 GB = 49.0*RADFA
410 SINGB = SIN(GB)
420 COSGB = COS(GB)
430 PIP = 0.5*PI
440 SWA = 121.25*RADFA
450 SUB = 2.5*RADFA
460 NSUM = 1
470 DO 8 J=1,NH
480 IMEN(J) = NSUM
490 READ(5,50008,END=188) NMO,(MON(J),J1),J1=1,4)
500 50008 FORMAT(14,4X,4A4)
510 NSUM = NSUM + NMO
520 8 CONTINUE
530 IMEN(NH1) = 360
540 C
550 C E1. LESEN: HANGNEIGUNG, AZIMUTH UND ABSCHATTUNGSWINKEL
560 10 CONTINUE
570 READ(5,50010,END=190) HN,AZ,(AW(I),I=1,6)
580 DO 123 I=1,365
590 DO 124 J=1,6
600 124 SEKSUM(I,J) = 0.0
610 123 CONTINUE
620 SUMG = 0.0
630 DO 125 I=1,6
640 125 JSEK(I) = 0.0
650 50010 FORMAT(8F6.2)
660 WRITE(6,50012)HN,AZ,(AW(I),I=1,6)
670 50012 FORMAT(1H0,8(F6.2,5X))
680 HN=RADFA*HN
690 HN2=HN*0.5
700 AZ=RADFA*(AZ+180)
710 SIAZ = SIN(AZ)

```

```

720      CUAZ = COS(AZ)
730      WRITE (6,50013) SIAZ,COAZ
740 50013 FORMAT(1H0,F10.3,10X,F10.3,/)
750      SIHN = SIN(HN)
760      CUHN = COS(HN)
770      CUHN2=COS(HN2)
780
790 C
800 C      BERECHNUNG VON DEKLINATION UND DISTANZ ERDE - SONNE
810      DU 100 J=1,365
820      TS=0.0
830      JU = J-1
840      TE = PI2*FLCAT(J0)/365.0
850      DE1 = 0.006918-0.399912*COS(TE)+0.070257*SIN(TE)
860      TE2 = 2.*TE
870      DE2 = -0.006758*COS(TE2)+0.000907*SIN(TE2)
880      TE3 = 3.*TE
890      DE3 = -0.002697*COS(TE3)+0.001480*SIN(TE3)
900      DE = DE1+DE2+DE3
910      CUDE = COS(DE)
920      SINE = SIN(DE)
930      VZ = 1.000110+0.034221*COS(TE)+0.001280*SIN(TE)+0.000719*COS(TE2)
940      +0.000077*SIN(TE2)
950 C
960 C      BERECHNUNG DER TÄGLICHEN GLOBALSTRAHLUNG (SEKTORENWEISE)
970      SW = SWA
980      NCT = 0
990 500      SW = SW-SUB
1000      NCT = NCT+1
1010      RAD(NCT) = 0.0
1020      RADP(NCT)=0.0
1030      CUSW = COS(SW)
1040      SISW = SIN(SW)
1050      ZCOS = SIGB*SIDE+COGB*CODE*COSW
1060      IF (ZCOS) 56,56,52
1070 52      CONTINUE
1080      Z = ARCCOS(ZCOS)
1090 C      BERECHNUNG DER DIFFUSEN STRAHLUNG
1100      ZZ=Z/RADFA
1110      VM1 =90.0-Z+3.885
1120      VM1 = VM1**(-1.253)
1130      VM = 1./(ZCOS+0.15*VM1)
1140      RAX = 198.855-0.234*Z2-0.057338*(Z2**2)+0.000406834*(Z2**3)
1150      RAY =0.57622-0.0035976*Z2-0.0000009255*(Z2**2)
1160      RA3=0.00452*RAY
1170      RA4=RAY*S*ZCOS*(T**VM)/V2
1180      RA3=RA3-RA4
1190      RA2=RA5*(C)HN2**2)
1200      RADP(NCT) = 10*RA2
1210      TSD=TSD+RADP(NCT)
1220 C      BERECHNEN VON ARG
1230      PR1 = (SIGB*COSW)*(-COAZ*SIHN)
1240      PR2 = -SISW*(SIAZ*SIHN)
1250      PR3 = (COGB*COSW)*COHN
1260      SU1 = (PR1+PR2+PR3)*CODE
1270      PR4 = COGB*(COAZ*SIHN)
1280      PR5 = SIGB*COHN
1290      SU2 = (PR4+PR5)*SIDE
1300      ARG = SU1+SU2
1310      IF(ARG)56,54,54
1320 C      BEstIMMUNG VON SONNENAZIMUTH UND UEBERPRUEFUNG DER FREMDABSCHATTUN
1330 54      CONTINUE
1340      AS1=SIGB*ZCOS-SIDE
1350      AS2=COGB*SIN(Z)
1360      AS=ARCCOS(AS1/AS2)
1370      IF(SW.LT.0.0) AS=-AS
1380      IF(AS.GT.0.0) GOTO 265
1390      IF(AS.GT.-45.0*RADFA) GOTO 240
1400      IF(AS.GT.-90.0*RADFA) GOTO 250
1410      SNR=6
1420      GOTO 510

```



```

1430 265 IF(AS.GT.90,0*RADFA) GOTO 210
1440 IF(AS.GT.45,0*RADFA) GOTO 220
1450 GOTO 230
1460 210 SNR=1
1470 GOTO 510
1480 220 SNR=2
1490 GOTO 510
1500 230 SNR=3
1510 GOTO 510
1520 240 SNR=4
1530 GOTO 510
1540 250 SNR=5
1550 510 Z3=90-Z2
1560 IF(AW(SNR),GE,Z3) GOTO 56
1570 RAD(NCT)=10*S*ARG*(T**VM)/V2
1580 SEKSUM(J,SNR) = SEKSUM(J,SNR) + RAD(NCT)
1590 56 IF(SW.GT.-121.25*RADFA) GOTO 500
1600 C
1610 C AUSDRUCK
1620 TS=0.0
1630 DU 77 I=1,6
1640 77 TS=TS+SEKSUM(J,I)
1650 TS=TS+TSD
1660 TSP(J)=TSD
1670 100 CONTINUE
1680 C
1690 C BERECHNUNG UND AUSDRUCK DER MONATSWERTE
1700 WRITE(6,60100)
1710 60100 FORMAT(1H,10X,'MONATSWERTE',/)
1720 DJSUM=0.0
1730 DU 112 J=1,6M
1740 J1 = J+1
1750 IDU1 = NMON(J)
1760 IDU2 = NMON(J1)-1
1770 DSUM=0.0
1780 DJSUM=0.0
1790 DU 109 I2 =IDU1, IDU2
1800 109 DSUM = DSUM + TSP(I2)
1810 DU 115 I=1,6
1820 SEK(I)=0.0
1830 DU 110 I2=IDU1, IDU2
1840 110 SEK(I)=SEK(I)+SEKSUM(I2,I)
1850 SUM = SUM + SEK(I)
1860 JSEK(I)=JSEK(I)+SEK(I)
1870 115 CONTINUE
1880 SUM =SUM + DSUM
1890 DJSUM=DJSUM+DSUM
1900 DU 111 I=1,6
1910 111 DIV(I)=SEK(I)/SUM*100
1920 WRITE(6,60112) J,(MON(J,J3),J3=1,4),(SEK(I),I=1,6),DSUM,SUM,(DIV
1930 &(I),I=1,6)
1940 60112 FORMAT(1H,13,1X,4A4,1X,8F10.3,1X,6(F4.1,1X),/)
1950 112 CONTINUE
1960 C BERECHNUNG UND AUSDRUCK DER JAHRESWERTE
1970 DU 147 I=1,6
1980 147 SUMG = SUMG + JSEK(I)
1990 SUMG = SUMG + DJSUM
2000 DU 148 I=1,6
2010 DIV(I)=JSEK(I)/SUMG*100
2020 WRITE(6,60113) (JSEK(I),I=1,6),DJSUM,SUMG,(DIV(I),I=1,6)
2030 60113 FORMAT(1H,10X,6(F10.3,1X),1X,2F10.3,6(F4.1,1X),/)
2040 DU 149 I=1,6
2050 149 PRO(I)=JSEK(I)/NUM(I)*100
2060 WRITE(6,60114) (PRO(I),I=1,6)
2070 60114 FORMAT(1H,6F10.3,/)
2080 GOTO 10
2090 188 CONTINUE
2100 STOP 0
2110 190 CONTINUE
2120 1000 STOP 2
2130 END

```

höhe verglichen wird. Der Vergleich entscheidet, ob neben der diffusen Strahlung auch noch direkte aufzuaddieren ist oder nicht.

Verdeutlicht wird der Programmablauf durch Abb.1, bei der der Tagesgang der Sonne (Sonnenhöhe, -azimut in Verbindung mit dem zugehörigen Sektor) für das ganze Jahr mit dem Abschattungsrelief verglichen werden kann. Hierbei läßt sich leicht feststellen, zu welchem Zeitpunkt eine Fremdabschattung auftritt.

Ausgedruckt werden für jeden Punkt (siehe Tabelle 1 bis 6) zunächst die jährliche Globalstrahlung, der Quotient (in %) der jährlichen potentiellen Globalstrahlung der 6 Sektoren bei beliebiger Hangneigung, Exposition und Abschattung zu den entsprechenden Sektorenwerten bei horizontaler Fläche ohne Abschattung sowie der prozentuale Anteil der 6 Sektoren und der diffusen Strahlung an der jährlichen Globalstrahlungssumme. Die Interpretation der in den Tabellen abgedruckten Programmresultate ist Ausgangspunkt für die folgenden Resultate.

3. Resultate

Die Ergebnisse der durchgeführten Programmläufe sind in mehrfacher Hinsicht recht aufschlußreich für

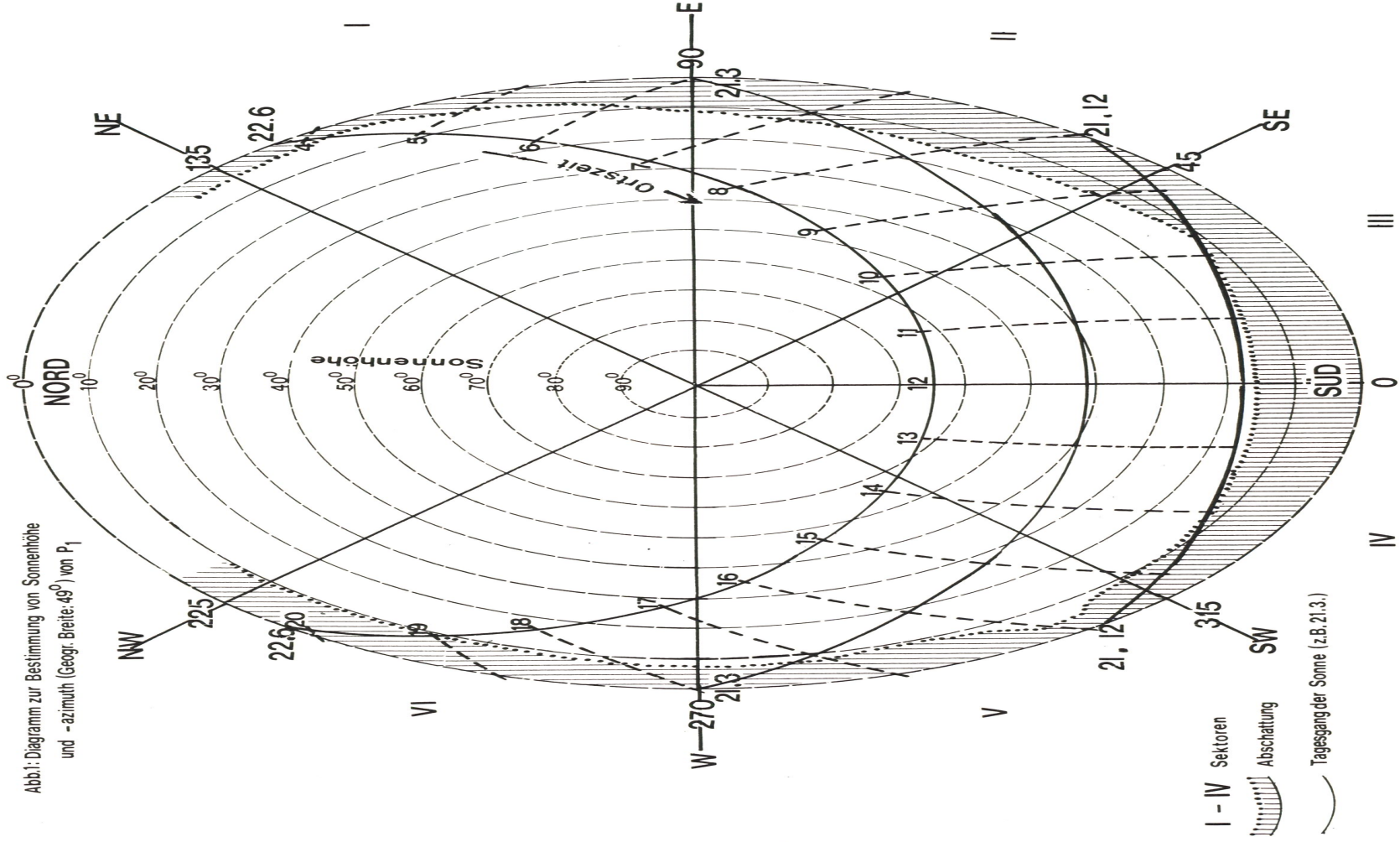
- die Verteilung der Direktstrahlung auf die einzelnen Sektoren
- die jahreszeitlichen Unterschiede in der Bedeutung der einzelnen Sektoren
- die Wirkung der Abschattung auf die einzelnen Sektoren
- die Wirkung der Abschattung auf die Globalstrahlung
- den steigenden Anteil der diffusen Strahlung⁸⁾ bei größerer Abschattung.

