

2. Grundlagen

2.1. Meteorologische Bedingungen

2.1.1. Grundgrößen

Das Verhalten energetischer Verbraucher und zum Teil auch der Erzeuger ist stark von den meteorologischen Bedingungen abhängig.

Wichtigste Einflußgröße ist die **Temperatur**. Je niedriger diese im Winter, desto höher ist der Heizwärmebedarf. Entsprechend steigt im Sommer der Kühlungsbedarf. Beeinflußt werden die Verluste von Energieverteilungssystemen. Bei Erzeugern gibt es eine Reihe temperatursensibler Anlagen, vor allem Wärmepumpen, aber auch Solaranlagen, deren Effektivität mit sinkender Außentemperatur nachläßt.

Die **Strahlung** bewirkt im Winter eine Verringerung des Heizwärmebedarfs und im Sommer eine Erhöhung des Kühlungsbedarfs. Beide Effekte können durch die Gestaltung der Gebäude und der Nebeneinrichtungen variiert werden. Dominierend ist die Strahlung für die Wirksamkeit von Solaranlagen.

Windgeschwindigkeit und **Windrichtung** beeinflussten in der Vergangenheit stark den Lüftungswärmebedarf. Heute ist durch den Einbau dichter Fenster der Heizwärmeverbrauch weitestgehend von diesen Größen entkoppelt worden.

In bestimmten Gebäuden muß die Raumluft zeitweise befeuchtet werden, so daß sich ein Befeuchtungswärmebedarf einstellt, der von der **Außenluftfeuchte** abhängt. Sehr viel wichtiger ist die damit gekoppelte Größe Feuchtkugeltemperatur, die bei Einsatz von Naßkühltürmen direkt auf den Energieverbrauch von Kältemaschinen einwirkt.

2.1.2. Klimazonen

Bedingt durch die Kugelgestalt der Erde ergeben sich unterschiedliche Strahlungseinfälle und damit unterschiedliche Klimate. Weitere Einflußfaktoren sind die Land-Wasser-Verteilung, die Gebirgslage sowie Meeres- und Luftströmungen. Das Klima ist der wesentlichste Einflußfaktor für Nutzungssinn und -möglichkeit der Sonnenenergie. Im allgemeinen werden folgende Klimazonen unterschieden:

Äquatorialklima liegt nur in einem schmalen Bereich um den Äquator vor. Die wichtigsten Gebiete sind das Amazonasbecken, Zaire sowie Indonesien. Es ist ganzjährig warm und feucht. Soweit noch nicht zerstört, wird die Vegetation durch tropischen Regenwald geprägt. Die Sonnenenergie kann in eingeschränktem Maße für Kälte- und Warmwasserbereitung genutzt werden. Der Himmel ist relativ häufig bewölkt. Die betroffenen Gebiete sind dünn besiedelt und arm.

Im **tropischen Wechselklima** wechselt sich eine heiße Trockenzeit mit einer warmen Regenzeit ab. Reicht das tropische Wechselklima so wie in Nordindien über die Wendekreise hinaus, kann es auch einen relativ kühlen Abschnitt des Jahres geben. Die wichtigsten Gebiete sind neben Venezuela, Zentralbrasilien und Mittelafrrika vor allem Indien und Hinterindien. Die Vegetation wird durch Savannen und Regenwald geprägt. Die Gebiete sind zum Teil sehr dicht besiedelt und intensiv landwirtschaftlich genutzt. Es werden hohe Erträge erzielt. Die Sonnenenergienutzung wird wie im Äquatorialklima durch häufige Bewölkung einge- schränkt.

Im **Passatklima** wechseln im Jahr warme und heiße Abschnitte einander ab, wobei es in den meisten Gebieten ganzjährig trocken ist. Dies trifft vor allem auf die Sahara, Namibia und den größten Teil Australiens zu. Einige Gebiete unterliegen feuchten Luftströmungen, die zu stark beregneten Küstenstreifen und mäßig trockenen Binnengebieten führt. Vor allem Südbrasilien und die australische Ostküste repräsentieren diesen Klimauntertyp. Die Vegetation tritt im Passatklima als Dornsavanne, Wüste oder Halbwüste auf.

Das Passatklima wird von sehr hohen Einstrahlungsintensitäten geprägt. Die Sonnenenergienutzung wird durch die zum Teil sehr geringe Besiedlungsdichte eingeschränkt. Des weiteren sind einzelne Länder dieser Klimazone sehr reich an fossilen Energieträgern, was die Sonnenenergienutzung dort als nicht sinnvoll erscheinen läßt. Die Passatklimazone ist in Zukunft für die Errichtung solarthermischer Kraftwerke prädestiniert.

