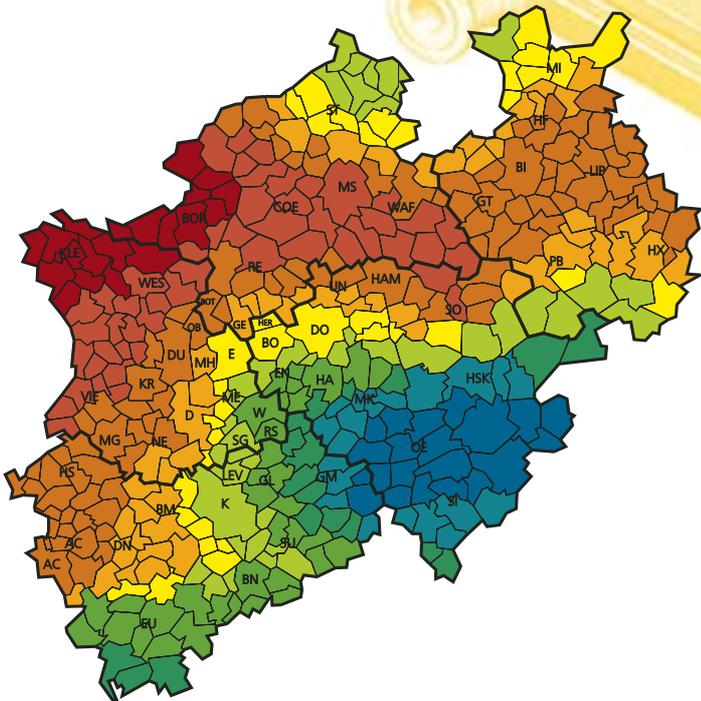
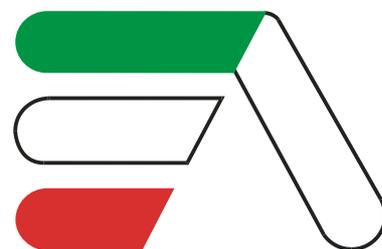


Solaratlas für Nordrhein-Westfalen







Inhalt

Vorwort	4
1 Einleitung	5
2 Kartierung der solaren Einstrahlung für Nordrhein-Westfalen	6
2.1 Sonnenenergie in Nordrhein-Westfalen	8
2.2 Hinweise zur Handhabung der Solar-Strahlungskarten	9
2.3 Strahlungskarten und Diagramme	11
3 Anwendungsbeispiele	42
3.1 Brauchwassererwärmung	43
3.2 Schwimmbadwassererwärmung	48
3.3 Raumwärmeversorgung durch solare Nahwärmesysteme	50
3.4 Passive Solarenergienutzung in Gebäuden	52
3.5 Stromerzeugung durch Photovoltaikanlagen	56
4 Planungshinweise	60
4.1 Genehmigung solartechnischer Anlagen	60
4.2 Kollektoreinbau	60
4.3 Netzanbindung von Photovoltaikanlagen	61
5 Anhang	62
5.1 Literaturhinweise	62
5.2 Weiterführende Literatur	63
5.3 Sonstiges	64



Vorwort

An der Schwelle des 21. Jahrhunderts nimmt die Bedeutung der regenerativen Energien, auch hinsichtlich der schwindenden Ressourcen fossiler Energieträger und der Klimaänderung durch die Emission anthropogener Treibhausgase, zu. Nordrhein-Westfalen entwickelt sich durch die hier entstehenden Produktionsorte, aber auch durch die installierten Anlagen vom „Energiland Nr. 1“ auch zum „Solarland Nr. 1“ in der Bundesrepublik Deutschland.

In Anbetracht dieser steigenden Bedeutung der Solarenergienutzung sind immer feinere Instrumente der Vorausbewertung von Anlagenenerträgen und solaren Beiträgen zur Raumheizung durch passive Solarenergienutzung notwendig. Der hier erstmals vorgelegte Solaratlas für Nordrhein-Westfalen soll den Planern von Solaranlagen, aber auch Architekten bei der Planung von Gebäuden helfen, die solaren Rahmenbedingungen genauer zu ermitteln und damit die Erträge der Anlagen sowie die passive Solarenergienutzung bei der Gebäudeplanung zu optimieren.

Das mit diesem „Solaratlas für Nordrhein-Westfalen“ vorliegende Kar-

ten- und Diagrammmaterial ermöglicht die Berechnung von solaren Einstrahlungswerten auf beliebig ausgerichtete Flächen in Nordrhein-Westfalen. Durch diese Publikation der Ergebnisse einer Forschungsarbeit des Lehrstuhls für Neue Energiesysteme der Ruhr-Universität Bochum werden erstmals solare Strahlungsdaten für Nordrhein-Westfalen einer breiten Öffentlichkeit zugänglich gemacht. Ein besonderer Dank gehört diesbezüglich Herrn Dr. Skiba, der nicht nur die Berechnungen durchgeführt und das Kartenmaterial erstellt hat, sondern unter Mitarbeit von Herrn Dipl.-Ing. Eikmeier und Herrn Baresch auch die begleitenden Texte verfasste. Die Arbeit wurde von Herrn Czeplak vom Deutschen Wetterdienst Hamburg, Herrn Prof. Dr.-Ing. Heidt von der Universität Siegen, Herrn Vogt von der abakus GmbH in Gelsenkirchen sowie den Herren Dipl.-Ing. Linnemann und Reckels von der Ruhr-Universität Bochum unterstützt.

Die Energieagentur NRW hofft, mit dieser Veröffentlichung allen Planenden im Bereich der Solarenergienutzung ein einfaches Werkzeug zur Abschätzung solarer Erträge von Anlagen und Gebäuden an die Hand zu geben und somit die weitere Entwicklung des Solarstandortes Nordrhein-Westfalen weiter zu unterstützen.

Dr.-Ing., Dipl.-Phys.
Norbert Hüttenhölcher
Leiter der Energieagentur NRW



1 Einleitung

Wesentliches Ziel des REN Impuls-Programms „Bau und Energie“ der Energieagentur NRW, das vom nordrhein-westfälischen Ministerium für Städtebau und Wohnen, Kultur und Sport getragen wird, ist es, durch einen qualifizierten Know-how-Transfer alle, die im Bauwesen Verantwortung tragen, für ein energiebewußtes, ökologisches und damit ganzheitliches Bauen zu sensibilisieren. Ein wichtiges Planungselement im Rahmen einer rationellen Energienutzung stellt dabei die passive und aktive Nutzung der Sonnenenergie dar.

Für die Auslegung solarthermischer und photovoltaischer Anlagen bzw. die Planung von Niedrigenergie- und Solararchitekturen sind detaillierte Kenntnisse über vorhandene und nutzbare Sonnenenergie am geplanten Standort notwendig.

Die vorliegenden Karten und Diagramme sind das Ergebnis weiterführender Arbeiten eines von der Arbeitsgemeinschaft Solar Nordrhein-Westfalen geförderten Forschungsvorhabens. Für NRW wurde hier die solare Einstrahlung ermittelt. Selbstverständlich kann eine solche, auf mittleren Monatswerten basierende Berechnung nicht eine detaillierte Bedarfserhebung, Ertragsprognose und Auslegung der einzelnen Anlagenteile ersetzen. Vielmehr soll ein Überblick über die einsetzbaren Techniken sowie die zu erwartenden Erträge und Kosten gegeben werden. Die Strahlungsdaten können darüber hinaus auch als Input für eine Vielzahl von Simulationsprogrammen zur genauen Dimensionierung solartechnischer Systeme dienen.

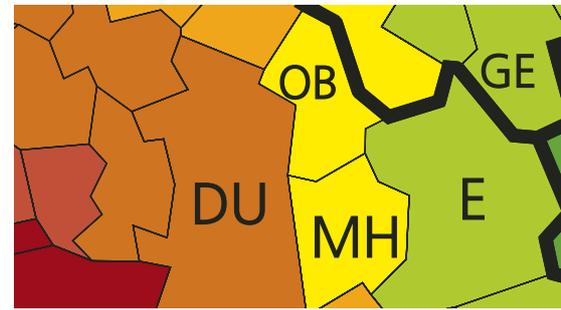
Die Betriebswirtschaftlichkeit einer Solaranlage ist vom Anlagensystem, dessen Einsatz und Dimensionierung abhängig. Während die Bereitstellung von Wärme durch Sonnenenergie im Vergleich zur Verwendung fossiler Energieträger in unseren Breitengraden zum Teil

schon konkurrenzfähig ist, werden bei der Stromerzeugung mit Photovoltaikanlagen deutlich höhere Energieentstehungskosten als die allgemein üblichen Strombezugskosten der Versorgungsunternehmen hervorgerufen. Die Gründe hierfür liegen einerseits in den hohen Produktionskosten, die zukünftig durch automatisierte industrielle Massenfertigung gesenkt werden können, und andererseits in dem relativ niedrigen Wirkungsgrad, wobei hier aufgrund von Forschungsaktivitäten eine Steigerung zu erwarten ist.

Die verschiedenen, bisher realisierten Beispielanlagen (z.B. Unterstützung der Warmwasserbereitung, Schwimmbadwassererwärmung) zeigen jedoch, daß die Solarenergienutzung in zahlreichen Fällen eine sinnvolle Maßnahme zur rationellen Energieverwendung darstellt. Darüber hinaus ist es vor dem Hintergrund der Endlichkeit fossiler Energieträger und des umweltschädigenden Einflusses technischer Verbrennungsprozesse im Sinne einer nachhaltigen Energiewirtschaft ratsam, die Möglichkeiten zur Nutzung der solaren Einstrahlung auszuschöpfen und weiter zu erforschen, zu erproben und die heutigen Techniken und Erkenntnisse einer breiten Öffentlichkeit zugänglich zu machen.

Vor diesem Hintergrund möchte die vorliegende Publikation nicht nur alle, die im Bauwesen Verantwortung tragen, sondern auch die gesamte nordrhein-westfälische Bevölkerung informieren und ein Interesse für die verstärkte Nutzung der Sonnenenergie wecken.





2 Kartierung der solaren Einstrahlung für Nordrhein-Westfalen

Die Sonnenstrahlung unterliegt beim Durchgang durch die Erdatmosphäre verschiedenen Streu- und Absorptionsprozessen, welche die Intensität und das Spektrum beeinflussen. Im weltweiten Mittel erreicht daher nur etwa ein Anteil von 50% der extraterrestrischen Sonnenenergie als diffuse (gestreute) und direkte (unbeeinflusste) Strahlung die Erdoberfläche, wovon ca. 6% durch Reflexion wiederum abgestrahlt werden. Die großen räumlichen und zeitlichen Schwankungen des solaren Strahlungsangebots werden durch klimaspezifische Faktoren und die geographische Lage verursacht.

Der dominierende Einfluß wird dabei einerseits durch die Häufigkeit, Art und Form der Bewölkung und andererseits durch die Länge des Weges, welche die Strahlung durch die Erdatmosphäre zurücklegt, ausgeübt. Sekundäre Effekte treten durch die Luftzusammensetzung (Trübungsfaktor), das Reflexionsvermögen des Bodens (Albedo) und die geographische Höhenlage auf.

Die höchsten Einstrahlungssummen werden in Äquatornähe mit ca. 2.400 kWh/(m²a) erreicht. Bevorzugte Gebiete zur effizienten Ausschöpfung des solaren Strahlungspotentials sind wegen ihrer Äquatornähe Südamerika, Zentralafrika und Südostasien. Ebenfalls hohe Jahressummen – jedoch verbunden mit größeren saisonalen Schwankungen – liegen in Nordafrika, Kleinasien, Indien, im Südwesten der USA und Mexiko, im Westen Perus und Chiles, in Zentral- und Nordaustralien sowie in Südafrika vor.

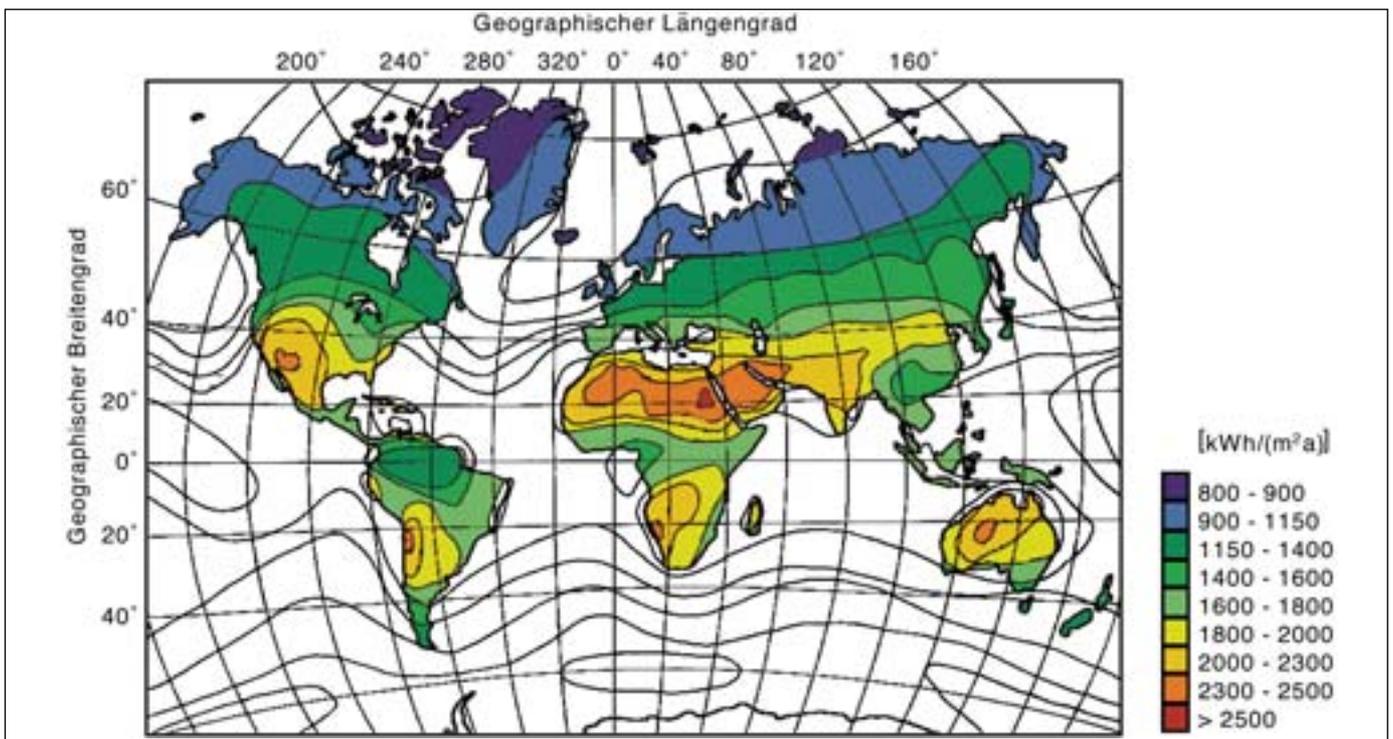


Abb. 1: Weltweite Verteilung der Globalstrahlung, nach [1]



Innerhalb der Europäischen Union schwankt das mittlere Strahlungsangebot zwischen ca. 850 kWh/(m²a) im Norden Großbritanniens und Schwedens und 1.750 kWh/(m²a) in Südspanien, Portugal, Sizilien und im Süden Griechenlands [2]. In der Bundesrepublik Deutschland werden auf den vorgelagerten Nordseeinseln Werte bis zu 1.100 kWh/(m²a), in der norddeutschen Tiefebene zwischen ca. 950 und ca. 1.050 kWh/(m²a) und in Mitteldeutschland zwischen ca. 930 und 1.000 kWh/(m²a) im Mittel registriert. Die höchsten Jahressummen der Globalstrahlung (bis zu ca. 1.200 kWh/(m²a)) werden bereichsweise in Süddeutschland erreicht. Insgesamt kann das jährliche Strahlungsangebot in der Bundesrepublik Deutschland im räumlichen und zeitlichen Mittel mit ca. 1.075 kWh/(m²a) angegeben werden. Die räumliche Variationsbreite beträgt dabei rund 12%, was in etwa auch der zeitlichen Streuung der Jahressummen unterschiedlicher Jahrgänge entspricht. Alle angegebenen Werte beziehen sich auf abschattungsfreie, horizontale Empfangsebenen.

Strahlungskartierungen dienen der übersichtlichen Darstellung der räumlichen Variationsbreite solarer Strahlung und können u.a. zur überschlägigen Auslegung solartechnischer Anlagen oder zur Auswahl von Standorten zentraler Anlagen zur Sonnenenergienutzung dienen.



Abb. 2: Solartankstelle



2.1 Sonnenenergie in Nordrhein-Westfalen

Die Verteilung der solaren Einstrahlung im Jahresmittel in Nordrhein-Westfalen richtet sich deutlich nach den geographischen Merkmalen der Region (s. Abb. 32). Während im Hochsauerland eine ausgeprägte Senke feststellbar ist, steigen im Flachland (Münsterland, Niederrheinische Tiefebene) die Jahressummen der globalen Einstrahlung kontinuierlich zu höheren Werten an. Der Grund hierfür liegt darin, daß sich die Bewölkungsdichte aufgrund der Abkühlung aufsteigender Luftmassen in den Mittelgebirgslagen (Rothaargebirge) insbesondere in den Sommermonaten stark erhöht. Dies führt in der Folge zu einer niedrigeren Sonnenscheindauer, verbunden mit einer geringeren Einstrahlung.

Insgesamt schwankt die globale Einstrahlung im Jahresmittel zwischen rd. 930 kWh/(m²a) und 1.010 kWh/(m²a); dies entspricht einer relativen Schwankungsbreite von rd. 8%. Die Verteilungen der globalen Strahlung in den Winter- und Sommermonaten weisen hohe qualitative und quantitative Unterschiede auf. Im Dezember (s. Abb. 26) schwankt das Strahlungsangebot zwischen rd. 0,4 kWh/(m²d) und rd. 0,6 kWh/(m²d), wobei ein ausgeprägtes Nord-Süd Gefälle zu erkennen ist. Bei relativ homogenen klimatischen Bedingungen wird die Verteilung in einem hohen Maße durch die mit der geographi-

schen Breite variierenden extraterrestrischen Strahlung auf eine horizontale Fläche verursacht. Im Juni (s. Abb. 14) liegt die räumliche Variation der solaren, globalen Einstrahlung mit rd. 0,6 kWh/(m²d) im Vergleich zum Dezember um das Dreifache höher. Das solare Strahlungsangebot übersteigt im räumlichen Mittel mit rd. 5 kWh/(m²d) die Einstrahlung im Dezember um das Zehnfache. Der dominierende Einfluß auf die räumliche Verteilung wird dabei von den geographischen Gegebenheiten und der damit zusammenhängenden Bewölkungssituation ausgeübt.

Ergebnis: Der Anteil der diffusen Strahlung an der Globalstrahlung liegt in Nordrhein-Westfalen im Jahresmittel bei Betrachtung horizontaler Flächen durchweg zwischen 59% und 61%. Aufgrund dieser hohen Werte sind solartechnische Anwendungen, die nur direkte Strahlung nutzen können (bspw. Solarturmkraftwerke), nicht empfehlenswert. Für eine effiziente Nutzung der solaren Strahlung mit Anlagen zur Wärme- oder Stromerzeugung ist in Nordrhein-Westfalen die Möglichkeit zur Verwendung diffuser und direkter Strahlung eine notwendige Voraussetzung.





2.2 Hinweise zur Handhabung der Solar-Strahlungskarten

Die Ermittlung der Globalstrahlungssummen für beliebig geneigte Flächen anhand des Kartenmaterials und der Diagramme wird exemplarisch für eine um **40°** geneigte, **südwestlich** ausgerichtete Dachfläche im Monat **Juni** am Standort **Wuppertal** ermittelt.

Zunächst wird aus der Karte auf Seite 22 die monatlich mittlere **Tagessumme T** der Globalstrahlung auf eine horizontale Fläche im Juni für Wuppertal abgelesen. Die Klassengrenze aus der Farbskala sind 4,8 und 4,85 kWh/m²d. Für die Berechnung wird der Mittelwert **4,825 kWh/m²d** gewählt (Spalte S1 in Tabelle 1 auf Seite 10).

Um von der Tagessumme auf die **monatliche Summe der Globalstrahlung G_h** auf diese Fläche hochzurechnen, muß der ermittelte Tageswert mit der Anzahl der Tage im Monat – in diesem Fall **m = 30** (Spalte S2 in Tabelle 1, S. 10) – multipliziert werden. Daraus ergibt sich eine Globalstrahlungssumme auf die horizontale Fläche für Wuppertal im Juni von **144,75 kWh/m²** (Spalte S3 in Tabelle 1, S. 10).

Anschließend muß die Einstrahlung auf die horizontale Fläche auf die um **40°** geneigte und nach **Südwesten** (SW) ausgerichtete Fläche umgerechnet werden. Hierzu wird das nebenstehende Diagramm verwendet, welches dem auf Seite 23 entspricht. Wählen Sie an der oberen Hälfte des Halbkreises den gesuchten Neigungswinkel von **40°** und folgen Sie von da aus dem Pfeil entlang der weißen Linie des Koordinatensystems bis zum Schnittpunkt mit der gesuchten Ausrichtung **SW** (Südwest). An der Farbskala kann für den ermittelten Punkt ein Wert zwischen 90 und 100% abgelesen werden. Die gestrichelte Linie entspricht dem Mittelwert der Klasse, also 95%. Der von uns gesuchte Punkt liegt jedoch noch etwas weiter zum Zentrum des Koordinatensystems, so daß wir den **Flächenfaktor f** zu **96%** abschätzen (Spalte S4 in Tabelle 1, S. 10) können. Durch Multiplikation der oben ermittelten Globalstrahlung auf die horizontale Fläche (144,75 kWh/m²) mit dem Flächenfaktor *f* für die geneigte Fläche (0,96) ergibt sich die Globalstrahlungssumme **G_g** für eine um **40°** geneigte und nach Südwesten ausgerichtete Fläche in Wuppertal im Juni von **139,0 kWh/m²**.

In der Tabelle 1 (S. 10) finden Sie neben dem beispielhaft berechneten Wert für den Monat Juni auch die Werte der übrigen Monate, Perioden und des Jahres für die im Beispiel gewählte Fläche.

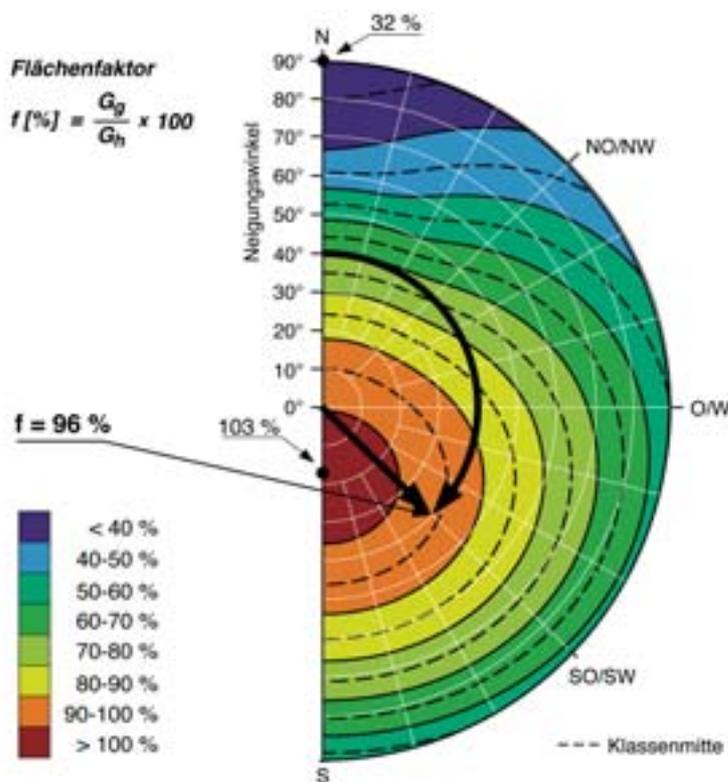


Abb. 3: Beispielhafte Ermittlung des Flächenfaktors aus Abb. 15 für eine 40° geneigte, südwestlich orientierte Fläche für den Monat Juni



Spalte	S1	S2	S3	S4	S5
Monat	T [kWh/m ² d]	m [d]	G _h [kWh/m ²] S3 = S1 x S2	f [-]	G _g [kWh/m ²] S5 = S3 x S4
Januar	0,625	31	19,375	1,42	27,5
Februar	1,275	28	35,700	1,35	48,2
März	2,275	31	70,525	1,18	83,2
April	3,525	30	105,750	1,08	114,2
Mai	4,575	31	141,825	1,01	143,2
Juni	4,825	30	144,750	0,96	139,0
Juli	4,425	31	137,175	0,98	134,4
August	3,975	31	123,225	1,06	130,6
September	2,925	30	87,750	1,17	102,7
Oktober	1,775	31	55,025	1,34	73,7
November	0,775	30	23,250	1,43	33,2
Dezember	0,525	31	16,275	1,45	23,6
Sommer (April-Sept.)					764,1
Winter (Okt.-März)					289,4
Jahr					1.053,6

- T : Monatlich mittlere Tagessumme.
- m : Anzahl der Tage pro Monat.
- G_h : Monatssumme der Globalstrahlung auf eine horizontale Fläche.
- f : Flächenfaktor gemäß einer Neigung der Fläche von 40° und einer Ausrichtung von 135° (SW)
- G_g : Monatssumme der Globalstrahlung auf eine 40° geneigte, südwestlich ausgerichtete Fläche.

Tab. 1: Beispielhafte Ermittlung der solaren Einstrahlung für eine 40° geneigte, südwestlich ausgerichtete Fläche in Wuppertal

Für das hier gewählte Beispiel ergibt sich eine Jahressumme von rd. 1.054 kWh/m², die sich mit rd. 764 kWh/m² zu 72,5% auf das Sommerhalbjahr bzw. mit rd. 290 kWh/m² zu 27,5% auf das Winterhalbjahr aufteilt. Wenn die solare Einstrahlung nur für das Winter- oder Sommerhalbjahr bzw. für das gesamte Jahr gesucht ist, können die Werte auch ohne Summation über die einzelnen Monate direkt aus den Abb. 28 bis Abb. 33 nach der beschriebenen Methode ermittelt werden.



2.3 Strahlungskarten und Diagramme

Die folgenden Abbildungen 4 bis 33 zeigen für jeden Monat, das Jahr sowie getrennt für Winter- und Sommerhalbjahr einerseits die Verteilung der solaren Einstrahlung in Nordrhein-Westfalen und andererseits Diagramme zur Bestimmung der solaren Einstrahlung auf geneigte Flächen. Bei den dargestellten Werten handelt es sich bei den Monatskarten um langjährige Mittelwerte der monatlich mittleren Tagessummen der Globalstrahlung auf horizontale Flächen. In den Halbjahreskarten und der Jahreskarte sind die Summen der solaren Einstrahlung über den gesamten Zeitraum abgebildet. Die Karten wurden auf der Basis von 30-jährigen Mittelwerten der Sonnenscheindauer an 20 Meßstationen des Deutschen Wetterdienstes entwickelt [3]. Um eine übersichtliche und einfach ablesbare Darstellung zu erhalten, wurde auf die sonst übliche Ausweisung der solaren Strahlung anhand von Isopyren (Linien gleicher Bestrahlungsstärke) zugunsten einer Zuordnung nach Gemeinden verzichtet. Die Gebietskörperschaften sind dabei durch ihr Kfz-Kennzeichen des jeweiligen Kreises markiert.

Der Wert der solaren Einstrahlung kann anhand einer Farbskala in zehn Klassen abgelesen werden. Zu jeder Karte ist ein Diagramm zur Bestimmung der Einstrahlung auf geneigte Flächen abgebildet. Die dort abgelesenen Werte (sog. „Flächenfaktor f^* “) geben das mittlere Verhältnis der Monatssummen der Globalstrahlung G auf geneigte (Index g) und horizontale (Index h) Empfangsflächen in Deutschland an. Die Strahlung auf eine geneigte Fläche wird durch Multiplikation des Flächenfaktors mit der aus der entsprechenden Karte ermittelten Einstrahlung in einer Gemeinde bestimmt.