3.1. Die Verteilung der Direktstrahlung auf die einzelnen Sektoren

Betrachtet man in den Tabellen alle Beispiele ohne Fremdabschattung, so wird zunächst die bekannte Tatsache der Bevorzugung der Südexposition (Exposition 0) sowie des maximalen Wertes der Globalstrahlung

⁸⁾ Die berechnete Direktstrahlung ist die potentiell größ mögliche, sie wird durch die Bewölkung um gut 50% im Jahresgang reduziert; folglich erfährt die diffuse Strahlung insgesamt eine größere Bedeutung.

Abbl.: Diagramm zur Bestimmung von Sonnenhöhe und -azimuth (Geogr. Breite: 49°) von P_1



lung bei 35° Hangneigung bestätigt (siehe Abb. 2). Der unterschiedliche Einfall der Direktstrahlung aus den einzelnen Sektoren ist jedoch etwas überraschend.

Bei Südexposition sind die Sektoren III und IV (symmetrisch) am wichtigsten, ihr Anteil an der Globalstrahlung steigt von je 22.7 (0° HN) auf 29.3 (60° HN), während entsprechend die Anteile der Sektoren II und V von 17.0 auf 14.9 sowie der Sektoren I und VI von 2.4 auf 0.5 sinken, genauso wie der Anteil der diffusen Strahlung (abhängig von $\cos^2(\text{HN}/2)$) von 15.8 auf 10.6.

Bei Nordexposition (Eigenabschattung am größten) ändert sich das Verhältnis der einzelnen Sektoren zueinander beträchtlich. Ausgehend vom Verhältnis der Sektoren I, II und III von 2.4, 17.0 und 22.7 (0° Hangneigung) lautet das Verhältnis bei 30° HN 4.7 zu 17.4 zu 15.1; bei 50° HN 7.8 zu 14.6 und 7.2; die Bedeutung der vier äußeren Sektoren nimmt demnach gegenüber den beiden Innensektoren zu (vergleiche Abb. 2c mit 2d).

Bei Ostexposition⁹⁾ - siehe Abb.2b - fällt aus den Sektoren I, II und III mehr Direktstrahlung ein als aus den Sektoren IV, V und VI. Die auftretenden Unterschiede sind bei 5° Hangneigung noch relativ gering. So verhalten sich z.B. die prozentualen Anteile der Sektoren II und V an der Globalstrahlung wie 18.9 zu 15.0; bei 40° Hangneigung dagegen sind die Differenzen berächtlich, hier beträgt das Verhältnis 32.1 zu 2.6.

Insgesamt fällt der größte Anteil an Globalstrahlung aus den Sektoren III und IV ein, durchschnittlich 45% (Max. 60%, Min. 4%); aus den Sektoren II und V kommen im Durchschnitt 33% (Max. 35%, Min. 20%), aus den beiden äußeren dagegen nur 5 - 6% (Max. 20%, Min. 4%). Der Rest entfällt auf die diffuse Strahlung.

Betrachtet man jedoch die Monatswerte der potentiellen Globalstrahlung, so treten einige Veränderungen deutlich hervor. Von September bis Ende April befindet sich die Sonne nicht in den Sektoren I und IV; aus den Sektoren III und IV trifft bedeutend mehr Direktstrahlung ein als aus den Sektoren II und V (Verhältnis 2.5:1). In den

9) Die Ostexposition wurde als Beispiel für die restlichen Expositionsmöglichkeiten gewählt, da 1. der Strahlungsinput im Sektor I bzw. VI extrem hoch bzw. niedrig ist, und 2. aufgrund des symmetrischen Tagesganges der Sonne das Verhältnis der Sektorenteile zueinander bei Ost- und West-, Südost- und Südwest-, Nordost- und Nordwestexposition genau umgekehrt ist.

Monaten Mai, Juni, Juli, August (Großteil der Vegetationsperiode) sind die Sektoren II und V wichtiger für den direkten Strahlungsinput als die Sektoren III und IV, da in diesen Monaten täglich der Sonnenazimut länger in den Sektoren II und V verweilt (siehe Abb 1). Zu dieser Zeit findet auch die Besonnung aus den Sektoren I und VI statt.

Diese Tatsache verdeutlicht, daß der Abschattung in den Sektoren II und V fast dieselbe Bedeutung beigemessen werden muß, wie derjenigen der Sektoren III und VI.

3.2. Die Wirkung der Abschattung auf die Globalstrahlung

Die direkte Sonneneinstrahlung kann durch Fremd- und Eigenabschattung vermindert werden.

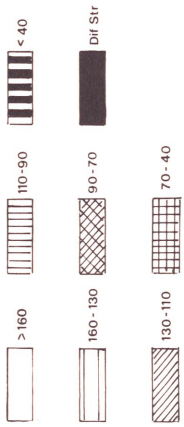
Eigenabschattung, bedingt durch Hangneigung und Exposition, tritt außer bei horizontaler Fläche immer auf, jedoch sehr unterschiedlich; ihre Wirkungsweise und Bedeutung läßt sich an einigen Beispielen sehr leicht verdeutlichen.

Bei 5° Hangneigung und Südexposition liegt eine Eigenabschattung nur in den Sektoren I und VI vor, bei Nordexposition - der Globalstrahlungswert hat sich von 159265 auf 141713 ly/min verringert - wird in den wichtigeren Sektoren II, III, VI, V abgeschattet, in den Sektoren I und VI dagegen nicht. Bei 30° Hangneigung fallen die Unterschiede wesentlich größer aus; gegenüber 182911 ly/min bei Südexposition empfängt der nordexponierte Hang nur 87461 ly/min, also weniger als die Hälfte. Während bei 5° Hangneigung die Differenz der Direktstrahlung von Süd- zu Nordexposition in den Sektoren II bis V nur je etwa 12% beträgt, verringert sich der Direktstrahlungswert bei 30° HN in den Sektoren II und V um die Hälfte, in den Sektoren III und IV fast auf ein Viertel.

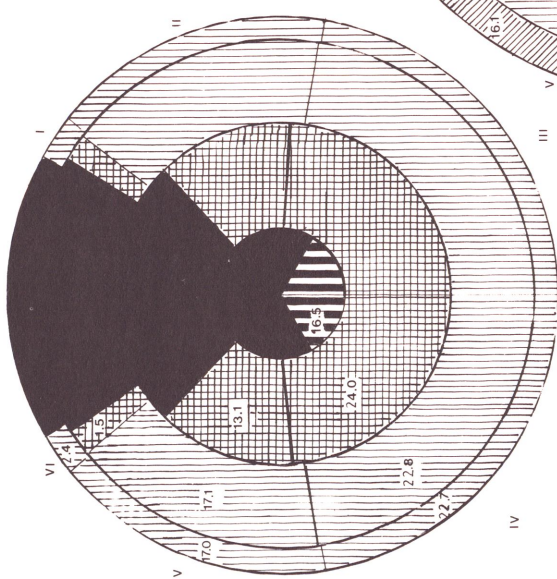
Die Fremdabschattung (siehe Abb. 2a bis 2d) dagegen ist bis zu Abschattungswinkeln von 10° ohne wesentlichen Einfluß auf die Direktstrahlung; durchschnittlich ist hier eine Abnahme um 1000 ly/min feststellbar, dies bedeutet eine Reduzierung um 0.5 bis 3%. Interessanter ist der folgende Bereich bis 30° Fremdabschattung, der in Mittelgebirgsregionen, aber auch bei eingeschnittenen Tälern in Hochflächen von Bedeutung ist.

Abb. 2 : Sektorendiagramme der potentiellen jährlichen Globalstrahlung

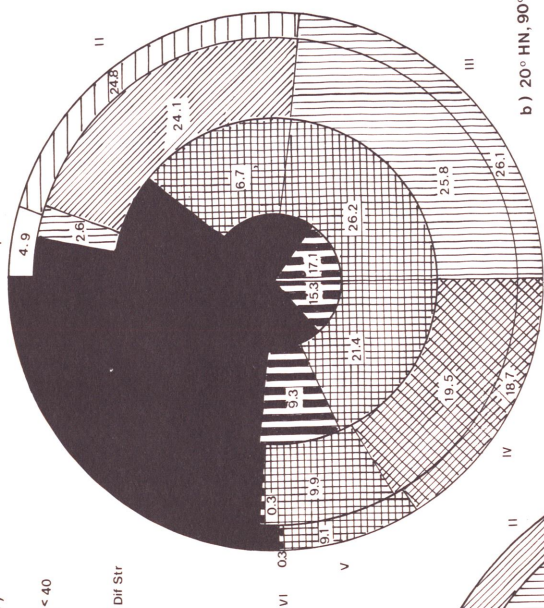
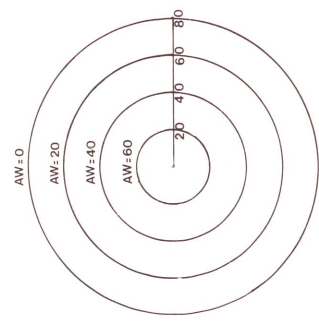
Verhältnis zur horizontalen Fläche ohne Abschattung (in %)



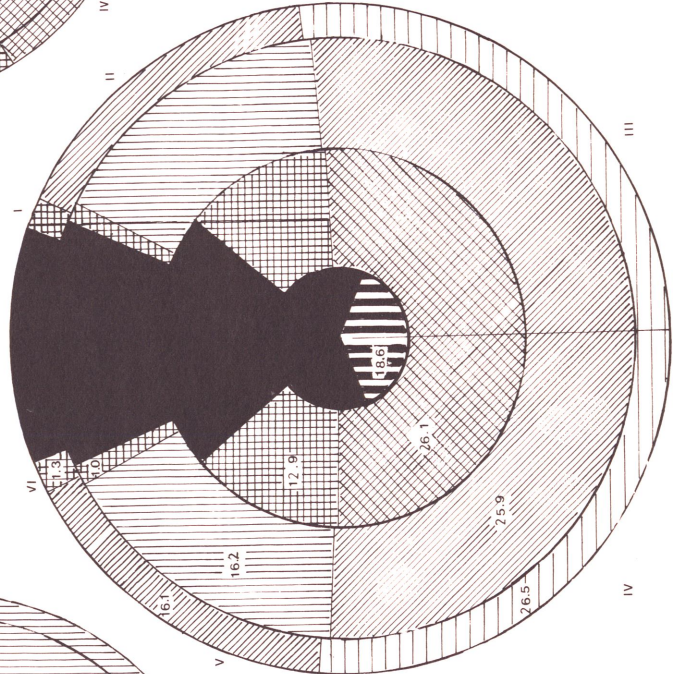
9.3 Anteil an der jährl. pot. Globalstr. (in %)



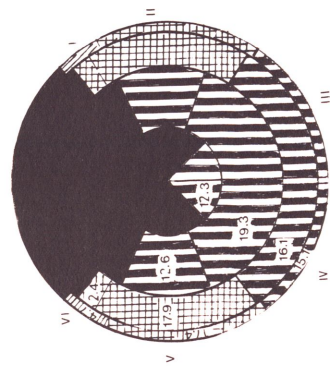
a) 0° HN, 0° AZ



b) 20° HN, 90° AZ



c) 30° HN, 0° AZ



d) 30° HN, 180° AZ

Bei 20° Fremdabschattung ist in der Regel ein Globalstrahlungsverlust von 10 bis 15%, bei 30° von über 20 bis 35% vorzufinden.

Bei größeren Abschattungswinkeln nimmt der Globalstrahlungsempfang rasch ab; bei 40° AW beträgt der Verlust durchschnittlich um 40%, bei 60° jedoch schon 80%, hierbei entfallen auf die diffuse Strahlung zwei Drittel der restlichen 20%.

Interessant ist die Kombination von Fremd- und Eigenabschattung. Bei 30° Hangneigung, 30° Fremdabschattung und Südexposition nimmt die Globalstrahlungssumme von 182911 auf 134818 ly/min ab, bei Nordexposition dagegen "nur" von 87461 auf 74410 ly/min.

Hieraus läßt sich erkennen, daß die Eigenabschattung größere Differenzierungen hervorruft als die Fremdabschattung. Dies gilt besonders auch für Gebiete mit geringer Reliefenergie; bei diesen verursacht die Fremdabschattung kaum, die Eigenabschattung jedoch Verluste schon von über 20% (bei 10° AW).

Tritt bereits Eigenabschattung auf, so ist die zusätzliche Verminderung durch Fremdabschattung gering, die Fremdabschattung selbst erst bei Abschattungswinkeln von über 20° von größerem Einfluß. Die Auswirkung der Fremdabschattung in den einzelnen Sektoren wird anschließend untersucht.

