

**ASPEKTE ZUR ENERGETISCH-ÖKOLOGISCHEN
OPTIMIERUNG VON WOHNGEBÄUDEN**

**(THEORETISCHE) INTERAKTION VON BAUWERK
UND GEBÄUDETECHNIK**

Diplomarbeit

zur Erlangung des Grades eines Diplom-Ingenieur (FH)

vorgelegt von:

cand.-ing. Henryk Parsiegl
Ummendorferstr. 1 a
39365 Eilsleben
Matr.-Nr. 952555

Magdeburg im Oktober 2002

Erstprüfer: Professor Dr.-Ing. M. Neumann
Zweitprüfer: Dipl.-Ing. (FH) M. Holznagel

Vorwort

Mit *kennen* kann auch Begreifen bzw. Verstehen gemeint sein. Begreifen lässt sich von ETWAS **be**-greifen – erst mit den Händen und dann mit dem Geist – ableiten. Vieles kann mit *falschem Blick* und Unwissenheit verkannt werden.

Die Ausbildung zum Bauingenieur sollte so allumfassend wie möglich, aber nur so tiefgründig wie nötig erfolgen. Einst waren es Baumeister – heute sind es Hochbau-, Tiefbauingenieure, Architekten, Techniker, viele Fach- sowie Spezialingenieure und die allumfassende **integrale Planung**. Ein gewisses Grundlagenwissen und Verständnis gegenüber der **Bauklimatologie** ist eine wichtige Voraussetzung. Diese muss die Fähigkeit der Planer umfassen, sowohl die Reaktionen des Bauwerks auf äußere (meteorologische) Randbedingungen richtig einzuschätzen, als auch die, infolge der Klimatechnik (HLK). Das allein erfordert mindestens 2 Fachleute. Mein Thema hätte demnach zweigeteilt dargestellt werden müssen.

So kann und wird nicht jede aufgeworfene Frage beantwortet werden. Es verbleibt Raum zum Nachdenken und Platz für evt. Anschlussarbeiten. Mir muss an dieser Stelle die Möglichkeit, aber auch das (Un-)Vermögen genügen, viele Probleme aufgegriffen, aber nur besondere, für mich relevante bzw. einschätzbare Themen näher beleuchtet, andere zur Diskussion gestellt zu haben.

Diese Diplomarbeit steht als Ergebnis eines Studiums, das mich viel Kraft, Liebe, Ehrgeiz, aber auch Überwindung und Selbsterkenntnis gekostet hat. Ohne die Unterstützung vieler helfender Hände und Köpfe, deren Verständnis und Geduld, hätte ich diese Leistung niemals erbringen können. Mein besonderer Dank gilt deshalb meinen Eltern, die mir dieses Studium ermöglichten, aber auch meiner Freundin Jana, die mich mit all ihren Kräften unterstützte. Nicht unerwähnt sollen Freunde und Bekannte bleiben, die mich über meine Studienzeit unterstützend begleiteten.

Mein ganz besonderer Dank zur Entstehung dieser Arbeit gebührt Professor Dr.-Ing. Martin Neumann. Viele Gespräche mit ihm, seine Bemühungen/Objektivität mich mein Thema finden zu lassen, aber auch seine Geduld, haben es mir erst ermöglicht, diese Arbeit abzuhandeln. Ein großes Dankeschön auch an Dipl.-Ing. (FH) Matthias Holznagel, der mir mit seiner Software DYNATHERM und vielen wichtigen Fachgesprächen die thermisch-instationäre Wärmeleitung näher brachte.

Ohne Kommunikation und Literatur keine menschliche Zivilisation. Deshalb mein Dank allen Ingenieuren und Architekten für ihre Unterstützung und Ratschläge. Stellvertretend genannt sei an dieser Stelle Professor Dr. habil. Hans-Georg Beyer. In Fachgesprächen und mit der Software ESRA, unterstützte er mich meinen Wissenshorizont in Bezug auf meteorologische Grundlagen zu erweitern.

Inhaltsverzeichnis

| | |
|--|--------|
| Nomenklatur | S. 003 |
| Akronymverzeichnis | S. 005 |
| Fremdwörterverzeichnis | S. 009 |
| Abbildungsverzeichnis | S. 012 |
| Tabellenverzeichnis | S. 014 |
| 1. Einleitung | S. 015 |
| 1.1 Themenfindung | S. 015 |
| 1.2 Themenvorstellung/Kapitelzusammenfassung | S. 017 |
| 1.3 Hinweise zum (Text-)Inhalt bzw. zur Gestaltung der Arbeit | S. 018 |
| 2. Ganzheitliche Bauplanung | S. 019 |
| 2.1 Chancen und/oder Geißeln ganzheitlicher Bauplanung | S. 020 |
| 2.1.1 "Totschlag-"Argument CO ₂ | S. 020 |
| 2.1.2 (Un-)Endlichkeit fossiler Energie | S. 025 |
| 2.2 Verantwortung von technischer und baukonstruktiver Gebäudeplanung | S. 029 |
| 3. Funktionelle Einheit von Gebäude und Heiztechnik | S. 034 |
| 3.1 Natürliches Klimatisieren – Künstliches Raumklima | S. 034 |
| 3.2 Ökologisch orientierte integrale Planung | S. 036 |
| 3.3 "Dämmstoff-" und Anlagenverordnung – (Fehl-)Interpretation und/oder effiziente Kompensation | S. 039 |
| 3.3.1 Heizlast von Wohngebäuden im Wandel des Wärmeschutzes | S. 039 |
| 3.3.2 "Papiertiger" EnEV | S. 044 |
| 3.4 Postulate energetisch optimierter Gebäude | S. 052 |
| 3.4.1 Stellenwert der Raum- bzw. Gebäudeträgheit | S. 056 |
| 4. Konzeptionelle Abstimmung von Gebäude und Heiztechnik | S. 060 |
| 4.1 Die Bauphysik – Ein Weg der Konzeptoptimierung | S. 060 |
| 4.1.1 Praxisrelevante Klimadaten und Randbedingungen | S. 066 |
| 4.2 (Fremd-)Wärme effizient geregelt | S. 069 |
| 4.2.1 Selbstregelleffekt einer Niedertemperatur-Flächenheizung | S. 077 |
| 4.3 Auswahl und Auslegung von Heiz-Anlagentechnik | S. 079 |
| 4.3.1 Behaglichkeitsanforderungen und relative Empfindlichkeit | S. 079 |
| 4.3.2 E DIN EN 12831 – An der Schwelle einer ökologischen Beurteilung | S. 085 |
| 5. Zusammenfassung und Ausblick | S. 092 |
| Literaturverzeichnis | S. 097 |
| Bücher/Sonderdrucke/VL-Skripte/Diplomarbeiten/Dissertationen | S. 097 |
| Periodika | S. 102 |
| Gesetze/Normen/Verordnungen | S. 106 |
| Internetartikel und -quellen | S. 108 |

| | |
|------------------------------------|---------------------|
| Anhang | S. 116 |
| Inhaltsverzeichnis Anhang | S. 117 |
| Abbildungsverzeichnis Anhang | S. 118 |
| Tabellenverzeichnis Anhang | S. 120 |
| Anhang A.1 | S. A.1-1 bis A.1-37 |
| Anhang A.2 | S. A.2-1 bis A.2-76 |
| Danksagung | |
| Eidesstattliche Erklärung | |

Nomenklatur

| Zeichen | Bedeutung | Einheit (beispielhaft) |
|--------------------|--|---|
| A | Fläche(nangabe) | m ² |
| a | Jahr | - |
| a | Temperaturleitfähigkeit $a = \lambda / \rho \cdot c$ | m ² s ⁻¹ |
| α | Absorptionsgrad | - |
| α | Wärmeübergangskoeffizient | W m ⁻² K ⁻¹ |
| b | Breite | m |
| b | Wärmeeindringkoeffizient $b = \sqrt{\lambda \cdot \rho \cdot c}$ | kJ (m ² K s ^{0.5}) ⁻¹ |
| β | Temperaturfaktor | K ³ |
| C _S | Strahlungskonstante des Schwarzen Körpers | W (m ² K ⁴) ⁻¹ |
| C _{wirk} | effektive, thermisch wirksame Masse | Wh (m ³ K) ⁻¹ |
| c | spezifische Wärmekapazität | Ws (kg K) ⁻¹ |
| d | (Material- bzw. Bauteil-)Dicke | m |
| δ | (Material- bzw. Bauteil-)Dicke | m |
| ΔE | Empfindungsstärke bzw. Weberscher Quotient | - |
| ΔR | Differenz zum Standard-Reiz | - |
| ΔT | Temperaturdifferenz | K |
| Δt | Zeitintervall | h |
| $\Delta \vartheta$ | Temperaturdifferenz | °C |
| Δx | Schichtdicke senkrecht zur (Ansichts-)Fläche | m |
| E | Energie(-strom) | W |
| ε | Emissionsgrad | - |
| ε | Phasenverschiebung | h |
| f | Reduktionsfaktor | - |
| Gt | Gradtagzahl | Kd a ⁻¹ |
| g | Gesamtenergiedurchlassgrad | - bzw. % |
| γ | Neigungswinkel | ° |
| H | spezifischer Wärmeverlust | W K ⁻¹ |
| η | Wirkungs- oder (Aus-)Nutzungsgrad | - bzw. % |
| I | Strahlungsintensität | W m ⁻² |
| IR | im Zushng. m. Wärmestrahlung | W m ⁻² |

| Zeichen | Bedeutung | Einheit (beispielhaft) |
|-----------------------------|---|----------------------------------|
| k | Wärmedurchgangskoeffizient (alte Bezeichnung) | $\text{W m}^{-2} \text{K}^{-1}$ |
| Λ | Wärmedurchlasskoeffizient (reiner Materialwert) | $\text{W m}^{-2} \text{K}^{-1}$ |
| λ | Wärmeleitfähigkeit | $\text{W m}^{-1} \text{K}^{-1}$ |
| m | Masse | kg |
| m | Modul bzw. Gitter-Fourier-Zahl | - |
| n | Luftwechselrate | h^{-1} |
| ν | Temperaturamplitudendämpfung | - |
| P | Leistung | W m^{-2} |
| p | Personenanzahl | - |
| Φ | Wärmestrom | W |
| $\varphi_{i \rightarrow j}$ | Einstrahlzahl(en) | - |
| Q | Wärmemenge, -energie | Ws |
| \dot{Q} | Wärmestrom | W |
| q_i | (sekundärer) Wärmeabgabegrad | - bzw. % |
| q | Wärmestromdichte | W m^{-2} |
| R | Wärmeleitwiderstand, $R = 1 / \Lambda = s / \lambda$ | $\text{m}^2 \text{K W}^{-1}$ |
| R | Wert des Standard-Reizes (Störpotential) | K |
| ρ | Dichte | kg m^{-3} |
| s | (Grenz-Schicht-)Dicke | m |
| σ | Stefan/Boltzmann Konstante, $\sigma = 5.67 \cdot 10^{-8}$ | $\text{W (m}^2 \text{K}^4)^{-1}$ |
| T | (absolute) Temperatur | K |
| t | auch Temperatur, bspw. mittlere Raumtemperatur = t_i | $^{\circ}\text{C}$ |
| τ | (Strahlungs-)Transmissionsgrad | - bzw. % |
| τ | Zeitkonstante | h |
| U | Wärmedurchgangskoeffizient | $\text{W m}^{-2} \text{K}^{-1}$ |
| V | Volumen | m^3 |
| z | Tage der Heizperiode | d |

| Indizes | Bedeutung | Indizes | Bedeutung |
|-----------|-----------------------------------|-------------|--|
| a | außen (extern) | m | mittlere |
| α | den Wärmeübergang betreffend | ND | Nutzungsdauer |
| b | Verschattung | n | n-tes Objekt bzw. Element |
| cd | die Wärmeleitung betreffend | P | Person |
| cv | die Konvektion betreffend | op | operativ |
| E | Extern (außen) | opak | lichtundurchlässig |
| eff | Effektiv | R | Rechenwert |
| el | im Zushng. M. Elektroenergie | r | die Strahlung betreffend |
| F | Fenster bzw. Fläche betreffend | S | Oberfläche |
| f | im Zushng. M. Fremdwärme | sol | die Solarstrahlung betreffend |
| φ | im Zushng. M. Eigenabstrahlung | st | infolge Strahlung |
| g | den Gewinn betreffend | stat | stationär |
| glob | Globalstrahlung | T | Transmission |
| HG | die Heizgrenze betreffend | Tau | Taupunkt |
| HP | die Heizperiode betreffend | T ; t | Zeitpunkt bzw. Periode |
| h | Heizwärme | W | Wand |
| hl | Heizleistung | w | im Zushng. m. Wärmestrahlung |
| hüll | die Gebäudehülle betreffend | wirk | wirksam |
| I | die Globalstrahlung betreffend | x | Mittlere Innentemperatur [°C] |
| i | intern oder das Innere betreffend | y | Heizgrenztemperatur [°C] |
| instat | Instationär | 1 | intern |
| L | im Zushng. M. Luft bzw. Lüftung | 2 | extern |
| LW | Luftwechsel | 1 ; 2 ... n | im Zushng. mit verschiedenen Elementen bzw. Objekten |
| Λ | die Wärmeleitung betreffend | | |
| Mon | Monat | | |

Akronymverzeichnis

| | |
|-------------|---|
| ABL | Alte Bundesländer |
| AD | Außen(wärme)dämmung |
| ADNR | Arbeitsgemeinschaft für Dämmstoffe aus nachwachsenden Rohstoffen (Bonn) |
| ALD | Außenluftdurchlass |
| AVA | Ausschreibung, Vergabe, Abrechnung |
| AW | Außenwand |
| Azim | Azimut |
| BAM | Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung |
| BBL | Bundesamt für Bauten und Logistik (Schweiz) |
| BEW | Bundesamt für Energiewirtschaft (Schweiz) |

| | |
|-----------------------|---|
| BFE | Bundesamt für Energie (Schweiz) |
| BGR | Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe |
| BMWi | Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie |
| BOR | Bauberrat |
| BRD | Bundesrepublik Deutschland |
| BSB | Bauherrenschutzbund |
| CAD | Computer Aided Design |
| Co. | Deutet auf Beteiligte bzw. Partner hin [bspw. GmbH & Co. KG] |
| CO₂ | Kohlendioxid |
| CBR | Zentralstelle für Bauteilrationalisierung (Schweiz), od. auch international (Centre Suisse d'études pour la rationalisation de la construction) |
| DDR | Deutsche Demokratische Republik |
| dena | Deutsche Energie Agentur |
| DGZfP | Deutsche Gesellschaft für zerstörungsfreie Prüfung e.V. |
| DIN | Deutsches Institut für Normung |
| DIW | Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung |
| DN | Dachneigung |
| DRY | Design Reference Year (Meteonorm, Schweiz) |
| E | Entwurf |
| EEG | Gesetz für den Vorrang Erneuerbarer Energien (Erneuerbare-Energien-Gesetz) |
| EFH | Einfamilienhaus |
| EG | Erdgeschoss |
| EGZ | Entwurfsgütezahl |
| Elt / elt | elektrisch bzw. in Verbindung mit Elektroenergie (umgangssprachlich: Strom) |
| EMPA | Eidgenössische Materialprüfungs- und Forschungsanstalt (Schweiz) |
| EN | Euronorm |
| EnEG | Gesetz zur Einsparung von Energie in Gebäuden (Energieeinsparungsgesetz) |
| EnEV | Verordnung über energiesparenden Wärmeschutz und energiesparende Anlagen- technik bei Gebäuden (Energieeinsparverordnung), alt auch ESV od. ESVO |
| ESRA | European Solar Radiation Atlas |
| ETH | Eidgenössische Technische Hochschule |
| EVA | Energieverbrauchsanalyse |
| (F)FB | (Fertig-)Fußboden |
| FBH | Fußbodenheizung |
| FH | Fachhochschule |
| FHG | Fraunhofer-Gesellschaft |
| GDI | Gesamtverband der Dämmstoffindustrie |
| GEMIS | Globales Emissions-Modell Integrierter Systeme |
| GmbH | Gesellschaft mit beschränkter Haftung |
| GU | Grundumsatz |

| | |
|-----------------|--|
| HeizAnIV | Verordnung über energiesparende Anforderungen an heizungstechnische Anlagen und Warmwasseranlagen (Heizungsanlagen-Verordnung) |
| HF | Heizfläche |
| HK | Heizkörper |
| HLK | Heizung, Lüftung, Klimatechnik oder Heizung, Lüftung, Kälte |
| HOAI | Honorarordnung für Architekten und Ingenieure |
| horiz. | Horizontal |
| IBP | (Fraunhofer) Institut für Bauphysik |
| ID | Innen(wärme)dämmung |
| IEMB | Institut für Erhaltung und Modernisierung von Bauwerken |
| IPCC | Intergovernmental Panel on Climate Change |
| IR | Infrarot |
| ISO | International Standards Organization |
| ITT | Institut für Thermodynamik und Technische Gebäudeausrüstung |
| IW | Innenwand |
| IW 79 | Typenbezeichnung im industriellen Wohnungsbau der ehem. DDR |
| IWU | Institut Wohnen und Umwelt |
| KEA | Kumulierter Energieaufwand |
| KG | Kommanditgesellschaft |
| KISS | keep it simple and stupid |
| KNV | Kosten-Nutzen-Verhältnis |
| konvtl. | konventionell |
| LA | Lüftungsanlage |
| LAU | Landesamt für Umweltschutz |
| LCA | Life Cycle Assessment, Lebenszyklusanalyse |
| LÜSA | Luftüberwachungssystem Sachsen-Anhalt |
| LW | Luftwechsel |
| LWZ | Luftwechselzahl |
| MDCST | Monatsdurchschnitts Clear Sky Tag |
| MDCSW | Monatsdurchschnittswert(e) für wolkenlosen Himmel (Clear Sky) |
| MDT | Monatsdurchschnittstag |
| MDW | Monatsdurchschnittswert(e) |
| MET | auf Metabolismus bezogen |
| MFH | Mehrfamilienhaus |
| MMCS | Monatsmittel(-wert) Clear Sky (wolkenloser Himmel) |
| MMW | Monatsmittelwert |
| MRLU | Ministeriums für Raumordnung, Landwirtschaft und Umwelt |

| | |
|-----------------|---|
| MW | Mauerwerk |
| N | Nord |
| NAS | Nachtabenkung |
| NAT | Nachtabstaltung |
| NBL | Neue Bundesländer |
| NEH | Niedrigenergiehaus |
| NO | Nordost |
| NT | Niedertemperatur |
| NW | Nordwest |
| O | Ost |
| OG | Obergeschoss |
| OGIP | Optimierung der Gesamtanforderungen in der integralen Planung |
| OK | Oberkante |
| OPEC | Organization of Petroleum Exporting Countries |
| PE | Primärenergie |
| PEF | Primärenergiefaktor |
| PEV | Primärenergieverbrauch |
| PHV | Phasenverschiebung |
| ppm | parts per million |
| PTB | Physikalisch-Technische Bundesanstalt |
| PZ | Politische Zeitschrift der Bundeszentrale für politische Bildung |
| reflekt. | reflektiert |
| RMH | Reihenmittelhaus |
| S | Süd |
| SI | Système International d'Unités |
| SIA | Berufsverband für qualifizierte Architekten, Ingenieure und Wissenschaftler aus den Bereichen Bau, Umwelt und Technik der Schweiz |
| SKE | Steinkohleeinheiten |
| SO | Südost |
| SS | Sommersemester |
| SW | Südwest |
| TAB | Büro für Technikfolgen-Abschätzung beim Deutschen Bundestag |
| TAD | Temperaturamplitudendämpfung |
| TGA | Technische Gebäudeausrüstung |
| TGL | Technische Normen, Gütevorschriften und Lieferbedingungen (Normenwerk der DDR) |
| THV | Thermostatventil |

| | |
|----------------|--|
| TMD | Tagesmonatsdurchschnitt |
| TRNSYS | The Transient System Simulation Program |
| TRY | Test Reference Year |
| TU | Technische Universität |
| TWD | transparente Wärmedämmung |
| UBA | Umweltbundesamt |
| USIC | Union Suisse des Ingéneurs-Conseils, Schweizerische Vereinigung Beratender Ingenieure |
| V | Vornorm |
| VDI | Verein Deutscher Ingenieure |
| VdZ | Vereinigung der deutscher Zentralheizungswirtschaft e.V. |
| vglw. | vergleichsweise |
| VL | Vorlauf (im Zushng. mit Vorlauftemperatur) |
| VSHL | Verband Schweizerischer Heizungs- und Lüftungsfirmen |
| W | West |
| WD | Wärmedämmung |
| WDVS | Wärmedämmverbundsystem |
| WE | Wohneinheiten |
| WMO | World Meteorological Organisation |
| WB | Wärmebrücke |
| WP | Wärmepumpe |
| WR | Wärmerückgewinnung |
| WS | Wintersemester |
| WSchV | Verordnung über einen energieeinsparenden Wärmeschutz bei Gebäuden, auch WSV, WSVO, WSchVO (Wärmeschutzverordnung) |
| WW | Warmwasser |
| ZAE | Bayerisches Zentrum für Angewandte Energieforschung e.V. |
| ZEN | Zentrum für Energie und Nachhaltigkeit |
| Zushng. | Zusammenhang |

Fremdwörterverzeichnis

| | |
|--------------------|---|
| Abstract | der; -s,-s kurze Inhaltsangabe, Abriss eines wiss. Artikels oder Buches |
| adiabatisch | (phys.) ohne Wärme- oder Energieaustausch verlaufend, die Adiabasie betreffend |
| Akronym | das; -s,-e (ling.) aus Anfangsbuchstaben mehrerer Wörter gebildetes Kurzwort (z.B. UNO, CERN, NASA) |

| | |
|----------------------|--|
| amortisieren | 1. (ökon.) Anschaffungskosten tilgen, decken, abschreiben 2. (ökon.) eine Schuld planmäßig tilgen |
| anthropogen | von dem Menschen geschaffen, durch ihn beeinflusst, verursacht |
| Atmosphäre | die; -, -n 1. Lufthülle der Erde 2. Gashülle eines Planeten 3. (tech.) Maßeinheit des Drucks einer Kraft auf eine Fläche, Abk.: at = kp/cm 4. (phys.) Maßeinheit des Luftdrucks, Abk.: atm, Torr 5. Umwelt, Umgebung, kulturelle Einflussfaktoren, geistiges Klima 6. Ausstrahlung, Stimmung |
| autark | wirtschaftlich von Einfuhren unabhängig, selbstversorgend |
| autochthon | 1. alteingesessen, bodenständig, eingeboren 2. (geol., biol.) am Fundort entstanden, Ggs. allochthon, vgl. authigen |
| Biosphäre | die; -, kMz. Gesamtheit des belebten Raumes der Erde |
| Ergonomie | die; -, kMz. (med.) Wissenschaft von der körperlichen Leistungsfähigkeit des Menschen in seiner Arbeitsumgebung und der Anpassung der Arbeitsgeräte an seine Bedingungen |
| evaluieren | auswerten, beurteilen, bewerten |
| Evolution | die; -, -en 1. (biol.) Weiter-, Höherentwicklung der Lebewesen von niederen zu höheren Formen im Laufe der Entwicklungsgeschichte durch Auslese und allmähliche Veränderung der Organismen 2. kontinuierliche Entwicklung, allmähliche Fortentwicklung, Ggs. Revolution (2) |
| forciert | gezwungen, unnatürlich, erzwungen, verkrampft |
| Grassoden | heute geschälte, meist gerollte Grasnarbe bzw. Grasbahnen (Rollrasen) bestehend aus dem Grün und nahezu dem gesamten Wurzelgeflecht |
| Interaktion | die; -, -en 1. wechselseitige Beziehung, aufeinander bezogenes Handeln, gegenseitige Beeinflussung 2. Verstärkung oder Aufhebung von Wirkungen |
| Interpolation | die; -, -en 1. (math.) rechnerische Ergänzung unbekannter Werte zwischen bekannten Werten |
| Ironie | die; -, kMz. 1. feiner Spott, leise, humorvolle Kritik, bei der das Gegenteil des Gesagten gemeint ist 2. in der Wendung ‚I. des Schicksals, durch ein überraschendes, zufälliges Ereignis, das bisherige Bemühungen als nichtig erscheinen lässt, herbeigeführte Situation |
| isotherm | 1. gleiche oder konstante Temperatur besitzend (Meteorologie) 2. (phys., chem.) bei konstanter Temperatur verlaufend (Vorgang, Zustandsänderung) |
| isotrop | (phys., chem.) in alle Richtungen die gleichen phys. und chem. Eigenschaften aufweisend, Ggs. anisotrop |
| Koeffizient | der; -en, -en 1. (math.) unveränderlicher Faktor vor einem veränderlichen Glied in einer Gleichung 2. (phys., tech.) gleich bleibende Größe bei tech. und phys. Vorgängen, Stoffkonstante |
| Kybernetik | die; -, kMz. (phys.) Wissenschaft der Systematik von Steuer- und Regelmechanismen in Technik, Biologie und den Gesellschaftswissenschaften |

| | |
|----------------------|---|
| Lobby | die; -,s 1. Wandelhalle in Parlamentsgebäuden oder Hotels 2. Interessengruppe, die u.a. in der Lobby (1) versucht, auf Abgeordnete eines Parlaments Einfluss zu nehmen |
| Ökologie | die; -, kMz. 1. System der (ungestörten) Wechselbeziehungen zwischen den Lebewesen und ihrer Umwelt, Gesamtheit der Beziehungen zwischen den Lebewesen e- s Lebensraumes, der Stoffkreisläufe und Konsumentenketten 2. Wissenschaft von (1) |
| Ökonomie | die; -,n 1. Struktur der Wirtschaft eines Landes 2. Sparsamkeit, Wirtschaftlichkeit 3. (veraltet) Wirtschaftswissenschaft |
| olfaktorisch | (med.) den Riechnerv betreffend |
| opak | undurchsichtig, lichtundurchlässig |
| Opportunismus | der; -, kMz. 1. bedenkenlose, bereitwillige Anpassung an die jeweiligen Umstände, Prinzipienlosigkeit 2. Zurückweichen vor Schwierigkeiten |
| Postulat | das; -(e)s,-e 1. Annahme, nicht beweisbare, aber notwendige Voraussetzung |
| semipermeabel | (chem., biol.) halbdurchlässig (Membran) |
| Smog | der; -/s,-s undurchdringlicher Abgasqualm, durch Luftverschmutzung verursachte Dunstglocke, bsd. in Städten |
| stringent | bündig, zwingend, logisch folgend |
| substituieren | ersetzen, für et. oder jemanden eintreten, austauschen |
| Synopse | die; -,n 1. vergleichende, zusammenfassende Übersicht, Zusammenschau 2. Zusammenstellung, Gegenüberstellung von Schriften über das gleiche Thema |
| validieren | 1. (jur.) et. für rechtsgültig erklären 2. die Gültigkeit eines wiss. Ergebnisses überprüfen |

Abbildungsverzeichnis

| | | |
|---------|--|-------|
| 01 | Einwirkende Faktoren auf die Bauplanung | S. 16 |
| 02 | Prozentuale Darstellung einer CO ₂ -Bilanz | S. 22 |
| 03 | Gesamttreibhauseffekt | S. 23 |
| 04 | Eisbergsyndrom und Umweltverbrauch | S. 24 |
| 05 | Weltentwicklung | S. 26 |
| 06 | Sektoren des Primärenergieverbrauchs 1999 in Deutschland | S. 27 |
| 07 | Entwicklung von End-, Elektroenergieverbrauch und Wohnfläche der privaten Haushalte Deutschlands | S. 29 |
| 08 | Energie- und Ökobilanz | S. 31 |
| 09 | Optimierung der Gesamtanforderungen in der integralen Planung | S. 32 |
| 10 | Schema: Integralen Planung | S. 36 |
| 11 | Endenergieverbrauch deutscher Haushalte | S. 37 |
| 12 | Ausgewählte Einflussfaktoren auf den Heizenergiebedarf | S. 38 |
| 13 | Ökologischer Kreis mit Abhängigkeitslinien | S. 38 |
| 14 / 15 | Entwicklung des Heizenergiebedarfs von Gebäuden | S. 41 |
| 16 | Bewertungsschema bzw. -umfang unterschiedlicher Wärmeschutzbestimmungen | S. 42 |
| 17 | Anforderungsniveau EnEV | S. 46 |
| 18 | EnEV 2002 im Zusammenspiel mit den begleitenden Normen | S. 47 |
| 19 | Bewertungsschema und -umfang der EnEV | S. 47 |
| 20 | Kompensation von Gebäudetechnik und konstruktiven Maßnahmen | S. 48 |
| 21 | Vergleich der Nutzfläche mit der Wohnfläche nach II. Berechnungsverordnung | S. 49 |
| 22 | Postulate eines energetisch optimierten Gebäudekonzeptes | S. 52 |
| 23 | Speicherwirkung verschieden schwerer Räume | S. 54 |
| 24 | Ausgewählte Tagestemperaturgänge | S. 55 |
| 25 / 26 | Themengebiete der Bauphysik | S. 60 |
| 27 | Elektrotechnisches Analogiemodell einer mehrschichtigen Wand | S. 62 |
| 28 | Beispiele ausgewählter äußerer klimatischer Randbedingungen | S. 63 |
| 29 | Periodische Wärmespeicherkapazität | S. 65 |
| 30 | Funktionale Abhängigkeiten der Gradtagzahl | S. 67 |
| 31 | Ausnutzungsgrad für unregelmäßige Wärme bei verschiedenen Raum- bzw. Gebäudetragheiten und Gewinn/Verlustverhältnissen | S. 70 |
| 32 | Vergleich von Steuerungs- und Regelungstechnik | S. 72 |
| 33 | Beispiel einer Raumtemperatursteuerung | S. 72 |
| 34 | Beispiel einer Raumtemperaturregelung | S. 72 |
| 35 | THV mit getrenntem Fühler und Regler | S. 73 |
| 36 | Tagesgang der Energieströme eines südlich orientierten Raumes | S. 74 |
| 37 | Ausnutzbarkeit von Wärmegewinnen bei verschiedenen Systemtemperaturen | S. 75 |
| 38 | Ausnutzbarkeit als Wärmegewinne bei verschiedenen Regelungsarten und durchgehendem Heizbetrieb | S. 76 |
| 39 | Ausnutzbarkeit als Wärmegewinne bei verschiedenen Heizbetriebsarten und Außentemperaturregelung | S. 76 |

| | | |
|---------|--|-------|
| 40..... | Selbstregeleffekt verschiedener Wärmeabgabesysteme bei Übertemperatur- änderung | S. 78 |
| 41..... | Tagesgang verschiedener Wärme-/Energieflüsse im Falle einer Fußboden- heizung | S. 78 |
| 42..... | Bedeutende Faktoren für die Behaglichkeit in Wohnräumen | S. 79 |
| 43..... | Behaglichkeitsfeld abhängig von der operativen Temperatur | S. 80 |
| 44..... | Behaglichkeitsfeld abhängig von Lufttemperatur und -geschwindigkeit | S. 80 |
| 45..... | Grundriss eines Wohnraumes | S. 83 |
| 46..... | Aufheizzuschläge verschiedener Raumseitenverhältnisse | S. 87 |
| 47..... | Auskühl- und Anheizverhalten an einem Beispiel-Bauteil | S. 88 |
| 48..... | Mittlerer Aufheizwiderstand in Abhängigkeit der Aufheizzeit | S. 89 |
| 49..... | 100-Prozent Solarhaus "Jenni" | S. 92 |
| 50..... | Das Gebäude als verknüpfendes Element | S. 94 |

Tabellenverzeichnis

| | | |
|---------|--|-------|
| 01..... | CO ₂ -Bilanz einer Durchschnittsfamilie | S. 22 |
| 02..... | Begriffsbestimmung nach EnEV und weiteren geltenden Normen | S. 44 |
| 03..... | Auskühlung von Gebäuden verschiedener Trägheit | S. 54 |
| 04..... | Gebäudekonstante in Abhängigkeit von Bauweise und flächenbezogenem Wärmebedarf | S. 58 |
| 05..... | Fremdwärmeanteil am Heizwärmebedarf unterschiedlicher Wärmeschutz- bestimmungen | S. 70 |
| 06..... | Regelungsträgheit verschiedener Heizkörper (Verringerung der Heizleistung nach Schließen des Ventils) | S. 71 |
| 07..... | Energieinhalt verschiedener Wärmeabgabesysteme | S. 71 |
| 08..... | Zunahme der rel. Empfindlichkeit ΔE bei unterschiedlichen Wärmeschutz- Standards | S. 82 |
| 09..... | Randbedingungen und Ergebnisse einer Auskühl- und Anheizsimulation für eine AW | S. 88 |
| 10..... | Raumwärmebedarf für verschiedene Tage | S. 89 |

1. Einleitung

Das Bauwesen schafft die wohl langlebigsten Konsumgüter. Der Material- bzw. Rohstoffeinsatz/-verbrauch für Bau, Instandhaltung, aber vor allem Betrieb von Gebäuden/Bauwerken wurde und wird oft unterschätzt. Auch der Rückbau, die Entsorgung bzw. die Wiedereingliederung in den Stoffkreislauf der Natur (LCA) ist als Problem(-kette) noch nicht zufriedenstellend definiert und deshalb relativ schwierig zu beurteilen. (Teil-)Aspekte umweltschonender und energiesparender Bauplanung, -konstruktion und -technik finden aber immer mehr Beachtung. Viele Anstrengungen „zielen darauf ab, den Energieverbrauch von Gebäuden zu minimieren.“¹ Der eigentliche Gebäudenutzen/-nutzer wird oft vergessen, übergangen, fehlinterpretiert bzw. durch eine Überbewertung zweitrangiger Parameter verdrängt. Gebäude und Technik werden gern als planerisches Spielzeug missbraucht (Komplexität), sie sollen (theoretisch bzw. rechnerisch) immer perfekter interagieren. Dann wird selten ganzheitlich, sondern eher einseitig (ökologisch) geplant, bspw. Wärmeschutz ↔ Umweltenergiegewinnung/-nutzung.

Die Frage: **Wie sollte** aus energetisch/ökologischer Sicht (**richtig**) **gebaut werden**, ist kaum allgemeingültig zu beantworten. Doch auch „künftig werden Gebäude nicht zum Energiesparen gebaut, aber eine gute energetische (und ökologische) Qualität wird zum integralen Bestandteil von Anforderungsprogramm und Lösungspaket“².

Das Bauen ist immer eine sehr komplexe Kompromisslösung unterschiedlichster Kriterien. Deshalb können einzelne Bauthemen nur isoliert/verallgemeinert betrachtet werden, wenn sie aus der Gesamtdarstellung des Bauens hervorgehen.

1.1 Themenfindung

Die schraffierte Schnittmenge der Abb. 01 soll qualitativ die Endlösung, das genehmigte und zu bauende Objekt, veranschaulichen. Unbeschriftete Anstriche symbolisieren weitere Untermengen. Dabei kann die Abbildung nur einen begrenzten Ausschnitt aus dem Planungsfeld eines Bauingenieurs darstellen. Teilweise sind Verknüpfungspunkte zu speziellen Fachingenieuren erkenn- bzw. denkbar. Es wird keinesfalls Anspruch auf Vollständigkeit der Abbildung erhoben, auch Muster und Reihenfolge sollen nicht erkennbar sein. Auf viele Punkte kann der Bauingenieur keinen direkten Einfluss ausüben. Dafür sind andere Punkte um so wichtiger, was ausgewählte Themen dieser Arbeit verdeutlichen. So gibt es weitere Untermengen in diesem Modell, die diskussionswürdig gewesen wären, aber keine Erwähnung finden. Aus diesem Feld wurden nun aktuelle Probleme entnommen, die einander stark beeinflussen, ja sogar bedingen.

Im Bauwesen sind die Punkte **Zielvorgabe**, **Rahmensetzung** und eine ausgewogene **Bilanzierung** bzw. ganzheitliche Betrachtungsweise von entscheidender Bedeutung. Mit dem Bezug auf die Themen **CO₂-** bzw. **Primärenergie-Einsparung**, **EnEV**, **Bauökologie** und Gewinnung/Nutzung erneuerbarer Energien, die momentan im Bauwesen zum **Umdenken** zwingen (sollten), war das Diplomthema im wesentlichen definiert. Was fehlte war eine direkte Verbindung dieser einzelnen Themenpunkte. Das fehlende *Bindeglied* lässt sich derzeit gut mit

¹ Hausladen: Ganzheitliches Planen und Bauen IN: Bauphysik 22 (2000), Heft 3, S. 153

² Lützkendorf: Bewertungsniveau, Energiepässe, Qualitätssicherung IN: dena: Die neue EnEV, 2001

dem baulichen Wärmeschutz besetzen. Die integrale Planung vereint all diese *Puzzlestücke* in einer *Grauzone* des Bauingenieurs, der “Symbiose“³ von **konstruktiv** umgesetztem **Wärmeschutz** und **Gebäudetechnik**. Letztere sollte dabei abrundend/vollendend, aber immer nur ergänzend, zum Einsatz kommen.

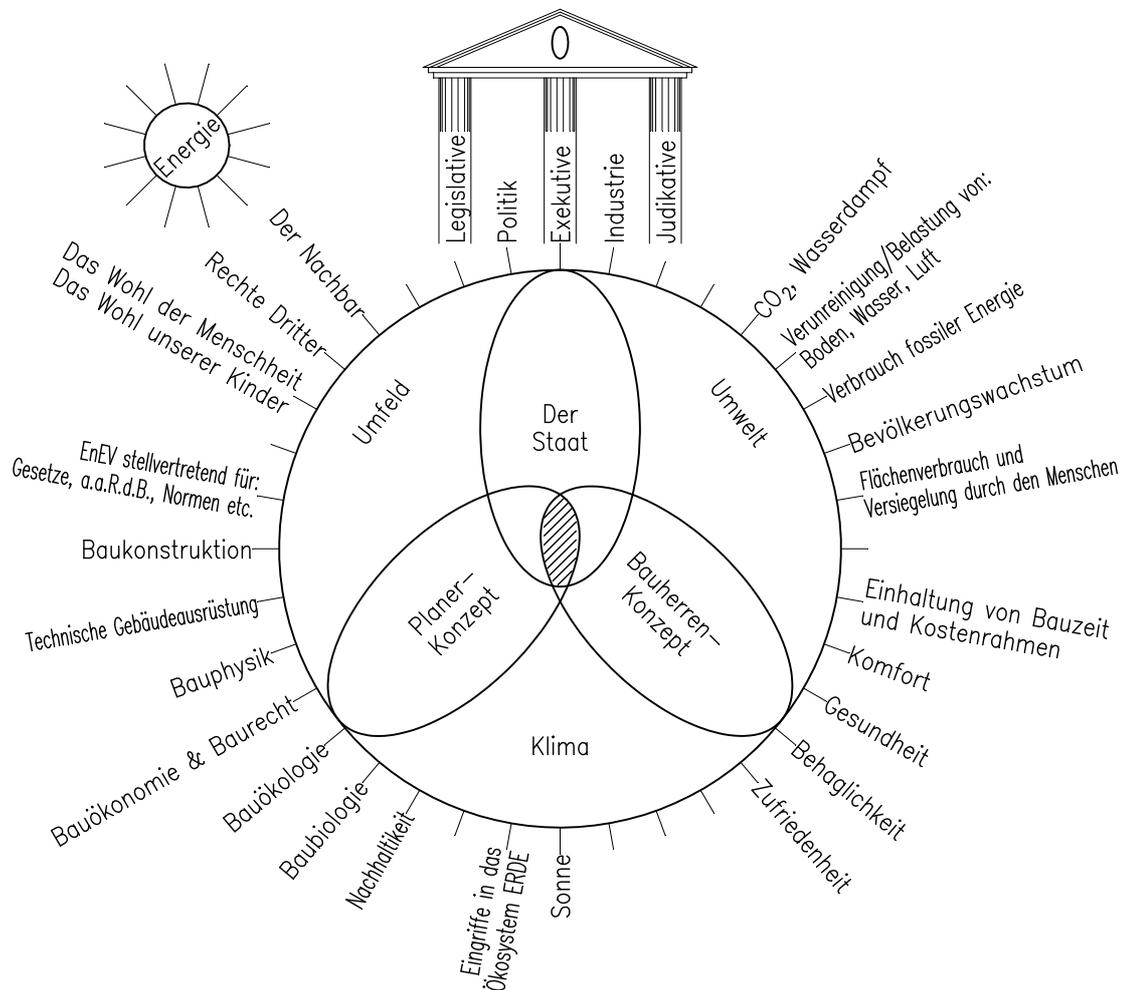


Abb. 01 Einwirkende Faktoren auf die Bauplanung

Aus den *Puzzlestücken* heraus, ließen sich folgende **Fragen** ableiten, die im weiteren Verlauf der Diplomarbeit erläutert bzw. diskutiert werden sollen:

- I. Inwieweit liegt es im Verantwortungsbereich des Bauingenieurs, ökologisch nachhaltig zu planen?
- II. Welche theoretisch-relevanten Auslegungs- bzw. Abstimmungskriterien existieren zwischen Heizanlagentechnik und Gebäude?
- III. Welche Auswirkungen hat bspw. die (Raum-)Trägheit auf das Gesamtsystem Gebäude/Heiztechnik?
- IV. Inwieweit ist der Fremdwärmeanfall maßgebend für die Art und Regelung der Wärmeübergabe?
- V. Nach welchen Gesetzmäßigkeiten bzw. Randbedingungen sind heutige Heizanlagen bzw. Wärmeübergabeeinrichtungen auszulegen?
- VI. Was kann von zukünftigen Anlagentechniken und Bauteilkonstruktionen erwartet werden?

³ Sie wird von vielen stellvertretend in der neuen EnEV gesucht bzw. gesehen.

1.2 Themenvorstellung/Kapitelzusammenfassung

Einzelne Bauthemen können nur isoliert/verallgemeinert betrachtet werden, wenn sie aus der Gesamtdarstellung des Bauens hervor gehen. Um die *Symbiose* Gebäude und Haustechnik näher zu untersuchen wurde deshalb eine *synopsenhafte* Darstellung gewählt. Den Kern bildet der Versuch einer ganzheitlichen Betrachtungsweise. Die Ökologie ist dabei das Bindeglied bzw. die Basis einzelner Themenpunkte.

CO₂ ist ein geruchs- und geschmacksfreies unsichtbares Gas, das in normaler Konzentration für den Menschen ungiftig ist. Der Planer muss CO₂- bzw. Primärenergie(-einsatz) quantifizieren und minimieren. Aus diesem Grund müssen diese Faktoren (be-)greifbar sein. Allgemeine Mediendarstellungen be- bzw. verhindern jedoch eine dahin gehend objektive Beurteilung. Das **Kapitel 2** stellt Zusammenhänge zwischen den Begriffen CO₂, (fossile) Primärenergie, Ökologie mit dem Bauen dar. Die Verantwortung, die der Planende dabei trägt, wird näher umrissen.

Das natürliche Klimatisieren von Wohngebäuden bzw. Räumen, das überwiegend über Baukonstruktion und meteorologische Einflüsse erfolgt, entwickelte sich über die vergangenen Jahrzehnte mehr und mehr zu einer *Grauzone* für Bauingenieur und Architekt. Es wird ein Zusammenhang bzw. die Notwendigkeit ökologisch orientierter integraler Planung herausgestellt. **Kapitel 3** spannt einen nahen und weiten geschichtlichen Bogen zwischen autochthoner (natürlicher) bis hin zu künstlicher (technischer) Klimatisierung von Wohngebäuden. Dabei wird auch der Wärmeschutz der letzten zwei Jahrzehnte sowie die neue Energieeinsparverordnung einer kritischen Bewertung unterzogen. An den Einflussfaktoren des Heizenergiebedarfs werden Postulate energetisch optimierter Gebäude definiert. Hierbei wird speziell auf den Stellenwert der Raum- bzw. Gebäudeträgheit aufmerksam gemacht.

Die Bauphysik ist ein wichtiges, aber immer noch unterschätztes bzw. vernachlässigtes Planungsinstrument. Das **Kapitel 4** zeigt Grundlagen und Randbedingungen thermodynamischer Berechnungen und macht die Annahmen z.T. komplexer Zusammenhänge der instationären Wärmeleitung deutlich bzw. verständlicher. Es wird speziell auf das Gebäude als passives Stell- und/oder Steuerglied (Zeitkonstante bzw. Gebäudeträgheit) bei der Heizanlagenwahl/-abstimmung eingegangen. Es werden Zusammenhänge zum Thema Behaglichkeit, zum Fremdwärmeausnutzungsgrad, zu den Zeitkonstanten von (Gebäude/)/Raum/Heizanlage sowie zum Regelverhalten aufgezeigt. An einem Beispiel(-raum)/Bauteil wird die Reaktion auf eine Heizpause abgeschätzt. Damit wird die Notwendigkeit erzwungener instationärer Heizvorgänge zur Diskussion gestellt bzw. aus der Sicht eines Gebäudeplaners hinterfragt.

Das **Kapitel 5** fasst die Themengebiete der Arbeit in einem Abstract zusammen. Die in der Einleitung formulierten Fragen werden aufgegriffen – Antworten/Beantwortbarkeit resümiert. Im Anschluss werden allgemeine Auslegungs- bzw. Planungskriterien für die Einheit Heiztechnik + Gebäude formuliert.

1.3 Hinweise zum (Text-)Inhalt bzw. zur Gestaltung der Arbeit

Mit dem Wort Verfasser ist der Autor **dieser Arbeit** gemeint. Andere Personen, die in dieser Arbeit im Zusammenhang mit Quellen und/oder **anderen Arbeiten** genannt werden, sind mit dem Wort Autor gekennzeichnet.

1. *Wortgestaltung* bedeutet eine Hervorhebung bzw. eine besondere Wortwahl des Verfassers (bspw. *ausgesuchten*)
2. „Text“ bedeutet zitierten Text aus einer Quelle (Verbindung mit einer Fußnote üblich)
3. “Text“ ungeschriebenes Antonym (Negation) des betreffenden Wortes → Ironie
4. “Wort“ Kombination aus 1. und 3.

Normalerweise ist es in einer wissenschaftlichen Arbeit unüblich auf fachlich unspezifische Artikel aus (Tages-) Zeitschriften zurückzugreifen. Die hier darzustellende Thematik machte jedoch eine derartige Vorgehensweise nötig, um fachübergreifende Zusammenhänge herausarbeiten zu können.

Verwendete Software:

- Der **ESRA** zum Herausarbeiten meteorologischer Einflüsse/Randbedingungen
- **DynaTherm** zur Untersuchung des instationären Wärmetransports durch mehrschichtige Bauteilkonstruktionen unter Berücksichtigung meteorologischer Einflüsse

Die Internet Linkangaben wurden letztmalig bei der Erstellung des Literatur-/Quellenverzeichnisses überprüft.

2. Ganzheitliche Bauplanung

Gebäudeplaner haben kein ausschließliches CO₂-, sondern eher ein Menschheitsproblem! Allgemeingültiger definiert, mangelt es an Verständnis von Gesamtzusammenhängen → vernetztes/komplexes (ökologisches) Denken¹. Umweltprobleme, Rohstoffverknappung, Kriege um Energie² – vielleicht in naher Zukunft um Wasser und Nahrung. All diese Dinge könnten sich noch in diesem Jahrhundert stark zuspitzen. Da diese Zeitspanne in etwa der Standzeit bzw. der Restnutzungsdauer von Wohngebäuden entspricht, fällt auch dem Bauingenieur eine sehr große Verantwortung zu. Er sollte die betreffenden Problemfelder (gut) kennen.

Es wird davon ausgegangen, „dass ein Mensch durchschnittlich 80 Prozent seiner Zeit in geschlossenen Räumen verbringt“³. Unter den Begriff Umwelt fällt auch unsere naheste Wohn- und Arbeitsumwelt. Sie ist neben der intakten natürlichen Umwelt in starkem Maße Garant für unser Wohlbefinden und unsere Gesundheit. Hört hier nun die neue Ökologie am Bau und die angestrebte Nachhaltigkeit auf? Hat das nichts mehr mit Umweltschutz zu tun oder ist die Baubiologie⁴ der Umweltschutz unserer Wohn- und Arbeitsumwelt⁵? Baubiologie = Bauökologie (?). **Das Biotop des (modernen) Menschen ist das Haus!** Ist biologisch = ökologisch = energieeffizient = langlebig = die beste Lösung = gesund = ökonomisch = Bauherrenwunsch = im Interesse des Ingenieurs und/oder Architekten = vereinbar mit dessen Fähigkeiten = dem Geschick bzw. Vermögen der ausführenden Handwerker = sozialverträglich = im Sinne Dritter oder der Gesellschaft ... ?

Eine allumfassende Antwort auf dieses Gleichnis gibt es in der Realität nie. Eine Lösung zu finden, bedeutet immer einen Kompromiss einzugehen. Um Kompromisse schließen zu können, sollten Möglichkeiten, Grenzen und Gefahren bekannt sein. Eine klare Argumentation ist dabei genauso unerlässlich, wie das hierfür nötige Randwissen und planerische Feingefühl. Der Leitfaden Nachhaltiges Bauen gibt hierzu viele nötige und nützliche Ansätze bzw. Hinweise. Sein Geltungsbereich erstreckt sich (derzeit nur) auf die Liegenschaften oder Gebäude des Bundes⁶. Die breite Masse bilden aber die Wohngebäude in unserem Land. Für diese und die Menschen, die darin leben, bleibt dann oft nur die praktische Umweltmedizin?! „Wenn es für Zimmerluft klare und verbindliche Schadstoffgrenzwerte wie für Arbeitsplätze gäbe, müssten 10 % der Wohnungen in der Bundesrepublik evakuiert werden, bekämen Millionen Menschen Hausverbot im eigenen Haus.“⁷ Die Dunkelziffer ist sicher weitaus höher!?

„Wenn es um „Ökonomie“ und „Ökologie“ geht, so bedeutet das: Die Ökologie steht für die Funktionsweise des Hauses. Letztere ist in ihrer heutigen Verfassung jedoch drauf und dran das Haus zugrunde zu richten.“⁸ Umweltbelastungen können „aus methodischen Gründen derzeit

¹ vgl. Fester: Die Kunst vernetzt zu denken, 2002, u.a. S. 166, „Mehrfachnutzung von Produkten ...“

² bspw. der Golfkrieg, um Erdöl und/oder politischen Machteinfluss

³ Bayerisches Staatsministerium für Landesentwicklung und Umweltfragen: Fachinformation, 02/1999

⁴ zur Begriffserklärung von: Baubiologie, Ökologie und Umweltmedizin, vgl. bspw. Diel/Feist/Linden: Ökologisches Bauen und Sanieren, 1998, S. 340

⁵ vgl. Palm: Das gesunde Haus, 1992

⁶ ebenda, S. 1

⁷ Rüdén IN: Popp-Dellweg: Umwelt und Wohnen

⁸ Scheer: Ökologie ist Ökonomie, http://www.hermann-scheer.de/pdf/FES_Yearbook.pdf, S. 1

noch nicht monetarisiert werden“⁹. Nicht methodische, sondern systembedingte Hürden (das weltweite Wirtschaftssystem) behindern die Einführung eines „Ökosozialproduktes“¹⁰, mit dessen Hilfe eine deutlich realere Ökologie möglich wäre. Eine Bilanzierung von Kohlendioxid und Primärenergie ist ein Anfang, aber leider auch nicht mehr. Wobei eine ausschließliche Betrachtung von CO₂ die wahre Umweltbelastung nur sehr unvollständig erfasst. Der reale Nutzen für Mensch und Natur ist oft in einen *CO₂-Nebel* gehüllt und durch „moderne“ Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen verschleiert.

Letztlich dreht sich wieder (fast) alles um die altbekannte Ökonomie und wird so in monetäre Schubladen gesteckt. Im günstigsten Fall wird eine gesunde, behagliche und nachhaltige Bauweise angestrebt, in den seltensten Fällen aber tatsächlich verwirklicht.

Bauen (auch Umnutzung und/oder Sanierung) bedeutet dabei immer Ressourcenverbrauch und Umweltbelastung/-schädigung. Vor allem der Betrieb vieler Gebäude wird auf Dauer zum Problem. Das Bauwesen produziert mit die langlebigsten Konsumgüter überhaupt. Damit ist die Verantwortung für alle am Bau und an der Nutzung Beteiligten sehr hoch. Nicht nur was die Nachhaltigkeit angeht (hier besonders auch das Langzeitverhalten von Baustoffen), sondern auch die in der Endkonsequenz folgende Betrachtung von Abfall, Recycling (nicht Downcycling), Wiederverwendung (Re-use) oder Wiedereingliederung in den natürlichen Stofffluss. Die Frage, die sich dann aber schier aufdrängt ist, ob dieses Problem, das die Menschheit offensichtlich hat, allein mit einer Energie- bzw. CO₂-Bilanz *erschlagen* werden darf?! Letztlich sollte der Umwelt- bzw. Naturverbrauch als ökologisches Bewertungskriterium fungieren. Wie dies im Besonderen zu verstehen ist, soll näher erläutert werden.¹¹

2.1 Chancen und/oder Geißeln ganzheitlicher Bauplanung

2.1.1 “Totschlag-“Argument CO₂

Die Lösung des CO₂-Problems scheint momentan die Rettung des Planeten Erde zu bedeuten. In der allgemeinen Hysterie sind andere (Umwelt-)Probleme nicht mehr existent oder nur von untergeordneter Bedeutung. Auch die Welt des Bauwesens konzentriert derzeit viele Anstrengungen auf eine CO₂-Reduzierung, oft um jeden Preis!? Eine objektive Relativierung ist angebracht, um von dieser einseitigen Betrachtungsweise von Umweltrisiken weg, hin zu einer umfassenderen Sichtweise zu gelangen.

Unumstößlich fest steht, dass der Mensch der alleinige Umweltzerstörer ist, denn „die Natur hat immer Recht und die Fehler und Irrtümer sind immer die der Menschen.“¹²

Warum stellt gerade das Kohlendioxid ein Problem dar, wo es doch Teil des Stoffkreislaufes der Biosphäre ist? Es geht hierbei nicht um den natürlichen, sondern um den anthropogenen, also durch den Menschen verursachten, Treibhauseffekt. Kohlendioxid wird neben naturbedingten Vorgängen auch bei der Verbrennung und Umwandlung von fossilen Rohstoffen¹³ freigesetzt.

Aus der Sicht einer optimierten CO₂-Bilanz ist fast jeder Baustoff ökologisch, nahezu jedes Mittel das Richtige. Bei einer solchen Betrachtungsweise hätte es bspw. keinen Ausstieg aus der

⁹ BMVBW: Leitfaden Nachhaltiges Bauen, Januar 2001, <http://www.bmvbw.de/Leitfaden-nachhaltiges-Bauen-.565.htm>, S. 11

¹⁰ Grahl: Strukturfehler unseres Wirtschaftssystems, IN: Solarbrief 1/01, S. 24, <http://www.sfv.de/sb011kpl.pdf>

¹¹ vgl. Abb. 08

¹² Goethe, dt. Dichter, 1749-1832

¹³ Gemeint sind primär kohlenstoffhaltige Verbindungen: Holz, Kohle und Kohlenwasserstoffe (Erdöl, Erdgas etc.).

Kernenergie geben dürfen, da sie unter relativ geringer CO₂-Belastung Energie liefert.¹⁴ Es kommt aber auf die Gesamtbilanz an, wie eine Kurzstudie des Wuppertaler Instituts für Klima, Umwelt, Energie GmbH zeigt.¹⁵ Betrachtungsweisen gibt es zur Genüge. Dabei ist letztlich schwer zu unterscheiden, was wahr ist und was nicht. Industrie-Lobbyist hier, *Wichtiguer* da, Politiker dort und einige „Brotgelehrte“¹⁶, die alles bestätigen?.

Wie groß der Einfluss des Menschen auf das globale Klima ist, wird dem interessierten Laien in einem subjektiv-rhetorisch-polemischen Medienspektakel¹⁷ *verkauft*, das überwiegend von Meinungen und Glauben beherrscht wird. Da nun aber „defensives Umweltverständnis .. oft auch .. ökologisch getarnter Egoismus“¹⁸ ist, muss mit Glaubensbekundungen vorsichtig umgegangen werden. Im Internet sind zu den Problemen Kohlendioxid und Treibhauseffekt viele kontroverse Beiträge veröffentlicht. So versucht bspw. Prof. Dr. G. Gerlich, TU-Braunschweig, den Treibhauseffekt physikalisch zu widerlegen. In einem Brief an Angela Merkel, ruft er auf, unseren Bundeskanzler nicht zu belügen.¹⁹ Die Quellen widerspiegeln andere Meinungen bzw. sind wissenschaftlich nicht nur für den Laien schwer nachvollziehbar. Ihre Glaubwürdigkeit ist wissenschaftlich-objektiv kaum zu bewerten. Das soll nicht heißen, über die eine oder andere gemachte Äußerung nicht nachzudenken. So schreibt Dr. Hans-Jochen Luhmann, Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie GmbH, „Energiepolitik ... ist immer zugleich internationale Finanz- und Handelspolitik, und hinter ihr steht die Option militärischen Eingreifens.“²⁰ Sollte nun die Politik diese Problematik künstlich aufbauschen, ja sogar über die Wissenschaft obsiegen?! Es liegt die Vermutung nahe, „dass der Mensch inzwischen nicht nur Spielball des Klimas ist, sondern dass er auch das Klima verändert.“²¹ Dieser Frage ging Dr. Ulrich Berner von der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR Hannover) nach. Er ist mit seinem Standpunkt in den Blickpunkt der Öffentlichkeit geraten²². Er macht die Sonne für den derzeitigen Klimawandel hauptverantwortlich. Seine Gesamtdarstellung steht keinesfalls im Widerspruch zu Energieeinsparmaßnahmen, Ressourcenschonung und Umweltschutz. Vielmehr wird in ²¹ unmissverständlich dargestellt, auf welche rücksichtslose Art und Weise der Mensch bisher mit der Erde und ihren Schätzen umgegangen ist. Beispielsweise erhöhte sich die Kohlendioxidkonzentration der Atmosphäre seit Beginn der Industrialisierung weltweit durchschnittlich von 280 ppm auf 355 ppm. Dies geschah hauptsächlich infolge der Verbrennung der Energieträger Kohle, Erdöl und Erdgas, wobei große Mengen des über Jahrmillionen in der Erdkruste gespeicherten Kohlenstoffs in kürzester Zeit in die Atmosphäre zurückflossen. Hinzu kommen die Waldbewirtschaftung (Vernichtung von 500 Millionen ha tropischen Regenwaldes sowie 100 Millionen ha Waldes in gemäßigten Breiten), Landgewinnung (Kultivierung ganzer Landstriche, Trockenlegung von Mooren und Sümpfen sowie

¹⁴ vgl. Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie: Broschüre Energiedaten, Stand: 07/2000, S. 4

¹⁵ vgl. Hennicke/Fischedick: Kurzfristiger Kernenergieausstieg und Klimaschutz, 08/1998

¹⁶ Schiller: Akademische Antrittsrede 1789, gemeint ist eine bestimmte „Art“ von Wissenschaftlern

¹⁷ Die Debatte ist zu einem rel. unwissenschaftlichen Medienstreit/-spektakel ausgeartet. ; vgl. Spiegel Online: Die Erderwärmung ist unberechenbar, 09. Juli 2002, <http://www.spiegel.de/wissenschaft/erde/0,1518,204408,00.html> und demgegenüber http://idw-online.de/public/zeige_pm.html?pmid=51365

¹⁸ Scheer: Ökologie ist Ökonomie, S. 3

¹⁹ vgl. Gerlich: An BM für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit Angela Merkel, 18.02.1996

²⁰ Luhmann: Die Machtfrage Klimaschutz, Die Welt, 25.06.2001

²¹ Berner/Streif: Klimafakten, 2000, S. 9

²² Traufetter: Die Launen der Sonne, Der Spiegel 23/2001

Flussbegradigungen etc.) bzw. Landwirtschaft (Verlust an organischer Substanz in ackerbaulich genutzten Böden)²³, aber auch die Produktion von Rohstoffen und letztlich unsere Konsumgüter. Beim Letztgenannten wird besonders der Inhalt der Tab. 01 interessant. Sie veranschaulicht ein allumfassenderes Bild einer CO₂-Bilanz.

| | | |
|---------------------------------------|-----------------------------------|-------------|
| 1 | Nahrung und Konsumgüter | 15 |
| 2 | Auto (15'000 km) | 7.5 |
| 3 | Heizung (Heizöl) | 3.5 |
| 4 | Elektroenergie (inkl. Warmwasser) | 2.6 |
| 5 | Flugzeug (Urlaubsreise) | 1.5 |
| 6 | ÖPNV (Bus) | 0.5 |
| Gesamtemission p.a. für 3 Personen | | 30.6 |
| Gesamtemission p.a. (1990) pro Person | | 10.2 |

Tab. 01 CO₂-Bilanz einer bundesdeutschen Durchschnittsfamilie

Enquête-Kommission mit Daten für China. Dort lag 1990 der Wert sogar noch 2.2 t unter dem Weltdurchschnitt von 4.2 Tonnen CO₂ pro Kopf und Jahr.²⁴ Beziehen sich die Überlegungen weiter auf das Bevölkerung- und Wirtschaftswachstum der Schwellen- und Entwicklungsländer²⁵, wird klar, dass sich der Raubbau an der Natur in Zukunft nicht so einfach eindämmen lässt! „Wir sollten daher dringend anfangen zu sparen ..., da wir auch in .. Zukunft nicht

ohne fossile Energieträger auskommen werden. Allerdings ist Effizienzsteigerung bei der Energiegewinnung eine der dringendsten Maßnahmen.“²⁷ Dem stimmt das Wuppertal Institut zu: „Doppelter Wohlstand bei halbiertem Naturverbrauch.“²⁴

Welche Rolle spielt das Kohlendioxid? Hierzu liefern Berner und Streif im Ergebnis die folgende Bestandsaufnahme:

- Kohlendioxid bestimmt das Klimageschehen nicht allein. So gibt es noch andere Kräfte, deren Anzahl, Einfluss und Natur heute noch nicht im vollen Umfang verstanden werden.
- Es fällt offensichtlich schwerer das Klima zu schädigen, als befürchtet. Es ist aber auch schwerer zu schützen, als gewünscht!
- Die Szenarien der Klimaforscher sind keine Prognosen. Die noch unvollkommenen Modellrechnungen liefern nur mehr oder weniger wahrscheinliche Zukunftsbilder²⁸.

²³ vgl. Berner/Streif: Klimafakten, 2000, S. 85 ff.

²⁴ Energieeinsparung in Schulen in NRW: 3 Unterrichts- und Projektmaterialien, <http://www.uni-mainz.de/~necos/espnrw/band3-3.pdf>, S. 2 bis 7

²⁵ vgl. Abb. 03

²⁶ vgl. Datenmaterial Tab. 01

²⁷ Berner/Streif: Klimafakten, 2000, S. 225

²⁸ vgl. Berner/Streif: Klimafakten, 2000, S. 223

Die Datenwerte sind in Tonnen pro Jahr, stammen vom Wuppertal Institut und entsprechen dem Stand von 1990²⁴. Sie gelten für eine dreiköpfige Familie (2 Erwachsene, 1 Kind) mit normalen Lebensansprüchen. Für das Jahr 1997 liegt der gleiche Wert immer noch recht hoch aber schon etwas niedriger bei 11.3 t/a. Einen guten Vergleich hierzu liefert die

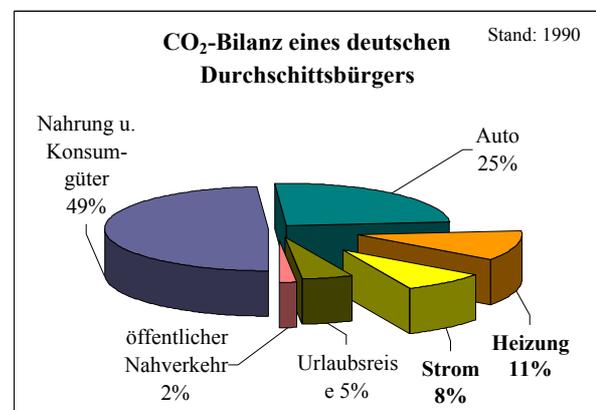
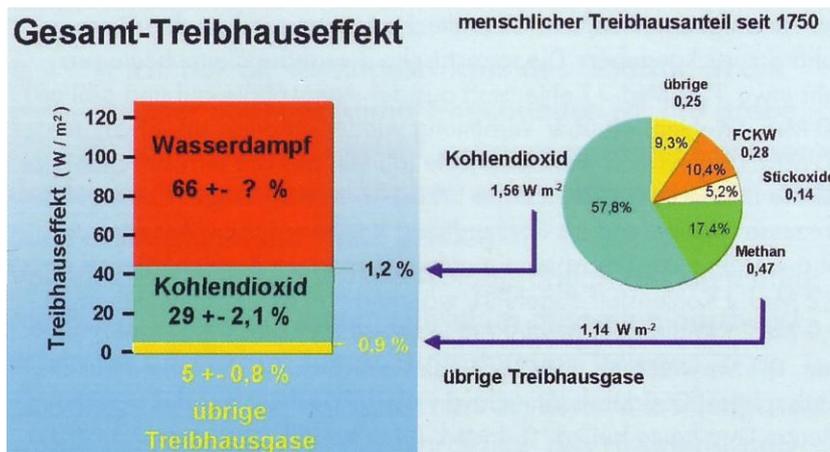


Abb. 02 Prozentuale Darstellung der CO₂-Bilanz eines deutschen Otto-Normal-Verbraucher²⁶

Sie lassen den Leser auch nicht im Unklaren über den Anteil „ihres“²⁹ geschätzten Treibhauseffektes wie die Abb. 03 verdeutlichen soll.



Wasserdampf ist das wichtigste Treibhausgas der Atmosphäre, gefolgt von Kohlendioxid sowie den übrigen Spurengasen Ozon, Methan und Stickoxiden. Der anthropogene (menschliche) Anteil an diesem Treibhausgas beträgt etwa 2,7 W/m² bzw. 2,1 Prozent.

Abb. 03 Gesamttreibhauseffekt³⁰

Warum gibt es *böses Blut* zwischen Neo- und Paläoklimatologen, wo auf den zweiten Blick beide Parteien am gleichen Strang zu ziehen scheinen? Es stellt sich die Frage: Warum bei scheinbar gleichen Zielen die allgemein vorherrschende Meinung anders ausfällt und wieso für den Laien eine Kongruenz zu politisch gesteckten Klimaschutzziele oft vergebens zu suchen ist. Für den auf Umweltthemen spezialisierten Autor Dirk Maxeiner scheint die Antwort klar. Er bezeichnet die Klimakonferenzen als „Basar der Bürokraten“. Für ihn ist es eine Frage der Zeit, bis es die ersten „Klimamelker“³¹ gibt. Warum wird die Angst um den menschlichen Klimaeinfluss „in Form medienwirksamer Horrorszenarien“²⁷ geschürt, wo sie doch schon immer ein schlechter Ratgeber war, um Probleme dauerhaft und richtig zu lösen? „Unsere Generation ... hat genug damit zu tun, um mit ihrem Wissen unser Dasein und unsere Umwelt lebenswert und zukunftsfähig zu erhalten“²⁷, damit sie nicht, durch einen quälenden und lähmenden Dauerzustand ausgebremst oder abgelenkt, an den wirklichen Zielen vorbeiläuft!? Das CO₂-Problem muss angegriffen werden! Das kann und darf aber nicht losgelöst von allen anderen Umweltproblemen geschehen.

Eine große *Restschuld* für den Menschen bleibt somit in jedem Fall bestehen. Das lässt sich ableiten, wenn die Stadtklimate im Verhältnis zu ihrer ländlichen Umgebung Betrachtung finden. So erzeugen vor allem die dort auftretenden erhöhten Schadstoffkonzentrationen, die erhöhte Absorption der solaren Strahlung³² und die Bebauung³³ eine Dunstglocke, die für Smog, erhöhte Temperaturen und andere Dinge³⁴ verantwortlich ist. Dieses Beispiel zeigt ein weiteres großes Gebiet für Architekten und Ingenieure, durch ihre Arbeit aktiv Umweltbelastungen zu reduzieren. Es zeigt auch, dass Kohlendioxid nur eine Nebenrolle spielt, da ein objektives

²⁹ vgl. Rahmstorf: Flotte Kurven, dünne Daten, IN: Die Zeit, 37/2002, http://www.zeit.de/2002/37/Wissen/200237_n-klimadebatte.html; natürlicher Treibhauseffekt \triangleq ca. 33 K, davon 2,1 % = 0,7 K globale Erwärmung in 1000 Jahren

³⁰ vgl. Abb. 4.21, Berner/Streif: Klimafakten, 2000, S. 87

³¹ Maxeiner: Basar der Bürokraten, IN: Spiegel Online: <http://www.spiegel.de/wissenschaft/0,1518,101658,00.html>

³² Gemeint ist die erhöhte Wärmeabstrahlung durch versiegelte bzw. mehr wärmespeichernde Flächen.

³³ Gemeint ist die Änderung der natürlichen Oberflächenrauheit der Erdoberfläche und die damit verbundene Beeinflussung des Windes.

Gesamt-Umwelt-Denken immer wichtiger wird. Die ETH-Zürich erklärt dem *Durchschnittsbürger* das Klima mit den folgenden Worten: „Das Klima kann nicht losgelöst von anderen Umweltsystemen verstanden werden. Es ist unlösbar mit dem Wasserkreislauf, dem Boden, den Gesteinen und der belebten Natur zu einem vielfältigen Ursachen-Wirkungsgeflecht verbunden.“³⁵ Diese Definition lässt eine Umkehrung zu, sie zeigt, dass eine direkte Übertragung auf das Bauwesen erforderlich ist, um eine *reale* Ökologie zu erreichen. Die Ökologie des Bauens zu befolgen, impliziert sogar eine automatische CO₂-Reduzierung. Eine Betrachtung von kumulierten Energieaufwandszahlen (KEA)³⁶, wie sie das Öko-Institut e.V. auch im Zusammenhang mit der neuen Energieeinsparverordnung vorgeschlagen hat, ist sicher ein Schritt in die richtige Richtung. Aber wohin führt das und reicht das aus?