Kfz.-Kennz.	Kreis bzw. kreisfreie Stadt	Kfz.-Kennz.	Kreis bzw. kreisfreie Stadt
AC	Aachen, Kreis Aachen	KLE	Kreis Kleve
BI	Bielefeld	KR	Krefeld
BM	Erfdkreis	LEV	Leverkusen
BN	Bonn	LIP	Kreis Lippe
BO	Bochum	ME	Kreis Mettmann
BOR	Kreis Borken	MG	Mönchengladbach
BOT	Bottrop	MH	Mülheim an der Ruhr
COE	Kreis Coesfeld	MI	Kreis Minden-Lübbecke
D	Düsseldorf	MK	Märkischer Kreis
DN	Kreis Düren	MS	Münster
DO	Dortmund	NE	Kreis Neuss
DU	Duisburg	OB	Oberhausen
E	Essen	OE	Kreis Olpe
EN	Ennepe-Ruhr-Kreis	PB	Kreis Paderborn
EU	Kreis Euskirchen	RE	Kreis Recklinghausen
GE	Gelsenkirchen	RS	Remscheid
GL	Rheinisch-Bergischer Kreis	SG	Solingen
GM	Oberbergischer Kreis	SI	Kreis Siegen-Wittgenstein
GT	Kreis Gütersloh	SO	Kreis Soest
HA	Hagen	ST	Kreis Steinfurt
HAM	Hamm	SU	Rhein-Sieg-Kreis
HER	Herne	UN	Kreis Unna
HF	Kreis Herford	VIE	Kreis Viersen
HS	Kreis Heinsberg	W	Wuppertal
HSK	Hochsauerlandkreis	WAF	Kreis Warendorf
HX	Kreis Höxter	WES	Kreis Wesel
K	Köln		

Tab. 2: Kfz.-Kennzeichen der Kreise und kreisfreien Städte in Nordrhein-Westfalen

Januar

12

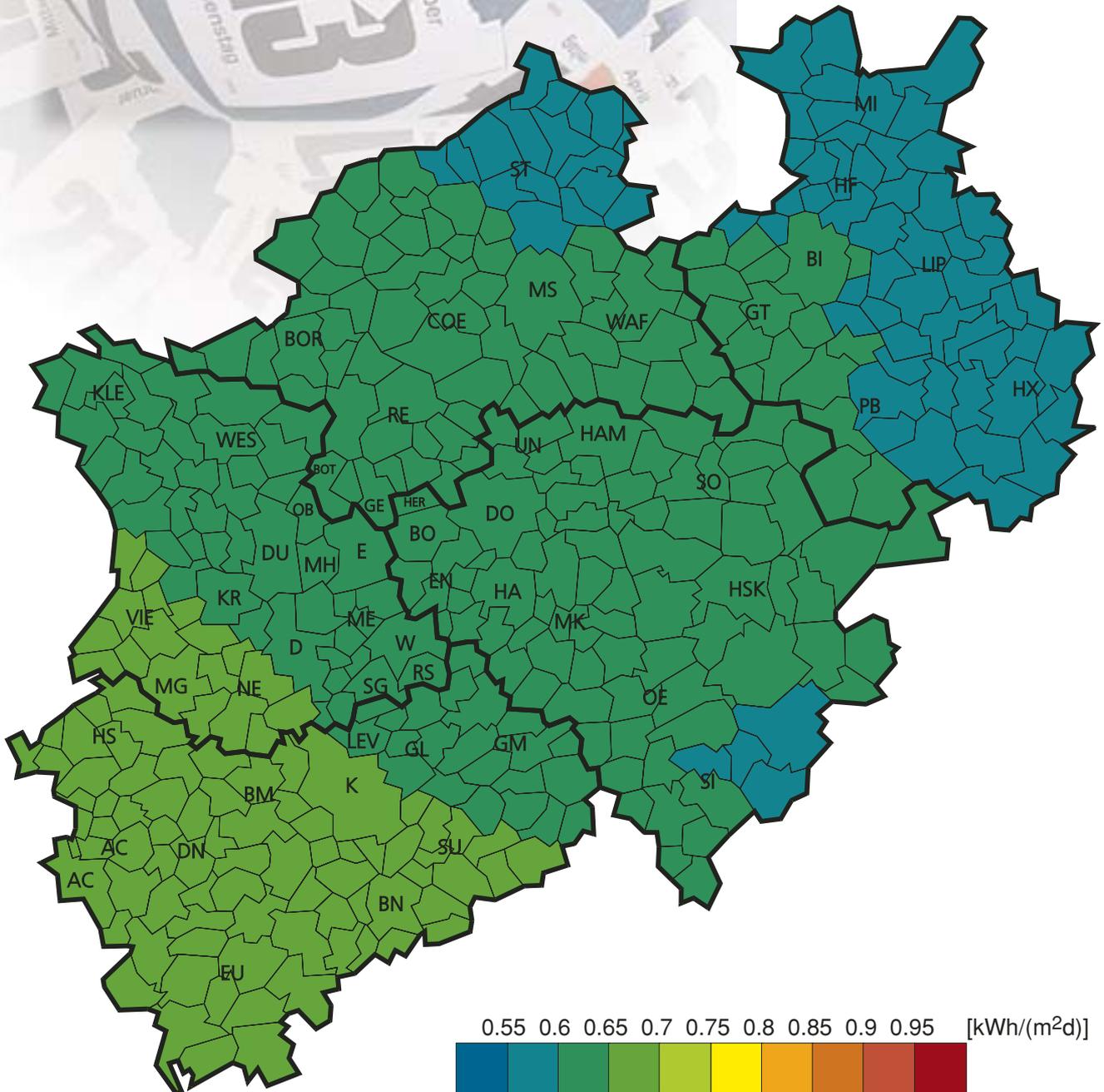


Abb. 4: Räumliche Verteilung der monatlichen mittleren Tagessumme der Globalstrahlung im Januar für Nordrhein-Westfalen

Flächenfaktor

$$f [\%] = \frac{G_g}{G_h} \times 100$$

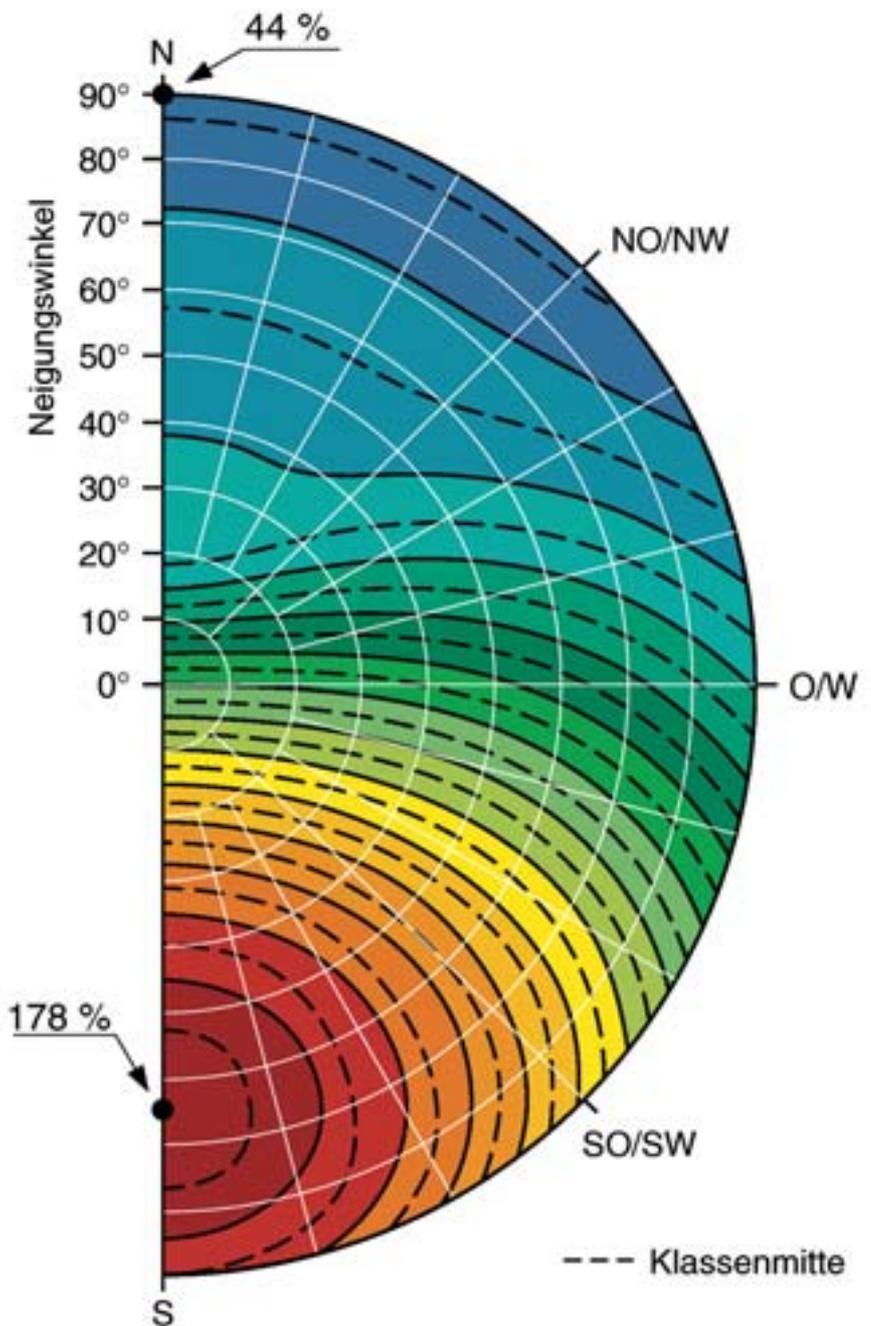
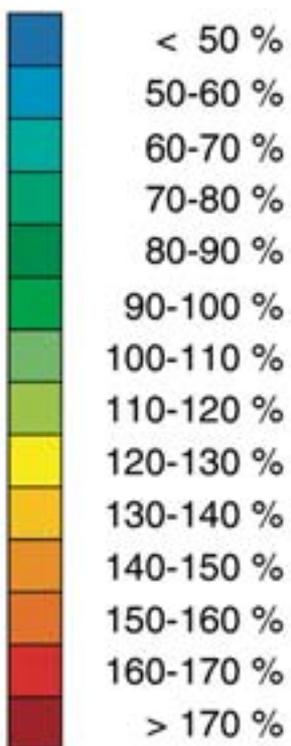


Abb. 5: Diagramm zur Bestimmung der Globalstrahlung auf geneigte Flächen im Januar

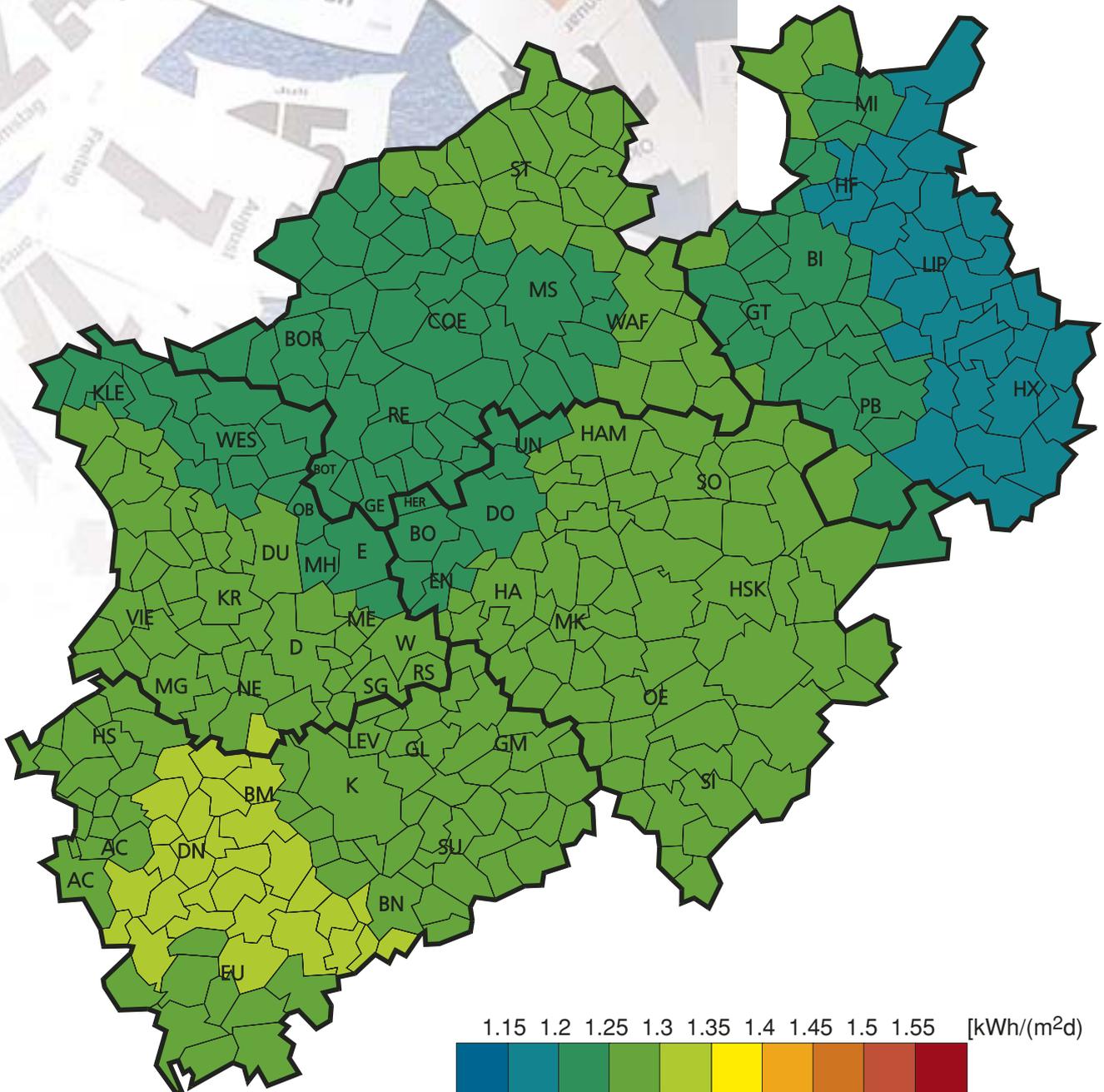


Abb. 6: Räumliche Verteilung der monatlichen mittleren Tagessumme der Globalstrahlung im Februar für Nordrhein-Westfalen

Flächenfaktor

$$f [\%] = \frac{G_g}{G_h} \times 100$$

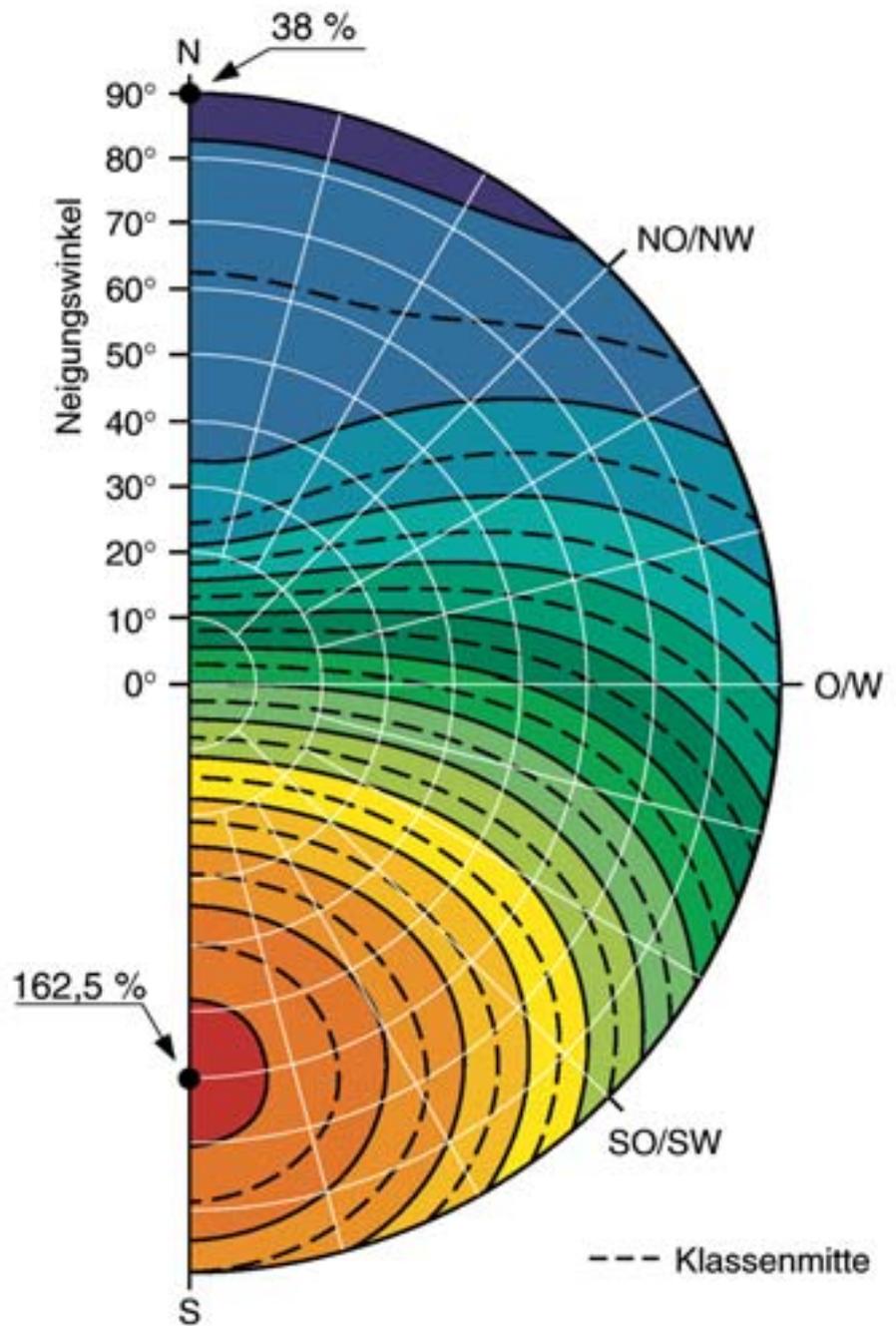
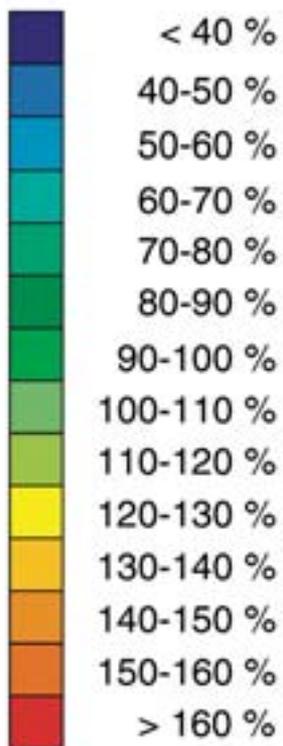


Abb. 7: Diagramm zur Bestimmung der Globalstrahlung auf geneigte Flächen im Februar

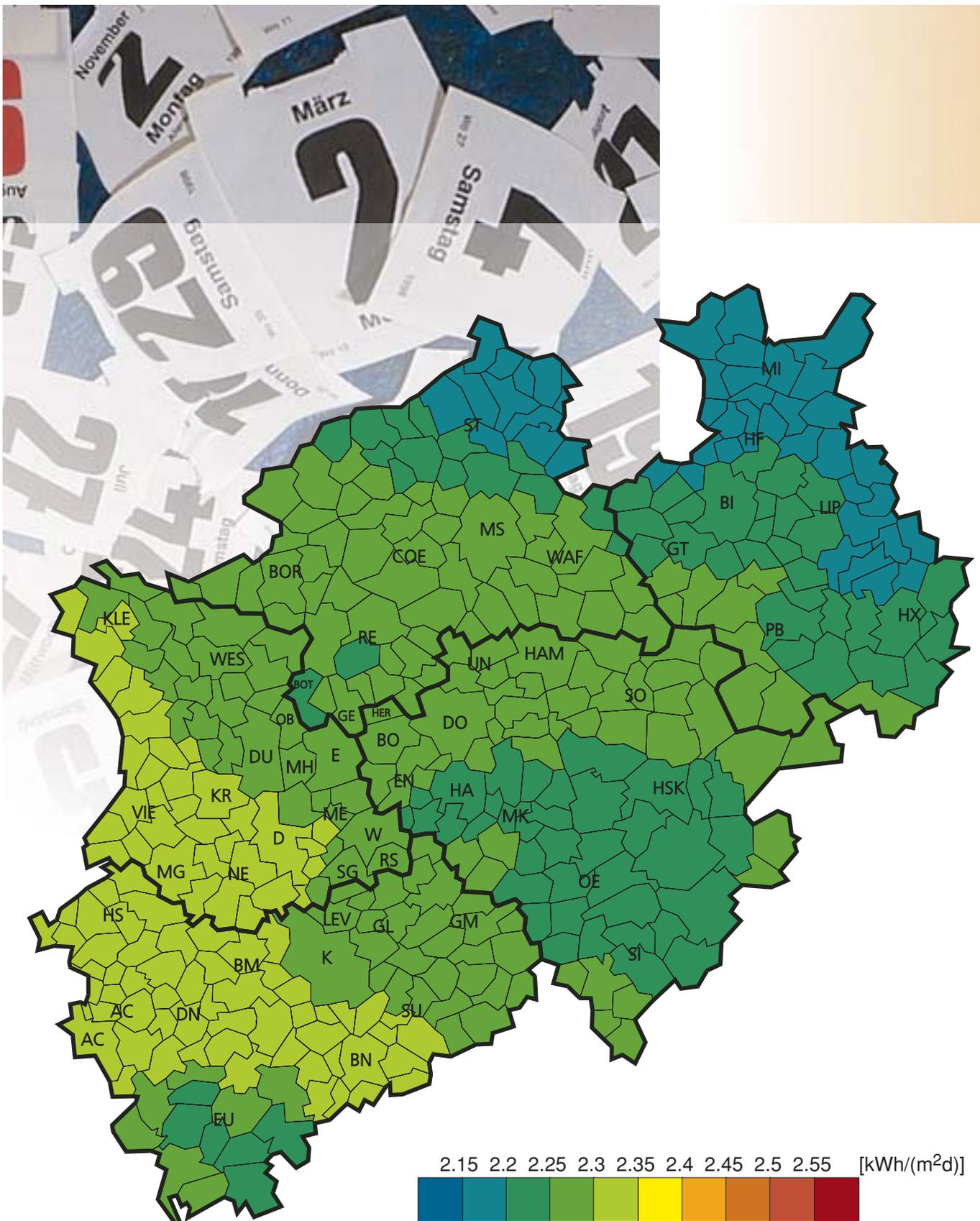


Abb. 8: Räumliche Verteilung der monatlichen mittleren Tagessumme der Globalstrahlung im März für Nordrhein-Westfalen

Flächenfaktor

$$f [\%] = \frac{G_g}{G_h} \times 100$$

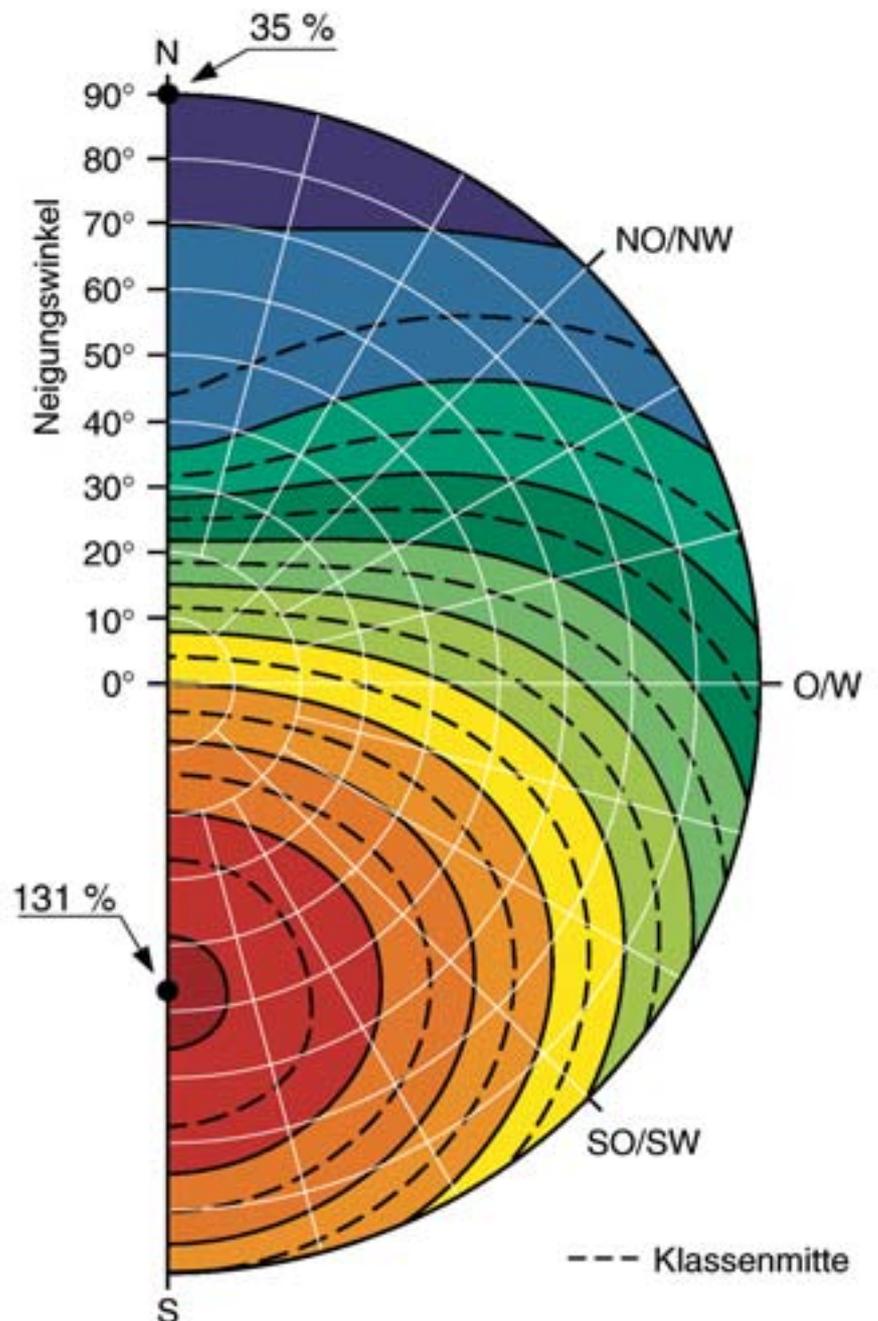
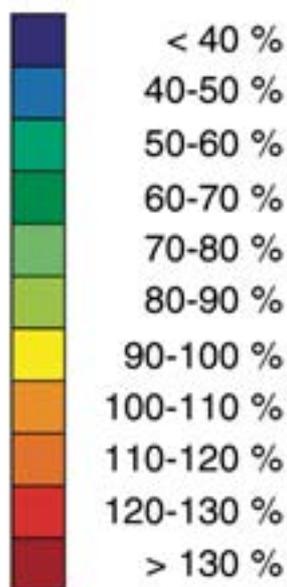


Abb. 9: Diagramm zur Bestimmung der Globalstrahlung auf geneigte Flächen im März

April

18

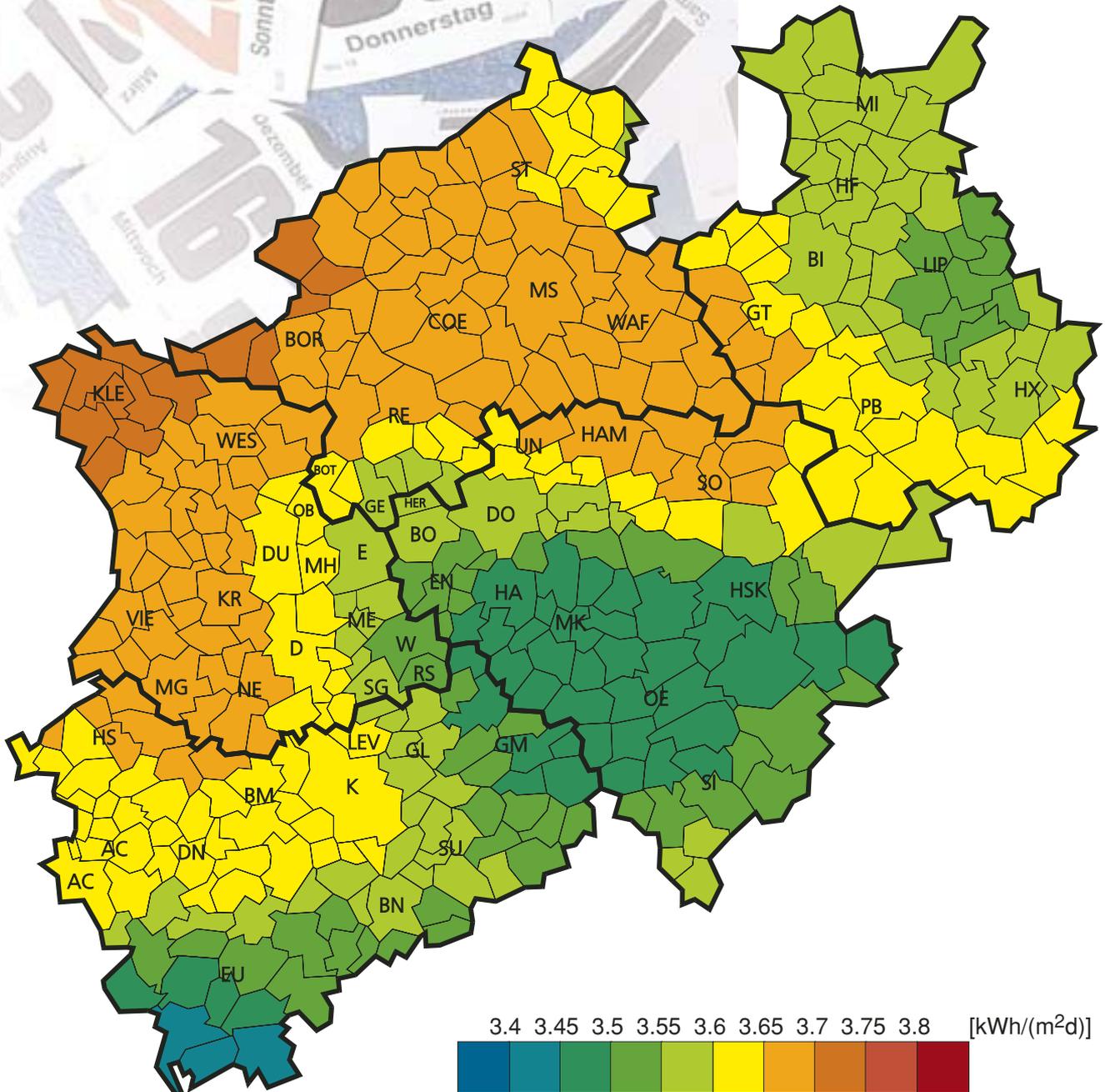


Abb. 10: Räumliche Verteilung der monatlichen mittleren Tagessumme der Globalstrahlung im April für Nordrhein-Westfalen