3.3. Der Einfluß der Fremdabschattung auf die sektorielle Direktstrahlung

In den Sektoren I und IV wird die einfallende Direktstrahlung bei 30° Fremdabschattung nahezu eliminiert, so daß die morgendliche Erwärmung in der Vegetationsperiode etwas verzögert wird. Bei den übrigen Sektoren wirkt sich eine Abschattung dieser Größe weniger bedeutend aus, da die Sonne in den Sektoren III und IV von März bis September, in den Sektoren II und V von Mai bis August höher als 30° steht; demnach trifft die Direktstrahlung fast während der gesamten Vegetationsperiode ungehindert auf. Die sektoriellen Verluste, im Vergleich zur horizontalen Fläche ohne Abschattung, schwanken je nach Hangneigung und Exposition zwischen 20 und 45%.

Bei Fremdabschattungswerten von 40° und mehr - in Mittel- und besonders in Hochgebirgsregionen - nimmt die Bedeutung der Sektoren III und IV rasch zu; dies ist sowohl aus den absoluten Globalstrahlungswerten als auch besonders aus dem Anteil der Sektoren (in %) an der Gesamtsumme ersichtlich.

Bei über 60° Fremdabschattung - im Hochgebirge möglich - kann nur noch aus den Sektoren III und IV Direktstrahlung einfallen.

Zusammenfassend läßt sich feststellen, daß die Sektoren I und VI für die Besonnung ziemlich unbedeutend sind, demzufolge auch ihre Abschattungswerte.

Die Sektoren II und V gewinnen vor allem bei nordexponierten Hängen sowie während der Vegetationsperiode an Bedeutung. Die explizite Feststellung der Fremdabschattung ist erst bei Abschattungswinkeln von über 10° wichtig, da diese die Globalstrahlungswerte erst beträchtlich differenzieren können.

Von wesentlicher Bedeutung ist jedoch die Feststellung der Eigenabschattung, da diese (z.B. zwischen Nord- und Südexposition) wesentliche Unterschiede in der Globalstrahlung herbeiführt. Dies alles wird durch ein regionales Beispiel verdeutlicht.

4. Das Untersuchungsgebiet Alling-Bergmattung

Die bisher erzielten Ergebnisse werden anhand des Untersuchungsgebietes Alling-Bergmattung, Abb. 3, verdeutlicht. Aufgrund des Höhenunterschiedes von der Albhochfläche bei Bergmattung (485 m) zum Talboden der Schwarzen Laaber (350 m), wegen des gewundenen Talverlaufes, des Allinger Talkessels sowie des Südwest-Nordost verlaufenden Trockentals ist dieses Gebiet beispielhaft, da durch die verschiedenen Hangneigungen, Expositionen und Fremdabschattungen unterschiedliche Globalstrahlungssummen zu erwarten sind.

4.1. Hangneigung, Exposition und Abschattung

Voraussetzung für die Bestimmung von Hangneigung, Exposition, Fremd- und Eigenabschattung ist die Anfertigung einer Höhenmatrix (Gitternetz mit einer Maschenweite von 50 m, welches das Untersuchungsgebiet überdeckt). Um die Fremdabschattung jedoch auch für Randpunkte berechnen zu können, muß das Gitternetz über das Untersuchungsgebiet hinaus soweit ausgedehnt werden, bis für jeden Punkt die größtmögliche Abschattung gefunden ist.

Für jeden Gitterpunkt werden nun Hangneigung, Exposition und Fremdabschattung durch ein eigenes Programm SHA001¹⁰⁾ erarbeitet; hierbei werden zunächst Hangneigung und Exposition in Anlehnung an STEYN, 1976, mit Hilfe der Hangnormalen bestimmt.

¹⁰⁾ Dieses Programm ist in der Programmiersprache BASIC abgefaßt und kann auf Wunsch vom Verfasser bezogen werden.

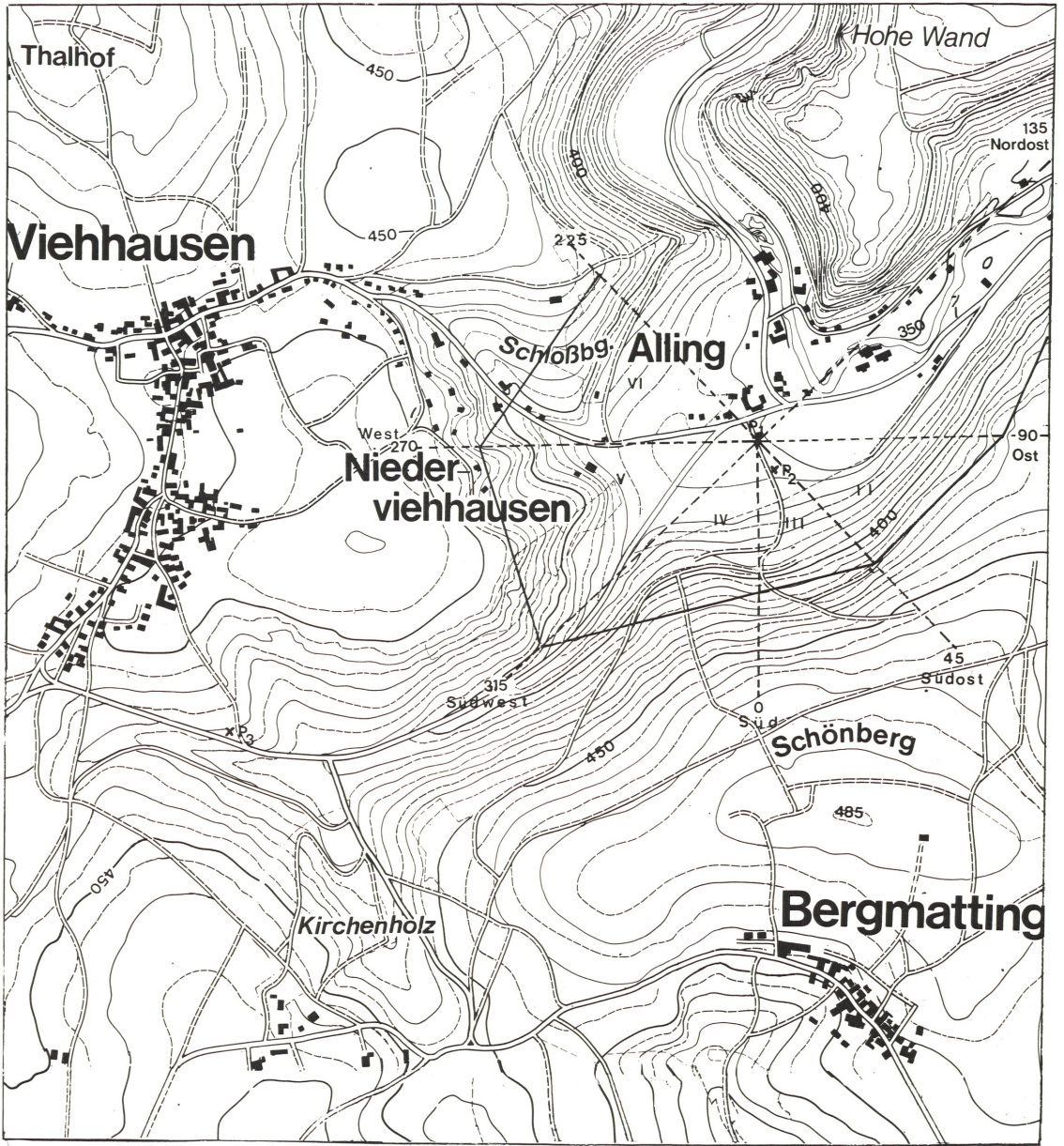
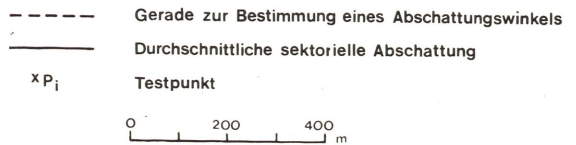


Abb.3: Das Auffinden der Abschattung
im Untersuchungsgebiet
Alling-Bergmatting



Für einen Gitterpunkt P_0 (Höhe H_0) gelten als Abschattungswerte der 6 Sektoren das jeweilige arithmetische Mittel derjenigen Abschattungswinkel, die auf den zwei Begrenzungsgeraden der einzelnen Sektoren ermittelt werden (siehe Abb. 3).

Liegt ein Punkt P_1 (Höhe H_1) auf einer derartigen Geraden, so kann der Abschattungswinkel AW sehr leicht aus der Höhendifferenz $H_1 - H_0$ und der Entfernung E_1 von P_1 zu P_0 errechnet werden.

$$\tan AW = \frac{H_1 - H_0}{E_1}$$

Ist die Höhendifferenz negativ, so findet keine Abschattung statt. Von P_0 aus wird nun mit allen auf der Begrenzungsgerade liegenden Punkten P_i ein Abschattungswinkel gebildet, der größte wird für diese Gerade dann als Abschattungswinkel festgelegt.

Zur Bestimmung der Abschattung werden zusätzlich diejenigen Gitterpunkte, die Wald- bzw. Wohnareale repräsentieren, mit einem einheitlichen Höhenzuschlag von 20 bzw. 5 m versehen.

Die Ergebnisse von Hangneigung und Exposition sind in Abbildung 4 und 5 dargestellt¹¹⁾.

4.2. Der Vergleich gemessener und berechneter Werte

Die Güte der berechneten Werte kann durch Vergleich mit gemessenen (realen) Werten getestet werden. Die Genauigkeit von Hangneigung und Exposition (vgl. HORMANN, 1975, S.181) ist durch die gewählte Maschenweite von 50 m zufriedenstellend; dies wird durch im Gelände angefertigte Hangneigungskarten (PÖHLER, 1978) bestätigt.

Die Abschattungsbestimmung könnte noch weiter verfeinert werden, indem zu den vorhandenen sieben noch weitere Geraden durch den jeweiligen Gitterpunkt gelegt werden; hierbei wächst allerdings auf den einzelnen Geraden die Entfernung der nächstliegenden Gitterpunkte zueinander, darüber hinaus sind die Sektoren infolge der verschiedenen Winkel zwischen den Geraden unterschiedlich groß. Eine derartige Verfeinerung bringt jedoch im Vergleich zu den "nur" sieben Geraden keine wesentlich größere Genauigkeit, wie ein Versuch mit 13 Geraden ergab (Unterschiede kleiner als $\pm 10\%$).

11)

Hierzu wurden zunächst Isolinienkarten verwendet, die durch ein von Herrn Dr. K.Klein zur Verfügung gestelltes Programm geplottet wurden.