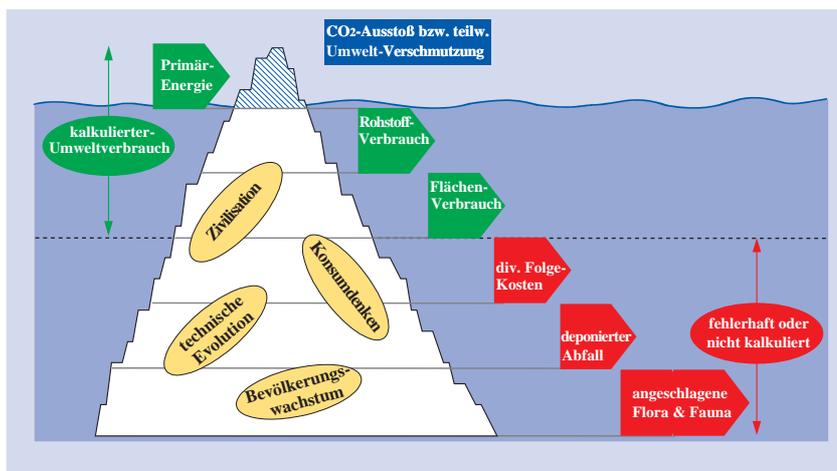


Abb. 04 zeigt zusammengefasst das gesamte Ausmaß der derzeitigen Betrachtungsweise. Die schraffierte Spitze des Eisberges verdeutlicht anschaulich, welcher Anteil an Umweltverbrauch derzeit kalkuliert wird. Dabei scheint u.U. die Fläche noch großzügig gewählt. Unter Einbe-

Abb. 04 Das Eisbergsyndrom und der (un)kalkulierte Umweltverbrauch

ziehung indirekter CO₂-Emissionen kommt bspw. das UPI³⁷ zu ganz anderen Ergebnissen, als sie die offiziellen Stellen bekannt gegeben³⁸.

Die grünen Pfeile der Abb. 04 werden derzeit mengenmäßig erfasst, tauchen aber nirgendwo ökologisch zusammenhängend bilanziert auf.

Rückblickend auf die CO₂-Bilanz der Durchschnittsfamilie und bei vorausschauender Betrachtung des folgenden Jahrzehnts scheint es, als schichte sich der Energieverbrauch auf andere Energieträger um. Lag der auf Kohlendioxid umgelegte Stromverbrauch 1990 noch unter dem Heizenergieverbrauch³⁹, so liegt er heute weit darüber⁴⁰. Die Rechnung des doppelten Wohlstandes bei halbierten Naturverbrauch scheint nicht aufzugehen. Zivilisation, Konsum und Mobilität fordern ihren Preis. Wie lange kann der (zivilisierte) Mensch noch so weiter machen? Wann gehen uns die fossilen Energieträger aus?

³⁴ vgl. Landeshauptstadt Dresden: Umweltbericht 1998 ; vgl. Herbst: Stadt- und Geländeklima, WS 1999 und vgl. Uni-Erlangen: Das Stadtklima in Mexico City

³⁵ vgl. Eidgenössische Technische Hochschule Zürich: Klima und Treibhauseffekt S. 61

³⁶ vgl. Öko-Institut: Methodikfragen bei der Berechnung des KEA, 1999

³⁷ vgl. Umwelt- und Prognose-Institut: <http://www.upi-institut.de/upi33.htm>

³⁸ Wie seriös diese Werte sind, möge der Leser aus dem logischen Zusammenhang heraus für sich selbst entscheiden.

³⁹ vgl. Abb. 02 bzw. Danner/Dassler/Krause: Die klima-aktive Fassade, 1999, S. 21 oben

⁴⁰ vgl. Abb. 07

2.1.2 (Un-)Endlichkeit fossiler Energie

Der zweite *Stressfaktor*, neben dem CO₂-Problem, ist das absehbare Ende von Erdöl und Erdgas. Geht unsere Zivilisation in 50 Jahren an einer Energiemenge zu Grunde oder werden uns schon im Vorfeld Kriege um Religion, Energie und Wasser das Leben schwer machen? Welchen Energieträger empfiehlt nun der Ingenieur seinem Bauherren? Wie sieht die Preisentwicklung der fossilen Brennstoffe für die nächsten 25 bis 30 Jahre Anlagenlebensdauer aus und auf welche erneuerbare Energiequelle wäre ggf. zurückzugreifen?⁴¹ Dies sind nur einige wenige Fragen, mit denen sich auch ein Bauingenieur auseinandersetzen muss.

Die Haushalte verbrauchen rund 30 Prozent der PE in Deutschland. Diese Primärenergie wird zu ca. 85 Prozent durch Verbrennen fossiler Energieträger gewonnen. Davon werden knapp die Hälfte über Mineralöl und gut je ¼ durch Naturgas und Kohle erzeugt.⁴² Bei diesen Zahlen muss der Planer überlegen: Wie könnte die energetische Zukunft aussehen? Wie sind im Einzelfall Energien einzusparen? In welchem Umfang wären erneuerbare Energiequellen zu nutzen? Dabei ist es schwer Entwicklungen für die Nutzungsdauer von Gebäude und/oder Haustechnik abzuschätzen. Der folgende statistische Überblick soll zur Erleichterung der Entscheidungsfindung beitragen.

Anhaltspunkte zu diesem Thema liefert die BGR, deren Quellen relativ sichere Prognosen zulassen. In den nachfolgenden Betrachtungen wird zwischen Reserven⁴³ und Ressourcen⁴⁴ der jeweiligen Energiequellen unterschieden.⁴⁵

Bei der Kohle bestehen die größten Energiereserven, sie reichen ca. für die nächsten 185 Jahre. Dagegen ist bei Erdgas mit ca. 64 Jahren und Erdöl (nur ca. 44 Jahre) ein Ende absehbar⁴⁶. Zu bedenken ist, dass die Ressourcen aber noch für einige Jahrhunderte Energie liefern könnten. Für konventionelles Erdöl wird die maximale Fördermenge in den Jahren zwischen 2010 bis 2020 mit weltweit ca. 4.5 bis 5 Milliarden Tonnen erwartet.⁴⁷ Bei Erdgas tritt dieser Moment erst ca. 25 Jahre später ein. Als negativ ist bei Erdgas der teure Transport einzustufen, welcher die Hauptursache für einen regional begrenzten Markt bildet. Die Transportkosten beaufschlagen sich wegen der geringen Energiedichte von (Erd-)Gas. Diese sind gegenüber Erdöl bei gleicher Beförderungsvariante und Entfernung höher (um 400 Prozent bei Tankern und bis zu 600 Prozent und mehr bei Pipelines). Eine positive Unbekannte bilden demgegenüber die Vorkommen an Gashydraten.⁴⁸

Festzustellen ist, dass mit der Integration erneuerbarer Energien forciert vorangegangen werden muss, um die fossilen Energieträger nicht nur zu schonen, sondern um sie zu gegebener Zeit auch substituieren zu können. Für die chemische Industrie, deren Produkte⁴⁹ sich für die

⁴¹ vgl. Anhang A.1: Allgemeines und Berechnungen, S. A.1-19

⁴² vgl. BMWi: Broschüre Energie Daten 2000, Stand: 07/2000, S. 4

⁴³ Die Menge einer Lagerstätte, die nachgewiesen bzw. wahrscheinlich ist und mit derzeitiger Technik wirtschaftlich ausgebeutet werden kann.

⁴⁴ Geschätzte/vermutete Vorkommen bzw. solche, die sich mit heutiger Technik nicht wirtschaftlich oder nur schwer abbauen lassen.

⁴⁵ vgl. Stahl: Die weltweiten Reserven der Energierohstoffe, 17.08.1998

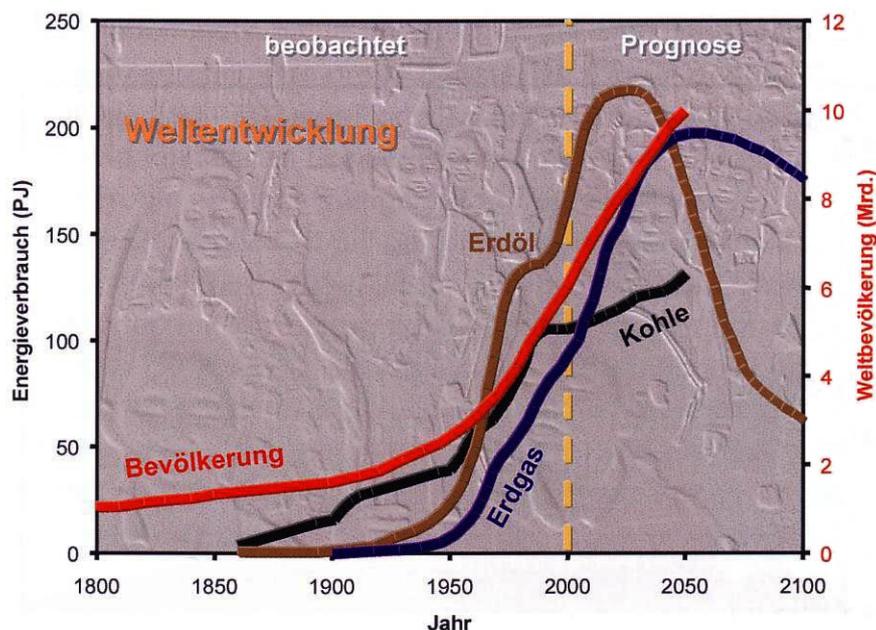
⁴⁶ Die Basis der statistischen Erhebung der BGR ist das Jahr 1998.

⁴⁷ vgl. Kehrer: Das Erdöl im 21. Jahrhundert, 14.02.2000

⁴⁸ vgl. Rempel: Erdgas im 21. Jahrhundert, 15.05.2001

⁴⁹ Gemeint sind primär Kunststoffe und deren Folgeprodukte.

technische Evolution des Menschen unentbehrlich gemacht haben, sind gerade die Kohlenwasserstoffe⁵⁰ wichtige Rohstoffe. Ähnlich verhält es sich mit der Nutzung der Elektroenergie. Sie wird in nahezu allen Bereichen des (zivilisierten) Lebens genutzt. Trotz der vielen Vorteile der Elektroenergie sollte der Verlustfaktor mit einkalkuliert werden. Die derzeitigen Kraftwerks- und Verteilungsverluste sind noch zu hoch, um diese Energieform primär für die Gebäudeklimatisierung (Heizen, Lüftung, Kälte) einzusetzen. Im Sinne unserer Umwelt und unserer Kinder muss mit (fossilen) Energiequellen intelligenter und nachhaltiger umgegangen werden.



Entwicklung der Weltbevölkerung und der Anteile einzelner Energieträger am Weltenergieverbrauch einschließlich Prognose bis in das Jahr 2100

Abb. 05 Weltentwicklung⁵¹

Dieser Lernprozess sollte/könnte durch Preissteigerung für fossile Brennstoffe (bzw. der Kernenergie) beschleunigt bzw. zügig vorangetrieben werden. Es sind Preise^{52 u. 53} anzustreben, die mit den tatsächlich verursachten Umweltschäden korrelieren, ggf. sogar die Kosten für evt. Risikoversicherungen (bspw. Reaktorvorfall, Tankerunglück etc.) beinhalten. Von entsprechenden Stellen, die sich mit der Erstellung von Preisprognosen für derartige Energieträger befassen, ist in dieser Richtung aber kaum eine Veränderung zu beobachten⁵⁴. Erneuerbare Energien werden somit indirekt benachteiligt, was eine flächendeckende Gewinnungs- und Nutzungsausbreitung hemmt. Ein ökonomischer Einsatz solcher Energien wird in vielen Fällen (Biomasse und Windkraft seien hier außen vor) verhindert. Gerade die nächsten 50 Jahre müssten durch Politik und Industrie als Übergangszeit genutzt werden, um den Energiesektor zu 100 Prozent auf erneuerbare Energien umzustellen⁵⁵. Derzeit verläuft die Entwicklung eher in die falsche Richtung.

⁵⁰ Gemeint sind Erdöl und Erdgas.

⁵¹ vgl. Berner/Streif: Klimafakten, 2000, S. 223, Abb. 11.18

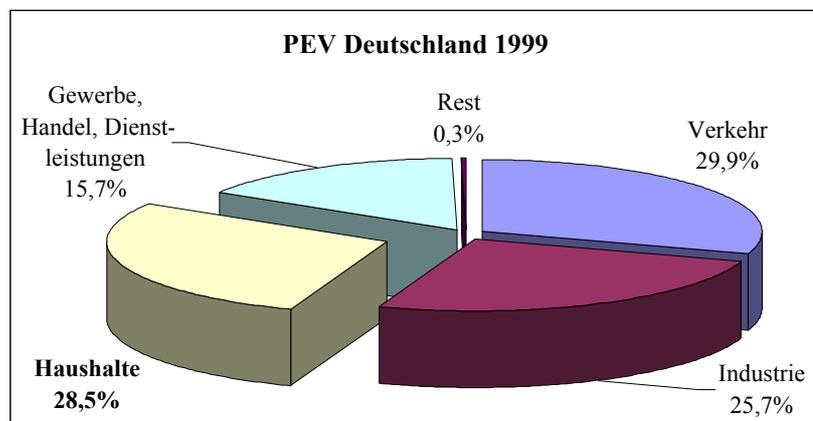
⁵² vgl. Grahl: Strukturfehler unseres Wirtschaftssystems, IN: Solarbrief 1/01, S. 25, <http://www.sfv.de/sb011kpl.pdf>

⁵³ vgl. Danner/Dassler/Krause: Die klima-aktive Fassade, 1999, S. 22 oben

⁵⁴ vgl. Kleemann/Heckler/Kolb/Hille: Die Entwicklung des Energiebedarfs zur Wärmebereitstellung in Gebäuden, Materialien, 2000, S.64, Tabelle 2.2.1.3 bzw. Anhang A.1: Allgemeines und Berechnungen, S. A.1-19

⁵⁵ vgl. 100 % Erneuerbare Energien sind möglich, <http://www.sfv.de/sob99207.htm>

Was spricht jedoch den Staat an, außer dass er für eine funktionierende Gesellschaft grundlegend ist. Es ist der relativ hohe Primärenergiebedarf der Haushalte, der eine leitende und lenkende Position erzwingt, um in diesem Bereich Energie einzusparen.



In Deutschland lag 1999 der Verkehr mit 29,9 Prozent an der Spitze des Gesamtprimärenergieverbrauchs von 14194 Petajoule, dicht gefolgt von den **Haushalten** mit **28,5 Prozent** und erst an dritter Stelle folgte die Industrie mit 25,7 Prozent.⁵⁶

Abb. 06 Sektoren-Anteile des Primärenergieverbrauchs 1999 in Deutschland⁵⁶

Das Eingreifen des Staates kann in aktive und passive Maßnahmen unterteilt werden. Mit aktivem Eingreifen forciert die Politik ein vorher definiertes Endergebnis. Es wird bspw. durch Steuern, Gesetze und Verordnungen (EnEV etc.) erreicht, denen auch die im Vorfeld nötige wissenschaftliche Forschung und Entwicklung zugerechnet werden kann. Der Verbraucher wird direkt *gezwungen*, einen bestimmten Weg einzuhalten. Passiv meint über kleine Umwege zum Ziel zu gelangen. Es gibt diverse Fördermittel und zinsgünstige Darlehen, sowie die Werbung, die Verbraucher auf die vorbestimmten Wege und zum gewünschten Ziel lenken, leiten, aber auch locken.

„Eine wirtschaftlich, sichere und umweltverträgliche Energieversorgung ist für die Funktionsfähigkeit und Effizienz der gesamten Volkswirtschaft von großer Bedeutung. Sie ist Grundlage jeder modernen Gesellschaft.“⁵⁷

Nun ist Deutschland, aus der Sicht der Verfügbarkeit von Primärenergieträgern, ein armes Land. Die Ausbeutung der größeren inländischen Vorkommen an Stein- und Braunkohle ist seit Jahren rückläufig. Auch die Nutzung der geringfügig vorhandenen Erdgas- und Erdölfelder ist kaum nennenswert. *Ungünstig* kommt der im Juni 2000 vereinbarte schrittweise Ausstieg aus der Kernenergie hinzu, mit dessen Hilfe 1999 immerhin 13 Prozent des Gesamtprimärenergieverbrauchs abzudecken waren. 1999 hatte Deutschland einen Primärenergieverbrauch von 14194 Petajoule.⁵⁸ Auf die Einwohnerzahl Deutschlands umgelegt, bedeutet das aufgeschlüsselt einen pro Kopf Verbrauch von ca. 173 Gigajoule. Das entspricht in etwa einem Heizwert von 6 Tonnen Steinkohle jährlich.⁵⁹ Da diese Energie zu knapp einem Viertel aus Kohle gewonnen wird, ist unser Land auf Importenergien angewiesen. Rohöl stammt zu 97 Prozent aus ausländischen Quellen. Die Einfuhr von Erdgas hat gegenüber 1991 um fast 40 Prozent zugenommen.⁶⁰

⁵⁶ vgl. BMWi: Broschüre Energie Daten 2000, Stand: 07/2000, S. 11

⁵⁷ BMWi: Broschüre Energie Daten 2000, Stand: 07/2000, S. 4

⁵⁸ vgl. ebenda, S. 10

⁵⁹ vgl. BMWi: Energiedaten BRD 1998, Broschüre 02/1999

⁶⁰ vgl. BMWi: Broschüre Energie Daten 2000, Stand: 07/2000, S. 18 ff.

Noch entscheidender ist der Endenergieverbrauch zu bilanzieren, der letztendlich für Bauherr und Planer aussagekräftig bleibt. Der Endenergieverbrauch der Industrie weist von 1990 bis 1999 rückläufige Zahlen auf. Dieser Trend ist bei den Haushalten frühestens 1997 erkennbar. So lag der Endenergieverbrauch je Haushalt 1990 bei 68.2 GJ, 1996 bereits bei 77.5 GJ und erst 1998 bei 74.9 GJ.⁶⁰

Dieser statistische Überblick genügt, um die Notwendigkeit von Energieeinsparung und ressourcenschonendem Umgang mit fossilen Energieträgern zu unterstreichen.

Andererseits muss die Energieeinsparung eine langfristige und zeitgleiche Veränderung der Energiewirtschaft nach sich ziehen, denn „der Energiesektor ist ein Schlüsselbereich in der deutschen Volkswirtschaft“.⁶¹ Hierbei kann der ökonomische Einsatz erneuerbarer Energien nur aus langfristiger Sicht und nur vorübergehend im Mix mit bestehenden Kraftwerken Abhilfe schaffen, wie eine Studie des Bremer Energie Instituts zum Ausstieg aus der Kernenergie zeigt.⁶¹ Die vorhandenen Strukturen lassen sich nur langsam auflösen bzw. umformen. Bis andere Lösungen gefunden werden, vermag vielleicht die Geothermie bzw. vielmehr das Hot-Dry-Rock-Projekt das Problem der Nahwärmenetze zu entspannen.^{62 u. 63} Bei sehr großen Objekten bzw. einer großen Anzahl kann es ggf. sinnvoll sein, den volkswirtschaftlichen Nutzen genauer zu betrachten oder vielmehr nationaler zu erfassen. Der Volkswirtschaft kommt bei der effizienten Verwendung von Ressourcen eine zentrale Bedeutung zu. Kompromisse bzw. Übergangslösungen müssen so konzipiert werden, dass alle Parteien damit auskommen. Zu hoffen bleibt, dass Maßnahmen dieser Art nur Übergangslösungen auf dem Weg hin zu einer gleichberechtigten Betrachtung von Ökologie und Ökonomie sind. Sie sind die letzte Chance des Energiesektors, sich den veränderten Bedingungen anzupassen.

Um Entscheidungen in energetischer Hinsicht zu treffen, bedarf es verlässlicher und vergleichbarer (Energie-)Statistiken sowie entsprechender Daten über die wesentlichen Einflussgrößen des Energieverbrauchs. Das Deutsche Institut für Wirtschaftsforschung (DIW) hat gemeinsam mit dem Fraunhofer Institut für Systemtechnik und Innovationsforschung (ISI) eine Dokumentation über Energie-Effizienz-Indikatoren erarbeitet. Diese Kennziffern dienen speziell dem Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi) als Orientierungsbasis für die politische Praxis. Energie-Effizienz-Indikatoren beschreiben dabei die energiewirtschaftliche Entwicklung und ermöglichen einen internationalen Vergleich. Die Indikatoren werden gemeinsam mit ökonomischen oder technischen Bezugsgrößen dargestellt. Der Beitrag, den Energieverbrauchsindikatoren im Rahmen einer Evaluierung politischer Maßnahmen zu leisten vermögen, sollte aber nicht überschätzt werden. Verbrauchsindikatoren können eine gute Basis bilden. Im Kern solcher Bewertungen müssen aber Wirkungsanalysen stehen, die kausale Zusammenhänge eines beobachteten Trends herstellen.⁶⁴ Speziell bei Maßnahmen zur Senkung des Heizenergieverbrauchs einzelner Gebäude bedeutet das, eine energetische Istaufnahme aller Zustände vorab durchzuführen, um die jeweiligen Maßnahmen auszuwählen bzw. diese besser aufeinander abzustimmen. Wirkungen lassen sich auf diese Weise besser vorhersagen. Sie bleiben letztlich kalkulierbarer und erleichtern die Erfolgskontrolle bei der Sollaufnahme.

⁶⁰ vgl. Pfaffenberger: Ausstieg aus der Kernenergie, S. 52ff

⁶² An jedem Ort der Erde befindet sich in ca. 5 km Tiefe trockenes, heißes Gestein, sogenannte "Hot Dry Rocks".

⁶³ vgl. Informationsdienst Wissenschaft: Studie zur geothermischer Stromerzeugung, 16.05.2001

⁶⁴ vgl. BMWi: Energie-Effizienz-Indikatoren, 1997, S. 9

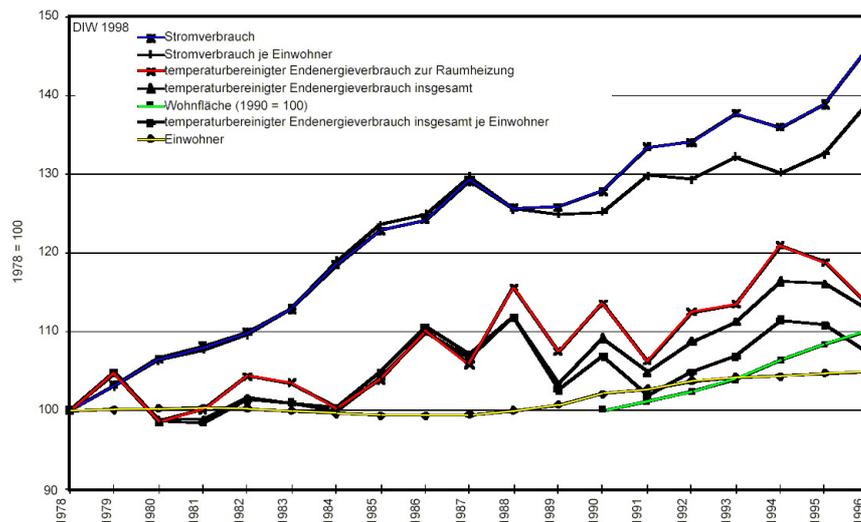


Abb. 07 Entwicklungen End- u. Elt-Energieverbrauch, Einwohner, Wohnfläche sowie spezifische Energieverbrauchswerte privater Haushalte Deutschlands⁶⁵

Der anteilmäßig hohe Stromverbrauch wurde bereits kommentiert. Trotzdem muss betont werden, wie besorgniserregend dieser Trend zu werten ist. Der Verbrauch ist teilweise einem gestiegenen Einsatz von Elektrogeräten anzulasten. Im betrachteten Zeitraum sind diese in ihrem Wirkungsgrad aber immer weiter optimiert worden. Dies ist für die Heizenergiebilanz als sekundär zu werten, da die Umwandlungsverluste zum überwiegenden Teil Wärmeverluste bzw. interne Gewinne darstellen. Es verbleibt ein relativ großer Verbrauch, der zu einem (? %) Teil dem gestiegenen Bedarf an Klimatisierungsenergie (bspw. kühlen, lüften) bzw. der dazu auch notwendigen Hilfsenergie (Pumpen, Ventilatoren etc.) anzulasten sein dürfte. Dieser negative Trend wird sich in den nächsten Jahre durch die relativ *stromfreundlichen* Bestimmungen der EnEV nicht umkehren lassen!

2.2 Verantwortung von technischer und baukonstruktiver Gebäudeplanung

Die Physik [griechisch "Physis" = Natur] „umfasste im Altertum die Lehre von der gesamten Natur, sowohl vom unveränderlichen Sein als auch von den Prinzipien des Werdenden.“⁶⁶ Selbst im 19. Jahrhundert, auf dem Höhepunkt der klassischen Physik, beschränkte sich die Einteilung der verschiedenen Disziplinen Mechanik, Optik, Akustik und Wärmelehre, lediglich auf der Wahrnehmung und Beobachtung mit den menschlichen Sinnesorganen. Mit der Weiterentwicklung zur modernen Physik, entstand eine große Lücke. Wechselbeziehungen zwischen Lebewesen und ihrer Umwelt fügten sich schwer in das Atommodell des Universums ein. Es schien unmöglich, Beziehungen zwischen Lebewesen, ihren Lebensräumen sowie die Stoffkreisläufe der (belebten) Natur und unsere Konsumketten zu erfassen. Eine neue wissenschaftliche Teildisziplin wurde geschaffen, um das fehlende Glied in der Kette zu ersetzen. Die Ökologie war und ist das Resultat dieser Bemühungen.

Aus der heutigen Gesellschaft ist dieser Begriff nicht mehr wegzudenken. Er wurde besonders in den letzten Jahren zunehmend in/durch seine(r) (Be-)Deutung geprägt. „Begriffe, besonders diejenigen von umfassender Bedeutung, wurden immer vielfach verwendet und damit

⁶⁵ vgl. ebenda, S.31, Abbildung 7

⁶⁶ Grehn: Metzler Physik, 1980, S. 1

nichtssagend: jeder versteht schließlich etwas anderes darunter.⁶⁷ Eine allgemeine Abgrenzung ist aber kaum möglich. „Was unter dem Begriff Ökologie verstanden wird, variiert in Abhängigkeit derer, die ihn verwenden. Die Bandbreite reicht .. vom Leben im Einklang mit der Natur bis hin zum Marketinginstrument Ökologie.“⁶⁸ Beim Letzteren wird immer häufiger von unseriösen Methoden Gebrauch gemacht. Eine Methode ist alten, längst bekannten Dingen, einfach einen neuen Namen zu geben. So wird bspw. Fossil- oder Atomelektroenergie in der Werbung „*yellow oder rot angestrichen bzw. plakatiert*“. Es ist nicht nur die Industrie, die so zu *umgarnen* sucht. Der Kanzlerkandidat Edmund Stoiber versprach seiner potentiellen Wählerschaft, die Aussetzung weiterer Ökosteuerstufen ab einschließlich 2003. Diese Vorgehensweise reiht sich lückenlos ein, „wird doch das politische Handeln heute besonders stark von Schuldzuweisungen auf andere beherrscht.“⁶⁹

In Verbindung mit den Wortsilben „spar-“ und „öko-“ sehen viele Menschen eine Einschränkung ihrer persönlichen Freiheiten – Anspruchsverlust auf Konsum, Rückschritt in der Zivilisation, ja sogar eine Art Diskriminierung. Sollte und kann eine solche Denkweise erlaubt sein? Es gibt viele grundlegende Fragen zu dieser Thematik, die nur verallgemeinert werden können, wenn sie im Grundsatz geklärt sind. Dazu muss begonnen werden, in allen Bereichen gleichberechtigt ökonomisch und ökologisch zu denken. Die Politik versucht die Ökologie zu implementieren. Ob der gesteckte Gesetzesrahmen, die Mittel und Wege, dabei stringent sind oder nicht, kann und soll an dieser Stelle nicht erörtert werden. Es gilt, die Ökologie auf das Bauwesen zu übertragen.

Zu Beginn muss die grundlegendste aller *Baufragen* beantwortet werden: Ist überhaupt ein Baumaßnahme erforderlich, um die entsprechenden Ansprüche zu befriedigen?! Sollte ein Bauingenieur und/oder Architekt gemeinsam mit dem potentiellen Bauherrn nach einer Antwort/Alternative auf diese Frage suchen? Führt dieser gefundene Ausweg nicht zwangsläufig zu einer Baumaßnahme? Schließlich soll eine Planungsleistung angeboten und ausgeführt werden. Ist dann der Architekt oder Ingenieur der erste richtige Ansprechpartner? Mietwohnung, Neubau auf der grünen Wiese, Sanierung vorhandener Bausubstanz, Berufspendler in einer Fahrgemeinschaft oder Nutzung öffentlicher Verkehrsmittel – welche Alternativen gibt es, welche Kompromisse müssen dazu eingegangen werden und wie ökologisch, ökonomisch, aber auch sozialverträglich, sind diese Varianten?. Bei einem Gebäudeneubau stehen zwei Aspekte unumstößlich fest:

- Jedes neugebaute Objekt verursacht zusätzliche Emissionen bzw. Umweltbelastungen und diese bestehen nicht nur aus Kohlendioxid!⁷⁰
- „Auch künftig werden Gebäude nicht zum Energiesparen gebaut, aber eine gute energetische (und ökologische) Qualität wird zum integralen Bestandteil ... von Immobilien.“⁷¹

Dem Planer sollte immer das KISS-Prinzip⁷² (keep it simple and stupid) vor Augen stehen. Eine einfach und gebäudegerecht konzipierte, robuste und langlebige Haustechnik muss den gleichen

⁶⁷ Scheer: Ökologie ist Ökonomie, http://www.hermann-scheer.de/pdf/FES_Yearbook.pdf, S. 1

⁶⁸ Kümmel: Ökobilanzen im Bauwesen, 1999, S. 192

⁶⁹ Rückert: Umwelt und Gesundheit, 1997, S. 44

⁷⁰ vgl. LÜSA: <http://www.mu.sachsen-anhalt.de/lau/luesa/Schadstoffe.html#anfang> bzw. Karsten: Bauchemie: Handbuch für Studium und Praxis, 1992, S. 216 ff. oder Anhang A.1: Allgemeines und Berechnungen, S. A.1-18

⁷¹ Lützkendorf: Bewertungsniveaus, Energiebedarfsausweis, Qualitätssicherung, IN: dena: Die neue EnEV, 2001

⁷² Entwicklung und Begleitforschung Niedrigenergiehäuser Dunkelsteiner Wald, Endbericht, Dezember 2000, Wien, S. 8, <http://www.bmwa.gv.at/extern/dunkel/dunkelforsch1.pdf>

Stellenwert besitzen, wie eine unkompliziert und klimagerechte (autochthone⁷³) Bauteil-konstruktion (verzeihend Bauen⁷⁴) bzw. Gebäudeplanung. Dies ist in der Praxis nicht leicht umsetzbar. Es mangelt planenden Ingenieuren und Architekten oft an der Einsicht, „mit erhöhtem Planungsaufwand und damit verbundenen höheren Planungs-kosten ungleich höhere Investitions- und Betriebskosten“⁷⁵ einsparen zu können. **Energieeffizienz ist wirkungsvoller zu erreichen, wenn gerade „das klimatische Potential der Fassade immer seltener ausschließ-lich als bauphysikalisches oder gebäudetechnisches Problem und dafür immer häufiger als energetische Ressource und architektonische Chance begriffen“⁷⁶ und immer seltener „auf dem Altar konventioneller Dämmung geopfert“⁷⁶ wird.**

Der Übergang von einer Energie- zu einer Ökobilanz ist dann der nächst logische Schritt, der getan werden muss. Im Leitfaden Nachhaltiges Bauen⁹ ist eine grobe Richtung vorgegeben. Die planerische Datengrundlage, bspw. Primärenergiegehalt, umweltschädigendes Potential von Baustoffen und Bauteilen, sowie weitere Kenngrößen zur Aufstellung von Lebenszyklus-analysen (LCA)⁷⁷, waren bis vor einiger Zeit nur relativ mühsam zusammen zu tragen⁷⁸. Mit KEA-Werten⁷⁹ konnten anfänglich nur unvollständig kalkulierte Ökobilanzen erstellt werden. Das konnte mit GEMIS⁸⁰ verbessert werden. So kann nicht nur der kumulierte Energieaufwand (KEA) berechnet, sondern auch ein Treibhaus- bzw. Versauerungspotential ausgegeben werden.

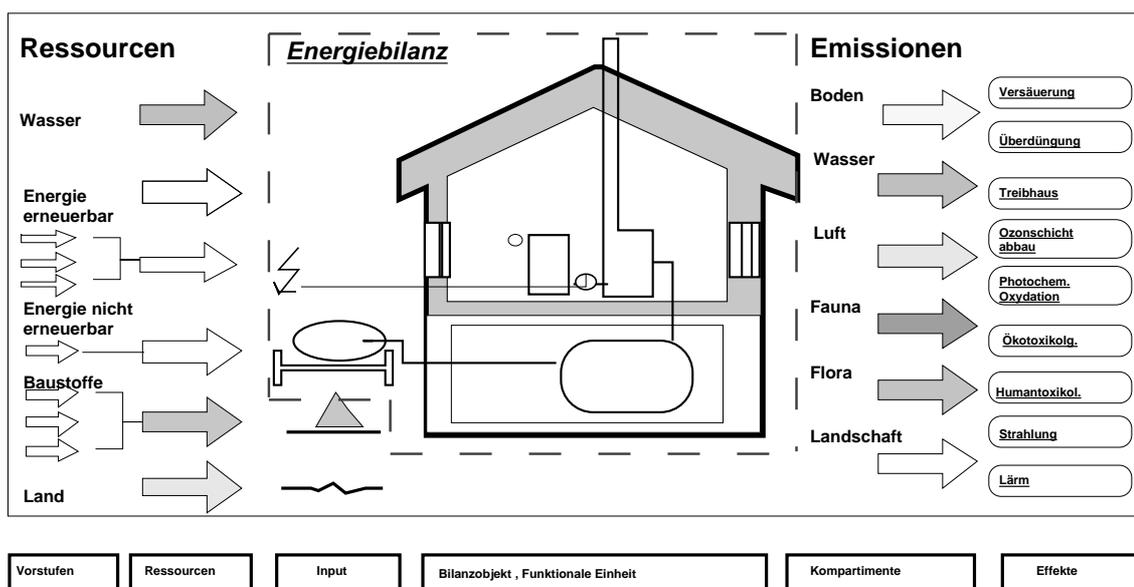


Abb. 08 Von der Energie- zur Ökobilanz⁸¹

⁷³ vgl. Roloff: Formen des klimagerechten Bauens, http://www.theo.tu-cottbus.de/wolke/deu/themen/012/Roloff/roloff_juergen.htm#_ftnref1

⁷⁴ vgl. Brandhorst: Gesundes Wohnen bedingt „richtig“ Bauen, Sanieren und Renovieren

⁷⁵ Danner/Dassler/Krause: Die klima-aktive Fassade, 1999, S. 37

⁷⁶ ebenda, S. 5

⁷⁷ vgl. ebenda (gesamtes Dokument ist gemeint)

⁷⁸ vgl. König: Wege zum gesunden Bauen, 1997, S. 225-233

⁷⁹ vgl. VDI E 4600 Blatt 1 Juni 1998: Kumulierter Energieaufwand – Beispiele

⁸⁰ vgl. Öko-Institut: <http://www.oeko.de/service/gemis/de/index.htm>

⁸¹ Kohler: Grundlagen zur Bewertung kreislaufgerechter, nachhaltiger Baustoffe, Bauteile und Bauwerke, 1998, S. 2, Abb. 1

Bei genauerer Betrachtung dieser genannten Modelle wird deutlich, dass der Planende es mit einer immensen Datenflut zu tun hat (Material- und Bauteilkennwerte, Stoffkreislaufketten, Lebens- bzw. Nutzungsdauer-Abschätzungen etc.). Hinzu kommen hunderte Variationsmöglichkeiten unzähliger Baustoffe, Bauteile, Anlagentechnik, Bautechniken und Bauabläufe. Selbst Gebäudemodifikationen (Optimierung von Standort, Hülle, Grundrissen etc.) müssten in die Überlegungen einbezogen werden. Dies macht eigentlich eine Softwarelösung nötig, die möglichst über Schnittstellen zu CAD- und AVA- Programmen verfügt, um von der Betrachtung von Einzelbauteilen und deren Stoffkreislaufketten auf das gesamte Gebäude als funktionelle Einheit überzuleiten. Im übertragenen Sinn ist hierdurch „eine ganzheitliche Betrachtung ... von Wärmeschutz und Anlagentechnik“⁸² zu gewährleisten! In diesem Zusammenhang hat das CBR in Zürich gemeinsam mit dem Bundesamt für Energie (BFE) und dem Bundesamt für Bauten und Logistik (BBL) in der Schweiz die Software OGIP entwickelt. Mit diesen oder ähnlichen Programmen ist es in Zukunft besser möglich, den Begriffen umweltgerecht, ganzheitlich und nachhaltig zu entsprechen.

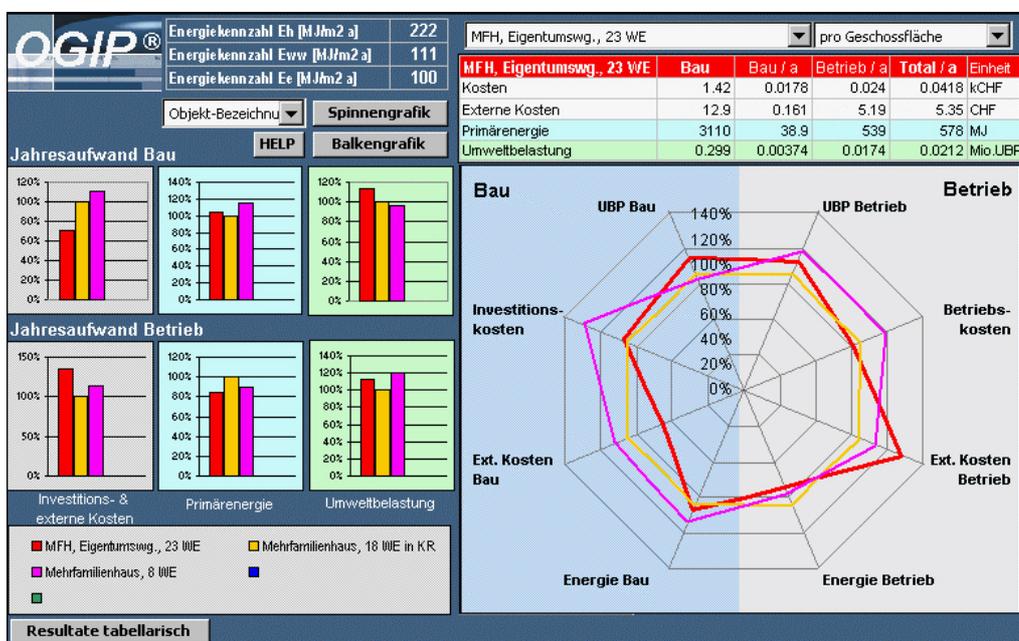


Abb. 09 OGIP – Optimierung der Gesamtanforderungen (Kosten/Energie/Umwelt) in der integralen Planung. Die Endauswertung erfolgt in einem Spinnendiagramm, das die für Erstellung und Betrieb wichtigen Kenngrößen für Umweltbelastung, Investitionskosten, externe Kosten und Energie enthält. Energiekennzahlen für Wärme, Warmwasser und Elektrizität können tabellarisch ausgegeben werden.⁸³

Bei einer derartigen qualitativ-planerischen Tiefe bzw. umfassenden Herangehensweise an eine Gebäudeoptimierung kann das Normen- und Regelwerk eine gewisse Basis bilden. Es muss aber nicht zwangsläufig ausreichen, um alle wichtigen und nötigen Aspekte angemessen zu erfassen.⁸⁴ In den geltenden Normen finden viele Pauschalwerte, sogenannte Kennwerte, Verwendung. Da das Bauen aber immer individuell war und ist, kann es bei Superposition ungünstiger Umstände nicht zu einem Ergebnis auf der sicheren Seite, sondern zu einem

⁸² Richter/Bach: Vom Wärmeschutz zur Energieeinsparung – Grundsatzuntersuchung NOWA, 1997, S. 3

⁸³ vgl. Zimmermann: OGIP – EIN BAUPLANER-WERKZEUG, 1999, S. 1 bzw. S. 4, Bild 3

⁸⁴ vgl. Meier: Richtig bauen, 2002, S. 162 ff.

erheblich kumulierten Fehler kommen. Je kleiner bspw. der rechnerische Wärmebedarf ausfällt, desto genauer bzw. umfangreicher sollte/muss auch dessen Berechnung erfolgen. In der planerischen Verantwortung sollte auch eine gewisse Freiheit begründet liegen. Eine Freiheit, die wiederum erst „mit der Übernahme von Verantwortung verbunden“⁸⁵ ist.

Dem Planenden wird bei einer bedenkenlosen Anwendung in erster Instanz viel (Denk-)Arbeit abgenommen, er lässt sich dadurch teilweise aber seiner freien Denkweise berauben. Diese ist jedoch unerlässlich, um Gesetze, Verordnungen und Normen richtig anzuwenden bzw. eine Anwendung bewusst zu unterlassen.

Vor dem Siegeszug der technischen Evolution bestand eine „Vielfalt von in regionale und lokale bioklimatische Bedingungen eingepassten Bauweisen, von denen wir heute wieder viel lernen können.“⁸⁶ Ziel ist es, eine genaue Abstimmung von lokalen Gegebenheiten, konstruktivem Gebäudeentwurf, erforderlicher Anlagentechnik und Nutzeransprüchen auf äußere klimatische Begebenheiten zu finden. Die integrale Verantwortung von technischer und baukonstruktiver Gebäudeplanung verbirgt oft die Sinnwidrigkeit für die Planer, dass die Qualität einer technischen Gebäudeklimatisierung ihr Optimum im technisch-beherrschbaren Minimum hat. Nicht das technisch Machbare sollte im Vordergrund stehen, sondern das auf das Wesentliche reduzierte Notwendige. Dies ist nur möglich, wenn sich der Bauingenieur und/oder Architekt in seiner Technikgläubigkeit nicht ausschließlich auf die Klimatechnik verlässt, sondern sie nur bemüht, wenn die Probleme baukonstruktiv und unter Beachtung anderer wesentlicher Parameter nicht angemessen lösbar sind. Dabei muss der Gebäudeentwurf aus energetischer und ökologischer Sicht bereits optimal ausgelegt sein. Dies bedeutet vordergründig eine Ausnutzung natürlicher Klimatisierungseffekte, bei denen der Klimatechniker fachlich zu Rate zu ziehen ist.

Dem Gebäudeplaner ist es auf diese Art und Weise möglich, massiven Einfluss auf die Gesamtökologie des Bauwerks auszuüben. Nicht nur Baumaterialien und Bauteilkonstruktionen werden festgelegt, er hat auch baukonstruktiv dafür Sorge zu tragen, dass nur die wirklich notwendige Haustechnik bzw. Wärmedämmung zum Einsatz kommt. Dies hat zum einen große Auswirkungen auf die Herstellungs-, Betriebs-, Instandhaltungs- und Entsorgungskosten⁸⁷, also auf die Ökonomie. Zum anderen wirkt es sich auf deren ökologische Effizienz aus. „So verlängert jeder weitere Zentimeter die energetische Amortisation von Polyurethan (PU)-Hartschaum ab 10 cm Dicke um jeweils zehn Jahre und ab 14 cm sogar um 20 Jahre. Maßnahmen, die sich innerhalb der zu erwartenden Lebensdauer ... nicht mehr „abzinsen“, ... sollten auch nicht ergriffen werden.“⁸⁸

⁸⁵ Anhang A.2: Klimawerte und Berechnungen, S. A.2-76, Zitat nach Gregory

⁸⁶ Scheer: Mit der Sonnenenergie zur Wiederbelebung baulicher Vielfalt, S. 5, http://www.hermann-scheer.de/pdf/faz_inst_beilage.pdf

⁸⁷ Bei einem nach ökologischen Kriterien gebauten Reihenhaus bedeutet dies an Stelle der sonst üblichen 20 m³ Problemstoffe, nur noch ein Aufkommen von 0.1 m³ (Stand: 1993). vgl. Diel/Feist/Linden: Ökologisches Bauen und Sanieren, 1998, S. 368

⁸⁸ Diel/Feist/Linden: Ökologisches Bauen und Sanieren, 1998, S. 367

3. Funktionelle Einheit von Gebäude und Heiztechnik

3.1 Natürliches Klimatisieren – Künstliches Raumklima

Zu den Grundaufgaben, die von einem Gebäude zu erfüllen sind, gehört, dass für den Menschen dauerhaft angemessene bzw. akzeptable (Wohn- und Arbeits-)Verhältnisse geschaffen werden:

- von der Erstellung bis hin zum Abriss ökologisch bzw. wirtschaftlich/energieeffizient,
- hygienisch unproblematisch und
- ausreichend behaglich und komfortabel.

Der Mensch schafft sich dabei mit bzw. in Gebäuden eine Art künstliches Klima (Raumklima), um sich vor den Unbilden des Wetters zu schützen. In diesen Räumen versucht er die relevanten Parameter zu beeinflussen, dass

- sich ein gesundes und behagliches Wohn- bzw. Arbeitsklima ergibt,
- die zur Tierhaltung notwendigen Voraussetzungen geschaffen oder
- die zur Lagerhaltung von diversen Gütern erforderlichen Temperaturen, Raumluftfeuchten, Lichtverhältnisse etc., eingehalten werden.

Vor der technischen (R)Evolution mussten die Baumeister Gebäude so planen, dass sie den vorherrschenden meteorologischen (Klima-)Bedingungen bzw. der entsprechenden Standort-eigenart den menschlichen Bedürfnissen gerecht wurden. Eine Haustechnik gab es in diesem Sinne nicht. Die Baumeister klimatisierten in unseren Breiten, besonders zum Zwecke der Wärmehaltung im Winter, des Kühlens im Sommer, des Lüftens und Feuchteausaustausches bzw. der Sonnenstrahlungs- und Niederschlagsabwehr, über natürliche bzw. konstruktive Hilfsmittel:

- Einbeziehung der Natur (Bäume, Hecken etc.) bzw. geschickte Standortwahl (Erdwälle, Hügel, Hanglage, Einfriedungen etc.), um vorhandene Umwelteinflüsse (bspw. Wind) im Vorfeld zu lenken und/oder zu schwächen,
- geschickte Grundriss- bzw. Raumplanung und Orientierung in Abstimmung mit Fenstergröße und Verschattung vor Sonne und Niederschlag (bspw. Dachüberstände, Vorsprünge),
- geeignete Ausführung/Anordnung von Luftschichten (natürlich-thermischer Auftrieb ↔ auch im Zusammenhang mit dem Kamin/Schornstein) und Wetterschalen bspw. zur Regulierung des Temperatur- und Feuchtevor(nach)laufes von Fassadenabschnitten,
- dicke bzw. speicherfähige Gebäudehülle zur Dämpfung des Außenklimas, aber auch in gewissem Umfang zur Nutzung/Pufferung von Umweltenergien (bspw. Tagesgang von Sonnenstrahlung und Temperatur),
- Erd-, Tier- und Personenwärme und
- etc..¹

Das Außenklima und die Schutzfunktionen der Gebäudehülle wurden zu dieser Zeit als das verstanden, was sie ursprünglich sind – Führungsgrößen bzw. Regel- und Stellglieder, bei der (natürlichen) Klimatisierung von Gebäuden. In heutigen Baunormen bzw. Verordnungen werden die Schutzfunktionen der Gebäudehülle teilweise überbewertet. Auch bei Bauprodukten setzt sich dieser einseitige Optimierungstrend immer mehr durch:

- bspw. immer tiefer sinkende U-Werte bei Wärmeschutzgläsern, aber auch immer kleiner werdende g-Werte zur passiven Sonnenenergiegewinnung oder
- Hellbezugswerte bzw. Hydrophobierung bei WDV – Farb- und Putzsystemen.

¹ vgl. Danner/Dassler/Krause: Die klima-aktive Fassade, 1999, S. 175 ff.

Oft wird sich an den skandinavischen Ländern (bspw. Schweden) orientiert? In diesen Ländern ist die Zielsetzung vorrangig Wärmeverluste zu reduzieren, da dort andere Klimabedingungen (kühler) herrschen. In Regionen, in denen die Solarstrahlung dominiert, bspw. naher Osten (Marokko), steht die Senkung der Wärmegewinne, das wichtigste thermische Planungskriterium, im Mittelpunkt. „Es liegt jedoch auf der Hand, dass die Konzentration auf eines dieser beiden Kriterien dazu führt“, dass zur Bewältigung großer anfallender Kühllasten „aufwendige Klimatechnik installiert wird, um die Unzulänglichkeiten der Gebäudehülle aufzuwiegen.“²

Wurde vor gut einhundert Jahren noch überwiegend klimagerecht³ geplant und gebaut, verlässt sich der heutige Ingenieur oft auf die Leistungsfähigkeit von (Klima-)Technik und industriell produzierten Materialien. Letztere bieten sicher (stoffgerechter Einsatz vorausgesetzt) Vorteile⁴ gegenüber althergebrachten Baustoffen, wie bspw. Holz, Ziegel oder Naturstein, Wunder dürfen von diesen Materialien jedoch nicht erwartet werden. Stoffe, wie bspw. Stahl, Beton, Glas oder Kunststoff, unterliegen physikalischen Gesetzmäßigkeiten, so dass die als dominant verstandenen Beschränkungen äußerer klimatischer Einflüsse, ihre Aktualität und Gültigkeit behalten. Erschwerend kommt hinzu, dass die Ansprüche an Komfort (Luxus) und Hygiene gestiegen sind bzw. stetig steigen. Der Mensch ist im allgemeinen nicht mehr bereit, kleinere Unzulänglichkeiten des Raumklimas durch ausgleichendes Verhalten zu kompensieren. Durch gestiegene bzw. veränderte Umweltreize (gerade Wohn- und Arbeitsumwelt) wurde der Mensch in den letzten Jahrzehnten zunehmend sensibilisiert. Für Nutzer und Gebäude definieren sich daraus wichtige bauphysikalische bzw. psychophysische⁵ Funktions-Parameter:

- Behaglichkeit
 - Lufttemperatur, Luftgeschwindigkeit und -bewegung (Luftzug und Turbulenzgrad)
 - Luftfeuchte bzw. thermisch-hygrische Bedingungen
 - Luftqualität (olfaktorische Parameter, bspw. CO₂-Anteil bzw. andere Luftschadstoffe, Emissionen und Hausstaub) bzw. Luftquantität (ausreichende Frischluftmenge)
 - Strahlungsklima (Strahlungstemperatur bzw. -zug⁶), auch (elektro-)magnetische Felder
[= Aus den Temperaturen der Oberflächen und der Luft im Aufenthaltsbereich resultiert die empfundene (operative) Temperatur.]
 - Lichtverhältnisse (besonders wichtig ist der Anteil natürlicher Beleuchtung)
 - Lärm- bzw. Geräuschpegel
 - Wirkung des Gebäude bzw. einzelner Räume/Elemente auf die Psyche (bspw. leicht, schwer, hell, düster, Raumklang bzw. Geräusche ↔ beschwingt, bedrückt, beunruhigt, verängstigt, verstört, gestört etc.)
- [= All diese Punkte sollten bei der **Zonierung des Gebäudes** bzw. der jeweiligen Aufenthaltsbereiche berücksichtigt werden. Hierbei spielt auch im besonderen Maße die Befriedigung der Sinne (Abwechslung: bspw. thermisches Reizklima)⁷ eine Rolle.]

² Danner/Dassler/Krause: Die klima-aktive Fassade, 1999, S. 175

³ vgl. Roloff: Formen des klimagerechten Bauens, 2002, http://www.theo.tu-cottbus.de/wolke/deu/themen/012/Roloff/roloff_juergen.htm

⁴ bspw. durch stoffliche Homogenität leichter normier- und somit auch berechenbarer

⁵ Theodor Fechner (1801-1887), Physiker und Philosoph, Mitbegründer der Psychophysik, vgl. bspw. Goldstein: Wahrnehmungspsychologie, 1997, S. 15

- äußere klimatische (meteorologische) Einflüsse
 - solare Strahlungsintensität, in starken Maße abhängig von Jahreszeit, Bewölkungsgrad bzw. atmosphärischer Trübung (Temperaturvor(nach)lauf einzelner Fassadenschichten)
 - atmosphärische Gegenstrahlung, in starken Maße abhängig von Jahreszeit, Bewölkungsgrad bzw. atmosphärischer Trübung und Taupunkttemperatur der Außenluft⁸
 - Tages- und Jahresgang der Außenlufttemperatur, sowie der Temperatur der terrestrischen Umgebung (bspw. der Erdboden oder die Fassaden anderer Häuser)
 - Schadstoffgehalt der Außenluft (bspw. Staub, Stickoxide, Ozon etc.)
 - relative bzw. absolute Luftfeuchte (Taupunkttemperatur der Außenluft)
 - Wind (auch Wasser bzw. Grund-, Schichten- und Sickerwasser) Strömungs- und Häufigkeitsverhältnisse (Windgeschwindigkeit und Richtung)
 - Niederschlagsmengen- bzw. Häufigkeitsverhältnisse (bspw. bestimmt der Schlagregen die Wetterseite(n) des Gebäudes)
- andere Einflüsse
 - Zerstörung bzw. Schädigung oder Beeinflussung durch Witterung (auch UV-Strahlung), Brand, Maschine, Mensch, Tier, Pflanze, etc.

3.2 Ökologisch orientierte integrale Planung

Um die volle ökologische Funktionalität⁹ eines Gebäudes zu sichern gibt es weitere Faktoren die angemessen zu berücksichtigen sind. Dieser hohe planerische Aufwand kann von einer einzigen Person, in vollem Umfang, nur ungenügend bewältigt werden. Die nachfolgende Abbildung zeigt ein allgemeines Schema zur integralen Planung

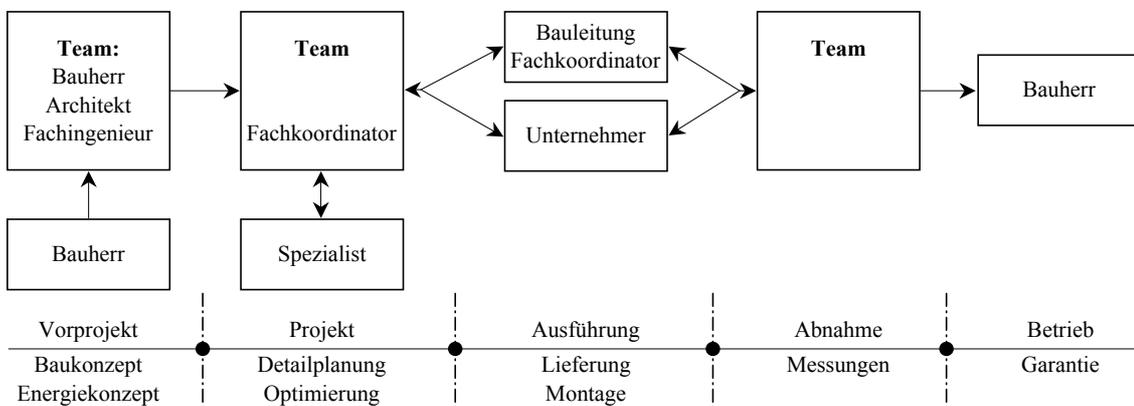


Abb. 10 Allgemeines Schema zur integralen Planung¹⁰

⁶ Die Größen Strahlungs- und Lufttemperatur ergeben zusammen mit der jeweiligen Tätigkeit und Kleidung die operative bzw. empfundene Temperatur.

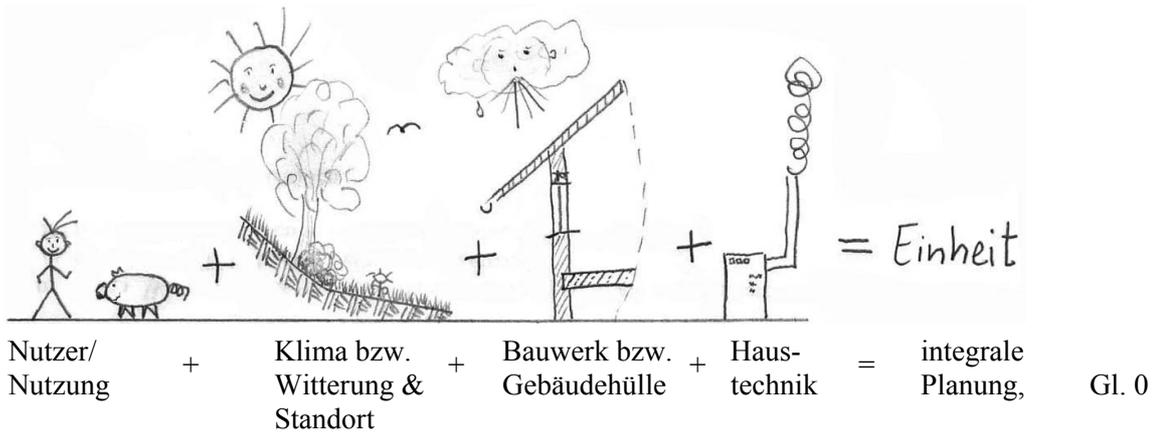
⁷ vgl. König: Wege zum gesunden Bauen, 1997, S.187 ff.

⁸ vgl. bspw. Zürcher/Frank: Bauphysik, 1998, S. 38

⁹ Als weitere Kriterien können Ansprüche an Ästhetik (Architektur/Gestaltung) und Luxus definiert werden.

¹⁰ vgl. BFE: Kostengünstige Niedertemperaturheizung mit Wärmepumpe, 1999, S. 16 f., Abbildung 18 bzw. 16, http://www.waermepumpe.ch/fe/projekte/nth/projekt/projekt4/Zwibe99_4a_rev3.pdf

Solche Planungsweise ist sinnvoll bei der Problemerkennung und -bewältigung zwischen allen (maßgebend) am Bau Beteiligten, von der Vorplanung bis hin zu Betrieb, Garantie bzw. Gewährleistung und evt. Rückbau (LCA) von Bauwerken. Entgegen einer seriellen Planung entsteht die Rückkopplung/-sprache im Team, besonders auch mit dem Bauherrn bzw. mit dem späteren Nutzer, bereits vor der Ausführung. Eine Gebäudeoptimierung ist somit effizienter und zielgerichteter,¹¹ plan- und ausführbar. Abstimmungsprobleme und andere Fehlerquellen können so bereits größten Teils im Vorfeld ausgeräumt werden. Speziell für die (integrale) Planung von Energie- und Haustechnik-Konzepten sind grundsätzliche Gestaltungs- bzw. Konstruktionskriterien ableitbar. Nachfolgendes Gleichnis ist dabei uneingeschränkt gültig:



In Anlehnung an die im Kapitel 2 erwähnte Problematik zum Energieverbrauch (deutscher) Haushalte, soll noch einmal auf den Stellenwert der Heizenergie in diesem Zusammenhang verwiesen werden. Zur Raumwärmeerzeugung (Endenergieverbrauch) benötigten deutsche Haushalte im Jahr 2000 ca. 65.4 Mio. t SKE. Das sind knapp 21 % des Gesamt-Endenergieverbrauchs von 313.4 Mio. t SKE des letzten Jahres. Der Heizenergie ist der maßgebende Teil des Gesamtenergiebedarfes eines normalen Gebäudes/einer normalen Wohnung anzulasten. Neben der Energie für die WW-Bereitung und den Haushaltsstrom nimmt

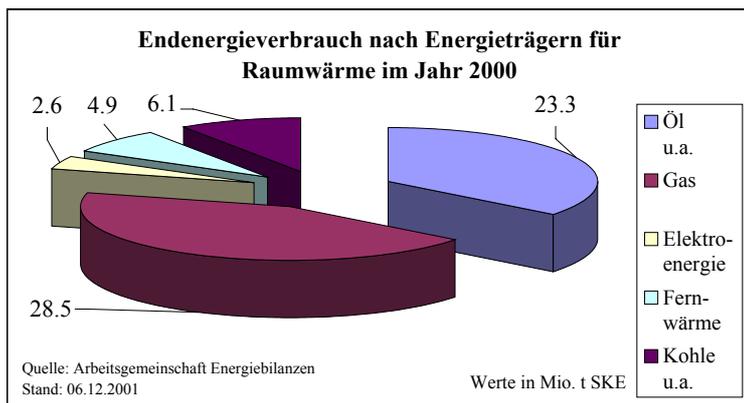
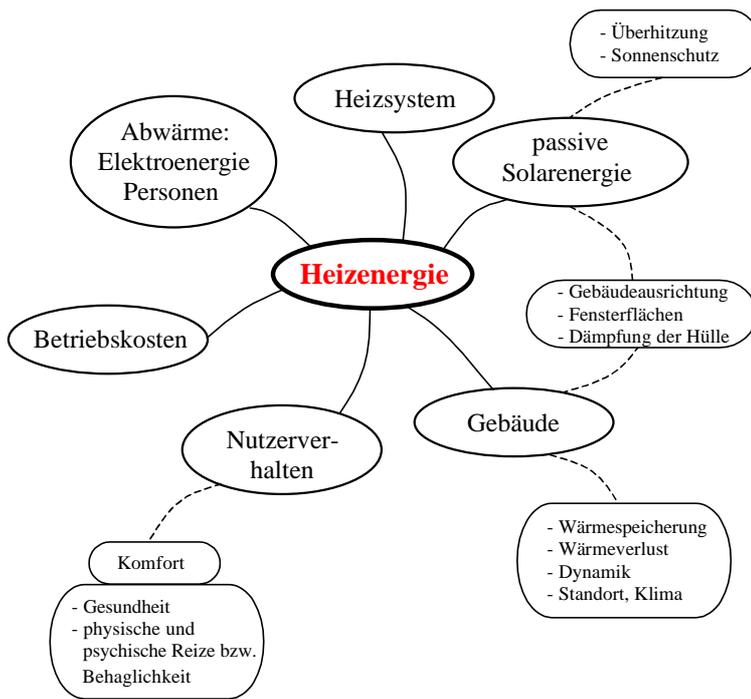


Abb. 11 Endenergieverbrauch für deutsche Haushalte

die Raumheizung für einen durchschnittlichen 2 bis 3 Personen-Haushalt, je nach Objekt-Art und Größe, Dämmstandard, Elektroenergieeinsatz für das Warmwasser bzw. auch für die Beheizung, einen Anteil von 60 % bis 80 % ein. Die Angaben sind als grobe Anhaltswerte zu verstehen.

Die Wichtung kann bei einer primärenergetischen Bewertung und einem hohen Verbrauchsanteil an Elektroenergie von den hier genannten Zahlen abweichen. Weiterhin ist der Heizenergiebedarf/-verbrauch über eine Vielzahl unterschiedlichster Faktoren zu fixieren, die komplexe funktionale Abhängigkeiten untereinander aufweisen.

¹¹ Es sind mehr Plan-Variationen möglich (integrierte Fachingenieure u. Spezialisten), somit wird das Ziel deutlicher.



Ein „Ökologischer Kreis“¹² dient dazu, bezogen auf einen gesamtökologischen Rahmen, erste Abschätzungen zur Eingliederung bzw. zur Darstellung von Abhängigkeiten des Themas Wärmeenergie aufzuzeigen. An dieser hier vorgestellten Variante besteht u.U. Detaillierungsbedarf.

Abb. 12 Ausgewählte Einflussfaktoren auf den Heizenergiebedarf¹⁰

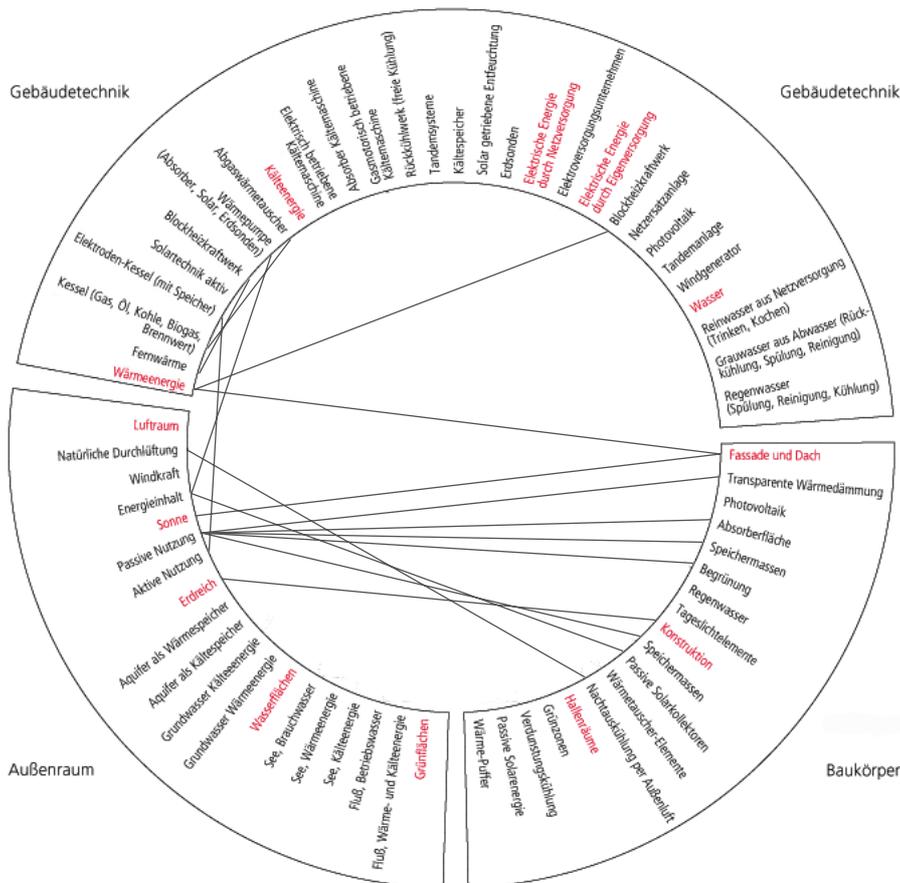


Abb. 13 Ökologischer Kreis mit Abhängigkeitslinien (Schwerpunkt Wärmeenergie)

¹² vgl. HL-Technik AG: http://www.hl-technik.de/2/2_01/2_01_01-d.html

3.3 "Dämmstoff-" und Anlagenverordnung – (Fehl-)Interpretation und/oder effiziente Kompensation

3.3.1 Heizlast von Wohngebäuden im Wandel des Wärmeschutzes

Der sparsame Umgang mit (Heiz-)Energie ist in vielen Teilen der Erde so alt, wie das menschliche Leben in den dortigen Regionen. Schon fast in Vergessenheit geraten, könnten uns die alten Grönländer bei Ressourcenschonung, Energieeinsparung und ökologischem Bauen Vorbild sein. Ihre Winterhäuser bestanden meist aus Steinen, Grassoden, Häuten und Fellen und wurden nur durch Körperwärme und Tranlampen beheizt.¹³ Während der Sommerzeit, bis in den Herbst hinein, wohnte der Grönländer in Zelten (Sommerbehausung), da die Erdhäuser nur im Winter, wenn alles steinhartgefroren war, ihren Zweck erfüllten.

Auch unsere direkten Vorfahren haben gemäß ihrer Möglichkeiten und Veranlassung schon an das Energiesparen¹⁴ gedacht. Die DIN 4701¹⁵ besteht seit 1926. Aus ihr geht die „Forderung, Häuser zum dauerhaften Aufenthalt von Menschen wirtschaftlich und hygienisch möglichst einwandfrei zu gestalten“¹⁶ hervor. In dieser DIN wurde die k-Wert-Methode zur Abschätzung des Wärmeverlustes durch raumumschließende Flächen eingeführt, deren Berechnung längst nicht so komplex und umfassend war, wie heute. Der reine k-Wert konnte bereits u.a. durch Faktoren für die „äußeren Einflüsse .. Sonnenbestrahlung und Windanfall“¹⁷ korrigiert werden. Dabei wurden bereits die Sonnenbestrahlung opaker Flächen nach deren Himmelsrichtung berücksichtigt und über Windanfallsbetrachtungen in gewisser Weise dem Lüftungswärmeverlust Rechnung getragen. Es existierten auch Mindestanforderungen für den Wärmedurchgang durch Außenwände bewohnter Räume.

Vertretbare Mindestanforderungen mit entsprechendem Bemessungstext aus der DIN 4701 von 1926¹⁸:

| | |
|--|--|
| $k \leq 1,4 \text{ kcal}/(\text{m}^2 \text{ h } ^\circ)$ ¹⁹ | „entspricht der Wärmehaltung einer 38cm starken Ziegelmauer“ ¹⁸ für Westdeutschland |
| $k \leq 1,1 \text{ kcal}/(\text{m}^2 \text{ h } ^\circ)$ | „hinsichtlich der Wärmehaltung einer 51cm starken Ziegelwand“ ¹⁸ für Ostdeutschland und höhere Gebirgslagen |

Der Wärmespeicherung durch Baustoffe wurde zur damaligen Zeit noch große Aufmerksamkeit geschenkt. Das Aufheiz- und Auskühlverhalten der wohnraumbegrenzenden Bauteile war in diesem Zusammenhang von besonderem Interesse. Räume wurden überwiegend noch nicht zentral und nicht durchgängig beheizt. Eine solche Beheizung war zur damaligen Zeit²⁰ nur mittels schwerer Wände und guter Wärmespeicherung und -haltung zu vertreten. Eine gute Ergänzung dazu waren, die damals verbreiteten Einzelraumheizungen (bspw. Kachel-(grund)öfen oder viel später Dauerbrandöfen), die über hohe Strahlungsanteile verfügten.

¹³ vgl. Nansen: Winterhäuser und Zelte

¹⁴ gemeint ist in diesem Zusammenhang speziell die Heizenergie

¹⁵ DIN 4701: Regeln für die Berechnung des Wärmebedarfs von Gebäuden und für die Berechnung der Kessel- und Heizkörpergrößen von Heizungsanlagen, 1926 (auszugsweise siehe Ebinghaus, S. 629 ff.)

¹⁶ Ebinghaus: Der Hochbau, 1936, S. 675

¹⁷ ebenda, S. 629 ff. bzw. S. 675 ff.

¹⁸ vgl. ebenda, S. 630

¹⁹ $1 \text{ kcal}/(\text{m}^2 \text{ h } ^\circ\text{C})$, das entspricht $1,136 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$, vgl. Anhang A.1: Heizwerte, Maß- und Energieeinheiten, S. A.1-3

²⁰ noch keine Schottenbauweise, Fassade hatte neben der Eigenlast auch Gebäudelasten abzutragen

Eine behagliche Temperierung war leichter und auch energiesparender möglich²¹. Mit den heute üblichen Konvektorheizflächen (Luftheizungen) wäre dies nicht gelungen. Sehr leichte Stoffe eigneten sich als Außenwandbildner eher weniger²², was auch über Zuschlags- bzw. Abminderungsfaktoren in älteren Normen immer (indirekt) zum Ausdruck kam. Bis in die 80er Jahre des letzten Jahrhunderts setzte sich dieser Trend²³, die Wärmespeicherung bzw. schwere Außenwandkonstruktionen meist ohne korrekt wissenschaftlich nachvollziehbare Begründung zu begünstigen, europaweit²⁴ durch. Die Hüllflächen wurden nach Beheizungsart, Klimaverhältnissen und überwiegend aus Erfahrungswerten heraus (Trial and Error Methode) optimiert. Mit den Heizsystemen verhielt es sich nicht anders. Sie wurden den vorherrschenden lokalen klimatischen Verhältnissen, dem Gebäude und natürlich auch dem Nutzer angepasst. Ein richtig bemessener Grundofen, mit verschiedenen schweren²⁵ Bereichen, sei hier als positives Beispiel genannt.