In der **subtropischen Klimazone** wechseln sich heiße, trockene Sommer mit milden, niederschlagsreichen Wintern ab. Die wichtigsten Repräsentanten sind der Mittelmeerraum, die Südstaaten der USA und der Norden Argentinien. Südostchina gehört ebenfalls zu dieser Klimazone, allerdings ist es dort ganzjährig feucht. Im Gegensatz dazu sind einige ungünstig gelegene Gebiete auch sehr trocken, wie zum Beispiel der Süden Kaliforniens oder die Zentraltürkei.

Die Bedingungen für die Sonnenenergienutzung sind zumeist sehr günstig. Zu dieser Zone gehören bereits einige sehr wohlhabende Länder. Vor allem in Israel und Südjapan wird Sonnenenergie sehr intensiv genutzt. Verwendungszweck ist vor allem die Warmwasserbereitung. Ein großes Potential bietet die Klimatisierung. Im subtropischen Klima müssen als erste der bisher genannten Klimazonen auch Vorkehrungen für die Gebäudebeheizung getroffen werden. Die Installation von Fernheiznetzen mit saisonaler Sonnenenergiespeicherung erscheint aufgrund des geringen Jahresheizwärmebedarfs aber nicht sinnvoll.

Zur **gemäßigten Klimazone** gehören fast ausschließlich Industriestaaten mit zum Teil sehr hohem Wohlstand und Energieverbrauch. Zu dieser Zone gehört der größte Teil Nordamerikas, Europas und Nordasiens. Sie wird durch kühle Winter mit mittleren Niederschlagsmengen und warme Sommer mit etwas höheren Niederschlägen geprägt. Einige Gebiete sind sehr weit von den Weltmeeren entfernt, wodurch sich große jahreszeitliche Temperaturunterschiede und abnehmende Niederschlagsmengen ergeben. Man spricht vom Kontinentalklima. Dieses stellt sich in Nordamerika bereits in etwa 150 km Entfernung vom Atlantik ein, in Eurasien jedoch erst in etwa 1500 km Entfernung. Allerdings sind die Entfernungen größer, so daß zur gemäßigten Klimazone hier auch echte Wüstengebiete, wie in Mittelasien angehören.

Zusätzlich wird das Klima Europas sehr stark vom Golfstrom beeinflusst. Die Temperaturen sind deutlich höher als in Gebieten Amerikas gleicher geographischer Breite. So reicht die gemäßigte Klimazone in Skandinavien bis zum 70. Breitengrad, in Ostkanada jedoch nur bis 53 ° nördlicher Breite.

Die Bedingungen für die Sonnenenergienutzung sind relativ ungünstig. Die Gewährleistung der Frostfreiheit und die Absicherung eines hinreichenden Wirkungsgrades auch bei niedrigeren Temperaturen macht die Solaranlagen kompliziert und teuer. Zudem ist der Heizwärmebedarf besonders wesentlich, der aber aufgrund geringer Einstrahlungen im Winter nicht direkt abgedeckt werden kann. Vor allem im See- und Übergangsklima sind Schlechtwetterlagen im Winter derart häufig, daß zumindest im Dezember oft keine Solarenergie gewonnen werden kann. Die Bedingungen sind bei kontinentalerem Klima günstiger. Besonders augenfällig ist dies in Amerika, wo zum Aspekt geringerer Trübung und Bewölkung noch die insgesamt südlichere Lage der Klimazone hinzukommt. Trotzdem kann nur eine Zusatzheizung ermöglicht werden, oder es wird eine sehr aufwendige saisonale Speicherung vorgesehen. Der Einsatz zur Klimatisierung ist aufgrund des relativ geringen Bedarfs gegenwärtig kaum sinnvoll. Klassische Anwendungen sind die Warmwasserbereitung und die Schwimmbad-Wassererwärmung.

Aufgrund des insgesamt hohen spezifischen Energiebedarfs der betreffenden Länder und der beträchtlichen finanziellen Mittel ist in dieser Zone eine intensive Sonnenenergienutzung aber unverzichtbar und auch realisierbar.

An die gemäßigte Klimazone schließt sich das **Polarklima** an. Die betreffenden Gebiete sind sehr dünn besiedelt. Die Einstrahlungen sind schlecht. Die gesamte Zone kommt für die Sonnenenergie nicht in Betracht.