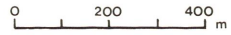
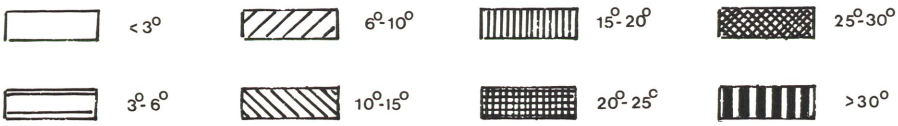
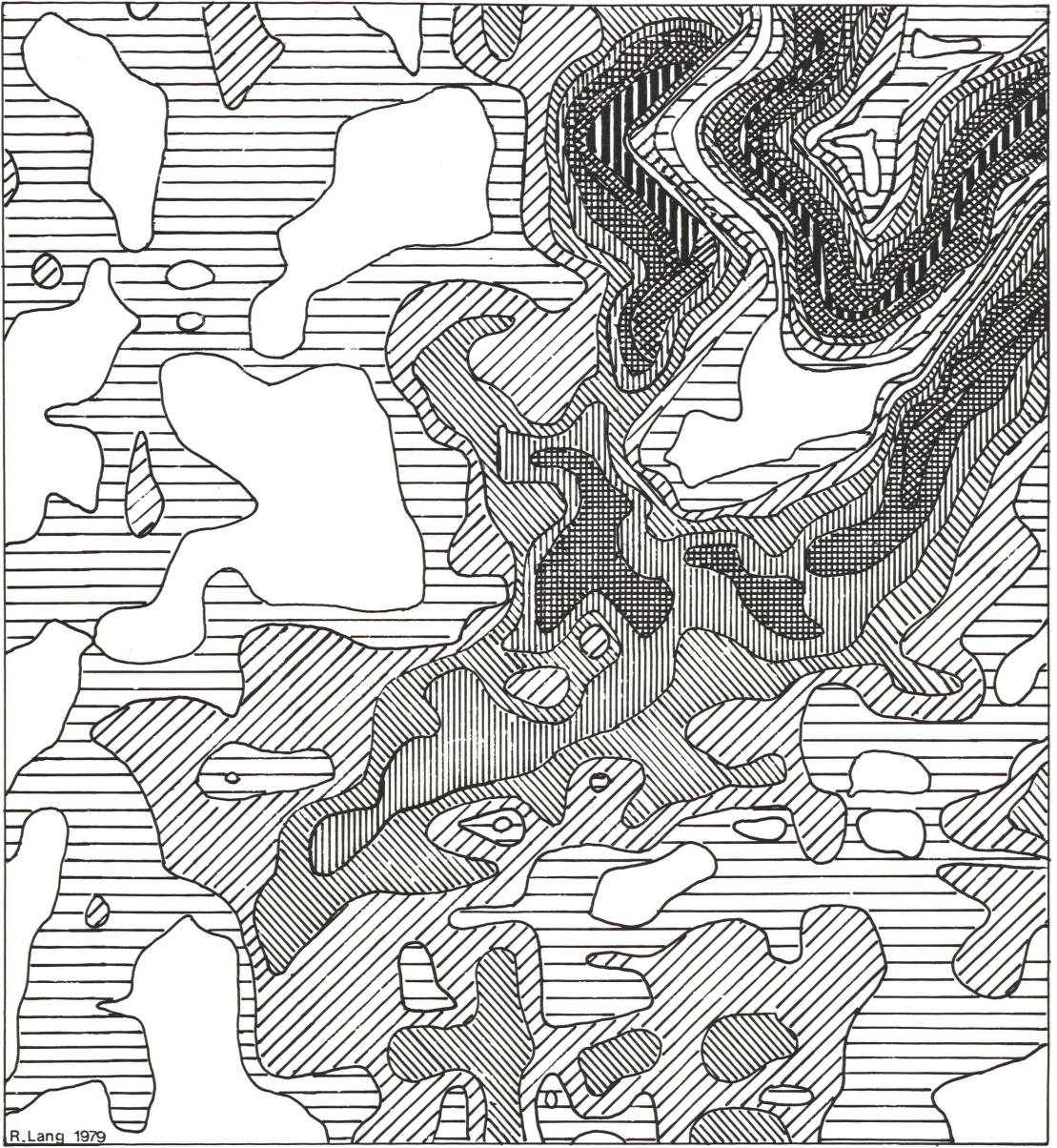
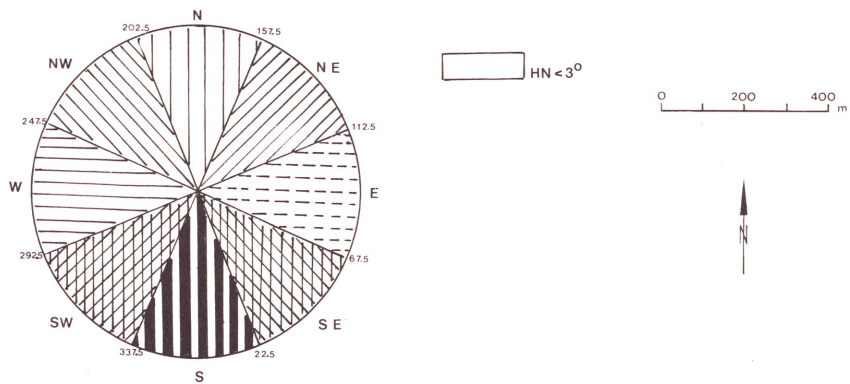
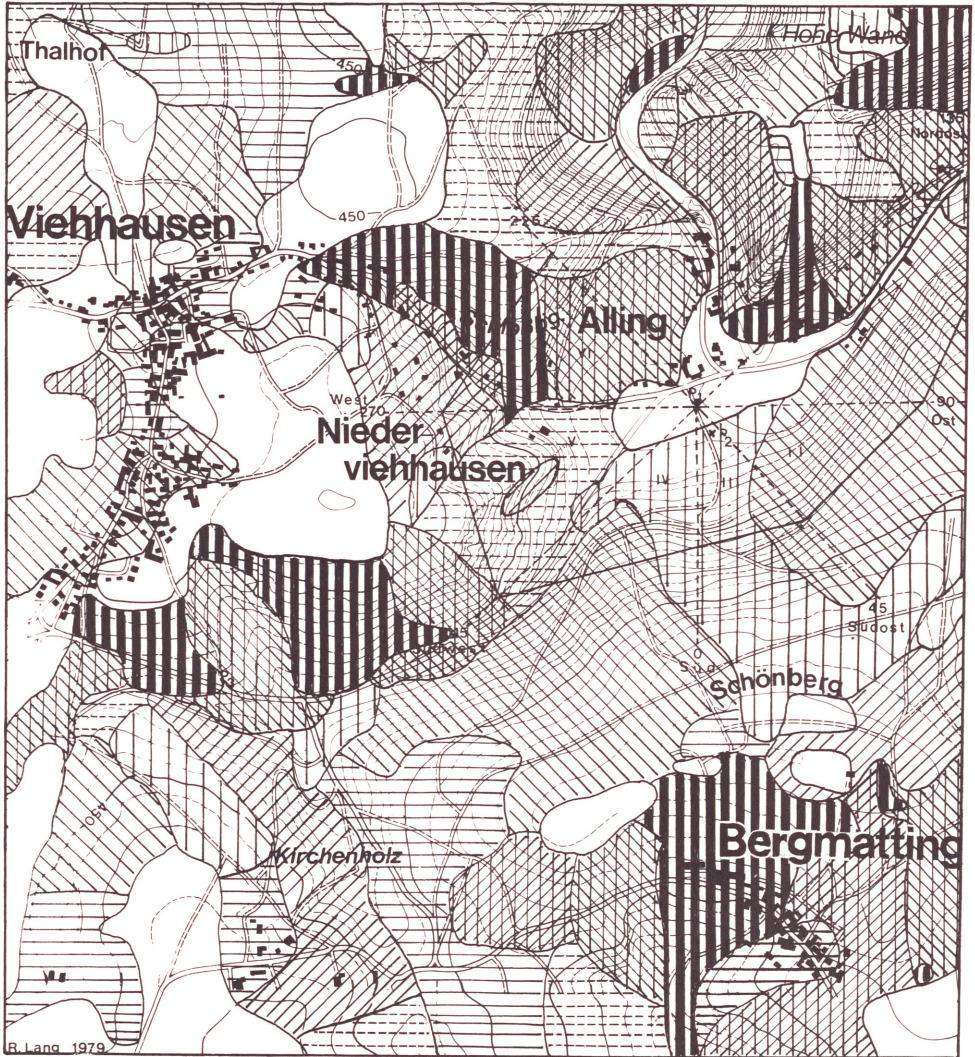


Abb. 4: HANGNEIGUNGSKARTE



Abb.5: EXPOSITIONSKARTE



Die stichprobenartige Überprüfung von berechneten Abschattungswerten, Abb. 6, durch Vermessungen im Gelände ergab bei den 18 Abschattungswinkeln der Punkte P_1 , P_2 , P_3 (siehe Abb. 3) einen Korrelationskoeffizienten von $r = 0.99$; damit ist die Anwendbarkeit der Abschattungsbestimmung auf jeden Fall gewährleistet, auch wenn die Übereinstimmung von berechneten und gemessenen Werten nicht immer so hoch ist.

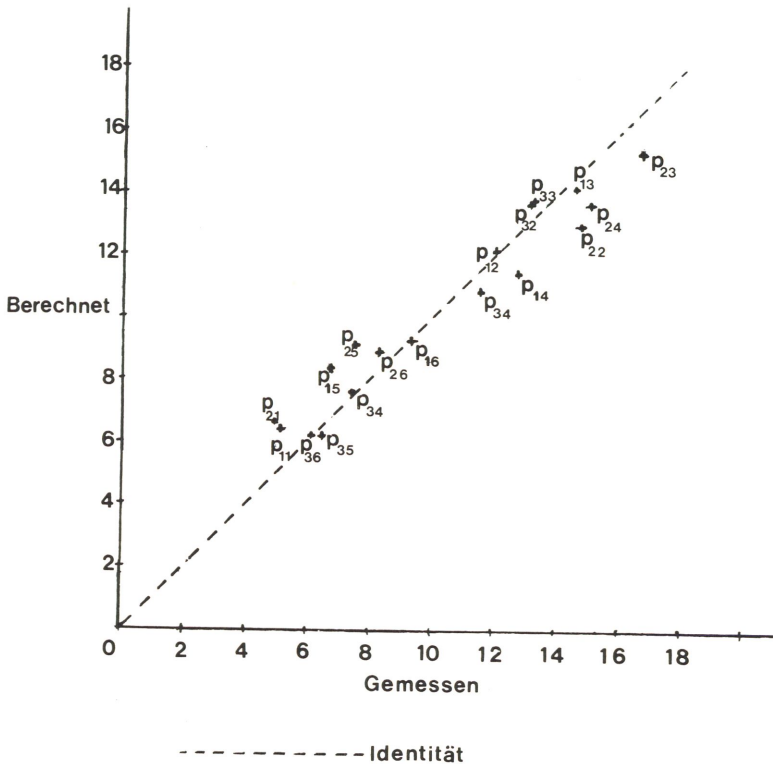
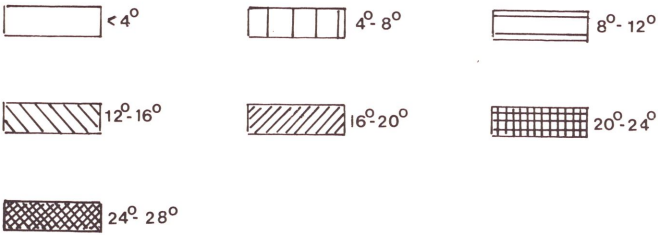
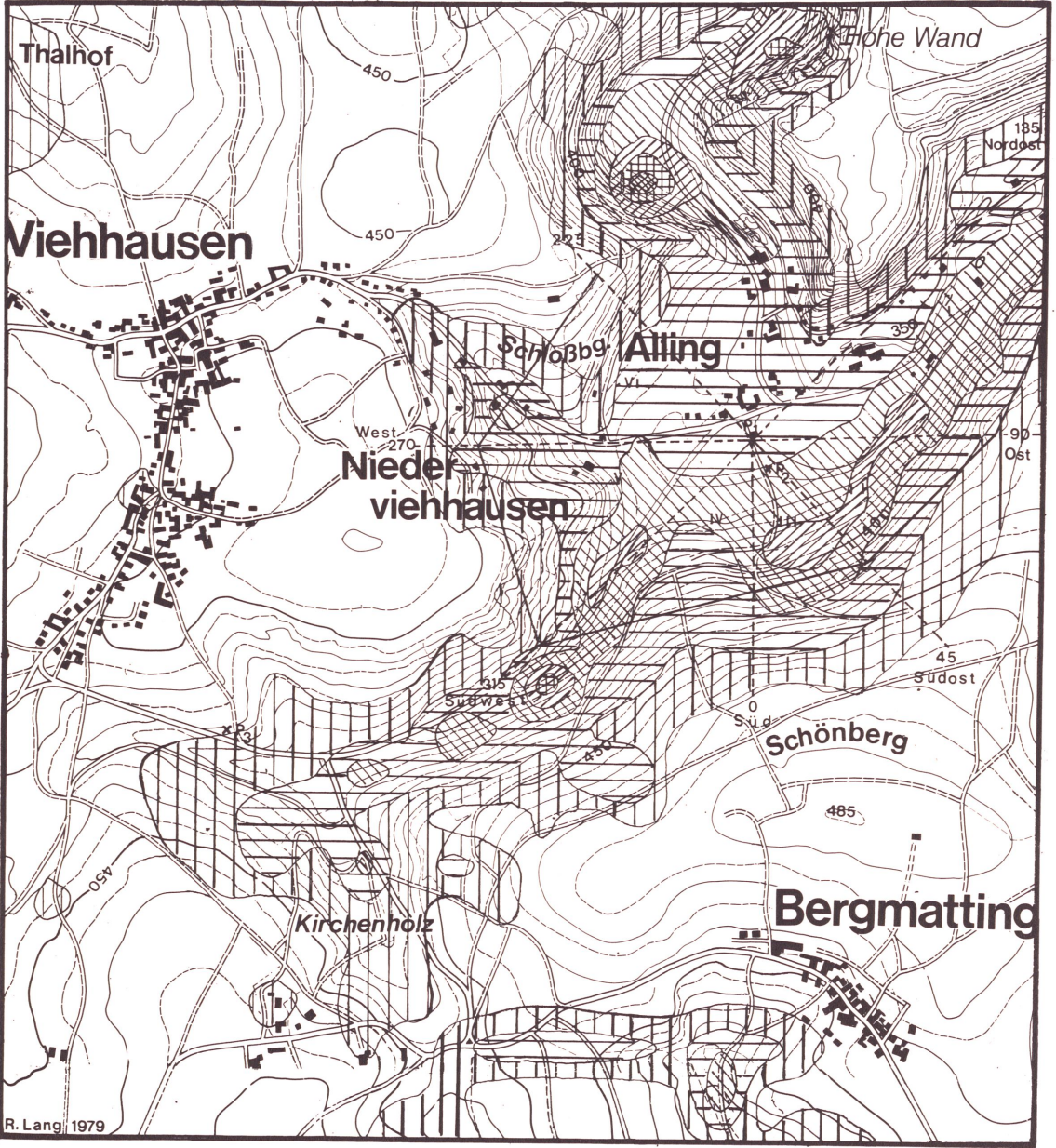


Abb.6: Vergleich zwischen gemessenen und berechneten Abschattungswinkeln

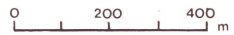
4.3. Durchschnittliche und Gewichtete Gesamtabschattung

Für jeden Gitterpunkt wird aus den Abschattungswinkeln der 6 Sektoren eine durchschnittliche (arithmetisches Mittel) sowie eine der Bedeutung der einzelnen Sektoren entsprechende "Gewichtete" Gesamtabschattung berechnet. Bei der letzteren wird der Abschattungswert der Sektoren II und V mit 4, der der Sektoren III und IV mit 6 multipliziert; diese Werte werden zu den Abschattungswerten der Sektoren

Abb.7: GEWICHTETE ABSCHATTUNG



M 1 : 10 000



ren I und VI addiert, das Ergebnis schließlich durch 22 geteilt.