Zu Zeiten der Einzelfeuerstätten gab es viel mehr "Heizexperten". Die Nutzer waren es, welche die komplexen Zusammenhänge – Witterung, Reaktion des Raumes, Eigenheiten der Anlage bzw. des Ofens, eigenes Wärmeempfinden, Anwesenheit etc. – analysierten und danach die Befuerung variierten. Heutige Nutzer wären damit überfordert.

Warme Räume sind zur Selbstverständlichkeit geworden. Die Hauptregelfunktionen obliegen der Technik. Es kommt zum einen darauf an, ob die Anlagentechnik theoretisch mit dem Gebäude harmoniert, zum anderen ob der Nutzer sie versteht, akzeptiert und, um damit umzugehen, die nötige Zeit und Lust aufbringt.

Mit dem Aufkommen der neuen Zentralheizungstechnik wurden für Heizanlagen Auslegungsnormen erlassen, die weniger auf Erfahrungswerten und mehr auf bauphysikalischen Berechnungen beruhten. Zeitgleich hat sich neben der Heiztechnik auch die Bauweise verändert. Alte Erfahrungen waren somit nutzlos, verblassten und wurden mit der Zeit vergessen. Für neue Erfahrungen verblieb zu wenig Zeit, zu schnell war/ist der Wandel, zu groß die Anzahl der beeinflussenden Parameter. Die mittlerweile vielschichtige Problemtiefe wird dabei oft verkannt. Das Augenmerk kann nur noch die Symptome erfassen, wirkliche Ursachen bleiben vielen Planenden verborgen. Heutige Erfahrungswerte sind wenig allgemein, sondern überwiegend objektbezogen bzw. nur für speziell untersuchte Fälle vorhanden. Schwer zu beurteilen ist, ob sie auf allgemeine Anforderungen übertragbar sind. Der Planer flüchtet sich oft in Mutmaßungen oder greift auf Normen zurück, die ohne genaue Kenntnis der Gesamtzusammenhänge Fehler geradezu provozieren. Superposition führt aber bei energetischen Optimierungen selten zum Ziel. So ist, um eine Analogie aus der Baustatik zu verwenden, eine nach statischen Methoden optimierte Konstruktion trotz der enthaltenen Sicherheiten und Überbemessung unter **dynamischer Lasteinwirkung**, die scheinbar viel geringer ausfällt, selten standsicher.²⁶

²¹ vgl. Feist (Hrsg.): Das Niedrigenergiehaus, 1998, S. 123

²² geringe Tragfähigkeit, geringere Speicherfähigkeit bzw. ungenügende Pufferung der zeitweise auftretenden hohen Übertemperaturen

²³ vgl. bspw. DIN 4701: Regeln für die Berechnung des Wärmebedarfs von Gebäuden, 1983, Außentemperatur-Korrektur, S. 5

²⁴ vgl. Connemann/Steiff/Weinspach: Einfluß der Wärmespeicherfähigkeit, S. 120

²⁵ Nicht zu verwechseln mit der Wärmeabgabeleistung. Gemeint ist in diesem Zusammenhang die Temperaturträgheit des Ofens, leicht, mittel und schwer oder anders schnell, mittel und träge.

²⁶ Beispiel: Brücke und Personenlasten, die sich im Gleichschritt bewegen → Schwingungsprobleme

Nach der Teilung Deutschlands (1945) entwickelte sich der bauliche Wärmeschutz (für ähnliche klimatische Verhältnisse) zweigleisig. In der ehemaligen DDR wurde die TGL 35424/01 bis /07 als Norm für den baulichen Wärmeschutz entwickelt und in der damaligen BRD die DIN 4701 um einen 2. Teil erweitert und später durch die DIN 4108 ergänzt.

Die Preispolitik der OPEC, Mitte der 70er Jahre des letzten Jahrhunderts, und die damit verbundene Energiekrise der westlichen Industrieländer brachte einschneidende Veränderungen mit sich. In der BRD wurde 1976 vom Bundesrat das Energieeinspargesetz verabschiedet, aus dessen Rechtslage 1977 die 1. Verordnung über Energiesparenden Wärmeschutz bei Gebäuden hervorging. In den Jahren 1984 und 1995 traten dann die 2. bzw. 3. Wärmeschutzverordnung in Kraft.^{27 u. 28}

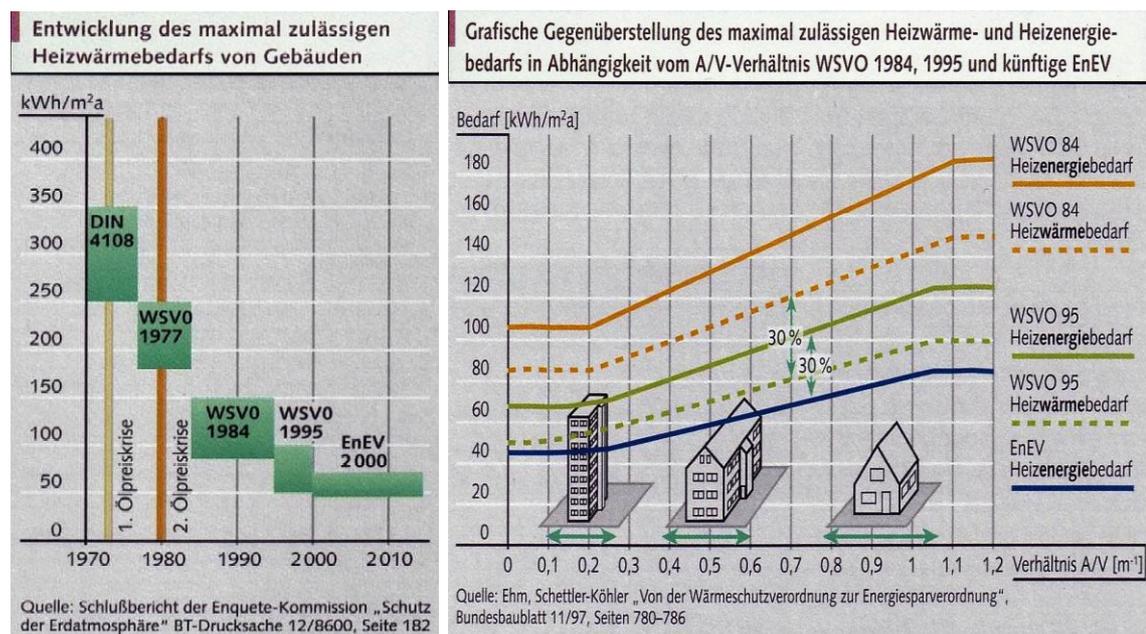


Abb. 14 und 15 Entwicklung des maximal zulässigen Heizenergiebedarfs von Gebäuden²⁹

Zum Zeitpunkt der Wiedervereinigung Deutschlands ist der Entwicklungsstand der entsprechenden TGL-Normung dem Inhalt nach in etwa der DIN-Normung gleichbedeutend einzustufen³⁰, teilweise jedoch in der Aussagekraft vielschichtiger!³¹

Welches Betrachtungsschema bzw. welcher Umfang den Wärmeschutzbestimmungen zu Grunde liegt bzw. lag, verdeutlicht die Abb. 16.

²⁷ vgl. Lohmeyer: Praktische Bauphysik, 1995, S. 68 ff.

²⁸ vgl. auch Juristisches Internetprojekt Saarbrücken: Systematik des Bundesrechts

²⁹ vgl. Gesamtverband Dämmstoffindustrie: Dämmstoffe für den baulichen Wärmeschutz, 1999, S. 7, Grafik 1 bzw. S. 8 Grafik 2

³⁰ vgl. Neef/Müller: Baulicher Wärmeschutz, Artikel 1 Bauphysik - Einflußgröße der Wertermittlung

³¹ Gemeint ist die Berücksichtigung solarer Gewinne über opake Flächen während der Heizperiode. vgl. Anhang: A.2.3 Abschätzung von Solargewinnen opaker Bauteile, S. A.2-57 ff.

| | Raumwärme | Warmwasser | elektrische Hilfs- energie | elektrische Haushalts- energie |
|--------------------|--|------------|------------------------------------|--------------------------------------|
| Primär- energie | (4) Hauptanforderungen an Passivhäuser | | | |
| End- energie | (3) Energiekennwert Wärme | | (3) Energiekennwert Elektroenergie | |
| Nutz- energie | (2) WSchV 95 | | | |
| Trans- mission | (1) WSchV 82 | | | |

(3): Energieverbrauchskennwerte gemäß VDI 3807

(4): Passivhaus-Anforderung (Primärenergieaufwand < 120 kWh/(m² a))

Abb. 16 Bewertungsschema bzw. -umfang unterschiedlicher Wärmeschutzbestimmungen³²

Die Mehrzahl der heute neu errichteten Bauten dient nicht als Ersatz für abgerissene/rückgebaute Gebäude. Dieser Umstand wird hauptsächlich durch den stetig steigenden Wohnflächenbedarf³³ pro Kopf hervorgerufen. Jedes zusätzlich errichtete (Wohn-)Gebäude – unabhängig vom Wärmedämmstandard – bedeutet eine Erhöhung der (CO₂-)Emissionen sowie einen steigenden Primärenergieverbrauch. Hinzu kommt dass, ein großer Teil der heutigen Bausubstanz unter den Einflüssen der 1. und 2. Wärmeschutzverordnung entstanden ist.

In der NOWA Grundsatzuntersuchung wird speziell auf den Seiten 26 bis 30 rückblickend festgestellt, dass die Wärmeschutzverordnung nicht den gewünschten Erfolg brachte. „Eine Feldstudie .., bei der ca. 1600 Wohnungen einbezogen wurden, ergibt, daß die rechnerische Einsparung der WSV 1982 von 30 % nicht erreicht wird. Lediglich 9 bis 12 % liegen die nach 1982 erstellten Gebäude mit ihren Verbrauchswerten unter vergleichbaren Objekten mit schlechtem Dämmstandard. Die Differenz wird auf mangelhafte, weil nicht kontrollierte, Ausführung des Wärmeschutzes zurückgeführt.“³⁴

Die neunziger Jahre des letzten Jahrhunderts waren (laut DIW-Wochenbericht 31/00) durch zahlreiche politisch ehrgeizige Maßnahmen bezüglich des Klimaschutzes geprägt. Nicht wenige betrafen den Bereich Haushalte/Wohnungen. Rückblickend stellt das DIW fest, dass eindeutige Minderungstendenzen, weder beim Energieverbrauch noch bei den Kohlendioxidemissionen, erzielt wurden. Nach damaligen Vorausschätzungen wurde ein merklicher Rückgang erst ab dem Jahr 2005 erwartet. Neueste Wochenberichte des DIW bestätigen diese Trendschätzung³⁵, sowohl für den Energieverbrauch als auch für die klimarelevanten Emissionen. Auch die an die 1995 verschärfte Wärmeschutzverordnung geknüpften Erwartungen: Verminderung des Heizenergieverbrauchs gegenüber der Wärmeschutzverordnung 1982 um 30 Prozent und damit Dämpfung des ansteigenden Energiemehrverbrauchs, wurden überschätzt bzw. Hemmnisse unterschätzt. „Tatsächlich ist der Energieverbrauch in der Folge .. kaum zurückgegangen.“³⁶ Nun fällt unter die Hemmnisse z.T. auch ein erheblich statistischer Fehler. Dieser begründet sich in unseren drastisch gestiegenen Komfortansprüchen. Pfarrer Dr. Ulrich Denkhaus³⁷ kommt

³² vgl. Lützkendorf: Bewertungsniveaus, Energiebedarfsausweis, Qualitätssicherung IN: dena: Die neue EnEV, 2001, Abb. 1

³³ BpB: PZ Nr. 93: Zu Hause sein, 1998, <http://www.pz-net.de/pz93/wwwohnen1.html>

³⁴ Richter/Bach: Grundsatzuntersuchung NOWA zur ESV 2000, 1997, S. 29 f.

³⁵ vgl. DIW-Wochenberichte 45/01 bzw. 8/02 In: <http://www.diw.de/deutsch/publikationen/wochenberichte/>

³⁶ Bartholmai: Energieeinsparung im Wohnungsbestand, DIW-Wochenbericht, 31/00

³⁷ vgl. Denkhaus: Keine nachhaltige Energiewirtschaft ohne "nachhaltige Verbraucher", <http://www.ekir.de/umwelt/energiek.htm>

mit "seiner" Energiestatistik zu einer interessanten und nicht abwegigen Sichtweise. Nach seinen Hochrechnungen wäre mit einem Lebensstil von 1980 das Klimaschutzziel für 2005 bereits erreicht. Für ihn gibt es keine „nachhaltige Energiewirtschaft ohne "nachhaltige Verbraucher""³⁸.

Das Institut für Erhaltung und Modernisierung von Bauwerken e.V. der TU Berlin (IEMB) hat sich mit einer Evaluierung der Wärmeschutzverordnung '95 befasst.³⁹ Im Rahmen einer dazu durchgeführten Studie wurden (nur) 100 Gebäude ausgesucht. Die Objekte konnten **nicht zufällig** ausgewählt werden, eine Kooperation mit Partnern aus der Bauwirtschaft war notwendig. Fraglich bleibt, ob die angewandte "Stichprobenmethode" eine Übertragung der Daten auf gesamtdeutsche Verhältnisse zulässt, da es sich um freiwillige Kontrollen handelte. Dies unterstützt auch das Ergebnis der Auswertung, bei 85 Prozent der Musterobjekte wurde der Wärmeschutznachweis fehlerhaft geführt! Der Umstand, dass die meisten der korrigierten Nachweise trotzdem die Wärmeschutzverordnung erfüllten, könnte als Zufall gewertet werden. Erstaunlich war, dass trotz methodischer Fehler, falsch ermittelter Ausgangsgrößen oder Nichtberücksichtigung von Zusatzanforderungen korrekte Ergebnisse resultierten⁴⁰. Weiterhin ergaben Gespräche mit Baubehörden, „daß zumeist keine ... ausreichende Kontrolle des Vollzugs durch Prüfung der Wärmeschutznachweise erfolgt. ... Vor-Ort-Prüfungen durch Baubehörden sind selten, die Bauherren verlassen sich meist auf die Bauleitung.“⁴¹ Dieses Ergebnis zeichnet ein trübes Bild für die Qualitätssicherung bzw. Vollzugsprüfung der neuen EnEV, denn die „Anforderungen und Nachweisführung werden komplexer“⁴¹.

Auf der DENA-Veranstaltung⁴² wurde nur mit *ausgesuchten* Fakten aus dieser Evaluierung gearbeitet, die das Ergebnis⁴³ besser in Szene setzten und eine Einhaltung der EnEV im Selbstvortrag prognostizierten!?

Wer soll die Einhaltung der EnEV prüfen und deren Vollzug durchsetzen bzw. ist dies überhaupt notwendig?

Warum sollte eine Verordnung kritisch hinterfragt werden, deren Ziele so klar und für jedermann einleuchtend sein müssten? Dies können die betrachteten Stellungnahmen bzw. Hinweise teilweise beantworten. Fest steht, dass Verordnungen immer kritisch zu hinterfragen und nicht einfach bedenkenlos anzuwenden sind. Diese Vorgehensweise trägt zum besseren Verständnis bei, sie hilft inhaltliche Fehler bei der Handhabung in der Praxis auszuräumen. Wir müssen Energie⁴⁴ einsparen und dazu ist auch eine umfassendere⁴⁵ Betrachtung von Wärmeschutz- und Heizungsanlagenverordnung notwendig. Gerade bei den modernen Gebäuden von heute und mit den gestiegenen Komfortansprüchen⁴⁶ ist es zwingend notwendig, **Standort, Baukonstruktion, Haustechnik und Nutzer** in direktem Zusammenhang zu sehen. Jedoch setzen derartige Bestrebungen eine von Beginn an integrale Planung voraus.

³⁸ ebenda

³⁹ vgl. Römmling/Vogler: Evaluierung der Wärmeschutzverordnung '95

⁴⁰ vgl. DIN EN 832: Berechnung des Heizenergiebedarfs, 1998, Rechenbeispiel Fehlerfortpflanzung, Anhang L, S. 25 ff., → Abweichung des berechneten Heizwärmebedarfs um $\pm 43\%$

⁴¹ Römmling/Vogler: Evaluierung der Wärmeschutzverordnung '95, 2001, Punkt 4

⁴² dena-Veranstaltungsreihe "Aus der Sicht der Macher: Die neue EnEV", Veranstaltung 14.06.2001 in Leipzig

⁴³ vgl. Vogler: Die neue Energieeinsparverordnung, 2001

⁴⁴ Gemeint sind primär fossile Energien, wie Kohle, Gas und Öl, aber auch Biomasse (Holz, Torf).

⁴⁵ Gemeint sind auch die Parameter Ganzheitlichkeit bzw. Ökologie.

⁴⁶ Gemeint ist vorrangig die Entwicklung der letzten 100 Jahre in den Industrieländern.

3.3.2 “Papiertiger“ EnEV

Kaum eine Verordnung in Deutschland für so viele Diskussionen gesorgt, wie die neue Energieeinsparverordnung. Die Stimmen reichten von Kritik, hervorgebracht durch sich abzeichnende wirtschaftliche Benachteiligung, bis hin zu uneingeschränkter Euphorie über *theoretische* Sparpotentiale, die ausgeschöpft werden können bzw. abzusehende wirtschaftliche Umsatzzuwächse und eventuell sich neu ergebene Wirtschaftszweige. Unterschiedlichste Industriezweige bekämpften sich mit z.T. wissenschaftlich schwer nachvollziehbaren Argumenten bzw. rangen nebeneinander um eine Vormachtstellung. Hinzu kamen wissenschaftlich wirkende Lobbyisten und politisch lenkende Faktoren, die physikalisch nicht nachvollziehbar, Verwendung fanden, um das *drohende Unheil* einzelner Wirtschaftszweige zu mildern oder aufzuschieben.

Die obigen Ausführungen verdeutlichen in geringem Maß das Chaos, das schon vor der Einführung der EnEV in der Praxis vorherrschte. Erste Missverständnisse ergeben sich bereits mit einer trivial erscheinenden, differenzierten (energetischen) Betrachtung der Einheit/Basiskenngröße $\text{kWh}/(\text{m}^2 \text{ a})$. Hierzu sei eine tabellarische Begriffserklärung vorangestellt.

| Begriff | Erläuterung |
|---|--|
| Verbrauch | erfasste Wärme- oder Energiemenge zur Beheizung in realen Gebäuden |
| Bedarf | rechnerisch ermittelte Größe für Wärme- und Energiemengen unter Zugrundelegung festgelegter Randbedingungen |
| Heizwärmebedarf bzw. Netto-Heizenergiebedarf Q_H nach DIN 4701-10:2001-02 | rechnerisch ermittelte Wärmeeinträge über ein Heiz- oder Lüftungssystem (Wärmerückgewinnung Q_{WR}), die zur Aufrechterhaltung bestimmter mittlerer Raumtemperaturen in einem Gebäude (Zone eines Gebäudes) benötigt werden |
| Jahres-Transmissionswärmebedarf | Wärmemenge, die unter vorgegebenen Randbedingungen jährlich (Wärmeleitung) durch die Außenbauteile (Systemgrenze) verloren geht |
| Heizenergiebedarf bzw. Nutzenergie Q_H | berechnete Energiemenge, die dem Heizungssystem des Gebäudes zur Deckung des Heizwärmebedarfes zugeführt werden muss, vgl. DIN EN 832:1998-12 |
| Jahres-Heizenergiebedarf bzw. Endenergie | Energiemenge, die nach der Berechnungsvorschrift dem Gebäude zum Zwecke der Beheizung, Lüftung und Warmwasserbereitung jährlich zugeführt werden muss |
| Endenergiebedarf Q_E nach DIN 4701-10:2001-02 | Energiemenge zur Deckung des Jahresheizenergiebedarfes Q_H und Trinkwasserwärmebedarfes Q_W (inklusive Anlagen-Hilfsenergie, aber nicht Primärenergie) |
| Trinkwasserwärmebedarf Q_W nach DIN 4701-10:2001-02 | Nutzwärmebedarf für die Warmwasserbereitung nach EnEV Anhang 1, 2.2 |
| Primärenergiebedarf Q_P nach DIN 4701-10:2001-02 | Entspricht dem Endenergiebedarf Q_E unter Berücksichtigung der Energiemenge, die durch vorgelagerte Prozessketten außerhalb der Systemgrenze (Gewinnung, Umwandlung und Verteilung) anfällt |

| | |
|---|--|
| Innentemperatur bzw. Raumtemperatur | empfundene Temperatur im Inneren eines Gebäudes, wird der Ermittlung des Heizwärmebedarfs zugrunde gelegt und nicht berechnet |
| Systemgrenze bzw. wärmeübertragende Umfassungsfläche nach DIN EN ISO 13789:1999-10, Anhang B, Fall "Außenabmessung" bzw. Ein-Zonen-Modell nach DIN EN 832:1998-12 | gesamte Außenoberfläche des Gebäudes (beheizte Zone eines Gebäudes), über die der Heizwärmebedarf mit einer bestimmten Innentemperatur ermittelt wird, dazu zählen direkt oder indirekt (durch Raumverbund) beheizte Räume, Räume, die bestimmungsgemäß nicht zur Beheizung vorgesehen sind, liegen außerhalb der Systemgrenze |
| Bezugsvolumen bzw. Bruttovolumen | das anhand der Außenmaße eines Gebäudes ermittelte und von der Systemgrenze eingeschlossene Volumen, nach EnEV Anhang 1, 1.3.2 |
| Belüftetes Volumen bzw. Nettovolumen | Luftvolumen einer beheizten Zone, das dem Luftaustausch unterliegt |
| Bezugsfläche | Energierrelevante Bezugsgröße, die eine energetische Bewertung von Gebäuden erlaubt |
| Nutzfläche | Vom Bezugsvolumen abgeleitete Grundfläche, die beim öffentlich-rechtlichen Nachweis als Bezugsfläche dient |
| Hüllfläche | Systemgrenzen bildende äußere wärmetauschende Oberfläche eines Gebäudes |
| Heizgrenztemperatur bzw. Basistemperatur | Außenlufttemperatur, ab der ein Gebäude bei vorgegebener Innentemperatur nicht mehr beheizt werden muss |
| Heizperiode | Beheizungszeit eines Gebäudes, währenddessen die mittlere Außenlufttemperatur kleiner als die Heizgrenztemperatur ist |
| Erneuerbare Energien nach § 2 Nr.5 EnEV | zu Heizzwecken zur Warmwasserbereitung oder zur Lüftung von Gebäuden eingesetzte und im räumlichen Zusammenhang dazu gewonnene Solarenergie, Umweltwärme, Erdwärme und Biomasse |
| Energiekennzahlen nach § 13 (1) EnEV | spezifische Werte des : Jahres-Transmissionswärmebedarfes, Jahres-Heizwärmebedarfes, Jahres-Heizenergiebedarfes und Jahres-Primärenergiebedarfes |
| Spezifische Energieverbrauchs-zahl nach § 13 (5) EnEV | witterungsbereinigter Energieverbrauch für Raumheizung (kWh/(m ² a)) bezogen auf Wohnfläche nach VDI 3807:1994-06 |
| Durchschnittliche Energieverbrauchs-zahl nach § 13 (6) EnEV | Vergleichsmaßstab für (spezifische) Energieverbrauchs-zahlen, geordnet nach Altersklasse, Bauweise, Wohnungszahl, Wohnfläche, Art der Beheizung und Art der Nutzung |

Tab. 02 Begriffsbestimmung nach EnEV und weiteren geltenden Normen⁴⁷

Was soll die EnEV verändern? Das neue Anforderungsniveau lässt sich grafisch⁴⁸ zusammenfassen. Es stellt die im Anhang 1 Tabelle 1.1⁴⁹ aufgeführten Höchstwerte des Jahres-

⁴⁷ vgl. DIN V 4701-10:2001-02 ; DIN V 4108-6:2000-11 ; DIN EN 3832:1998-12 ; DIN EN ISO 13789:1999-10 ; EnEV 2002

⁴⁸ vgl. Abb. 17

⁴⁹ vgl. Verordnung über energiesparenden Wärmeschutz und energiesparende Anlagentechnik bei Gebäuden IN: Bundesgesetzblatt Jahrgang 2001 Teil I Nr. 59, S. 3092

Primärenergiebedarfs funktional dar. Die abgebildeten Gebäudetypen haben nur Symbolcharakter. Zum Vergleich und in Anlehnung an Abb. 15 sind auch Graphen zur 2. und 3. Wärmeschutzverordnung enthalten. Zur Wertung der einzelnen Funktionsgraphen ist die Unterscheidung in Primärenergiebedarf $Q_{p''}$ und in Heizwärmebedarf Q''_H wichtig (vgl. Begriffserklärung Tab. 02). Der Heizenergiebedarf ergibt sich direkt aus dem Heizwärmebedarf, durch Multiplikation mit einem konstanten Faktor (Anlagenwirkungsgrad sowie zur Beheizung nicht nutzbare Verluste). Die einbezogenen Nutzflächen 0 bzw. 2500 m² dienen einer Grenzwertbetrachtung der A_N -abhängigen Funktion. Die Flächengröße 18,2 m² steht in keinem baupraktischen Zusammenhang. Im Gegenteil, so würde diese Größe (bis zu einer Fläche von ca. 39 m² bei einer lichten Raumhöhe von 2,60 m → entspricht ca. 100 m³ umbauter Raum) unter den § 7 der EnEV fallen. Dieser besagt, dass für Gebäude mit einem geringen Volumen bis zu 100 m³ nur eine Begrenzung der Wärmedurchgangskoeffizienten der Außenbauteile nach Anhang 3 Tabelle 1 EnEV zu erfolgen hat. Bei der Größe (18,2 m²) besteht ein rein rechnerisches Gleichnis zwischen den Funktionswerten der Spalte 2 bzw. den A_N -unabhängigen Werten nach Spalte 3 Anhang 1 Tabelle 1.1 EnEV⁴⁹ (Wohngebäude mit überwiegender Warmwasserbereitung aus elektrischem Strom).

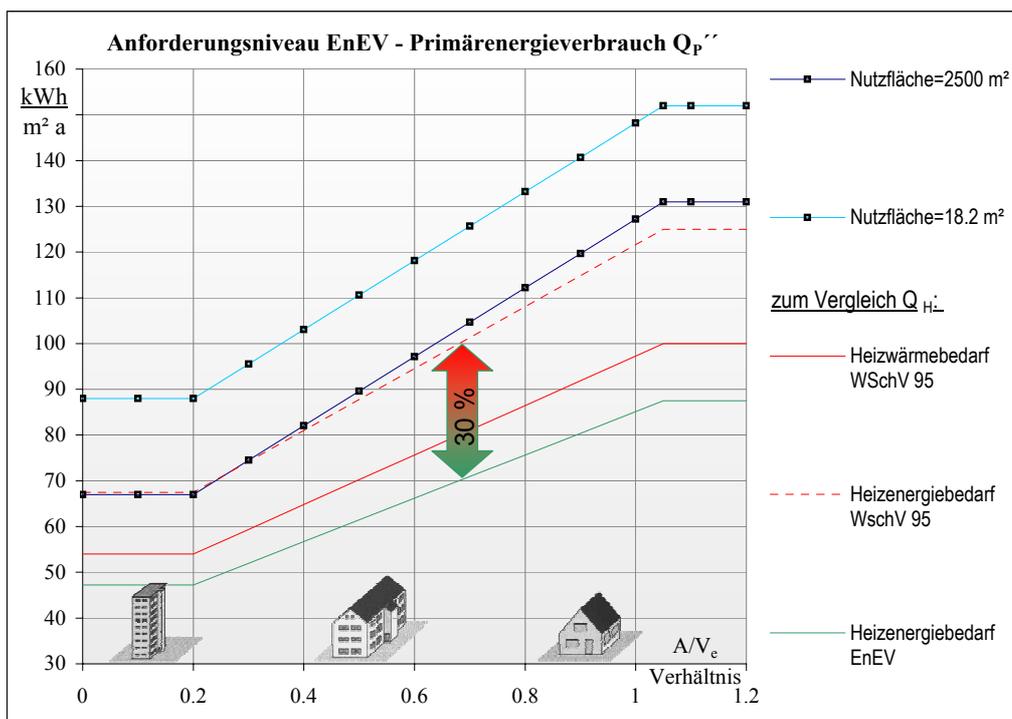


Abb. 17 Anforderungsniveau EnEV: Grafische Gegenüberstellung des maximal zulässigen Heizwärme- und Heizenergiebedarfs in Abhängigkeit zum A/V_e -Verhältnis (der Heizenergiebedarf nach EnEV sind prognostiziert)^{50 u. 51}

Der Text der EnEV verweist weiterführend auf die im Zusammenhang mit der Verordnung geltenden Normen. Die sich mit der EnEV ergebene Haupt- und Nebenanforderung stellt sich nicht eindeutig heraus. Die Hauptanforderung zeigt für Wohngebäude die Abb. 17, beispielhaft durch die $Q_{p''}$ widerspiegelnden Graphen, jeweils für eine A_N abhängige Betrachtung bzw. für

⁵⁰ vgl. Hegner: Die Energieeinsparverordnung neue Möglichkeiten für Planung und Ausführung IN: dena: Die neue EnEV, 2001

⁵¹ vgl. Gesamtverband Dämmstoffindustrie: Dämmstoffe für den baulichen Wärmeschutz, 1999, S. 8, Grafik 2

Gebäude mit überwiegender Warmwasserbereitung aus Elektroenergie. Die Nebenanforderung bildet primär eine Begrenzung der Transmissionswärmeverluste (H_T). Diese gleicht im wesentlichen dem noch aus der WSchV '95 bekannten k_m -Wert. Diese Zusammenhänge lassen sich wieder übersichtlicher in Grafiken darstellen, wie Abb. 18 und Abb. 19 zeigen.

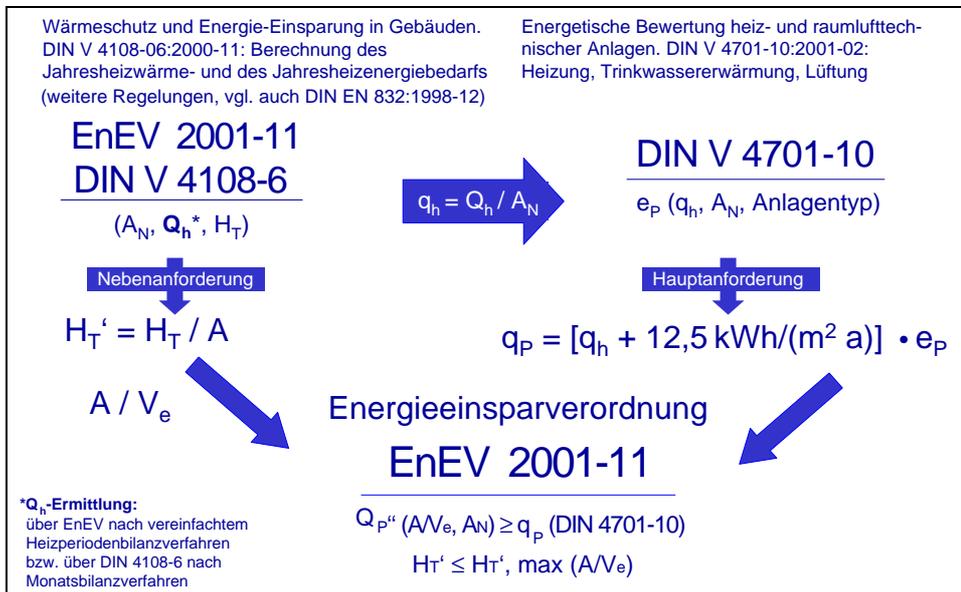


Abb. 18 EnEV 2002 im Zusammenspiel mit den begleitenden Normen⁵²

| | Raumwärme | Warmwasser | elektrische Hilfsenergie | elektrische Haushaltsenergie |
|---------------|----------------------|----------------|--------------------------|------------------------------|
| Primärenergie | (1) Hauptanforderung | | | |
| Endenergie | (2) Energieausweis | | (3) Energieausweis | |
| Nutzenergie | | (4) Rechenwert | | |
| Transmission | (5) Nebenanforderung | | | |

Abb. 19 Bewertungsschema und -umfang der EnEV⁵³

Die Umsetzung des gesicherten theoretischen Wissen in der Praxis wird überwiegend durch entsprechenden Normen bewerkstelligt. Heutige moderne Gebäude sind ohne Anlagentechnik nicht nur undenkbar, sondern in der Regel auch unbrauchbar. Dieser Entwicklung trägt die neue EnEV Rechnung. Sie führt Gebäude und Anlagentechnik in einer Verordnung zusammen. Der Verordnungstext soll den Planern das "Abwiegen" gebäudespezifischer und anlagentechnischer Parameter nahe bringen, so dass sich ein insgesamt verringerter Primär- bzw. Energiebedarf einstellt. Eine solche planerische Herangehensweise ist im Sinne der integralen Planung als unverzichtbares Kriterium erläutert. Der Umfang der EnEV und angegliederter Normen, Verordnungen bzw. Regularien sollte nicht über ein relativ starres Werk an Bestimmungen hinwegtäuschen. Es sind meist Unstimmigkeiten bzw. Ungenauigkeiten an Punkten aus dem

⁵² vgl. Wolff/Jagnow: Die EnEV 2001/2002, S. 2, Bild 1, <http://www.fh-wolfenbuettel.de/tww/EnEV-files/WarumSoKleineSchritte.pdf>

⁵³ vgl. Lützkendorf: Bewertungsniveaus, Energiebedarfsausweis, Qualitätssicherung IN: dena: Die neue EnEV, 2001, Abb. 02

Hintergrund des Verordnungstextes. Auf den ersten Blick erscheinen diese unproblematisch bzw. unkritisch, aber gerade diese sind es, in denen viele Fäden zu einem Netzwerk zusammen laufen. An diesen Netzen hängt im Verborgenen die gesamte Fassade der Verordnung und somit auch Erfolg oder Misserfolg, Fehler und Folgefehler. Der Planende ist zukünftig schlecht beraten, sollte er auf die suggerierte rechnerische Genauigkeit verlassen und alle Normungspunkte bedenkenlos, meist sogar mittels entsprechender Software, abarbeiten. Die EnEV entbindet nicht von eigenem Ingenieurdenken und planerischer Verantwortung! In Zukunft werden diverse rechnerische Nachweise differenzierter zu betrachten sein. Dieser Umstand ist um so kritischer zu werten, wenn versucht wird die Forderungen der EnEV zu überbieten. Es kann zu erheblichen Fehloptimierungen kommen (Waage ist aus dem Gleichgewicht⁵⁴), sollten Schwerpunkte, wie bspw. der baulich-konstruktive Wärmeschutz, über- und/oder unterbewertet oder gänzlich außer Acht gelassen werden (Beherrschbarkeit der Technik und der problemlose Betrieb von Gebäuden).

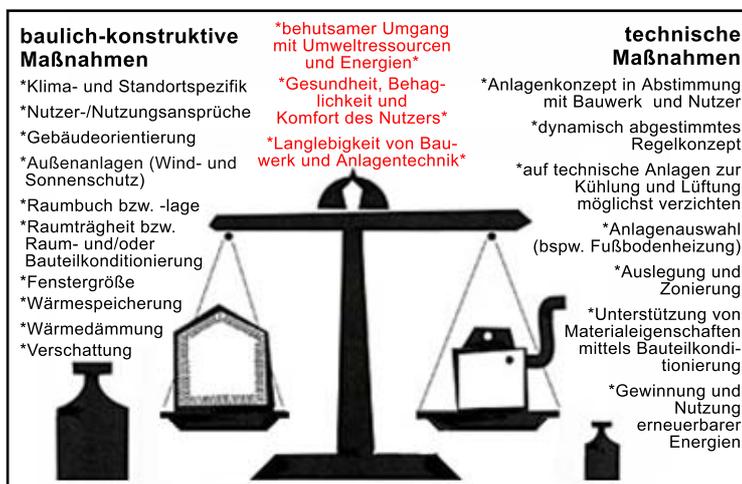


Abb. 20 Kompensation von Gebäudetechnik und konstruktiven Maßnahmen

Diese betreffen dann Baukonstruktion und Anlagentechnik gleichermaßen, vordergründig im Punkt der gegenseitigen Abstimmung. Die Aufgaben, die ein Gebäude zu erfüllen hat, sind zu pauschal oder völlig unzureichend definiert. Die Anlagentechnik muss diese nicht selten mit übernehmen, obwohl sie in den seltensten Fällen dafür ausgelegt oder

geeignet und damit vielfach schlicht weg überfordert ist. Deshalb wird versucht mittels Überdimensionierung von bspw. Heizanlagen und/oder Dämmmaßnahmen diesen Problemen aus dem Weg zu gehen. Ein derartiges Vorgehen widerspricht der Gleichung 0 (integrale Planung). Solche Maßnahmen müssen nicht selten über erhöhten bzw. unkalkulierten Energiemehrverbrauch bzw. Exergieinsatz⁵⁵ in anderen Bereichen (bspw. Kühlen und/oder Lüften) *erkauft* werden. Die dazu notwendigen Anlagen bzw. Anlagenkomponenten sind nicht nur einmal zu bezahlen (Planung, Anschaffung und Installation), sondern auch instand zu halten, zu betreiben, rückzubauen, etc. (LCA).

In Anbetracht dieser vielen nur gesamtökologisch wert- bzw. abschätzbaren Faktoren, sollten Energiebedarfsrechnungen, nach dem vereinfachten Verfahren der EnEV, in Näherungsergebnisse (Vorplanungsphase) Verwendung finden. Das Verfahren ist in einigen entscheidenden Punkten unzureichend, zu pauschal bzw. ökologisch unausgewogen. Als Schwächen sind u.a. zu nennen:

⁵⁴ vgl. Abb. 20

⁵⁵ Exergie ist der in mechanische Arbeit umwandelbare Teil der Energie, elektrische Energie ist reine Exergie

- Der flächenbezogene Heizwärmebedarf bezieht sich noch immer auf die schon im Umgang mit der WSchV 1995 kritisierten fiktiven Nutzfläche A_N . Ein eindeutiger Bezug zur DIN 277⁵⁶ bzw. zur allgemein anerkannten und angewendeten Wohnfläche (so ließe es sich für den Nutzer transparenter darstellen) ist erneut nicht zu erkennen.

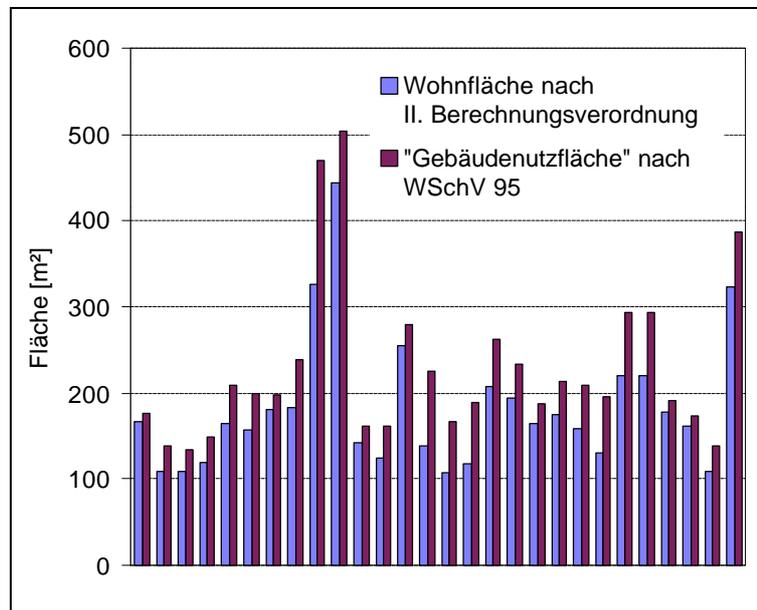


Abb. 21 Vergleich der Nutzfläche (A_N) gemäß WSchV 95 bzw. EnEV mit der Wohnfläche nach II. Berechnungsverordnung⁵⁸ für 28 EFH⁵⁷

zur energetischen Vergleich von Gebäuden untereinander bzw. zur Systemgrenze bleibt noch zu bemerken, dass für derartige Betrachtungen zur Einheit kWh/(m² a) oder kWh/(m³ a) immer eindeutig⁵⁸ der Bezug anzugeben ist! Dabei würde sich die Größe Brutto-Raum-Volumina oder Kubikmeter umbauter Raum (nach Fall "Außenabmessung"⁵⁹ ermittelt) zur allgemein vergleichenden Betrachtung eher anbieten, da die Gebäudehülle immer mit zu erwärmen ist bzw. der

eigentliche Energieverlust auf der Außenseite der systemgrenzenbildenden Bauteile stattfindet. So kann es bspw. nicht zu rechnerisch günstigeren⁶⁰, auf die fiktive Nutzfläche (A_N) umgerechneten, Wärmebedarfswerten kommen. Eine andere Alternative wäre auch die seit Jahren eingesetzte Energiebezugsfläche (EBF) nach ⁶¹.

- Zu optimistischer Ansatz bzw. keine rechnerische Überprüfung der Heizgrenztemperatur, die pauschal üblich mit 10 °C angenommen wird und bspw. eine(n) Gradtagzahl(/-faktor $G_{t(19/10)}$) von $F_{Gt} = 69.6 \text{ kWh/HP}$ ⁶² für Deutschland ergibt.
- Die räumliche und zeitliche Teilbeheizung sind zu pauschal bewertet. In diesem Zusammenhang ist gerade die mittlere Raumlufttemperatur (19 °C, soll bereits die räumliche Teilbeheizungsstruktur berücksichtigen) relativ schlecht mit dem tatsächlichen, in weiten Grenzen schwankenden, Nutzerverhalten in Einklang zu bringen.

⁵⁶ DIN 277: Grundflächen und Rauminhalte von Bauwerken im Hochbau bzw. vgl. auch VDI 3807 Blatt1 Juni 1994: Energieverbrauchskennwerte für Gebäude, S. 5 f. (auch II. Berechnungsverordnung, §§ 43 ff. -> Wohnfläche)

⁵⁷ IWU: Die neue Energieeinsparverordnung, 2001, S. 11, Bild 3, <http://www.iwu.de/datei/enev-iwufeb2001.pdf>

⁵⁸ vgl. VDI 3807 Blatt 1 Juni 1994: Energieverbrauchskennwerte für Gebäude, S. 5 bis 7 ; siehe auch Energieagentur-LSA, <http://www.energieagentur-lsa.de/Bruttogrundflaeche.htm>

⁵⁹ vgl. Tab. 02

⁶⁰ vgl. Abb. 21

⁶¹ vgl. Hessisches Umweltministerium: Heizenergie im Hochbau, 1999, Energiebezugsfläche (EBF), S. 30

⁶² vgl. DIN V 4108-6:2000-11: 5.5.2.2 Heizwärmebedarf für die Heizperiode, S. 13, Gleichung 13

- Es ist keine bzw. nur eine unzureichende Berücksichtigung von Sonderbauteilen (bspw. TWD) oder auch spezieller Bauformen bzw. baulicher Gegebenheiten (bspw. Wintergarten, verglaste Balkone, Wärmestrom an das Grundwasser etc.) möglich bzw. vorgesehen.

Aufgrund des umfangreichen Monatsbilanzverfahren sollte darüber nachgedacht werden, ob der geforderte Nachweis nach EnEV gleich mit der Anlagenauslegung zu kombinieren ist?. Diese Ansichtswiese wird durch zwei bedeutende Umstände gestützt:

1. Der überwiegende Teil der Wohnneubauten in Deutschland kann mit den folgenden Gebäudetypen beschrieben werden:

| | | |
|----------------------------|---|---|
| Einfamilienhaus | } | ≙ über 90 % des (Wohn-)Neubauvolumen Deutschlands ⁶³ |
| Reihen(mittel)haus | | |
| (kleines) Mehrfamilienhaus | | |

Die planerischen Aufgaben, die bei derartigen Bauvorhaben zu bewältigen sind, werden im allgemeinen unterschätzt bzw. aus Kostengründen minimalisiert. Entsprechend nachlässig wird mit rechnerischen Nachweisen (Statik, Brand, Wärme, Feuchte, Schall etc.), sowie mit einer TGA-Planung umgegangen (Bau bzw. Ausführung sind analog zu werten).

2. (Wichtige) Teile des Nachweisverfahrens sind nur mit dem Spezialwissen eines Gebäudetechnikers richtig berechnen- bzw. einschätzbar.

Weiterhin könnte mit einer kombinierten Vorgehensweise nicht nur der Gesamtrechen- bzw. Planungsaufwand in Grenzen gehalten werden, sondern auch eine Planfortschreibung gewährleistet sein. Bspw. wären die Gebäudedaten nur einmalig einzugeben und die meteorologischen Randbedingungen müssten je nach Fall:

- EnEV-Nachweis mit Jahresdurchschnitts- bzw. auf die Heiz-/Kühlperiode bezogenen Klimawerten,
- Auslegung der jeweiligen Haustechnik zum Heizen, Kühlen oder Lüften über die entsprechenden Grenz- bzw. Extremwerte, variiert bzw. angepasst werden.

Das vereinfachte Verfahren nach EnEV stünde in der Vorplanung für erste Abschätzungen und richtungsweisende Vorgaben. Um die Übersichtlichkeit über die einzelnen Optimierungsmöglichkeiten bzw. -wege zu bewahren, müsste ein angepasstes Monatsbilanzverfahren die Vorstellungen von Gebäude-, Haustechnikplaner und Bauherr auf einen gemeinsamen Nenner (integrale Planung) bringen. Eine Energiebilanz würde so besser abschätzen: Was leistet das Gebäude? Was will und/oder kann bzw. soll der Nutzer leisten (bspw. gewisse einfache Regelungsaufgaben oder auch Fensterlüftung)? Was verbleibt abschließend an Deckung für die Haustechnik?.

Softwaretechnisch sollte dies kein Problem darstellen? Die Systemgrenzen bzw. die Zonierung des Gebäudes müsste raumweise erfolgen, um im Sinne der TGA-Planung die Heizflächen (ggf. auch technische Lüftung und Kühlung) richtig auszulegen. Dies stellt einen Mehraufwand gegenüber dem derzeitigen Rechenaufwand (Monatsbilanzverfahren nach EnEV bezieht sich auf die gesamte beheizte Zone eines Gebäudes) dar, müsste bei einer Haustechnikplanung aber ohnehin erfolgen. Auf diese Weise könnte die anfallende unregelmäßige Wärme realer auf die einzelnen Räume bzw. Bereiche aufgeteilt werden. Dies führt nicht zwangsläufig zu kleineren Heizflächen in den entsprechenden Zonen, würde aber Verbesserungen im Regelkonzept ermöglichen.

⁶³ vgl. Richter/Bach: Vom Wärmeschutz zur Energieeinsparung, 1997, S. 10

Mit der EnEV und dem Zusammenschluss von Wärmeschutz- und Heizanlagenverordnung ist der erste Schritt getan, um dem ganzheitlichen Planen und Bauen näher zu kommen. Dies betrifft auch die primärenergetische Bewertung von Anlagentechnik und Gebäude. Ein überwiegend positiver Gesamteindruck wird aber durch ein relativ starres und überladen wirkendes Verordnungs- bzw. Normengebilde *geschmälert*⁶⁴, teilweise durch politische Zugeständnisse überschattet oder sogar verhindert. Die richtige Interpretation bzw. praktische Umsetzung, das schließt eine Kontrolle der erzielbaren Ergebnisse über Energieverbrauchsanalysen mit ein, werden die Qualität dieser Verordnung herausstellen helfen, wenn der erahnbare ökologische Gesamtgedanke konsequent(er) weiterverfolgt und praktisch umgesetzt wird. Das Wohl und die Gesundheit des Nutzers sowie die Verminderung von umweltschädigendem Potential, das nicht nur an CO₂- und Energieeinsparung festzumachen ist, muss oberste Priorität haben. Eine Verantwortung gegenüber dem Bauherrn/Nutzer wurde bereits allgemein dahin bekundet, dass bspw. der Energiepass mehr Transparenz bieten soll. Hier muss sich in Zukunft einiges ändern. Nicht nur der Nutzer, sondern auch viele Bauplaner, bewerten die Aussagekraft des Passes über. Um der suggerierten Erwartungshaltung des Nutzers gerecht zu werden, muss nur die Genauigkeit bzw. der Rechenumfang des Monatsbilanzverfahrens (inkl. komplette Anlagenbewertung DIN V 4701-10) unter Einbeziehung authentischer Randbedingungen (Nutzerverhalten, äußere klimatische Bedingungen, Anlagenverluste etc.) ausgereizt werden. Es müsste auch eine Einregulierung der Anlage im (praktischen) Betrieb erfolgen (hydraulischer Abgleich).⁶⁵ Momentan ist es Wunschdenken, wenn bspw. die Daten des Energiepasses für energetische Hochrechnungen über den (Rest-)Lebenszyklus eines Gebäudes genutzt werden, um Mieten oder Investitionen abzuschätzen. Eine derartige (gewünschte/erhoffte) Genauigkeit beruht auf zu vielen untereinander abzustimmenden Einzel-faktoren, bspw. Normnutzerverhalten, homogene und planungsgerechte Gebäudehülle, ideale Heizung im stationären Betrieb etc., die mit derzeit betriebenem planerischen Aufwand (eine Fallunterscheidung sowie Grenzwertbetrachtung wären dann anzusetzen) nicht erreichbar ist. Dabei könnte die Qualitätssicherung in den Bereichen Planung und Ausführung durch einfache Maßnahmen abgesichert werden. „Um sicherzustellen, dass der Energiebedarfsausweis die energiebezogenen Merkmale des Gebäudes in der tatsächlich realisierten Form ... beschreibt, sollte seine Erstellung der Leistungsphase 9 nach HOAI „Objektdokumentation“ zugeordnet werden.“⁶⁶ Die Praxis kann hier für Klärung sorgen. Der Nutzer hat, bei angemessenem energiebewussten Verhalten, ein Recht auf den prognostizierten (energiebereinigten)⁶⁷ Endenergiebedarf seines Hauses.⁶⁸ Ein diesbezüglich zur Automobilindustrie (zulässiger Kraftstoffmehrerbrauch bei Neuwagen) gemachter Vergleich lässt im Hinblick auf Mängelanzeigen nichts Gutes erahnen. Ob die klein gedruckten Hinweise (juristische Grauzone) aus dem Energiepass-Entwurf⁶⁹ zur Besänftigung des Nutzers genügen, bleibt abzuwarten. U.U. gehört der Erfolg von

⁶⁴ An dieser Stelle sei auf den vom Hessischen Umweltministerium herausgegebenen Leitfaden für energiebewußte Gebäudeplanung verwiesen. vgl. Hessisches Umweltministerium: Heizenergie im Hochbau, Februar 1999

⁶⁵ vgl. DIN V 4701-10:2001-02: Energetische Bewertung heiz- und raumlufttechnischer Anlagen, S. 5 (Textabschnitt unter Bild 1-1) bzw.

⁶⁶ Lützkendorf: Bewertungsniveaus, Energiebedarfsausweis, Qualitätssicherung IN: dena: Die neue EnEV, 2001

⁶⁷ vgl. VDI 3807 Blatt 1 Juni 1994: Energieverbrauchskennwerte für Gebäude, S. 4 f.

⁶⁸ Der Versorgungsingenieur Meier macht andere (konstruierte/inszenierte) Erfahrungen., vgl. Wolff/ Jagnow: Die EnEV 2001/2002, S. 13 f., <http://www.fh-wolfenbuettel.de/tww/EnEV-files/WarumSoKleineSchritte.pdf>

⁶⁹ vgl. ftp://enev-online.com/dokumente/enev_avv_2002_01.doc, S. 10 und S. 12 f.

Energiepass bzw. Wärmeschutzmaßnahmen rechtlich auch auf der Bauherrn-/Nutzerseite festgeschrieben. Eine Art Führerschein („Hausführerschein“), der der jeweiligen Person amtlich ein geprüftes Sachwissen im korrekten Umgang mit Bauwerk und Gebäudetechnik bescheinigt, wäre eine Möglichkeit. Eine derartige Maßnahme ließe sich sowohl gegenüber dem Kunden (angestrebte Transparenz), als auch gesamtökologisch rechtfertigen. Über eingesparte Bau-schadenskosten (infolge Schimmelpilzbefall entstand bspw. im Jahr 1992 ein gesamtdeutscher (Bau-)Schaden von 165 Mio. DM⁷⁰) wäre der Pass auch teilweise finanzierbar.

3.4 Postulate energetisch optimierter Gebäude

„Der Heizwärmebedarf eines Gebäudes kann durch die Wahl der Lage ... (Vermin-derung des Windangriffs infolge benachbarter Bebauung, Baumpflanzungen; Orientierung der Fenster zur Ausnutzung winterlicher Sonneneinstrahlung) vermindert werden.“⁷¹ Was in der DIN 4108-2 einfach formuliert ist, soll mit den folgenden Ausführungen näher erläutert werden. Hierzu wird eine umfangreiche und aussagekräftige Abbildung voran gestellt.

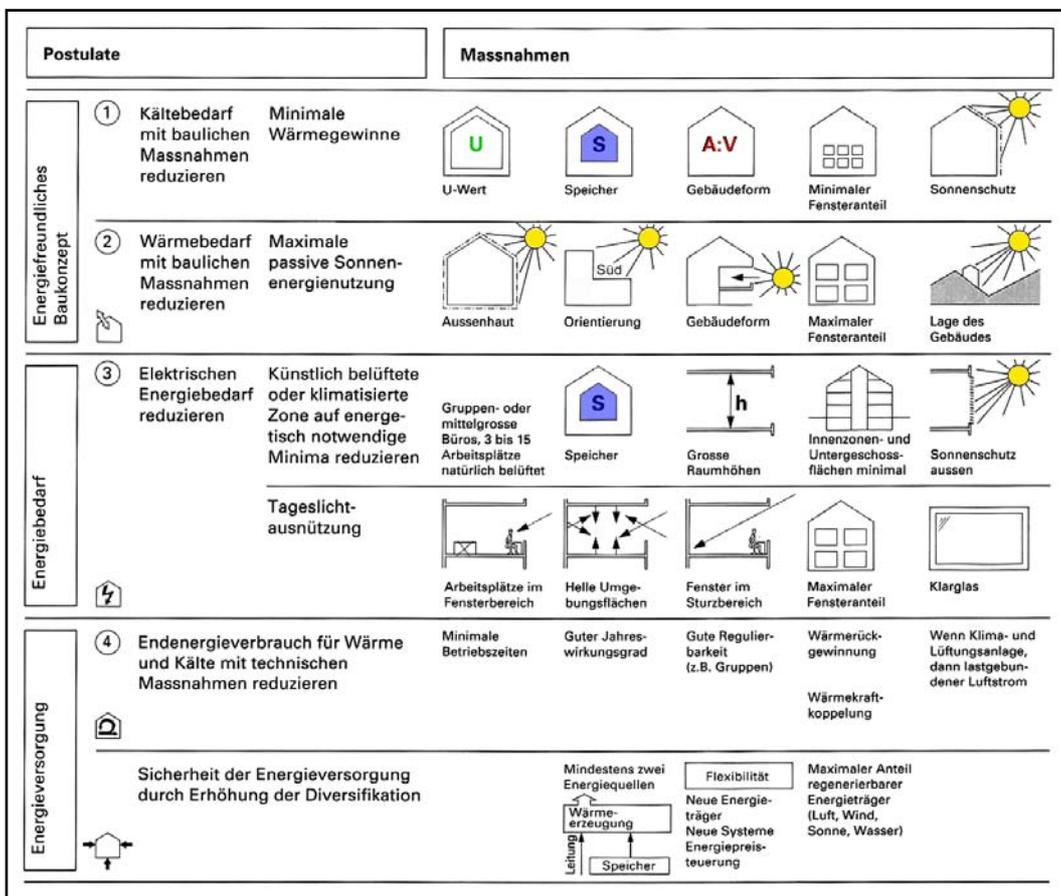


Abb. 22 Wichtige Punkte bei der Erarbeitung eines energetisch optimierten Gebäudekonzeptes⁷²
Da die Zeichnung/Skizze auch als „Sprache des Ingenieurs“⁷³ bezeichnet wird, sind die Symbole und die kurzen Texterläuterungen eigentlich bereits als selbstredend zu werten?.

⁷⁰ Bundesministerium für Raumordnung, Bauwesen und Städtebau: Dritter Bericht über Schäden an Gebäuden, S. 31

⁷¹ DIN 4108-2:2001-03:Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden, S. 6

⁷² vgl. Schmid: Heizungs- und Lüftungstechnik, 1993, S. 97, Bild 9.4

⁷³ Eigentlich ist damit die darstellende Geometrie gemeint der Monge (franz. Mathematiker, 1745-1818) den Weg als ein Hauptlehrgebiet der Polytechnik ebnete.

Eine angemessene Berücksichtigung von Vorgaben bzw. Rahmenbedingungen bildet die Basis für ein korrektes planerisches Herangehen an einer Baumaßnahme. Als feste Randbedingungen sind bspw. zu nennen:

- behördliche Vorgaben (bspw. regionale und überregionale Bauvorschriften: Geschoss- und Grundflächenzahl, Höhe der baulichen Anlage, Brand- und Schallschutzmaßnahmen, aber auch Dach- bzw. Gebäudeform, Material, Farbgestaltung etc.)
- Gesetze, Verordnungen, Regeln, Richtlinien etc. (bspw. EnEV oder a.a.R.d.Bt.)
- Bauplatz mit konkreten Umgebungsverhältnissen (bspw. Verschattung durch Nachbarbebauung, Baugrundverhältnisse)
- Verfügbarkeit von Ver- und Entsorgung (bspw. Energieträger: Öl, Gas, Elektrizität, Holz, Fernwärme etc., aber auch Umweltenergien aus/von: Sonne, Luft, Wasser, Erdreich)
- (Lokales) Außenklima (Lufttemperaturen, Strahlungsverhältnisse etc.)
- Nutzer/Nutzungsvorgaben (bspw. individuelle Objektgestaltungs-, Komfort- und Behaglichkeitswünsche)

Die Realisierung eines Gebäude- bzw. energetisch-optimierten Gesamtkonzeptes lässt sich letztlich mit der Lösung und Abstimmung von „nur“ zwei Hauptaufgaben bewältigen.

- Baukonstruktion bzw. Gebäude und
 - Gebäudetechnik
- } Hierbei ist die Gl. 0 bzw. die integrale Planung anzuwenden bzw. gültig!

Zum einen das Gebäude, möglichst hinsichtlich der Baukonstruktion (ökologisch und energetisch optimiert bzw. klimagerecht geplant. Zum anderen die Gebäudetechnik, möglichst bauwerks- und nutzergerecht ausgelegt, die die für Behaglichkeit, Hygiene und Komfort notwendige **Rest**-Energie bereitstellen muss. Die Restenergie ist dabei die Energiemenge, die das Gebäude nicht aus der bereitstehenden Umweltenergie gewinnen (Winter) oder abwehren (Sommer) kann. Mit/in den Punkten (1) und (2) des energiefreundlichen Baukonzepts (Abb. 22) sind nur Grenzwert-Maßnahmen⁷⁴ dargestellt, die im Praxisfall gegeneinander abzuwiegen sind. Im Sinne eines energiefreundlichen Gesamtkonzeptes ist fraglich, in wie weit es dem Bauplaner gelingt, Energie über die Baukonstruktion nutzbar zu machen bzw. fern zu halten (Umweltwärme) und/oder zu bewahren (Wärmehaltung über Speicherkapazität = Zeitkonstante). Für den HLK-Ingenieur dürften andere Probleme/Fragen wichtig sein, welche Energieform bzw. -art und welche Menge/Leistung an (Rest-)Energie, wann, wie und in welchem Zeitraum bereitzustellen ist.

Die wenigen aufgeführten Rand-, Rahmenbedingungen bzw. Anmerkungen konnten die Vielfalt der Kombinationsmöglichkeiten, die es planerisch gibt, bedingt verdeutlichen. Es ist unnötig und (relativ) unmöglich, diese angemessen zu definieren. Wichtig ist es, verallgemeinerbare Grenzwerte anzugeben, anhand derer das Zusammenspiel von Gebäude und (Heiz-)Anlagentechnik bzw. die sich ergebenden Problembereiche, zu erläutern sind. Grundvoraussetzung ist eine Verinnerlichung bzw. ein vorhandenes Grundverständnis gegenüber der Abb. 22. Wie erwähnt, sind in erster Linie die Maßnahmen der Punkte (1) und (2)⁷⁵ gegen- und untereinander abzustimmen. Neben den Punkten Standort, Orientierung des Gebäudes bzw. der Haupträume und der Optimierung der Gebäudeform haben auch die Faktoren U-Wert und Speicherfähigkeit der Gebäudehülle bzw. der raumbildenden Bauteile sowie Daten zu den

⁷⁴ kein Zusammenspiel der beiden Hauptkomponenten Gebäude und Haustechnik

⁷⁵ vgl. Abb. 22

transparenten Teilen (Fenster) der Fassade (Bauteilkennwerte, Fensteranteil und Orientierung), entscheidenden Einfluss auf die Energiefreundlichkeit des Baukonzeptes. Die Speicherfähigkeit bzw. (Raum-) Trägheit steht dabei in direktem Zusammenhang zur Systemträgheit und zur Wärmeübergabe der Heiztechnik. Abb. 23 zeigt tendenziell und beispielhaft die Wärmehaltung bzw. Auskühlzeit entsprechend gedämmter bzw. speicherfähiger Räume.

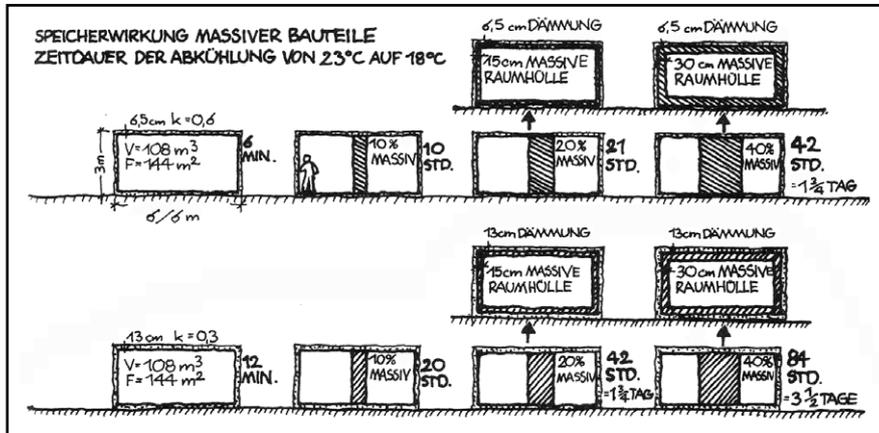


Abb. 23 Speicherwirkung/Zeitkonstante verschieden schwerer Räume/Gebäude⁷⁶

Es zeigt sich deutlich, dass nicht der U-Wert⁷⁷ allein die Zeitkonstante bzw. Trägheit ausmacht, sondern dass ein mindestens gleichbedeutender Einfluss der speicherfähigen Bauteilmasse zuzuordnen ist.

In der Fachliteratur wird dieser Zusammenhang oft unvollständig (ohne Angabe von Randbedingungen) oder zu pauschal und somit verfälscht dargestellt⁷⁸. In wichtigen Punkten sind deshalb sowohl die Abb. 23, als auch die Tab. 03 mit großer Vorsicht zu interpretieren. In Abb. 23 sind bspw. weder Fensterfläche(n), (Raum-) Lüftung noch Fremdwärmeeinfluss berücksichtigt⁷⁹ und auch die äußeren meteorologischen Bedingungen bzw. die zur Abschätzung (Berechnung) notwendige

| Gebäude-Trägheit | Zeit-Konstante [h] | Auskühlung in | | Beispiele |
|------------------|--------------------|---------------|---------|---------------------------------|
| | | 8 h | 60 h | |
| klein | 15 - 40 | 7 - 3 | 16 - 12 | Fabrikhalle |
| mittel | 40 - 100 | 3 - 1.2 | 12 - 7 | konvtl. MFH |
| groß | 100 - 200 | 1.2 - 0.6 | 7 - 4 | konvtl. schwer gebautes Gebäude |
| sehr groß | > 200 | < 0.6 | < 0.4 | Hoch-Isolations-Technik |

Tab. 03 Auskühlung von Gebäuden verschiedener Trägheit, bei 20 °C Raumtemperatur und 4 °C Außenlufttemperatur⁸⁰

Temperaturdifferenz Innen ↔ Außen ist nicht angegeben. Gerade im Zusammenhang mit dieser Temperaturdifferenz muss zwischen an- und abgekoppelter Speichermasse unterschieden werden:

- angekoppelte Masse: Teil der Gebäudehülle, der sowohl vom Außen- als auch vom Raumklima beeinflusst wird, äußere meteorologische Faktoren stehen in direktem Zusam-

⁷⁶ vgl. Umweltbundesamt: Ökologisches Bauen, 1982, S. 125

⁷⁷ In Abb. 23 wird noch die veraltete Bezeichnung "k-Wert" verwendet.

⁷⁸ vgl. Tab. 03

⁷⁹ Eine ähnliche Pauschalierung wird auch bei den Werten der Tab. 03 vermutet?.

⁸⁰ vgl. Schmid: Heizungs- und Lüftungstechnik, 1993, S. 84, Bild 8.3

menhang zur Speichermasse, die Anordnung und Leistungsfähigkeit der Wärmedämmung spielt hierbei eine nicht zu vernachlässigende Rolle, so wird bspw. mit übermäßiger Innendämmung der Gebäudehülle ein großer Teil der raumseitigen Speichermasse in diesem Bereich unwirksam

- abgekoppelte Masse: Bauteile (auch Raumausbau bzw. -ausstattung) innerhalb der beheizten hülle (vom künstlichen Raumklima umgeben) ohne direkten Kontakt zum Außenklima, somit ist die Wirksamkeit der Speichermasse überwiegend vom Raumklima abhängig (eine Ausnahme bilden die über transparente Flächen im Strahlungsaustausch befindlichen Bauteile)

Das nur als Trend zu wertende bzw. stark idealisierte Verhalten des Beispielraumes/Gebäudes muss, unter Berücksichtigung all dieser Vereinfachungen, im Zusammenhang mit den Fähigkeiten der entsprechenden Technik gesehen und geeignet nach weiteren Parametern (Nutzeranspruch, Fremdwärmeanfall etc.) interpretiert bzw. planerisch optimiert werden. Die dafür gebräuchlichen Simulationsprogramme decken fast alle Möglichkeiten ab, ermöglichen jedoch nicht zwangsläufig das Wesentliche vom Unwesentlichen zu trennen⁸¹. In erster Linie gilt es nachvollziehbare Regeln aufzustellen, nach denen funktionale Abhängigkeiten im Gesamtüberblick begriffen und somit komplexe Probleme relativ leicht und schnell in erster Näherung abgeschätzt⁸² werden können. Ein solches Teilproblem ist die Deckung des Restenergie- bzw. Leistungsbedarfes durch reale nicht trägheitslose Anlagen.

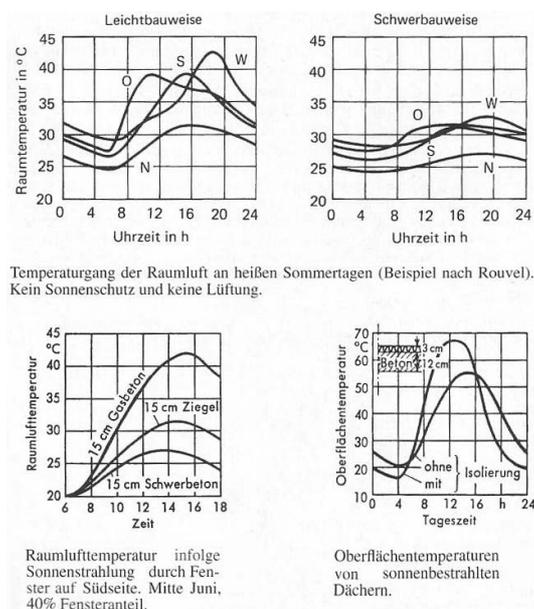


Abb. 24 Ausgewählte Tagestemperaturgänge⁸³

Speicherkapazität sehr stark bzw. schnell zum Überwärmen (Sommerfall) neigen müssen.⁸⁴ Somit haben Wortschöpfungen aus der Fachliteratur, bspw. der Begriff „Barackenklima“⁸⁵, nichts an ihrer Aktualität eingebüßt. Bessere und verallgemeinerungsfähige Vergleiche lassen sich mit physikalisch korrekt formulierten Kenngrößen (Temperaturamplitudendämpfung,

Über die Abschätzung der Reaktion des Beispielraumes, mit der bereits die Ab- bzw. Auskühlung dargestellt wurde, lässt sich auch in ähnlicher Form das Aufwärm- bzw. Anheizverhalten von Räumen beschreiben. Wird für die weitere logisch-folgerichtige Betrachtung eine Bewertung/Abschätzung des sommerlichen Wärmeschutzes angeschlossen, wird deutlich, dass mit genügend dimensionierten, passiv und/oder teilaktiv regulierbaren Puffern (speicherfähige Gebäudemasse) auf eine technische (Luft-)Kühlung im herkömmlichen Sinne u.U. verzichtet werden kann. Aus der Plausibilität geht dem gegenüber auch hervor, dass Räume mit wenig wirksamer

⁸¹ Keller/Magyari: Neue Einsichten zur Energie- und Leistungsoptimierung IN: Bauphysik 21 (1999), Heft 4, S. 155

⁸² ähnlich einer mathematischen Überschlagsrechnung bzw. Grenzwertabschätzung

⁸³ Recknagel/Sprenger/Schramek: Taschenbuch für Heizung und Klimatechnik, 1999, S. 40, Bilder 1.1.4-10 ff.