Flächenfaktor

$$f [\%] = \frac{G_g}{G_h} \times 100$$

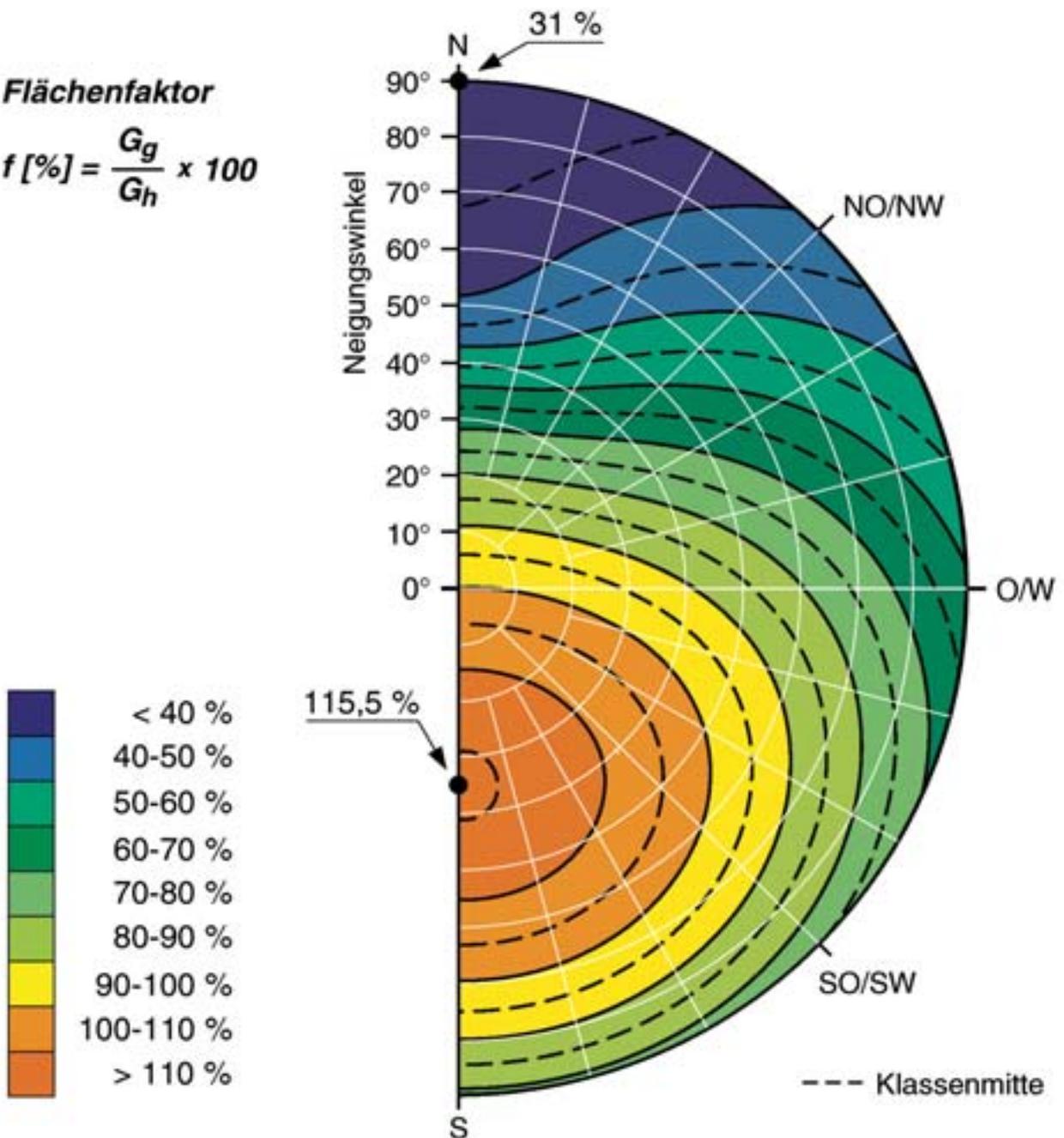


Abb. 11: Diagramm zur Bestimmung der Globalstrahlung auf geneigte Flächen im April

Mai

20

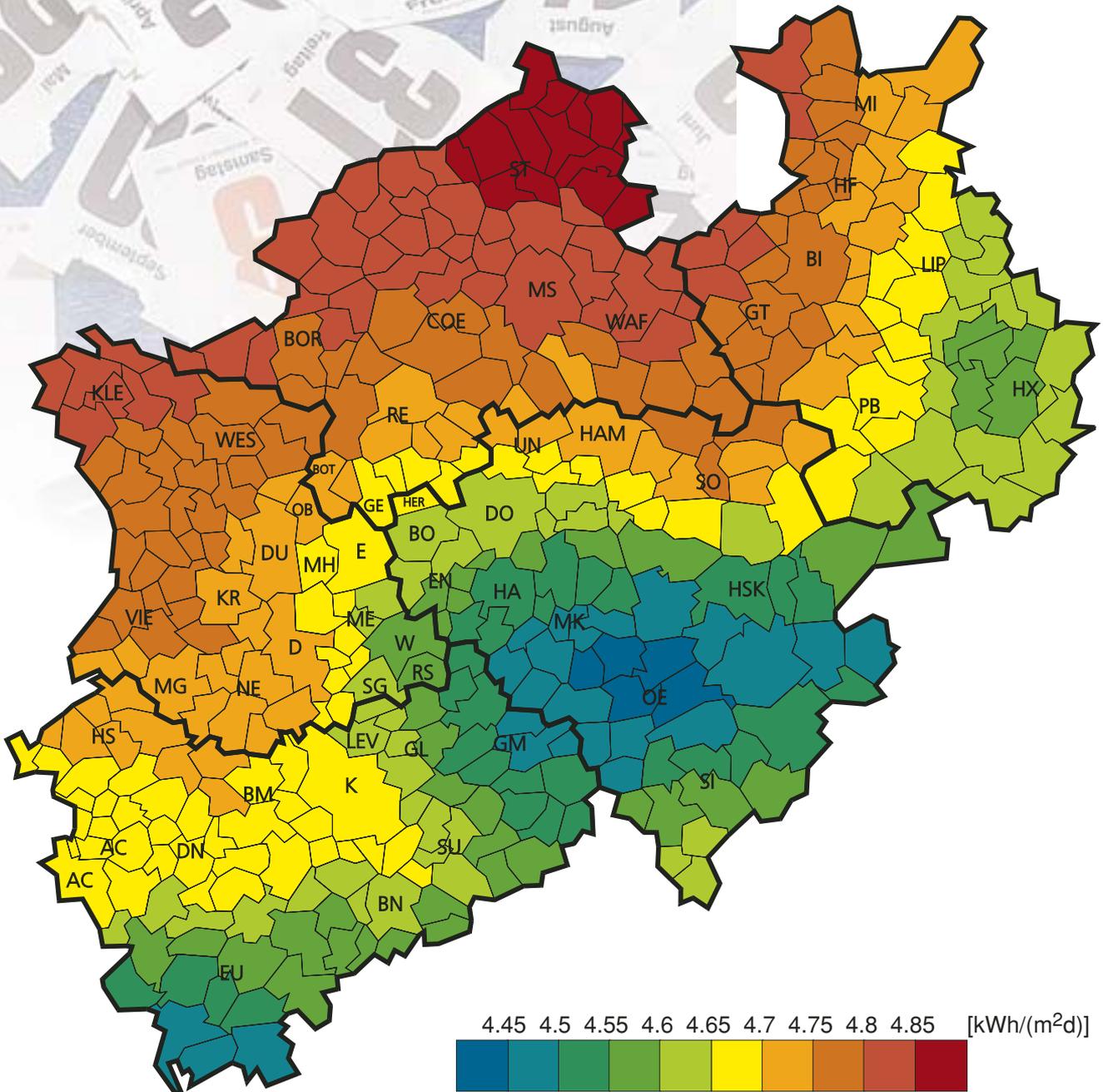


Abb. 12: Räumliche Verteilung der monatlichen mittleren Tagessumme der Globalstrahlung im Mai für Nordrhein-Westfalen

Flächenfaktor

$$f [\%] = \frac{G_g}{G_h} \times 100$$

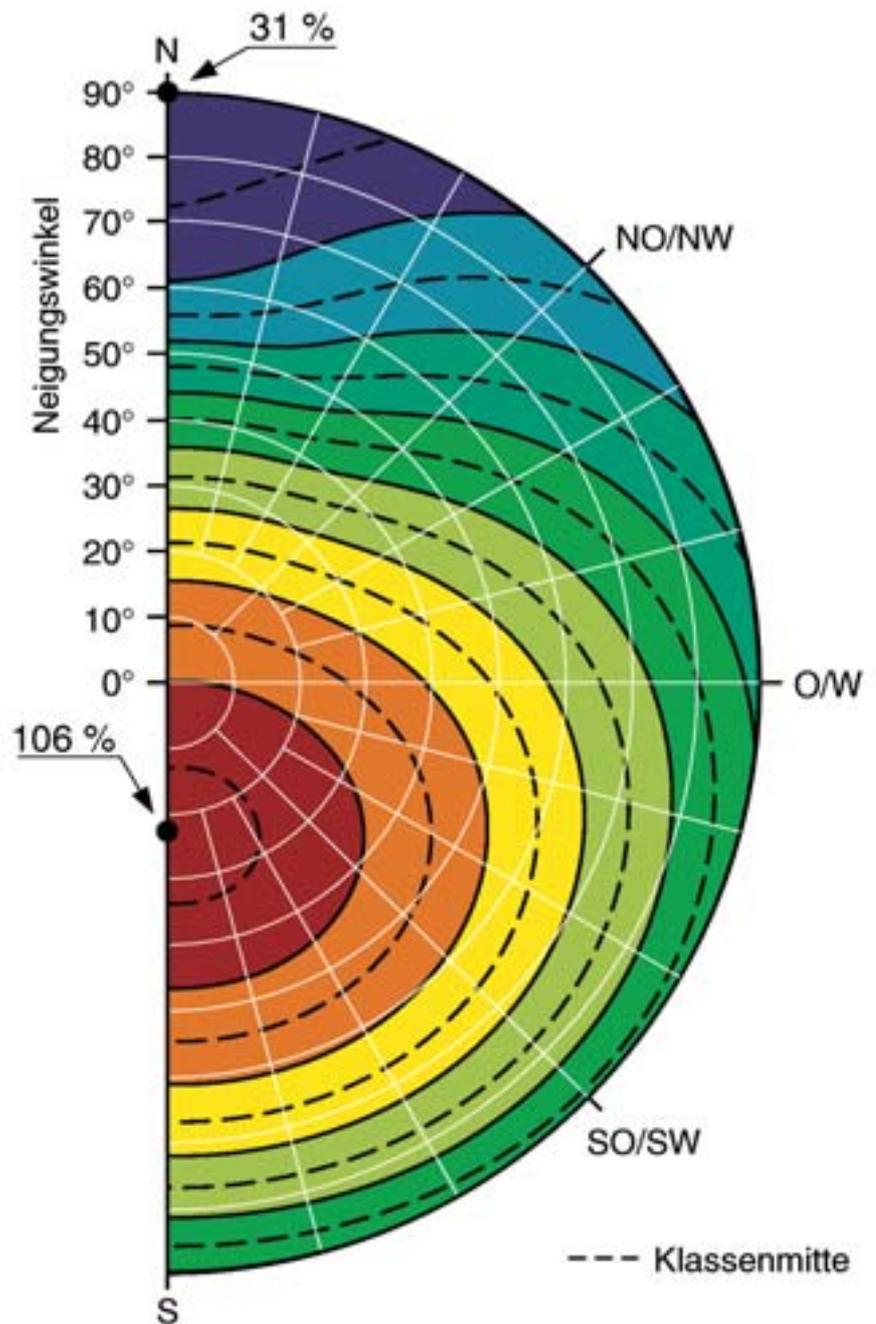
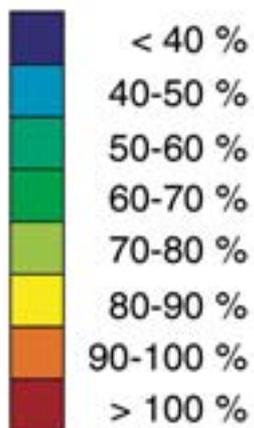


Abb. 13: Diagramm zur Bestimmung der Globalstrahlung auf geneigte Flächen im Mai

Juni

22

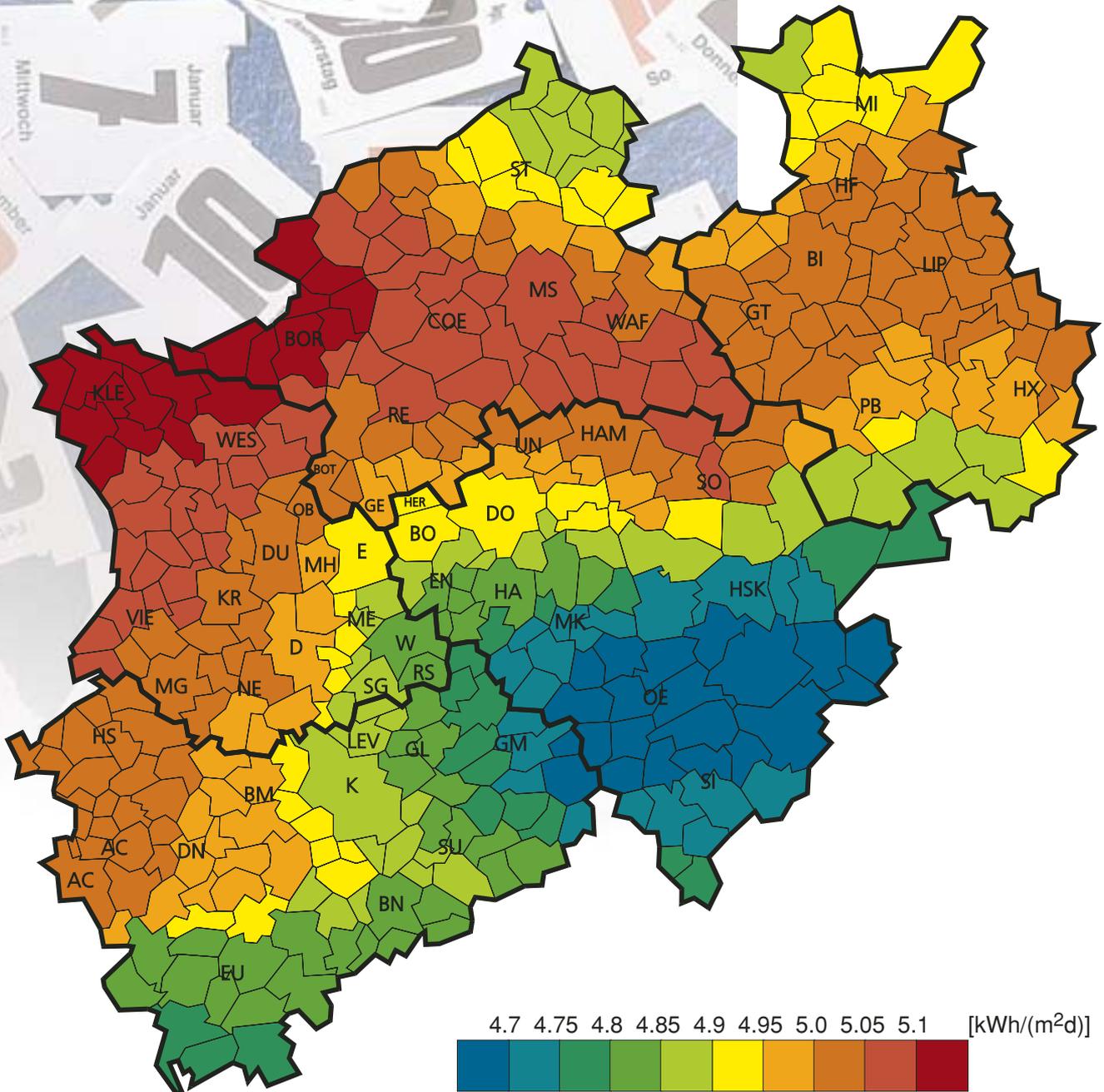


Abb. 14: Räumliche Verteilung der monatlichen mittleren Tagessumme der Globalstrahlung im Juni für Nordrhein-Westfalen

Flächenfaktor

$$f [\%] = \frac{G_g}{G_h} \times 100$$

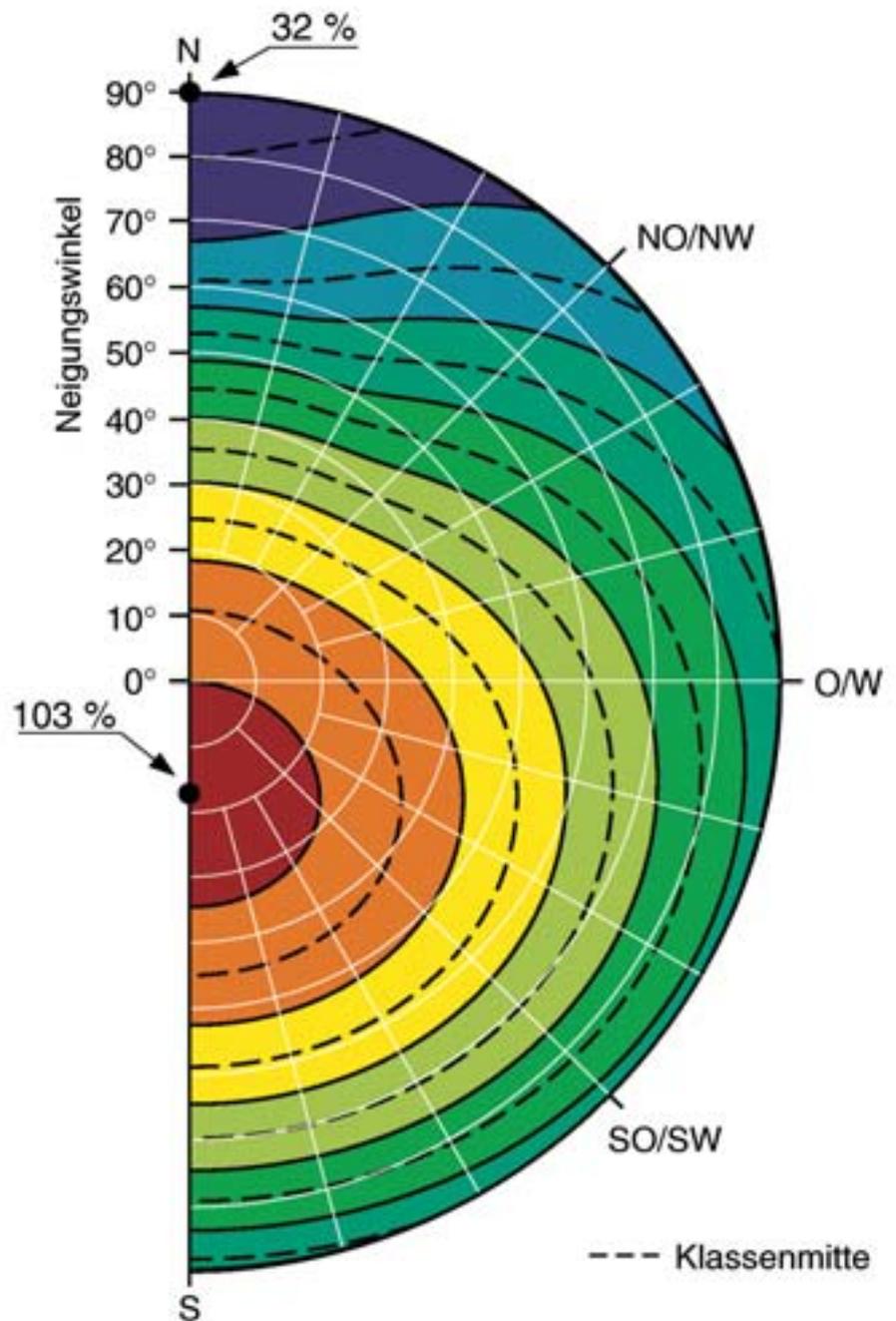
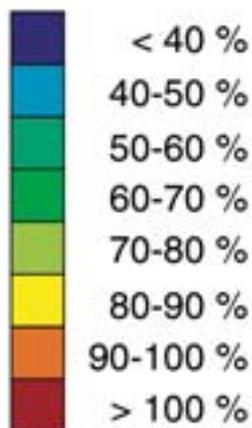


Abb. 15: Diagramm zur Bestimmung der Globalstrahlung auf geneigte Flächen im Juni

Juli

24

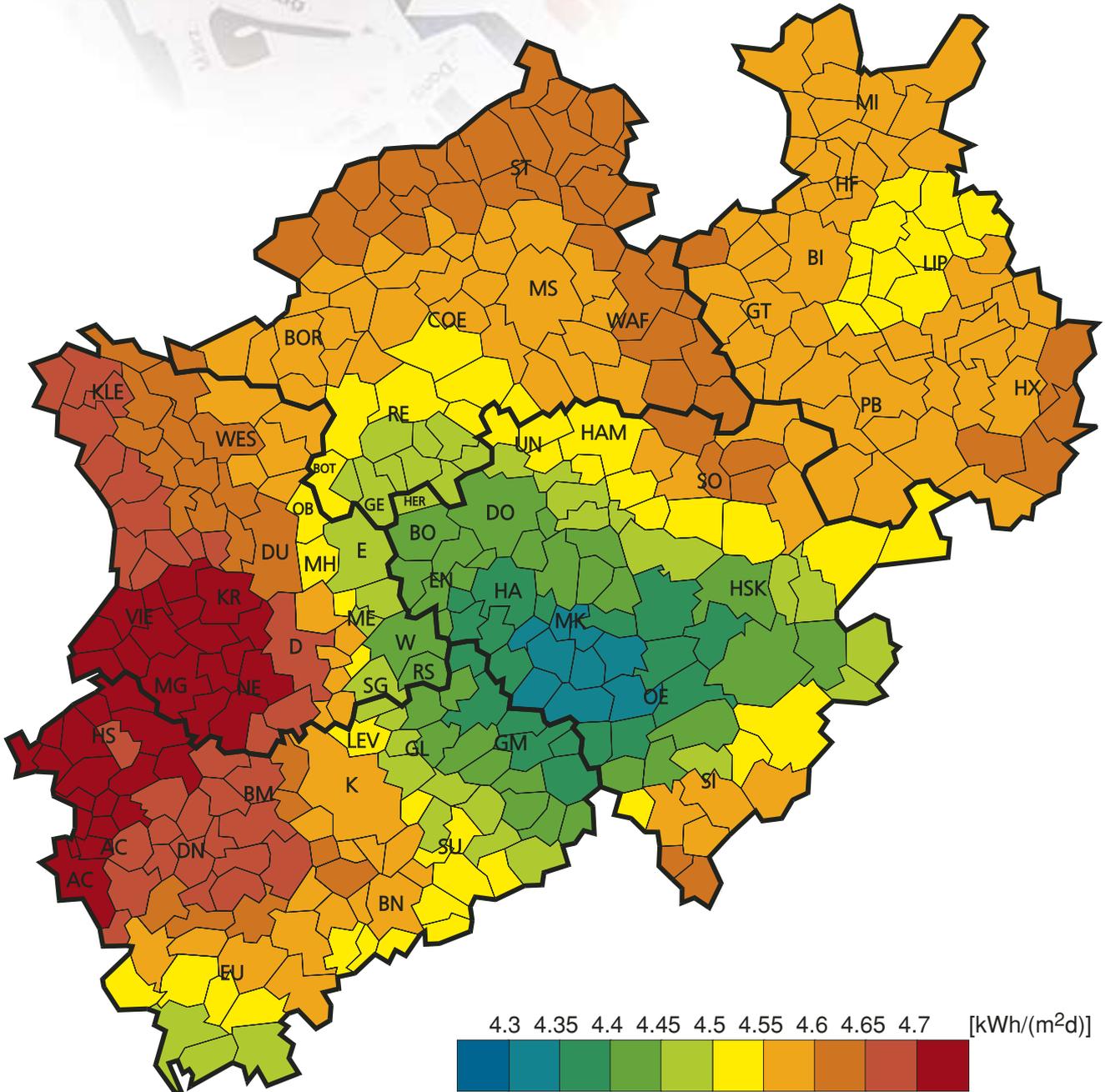


Abb. 16: Räumliche Verteilung der monatlichen mittleren Tagessumme der Globalstrahlung im Juli für Nordrhein-Westfalen

Flächenfaktor

$$f [\%] = \frac{G_g}{G_h} \times 100$$

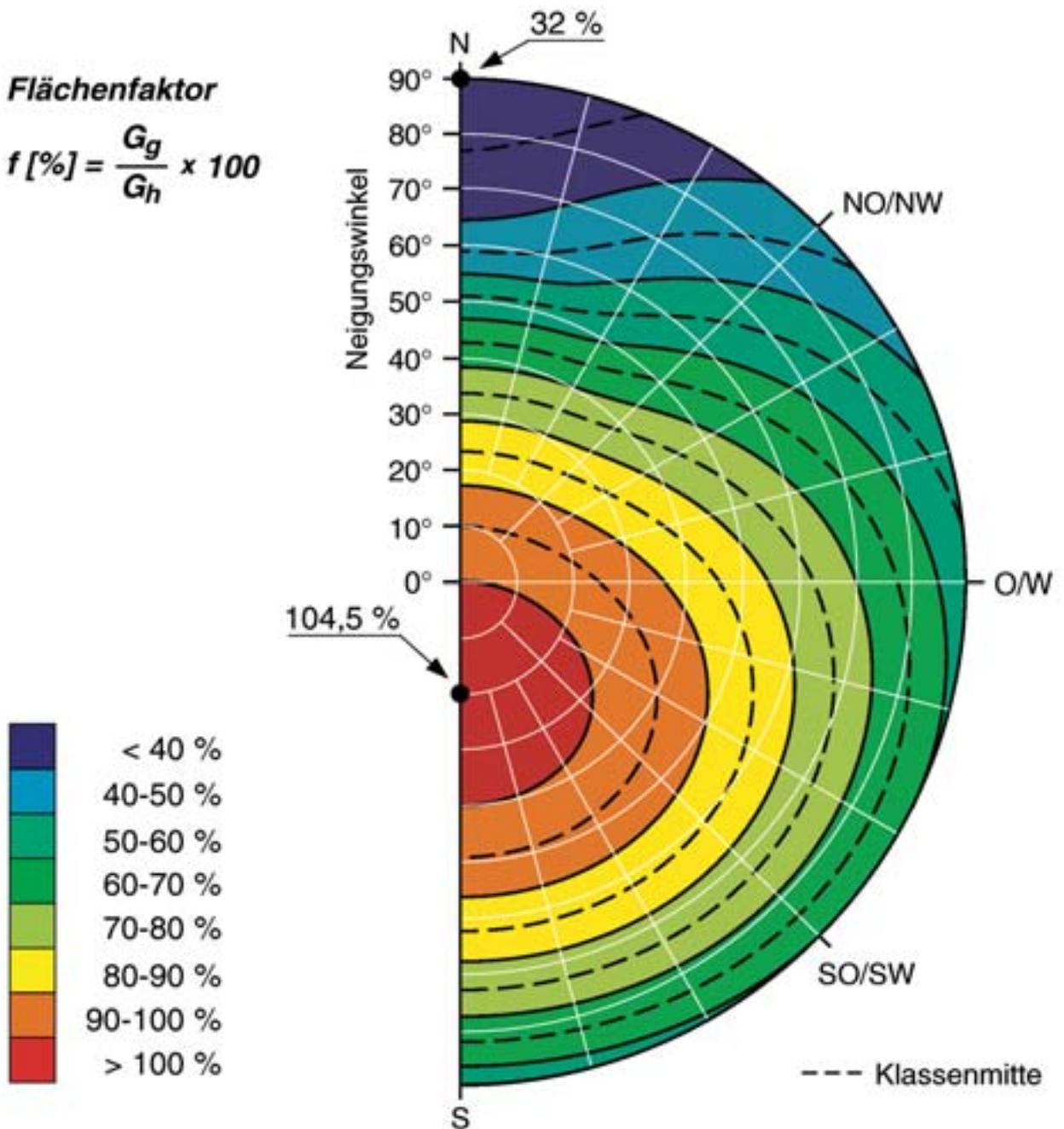


Abb. 17: Diagramm zur Bestimmung der Globalstrahlung auf geneigte Flächen im Juli

August

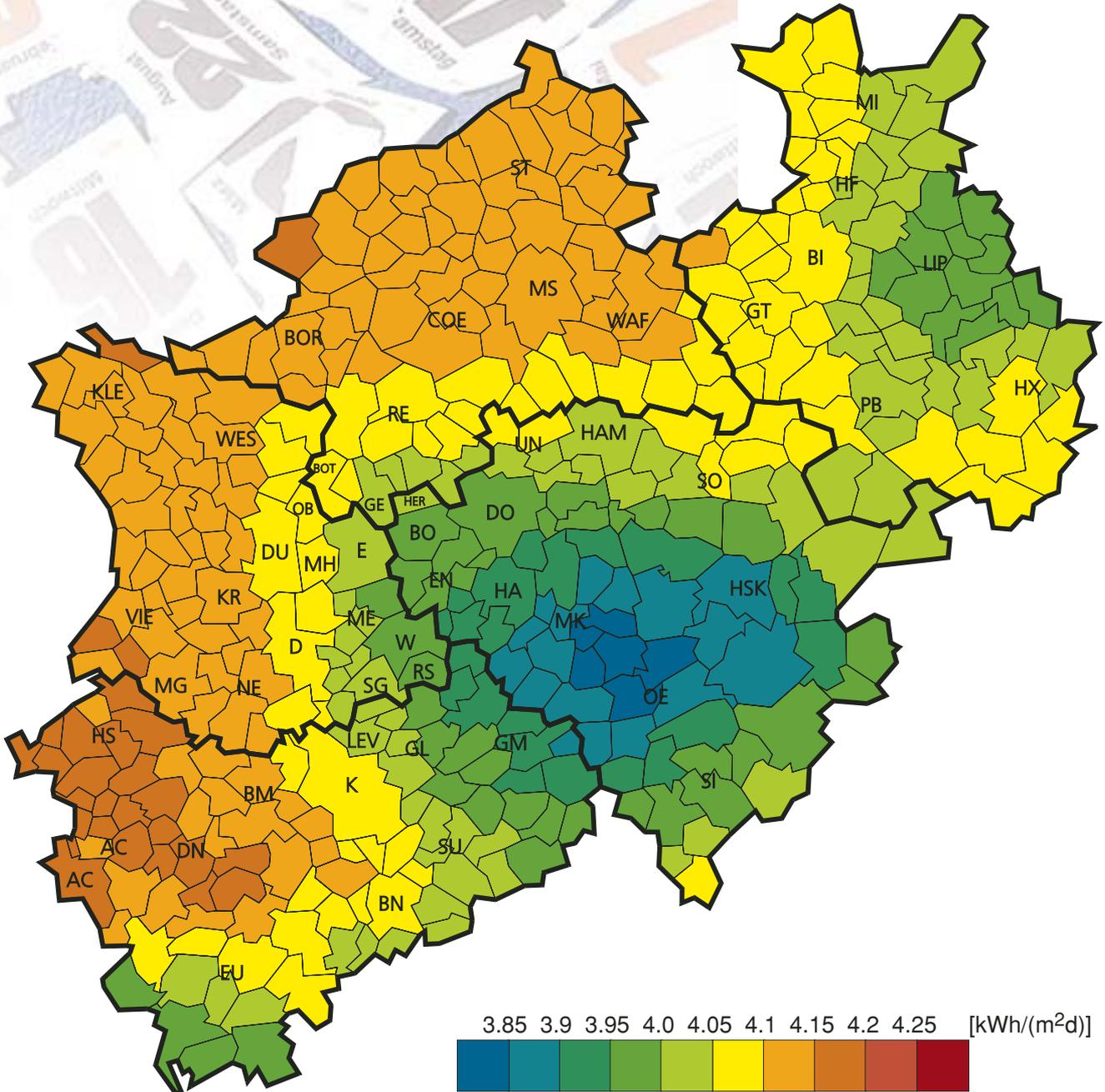


Abb. 18: Räumliche Verteilung der monatlichen mittleren Tagessumme der Globalstrahlung im August für Nordrhein-Westfalen