Eine Karte der "Gewichteten Abschattung" des Untersuchungsgebietes wird in Abb. 7 vorgelegt; aus ihr sind bereits Rückschlüsse auf den potentiellen Globalstrahlungsinput möglich.

Um die Eignung von durchschnittlicher bzw. "Gewichteter" Abschattung überprüfen zu können, ist es notwendig, Globalstrahlungswerte einerseits mit unterschiedlichen Abschattungswinkeln in den einzelnen Sektoren, andererseits mit diesen entsprechender durchschnittlicher oder "Gewichteter Abschattung" zu berechnen. Die Testläufe sowie die Tabellenwerte ergeben nur geringe Abweichungen, bei durchschnittlicher Abschattung kleiner als $\pm 3\%$, bei "Gewichteter" kleiner als $\pm 2\%$. Folglich kann man nach Feststellung der sektoriellen Abschattungswerte z.B. mittels "Gewichteter Abschattung" den Globalstrahlungsinput aus den Tabellen 1 - 6 übernehmen, da die Verwendung des gleichen Abschattungswinkels in allen Sektoren sowohl einer durchschnittlichen als auch einer "Gewichteten" Gesamtabschattung entspricht. Andererseits ist es möglich, bei unterschiedlichen Abschattungswinkeln in den 6 Sektoren die potentielle jährliche Globalstrahlung aus den entsprechenden Sektorenwerten zu erschließen.

4.4. Potentielle jährliche Globalstrahlung im Untersuchungsgebiet

Aus der Vielzahl von Möglichkeiten - potentielle Globalstrahlung für ausgewählte Tage, alle Monate, die Vegetationsperiode oder das Jahr -, die das Programm bietet, wird exemplarisch die jährliche potentielle Globalstrahlung in Abb. 8 dargestellt.

Die nach den gegebenen Reliefverhältnissen (Abb. 4, 5 und 7) erwarteten Unterschiede des jährlichen Globalstrahlungsinputs treten in der Tat auf. In der sonst von einer geringen Reliefenergie gekennzeichneten Frankenalb differiert der kurzweilige Strahlungsinput innerhalb kürzester Entfernungen im Bereich von Fluß- und Trockentälern erheblich. Während die Hochflächen eine potentielle jährliche Globalstrahlungssumme von 145000 bis 155000 ly/min erreichen, zeigen sich im Tal der Schwarzen Laaber Extremwerte oft dicht nebeneinander.

Die Minima (nordexponierte Hänge mit $25 - 30^\circ$ Hangneigung und Abschattung) liegen bei 95000 ly/min, die Maxima (südexponierte Hänge mit 25° Hangneigung und geringer Abschattung) bei 185000 ly/min.

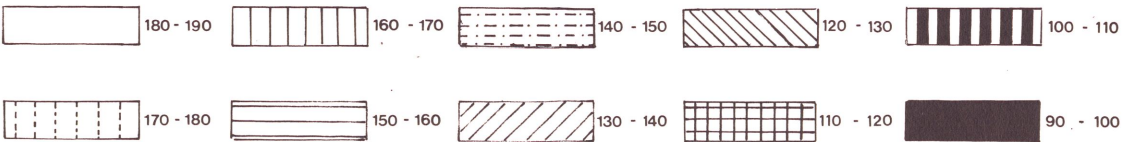
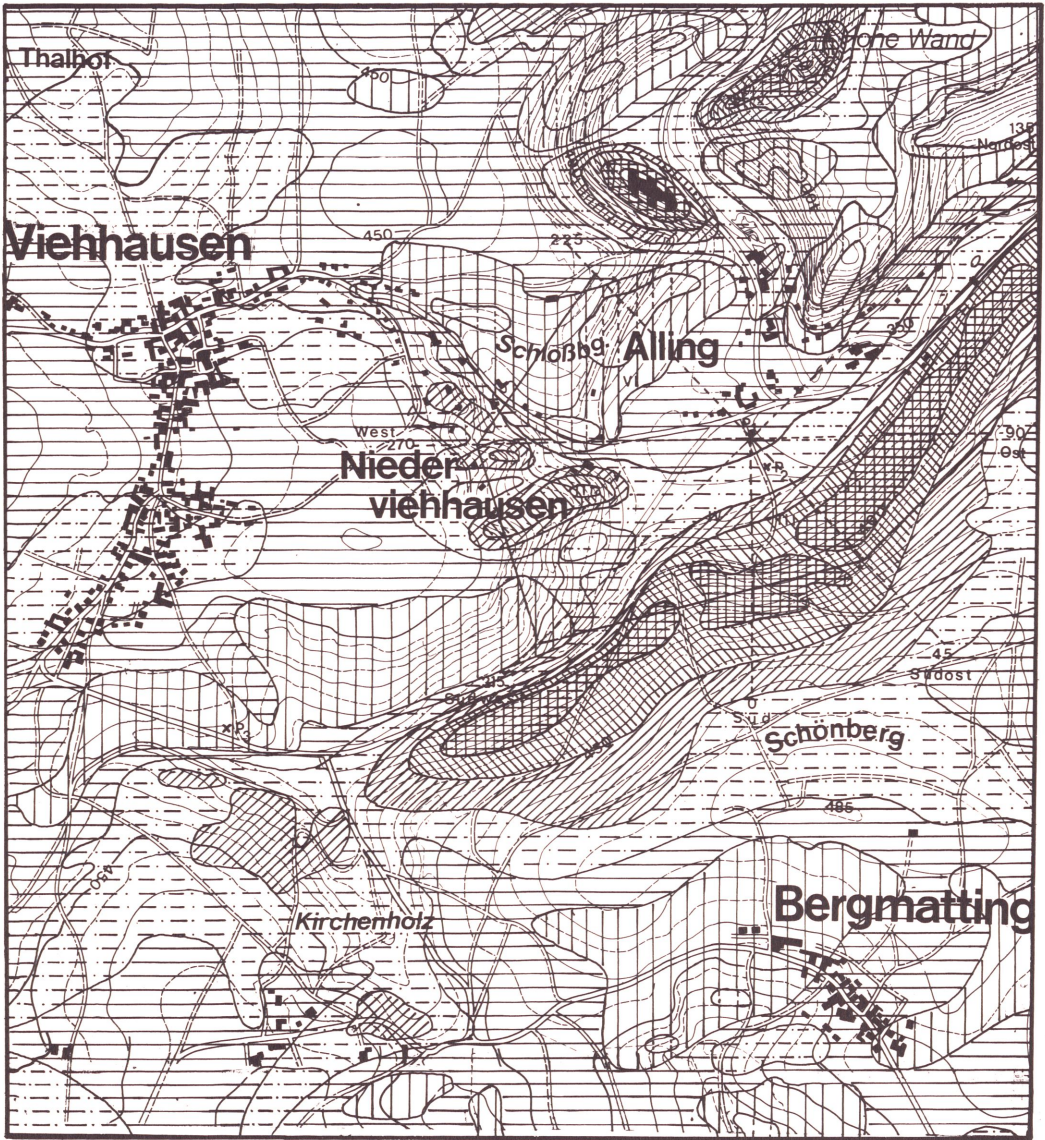


Abb. 8 : Potentielle jährliche Globalstrahlung (1000 ly / min)

Derartige Unterschiede wie im Mesobereich sind an manchen Stellen auch noch im Mikrobereich (an Waldrändern) vorzufinden, können jedoch aus Maßstabsgründen nicht mehr dargestellt werden.

Diese Unterschiede in der Globalstrahlungssumme bewirken natürlich ökologische Differenzierungen, die sich zunächst vor allem im Mikro- und Mesoklima, dann aber für jedermann sichtbar in der Vegetation bemerkbar machen.

Ökologische Raumeinheiten festzustellen ist Aufgabe einer komplexen Standortanalyse; ein erster wesentlicher Schritt ist durch die Quantifizierung der potentiellen Globalstrahlung erreicht.

5. Ausblick

Die hier durchgeführte Quantifizierung eines der wichtigsten Inputs des Landschaftshaushaltes eröffnet der Physischen Geographie Möglichkeiten zur exakten Analyse weiterer ökologisch bedeutsamer Parameter.

Die Strahlungsbilanz - kurz- und langwellige Strahlung - kann in ähnlicher Weise durch Computerprogramme berechnet werden. Zur Ergänzung ist jedoch mindestens eine Meßstation notwendig, die mit Strahlungsbilanzmeßgeräten ausgestattet ist. Erst hierdurch ist es dann möglich, über den Vergleich der berechneten Werte mit den gemessenen die Programmgüte zu verbessern und die erzielten Resultate an die realen Verhältnisse anzugleichen; die potentiellen Werte werden zu aktuell gültigen. Zugleich ist durch die Meßstation auch die regionale Verwendbarkeit der berechneten Ergebnisse gesichert. Klimatische Größen wie Temperatur, Verdunstung usw. können dann im Tages- und Jahresgang mit dem Globalstrahlungsinput korreliert werden, um hier Abhängigkeiten und Beziehungen festzustellen.

Die Ausgliederung von homogenen und heterogenen Landschaftseinheiten kann, wie bereits angedeutet, durch die Quantifizierung entscheidender Prozesse im Landschaftshaushalt auf naturwissenschaftlicher Basis durchgeführt werden und so zu expliziten Raumanalysen führen, die über dem Niveau bisheriger Standortanalysen liegen.

Danksagung

Die Idee zu dieser Untersuchung entstand während einer fast einjährigen freundschaftlichen Zusammenarbeit mit Herrn P.Caspers im Rahmen eines Forschungsprojektes des Lehrstuhls für Physische Geographie an der Universität Regensburg unter Leitung von Prof.Dr.H.Klug. Zu Dank verpflichtet bin ich Herrn Dr.K.Klein vom Geogr.Institut der Universität Regensburg, der mir zunächst ein Ausgangs- sowie später ein Plotprogramm zur Verfügung stellte.

Danken möchte ich auch den Mitarbeitern des Beratungsdienstes im Rechenzentrum der Universität Regensburg, vor allem Herrn Heider, die mir bei der weiteren Ausarbeitung der Programme behilflich waren.

Literaturliste

- ENDERS, G.(1976): Schattenkartierung als Grundlage für forstliche Planung im Alpenpark Königssee. Ein theoretisch-mathematisches Verfahren. - Forstw.Cbl. 95:180-186.
- GARNIER, B.J. u. A.OHMURA(1970): The evaluation of surface variations of solar radiation income. - Solar Energy 13:21-34.
- GITTL, G.(1974): Gelände- und Insulationskarten für das Gebiet des Nationalparks Bayerischer Wald. - Forstw. Cbl. 93:74-86.
- HORMANN, K.(1975): Maßstabsabhängige Größen und Begriffe in der Geographie, erläutert an den Beispielen Hangneigung, Bevölkerungsdichte, Klima, Schnee- und Baumgrenzen, Pflanzenformation. - Gießener Geogr.Schr. 32:181-193.
- KLUG, H. u. R.LANG(1979): Physisch-geographische Forschungsprojekte im Regensburger Raum. - In diesem Band.
- LIST, R.J.(1966): Smithsonian Meteorological Tables. - Smithsonian Inst., Washington D.C.
- PALTRIDGE, G. u. C.PLATT(1976): Radiative processes in meteorology and climatology. - Development in Atmosph. Sciences 5.
- PARMALEE, G.(1954): Irradiation of vertical and horizontal surface by diffuse solar radiation from cloudless skies. - Heating, Piping and Air Conditioning 26:129-137.
- PÖHLER, E.(1978): Geomorphologische Detailkartierung im Tal der Schwarzen Laaber (Raum Schönhofen/Alling). Regensburg, unveröffentl. Zulassungsarbeit.
- STEYN, G.(1976): Computation of azimuths, slope angles and surface normals over a given topography. - The South Africa Geogr.J. 58:130-133.
- TERJUNG, W. u. S.LOUIE(1971): Potential solar radiation climates of man. - Annals, Assoc. of Am.Geogr. 61:481-500.