Eine Sonderstellung nimmt das **Hochgebietsklima** ein. Es handelt sich hierbei um Hochländer, die sich derart aus dem Umland herausheben, daß sich ein vollkommen anderes Klima einstellt. Es tritt nur im Bereich Himalaja-Tibet und in der Kordillere Amerikas auf. Der Klimaverlauf ähnelt dem Umland, aber auf deutlich niedrigerem Temperaturniveau. In einigen Gebieten ist es zudem sehr trocken. Sie stellen die strahlungsreichsten Orte der Erde dar. Die unwirtlichen Bedingungen und die geringe Besiedlung beschränken die Sonnenenergienutzung auf Sonderanwendungen.

In Tabelle 2 und Bild 1 wird die Einstrahlungssituation einiger Orte auf der Nordhalbkugel verdeutlicht. Würde es keine Atmosphäre geben, läge die Einstrahlung im relevanten Bereich zwischen Äquator und 60. Breitengrad zwischen 2000 und 3600 kWh/m²a, also ein Verhältnis von 1:1,8.

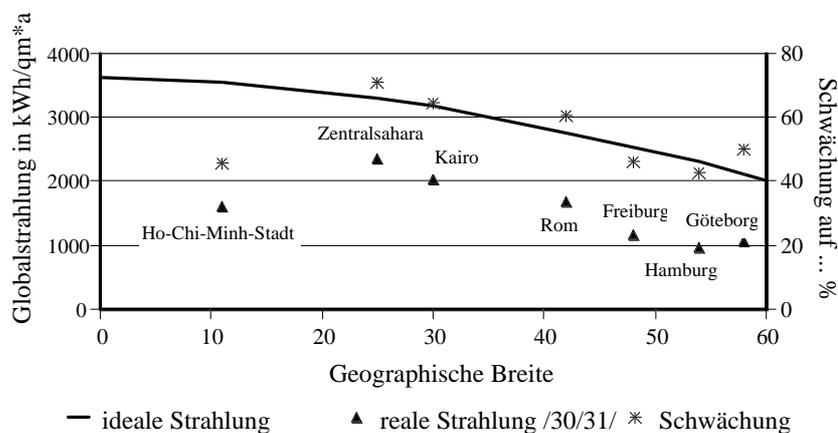


Bild 1: Abhängigkeit der Strahlung von Breite und Klima

Tabelle 2: Einstrahlung als Funktion von Breite und Klima

Ort	Breite	Klima	ideale Strahlung	reale Strahlg.	Schwächung auf
	° n. B.		kWh/m ² a		%
Göteborg	58	gemäßigte	2.112	1.060	50,2
Hamburg	54	Klimazone	2.300	980	42,6
Freiburg	48		2.533	1.170	46,2
Rom	42	subtropisch	2.767	1.680	60,7
Kairo	30	Passat- klima	3.169	2.040	64,4
Zentralsahara	25		3.303	2.350	71,1
Ho-Chi-Minh-Stadt	11	tropisch	3.560	1.620	45,5
Äquator	0	äquatorial	3.629		

Die Atmosphäre führt zu einer Schwächung der Strahlung, die sehr stark von den speziellen Bedingungen der Klimazone abhängt. Die Strahlung wird auf 72 bis 43 % des Idealwertes vermindert. Hohe Schwächungen treten im tropischen und im gemäßigten Klima auf. Die Situation ist in den Subtropen günstiger und am besten im Passatklima. Die reale Strahlung liegt zwischen 980 und 2350 kWh/m²a, womit ein Verhältnis von 2,4 vorliegt.

Innerhalb Deutschlands und seiner Nachbarländer ist die Situation in Nordwestdeutschland am schlechtesten und im Oberrheingraben am günstigsten. Aufgrund häufigerer Hochdruckwetterlagen sind die Einstrahlungen in Südschweden ebenfalls relativ hoch. Das kontinentalere Klima führt in den neuen Bundesländern zu einer besseren Einstrahlung. Dies betrifft vorrangig den Winter, da dieser trockener als in Westdeutschland ist.