Flächenfaktor

$$f [\%] = \frac{G_g}{G_h} \times 100$$

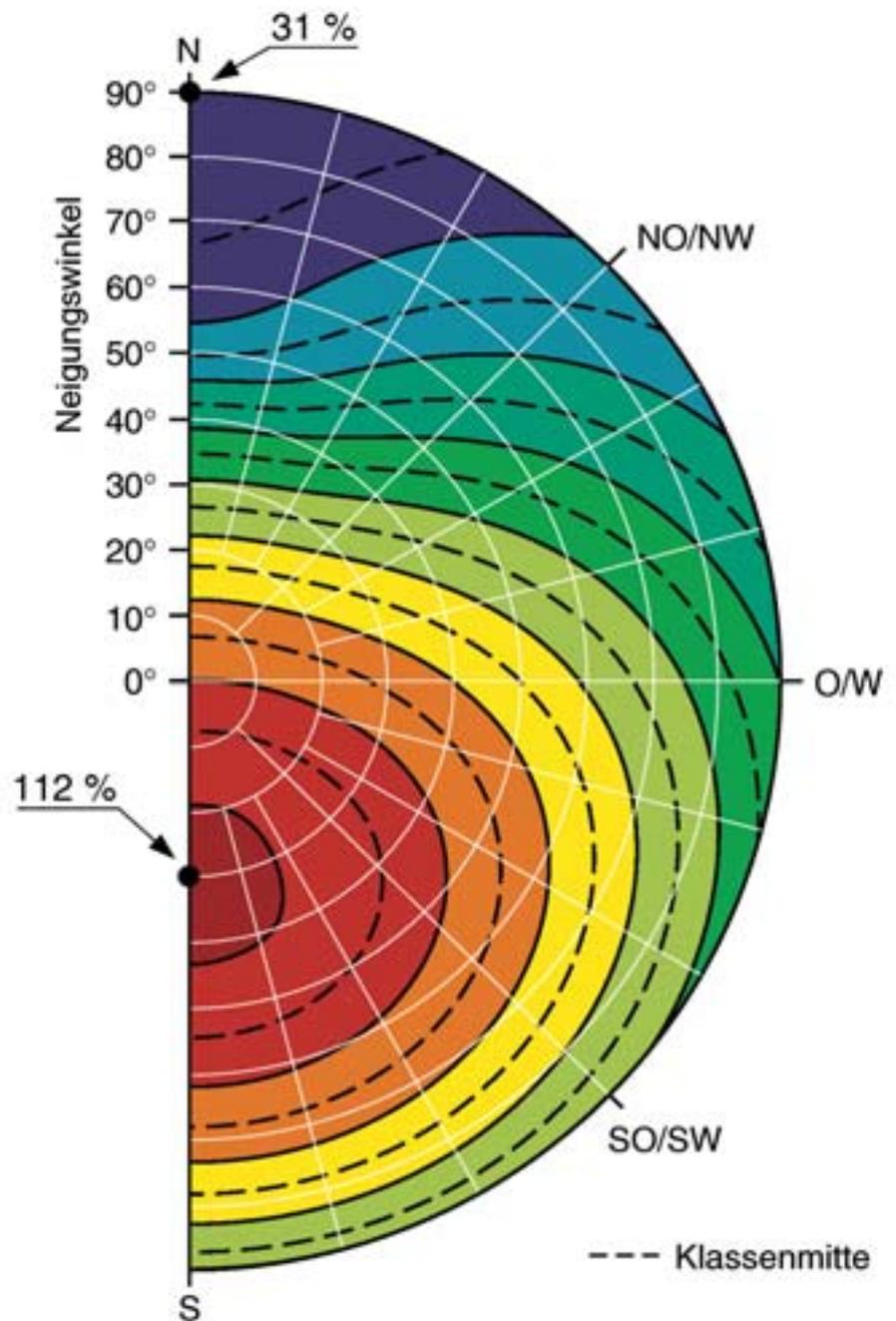
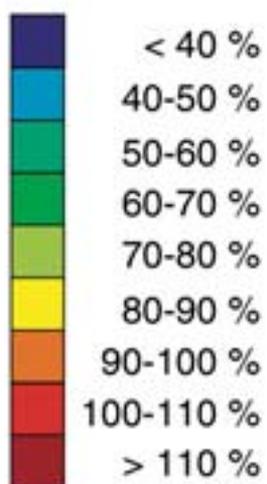


Abb. 19: Diagramm zur Bestimmung der Globalstrahlung auf geneigte Flächen im August

September

28

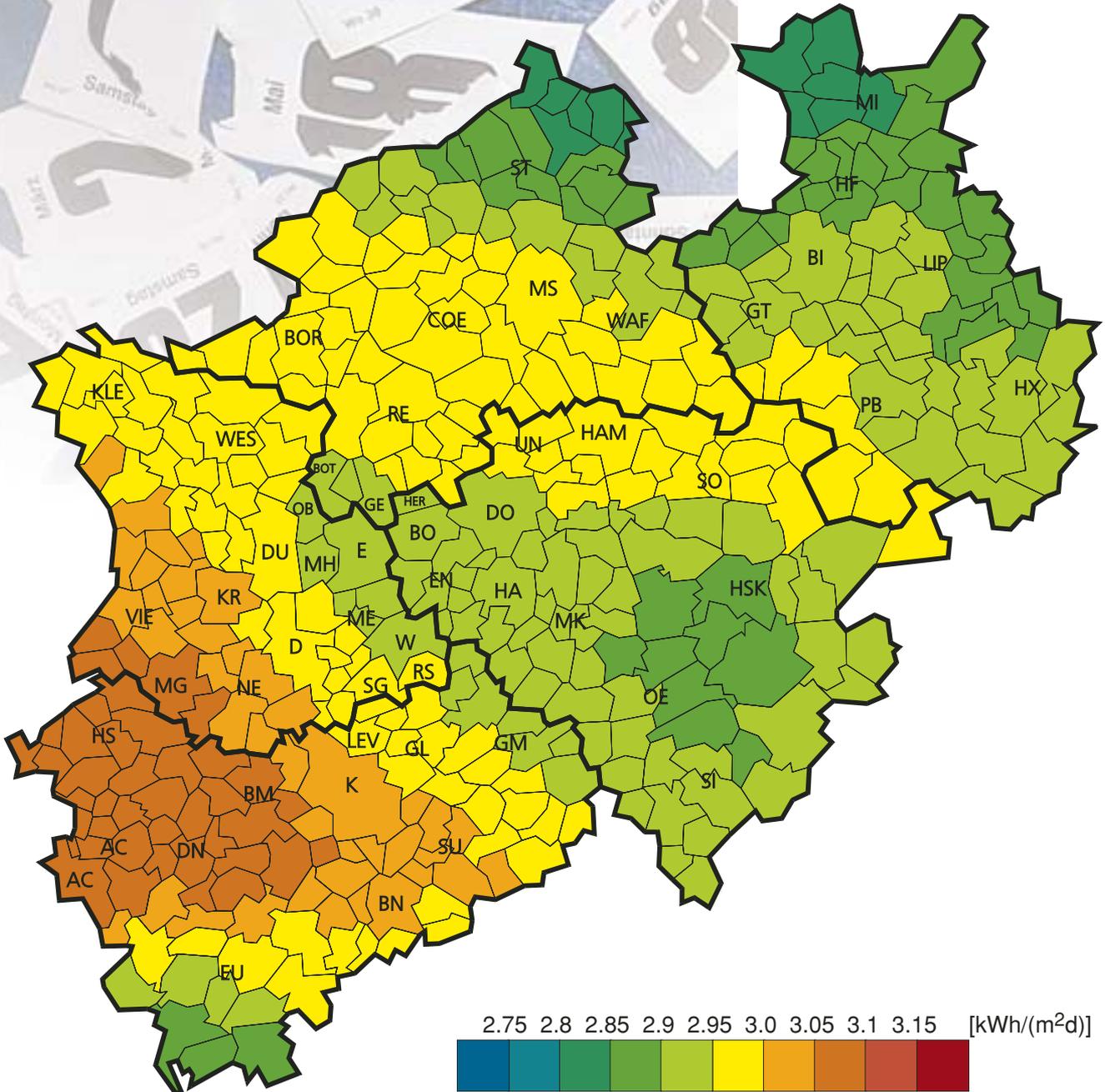


Abb. 20: Räumliche Verteilung der monatlichen mittleren Tagessumme der Globalstrahlung im September für Nordrhein-Westfalen

Flächenfaktor

$$f [\%] = \frac{G_g}{G_h} \times 100$$

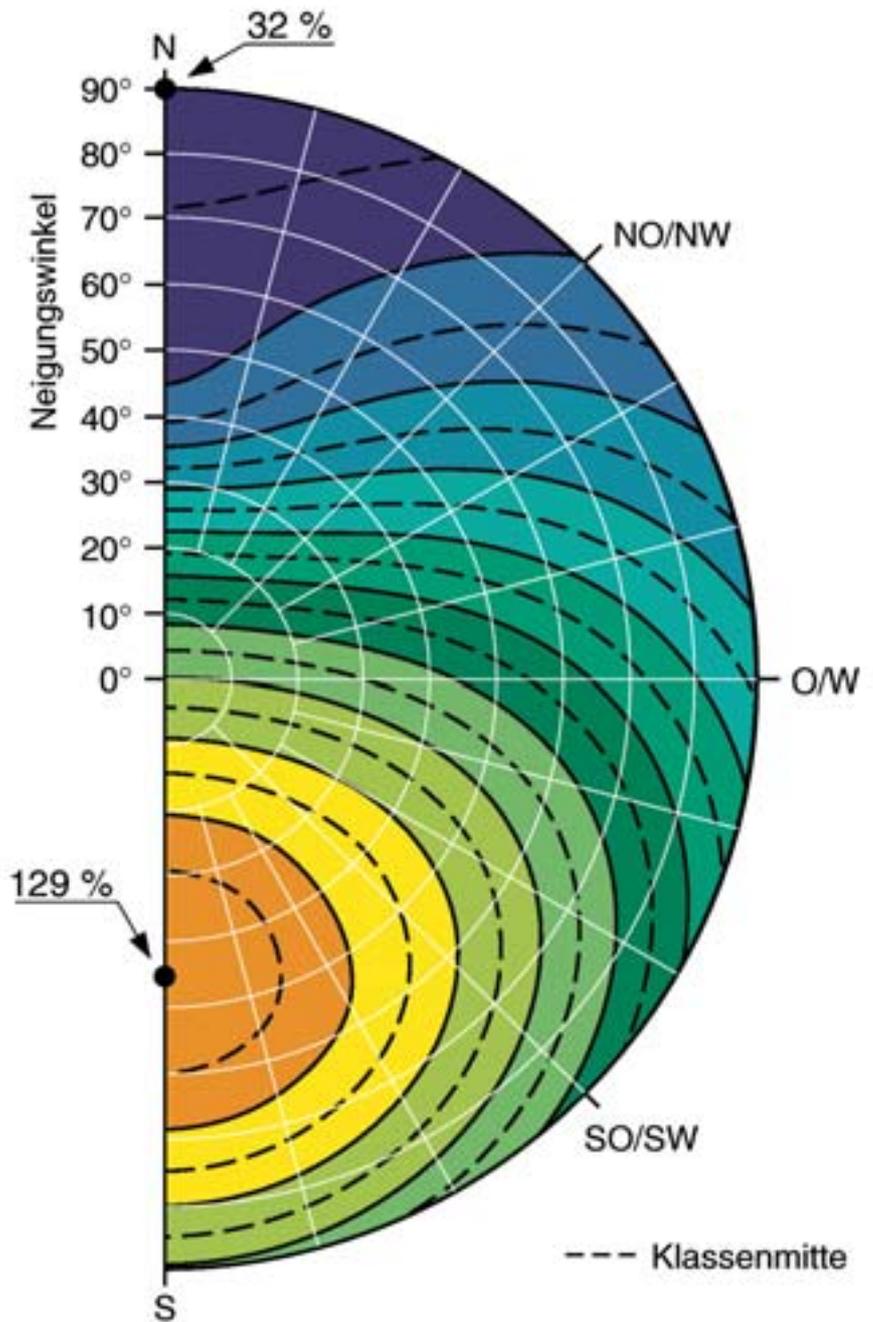
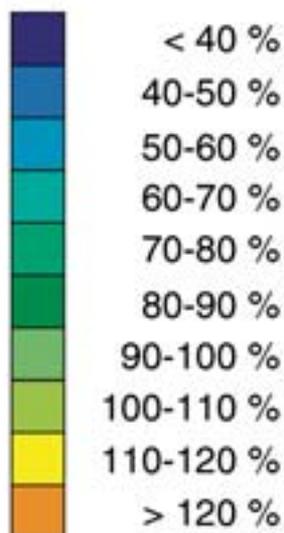


Abb. 21: Diagramm zur Bestimmung der Globalstrahlung auf geneigte Flächen im September

Oktober

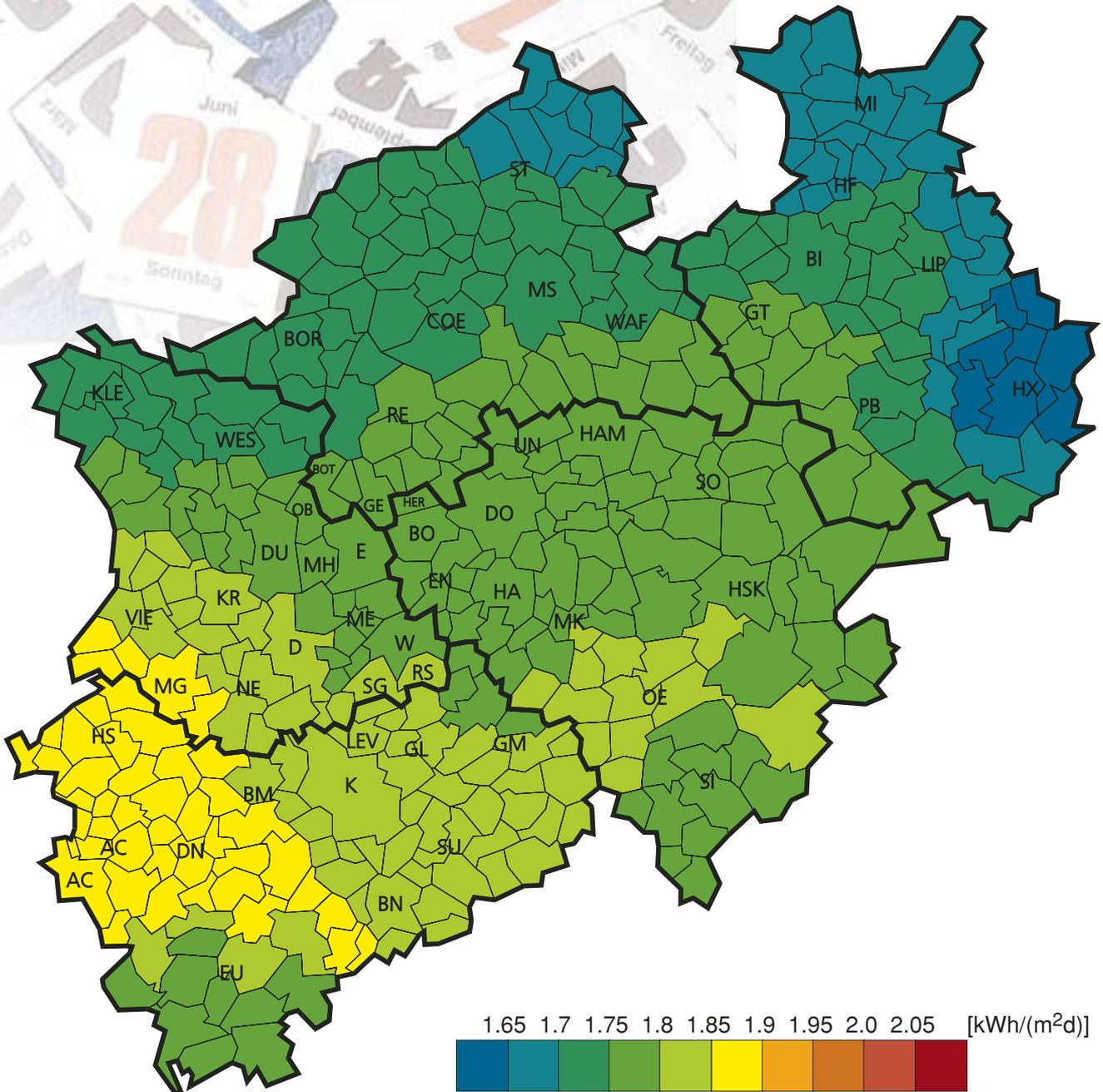


Abb. 22: Räumliche Verteilung der monatlichen mittleren Tagessumme der Globalstrahlung im Oktober für Nordrhein-Westfalen

Flächenfaktor

$$f [\%] = \frac{G_g}{G_h} \times 100$$

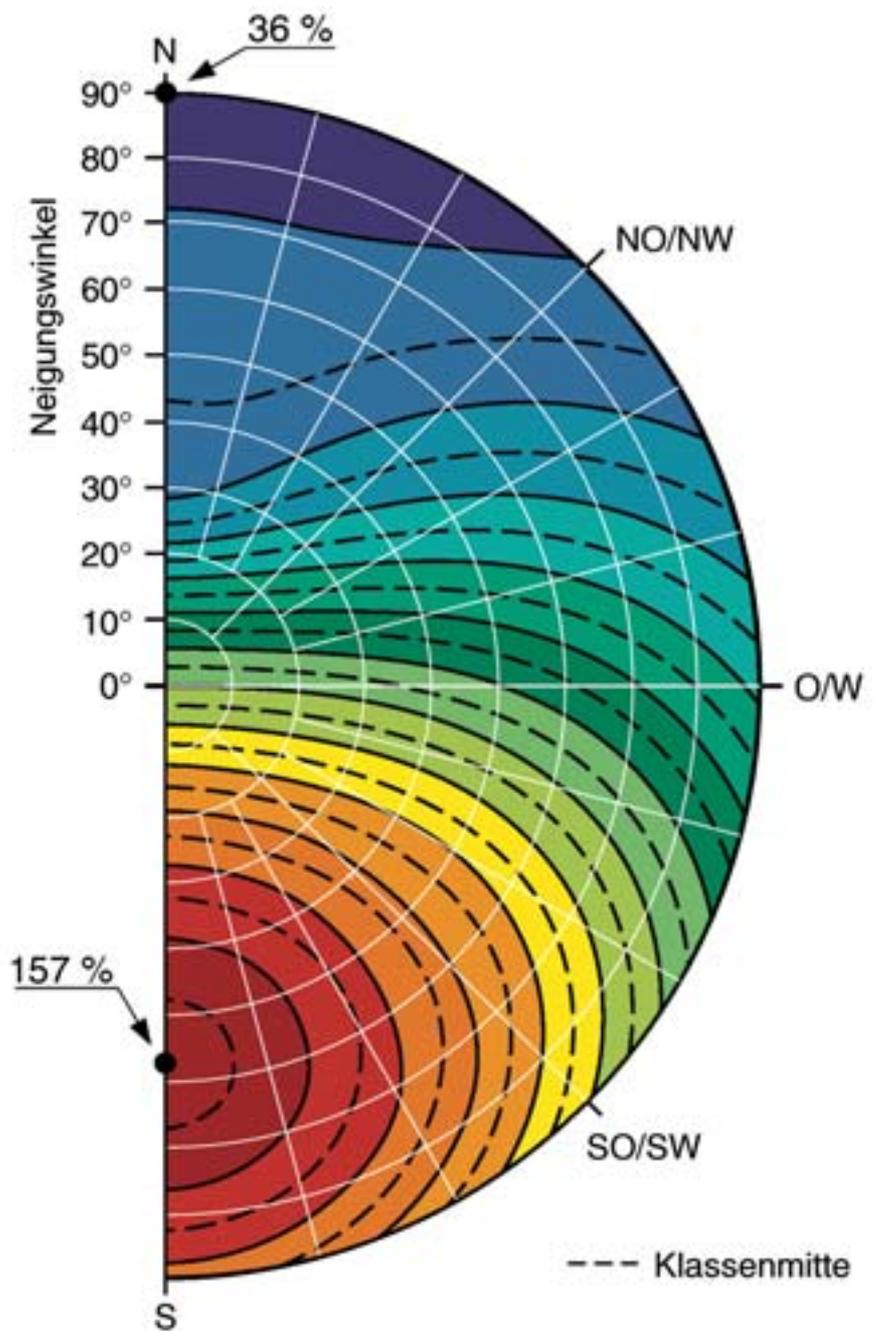
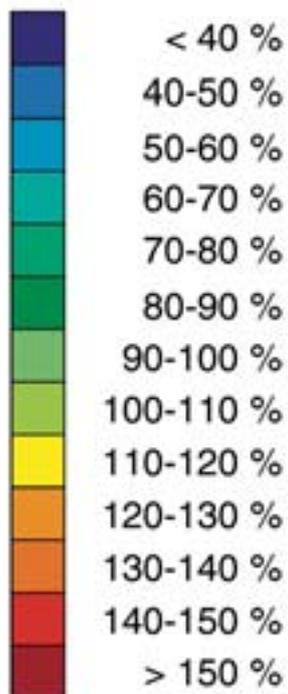


Abb. 23: Diagramm zur Bestimmung der Globalstrahlung auf geneigte Flächen im Oktober

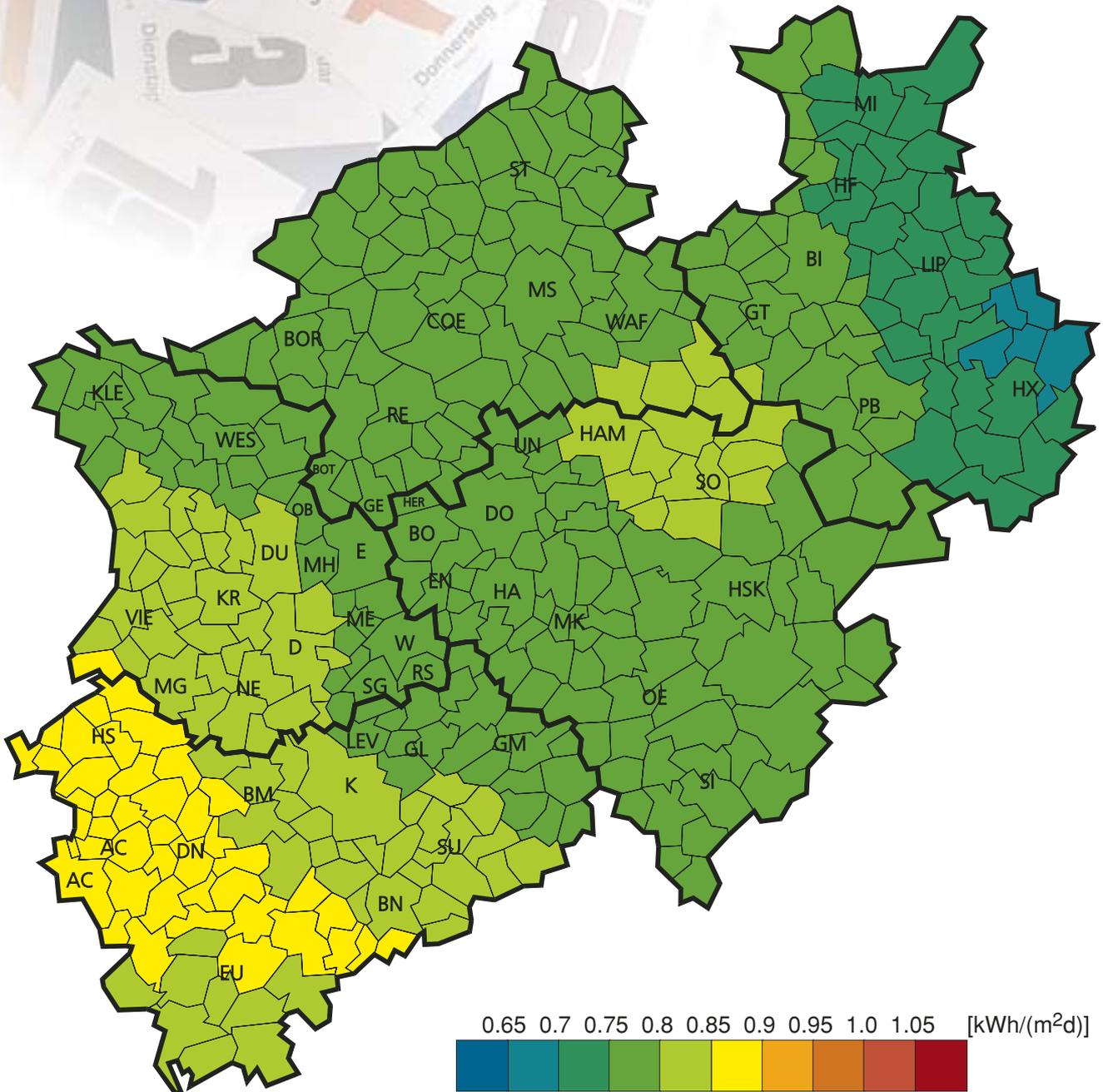


Abb. 24: Räumliche Verteilung der monatlichen mittleren Tagessumme der Globalstrahlung im November für Nordrhein-Westfalen

Flächenfaktor

$$f [\%] = \frac{G_g}{G_h} \times 100$$

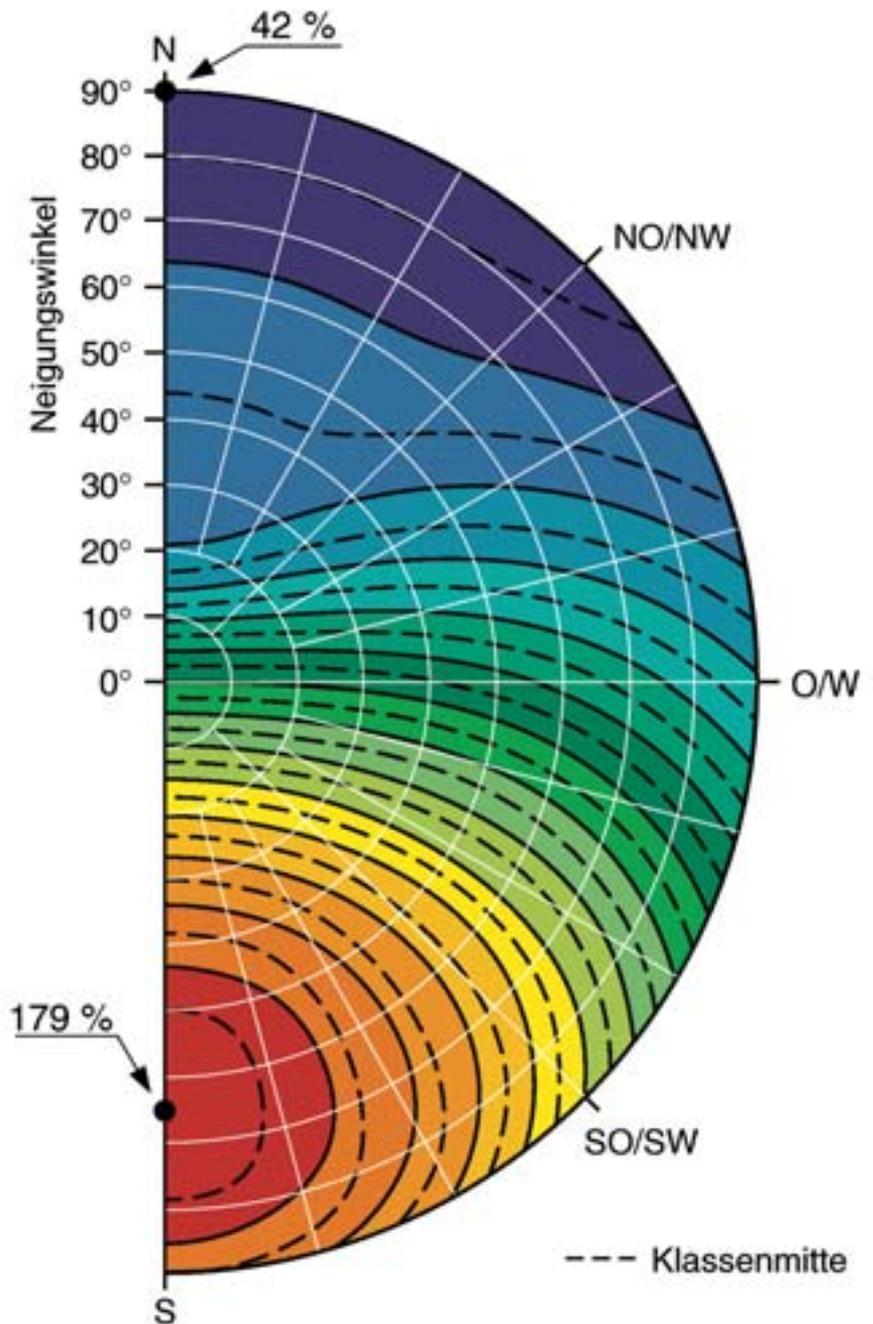
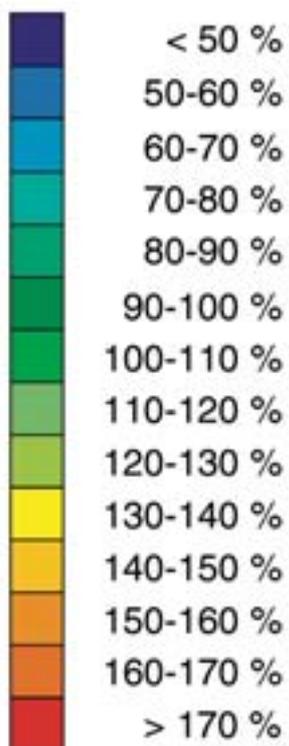


Abb. 25: Diagramm zur Bestimmung der Globalstrahlung auf geneigte Flächen im November