Tabelle 1: Potentielle Globalstrahlungswerte bei 0° und 5° HN

AW	HN	AZ	PJGS	VDS1	VDS2	VDS3	VDS4	VDS5	VDS6	AG1	AG2	AG3	AG4	AG5	AG6	AGD
0	0	0	151017	3627	25603	34250	34250	25603	3627	2.4	17.0	22.7	22.7	17.0	2.4	15.8
5	0	0	150970	99.7	100.0	100.0	100.0	100.0	99.7	2.4	17.0	22.7	22.7	17.0	2.4	15.8
10	0	0	150098	95.1	99.2	99.7	99.7	99.2	95.1	2.3	16.9	22.8	22.8	16.9	2.3	16.0
20	0	0	139054	57.4	92.9	92.4	92.4	92.9	57.4	1.5	17.1	22.8	22.8	17.1	1.5	17.2
30	0	0	118937	5.1	77.1	80.3	80.3	77.1	5.1	0.2	16.6	23.1	23.1	16.6	0.2	20.8
40	0	0	93125	0	47.6	65.2	65.2	47.6	0	0	13.1	24.0	24.0	13.1	0	25.8
50	0	0	64475	0	16.9	46.4	46.4	16.9	0	0	6.7	24.6	24.6	6.7	0	37.4
60	0	0	35948	0	0	17.4	17.4	0	0	0	0	16.5	16.5	0	0	67.0
0	5	0	159265	95.2	104.6	109.2	109.2	104.6	95.2	2.2	16.8	23.5	23.5	16.8	2.2	15.0
5	5	0	159212	95.0	104.5	109.2	109.2	104.5	95.0	2.2	16.8	23.5	23.5	16.8	2.2	15.0
10	5	0	158237	91.3	103.6	108.8	108.8	103.6	91.3	2.1	16.8	23.6	23.6	16.8	2.1	15.0
20	5	0	145690	56.2	96.5	99.5	99.5	96.5	56.2	1.4	17.0	23.4	23.4	17.0	1.4	16.4
30	5	0	123795	5.1	79.8	85.5	85.5	79.8	5.1	0.1	16.5	23.7	23.7	16.5	0.1	19.4
40	5	0	96324	0	49.2	68.7	68.7	49.2	0	0	13.1	24.4	24.4	13.1	0	25.0
50	5	0	66167	0	17.5	48.6	48.6	17.5	0	0	6.8	25.1	25.1	6.8	0	36.2
60	5	0	36370	0	0	18.0	18.0	0	0	0	0	17.0	17.0	0	0	66.0
0	5	45	156696	114.4	111.3	109.2	103.6	95.0	78.6	2.6	18.2	23.9	22.6	15.5	1.8	15.4
5	5	45	156643	114.0	111.2	109.2	103.6	94.9	78.6	2.6	18.2	23.9	22.6	15.5	1.8	15.4
10	5	45	155700	108.0	110.0	108.8	103.3	94.4	76.5	2.5	18.1	23.9	22.7	15.5	1.8	15.3
20	5	45	143605	64.0	101.9	99.5	95.2	88.8	49.0	1.6	18.2	23.7	22.7	15.8	1.2	16.3
30	5	45	122253	5.6	83.6	85.5	82.3	74.2	4.6	0.2	17.5	24.0	23.1	15.5	0.1	19.6
40	5	45	95297	0	51.0	68.7	66.5	56.4	0	0	13.7	24.7	23.9	12.5	0	25.2
50	5	45	65613	0	17.9	48.5	47.1	16.7	0	0	7.0	25.3	24.6	6.5	0	36.6
60	5	45	36220	0	0	18.0	17.7	0	0	0	0	17.0	16.7	0	0	66.3
0	5	90	150492	125.0	111.2	103.6	95.6	88.0	74.3	3.0	18.9	23.6	21.8	15.0	1.8	15.9
5	5	90	150441	124.4	111.1	103.6	95.6	88.0	74.3	3.0	18.9	23.6	21.8	15.0	1.8	15.9
10	5	90	149573	117.0	109.9	103.3	95.4	87.8	72.4	2.8	18.8	23.7	21.9	15.0	1.8	15.0
20	5	90	138571	67.8	101.8	95.1	89.0	83.2	46.5	1.8	18.8	23.5	22.0	15.4	1.2	17.3
30	5	90	118530	5.8	83.4	82.3	77.8	70.1	4.3	0.2	18.0	23.8	22.5	15.2	0.1	20.2
40	5	90	92816	0	50.7	66.6	63.4	44.1	0	0	14.0	24.6	23.4	15.2	0	25.8
50	5	90	64276	0	17.7	47.1	45.2	16.0	0	0	7.1	25.1	24.1	6.4	0	37.3
60	5	90	35857	0	0	17.5	17.0	0	0	0	0	16.7	16.3	0	0	67.0
0	5	135	144286	120.7	104.3	95.7	90.0	88.0	84.8	3.0	18.5	22.7	21.4	15.6	2.1	16.7
5	5	135	144239	120.1	104.2	95.7	90.0	88.0	84.7	3.0	18.5	22.7	21.4	15.6	2.1	16.7
10	5	135	143446	112.9	103.3	95.5	90.0	87.7	81.4	2.9	18.4	22.8	21.5	15.6	2.1	16.7
20	5	135	133536	65.3	96.3	88.9	84.6	83.1	50.3	1.8	18.5	22.8	21.7	15.7	1.4	18.7
30	5	135	114807	5.6	79.4	77.8	74.6	70.0	4.7	0.2	17.7	23.2	22.2	15.6	0.1	21.0
40	5	135	90335	0	48.2	63.5	61.2	43.8	0	0	13.7	24.1	23.2	12.4	0	26.6
50	5	135	62938	0	17.0	45.2	43.9	15.8	0	0	6.9	24.6	23.9	6.4	0	38.2
60	5	135	35494	0	0	16.9	16.6	0	0	0	0	16.3	16.0	0	0	67.7
0	5	180	141713	104.1	94.7	90.0	90.0	94.7	104.1	2.7	17.1	21.8	21.8	17.1	2.7	16.8
5	5	180	141670	103.6	94.6	90.0	90.0	94.6	103.6	2.7	17.1	21.8	21.8	17.1	2.7	16.8
10	5	180	140909	98.2	94.1	89.9	89.9	94.1	98.2	2.5	17.1	21.9	21.9	17.1	2.5	17.0
20	5	180	131452	58.1	88.5	84.5	84.5	88.5	58.1	1.6	17.2	22.0	22.0	17.2	1.6	18.4
30	5	180	113265	5.1	73.8	74.6	74.6	73.8	5.1	0.2	16.7	22.6	22.6	16.7	0.2	21.0
40	5	180	89308	0	45.6	61.2	61.2	45.6	0	0	13.1	23.5	23.5	13.1	0	26.8
50	5	180	62384	0	16.2	43.9	43.9	16.2	0	0	6.7	24.1	24.1	6.7	0	38.4
60	5	180	35343	0	0	16.5	16.5	0	0	0	0	16.0	16.0	0	0	68.0

AW = Abschattungswinkel (für alle 6 Sektoren gleich groß)

HN = Hangneigung

AZ = Exposition (0° ≙ südexponiert, 90° ≙ ostexponiert, 180° ≙ nordexponiert)

PJGS = Potentielle "Jährliche Globalstrahlung"

PDS(I) (I=1,6) = $\frac{\text{PJGS im Sektor I bei beliebiger HN, AZ und AW}}{\text{PJGS im Sektor I bei } 0^\circ \text{ HN und } 0^\circ \text{ AW}}$

AG(I) (I=1,6) = Prozentualer Anteil des Sektors I an PJGS

AGD = Prozentualer Anteil der diffusen Strahlung an PJGS

Jeweils in der 1. Zeile der Tabellen 1 - 6 wurden für PDS(I) die Bezugswerte der Sektoren (0° HN und 0° AW) in ly/min angegeben.

Tabelle 2: Potentielle Globalstrahlungswerte bei 10° HN^{*)}

AW	HN	AZ	PJGS	VDS1	VDS2	VDS3	VDS4	VDS5	VDS6	AG1	AG2	AG3	AG4	AG5	AG6	AGD
0	0	0	151017	3627	25603	34250	34250	25603	3627	2.4	17.0	22.7	22.7	17.0	2.4	15.8
0	10	0	166394	89.7	108.3	117.6	117.6	108.3	89.7	2.0	16.7	24.2	24.2	16.7	2.0	14.2
5	10	0	166334	89.6	108.2	117.6	117.6	108.2	89.6	2.0	16.7	24.2	24.2	16.7	2.0	14.2
10	10	0	165263	86.8	107.2	117.1	117.1	107.2	86.8	1.9	16.6	24.3	24.3	16.6	1.9	14.4
20	10	0	151309	54.7	99.4	105.9	105.9	99.4	54.7	1.3	16.8	24.0	24.0	16.8	1.3	15.8
30	10	0	127802	5.0	81.9	90.0	90.0	81.9	5.0	0.1	16.4	24.1	24.1	16.4	0.1	18.8
40	10	0	98882	0	50.5	71.7	71.7	50.5	0	0	13.1	24.8	24.8	13.1	0	24.2
50	10	0	67447	0	18.0	50.2	50.2	18.0	0	0	6.8	25.5	25.5	6.8	0	35.4
60	10	0	36608	0	0	18.6	18.6	0	0	0	0	17.4	17.4	0	0	65.2
0	10	45	161310	128.0	121.7	117.6	106.3	89.2	57.5	2.9	19.3	25.0	22.6	14.2	1.3	14.7
5	10	45	161241	127.4	121.5	117.6	106.3	89.2	57.5	2.9	19.3	25.0	22.6	14.2	1.3	14.7
10	10	45	160207	120.2	120.0	117.1	106.0	88.8	57.3	2.7	19.2	25.0	22.7	14.2	1.3	14.9
20	10	45	147159	70.2	110.2	105.9	97.2	84.0	40.2	1.7	19.2	24.6	22.6	14.6	1.0	16.3
30	10	45	124730	6.1	89.5	90.0	83.6	70.8	4.0	0.2	18.4	24.7	23.0	14.5	0.1	19.1
40	10	45	98834	0	54.1	71.8	67.3	44.9	0	0	14.3	25.4	23.8	11.9	0	24.6
50	10	45	66343	0	18.8	50.2	47.5	16.3	0	0	7.3	25.9	24.5	6.3	0	36.0
60	10	45	36308	0	0	18.5	17.8	0	0	0	0	17.4	16.8	0	0	65.8
0	10	90	148997	149.1	121.5	106.5	90.5	75.7	49.2	3.6	20.9	24.5	20.8	13.0	1.2	16.0
5	10	90	148920	148.1	121.3	106.5	90.5	75.7	49.2	3.6	20.9	24.5	20.8	13.0	1.2	16.0
10	10	90	148001	138.1	119.8	106.1	90.4	75.6	49.2	3.4	20.7	24.5	20.9	13.1	1.2	16.2
20	10	90	137125	77.7	109.9	97.1	84.9	73.0	35.3	2.1	20.5	24.3	21.2	13.6	0.9	17.4
30	10	90	117313	6.5	89.2	83.7	74.6	62.7	3.6	0.2	19.5	24.4	21.8	13.7	0.1	20.3
40	10	90	91892	0	53.4	67.4	61.1	40.4	0	0	14.9	25.1	22.8	11.2	0	26.0
50	10	90	63678	0	18.4	47.5	43.8	14.9	0	0	7.4	25.6	23.5	6.0	0	37.5
60	10	90	35585	0	0	17.6	16.6	0	0	0	0	16.9	16.0	0	0	67.1
0	10	135	136610	140.5	107.8	90.6	79.4	75.5	69.0	3.7	20.2	22.7	19.9	14.1	1.8	17.6
5	10	135	136550	139.5	107.7	90.6	79.4	75.5	69.0	3.7	20.2	22.7	19.9	14.1	1.8	17.6
10	10	135	135794	129.9	106.7	90.4	79.4	75.4	67.1	3.5	20.1	22.8	20.0	14.1	1.8	17.6
20	10	135	127095	72.8	98.9	84.7	76.1	72.7	42.8	2.1	19.9	22.8	20.5	14.7	1.2	18.8
30	10	135	109896	6.1	81.1	74.7	68.2	62.3	4.0	0.2	18.9	23.3	21.3	14.5	0.1	21.7
40	10	135	86950	0	48.9	61.2	56.8	39.7	0	0	14.4	24.1	22.4	11.7	0	27.4
50	10	135	61014	0	17.0	43.8	41.1	14.5	0	0	7.1	24.6	23.1	6.1	0	39.1
60	10	135	34862	0	0	16.4	15.7	0	0	0	0	16.1	15.4	0	0	68.5
0	10	180	131436	107.3	88.6	79.4	79.4	88.6	107.3	3.0	17.3	20.7	20.7	17.3	3.0	18.0
5	10	180	131380	106.8	88.6	79.4	79.4	88.6	106.8	2.9	17.3	20.7	20.7	17.3	2.9	18.2
10	10	180	130738	100.5	88.3	79.4	79.4	88.3	100.5	2.8	17.3	20.8	20.8	17.3	2.8	18.2
20	10	180	122940	58.4	83.5	76.0	76.0	83.5	58.4	1.7	17.4	21.2	21.2	17.4	1.7	19.4
30	10	180	106823	5.0	69.9	68.3	68.3	69.9	5.0	0.2	16.8	21.9	21.9	16.8	0.2	22.2
40	10	180	84903	0	43.2	56.8	56.8	43.2	0	0	13.0	22.9	22.9	13.0	0	28.2
50	10	180	59910	0	15.4	41.1	41.1	15.4	0	0	6.6	23.5	23.5	6.6	0	39.8
60	10	180	34562	0	0	15.6	15.6	0	0	0	0	15.5	15.5	0	0	69.0

^{*)} Auf die Ausführung der Globalstrahlungswerte bei 225° AZ (nordwestexponiert), 270° AZ (westexponiert) und 315° AZ (südwestexponiert) kann verzichtet werden, da diese Werte aufgrund der Symmetrie des Tagesgangs der Sonne identisch sind mit entsprechenden Ergebnissen der in den Tabellen aufgeführten Expositionen.