⁸⁴ vgl. Abb. 24, Teilbild links oben

⁸⁵ Lohmeyer: Praktische Bauphysik, 1995, S. 60

Phasenverschiebung, U_{24} -Wert etc.) erzielen. Solche Kennwerte lassen dann genauere Schlüsse zu, als dies mit (Trend-)Schätzungen möglich ist. Die Qualität dieser Ergebnisse steigt und fällt mit den angenommenen bzw. definierten Randbedingungen und kann sowohl bei der ordinären Schätzung, als auch bei der Berechnung zu sehr großen Abweichungen zum realen thermischen Verhalten bzw. Energieverbrauch führen. Eine Berechnung bietet in vielen Fällen nur trügerische Sicherheit. Wenn eine Abstimmung des Gebäudes mit Anlagentechnik und Nutzer unterlassen wird, kann sich dieses Missverhältnis weiter zuspitzen. Heute geht es, mehr denn je, um die bedarfsgerechte Nutzenübergabe⁸⁶ von Wärme/Kälte. Rietschel stellte bereits 1902 fest, dass die vollkommenste Heizungsanlage diejenige sei, die an jeder Stelle eines Wärmeverlustes⁸⁷ einen gleich großen Wärmeersatz liefern kann. Da der zeitlich bereitzustellende Wärme(energie)-Leistungsbedarf neben dem Nutzer- in starkem Maße von den Gebäudeeigenschaften, sowie vom Anteil des ungerichteten Wärmeeintrages abhängt, ist es verwunderlich, dass in dieser (Optimierungs-)Hinsicht unabhängige Hinweise in der Fachliteratur existieren, es aber kaum Abstimmungshinweise der einzelnen Parameter untereinander gibt. Prinzipiell ließe sich jeder Gebäudetyp (leichte, mittlere, schwere oder ganz schwere Bauweise) mit jeder Art von Heizung bzw. Wärmeübergabeeinrichtung (Radiator, Konvektor, integrierte Heizflächen, reine Luftheizung etc.) erwärmen bzw. betreiben. Ob dies dann auch energetisch effizient und für den Nutzer dauerhaft behaglich und hygienisch erfolgen kann, sollte vom Planerteam genauer hinterfragt werden.

3.4.1 Stellenwert der Raum- bzw. Gebäudeträgheit

Dem Nutzer/Kunden ist prinzipiell egal wie der Architekt und/oder (Fach-) Ingenieur ein gesundes, komfortables und behagliches Raumklima garantiert bzw. sicherstellt. „Der Kunde will heute keine Heizungs- oder Klimaanlage, sondern ein komfortables Gebäude mit hoher Flexibilität.“⁸⁸ Für den Planer besteht das Problem, dass er weitgehend lösungsorientiert arbeiten kann, Gebäude heute aber „zielorientiert geplant, gebaut und betrieben werden“⁸⁹ müssen. Gerade hierzu sind neue Wege in der Energie- und Leistungsoptimierung von HLK-Anlagen zu beschreiten. Mit einer Novellierung des Wärmeschutzes sowie einer Zusammenführung von baukonstruktiven mit anlagentechnischen Maßnahmen scheinen die Verordnungsgeber (EnEV) dies erwirken zu wollen. Keller und Magyari, Professur für Bauphysik ETH Zürich, stellen mit einigen (beantworteten⁹⁰) Grundsatzfragen (sowie einem eigenen Rechenmodell: Klimafläche) Einsichten zur Energie und Leistungsoptimierung vor.

1. Ist es wirklich unmöglich, das thermische Verhalten eines Gebäudes auf eine überschaubare Anzahl wesentlicher Parameter zu reduzieren?
2. Würden sich daraus übersichtliche und nachvollziehbare Zusammenhänge ergeben, unter denen sich die Planenden wieder etwas vorstellen könnten?
3. Welche wären die energie- und leistungsbezogenen (Raum-)Klimakenngrößen?

⁸⁶ Nutzenübergabe \neq Wärmeübergabe: Zwischen nutzbarer und nicht nutzbarer Wärme ist zu unterscheiden, da teilweise die bedarfsgerechte Nutzenübergabe zu einem über den rechnerischen Bedarf hinausgehenden Aufwand führt.

⁸⁷ Aus dem heutigen Verständnis zum Thema Behaglichkeit (Belebung der Sinne, Reizklima etc.) müsste das Wort 'Wärmeverlust' allerdings durch die Wortgruppe 'nutzerbedingten Wärmebedarfes' ersetzt werden.

⁸⁸ Jahn: „Intelligente Einfachheit Hightech“ IN: Haus Tech 10/99, S. 26

⁸⁹ ebenda, S. 26

⁹⁰ Auf die Grundsatzfragen wird in dem betreffenden Artikel genauer eingegangen.

4. Sind Normen für den Heiz- und Kühlleistungs-, sowie den entsprechenden -energiebedarf nicht kohärent oder gar verwandt?
 - da zwischen Heizen und Kühlen mathematisch nur ein Vorzeichenunterschied besteht und es sich physikalisch betrachtet, sogar beide Male um Wärme handelt
 - bei den Begriffen Leistungs- und Energiebedarf bezieht sich der erste auf Grenzwerte und der zweite auf die in einem Zeitintervall der selben Orts- bzw. Raumfunktion (Gebäude und/oder Raum) vorliegenden Durchschnittswerte
5. Müsste nicht das Gebäude in der Bewertung wieder von der Haustechnik getrennt werden, so dass einerseits das Gebäude nach den vorliegenden meteorologischen Gegebenheiten für einen kleinen thermischen Energie- und Leistungsbedarf ausgelegt werden kann und andererseits der Restenergie- und Leistungsbedarf optimal von der Gebäudetechnik zu bewältigen wäre?⁹¹

Die Grundsatzfragen schließen nahtlos an die Betrachtung bzw. Überlegungen zur Abb. 22 (Postulate) an. Die bereits vorangestellten und zum überwiegenden Teil allgemeinen bzw. theoretischen Überlegungen dieses Unterkapitels werden durch die Fragen teilweise abgerundet.

Bei derartigen Fragen kann es keine Musterlösung geben. Wie tiefgründig und speziell die Lösungsansätze aber sein müssten, entzieht sich vielfach oder sogar ausschließlich eines rein objektiven Beurteilungsstandpunktes. Dieser Umstand ist nicht weiter verwunderlich, da zusätzliche fachlich-relevante Meinungen bzw. auch Daten zu dieser Thematik in die Überlegungen einfließen müssten. Diese sind jedoch teilweise zu wenig erforscht bzw. aufbereitet, als dass sie bereits in einschlägigen Literaturquellen erschienen wären. Es gibt bspw. zu der mehrfach erwähnten Zeitkonstante bzw. Gebäudeträgheit nur wenig Konkretes. Diese Größe hat jedoch nicht nur für den (sommerlichen) Wärmeschutz, sondern auch für die Auslegung und ggf. sogar Regelung der Heiz- bzw. Kältetechnik eine große Bedeutung. Bei hoher Gebäudeträgheit lassen sich bspw. starke/schnelle Wetterumschwünge (Temperatur-, Strahlungs- und Windspitzen) viel leichter ohne technische Unterstützung überbrücken bzw. glätten. Das kann bzw. hat große Auswirkungen auf die Funktionsparameter der Gebäudetechnik und macht u.U. sogar Teile der Technik gänzlich überflüssig (Kältetechnik, aufwendige Regeltechnik bei möglicher Ausnutzung des Selbstregelleffektes etc.). Genauso ist es möglich, dass eine dementsprechende Schwerpunktverlagerung für die Auslegung und Dimensionierung der Gebäudetechnik stattfinden muss und bspw. eine sonst ausreichende natürliche Belüftung der Räume nur noch bedingt bzw. nur unter Behaglichkeitseinbußen realisierbar ist. Eine Bewertung der Baukonstruktion müsste auch für die Optimierung von Raumtemperaturabsenkungen in Nichtnutzungszeiten (eingeschränkter Heizbetrieb) durchgeführt werden⁹². Nach VDI 3808 kann das messtechnisch erfolgen, wobei über eine Näherungsformel die Gebäudekonstante τ ⁹³ zu errechnen ist.

⁹¹ vgl. Keller/Magyari: Neue Einsichten Energie- u. Leistungsoptimierung IN: Bauphysik 21 (1999), Heft 4, S. 155

⁹² vgl. VDI 3808 Januar 1993: Energiewirtschaftliche Beurteilungskriterien für Heiztechnische Anlagen, S.22 ff.

⁹³ ebenda, S. 22, Gleichung 34

Im direkten Vergleich zwischen dem bekannten Rechenverfahren nach DIN V 4108-6⁹⁴, und den Ansätzen nach VDI 2067⁹⁵ bzw. VDI 3808 sollte auffallen, dass die angebotenen Näherungslösungen nach VDI umfangreicher bzw. differenzierter ausfallen. Erst eine Kombination beider Ansätze (DIN und VDI) ermöglicht eine genauere Abschätzung. Die DIN-Regelung geht einerseits von einem spezifischen Wärmeverlust aus, der auch die Lüftungswärme beinhaltet, verliert sich dann aber in Pauschalwerten bzw. -angaben. Die VDI-Ansätze andererseits, beinhalten eine prinzipielle Meßmethode (nur für reale/vorhandene Gebäude einsetzbar), sie vergessen aber darauf einzugehen, dass es neben dem berücksichtigten Fremdwärmeeinfluss auch noch weitere bedeutsame Wärmeströme über die Messdauer geben kann bzw. muss (Grundlüftung). Diese beschleunigen bzw. verzögern das Auskühlen zusätzlich und beeinflussen damit das Endergebnis. Hier hilft auch nicht der Bezug auf den flächenbezogenen

| Bauweise | Flächenbezogener Wärmebedarf q in W/m ² *) | | | |
|---|---|------|------|------|
| | 50 | 75 | 100 | 125 |
| a) Sehr leichte Bauweise, z.B. - große Halle mit Leichtbauwänden ohne innere Speichermassen wie bspw. Lagergut - Fertighaus in Holzkonstruktion bzw. Leichtbau ohne große innere Speichermassen wie bspw. schwere Möbel, Bücherwände o.ä. | 38 h | 25 h | 19 h | 15 h |
| b) Leichte Bauweise wie unter Pkt. "a", jedoch mit größeren inneren Speichermassen | 50 h | 33 h | 25 h | 20 h |
| c) Mittelschwere Bauweise, Wohn- und Nichtwohngebäude mit Innen- und Außenwänden 16 cm bis 24 cm | 63 h | 42 h | 31 h | 25 h |
| d) Schwere Bauweise Innen- und Außenwände > 30 cm | 75 h | 50 h | 38 h | 30 h |

Bei Gebäuden mit Fußbodenheizung erhöht sich die Zeitkonstante wie folgt:

| | |
|------------------|-------------------------------------|
| leichter Aufbau | + 5 h, z.B. 20 mm Gipskartonplatten |
| mittlerer Aufbau | + 7 h, z.B. 20 mm Trockenestrich |
| schwerer Aufbau | + 10 h, z.B. 40 mm Estrich |

*) $q = Q_{N, Geb} / A_{Fb}$

| | |
|----------------------------|-----------------|
| a) sehr leichte Bauweise: | $\tau = 1800/q$ |
| b) leichte Bauweise: | $\tau = 2500/q$ |
| c) mittelschwere Bauweise: | $\tau = 3140/q$ |
| d) schwere Bauweise: | $\tau = 3760/q$ |

Tab. 04 Gebäudekonstante in Abhängigkeit von Bauweise und flächenbezogenem Wärmebedarf⁹⁶

Wärmebedarf⁹⁷, da dieser über die gesamte Heizperiode gemittelt ist und mitunter von den Vorgaben abweicht.

Der Stellenwert der Gebädeträgheit ist auch im Zusammenhang mit dem sommerlichen Wärmeschutz als bedeutsam einzustufen. Die DIN 4108-2⁹⁸ bietet ein vereinfachtes Nachweisverfahren an. Dieser vereinfachte Nachweis muss, nach den Simulationsergebnissen der Grundsatzuntersuchung NOWA⁹⁹ bzw. den Fachartikeln von Rouvel¹⁰⁰ und Hauser¹⁰¹ zu urteilen, eher negativ bewertet werden. Es sei denn, er dient ausschließlich einer Abschätzung in der Vorplanungsphase. Letztlich überwiegt das Kriterium der Behaglichkeit. Das kann nur angemessen über eine dynamische Simulationsberechnung abgeschätzt werden

⁹⁴ vgl. DIN V 4108-6:2000-11: Wärmeschutz und Energieeinsparung in Gebäuden, S. 31 ff.

⁹⁵ vgl. VDI 2067 Blatt 2 Dezember 1993: Berechnung der Kosten von Wärmeversorgungsanlagen, S. 6 ff.

⁹⁶ vgl. ebenda, S. 7, Tabelle 1

⁹⁷ vgl. Tab. 04

⁹⁸ vgl. auch (!) DIN E 4108-2/A1:2002-02: Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden

⁹⁹ vgl. Richter/Bach: Vom Wärmeschutz zur Energieeinsparung, 1997, S. 42 ff. bzw. Dipper: Vom Wärmeschutz zur Energieeinsparung IN: HKL Brief 10, 1998, S. 6 f., <http://fghlk.de/de/wi/vo/hlkbriefe/hlkbrief10.pdf>

¹⁰⁰ vgl. Deutscher/Elsberger/Rouvel: Sommerlicher Wärmeschutz IN: Bauphysik 22 (2000), Heft 3 bzw. Rouvel: Sommerlicher Wärmeschutz IN: Bauphysik 22 (2000), Heft 5

¹⁰¹ vgl. Hauser: Die Wirkung der Wärmespeicherfähigkeit von Bauteilen und ihre Berücksichtigung in der EnEV IN: Bauphysik 22(2000) Heft 5

(Übertemperaturgradstundenzahl Gh_{26}^{102}). Alternativ verbleibt der umfangreiche Nachweis nach VDI 2078¹⁰³.

Festzustellen bleibt, dass für den Einzelfall zwischen sommer- und winterlichem Wärmeschutz abgewogen werden muss. Eine pauschale Festschreibung niedriger U-Werte hat positive Auswirkungen auf den Jahresheizenergiebedarf. Sie kann aber im Sommer dazu führen, dass die Behaglichkeit herab gesetzt wird und „der Nutzer den unbehaglichen Temperaturen durch Kühleinrichtungen entgegenwirkt.“¹⁰⁴ Dies bedeutet, dass nur der gesamte (Heizen, Kühlen, Lüften, Warmwasser, Hilfsenergie, Haushaltsstrom etc.) End- bzw. Primärenergiebedarf eines Gebäudes für eine ganzheitlich-ökologische Beurteilung maßgebend sein kann.

¹⁰² ebenda, Bild 4

¹⁰³ vgl. VDI 2078 Juli 1996: Berechnung der Kühllast klimatisierter Räume

¹⁰⁴ Dipper: Vom Wärmeschutz zur Energieeinsparung IN: HKL Brief 10, 1998, S. 7,
<http://fghlk.de/de/wi/vo/hlkbriefe/hlkbrief10.pdf>

4. Konzeptionelle Abstimmung von Gebäude und Heiztechnik

4.1 Die Bauphysik – Ein Weg der Konzeptoptimierung

Die Physik ist eine Naturwissenschaft, die sich mit dem Aufbau, den Strukturen und Gesetzmäßigkeiten der unbelebten Welt (Natur) befasst. Die dazu notwendigen Messungen und experimentellen Überprüfungen werden überwiegend auf der Basis der mathematischen Logik gegründet. Weitere verwandte Wissenschaften, wie bspw. die Chemie (Stoffkennwerte) oder die Meteorologie (Wetterdaten), befassen sich mit bestimmten Gegenstandsbereichen der Physik. Die Bauphysik ist vergleichsweise dazu eine sehr junge Disziplin. Trotzdem sollte kein Zweifel über ihren Platz unter den traditionell etablierten (Bauingenieur-)Fächern bestehen. Vielfach reduziert sich jedoch der gebotene Inhalt, (meist) infolge von Zeitlimits, auf „Vermittlung von Rezepten, die besonders im Wärmeschutz in einer „k-Wert-Philosophie“ ihren Niederschlag finden sowie auf den physikalischen und thermo-dynamischen Grundlagen des 19. Jahrhunderts basieren und vorwiegend stationäre Zustände zugrunde legen, die in der Realität nie vorhanden sind.“¹ Der Autor dieser Worte ist auch der Meinung, dass es heutigen Absolventen an der nötigen Kreativität fehle, die aber erst über das Verstehen der grundlegenden theoretischen Zusammenhänge wachsen muss². Dieses Wissen und die „Behandlung zeitabhängiger Wärme- und Stofftransportvorgänge“³ muss zukünftig genutzt werden, um notwendige Verbesserungen der Gebäudehülle in thermischer, hygrischer, akustischer etc. Hinsicht zu erzielen.⁴

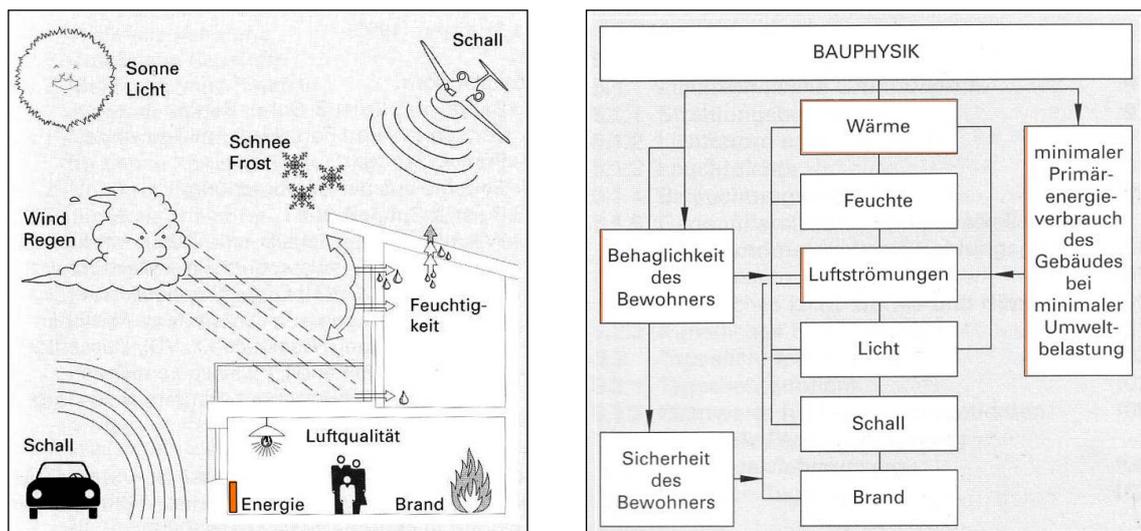


Abb. 25 und 26 Themengebiete der Bauphysik⁵

„Freies Konstruieren und Entwerfen, künstliche Normen, naturgegebene Materialeigenschaften und physikalische Grundgesetze bilden ein Spannungsfeld, unter dessen Wirkung der“⁶ Planer ein Bauwerk entstehen lässt. Hierbei kommt mehr denn je der Bauphysik eine Schlüsselfunktion zu, der sie noch immer nicht im nötigen Umfang gerecht wird.

¹ Hilbig: Grundlagen der Bauphysik, 1999, S. 5

² Diese Kritik an Ausbildung bzw. Lernzielen ist mit einigen ergänzenden Worten besser zu verstehen. vgl. Anhang A.2: Klimawerte und Berechnungen, S. A.2-76, Zitat nach Markl

³ Hilbig: Grundlagen der Bauphysik, 1999, S. 5

⁴ vgl. ebenda, S. 5

⁵ vgl. Zürcher/Frank: Bauphysik, 1998, Vorwort

⁶ Hauri/Zürcher: Moderne Bauphysik, 1987, S. 09 f.

„Für die physikalisch korrekte Bilanzierung der benötigten thermischen Energiemenge ... lassen sich Bauphysik und Anlagentechnik eines Gebäudes nicht mehr voneinander trennen.“⁷ Mit Hilfe der Bauphysik werden die Grundlagen für eine ordnungsgemäße Dimensionierung von Baukonstruktion und technischer Gebäudeausrüstung erbracht, momentan findet ein Umdenken statt. Es wird sich rückbesonnen auf eine Gebäudehülle, die nicht nur mit Schutzfunktionen aufwartet, sondern wieder eine Filterfunktion (selektiver Klimafilter) aufweist. Diese soll als *semipermeable* Membran zwischen künstlichem Raumklima und äußeren natürlich-klimatischen Einflüssen fungieren.

Das Thema Wärmelehre ist ein umfangreiches Teilgebiet der Physik. Je nach Betrachterstandpunkt⁸ werden Wärmetransportprobleme unter den verschiedensten Aspekten formuliert. Die Bandbreite reicht von Ansätzen aus der Statistik bis hin zu kinematischen Modellen. Sehr allgemein lässt sich Wärme als ungeordnete Molekularbewegung definieren. Gerade beim (konstruktiven) Gebäudewärmeschutz wird nicht jedes einzelne (Stoff-) Molekül betrachtet, das da *irgendwie*⁹ durch eine Hüllkonstruktion *wandert*. Von allgemeinem Interesse sind vielmehr die makroskopischen, innen- und außenklimatischen Verhältnisse.

Zur realitätsnahen Abbildung/Beschreibung von **Wärmetransportproblemen** bedient sich das Bauwesen im wesentlichen **3er Transportmechanismen** sowie einer Vielzahl an empirisch gewonnenen und statistisch aufbereiteten Daten. Der Wärmetransport kann dabei nur auf zwei physikalisch grundsätzlich verschiedene Arten erfolgen:

1. Stoffgebundener Transport infolge (Wärme-) **Leitung** und/oder **Konvektion**
2. Nicht stoffgebundener Transport infolge (Wärme-) **Strahlung**

Dem materielosen Transport von Wärmestrahlung (3. Mechanismus) wird nur im Bereich der Forschung die nötige Aufmerksamkeit gewidmet. Bei der heutigen Bauplanung erfährt er nur wenig Beachtung. Ähnlich verhält es sich mit dynamischen Wärmetransportproblemen, deren mathematisch aufwändige und zeitraubende Lösung bisher mittels geeigneter Näherungen umgangen wurde. Bspw. stellt Bangerter in ¹⁰ Kennziffern zur Wärmespeicherung und Auskühlung mehrschichtiger Bauteilkonstruktionen zur Verfügung. In ¹¹ finden (ergänzend) weitere wichtige Größen Erwähnung. Zürcher und Frank geben hier Grundlageninformationen zu den Kennwerten Temperaturamplitudendämpfung und Phasenverschiebung¹², erläutern kurz den dynamischen k-Wert (heute U-Wert) und fassen diese Größen für ausgesuchte (Wand-) Konstruktionen tabellarisch zusammen.¹³ Hilbig¹⁴ komplettiert die bei Zürcher und Frank zu kurz gekommenen Ausführungen zu mathematischen Modellen bzw. Ansätzen, geht aber dabei noch einen etwas anderen Weg.¹⁵

⁷ Wolff/Jagnow: Auszug aus dem Manuskript, 2001, S. 1

⁸ EULERSche Betrachtungsweise: Sichtweise vom Standpunkt eines festen Beobachters aus ; LAGRANGESche Betrachtungsweise: Sichtweise vom Standpunkt eines mitbewegten Beobachters aus (bspw. Teilchenströmung)

⁹ bspw. BROWNSche Molekularbewegung

¹⁰ Bangerter: Kennziffern zur Auskühlung und Wärmespeicherung, 1994

¹¹ Zürcher/Frank: Bauphysik, 1998, S. 40 ff.

¹² vgl. bspw. Professur für Bauphysik der ETH Zürich:

http://www.bph.hbt.arch.ethz.ch/Filep/Waerme/Waerme_Grundl/Waermetransm_dyn.html

¹³ vgl. Zürcher/Frank: Bauphysik, 1998, S. 43, Tabelle 2.17

¹⁴ Hilbig: Grundlagen der Bauphysik, 1999

¹⁵ Biotzahlen: Der Wärmeübergang wird zur Wärmeleitfähigkeit ins Verhältnis gesetzt, um diesen an das allgemein thermodynamische Modell anzupassen. vgl. bspw. Hilbig: Grundlagen der Bauphysik, 1999, S. 45

Ziel aller Autoren ist es, die z.T. hochkomplexen Randbedingungen wie bspw.:

- zeitliche Veränderung vieler Parameter (Temperatur und solare Strahlungsschwankungen → instationärer Wärmetransport),
- konvektiver und strahlungsbedingter (radiativer) Wärmeübergang¹⁶ innen und außen,
- Wärmeübergabe der Raumheizflächen,
- mehrdimensionale Wärmeleitung und -speicherung (besonders bei Wärmebrücken und voluminösen bzw. schweren Bauteilen),
- anisotrope Materialeigenschaften (bspw. Feuchtegehalt von Baustoffen oder inhomogene Stoffe: kombinierte Materialien, so bspw. porosierte Ziegel/Steine oder WDVS),

an einfache Modellvorstellungen anzugleichen. Dazu dient(e) vorrangig das aus der Elektrotechnik bekannte und vertraute Widerstandsmodell¹⁷.

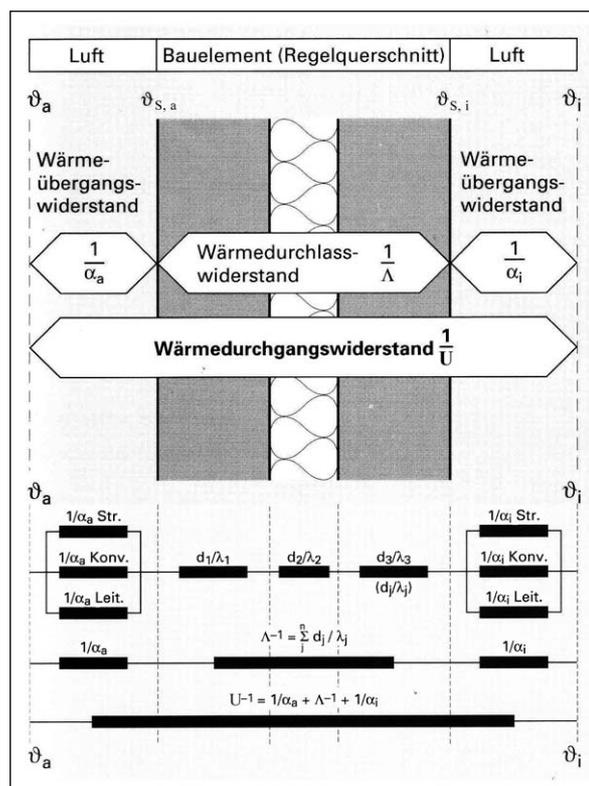


Abb. 27 Elektrotechnisches Analogiemodell einer mehrschichtigen Wand¹⁸

Der k-Wert, heute U-Wert [W/(m² K)], gibt die Wärmemenge an, die stündlich durch einen Bauteilquerschnitt mit 1 m² Bezugsfläche und 1 m Dicke, bei einer Temperaturdifferenz zwischen beiderseits des Bauteils angrenzenden Luftschichten von 1 K, übertragen wird.

Heute sind es genau diese mathematischen Annahmen¹⁹ bzw. Analogien zur wirklichkeitsnahen Abbildung und deren notwendige Vereinfachungen, die bei instationärer Betrachtung physikalischer Vorgänge Probleme bereiten.

Gab es noch vor 100 Jahren nur ein *gutes Dutzend* gängiger Baumaterialien bzw. Standardkonstruktionen, so hat sich deren Zahl nicht nur erhöht, die Bauweise hat sich allgemein stark verändert bzw. den Umständen angepasst. Auf Erfahrungswerte kann deshalb nur vereinzelt zurück-

gegriffen werden. Somit verbleibt eine rechnerische Überprüfung der vorhandenen Problemstellung. Für die bauphysikalische Wärmelehre wurde zu diesem Zweck das Leitungsgesetz von Fourier²⁰ (kartesische Koordinaten-Schreibweise):

$$\frac{\partial \vartheta}{\partial t} = \frac{\lambda}{\rho \cdot c} \cdot \left(\frac{\partial^2 \vartheta}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \vartheta}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \vartheta}{\partial z^2} \right) + \frac{1}{\rho \cdot c} \cdot f(x, y, z, t)^{21} \quad \text{Gl. 1,}$$

¹⁶ vgl. Anhang, A.1.1 (Un-)Pauschaler Wärmeübergang, S. A.1-5 ff.

¹⁷ vgl. Abb. 27

¹⁸ vgl. Zürcher/Frank: Bauphysik, 1998, S. 29, Abbildung 2.12

¹⁹ vgl. Anhang A.2: Klimawerte und Berechnungen, S. A.2-76, Zitat nach Marx

²⁰ Jean Baptiste Joseph Fourier, franz. Wissenschaftler und Politiker, 1768-1830

²¹ vgl. Gröber/Erk/Grigull: Die Grundgesetze der Wärmeübertragung, 1988, S. 11, Gleichung 4b

an bauliche Belange bzw. Genauigkeitsanforderungen angepasst.²² Dazu genügten ein-dimensional stationäre sowie dynamische U-Wert-Modelle gleichermaßen. Wärmeübergänge und Strahlungsaustauschprozesse wurden ebenfalls dem thermodynamischen Modell angeglichen.²³ Für bauphysikalische Belange sind allgemein folgende Wärmeströme/Randbedingungen zu berücksichtigen:

1) Randbedingung aus Wärmeleitung:

$$Q_{\Lambda} = \Lambda \cdot (T_{S,i} - T_{S,e}), \text{ (infolge reiner Wärmeleitung, geht rechnerisch in Gl. 5 ein)} \quad \text{Gl. 2}$$

2) Randbedingung aus Wärmeübergang²⁴:

$$Q_{\alpha} = \alpha_{cv} \cdot (T_1 - T_2) \quad \text{Gl. 3}$$

3) Randbedingung aus Strahlungsvorgängen:

$$Q_1 = \alpha_{st} \cdot I, \text{ (infolge absorbierter kurzwelliger Solarstrahlung)} \quad \text{Gl. 4}$$

$$Q_{\varphi} = \varepsilon \cdot C_S \cdot \left(\frac{T_{S,i..e}}{100} \right)^4, \text{ (infolge Eigenabstrahlung terrestrischer Oberflächen/Bauteile)} \quad \text{Gl. 5}$$

$$Q_w = \alpha_w \cdot W, \text{ (infolge absorbierter langwelliger Wärmestrahlung)} \quad \text{Gl. 6}$$

4) Bilanzsumme aus 2) und 3):

$$Q_{S,i..e} = Q_{\alpha} + Q_1 - Q_{\varphi} + Q_w \quad \text{Gl. 7}$$

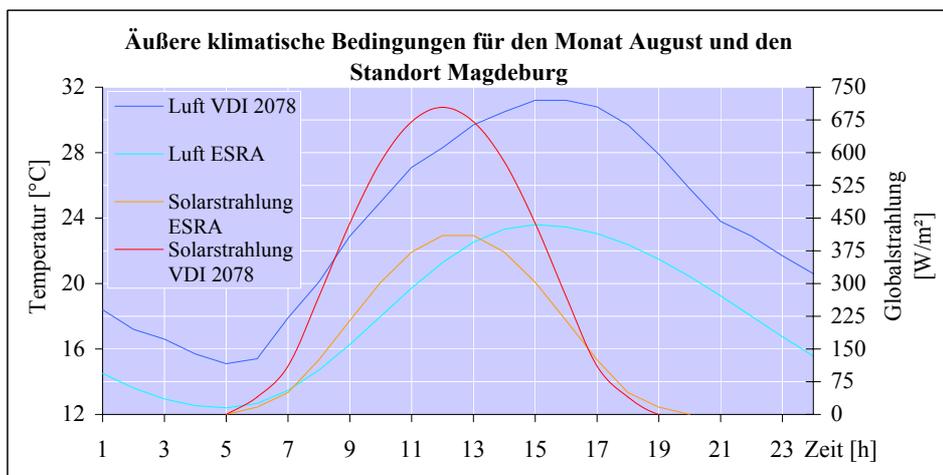


Abb. 28 Beispiele ausgewählter äußerer klimatischer Randbedingungen²⁶

Diese zeitlich stark schwankenden Randbedingungen angemessen rechnerisch zu erfassen, war noch bis vor einigen Jahren mit relativ hohem Aufwand verbunden. Der Realisierung dienen die bereits erwähnten und weitere nicht genannte Vereinfachungen. Um den Aufwand zu minimieren, wurden beispielhaft die Probleme von Standard-Konstruktionen für den Planer tabellarisch aufbereitet bzw. in Kennwerten zusammengefasst.

²² vgl. Abb. 27 (Widerstandsmodell)

²³ vgl. Anhang: A.1.4 Thermisches Raumverhalten und instationäre Wärmeleitung, S. A.1-22, Gleichung A.1-14

²⁴ siehe auch Anhang A.1: A.1.1 (Un-)Pauschaler Wärmeübergang, S. A.1-5 ff.

²⁵ vgl. bspw. Holznagel: Erarbeitung eines Rechenprogramms, 2000, S. 7, Gleichung 14 oder Kälin/Kneubühl: Die Verminderung des Wärmeverbrauchs durch Infrarot-Verspiegelung IN: GI, 1977, Seite 246, Gleichung 6

²⁶ vgl. Anhang A.2: Klimawerte und Berechnungen, Tabelle A.2-55 f.

Die heutige Rechentechnik ermöglicht eine andere Herangehensweise. War der Ingenieur einst bemüht Randbedingungen, wie bspw. Tagesgänge von Außenlufttemperatur und Solarstrahlung in mathematisch einfach handhabbare Funktionsverläufe (bspw. Sinusfunktion²⁷), umzuformulieren oder gar zusammenzufassen²³, so können bei heutigen (Grenzwert-) Betrachtungen bspw. Datensätze aus der VDI 2078²⁸ ohne Änderung übernommen werden. Grafische Lösungsansätze, wie das Differenzenverfahren nach Binder/Schmidt²⁹, gehören durch neue Programme, wie bspw. TRNSYS³⁰, Helios-PC³¹ oder auch DynaTherm³², der Vergangenheit an. Unter normalen Bedingungen lassen sich Raum- bzw. Gebäudesimulationen mit geeigneteren Programmen (bspw. TRNSYS oder Helios-PC) als mit DynaTherm durchführen.

Das Programm DynaTherm von Holznagel soll an dieser Stelle vorgestellt werden. DynaTherm ist in Visual Basic for Applications (VBA-Excel) programmiert. Holznagel wählte bewusst die Basissoftwarelösung Microsoft® Excel, da die Tabellenkalkulations-Funktionen enorme Vorteile bieten und den meisten Ingenieuren und Architekten vertraut sein müssten. Der offen liegende Programmcode (Open-Source) hat den Vorteil, dass versierte Nutzer leicht individuelle Anpassungen bzw. Änderungen vornehmen können. Vom Modellansatz ist DynaTherm mit dem Binder/Schmidt- Differenzenverfahren vergleichbar. Nur werden die Ergebnisse nicht, wie in ²⁹ beschrieben, auf grafischen Wege gewonnen, sondern nach dem expliziten Differenzenverfahren³³ numerisch ermittelt. Auch hier wird das zu betrachtende Bauteil in Schichten zerlegt. Örtliche und zeitliche Intervalle müssen in einer Stabilitätsbedingung einander angeglichen werden.³⁴

$$m = \frac{a \cdot \Delta t}{(\Delta x)^2}, \text{ Modul bzw. Gitter-Fourier-Zahl}^{35} \quad \text{Gl. 8}$$

Das Programm hat den Vorteil, dass einzelne Bauteile isoliert betrachtet werden können. Für Simulationen können hierbei die Größen:

- Wärmeübergang (konvektiv)
- Strahlungsintensität, außen und innen
- Lufttemperatur,

für die jeweils frei wählbaren Zeitschritte eingelesen werden. Es ist über das Programm auch möglich für beliebige Standorte solare Strahlungswerte direkt zu ermitteln. Die Werte gelten eingeschränkt für wolkenlosen Himmel (Clear Sky) bzw. definierte Trübung und sind mit dem Rechenmodell der VDI 2078 vergleichbar. Trübungswerte der Atmosphäre müssen angepasst werden.³⁶

Holznagel schafft es mit einer relativ einfachen und unkomplizierten (nur notwendige, unkomplexe Eingabeparameter) Software das Wesentliche vom Unwesentlichen zu trennen.

²⁷ vgl. bspw. Hauri: Praktische Berechnung des instationären Wärmeflusses, 1977

²⁸ vgl. Abb. 28 bzw. Anhang A.2: Klimawerte und Berechnungen, Tabelle A.2-56

²⁹ vgl. Gröber/Erk/Grigull: Die Grundgesetze der Wärmeübertragung, 1988, S. 100 ff.

³⁰ TRANSSOLAR Energietechnik GmbH: <http://www.transsolar.com/ts/software/trnsys/sd/trnsd.htm>

³¹ SoftGuide GmbH & Co. KG: http://www.softguide.de/prog_v/py_0237.htm

³² Holznagel: <http://www.holznagels.de/DYNATHERM/einleitung.htm>

³³ VDI-Gesellschaft: VDI-Wärmeatlas – Berechnungsblätter für den Wärmeübergang, 1997, S. Ec 4.1 ff.

³⁴ vgl. Gl. 8

³⁵ vgl. Holznagel: Erarbeitung eines Rechenprogramms, 2000, S. 18, Gleichung 11 oder VDI-Gesellschaft: VDI-Wärmeatlas – Berechnungsblätter für den Wärmeübergang, 1997, S. Ec 4.2.1

³⁶ Anhang A.2: Klimawerte und Berechnungen, S. A.2-12

Mit DynaTherm lassen sich einfache und nachvollziehbare funktionale Abhängigkeiten nachstellen bzw. aufzeigen. Fehler durch das unvollständige Strahlungsmodell (fehlende langwellige terrestrische Ausstrahlung bzw. langwellige Gegenstrahlung) werden erst bei sehr kleinen U-Werten relevant und lassen sich über eine Anpassung der Eingabewerte eingrenzen.³⁷ Für weitere Informationen zu DynaTherm wird auf die Diplomarbeit von Holznagel verwiesen.³²

Für die Auslegung von Heiz- bzw. Kälteanlagen spielt die instationäre Speicherfähigkeit der raumbildenden Bauteile (Aufheiz- bzw. Auskühlverhalten) in Abstimmung mit der Raumorientierung und Fenstergröße bzw. Verschattungsmaßnahmen eine Rolle. Bei den an die Außenluft grenzenden (Hüll-)Konstruktionen/Bauteilen kommen die bereits erwähnten Größen Temperaturamplitudendämpfung und Phasenverschiebung hinzu. Sie sind wiederum in direkter Verbindung zur instationären Wärmespeicherung bzw. Raumzeitkonstante zu werten.

„Eine Gebäudehülle befindet sich nie in einem stationären Zustand.“³⁸ Temperaturdifferenzen zwischen Tag und Nacht sowie unterschiedliche Strahlungsverhältnisse sorgen für ständig wechselnde Bedingungen. Die Frage, warum eine instationäre Betrachtung bauphysikalischer Wärmetransportprobleme (der Feuchtetransport ist analog zu werten) immer dringender wird, muss primär mit den deutlich kleiner gewordenen (rechnerischen) Wärmeströmen in Verbindung gebracht werden. Als sekundäres Für – nicht Wider – einer instationären Bilanzierung kann die immer größer werdende Thermolabilität³⁹ moderner/leichter Baustoffe bzw. Gebäudekonstruktionen genannt werden. Sie macht es teilweise unvermeidlich, die Gebäude-

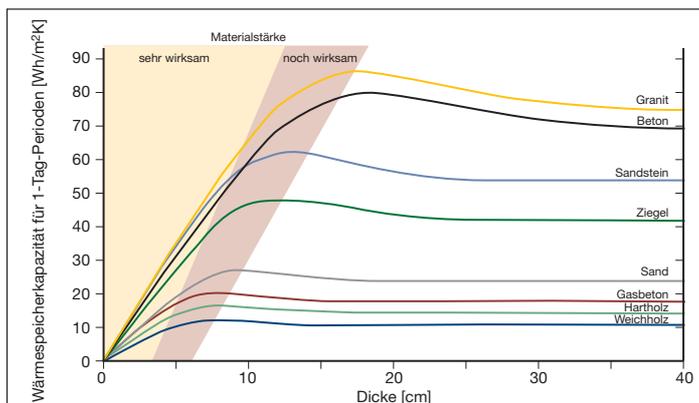


Abb. 29 Periodische Wärmespeicherkapazität⁴⁰

Wärmeeindringverhalten). Hierfür müssen Untersuchungen zum Anheiz- bzw. Auskühlverhalten der entsprechenden Zone angestellt werden. Mittels Abschätzung⁴², dynamischer Simulation⁴³ oder In-Situ Messung, wird die mögliche Länge der Absenk-/Abschaltphasen sowie die Zeitspanne des Anheizens kontrolliert bzw. mit den gegebenen Voraussetzungen abgeglichen. Um die Überwärmung des Raumes für eine Hitzeperiode abzuschätzen, kann für

bzw. Raumträgheit genauer zu ermitteln. Die 10 bzw. 3 cm-Regel⁴¹ aus der DIN V 4108-6 genügt für Berechnungen des jährlichen Heizwärmebedarfs, ist aber für eine Anlagenauslegung (bspw. Anheizleistung der jeweiligen Wärmeübergabeeinrichtung) zu theoretisch definiert (dynamisches

³⁷ vgl. bspw. Anhang A.1: Berechnung der kombinierten Außentemperatur, S. A.1-10 f.

³⁸ EMPA-Akademie: Die Gebäudehülle, 2000, S. 25

³⁹ vgl. bspw. Eichler/Arndt: Bautechnischer Wärme- und Feuchtigkeitsschutz, 1989, S. 85

⁴⁰ Fachinformationszentrum Karlsruhe: Energieeffiziente Bürogebäude IN: Bine Informationsdienst, profi info II/00, ISSN 1436-2066, http://energy.fiz-karlsruhe.de/bine/pdf/pro_0200.pdf

⁴¹ vgl. bspw. DIN V 4108-6:2000-11: Wärmeschutz und Energieeinsparung in Gebäuden, S. 32

⁴² teilweise widersprüchliche Darstellung zur Abb. 29 vgl. Zürcher/Frank: Bauphysik, 1998, S. 44, Abbildung 2.32 (bezieht sich auf die speicherwirksame Masse einer Tagesperiode → fast linearer Verlauf bis 20 cm Materialstärke)

⁴³ vgl. bspw. ebenda, S. 42, Abbildung 2.31 (Randbedingungen III und IV)

den Sommerfall in ähnlicher Art und Weise der G_{h26} -Wert⁴⁴ oder ein vergleichbares Kriterium ermittelt werden.

Für die rechnerische Abschätzung der inneren Speicherfähigkeit über Simulation (DynaTherm), kann eine Grenzwertbetrachtung⁴⁵ mittels Variation des inneren Wärmeüberganges in erster Näherung genügen.

1) isotherme Randbedingung:

$$\alpha_i = \max_{\rightarrow \infty}; \Delta q_i = \max; \Delta \vartheta_i = 0 \quad \text{Gl. 9}$$

- große innere Speichermassen (große Zeitkonstante) sorgen für etwa konstant bleibende Raumlufttemperaturen (System ist temperaturstabil)

2) adiabatische Randbedingung:

$$\alpha_i = \min_{\rightarrow 0}; \Delta q_i = 0; \Delta \vartheta_i = \max \quad \text{Gl. 10}$$

- wenig bzw. kaum innerer Speichermassen, es liegt ein sehr temperaturlabiles Raumklima vor, das schnell dem Außenklima folgt

In den zurückliegenden letzten 30 Jahren haben viele kleine und große wissenschaftliche Projekte eine Vielzahl von wertvollen Erkenntnissen über das physikalische Verhalten von Bauwerken erbracht und die nötige Basis für das Planen und Bauen ökologischer sowie energieeffizienter Gebäude geschaffen. Für eine vollständige bzw. umfassende Optimierung ist es unumgänglich, die Themengebiete der Bauphysik⁴⁶ in der Gesamtheit zu betrachten. Der hier vorgestellte Rahmen stellt nur einen begrenzten Ausschnitt dar und muss zumindest durch eine genaue hygrische Problemerkennung⁴⁷ sowie eine umfassendere Betrachtung des Lüftungssachverhaltes ergänzt werden. Um die Betrachtung des Gebäudes oder auch nur einzelner Komponenten fachlich abzuschließen, gilt es weiterhin brand- und schallschutztechnische Aspekte zu prüfen.

4.1.1 Praxisrelevante Klimadaten und Randbedingungen

Der Mensch war über lange Zeit seiner Evolution vom Wetter- bzw. Klimageschehen abhängig. Über die Jahrhunderte passte er seinen Lebens- und Arbeitsrhythmus dem Klima an⁴⁸. Für den industrialisierten, technisierten und zivilisierten Menschen ist die Vokabel Umweltbeobachtung zum Fremdwort geworden.

Mit der Elektrifizierung der Industriestaaten hielt die Haustechnik verstärkt in die Gebäude Einzug.⁴⁹ Einst natürlich gegebene Abhängigkeiten von Tageslicht, Sonnenwärme oder sogar Frischluft (natürliche Umweltenergien), wurden immer häufiger durch technische Alternativen verdrängt bzw. ersetzt. Das Wettergeschehen entzog sich mehr und mehr dem allgemeinen Interesse. Gerade die Vollklimatisierung einzelner Räume bzw. ganzer Gebäude entlastete den Gebäudeplaner. Das Bauwerk hatte diese Aufgaben/Probleme nicht mehr (in vollem Umfang) zu bewältigen. Die Haustechnik übernahm sie. Da der HLK-Ingenieur vorrangig die

⁴⁴ siehe S. 59

⁴⁵ vgl. Anhang A.1: A.1.4 Thermisches Raumverhalten und instationäre Wärmeleitung, S. A.1-23, Abbildung A.1-09

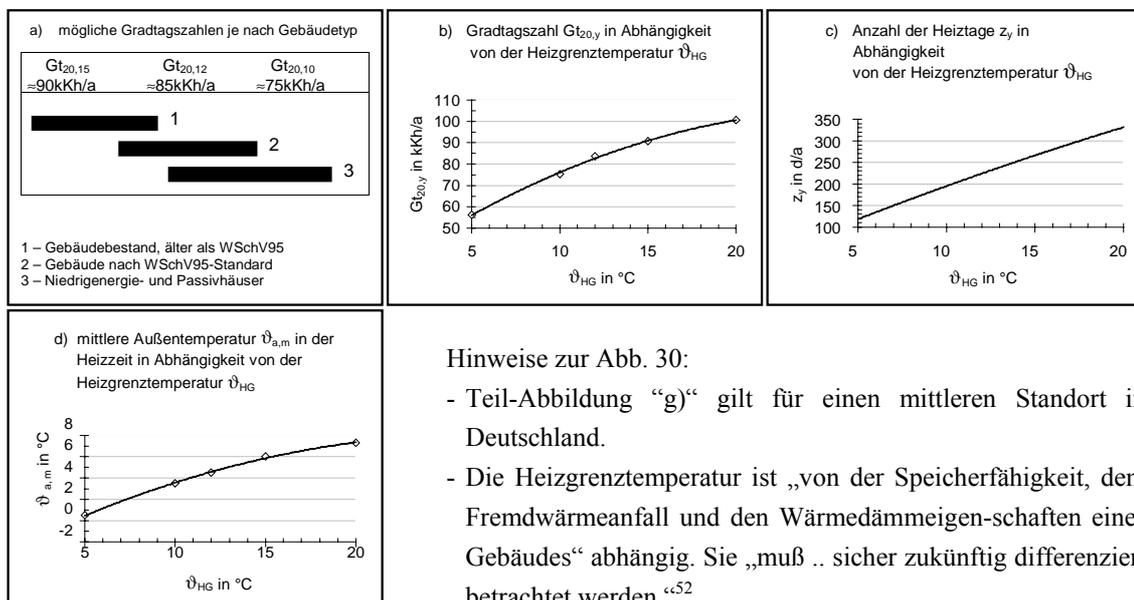
⁴⁶ vgl. Abb. 25 und 26

⁴⁷ vgl. bspw. IBP: Software/WUFI/Anwendungen/Beispiel 7, http://www.hoki.ibp.fhg.de/wufi/anw_schimm.html

⁴⁸ Der Weg des geringsten Widerstandes ist in diesem Fall der (energetisch) effizienteste.

⁴⁹ Der moderne Mensch war und ist fasziniert von dem Gedanken alles über die Technik beherrschbar zu machen.

Haustechnik plante, war es für Bauingenieur und Architekt noch einfacher den gewohnten Umgang mit der Führungsgröße Außenklima zu vergessen und sich auf andere Dinge zu konzentrieren. Inzwischen ist auf der Seite des Gebäudeplaners eine gewisse Verunsicherung im Umgang mit meteorologischen Parametern erwachsen, die sich letztlich auch auf die Einschätzung der thermodynamischen Leistungsfähigkeit des Gebäudes überträgt. Ein Indiz für die Richtigkeit dieser Behauptung ist in den Definitions-/Festlegungsschwierigkeiten gegenüber der Heizgrenztemperatur bzw. Gradtagzahl ersichtlich. So warnt u.a. das IWU vor einer nach EnEV pauschal anzusetzenden Heizgrenze von 10 °C (Neubau). „Berechnungen der Heizgrenze nach der Vorschrift der EN 832 ergeben für Gebäude mit Wärmeschutzstandard nach EnEV eher 13 bis 14 °C. Dies bestätigen .. Messungen von Hauser/Hausladen et al. in 413 Wohneinheiten des Synergiehaus-Programms“⁵⁰. In Wolff/Jagnows Auszug aus dem Manuskript für das Taschenbuch Heizung + Klimatechnik⁵³ finden die Aussagen des IWU teilweise Bestätigung.⁵¹



Hinweise zur Abb. 30:

- Teil-Abbildung „g“ gilt für einen mittleren Standort in Deutschland.
- Die Heizgrenztemperatur ist „von der Speicherfähigkeit, dem Fremdwärmeanfall und den Wärmedämmeigenschaften eines Gebäudes“ abhängig. Sie „muß .. sicher zukünftig differenziert betrachtet werden.“⁵²

Abb. 30 Funktionale Abhängigkeiten der Gradtagzahl⁵³

Heizgrenztemperatur⁵⁴ – abhängig von Bauwerk und Fremdwärmeanteil (innere und solare Wärme) – und Gradtagzahl/-faktor – Summe äußerer meteorologischer Einflüsse (Temperatur) – sind die Primär-Parameter bei einer Wärmebedarfsberechnung. Eine Gradtagzahl lässt sich allgemein nach folgenden Gleichungen berechnen bzw. korrigieren:

$$Gt = \sum_1^z (t_i - t_{a,m}), \text{ vgl. Anhang A.2.1: Berechnung der Gradtagzahl, S. A.2-5 ff.} \quad \text{Gl. 11}^{55}$$

⁵⁰ Institut Wohnen und Umwelt: Guter Ansatz - Schwache Standards, 2001, <http://www.iwu.de/datei/enev-iwufeb2001.pdf>, S. 15

⁵¹ vgl. Teilabbildung 30 a)

⁵² Baumgarth/Hörner/Reeker: Handbuch der Klimatechnik, 2000, S. 44

⁵³ vgl. Wolff/Jagnow: Auszug aus dem Manuskript, 2001, <http://www.fh-wolfenbuettel.de/tww/EnEV-files/RecknagelSprenger.pdf>, S.5, Bild 2

⁵⁴ Temperaturkombination 20/15 [°C] nur für Energiebilanzen von Gebäuden im Bestand vgl. Hessisches Umweltministerium: Heizenergie im Hochbau, 1999, S. 118

⁵⁵ vgl. Recknagel/Sprenger/Schramek: Taschenbuch für Heizung und Klimatechnik 2000, 1999, S. 13

$$G_{t_{x,y}} = G_{t_{20,y}} + z_y \cdot (\vartheta_i - 20^\circ\text{C}), \text{ vgl. bspw. Werte der Tabelle A.2-06} \quad \text{Gl. 12}^{56}$$

Über die Gradtagstunden (Gradtagzahl) wird (werden) die eigentliche(n) Heizzeit (Heiztage) festgelegt. Gemäß VDI 2067 Blatt 2 ist ein „Heiztag .. ein Tag, an dem das Tagesmittel der Außentemperatur unter 15 °C liegt.“⁵⁷ Dieser Wert wurde 1975 „auf Grund einer umfassenden Befragung – u.a. der Wohnungswirtschaft“⁵⁸ von 12 °C auf 15 °C angehoben. Eine Änderung bei der sich sicher eine deutliche Verbindung zum gestiegenen Wohnkomfort herstellen lässt (Behaglichkeit bzw. veränderte Heizgewohnheiten).⁵⁹ Es ist fraglich bzw. bereits teilweise widerlegt, dass sich dieser Trend allein infolge des erhöhten Wärmeschutzes umkehren lässt (Standard-Heizgrenze nach EnEV = 10 °C?!)⁶⁰.

In der TGL 26760/07 ist eine allgemein verständliche und fast⁶¹ zeitlose Definition der Heizgrenztemperatur angegeben. Sie wird beschrieben als „mittlere Außenlufttemperatur, bei der die Wärmeverluste und Wärmegewinne des Bauwerks gleich groß sind und eine vorgegebene mittlere Raumlufthtemperatur des Bauwerks eingehalten wird“⁶². Diese Begriffserklärung erfasst alle wichtigen funktional-komplexen Abhängigkeiten⁶³ der Heizgrenze.

$$\vartheta_{HG} \leq \vartheta_{i,m} - \eta_g \cdot \frac{Q_{f,Mon}}{(H_{Mon} \cdot t_{Mon} \cdot 0.024)} \quad \text{Gl. 13}^{64}$$

Für den stationären Fall ohne Fremdwärmeanfall bzw. Störgrößeneinfluss gilt:

$$\vartheta_i = \vartheta_{HG} = \vartheta_a = 20^\circ\text{C} \quad \text{Gl. 14}^{56}$$

Für eine realitätsnahe Überprüfung der Heizgrenztemperatur ist Gleichung 13 eher ungeeignet. Allein die Ermittlung des spezifischen Wärmeverlusts (Lüftungssachverhalt) sowie des monatlichen Wärmegewinns (Abschätzung solarer und innerer Fremdwärme) ist funktional komplex bzw. aufwendig. Hinzu kommt eine gewisse Unsicherheit, hinsichtlich des Lüftungssachverhaltes und des nutzbaren Teils der Fremdwärme (Gewinn).⁶⁵

Die Größe der Heizgrenztemperatur ist ebenso für den Bereich der Heizungsregelung ein interessanter Wert (bspw. außentemperatur-geführte Regelung einer Heizanlage). Der Gebäudeplaner ist u.U. gezwungen, diesen Wert für den Heizungs-⁶⁶ bzw. Klimaingenieur zu ermitteln, damit dieser die thermodynamische Leistungsfähigkeit (Reaktion) des (Wohn-) Gebäudes besser einschätzen kann (Gebäude als passives Stell- bzw. Regelglied).⁶⁵

Klimadaten für deutsche Verhältnisse sind für die Planer in diversen Quellen aufbereitet. Eine gute Auflistung zeigen bspw. Baumgarth/Hörner/Reeker in ⁶⁷. Die Zusammenstellung von

⁵⁶ vgl. Wolff/Jagnow: Auszug aus dem Manuskript, 2001, <http://www.fh-wolfenbuettel.de/tww/EnEV-files/RecknagelSprenger.pdf>, S.4

⁵⁷ VDI 2076 Blatt 2 1993: Berechnung der Kosten von Wärmeversorgungsanlagen, S. 3

⁵⁸ VDI 2067 Blatt 1 1983: Berechnung der Kosten von Wärmeversorgungsanlagen, S. 4

⁵⁹ Eine Vermutung die auch für den Verzicht auf eine Unterteilung von Heizzeit und Sommerheizzeit spricht. vgl. VDI 2067 Blatt 2 1993: Berechnung der Kosten von Wärmeversorgungsanlagen, S. 3

⁶⁰ bereits erwähnt, vgl. Kapitel 3, S. 49

⁶¹ An statt der vorgegebenen mittleren Raumlufthtemperatur ist die operative Temperatur (Behaglichkeit) einzuhalten.

⁶² TGL 26760/07: Heizlast von Bauwerken: Jährlicher Heizenergiebedarf, September 1983, S. 1

⁶³ Speicherfähigkeit und Wärmedämmung des betrachteten Gebäudes/Raumes und Fremdwärmeanfall

⁶⁴ vgl. DIN V 4108-6:2000-11: 5.5.3 Monatsbilanzverfahren, S. 17, Gleichung 27

⁶⁵ vgl. Kapitel 4.2: (Fremd-)Wärme effizient geregelt

⁶⁶ vgl. Heizungsbetrieb: Die Heizgrenze, <http://www.heizungsbetrieb.de/de/heizgrenze.htm>

⁶⁷ Baumgarth/Hörner/Reeker: Handbuch der Klimatechnik, 2000, S. 47 ff.

Klimawerten in einem schweizer Fachbuch hat besonders positiv überrascht.⁶⁸ Eine ähnlich kompakte Dokumentation konnte für deutsche Fälle nicht gefunden werden. Stattdessen fiel eine realitätsverzerrende tabellarische Aufbereitung⁶⁹ solarer (Global-) Strahlungswerte auf. Sie ist im (negativen) Gegensatz zu den Werten der DIN 4710⁷⁰ zu sehen, da sich die Strahlungswerte auf einen über 24 Stunden gemittelten monatlichen Durchschnittstag beziehen. Eine derartige statistische Auslegung des Datenmaterials ist verwirrender⁷¹ als nützlich, obwohl die Daten im Gegensatz zur DIN 4710 (nur auf die Horizontale bezogen Werte), auch für senkrechte und geneigte Wände unterschiedlicher Himmelsrichtungen aufbereitet sind.

4.2 (Fremd-)Wärme effizient geregelt

Von einer Heizanlage wird verlangt, thermische Behaglichkeit unabhängig von Bauwerk, Standort, Witterung und Nutzung in einem Gebäude herzustellen. Stark variable Heizlasten bzw. -leistungen als Differenz zwischen Außen- und Innenklima sowie örtliche Behaglichkeitsdefizite führen dazu, dass reale Anlagen mehr Energie verwenden, als sich über simple U-Wert-Betrachtungen errechnen lässt.⁷² „Der Verlustanteil des zugeführten Heizwärmestroms nimmt mit wachsender Dämmung zu, wenn die Heizsysteme auf herkömmliche Weise ausgelegt ... werden.“⁷³ Träge oder schlecht/falsch geregelte bzw. hydraulisch unabgeglichen (Heiz-)Anlagen geben auch bei hohen Fremdlasten zusätzliche Wärme an den Raum ab, die der Nutzer unter Umständen als unbehaglich empfindet (höhere operative Temperaturen). Besonders in Verbindung mit mehrfach genutzten Räumen, wie kombinierten Wohn- und Schlafräumen (Kinderzimmer o.ä.), werden solche Lasten häufig einfach weglüftet. Die Anforderungen an die Auslegungsqualität der Heiztechnik steigen demnach mit sinkenden U-Werten, wenn theoretisch errechnete Einsparungen auch praktisch erreicht werden sollen. Hierbei kommt der Abstimmung von Gebäude und Heiztechnik im Zusammenspiel mit der anfallenden unregelmäßigen Wärme eine besondere Bedeutung zu.

| | | WSchV 1982 | WSchV 1995 | EnEV 2002 |
|-------------------------------|-----|---------------|---------------|--------------|
| Heizwärmebedarf | kWh | 18'150 | 13'970 | 11'310 |
| innere Wärmelasten | kWh | 3'650 | 3'650 | 3'650 |
| innere Lasten/ Wärmebedarf | % | 20.1 | 26.1 | 32.3 |
| solare Wärmelasten | kWh | 4'580 | 3'950 | 3'950 |
| solare Lasten/ Wärmebedarf | % | 25.2 | 28.3 | 34.9 |

Tab. 05 Fremdwärmeanteil am Heizwärmebedarf unterschiedlicher Wärmeschutzbestimmungen⁷⁴

Hinweise zur Tab. 05⁷⁵:

- Annahme gleicher Bewohnerzahl und technischer Ausstattung bei allen drei Varianten (innere Wärmelasten = konstant)
- Die verringerten solaren Lasten (WSchV '82 ↔ WSchV '95) resultieren aus unterschiedlichen (Fenster-) Glasarten (Isolierglas ↔ Wärmeschutzverglasung) bzw. g-Werten.

⁶⁸ vgl. Anhang A.1: Allgemeines und Berechnungen, S.29

⁶⁹ vgl. bspw. Anhang A.2.3: Auswertung von ESRA-, DIN-Werten u. Wärmeschutzbestimmungen, Tabelle A.2-50

⁷⁰ vgl. demgegenüber DIN 4710 Meteorologische Daten zur Berechnung des Energieverbrauches von heiz- und raumluftechnischen Anlagen, 1982, S. 102, Tabelle A.2.2

⁷¹ kein Tagesverlauf bzw. Maxima/Minima errechenbar

⁷² vgl. Richter/Bach: Vom Wärmeschutz zur Energieeinsparung, 1997, S. 61 ff.

⁷³ Richter/Bach: Vom Wärmeschutz zur Energieeinsparung, 1997, S. 62

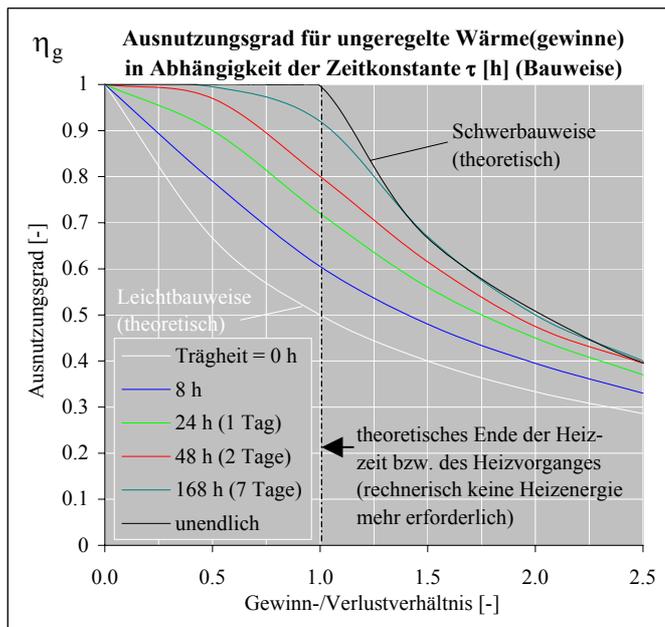
⁷⁴ vgl. Richter/Bach: Vom Wärmeschutz zur Energieeinsparung, 1997, S. 19, Tabelle 3.2

⁷⁵ weitere Annahmen vgl. ebenda bzw. Anhang A.1: Allgemeines und Berechnungen, Tabelle A.1-13 bzw. S. A.1-26 f.

Der rechnerische Anteil innerer und solarer Wärmelasten am Heizwärmebedarf hat sich beim Standard- bzw. Beispielfall zwischen der WSchV 1982 und gegenüber der EnEV 2002 um gut 20 % erhöht. Das theoretische Stör- bzw. Einflusspotential beträgt somit über $\frac{2}{3}$ des rechnerischen Gesamt-Wärmebedarfs. Welcher Anteil letztlich als Gewinn nutzbar ist⁷⁶, wird im wesentlichen von 2 (+ 1)⁷⁷ Parametern bestimmt/beeinflusst:

- Reaktion bzw. Trägheit des betreffenden Gebäudes/Raumes und
- Regelungsträgheit und dem Energieinhalt der Wärmeübergabeeinrichtung.

Der Anteil den die Baukonstruktion leistet kann über die Zeitkonstante abgeschätzt werden.



Hinweise zur Abbildung:

Abb. 31 ist für eine monatliche Bilanzierung und unabhängig von den Eigenschaften des Heizsystems gültig. Es wird allerdings eine gute Temperaturregelung sowie eine stufenlose Leistungsanpassung vorausgesetzt. Einflüsse eines träge reagierenden Heizsystems und/oder einer mangelhaften Regelung hängen vom Wärmegewinn/Verlustverhältnis ab und können bedeutsam sein. Dies sollte bei der Berechnung der Wärmeübergabeverluste des Heizsystems berücksichtigt werden.

Abb. 31 Ausnutzungsgrad für unregelte Wärme bei verschiedenen Raum- bzw. Gebäudeträgheiten und Gewinn/Verlustverhältnissen⁷⁸

Aus den Anmerkungen zur Abb. 31 ergeht nur (un-)deutlich, um welches Problem es sich handelt. Genauer formuliert wird auf gewisse Schwächen in der Betrachtungsweise hingewiesen. „Gute Temperaturregelung“, „stufenlose Leistungsanpassung“, „Einflüsse eines träge reagierenden Heizsystems ... können bedeutsam sein“ etc..⁷⁹ Eine Fallunterscheidung bzw. genauere Definition der Randbedingungen würde an dieser Stelle mehr Klarheit schaffen⁸⁰.

Die Tab. 06 und 07 enthalten hierzu einige Anhaltswerte. Tab. 07 veranschaulicht exemplarisch, welche Unterschiede bei der Wärmeübergabe vorliegen. Am Beispiel Fußbodenheizung und mit den Anmerkungen aus Tab. 04 wird verständlich, dass in diesem Punkt (integrierte Heizflächen) die Probleme von Baukonstruktion und Anlagentechnik *verschmelzen*. In derartigen Fällen muss der Abstimmungsproblematik zwischen Technik, Gebäude, Nutzer und Fremdwärme/Störgröße besondere Aufmerksamkeit gewidmet werden.

⁷⁶ isotherm speicherbar bzw. wenn, nur eine vernachlässigbare Temperaturerhöhung

⁷⁷ Der Nutzer (Heiz- und Lüftungsverhalten) ist bei derartigen Annahmen bzw. Berechnungen die größte Unbekannte.

⁷⁸ vgl. DIN EN 832:1998: Berechnung des Heizenergiebedarfs, S. 10, Bild 2

⁷⁹ Diese Hinweise wurden der Quelle der im Vergleich zitierten Abbildung entnommen.

⁸⁰ Auf diesen Punkt soll noch im weiteren Verlauf dieser Arbeit näher eingegangen werden. vgl. S. 77 ff.

| Heizkörperwerte (bezogen auf eine Heizlast von ca. 1000 W) | Masse leerer Heizkörper in kg | Wasserinhalt in Liter | Abkühl- dauer in Minuten |
|---|----------------------------------|--------------------------|--------------------------------|
| Stahlheizkörper, Gliederbauweise | 30 | 19 | 25 |
| Röhren-HK, Stahlrohrgliederr | 27 | 16 | 21 |
| Lamellen-HK, Stahlblech | 37 | 8 | 14 |
| Platten-HK, Stahlblech | 27 | 2.2 | 7 |
| Plattenkonvektor, Stahlrohr mit Bleche | 22 | 2.1 | 6 |

Tab. 06 Regelungsträgheit verschiedener Heizkörper (Verringerung der Heizleistung nach Schließen des Ventils), Kenndaten bezogen auf Heizleistung von ca. 1 kW⁸¹

| | Temperatur in °C | Energieinhalt in kWh | Trägheit in Minuten |
|----------------------|---------------------|-------------------------|------------------------|
| Heizwand einfach | 40 | 2 | 120 |
| Heizwand lamelliert | 40 | 0.5 | 30 |
| Konvektor | 50 | 0.3 | 18 |
| Fußbodenheizung | 30 | 5 bis 13 | 300 bis 780 |
| Elektrodirektheizung | 80 | 0.01 | 1 |
| Kachelofen | 60 | 8 | 480 |
| Cheminéeofen | 70 | 0.2 | 12 |

Hinweis:

Die Tab. 07 enthält Richtwerte, die für die angegebenen mittleren Temperaturen bei einer Heizleistung von 1 kW ihre Gültigkeit besitzen.

Tab. 07 Energieinhalt verschiedener Wärmeabgabesysteme⁸²

Im Kapitel 3⁸³ wurde bereits erläutert, dass es in diesem Zusammenhang weitere funktionale Abhängigkeiten gibt. Inwieweit lassen sich die beschriebenen Problemfelder mittels passender bzw. angemessener Regelungstechnik lösen? Welchen Anteil/Einfluss hat dabei die Reaktion des Gebäudes (thermodynamische Leistungsfähigkeit des passiven Stellgliedes)?

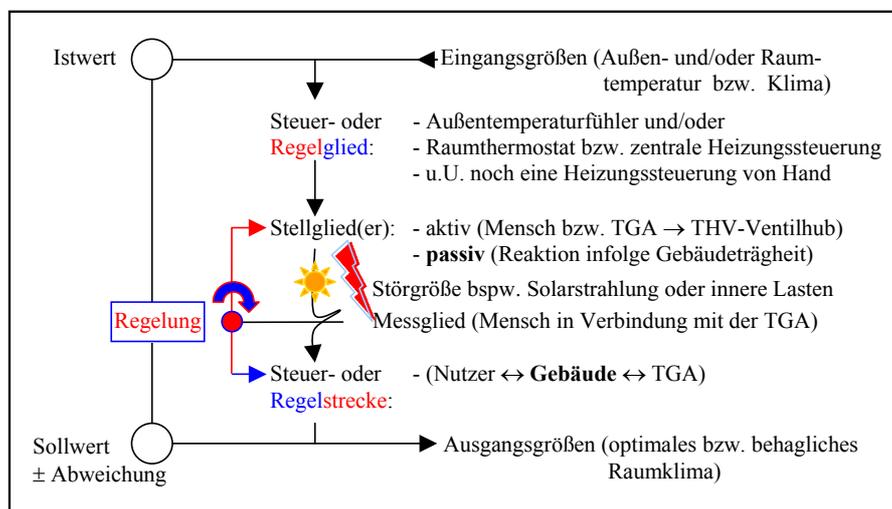


Abb. 32 Vergleich von Steuerungs- und Regelungstechnik

Die Abb. 32 versucht den Hauptunterschied der im verbalen Umgang oftmals als gleichwertig behandelten Wörter **Steuern** und **Regeln** zu verdeutlichen. Im Bereich der Technik kommt jedem der beiden Begriffe eine gesonderte Bedeutung zu. So findet bei der Steuerung⁸⁴ trotz

⁸¹ vgl. Schulze Darup: Bauökologie, 1996, S. 324, Tabelle 7.27

⁸² vgl. Schmid: Heizungs- und Lüftungstechnik, 1993, S. 65, Bild 5.13

⁸³ vgl. Abb. 22, S. 52 (Postulate energetisch optimierter Gebäude)

⁸⁴ nicht Regelung bzw. rot-blaue Pfeile und Wörter

auftretender Störgröße, bspw. Solarstrahlung oder Wärmeabgabe elektrischer Geräte, keine Rückkopplung auf die (offene) Steuerkette statt.