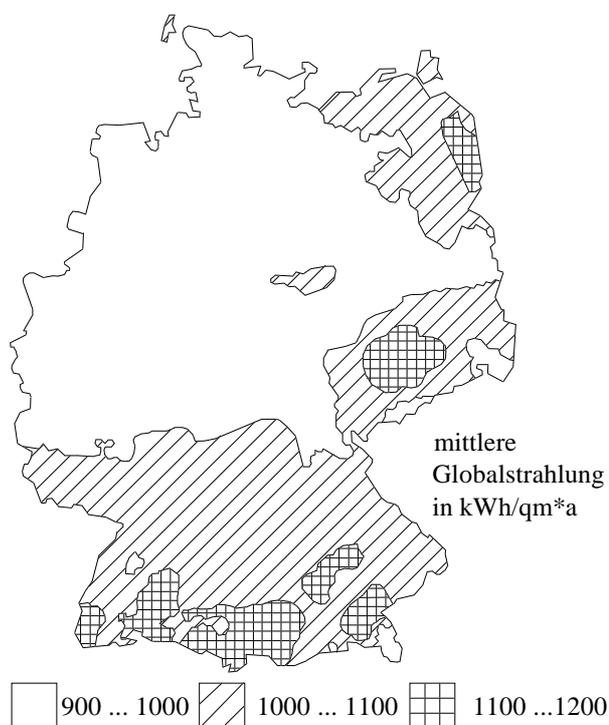


Bild 2: Karte der Solarstrahlung in Deutschland /32/

2.1.3. Lang- und mittelfristige Klimaentwicklung

Seit 100 Millionen Jahren wird das Klima der Nordhalbkugel der Erde durch einen ständigen Wechsel von Eis- und Warmzeiten geprägt. Die Ursachen sind noch nicht vollständig geklärt, es wurde jedoch eine gute Korrelation mit der CO₂-Konzentration der Atmosphäre festgestellt. Gegenwärtig leben wir in einer Zwischenwarmzeit, die seit etwa 10000 Jahren anhält. In dieser Zeit war das Klima außergewöhnlich stabil, wie schon seit einigen Millionen Jahren nicht mehr. Ohne das Wirken des Menschen wäre mittelfristig mit dem Ende der Zwischenwarmzeit zu rechnen /8/.

Die Industrialisierung bewirkte allerdings eine merkliche Erhöhung der CO_2 -Konzentration der Atmosphäre, die zu einer Erhöhung der Temperatur führt. Die Jahresmitteltemperatur ist bisher nur gering angestiegen. Entscheidend aus Sicht des Wärmeingenieurs ist allerdings die Temperatur im Winter. Für die Auslegung von Heizungsanlagen werden gegenwärtig Daten aus dem Zeitraum von 1950-1970 herangezogen.

Seit dieser Zeit sind die Winter deutlich milder geworden. In Bild 3 ist die Entwicklung der Gradtagszahlen seit 1951 aufgetragen /33/. Wie aus der Regressionsgerade entnehmbar ist, sank sie um etwa 4,5 Kd/a je Jahr ab. Dies sollte bei Entscheidungen über Energieanlagen berücksichtigt werden.

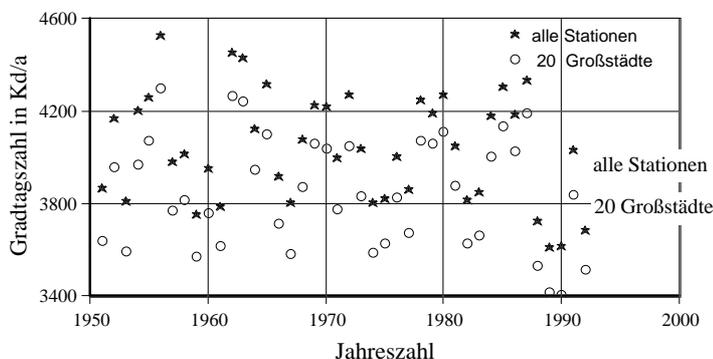


Bild 3: Kurzfristige Entwicklung der Gradtagszahl

Neben den Durchschnittswerten aller 173 deutschen Stationen, die unter 750 m NN liegen, sind noch einmal 20 Großstädte herausgegriffen. Diese wurden nicht anhand der Größe gewählt, sondern im Hinblick auf eine gleichmäßige Verteilung über das gesamte Bundesgebiet. Es zeigt sich, daß die Gradtagszahl etwa 5 % unter dem Gesamtdurchschnittswert liegt. Die Durchschnittswerte der vergangenen 40 Jahre betragen für alle Stationen 4045 Kd/a und für die Großstädte 3850 Kd/a.

Wichtig für die Sonnenenergienutzung ist, daß mit der Erwärmung der Erde die Verdunstung zunimmt. Es ist dann mit stärkerer Bewölkung und einer Abnahme der Einstrahlung zu rechnen. Eine quantitative Abschätzung ist nicht möglich. In Mitteleuropa ist aufgrund eines Stillstandes des Golfstroms auch eine Abkühlung mit paralleler Strahlungszunahme möglich.

2.1.4. Datenbereitstellung

Um Simulationen mit TRNSYS oder vergleichbaren Programmen durchführen zu können, müssen Wetterdaten im Bereich der Dichte der Simulationsschrittweite verfügbar sein. Für Ganzjahressimulationen sind Stundenschritte sinnvoll, die nach drei Methoden bereitgestellt werden können.