Dezember

34

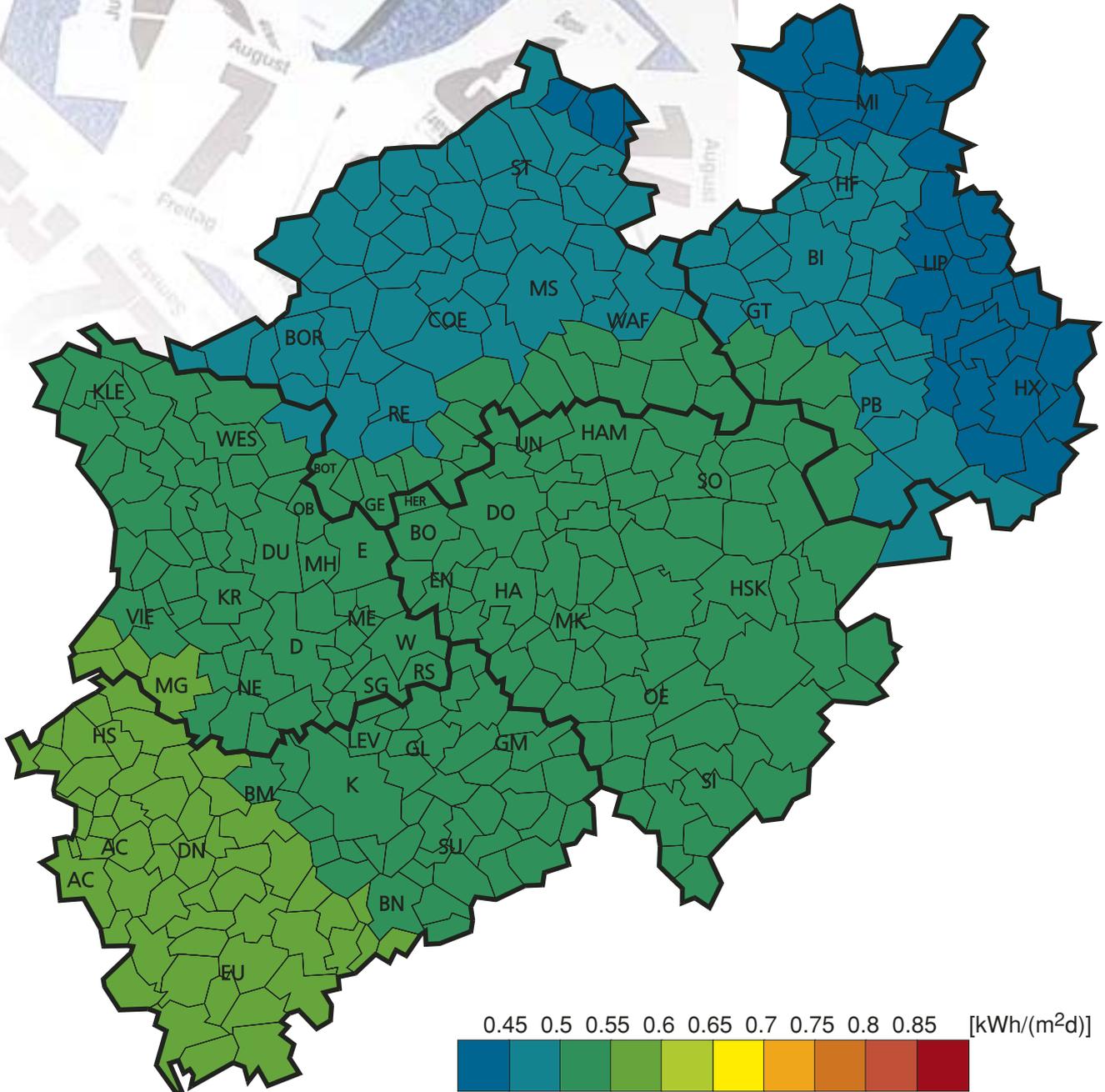


Abb. 26: Räumliche Verteilung der monatlichen mittleren Tagessumme der Globalstrahlung im Dezember für Nordrhein-Westfalen

Flächenfaktor

$$f [\%] = \frac{G_g}{G_h} \times 100$$

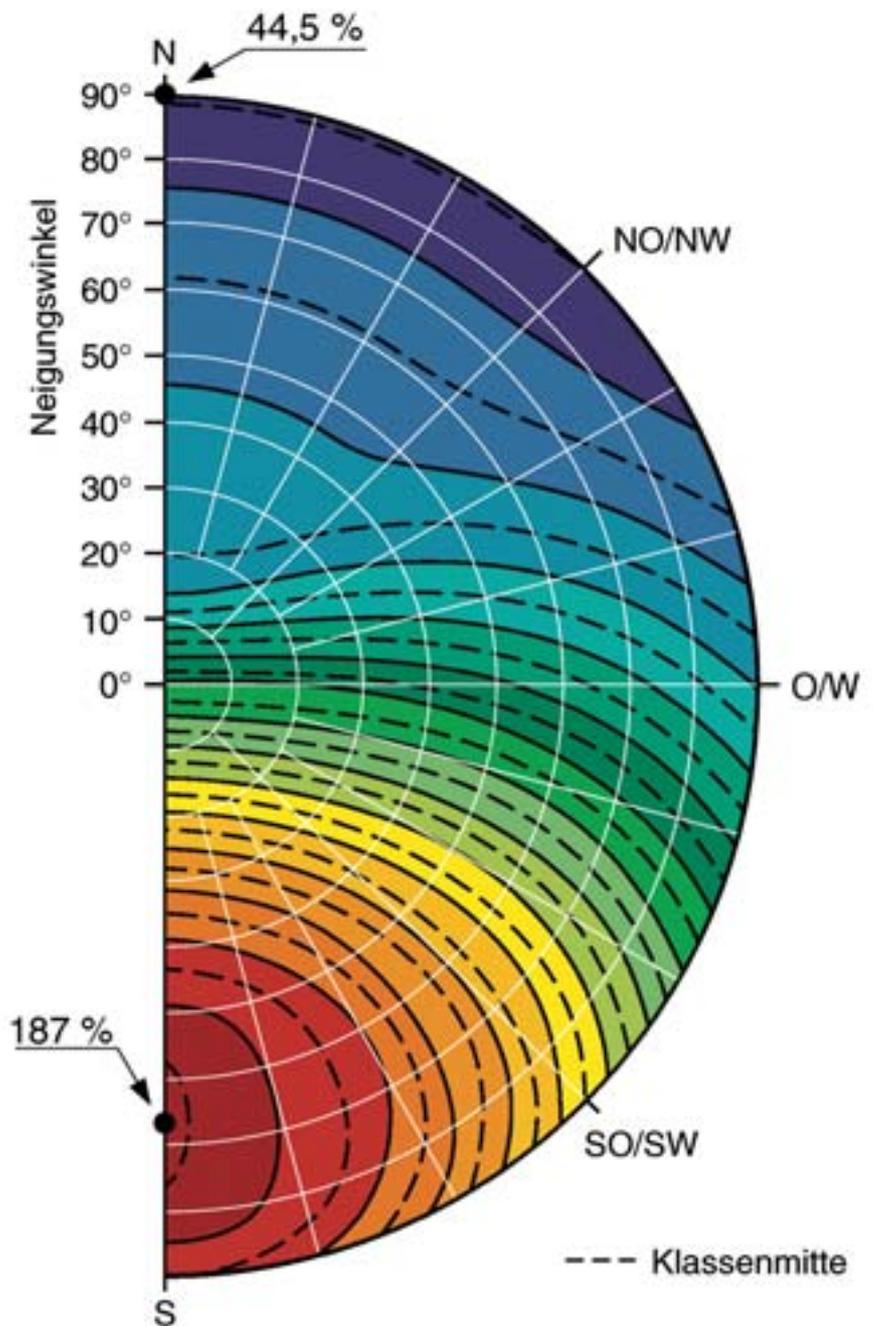
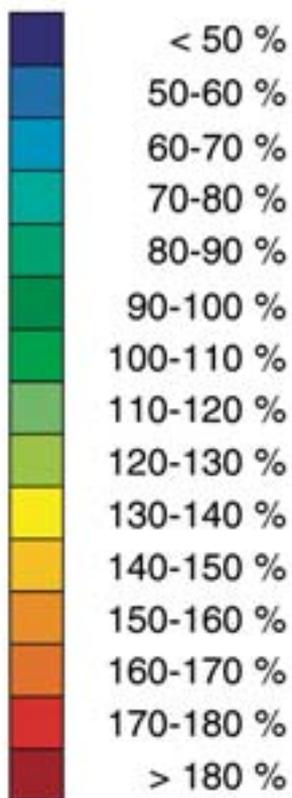


Abb. 27: Diagramm zur Bestimmung der Globalstrahlung auf geneigte Flächen im Dezember

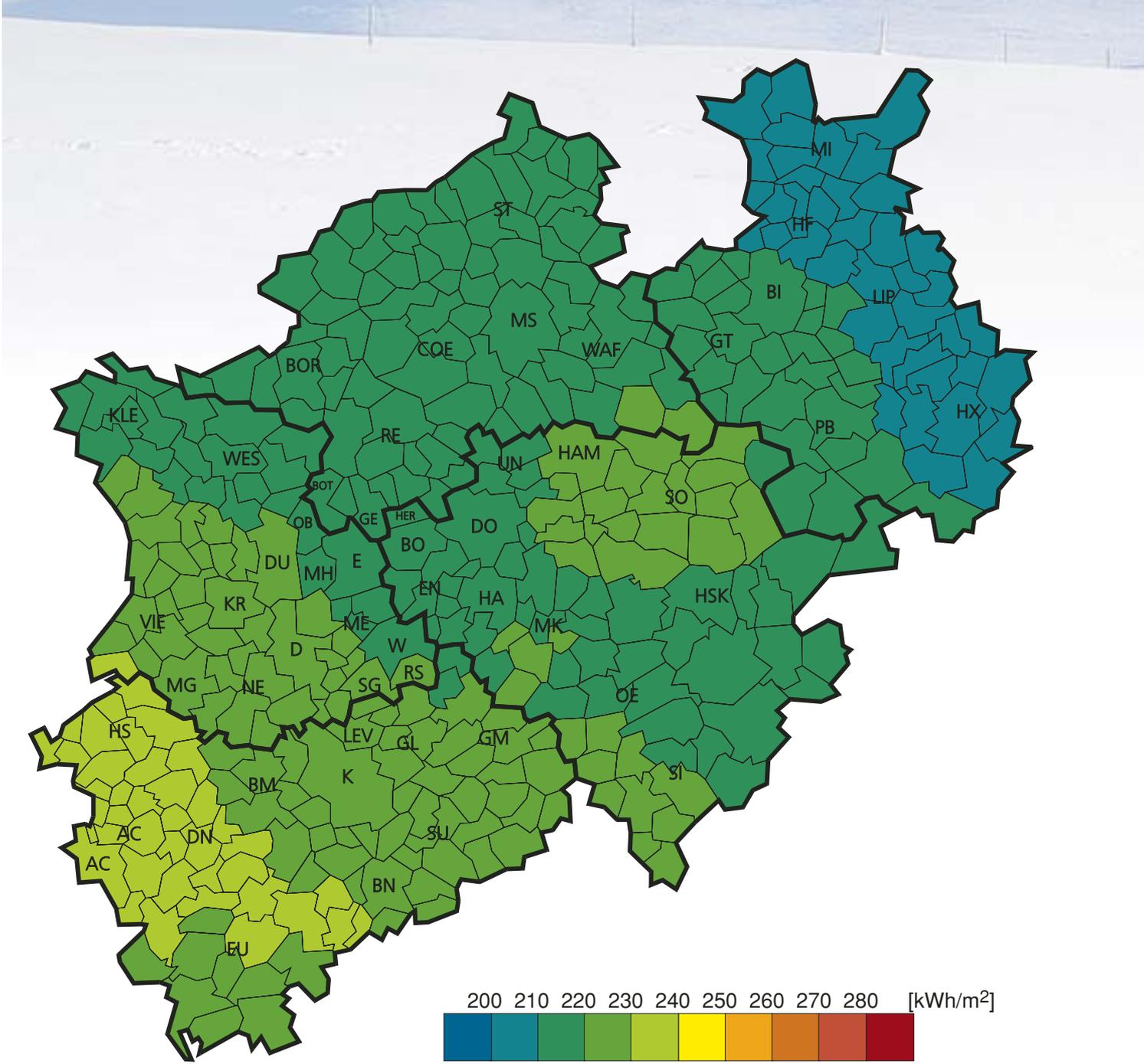


Abb. 28: Räumliche Verteilung der Globalstrahlungssumme im Winterhalbjahr (Okt.-März) für Nordrhein-Westfalen

Flächenfaktor

$$f [\%] = \frac{G_g}{G_h} \times 100$$

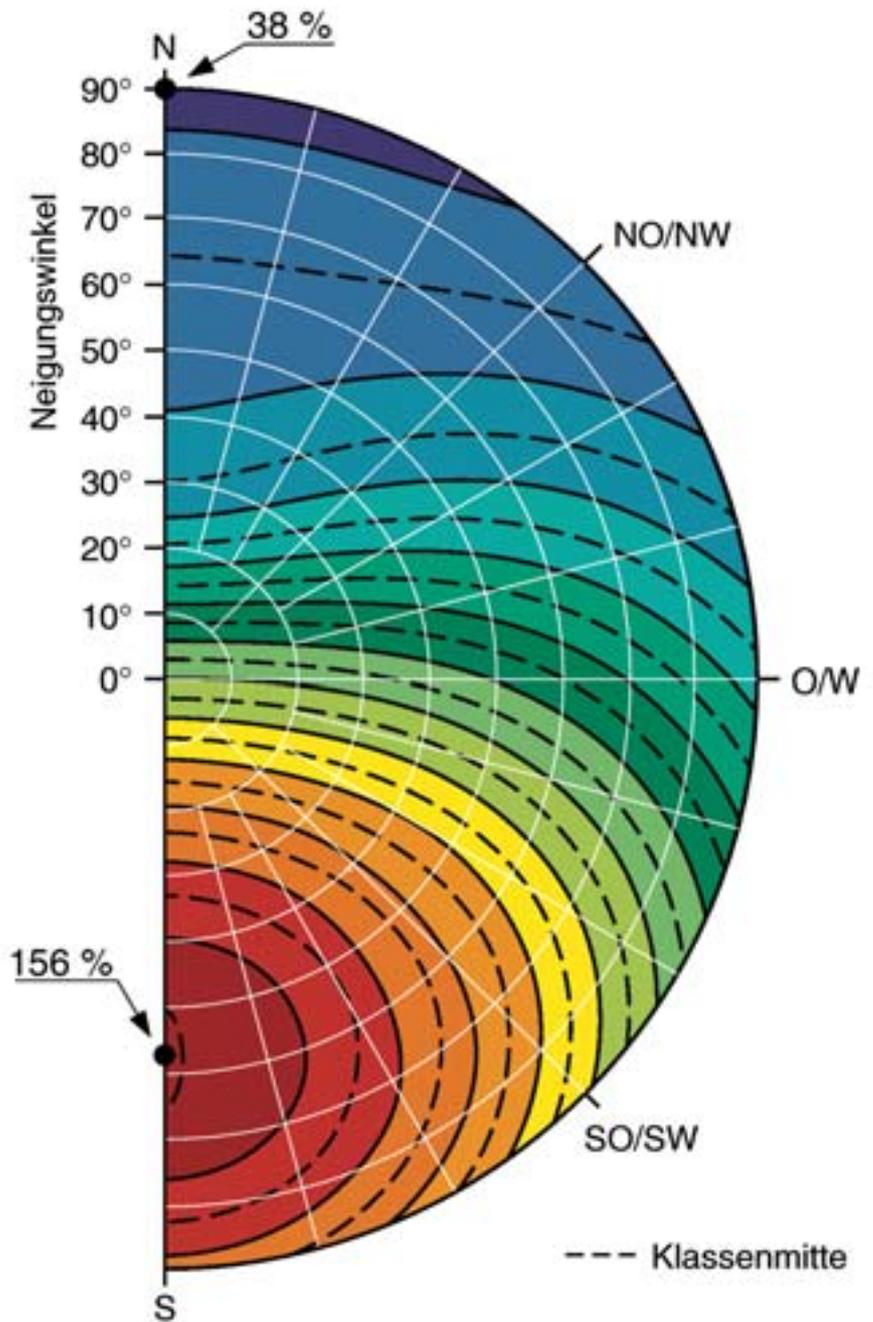
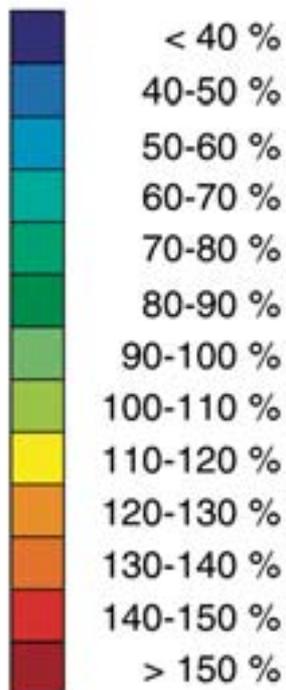


Abb. 29: Diagramm zur Bestimmung der Globalstrahlung auf geneigte Flächen im Winterhalbjahr (Okt.-März)

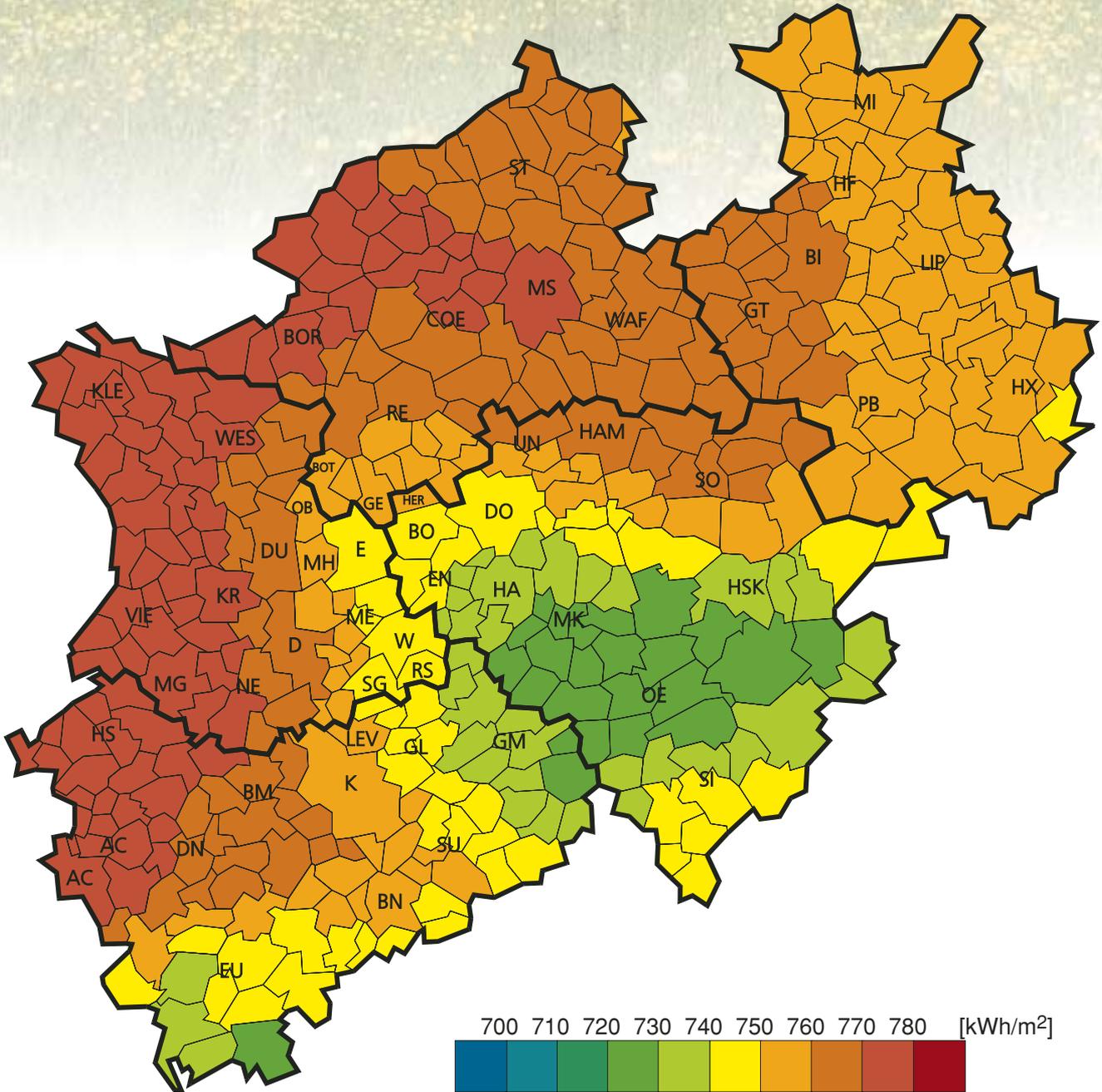


Abb. 30: Räumliche Verteilung der Globalstrahlungssumme im Sommerhalbjahr (Apr.-Sept.) für Nordrhein-Westfalen

Flächenfaktor

$$f [\%] = \frac{G_g}{G_h} \times 100$$

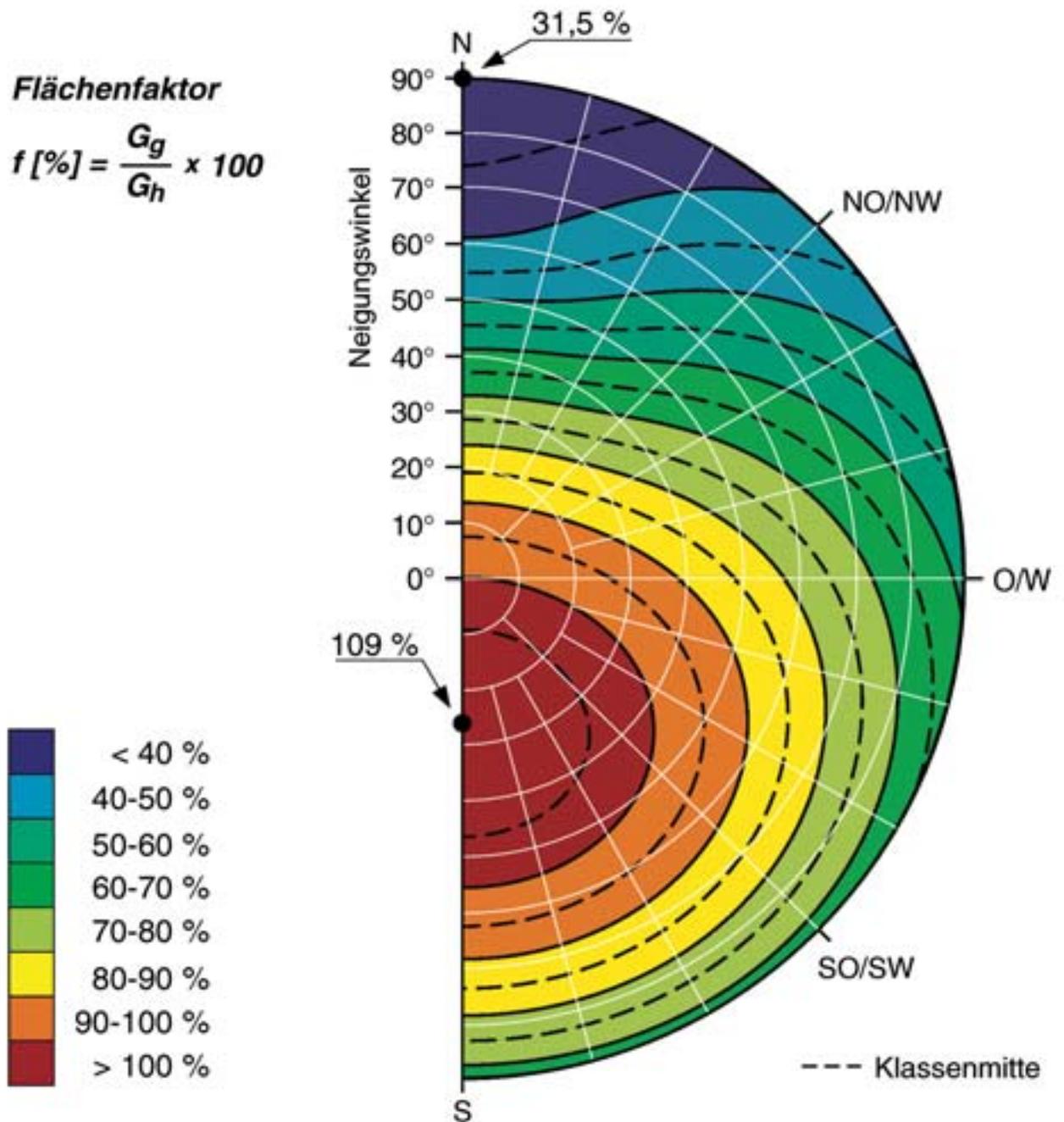


Abb. 31: Diagramm zur Bestimmung der Globalstrahlung auf geneigte Flächen im Sommerhalbjahr (Apr.-Sept.)

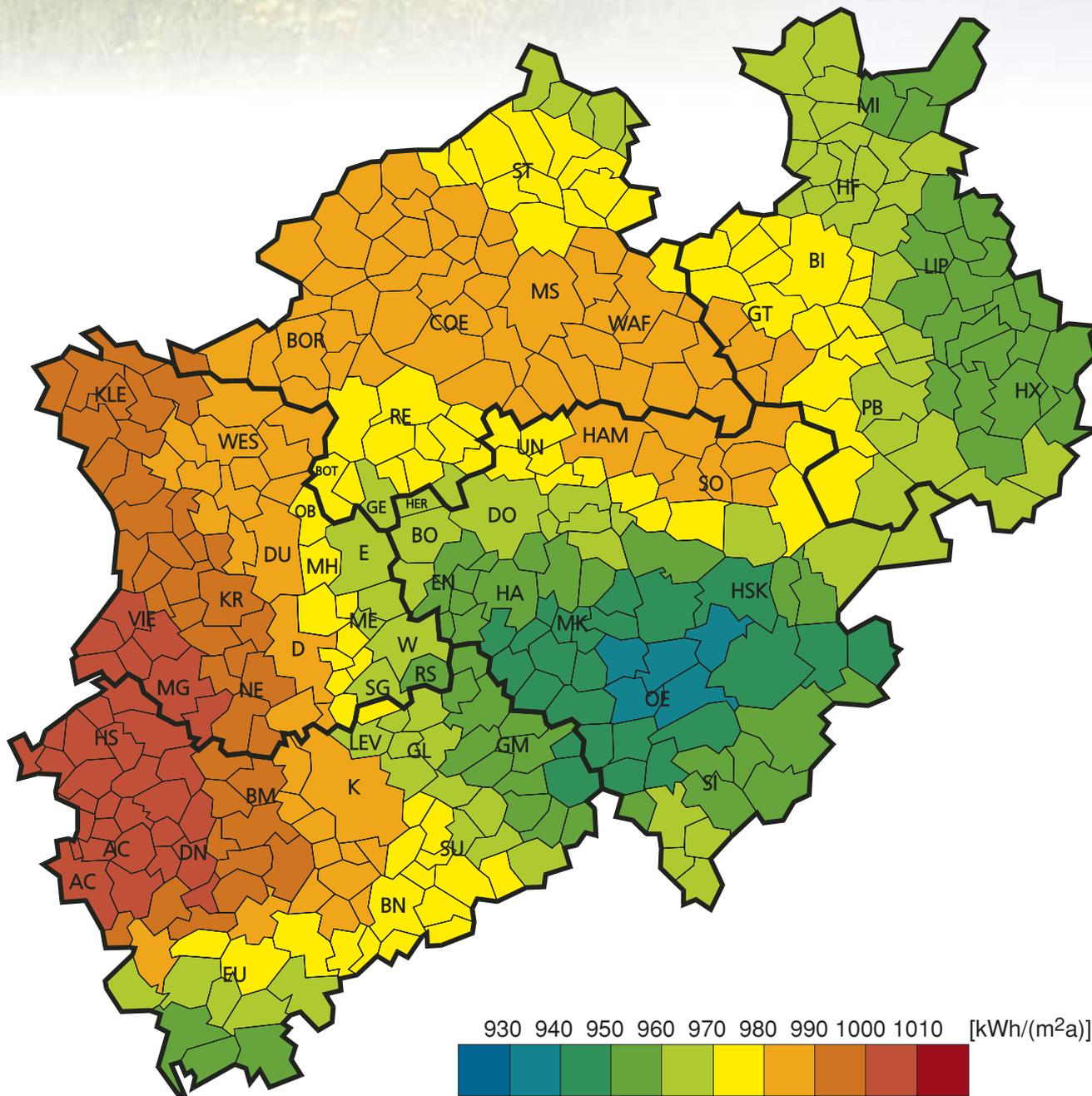


Abb. 32: Räumliche Verteilung der Globalstrahlungssumme im Jahresmittel für Nordrhein-Westfalen

Flächenfaktor

$$f [\%] = \frac{G_g}{G_h} \times 100$$

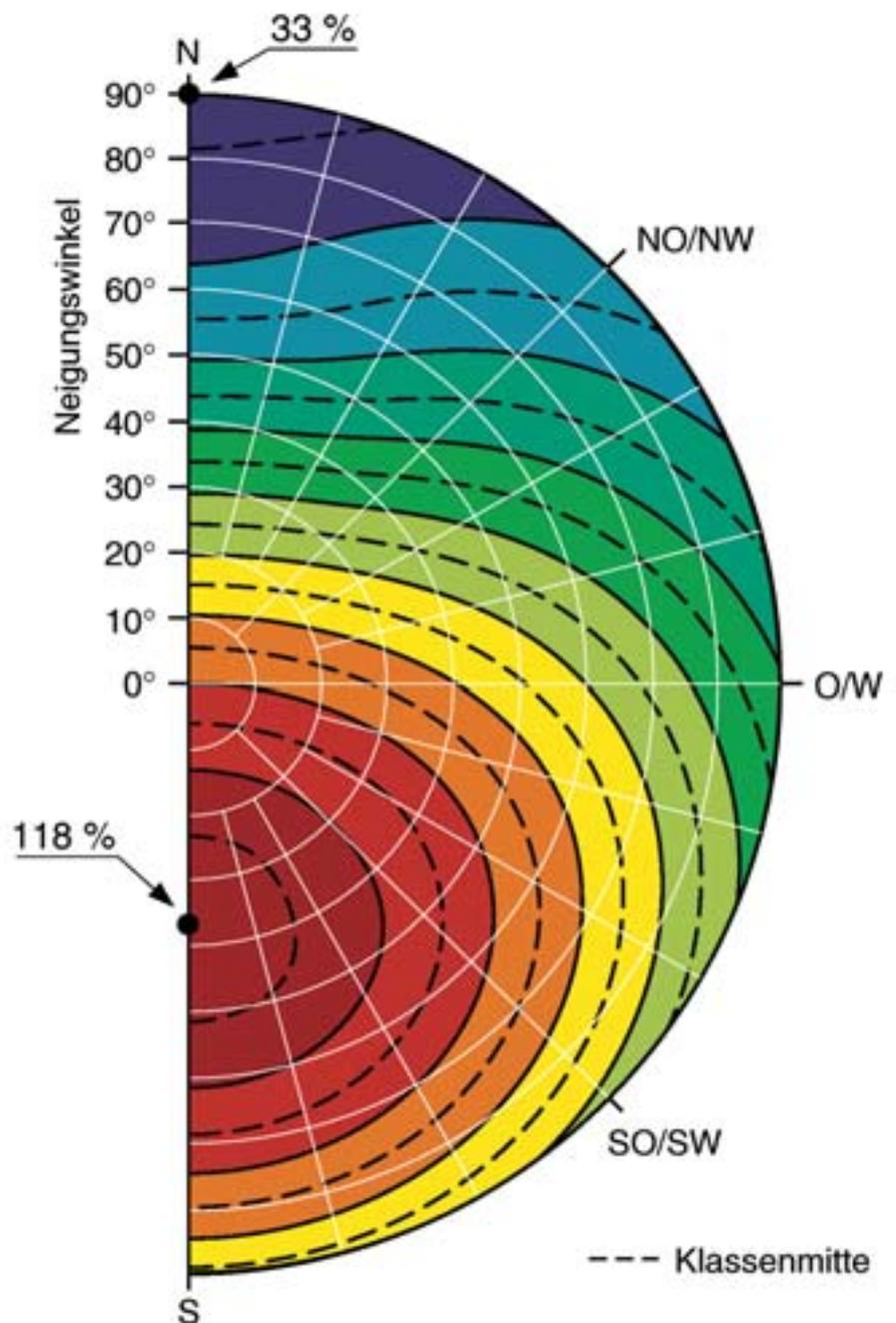
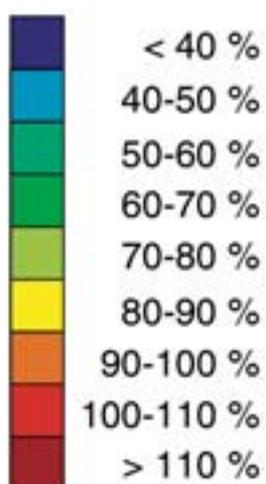


Abb. 33: Diagramm zur Bestimmung der Globalstrahlung auf geneigte Flächen im Jahresmittel



3 Anwendungsbeispiele

Die solare Einstrahlung kann in technischen Anlagen zur Bereitstellung von Wärme oder Strom genutzt werden. Die Umwandlung der Sonnenenergie in Wärme erfolgt unter Einsatz von solarthermischen Anlagen, deren Kernstück der Kollektor („Sammler“) bildet. Die Anlagen werden in Mitteleuropa im wesentlichen zur Erwärmung von Brauchwasser, zur Unterstützung der Raumheizung oder zur Beheizung von Schwimmbädern genutzt. Nach Schätzungen des Deutschen Fachverbands Solarenergie beträgt die in der Bundesrepublik Deutschland seit 1975 insgesamt installierte Kollektorfläche rd. 2.100.000 m² (Stand: 31.12.1997). Davon wurden allein im Jahr 1997 rd. 450.000 m² gebaut. Aus der Vielzahl möglicher technischer Varianten und Nutzungsmöglichkeiten solarthermischer Anlagen werden im folgenden die derzeit häufigsten Einsatzgebiete (Erwärmung von Brauch- und Schwimmbadwasser) anhand typischer Anlagenkonfigurationen erläutert (Kap. 3.1 und 3.2). Als ein Beispiel für eine zukünftig verstärkt genutzte Konzeption wird in Kap. 3.3 auch die Raumwärmeunterstützung durch solare Nahwärmesysteme kurz beschrieben.