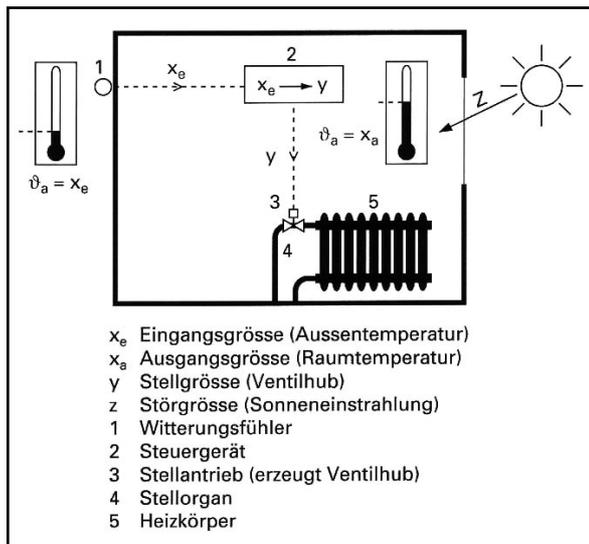


Abb. 33 Beispiel einer Raumtemperatursteuerung⁸⁵

Bei der Regelung wird die zu regelnde Größe x , bspw. die Raumlufttemperatur, fortlaufend erfasst und mit einer Führungsgröße⁸⁶ w ver- bzw. abgeglichen. Somit ist eine Regelung auch in der Lage auf Störgrößen zu reagieren. Sie agiert mit variablen/abgepassten Regelgrößen und zeichnet sich durch einen geschlossenen Regelkreis:

Raumfühler \leftrightarrow Regelgerät \leftrightarrow
 Stellantrieb \leftrightarrow Stellorgan \leftrightarrow Heizkörper
 \leftrightarrow Raum \leftrightarrow Raumfühler aus.

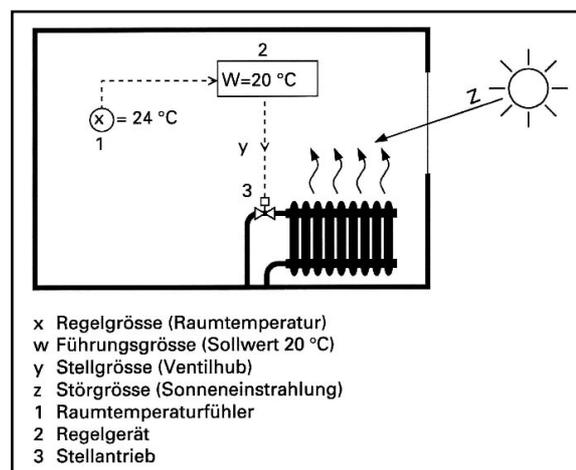


Abb. 34 Beispiel einer Raumtemperaturregelung⁸⁷

Heutzutage ist eine witterungsgeführte Vorlauftemperaturregelung der Heizanlage üblich. Die Heizkurve wird dabei über zwei unterschiedliche Wege festgelegt:

- Angabe eines Punktes sowie Anstieg/Steilheit der Heizkurve,
- Angabe von zwei Punkten.

Bei der Regelung der Vorlauftemperatur sollte folgendes beachtet werden (Anmerkungen bzw. Montagehinweise für den Witterungsfühler):

- ohne Akrobatik zu erreichen,
- in halber Fassadenhöhe (mind. 2.50 m ü. OKG) dem Wind ausgesetzt,
- auf der Außenwand des betreffenden Referenzraumes (Hauptraum),
- auf Nord- bis Nordwest-Wand, falls kein Referenzraum (Haupträume unterschiedlich orientiert),

⁸⁵ vgl. Schmid: Heizungs- und Lüftungstechnik, 1993, S. 85, Bild 8.5

⁸⁶ wenn konstant = Sollwert

⁸⁷ Schmid: Heizungs- und Lüftungstechnik, 1993, S. 86, Bild 8.6

- erwärmte Wandstellen (bspw. Schornstein) meiden,
- auf warme Luftströmungen bzw. Nähe von Fenstern, Türen, Abluftöffnungen etc. achten.

Der normale Fühler⁸⁸ stellt lediglich bezüglich der Vorlauftemperatur eine Regelung dar. Bezüglich der Raumtemperatur handelt es sich (nur) um eine Steuerung! Somit ist die hier erörterte Regelung in wichtigen Punkten unzulänglich. Die selbstlernende Regelung stellt dem gegenüber eine deutliche Verbesserung dar. Problematisch sind hier unübliche Fremdwärmemengen sowie eine Regelung über Thermostatventile.⁸⁹

Es stellt sich die Frage, warum reglungstechnisch ausschließlich die Raumlufttemperatur betrachtet wird. Da sie (ca.) nur der halbe Wert, der auf den Menschen einwirkenden bzw. der von ihm empfundenen sogenannten operativen Temperatur ist.⁹⁰ Warum wird nicht die operative Temperatur direkt geregelt?

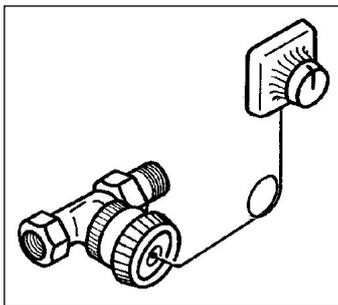


Abb. 35 THV mit getrenntem Fühler und Regler⁹¹

Dies könnte mittels einer Fühler-Kombination der Größen Raumlufttemperatur sowie (Innenwand-) Oberflächentemperatur (Messung an jeweils repräsentativen Stellen) erfolgen.⁹² (Gegen-)Argumente, dieses Problem sei bereits mit ausreichendem Wärmeschutz der Gebäudehülle gelöst worden, gelten nur für den theoretischen Fall. Sie sind zutreffend bei durchgehendem bzw. stationärem Heizbetrieb sowie angepasstem Verhältnis zwischen konvektiver und strahlungsbedingter Wärmeübergabe der Raumheizflächen. Heute werden

die Anlagen aber üblicherweise im (stunden-weisen) Absenk- oder Abschaltbetrieb *gefahren*. Besonders deutlich wird das Problem im Zusammenhang mit den veränderten baulichen Gegebenheiten (Bauschwere des Gebäudes bzw. des betreffenden Raumes). Wird von mehrschaliger Bauweise ausgegangen, hat sich mit zunehmenden Dämmstärken die Tragschale der Gebäudehülle auf die statisch notwendige Mindestdicke (üblich 17⁵) reduziert. Derartige Konstruktionen weisen eine vergleichsweise geringe Phasenverschiebung zwischen äußeren und inneren Klimaschwankungen auf. Oftmals werden zusätzlich die Innenwände leicht (Rohdichte < 600 kg/m³) gebaut, die wirksame Masse des Fußbodens durch Trittschalldämmung verringert und/oder die Decken verkleidet. Diese und die zuvor beschriebene Maßnahme reduzieren die Speicherfähigkeit bzw. Trägheit (Zeitkonstante) des betreffenden Raumes. Da sich auch die anteilige Wärmeverlustleistung gegenüber der theoretischen Heizleistung stark vermindert hat, wirken sich nun innere und äußere Lasten noch schneller und stärker auf den Raumtemperaturverlauf aus. Ließ sich vor Jahren, bei schlechter Dämmung und hoher Speicherkapazität der Gebäude in Mitteleuropa, ein quasi stationärer Heizbetrieb idealisieren, so werden bei heutigen Randbedingungen die stark dynamischen Zustände erst voll wirksam.⁹³

⁸⁸ Eine Störgrößenkompensation ist mittels Sonnenfühler und/oder Referenzraumtemperaturfühler möglich.

⁸⁹ vgl. Schmid: Heizungs- und Lüftungstechnik, 1993, S. 90

⁹⁰ Strahlungsaustauschvorgänge zwischen Mensch, Mobiliar und raumbildenden Bauteilen bilden den zweiten und mit unter entscheidenderen Teil dieser Behaglichkeitsgröße.

⁹¹ Vgl. Hausladen: (Vorlesungs-)Skript Heiztechnik, 1998, <http://www.tga.uni-kassel.de/studium/heiztechnik.pdf>, S.64, Abbildung 8-5

⁹² So wären u.U. auch Flächenheizung bzw. integrierte HF effizienter regelbar.

⁹³ vgl. Richter/Bach: Vom Wärmeschutz zur Energieeinsparung, 1997, S. 62 ff.

Fremdlasten lassen sich am besten in Gewinne umwandeln, wenn sie zu Zeiten größeren Heizwärmebedarfs auftreten. Da sich das Verhältnis von inneren und solaren Wärmelasten zum Heizwärmebedarf pauschal (Wohngebäude) von ca. 45 % (WSchV 1982) auf ca. 67 % (EnEV 2002) erhöht hat,⁷⁴ ist den Fremdlasten noch mehr Aufmerksamkeit zu widmen (sommerlicher Wärmeschutz). Eine pauschale Betrachtung innerer Lasten über die gesamte Länge der Heizperiode ist für eine erste Abschätzung des Jahresheizwärmebedarfes ausreichend. Für eine Optimierung bzw. Anpassung von Anlagentechnik und Gebäude kann sie nicht genügen. Hier spielen tages- bzw. stunden- oder raumweise Bilanzierungen/Simulationen eine Rolle (gestiegener Einfluss dynamischer Prozesse)⁹⁴.

Die Abb. 36⁹⁵ vermag die genannten Zusammenhänge besser zu erläutern. Besonders gut zeigt sie die bereits erwähnte Schwierigkeit, Fremdlasten tatsächlich als Gewinne nutzbar zu machen.

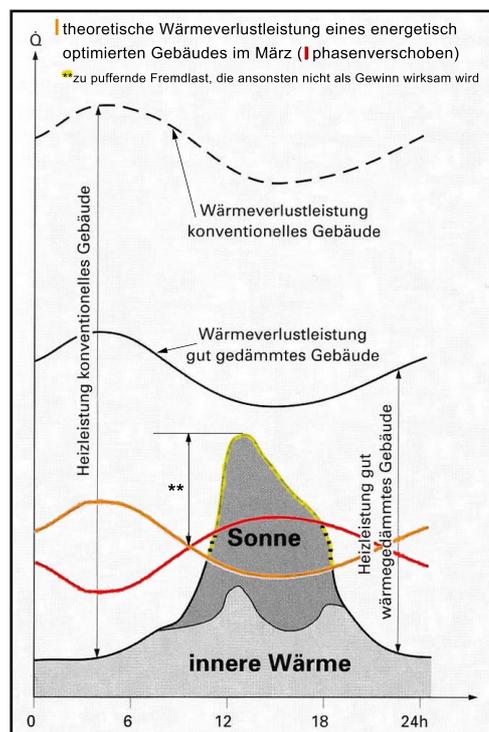


Abb. 36 Tagesgang der Energieströme

Teil als Kühllast an. Hierfür greifen die Kriterien des sommerlicher Wärmeschutzes. Die zu dieser Zeit herrschenden durchschnittlichen Außentemperaturen bzw. Strahlungsverhältnisse definieren die Heizgrenze des Gebäudes, in der Literatur vereinfachend auch als Heizgrenztemperatur⁹⁶ bezeichnet. An diesem Punkt *verschmelzen* der winterliche und der sommerliche Wärmeschutz. In Abstimmung mit einem Lüftungskonzept⁹⁷ muss wirksam verhindert werden, dass die freie Wärme zur Kühllast wird.

Die Wärmeverluste, orange Kurve, sind in den Abend- bzw. Nachtstunden hoch bis maximal und während der Tagesstunden minimal. Wie aber bereits erwähnt sind Fremdlasten in der

Handelt es sich bspw. um einen südlich orientierten Raum mit unverschatteten Fenstern und Gebäudehülle, so ergibt sich für die kumulierte Wärmeverlustleistung, in Folge durchschnittlicher Solarlast für den Monat März, in etwa der rote Kurvenverlauf. Der Standardfall ist mit einer schwarz durchgezogen Linie gekennzeichnet. Bei guter Abstimmung der Faktoren:

- Nutzer/Nutzung,
 - Gebäude (Ausrichtung und Speicherfähigkeit),
 - Raumorientierung und Fenstergröße,
 - Heizsystem und Heizbetrieb bzw. Regelung,
- wird sich in etwa der orange Funktionsgraph abzeichnen. Bis zum Ende der Heizperiode nährt sich dieser funktional noch weiter an den Verlauf der inneren Wärme an und unterschreitet u.U. auch die Lastspitzen. Die Solarstrahlung bzw. die unregelmäßige Wärme fällt dann zum überwiegenden

⁹⁴ vgl. ebenda, S.69

⁹⁵ vgl. Schmid: Heizungs- und Lüftungstechnik, 1993, S. 83, Bild 8.1

⁹⁶ siehe Definition S. 68

⁹⁷ bspw. Nachtlüftung, der Verschattung der Fenster (auf natürliche Beleuchtung des Raumes achten) sowie der Trägheit des Gebäudes (Zeitkonstante)

Heizperiode⁹⁸ besser ausnutzbar, wenn es sich genau umgekehrt verhält. Bei der Betrachtung der roten Kurve in Verbindung mit den hier freien Wärmelasten sollte auffallen, dass diese sich verlaufsmäßig besser anpasst als der orange Kurvenzug. Eine ideale Heizung würde in Abstimmung mit der Gebäudeträgheit dem Verlauf der auftretenden Fremdlasten in gleichmäßig geringem Abstand (quasi parallel) folgen können. So ließen sich Lastspitzen glätten bzw. ohne nennenswerte Raumtemperatursprünge puffern, um sie zu Zeiten des Bedarfs wieder abgeben zu können. Derartige Erfolge sind nur theoretischer Natur. So existieren zwar annähernd flinke Heizsysteme, wie Gasstrahler, Elektrostrahlplatten, Luftheizungen oder gleichwertige Anlagen⁹⁹ und auch entsprechende Regelungen dafür¹⁰⁰. Die zusätzlich notwendige Abstimmung mit vorhandenen baukonstruktiven Speichermassen (Bauteilkonditionierung) wird jedoch in den seltensten Fällen durchgeführt/untersucht. Diese Anspielung beruht auf den selben Gesetzmäßigkeiten, die auch für die folgenden Abbildungen gültig sind. Das Gewinn-Verlust-Verhältnis ist in starkem Maße von der Temperatur des Heizmittels bzw. von der Höhe des sich einstellenden Selbstregelleffektes abhängig. Die Antriebskraft bei der Wärmeabgabe einer Heizfläche schöpft sich dabei aus der Temperaturdifferenz dieser mit der Raumluft. Ist die Vorlauf-temperatur des Heizsystems niedrig ausgelegt, verbessert dies auch die Selbstregelung.

Wie bereits erwähnt, haben auch die Faktoren Heizungsregelung sowie Heizbetrieb einen entscheidenden Einfluss auf den Ausnutzungsgrad von Fremdlasten. Diese Aussage soll zusätzlich in funktionalen Darstellungen bekräftigt werden.

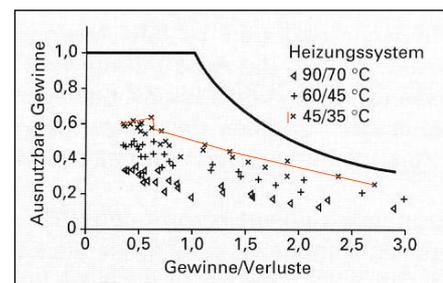


Abb. 37 Ausnutzbarkeit von Wärmegewinnen bei verschiedenen Systemtemperaturen¹⁰¹

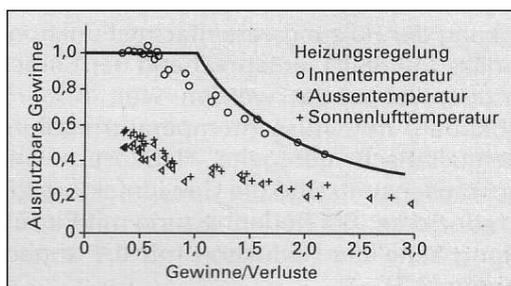


Abb. 38 Ausnutzbarkeit als Wärmegewinne bei verschiedenen Regelungsarten und durchgehendem Heizbetrieb¹⁰²

Das relativ schlechte Abschneiden der Außentemperaturregelung erklärt sich durch eine Fühleranordnung auf der Nordseite, über die bei Sonnenbestrahlung der Südseite keine Drosselung der bereitgestellten Wärmeleistung erreicht werden kann. Die Abb. 38 gilt eingeschränkt nur für Gebäude mit hoher Trägheit und einem vergleichsweise hohen rechnerischen Heizenergiebedarf. Sie gilt auch bei geschickt dimensionierten Heizpausen bzw.

⁹⁸ Am Ende der Übergangszeit und im Sommer ist das Prinzip umgekehrt gültig (roter Kurvenverlauf günstiger).

⁹⁹ Flächenheizungen mit kleiner Wärmespeicherkapazität, bspw. auch Hypokaustensysteme oder Warmwasserheizungen mit kleinen Leitungsquerschnitten (5 bis 8 mm) und geringer (Putz-)Überdeckung zählen auch dazu

¹⁰⁰ vgl. bspw. Artikel unter http://old.empa.ch/DEUTSCH/zentren/zen/ren/Projekte_Haustechnik/NEUROBAT.htm,

Erweiterung der selbstlernenden Regelung über so genannte Neuro-Fuzzy Heizungsregler

¹⁰¹ vgl. Zürcher/Frank: Bauphysik, 1998, S. 111, Abbildung 6.2

¹⁰² ebenda, Abbildung 6.3

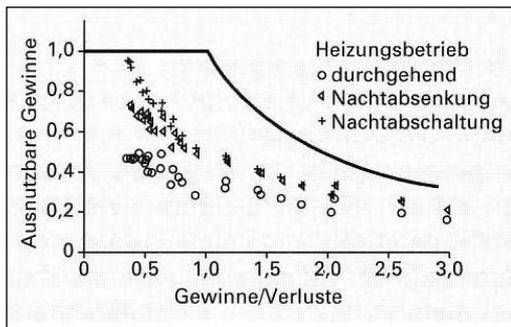


Abb. 39 Ausnutzbarkeit als Wärmegevinne bei verschiedenen Heizbetriebsarten und Außentemperaturregelung¹⁰³

Absenckphasen. Diesen scheinbaren Widerspruch vermag die Abb. 39 zu erklären. Die räumlich wirksame Speichermasse muss bei heutigen Gebäuden¹⁰⁴ in den Übergangszeiten (Frühling und Herbst) gezielt bewirtschaftet werden, um auf einen Fremdwärmeausnutzungsgrad von 70% zu kommen.¹⁰⁵ Abb. 38 und 39 sind somit nur gemeinsam gültig. In diesem Zusammenhang sind noch weitere Abhängigkeiten zur Diskussion zu stellen. So könnten u.a. die Gewinne aus Fremdwärme

noch unterteilt betrachtet werden:¹⁰⁶

- indirekte Gewinne (zeitlich verteilt): aus Personen, (elektrischen) Geräten und Speichermasse und
- direkte Gewinne: aus passiver Sonnenenergie.

In der Theorie, d.h. ohne ein konkretes Beispiel, lassen sich Gesamt-Abhängigkeiten ohnehin nur allgemein beschreiben. Ein Fazit zu den in diesem Kapitel vorgestellten Zusammenhängen könnte wie folgt definiert werden:

1. Eine hohe Gebäude- bzw. Raumträgeit steht im Widerspruch zu einer energetisch effizienten und flexiblen Regelung, ermöglicht jedoch (theoretisch) hohe Fremdwärmeausnutzungsgrade.
2. Eine trägheitsarme Heiztechnik bzw. eine flinke, flexible und abgestimmte Regelung erbringt in Kombination mit einer kleinen Zeitkonstante (wirksamen Speichermasse des Gebäudes/Raumes) viele Vorteile. Für den Winter und Teile der Übergangsperiode ergibt dieser Fall sogar ein Optimum. Für den Sommerfall in unseren Breiten trifft indes genau das Gegenteil zu, wenn auf technische Kühlung und/oder Lüftung verzichtet werden soll.

Diese Definitionen scheinen die Anzahl praktisch möglicher Variationen zwischen Heiztechnik und Gebäude bzw. Bauteilkonstruktion stark einzugrenzen. Gestützt wird diese Überlegung durch den allgemeinen Trend NEH in leichter Bauweise mit reinen Luftheizungsanlagen auszustatten. Derartige Systeme werden in der Praxis oft zusätzlich durch Wärmepumpen, Wärmetauscher und Erdregister zur Luftvorwärmung bzw. -kühlung ergänzt. Solche technisch rel. überladenen bzw. komplexen Anlagen machen aus Sicht des HLK- Ingenieurs eine aufwendige Abstimmung (großes Fehlerpotential) sowie eine "intelligente" Regelungstechnik nötig.^{100 u. 107} Eine vielleicht bessere, zumindest nicht dem KISS-Prinzip widersprechende Alternative stellt die Ausnutzung des **Selbstregeleffektes** dar. Das folgende Beispiel¹⁰⁸ macht zu dem zusammenfassend die Problematik der Abstimmung von Gebäude/Baukonstruktion und (Heiz-)Anlagentechnik (etwas) deutlich(er).

¹⁰³ ebenda, S. 112, Abbildung 6.4

¹⁰⁴ rel. kleiner Heizwärmebedarf ; rel. große Fremdwärmemengen ; rel. starkes Missverhältnis zwischen äußerer und innerer Speicherfähigkeit

¹⁰⁵ Bei Gebäuden die vor dem 2. Weltkrieg errichtet wurden, kann ein Fremdwärmeausnutzungsgrad von nahezu 1.0 angenommen werden. vgl. Wolff/Jagnow: Auszug aus dem Manuskript, Ausgabe 2001, <http://www.fh-wolfenbuettel.de/tww/EnEV-files/RecknagelSprenger.pdf>, S. 6

¹⁰⁶ vgl. Schmid: Heizungs- und Lüftungstechnik, 1993, S. 65, Bild 5.14

¹⁰⁷ Diese kann wiederum u.U. den Heizungsinstallateur und den Benutzer entlasten (Regler adaptiert und optimiert Gebäudemodell und meteorologische Daten, einzige Parametereinstellungen: Komfortempfinden und Zeitprogramm).

¹⁰⁸ vgl. Anhang A.1: Kennwerte und Randbedingungen zum Beispiel Selbstregeleffekt, S. 30 f.

4.2.1 Der Selbstregelleffekt einer Niedertemperatur-Flächenheizung¹⁰⁹

Aufgrund sinkender Heizenergiebedarfswerte, bspw. von NEH, erhöht sich der Anteil an Gebäuden mit relativ kleiner Heizleistung. Für Gebäude besteht der dringende Bedarf nach kostengünstigen und umweltfreundlichen Wärmeversorgungsanlagen. Ein vom Schweizer Bundesamt für Energiewirtschaft in Auftrag gegebenes Projekt soll eine Machbarkeits- bzw. Problemanalyse eines speziell ausgewählten (einfachen) Heizsystems erlauben. Einen vielversprechenden Lösungsansatz für die Wärmeübergabe stellt dabei eine Niedertemperatur-FBH (VL-Temperaturen $< 30\text{ °C}$) dar. Einige, der aufgeführten Projektziele/Fragen¹¹⁰, lassen sich wie folgt beschreiben/zusammenfassen:

- Welche Anforderungen werden vom Gebäude erfüllt?
- Welche relevanten Zusammenhänge bestehen zwischen der Gebäudereaktion, der Dynamik der Anlage und dem Regelkonzept?

Untersucht wurde ein schweizer Systemhaus (150 m² beheizte Fläche). Als Wärmelieferant(en) werden verschiedene Wärmepumpenarten (Sole/Wasser, Luft/Wasser WP mit oder ohne elt Zusatzheizung) simuliert. Die wärme-übergebende Fußbodenheizung (keine zusätzlichen HK bzw. HF) ist für eine minimale Außenlufttemperatur von -11 °C ausgelegt (VL-Temperatur 30 °C , 5K Spreizung). Bei diesen Systemtemperaturen beträgt die max. Wärmeleistung (je nach FB-Aufbau) 30 bis 40 W/m² (belegbare Boden-)Fläche. Über dynamische Simulationsberechnungen wurden Wechselwirkungen zwischen Außenklima, Gebäude und Heizsystem untersucht indem, in einem Intervall von 15 Minuten, Energie- und Massenbilanzen des Gesamtsystems ins Gleichgewicht gebracht bzw. mit dem Betrieb der WP abgeglichen wurden.

Die Wärmepumpe ist in diesem Zusammenhang nicht weiter von Interesse. Sie wurde (praktisch) über eine außentemperaturgeführte Rücklauftemperaturregulierung betrieben. Voraussetzungen: Schaltdifferenz der WP max. 1 K ; konst. Massenströme in den Heizkreisen (ggf. Differenzdruckregler oder Verzicht auf THV).

Der Selbstregelleffekt beschreibt die automatische Abnahme der Heizleistung. Die Zone/Bauteile reagieren um so ausgeprägter auf den Einfluss unregelmäßiger (Fremd-) Wärme, je kleiner das Temperaturdelta zwischen Heizfläche und Raumtemperatur ist. Bei den Arbeitstemperaturen der hier untersuchten Niedrigtemperatur-Fußbodenheizung ist der Effekt rund dreimal größer als bei Heizkörperheizungen.¹¹¹

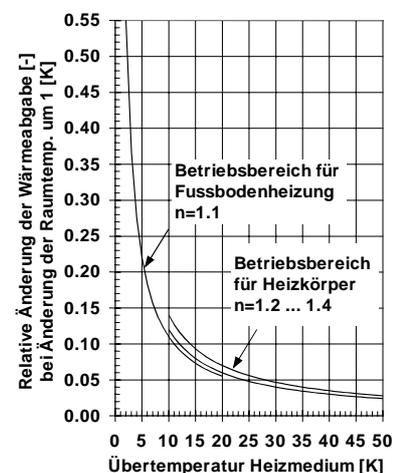


Abb. 40 Selbstregelleffekt versch. Wärmeabgabesysteme bei Übertemperaturänderung¹¹²

¹⁰⁹ Zentralschweizerisches Technikum Luzern: BEW-/INFEL-Projekt, Kostengünstige Niedertemperaturheizung mit Wärmepumpe, 1997, <http://www.me.berkeley.edu/~mwetter/download/wp-1997.pdf>

¹¹⁰ Diese Ziele bzw. Fragen fassen die zu dieser Thematik bereits beschriebenen Problemstellungen (nochmals) zusammen.

¹¹¹ vgl. Abb. 40

¹¹² Zentralschweizerisches Technikum Luzern: BEW-/INFEL-Projekt, Kostengünstige Niedertemperaturheizung mit Wärmepumpe, 1997, S. 9, Abb. 7

Für das hier vorgestellte Beispiel beschreibt Abb. 41 (instationäre) Einflussparameter (Solarstrahlung, interne konvektive und radiative Wärmequellen) und Ergebnisse. Das äußere Klima am Messtag entspricht etwa den meteorologischen Bedingungen im Monat März.¹¹³ Die über diesen Tag gemittelte Heizwassertemperatur betrug 23.1 °C.

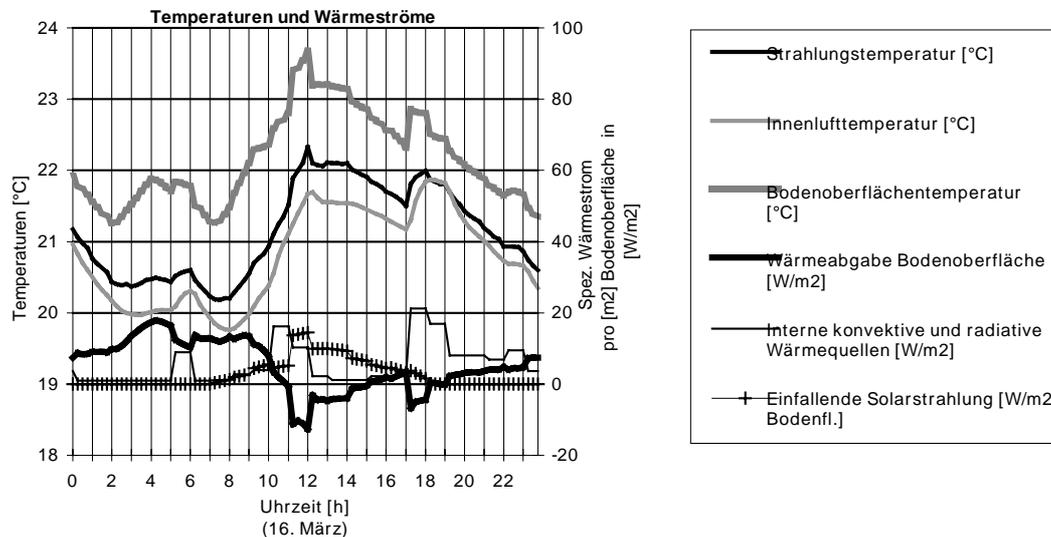


Abb. 41 Tagesgang verschiedener Wärme-/Energieflüsse im Falle einer Fußbodenheizung
Bereich: EG-Wohnen (Leichtbau)

Der Wärmestrom an der FB-Oberfläche ist über 2 Perioden¹¹⁴ negativ. In diesen Zeiträumen wird trotz Heizbetrieb Energie/Fremdwärme in den Fußboden eingespeichert. Der Grund dafür ist jedoch nicht die für diesen Vorgang "normalerweise"¹¹⁵ maßgebende Temperaturdifferenz zwischen Raum(luft)temperatur und FB-Oberflächentemperatur, sondern die infolge Solarstrahlung und innerer Quellen *zugestrahlte* Energie. Strahlungsgewinne können auch bei fortlaufender konvektiver Wärmeübergabe der FB-Heizung gespeichert werden. In diesem Fall ist die bei überwiegend konvektiver Wärmeabgabe notwendige Temperaturabsenkung zur passiven Ausnutzung der Fremdwärme nicht erforderlich. Die Raumlufttemperatur kann deshalb über die gesamte Messperiode geringer ausfallen, als die zeitgleiche FB- Oberflächentemperatur.

Im Vergleich zwischen Leicht- und Massivbauweise schlussfolgern die Autoren wie folgt:

- Die Unterschiede in Bezug auf Energieeinsparung und Behaglichkeit sind bei den untersuchten Varianten (mit den nachfolgenden Einschränkungen) als vernachlässigbar einzustufen.
- Bei dem untersuchten Leichtbau (Gebäude weist keine all zu großen Fensterflächen auf) lässt sich ein behagliches Raumklima gerade noch ohne Sonnenfühler garantieren.
- Bei größeren Fensterflächen bzw. insbesondere bei (passiv) solar-optimierten Gebäuden ist sowohl eine Massenerhöhung, als auch eine differenzierte Regelung der Heizanlage nötig.
- Durch eine Differenzierung der Gebäudemasse (leicht ↔ massiv) werden Raumtemperaturschwankungen infolge Fremdwärmeeinfluss etwa um die Hälfte gesenkt/gedämpft.

¹¹³ vgl. Anhang A.1: Abstract von Kennwerte und Randbedingungen zum Selbstregeleffekt, S. A.1-30

¹¹⁴ Zeiträume von ca. 11 bis 15 Uhr und von ca. 17 bis 18:15 Uhr vgl. Abb. 41

¹¹⁵ überwiegend konvektive Wärmeab- bzw. -übergabe

4.3 Auswahl und Auslegung von Heiz-Anlagentechnik

4.3.1 Behaglichkeitsanforderungen und relative Empfindlichkeit

Das, was die Behaglichkeit eines Menschen ausmacht, muss im Wechselspiel vieler unterschiedlicher Faktoren gesucht¹¹⁶ und gesehen werden. Hierzu zählen u.a.:¹¹⁷

- allgemeiner, physiologischer und psychischer Gesundheitszustand bzw. Wahrnehmungsvmögen der jeweiligen Person (externe Reize),
- das Geschlecht und das Alter,
- die Nahrungsaufnahme (Art und Menge),
- Jahreszeit,
- Bekleidung,
- Art, Intensität und Dauer einer Betätigung.

Externe Reize werden bei der Gebäudeplanung auf verschiedenen Ebenen minimiert bzw. optimiert – Schallschutz (Akustik), Emissionsgehalt der Raumluft (olfaktorischer Reiz) Planung/Überprüfung der (natürlichen) Beleuchtung (visuelle Reize) etc.. Das Hauptaugenmerk liegt indessen bei der Einhaltung thermische Kriterien, bspw. das

Ausschalten bzw. Vermeiden von Wärmebrücken durch optimierten Wärmeschutz. Ein weiteres Argument für Wärmedämm-Maßnahmen ist die Steigerung der Behaglichkeit (Erhöhung der inneren Oberflächentemperatur der raumbildenden Gebäudehülle) bzw. die Minderung von Temperatur-/Strahlungsdefiziten (Strahlungszug¹¹⁹). Abb. 43 zeigt anschaulich, welchen Anteil eine (warme) Umfassungsfläche an der so genannten operativen Temperatur haben kann. Die operative Temperatur ergibt sich, stark idealisiert, aus dem arithmetischen Mittelwert der Größen Raumlufttemperatur und mittlere innere Oberflächentemperatur.¹²⁰

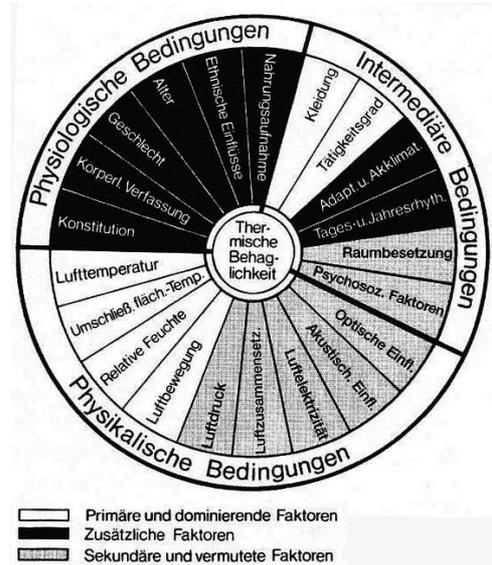


Abb. 42 Bedeutende Faktoren für die Behaglichkeit in Wohnräumen¹¹⁸

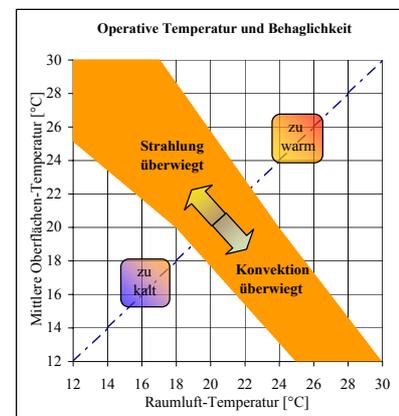


Abb. 43 Behaglichkeitsfeld ↔ operative Temperatur¹²⁴

¹¹⁶ vgl. Abb. 42, S. 80, Der Anteil einiger Sekundärfaktoren ist auch heute noch relativ ungeklärt bzw. umstritten.

¹¹⁷ Rühmann, Heinz-Peter: Produktionsergonomie, 2000,

http://www.ergonomie.tum.de/lehre/lehveranstaltungen/Folien/ProduktionsErg/Prod_Ergonomie6Klima1/sld001.htm

¹¹⁸ vgl. bspw. Hiese: Scholz - Baustoffkenntnis, 1995, S. 756, Abb. 18.1 ; vgl. auch Ständiger Ausschuss Stadt- und Bauklimatologie: Wissensgrundlage der Stadt- und Bauklimatologie, 1980, S. 12, Abbildung 2 (Microklimata) bzw. Abbildung 3 (Komfort) ; Zusammenfassung siehe auch Element 29 - Wärmeschutz und Energie im Hochbau: Thermische Behaglichkeit, <http://www.swissbrick.ch/ele/de/e29/kap4.pdf>

¹¹⁹ Meyer: Wirkung eines hybriden Doppelfassadensystems auf die Energiebilanz ..., 2001, http://www.ub.tu-cottbus.de/hss/diss/fak2/meyer_s/pdf/diss_meyer.pdf, S. 36

¹²⁰ vgl. Gl. 15

$$g_{op} = \frac{g_{i,L} + g_{m,S,i}}{2} \quad \text{Gl. 15}^{121}$$

Auch mit der Abb. 44 sind die Faktoren, die auf die thermische Behaglichkeit des Menschen einwirken, nicht erfasst. So gibt es weitere bedeutende Abhängigkeiten:¹²²

- Aktivitätsgrad der Person(en),
- Wärmedämmwert der Bekleidung,
- Strahlungsasymmetrie der Umfassungsflächen,
- Turbulenzgrad der Raumluft etc..

Nach bisherigem Erkenntnisstand ist die thermische Behaglichkeit in Räumen von 4 (Raum-)Klimagrößen¹²³ sowie von personenbezogenen Einflussgrößen (bspw.

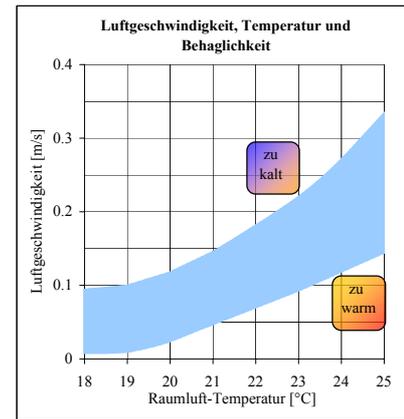


Abb. 44 Behaglichkeit ↔ Temperatur/Luftgeschwindigkeit¹²⁴

körperliche Aktivität und individuelles Wärmeempfinden) abhängig¹²⁵. Eine Gesamtabhängigkeit der Faktoren, die das künstliche Raumklima beschreiben bzw. beeinflussen, muss jedoch vom Planerteam nach wie vor abgeschätzt werden, da „es einen geeigneten *Summenmaßstab* für die Behaglichkeit (Komfort-Maßstab) ... noch nicht gibt.“¹²⁶

In der HLK-Planung gilt der Grundsatz, dass eine Heizanlage neben der Deckung der (Norm-) Heizlast die Behaglichkeit des Nutzers sicherstellen muss. Der (Behaglichkeits-)Anteil, den dabei der bauliche Wärmeschutz leisten kann, wird vordergründig über den U-Wert der Gebäudehülle definiert. Hierbei wird oft die Meinung vertreten, dass durch den heutigen baukonstruktiven Wärmeschutz (EnEV) die Kriterien der thermischen Behaglichkeit weitestgehend automatisch erfüllt sind. Doch auch bei kleinen Bauteil-U-Werten bestehen in Räumen Behaglichkeitsdefizite, die durch die (Heiz-) Anlagentechnik geeignet zu kompensieren sind. Infolge von Transmissions- und Lüftungswärmeverlusten kommt es zu Temperaturunterschieden der einzelnen raumbildenden Umfassungsflächen, die wiederum die Strahlungs- und (Luft-)Strömungsverhältnisse im Raum beeinflussen. All diese Kriterien sind wichtig. Mindestens gleichbedeutend sind aber auch die Randbedingungen unter denen diese Annahmen/Kriterien (ihre normierte) Gültigkeit besitzen.

Bei einer bedarfs-/nutzergerechten Wärmeübergabe in Gebäuden mit Wärmeschutz nach EnEV sind nur noch relativ kleine Energiemengen bereit zu stellen. Der dazu vergleichsweise hohe Anteil frei werdender unregelmäßiger Wärme sowie der Anteil an Lüftungswärmeverlusten wirken, im Gegensatz zu einer theoretisch idealen Heizung bzw. einem stationären Heizbetrieb, als dynamische Einflüsse/Störpotential⁹⁴ auf Nutzer, Bauteile und (geregelt) Heiztechnik.

¹²¹ vgl. Zürcher/Frank: Bauphysik, 1998, S. 12, Abbildung 1.20 ; In diesem Zusammenhang sei auf die mittlere Strahlungstemperatur der raumbildenden Flächen verwiesen. vgl. Recknagel/Sprenger/Schramek: Taschenbuch für Heizung und Klimatechnik 2000, 1999, S. 53

¹²² vgl. Zürcher/Frank: Bauphysik, 1998, S. 8 ff. oder DIN EN ISO 7730: Ermittlung des PMV und des PPD und Beschreibung der Bedingungen für thermische Behaglichkeit, 1995

¹²³ Lufttemperatur, mittlere Strahlungs- bzw. (Wand-)Oberflächentemperatur, Luftgeschwindigkeit und -feuchte

¹²⁴ Mattioli: Heizflächenauslegung unter den Aspekten der thermischen Behaglichkeit IN: IKZ-HAUSTECHNIK, Ausgabe 10/2000, Seite 96 ff., Bild 1a bzw. 1b für Abb. 44, <http://www.myshk.com/ikz-datenbank/>

¹²⁵ Die Autoren betrachten diese Zusammenhänge ausführlicher im Kapitel hygienische Grundlagen. vgl. Recknagel/Sprenger/Schramek: Taschenbuch für Heizung und Klimatechnik 2000, 1999, S. 46 ff. bzw. S. 68 ff.

¹²⁶ Recknagel/Sprenger/Schramek: Taschenbuch für Heizung und Klimatechnik 2000, 1999, S. 73

Mit reduzierten/minimierten U-Werten sind die negativen Einflüsse deutlich kleiner als bspw. bei der WSchV 1977¹²⁷, sie bestehen aber nach wie vor. Das der Nutzer dieses Einfluss-/Reizpotential u.U. als ähnlich oder sogar störender empfindet/wahrnimmt, soll folgendes Beispiel erläutern.

Aus der Wahrnehmungspsychologie ist bekannt, dass die Empfindungsstärke ΔE proportional zur relativen Änderung der Reizstärke ($\Delta R/R$) ansteigt. D.h., je „intensiver ein Reiz R ist, desto stärker muß sein Zuwachs ΔR sein, um eine Unterschiedswahrnehmung ΔE zu bewirken.“¹²⁸

$$\Delta E = \frac{\Delta R}{R} \text{ relative Empfindlichkeit (Weberscher Quotient)} \quad \text{Gl. 16}^{129}$$

$$R = \Delta q / \alpha_i \text{ Störpotential bzw. Reiz} \quad \text{Gl. 17}^{130}$$

Wenn für den Reiz das gesamte Störpotential einer modernen automatisch betriebenen WW-Heizung angesetzt wird, ist dieses mit Sicherheit kleiner, als bspw. bei einem handbefeuerten Kanonenofen. Infolge der gezeigten Zusammenhänge¹²⁹ genügt bei der Warmwasserheizung ein kleiner Reizzuwachs, um eine deutliche Unterschieds-Wahrnehmung auszulösen. Hingegen ließe sich ei dem handbefeuerten Ofen eine derartige Differenz nur mit einer erheblichen Störung erreichen.¹³¹ Je sensibler die (Heiz-)Technik, desto größer/stärker die Wahrnehmung/Auswirkung bereits kleiner Mängel.¹³² So wird auch mit der Entwicklung/Bauweise optimal gedämmter (Gebäude-)Hüllkonstruktionen¹³³, die (störende) Unterschiedswahrnehmung nicht zwangsläufig/automatisch beseitigt. Das genaue Gegenteil ist zutreffend. Es muss zukünftig noch sorgfältiger auf die Beseitigung verbleibender (Temperatur-) Differenzen hin gearbeitet werden.

In Richter/Bach¹³⁴ wurde eine örtliche Betrachtung in einem Beispielraum durchgeführt. Folgende Randbedingungen wurden für die rechnerische (Simulation) Untersuchung gewählt:

- Raumlufttemperatur = konstant
- Aufgrund unterschiedlicher Bauteil-U-Werte (Wand ↔ Fenster) kommt es zu jeweils anderen Wärmeströmen (Raumklima ↔ Außenklima) und somit zu ungleichen raumseitigen Bauteiloberflächentemperaturen.
- Diese wiederum verursachen unterschiedliche Wärmestromdichten eines sich raumseitig befindlichen Flächenelementes (ideale Temperatur = 20 °C) gegenüber den ungleich temperierten Bauteiloberflächen (Strahlungsasymmetrie).
- Das Flächenelement umgebende Umfeld wird als isotherm angenommen, d.h. eine betrachtete Person würde einen Unterschied zwischen Raumluft- und Umfassungsflächen-Temperatur nicht getrennt wahrnehmen können.
- Es wurde ein Gesamtwärmeübergangskoeffizient $\alpha_i = 8 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$ angenommen.

¹²⁷ Auch die inneren Bauteiloberflächentemperaturen der Gebäudehülle sind gegenüber der WSchV 1977 gestiegen.

¹²⁸ Richter/Bach: Vom Wärmeschutz zur Energieeinsparung, 1997, S. 112 f.

¹²⁹ vgl. Goldstein: Wahrnehmungspsychologie, 1997, S. 17 f. (Weber/Fechner -Gesetz)

¹³⁰ siehe Tab. 08

¹³¹ vgl. ebenda, S. 113

¹³² Trifft im übertragenen Sinn auch auf die Baukonstruktion zu. vgl. Kapitel 2, S. 31 (verzeihend Bauen)

¹³³ Nur noch vglw. Geringe Temperaturdifferenzen zwischen den raumbildenden Bauteilen.

¹³⁴ Richter/Bach: Vom Wärmeschutz zur Energieeinsparung, 1997

| Wärmedämm- Zustand entsprechend: | Bauteil | U-Wert $\frac{W}{m^2 K}$ | $\frac{U_F}{U_W}$ - | Δq \leftrightarrow Ideal W/m ² | | |
|--|----------------------|-----------------------------|------------------------|--|--------|-----------------|
| | | | | | R K | ΔE - |
| DIN 4108 | Außenwand Fenster | 1.53 5.2 | 3.4 | -32.2 | 4.0 | 0.75 |
| WSchV 1977 | Außenwand Fenster | 1.15 3.0 | 2.6 | -25.2 | 3.1 | 0.96 |
| WSchV 1982* | Außenwand Fenster | 0.82 2.6 | 3.2 | -24.2 | 3.0 | 1 |
| WSchV 1995 | Außenwand Fenster | 0.49 1.8 | 3.7 | -17.1 | 2.1 | 1.42 |
| EnEV 2002 | Außenwand Fenster | 0.27 1.5 | 5.6 | -14.4 | 1.8 | 1.68 |

Hinweise zur Tabelle/Berechnung:

- *Bezugsgröße bzw. Standardreiz/
Störpotential
- Von den Autoren wurden keine
Angaben gemacht, wie die Unter-
schiede der Wärmestromdichten
(Δq) gegenüber dem Idealfall (20
°C) zu ermitteln sind (fehlende
äußere Klimabedingungen bzw.
Temperaturdifferenz).
- Das Störpotential R errechnet sich
stark idealisiert nach Gl. 17.

Tab. 08 Zunahme der relativen Empfindlichkeit ΔE bei unterschiedlichen Wärmeschutz-Standards¹³⁵

Ergebnis-Einschätzung und Überprüfung der Gültigkeit:

Die Gültigkeit¹³⁶ des Weberschen Quotienten ist gegenüber dem Potenzansatz von Stevens beschränkt. „Im überwiegenden Teil unseres Erlebens treten ... überschwellige Reize“¹³⁷ auf. Bspw. muss die Intensität eines Lichts nicht verdoppelt, sondern verneunfacht werden, um es doppelt so hell wahrzunehmen. Somit ist die von Richter und Bach gewählte Auswertungsmethode bzw. der funktionale Zusammenhang zu überprüfen und ggf. neuen Erkenntnissen anzupassen. Der isotherme Ansatz der Umgebung des Flächenelementes ist bspw. bereits mit dem Behaglichkeitsfeld der Abb. 43 widerlegbar. Diese und weitere Schlussfolgerungen wie die Art der Wärmeab- bzw. -übergabe, Lage des Flächenelementes im Raum, Strahlungsasymmetrie bzw. operative Temperatur, etc.¹³⁸ stellen den Wert der Untersuchung eher in Frage, als ihn zu bekräftigen. Hinsichtlich des Verhältnisses unterschiedlicher Fenster- und Wand U-Werte¹³⁹ fällt indes auf, dass bspw. um ein U-Wert Verhältnis von 2.6 (WSchV 1977) mit einem U_W -Wert von 0.27 W/(m² K) (EnEV, übererfüllt) zu erreichen ein Fenster mit einem U-Wert von ca. 0.70 W/(m² K) nötig wäre. Das bestätigt zumindest tendenziell eine Zunahme der relativen Empfindlichkeit sowie eine gesonderte Überprüfung des Fensters.¹⁴⁰

Das ähnliche Überlegungen einen praktischen Hintergrund haben, soll das folgende Beispiel verdeutlichen. Hierbei spielen Feuchteschäden und die Hygiene in Innenräumen (Schimmelpilzbildung) eine Rolle – ein weiterer wichtiger Punkt zur Sicherstellung von Behaglichkeit/Gesundheit im Zusammenhang mit dem (künstlichen) Raumklima.

¹³⁵ vgl. Richter/Bach: Vom Wärmeschutz zur Energieeinsparung, 1997, S. 114, Tabelle 6.1

¹³⁶ Das Weber/Fechner-Gesetz gilt für die meisten Sinne, sofern die Stärke des Reizes nicht zu nah an der Schwelle liegt (Weber fand keine 1:1-Übereinstimmung zwischen physikalischen Reizen und psychischen Reaktionen). vgl. Goldstein: Wahrnehmungspsychologie, 1997, S. 18

¹³⁷ Goldstein: Wahrnehmungspsychologie, 1997, S. 18

¹³⁸ vgl. Recknagel/Sprenger/Schramek: Taschenbuch für Heizung und Klimatechnik 2000, 1999, S. 55

¹³⁹ siehe farbig hervorgehobene Spalte der Tab. 08 (vom Verfasser ergänzt)

¹⁴⁰ Gemeint ist die kalte Fallluftströmung bzw. Luftgeschwindigkeit in Fensternähe., vgl. Zürcher/Frank: Bauphysik, 1998, S. 14, Abbildung 1.25 bzw. Schmid: Heizungs- und Lüftungstechnik, 1993, S. 69 f.

Im Rahmen des Feuchtetages '99 in Berlin fasst Jaroch in ¹⁴¹ einige Ursachen/Nachweisverfahren von Feuchteschäden in Gebäuden zusammen. Er weist u.a. darauf hin, dass bei ungeeigneter Anordnung von Heizkörpern im Raum, es selbst bei ausreichend gedämmter Gebäudehülle zu raumseitigem Tauwasserniederschlag kommen kann.

In Abb. 45 ist ein (Wohn-)Raum im Grundriss gezeigt, der sich im 1. OG eines 1995 fertiggestellten Anbaus befindet. Der Teil unterhalb dieses Raumes ist gegenüber dem EG zurückgesetzt. Das aufgehende Poroton-Mauerwerk der Ost- bzw. Südaußenwand des Wohnraums steht aufgeständert auf einem Stahlbetonringbalken, der die darunter stehenden 5 Stahlbetonsäulen verbindet. Der Ringbalken bildet gleichzeitig das Deckenaufleger.

Bereits im 1. Winter nach Fertigstellung trat raumseitig der AW etwa bis in 0.4 m Höhe Schimmelpilzbildung auf. Eine Vermutung des Eigentümers nach einer ungenügenden Dämmung der konstruktiv bedingten Wärme-

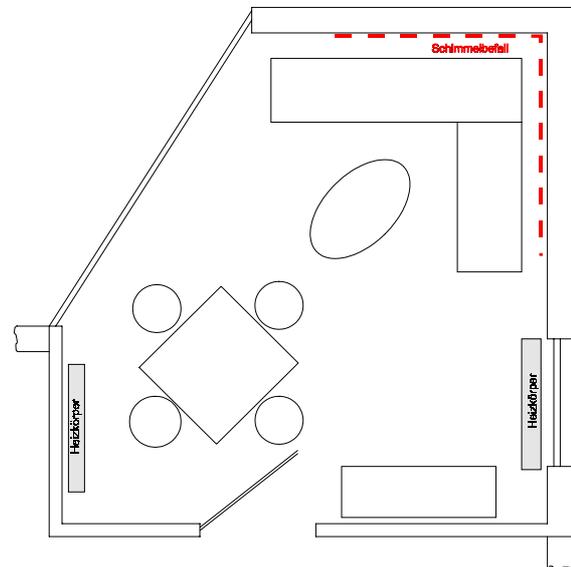


Abb. 45 Grundriss des Wohnraumes im 1. OG (Schimmel: rot ; Heizkörper: grau)¹⁴²

brücke Höhe Ringbalken/Geschossdecke, konnte über IR-Thermografie (von außen) nicht bestätigt bzw. widerlegt werden. Es ergab sich eine zulässige WB-Wirkung, die jedoch eine Kondensatbildung raumseitig der Gebäudehüllflächen ausschloss. Auch die Anordnung der Möbel (Sitzgarnitur steht ca. 0.4 m vor der AW) im kritischen Bereich, ist als unbedenklich einzustufen (theoretisch ausreichende Hinterlüftung).

Fazit Jaroch:

Eine fehlerhafte Anordnung der Heizkörper lässt die erwärmte Raumluft überwiegend nur im vorderen Bereich (Hälfte) des Raumes zirkulieren. „Die zur Vermeidung von Kondenswasserausfall notwendige Erwärmung der Außenwände wird somit im Bereich der Außenwanddecke nicht erreicht.“¹⁴³ Ein Vergleich zu den baugleichen Wohnräumen der darüberliegenden Etagen, in denen aber die Heizkörper an den Außenwänden montiert sind, ergab, dass die Innenwandoberflächen-Temperaturen der kritischen Bereiche im EG bis zu 5 K niedriger ausfielen. Selbst „bei normalen raumklimatischen Bedingungen und ausreichender Dämmung der Außenbauteile“ bestätigt bereits diese Differenz „die Gefahr der Kondensatbildung. Abhilfe kann nur durch eine Veränderung der Heizkörperanordnung geschaffen werden, wobei ein zusätzlicher Heizkörper an der Außenwand rechts neben dem Terrassenfenster angebracht werden muß.“ Um die Raumluftzirkulation in den kritischen Bereichen zu gewährleisten, „ist eine Zirkulationsleitung¹⁴⁴ zwischen den beiden Heizkörpern an den Außenwänden einzubauen.“¹⁴⁵

¹⁴¹ Jaroch, U.: Feuchtigkeit in Gebäuden IN: DGZfP-Berichtsband BB 69-CD Poster 4, 1999,

http://www.dgzfp.de/doc/Berichtsbaende/BB_69-CD/bb69-p04.pdf, S. 13 f., Beispiel 6

¹⁴² ebenda, S. 14, Bild 4

¹⁴³ ebenda, S. 13

¹⁴⁴ ähnlicher Rat/Hinweis vgl. Eichler/Arndt: Bautechnischer Wärme- und Feuchtigkeitsschutz, 1989, S. 180

¹⁴⁵ ebenda, S. 14

Fazit des Verfassers zu dem Beispiel und den Schlussfolgerungen Jarochs:

Hauser¹⁴⁶ berechnet kritische Oberflächentemperaturen bei Taupunktuntersuchungen mit einem α -Gesamtwert $a_i = 6 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$. Heindl beziffert den Anteil des konvektiven Wärmeübergangskoeffizienten in geschlossenen Räumen mit $a_{cv,i} = 3 \text{ bis } 6 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$ (die „kleineren Werte ... meist in Raumecken oder an Stellen, an denen die Ausbildung von Luftströmungen .. behindert ist“¹⁴⁷). Demnach müsste der radiative Anteil¹⁴⁸ bei ca. $a_r \approx 3 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$ liegen. Mit den Angaben aus DIN E EN 12831¹⁴⁹ wird eine Abschätzung aktueller. Die Norm gibt für den konvektiven Wärmeübergangskoeffizienten bei dynamischen Berechnungen u.a. folgende Werte an:

- Innenwand $a_{cv,i} = 3 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$ und
- Fußboden $a_{cv,i} = 1 (!) \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$.

Dies erklärt ansatzweise den kritischen, mit Schimmelpilz belegten, Bereich von ca. 0.4 m ab OK FFB. Eine Gesamtbetrachtung kann an dieser Stelle jedoch nicht ohne die eigentliche Wärmeübergabeeinrichtung (Heizanlage bzw. Heizfläche) erfolgen. Hierzu können die Abbildungen A.1-16 bzw. A.1-17¹⁵⁰ etwas mehr Aufschluss geben. Bspw. ist die Tendenz der Abbildung A.1-16 über Interpolation von der Raummitte auf die Randbereiche erweiterbar. Wird bei der Abbildung A.1-17 ein Mittelwert zwischen Radiator und Luftheizung gebildet, kann auch mit diesen Angaben eine gewisse Abschätzung erfolgen. Diese Überlegungen bestätigen nicht nur das Fazit von Jaroch, sie werfen weitere Fragen/Probleme auf, was die Behaglichkeit des untersuchten Raumklimas betrifft. So liegt bspw. die Empfindlichkeitsschwelle für eine Unterschiedswahrnehmung zwischen Luft- und Oberflächentemperaturen bei 2 K.¹⁵¹

Wird dieser Fall sogar verallgemeinert, was in Anbetracht einer sehr niedrigen statistischen Wiederholungswahrscheinlichkeit unplausibel erscheint, steht dieses Beispiel als Synonym für eine gewisse **Problemkette**:

Dynamisches bzw. instationäres Heizen (NAS, NAT, unplanmäßiges oder zu langes Lüften, etc.) aktiviert die Eigendynamik des Gesamtsystems Gebäude/TGA (Zeitkonstanten bzw. speicherfähige Masse). Es treten u.U. Wärme(ein)speicherdefizite in den raumbildenden Außenbauteilen auf. Die Heizfläche erwärmt zwar die Raumluft auf einen definierten Wert, die Anlage schafft es aber nicht in der vorgegebenen Zeit, auch die empfundene Temperatur sicher zu stellen.¹⁵² U.U. wird dieser Effekt durch die (Ab-)Regelung über THV verstärkt. Nach einer Temperaturabsenkung wären zeitweise höhere Raumluft-Temperaturen nötig, um den Raum in einer angemessenen Zeit¹⁵³ wieder aufzuheizen. Das THV regelt aber bei einer voreingestellten Lufttemperatur ab, so dass nur die definierte und damit eine zu geringe Heizleistung bereit gestellt werden kann.

¹⁴⁶ Hauser: Vorlesungsskript Bauphysik I und II, 2001, http://www.bpy.uni-kassel.de/de/lehre/Skript_Feuchtelehre_Okt2001.pdf, S. 33

¹⁴⁷ Tschegg/Heindl/Sigmund: Grundzüge der Bauphysik, 1984, S. 175

¹⁴⁸ vgl. A.1.1: (Un-)Pauschaler Wärmeübergang, S. A.1-8, Gl. A.1-5

¹⁴⁹ vgl. DIN E EN 12831:1997: Verfahren zur Berechnung der Norm-Heizlast, S. 52, Tabelle D.4

¹⁵⁰ vgl. A.1.1: Abbildungen zur Thematik Behaglichkeit, S. A.1-3

¹⁵¹ vgl. Zürcher/Frank: Bauphysik, 1998, S. 9, Tabelle 1.7

¹⁵² vgl. Richter/Bach: Vom Wärmeschutz zur Energieeinsparung, 1997, S. 66, Diagramm 4.18

¹⁵³ ½ bis 1 Stunde vgl. Landeshauptstadt Hannover: Bauen am Kronsberg, 1998, <http://www.fh-wolfenbuettel.de/tww/Archiv-files/HeizKonzept.pdf>, S. 16

Abschließend müssen die stetig kleiner werdenden radiativen Anteile moderner Wärmeübergabeeinrichtungen in Frage gestellt werden.¹⁵⁴ Nach diesem Beispiel hätte eine reine Luftheizung bzw. deren Wärmeübergabe, über aufwendige Raumluf-Strömungssimulationen abgesichert werden müssen, deren Aussagekraft gegen Null tendiert, da bspw. jeder Nutzer anders möbliert (Strömungswiderstand).

Die Untersuchungen/Anmerkungen zeigen, dass in gewissen Fällen eine getrennte Betrachtung des inneren Wärmeübergangskoeffizienten angebracht ist.¹⁵⁵ Der schwer bzw. auf den 1. Blick undeutliche Bezug zu dem vorhergehenden Beispiel (Behaglichkeit), wurde über die aufgezeigten Zusammenhänge (unvollständig) hergestellt.

Ein Teil der Heizanlagenauswahl und Dimensionierung¹⁵⁶ fällt auch auf den Gebäudeplaner zurück (Fensterdimensionierung ↔ Behaglichkeit, Anordnung der Heizflächen, Festlegung bzw. Überprüfung des Strahlungsanteils bei der Wärmeübergabe, etc.).

4.3.2 E DIN EN 12831 – An der Schwelle einer ökologischen Beurteilung

Zielfunktion für einen sparsamen Wärmeenergieeinsatz nach Glück:

„Es ist eine Heizanlage zu konstruieren, die bei Sicherstellung der Empfindungstemperatur im Aufenthaltsbereich den geringsten Wärmeverlust des Raumes nach außen verursacht.“¹⁵⁷

Der Anteil den die Baukonstruktion/Zeitkonstante an dieser Funktion (Gebäude + Haustechnik + “X“¹⁵⁸ = EINE EINHEIT) zu erfüllen hat, wurde bereits wage umrissen.

In Folge immer weiter sinkender U-Werte nimmt die rechnerische Normheizlast von Gebäuden ab. Mit diesem, über statische Methoden gewonnenen Zahlenwert, wurden bisher Wärmeerzeuger und Heizflächen ausgelegt. Es wäre rechnerisch nicht falsch, aus geringeren Normheizlasten kleinere, einfachere und damit preiswertere Heizanlagen zu schlussfolgern. Diese Interpretation lässt sich nur bei oberflächlicher Betrachtung rechtfertigen. So korreliert in nach EnEV optimierten und berechneten Gebäuden, die zu installierende Heizleistung funktional nicht mehr mit der Normheizlast, sondern eher mit der Bauschwere des Bauwerks/Raumes.¹⁵⁹ Dies ist ursächlich mit einem gestiegenen Einfluss dynamischer Prozesse in Verbindung zu bringen. Es stellt sich die Frage, ob eine stationäre Bemessung der (Norm-)Heizlast¹⁶⁰ von Gebäuden/Räumen immer noch zeitgemäß ist bzw. den veränderten Bedingungen auch weiterhin genügen kann.

Eine Antwort auf diese Frage liefert u.a. die DIN EN 12831.¹⁶¹ Diese Norm liegt im Entwurf vor und ist als Ersatz für die DIN 4701-1¹⁶² geplant, die aus dem Jahre 1983 stammt. Als “Besonderheit“ wurde, neben dem Standard-/Normfall der Heizlastberechnung (mit dem Ansatz nach DIN 4701-1 vergleichbar), ein Handrechenverfahren zu dem weiter oben bereits be-

¹⁵⁴ „Heizkörper mit höherem Strahlungsanteil dürften .. bei Vorlauftemperaturen unter 45 °C ... aus Gründen der Wärmeübertragung am geeignetsten sein.“ Schmid: Heizungs- und Lüftungstechnik, 1993, S. 65

¹⁵⁵ vgl. Anhang A.1.1: (Un-)Pauschaler Wärmeübergang, S. A.1-5 f.

¹⁵⁶ Bei integrierten Heizflächen bzw. allgemein Bauteilkonditionierung/Bauteilaktivierung ist dies besonders deutlich.

¹⁵⁷ Glück: Strahlungsheizung, Theorie und Praxis, 1981, S. 376

¹⁵⁸ siehe Gl. 0, Seite 37

¹⁵⁹ vgl. Richter/Bach: Vom Wärmeschutz zur Energieeinsparung, 1997, S. 66

¹⁶⁰ vgl. bspw. DIN 4701: Regeln für die Berechnung der Heizlast von Gebäuden, 1995

¹⁶¹ DIN E EN 12831:1997-08: Verfahren zur Berechnung der Norm-Heizlast, Heizsysteme in Gebäuden

¹⁶² DIN 4701-1:1983-03: Regeln für die Berechnung des Wärmebedarfs von Gebäuden, Grundlagen der Berechnung

schriebenen Problem (installierte Heizleistung \neq Normheizlast \rightarrow Aufheizzuschlag) vorgestellt. Werden zwischen Bauherr, Planer und Installationsfirma keine besonderen Regelungen hinsichtlich der Beheizung getroffen (bspw. könnte mit angepasster Nutzung ein Aufheizzuschlag umgangen werden¹⁶³), muss die Heizanlage gemäß geltender Rechtsprechung ausgelegt werden. Insbesondere bei Mietwohnangelegenheiten, hier gehört die Heizpause mittlerweile zum Standard, kommt es aufgrund von (Behaglichkeits-)Defiziten nicht selten zu Streitigkeiten/Auseinandersetzungen bis hin zu Klagen/Verfahren. Das Amtsgericht Hamburg formulierte in einem (Streit-)Fall „konkrete“ Anforderungen für die Auslegung einer Heizanlage: „Eine Heizanlage muss so ausgerichtet sein, dass eine Temperatur von mindestens 20 °C, jedenfalls in der Zeit von 6.00 Uhr bis 24.00 Uhr, auch erreicht werden kann, und zwar auch bei Außentemperaturen unter 0 °C und auch dann, wenn die Raumtemperatur auf 16 bis 17 °C abgesenkt wurde. Als angemessener Zeitraum für die Wiedererwärmung werden eine halbe bis maximal eine Stunde je nach Außentemperatur angesehen.“¹⁶⁴

Da es sich beim Standard-Nutzer/Mieter um einen Baulaien handelt, müssen die Anforderungen, die im allgemeinen Sprachgebrauch formuliert sind, interpretiert bzw. differenziert betrachtet werden. So ist mit einer „Temperatur von mindestens 20 °C“ **nicht** die leicht messbare Raumlufttemperatur, sondern die bereits erwähnte operative Temperatur gemeint (\rightarrow Behaglichkeitskriterien).

Über Wirksamkeit und damit Notwendigkeit von (Nacht-)Absenkungen bzw. Abschaltungen (\rightarrow Heizpausen) wird indes in der Fachwelt mindestens ebenso gestritten bzw. diskutiert.

Der rechnerische (Auslegungs-)Ansatz, den bspw. die Buderus Redaktion¹⁶⁵ vorstellt, ist zu pauschal bzw. unkonkret. Die dort gemachten Anmerkungen deuten hingegen auf die bereits erwähnten Probleme hin (\rightarrow Wärme(ein)speicherdefizite¹⁶⁶). Je nach Bauschwere (Zeitkonstante des betreffenden Raumes), Wärmedämmstandard bzw. Wärmeverluststrom, installierter Wärmeleistung und Regelverhalten, wird u.U. die operative Temperatur zwischen den Heizpausen nicht mehr erreicht.¹⁶⁷ Das u.U. soll in der folgenden Betrachtung relativiert werden.

Was über den informativer Anhang D¹⁶⁸ der prEN 12831 nur undeutlich bzw. realitätsfern¹⁶⁹ zum Ausdruck gebracht wird, ist ein Bezug zur thermodynamischen Reaktionszeit der zu untersuchenden beheizten Zone (Auskühl- bzw. Aufheizverhalten). Die von Wolff/Vorländer/Hahn¹⁷⁰ in Anlehnung an Anhang D¹⁶⁸ entwickelte Abbildung ist eine gute Zusammenfassung, obwohl der Bezug auf die stationäre Heizlast nicht ganz korrekt ist.¹⁷¹

¹⁶³ Ein Mietvertrag müsste dann diesbezügliche Hinweise enthalten.

¹⁶⁴ Buderus Heiztechnik GmbH: Bedarfsgerecht heizen – Kein Komfortdefizit durch Heizpausen IN: Buderus Magazin, Mai 1/2000, http://www.heiztechnik.buderus.de/sixcms_upload/media/304/bm1_2000.pdf, S. 9

¹⁶⁵ Buderus Heiztechnik GmbH: Programmierter Heizbetrieb mit Komfort – Heizkosten sparen ohne zu frieren (Teil 2) IN: Buderus Magazin, Juni 2/2001, http://www.heiztechnik.buderus.de/sixcms_upload/media/304/bm_2_2001.pdf, S. 25

¹⁶⁶ Ist die Heizleistung der Wärmeübergabeeinrichtung zu gering oder die Heizpause zu lang gewählt, kommt es (nur) zu einem unvollständigen thermischen Ausgleich in den Raumspeichermassen.

¹⁶⁷ vgl. Richter/Bach: Vom Wärmeschutz zur Energieeinsparung, 1997, S. 66, Diagramm 4.18

¹⁶⁸ vgl. DIN EN 12831:1997-08: Verfahren zur Berechnung der Norm-Heizlast, Heizsysteme in Gebäuden, S. 43 ff.

¹⁶⁹ Gemeint ist bspw. die Definition leichter Bauart: AW \rightarrow Innenseite Dämmputz ; IW \rightarrow Dämmputz etc.. vgl. ebenda, S. 48, Tabelle D.3

¹⁷⁰ Landeshauptstadt Hannover: Bauen am Kronsberg, 1998, <http://www.fh-wolfenbuettel.de/tww/Archiv-files/HeizKonzept.pdf>, S. 16

¹⁷¹ Bei Auskühl- bzw. Anheizvorgängen liegt kein Beharrungszustand vor, demzufolge lässt sich nicht über den stationären Wärmedurchgang rechnen. vgl. Recknagel/Sprenger/Schramek: Taschenbuch für Heizung und Klimatechnik 01/02, 2001, S. 1028

Auch die Abb. 46 erlaubt keine Rückschlüsse auf das Auskühlverhalten bzw. die zur Ableitung notwendige Temperaturabsenkung.

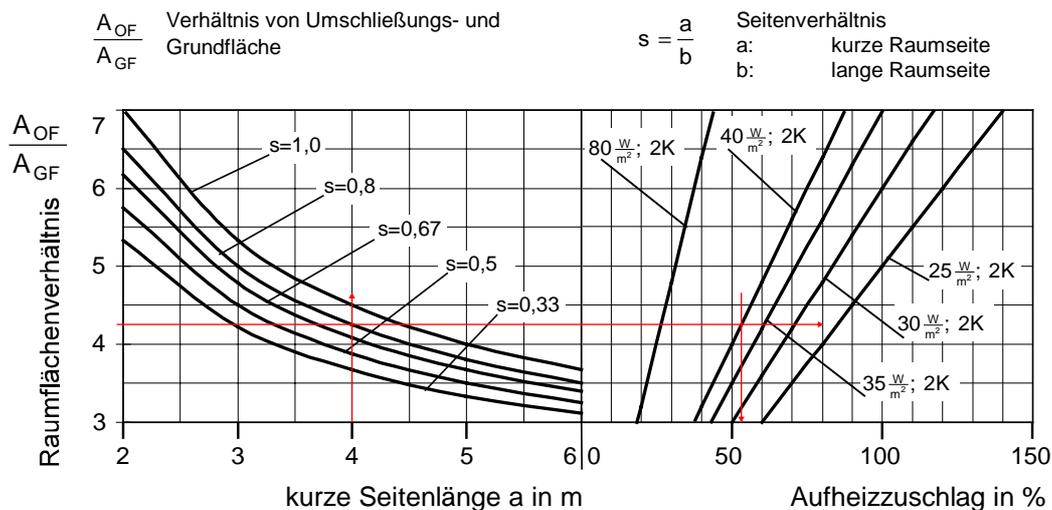


Abb. 46 Aufheizzuschläge verschiedener Raumseitenverhältnisse¹⁷²

Erläuterungen/Gültigkeitsbedingungen zur Abb. 46:

- gültig für lichte Raumhöhen von 2.50 m
 - Bezug auf verschiedene (stationäre) Heizlasten¹⁷¹, bspw. 80 W/m², die nach DIN EN 12831 für durchgehenden Heizbetrieb ermittelt wurden
 - angenommene Temperaturabsenkung über die Absenk-/Abschaltphase beträgt 2 K
- „Die Aufheizzuschläge gelten gleichermaßen für 3K und zweistündige Aufheizung bzw. 4K und vierstündige Aufheizung. Bei 2K und zweistündiger Aufheizung halbieren sich die Zuschläge.“¹⁷³

Für derartige Fälle muss eine gesonderte Berechnung/Unterteilung für/in speicherfähige (Bauteile/Möbel mit wirksamer Speicherfähigkeit) und speicherlose (Fenster) Bauteile vorgenommen werden.¹⁷⁴

$$\dot{Q}_{hl} = \dot{Q}_{T,F} + \dot{Q}_{LW} + \dot{Q}_{h,instat} \quad \text{Gl. 18}^{171}$$

Gleichung 18 ist mit einer Art Massenbilanz vergleichbar. Der Transmissionswärmeverlust der (des) Fenster(s) $\dot{Q}_{T,F}$ ¹⁷⁵ und der Lüftungswärmeverlust \dot{Q}_{LW} zusammengefasst, ergeben eine Art Wärmesenke¹⁷⁶ für die speicherfähigen Bauteile. Um die Temperaturabsenkung bzw. das Auskühlverhalten zu berechnen, ist dieser Verlustwärmestrom dann auf die speicherwirksamen Bauteiloberflächen *umzulegen*. Mit diesen Bemerkungen liegen nahezu alle wichtigen Problem- punkte derartiger Berechnungen offen. Wie groß ist bspw. der anzusetzende Luftwechsel? Wie groß das Fenster des betrachteten Raumes etc.? Ein Beispiel soll die Zusammenhänge besser erläutern. Hierzu wurde ein fiktiver Eckraum¹⁷⁷ konstruiert und anschließend mittels Simulationsrechnung überprüft.