Aus monatlichen Mittelwerten können mittels **Wetterdatengeneration** Stundenwerte erzeugt werden. Das mathematische Verfahren beruht auf statistisch-stochastischen Berechnungsalgorithmen. In TRNSYS ist ein entsprechendes Unterprogramm implementiert. In erster Näherung sind die berechneten Daten befriedigend. Der Wetterdatengenerator berechnet allerdings beständig eine zu hohe Direktstrahlung. Deshalb wird auch der Gültigkeitsbereich verlassen, wenn tatsächlich hohe Direktstrahlungen vorliegen - ein Effekt der besonders die Wintermonate mit ihren zeitweise sehr niedrigen Trübungsfaktoren betrifft. Die Ergebnisse speziell für die Wetterdaten von Dresden sind nicht brauchbar /34/.

Es können die **Wetterdaten konkreter Jahre** verwendet werden. Diese entstammen entweder eigenen Messungen oder werden Publikationen entnommen. Der Bezug vom Deutschen Wetterdienst ist zu kostenaufwendig. In der DDR wurden zeitweilig komplette Datensätze im meteorologischen Jahrbuch veröffentlicht. Es wurde ein solcher Satz, konkret die Wetterdaten aus Wahnsdorf aus dem Jahre 1954 /35/ in eine durch TRNSYS-lesbare Datei übertragen. Des weiteren liegen die Daten aus den Messungen in Oederan (siehe Kapitel 4) vor.

Konkrete Jahre haben den Vorteil, daß die Solaranlagen unter weitestgehend realen Bedingungen simuliert werden können. Allerdings ist ein konkretes Jahr nicht repräsentativ für die gesamte Lebensdauer der Solaranlage. Jedes Jahr weist Besonderheiten auf, deren Einfluß schwer abgeschätzt werden kann.

Um die Rechnung mit repräsentativen Wetterdaten zu ermöglichen, wurden **Testreferenzjahre** (BRD: TRY ; USA: TMY) entwickelt. Diese werden aus typischen Großwetterlagen und Wettersingularitäten zusammengesetzt. Die Monatsmittelwerte entsprechen den langjährigen Mittelwerten. Testreferenzjahre liegen bisher nur für die alten Bundesländer vor. Diese wurden in zwölf Zonen mit eigenem TRY unterteilt. Der Bezug eines solchen Datensatzes ist kostenpflichtig, je nach Umfang des Datensatzes bis zu 2000 DM. Ausgewählte Forschungseinrichtungen können, sofern die beabsichtigten Untersuchungen von öffentlichem Interesse sind, einen Teil der Kosten erlassen bekommen. Der Bezug US-amerikanischer Testreferenzjahre ist kostenlos.

2.1.5. Die Eigenschaften der verwendeten Wetterdateien

Wie bereits in Kap. 2.1.4 erwähnt, wurden aufgrund der für die neuen Bundesländer noch nicht vorliegenden Testreferenzjahre die 1954 in der Station Wahnsdorf gewonnenen Meßwerte /35/ in eine Datei übertragen. Sie sind Grundlage der in dieser Arbeit enthaltenen Ergebnisse und sollen im folgenden vorgestellt werden:

Tabelle 3: Meteorologische Hauptgrößen

	I_{glob} kWh/m ² d	Ant. dir. %	t_m °C
Januar	0,9	30	-4,8
Februar	1,8	49	-5,2
März	2,5	46	4,6
April	3,9	61	5,6
Mai	5,2	59	12,8
Juni	5,6	53	17,7
Juli	3,5	34	15,1
August	4,3	45	17,3
September	3,0	43	14,8
Oktober	2,6	58	10,7
November	1,3	58	11
Dezember	0,7	46	3,2
Jahr	1082 kWh/m ² a	49	8,6

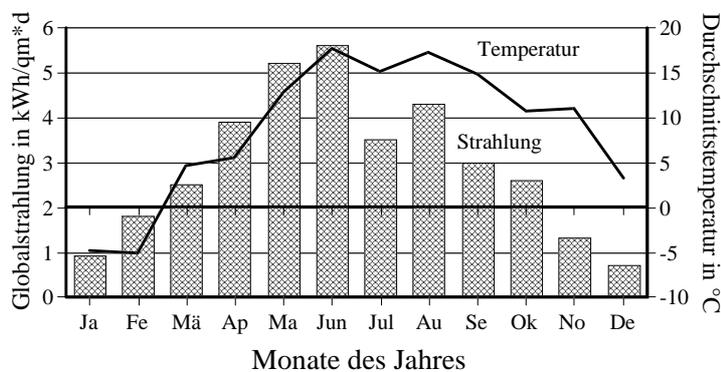


Bild 4: Jahresgang der meteorologischen Hauptgrößen

In Tabelle 3 und Bild 4 sind die Monatsmittelwerte von Temperatur, Globalstrahlung und Direktstrahlungsanteil dargestellt. Es fällt auf, daß in jenem Jahr Januar und Februar sehr kalt und besonders der Februar sehr strahlungsreich war. Im Juli fallen besonders niedrige Strahlungswerte und im Herbst relativ milde Temperaturen auf.