Die Werte von west- und ostexponiert (90° AZ) sind sogar sektorenweise identisch, bei Südwest- und Südostexposition sowie bei Nordwest- und Nordostexposition müssen nur die Ergebnisse der Sektoren I und IV, II und V sowie III und IV ausgetauscht werden.

Tabelle 3: Potentielle Globalstrahlungswerte bei 20° HN*)

AW	HN	AZ	PJGS	VDS1	VDS2	VDS3	VDS4	VDS5	VDS6	AG1	AG2	AG3	AG4	AG5	AG6	AGD
0	0	0	151017	3627	25603	34250	34250	25603	3627	2.4	17.0	22.7	22.7	17.0	2.4	15.8
0	20	0	177117	77.1	113.4	131.6	131.6	113.4	77.1	1.6	16.4	25.4	25.4	16.4	1.6	13.2
5	20	0	177034	77.1	113.2	131.6	131.6	113.2	77.1	1.6	16.4	25.4	25.4	16.4	1.6	13.2
10	20	0	175773	75.8	111.9	130.9	130.9	111.9	75.8	1.6	16.3	25.5	25.5	16.3	1.6	13.2
20	20	0	159332	50.3	102.9	116.3	116.3	102.9	50.3	1.1	16.5	25.0	25.0	16.5	1.1	14.8
30	20	0	133150	4.8	84.2	96.9	96.9	84.2	4.8	0.1	16.2	24.9	24.9	16.2	0.1	17.6
40	20	0	102000	0	51.9	76.0	76.0	51.9	0	0	13.0	25.5	25.5	13.0	0	23.0
50	20	0	68738	0	18.4	52.5	52.5	18.4	0	0	6.9	26.2	26.2	6.9	0	37.8
60	20	0	36521	0	0	19.3	19.3	0	0	0	0	18.1	18.1	0	0	63.8
0	20	45	167488	152.0	139.7	131.7	109.4	75.9	23.6	3.3	21.4	26.9	22.4	11.6	0.5	13.9
5	20	45	167382	151.2	139.4	131.7	109.4	75.9	23.6	3.3	21.3	27.0	22.4	11.6	0.5	13.9
10	20	45	166030	141.7	137.2	130.9	109.1	75.7	23.6	3.1	21.2	27.0	22.5	11.7	0.5	14.0
20	20	45	151149	80.7	124.1	116.2	99.1	72.5	21.8	1.9	21.0	26.3	22.5	12.3	0.5	15.5
30	20	45	127099	6.8	99.2	96.9	84.3	62.3	2.7	0.2	20.0	26.1	22.7	12.6	0.1	18.3
40	20	45	97968	0	58.9	76.1	67.3	40.7	0	0	15.4	26.6	23.5	10.7	0	23.8
50	20	45	66561	0	26.2	52.5	47.2	15.2	0	0	7.8	27.0	24.3	5.9	0	35.0
60	20	45	35931	0	0	19.0	17.7	0	0	0	0	18.2	16.9	0	0	64.9
0	20	90	143919	193.2	139.2	109.8	78.4	50.9	12.2	4.9	24.8	26.1	18.7	9.1	0.3	16.1
5	20	90	143793	191.9	139.0	109.8	78.4	50.9	12.2	4.8	24.7	26.1	18.7	9.1	0.3	16.3
10	20	90	142473	176.9	136.8	109.2	78.4	50.9	12.2	4.5	24.6	26.2	18.8	9.2	0.3	16.4
20	20	90	131394	95.7	123.7	98.9	74.7	50.8	12.2	2.6	24.1	25.8	19.5	9.9	0.3	17.8
30	20	90	112490	7.7	98.5	84.4	66.5	46.4	1.9	0.2	22.4	25.7	20.3	10.5	0.1	20.8
40	20	90	88234	0	57.6	67.5	55.1	31.9	0	0	16.7	26.2	21.4	9.3	0	26.4
50	20	90	61312	0	19.4	47.3	39.8	12.4	0	0	8.1	26.4	22.2	5.2	0	38.1
60	20	90	34506	0	0	17.2	15.4	0	0	0	0	17.1	15.3	0	0	67.6
0	20	135	119459	176.8	112.2	78.5	57.7	50.6	37.5	5.4	24.1	22.5	16.6	10.8	1.1	19.5
5	20	135	119369	175.1	112.1	78.5	57.7	50.6	37.5	5.3	24.0	22.5	16.6	10.8	1.1	19.7
10	20	135	118455	166.8	110.8	78.4	57.7	50.6	37.3	4.9	24.0	22.7	16.7	10.9	1.1	19.7
20	20	135	111638	86.0	102.0	74.5	57.4	50.4	27.0	2.8	23.4	22.9	17.6	11.6	0.9	20.8
30	20	135	97881	6.9	82.6	66.7	54.0	45.7	2.8	0.3	21.6	23.3	18.9	11.9	0.1	23.9
40	20	135	78450	0	48.7	55.3	46.5	30.6	0	0	15.9	24.1	20.3	10.0	0	29.7
50	20	135	56065	0	16.6	39.9	34.6	11.6	0	0	7.6	24.4	21.1	5.3	0	41.6
60	20	135	33081	0	0	14.9	13.6	0	0	0	15.4	14.1	0	0	0	70.5
0	20	180	109120	111.4	74.9	57.5	57.5	74.9	111.4	3.7	17.6	18.1	18.1	17.6	3.7	21.2
5	20	180	109059	110.6	74.9	57.5	57.5	74.9	110.6	3.7	17.6	18.1	18.1	17.6	3.7	21.2
10	20	180	108420	102.9	74.7	57.5	57.5	74.7	102.9	3.4	17.6	18.2	18.2	17.6	3.4	21.6
20	20	180	103455	57.6	71.6	57.4	57.4	71.6	57.6	2.0	17.7	19.0	19.0	17.7	2.0	22.6
30	20	180	91829	4.8	60.7	54.1	43.1	60.7	4.8	0.2	16.9	20.2	20.2	16.9	0.2	25.4
40	20	180	74467	0	37.5	46.6	46.6	37.5	0	0	12.9	21.4	21.4	12.9	0	31.4
50	20	180	53891	0	13.4	34.6	34.6	13.4	0	0	6.3	22.0	22.0	6.3	0	43.4
60	20	180	32491	0	0	13.4	13.4	0	0	0	0	14.1	14.1	0	0	71.8

*) Die diffuse Strahlung nimmt bei steigender Hangneigung entsprechend Formel (5) ab.

$$Q_{h_i} = q_h \cos^2(HN/2)$$

$$q_h = q_{h_0} = 24056 \text{ ly/min}$$

$$q_{h_5} = 24011 \text{ ly/min}$$

$$q_{h_{10}} = 23874 \text{ ly/min}$$

$$q_{h_{20}} = 23330 \text{ ly/min}$$

$$q_{h_{30}} = 22444 \text{ ly/min}$$

$$q_{h_{35}} = 21881 \text{ ly/min}$$

$$q_{h_{40}} = 21242 \text{ ly/min}$$

$$q_{h_{45}} = 20533 \text{ ly/min}$$

$$q_{h_{50}} = 19760 \text{ ly/min}$$

$$q_{h_{60}} = 18042 \text{ ly/min}$$

Tabelle 4: Potentielle Globalstrahlungswerte bei 30° HN ^{*)}

AW	HN	AZ	FJGS	VDS1	VDS2	VDS3	VDS4	VDS5	VDS6	AG1	AG2	AG3	AG4	AG5	AG6	AGD
0	0	0	151017	3627	25603	34250	34250	25603	3627	2.4	17.0	22.7	22.7	17.0	2.4	15.8
0	30	0	182911	63.4	115.0	141.6	141.6	115.0	63.4	1.3	16.1	26.5	26.5	16.1	1.3	12.2
5	30	0	182804	63.4	114.8	141.6	141.6	114.8	63.4	1.3	16.1	26.5	26.5	16.1	1.3	12.2
10	30	0	181321	62.7	113.1	140.7	140.7	113.1	62.7	1.3	16.0	26.6	26.6	16.0	1.3	12.2
20	30	0	162879	44.4	103.3	123.1	123.1	103.3	44.4	1.0	16.2	25.9	25.9	16.2	1.0	13.8
30	30	0	134818	4.4	84.0	100.8	100.8	84.0	4.4	0.1	15.9	25.6	25.6	15.9	0.1	16.8
40	30	0	102385	0	51.8	78.0	78.0	51.8	0	0	12.9	26.1	26.1	12.9	0	22.0
50	30	0	68299	0	18.4	53.2	53.2	18.4	0	0	6.9	26.7	26.7	6.9	0	32.8
60	30	0	35689	0	0	19.3	19.3	0	0	0	0	18.6	18.6	0	0	62.8
0	30	45	169685	171.5	153.5	141.8	109.2	60.9	5.1	3.7	23.2	28.6	22.0	9.2	0.1	13.2
5	30	45	169545	170.4	153.1	141.8	109.2	60.9	5.1	3.6	23.1	28.6	22.1	9.2	0.1	13.4
10	30	45	167878	158.8	150.1	140.7	108.9	60.7	5.1	3.4	22.9	28.7	22.1	9.3	0.1	13.8
20	30	45	151004	89.1	134.3	123.0	98.0	58.9	5.1	2.1	22.8	27.9	22.2	10.0	0.1	14.9
30	30	45	125971	7.4	105.9	100.9	82.4	51.9	1.3	0.2	21.5	27.4	22.4	10.6	0	17.9
40	30	45	96490	0	61.9	78.1	65.3	35.4	0	0	16.4	27.7	23.2	9.4	0	23.3
50	30	45	65120	0	20.9	53.2	45.5	13.7	0	0	8.2	28.0	23.9	5.4	0	34.5
60	30	45	34826	0	0	19.0	17.1	0	0	0	0	18.7	16.8	0	0	64.5
0	30	90	137066	232.3	152.8	109.7	64.5	29.0	0.2	6.1	28.5	27.4	16.1	5.4	0	16.5
5	30	90	136894	230.0	152.4	109.7	64.5	29.0	0.2	6.1	28.5	27.4	16.1	5.4	0	16.5
10	30	90	135185	210.3	149.5	108.9	64.5	29.0	0.2	5.6	28.3	27.6	16.3	5.5	0	16.7
20	30	90	122933	110.7	133.7	98.7	62.4	29.0	0.2	3.3	27.9	27.2	17.4	6.0	0	18.2
30	30	90	104614	8.7	104.9	82.7	56.5	28.6	0.2	0.3	25.7	27.1	18.5	7.0	0	21.4
40	30	90	82260	0	60.0	65.6	47.4	22.5	0	0	18.7	27.3	19.8	7.0	0	27.2
50	30	90	57449	0	19.7	45.6	34.7	9.6	0	0	8.8	27.2	20.7	4.3	0	39.0
60	30	90	32743	0	0	16.4	13.7	0	0	0	0	17.1	14.3	0	0	68.6
0	30	135	101800	207.7	113.3	64.2	38.5	28.2	11.3	7.4	28.5	21.6	13.0	7.1	0.4	22.0
5	30	135	101681	205.4	113.2	64.2	38.5	28.2	11.3	7.3	28.5	21.6	13.0	7.1	0.4	22.1
10	30	135	100578	186.8	111.7	64.0	38.5	28.2	11.3	6.7	28.4	21.8	13.1	7.2	0.4	22.4
20	30	135	94093	96.6	101.9	62.0	38.5	28.2	10.3	3.7	27.7	22.6	14.0	7.7	0.4	23.9
30	30	135	83257	7.4	81.6	56.8	38.3	27.6	1.4	0.3	25.1	23.3	25.7	8.5	0.1	27.0
40	30	135	68029	0	47.0	47.7	34.9	20.5	0	0	17.7	24.0	17.6	7.7	0	33.0
50	30	135	49777	0	15.6	34.8	27.0	8.4	0	0	8.0	23.9	18.6	4.3	0	45.2
60	30	135	30661	0	0	12.9	11.0	0	0	0	0	14.5	12.3	0	0	73.2
0	30	180	87461	112.1	59.4	38.6	38.6	59.4	112.1	4.7	17.4	15.1	15.1	17.4	4.7	25.6
5	30	180	87385	111.1	59.4	38.6	38.6	59.4	111.1	4.6	17.4	15.1	15.1	17.4	4.6	25.8
10	30	180	86689	102.1	59.4	38.6	38.6	59.4	102.1	4.3	17.5	15.3	15.3	17.5	4.3	25.8
20	30	180	82336	55.0	57.5	38.6	38.6	57.5	55.0	2.4	17.9	16.1	16.1	17.9	2.4	27.2
30	30	180	74410	4.4	49.5	38.3	38.3	49.5	4.4	0.2	17.0	17.7	17.7	17.0	0.2	30.2
40	30	180	62134	0	30.7	35.0	35.0	30.7	0	0	12.6	19.3	19.3	12.6	0	36.2
50	30	180	46599	0	10.9	27.1	27.1	10.9	0	0	6.0	19.9	19.9	6.0	0	48.2
60	30	180	29798	0	0	10.7	10.7	0	0	0	0	12.3	12.3	0	0	75.4

^{*)} Anhand der Tabellen ist es leicht möglich, die 6 Sektoren bei vorgegebener HN und AZ, jedoch mit unterschiedlichen Abschattungswinkeln in den einzelnen Sektoren aufzusummieren.