¹⁷² vgl. Landeshauptstadt Hannover: Bauen am Kronsberg, 1998, <http://www.fh-wolfenbuettel.de/tww/Archiv-files/HeizKonzept.pdf>, S. 16, Bild 3-1 bzw. S. 80 (Erläuterungen zu funktionalen Zusammenhängen Bild 3-1)

¹⁷³ Landeshauptstadt Hannover: Bauen am Kronsberg, 1998, <http://www.fh-wolfenbuettel.de/tww/Archiv-files/HeizKonzept.pdf>, S. 17

¹⁷⁴ siehe Gl. 18

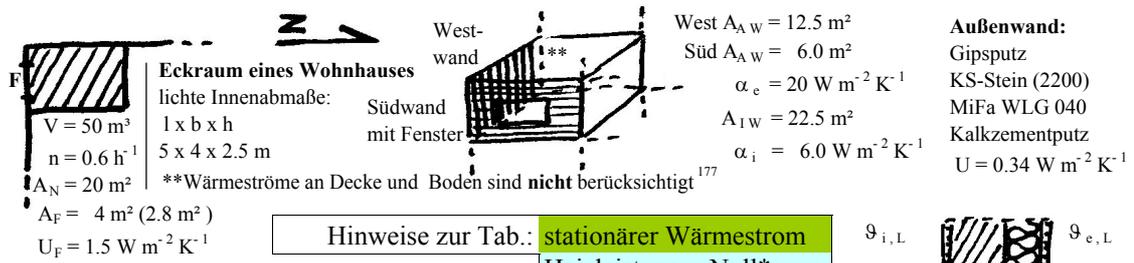
¹⁷⁵ Standardbeispiel für ein speicherloses Bauteil

¹⁷⁶ vergleichbar mit einer intern pro Flächeneinheit aufgeprägten (negativen) Leistung

¹⁷⁷ Annahme einer Geschossbauweise mit gleicher Nutzung/Temperatur ober- und unterhalb des Raumes

Simulation des Auskühl- und Anheizverhaltens an einer AW eines Eckraums

(Berechnungen über DynaTherm)



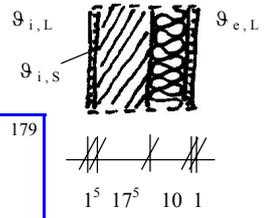
Hinweise zur Berechnung:¹⁷⁸

Der Innenraum ist in 1. Näherung als speicherlos bzw. adiabatisch idealisiert.¹⁷⁹

Es wurde eine Heizause von 8 h angenommen (22:00 - 6:00 Uhr).

* Negatives $P_{i,s}$ vgl. Gl. 18 (+ Anmerkungen) bzw. Werte aus Tab. 10

Hinweise zur Tab.: stationärer Wärmestrom
 Heizleistung = Null*
 Heizleistung = $P_{i,s}$



| Termin | Randbedingung 1 | | | | | Randbedingung 2 | | | | |
|------------|-------------------|-------------------|--------------------|-------------------|-------------|-------------------|-------------------|--------------------|-------------------|-------------|
| | $\vartheta_{e,L}$ | $\vartheta_{i,L}$ | α_i | $\vartheta_{i,S}$ | * $P_{i,s}$ | $\vartheta_{e,L}$ | $\vartheta_{i,L}$ | α_i | $\vartheta_{i,S}$ | * $P_{i,s}$ |
| | °C | | W/(m² K) | °C | W/m² | °C | | W/(m² K) | °C | W/m² |
| 0 22:00:00 | | 21 | 6.0 | 20.1 | 5.5 | | 21 | 6.0 | 19.0 | 12.0 |
| 22:30:00 | | ? | 1E-08 [#] | 20.0 | -13.8 | | ? | 1E-08 [#] | 18.8 | -28.4 |
| 1 23:00:00 | | ? | 1E-08 | 18.9 | -13.8 | | ? | 1E-08 | 16.5 | -28.4 |
| 23:30:00 | | ? | 1E-08 | 18.6 | -13.8 | | ? | 1E-08 | 16.0 | -28.4 |
| 2 00:00:00 | | ? | 1E-08 | 18.4 | -13.8 | | ? | 1E-08 | 15.6 | -28.4 |
| 00:30:00 | | ? | 1E-08 | 18.3 | -13.8 | | ? | 1E-08 | 15.3 | -28.4 |
| 3 01:00:00 | | ? | 1E-08 | 18.2 | -13.8 | | ? | 1E-08 | 15.0 | -28.4 |
| 01:30:00 | | ? | 1E-08 | 18.0 | -13.8 | | ? | 1E-08 | 14.7 | -28.4 |
| 4 02:00:00 | | ? | 1E-08 | 17.9 | -13.8 | | ? | 1E-08 | 14.5 | -28.4 |
| 02:30:00 | 4.9 | ? | 1E-08 | 17.8 | -13.8 | | ? | 1E-08 | 14.3 | -28.4 |
| 5 03:00:00 | | ? | 1E-08 | 17.7 | -13.8 | | ? | 1E-08 | 14.1 | -28.4 |
| 03:30:00 | | ? | 1E-08 | 17.6 | -13.8 | | ? | 1E-08 | 13.9 | -28.4 |
| 6 04:00:00 | | ? | 1E-08 | 17.5 | -13.8 | | ? | 1E-08 | 13.7 | -28.4 |
| 04:30:00 | | ? | 1E-08 | 17.4 | -13.8 | -14 | ? | 1E-08 | 13.5 | -28.4 |
| 7 05:00:00 | | ? | 1E-08 | 17.3 | -13.8 | | ? | 1E-08 | 13.3 | -28.4 |
| 05:30:00 | | ? | 1E-08 | 17.3 | -13.8 | | ? | 1E-08 | 13.1 | -28.4 |
| 8 06:00:00 | | ? | 1E-08 | 17.2 | -13.8 | | ? | 1E-08 | 12.9 | -28.4 |
| 06:30:00 | | ? | 1E-08 | 17.3 | 36.0 | | ? | 1E-08 | 13.1 | 36.0 |
| 07:00:00 | | ? | 1E-08 | 20.0 | 36.0 | | ? | 1E-08 | 16.5 | 36.0 |
| | | | | | | | | 1E-08 | 17.2 | 36.0 |
| | | | | | | | | 1E-08 | 17.6 | 36.0 |
| | | | | | | | | 1E-08 | 17.9 | 36.0 |
| | | | | | | | | 1E-08 | 18.2 | 36.0 |
| | | | | | | | | 1E-08 | 18.4 | 36.0 |
| | | | | | | | | 1E-08 | 18.6 | 36.0 |
| | | | | | | | | 1E-08 | 18.8 | 36.0 |
| | | | | | | | | 1E-08 | 19.0 | 36.0 |
| | | | | | | | | 1E-08 | 19.1 | 36.0 |

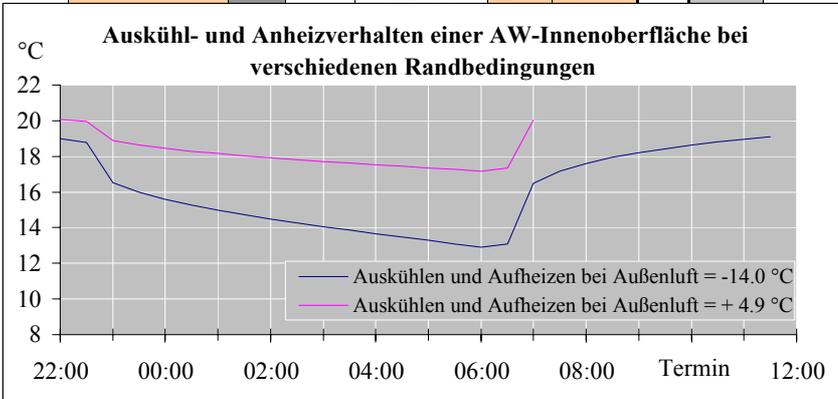


Abb. 47 Auskühl- und Anheizverhalten an einem Beispiel-Bauteil

¹⁷⁸ weitere Annahmen bzw. detailliertere Berechnung vgl. Anhang A.1, S. A.1-32 ff.

¹⁷⁹ vgl. S. 66, Gl. 9 bzw. Anhang A.1, Abbildung A.1-09

Tab. 09

Um eine Vergleichbarkeit der Ergebnisse zu erlauben, müssen weitere Randbedingungen kommentiert werden. Für einen direkten Vergleich mit Abb. 47 fehlt die stationäre, auf die beheizte (Grund-)Fläche bezogene, Heizlast. Tab. 10 enthält fehlende Angaben.

- Heizwärme bzw. -leistung pro Raum bzw. Bauteil/AW [Q_h]

$$\dot{Q}_h = \dot{Q}_T + \dot{Q}_L \tag{Gl. 19}$$

- Transmissionswärmestrom Bauteil [Q_{T,n}]

$$Q_{T,n} = U_n \cdot \Delta \vartheta_{(i,L \rightarrow a,L)} \cdot (A_n) \cdot \Delta t \tag{Gl. 20}$$

- Lüftungswärmestrom je Volumeneinheit [Q_{LW}]

$$Q_{LW} = n \cdot V_{Raum} \cdot \rho \cdot c_L \cdot \Delta \vartheta_{L(i \rightarrow a)} \cdot \Delta t \tag{Gl. 21}$$

| Bauteil/Vorgang | U-Wert W m ⁻² K ⁻¹ | A _V * m ² m ³ (1) | ΔT in K | | Wärmebedarf Q _h in W h ⁻¹ | |
|--|---|---|---------|--------|---|---------------------------|
| | | | -12 °C | 4.9 °C | ϑ _{a,L} = -12 °C | ϑ _{a,L} = 4.9 °C |
| Wände außen | 0.35 | 18.5 | 33.0 | 16.1 | 214 | 104 |
| Fenster [Q _{T,F}], Gl. 20 | 1.5 | 4.0 | 33.0 | 16.1 | 198 | 97 |
| Lüftung [Q _{LW}], Gl. 21 | 0.198 * | 50.0 | 33.0 | 16.1 | 327 | 159 |
| WB-Zuschlag nach EnEV | 0.1 | 22.5 | 33.0 | 16.1 | 74 | 36 |
| Σ: | | | | | 813 | 396 |
| auf AW umgelegte negative Leistung: | | | | | -28.4 | -13.8 |
| auf A _N umgelegte Wärme-Leistung: | | | | | 40.6 | 19.8 |

(1) Zellwert = c_L · n_{LW}

A_N = 20 m²

Tab. 10 Raumwärmebedarf [W/h] (Transmission und Lüftung) für einen extremen Wintertag¹⁸⁰ und einen MDT im März¹⁸¹

$$b = \sqrt{\lambda \cdot \rho \cdot c} \text{ , Wärmeeindringkoeffizient in } J (m^2 K s^{0.5})^{-1} \tag{Gl. 22}$$

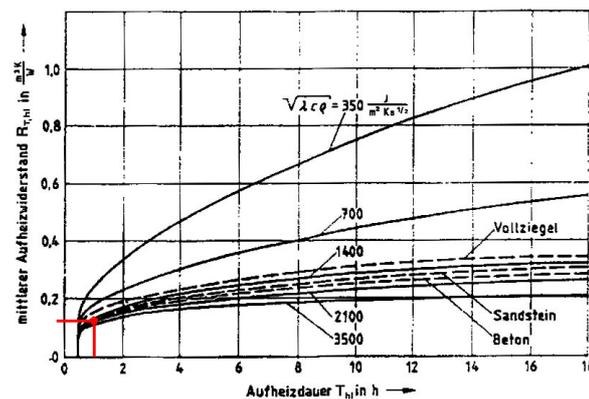


Abb. 48 Mittlerer Aufheizwiderstand R_{T,hl} in Abhängigkeit der Aufheizzeit T_{hl}¹⁸³

Die Aufheizleistung ist im wesentlichen vom Wärmeeindringverhalten der thermisch aktiven Materialschichten und dem anteiligen bauteilbezogenen Wärmeverlust abhängig. Dem trägt bereits die DIN 4701-2¹⁸³ Rechnung. Der dort vorgestellte Ansatz genügt völlig, um die Problematik mit ausreichender Genauigkeit abzuschätzen.

$$\dot{Q}_{h,instat} = \frac{A_w}{R_{T,hl}} \cdot \left(\vartheta_{S,i} \rightarrow 0 - \vartheta_{S,i} \rightarrow t \right) \tag{Gl.23}^{184}$$

¹⁸⁰ vgl. Norm-Außentemperatur für Magdeburg nach DIN E 4701-2:1985-08: Regeln für die Berechnung der Heizlast von Gebäuden, S. 11, Tabelle 1 ; zusätzlich Außentemperatur-Korrektur, Δϑ_a = 2 K (schwere Bauart),

vgl. Recknagel/ Sprenger/Schramek: Taschenbuch für Heizung und Klimatechnik 01/02, 2001, S. 922

¹⁸¹ vgl. Anhang A.2, Tabelle A.2-55

¹⁸² siehe Abb. 48

¹⁸³ vgl. DIN 4701-2:1983-03: Regeln für die Berechnung des Wärmebedarfs von Gebäuden, S. 19, Bild 7

¹⁸⁴ vgl. Gl. 18 bzw. Recknagel/ Sprenger/Schramek: Taschenbuch für Heizung und Klimatechnik 01/02, 2001, S. 1028

Bei einem Vergleich zwischen den Berechnungen bzw. Annahmen nach DIN 4701-2 und pr EN 12831 fällt Folgendes auf:

Aufheizleistung nach Wolff/Vorländer/Hahn bzw. pr EN 12831 (mit geschätztem natürlichen LW)

$$\begin{aligned}
 813 \text{ W}^{185} + 52 \%^{186} &= 1236 \text{ W} \\
 &- 198 \text{ W} (Q_{T,F}, \text{Tab. 10}) \\
 &- \underline{54 \text{ W}} (Q_{LW}, \text{Infiltrations-LW Tabelle A.1-20}) \\
 &984 \text{ W} \\
 &: 18.5 \text{ m}^2 \text{ (auf AW-Fläche bezogene Leistung)} \\
 &\underline{\underline{= 53.7 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ h})}}
 \end{aligned}$$

Mit dieser Leistung ist das Bauteil, selbst bei ca. 4 K Temperaturabsenkung, rechnerisch¹⁸⁷ binnen 1 Stunde auf Ausgangsniveau *zurückgeheizt*.

Aufheizleistung nach Wolff/Vorländer/Hahn bzw. pr EN 12831 (geschätzter Gesamt-LW $n = 0.6 \text{ h}^{-1}$)

$$\begin{aligned}
 813 \text{ W} + 52 \% &= 1236 \text{ W} \\
 &- 198 \text{ W} (Q_{T,F}, \text{Tab. 10}) \\
 &- \underline{327 \text{ W}} (Q_{LW}, \text{Tab. 10}) \\
 &711 \text{ W} \\
 &: 18.5 \text{ m}^2 \text{ (auf AW-Fläche bezogene Leistung)} \\
 &\underline{\underline{= 38.4 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ h})}}
 \end{aligned}$$

Zuschlag nach DIN 4701-2

Aus Abb. 48 ergibt sich für den Kalksandstein (Rohdichte = $2200 \text{ kg}/\text{m}^3$) und gewählte Aufheizzeit $T_{hl} = 1 \text{ h}$, ein $R_{T, hl} = 0.115$. Über Gleichung 23 lässt sich bei einer Temperaturabsenkung von 4 K daraus ein Aufheizzuschlag von $34.8 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ h})$ (AW) errechnen. Zusammen mit der stationären Heizleistung ($12.0 \text{ W}/\text{m}^2 \text{ AW}$) ergibt sich eine Aufheizleistung von $46.8 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ h})$ (AW).

Die Datenwerte könnten in weiteren Varianten derart be- bzw. verrechnet werden, bis sich u.U. herausstellt, dass sich die Ergebnisse bei Berücksichtigung der Außentemperatur-Korrektur (2 K) einander annähern?!

Alles ist (erneut¹⁸⁸) nur eine Frage der Randbedingungen¹⁸⁹ u. ¹⁹⁰. Welche Wärmeverluste kommen für derartige Berechnungen zum Ansatz?

Fällt die Wahl auf die stationäre Heizlast (berechnet für winterliche Extrembedingungen), liegt das Ergebnis auf der sicheren Seite. In diesem Fall ist die Anlage überbemessen. Wird auf eine ähnlich kritische Art und Weise die VDI E 6030¹⁹¹ betrachtet¹⁹² (entspricht einer Art *Behaglichkeitsüberdimensionierung* von Heizflächen), so lassen sich für die Wahl der Randbedingungen zwei wichtige Feststellungen treffen:

¹⁸⁵ vgl. Tab. 10

¹⁸⁶ vgl. Abb. 46, Auswertung der Abbildung (rote Linien) über Raumseitenverhältnis und auf A_N bezogene stationäre Heizlast ($40.6 \text{ W}/\text{m}^2$)

¹⁸⁷ Diese Aussage ist mit DynaTherm leicht zu überprüfen und wird deshalb nicht gesondert berechnet/aufgeführt.

¹⁸⁸ vgl. S. 66 ff.

¹⁸⁹ Welcher Nutzer lüftet beim Anheizen oder die ganze Nacht, wenn die Außenlufttemperatur -14 °C beträgt?

¹⁹⁰ vgl. Anhang A.1, S. A.1-32 f.

¹⁹¹ VDI E 6030 Blatt 1 1999: Auslegung von freien Heizflächen, Grundlagen und Auslegung von Raumheizkörpern

¹⁹² Die Betrachtung muss/soll nicht vertieft werden, da die resümierenden Aussagen zur pr EN 12831 in wesentlichen Punkten auch für eine Interpretation der VDI E 6030 gültig sind.

- 1.) Derartige Betrachtungen müssen mit durchschnittlichen Klimaverhältnissen¹⁹³ der Heizperiode und nicht mit winterlichen Extrembedingungen durchgeführt/simuliert werden.
- 2.) Werden die zur Deckung von Behaglichkeitsdefiziten durchgeführten Berechnungen nicht mit realitätsnahen Randbedingungen/Modellen durchgeführt, verfehlt die Bemessung u.U. die angestrebten Ziele (energieeffiziente Behaglichkeit herstellen). Diese Bemerkung bezieht sich auch oder gerade auf die abzuwägende thermodynamische Leistungsfähigkeit (passives Regelglied) des Gebäudes / der betrachteten Zone. Sind bspw. die unter Fenstern angeordneten (ausgelegt bzw. bemessenen) Heizkörper nicht zusätzlich gesondert/speziell geregelt, ist bei Fremdwärmeanfall ein Fehlverhalten nicht wirkungsvoll auszuschließen. Damit entfällt u.U. die gedachte Kompensationswirkung einer speziell optimierten Wärmeübergabe-Heizlast. Das Fenster spielt deshalb eine weitere¹⁹⁴, nicht zu vernachlässigende Rolle bei der thermodynamischen Überprüfung des Raumklimas.

Diese Feststellungen bzw. kritischen Bemerkungen werden durch den Umstand gestützt, dass die Heizpause u.U. nur sehr wenig¹⁹⁵ u. ¹⁹⁶ Heizenergie einsparen hilft. Demgegenüber stehen 50 % bis 300 % (und mehr) überdimensionierte Anlagen. Neben höheren Anschaffungskosten (größere Heizflächen, großzügigere Rohrnetze, größere Pumpen etc.) produzieren diese auch höhere Betriebskosten (bspw. gesteigerter Hilfsenergieverbrauch). Hinzu kommt, dass eine Überdimensionierung u.U. die Regelbarkeit des Systems verschlechtert.

Derartige Kriterien lassen sich nur angemessen über eine ökologische Betrachtung auswerten. Neben der Kritik, die sicher gegenüber Heizpausen angebracht und richtig ist, müssen auch befürwortende Argumente angesprochen werden. So ist u.a. noch nicht geklärt, inwieweit eine Heizpause den Fremdwärmeausnutzungsgrad verbessern kann.

Zwei Varianten¹⁹⁷ kommen in Frage:

- das trägheitsarme Gesamtsystem (leichte Bauweise, flinke Heiz-Anlage u.ä.) → Problematik von Regelung und sommerlichem Wärmeschutz
- das Selbstregelkonzept (träges Gesamtsystem, große Zeitkonstante für Zone und Anlage) → Überprüfung der Notwendigkeit einer Heizpause (Bewirtschaftung der wirksamen Wärmespeicherkapazität)

In Anlehnung an die Beurteilungsgröße Heizgrenztemperatur könnte zur Überprüfung/Optimierung¹⁹⁸ von NAS/NAT eine *Heizpausengrenztemperatur* eingeführt werden.

¹⁹³ vgl. Schmid: Heizungs- und Lüftungstechnik, 1993, S. 70

¹⁹⁴ bspw. Ermittlung des zusätzlichen Verlustwärmeanteils zur Kalkulation des Aufheiz- und Auskühlverhaltens ; Überprüfung des sommerlichen Wärmeschutzes bzw. evt. Verschattungsmaßnahmen ; (natürliche Beleuchtung des Raumes) ...

¹⁹⁵ Bei NEH in leichter Bauweise und bei 8 h Heizpause können max. 3 % des jährlichen Heizenergiebedarfes eingespart werden. vgl. Recknagel/ Sprenger/Schramek: Taschenbuch für Heizung und Klimatechnik 01/02, 2001, S. 1054, Bild 2.6.5-1 bzw. S. 1058, Tafel 2.6.7-1

¹⁹⁶ u.U. bzw. abhängig von der Art der HF und der Regelung sind es sogar weniger als 3 % Einsparung. vgl. Dipper: Methode zur Berechnung und Bewertung des Energieaufwandes von Einzelheizgeräten mit gekoppelter Betriebssimulation von Gebäude und Anlage(MELISSA), 2001, S. 65

¹⁹⁷ kein Anspruch auf Vollständigkeit, viele Kombinationen denkbar

¹⁹⁸ bspw. Start/Stop-Optimierung (selbstlernende Regelung), vgl. Schmid: Heizungs- und Lüftungstechnik, 1993, S. 90

5. Zusammenfassung und Ausblick

Die Zusammenfassung einer Synopse ist keine leichte Aufgabe. Es wird sich deshalb auf das Resümee (wichtiger) in der Arbeit aufgeworfener Fragen beschränkt.

Inwieweit liegt es im Verantwortungsbereich des Bauingenieurs, ökologisch nachhaltig zu planen?

„Ökologisches Bauen berührt neben den technischen Anforderungen einen weiten Teil gesellschaftswissenschaftlicher Disziplinen.“¹ Einzelne Bauthemen können nur isoliert/verallgemeinert betrachtet werden, wenn sie aus der Gesamtdarstellung des Bauens hervor gehen. Bei einer ganzheitlich-ökologischen Betrachtungsweise bildet die Ökologie das Bindeglied bzw. die Basis der einzelnen Fachgebiete. Es ist deshalb schwierig bis unmöglich ökologisches Bauen neutral und umfassend/angemessen zu beurteilen oder sogar planerisch umzusetzen.

Wird bei zukünftigen gesamtökologischen Bewertungen von Gebäuden der Betrachtungsschwerpunkt ausschließlich auf das Thema CO₂ gelegt, so kann dies zu folgenschweren Fehl-optimierungen führen. Nach heutiger bauwirtschaftlicher Sicht amortisieren sich zwar Materialien und Maßnahmen über ihre Nutzungsdauer, dies aber nur theoretisch bzw. rechnerisch, weil das umweltschädigende Potential noch nicht umfassend und konsequent bilanziert wird (LCA). [Beispiel WDVS und Algenwachstum bzw. Vergrauung der Fassaden]

An einem abschließenden Beispiel soll versucht werden diese Behauptung zu erhärten und damit die Verantwortung des Bauingenieurs der Umwelt gegenüber aufzuzeigen.

Beim 100 Prozent Solarhaus in Oberburg/Schweiz (seit Ende 1989 bewohnt) ist der Übergang zwischen Gebäude und (Wohn-)Maschine fließend.



Abb. 49 100-Prozent Solarhaus „Jenni“²

- Haus mit einem gemessenen jährlichen Heiz-Energieverbrauch von ca. 3000 kW, **berechnet** wurde ein Heiz-Energiebedarf von 5900 kWh/a für 130 m² Wohnfläche!?
- 43 m² Solarzellen, 48 kWh Batterie-Speicher und damit die Möglichkeit (netzfrier) autonomer Stromversorgung
- 84 m² Sonnenkollektoren
- 118000 Liter Wasserspeicher (schätzungsweise 3 bis 4 fach überdimensioniert)
- Kosten für Heiztechnik ca. 163000 Euro

Der Aufwand an Herstellungs- bzw. grauer Energie für Kollektoranlage und Wasserspeicher (bauliche Maßnahmen eingeschlossen) liegt bei 178383 kWh. Dem steht eine effektive Energieeinsparung von 6875 kWh/a gegenüber. Die Energetische Rückzahldauer [ERZ] liegt somit bei 25.7 Jahren. Soll die Schadstoffbelastung der Luft über eingesparte fossile Energie *zurückgezahlt* [LRZ] werden, so müsste die gesamte Solaranlage dafür 172 Jahre in Betrieb sein. „Als Wasserrückzahldauer wurde ein Wert von WRZ = 1332 Jahren ermittelt und für die Abfall-

¹ Schulze Darup: Bauökologie, 1996, S. 419

² vgl. Jenni: Sonnenenergieanlagen mit hohem solarem Deckungsgrad für Warmwasser und Heizung, 1996, S. 5

Rückzahl-dauer .. der .. Wert von 30918 Jahren.“³

Obwohl der Autor methodische Unsicherheiten einräumt, zeigen diese Zahlen eine deutliche Tendenz, was die Notwendigkeit gesamtökologischer Beurteilungen anbelangt. Was dieser Pionierleistung solaren Bauens mit heutiger Wärmebedarfsberechnung an Überdimensionierung erspart geblieben wäre, könnte nur unzureichend abgeschätzt werden.

Welche theoretisch-relevanten Auslegungs- bzw. Abstimmungskriterien existieren zwischen Heizanlagentechnik und Gebäude?

Die *Grauzone*, die Bauingenieur und Architekt vom HLK-Planer trennt, ist das Unvermögen die thermodynamische Leistungsfähigkeit des eigenen Gebäudeentwurfs hinreichend genau abzuschätzen. Das Problem kann auch mit integraler Planung nur gemildert und nicht beseitigt werden. Das (Wohn-)Gebäude ist immer der *Wirt*, die Technik “nur“ der *Symbiont*. Eine strikte Abgrenzung zwischen einer Regel- und einer Kapazitätsproblematik hilft den nötigen Restenergiebedarf für die Anlagentechnik zu ermitteln/optimieren. Dabei spielt eine fehlerhafte Interpretation des Kompensationsgedanken der EnEV u.U das Gebäude gegen die Anlagentechnik aus (umgekehrter Fall ist je nach Betrachterstandpunkt denkbar). Als negatives Beispiel kann der übertriebene bauliche Wärmeschutz, der u.U. zusätzliche/unnötige Anlagentechnik forciert, genannt werden. Zukünftig wird der Stellenwert der Gesamt-leistungsfähigkeit Gebäude + TGA zunehmen müssen. Die Interaktion spielt neben der Qualität der Komponenten die wesentliche(re) Rolle. Dieses Interagieren lässt sich (nahezu) umfassend über 5 allgemeine Eigenschaftswörter definieren:

- nutzer-/nutzungsgerecht im Sinne von Gesundheit/Hygiene, Behaglichkeit, Komfort (Luxus)
- ökologisch im Sinne von ganzheitlich-umweltgerecht, was eine Energieeffizienz impliziert (inkl. aktive und passive Gewinnung/Nutzung erneuerbarer Energien)
- nachhaltig im Sinne von langlebig und robust
- einfach im Sinne des KISS-Prinzips
- unsensibel im Sinne von verzeihend bzw. fehlertolerant (stabil)

Der Mensch muss dabei im Mittelpunkt gesehen, aber auch gesucht werden. Zukünftige Gebäude und Anlagentechnik erfordern einen immer sensibleren Umgang durch den Benutzer. Dies setzt zu einem großen Teil genaue Kenntnis bzw. Einweisung und Verständnis bauphysikalischer und baukonstruktiver Zusammenhänge voraus, die vom Nutzer weder erwartet noch ihm in dem Maße zugemutet werden können. So werden moderne Gebäude bald nicht mehr ohne mechanisch-elektrische regulierende *Krücken* (be-)stehen bzw. funktionieren.

Wesentliche Punkte/Bereiche zur Erarbeitung eines Energiekonzeptes:

| Allgemein: | Speziell: |
|---|--|
| <ul style="list-style-type: none"> ▪ Bauklimatologie ▪ Bau- bzw. Psychophysik ▪ ökologisch nachhaltige integrale Planung | <ul style="list-style-type: none"> ▪ Gebäudegeometrie (Grundrissaufteilung, Raumzuordnung, Zonierung, A/V_e ↔ EGZ → Rolle transparenter Bauteile) ▪ Gebäudeausrichtung ▪ optimierter Wärmeschutz ↔ passive Gewinnung/Nutzung von Umweltenergien über thermisch wirksame Bauteilmassen ▪ aktive Gewinnung/Nutzung erneuerbarer Energien |

³ Ladener: Solaranlagen, 1993, S. 181

„Das Gebäude als Speicher ist das verknüpfende Element der dynamischen Einflüsse“⁴.

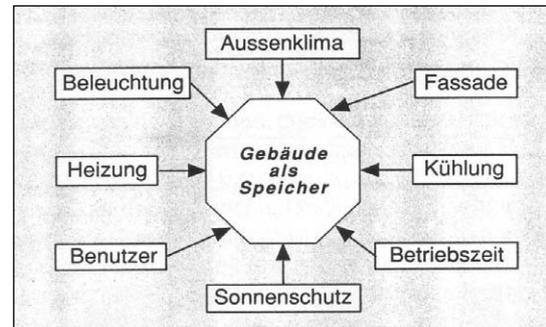


Abb. 50 Gebäude als Speicher⁴

Wichtig ist die Überprüfung einer gewissen Flexibilität nach Sicherstellung eines definierten Grundzustandes. Speziell für die Heizpause bedeutet das, zu überprüfen, was bspw. mit einer normalen rechnerischen Überbemessung (Norm-Heizlast) abgedeckt werden kann. Ist dann eine Grenztemperaturabsenkung ermittelt, gilt diese für eine entsprechende Verlustwärmeleistung. Diese ist wiederum äußeren klimatischen Bedingungen zugeordnet (Heizpausengrenztemperatur). Damit sollte es möglich sein die Heizanlage schätzungsweise vor-/überwiegend in der Übergangszeit für NAS und NAT effizienter zu regeln. Hierbei muss zusätzlich auf den Fremdwärmeausnutzungsgrad und eine zielgerichtete Bewirtschaftung speicheraktiver Bauteilmassen verwiesen werden.

- Wärmespeicherung bzw. Pufferung ↔ Leistungsfähigkeit (Nutzenübergabequantität und -qualität)
- Überdenken einer raumabschnittweisen Zonierung ↔ ausgewogenes Verhältnis radiativer und konvektiver Wärmeübergabe

Die zur Berechnung derartiger Probleme nötigen Randbedingungen müssen immer sorgfältiger ausgewählt werden, da das Vermeidungspotential (bspw. Vermeidung von Endenergieeinsatz) immer größer, die reale Einsparung aber immer kleiner wird.

Rückblickend auf die Fragen von Keller und Magyari⁵ lässt sich folgende Feststellung treffen:

Das thermische Verhalten eines Gebäudes muss auf wesentliche, nachvollziehbare Parameter/Zusammenhänge reduziert werden, damit sich der Planende wieder etwas darunter vorstellen kann.

Es müssen eindeutige Grenzwertfälle dahin gehend definiert werden, ab welchem Punkt ein entsprechender Technikeinsatz bzw. eine Leistungssteigerung nötig/unvermeidlich sind. Hierbei können Faustformeln sowie Nomogramme gute Hilfsmittel sein, um auf komplexe dynamische bzw. instationäre Berechnungen zu verzichten.

Wichtige Faktoren:

- Zusammenspiel von TGA und Gebäude, um eine Minimierung der Restenergie zu erreichen
- Raumgeometrie bzw. Lage zu Umwelteinflüssen
- an- und abgekoppelte Bauteilmassen bzw. Anteil speicherloser Bauteile mit vergleichsweise relativ niedrigen U-Werten
- bezogener Wärmeverlust- bzw. Gewinnkoeffizient in Verbindung mit Fensteroptimierung und Wahl/Überprüfung der Lüftungsstrategie

⁴ Lüftungsfirmen (VSHL): Zeitgemässe Lüftungssysteme, 1994, S. 11, Figur 3.7

⁵ vgl. Kapitel 3, S. 56

Da das Zusammenspiel von Gebäude und Anlagentechnik hier ausschlaggebend sein dürfte, wird mit den folgenden Anmerkungen versucht eine Abgrenzung Baukonstruktion ↔ Technik zu finden bzw. zu formulieren.

Überwiegend konstruktive Lösungen mit mehr oder weniger ausgeprägter Unterstützung durch die Gebäudetechnik:

- ◆ Gebäudehülle sehr leicht bzw. hochgedämmt, wenig speichernd und kaum tragfähig (nur Eigenlast) in Kombination mit massiven, unverkleideten bzw. speicherwirksamen Innenbauteilen als Tragskelett

Beispiel: Schottenbauweise

Probleme: Nur indirekt wirksame Speichermasse zur Dämpfung des Außenklimas (abgekoppelte bzw. überwiegend vom Innenklima abhängige Speicherkapazität). Lufttemperatur muss sich erst ändern, damit Speicherfähigkeit wirksam wird. Der Kunstlichteinsatz ist gesondert zu prüfen.

Beschreibung: Relativ stabiles Raumklima im Sommer möglich, wenn die Fensterflächen bzw. deren (automatische) Verschattung optimal ausgelegt, innere Speichermassen geeignet und in ausreichendem Maße (Bauteilkonditionierung) bewirtschaftet werden (bspw. Abführen der Fremdwärme über intensive (Nacht-)Lüftung)).

Merkmal: Vermehrter Einsatz von entsprechender Gebäudetechnik ist relativ unproblematisch vermeidbar (normale, für Wohngebäude typische Fremdlasten bzw. für Deutschland übliche normale meteorologische Randbedingungen). Fremdlasten bzw. Lastspitzen sind über genügend-dimensionierte äußerer Verschattung (ohne dabei unbedingt auf Kunstlicht zurückgreifen zu müssen) und über intensive (Nacht-)Lüftung, ggf. auch Lüftung über (Erd-)Wärmetauscher (Bewirtschaftung der wirksamen Speichermasse), noch relativ gut handhabbar.

- ◆ Gebäudehülle relativ leicht aber tragfähig und gut bis hoch gedämmt, Innenbauteile leicht und wenig speichernd, ggf. auch tragfähig

Beispiele: Heute üblicher Standard-Dachgeschossausbau, auch einige Fertigteilhaustypen

Probleme: Die Speicherkapazität wird in überwiegendem Maße von unverkleideten Massivdecken, vom Ausbau, von der Möblierung bzw. auch von der Art der Heizflächen (bspw. sehr träge integrierte Flächenheizungen) bestimmt.

Beschreibung: Bei heute üblichen Standard-U-Werten der Gebäudehülle (0.25 bis 0.35 W/(m² K)), normaler Fenstergröße ohne automatische/ausreichende Verschattung und fehlendem Lüftungskonzept, sehr temperaturlabiles Raumklima (sogenanntes Barackenklima), das im Sommer ohne Verschattung und/oder Kühlung (ggf. auch Lüftung) schnell dem Außenklima bzw. dem Fremdwärmeeinfluss folgt. Räume heizen sich rasch auf, kühlen aber auch genauso schnell (über die Nachtstunden) wieder aus.

Merkmal: Der Einsatz von Kühl- und Lüftungstechnik lässt sich kaum mehr vermeiden. Lastspitzen sind nahezu ausschließlich über die Technik zu glätten. Gebäude eignen sich eher für nördlichere bzw. kalte Klimate, da hier auf die technische Kühlung verzichtet werden kann (winterlicher Wärmeschutz überwiegt).

- ◆ Gebäudehülle normalgedämmt (heute üblicher Dämmstandard) und trag- bzw. speicherfähig, in Kombination mit normal schweren Innenwänden, Speichermasse gut verteilt.

Beispiel: Haustypen mit relativ schweren tragenden Innenwänden sowie schwerer Tragschale mit Vollwärmeschutz.

Beschreibung: Sehr träges Auskühl- und Aufheizverhalten, das System ist schlecht regelbar (im Sommer bspw. durch (Nacht-)Lüftung mit teilweise hohen Luftgeschwindigkeiten oder Bauteilaktivierung zu bewirtschaften, weil vernachlässigbar kleine Transmissionswärmeverluste durch die Außenbauteile, aber demgegenüber relativ hohe Fremdwärme-gewinne bzw. Fremdlasten).

Überwiegend technische Lösung mit kaum vorhandener bzw. vernachlässigbarer Unterstützung durch die Baukonstruktion (diverse Variationsmöglichkeiten denkbar):

- ◆ Relativ variabler Trägheit der Innen- oder Außenbauteile bzw. mittels Technik nahezu frei bestimmbares Raumklima.

Beispiele: Bauteilkonditionierung bzw. Bauteilaktivierung oft in Kombination mit Quelllüftung und/oder Erdwärmetauscher und/oder Kombination mit einer Wärmepumpe.

Probleme: Anlagenkosten (Bau, Betrieb, Instandhaltung, Entsorgung etc.), Elektroenergieverbrauch für Lüfter oder Pumpen, Anlagenlebensdauer muss teilweise auf Gebäudelebensdauer ausgelegt werden, wenn System und Bauwerk untrennbar verbunden sind (integrierte Heiz- und/oder Kühlflächen). Versagt die Gebäudetechnik, versagt auch das ganze System.

Beschreibung: Raumklima richtet sich überwiegend nach der Qualität, Abstimmung und Regelung der Gebäudetechnik (nach technischen Parametern) und dem Nutzer (kein systemwidriges Verhalten).

Was kann von zukünftigen Anlagentechniken und Bauteilkonstruktionen erwartet werden?

Gebäude und Anlagentechnik müssen zukünftig immer optimaler harmonieren. Die Schwäche der einen Komponente sollte die andere zu einem Gesamtvorteil verwandeln können (Symbiose). Hierzu kann die Interaktion quasi selbstregulierend ablaufen. Das unbewusste Unterlassen bzw. falsche/fehlerhafte Eingreifen des Nutzers darf nicht zum Systemversagen führen. Um dieses Ziel wirkungsvoll, ökologisch effizient und nachhaltig zu erreichen, muss sich autochthoner Bauweise rückbesonnen werden. Diese sind u.U. bspw. durch die Bionik⁶ neu zu interpretieren. Dabei kann als allgemeingültiger Grundsatz lauten, dass eine Handeln gegen die Natur(-gesetze) immer einen Energiemehrverbrauch nach sich zieht.

⁶ vgl. phänotyp AG: <http://www.beyond-design.de/>

Literaturverzeichnis

Bücher/Sonderdrucke/VL-Skripte/Diplomarbeiten/Dissertationen

ADNR, Arbeitsgemeinschaft für Dämmstoffe aus nachwachsenden Rohstoffen e.V.:

Technische Daten zu Dämmstoffen aus nachwachsenden Rohstoffen, Eigendruck, Bonn

ADNR, Arbeitsgemeinschaft für Dämmstoffe aus nachwachsenden Rohstoffen e.V.:

Chancen und Risiken von Dämmstoffen aus nachwachsenden Rohstoffen, Eigendruck, Bonn

Ausschuss Normenpraxis im DIN Deutsches Institut für Normung e.V. (Hrsg.): TGL-DIN, DIN-TGL, 1. Aufl., Beuth Verlag, Berlin, Köln, 1992, ISBN 3-410-12776-3

Bangerter, Heinz: Kennziffern zur Auskühlung und Wärmespeicherung von mehrschichtigen Baukonstruktionen, 1. Aufl., Weder + Bangerter AG, Kloten-Zürich-Wädenswil, 1994, ISBN 3-9520291-1-4

Bartussek/Hausleitner: Das Solporsystem – Solare Porenwände: Luftdurchlässige Wände zur Belüftung von Aufenthaltsräumen mit Sonnenenergienutzung, Österreichisches Kuratorium für Landtechnik, A-1041 Wien, April 1985, ISBN 3-900534-02-0

Bartussek, Helmut: Porenlüftung, Österreichisches Kuratorium für Landtechnik, A-1041 Wien, 1981

Bauakademie der DDR (Hrsg.): Wärmeschutzoptimierung mit Porenlüftung, 1. Aufl., Bauinformation, Berlin, 1980, ISBN 3-7441-0021-9

Baumgarth/Hörner/Reeker (Hrsg.): Handbuch der Klimatechnik, Band 1: Grundlagen, 4. völlig neubearb. Aufl., C.F. Müller Verlag, Heidelberg, 2000, ISBN 3-7880-7577-5

Bednar, Thomas: Beurteilung des feuchte- und wärmetechnischen Verhaltens von Bauteilen und Gebäuden, Weiterentwicklung der Meß- und Rechenverfahren, Dissertation, Institut für Baustofflehre, Bauphysik und Brandschutz der Technischen Universität Wien, Fakultät für Bauingenieurwesen, Wien 2000,

http://www.bph.tuwien.ac.at/d/bph/publikationen/Diss_Bednar.PDF

Berg, Tilmann: Bestimmung der Wärmeverluste durch einschichtige Wandkonstruktionen bei nachträglicher Anordnung reflektierender Schichten im Bereich hinterlüfteter Bekleidung – Diplomarbeit, Technische Universität Berlin, Fachgebiet Allgemeiner Ingenieurbau, April 2002

Berner/Streif (Hrsg.): Klimafakten: Der Rückblick – Ein Schlüssel für die Zukunft, 2. verbesserte Aufl., E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart, 2000, ISBN 3-510-95876-4

Brockhaus: Der Sprach-Brockhaus, Deutsches Bildwörterbuch für jedermann, 5. verbesserte Aufl., F.A. Brockhaus, Leipzig, 1949

Bundesamt für Energiewirtschaft (BEW) und Verband Schweizerischer Heizungs- und Lüftungsfirmer (VSHL) (Hrsg.): Zeitgemäße Lüftungssysteme – Aktuelles Wissen und Leitfaden für die Projektierung bei Dienstleistungsgebäude, 1. Aufl., VSHL/ BEW, CH-8024 Zürich, 1994

Bundesministerium für Raumordnung, Bauwesen und Städtebau (Hrsg.): Dritter Bericht über Schäden an Gebäuden, Bonn, 1996, <http://www.aibau.de/forschb.htm#3.Bauschbericht>

Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen (BMVBW) (Hrsg.): Leitfaden Nachhaltiges Bauen, 2001, <http://www.bmvbw.de/Leitfaden-nachhaltiges-Bauen-.565.htm>

Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi): Energie-Effizienz-Indikatoren: Statistische Grundlagen, theoretische Fundierung und Orientierungsbasis für die politische Praxis, Kurzfassung des Abschlussberichtes, Nr. 456

Bundesverband der Deutschen Ziegelindustrie e.V. und Arbeitsgemeinschaft Mauerziegel e.V.: Baulicher Wärmeschutz – Erläuterungen zur Wärmeschutzverordnung, Ausg. 08/1994, Ziegel Information GmbH, Bonn, 1994

- Cammerer, Walter F.:** Wärme- und Kälteschutz im Bauwesen und in der Industrie, 5., völlig neubearbeitete und erweiterte Auflage, Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, 1995, ISBN 3-540-57426-3
- Clemens Joachim:** Entwicklung eines einfachen Modells zur Abschätzung der sommerlichen Überwärmung in Gebäuden, Diplomarbeit, Universität - Gesamthochschule Siegen Fachbereich Physik, Mai 2000
- Connemann/Steiff/Weinspach (Bearbeiter):** Einfluß der Wärmespeicherfähigkeit auf den Energieverbrauch ganzer Gebäude, Vorstudie, Dortmund, Oktober 1981
- Danner/Dassler/Krause (Hrsg.):** Die klima-aktive Fassade, Verlagsanstalt Alexander Koch GmbH, Leinfelden-Echterdingen, 1999, ISBN 3-87422-635-2
- dena (Hrsg.):** Aus Sicht der Macher: Die neue Energieeinsparverordnung (EnEV)-Veranstaltungsprogramm, Deutsche Energie Agentur, Leipzig, Juni 2001
- Diel/Feist/Linden (Hrsg.):** Ökologisches Bauen und Sanieren, C.F. Müller Verlag, Heidelberg, 1998, ISBN 3-7880-9901-1
- Dipper, Jörg:** Methode zur Berechnung und Bewertung des Energieaufwandes von Einzelheizgeräten mit gekoppelter Betriebssimulation von Gebäude und Anlage(MELISSA), AiF-Forschungsvorhaben-Nr. 12233 N - Abschlussbericht für die Zeit vom 1.12.1999 bis 31.11.2001, November 2001
- Deutsches Institut für Normung e.V. (Hrsg.):** Bauplanung: Normen, 7. Aufl. Beuth Verlag, Berlin, Köln, 1990, ISBN 3-410-12512-4
- dilesgo* (Hrsg.):** Das Handbuch der innovativen Haustechnik, 1. Aufl., Wirtschafts- und Verlagsgesellschaft Gas und Wasser mbH, Bonn, Mai 2000, ISBN 3-89554-120-6
- Ebinghaus, Hugo:** Der Hochbau, Heinrich Killinger Verlagsgesellschaft m.b.H., Nordhausen am Harz, 1936
- Eichler, Friedrich:** Bauphysikalische Entwurfslehre, Band 1: Berechnungsverfahren, 2.verbesserte Aufl., VEB Verlag für Bauwesen, Berlin, 1968
- Eichler/Arndt:** Bautechnischer Wärme- und Feuchtigkeitsschutz, 2. Aufl., VEB Verlag für Bauwesen, Berlin, 1989, ISBN 3-345-00198-5
- Eicker, Ursula:** Solare Technologien für Gebäude, 1. Auflage, Teubner Verlag, Stuttgart, Leipzig, Wiesbaden, 2001, ISBN 3-519-05057-9
- EMPA-Akademie (Hrsg.):** Untersuchung thermischer, hygrischer und mechanischer Eigenschaften von diversen Lehmprüfkörper (EMPA Nr. 147 041), Empa-Akademie, CH-8600 Dübendorf, Juni 1994
- EMPA-Akademie (Hrsg.):** Die Gebäudehülle – Konstruktive, bauphysikalische und umweltrelevante Aspekte, Fraunhofer IRB Verlag, CH-3661 Dübendorf, 2000, ISBN 3-8167-4724-8
- Energieeinsparung in Schulen in NRW:** Unterrichts- und Projektmaterialien, <http://www.uni-mainz.de/~necos/espnrw/>
- Feist, Wolfgang (Hrsg.):** Das Niedrigenergiehaus – Neuer Standard für energiebewusstes Bauen, 5. Aufl., C.F. Müller Verlag, Heidelberg, 1998, ISBN 3-7880-7638-0
- Fisch, Norbert Manfred:** Wärmespeicher, 2. Aufl., TÜV Rheinland Verlag, Köln, 1992, ISBN 3-88585-798-7
- Frick/Knöll/Neumann/Weinbrenner:** Baukonstruktionslehre Teil 1, 30. neubearb. und erw. Aufl., Teubner Verlag, Stuttgart, 1992, ISBN 3-519-15250-9
- Gesamtverband Dämmstoffindustrie GDI (Hrsg.):** Dämmstoffe für den baulichen Wärmeschutz – Übersicht über genormte Stoffe, Passavia Druckservice, Passau, Hamburg, 1999
- Glück, Bernd:** Strahlungsheizung, Theorie und Praxis, VEB Verlag für Bauwesen, Berlin, 1981
-

Goldstein, Bruce E.: Wahrnehmungspsychologie – Eine Einführung, Spektrum Akademischer Verlag GmbH, Heidelberg, Berlin, Oxford, 1997, ISBN 3-8274-0094-5 (Gb.)

Golm, Werner: Wissenspeicher Formeln, Werte: Eine Formelsammlung mit Lösungsbeispielen und Wertetabelle aus Mathematik, Physik, Astronomie und Chemie, 5. stark bearb. Aufl., Volk und Wissen, Berlin, 1991, ISBN 3-06-001733-6

Gösele/Schüle/Künzel: Schall, Wärme, Feuchte – Grundlagen, neue Erkenntnisse und Ausführungshinweise für den Hochbau, 10. Aufl., Bauverlag, Wiesbaden, Berlin, 1997, ISBN 3-7625-3292-3

Grehn, Joachim (Hrsg.): Metzler - Physik für den kursorientierten Unterricht an der gymnasialen Oberstufe, J.B. Metzlersche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart, 1980, ISBN 3-476-50043-8

Grigull, Ulrich (Hrsg.): Wärme- und Stoffübertragung – Wärmeübertragung durch Strahlung – Teil 1: Grundlagen und Materialeigenschaften, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, 1988 ISBN 3-540-18496-1

Grigull, Ulrich (Hrsg.): Wärme- und Stoffübertragung – Wärmeübertragung durch Strahlung – Teil 3: Strahlungsübergang in absorbierenden, emittierenden und streuenden Medien, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 1993, ISBN 3-540-55082-8

Grigull/Sandner: Wärmeleitung, 2. Aufl., Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, 1990, ISBN 3-540-52315-4

Gröber/Erk/Grigull: Die Grundgesetze der Wärmeübertragung, 3. völlig neu bearbeitete Auflage, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 1988, ISBN 3-540-02982-6

Hartmann, Peter: Begriffe der Lüftungstechnik – Forschungsprogramm Energierrelevanter Luftströmungen in Gebäuden, 1. Aufl., Bundesamt für Energiewirtschaft (BEW) und Verband Schweizerischer Heizungs- und Lüftungsfirmen (VSHL), CH-8024 Zürich, 1994

Hauri, Hans H.: Praktische Berechnung des instationären Wärmeflusses durch ein- und mehrschichtige Wände, 2. erweiterte Aufl., Institut für Hochbautechnik, ETH Zürich, 1977/83

Hauri/Zürcher: Moderne Bauphysik – Grundwissen für Architekten und Bauingenieure, 3. korrigierte und ergänzte Aufl., Verlag der Fachvereine an den Schweizerischen Hochschulen und Techniken, Zürich, 1987, ISBN 3-7281-1474-X

Hauser, Gerd: Vorlesungsskript Bauphysik I, Bauphysikalische Grundlagen Wärmelehre, Universität Gesamthochschule Kassel, Fachgebiet Bauphysik, 2001, http://www.bpy.uni-kassel.de/de/lehre/Skript_Waermelehre_Okt2001.pdf

Hauser, Gerd: Vorlesungsskript Bauphysik I und II, Bauphysikalische Grundlagen Feuchtelehre, Universität Gesamthochschule Kassel, Fachgebiet Bauphysik, 2001, http://www.bpy.uni-kassel.de/de/lehre/Skript_Feuchtelehre_Okt2001.pdf

Hausladen, Gerhard: (Vorlesungs-)Skript Heiztechnik, Universität Gesamthochschule Kassel, Fachgebiet Technische Gebäudeausrüstung, 1998, <http://www.tga.uni-kassel.de/studium/heiztechnik.pdf>

Hegner, Hans-Dieter: Die neue Energieeinsparverordnung – Inhalte und Chancen für modernes Bauen **IN:** dena (Hrsg.): Aus Sicht der Macher: Die neue Energieeinsparverordnung /EnEV)- Veranstaltungsprogramm, Deutsche Energie Agentur, Leipzig, Juni 2001

Heinz, Ehrenfried: Kontrollierte Wohnungslüftung, 1. Auflage, Verlag Bauwesen, Berlin, 2000, ISBN 3-345-00648-0

Hessisches Umweltministerium (Hrsg.): Heizenergie im Hochbau – Leitfaden für energiebewusste Gebäudeplanung, 6. überarb. Aufl., Elektra Druck, Niedernhausen, Februar 1999

Hiese, Wolfram (Hrsg.): Scholz - Baustoffkenntnis, 13. neubearb. und erw. Aufl., Werner Verlag, Düsseldorf, 1995, ISBN 3-8041-3451-3

Hilbig, Gerhard: Grundlagen der Bauphysik: Wärme-Feuchte-Schall, Fachbuchverlag Leipzig, München, Wien, 1999, ISBN 3-446-21245-0

Holm, Andreas H.: Bauphysik – Folien, Fraunhofer-Institut für Bauphysik, SS 2002
<http://www.bauphysik.de/lehre/fh-rosenheim/>

Holznagel, Matthias: Erarbeitung eines Rechenprogramms für den instationären Wärmetransport durch mehrschichtige Bauteile - unter Berücksichtigung der meteorologischen Einflüsse, Diplomarbeit, Fachhochschule für Wirtschaft und Technik Berlin, Fachbereich Bauingenieurwesen, 2000, <http://www.holznagels.de/DYNATHERM/download/dynatext.zip>

Informationszentrum Raum und Bau d. Fraunhofer Gesellschaft (Hrsg.): Speicherung der Sonnenenergie- Bauteile und Baukonstruktionen, 3. erw. Aufl., IRB-Verlag, Stuttgart, 1993, ISBN 3-8167-1695-4

Jenni, Josef: Sonnenenergieanlagen mit hohem solarem Deckungsgrad für Warmwasser und Heizung, 2. überarb. und erw. Aufl., Jenni Energietechnik AG, CH-3414 Oberburg, Oktober 1996, ISBN 3-906552-8-03-7

Karsten, Rudolf: Bauchemie: Handbuch für Studium und Praxis, 9. völlig überarb. und aktualisierte Aufl., Müller Verlag, Karlsruhe, 1992, ISBN 3-7880-7438-8

Kleespies/Huber: Wärmeschutz und Feuchteverhalten von Lehmbaustoffen – Abschlussbericht, Forschungsgruppe Lehm, Winterthur, Juli 1994

Köneke, Rolf: Schimmel und Feuchte im Haus – Ursachen + Folgen + Beseitigung, Eigendruck Rolf Köneke, Hamburg, 2001

König, Holger: Wege zum gesunden Bauen: Wohnphysiologie, Baustoffe, Baukonstruktionen, Normen und Preise, 9. völlig neu bearb. und erw. Aufl., ökobuch Verlag, Staufen bei Freiburg, 1997, ISBN 3-922964-16-8

Kümmel, J.: Ökobilanzen im Bauwesen - Die Bedeutung der funktionellen Einheit. Festschrift zum 60. Geburtstag von Prof. Reinhardt, Stuttgart, 1999, S. 192-203

Kümmel, Julian: Ökobilanzierung von Baustoffen am Beispiel von Konstruktionsleichtbeton, Dissertation, Institut für Werkstoffe im Bauwesen der Universität Stuttgart, Juni 2000, http://elib.uni-stuttgart.de/opus/volltexte/2000/704/pdf/Dissertation_Kuemmel.pdf

Ladener, Heinz (Hrsg.): Solaranlagen: Planung, Bau & Selbstbau von Solarsystemen zur Warmwasserbereitung und Raumheizung, 1. Aufl., ökobuch Verlag, Staufen bei Freiburg, 1993, ISBN 3-922964-54-0

Liersch, Günther: Untersuchung des Energietransportes in einer konvektiven hinterlüfteten transparenten Wärmedämmfassade, Fortschr.-Ber. VDI Reihe 4 Nr. 120,1 VDI-Verlag, Düsseldorf, 1993, ISBN 3-18-142004-2

Lohmeyer, Gottfried: Praktische Bauphysik: Eine Einführung mit Berechnungsbeispielen, 3. Neubearb. und erw. Aufl., Teubner Verlag, Stuttgart, 1995, ISBN 3-519-25013-6

Lützkendorf, Thomas: Bewertungsniveau, Energiepässe, Qualitätssicherung – Hinweise zur Umsetzung der Energieeinsparverordnung IN: dena (Hrsg.): Aus Sicht der Macher: Die neue Energieeinsparverordnung (EnEV)- Veranstaltungsprogramm, Deutsche Energie Agentur, Leipzig, Juni 2001

Meier, Claus: Richtig bauen – Bauphysik im Widerstreit-Probleme und Lösungen, expert verlag, Renningen-Malmsheim, 2002, ISBN 3-8169-1941-3

Meyer, Stefan: Wirkung eines hybriden Doppelfassadensystems auf die Energiebilanz und das Raumklima der dahinterliegenden Räume, genehmigte Dissertation, Cottbus, Mai 2001, http://www.ub.tu-cottbus.de/hss/diss/fak2/meyer_s/pdf/diss_meyer.pdf

Palm Hubert (Hrsg.): Das gesunde Haus: Das kranke Haus und seine Heilung, 10. Aufl., vollst. unveränd. Nachdr. der 9. Aufl., Ordo-Verlag, Kreuzlingen (Schweiz), 1992

Recknagel/Sprenger, Schramek (Hrsg.): Taschenbuch für Heizung und Klimatechnik 2000, 69. Auflage, Oldenbourg Verlag, 1999, ISBN 3-486-26215-7

- Recknagel/Sprenger, Schramek (Hrsg.):** Taschenbuch für Heizung und Klimatechnik 01/02, 70. Auflage, Oldenbourg Verlag, 2001, ISBN 3-486-26450-8
- Renz, Ulrich:** (VL-Skript) Vorlesung Wärme- und Stoffübertragung, Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule Aachen, Lehrstuhl für Wärmeübertragung und Klimatechnik, Ausgabe WS 2002/2003, http://www.wuek.rwth-aachen.de/de/Lehre/WUE_Skript_2003.pdf
- Richter/Bach (Projektleiter) u.a.:** Vom Wärmeschutz zur Energieeinsparung – Grundsatzuntersuchung NOWA zur ESV 2000, i.A. der Vereinigung der deutschen Zentralheizungswirtschaft e.V. VdZ, Technische Universität Dresden, Universität Stuttgart, Juni 1997
- Rückert, Michael:** Beitrag zur TAB-Studie, Umwelt und Gesundheit – Unkonventionelle Denkansätze, insbesondere psychosomatische Aspekte im Themenkreis, Februar 1997, <http://www.av.fh-koeln.de/professoren/rueckert/scripten/Ug.pdf>
- Rühmann, Heinz-Peter:** Produktionsergonomie, Vorlesungsfolien, 4. 01. 2000, <http://www.ergonomie.tum.de/lehre/lehrveranstaltungen/Folien/ProduktionsErg/index.htm>
- Scharmer/Greif:** THE EUROPEAN SOLAR RADIATION ATLAS, VOL. 2: DATABASE AND EXPLOITATION SOFTWARE, Les Presses de l' École des Mines, Paris, 2000, ISBN 2-911762-22-3
- Schmid, Christoph:** Heizungs- und Lüftungstechnik – Bau und Energie (Bd. 5); Leitfaden für Planung und Praxis, vdf Hochsch.-Verl. der ETH Zürich und B.G. Teubner, Stuttgart, 1993, ISBN 3-7281-1827-3 (vdf Bd. 5)
- Schneider, Klaus-Jürgen (Hrsg.):** Bautabellen für Ingenieure mit Berechnungshinweisen und Beispielen, 13. Aufl., Werner Verlag, Düsseldorf, 1998
- Schulz, Heinz:** Wärme aus Sonne und Erde: energiesparende Heizungssysteme mit Erdwärmespeicher, Solarabsorber und Wärmepumpe, 3., überarb. und erw. Aufl., ökobuch Verlag, Staufen bei Freiburg, 1995, ISBN 3-922964-18-4
- Schulze Darup, Burkhard:** Bauökologie, Bauverlag GmbH, Wiesbaden und Berlin, 1996, ISBN 3-7625-3301-6
- Ständiger Ausschuss Stadt- und Bauklimatologie:** Wissensgrundlage der Stadt- und Bauklimatologie, Hausdruckerei SNHBM Luxemburg, 1980
- Tschegg/Heindl/Sigmund:** Grundzüge der Bauphysik - Akustik, Wärmelehre, Feuchtigkeit, Springer-Verlag, Wien, New York, 1984, ISBN 3-211-81821-9
- Umweltbundesamt (Hrsg.):** Ökologisches Bauen, Bauverlag GmbH, Wiesbaden und Berlin, 1982, ISBN 3-7625-1412-7
- VDI-Gesellschaft Verfahrenstechnik und Chemieingenieurwesen (Hrsg.):** VDI-Wärmeatlas – Berechnungsblätter für den Wärmeübergang, 8. überarb. und erweiterte Auflage, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, 1997, ISBN 3-540-62719-7 (geb.)
- Verein zur Förderung des ökologischen Bauen e.V.:** Modellprojekt Wohnen und Arbeiten energetisch optimiertes viergeschossiges Passivhaus, Baubeschreibung, 1998
- Vester, Frederic:** Die Kunst vernetzt zu denken – Ideen und Werkzeuge für einen neuen Umgang mit Komplexität, Deutscher Taschenbuch Verlag GmbH & Co.KG, München, 2002
- Vogler Ingrid:** Die neue Energieeinsparverordnung - Auswirkungen auf die Baupraxis IN: dena (Hrsg.): Aus Sicht der Macher: Die neue Energieeinsparverordnung /EnEV)-Veranstaltungsprogramm, Deutsche Energie Agentur, Leipzig, Juni 2001
- Wagner, Andreas:** Transparente Wärmedämmung an Gebäuden: ein Informationspaket, TÜV Rheinland Verlag, Köln, 1996, ISBN 3-8249-0263-X
- Walther, Eduard (Federführung):** Technische Formeln, 15. Aufl., Fachbuchverlag Leipzig, Leipzig, 1973
-

Wendehorst/Wetzell (Hrsg.): Bautechnische Zahlentafeln, 26. Neubearb. und erw. Aufl., Teubner Verlag, Stuttgart, Beuth Verlag Berlin und Köln, 1994, ISBN 3-519-0502-1 (Teubner), ISBN 3-410-13089-6 (Beuth)

Willmann/Türck/Messinger (Hrsg.): Langenscheidts Taschenwörterbuch Englisch, Langenscheidt, Berlin, München, Wien, 1997, ISBN 3-468-11132-0

Wissenschaftlicher Rat der Dudenredaktion: DUDEN – Rechtschreibung, 21., völlig neu bearbeitete und erweiterte Auflage, Bibliographisches Institut & F.A. Brockhaus AG, Mannheim, 1996, ISBN 3-411-01604-8

Wissenschaftlicher Rat der Dudenredaktion: DUDEN – Fremdwörterbuch, 6., überarbeitete und erweiterte Auflage, Bibliographisches Institut & F.A. Brockhaus AG, Mannheim, Wien, Zürich, 1997, ISBN 3-411-04056-4

Wolff/Jagnow: Auszug aus dem Manuskript für: Taschenbuch der Heizungs- und Klimatechnik ; Recknagel/Sprenger/Schramek, Ausgabe 2001,
<http://www.fh-wolfenbuettel.de/tww/EnEV-files/RecknagelSprenger.pdf>

Zimmermann, Mark: OGIP – Ein Bauplaner-Werkzeug Zur Beurteilung der Ressourcen Kapital, Energie und Umwelt, Euokongress Ökologisches Bauen Aachen, 18. November 1999,
<http://www.empa.ch/deutsch/zentren/zen/Internet-Files/Programm/Aktuelles/aktualitaeten/Status-Seminar/pdf-files/Zimmermann-M.pdf>

Zimmermann, Mark: Handbuch der passiven Sonnenenergienutzung, Schweizerischer Ingenieur- und Architekten-Verein, CH-8039 Zürich, Dezember 1980

Zürcher/Frank: Bauphysik – Bau und Energie (Bd. 2); Leitfaden für Planung und Praxis, vdf Hochschul.-Verl. der ETH Zürich und B.G. Teubner, Stuttgart, 1998, ISBN 3-7281-1822-2 (vdf Bd. 2)

Periodika

Anger, Christian: Die EnEV kommt – aber wo bleibt die echte Einsparung? **IN:** Bautenschutz Bausanierung, Zeitschrift für Bauinstandhaltung und Denkmalpflege, 22. Jahrgang, Nr. 8, November 1999, S. 8, ISSN 0170-9267

Bartussek/Gumpenstein: Porenlüftung-Anhang **IN:** ÖKL-Merkblatt, Nr. 47, Neuauflage 1998, S. 8-12

Berndt/Baldinus/Jügler/Schellmn: Klein-BHKW und Elektrofahrzeug im Verbundsystem **IN:** Sonnenenergie & Wärmetechnik, 5/ 96, S. 40-43, ISSN 0172-5912 - ISSN 0944-8772

Bine Informationsdienst: Transparente Wärmedämmung zur Gebäudeheizung **IN:** projektinfo 01/96, S. 1-8, ISSN 0937-8367

Bine Informationsdienst: Transparente Wärmedämmung **IN:** projektinfo 03/ 96, S. 1-4, ISSN 0937-8367

Bine Informationsdienst: Solare Klimatisierung **IN:** projektinfo 03/98, S. 1-4, ISSN 0937-8367

Bine Informationsdienst: Bewertung der Energie- und Stoffströme im Planungsprozess von Gebäuden **IN:** projektinfo 10/99, S. 1-4, ISSN 0937-8367

Bine Informationsdienst: Neue Wege der Innendämmung, **IN:** projektinfo 07/00, S. 1-4, ISSN 0937-8367

Bine Informationsdienst: Tageslichtnutzung in Gebäuden **IN:** projektinfo 01/00, S. 1-12, ISSN 0937-8367

Bine Informationsdienst: Solar unterstützte Nahwärme **IN:** projektinfo 08/00, S. 1-4, ISSN 0937-8367

Bine Informationsdienst: Heizungs- und Lüftungssteuerung im Mehrfamilienhaus **IN:** projektinfo 09/00, S. 1-4, ISSN 0937-8367

- Blümel [u. a.]**: Entwicklung von Testreferenzjahren (TRY) für Klimaregionen der Bundesrepublik Deutschland **IN**: Schriftenreihe Forschungsbericht T 86-051: Technologische Forschung und Entwicklung – Nichtnukleare Energietechnik-, Bundesministerium für Forschung und Technologie, Juli 1986, ISSN 0340-7608
- Buderus Heiztechnik GmbH (Hrsg.)**: Bedarfsgerecht heizen – Kein Komfortdefizit durch Heizpausen **IN**: Buderus Magazin, Mai 1/2000, http://www.heiztechnik.buderus.de/sixcms_upload/media/304/bm1_2000.pdf bzw. Programmierter Heizbetrieb mit Komfort – Heizkosten sparen ohne zu frieren (Teil 2) **IN**: Buderus Magazin, Juni 2/2001, http://www.heiztechnik.buderus.de/sixcms_upload/media/304/bm_2_2001.pdf
- Bundesvereinigung der Firmen im Gas- und Wasserfach e.V. (Figawa)**: Besserer Wärmeschutz oder Heizkesselaustausch? **IN**: SBZ – Sanität-, Heizungs-, Klima- und Klempnertechnik, Sonderdruck 10/1998, S. 2-6, ISSN 0036-1070 - ISSN 0342-8184 - ISSN 1616-2285
- Deutscher/Elsberger/Rouvel**: Sommerlicher Wärmeschutz – Eine einheitliche Methodik für die Anforderungen an den winterlichen und sommerlichen Wärmeschutz, Teil 2 **IN**: Bauphysik 22 (2000), Heft 3, ISSN 0171-5445
- Dipper, Jörg**: Vom Wärmeschutz zur Energieeinsparung – Grundsatzuntersuchung NOWA zur ESV 2000 **IN**: HKL Brief, Forschungsgesellschaft HKL Stuttgart mbH, Ausgabe 10, Oktober 1998, S. 6 u. 7, <http://fghlk.de/de/wi/vo/hlkbriefe/hlkbrief10.pdf>
- Entwicklungsgemeinschaft Holzbau (EGH) (Hrsg.)**: Informationsdienst Holz - Dämmstoffe aus nachwachsenden Rohstoffen, Handbuch Reihe 4, Teil 5, Eigendruck, München, ISSN 0466-2114
- Epp, Bärbel**: Grenzenlos flexibel **IN**: Sonne, Wind & Wärme, 9/2001, S. 28f, ISSN 0944-8772
- Erhorn/Reiß/Kluttig/Hellwig**: Ultrahaus, Passivhaus oder Null-Heizenergiehaus? – Eine Statusanalyse anhand praktisch realisierter Energiesparkonzepte **IN**: Bauphysik 22 (2000), Heft 1, ISSN 0171-5445
- Fachinformationszentrum Karlsruhe (FIZ), Gesellschaft für wissenschaftlich-technische Information mbH (Hrsg.)**: Energieeffiziente Bürogebäude **IN**: Bine Informationsdienst, profi info II/00, ISSN 1436-2066, http://energy.fiz-karlsruhe.de/bine/pdf/pro_0200.pdf
- Finger/Kneubühl/Thiébaud/Zürcher/Frank**: Verbesserung des Energiehaushalts von Gebäuden durch Verminderung der Wärmeabstrahlung von Fenstern und Fassaden **IN**: Schweizer Ingenieur und Architekt, 17/79, S. 287-294
- Flertmann/Reyer**: Zur Leistungsfähigkeit vertikaler Temperiersystemne **IN**: Bauphysik 22 (2000), Heft 6, ISSN 0171-5445
- Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE**: Zukünftiges Wohnen in Neuenburg – 1-Liter-Solarhaus mit innovativer Kompakthauptechnik **IN**: Presseinformation, 10/00, S. 1-3
- Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE**: Solares Bauen **IN**: Fraunhofer ISE, Nr. Juli 1999, S. 2-5
- Gertis, Karl**: Wärmedämmung innen oder außen? **IN**: Deutsche Bauzeitschrift, 5/87 1.1, S. 631-639, ISSN 0417-1659 - ISSN 0011-4782
- Gertis, Karl**: Ist die Außendämmung sinnlos? Kritische Betrachtungen zu einem Artikel von Wiechmann und Varsek **IN**: Sonderdruck Allgemeine Bauzeitung 53, Nr. 30, S. 6, Nr. 31, S. 6 und S. 9, ISSN 0002-5801
- Gertis/Reiß/Wetzel/Sinnesbichler**: Sind neue Fassadenentwicklungen bauphysikalisch sinnvoll?, Teil 1: Transparente Wärmedämmung **IN**: Bauphysik 21 (1999) Heft 1, ISSN 0171-5445
- Gertis, Karl**: Sind neue Fassadenentwicklungen bauphysikalisch sinnvoll?, Teil 2: Glas-Doppelfassaden (GDF) **IN**: Bauphysik 21 (1999) Heft 2, ISSN 0171-5445
-