Die Gesamtstrahlungsmenge überschreitet mit $1082 \text{ kWh/m}^2\text{a}$ unwesentlich das langjährige Mittel. Die Winterwerte sind aber deutlich zu hoch. Bei Berechnungen, bei denen die korrekte Wintersimulation im Vordergrund steht, kann die Strahlung auf den Durchschnittswert reduziert werden, indem sie mit $0,65$ multipliziert wird.

Die Temperaturen im Winter sind deutlich zu niedrig. Die Gradtagszahl beträgt 4273 Kd/a im Gegensatz zum Normwert für Dresden von 4000 Kd/a /36/. Um der Realität näher zu kommen, kann eine Temperaturumrechnung durchgeführt werden. Hierzu wird bei jedem Zeitschritt die Temperatur mit einem Faktor multipliziert und ein Summand hinzuaddiert. Zwei Größen sind deshalb notwendig, um nicht nur die korrekte Gradtagszahl, sondern auch die richtige Anzahl von Heiztagen zu erhalten. Es erscheint möglich, die Werte für jeden Ort Deutschlands zu erhalten. Besonders wichtig sind neben Dresden noch die Werte für Freiburg im Breisgau, da auf diese die Wärmeschutzverordnung 1995 bezogen ist. Die Umrechnungsgrößen wurden durch geordnetes Probieren gefunden

$$t_{\text{Dresden}} = 0,96 * t_{\text{Wahnsdorf}} + 0,8 \quad t_{\text{Freiburg}} = 0,84 * t_{\text{Wahnsdorf}} + 3 \quad ([t] = ^\circ\text{C})$$

In den Bildern 5 und 6 sind die täglichen Einstrahlungen über den Tagesdurchschnittstemperaturen aufgetragen - in Bild 4 für die heizungsrelevanten Monate Dezember bis Februar und in Bild 5 für die klimatisierungsrelevanten Monate Juni bis August.

Es handelt sich jeweils um die Einstrahlung auf eine mit 45° geneigte und nach Süden ausgerichtete Fläche, wie sie bei Solaranlagen üblich ist.

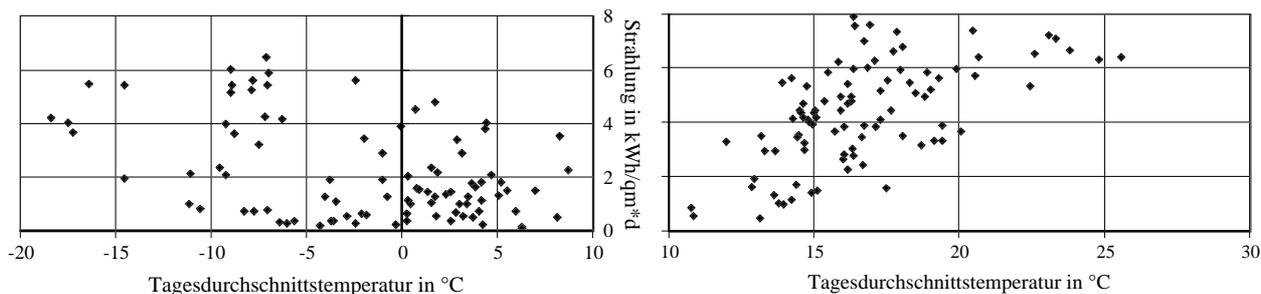


Bild 5: Strahlung und Temperatur im Winter

Bild 6: Strahlung und Temperatur im Sommer

Im Winter steigt mit sinkender Temperatur die Einstrahlung an, was der Sonnenenergienutzung sehr entgegen kommt. Allerdings ist die Korrelation relativ schlecht. Es gibt zu viele trübe Tage mit ebenfalls niedrigen Temperaturen. Im Sommer steigt mit der Einstrahlung die Temperatur an, was für die solare Klimatisierung von Vorteil ist. Die Korrelation ist besser als im Winter, aber immer noch relativ schlecht. So sind die wärmsten Tage auch nicht die strahlungsreichsten. Im Winter werden Maximalwerte von $6,5$ und im Sommer von $8 \text{ kWh/m}^2\text{d}$ erreicht, allerdings treten strahlungsreiche Tage im Winter seltener auf. Die guten Winterwerte sind ein Ergebnis der den Winter bevorzugenden Kollektorneigung und niedriger Trübungsfaktoren bei geringen Außentemperaturen.