Neben der Nutzung der solaren Strahlung durch aktive Systeme gewinnt die passive Solarenergienutzung im Rahmen der Niedrigenergie- und Solararchitektur in jüngerer Zeit an Bedeutung. Hierbei wird versucht, den architektonischen Entwurf eines Gebäudes so zu optimieren, daß ein möglichst hoher Anteil des Raumwärmebedarfs durch den Eintrag solarer Strahlungsenergie über die Außenfläche des Hauses gedeckt werden kann. Durch die Initialberatungen der Energie-

agentur NRW und ihr Weiterbildungsprogramm REN Impuls-Programm „Bau und Energie“, die in Nordrhein-Westfalen im Rahmen der Landesinitiative Zukunftsenergien geplanten „50 Solarsiedlungen“ sowie die Forschungsaktivitäten der Arbeitsgemeinschaft Solar NRW im Rahmen des Themenfelds „Ökologische Bauweise und Solarenergienutzung in Gebäuden“ wird diesem Aspekt der Solarenergienutzung in Nordrhein-Westfalen besondere Aufmerksamkeit gewidmet. Es erfolgt daher in Kap. 3.4 auch eine kurze Darstellung der Möglichkeiten „energiesparenden Bauens“ durch passive Solarenergienutzung.

Die effiziente Umwandlung der Sonnenenergie in Strom kann in Nordrhein-Westfalen nach dem heutigen Stand der Technik ausschließlich durch die Nutzung des photovoltaischen Effekts in Solarzellen erfolgen. Hierbei wird die solare Strahlung ohne den Umweg über einen thermischen Prozeß direkt in Elektrizität überführt. Im Gegensatz hierzu arbeiten Turm- bzw. Parabolrinnenkraftwerke mit einem zwischengeschalteten Dampfprozeß. Aufgrund der hierbei notwendigen Konzentration der solaren Einstrahlung kann der Betrieb solcher Anlagen nur in Ländern mit einem relativ hohen Anteil der Direktstrahlung erfolgen – was in Nordrhein-Westfalen jedoch nicht der Fall ist.

Photovoltaikanlagen können netzgekoppelt oder im Inselbetrieb betrieben werden. In Nordrhein-Westfalen erfolgt der Betrieb einer Photovoltaikanlage in der Regel netzgekoppelt. Die Stromversorgung von Wochenendhäusern oder von Geräten, die mit Gleichstrom betrieben werden können, kann im Inselbetrieb erfolgen. In Kap. 3.5 wird für beide Anlagenvarianten ein Beispiel erläutert.





3.1 Brauchwassererwärmung

Durch Solaranlagen zur Erwärmung von Brauchwasser können ca. 50-80% des sonst hierzu benötigten Brennstoffes eingespart werden. Dem im Jahresverlauf relativ konstanten Bedarf an Brauchwarmwasser zum Duschen etc. in den privaten Haushalten steht der mit hohen saisonalen Schwankungen ausgeprägte Jahresgang der solaren Einstrahlung gegenüber. Würde eine solarthermische Anlage so ausgelegt werden, daß der Brauchwarmwasserbedarf auch z.B. noch im Dezember gedeckt wird, müßte eine unverhältnismäßig große Kollektorfläche installiert werden. Die dann im Sommer produzierte überschüssige Wärme würde in den meisten Fällen ungenutzt bleiben. Eine solche Anlage wäre nicht effektiv

und nur mit hohen Kosten realisierbar. Das bedeutet, daß eine Anlage zur Erwärmung von Brauchwasser immer nur einen Teil des Wärmebedarfs decken kann, wenn vorausgesetzt wird, daß kein Komfortverlust eintreten soll. In die Anlagenkonzeption ist daher immer eine Zusatzheizung integriert. Eine solarthermische Anlage wird in der Regel so dimensioniert, daß der Warmwasserbedarf in den Sommermonaten zu 100% gedeckt, d.h. die Heizungsanlage in dieser Zeit außer Betrieb genommen werden kann. Da konventionelle Heizungsanlagen zur Deckung des Raumwärme- und Warmwasserbedarfs gerade in den Sommermonaten aufgrund der häufigen und kurzen Brennerstarts mit niedrigen Wirkungsgraden arbeiten, wirkt sich diese Auslegungsart besonders positiv auf die Brennstoffeinsparung aus.

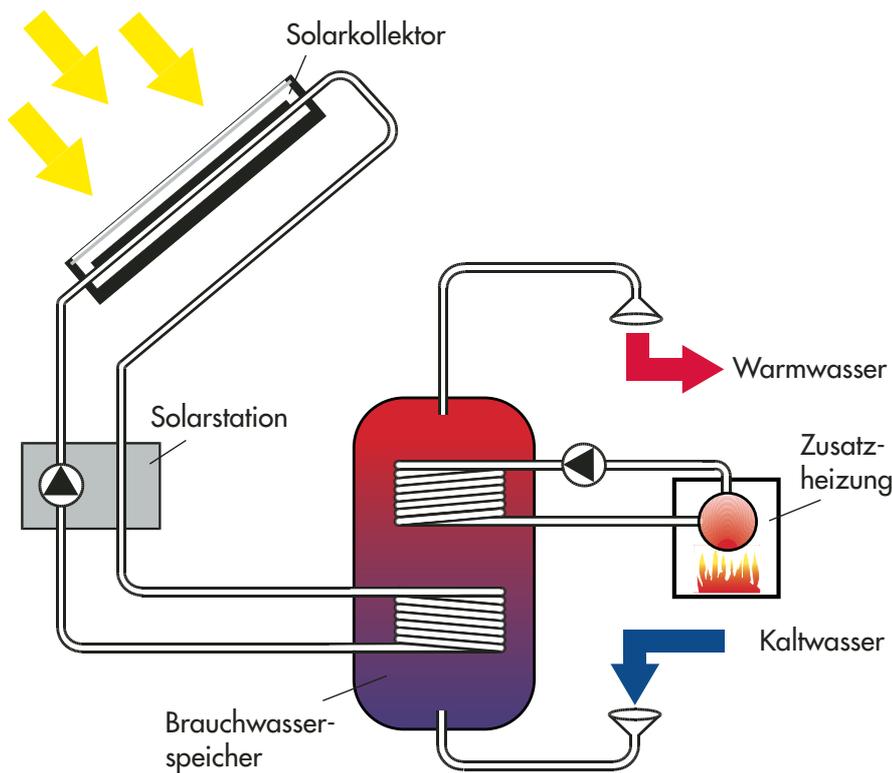


Abb. 34 zeigt die wesentlichen Komponenten und das Funktionsprinzip einer Solaranlage zur Warmwasserbereitung. Bei der dargestellten Anlage handelt es sich um ein üblicherweise verwendetes Zweikreisssystem mit Zwangsumlauf, d.h. der Brauchwasserkreis ist vom Solarkreis räumlich getrennt angeordnet. Die Anlage besteht im wesentlichen aus einem Kollektor, einer Solarstation, einem Speicher, einer Zusatzheizung und den entsprechenden Rohrleitungen. Im Flachkollektor (s. Abb. 35) wird die Energie der solaren Strahlung an der schwarzen Oberfläche des Absorbers in Wärme umgewandelt und an die Wärmeträgerflüssigkeit, welche zur Vermeidung von Frostschäden in der Regel aus einem Wasser-Glykol-Gemisch besteht, weitergegeben.

Abb. 34: Prinzipskizze der Komponenten und Funktionsweise einer solarthermischen Anlage zur Brauchwassererwärmung



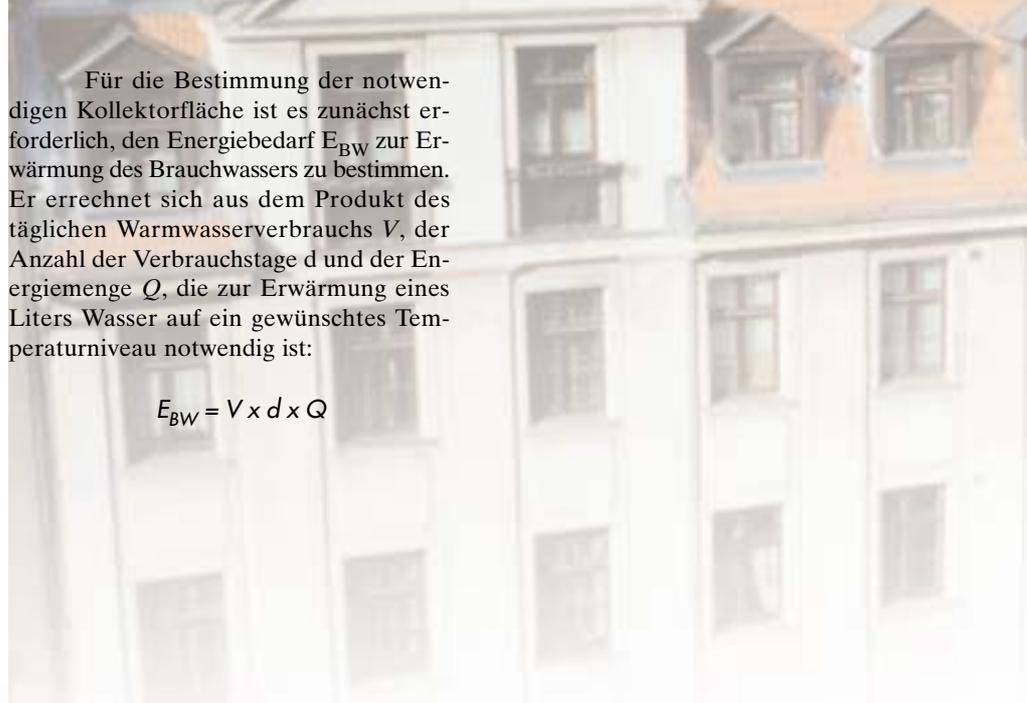
Zur Vermeidung von Wärmeverlusten ist der Kollektor an der Vorderseite durch eine Glasscheibe und an der Rückseite durch eine Wärmedämmschicht isoliert. Daneben können auch Vakuumröhren- oder Vakuumflachkollektoren eingesetzt werden. In Vakuumröhrenkollektoren sind einzelne Absorberstreifen in evakuierten (luftleeren) Röhren angeordnet. Der Vorteil dieser Bauart besteht in den geringen Wärmeverlusten und der Möglichkeit zur Erzielung höherer Temperaturen, wodurch – je nach gefordertem Temperaturniveau – auch ein Einsatz zur Prozeßwärmeentstehung im industriellen Bereich möglich wird.

Die Solarstation umfaßt neben Meß- und Regelungsinstrumenten und einem Membranausdehnungsgefäß eine Pumpe zur Aufrechterhaltung des Kreislaufs zwischen Kollektor und Speicher. Da Energiebedarf und -angebot zeitlich nicht übereinstimmen, ist ein Speicher erforderlich, dessen Wasser durch das Wasser-Glykol-Gemisch des Solarkreislaufs über einen Wärmetauscher aufgeheizt wird. Die Regelung des Kreislaufs wird von zwei Temperaturfühlern übernommen, die im Kollektor und im unteren, kälteren Teil des Speichers angeordnet sind. Liegt die Temperatur der Wärmeträgerflüssigkeit im Kollektor einige Grad höher als diejenige im Speicher, startet die Pumpe, so daß die Wärme an den Speicher abgegeben werden kann. Bei Bedarf kann das warme Wasser dann über den Brauchwasserkreislauf dem Speicher entnommen werden. Zur Gewährleistung einer konstanten Brauchwassertemperatur wird eine konventionelle Nachheizung eingesetzt, die beim Absinken der Temperatur im oberen, warmen Teil des Speichers unter einen bestimmten Schwellwert anspringt und über einen Wärmetauscher das Brauchwasser zusätzlich erwärmt.



Für die Bestimmung der notwendigen Kollektorfläche ist es zunächst erforderlich, den Energiebedarf E_{BW} zur Erwärmung des Brauchwassers zu bestimmen. Er errechnet sich aus dem Produkt des täglichen Warmwasserverbrauchs V , der Anzahl der Verbrauchstage d und der Energiemenge Q , die zur Erwärmung eines Liters Wasser auf ein gewünschtes Temperaturniveau notwendig ist:

$$E_{BW} = V \times d \times Q$$





Der Warmwasserverbrauch hängt stark von den individuellen Gewohnheiten ab und schwankt zwischen ca. 20 und 60 Liter pro Tag und Person. Grundsätzlich sollte versucht werden, den Warmwasserverbrauch zu minimieren. Ein Wannenbad verbraucht bspw. – im Vergleich zum Duschen – ca. 100 Liter mehr. Sinnvoll ist es auch, Wasch- und Geschirrspülmaschinen direkt mit einem Warmwasseranschluß zu betreiben, da hiermit die Energieverluste, die in der Umwandlungskette vom Primärenergieträger (z.B. Kohle) in

Kraftwerken bis zur Umwandlung des Stroms in Wärme beim Endverbraucher entstehen, vermieden werden.

Wenn der Warmwasserverbrauch nicht bekannt ist, kann in den privaten Haushalten von 50 Litern pro Tag und Person ausgegangen werden. Pro Liter Wasser sind rd. 0,05 kWh (einschließlich aller Wärmeverluste) notwendig, um das Wasser auf eine Temperatur von ca. 45 °C zu erwärmen. Der Jahresenergiebedarf bestimmt sich dann für einen Vierpersonenhaushalt zu:

$$E_{\text{BW}} = 4 \times 50 \text{ l/d} \times 365 \text{ d} \times 0,05 \text{ kWh/l} = 3.650 \text{ kWh}$$

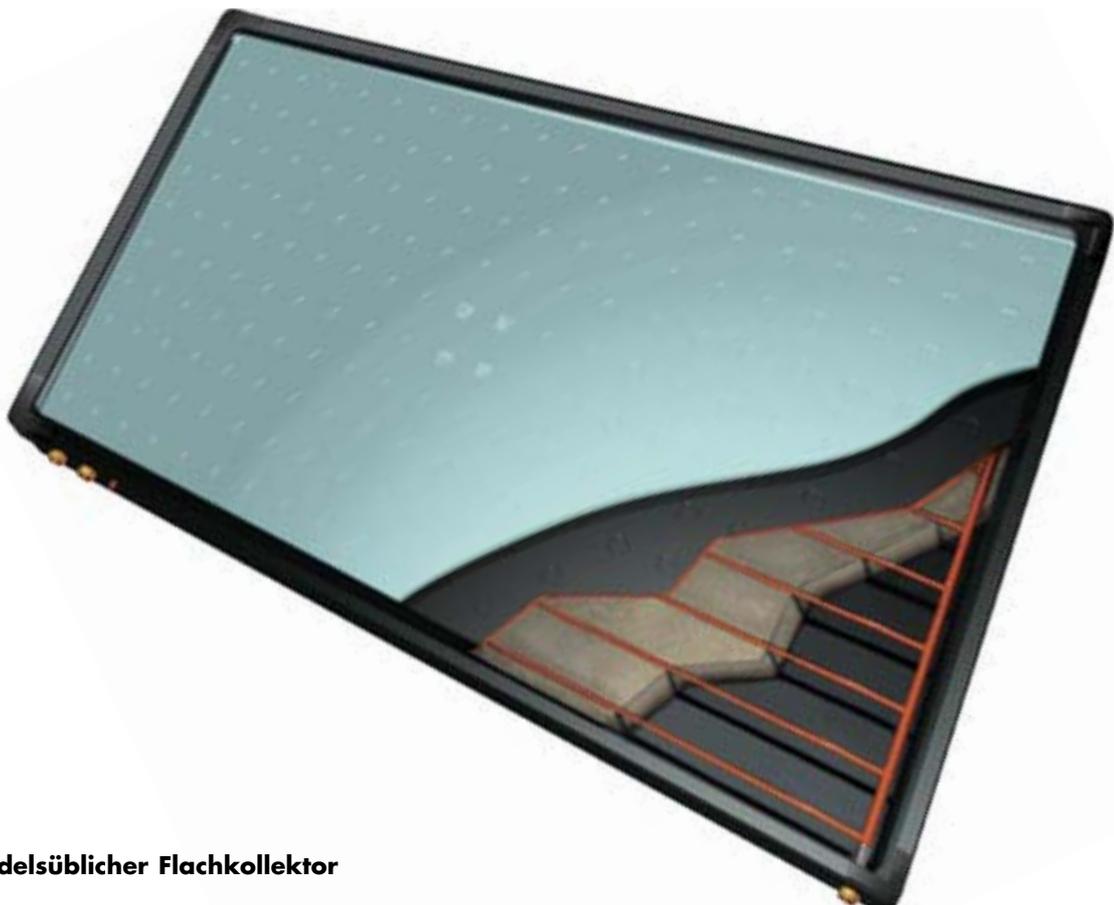
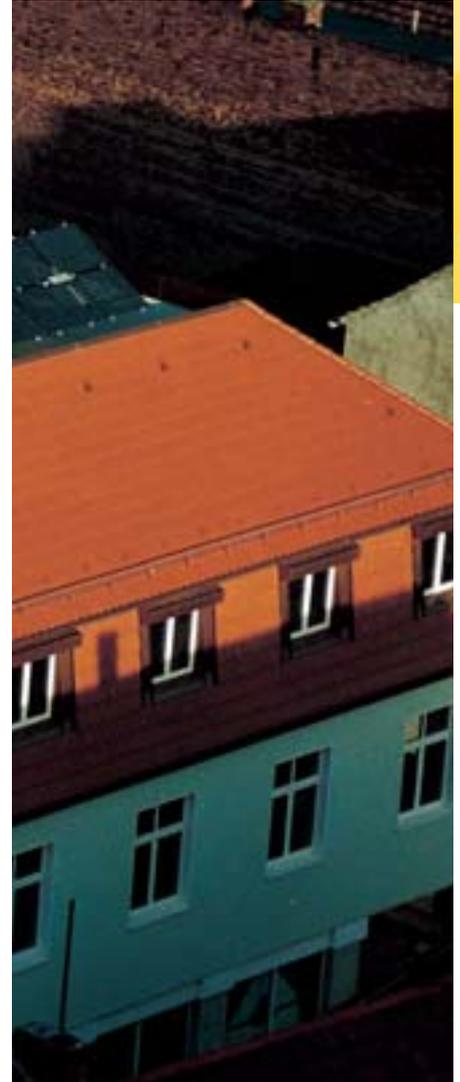


Abb. 35: Handelsüblicher Flachkollektor



Die notwendige Kollektorfläche F kann aus dem Energiebedarf E_{BW} der Jahressumme der Globalstrahlung G_g in der Ebene des Kollektors am gewählten Standort, dem gewünschten Deckungsgrad D sowie dem Jahresnutzungsgrad η der Anlage bestimmt werden. Der Deckungsgrad gibt dabei den Anteil des durch Solarenergie abzudeckenden Wärmebedarfs an, während der Jahresnutzungsgrad den Anteil der nutzbaren Strahlungsenergie an der gesamten von der Fläche empfangenen Strahlung beschreibt.

$$F = \frac{D \times E_{BW}}{\eta \times G_g}$$

Der Jahresnutzungsgrad ist abhängig vom Deckungsgrad, wobei generell gilt, daß mit steigendem Deckungsgrad der Nutzungsgrad sinkt, da mit steigender Kollektorfläche immer mehr überschüssige Wärme im Sommer verloren geht. Der Deckungsgrad nimmt üblicherweise Werte zwischen 50 und 70% an. In diesem Intervall kann der Jahresnutzungsgrad für einen Flachkollektor mit ca. 40% angenommen werden. Für einen Vierpersonenhaushalt ergibt sich nach obiger Formel bei einem Deckungsgrad von $D = 60\%$ die gesuchte Kollektorfläche zu:

$$F = \frac{0,6 \times 3.650 \text{ kWh}}{0,4 \times 1.054 \text{ kWh/m}^2} = 5,2 \text{ m}^2$$

Eine weitere wichtige Auslegungsgröße stellt das Volumen des Brauchwasserspeichers dar. Der Speicher sollte so ausgelegt sein, daß in den Sommermonaten ein bis zwei Tage ohne Sonnenschein zu überbrücken sind. Das Volumen beträgt demnach das ein- bis zweifache des täglichen Warmwasserverbrauchs. In dem gewählten Beispiel ist ein Speichervolumen von 300 Liter angemessen.

Eine monatsweise Berechnung des mit dieser Anlage erzielbaren Deckungsgrads ist mit dem sog. f-Chart-Verfahren möglich, wobei hier neben den Monatssummen der Globalstrahlung, welche in den Karten in Kap. 2 ausgewiesen sind, auch die Monatsmittelwerte der Umgebungstemperatur benötigt werden [5]. Für Nordrhein-Westfalen sind diese im nordrhein-westfälischen Klimaatlas [4] zusammengestellt.

Darüber hinaus sind mittlerweile mehrere Programme zur Auslegung von solarthermischen Anlagen auf dem Markt. Abb. 36 zeigt die nach der f-chart-Methode berechneten monatlich erzielbaren Deckungsgrade für die gewählte Anlagenkonfiguration.

Der Deckungsgrad variiert demnach zwischen etwa 5% im Dezember und 100% in den Monaten Juni bis August.

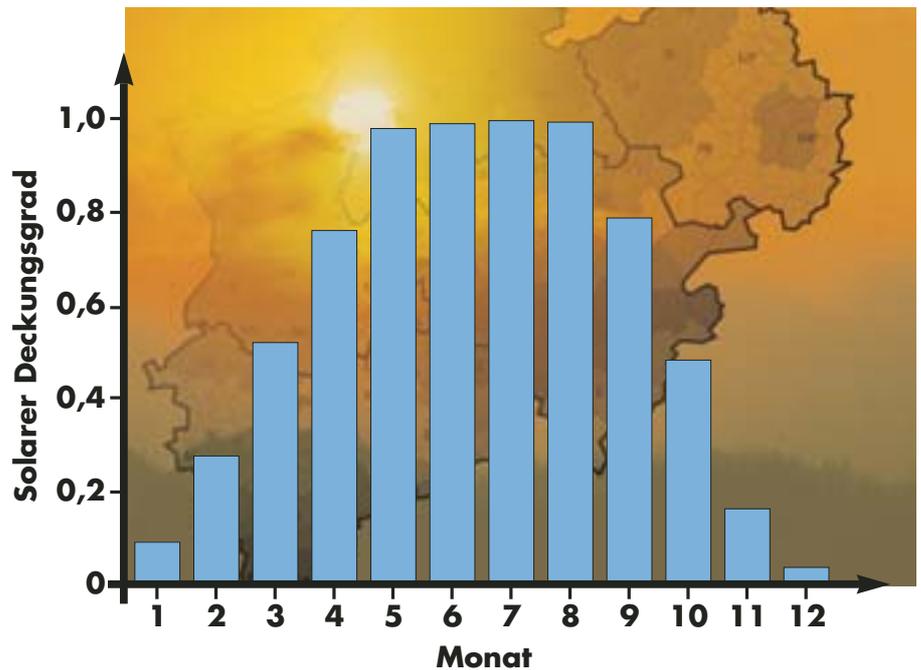


Abb. 36: Mittlere monatliche Deckungsgrade für eine typische solarthermische Anlage zur Brauchwassererwärmung



Die gesamten Investitionskosten (einschließlich Installation) belaufen sich für solare Brauchwasseranlagen derzeit (Stand: Dezember 1997) auf ca. 1.300 bis 2.300 DM/m² [7], d.h für das gewählte Beispiel ergibt sich eine Investitionssumme zwischen ca. 7.000 DM und 12.000 DM. Wenn die Montage in Eigenarbeit erfolgt, kann sich die Investition deutlich verringern. Neben der Förderung aus der REN Breitenförderung des Landes Nordrhein-Westfalen werden in vielen Städten von Energieversorgungsunternehmen und/oder Kommunen Investitionszuschüsse gewährt.

Die spezifischen Wärmekosten für solarthermische Anlagen zur Brauchwassererwärmung liegen etwa zwischen 15 und 30 Pf/kWh (ohne Förderung). Abb. 37 zeigt ein Beispiel einer typischen Kollektoranlage zur Brauchwassererwärmung.



Abb. 37: Beispiele einer dachintegrierten Kollektoranlage



3.2 Schwimmbadwassererwärmung

In der Bundesrepublik Deutschland gibt es ca. 3.800 öffentliche Freibäder, die nahezu alle beheizt sind. Mittlerweile sind in 487 Bädern Solaranlagen mit insgesamt 302.566 m² Absorberkollektorfläche installiert (Stand: 31.12.1997) [6]. Bei Freibädern besteht eine hohe Korrelation zwischen dem Wärmebedarf einerseits und dem solaren Strahlungsangebot andererseits, da die Bäder in der Regel in den Sommermonaten (Mai bis September), also genau in der Zeit hoher solarer Erträge einer Solaranlage geöffnet sind.

Die Temperaturdifferenzen sind in diesem Anwendungsfall sehr niedrig, so daß statt der üblichen Kollektorsysteme unverglaste Absorber zum Einsatz kommen können, welche nicht nur deutlich kostengünstiger sind, sondern wegen der niedrigen Wassertemperaturen ähnlich hohe Erträge wie verglaste Kollektoren erzielen.

Die Solaranlage wird direkt in den Beckenwasserkreislauf hinter der Filteranlage integriert und kommt ohne Speicher aus. Diese Einbindung ermöglicht niedrige Investitionskosten durch eine einfache Installation. In der Regel wird durch die Absorber nur ein Teilstrom erwärmt und anschließend dem Hauptkreis wieder beigemischt. Eine einfache Temperaturregelung sorgt dafür, daß der Absorberkreis abgeschaltet wird, um Verluste durch Wärmeabgabe zu vermeiden, wenn die Sonnenstrahlung zu niedrig ist oder das Beckenwasser bereits so warm ist, daß eine zusätzliche Erwärmung von den Badegästen nicht mehr als angenehm empfunden wird.

Die Einbindung des Duschwassersystems kann sinnvoll sein, wenn diese sehr kostengünstig erfolgt. Das kalte Wasser, das dem heißen Speicherwasser zum Erreichen der gewünschten Duschwassertemperatur beigemischt wird, wird dann von der Absorberanlage vorgewärmt.

Die Dimensionierung der Absorberfläche hängt in erster Linie von der Größe der Beckenoberfläche ab. In der Regel sollte sie das 0,5 bis 0,9-fache der Beckenoberfläche betragen. In den meisten Fällen ist die verfügbare Fläche bereits durch die unverschattete Dachfläche der zugehörigen Gebäude zur Installation vorgegeben.