- Gertis, Karl:** Energieeinsparung im Altbau – Solartechnik fragwürdig! **IN:** Bauphysik 21 (1999) Heft 5, ISSN 0171-5445
- Glatthard, Thomas:** Mehr Komfort, weniger Energie **IN:** Haus Tech, 12/ 99, S. 14-17, ZDB-ID 10865317
- Glück, Bernd:** Strahlungstemperatur der Umgebung **IN:** Gesundheits-Ingenieur – Haustechnik – Bauphysik – Umwelttechnik 118, Heft 6, 1997, S. 305-309, ISSN 0720-9312 - ISSN 0932-6200
- Grahl, Jürgen:** Die ökologischen Strukturfehler unseres Wirtschaftssystems **IN:** Solarbrief 1/01, S. 24-27, <http://www.sfv.de/sb011kpl.pdf>
- Gregory, Jean Karen:** Den Deutschen fehlt der Stolz - Warum die Hochschulen hierzulande nicht amerikanisiert werden können. **IN:** FAZ, 04.07.1997
- Grojan/Aschoff:** Die vielfältigen Einsatzmöglichkeiten von Wandheizungen **IN:** Sonderdruck aus Fachzeitschrift Heizungsjournal, Heft 9, September 1998, S. 1-16, ISSN 0179-5589 - ISSN 0722-690X
- Gütermann, Andreas:** Sanierungsmassnahme verglaste Balkone? **IN:** Schweizer Ingenieur und Architekt SI+A, Sonderdruck aus Heft 3/ 1997, ISSN 0251-0960
- Hauri, Hans H.:** Berechnungen des dynamischen k-Wertes **IN:** Bauphysik, 2/1979, S. 50-52, ISSN 0171-5445
- Hauser, Gerd:** Der Politfaktor **IN:** Bauphysik 23 (2001) Heft, 5, ISSN 0171-5445
- Hauser, Gerd:** Der Energiepaß kommt! **IN:** Bauphysik 22 (2000), Heft 2, ISSN 0171-5445
- Hauser, Gerd:** Die Wirkung der Wärmespeicherfähigkeit von Bauteilen und ihre Berücksichtigung in der EnEV **IN:** Bauphysik 22(2000) Heft 5, ISSN 0171-5445
- Hauser/Maas/Höttges:** Analyse des Heizenergieverbrauchs von Mehrfamilienhäusern **IN:** Deutsche Bauzeitschrift, 3/97 1.1, S. 155-162, ISSN 0417-1659 - ISSN 0011-4782
- Hauser/Maas:** Mehr ist machbar – Grundlagen der künftigen Energieeinsparverordnung **IN:** Bautenschutz und Bausanierung, 2/99, S. 38-43, ISSN 0170-9267
- Hausladen, Gerhard:** Ganzheitliches Planen und Bauen **IN:** Bauphysik 22 (2000), Heft 3, ISSN 0171-5445
- Hennig, Hans-Martin:** Kühlen mit Luft **IN:** Sonnenenergie, 1/ 1999, S. 39-41, ISSN 0172-5912, ISSN 0944-8772
- Henniges:** Niedrigenergie-Bauweise **IN:** ökologisch bauen leben wohnen, Mecklenburg-Vorpommern, Neue Länder, 2/ 1999, S. 4-6, <http://www.oekonews.de/>
- Hildebrand, Marcus:** WDVS Draufsatteln – Ein neues System auf schadhafte WDVS aufbringen – nicht nur optische, sondern auch substantielle Verbesserung erzielen **IN:** Bautenschutz Bausanierung, Zeitschrift für Bauinstandhaltung und Denkmalpflege, 22. Jahrgang, Nr. 8, November 1999, S. 24-29, ISSN 0170-9267
- Jahn, Axel:** „Intelligente Einfachheit Hightech“ **IN:** Haus Tech 10/99, S. 26-30, ISSN 1015-9894
- Jaroch, U.:** Feuchtigkeit in Gebäuden – Ursachen und Nachweisverfahren **IN:** DGZfP-Berichtsband BB 69-CD Poster 4, vorgestellt auf Feuchtetag `99, BAM, Berlin, 7./8. Oktober 1999, http://www.dgzfp.de/doc/Berichtsbaende/BB_69-CD/bb69-p04.pdf
- Kälin/Kneubühl:** Die Verminderung des Wärmeverbrauchs von Gebäuden durch Infrarot-Verspiegelung von Fenstern, Fassaden und Dächern **IN:** Gesundheits-Ingenieur 98 H. 9, 1977, Seiten 244-251. ISSN 0720-9312
- Keller/Magyari:** Neue Einsichten zur Energie- und Leistungsoptimierung **IN:** Bauphysik 21 (1999), Heft 4, S. 155 bis 159, ISSN 0171-5445
-

- Keller, Helmut:** Das Passivhaus im Vergleich **IN:** Wohnung + Gesundheit, Fachzeitschrift für ökologisches Bauen + Leben, Jahrgang 21, Nr. 93, Winter 1999/ 2000, S. 16-17, ISSN 0176-0513
- Kelly, Lore:** Magische Laternen **IN:** Haus Tech, 12/ 99, S. 50-52, ZDB-ID 10865317
- Kiebl/Rath:** Auswirkungen von Fassadenbegrünung auf den Wärme- und Feuchtehaushalt von Außenwänden. Schadenrisiko **IN:** Sonderdruck aus Arconis 1, 1996, H.3, S. 14-17, ISSN 0949-7153
- Künzel, H.:** Die "atmende" Außenwand Ein Irrtum in der Vergangenheit und seine Folgen, **IN:** Gesundheits-Ingenieur 99 1/2, 1978, Seiten 29-32. ISSN 0720-9312
- Künzel, Hartwig M.:** Austrocknung von Wandkonstruktionen mit Wärmedämm-Verbundsystem **IN:** Bauphysik, Sonderdruck aus: 20 1998, Heft 1, S. 18-23 ISSN 0171-5445
- Künzel, Helmut:** Warum sich Wärmedämm-Verbundsysteme durchgesetzt haben – Vergleiche mit anderen Wandkonstruktionen **IN:** Bauphysik, Sonderdruck aus: 20 1998, Heft 1, S. 2-8, ISSN 0171-5445
- Künzel/Kiebl:** Feuchte- und Wärmeschutz von Sichtmauerwerk mit und ohne Fassadenhydrophobierung **IN:** Sonderdruck Mauerwerksbau aktuell 98, 1998, S. D.48 – D.57, ZDB-ID 13648123
- Läuppi, Rolf:** Natürliche Belüftung von Büroräumen **IN:** Beratende Ingenieure, November 1996, S. 38-41, ISSN 0005-8866 bzw. ISSN 1436-4875
- Leonhardt/Sinnesbinchler:** Hybrid Transparente Wärmedämmung **IN:** IBP, Mitteilung 304, 23 (1996)
- Linde, Axel:** Sozialer Strohhallenbau in den USA **IN:** Wohnung + Gesundheit, Fachzeitschrift für ökologisches Bauen + Leben, Jahrgang 21, Nr. 93, Winter 1999/ 2000, S. 11-13, ISSN 0176-0513
- Lindauer/Leonhardt:** Brauchwasservorerwärmung mit transparent gedämmten Bauteilen (Hybridsystem) **IN:** IBP, Mitteilung 246, 21 (1994)
- Maas/Hauser/Höttges:** Die Energieeinsparverordnung **IN:** Bauphysik 24 (2002), Heft 1, ISSN 0171-5445
- Markl, Hubert:** Welche Bildung braucht der Mensch im dritten Jahrtausend? **IN:** Die Welt, 13.09.2000, <http://www.welt.de/daten/2000/09/13/0913fo190607.htx>
- Marx, Wolfgang:** Die Abenteuer des Lichts **IN:** uni magazin, Die Zeitschrift der Universität Zürich, 3/01, S. 50 bis 52
- Mattioli, Frank:** Heizflächenauslegung unter den Aspekten der thermischen Behaglichkeit, **IN:** IKZ-HAUSTECHNIK, Ausgabe 10/2000, Seite 96 ff., Strobel-Verlag, <http://www.myshk.com/ikz-datenbank/>
- Meyer, Jens-Peter:** Hundert Prozent Sonne **IN:** Sonne, Wind & Wärme, 9/2001, S. 30-32, ISSN 0944-8772
- Mittelbach/Henning:** Saisonale Wärmespeicherung in Sptionsprozessen **IN:** Sonnenenergie & Wärmetechnik, 6/ 96, S. 25-27, ISSN 0172-5912 - ISSN 0944-8772
- Nadler, Norbert:** Kombinierte Außentemperatur mit langwelligen Reflexionen an der terrestrischen Umgebung **IN:** Gesundheits-Ingenieur – Haustechnik – Bauphysik – Umwelttechnik 118, Heft 6, 1997, S. 310-315, ISSN 0720-9312 - ISSN 0932-6200
- Paul, Eberhard:** Erdwärmetauscher **IN:** ökologisch bauen leben wohnen, 2. Jahrgang, Ausgabe Berlin-Brandenburg/ Mecklenburg-Vorpommern, 1/ 2000, S. 24-25, <http://www.oeconews.de/>
- Platzer, Werner J.:** Energetische Bewertung von Transparenter Wärmedämmung **IN:** Bauphysik 21 (1999) Heft 2, S. 67 bis 76, ISSN 0171-5445
-

Probst, Raimund: Abschließende Attacke auf einen Popanz **IN:** authentischer autorisierter Nachdruck der abgebrochenen Berichtfolge in Der Sachverständig Hefte Juli/ August 1999 bis März 2000, S. 3-6

Probst, Raimund: Gesetzlicher Pilzschimmelzwang **IN:** authentischer autorisierter Nachdruck der abgebrochenen Berichtfolge in Der Sachverständig Hefte Juli/ August 1999 bis März 2000, S. 27-33

Rabenstein, Dietrich: Energieoptimierte Gebäudeform und Hüllflächen-zu-Volumen-Verhältnis **IN:** Bauphysik 23 (2001) Heft 6, ISSN 0171-5445

Reichel, Dirk: Kritische Anmerkungen zur Zuluftversorgung von Etagenwohnungen **IN:** Sonderdruck aus TAB - Technik am Bau, Organ des Bundesverbandes der Heizungs- und Klimaindustrie e.V., 12/98, ISSN: 0341-2032

Richter, Wolfgang: Die zukünftige Energieeinsparverordnung – Kennzahlen der Wärmeabgabe im Raum **IN:** Bauphysik 22 (2000), Heft 5, ISSN 0171-5445

Richter/Reichel: Untersuchungen zur Luftdichtheit von Mehrfamilienhäusern in massiver Bauweise, gefördert durch das Bundesministerium für Raumordnung, Bauwesen und Städtebau. **IN:** gi Gesundheits-Ingenieur - Haustechnik - Bauphysik - Umwelttechnik 119 (1998) Heft 5, Seiten 234-236, ISSN 0720-9312 - ISSN 0932-6200

Richter, Wolfgang: Außenwände: offenporig statt dicht **IN:** Sanitär- und Heizungstechnik, 3/ 1993, S. 102-107, ISSN 0036-4401

Rouvel, Lothar: Sommerlicher Wärmeschutz **IN:** Bauphysik 22 (2000), Heft 5, ISSN 0171-5445

Sawert/Witten: Thermische Altbaumodernisierung und -sanierung der Wohngebäude in den neuen Bundesländern (Teil 1) **IN:** Stadt- und Gebäudetechnik 45 (1991) • 6, 1.1, S. 272-276, ISSN 0038-898X

Sedlbauer/König: Optimierung von Bauteilen und der Gesamtanlage von Hybriden Heizsystemen **IN:** IBP, Mitteilung 272, 22(1995)

Sedlbauer/Oswald/König: Hygienische Gefährdung durch Heizanlagen mit offenen Luftkreisläufen **IN:** IBP; Mitteilung 306, 23(1996)

Taubitz, Gerhard: Energiesparen für eine bessere Umwelt **IN:** Haus Tech, 9/ 99, S. 76-79, ZDB-ID 10865317

Ueberschlag, Edgar: Transparente Wärmedämmung und Lehmbau **IN:** Wohnung + Gesundheit, Fachzeitschrift für ökologisches Bauen + Leben, Jahrgang 21, Nr. 93, Winter 1999/ 2000, S. 5-6, ISSN 0176-0513

Weber, Anneberg: Heizen mit Sonne und Holz **IN:** ökologisch bauen leben wohnen, 2. Jahrgang, Ausgabe Berlin-Brandenburg/ Mecklenburg-Vorpommern, 2/ 2000., S. 18-19, <http://www.oekonews.de/>

Wehrli, Michael: BlowerDoor-Test Teil 2 **IN:** ökologisch bauen leben wohnen, 2. Jahrgang, Ausgabe Berlin-Brandenburg/ Mecklenburg-Vorpommern, 2/ 2000., S. 4-8, <http://www.oekonews.de/>

Wehrli, Michael: BlowerDoor-Test Teil 1 **IN:** ökologisch bauen leben wohnen, 1. Jahrgang, Ausgabe Baden-Württemberg, 1/ 2000., S. 4-6, <http://www.oekonews.de/>

Gesetze/Normen/Verordnungen

Beiblatt 2 zur DIN 4108 Wärmebrücken, Planungs- und Ausführungsbeispiele, August 1998

DIN 1341 Wärmübertragung, Begriffe, Kenngrößen, Oktober 1986

DIN 4108-1 Wärmeschutz im Hochbau, Teil 1: Größen und Einheiten, August 1981

- DIN 4108-2** Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden, Teil 2: Mindestanforderungen an den Wärmeschutz, März 2001
- DIN E 4108-2/A1** Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden, Teil 2: Mindestanforderungen an den Wärmeschutz, Änderung A1, Februar 2002
- DIN V 4108-4** Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden, Teil 4: Wärme- und feuchteschutztechnische Kennwerte, Oktober 1998
- DIN V 4108-6** Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden, Teil 6: Berechnung des Jahresheizwärme- und des Jahresenergiebedarfs, November 2000
- DIN 4701-1** Regeln für die Berechnung des Wärmebedarfs von Gebäuden, Teil 1: Grundlagen der Berechnung, , März 1983
- DIN E 4701-1** Regeln für die Berechnung der Heizlast von Gebäuden, Teil 1: Grundlagen der Berechnung, August 1995
- DIN 4701-2** Regeln für die Berechnung des Wärmebedarfs von Gebäuden, Teil 2: Tabellen, Bilder , Algorithmen, März 1983
- DIN E 4701-2** Regeln für die Berechnung der Heizlast von Gebäuden, Teil 2: Tabellen, Bilder, Algorithmen, August 1995
- DIN 4701-3** Regeln für die Berechnung des Wärmebedarfs von Gebäuden, Teil 3: Auslegung der Raumheizeinrichtungen, August 1989
- DIN V 4701-10** Energetische Bewertung heiz- und raumluftechnischer Anlagen, Teil 10: Heizung, Trinkwassererwärmung, Lüftung, Februar 2001
- DIN 4710** Meteorologische Daten zur Berechnung des Energieverbrauches von heiz- und raumluftechnischen Anlagen, November 1982
- DIN EN 832** Berechnung des Heizenergiebedarfs, Wärmetechnisches Verhalten von Gebäuden, Wohngebäude, Dezember 1998
- DIN EN ISO 6946** Wärmedurchlaßwiderstand und Wärmedurchgangskoeffizient, Berechnungsverfahren, November 1996
- DIN EN ISO 7345** Wärmeschutz, Physikalische Größen und Definitionen, Januar 1996
- DIN EN ISO 7730** Ermittlung des PMV und des PPD und Beschreibung der Bedingungen für thermische Behaglichkeit, September 1995
- DIN E EN 12831** Verfahren zur Berechnung der Norm-Heizlast, Heizsysteme in Gebäuden, August 1997
- DIN EN ISO 13789** Spezifischer Transmissionswärmeverlustkoeffizient, Wärmetechnisches Verhalten von Gebäuden, Berechnungsverfahren, Oktober 1999
- DIN E EN ISO 13790** Berechnung des Heizenergiebedarfs, Wärmetechnisches Verhalten von Gebäuden, August 1999
- VDI 2055** Wärme- und Kälteschutz für betriebs- und haustechnische Anlagen, Juli 1994
- VDI 2067** Betriebstechnische und wirtschaftliche Grundlagen, Berechnung der Kosten von Wärmeversorgungsanlagen, Blatt 1, Dezember 1983
(zurückgezogen/Ersatz)
- VDI 2067** Raumheizung, Berechnung der Koste von Wärmeversorgungsanlagen, Blatt 2, Dezember 1983
- VDI 2078** Berechnung der Kühllast klimatisierter Räume, Juli 1996
-

- VDI 3789** Umweltmeteorologie, Wechselwirkung zwischen Atmosphäre und Oberflächen, Berechnung der kurz- und der langwelligen Strahlung, Blatt 2, Oktober 1994
- VDI E 3789** Umweltmeteorologie, Wechselwirkung zwischen Atmosphäre und Oberflächen, Berechnung der spektralen Bestrahlungsstärken im solaren Wellenlängenbereich, Blatt3, Dezember 1999
- VDI 3807** Energieverbrauchskennwerte für Gebäude, Grundlagen, Blatt 1, Juni 1994
- VDI 3807** Energieverbrauchskennwerte für Gebäude, Heizenergie- und Stromverbrauchskennwerte, Blatt 2, Juni 1998
- VDI 3808** Energiewirtschaftliche Beurteilungskriterien für heiztechnische Anlagen, Januar 1993
- VDI 4600** Kumulierter Energieaufwand – Begriffe, Definitionen, Berechnungsmethoden, Juni 1997
- VDI E 6030** Auslegung von freien Heizflächen, Grundlagen und Auslegung von Raumheizkörpern, Blatt 1, April 1999
- WSchVO 95** Verordnung über einen energiesparenden Wärmeschutz bei Gebäuden vom 16. August 1994
- EnEV** Verordnung über energiesparenden Wärmeschutz und energiesparende Anlagentechnik bei Gebäuden, **IN**: Bundesgesetzblatt Jahrgang 2001 Teil I Nr. 59, S. 3085 bis 3102, November 2001, <http://217.160.60.235/BGBl/bgb11f/b101059f.pdf>
- TGL 7798** Flächenberechnungen: Gebäude und bauliche Anlagen, April 1980
- TGL 26760/01** Heizlast von Bauwerken: Berechnungsverfahren, September 1985
- TGL 26760/02** Heizlast von Bauwerken: Berechnungsgrößen, September 1985
- TGL 26760/05** Heizlast von Bauwerken: Nachweis der Raumlufttemperatur und der Raumtemperatur, Januar 1981
- TGL 26760/07** Heizlast von Bauwerken: Jährlicher Heizenergiebedarf, September 1983
- TGL 35424/01** Bautechnischer Wärmeschutz: Allgemeine Forderungen, Grundsätze, Außenklima, Wetterschutz, Februar 1981
- TGL 35424/02** Bautechnischer Wärmeschutz: Größen, Einheiten, Kennwerte, Dezember 1985
- TGL 35424/03** Bautechnischer Wärmeschutz: Wärmeschutz in der kalten Jahreszeit, Dezember 1985
- TGL 35424/04** Bautechnischer Wärmeschutz: Wärmeschutz in der warmen Jahreszeit, Februar 1981

Internetartikel und -quellen

Bartholmai, Bernd (Bearbeiter): Energieeinsparung im Wohnungsbestand - Investitionen müssen verstärkt werden, **DIW-Wochenbericht 31/00**, <http://www.diw.de/deutsch/publikationen/wochenberichte/docs/00-31-1.html>

BFE (Auftraggeber): Kostengünstige Niedertemperaturheizung mit Wärmepumpe, Phase 4: Technisches Handbuch, Zwischenbericht, Dezember 1999, http://www.waermepumpe.ch/fe/projekte/nth/projekt/projekt4/Zwibe99_4a_rev3.pdf

Brandhorst, Jörg: Gesundes Wohnen bedingt „richtig“ Bauen, Sanieren und Renovieren – eine „Neue Baukultur“, Büro für Architektur & Bauphysik, Bonn, Tulpenweg 27,
<http://www.brandhorst-bonn.de/wohnen.html>

Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi) (Hrsg.): Energie Daten 2000: Nationale und internationale Entwicklung, Keitz + Fischer Druck GmbH, Eschwege, im Juli 2000, Energiedaten-2000.zip, (Broschüre, Stand: Juli 2000),
<http://www.bmwi.de/Homepage/Politikfelder/Energiepolitik/Energiepolitik1.jsp>.

Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi): Energiedaten Bundesrepublik Deutschland 1998, Broschüre "Energie Daten 1999", Bonn, Februar 1999,
<http://www.cse-online.de/~aventin/solar/generell.htm>

Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi): Renovieren mit der Sonne - Ein Handbuch für Architekten, Planer und Immobilienbesitzer, 17.Juli 2000,
<http://www.bmwi.de/Homepage/Presseforum/Innovation%20Aktuell/000717innov1.jsp>

Bundeszentrale für politische Bildung (BpB) (Hrsg.): Politische Zeitschrift PZ Nr. 93: Zu Hause sein - Thema: Wohnen Artikel: 82 Millionen Menschen, 36 Millionen Wohnungen, 157 Millionen Räume, Ausgabe 93, März 1998,
<http://www.pz-net.de/pz93/wwwohnen1.html>

Daler, Reinhard: Feuchtigkeitsabfuhr aus Wohnungen durch natürliche Lüftung, Skript 05.96,
http://www.ift-rosenheim.de/sites/info/veroeff/v_war_01.pdf

Denkhaus, Ulrich: Keine nachhaltige Energiewirtschaft ohne "nachhaltige Verbraucher",
<http://www.ekir.de/umwelt/energiek.htm>

Deutsche Institut für Wirtschaftsforschung (DIW Berlin): DIW Berlin Wochenbericht 24/99 Wohnungsbau in West- und Ostdeutschland derzeit nur durch hohe Nachfrage nach Wohneigentum gestützt,
<http://www.diwberlin.de/deutsch/publikationen/wochenberichte/docs/99-24-1.html>

Eidgenössische Technische Hochschule Zürich ETHZ, Institut für Verhaltenswissenschaft und Departement Physik: Klima und Treibhauseffekt,
<http://www.educeth.ch/physik/leitprog/treibhaus/docs/treibhaus.pdf>

Energieagentur NRW: Solarthermie und Photovoltaik, Mumbeck Werbeagentur, Wuppertal, Duisburg, <http://www.ea-nrw.de/main/doc/index.htm>

Energieagentur NRW: Mehr Wärme – weniger Kosten Rund ums Heizen, Mumbeck Werbeagentur, Wuppertal, <http://www.ea-nrw.de/main/doc/index.htm>

Entwicklung und Begleitforschung Niedrigenergiehäuser Dunkelsteiner Wald,
<http://www.bmwa.gv.at/extern/dunkel/home.htm>

Fachhochschule Braunschweig/Wolfenbüttel: kuka: "Edition 2: Qualifizierung am Kronsberg",
<http://www.fh-wolfenbuettel.de/tww/EnEV-files/Qualifizierung%20-%20Text.pdf>

Gerlich, Gerhard: An die Bundesministerin für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit Dr. Angela Merkel, 18. Februar 1996, http://medizin.freepage.de/cgi-bin/feets/freepage_ext/41030x030A/rewrite/medwiss/merkel.html

Hauser/Maas: Auswirkungen von Fugen und Fehlstellen in Dampfsperren und Wärmedämmschichten, Beitrag im Rahmen einer Aufsatzsammlung der Aachener Bausachverständigentage 1991 im Bauverlag und in der DBZ 24 (1992), H.1, S.97-100 erschienen.
<http://www.bpy.uni-kassel.de/de/forschung/Veroeffentlichungen/Publikationen92/FuF92.pdf>

Hegner, Hans-Dieter: Die Energieeinsparverordnung neue Möglichkeiten für Planung und Ausführung im Neubau und beider Modernisierung, Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen (BMVBW), <http://www.dena.de>

Hegner, Hans-Dieter: Die Energieeinsparverordnung (EnEV) – Perspektiven für das energieeffiziente und umweltschonende Bauen, Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen (BMVWB),

<http://www.caparol.de/images/homepage/broschueren/arch-brief23.pdf>

Heidemann/Hahne (ITW-Universität Stuttgart): Energetische Beurteilung von Solarkomponenten und Fassadenelementen unter natürlichen klimatischen Bedingungen,

<http://www.itw.uni-stuttgart.de/WWW/Literaturliste/Passys1.pdf>

Hennicke/Fischedick: Kurzfristiger Kernenergieausstieg und Klimaschutz- Anmerkungen und Hintergründe, Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie GmbH im Wissenschaftszentrum Nordrhein-Westfalen., Wuppertal August 1998,

<http://www.wupperinst.org/Publikationen/Globus.pdf>

Herbst, Michael: Stadt- und Geländeklima, WS-1999,

<http://www.hausarbeiten.de/rd/archiv/geographie/geo-o-stadtgelaende/geo-o-stadtgelaende.shtml>

Informationsdienst Wissenschaft (idw): Studie zur Ermittlung der Potenziale geothermischer Stromerzeugung in Deutschland, i.A. des Forschungsausschuss des Deutschen Bundestages 16.05.01, <http://idw-online.de/public/>

Institut Wohnen und Umwelt GmbH (IWU) (Hrsg.), Loga/Diefenbach/Born (Bearbeiter): Guter Ansatz - Schwache Standards: Die neue Energieeinsparverordnung - Stellungnahme zum Referentenentwurf vom 29. November 2000 bzw. Kabinettsbeschluss vom 7. März 2001, IWU, Darmstadt, Februar 2001, ISBN 3-932074-45-9, <http://www.iwu.de/datei/enev-iwufeb2001.pdf>

Juristisches Internetprojekt Saarbrücken: Systematik des Bundesrechts, Wissenschaftliche Begleitung Prof. Dr. Maximilian Herberger,

<http://www.jura.uni-sb.de/BGBI/SYS754.HTML>, <http://www.jura.uni-sb.de/>

Kleemann/Heckler/Kolb/Hille: Die Entwicklung des Energiebedarfs zur Wärmebereitstellung in Gebäuden - Szenarioanalysen mit dem IKARUS-Raumwärmemodell, Ergebnisse und Materialien, Auftraggeber: **Bremer Energie Institut**, April 2000,

http://www-user.uni-bremen.de/~bei/download/waerm2_1.pdf und

http://www-user.uni-bremen.de/~bei/download/waerm2_2.pdf

Kehrer, P.: Das Erdöl im 21. Jahrhundert - Mangel oder Überfluß?, Bearbeitungsstand 14.02.2000, Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe,

http://www.bgr.de/b11/erdoel_keh.htm#abb7

Kohler: Grundlagen zur Bewertung kreislaufgerechter, nachhaltiger Baustoffe, Bauteile und Bauwerke, 20.Aachener Baustofftag, 3.März 1998,

<http://www.ubka.uni-karlsruhe.de/vvv/1998/architektur/2/2.pdf>

Landeshauptstadt Dresden (Hrsg.), Amt für Umweltschutz: Stadtklima von Dresden Umweltbericht 1998,

http://www.dresden.de/rootger.gen/wegweiser/vorgang/umweltbericht_text.pdf

Landeshauptstadt Hannover (Hrsg.), Amt für Umweltschutz: Bauen am Kronsberg - Hinweise zur Realisierung des Niedrigenergie-Standards, Heiztechnisches Konzept, Februar 1998, <http://www.fh-wolfenbuettel.de/tww/Archiv-files/HeizKonzept.pdf>

Luftüberwachungssystem Sachsen-Anhalt (LÜSA): Auswirkungen der lufthygienisch wichtigsten Schadstoffe auf die Gesundheit, Landesamt für Umweltschutz (LAU),

<http://www.mu.sachsen-anhalt.de/lau/luesa/Schadstoffe.html>

Luhmann, Hans-Jochen: Die Machtfrage Klimaschutz, Die USA betrachten Energiepolitik vor allem als Sicherheitspolitik - das muss Europa begreifen – Debatte, Die Welt vom 25.06.2001,

<http://www.welt.de/daten/2001/06/25/0625fo263042.htx>

Maxeiner, Dirk: Basar der Bürokraten – über den Machbarkeitswahn der Klimaschützer, Spiegel Online, 07.11.2000, <http://www.spiegel.de/wissenschaft/0,1518,101658,00.html>

- Müller, R.:** Sind unsere Fenster zu dicht?, Feuchttag '99 Umwelt Messverfahren Anwendungen, 7./8. Oktober 1999, BAM, Berlin, DGZfP-Berichtsband BB 69-CD Poster 5, http://www.dgzfp.de/doc/Berichtsbaende/BB_69-CD/bb69-p05.pdf
- Nansen, Friottjof:** Winterhäuser und Zelte, Kunst- und Ausstellungshalle der Bundesrepublik Deutschland Museumsmeile Bonn, http://www.clara-online.de/arktis/projekte/orientierung/wohnen_winterhaeuser.html
- Neef/Müller:** Baulicher Wärmeschutz Artikel 1 Bauphysik - Einflußgröße der Wertermittlung, http://www.expert-service.de/publik/warm_art1.htm
- Öko-Institut (Institut für angewandte Ökologie e.V.):** Methodikfragen bei der Berechnung des Kumulierten Energieaufwands (KEA), Arbeitspapier im Rahmen des UBA-F&E-Vorhabens Nr. 104 01 123:, i.A. des Umweltbundesamt, Mai 1999, <http://www.oeko.de/service/kea/files/kea-methodik.pdf> , <http://www.umweltbundesamt.de/>
- Pfaffenberger, Wolfgang:** Ausstieg aus der Kernenergie - und was kommt danach?, Bremer Institut für kommunale Energiewirtschaft und -politik an der Universität Bremen, Seiten 52 ff, <http://www-user.uni-bremen.de/~bei/download/ausstieg.pdf>
- PH Karlsruhe FB Technik:** Klima und Treibhauseffekt, http://www.ph-karlsruhe.de/TECH/INFP/BIO/Treibhaus/Klima_und_Treibhauseffekt
- Rahmstorf, Stefan:** Flotte Kurven, dünne Daten – Im Medienstreit um den Klimawandel bleibt die Wissenschaft auf der Strecke, IN: Die Zeit, 37/2002, http://www.zeit.de/2002/37/Wissen/200237_n-klimadebatte.html
- Rempel, Hilmar:** Erdgas im 21. Jahrhundert, Bearbeitungsstand 15.05.2001, Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, http://www.bgr.de/b123/erdgas_21/erdgas_21.htm
- Roloff, Jürgen:** Formen des klimagerechten Bauens, Tradition und Wandel, IN: Wolkenkuckucksheim: Internationale Zeitschrift für Theorie und Wissenschaft der Architektur, 6. Jg. , Heft 2, Januar 2002, ISSN 1430-8363, http://www.theo.tu-cottbus.de/wolke/deu/themen/012/Roloff/roloff_juergen.htm
- Römmling/Vogler:** Evaluierung der Wärmeschutzverordnung '95, http://www.iemb.de/infos/inf99_17.htm
- Rüden, Henning IN:** Popp-Dellweg E.: Umwelt und Wohnen, <http://www.umweltaerzte.de/seiten/aktuell/poppdellweg.htm>
- Scheer, Hermann:** Ökologie ist Ökonomie: Vom Reichtum und von der Armut der Nationen zum Reichtum der Natur, http://www.hermann-scheer.de/pdf/FES_Yearbook.pdf
- Schiller, Friedrich:** Akademische Antrittsrede 1789, Was heisst und zu welchem Ende studiert man Universalgeschichte?, <http://www.schiller-institut.de/seiten/ant2.htm>
- Schwarz, Bernhard:** Lüftung – Luftströmung – Zugluft Probleme im Holzhaus, <http://www.inno-mv.de/ia/holzbau/schwarz.pdf>
- Schwarz/Hartisch:** Das Rosenheimer Haus ein Projekt der Fachhochschule Rosenheim in Kooperation mit 40 Unternehmen aus Handwerk und Industrie, gefördert durch das Bundesministerium für Raumordnung, Bauwesen und Städtebau, <http://www.fh-rosenheim.de/intern/fachbereich/holz/labor/KoHo/rohaus/inforohaus.pdf>
- Spiegel Online:** Kometen sollen die Erde verschieben, 15.06.2001, <http://www.spiegel.de/wissenschaft/0,1518,139672,00.html>
- Stahl, Wolfgang:** Die weltweiten Reserven der Energierohstoffe: Mangel oder Überfluß?, Bearbeitungsstand: 17.08.1998, Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, <http://www.bgr.de/b4/aktthema/reswww/reswww98.htm#reservress>
- Statistisches Bundesamt:** 570 000 neue Wohnungen im Jahr 1997, Mitteilung für die Presse, 23. März 1998, <http://www.destatis.de/presse/deutsch/pm1998/p0910161.htm>
- Traufetter, Gerald:** Die Launen der Sonne, 02. Juni 2001, <http://www.spiegel.de/spiegel/0,1518,137508,00.html>
-

Uni-Erlangen: Das Stadtklima in Mexico City,
<http://www.didgeo.ewf.uni-erlangen.de/06Panzer.html>

Wolff, Dieter: Wirtschaftlichkeit: Wärmeerzeuger und Hydraulik, Fachhochschule Braunschweig/Wolfenbüttel,
<http://www.fh-wolfenbuettel.de/fb/v/ifhk/lehre/31%20Hydraulik.doc>

Wolff/Jagnow: Die EnEV 2001/2002 – Warum so kleine Schritte?, Fachhochschule Braunschweig/Wolfenbüttel, Seminar zur EnEV 2002
<http://www.fh-wolfenbuettel.de/tww/EnEV-files/WarumSoKleineSchritte.pdf>

Zentralschweizerisches Technikum Luzern (Ingenieurschule HTL): BEW-/INFEL-Projekt, Kostengünstige Niedertemperaturheizung mit Wärmepumpe, ZTL-Kurzfassung Schlussbericht Projektphase 1, 5. März 1997, <http://www.me.berkeley.edu/~mwetter/download/wp-1997.pdf>

Besuchte Internetseiten

Aachener Institut für Bauschadensforschung und angewandte Bauphysik (A.I. Bau gemeinnützige Gesellschaft mbH)
<http://www.aibau.de/forschb.htm>

ADNR e.V., Bonn
<http://www.adnr-bonn.de/index2.htm>

AGEB - Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen
<http://www.ag-energiebilanzen.de/daten/inhalt1.htm>

Analyse und Bewertung von Umwelt-Schadstoffen e.V. (AnBUS)
<http://www.anbus.de/lga.pdf>

Arbeitsgemeinschaft ERNEUERBARE ENERGIE
<http://www.aee.at/>

Baunetz
http://www.baunetz.de/index_2.htm

Bayerisches Zentrum für Angewandte Energieforschung e.V. - ZAE Bayern
<http://www.zae.uni-wuerzburg.de/>

BMWi - Politikfelder, Energiepolitik
<http://www.bmwi.de/Homepage/Politikfelder/Energiepolitik/Service/Publikationen/Publikation.jsp>

bremer energie institut
<http://www-user.uni-bremen.de/~bei/>

Bundesamt für Energie - BFE Schweiz
<http://www.energie-schweiz.ch/>

Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe
<http://www.bgr.de/>

Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen – BMVWBW
<http://www.bmvbw.de/>

Bundesverband Erneuerbare Energie e.V.
<http://www.bee-ev.de/index.htm>

Das Deutsche Bauphysik-Portal
<http://www.bauphysikportal.de/modules.php?op=modload&name=phpBB&file=index&menu=11>

Deutsche Energie-Agentur GmbH (dena)
<http://www.deutsche-energie-agentur.de/>

Die Zeitschrift Solarbrief
<http://www.sfv.de/briefe/sobrief.htm>

DIW-Wochenberichte

<http://www.diw.de/deutsch/publikationen/wochenberichte/jahrgang02/>

Element 29 - Wärmeschutz und Energie im Hochbau

<http://www.swissbrick.ch/ele/de/e29/inhalt29.htm>

Energieagentur Sachsen-Anhalt

<http://www.energieagentur-lsa.de/index.htm>

Energie Depesche

<http://www.energiedepesche.de/verbraucherpower/steuerung-home/Framesets/mainED.html>

Energie und Bau

<http://www.energieundbau.de/isoteg/frame.html?user=u1016265813.17821&sid=1016265813M17821U213.187.87.189.1668&willcode>

EnEV-online

<http://www.enev-online.de/bund/dena/>

EMPA

<http://www.empa.ch/>

Fa. Testo

<http://www.testo.de/DE/de/>

FEB, Universität Kassel

<http://www.uni-kassel.de/fb12/fachgebiete/feb/Welcome.htm>

Forschungsgesellschaft HLK Stuttgart mbH

<http://fghlk.de/index2.htm>

Forschungslabor für Experimentelles Bauen - Fachgebiet für Tragkonstruktion und

Experimentelles Bauen - der Universität Gesamthochschule Kassel

<http://www.uni-kassel.de/fb12/fachgebiete/feb/>

Fraunhofer Gesellschaft

<http://www.fraunhofer.de/german/index.html>

Fraunhofer-Institut für Bauphysik – IBP

<http://www.hoki.ibp.fhg.de/indexd.html>

Gesellschaft für Rationelle Energieverwendung eV, Berlin – GRE

<http://www.gre-online.de/>

Haustechnik - IKZ-Online

<http://www.myshk.com/>

Heizungsbetrieb

<http://www.heizungsbetrieb.de/de/>

HL-Technik AG

<http://www.hl-technik.de/>

ILSE - Institut für elektrische Energietechnik-Erneuerbare Energien der TU-Berlin

<http://emsolar.ee.tu-berlin.de/~ilse/index2.html>

IMPULS-Programm Hessen

<http://www.impulsprogramm.de/index.htm>

Informationsdienst BINE, Fachinformationszentrum Karlsruhe

<http://bine.fiz-karlsruhe.de/bine/indexnew.html>

Informationsdienst Wissenschaft – idw

<http://idw-online.de/public/>

Institut für Gebäudelehre und Entwerfen (GBL&E) der TU-Wien

http://www.gbl.tuwien.ac.at/_docs/modul/vo/regelwerke2001/Energiespar_Bauen/ESB_Niedrigenergiehaus/esb_niedrigenergiehaus.html

Institut für Hochbau für Architekten und Entwerfen – Abteilung für bauphysikalische und humanökologische Grundlagen des Hochbaues, Technische Universität Wien
<http://www.hbph.tuwien.ac.at:8081/>

Institut Wohnen und Umwelt in Darmstadt
<http://www.iwu.de/>

Intergovernmental Panel on Climate Change
<http://www.ipcc.ch/>

Netzwerk für Informationen und Technologie-Transfer im Energiebereich – ENET
<http://www.energieforschung.ch/ENET/ENETHome.nsf/pgHomeNetscapeDE>

OGIP
<http://www.ogip.ch/>

Öko-Institut (Institut für angewandte Ökologie e.V.)
<http://www.oeko.de/indexb.html>

Österreichisches Kuratorium für Landtechnik und Landentwicklung (ÖKL)
<http://www.oekl.at/>

Physikalisch-Technische Bundesanstalt – PTB
<http://www.ptb.de/index.html>

phänotyp AG
<http://www.beyond-design.de/>

Professur für Bauphysik der ETH Zürich
<http://www.bph.hbt.arch.ethz.ch/>

Schweizerische Vereinigung für Sonnenenergie – SSES
<http://www.sses.ch/index.shtml>

SoftGuide GmbH & Co. KG
<http://www.softguide.de/>

Solarenergie-Förderverein e.V. (SFV)
<http://www.sfv.de/>

Statistisches Bundesamt Deutschland
http://www.destatis.de/d_home.htm

Sunways AG, Konstanz
<http://www.sunways.de/>

TRANSSOLAR Energietechnik GmbH
<http://www.transsolar.com/>

TU-München Ergonomie
<http://www.ergonomie.tum.de/>

UFE Solar GmbH, Eberswalde
<http://www.ufesolar.de/>

Umwelt- und Prognose-Institut e.V. (UPI)
<http://www.upi-institut.de/>

Unabhängige Plattform für Energie-Informationen in der Schweiz
<http://www.energie.ch/>

Universität Siegen, Fachgebiet Bauphysik & Solarenergie: Multimediale Datenbank zur Niedrigenergie- und Solararchitektur NESA
<http://nesa1.uni-siegen.de/softlab/nesa.htm>

Universität Stuttgart Institut für Thermodynamik der Luft- und Raumfahrt – ITLR
<http://www.uni-stuttgart.de/itlr/lehre/skript/Wtragung/>

Private Internetseiten

Bangerter, Heinz: <http://www.baudaten.com/>
Bossert, Paul: <http://www.universe-architecture.com/Publik.html>
Bumann, Matthias G.: <http://www.dimagb.de/home.html>
Ebel, Jochen: <http://jebel.bei.t-online.de/>
Eisenschink, Alfred: <http://www.sancal.de/>
Fischer, Konrad: <http://home.t-online.de/home/konrad-fischer/>
Hartmann, Lucius: <http://www.unizh.ch/~lucius/>
Hausertis, Karl-Gerd: <http://www.geocities.com/kghausertis/index2.html>
Heizungsbetrieb: <http://www.heizungsbetrieb.de/de/index.htm>
Holznagel, Matthias: <http://www.holznagels.de/matthias/matthias.html>
Jenni, Josef <http://www.jenni.ch/>
Köneke, Rolf: <http://home.t-online.de/home/sick-building-center/>
Kornicki, Thomsz P.: <http://members.chello.at/tkornicki/>
Meier, Claus: <http://clausmeier.tripod.com/>
Rauch, Peter: <http://www.ib-rauch.de/>
Roggel, Klaus: <http://home.snafu.de/k.roggel/>
Rückert, Michael: <http://www.dvz.fh-koeln.de/~bt073/private/homepage.html>
Scheer, Hermann: <http://www.hermann-scheer.de/>
Stubenrauch, Bruno: <http://www.enev24.de/forum1/index.php>
Vill, Ernst: <http://www.ernst-vill-verlag.de/>

Allgemein-verwendete Seiten

<http://www.gbv.de/>
<http://www.google.de/>
<http://www.infoball.de/>
<http://www.irbdirekt.de/>
<http://www.langenscheidt.aol.de/>
<http://www.spiegel.de/>
<http://www.subito-doc.de/>
<http://www.welt.de/>
<http://www.zeit.de/>
<http://mdas10.urz.uni-magdeburg.de/cgi-bin/wwwlibmenu>

Anhang

Anhangs-Inhaltsverzeichnis

| | |
|---|---------------|
| Anhang A.1: Allgemeines und Berechnungen | A.1-01 |
| Einheiten-Definitionen und Umrechnungsfaktoren | A.1-02 |
| Umrechnungstabelle für Energieeinheiten, Griechisches Alphabet | A.1-03 |
| Heizwerte und Faktoren zur energetischen Bilanzierung | A.1-04 |
| A.1.1 (Un-)Pauschaler Wärmeübergang | A.1-05 |
| Berechnung der kombinierten Außentemperatur (inkl. terrestrische Reflexion) | A.1-09 |
| A.1.2 Blower-Door-Test und angepasste Luftdurchlässigkeit der Gebäudehülle | A.1-11 |
| A.1.3 A/V_e oder EGZ | A.1-14 |
| PEV und Emissionswerte von Endenergieträgern und Heizungssystemen | A.1-18 |
| Energiekosten nach Art der Gewinnung und Energiepreis-Prognose (Jahr 2050) | A.1-19 |
| Werte zur Abschätzung innerer Wärmelasten (Personen und Geräte) | A.1-20 |
| A.1.4 Thermisches Raumverhalten und instationäre Wärmeleitung (DynaTherm) | A.1-22 |
| Nutzereinfluss auf den Heizenergiebedarf am Beispiel eines RMH (NOWA) | A.1-26 |
| Zusammenstellung wesentlicher Berechnungs-Werte für den Standort Zürich | A.1-29 |
| Abstract von Kennwerten und Randbedingungen zum Selbstregeleffekt | A.1-30 |
| Abbildungen zur Thematik Behaglichkeit | A.1-31 |
| Simulation des Auskühl- und Anheizverhaltens an einer AW eines Eckraums | A.1-32 |
| Anhang A.2: Klimawerte und Berechnungen | A.2-01 |
| Wetter-Messwerte für die Stadt Magdeburg (Quelle: LÜSA) | A.2-02 |
| A.2.1 Berechnung spezieller Gradtagzahlen | A.2-05 |
| A.2.2 Der Europäische Solarstrahlungs-Atlas (ESRA) | A.2-10 |
| Trübungsfaktor nach Linke | A.2-12 |
| Albedo-Werte verschiedener Oberflächen | A.2-13 |
| Klimawerte Magdeburg: Temperaturen | A.2-14 |
| Klimawerte Magdeburg: MDW der Solarstrahlungsanteile horizontal | A.2-16 |
| Klimawerte Magdeburg: MDW der Solarstrahlungsanteile Nord- bis Südwand | A.2-18 |
| Klimawerte Magdeburg: MDW der Solarstrahlungsanteile Nord- bis Süddachfläche | A.2-26 |
| Klimawerte Magdeburg: MDCSW der Solarstrahlungsanteile Nord- bis Süddachfläche | A.2-35 |
| Klimadiagramme Magdeburg (Solarstrahlung) | A.2-44 |
| A.2.3 Auswertung von ESRA-, DIN-Werten u. Wärmeschutzbestimmungen | A.2-52 |
| A.2.4 Abschätzung von Solargewinnen opaker Bauteile | A.2-57 |
| Solarbilanz und Berechnungsbeispiel mit DynaTherm | A.2-60 |
| Auszug aus dem Wetterdatensatz vom Dach des ZAE (Uni-Würzburg) | A.2-67 |
| Auswertung von Wind-Wetterdaten (W.-v.-Siemens-Gymnasium Magdeburg) | A.2-73 |
| Zitate | A.2-76 |

Anhangs-Abbildungsverzeichnis

Anhang A.1

| | |
|--|-----------|
| A.1-01_ Wärmeübergangswerte | S. A.1-06 |
| A.1-02_ Temperatur-Dicken-Diagramm | S. A.1-07 |
| A.1-03_ Unterkühlung einer Fassadenoberfläche (ΔIR) | S. A.1-08 |
| A.1-04_ Modell zur Bestimmung der kombinierten Außentemperatur | S. A.1-09 |
| A.1-05_ Fugendurchlassigkeiten verschiedener Fenster | S. A.1-11 |
| A.1-06_ Rechnerischer Heizenergiebedarf bei unkonvtl. Grundriss und Dämmung | S. A.1-16 |
| A.1-07_ Prozentuale Aufteilung des mittleren Stromverbrauchs (3 Personenhaushalt) .. | S. A.1-21 |
| A.1-08_ Wärmestromdichten verschiedener Bauteilkonstruktionen im Tagesverlauf .. | S. A.1-22 |
| A.1-09_ Definition der raumseitigen Wärmespeicherkapazität | S. A.1-23 |
| A.1-10_ Simulationsergebnisse: Grenzwertbetrachtung Sommerfall | S. A.1-24 |
| A.1-11_ Grundrisse Reihenmittelhaus | S. A.1-27 |
| A.1-12_ Klima- und Berechnungswerte für Zürich | S. A.1-29 |
| A.1-13_ Südansicht eines Niedrigenergiehauses | S. A.1-30 |
| A.1-14_ Gegenüberstellung Heizenergiebedarf NEH zu SIA-Absenkepfad | S. A.1-30 |
| A.1-15_ Auenklimate Messung/Messtag NEH (NT-FBH) | S. A.1-30 |
| A.1-16_ Vertikale Temperaturprofile verschiedener Heizsysteme | S. A.1-31 |
| A.1-17_ Strahlungsanteil an der Wärmeübergabe verschiedener Heizkörper | S. A.1-31 |
| A.1-18_ Auskühl- und Anheizverhalten einer AW-Innenoberfläche | S. A.1-32 |
| A.1-19_ Zeitlicher Verlauf bauteilweiser Wärmeverluste nach Randbedingung 1 | S. A.1-37 |
| A.1-20_ Zeitlicher Verlauf bauteilweiser Wärmeverluste nach Randbedingung 2 | S. A.1-37 |

Anhang A.2

| | |
|--|-----------|
| A.2-01_ Verlauf der Monatsmittel-Temperatur für Magdeburg (1961 bis 1990) | S. A.2-03 |
| A.2-02_ Verlauf des Monatsmittel-Niederschlags für Magdeburg (1961 bis 1990) | S. A.2-04 |
| A.2-03_ Monatsmitteltemperaturen für Magdeburg (Trendfunktion) | S. A.2-05 |
| A.2-04_ Klimawerte Lenzkirch | S. A.2-10 |
| A.2-05_ Jahresgang der Sonne (Deutschland, 51° nördliche Breite) | S. A.2-11 |
| A.2-06_ Verlauf der Monatsdurchschnitts-Temperatur für Magdeburg (1981 bis 1990) .. | S. A.2-14 |
| A.2-07_ Durchschnittswerte solarer Globalstrahlung im Dezember (Wand) | S. A.2-44 |
| A.2-08_ Durchschnittswerte solarer Globalstrahlung im Juni (Wand) | S. A.2-45 |
| A.2-09_ Durchschnittswerte solarer Globalstrahlung (Clear-Sky) im Dezember (Wand) .. | S. A.2-46 |
| A.2-10_ Durchschnittswerte solarer Globalstrahlung (Clear-Sky) im Juni (Wand) | S. A.2-47 |
| A.2-11_ Durchschnittswerte solarer Globalstrahlung im Dezember (Dach) | S. A.2-48 |
| A.2-12_ Durchschnittswerte solarer Globalstrahlung im Juni (Dach) | S. A.2-49 |

| | | |
|---------|--|-----------|
| A.2-13_ | Durchschnittswerte solarer Globalstrahlung (Clear-Sky) im Dezember (Dach) | S. A.2-50 |
| A.2-14_ | Durchschnittswerte solarer Globalstrahlung (Clear-Sky) im Juni (Dach) | S. A.2-51 |
| A.2-15_ | Verlauf der Strahlungsintensität (ESRA-DIN) im Vergleich | S. A.2-54 |
| A.2-16_ | Solare Energiebilanz einer opaken Südwand (Klima: ESRA) | S. A.2-57 |
| A.2-17_ | Solare Energiebilanz einer opaken Südwand (Klima: VDI 2078) | S. A.2-58 |
| A.2-18_ | Gesamtenergiedurchlassgrad g opak | S. A.2-59 |
| A.2-19_ | Himmelstemperatur infolge IR-Strahlungsaustausch | S. A.2-59 |
| A.2-20_ | DynaTherm-Arbeitsblatt: "Wandaufbau" (Seite 1) | S. A.2-62 |
| A.2-21_ | DynaTherm-Arbeitsblatt: "Wandaufbau" (Seite 2) | S. A.2-63 |
| A.2-22_ | DynaTherm-Arbeitsblatt: "Randbedingungen" | S. A.2-64 |
| A.2-23_ | DynaTherm-Arbeitsblatt: "Berechnungs Optionen" | S. A.2-65 |
| A.2-24_ | DynaTherm-Arbeitsblatt: "Ausgabewerte" | S. A.2-66 |
| A.2-25_ | Zusammenhang zwischen Luft-, Himmelstemperatur und Gegenstrahlung | S. A.2-72 |
| A.2-26_ | Global-, Diffus- und Gegenstrahlung auf eine horizontale Fläche | S. A.2-72 |
| A.2-27_ | Global-, Diffus- und Gegenstrahlung auf eine senkrechte nach Süden ausgerichtete Fläche | S. A.2-72 |
| A.2-28_ | Windgeschwindigkeit und -richtung für Magdeburg 1998 | S. A.2-73 |
| A.2-29_ | Relative Häufigkeit der Windrichtung in der Heizperiode | S. A.2-74 |
| A.2-30_ | Relative Häufigkeit der Windrichtung in der Kühlperiode | S. A.2-74 |

Anhangs-Tabellenverzeichnis

Anhang A.1

| | |
|---|-----------|
| A.1-01_ Eindimensional-Stationärer Temperaturverlauf mit Wärmeübergang | S. A.1-07 |
| A.1-02_ Effektiver Emissionsgrad des Himmels für langwellige Gegenstrahlung | S. A.1-10 |
| A.1-03_ Primärenergie und Emissionsdaten von Endenergieträgern | S. A.1-18 |
| A.1-04_ Emissionen und Primärenergieverbrauch von Heizungssystemen | S. A.1-18 |
| A.1-05_ Prognose der Energiepreise bis 2050 | S. A.1-19 |
| A.1-06_ Energiekosten bezogen auf die Energiegewinnungsart | S. A.1-19 |
| A.1-07_ Wärmeabgabe Mensch (GU) | S. A.1-20 |
| A.1-08_ Wärmeabgabe Mensch (MET) | S. A.1-20 |
| A.1-09 bis A.1-11 Schätzwerte zum Elektroenergieverbrauch | S. A.1-21 |
| A.1-12_ Grenzwertbetrachtung Sommerfall: Eingabewerte und Ergebnisse | S. A.1-24 |
| A.1-13_ Kenngrößen Reihennittelhaus | S. A.1-26 |
| A.1-14_ Randbedingungen NOWA-Simulation (Nutzereinfluss Heizwärmebedarf) | S. A.1-28 |
| A.1-15 bis A.1-17 Ergebnisse NOWA-Simulation (Nutzereinfluss Heizwärmebedarf) | S. A.1-28 |
| A.1-18_ Kenngrößen eines NEH | S. A.1-30 |
| A.1-19_ Ergebnisse und Annahmen zur vereinfachten Simulation einer AW | S. A.1-32 |
| A.1-20_ Raumwärmebedarf (Transmission und Infiltrations-Lüftung) für verschiedene Tage | S. A.1-33 |
| A.1-21_ Tagesgänge bauteilweiser Energieströme für unterschiedliche Rand- bedingungen | S. A.1-36 |

Anhang A.2

| | |
|---|-----------|
| A.2-01_ Wetter-Messwerte Magdeburg (LÜSA) | S. A.2-02 |
| A.2-02_ Aktuelle Wetter-Messwerte Magdeburg (LÜSA) | S. A.2-04 |
| A.2-03_ Monatsmitteltemperaturen der Außenluft für Magdeburg | S. A.2-05 |
| A.2-04_ Mitteltemperaturen der Außenluft in Abhängigkeit zur Heizgrenze | S. A.2-05 |
| A.2-05_ Mitteltemperaturen der Außenluft in Abhängigkeit zur Heizperiode | S. A.2-05 |
| A.2-06_ Mittlere jährliche Heiztage und Heizgradtagzahlen für Magdeburg | S. A.2-05 |
| A.2-07_ Wertetabelle: Gradtage Magdeburg | S. A.2-06 |
| A.2-08_ Monatlicher Wärmeverbrauchsanteil | S. A.2-09 |
| A.2-09_ Typische Albedowerte verschiedener Oberflächen | S. A.2-13 |
| A.2-10_ Monatsdurchschnittstemperaturen (1981-1990) der Außenluft für Magdeburg | S. A.2-14 |
| A.2-11_ Monatssummen der Sonnenscheindauer verschiedener Jahre für Magdeburg | S. A.2-15 |
| A.2-12_ Verschiedene Monatsdurchschnitts-Klimawerte (1981-1990) für Magdeburg | S. A.2-15 |
| A.2-13_ Zusammenfassung solarer Strahlungswerte | S. A.2-15 |

| | | |
|--------|--|----------------|
| A.2-14 | ..Tagesgang/Summe der Solarstrahlungsanteile: horiz. (MMW 1981-1990) |S. A.2-16 |
| A.2-15 | ..Tagesgang/Summe reflekt. Solarstrahlung: ⊔ Wand (MMW 1981-1990) |S. A.2-17 |
| A.2-16 | ..Tagesgang/Summe Solarstrahlungsanteile: ⊔ N-Wand (MMW 1981-1990) |S. A.2-18 |
| A.2-17 | ..Tagesgang/Summe Solarstrahlungsanteile: ⊔ NW-Wand (MMW 1981-1990) | .S. A.2-19 |
| A.2-18 | ..Tagesgang/Summe Solarstrahlungsanteile: ⊔ W-Wand (MMW 1981-1990) | ...S. A.2-20 |
| A.2-19 | ..Tagesgang/Summe Solarstrahlungsanteile: ⊔ SW-Wand (MMW 1981-1990) | .S. A.2-21 |
| A.2-20 | ..Tagesgang/Summe Solarstrahlungsanteile: ⊔ S-Wand (MMW 1981-1990) |S. A.2-22 |
| A.2-21 | ..Tagesgang/Summe Solarstrahlungsanteile: ⊔ SO-Wand (MMW 1981-1990) | ..S. A.2-23 |
| A.2-22 | ..Tagesgang/Summe Solarstrahlungsanteile: ⊔ O-Wand (MMW 1981-1990) |S. A.2-24 |
| A.2-23 | ..Tagesgang/Summe Solarstrahlungsanteile: ⊔ NO-Wand (MMW 1981-1990) | .S. A.2-25 |
| A.2-24 | ..Tagesgang/Summe reflekt. Solarstrahlung: ⊘ Dach (MMW 1981-1990) |S. A.2-26 |
| A.2-25 | ..Tagesgang/Summe Solarstrahlungsanteile: ⊘ N-Dach (MMW 1981-1990) |S. A.2-27 |
| A.2-26 | ..Tagesgang/Summe Solarstrahlungsanteile: ⊘ NW-Dach (MMW 1981-1990) | ..S. A.2-28 |
| A.2-27 | ..Tagesgang/Summe Solarstrahlungsanteile: ⊘ W-Dach (MMW 1981-1990) |S. A.2-29 |
| A.2-28 | ..Tagesgang/Summe Solarstrahlungsanteile: ⊘ SW-Dach (MMW 1981-1990) | ..S. A.2-30 |
| A.2-29 | ..Tagesgang/Summe Solarstrahlungsanteile: ⊘ S-Dach (MMW 1981-1990) |S. A.2-31 |
| A.2-30 | ..Tagesgang/Summe Solarstrahlungsanteile: ⊘ SO-Dach (MMW 1981-1990) | ...S. A.2-32 |
| A.2-31 | ..Tagesgang/Summe Solarstrahlungsanteile: ⊘ O-Dach (MMW 1981-1990) |S. A.2-33 |
| A.2-32 | ..Tagesgang/Summe Solarstrahlungsanteile: ⊘ NO-Dach (MMW 1981-1990) | ..S. A.2-34 |
| A.2-33 | ..Tagesgang/Summe reflekt. Solarstrahlung: ⊘ Dach (MMCS 1981-1990) |S. A.2-35 |
| A.2-34 | ..Tagesgang/Summe Solarstrahlungsanteile: ⊘ N-Dach (MMCS 1981-1990) |S. A.2-36 |
| A.2-35 | ..Tagesgang/Summe Solarstrahlungsanteile: ⊘ NW-Dach (MMCS 1981-1990) | .S. A.2-37 |
| A.2-36 | ..Tagesgang/Summe Solarstrahlungsanteile: ⊘ W-Dach (MMCS 1981-1990) | ...S. A.2-38 |
| A.2-37 | ..Tagesgang/Summe Solarstrahlungsanteile: ⊘ SW-Dach (MMCS 1981-1990) | .S. A.2-39 |
| A.2-38 | ..Tagesgang/Summe Solarstrahlungsanteile: ⊘ S-Dach (MMCS 1981-1990) |S. A.2-40 |
| A.2-39 | ..Tagesgang/Summe Solarstrahlungsanteile: ⊘ SO-Dach (MMCS 1981-1990) | ..S. A.2-41 |
| A.2-40 | ..Tagesgang/Summe Solarstrahlungsanteile: ⊘ O-Dach (MMCS 1981-1990) |S. A.2-42 |
| A.2-41 | ..Tagesgang/Summe Solarstrahlungsanteile: ⊘ NO-Dach (MMCS 1981-1990) | .S. A.2-43 |
| A.2-42 | ..Tabelle zur Abbildung A.2-07 |S. A.2-44 |

| | |
|--|-----------|
| A.2-43_ Tabelle zur Abbildung A.2-08 | S. A.2-45 |
| A.2-44_ Tabelle zur Abbildung A.2-09 | S. A.2-46 |
| A.2-45_ Tabelle zur Abbildung A.2-10 | S. A.2-47 |
| A.2-46_ Tabelle zur Abbildung A.2-11 | S. A.2-48 |
| A.2-47_ Tabelle zur Abbildung A.2-12 | S. A.2-49 |
| A.2-48_ Tabelle zur Abbildung A.2-13 | S. A.2-50 |
| A.2-49_ Tabelle zur Abbildung A.2-14 | S. A.2-51 |
| A.2-50_ 24 h-Werte (TMD) für senkrechte und horizontale Flächen | S. A.2-52 |
| A.2-51_ Werte (Monatssummendurchschnitt) für senkrechte und horizontale Flächen .. | S. A.2-52 |
| A.2-52_ Tagessumme (MDT) der solaren Globalstrahlung (ESRA) | S. A.2-53 |
| A.2-53_ Monatssumme der solaren Globalstrahlung (ESRA) | S. A.2-53 |
| A.2-54_ ESRA-Werte (solare Globalstrahlung) Standort Magdeburg | S. A.2-54 |
| A.2-55_ Monats- und Stundenwerte (ESRA) von Außenlufttemperatur und Global- strahlung (unverschattete \perp S-Wand) | S. A.2-55 |
| A.2-56_ Monats- und Stundenwerte (VDI 2078) von Außenlufttemperatur und Global- strahlung Clear Sky (unverschattete \perp S-Wand) | S. A.2-56 |
| A.2-57_ Solare Energiebilanz (opake S-Wand) mit DynaTherm und ESRA-Werten | S. A.2-60 |
| A.2-58_ Solare Energiebilanz (opake S-Wand) mit DynaTherm und VDI 2078-Werten | S. A.2-61 |
| A.2-59_ Auszug aus dem Wetterdatensatz des ZAE (Gegenstrahlung) | S. A.2-67 |
| A.2-60_ Relative Windhäufigkeit unterschiedlicher Perioden | S. A.2-73 |
| A.2-61_ Durchschnittswerte der Windgeschwindigkeit | S. A.2-75 |
| A.2-62_ Messwerttabelle Windwetterdaten Magdeburg (1998) | S. A.2-73 |

Anhang A.1 Allgemeines und Berechnungen

Heizwerte, Maß- und Energieeinheiten

Basiseinheiten (SI)¹

| (Basis-)Größe | (Basis-)Einheit | Kurz- Zeichen |
|---|---------------------|------------------|
| Länge | Meter | m |
| Masse | Kilogramm | kg |
| Zeit | Sekunde | s |
| thermodynamische Temperatur | Kelvin | K |
| Lichtstärke | Candela | cd |
| atomphysikalische Einheit(en) | | |
| Energie | Elektronenvolt | eV |
| abgeleitete Einheiten | | |
| Zeit | Minute, Stunde, Tag | min, h, d |
| Frequenz | Hertz | Hz |
| Druck, mechanische Spannung | Pascal, Bar | Pa, bar |
| Energie, Arbeit, Wärmemenge | Joule | J |
| Leistung, Energie- strom, Wärmestrom | Watt | W |
| Temperatur | Grad Celsius | °C |

Umrechnung verschiedener Maßeinheiten in SI-Einheiten¹

Arbeit, Energie, Wärme

| | | |
|--------|----------------------------|---|
| 1 Nm | = 1.0000 | J |
| 1 Ws | = 1.0000 | J |
| 1 kcal | = 4.1868 · 10 ³ | J |
| 1 kWh | = 3.6000 · 10 ⁶ | J |

Druck, mechanische Spannung

| | | |
|------------------|----------------------------|----|
| 1 bar | = 1.0000 · 10 ⁵ | Pa |
| 1 at | = 9.8067 · 10 ⁴ | Pa |
| 1 atm | = 1.0133 · 10 ⁵ | Pa |
| 1 mm WS | = 9.8067 | Pa |
| 1 mmHg (1 mm QS) | = 1.3332 · 10 ² | Pa |

Spezifische Enthalpie

$$1 \text{ kcal/kg} = 4.1868 \cdot 10^3 \text{ J/kg}$$

Volumenbezogene kalorische Größen

$$1 \text{ kcal/m}^3 = 4.1868 \cdot 10^3 \text{ J/m}^3$$

Kraft

$$1 \text{ kp} = 9.8097 \text{ N}$$

Dezimale Vielfache u. Teile der Einheiten¹

| Faktor | Vorsilbe | Kurz- zeichen | Faktor | Vorsilbe | Kurz- zeichen |
|------------------|----------|------------------|-------------------|----------|------------------|
| 10 ¹⁸ | Exa | E | 10 ⁻¹ | Dezi | d |
| 10 ¹⁵ | Peta | P | 10 ⁻² | Zenti | c |
| 10 ¹² | Tera | T | 10 ⁻³ | Milli | m |
| 10 ⁹ | Giga | G | 10 ⁻⁶ | Mikro | μ |
| 10 ⁶ | Mega | M | 10 ⁻⁹ | Nano | n |
| 10 ³ | Kilo | k | 10 ⁻¹² | Pico | p |
| 10 ² | Hekto | h | 10 ⁻¹⁵ | Femto | f |
| 10 ¹ | Deka | da | 10 ⁻¹⁸ | Atto | a |

Zusammenhang zwischen abgeleiteten Einheiten und Basiseinheiten¹

$$1 \text{ min} = 60 \text{ s}$$

$$1 \text{ h} = 60 \text{ min} = 3600 \text{ s}$$

$$1 \text{ d} = 24 \text{ h} = 1440 \text{ min} = 86\,400 \text{ s}$$

$$1 \text{ Hz} = 1/\text{s}$$

$$1 \text{ N} = 1 \text{ kg m/s}^2$$

$$1 \text{ Pa} = 1 \text{ N/s}^2 = 1 \frac{\text{kg m}}{\text{s}^2 \text{ m}^2} = 1 \frac{\text{kg}}{\text{s}^2 \text{ m}}$$

$$1 \text{ bar} = 10^5 \text{ N/m}^2 = 10^5 \frac{\text{kg m}}{\text{s}^2 \text{ m}^2} = 10^5 \frac{\text{kg}}{\text{s}^2 \text{ m}}$$

$$1 \text{ J} = 1 \text{ Ws} = 1 \text{ Nm} = 1 \frac{\text{kg m m}}{\text{s}^2} = 1 \frac{\text{kg m}^2}{\text{s}^2}$$

$$1 \text{ W} = 1 \frac{\text{J}}{\text{s}} = 1 \frac{\text{Nm}}{\text{s}} = 1 \frac{\text{kg m m}}{\text{s}^2 \text{ s}} = 1 \frac{\text{kg m}^2}{\text{s}^3}$$

| | | | | | |
|-----------------------------------|--|--|---------|----|--|
| Länge | | Griechisches Alphabet² | | | |
| 1 Å | = 1.6000 · 10 ⁻¹⁰ m | A α | Alpha | a | |
| 1 μ | = 1.6000 · 10 ⁻⁶ m | B β | Beta | b | |
| Leistung, Wärmefluß | | Γ γ | Gamma | g | |
| 1 kcal/h | | Δ δ | Delta | d | |
| Temperatur | | E ε | Epsilon | ě | |
| θ/°C = x _C : | T = (x _C + 273.15) K | Z ζ | Zeta | z | |
| θ/°F = x _F : | T = $\left[\frac{5}{9} \cdot (x_F - 32) + 273.15 \right]$ K | H η | Eta | ē | |
| Temperaturdifferenz | | Θ θ (θ) Theta | | th | |
| 1 °C | = 1 K | I ι | Iota | i | |
| 1 °F | = $\frac{5}{9}$ K | K κ | Kappa | k | |
| Wärmedurchgangskoeffizient | | Λ λ | Lambda | l | |
| 1 kcal/(m ² h °C) | = 1.163 W/(m ² K) | M μ | My | m | |
| 1 cal/(m ² s °C) | = 4.1868 · 10 ⁴ W/(m ² K) | N ν | Ny | n | |
| Wärmeleitfähigkeit | | Ξ ξ | Ksi | x | |
| 1 kcal/(m h °C) | = 1.163 W/(m K) | O o | Omikron | ö | |
| 1 cal/(m s °C) | = 4.1868 · 10 ² W/(m K) | Π π | Pi | p | |
| Spezifische Wärmekapazität | | P ρ | Rho | r | |
| 1 kcal/(kg °C) | = 4.1868 · 10 ³ J/(kg K) | Σ σ | Sigma | s | |
| 1 cal/(g °C) | = 4.1868 · 10 ³ J/(kg K) | T τ | Tau | t | |
| Wärmestromdichte | | Υ υ | Ypsilon | ü | |
| 1 kcal/m ² h | = 1.163 W/m ² | Φ φ | Phi | ph | |
| | | X χ | Chi | ch | |
| | | Ψ ψ | Psi | ps | |
| | | Ω ω | Omega | ō | |

Umrechnungstabelle für Energieeinheiten³

| | kg SKE | kg RÖE | m ³ Erdgas | kcal | kWh | kJ |
|------------------------------|----------|----------|-----------------------|--------|-----------|--------|
| 1 kg SKE (Steinkohleeinheit) | 1 | 0.7 | 0.923 | 7.000 | 8.14 | 29'308 |
| 1 kg RÖE (Rohöleeinheit) | 1.428 | 1 | 1.319 | 10'000 | 11.63 | 41'868 |
| 1 m ³ Erdgas | 1.083 | 0.758 | 1 | 7'580 | 8.816 | 31'736 |
| 1 kcal | 1.43E-04 | 1.00E-04 | 1.30E-04 | 1 | 1.163E-03 | 4.1868 |
| 1 kWh | 0.123 | 0.086 | 0.113 | 860 | 1 | 3'600 |
| 1 kJ | 3.40E-05 | 2.40E-05 | 3.20E-05 | 0.2388 | 2.78E-04 | 1 |

Heizwerte und Faktoren zur energetischen Bilanzierung³

| Energieträger | ME | Heizwert - H _u | | SKE-Faktor |
|-------------------------------------|----------------|---------------------------|--------|------------|
| | | kJ | kWh | |
| Steinkohlen | kg | 29'638 | 8.233 | 1.011 |
| Steinkohlenkoks | kg | 28'650 | 7.958 | 0.978 |
| Steinkohlenbriketts | kg | 31'401 | 8.723 | 1.071 |
| andere Steinkohlenprodukte | kg | 38'040 | 10.567 | 1.298 |
| Braunkohlen | kg | 8'931 | 2.481 | 0.305 |
| Braunkohlenkoks | kg | 29'900 | 8.306 | 1.020 |
| Braunkohlenbriketts | kg | 19'605 | 5.446 | 0.669 |
| Hartbraunkohlen | kg | 14'962 | 4.156 | 0.511 |
| Staub- und Trockenkohlen | kg | 21'813 | 6.059 | 0.744 |
| andere Braunkohlenprodukte | kg | 22'152 | 6.153 | 0.756 |
| Brennholz | kg | 14'654 | 4.071 | 0.500 |
| Brenntorf | kg | 14'235 | 3.954 | 0.486 |
| Klär gas | m ³ | 15'994 | 4.443 | 0.546 |
| Rohbenzol | kg | 39'565 | 10.990 | 1.350 |
| Pech, Rohteer | kg | 37'681 | 10.467 | 1.286 |
| andere Kohlenwertstoffe | kg | 38'520 | 10.700 | 1.314 |
| Erdöl (roh) | kg | 42'733 | 11.870 | 1.458 |
| Motorenbenzin, -benzol | kg | 43'543 | 12.095 | 1.486 |
| Rohbenzin | kg | 44'000 | 12.222 | 1.501 |
| Flugturbinenkraftstoff, Petroleum | kg | 43'000 | 11.944 | 1.467 |
| Dieselmotorkraftstoff | kg | 42'960 | 11.933 | 1.466 |
| Heizöl leicht | kg | 42'733 | 11.870 | 1.458 |
| Heizöl schwer | kg | 40'968 | 11.380 | 1.398 |
| Petrolkoks | kg | 31'048 | 8.624 | 1.059 |
| Flüssiggas | kg | 46'051 | 12.792 | 1.571 |
| Raffineriegas | kg | 46'884 | 13.023 | 1.600 |
| andere Mineralölprodukte | kg | 39'836 | 11.066 | 1.359 |
| Rückläufe, Chemie | kg | 43'292 | 12.026 | 1.477 |
| Kokereigas, Stadtgas, Grubengas | m ³ | 15'994 | 4.443 | 0.546 |
| Gichtgas | m ³ | 4'187 | 1.163 | 0.143 |
| Erdgas | m ³ | 31'736 | 8.816 | 1.083 |
| Erdöl gas | m ³ | 40'300 | 11.194 | 1.375 |
| Elektrischer Strom aus: | | | | |
| Wasserkraft, Windkraft, Fotovoltaik | kWh | 3'600 | | 0.123 |
| Müll, sonstige Biomasse | kWh | 9'125 | | 0.311 |
| Elektrischer Strom: | | | | |
| Kernenergie | kWh | 10'909 | | 0.372 |
| Elektrischer Strom: | | | | |
| Substitutionsfaktor | kWh | 9'125 | | 0.311 |

weitere Angaben zu Heizwerten vgl. bspw. VDI 2067 Blatt 1 1983, S. 33

Wichtig! Dezimalzeichen ist ein Punkt, Tausender-Trennzeichen ein Apostroph.