Mittels Bild 7 kann die Klimatisierungssituation eingeordnet werden. Dort ist der klimatisierungsrelevante Abschnitt des Histogramms für Trocken- und Feuchtkugeltemperatur dargestellt. Trockenkugeltemperaturen über 25 °C treten nur an 160 Stunden im Jahr auf, so daß nur mit einem geringen Klimatisierungsbedarf gerechnet werden kann. Maximal werden 33 °C erreicht.

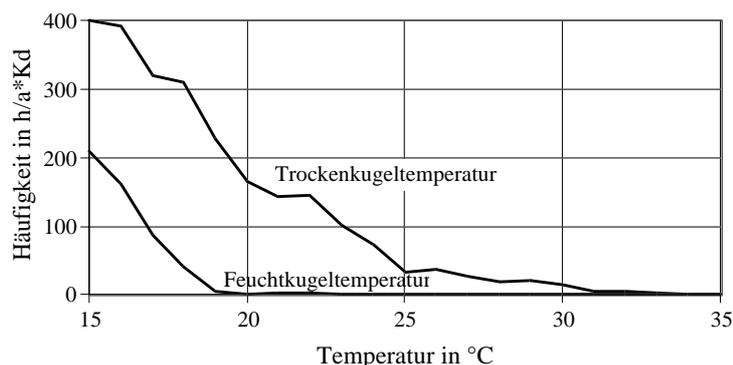


Bild 7: Temperaturhistogramm

Die Feuchtkugeltemperatur liegt nie über 23 °C, so daß stets gute Bedingungen für Naßkühltürme vorliegen. Die Diskrepanz beider Maximalwerte ergibt sich aus der Tatsache, daß in unserem Klima hohe Außentemperaturen stets mit niedrigen Luftfeuchten verbunden sind.

Für Vergleichsrechnungen im Kapitel 3.2. "Solare Heizung" werden Wetterdatensätze anderer deutscher Stationen benutzt. Es handelt sich hierbei um die Testreferenzjahre von Essen, München und Würzburg. In Tabelle 4 sind zunächst die Haupteigenschaften im Jahresverlauf dargestellt /37/.

Tabelle 4: Meteorologische Hauptgrößen von drei Vergleichsstandorten

	Essen TRY 03			Würzburg TRY 05			München TRY 09		
	I _{glob} kWh/m ² d	Ant. dir. %	t _m °C	I _{glob} kWh/m ² d	Ant. dir. %	t _m °C	I _{glob} kWh/m ² d	Ant. dir. %	t _m °C
Januar	0,659	30	1,87	0,787	39	-1,29	0,946	39	-3,17
Februar	1,112	30	1,85	1,254	33	0,61	1,486	35	0,03
März	2,208	30	5,12	1,971	36	4,03	2,308	42	3,04
April	3,957	43	8,13	4,563	56	9,54	4,131	51	8,11
Mai	4,784	44	13,20	5,071	52	12,86	4,330	46	12,02
Juni	4,560	34	14,70	6,140	54	15,71	4,968	46	15,55
Juli	4,852	38	17,14	6,116	54	17,96	5,264	49	17,11
August	4,261	40	17,68	4,290	49	18,34	4,710	51	17,21
September	2,575	38	14,91	3,242	50	14,47	3,514	55	14,34
Oktober	1,776	37	10,05	1,797	33	9,09	1,676	37	7,49
November	0,856	27	6,14	0,937	30	4,68	1,266	44	3,98
Dezember	0,444	18	2,17	0,361	26	1,32	0,610	17	-0,33
Jahr	980 kWh/m ² a	38	9,45	1119 kWh/m ² a	49	8,99	1073 kWh/m ² a	47	7,99

Das Testreferenzjahr **Essen** gilt für das Ruhrgebiet und andere Ballungsgebiete des Flachlandes. Bei einer Globalstrahlung von 980 kWh/m²a sind die Nutzungsmöglichkeiten der Solarenergie besonders schlecht. Die geringe Einstrahlung ergibt sich aus der vergleichsweise trüben Großstadtatmosphäre und dem in Westdeutschland stärkeren Einfluß des Seeklimas mit entsprechend höherer Bewölkungshäufigkeit als in Süd- und Ostdeutschland.