Für das in Kap. 2.2 gewählte Beispiel am Standort Wuppertal beträgt die solare Einstrahlung in den Monaten der Badesaison (Mai bis September) rund 650 kWh/m². Es kann ein Absorberrnutungsgrad von etwa 40% angenommen werden, so daß sich ein spezifischer Ertrag der Absorber von rund 260 kWh/m² ergibt. Die Abhängigkeit von Ausrichtung und Neigung der genutzten Flächen ist dabei relativ gering, wichtiger sind die Temperaturen des Beckenwassers. Je niedriger diese liegen, um so höher fallen die Erträge aus.

Die Heizenergieersparnis beträgt etwa 300 kWh pro Quadratmeter Absorberfläche und Jahr, sie hängt auch von der Güte der verwendeten Heizungsanlagen ab. Zusätzlich kann die Solaranlage bei der Beckenbefüllung zu Beginn einer Badesaison sehr wirkungsvoll zur Ersterwärmung des kalten Frischwassers genutzt werden.

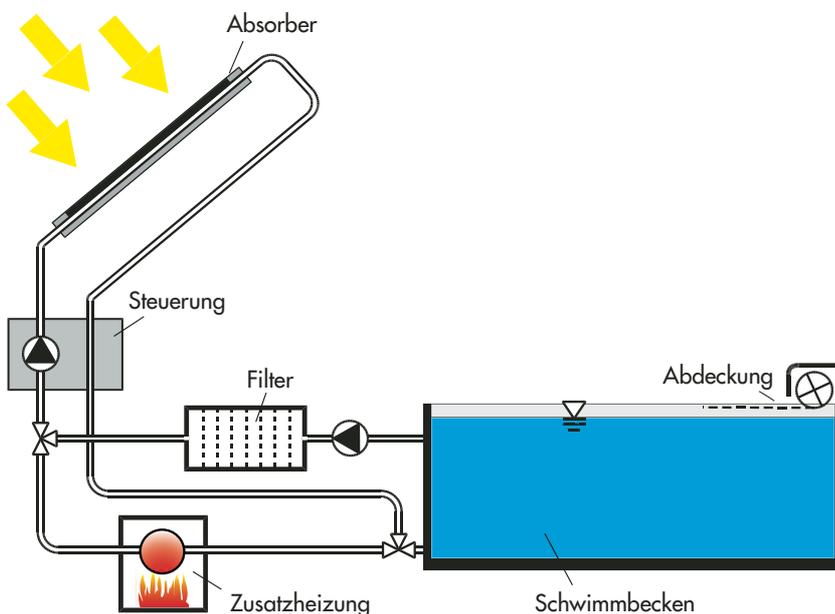


Abb. 38: Prinzipskizze einer solarthermischen Anlage zur Schwimmbadwassererwärmung



Der Heizwärmebedarf eines Freibades liegt bei einer Mindesttemperatur des Beckenwassers von 23 °C in der Größenordnung von 250 - 400 kWh pro Quadratmeter Beckenfläche. Er ist stark vom Mikroklima, d.h. den örtlichen Gegebenheiten abhängig, da zwei Drittel der Wärmeverluste durch Verdunstung entstehen. Die Menge des verdunsteten Wassers hängt dabei vor allem von der Windgeschwindigkeit ab. Auch die Stützttemperatur des Beckenwassers, die sehr oft noch nicht außentemperaturabhängig geregelt wird, spielt eine große Rolle. Schon die Absenkung um ein Grad Celsius kann bis zu 40% Nachheizenergie sparen. Auf eine fossile Nachheizung des Beckenwassers kann bei geringen Einschränkungen im Komfort eventuell ganz verzichtet werden. Diese betreffen nur eine sehr geringe Zahl der Badegäste, da die meisten Besucher ausschließlich an warmen und sonnigen Tagen in die Freibäder kommen.

Eine weitere Möglichkeit zur Verringerung von Wärmeverlusten des Beckens ist die Installation einer Beckenabdeckung, die über Nacht aufgezogen wird und eine Verdunstung von Beckenwasser vermeidet. In den meisten Fällen werden Kunststofffolien oder aufgereichte Kunststoffhohlstäbe verwendet, die auf einer am Beckenrand befindlichen Rolle aufgewickelt werden können. Die erforderliche Nachheizenergiemenge kann so durchaus halbiert werden. Die Nachteile dieser Systeme liegen in den hohen Kosten und möglichen Problemen bei der praktischen Anwendung, z.B. durch ein Verknittern der Folien und Schwierigkeiten beim Ein- und Ausrollen. Voraussetzung für eine vollständige Abdeckung der Beckenoberfläche ist eine rechteckige Beckenform.

Absorberanlagen lassen sich heutzutage bereits für 150 - 200 DM pro Quadratmeter installieren. Alle Hersteller bieten 10 - 15 Jahre Garantie für ihre Absorber [7]. Die Lebensdauer kann mit mindestens 20 Jahren angenommen werden. Aufgrund der geringen spezifischen Kosten stellen Solaranlagen zur Erwärmung von Beckenwasser in Freibädern somit eine der wirtschaftlichsten Anwendungen der Solarthermie dar.

In Hallenbädern lassen sich solche Anlagen ebenfalls nutzen, dort wird jedoch nur rund ein Drittel des Wärmeverbrauchs für die Beckenwassererwärmung aufgewendet. Die Verbrauchsschwerpunkte liegen hier beim Lüftungs- und Transmissionswärmebedarf der Schwimmhalle. Außerdem werden sie ganzjährig betrieben, so daß der solare Wärmeanteil insgesamt unter 20% liegt.



Abb. 39: Beispiel einer solaren Schwimmbadwassererwärmung



Nahwärmenetze lassen sich gerade in Neubaugebieten heute kostengünstig realisieren, sie sind oft mit einem geringeren Investitionsbedarf als ein vergleichbares Erdgasnetz verbunden [8]. Nahwärmenetze ermöglichen nicht nur die Nutzung der Solarthermie, sondern stellen auch eine sehr fortschrittliche und zukunftsweisende Versorgung dar. In der Heizzentrale können verschiedene Techniken der Energiewandlung eingesetzt werden, so daß die Anlagen sehr flexibel und mit hoher Versorgungssicherheit arbeiten können. Eine weitergehende Nutzung erneuerbarer Energieträger ist möglich, z.B. durch den Einsatz von Holzhackschnitzelkesseln oder Biogasanlagen. Durch eine sorgfältige Betrachtung und Optimierung der Verbrauchs- und Versorgungsstruktur des Gesamtsystems (Wärmeschutz der Gebäude einerseits – Solaranlage, Nahwärmenetz und Heizzentrale andererseits) kann hierbei das Ziel eines energie- und umweltschonenden Energiesystems wirkungsvoll verfolgt werden.

Wie hoch der Anteil der Sonnenenergie am notwendigen Bedarf ist, hängt von der Dimensionierung der Kollektorflächen und der Größe des Speichers ab. In den erwähnten Anlagen werden solare Deckungsgrade von knapp 50% erreicht, d.h. beinahe die Hälfte der benötigten Wärmemenge wird durch die Nutzung der Sonnenenergie zur Verfügung gestellt.

Durch die großen Kollektorflächen – es könnten mehrere tausend Quadratmeter erreicht werden – kommt es im Vergleich zu den heute dominierenden Kleinanlagen zu erheblichen Einsparungen bei den spezifischen Investitionskosten. Trotzdem ist zur Zeit eine ausschließlich solar gestützte Nahwärmeversorgung wirtschaftlich noch nicht konkurrenzfähig. In Friedrichshafen wurden aber bereits – ohne Berücksichtigung einer staatlichen Förderung – Kosten für die solaren Anlagenteile (Speicher, Kollektorfeld, Verrohrung) erreicht, die, bezogen auf die installierte Kollektorfläche, lediglich rund 1.100 DM/m² betragen. Damit bleiben sie in diesem Fall unter den spezifischen Kosten, die für eine solarunterstützte Brauchwasseranlage in Einfamilienhäusern anfallen [9].



Bei der Planung solarer Nahwärmesysteme in Neubaugebieten ist es sehr wichtig, daß die verschiedenen Akteure (Planungsämter, Bauträger, Stadtwerke, Architekten, Ingenieure etc.) möglichst frühzeitig zusammenarbeiten. So können die Anforderungen solcher Anlagen, z.B. Ausrichtung und Dachformen der Gebäude, Standort des saisonalen Speichers oder der Verlauf der Nahwärmeleitungen rechtzeitig in den Bebauungsplan einfließen. Die Einbindung der solaren Wärme in die Raumheizung erfordert u.a. einen sehr guten baulichen Wärmeschutz.

Abb. 41: Bau des Betonspeichers eines solarunterstützten Nahwärmesystems in Friedrichshafen (Fassungsvermögen: 12.000 m³)

3.4 Passive Solarenergienutzung in Gebäuden

Unter dem Begriff der „passiven Solarenergienutzung“ wird der Einsatz baulicher Maßnahmen verstanden, mit deren Hilfe die auf ein Gebäude eingestrahlte Solarenergie zur Beheizung verwendet werden kann. Dabei wird weitestgehend auf den Einsatz technischer Einrichtungen verzichtet. Die hauptsächlich durch die Fenster in das Gebäude einfallende Solarenergie wird im Gebäude in Wärme umgewandelt und in den inneren Speichermassen wie z.B. dem Boden und den Innenwänden gespeichert. Als Systeme, die zur intensiven Nutzung passiver solarer Gewinne eingesetzt werden, sind beispielsweise Wintergärten oder die transparente Wärmedämmung (TWD) zu nennen.

Je geringer der Wärmebedarf eines Gebäudes ist, um so bedeutender wird der Beitrag, den die passive Solarenergienutzung zur Deckung dieses Bedarfs leistet. Bei Niedrigenergiehäusern wird ein großer Teil der benötigten Raumwärme durch passive Solarenergienutzung gedeckt. Passivhäuser (Energiekennzahl $\leq 15 \text{ kWh/m}^2\text{a}$) werden so geplant, daß die solaren und internen Wärmegevinne im Normalfall ausreichen, um die Innenraumtemperatur „behaftlich“ zu halten. Nur an sehr kalten Wintertagen mit bedecktem Himmel ist hier eine Zusatzheizung erforderlich.

Die passive Solarenergienutzung kann somit wesentlich zur Verringerung des Heizenergiebedarfs und damit der Heizenergiekosten sowie zur Reduzierung der CO_2 -Emissionen beitragen. Es ist jedoch erforderlich, schon in der Planung des Gebäudes dem sommerlichen Wärmeschutz besondere Aufmerksamkeit zukommen zu lassen, denn die im Winter gewünschten Wärmegevinne sollten im Sommer nicht zu einer Überhitzung des Baukörpers führen. Hier helfen einfache Maßnahmen zur Abschattung der Fenster bei hohen Sonnenständen im Sommer, die vom Architekten geplant werden sollten.

Neben der architektonischen Berücksichtigung der passiven solaren Gewinne stellen diese auch besondere Anforderungen an die Heiztechnik. Durch eine „flinke“ Regelbarkeit sollte sich die Heizungsanlage schnell auf veränderte solare Rahmenbedingungen einstellen können.

Die Wärmeverluste eines Gebäudes entstehen durch den Wärmetransport über die Gebäudehülle (Transmissionswärmeverluste), den direkten Austausch kalter und warmer Luftmassen (Lüftungsverluste) und den Energiegehalt der Abgase des Heizungssystems (Abgasverluste) [10]. Die wirkungsvollste Maßnahme zur Minderung der Transmissionsverluste stellt die Verwendung von Wärmedämmmaterialien in Verbindung mit einer kompakten Bauform (geringes Verhältnis von Gesamtoberfläche zum umschlossenen Bauvolumen) sowie die konsequente Vermeidung von Wärmebrücken dar. Lüftungsverluste sind stark vom Nutzerverhalten abhängig. Die Höhe des notwen-

gen Luftwechsels bemißt sich an den Anforderungen einer hygienisch und bauphysikalisch akzeptablen Luftqualität. Durch den Einsatz von maschinellen Lüftungssystemen besteht die Möglichkeit zur Wärmerückgewinnung aus der Abluft und damit zur Verringerung der Lüftungsverluste. Die Heizungsverluste können durch den Einsatz moderner Techniken (bspw. Brennwerttechnik) minimiert werden.

Eines der bekanntesten Beispiele für passive Solarenergienutzung stellt das in Abb. 42 dargestellte Sonnenhaus des Sokrates dar [11].

Die Ausführung dieses Hauses zeigt einige Prinzipien der passiven Solarenergienutzung. Grundsätzlich ist ein hoher Energieeintrag im Winter erwünscht, während im Sommer ein Schutz vor Überhitzung des Gebäudeinneren vorhanden sein muß. In dem Beispiel wird eine übermäßige Sonneneinstrahlung im Sommer

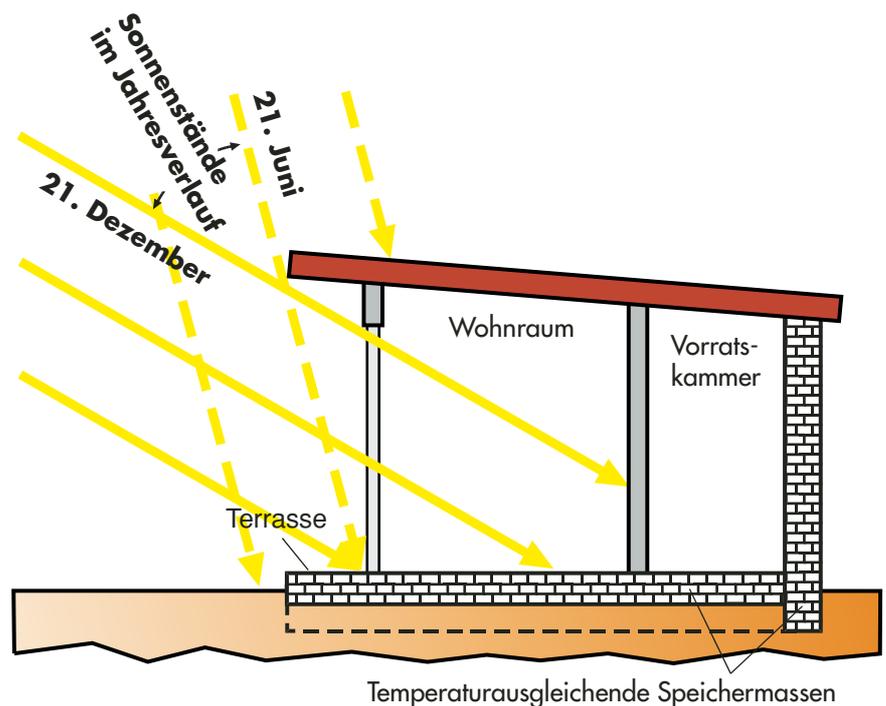


Abb. 42: Prinzip der passiven Solarenergienutzung am Beispiel des Hauses von Sokrates, [11]



bei höheren Sonnenständen durch einen Dachüberstand verhindert. Im Winter kann bei niedrigem Sonnenstand ein großer Teil der solaren Strahlung zur Erwärmung des Gebäudes genutzt werden. Dieses einfache und zuverlässige Bauelement hat aber auch den Nachteil, daß keine Feinregelung möglich ist. Der Vorratsraum auf der Nordseite wirkt als thermischer Puffer gegen die kalte Umgebung. Die temperaturgerechte Nutzung der Räume (sog. „Zonierung“) ist ein wichtiges Mittel der passiven Solarenergienutzung. Die massiven Wände und der Steinboden wirken als temperatenausgleichende Speichermassen.

Die Kenntnis des Sonnenstands bildet wie in diesem Beispiel eine Voraussetzung zur Gestaltung von Gebäuden im Rahmen der Solararchitektur. Mit Hilfe eines Sonnenstandsdiagramms kann die Sonnenhöhe über dem Horizont und der Sonnenazimut, d.h. die Ausrichtung der Sonne in Abhängigkeit der Jahres- und Tageszeit ermittelt werden. Abb. 43 zeigt für den Standort Wuppertal ein Sonnenstandsdiagramm.

Anhand der Schnittpunkte der bogenförmig von Ost nach West verlaufenden Tageskurven mit den für jede volle Stunde dargestellten schleifenförmigen Stundenkurven lassen sich über das verwendete polare Koordinatensystem die Höhe und Ausrichtung der Sonne ablesen. So geht aus Abb. 43 bspw. hervor, daß der Höchststand zur Sommersonnenwende am 21. Juni rd. 62° beträgt, während zur Wintersonnenwende (21. Dez.) die Sonne mittags nur rd. 15° über dem Horizont steht. Mit dem Programm „Sun-Orb“ (Ruhr-Universität Bochum, NES) läßt sich der Sonnenstand auch bezüglich beliebig geneigter Flächen ermitteln. Hierdurch wird u.a. die Bestimmung der maximal möglichen Bestrahlungsdauer, bspw. von Fassaden ermöglicht.

Die Höhe der solaren Einstrahlung auf verschieden orientierte Fassaden läßt sich leicht durch das in Kap. 2.2 dargestellte Verfahren ermitteln. So beträgt diese am Standort Wuppertal für das Winterhalbjahr (Oktober bis März) für eine südliche Fassade rd. 300 kWh/m^2 , für eine westliche oder östliche Fassade rd. 145 kWh/m^2 und für eine Nordwand rd. 80 kWh/m^2 . Diese Werte liegen durchaus in der Größenordnung der Verlustwärmeströme eines Gebäudes. Die tatsächlichen solaren Energiegewinne lassen sich jedoch nur durch Einbeziehung der Materialeigenschaften der Wände und Fenster ermitteln. Die NESA-Planungssoftware, entwickelt im Rahmen eines von der AG Solar NRW geförderten Forschungsvorhabens und herausgegeben von der Energieagentur NRW, ermöglicht die Bestimmung des Heizwärmebedarfs unter Berücksichtigung der solaren Gewinne für beliebige Gebäudegeometrien und -materialien anhand der in Kap. 2.1 dargestellten solaren Strahlungsverteilung für Nordrhein-Westfalen.

Im folgenden werden einige wichtige bauliche Elemente in bezug auf ihre Eigenschaften zur passiven Solarenergienutzung behandelt.

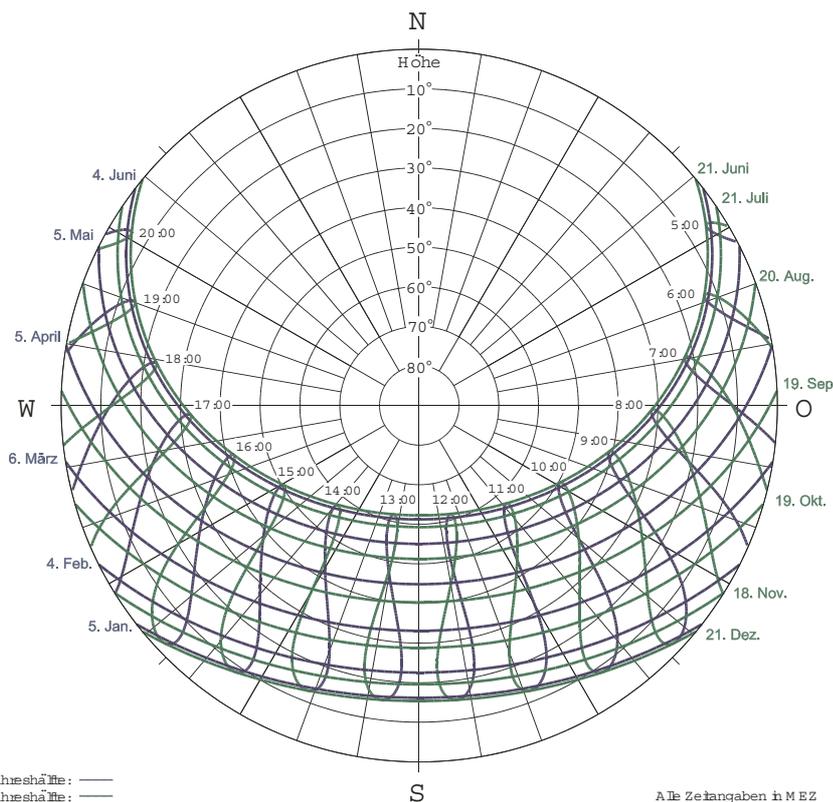


Abb. 43: Sonnenstandsdiagramm für eine horizontale Fläche in Wuppertal



Fenster

Eine der wichtigsten Komponenten der passiven Solarenergienutzung für Gebäude stellen Fenster dar. Anhand der Abb. 29 und Abb. 31 kann eine erste Beurteilung von Fensterflächen an unterschiedlich orientierten Fassaden erfolgen. Im Sommerhalbjahr (April-September) unterscheidet sich der Flächenfaktor für Ost- oder Westfassaden mit rd. 0,6 nur um etwa 0,1 von demjenigen für Südfassaden (rd. 0,7). Im Winterhalbjahr (Oktober-März) hingegen ist diese Differenz mit rd. 0,65 deutlich höher. Ein hoher Fensterflächenanteil an Ost- oder Westfassaden bedeutet folglich, daß im Sommer ein im Vergleich zu Südfassaden ähnlich aufwendiger Überhitzungsschutz vorhanden sein muß, obwohl im Winter nur vergleichs-

weise geringe Solarenergiegewinne erzielt werden können. Südfassaden eignen sich daher besser zur Belegung mit höheren Fensterflächenanteilen. Gegenüber einer gut wärme gedämmten Wand stellen sie aber auch hier eine Ursache für höhere Wärmeverluste dar. Der optimale Fensterflächenanteil kann sich daher nur aus einer Bilanz der Wärmegewinne und -verluste ergeben. Das Optimum wird je nach den spezifischen Randbedingungen bei einem Fensterflächenanteil zwischen ca. 25% und 50% erzielt. Hierbei sollten thermisch hochwertige Fenster (Mehrfachverglasung, evtl. auch mit selektiver Beschichtung) eingesetzt werden. Die sommerliche Überhitzung kann bspw. durch Rollos, Markisen etc. aber auch durch bauliche Elemente (Dachvorstand) vermieden werden.

Glasvorbauten (Wintergärten)

Lange Zeit galten Wintergärten als Inbegriff der passiven Solarenergienutzung. Durch Glasvorbauten werden einerseits die Transmissionsverluste verringert und andererseits die solaren Gewinne erhöht, wenn die durch Sonneneinstrahlung erwärmte Luft in einem kontrollierten Austausch mit der Luft des Kernhauses steht. Der Heizwärmebedarf kann jedoch nur dann verringert werden, wenn auf eine zusätzliche Beheizung des Wintergartens verzichtet wird und bei geringen Außentemperaturen der Wintergarten nicht über geöffnete Türen zum Wohnraum mitbeheizt wird. Gegenüber der Wirkung von Fenstern in einer Südfassade können Wintergärten in der Regel keine wesentlich erhöhte Verminderung des Heizwärmebedarfs erzielen, sind aber mit einem höheren finanziellen Aufwand verbunden. Ihr Nutzen ist im wesentlichen in der temporären, naturnahen Erweiterung des Wohnraums zu sehen.



Abb. 44: Einfamilienhaus mit Wintergarten in einer ökologischen Wohnsiedlung in Bielefeld.



Hypokausten

Hypokausten sind Hohlwände oder -decken, die Wärmeenergie aus Luftkollektoren, die auf dem Dach installiert sind, über kurze Zeit (einige Stunden bis wenige Tage) zwischenspeichern können. Durch die bessere Abstimmung von Wärmebedarf und -angebot kann hierdurch die Nutzbarkeit der Sonnenwärme erhöht werden. Ein Hypokausten-Fußboden besteht aus gemauerten Luftkanälen, die nach oben bzw. unten mit Dämmstoffen isoliert sind. Durch die Isolation wird die solare Wärme zeitlich verzögert an den Wohnraum abgegeben.

Transparente Wärmedämmung

Unter transparenter Wärmedämmung (TWD) werden Materialien verstanden, die durch eine Vielzahl von kleinen Luftkammern gute Dämmeigenschaften erreichen und zusätzlich lichtdurchlässig sind. Die Wärmedämmschicht wird von außen auf die Wände aufgebracht. Die solare Strahlung gelangt nur wenig abgeschwächt durch die transparente Wärmedämmschicht zur Wandfläche und wird dort absorbiert. Die Dämmeigenschaften des Materials bewirken, daß nur ein geringer Teil des Wärmestroms nach außen gelangt. Der größere Teil des Wärmestroms dringt durch das Mauerwerk nach innen und kann somit zur Raumwärmeversorgung beitragen. Während im Winter dieser Effekt erwünscht ist, führt die Nutzung transparenter Wärmedämmmaterialien im Sommer zu einer unerwünschten Überhitzung, die durch entsprechende Abschattungseinrichtungen verhindert werden muß. Die bisher be-

kannten Systeme sind daher noch relativ teuer. Transparente Wärmedämmung eignet sich auch zum Einsatz bei der Gebäudesanierung.

In allen Fällen erfordert die passive Solarenergienutzung als Bestandteil energiesparenden Bauens eine intensive Zusammenarbeit von Architekten, Bauherren und Fachplanern, um die energetischen Ziele frühzeitig in das Gesamtkonzept integrieren zu können.

Unter dem Aspekt der Wirtschaftlichkeit sind Wärmedämmmaßnahmen (s. Abb. 45) und Wärmerückgewinnung oft einer besonderen baulichen Nutzung der Sonnenenergie vorzuziehen, wobei auch die indirekte Nutzung der Sonnenenergie, bspw. durch Wärmepumpen oder Erdwärmetauscher zu berücksichtigen ist. Im Vergleich zur aktiven Nutzung der solaren Einstrahlung durch photovoltaische Anlagen und solarthermische Kollektoren sind viele Maßnahmen der passiven Solarenergienutzung kostengünstiger.

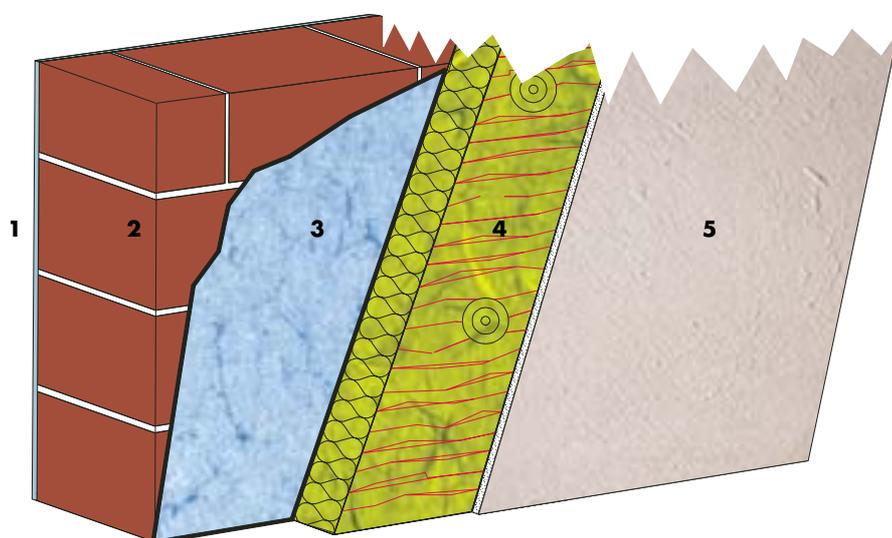
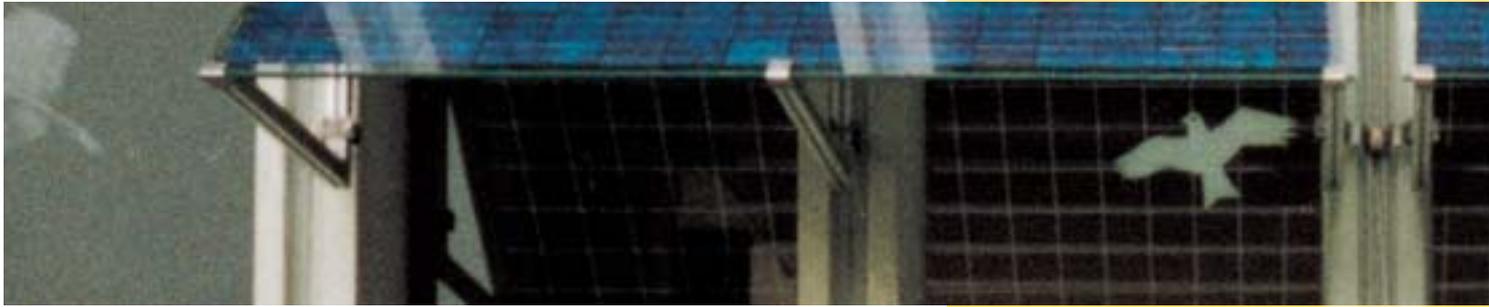


Abb. 45: Aufbau einer Thermohaut

- 1: vorhandener Innenputz**
- 2: vorhandenes Mauerwerk**
- 3: alter Außenputz, gegebenenfalls defekte Teile abschlagen und beispachteln; die Fläche sollte gerade sein**
- 4: „Thermohaut“ aus Dämmplatten (z.B. Mineralfaser, Holzweichfaser) mit dem Untergrund verklebt und verdübelt**
- 5: Außenputz, bestehend aus Unterputz mit Gewebeamierung und Deckputz**



3.5 Stromerzeugung durch Photovoltaikanlagen

Mit dem Begriff „Photovoltaik“ („Lichtelektrizität“) wird die direkte Umwandlung der solaren Einstrahlung in elektrische Energie bezeichnet. Die Entdeckung des „photovoltaischen Effekts“ geht auf Alexander Bequerel zurück, der 1839 feststellte, daß in bestimmten elektrochemischen Konfigurationen ein Teil der Sonneneinstrahlung in elektrische Energie umgewandelt werden kann. Erst 1954 wurde dann in den Bell Laboratories (USA) die erste Solarzelle aus Silizium hergestellt. Solarzellen bestehen aus einer dünnen Halbleiterfläche mit einer positiv und einer negativ leitenden Schicht. Auf Vorder- und Rückseite sind Metallkontakte angebracht. Zwischen beiden Schichten bildet sich ein inneres elektrisches Feld (sog. „Raumladungszone“). Fällt Licht auf die Solarzelle, werden durch die

einfallenden Photonen Elektronen aus der Kristallgitterstruktur gelöst und an den Kontakten abgegriffen. Die Spannung der Solarzellen liegt bei ca. 0,5 Volt. Durch Serienschaltung mehrerer Zellen lassen sich höhere Spannungswerte erzielen.