Tabelle 5: Potentielle Globalstrahlungswerte bei 35° und 40° HN ^{*)}

AW	HN	AZ	PJGS	VDS1	VDS2	VDS3	VDS4	VDS5	VDS6	AG1	AG2	AG3	AG4	AG5	AG6	AGD
0	0	0	151017	3627	25603	34250	34250	25603	3627	2.4	17.0	22.7	22.7	17.0	2.4	15.8
0	35	0	183906	56.4	114.5	145.0	145.0	114.5	56.4	1.1	15.9	27.0	27.0	15.9	1.1	12.0
5	35	0	183789	56.4	114.3	145.0	145.0	114.3	56.4	1.1	15.9	27.0	27.0	15.9	1.1	12.0
10	35	0	182198	55.9	112.5	144.0	144.0	112.5	55.9	1.1	15.8	27.1	27.1	15.8	1.1	12.0
20	35	0	162935	40.9	102.3	125.1	125.1	102.3	40.9	0.9	16.1	26.3	26.3	16.1	0.9	13.4
30	35	0	134251	4.1	82.9	101.6	101.6	82.9	4.1	0.1	15.8	25.9	25.9	15.8	0.1	16.4
40	35	0	101545	0	51.1	78.1	78.1	51.1	0	0	12.9	26.3	26.3	12.9	0	21.6
50	35	0	67437	0	18.1	53.0	53.0	18.1	0	0	6.9	26.9	26.9	6.9	0	32.4
60	35	0	35002	0	0	19.2	19.2	0	0	0	0	18.7	18.7	0	0	62.6
0	40	0	183622	49.3	113.1	147.3	147.3	113.1	49.3	1.0	15.8	27.5	27.5	15.8	1.0	11.4
5	40	0	183495	49.3	112.9	147.3	147.3	112.9	49.3	1.0	15.7	27.5	27.5	15.7	1.0	11.6
10	40	0	181808	48.9	111.0	146.3	146.3	111.0	48.9	1.0	15.6	27.6	27.6	15.6	1.0	11.6
20	40	0	161842	37.0	100.6	126.2	126.2	100.6	37.0	0.8	15.9	26.7	26.7	15.9	0.8	13.2
30	40	0	132754	3.9	81.2	101.7	101.7	81.2	3.9	0.1	15.7	26.2	26.2	15.7	0.1	16.0
40	40	0	100024	0	50.0	77.6	77.6	50.0	0	0	12.8	26.6	26.6	12.8	0	21.2
50	40	0	66153	0	17.7	52.3	52.3	17.7	0	0	6.9	27.1	27.1	6.9	0	32.0
60	40	0	34139	0	0	18.8	18.8	0	0	0	0	18.9	18.9	0	0	62.2
0	40	45	167899	185.8	162.6	147.6	105.6	45.3	0	4.0	24.8	30.1	21.5	6.9	0	12.7
5	40	45	167729	184.5	162.1	147.6	105.6	45.3	0	4.0	24.7	30.1	21.6	6.9	0	12.7
10	40	45	165789	171.1	158.5	146.3	105.3	45.2	0	3.7	24.5	30.2	21.8	7.0	0	12.8
20	40	45	147205	94.6	140.4	126.0	93.9	44.0	0	2.3	24.4	29.3	21.8	7.7	0	14.5
30	40	45	121382	7.7	109.4	101.8	78.0	40.0	0	0.2	23.1	28.7	22.0	8.4	0	17.6
40	40	45	92446	0	63.1	77.8	61.3	29.0	0	0	17.5	28.8	22.7	8.0	0	23.0
50	40	45	62068	0	21.0	52.3	42.4	11.7	0	0	8.6	28.9	23.4	4.8	0	34.3
60	40	45	33030	0	0	18.4	16.4	0	0	0	0	19.1	16.6	0	0	64.3
0	40	90	128932	263.9	161.7	106.3	49.7	12.9	0	7.4	32.1	28.2	13.2	2.6	0	16.5
5	40	90	128719	261.0	161.3	106.3	49.7	12.9	0	7.4	32.1	28.2	13.2	2.6	0	16.5
10	40	90	126672	237.3	157.8	105.4	49.7	12.9	0	6.8	31.9	28.5	13.4	2.6	0	16.8
20	40	90	113347	122.4	139.7	93.5	48.4	12.9	0	3.9	31.6	28.2	14.6	2.9	0	18.8
30	40	90	94721	9.4	108.1	78.4	44.7	12.9	0	0.4	29.2	28.3	16.2	3.5	0	22.4
40	40	90	74152	0	60.6	61.6	38.3	12.4	0	0	20.9	28.5	17.7	4.3	0	28.6
50	40	90	52205	0	19.5	42.5	28.5	6.4	0	0	9.6	27.9	18.7	3.2	0	40.6
60	40	90	30352	0	0	13.0	11.6	0	0	0	0	17.0	13.1	0	0	69.9
0	40	135	85405	232.2	111.0	49.3	22.5	10.6	0.1	9.9	33.3	19.8	9.0	3.2	0	24.8
5	40	135	85261	229.4	110.7	49.3	22.5	10.6	0.1	9.8	33.3	19.8	9.0	3.2	0	24.9
10	40	135	83994	207.1	109.1	49.2	22.5	10.6	0.1	8.9	33.0	20.1	9.2	3.2	0	26.6
20	40	135	77256	104.3	98.8	48.2	22.5	10.6	0.1	4.9	32.7	21.4	10.0	3.5	0	27.5
30	40	135	67389	7.8	78.1	45.1	22.5	10.6	0.1	0.4	29.7	22.9	11.5	4.0	0	31.5
40	40	135	55857	0	43.9	38.7	22.2	9.8	0	0	20.1	23.7	13.6	4.5	0	38.1
50	40	135	42342	0	14.2	28.6	18.7	5.0	0	0	8.6	23.1	15.1	3.0	0	50.2
60	40	135	27674	0	0	10.6	8.2	0	0	0	0	13.1	10.1	0	0	76.8
0	40	180	66901	109.4	43.3	22.7	22.7	43.3	109.4	5.9	16.6	11.6	11.6	16.6	5.9	31.8
5	40	180	66811	108.4	43.3	22.7	22.7	43.3	108.4	5.9	16.6	11.6	11.6	16.6	5.9	31.8
10	40	180	66063	38.4	43.2	22.7	22.7	43.3	38.4	5.4	16.8	11.8	11.8	16.8	5.4	32.0
20	40	180	62043	50.8	42.1	22.7	22.7	42.1	50.8	3.0	17.4	12.5	12.5	17.4	3.0	34.2
30	40	180	55979	4.0	36.9	22.7	22.7	36.9	4.0	0.3	16.9	13.9	13.9	16.9	0.3	37.8
40	40	180	48279	0	22.9	22.3	22.3	22.9	0	0	12.2	15.8	15.8	12.2	0	44.0
50	40	180	38257	0	8.2	17.8	17.8	8.2	0	0	5.5	16.8	16.8	5.5	0	55.4
60	40	180	26565	0	0	7.8	7.8	0	0	0	0	10.0	10.0	0	0	80.0

^{*)} Die Einbeziehung größerer Abschattungswinkel und Hangneigungen gewährleistet auch die Übertragbarkeit der Ergebnisse auf Mittel- und Hochgebirgsbereiche.

Tabelle 6: Potentielle Globalstrahlungswerte bei 45°, 50° und 60° HN^{*)}

AW	HN	AZ	PJGS	VDS1	VDS2	VDS3	VDS4	VDS5	VDS6	AG1	AG2	AG3	AG4	AG5	AG6	AGD
0	0	0	151017	3627	25603	34250	34250	25603	3627	2.4	17.0	22.7	22.7	17.0	2.4	15.8
0	45	0	182065	42.3	110.9	148.5	148.5	110.9	42.3	0.8	15.6	27.9	27.9	15.6	0.8	11.4
5	45	0	181929	42.3	110.6	148.5	148.5	110.6	42.3	0.8	15.6	27.9	27.9	15.6	0.8	11.4
10	45	0	180154	42.0	108.6	147.4	147.4	108.6	42.0	0.8	15.4	28.0	28.0	15.4	0.8	11.4
20	45	0	159610	33.0	98.0	126.3	126.3	98.0	33.0	0.8	15.7	27.1	27.1	15.7	0.8	12.8
30	45	0	130338	3.6	78.9	101.0	101.0	78.9	3.6	0.1	15.5	26.5	26.5	15.5	0.1	15.8
40	45	0	97833	0	48.6	76.6	76.6	48.6	0	0	12.7	26.8	26.8	12.7	0	21.0
50	45	0	64458	0	17.2	51.2	51.2	17.2	0	0	6.8	27.2	27.2	6.8	0	32.0
60	45	0	33109	0	0	18.4	18.4	0	0	0	0	19.0	19.0	0	0	62.0
0	50	0	179252	35.5	107.8	148.5	148.5	107.8	35.5	0.7	15.4	28.4	28.4	15.4	0.7	11.0
5	50	0	179108	35.5	107.5	148.5	148.5	107.8	35.5	0.7	15.4	28.4	28.4	15.4	0.7	11.0
10	50	0	177258	35.3	105.4	147.4	147.4	105.4	35.3	0.7	15.2	28.5	28.5	15.2	0.7	11.2
20	50	0	156254	28.7	94.8	125.4	125.4	94.8	28.7	0.7	15.5	27.5	27.5	15.5	0.7	12.6
30	50	0	127022	3.2	75.9	99.5	99.5	75.9	3.2	0.1	15.3	26.8	26.8	15.3	0.1	15.6
40	50	0	94989	0	46.7	74.9	74.9	46.7	0	0	12.6	27.0	27.0	12.6	0	20.8
50	50	0	62364	0	16.6	49.8	49.8	16.6	0	0	6.8	27.4	27.4	6.8	0	31.6
60	50	0	31917	0	0	17.7	17.7	0	0	0	0	19.0	19.0	0	0	62.0
0	50	180	48311	103.4	27.5	10.2	10.2	27.5	103.4	7.8	14.6	7.2	7.2	14.6	7.8	40.8
5	50	180	48209	102.0	27.5	10.2	10.2	27.5	102.0	7.7	14.6	7.3	7.3	14.6	7.7	40.8
10	50	180	47425	91.4	27.4	10.2	10.2	27.4	91.4	7.0	14.8	7.4	7.4	14.8	7.0	41.6
20	50	180	43712	45.1	26.7	10.2	10.2	26.7	45.1	3.7	15.7	8.0	8.0	15.7	3.7	45.2
30	50	180	39026	3.3	23.5	10.2	10.2	23.5	3.3	0.3	15.4	9.0	9.0	15.4	0.3	50.6
40	50	180	34148	0	14.4	10.2	10.2	14.4	0	0	10.8	10.2	10.2	10.8	0	58.0
50	50	180	29118	0	5.2	9.8	9.8	5.2	0	0	4.6	11.5	11.5	4.6	0	67.8
60	50	180	22890	0	0	4.6	4.6	0	0	0	0	6.8	6.8	0	0	85.4
0	60	0	169943	22.6	99.2	145.2	145.2	99.2	22.6	0.5	14.9	29.3	29.3	14.9	0.5	10.6
5	60	0	169787	22.6	98.9	145.2	145.2	98.9	22.6	0.5	14.9	29.3	29.3	14.9	0.5	10.6
10	60	0	167827	22.5	96.7	144.0	144.0	96.7	22.5	0.5	14.8	29.4	29.4	14.8	0.5	10.6
20	60	0	146284	19.4	86.1	120.8	120.8	86.1	19.4	0.5	15.1	28.3	28.3	15.1	0.5	12.2
30	60	0	117797	2.5	68.4	94.3	94.3	68.4	2.5	0.1	14.9	27.4	27.4	14.9	0.1	15.2
40	60	0	87434	0	42.1	69.9	69.9	42.1	0	0	12.3	27.4	27.4	12.3	0	20.6
50	60	0	57044	0	14.9	45.8	45.8	14.9	0	0	6.7	27.5	27.5	6.7	0	31.6
60	60	0	29090	0	0	16.1	16.1	0	0	0	0	19.0	19.0	0	0	62.0
0	60	180	33015	94.2	13.3	1.9	1.9	13.3	94.2	10.4	10.3	2.0	2.0	10.3	10.4	54.6
5	60	180	32906	92.7	13.3	1.9	1.9	13.3	92.7	10.2	10.4	2.0	2.0	10.4	10.2	54.8
10	60	180	32105	81.8	13.3	1.9	1.9	13.3	81.8	9.2	10.6	2.1	2.1	10.6	9.2	56.2
20	60	180	28731	37.9	13.3	1.9	1.9	13.3	37.9	4.8	11.5	2.3	2.3	11.5	4.8	62.8
30	60	180	25223	2.6	11.1	1.9	1.9	11.1	2.6	0.4	11.2	2.6	2.6	11.2	0.4	71.6
40	60	180	22413	0	6.0	1.9	1.9	6.0	0	0	6.8	2.9	2.9	6.8	0	80.6
50	60	180	20394	0	2.0	1.9	1.9	2.0	0	0	2.5	3.2	3.2	2.5	0	88.6
60	60	180	18885	0	0	1.2	1.2	0	0	0	0	2.2	2.2	0	0	95.6

*) Für diese Hangneigungen wurden aus Rechenzeitgründen jeweils nur noch Süd- und Nordexposition näher untersucht.