Die Jahresdurchschnittstemperatur ist mit 9,45 °C relativ hoch, wobei besonders der Winter sehr mild ist. Die jahreszeitlichen Schwankungen der Temperatur sind gering.

Das Testreferenzjahr **Würzburg** gilt für die mittleren Höhenlagen in Franken und Schwaben. Mit einer Globalstrahlung von $1119 \text{ kWh/m}^2\text{a}$ weist es die besten Nutzungsmöglichkeiten der Solarenergie unter allen untersuchten Wetterdatensätzen auf, stellt jedoch nicht den Maximalwert in Deutschland dar. Es zeichnet sich durch sehr hohe Einstrahlungen im Sommer und geringe bis mittlere Einstrahlungswerte im Winter aus.

Mit einer Jahresdurchschnittstemperatur von $8,99 \text{ }^\circ\text{C}$ ist es etwas wärmer als der Durchschnitt ganz Deutschlands. Die jahreszeitlichen Schwankungen der Temperatur sind als durchschnittlich anzusehen.

Das Testreferenzjahr **München** gilt für das Alpenvorland und den nordwestlichen Schwarzwald für den Höhenbereich von 500 bis 1000 m. Die Globalstrahlung ist mit $1073 \text{ kWh/m}^2\text{a}$ etwas geringer als in Würzburg. Es bietet jedoch für die meisten Nutzungsmöglichkeiten der Solarenergie insofern günstige Voraussetzungen, daß die Einstrahlungswerte im Winter besonders hoch sind. Im Sommer ist die Einstrahlung deutlich geringer als in Würzburg.

Bedingt durch die Höhenlage ist die Jahresdurchschnittstemperatur mit $7,99 \text{ }^\circ\text{C}$ niedriger als in den anderen Wetterdatensätzen. Die jahreszeitlichen Schwankungen sind groß, wobei besonders der Winter sehr kalt ist.

Das Testreferenzjahr München weist hinsichtlich Temperatur und Globalstrahlung von den drei untersuchten Testreferenzjahren die größten Gemeinsamkeiten mit dem Dresdner Wetterdatensatz auf.

Die Globalstrahlung ist für die Beurteilung der Nutzungsmöglichkeit der Solarstrahlung nicht ausreichend, da Sonnenkollektoren meistens nicht horizontal, sondern mit einer Neigung von 30° bis 60° installiert werden. Insofern die Aufstellebene annähernd nach Süden orientiert ist, empfangen die Kollektoren eine Strahlung, die die Globalstrahlung übersteigt. Auf diesen Einstrahlungswert kann nicht durch einfache Ähnlichkeitsbeziehungen geschlossen werden, da er nicht nur von der Globalstrahlung, sondern auch vom Sonnenstand und vom Anteil direkter Strahlung abhängt.

Mit dem Simulationsprogramm TRNSYS wurden für alle eingesetzten Wetterdatensätze der Jahresverlauf der Gesamtstrahlung auf eine mit 45° geneigte und exakt nach Süden ausgerichtete Fläche berechnet. Die Ergebnisse sind in Bild 8 dargestellt.

Aufgrund ihrer synthetischen Herkunft besitzen die Testreferenzjahre einen ausgeglicheneren Jahresverlauf als der auf Meßwerten eines Jahres basierende Dresdner Datensatz. Bei diesem fallen die durch einen hohen Direktstrahlungsanteil bedingten besonders großen Winterwerte und der Strahlungseinbruch im Juli auf. In Essen ist die Einstrahlung im Winter besonders niedrig und in Würzburg im Sommer außergewöhnlich hoch.

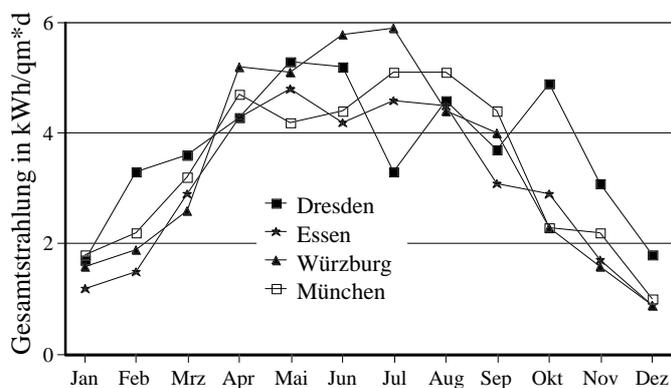


Bild 8: Einstrahlung auf eine geneigte Fläche