Die Solarzellen werden weltweit zu rd. 80% aus kristallinem Silizium gefertigt. Hierbei wird entweder mono- oder polykristallines Material verwendet. Bei der Herstellung von monokristallinem Silizium wird ein Einkristall aus der Schmelze gezogen, abgekühlt und in Scheiben zersägt, während polykristallines Silizium im Blockguß hergestellt wird und folglich aus vielen kristallinen Bezirken besteht. Das monokristalline Material mit einem Zellenwirkungsgrad von etwa 16 bis 19% ist in der Lage mehr Sonnenenergie in elektrischen Strom umzuwandeln als polykristalline Zellen mit einem Wirkungsgrad von 12 bis 14%. Diesem Vorteil steht ein aufwendiger Herstellungsprozess gegen-

über, der zu Mehrkosten führt. Bei der Mehrzahl der installierten Anlagen werden Solarzellen aus polykristallinem Silizium eingesetzt.

Neben den beschriebenen Solarzellentypen gibt es auch sogenannte „amorphe“ Solarzellen. Sie werden durch Aufdampfen von Silizium in gasförmiger Form auf Folie oder Glas hergestellt. Bei dieser Produktionsart bilden sich keine kristallinen Bereiche, die Struktur ist amorph. Die Zellen weisen einen niedrigen Wirkungsgrad von etwa 8% auf, so daß sie sich trotz kostengünstiger Produktion bei großflächigem Einsatz bisher nicht etablieren konnten. Amorphe Zellen haben aber im Kleingerätebereich einen Nischenmarkt besetzen können. Solar betriebene Taschenrechner und Uhren sind bspw. durchweg mit amorphen Zellen bestückt.

Photovoltaikanlagen können entweder als Inselssystem oder netzgekoppelt betrieben werden. Beide Versorgungsvarianten werden im folgenden kurz skizziert.

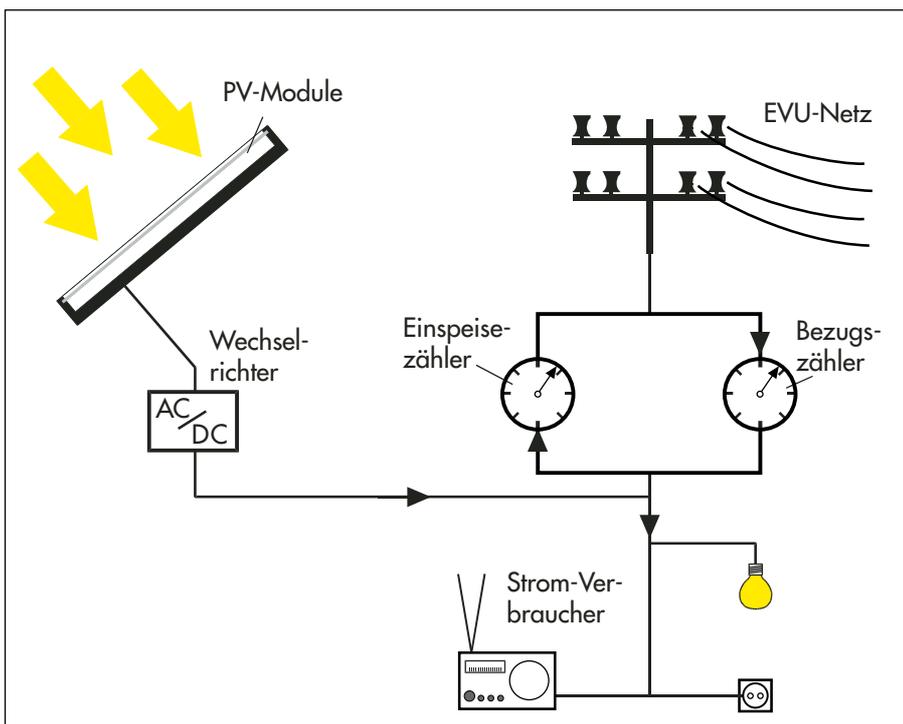
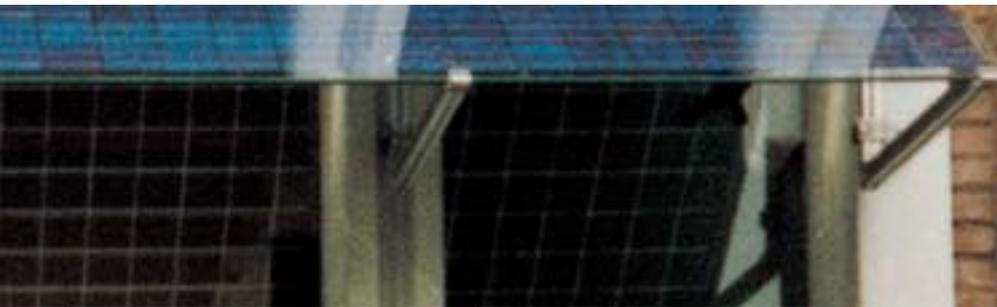


Abb. 46: Prinzipskizze einer Photovoltaikanlage im Netzparallelbetrieb



Netzgekoppelte Anlagen

Das Kernstück einer netzgekoppelten Photovoltaikanlage (s. Abb. 46), wie sie typischer Weise in den privaten Haushalten eingesetzt wird, bildet der PV-Generator, welcher aus einem oder mehreren Solarmodulen besteht. Diese setzen sich aus der Verschaltung einer Vielzahl von Solarzellen zu Strängen (sog. „strings“) zusammen.

Der im PV-Generator erzeugte Gleichstrom wird im Wechselrichter in Wechselstrom mit einer Spannung von 230 V transformiert. Bei Bedarf wird der Strom im Haushalt sofort verbraucht. Liegt der momentane Strombedarf höher als das Angebot aus der Photovoltaikanlage, wird aus dem Netz zusätzlich Ener-

gie bezogen. Im umgekehrten Fall wird überschüssiger Strom ins Netz eingespeist. Die eingespeiste oder bezogene Strommenge wird über zwei Zähler, die mit einer Rücklaufsperr versehen sind, gemessen. Der eingespeiste Strom wird nach dem Stromeinspeisegesetz von dem jeweiligen Energieversorgungsunternehmen mit derzeit 16,79 Pf/kWh (1998) bzw. im Rahmen der kostendeckenden Einspeisevergütung in einigen Städten und Gemeinden mit bis zu 2 DM/kWh vergütet.

Die Leistung einer Photovoltaikanlage wird in „kW_p“ (sog. „Peakleistung“) angegeben. Dies entspricht der Leistung der Anlage unter Standardtestbedingungen, d.h. bei einer Einstrahlung von 1.000 W/m² in Modulebene, einer Umgebungstemperatur von 25 °C und eine Sonnenhöhe von rd. 42° über dem Horizont.



Abb. 47: Aufgeständerte Photovoltaikanlage an einer Schulfassade in Düren (Leistung: 1 kW_p)



Da Photovoltaikanlagen noch zu den teureren Möglichkeiten der Stromerzeugung zählen, sollte vor der Installation zunächst eine Überprüfung aller Stromersparmöglichkeiten erfolgen. Anders als bei den solarthermischen Anlagen ist bei photovoltaischen Anlagen eine einhundertprozentige Deckung des Verbrauchs möglich, sofern die Anlage netzgekoppelt betrieben wird. Das öffentliche Versorgungsnetz dient in diesem Fall als Pufferspeicher, da das zeitliche Stromangebot und der Stromverbrauch in erheblichem Maße differieren.

Der durchschnittliche Jahresstromverbrauch aller im Rahmen des 1000-Dächer-Programms (durch dieses Förderprogramm wurden in der Bundesrepublik Deutschland insgesamt 2.250 Photovoltaikanlagen gefördert) ausgewerteten Haushalte betrug 1996 rd. 4.800 kWh [12].

Die Modulfläche F der Photovoltaikanlagen kann überschlägig aus der Jahressumme der Globalstrahlung G_g in der Modulebene am gewählten Standort, dem gewünschten Deckungsgrad D , dem Stromverbrauch E_S und dem Jahresnutzungsgrad η bestimmt werden:

$$F = \frac{D \times E_S}{\eta \times G_g}$$

Der Jahresnutzungsgrad η gibt dabei das über das Jahr gemittelte Verhältnis aus solarer Einstrahlung und Stromertrag der Anlage an. Hierbei sind sämtliche Verluste einschließlich derjenigen des Wechselrichters berücksichtigt. Durchschnittliche Jahresnutzungsgrade liegen für Anlagen unter Verwendung von polykristallinem Silizium zwischen 9 und 11%. Bei einem gewünschten Deckungsgrad von 25%, d.h. einem Viertel des Jahresstromverbrauchs, ergibt sich eine Fläche von:

$$F = \frac{0,25 \times 4.800 \text{ kWh}}{0,10 \times 1.054 \text{ kWh}} = 11,4 \text{ m}^2$$

Der monatliche Anlagenertrag kann durch Multiplikation der Monatssummen der Globalstrahlung mit dem in erster Näherung konstant anzusetzenden Jahresnutzungsgrad und der Modulfläche ermittelt werden.



Abb. 48: Photovoltaikanlage in Greven (Leistung 2 kW_p)



Inselsysteme

Im Gegensatz zu netzgekoppelten Photovoltaikanlagen müssen Inselsysteme über eine geeignete Speichermöglichkeit verfügen. Abb. 49 zeigt die Komponenten und den Aufbau einer netzunabhängigen Photovoltaikanlage.

Der durch die PV-Module erzeugte Strom wird bei Bedarf sofort an die Verbraucher weitergegeben oder im Falle eines Überangebots in einer Batterie gespeichert. Hierbei werden vorwiegend Bleibatterien, Nickel-Cadmium-Akkus oder auch Nickel-Hydrid-Akkus eingesetzt. Für kleinere Systeme können darüber hinaus auch spezielle Kondensatoren verwendet werden. Die Aufgabe des Ladereglers ist es, die Batterie vor ungünstigen Betriebszuständen wie Über- und Tiefentladung zu schützen. Da vom PV-Generator Gleichstrom geliefert wird, ist es sinnvoll, die zusätzlichen Verluste eines Wechselrichters zu vermeiden und Geräte mit

Gleichspannung zu betreiben. Hierzu ist lediglich ein DC/DC-Wandler notwendig, der die Spannung des PV-Generators an diejenige des Verbrauchers anpaßt. Ein typischer Anwendungsfall für diese Anlagenkonfiguration stellen Parkscheinautomaten dar, die bereits in vielen Orten über Solarzellen in Verbindung mit einer Batterie betrieben werden.

Der Einsatz eines Wechselrichters kann jedoch auch bei Inselsystemen, z.B. bei der Elektrizitätsversorgung abgelegener Berghütten sinnvoll sein, da damit der Anschluß vieler handelsüblicher elektrischer Geräte ermöglicht wird.

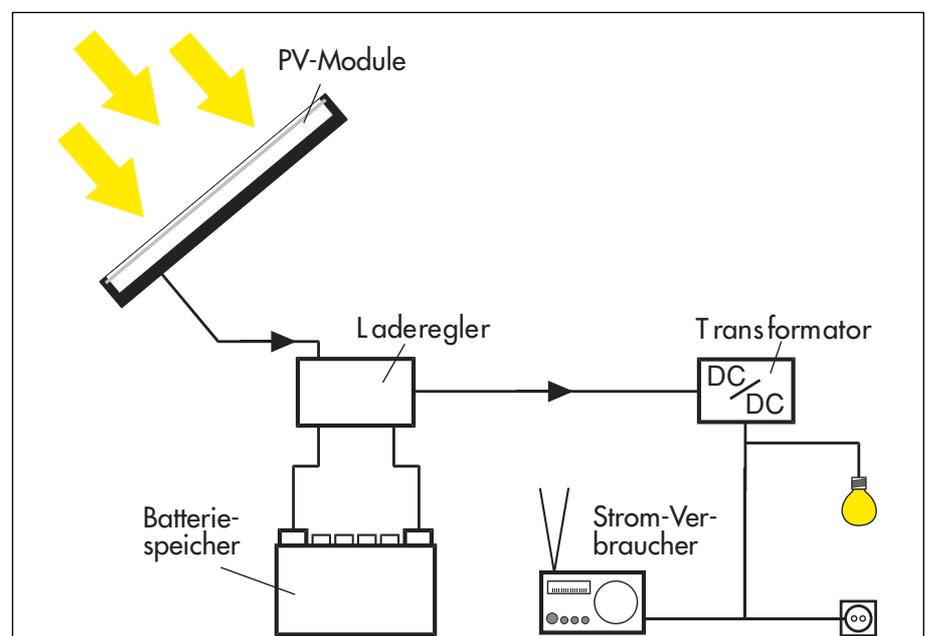


Abb. 49: Prinzipskizze und Komponenten einer netzunabhängigen Photovoltaikanlage



4 Planungshinweise

Nur eine sorgfältige Auslegung und Planung solartechnischer Anlagen führt zu einem reibungslosen Betrieb und hohen Solarenergieerträgen. Die im folgenden aufgeführten Planungshinweise bieten hierfür erste nützliche Informationen.



4.1 Genehmigung solartechnischer Anlagen

Da das Bauordnungsrecht teilweise in der Zuständigkeit der Bundesländer liegt, sind je nach Bundesland unterschiedliche Regelungen gültig. In der Landesbauordnung von Nordrhein-Westfalen wird grundsätzlich zur Fragestellung der Baugenehmigung ausgeführt (§65 Abs. (1) 44): „Die Errichtung oder Änderung folgender baulicher Anlagen ... bedarf keiner Baugenehmigung: ... Solarenergieanlagen auf oder an Gebäuden oder als untergeordnete Nebenanlagen ...“. Ergänzend heißt es (§65 Abs. (2) 2): „Keiner Baugenehmigung bedürfen ferner ... die Änderung der äußeren Gestaltung durch ... Solaranlagen ...“ [13]. Trotz dieser Genehmigungsfreistellung können sich aus örtlichen Bauvorschriften Anforderungen ergeben, die im Einzelfall beim örtlichen Bauordnungsamt zu erfragen sind. Unabhängig von der Aussage der Landesbauordnung sind die materiellen Vorschriften des Baurechts – wie bspw. die Standsicherheit – einzuhalten. Die Installation solartechnischer Anlagen an denkmalgeschützten Häusern erfordert eine Genehmigung nach dem Denkmalschutzgesetz.

4.2 Kollektoreinbau

Die PV-Module oder solarthermischen Kollektoren können auf unterschiedlichen Arten an vorhandenen Flächen angebracht werden. Grundsätzlich wird zwischen der Auf-Dach-Montage, der In-Dach-Montage sowie der Flachdach-Montage und Freiland-Aufstellung unterschieden.

Bei der Auf-Dach-Montage bleibt die vorhandene Dacheindeckung erhalten. Die Module oder Kollektoren werden parallel zur Dacheindeckung mit hierfür geeigneten Montagewinkeln oder -profilen befestigt. Bei Photovoltaikanlagen wird durch den Abstand zwischen Dach und PV-Modulen gleichzeitig für eine Hinterlüftung gesorgt, die aufgrund des sinkenden Wirkungsgrads bei steigender Zellentemperatur erwünscht ist. Die Kollektoren oder Module stellen bei dieser Installationsart eine Zusatzlast für die Dachkonstruktion dar. Ein statischer Nachweis ist daher erforderlich.

Bei der In-Dach-Montage ersetzen die Kollektoren oder PV-Module einen Teil der Dacheindeckung. Diese Einbautart ist zwar architektonisch ansprechender, sie ist bei nachträglicher Bestückung eines Dachs aber auch aufwendiger. Bei solarthermischen Kollektoren erfolgt der Einbau mit Hilfe von Eindeckrahmen. Zur Anpassung an die vorhandene Dacheindeckung wird in der Regel Bleiband eingesetzt. Alle Anschlußleitungen werden in den Zwischenräumen der Dachsparren verlegt. Durch die Übertragung der Schutzfunktion des Hausdachs auf PV-Module können bei Neubauten die vermiedenen Kosten der konventionellen Dacheindeckung angerechnet werden. Mittlerweile sind hierfür spezielle PV-Dachziegel auf dem Markt. An Gebäudefassaden werden PV-Module darüber hinaus auch aus gestalterischen Gründen verwendet.



Auf Freiflächen oder Flachdächern werden solartechnische Anlagen aufgeständert. Hierzu werden Stützkonstruktionen verwendet. Durch die unter Umständen hohe Windlast und die zusätzliche Dachlast ist unbedingt ein statischer Nachweis erforderlich. Die Aufstellung von netzgekoppelten Photovoltaikanlagen sollte möglichst mit einer Neigung von rd. 35° in südlicher Richtung erfolgen, da hiermit im Mittel die höchsten Jahressummen der solaren Einstrahlung empfangen werden können (s. Abb. 33). Bei solarthermischen Kollektoren zur Brauchwassererwärmung sollte die Neigung zwischen 40° und 50° liegen, damit die Gewinne im Winter erhöht und die Überschüsse im Sommer reduziert werden. Bei solaren Nahwärmesystemen kann der „optimale“ Neigungswinkel nur durch Simulationsberechnungen unter Berücksichtigung des voraussichtlichen Lastgangs errechnet werden. Um eine Ertragsminderung durch gegenseitige Abschattung der Kollektor- bzw. Modulreihen zu verhindern, sollte der Abstand A zwischen den Reihen in etwa dem Zweieinhalb- bis Dreifachen der Seitenlänge L einer Reihe entsprechen (s. Abb. 50).

4.3 Netzanbindung von Photovoltaikanlagen

Die Errichtung einer netzgekoppelten Photovoltaikanlage („Netzparallelbetrieb“) erfordert eine Anmeldung beim zuständigen Energieversorgungsunternehmen (EVU). Hierbei geht es um die Abstimmung der Belange zwischen dem Anlagenerrichter und dem EVU. Im wesentlichen wird der Schutz vor Rückspannung, das Vermeiden von unzulässigen Netzurückwirkungen und die Zählung des eingespeisten Stroms geregelt. Die Anforderungen sind in der „Richtlinie für den Parallelbetrieb von Eigenerzeugungsanlagen mit dem Niederspannungsnetz des Elektrizitätsversorgungsunternehmens“ dokumentiert [14]. Der Bauherr selbst braucht sich dabei nicht um die technischen Einzelheiten zu kümmern. Für die Anmeldung ist vielmehr der beauftragte Elektroinstallateur bzw. das beauftragte Unternehmen zuständig. Folgende Unterlagen sind bei der Anmeldung notwendig [15]:

- Lageplan, aus dem die Grundstücksgrenzen und der Aufstellungsort hervorgehen,
- Übersichtsschaltplan der gesamten elektrischen Anlage einschließlich der Nenndaten der eingesetzten Betriebsmittel,
- Beschreibung der vorgesehenen Schutzeinrichtungen mit genauen Angaben über Art, Fabrikat, Schaltung und Funktion,
- Beschreibung der Art und Betriebsweise des Wechselrichters sowie der Art der Zuschaltung zum Netz.

Die sicherheitstechnischen Belange umfassen dabei den Überstrom-, den Berührungs-, den Blitz- und den Brandschutz. Vor der Inbetriebnahme der Anlage ist es sinnvoll zu prüfen, welche Versicherungen im Schadensfall zuständig sind, bzw. ob der Abschluß einer eigenen Versicherung (bspw. Elektronik-Versicherung) angebracht ist.

Der Betreiber der Anlage schließt mit dem zuständigen EVU über die Stromvergütung einen Einspeisevertrag ab.

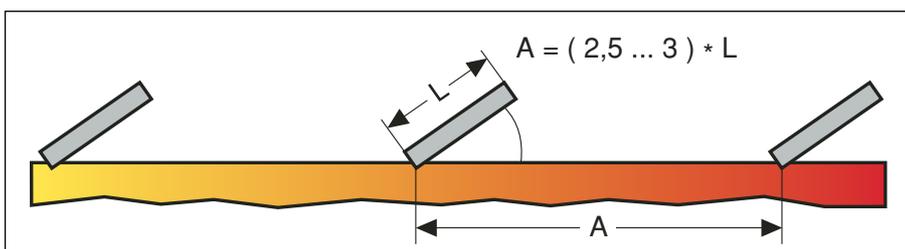


Abb. 50: Skizze zur Installation mehrerer Modulreihen



5 Anhang

5.1 Literaturhinweise

- [1] Schulze, R.W., Strahlenklima der Erde, Dr. Dietrich Steinkopf Verlag, Darmstadt, 1970
- [2] Palz, W., Greif, J. European Solar Radiation Atlas, Springer-Verlag, Berlin/Heidelberg/New York, 1996
- [3] Skiba, M., Ein Verfahren zur Standortevaluation energetischer Nutzungsmöglichkeiten der solaren Einstrahlung, VDI Fortschritt-Berichte, Reihe 6, Nr. 375, VDI-Verlag GmbH, Düsseldorf, 1997
- [4] Minister für Umwelt, Raumordnung und Landwirtschaft des Landes Nordrhein-Westfalen, Klimaatlas von Nordrhein-Westfalen, Düsseldorf, 1989
- [5] Khartchenko, N.V., Thermische Solaranlagen, Springer-Verlag, Berlin/Heidelberg/New York, 1995
- [6] Zentralstelle für Solartechnik (ZfS), Kollektor- und Absorberanlagen zur Schwimmbaderwärmung in öffentlichen Bädern in Deutschland, Stand Dezember 1997, Hilden, 1997
- [7] Schüle, R., Ufheil, M., Neumann, C., Thermische Solaranlagen – Marktübersicht, Ökobuch Verlag, Staufen bei Freiburg, September 1997
- [8] Witt, J., Nahwärme in Neubaugebieten, Öko-Institut Verlag, Freiburg, 1995
- [9] Kübler, R., Der Bau des großen Speichers in Friedrichshafen, Sonnenenergie & Wärmetechnik, Nr. 4, S. 22-25, 1997
- [10] Verordnung über einen energiesparenden Wärmeschutz bei Gebäuden - WärmeschutzV '95, Bundesgesetzblatt Teil I, ausgegeben zu Bonn am 24. August 1994
- [11] Heidt, F. D., Energiesparendes Bauen und Modernisieren, in: Der Energieberater, - Handbuch für rationelle und umweltfreundliche Energienutzung unter Berücksichtigung der Nutzung erneuerbarer Energien, 7. Erg.-Lfg., Forum für Zukunftsenergien e.V., Deutscher Wirtschaftsdienst, Köln, Juli 1995
- [12] Fraunhofer Institut für Solare Energiesysteme (Fhg-ISE), 1000-Dächer Meß- und Auswerteprogramm – Jahresjournal 1996, Fhg-ISE, Freiburg, 1997
- [13] Landesregierung von Nordrhein-Westfalen, Bauordnung für das Land Nordrhein-Westfalen vom 7. März 1995, Gesetz- und Verordnungsblatt für das Land Nordrhein-Westfalen, 49. Jhrg., Nr. 29, S. 217-246
- [14] Vereinigung Deutscher Elektrizitätswerke – VDEW – e.V., Richtlinie für den Parallelbetrieb von Eigenerzeugungsanlagen mit dem Niederspannungsnetz des Elektrizitätsversorgungsunternehmens (EVU), VWEW, 1996
- [15] Hotopp, R., Private Photovoltaik-Stromerzeugungsanlagen im Netzparallelbetrieb, RWE Energie AG, Essen, 1990





5.2 Weiterführende Literatur

Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg, Solar- und Windenergieatlas Baden-Württemberg, Karlsruhe, Dezember 1994

Bayerisches Staatsministerium für Wirtschaft und Verkehr, Bayerischer Solar- und Windatlas, Bayerisches Staatsministerium für Wirtschaft und Verkehr, München, 1997

Fachinformationszentrum Karlsruhe, Forum für Zukunftsenergien e.V., Förderfibel Energie, Deutscher Wirtschaftsdienst, Köln, September 1997

RWE Energie AG, Bereich Anwendungstechnik, RWE Energie Bauhandbuch, 11. Auflage, Energie-Verlag GmbH, Heidelberg, 1997

Goetzberger, A., Wittwer, V., Sonnenenergie – Thermische Nutzung, Verlag B.G. Teubner, Stuttgart, 1993

Wismeth, W. (Hrsg.), Photovoltaik Handbuch, GWU Solar- und Energiesparsysteme, Nürnberg, 1991

Heidt, F. D. (Hrsg.), Bestandsaufnahme zur Niedrigenergie- und Solararchitektur, VDI Fortschritt-Berichte, Reihe 4, Nr. 139, VDI-Verlag GmbH, Düsseldorf 1997

Leuchtnner, J., Preiser, K., Photovoltaikanlagen – Marktübersicht 1994/95, Öko-Institut e.V., Freiburg, 1994

Landesinitiative Zukunftsenergien, Branchenatlas Zukunftsenergien NRW, Düsseldorf, Juni 1997/März 1998

Umweltforum e.V. (Hrsg), Niedrigenergiehäuser – Planung, Kosten, Technik, Umweltforum Bau e.V., Karlsruhe, 1997

Winter, C.-J., Sonnenenergie nutzen – Technik, Wirtschaft, Umwelt, Klima, VDE-Verlag GmbH, Berlin, 1997

Treberspurg, M., Neues Bauen mit der Sonne, Springer-Verlag Wien/New York, 1994

Marko, A., Braun, P., Thermische Sonnenenergienutzung an Gebäuden, Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York, 1997

Meliß, H., Regenerative Energiequellen, Berlin/Heidelberg/New York, August 1997

Quaschnig, V., Regenerative Energiesysteme
Technologie – Berechnung – Simulation, Carl Hanser Verlag, München, 1998



5.3 Sonstiges

Datengrundlage für Adressen und Fördermöglichkeiten

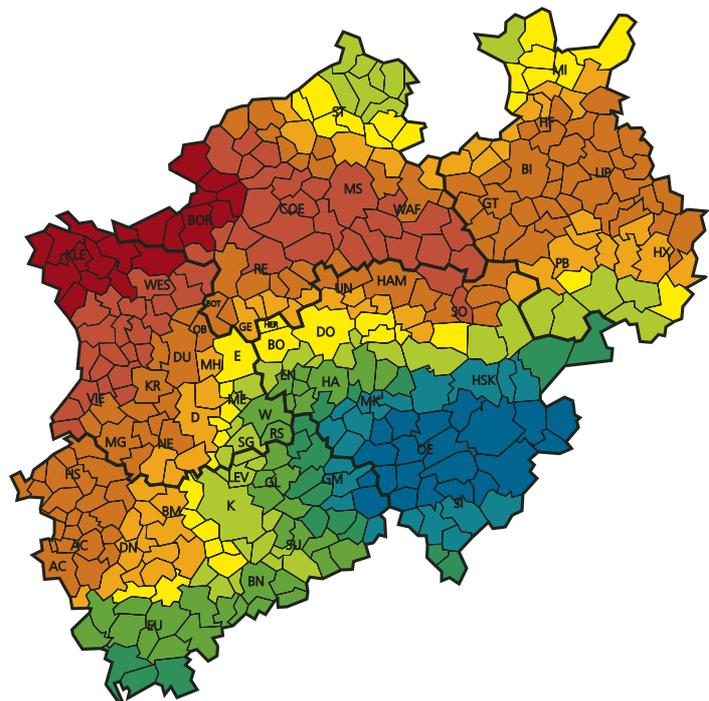
1. Energieagentur NRW, Förderübersicht 1998, Wuppertal 1998.
2. Landesinitiative Zukunftsenergien, Branchenatlas Zukunftsenergien NRW, Düsseldorf, März 1998.
3. Fachinformationszentrum Karlsruhe, BINE – Marktführer-Adreßhandbuch Erneuerbare Energiequellen – Rationelle Energieverwendung, Verlag C.F. Müller, Karlsruhe, Mai 1998.
4. Informationszentrale der Elektrizitätswirtschaft (IZE), Presse Taschenbuch Energiewirtschaft 96/97, BEMA Buchvertrieb, Seefeld, 1997.
5. Fachinformationszentrum Karlsruhe, Forum für Zukunftsenergien e.V., Förderfibel Energie, Deutscher Wirtschaftsdienst, Köln, September 1997.
6. Verbraucherzentrale NRW, Düsseldorf.
7. Solarenergie-Förderverein e.V., Aachen.

Datengrundlage für Karten

Deutscher Wetterdienst, Nutzung mit Genehmigung vom 17.11.1997

Bildnachweis

abakus GmbH:	Abb. 47, Abb. 48
Bomin Solar GmbH:	Abb. 39
BHW-Bausparkasse:	Abb. 44
S. Borchers, Herne:	Bild S. 6 oben, Bild S. 55 oben, Bild S. 60 oben, Bild S. 60 unten, Bild S. 61 oben
MUTZ, Berlin:	Abb. 2, Bild S. 8 oben, Bild S. 8 unten, Bild S. 10 oben, Bild S. 44 oben, Bild S. 46 oben, Bild S. 47 oben, Bild S. 50 oben, Bild S. 59 oben
pro av, Leinfeld-Echterdingen:	Abb. 41
SOLARWATT Solar-Systeme GmbH, Dresden:	Bild S. 5 oben, Bild S. 52 oben
Stiebel Eltron GmbH & Co. KG:	Bild S. 47 oben
Buderus Heiz- technik GmbH:	Abb. 35



Diese Publikation wurde von der Energieagentur NRW herausgegeben. Konzipiert und bearbeitet hat sie Dr.-Ing. Martin Skiba (Ruhr-Universität Bochum, Lehrstuhl für Nukleare und Neue Energiesysteme, Prof. Dr.-Ing. H. Unger, Universitätsstr. 150, 44780 Bochum) unter Mitarbeit von Dipl.-Ing. Bernd Eikmeier und Christian Baresch. Dr. Skiba erstellte auch die verwandten Karten und Diagramme.

Diese Publikation einschließlich des gesamten Kartenmaterials ist urheberrechtlich geschützt. Eine Verwertung außerhalb der Grenzen des Urheberrechts ist ohne die Zustimmung der Energieagentur NRW unzulässig.

Die Energieagentur NRW wurde als neutrale und unabhängige Landeseinrichtung gegründet. Ihr Auftrag lautet, Unternehmen sowie Städten und Gemeinden Hilfestellung zur ökonomischeren Energieverwendung und zum Einsatz unerschöpflicher Energiequellen zu geben – einerseits durch Beratung, andererseits durch Wissensvermittlung.

Impressum

©ENERGIEAGENTUR NRW
REN Impuls-Programm „Bau und Energie“
Morianstraße 32
42103 Wuppertal
Tel.: 02 02 / 2 45 52-0
Fax: 02 02 / 2 45 52-30
Internet: <http://www.ea-nrw.de>
E-Mail: Energieagentur.NRW@ea-nrw.de