¹ VDI: VDI-Wärmeatlas, 1997, S. Bb1 ff.

² Wendehorst/Wetzell: Bautechnische Zahlentafeln, 1994, S. 3

³ Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie: Energie Daten 2000, 2000, S. 48 f.

A.1.1 (Un-)Pauschaler Wärmeübergang

Unter normalen atmosphärischen Bedingungen treten die Übertragungsvorgänge Strahlung und Konvektion gemeinsam auf und werden zusammenfassend als Wärmeübergang bezeichnet, obwohl beide Vorgänge völlig verschiedener physikalischer Natur sind. Nach der Wärmeübergangsgleichung von NEWTON:

$$\phi = Q = \alpha \cdot A \cdot \Delta \vartheta \quad (\text{Gl. A.1-1}),$$

kann eine entsprechende Wärmeleistung [J/s od. W] berechnet werden. Der in Gl. (A.1) dargestellte mathematische Zusammenhang spiegelt jedoch keine exakte physikalische Beschreibung der komplexen Vorgänge, die real bei der Wärmeübertragung ablaufen, wider. So sind alle den Wärmeübergang beeinflussenden Faktoren im Wärmeübergangskoeffizienten Alpha [α : α_e bzw. α_i] zusammengefasst. Für genauere Berechnungen, bspw. komplizierter technischer Prozesse, werden beide⁴ physikalischen Vorgänge, Strahlung und Konvektion, strikt getrennt voneinander betrachtet. Im Bauwesen konnte sich eine derart differenzierte Betrachtungsweise (leider) noch nicht durchsetzen. Doch auch für bauphysikalische Belange scheint es (in einigen Fällen) notwendig, den Wärmeübergang als Vorgang in seine grundlegenden Bestandteile zu zerlegen.

Über die Jahre haben sich die α -Werte als Konstanten in den Köpfen der *Baumenschen* festgesetzt, sind teilweise sogar mit dem U-Wert bis zur Unkenntlichkeit verschmolzen. „Bei Vernachlässigung des äußeren Wärmeübergangswiderstandes α_a^{-1} – was bei den heute gebräuchlichen k-Werten verantwortet werden kann und über dies zu einem Ergebnis „auf der sicheren Seite“ führt – erfolgt die Berechnung⁵ der Wärmespeicherungszahl. Dieser Hinweis von Bangerter ist korrekt, beweist aber, wie wenig der Wärmeübergang als eigenständiger Vorgang respektiert wird. So ist der U-Wert im Gegensatz zum Wärmedurchlasswiderstand keine reine Materialkonstante mehr.⁶

In der DDR wurde, bspw. für einschalige Außenwände über Oberfläche Gelände, ein Wärmeübergangswiderstand außen [R_e] von 0.04 (m² K)/W angesetzt.⁷ Das entspricht einem Wärmeübergangswert (-koeffizient) von $1/R_e = 25$ W/(m² K). Zur Innenseite dieser Wände galt $R_i = 0.13$ (m² K)/W (entspricht ca. 7,7 W/(m² K)). Die gleichen Werte sind auch in der entsprechenden DIN-Norm⁸ zu finden. Selbst die aktuelle Norm DIN V 4108-04⁹ weist für diese Fälle keine anders lautenden Zahlenwerte aus. Dies sind gemittelte Durchschnittswerte, die nur für Standardfälle allgemeine Gültigkeit besitzen. Trotzdem ist verwunderlich, wenn Schüle und Künzel zu diesen Werten eine andere Auffassung vertreten. Sie bezeichnen die nach DIN 4701 geltenden „Werte zur sicheren Auslegung von Heizungsanlagen“ als zu „hoch gegriffen ... Für die Berechnung der Temperaturen ist die Verwendung realistischerer Werte zweckmäßig“¹⁰ Die Autoren geben als diese allgemeinen α -Werte folgende Wärmeübergangskoeffizienten an:

- $\alpha_a = 17$ W/(m² K) Wärmeübergangswert atmosphärenseitig

⁴ Der dritte Vorgang, die Leitung, kann i.a. vernachlässigt werden.

⁵ Bangerter: Kennziffern zur Auskühlung, 1994, S. 7

⁶ vgl. Tschegg/Heindl/Sigmund: Grundzüge der Bauphysik, 1984, S. 128

⁷ vgl. TGL 35424/02: Bautechnischer Wärmeschutz, 1985, S. 27

⁸ vgl. DIN 4701-02: Regeln für die Berechnung des Wärmebedarfs von Gebäuden, 1983, S. 15, Tab. 16

⁹ vgl. DIN V 4108-04: Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden, 1998, S. 27, Tab. 7

¹⁰ Gösele/Schüle/Künzel: Schall-Wärme-Feuchte, 1997, S. 179

- $\alpha_i = 6 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$ Wärmeübergangswert (einer Wand) raumluftseitig

Nadler¹¹ differenziert die allgemeine Gültigkeit des Wärmeübergangs weiter. Er unterscheidet zwischen Sommer- und Winterfall und wählt als Werte für den äußeren Wärmeübergang [α_e] 25 $\text{W}/(\text{m}^2 \text{ K})$ für die Winter- bzw. 13.5 $\text{W}/(\text{m}^2 \text{ K})$ für die Sommerperiode.¹²

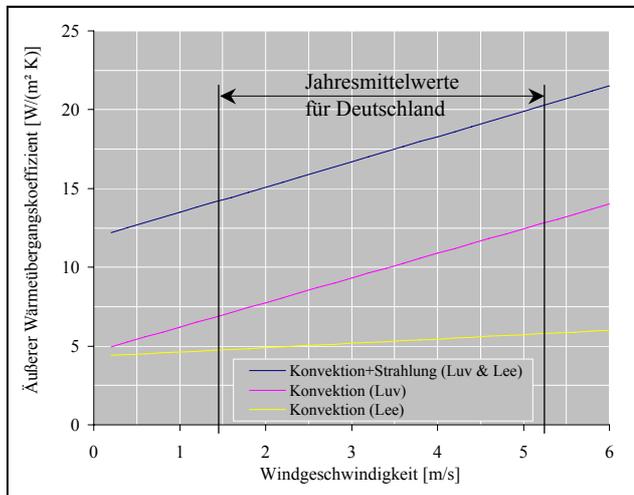


Abbildung A.1-01 Wärmeübergangswerte¹³

Aus diesen unterschiedlichen Auffassungen ergibt die Notwendigkeit der Differenzierung, hin zu einer den jeweiligen (Grenz-)Fällen angepassten Betrachtungsweise bzw. der Aufteilung in entsprechende (thermo-)dynamische **Lastfälle**. Dieses Vorgehen hat mit der relativ fehlerbehafteten bzw. ungenauen Auslegung von Heizflächen nichts mehr gemeinsam. Im Vorfeld muss eindeutig feststehen, ob bspw. für einen

Raum die Heizfläche auszulegen ist oder für eine Raumecke die Wandoberflächentemperatur berechnet werden soll (Ausschließen von evt. Tauwassergefahr bzw. Schimmelbildung).¹⁴

Nur über eine realitätsnahe Abschätzung¹⁵ des Wärmeübergangs ist ein praxistauglicher Wert für den Gesamtwärmestrom durch die Gebäudehüllfläche bestimmbar. Ein unter einfachsten Randbedingungen, aufgestelltes Beispiel verdeutlicht dies. Dargestellt ist ein stationär-eindimensionaler Wärmeübertragungsvorgang in einer einschichtigen homogenen Wand aus isotropem Material.

Formeln zur Beispielberechnung¹⁶:

Wärmeübergang:

$$\phi = \alpha \cdot A \cdot (\vartheta_s - \vartheta_L) \quad (\text{Gl. A.1-2})$$

Wärmedurchgang:

$$\phi = U \cdot A \cdot (\vartheta_1 - \vartheta_2) \quad (\text{Gl. A.1-3})$$

Wärmedurchgangswiderstand:

$$R = \frac{1}{k} = \frac{1}{U} = \frac{1}{\alpha_e} + \sum_{j=1}^n \frac{\delta_j}{\lambda_j} + \frac{1}{\alpha_i} \quad (\text{Gl. A.1-4})$$

¹¹ vgl. Nadler: Kombinierte Außentemperatur IN: GI, 1997, Heft 6, S. 310-315

¹² ebenda, S. 311

¹³ vgl. Holm: Bauphysik – Folien, <http://www.bauphysik.de/lehre/fh-rosenheim/grundlagen.pdf>, S. 47

¹⁴ vgl. Eichler/Arndt: Bautechnischer Wärme- und Feuchtigkeitsschutz, 1989, S. 181

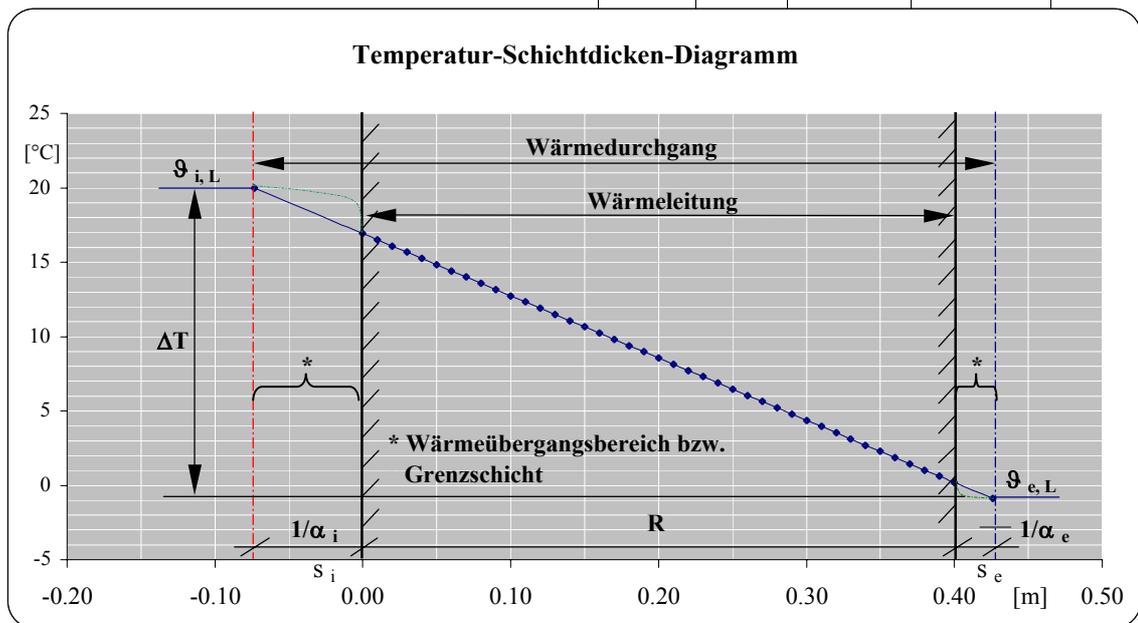
¹⁵ weitere/differenziertere Berechnungen des Wärmeübergangs vgl. bspw. Zürcher/Frank: Bauphysik, 1998, S. 24 ff.; Holznel: Erarbeitung eines Rechenprogramms für den instationären Wärmetransport durch mehrschichtige Bauteile, 2000, S. 38 ff.; Tschegg/Heindl/Sigmund: Grundzüge der Bauphysik, 1984, S. 174 ff.

¹⁶ vgl. DIN 1341: Wärmeübertragung, 1986

Eindimensional-Stationärer Temperaturverlauf mit Wärmeübergang

(einschichtige Wand)

| Wandmaterial + Materialwerte: | x | | y | | | |
|---|--------|-------|-------|----------|------------|-------|
| | s | s* | ϑ | R | U-Wert | ΔT |
| | [m] | [m] | [°C] | [m² K/W] | [W/(m² K)] | [K] |
| Backstein | | | | | | |
| A = 1 [m²] | -0.073 | 0 | 20.00 | 0.167 | 6.000 | 20.00 |
| s = 0.400 [m] | 0.000 | 0.073 | 16.93 | 0.167 | 6.000 | -3.07 |
| λ _R = 0.44 [W/(m K)] | 0.010 | 0.083 | 16.51 | 0.189 | 5.280 | -0.42 |
| ρ = 1100 [kg/m³] | 0.020 | 0.093 | 16.09 | 0.212 | 4.714 | -0.42 |
| c _p = 0.25 [Wh/(kg K)] | 0.030 | 0.103 | 15.67 | 0.235 | 4.258 | -0.42 |
| Wärmeübergangskoeffizienten: | 0.040 | 0.113 | 15.26 | 0.258 | 3.882 | -0.42 |
| α _e = 17 [W/(m² K)] | 0.050 | 0.123 | 14.84 | 0.280 | 3.568 | -0.42 |
| α _i = 6 [W/(m² K)] | 0.060 | 0.133 | 14.42 | 0.303 | 3.300 | -0.42 |
| Grenzschichtdicken: | 0.070 | 0.143 | 14.00 | 0.326 | 3.070 | -0.42 |
| s _e = 0.026 [m] | 0.080 | 0.153 | 13.58 | 0.348 | 2.870 | -0.42 |
| s _i = 0.073 [m] | 0.090 | 0.163 | 13.16 | 0.371 | 2.694 | -0.42 |
| U-Wert = 0.881 [W/(m² K)] | 0.100 | 0.173 | 12.74 | 0.394 | 2.538 | -0.42 |
| R-Wert = 1.135 [m² K/W] | 0.110 | 0.183 | 12.32 | 0.417 | 2.400 | -0.42 |
| ϑ _i = ϑ _{i,L} = 20.0 [°C] | 0.120 | 0.193 | 11.91 | 0.439 | 2.276 | -0.42 |
| ϑ _e = ϑ _{e,L} = -0.9 [°C] | 0.130 | 0.203 | 11.49 | 0.462 | 2.164 | -0.42 |
| ΔT _(i-e) = 20.9 [K] | 0.140 | 0.213 | 11.07 | 0.485 | 2.063 | -0.42 |
| Wandoberflächentemperaturen: | 0.150 | 0.223 | 10.65 | 0.508 | 1.970 | -0.42 |
| ϑ ₁ = ϑ _{i,W} = 16.9 [°C] | 0.160 | 0.233 | 10.23 | 0.530 | 1.886 | -0.42 |
| ϑ ₂ = ϑ _{e,W} = 0.2 [°C] | 0.170 | 0.243 | 9.81 | 0.553 | 1.808 | -0.42 |
| stationärer Wärmestrom: | 0.180 | 0.253 | 9.39 | 0.576 | 1.737 | -0.42 |
| ϕ _{stat} = 18.42 [W/m²] | 0.190 | 0.263 | 8.98 | 0.598 | 1.671 | -0.42 |



| | | | | | |
|---|-------|-------|-------|-------|-------|
| Abbildung A.1-02 Temperatur-Dicken-Diagramm | 0.453 | 1.02 | 1.030 | 0.971 | -0.42 |
| | 0.463 | 0.60 | 1.053 | 0.950 | -0.42 |
| | 0.400 | 0.473 | 1.076 | 0.930 | -0.42 |
| | 0.426 | 0.499 | -0.90 | 1.135 | 0.881 |
| | | | | | -1.08 |

Tabelle A.1-01

Die Abbildung A.1-02 findet sich in ähnlicher Form in nahezu jedem Bauphysikbuch. Die Formeln A.1-02 bis A.1-04 spiegeln die momentan gebräuchlichste mathematisch-physikalische Herangehensweise für baupraktische Fälle wider. Aus Tabelle A.1-01 geht hervor, dass gemäß eines linear funktionalen Zusammenhangs die Gleichung A.1-2 gilt. Der Wärmestrom ist neben dem Wärmedurchgang auch vom Wärmeübergang abhängig. Die Wärmedurchgangsfunktion bzw. deren Anstieg wird von der Wärmeleitfähigkeit des Bauteils und von der wirksamen Temperaturdifferenz bestimmt. Bei instationärem Verhalten lässt sich aus dem Temperaturfeld im Bauteil und den Bauteileigenschaften (auch Temperaturleitfähigkeit) für die jeweilige Bauteiltiefe der entsprechende Wärmestrom ermitteln. Bei dynamischen Vorgängen sind der Wärmeübergang des Bauteils zur Außenseite sowie die wirksame Wärmespeicherefähigkeit von entscheidender Bedeutung. Dies führt in der Realität zu abweichenden Werten¹⁷ (Wandtemperatur niedrigerer als zeitgleiche Lufttemperatur), als sie in Abbildung A.1-02 dargestellt.

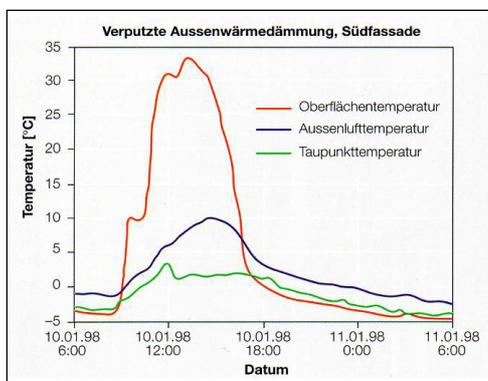


Abbildung A.1-03 Unterkühlung einer Fassade¹⁸

Randbedingungen zur Abbildung A.1-03:

- Messung zur Überprüfung des Algenbewuchsriskos (Tauwasser) an einer Süd-Fassade im Bestand (Ort Dübendorf, Schweiz), relativ wolkenfreier Himmel
- WDVS-Wärmeschutz, U-Wert Bauteil ca. 0.3 W/(m² K), Putzschicht ca. 4 bis 5 mm stark

Derartige Probleme erfordern eine getrennte Betrachtung der Wärmeübergangsvorgänge und machen auch neue/veränderte Modellvorstellungen unentbehrlich.

geteilter Wärmeübergang:

$$\alpha = \alpha_{cv} + \alpha_r + \alpha_{cd} \quad (Gl. A.1-5)$$

Bei der Wärmeströmung wird zwischen freier und erzwungener Konvektion unterschieden. Die komplexen Grenzschichtprobleme (Fluidynamik) können für das Bauwesen an lineare, der stationären Wärmeleitung analogen, Zusammenhänge angenähert werden.²⁰

radiativer Anteil²¹:

$$\alpha_r = \frac{\varphi_{i,j} \cdot \varepsilon_i \cdot \varepsilon_j \cdot C_S \cdot \left[\left(\frac{T_i}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_j}{100} \right)^4 \right]}{(T_i - T_j)} = \varphi_{i,j} \cdot \varepsilon_i \cdot \varepsilon_j \cdot C_S \cdot \beta_{i,j} \quad (Gl. A.1-6)$$

Um Bauteiloberflächentemperaturen zu errechnen, wie Abbildung A.1-02 zeigt, kann der folgende Modellansatz dienen:

¹⁷ vgl. Abbildung A.1-02

¹⁸ EMPA-Akademie: Die Gebäudehülle, 2000, S. 50, Bild 15

¹⁹ Näherungswerte zu α_{cv} vgl. bspw. Abbildung A.1-01. Der Vorgang Leitung (α_{cd}) ist allgemein vernachlässigbar.

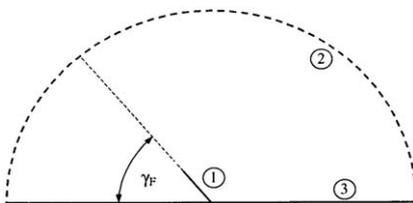
²⁰ vgl. bspw. Zürcher/Frank: Bauphysik, 1998, S. 24 ff.

²¹ vgl. bspw. Hauser: Vorlesungsskript Bauphysik I, 2001, S. 20 f.

²² Einstrahlzahlen vgl. bspw. VDI: VDI-Wärmeatlas, 1997, S. Kb 3. ff.; Emissionswerte vgl. bspw. ebenda, S. Ka, Tabelle 2

Berechnung der kombinierten Außentemperatur* zur Abschätzung von Algenbewuchs auf Fassadenoberflächen

(inkl. langwellige Reflexion der terrestrischen Umgebung)*



Fläche 1: Wandoberfläche

Fläche 2: Himmelsgewölbe

Fläche 3: terrestrische Umgebung

**Modellansatz nach Nadler bzw. Nehring,
durch den Verfasser modifiziert

Abbildung A.1-04** Modell zur Bestimmung der kombinierten Außentemperatur ²³

$$\Phi_1 = \Phi_{r2,1} + \Phi_{r3,1} + \Phi_{CV} + I_{r,sol} = \alpha_e (\vartheta_{e,L} - \vartheta_1) \Rightarrow \text{Energiebilanz Fläche 1,} \quad \text{Gl. A.1-7}$$

$$\vartheta_{e,w,s} = \vartheta_{e,L} - \frac{\varepsilon_1 \cdot C_S}{\alpha_e} \cdot [(1 - \varphi_{1,3} \cdot \varepsilon_3) \cdot (1 - \varepsilon_2)] \cdot \left(\frac{T_{e,L}}{100}\right)^4 + \frac{\alpha_{r1,3}}{\alpha_e} \cdot (T_3 - T_{e,L}) + \frac{\Delta E_{r,glob}}{\alpha_e} \quad \text{Gl. A.1-8}$$

Ausgangsgrößen für den Rechengang (weitere Formeln bzw. eine Tabelle zu ε_2 -Werten, S. A.1-10):

| | | | |
|---|--|---|-----|
| | $T_{e,L}$ [°K] = | 280.15 Außenlufttemperatur | |
| | $\vartheta_{e,L}$ [°C] = | 7.0 Außenlufttemperatur | |
| | T_3 [K] = | 277.15 Temperatur des Erdbodens (Umgebungstemperatur) | |
| | ϑ_3 [°C] = | 4.0 Temperatur des Erdbodens (Umgebungstemperatur) | 4.0 |
| | T_1 [K] = | 280.75 Oberflächentemperatur Fläche 1 | |
| 1 | ϑ_1 [°C] = | 7.6 Oberflächentemperatur Fläche 1 | 7.6 |
| | T_2 [K] = | 253.15 Temperatur des Himmelsgewölbes | |
| | ϑ_2 [°C] = | -20 Temperatur des Himmelsgewölbes | |
| | $\beta_{2,1}$ [K ³] = | 0.76 Temperaturfaktor der Strahlung zwischen Oberfläche i und j ²⁴ | |
| | $\beta_{1,3}$ [K ³] = | 0.87 Temperaturfaktor der Strahlung zwischen Oberfläche i und j ²⁴ | |
| | α_{CV} [W/(m ² K)] = | 15 konvektiver Wärmeübergangswert atmosphärenseitig | |
| | $\alpha_{r1,3}$ [W/(m ² K)] = | 2.1 Strahlungswärmeübergangskoeffizient (Fläche 1 auf 3) | |
| | α_e [W/(m ² K)] = | 19.0 Wärmeübergangsgesamtwert atmosphärenseitig | 17 |
| | ε_1 [-] = | 0.93 Emissionsgrad der Wandoberfläche | |
| | ε_2 [-] = | 0.41 Emissionsgrad der Gegenstrahlung (aus Tabelle A.1-02) | |
| | ε_3 [-] = | 0.93 Emissionsgrad der terrestrischen Umgebung ²⁵ | |
| | C_S [W/(m ² K ⁴)] = | 5.67 Strahlungskonstante des schwarzen Körpers | |
| | γ_F [°] = | 90 Neigungswinkel (Fläche 1) gegen die Horizontale | |
| | $\varphi_{1,2}$ [-] = | 0.50 Einstrahlzahl für Fläche i auf Fläche j | |
| | $\varphi_{1,3}$ [-] = | 0.50 Einstrahlzahl für Fläche i auf Fläche j | |
| | $\Delta E_{r,glob}$ [W] = | 50 geschätzte (solare) Strahlungs(rest)energie im Bauteil | 50 |

kombinierte Außentemperatur (nach Gl. A.1-8):

$$\begin{aligned} T_{e,w,s} [\text{K}] &= 277.05 \text{ kombinierte Außen(wand)temperatur mit langwelliger Reflexion} \\ \vartheta_{e,w,s} [^\circ\text{C}] &= 3.9 \text{ kombinierte Außen(wand)temperatur mit langwelliger Reflexion} \\ \Delta T (T_{e,L} - T_{e,w,s}) [\text{K}] &= -3.1 \text{ Temperaturdifferenz außen (Luft - Oberfläche)} \end{aligned}$$

²³ vgl. Nadler: Kombinierte Außentemperatur IN: GI, 1997, Heft 6, S. 310, Bild 1

²⁴ vgl. Gröber/Erk/Grigull: Grundgesetze der Wärmeübertragung, 1988, S. 386 f.

²⁵ vgl. VDI 3789 Blatt 2 1994: Umweltmeteorologie, S. 44, Tabelle G3

Effektiver Emissionsgrad [ε_e] der langwelligen Gegenstrahlung

| ϑ_{eL} °C | Flächenneigungswinkel gegen die Horizontale in grad [°] | | | | | | | | | | | | |
|------------------------|---|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | 0 | 15 | 30 | 45 | 60 | 75 | 90 | 105 | 120 | 135 | 150 | 165 | 180 |
| -15 | 0.66 | 0.65 | 0.62 | 0.58 | 0.52 | 0.44 | 0.36 | 0.27 | 0.19 | 0.11 | 0.05 | 0.02 | 0.00 |
| -10 | 0.69 | 0.68 | 0.65 | 0.60 | 0.54 | 0.46 | 0.37 | 0.28 | 0.19 | 0.12 | 0.06 | 0.02 | 0.00 |
| -5 | 0.71 | 0.70 | 0.67 | 0.62 | 0.56 | 0.47 | 0.38 | 0.29 | 0.20 | 0.12 | 0.06 | 0.02 | 0.00 |
| 0 | 0.74 | 0.73 | 0.70 | 0.65 | 0.58 | 0.49 | 0.40 | 0.30 | 0.21 | 0.13 | 0.06 | 0.02 | 0.00 |
| 5 | 0.76 | 0.75 | 0.72 | 0.67 | 0.60 | 0.51 | 0.41 | 0.31 | 0.21 | 0.13 | 0.06 | 0.02 | 0.00 |
| 10 | 0.79 | 0.78 | 0.75 | 0.69 | 0.62 | 0.52 | 0.42 | 0.32 | 0.22 | 0.13 | 0.06 | 0.02 | 0.00 |
| 15 | 0.82 | 0.81 | 0.77 | 0.72 | 0.64 | 0.54 | 0.44 | 0.33 | 0.23 | 0.14 | 0.06 | 0.02 | 0.00 |
| 20 | 0.85 | 0.84 | 0.80 | 0.74 | 0.66 | 0.56 | 0.45 | 0.34 | 0.23 | 0.14 | 0.06 | 0.02 | 0.00 |
| 25 | 0.88 | 0.87 | 0.83 | 0.76 | 0.68 | 0.57 | 0.46 | 0.35 | 0.24 | 0.14 | 0.07 | 0.02 | 0.00 |
| 30 | 0.91 | 0.90 | 0.85 | 0.79 | 0.70 | 0.59 | 0.47 | 0.35 | 0.24 | 0.14 | 0.07 | 0.02 | 0.00 |
| 35 | 0.94 | 0.93 | 0.88 | 0.81 | 0.71 | 0.60 | 0.48 | 0.36 | 0.24 | 0.14 | 0.07 | 0.02 | 0.00 |
| 40 | 0.97 | 0.95 | 0.91 | 0.83 | 0.73 | 0.62 | 0.49 | 0.37 | 0.25 | 0.15 | 0.07 | 0.02 | 0.00 |

**Tabelle A.1-02

**vgl. Nadler: Kombinierte Außentemperatur IN: GI, 1997, Heft 6, S. 313, Tabelle 1

weitere Formeln zur Berechnung der kombinierten Außentemperatur nach Gl. A.1-8:

$$\alpha_e = \varepsilon_1 \cdot C_S \cdot \beta_{2,1} + \alpha_{CV} \quad \text{Gl. A.1-9}$$

$$\beta_{i,j} = \frac{\left(\frac{T_i}{100}\right)^4 - \left(\frac{T_j}{100}\right)^4}{(T_i - T_j)} \approx 0,04 \cdot \left(\frac{T_m}{100}\right)^3 \quad \text{Gl. A.1-10}$$

$$\alpha_{r,3} = \varphi_{1,3} \cdot \varepsilon_1 \cdot \varepsilon_3 \cdot C_S \cdot \beta_{1,3} \quad \text{Gl. A.1-11}$$

$$\varphi_{1,3} = 1 - \varphi_{1,2} = \frac{1 + \cos\gamma_F}{2} \quad \text{Gl. A.1-12}$$

Fazit zum Modellansatz:

Der Term $\Delta E_{r, \text{glob}}$ bzw. der lineare Ansatz der Gleichungen A.1-7 u. A.1-8 verdeutlicht, dass es sich nur um eine Momentaufnahme handelt (keine instationäre Berücksichtigung der Speicherfähigkeit möglich). Es ist auch ein periodisch eingeschwungener²⁶ Zustand rechenbar. Zu diesem müssten verallgemeinerbare Randbedingungen definiert bzw. experimentell ermittelt werden, die eine fallweise Auswertung von Problemen aus der Praxis erlauben. Der Modellansatz wird aber nur für eine sehr begrenzte Anzahl Fälle einsetzbar sein.

Es wäre sinnvoller, neben der solaren Globalstrahlung, auch Werte für die Gegenstrahlung²⁷ und evt. die terrestrische Ausstrahlung oder besser die Nettostrahlungssumme²⁸ anzugeben. Mit diesen Werten wäre es bspw. auch über DynaTherm²⁹ möglich die (nächtliche) Bauteilab-

²⁶ vgl. bspw. Tschegg/Heindl/Sigmund: Grundzüge der Bauphysik, 1984, S. 147 ff.

²⁷ vgl. Tabelle A.2-59

²⁸ Diese Größen werden in der Meteorologie ermittelt und müssten an Baubelange angepasst werden., vgl. bspw.

Messwerte der Universität Basel: <http://www.unibas.ch/geo/mcr/dolueg/index.htm>

²⁹ Achtung! Langwellige Strahlung hat andere Absorptionswerte (i.a. > 0.9). Da in DynaTherm nur ein Absorptionskoeffizient eingegeben werden kann, muss bspw. die langwellige Strahlung (Gegenstrahlung und terrestrische Ausstrahlung) auf den entsprechenden α -Wert umgerechnet werden.

kühlung bzw. das in diesem Zusammenhang zu sehende problematische Verhalten von Nordwänden zu erfassen, um einen Algenbewuchs (Tauwasserniederschlag) auszuschließen. Neben den Strahlungswerten müssten für den gleichen (kritischen) Zeitraum die Größen Luft- bzw. Taupunkttemperatur (ersatzweise auch der Wasserdampfgehalt oder Luftfeuchte) der Außenluft bekannt sein. Da der äußere Wärmeübergang hauptsächlich von den Größen Luftgeschwindigkeit, Oberflächenbeschaffenheit und -temperatur abhängt, müssten auch diese Werte zur Verfügung stehen. Um verallgemeinerbare Aussagen zu treffen, sind abschließend die Simulationsergebnisse mit In-Situ-Messwerten zu validieren.

A.1.2 Blower-Door-Test und angepasste Luftdurchlässigkeit der Gebäudehülle

Um den Lüftungssachverhalt allgemeingültiger zu fassen bzw. zu beleuchten³⁰, wurden aussagekräftige Quellen gesucht und gefunden. Die Zusammenfassung der Ergebnisse wird in 4 Unterpunkten abgehandelt.

1.) Unsere Fenster sind zu dicht! Sie übererfüllen die Dichtheitsanforderungen (Grenzwerte der längenbezogenen Fugendurchlässigkeit) nach DIN 18055 bzw. nach WSchV 95.

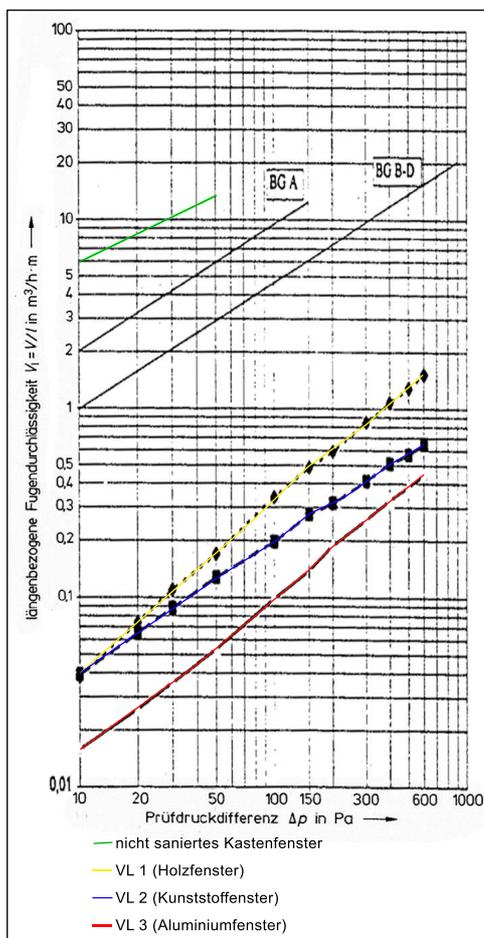


Abbildung A.1-05³¹ Fugendurchlässigkeit

„Zur Vermeidung von Bauschäden und Gesundheitsrisiken täte der Gesetzgeber gut daran, entweder eine Zwangsbeltüftung - wie aufgrund der erkannten Probleme bereits in vielfältigen Ausführungen auf dem Markt - oder einen Mindest-a-Wert von $0.7 \text{ m}^3/(\text{h} \cdot \text{m})$ vorzuschreiben.“³² Aber auch eine „ausreichende Feuchtigkeitsabfuhr bei geschlossenen Fenstern, auch wenn diese undicht sind, ist .. nicht gewährleistet. Dies mag nur in Ausnahmefällen bei stark dem Wind ausgesetzten Wohnungen eventuell in Verbindung mit zusätzlichen Undichtigkeiten der Bauwerkshülle möglich sein. Die dabei auftretenden Lüftungswärmeverluste überschreiten dann .. jedes vertretbare Maß.“³³

Hinweise zur Abbildung A.1-05:

-BG = Beanspruchungsgruppe

-DIN 18055 inzwischen aktualisiert (DIN EN 12207)³⁴

-dem Verfasser liegen keine Hinweise über die Aktualität der vorgestellten Messergebnisse vor

³⁰ vgl. Fußnote 88 Kapitel 3

³¹ vgl. Müller: Sind unsere Fenster zu dicht?, Oktober 1999, Bilder 1 bis 3

³² Müller: Sind unsere Fenster zu dicht?, Oktober 1999, S. 3

³³ Daler: Feuchtigkeitsabfuhr durch natürliche Lüftung, Mai 1996, S. 9

2.) Es ist schwierig eine Relation zu den Werten ($n_{50} < 3 \text{ h}^{-1}$), die im Anhang 4, Nr. 2, S. 30 der EnEV für einen Nachweis der Dichtheit eines gesamten Gebäudes ohne raumluftechnische Anlagen gefordert sind, für Praxisbedingungen herzustellen. Anhaltspunkte zur Abschätzung liefern neben den Diagrammen in ³⁵ bspw. auch die von Schwarz durchgeführten Untersuchungen am "Rosenheimer Haus". Das Holz-Fertigteil-EFH erreichte bei Blower-Door-Messungen Werte zwischen 2.0 h^{-1} und 2.5 h^{-1} .³⁶ Unter durchschnittlich winterlichen Bedingungen

- Außentemperaturen um Null Grad und
- Windgeschwindigkeiten zwischen 1 m/s und 4 m/s ,

stellte sich bei geschlossenen Fenstern ein natürlicher Luftaustausch mit Luftwechselzahlen n zwischen 0.04 h^{-1} bis 0.15 h^{-1} ein. Dies entspricht in keinem Fall dem nach DIN 1946-6 geforderten Grenzwert für eine Grundlüftung (4 Personen)³⁷. Bei einer Schlafzimmersgröße von 17.2 m^2 bzw. 43 m^3 und geschlossener Zimmertür wurde mit einer konstanten LWZ von 0.5 h^{-1} versucht, über die Nacht den Pettenkofer-Grenzwert von 1000 ppm ³⁸ für die Kohlendioxidkonzentration der Raumluft zu halten. Die Untersuchungen ergaben einen notwendigen LW von $n = 1 \text{ h}^{-1}$. Dieser Wert ist in vielen anderen Publikationen zu finden und kann somit als nachgewiesen gelten. Für den Wohnraum wurde sogar zeitweise ein Luftaustausch von 1.6 h^{-1} nötig, um einen hygienisch unbedenklichen Dauerzustand zu gewährleisten.³⁶

3.) Auch bei energetisch sanierten Gebäuden gibt es ähnliche Probleme. Die Ingenieure Richter und Reichel vom ITT der TU-Dresden³⁹ haben innerhalb eines Forschungsvorhabens⁴⁰ zur Luftdichtheit massiver MFH, 59 Objekte in acht verschiedenen Städten (industrieller Wohnungsbau der NBL) untersucht. Darunter waren sowohl unsanierte, teilsanierte als auch vollständig sanierte Gebäude. Für die Ergebnisinterpretation der Messungen diente der n_{50} Kennwert (Differenzmessung über Blower-Door bei 50 Pa Druckunterschied⁴¹). Die Auswertung ergab wiederum sehr niedrige Grundlüftungswerte. Selbst für die unsanierten Objekte wurde ein n_{50} -Wert von 1.6 h^{-1} ermittelt. Im Vergleich zu diesem Wert ergaben Messungen an Ein- und Zweifamilienhäusern ein um den Faktor 4 bis 5 höheres Ergebnis. Nach erfolgter Komplettsanierung der Mehrfamilienhäuser lag der entsprechende Wert nur noch bei durchschnittlich $n_{50} = 0.9 \text{ h}^{-1}$. Davon waren nur ca. 50 % Außenluftanteil. Die verbleibende Restmenge rührte aus dem Gebäudeinneren her, wo durch Undichtigkeiten, Luft in die vermessenen Wohnungen nachströmen konnte. Dieser Trend kann durch weitere Ergebnisse/Untersuchungen des ITT bestätigt werden. So wurde speziell für einen 1983 in Oederan⁴² errichteten viergeschossigen Blockbau (IW 79) mittels Blower-Door festgestellt,

³⁴ vgl. bspw. Ries: <http://www.khries.de/din.htm#DIN%20EN%2012207>, Januar 2002

³⁵ vgl. Zürcher/Frank: Bauphysik, 1998, S. 94, Abbildung 4.20

³⁶ vgl. Schwarz: Lüftung-Luftströmung-Zugluft, S. 2 f.

³⁷ vgl. Heinz: Kontrollierte Wohnungslüftung, 2000, S. 130

³⁸ Die mittlere CO_2 Außenluftkonzentration wurde mit 350 ppm angenommen.

³⁹ Institut für Thermodynamik und Technische Gebäudeausrüstung (ITT) der Technischen Universität Dresden

⁴⁰ vgl. Richter: Luftdichtheit v. Mehrfamilienhäusern, 1998, S. 234 bis 236 und Reichel: Kritische Anmerkungen zur Zuluftversorgung, Dezember 1998, S. 1 bis 5

⁴¹ Für eine Veranschaulichung vgl. Sprach-Brockhaus: 1949, S. 768, entspricht etwa einer Windstärke 5 ($v_{\text{Wind}} = 9 \text{ m/s}$) nach der Beaufort-Skala, frischer Wind (größere Zweige werden bewegt).

⁴² Stadt in Sachsen, zwischen Chemnitz und Freiberg (B173), vgl. <http://www.oederan.de/stadinfo/statistik.htm>

„daß das Gebäude auch bei den derzeitigen, noch aus der DDR stammenden Fenstern relativ dicht ist. Bei durchschnittlichen meteorologischen Bedingungen wird der Luftwechsel im Winter nicht höher als 0.1 h^{-1} sein.“⁴³ Ohne zusätzliche Nachströmmöglichkeiten für Frischluft ist der Luftaustausch, „und damit die hygienische und bauphysikalische Situation, fast ausschließlich vom Fensterlüftungsverhalten der Nutzer“⁴⁴ abhängig. Erfolgt keine ausreichende Lüftung, „kommt es schnell zum Schimmelpilzbefall der Wände und zu gesundheitlichen Problemen der Bewohner. Erfahrungsgemäß sind die meisten Mieter damit überfordert, sie lüften entweder zu viel oder zu wenig.“⁴⁵ „Unterstützend dazu wird im Bauschadensbericht der Bundesregierung .. die sichtbare Schimmelpilzneubildung in Wohnungen, die mit neuen fugendichten Fenstern ausgestattet wurden, ... hervorgehoben und damit unterstrichen, daß es nutzerseitig häufig nicht gelingt, die lüftungsseitigen Minimalanforderungen umzusetzen.“⁴⁴ Richter und Reichel lehnen aber ab, einem Wunsch nach fugendurchlässigen Fenstern nachzukommen. Sie begründen ihren Standpunkt folgendermaßen:

- Eine starke Schwankungsbreite der Fugendurchlasskoeffizienten (a-Werte) kann zu undefinierten Luftverhältnissen führen.
- Die Anzahl der Fenster oder besser die entsprechende Fugenlänge, nicht aber der tatsächliche Bedarf, bestimmen das Maß der Zuluftversorgung.
- Eine Regulierbarkeit durch den Nutzer (bezogen auf die Luftströmung infolge Undichtigkeiten) ist nicht möglich.
- Es besteht bereits bei höheren Differenzdrücken ein erhebliches Risiko zu Bildung störender Strömungsgeräusche.

Die Autoren stellen als Lösungsvorschlag sogenannte Außenluftdurchlässe (ALD) zur Diskussion. Ihrer Meinung nach kann der gezielte Einsatz von ALD „einen wesentlichen Beitrag zur Senkung der lüftungsbedingten Schimmelpilzschäden leisten“⁴⁴ Zu einem ähnlichen Resultat kommen auch Dittmann und Gassel in ⁴³.

- 4.) Bednar geht in ⁴⁶ auf Probleme bei der Altbausanierung im Zusammenhang mit Fenstertausch und Innendämm-Maßnahmen ein. In einem Zwischenfazit stellt er fest, dass aufgrund „der Feuchtespeicherung der Raumbooberflächen .. mit kurzfristigem Stoßlüften einer Wohnung keine ausreichende Feuchteabfuhr erzielbar“ ist. Das hebt die „mittleren relativen Luftfeuchten in der Heizperiode von 20 - 40% auf 60 - 70 %“⁴⁷ an, was andererseits Auswirkungen auf den Mindestwärmeschutz (Tauwasser- bzw. Schimmelpilz-Problematik) hat. Die Frage, in wieweit diese Aussage generell auf Sanierungsmaßnahmen übertragbar ist, kann nur aus dem Gesamtzusammenhang seiner Dissertation geklärt bzw. herausgestellt werden.

⁴³ Technische Universität Dresden: Messtechnische Überwachung im Wohngebiet in Oederan, Februar 1998, S. 37

⁴⁴ Richter: Luftdichtheit v. Mehrfamilienhäusern, 1998, S. 235 u. 236

⁴⁵ Technische Universität Dresden: Messtechnische Überwachung im Wohngebiet in Oederan, Februar 1998, S. 40

⁴⁶ Bednar: Beurteilung des feuchte- und wärmetechnischen Verhaltens von Bauteilen und Gebäuden, 2000, S. 101 ff.

⁴⁷ ebenda, S. 114

Fazit zur dargestellten Lüftungsproblematik:

Die Grundlüftung ist im Normalfall durch Nutzer- und/oder bauliche bzw. anlagentechnische Maßnahmen sicher zu stellen und somit auch von diesen Faktoren abhängig. Der Lüftungsbedingte Wärmeverlust ist analog zu bewerten. Eine Abhängigkeit der natürlichen Lüftung von äußeren meteorologischen Bedingungen (Wind und Temperatur) wird durch heutige Bau- bzw. Sanierungsmaßnahmen (bspw. Fenstertausch, Winddichtungsebenen) weitestgehend ausgeschlossen. „Es muss .. davon ausgegangen werden, dass im Wohnungsbau die freie Lüftung (mit ihren Vor- und Nachteilen) weiterhin dominierend bleibt.“⁴⁸ Diese Feststellung von BOR Hegner wirft einige Fragen auf:

- Muss nicht der Planer eine hygienisch und bauphysikalisch ausreichende Lüftung sicher stellen („Hausführerschein“ bzw. Bedienungsanleitung) und wenn nicht?.
- Weiß der Nutzer, was gesund für ihn und bauphysikalisch richtig für das Gebäude ist?
- Findet er die richtigen Mittel und Wege und bringt er die nötige Zeit für die Lüftung auf?
- Erfolgen seine Maßnahmen im erwünschten Rahmen einer energetischen Effizienz?

Eine Blower-Door-Messung kann eine Abschätzung des natürlichen Luftwechsels ermöglichen⁴⁹. Mit ihrer Hilfe werden Leckagen geortet und beseitigt. Könnte die Messung auf der anderen Seite nicht aber dazu dienen, für entsprechende Zonen eine Grundlüftung sicher zu stellen? Wenn Gebäude definiert luftdicht gebaut werden, muss es dann nicht möglich sein, sie definiert luftundicht zu planen und zu bauen? Über die Blower-Door könnten, in einer Art hydraulischem Abgleich, die vorhandenen Widerstände (Fenster, Türen, Spaltlüfter, ALD, etc.) für äußere (winterliche) Standardklimabedingungen derart eingestellt werden, dass ständig eine ausreichende Grundlüftung, bspw. $n = 0.6 \text{ h}^{-1}$, gewährleistet wäre⁵⁰. Kommen als regulierende Elemente bspw. Bauteilkonstruktionen mit Porenlüftungsfunktion⁵¹ zum Einsatz, kann der Abgleich derart erfolgen, dass eine Fensterlüftung durch den Nutzer nur noch im Bedarfsfall, bspw. Besuch von mehreren Personen, nötig ist.

A.1.3 A/V_e oder EGZ

Einem konkreten Gebäudeentwurf geht die Suche nach einem geeigneten Bauplatz voran. Dieser hat in nahezu allen Fällen direkten⁵² und indirekten⁵³ Einfluss auf die Gebäudekubatur. Ein weiterer Faktor ist der vom Nutzer beanspruchte Flächenbedarf, der u.U. durch den Planer in Gesprächen geeignet zu optimieren ist (Raumbuch, optimaler Grundrissentwurf etc.). Der Gebäudeform (Form, (Wohn-)Fläche und Volumen sind somit bereits im Vorfeld Grenzen gesetzt. Sind diese Grenzbedingungen bekannt, geht es daran, die grob entworfene Kubatur im Rahmen der gültigen Energieeinsparverordnung zu optimieren. Hierzu gibt der Verordnungstext

⁴⁸ Hegner: Die EnEV – Perspektiven für das energieeffiziente und umweltschonende Bauen, <http://www.caparol.de/images/homepage/broschueren/arch-brief23.pdf>, S. 11

⁴⁹ vgl. Zürcher/Frank: Bauphysik, 1998, S. 94, Abbildung 4.20

⁵⁰ Der ermittelte n_{50} -Wert müsste bspw. nur auf eine mittlere Lüftung umgerechnet bzw. eingestellt werden.

⁵¹ vgl. bspw. Bartussek/Hausleitner: Das Solporsystem – Solare Porenwände: Luftdurchlässige Wände zur Belüftung von Aufenthaltsräumen mit Sonnenenergienutzung, 1985

⁵² gemeint ist bspw. Grundstücksgröße und Zuschnitt, Extrembeispiel: Lückenbebauung

⁵³ gemeint sind Baugrenzen bzw. ausgewiesene bebaubare Fläche, Geschossflächenzahl etc.

das (fachlich) allgemein bekannte und anerkannte A/V_e -Verhältnis⁵⁴ als Beurteilungskriterium an. Dieses Verfahren, von Feist als „Kompaktheitsklatsche“⁵⁵ bezeichnet, vereint einige sehr relevante Parameter, wenn es um energetische, aber auch um ökologische Beurteilungen geht.

- Minimierung der wärmeübertragenden Umfassungsfläche gegenüber dem beheizten (Bauwerks-)Volumen
- überwiegend positive Beeinflussung des Planungs-, Bauaufwandes und Materialeinsatzes gegenüber stark gegliederten Bauwerkskubaturen
- mittels kompakter Bauweise sowie einfacher und typischer (Gebäude-)Formgebung werden Angriffsflächen für das Wetter minimiert bzw. optimiert, Wärmebrücken sowie schwierige Detaillösungen, bspw. Bauteilanschlüsse, sind berechenbarer

Diese wichtigen und auch positiven Argumente sprechen eindeutig für eine energetisch optimierte Gebäudeform nach dem Hüllflächen/Volumen-Verhältnis. Dennoch gibt es gute Gründe, zur Optimierung der Gebäudeform weitere Kriterien zuzulassen. Hierbei sind keine gestalterisch-optischen oder allgemein ästhetische Faktoren gemeint. Diese sind z.T. sehr individuell und lassen sich nur schwer verallgemeinern. Es stehen auch keine sozialen oder städtebaulichen Aspekte im Vordergrund. Vielmehr geht es um die klimatischen Besonderheiten des Standortes (Umwelt bzw. näheres Umfeld). Da die Außenlufttemperaturen örtlich nur relativ kleinen Schwankungen unterliegen, interessieren besonders die Solarstrahlung und bedingt die terrestrische Ausstrahlung (in größeren Höhen oder bei freier Bebauung spielen auch Windverhältnisse eine große Rolle). Was das theoretisch für die (passive) Ausnutzung der Solarstrahlung bedeuten kann, soll die Abbildung A.1-06 verdeutlichen. Sicher sind die Zahlen rein theoretisch, da sie unter vereinfachten Annahmen errechnet wurden. Dennoch handelt es sich um Prozentzahlen, die zumindest (gleiche Randbedingungen vorausgesetzt) einen bedingten Vergleich der Varianten untereinander zulassen.

Im Vergleich eines Fensters zu einem mit TWD belegten Absorber lassen sich für beide Bauteile Ähnlichkeiten insofern formulieren, dass für die transparente Wärmedämmung (TWD) ein monatlicher bzw. auf die Heizperiode bezogener fiktiver g -Wert⁵⁶ berechnet werden kann. Somit ist ein Bauteil aus TWD + Absorber ein Fenster mit Phasenverschiebung und Temperaturamplitudendämpfung. Rechnerisch kann mittels instationären Randbedingungen, d.h. Klima- und genauen Bauteildaten sowie dynamischer Simulation, der „Fensterflächenanteil“⁵⁷ im Rahmen des sommerlichen Wärmeschutzes optimiert werden. Die Prozentwerte der Abbildung A.1-06 sind nur zu ersten Abschätzungen zu verwenden. Daran anschließend, muss eine umfassende (ganzheitlich-ökologische) Betrachtung erfolgen, denn der rechnerisch eingesparte Heizenergiebedarf ist nicht das einzige und nicht das beste Beurteilungskriterium. Der große Nachteil von TWD sind die hohen Material- bzw. Bauteilkosten, die um ein Vielfaches höher liegen können, als die konventioneller Dämmung.

⁵⁴ vgl. Verordnung über energiesparenden Wärmeschutz und energiesparende Anlagentechnik bei Gebäuden IN: Bundesgesetzblatt Jahrgang 2001 Teil I Nr. 59, S. 3093

⁵⁵ Feist: Das Niedrigenergiehaus, 1998, S. 6

⁵⁶ vgl. bspw. Platzer: Energetische Bewertung von Transparenter Wärmedämmung IN: Bauphysik 21 (1999) Heft 2, S. 68, Gleichung (1) ; g = Gesamtenergiedurchlassgrad [-]

⁵⁷ vgl. Abb. 22, Pkt. (1) und (2)

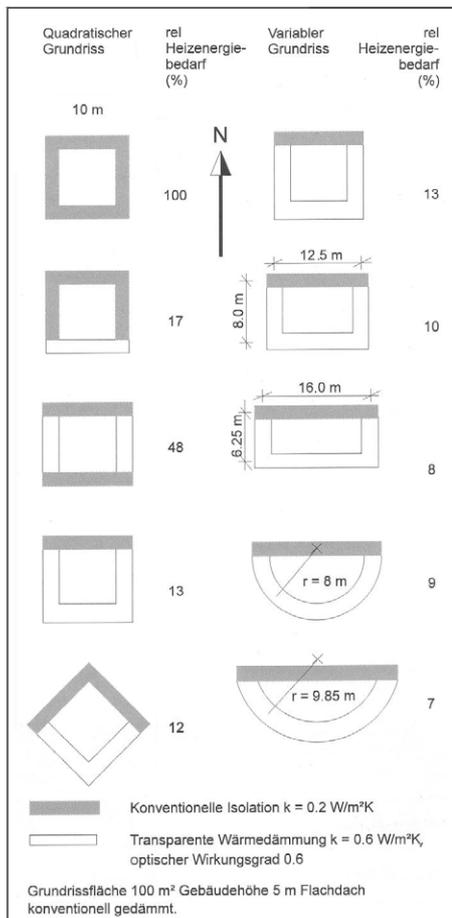


Abbildung A.1-06 Rechnerischer Heizenergiebedarf bei unkonvntl. Grundriss und Dämmung⁵⁸

Dieser für die Gesamtbilanz sehr negative Umstand entsteht zum einen aus den hohen Glaskosten bzw. dem Einsatz von Spezialdämmstoffen (Plexiglas, Polycarbonat o.ä.), zum anderen infolge aufwendiger Verschattungs- und/oder Hinterlüftungsmaßnahmen zur Abführung/leitung sommerlicher Lasten. Es existieren aber noch weitere Gründe, warum sich die transparente Wärmedämmung bis zum heutigen Tage nur schwer durchsetzen konnte. So gab es bspw. bis vor einiger Zeit keine konkreten rechnerischen Nachweise⁵⁹ für die Praxistauglichkeit derartiger Spezialkonstruktionen. Die meisten Architekten und Ingenieure waren somit verunsichert und griffen auf herkömmliche WDVS-Fassaden zurück. Diese Entwicklung spiegelt der Baustoffmarkt wieder. In Deutschland wurden bis 1999 „nur ca. 4000 m² TWD-Fassaden praktisch ausgeführt“⁶⁰, demgegenüber stehen 1997 ca. 350 Mio. m² traditioneller Wärmedämmung (davon ca. 100 Mio. m² WDVS). In diesen Zahlen aber Skepsis gegenüber der Leistungsfähigkeit derartiger Sonderbauteile zu sehen, ist nach Meinung des Verfassers der

Randbedingungen zur Abbildung A.1-06:

- keinerlei natürliche oder sonstige standortbedingte Verschattung der direkten Sonnenstrahlung
- fensterloses Gebäude
- Aspekte des sommerlichen Wärmeschutzes (bspw. die **Begrenzung des Solareintrages**) sowie der natürlichen Beleuchtung durch Sonnenlicht bleiben unberücksichtigt
- Einfluss der Bauschwere bzw. Form(-änderung) auf die Ausnutzung von Fremdwärme in Verbindung mit der Gebäudetechnik bleiben unberücksichtigt
- Einfluss der Formänderung auf evt. Erhöhung der Wärmebrückenverluste ist nicht untersucht
- Einfluss dynamischer Vorgänge (äußere meteorologische Parameter und bspw. reale, nicht ideale, Heizanlage) bleibt ohne nähere Betrachtung

⁵⁸ vgl. Jenni: Sonnenenergieanlagen mit hohem solarem Deckungsgrad für Warmwasser und Heizung, 1996, S. 28

⁵⁹ Inzwischen hat sich die Lage deutlich verbessert. vgl. Platzer: Energetische Bewertung von Transparenter Wärmedämmung IN: Bauphysik 21 (1999) Heft 2, S. 67 bis 76 bzw. Sonnenenergie Fachverband Schweiz (SOFAS): http://www.sofas.ch/pdf/TWD_Wandheizung_v1.xls, Excel-Arbeitsblätter (Modellansatz ist dem von Platzer ähnlich), Achtung! Keine vollständige Strahlungsbilanzierung (nur Solar- nicht Nettostrahlungssumme).

⁶⁰ Gertis/Reiß/Wetzel/Sinnesbichler: Sind neue Fassadenentwicklungen bauphysikalisch sinnvoll?, Teil 1: TWD IN: Bauphysik 21 (1999) Heft 1, S. 1

falsche Weg. Trotzdem müssen die dazu vorhandenen – z.T. widersprüchlichen – Denkansätze mit in die Optimierungsüberlegungen einfließen. So existieren u.a. mathematisch-begründete Belege, dass ein Optimierung nach dem A/V_e -Verhältnis „in den meisten Fällen nicht“⁶¹ eine energetisch optimierte Gebäudeform ergibt. Nach welchen Kriterien ist aber die Gebäudeform zu optimieren? Das A/V_e -Verhältnis ermöglicht nur eine Minimierung der Verlustfläche. Eine Optimierung der Gebäudeausrichtung bzw. der zur Solargewinnung auszulegenden Bauteile, (Fenster, TWD-Absorbersysteme etc.), ist nicht möglich. Auf der anderen Seite ist eine Optimierung in dieser Richtung aber zwingend erforderlich. Bei einem Dämmstandard nach gültiger EnEV liegen die (rechnerischen) Solargewinne bereits über 30 %⁶² des kalkulierten Wärmebedarfs. Als Alternative zum A/V_e -Verhältnis nach EnEV bietet sich die Entwurfsgütezahl (EGZ) nach Pokorny⁶³ an. Für weitere Abschätzungen und Berechnungen wird auf das „Handbuch der passiven Sonnenenergienutzung“⁶⁴ verwiesen.

$$EGZ = A_{\text{wirk}} / A_{\text{hüll}}$$

Gl. A.1-13

Hinweise zur Gleichung A.1-13:

- A_{wirk} = auf eine südlich orientierte Ebene projizierte, aktiv-wirksame Gebäudehüllfläche
- $A_{\text{hüll}}$ = aktive und passive (gesamte anrechenbare) Gebäudehüllfläche
 - Aktive Flächen: Flächen der Gebäudehülle, die zur Aufnahme von Solarstrahlung geeignet sind
 - Passive Flächen: übrigen Hüllfläche, die eine überwiegende (Wärme-)Schutzfunktion aufweist (optimale Dämmung gegen Wärmeverlust)

Die baukonstruktiv-energetische Auslegung des Gebäudekonzeptes ist maßgebend für die Größe der verbleibende Restenergie und damit zwangsläufig ein wesentliches Kriterium bei der Wahl und Auslegung der Gebäudetechnik.

⁶¹ Rabenstein: Energieoptimierte Gebäudeform und Hüllflächen-zu-Volumen-Verhältnis IN: Bauphysik 23 (2001) Heft 6

⁶² vgl. Tab. 05 (Kapitel 4, S. 70)

⁶³ vgl. bspw. Reissnegger/Putz:

http://www.gbl.tuwien.ac.at/docs/modul/vo/regelwerke2001/Energiespar_Bauen/ESB_Niedrigenergiehaus/esb_niedrigenergiehaus.html

⁶⁴ vgl. Zimmermann: Handbuch der passiven Sonnenenergienutzung, 1980

Primärenergie- und Emissionswerte

| Endenergie-Träger | PEF | CO ₂ | SO ₂ | NO _x | Staub | CO |
|----------------------------|--|-----------------|-----------------|-----------------|-------|-----|
| | $\frac{TJ_{\text{primär}}}{TJ_{\text{Wärme}}}$ | | | | | |
| Emissionsfaktoren in kg/TJ | | | | | | |
| Heizöl EL | 1.17 | 85'311 | 112 | 110 | 5 | 121 |
| Erdgas H | 1.14 | 60'988 | 6 | 56 | 1 | 164 |
| Strom-Grundlast | 2.86 | 171'261 | 118 | 134 | 18 | 60 |
| Strom-Netzmix | 3.22 | 197'790 | 142 | 233 | 23 | 160 |
| Fernwärme-Mix | 0.78 | 40'600 | 40 | 85 | 5 | 103 |
| BHKW | 0.51 | -52'632 | -82 | 79 | -4 | 179 |

Tabelle A.1-03 Primärenergie und Emissionsdaten von Endenergieträgern⁶⁵

| Heizungssystem Energieträger | PEF | CO ₂ | SO ₂ | NO _x | Staub | CO | CH ₄ | CO ₂ Äquivalent |
|--------------------------------------|--|-----------------|-----------------|-----------------|-------|-----|-----------------|-------------------------------|
| | $\frac{TJ_{\text{primär}}}{TJ_{\text{Wärme}}}$ | | | | | | | |
| Emissionsfaktoren in kg/TJ | | | | | | | | |
| Ölheizung Heizöl EL | 1.46 | 106'639 | 140 | 138 | 7 | 151 | 30 | 109'875 |
| Gasheizung Erdgas H | 1.43 | 76'235 | 8 | 70 | 2 | 205 | 779 | 98'750 |
| Gas-Brennwert- heizung Erdgas H | 1.27 | 67'764 | 7 | 62 | 2 | 182 | 692 | 87'778 |
| E-Speicherheizung Strom-Grundlast | 3.08 | 184'152 | 127 | 144 | 19 | 64 | 219 | 187'902 |
| E-Direktheizung Strom-Netzmix | 3.25 | 199'788 | 143 | 235 | 23 | 162 | 493 | 207'285 |
| E-Wärmepumpe Strom-Netzmix | 1.34 | 82'413 | 59 | 97 | 10 | 67 | 203 | 85'505 |
| Fernwärme Fernwärme-Mix | 0.82 | 42'737 | 42 | 89 | 5 | 108 | 52 | 45'263 |
| BHKW Erdgas | 0.51 | -52'632 | -82 | 79 | -4 | 179 | 114 | -48'421 |

Tabelle A.1-04 Emissionen und Primärenergieverbrauch von Heizungssystemen⁶⁶

⁶⁵ Richter/Bach: Vom Wärmeschutz zur Energieeinsparung, 1997, S. 162, Tabelle 7.6

⁶⁶ ebenda, S. 166, Tabelle 7.8

Prognose der Energiepreise incl. MwSt in Cent/kWh bis 2050 (real 1995)

| Jahr | 1995 | 2010 | 2020 | 2030 | 2040 | 2050 |
|----------|------|------|------|------|------|------|
| Heizöl-L | 2.40 | 2.84 | 3.47 | 4.34 | 5.42 | 6.78 |
| Erdgas | 2.93 | 3.52 | 4.12 | 5.40 | 7.07 | 9.26 |

Tabelle A.1-05⁶⁶

Energiekosten bezogen auf die Art der Energiegewinnung

| * | Kosten (Cent) für 1 kWh Wärme | Kosten (Cent) für 1 kWh Strom | *Die Zahlen sind das Ergebnis einer Vollkostenrechnung. Sie schließen die Verzinsung des Kapitals, die Abschreibung, Wartung, etc. ein. |
|-------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|---|
| Kohle, Öl, Gas | 3 bis 5 | | |
| Wasserkraft | 6 bis 19 | | |
| Wind | | | |
| Solarwärme | | 10.5 bis 26 | |
| Photovoltaik | 51.5 bis 77 | | |
| Solarthermische Erzeugung | 5.5 bis 11.5 | | |
| Biomasse | 7 bis 18.5 | 2 bis 12 | |
| Geothermisches Heizkraftwerk | | 3 bis 15 | |
| Wärmepumpe | | 17 bis 20 | |
| Ölheizung/Gas-Brennwertkessel | | 3.5 bis 14.5 | |

Tabelle A.1-06⁶⁷

Zum Vergleich aktuelle Preise für Erdgas*

*Stand: 01.01.2002

Kleinverbrauchstarif bis 3.100 kWh Jahresverbrauch

| | Netto | Brutto inkl. 16% UST |
|---------------------|--------------------|----------------------|
| jährlicher Meßpreis | 22,20 EUR | 25,75 EUR |
| Arbeitspreis | 5,99 ct/kWh | 6,95 ct/kWh |

Grundpreistarif ab 3.101 bis 9.000 kWh Jahresverbrauch

| | Netto | Brutto inkl. 16% UST |
|-----------------------|--------------------|----------------------|
| jährlicher Grundpreis | 87,00 EUR | 100,92 EUR |
| Arbeitspreis | 3,90 ct/kWh | 4,52 ct/kWh |

Wärmesonderabkommen ab 9.001 bis 52.800 kWh Jahresverbrauch

| | Netto | Brutto inkl. 16% UST |
|-----------------------|--------------------|----------------------|
| jährlicher Grundpreis | 132,00 EUR | 153,12 EUR |
| Arbeitspreis | 3,40 ct/kWh | 3,94 ct/kWh |

*Quelle: SWM Magdeburg

<http://www.sw-magdeburg.de/tarife/erdgas.html>

⁶⁶ vgl. Kleemann/Heckler/Kolb/Hille: Die Entwicklung des Energiebedarfs zur Wärmebereitstellung in Gebäuden, 2000, http://www-user.uni-bremen.de/~bei/download/waerm2_2.pdf, S. 64, Tabelle 2.2.1.3

⁶⁷ vgl. Jahrbuch Erneuerbare Energien 2000 (<http://www.jahrbuch-erneuerbare-energien.de/a00.html>)

Abschätzung der Wärmeabgabe des Menschen

Betrachtung über Energieverbrauch des Menschen unter der Annahme, dass als Produkt aller Energieumwandlungs"verluste" nahezu 100 % Wärmeenergie freigesetzt wird. (Zahlenwerte der Tabelle A.1-00 dienen als Vergleich zur Tabelle A.1-00)

| Geschlecht | Gewicht kg | Alter Jahren | Energieumsatz nach Alter ruhig liegend | GU | Büro- Arbeit | 1,5 x GU mäßige körperliche Aktivität | Faktor 2,1 x GU |
|------------|---------------|-----------------|--|----|-----------------|--|--------------------|
| | | | W/(Pers h) | | | | |
| männlich | 90 | 31-60 | 92 | 87 | 120 | 138 | 194 |
| weiblich | 72 | 31-60 | 69 | 58 | 90 | 104 | 145 |

Tabelle A.1-07

Unter Grundumsatz (GU) ist der Energieverbrauch bei ausschließlicher Bettruhe zu verstehen, abhängig von der individuellen Muskelmasse und damit auch von Alter und Hautoberfläche. 1 MET ist die O₂-Aufnahme einer erwachsenen Person im Sitzen = 3.5 ml V-O₂ pro Minute und Kilogramm Körpergewicht. Das Energieäquivalent von 1 MET in kcal/min = ca. 1kcal pro Kilogramm Körpergewicht und Stunde. (bei einem Körpergewicht von bspw. 70 kg entspricht 1 MET ca. 1.2 kcal/min)

Anm.: Die Genauigkeit der Tabellenrechnung versagt ab einem Faktor 1,5 x GU. Ab hier der fließt der Anteil der chemischen Energie (Nahrungsaufnahme) verstärkt ein. Diese Tatsache steht in direktem Zusammenhang zur GU-Formel. Der Mensch hat als "Maschine" einen schlechten Wirkungsgrad, bspw. die Muskulatur: nur 25 bis max. 30% der chemischen Energie wird in mechanische Energie umgewandelt, der Rest geht als Wärme "verloren".

„3 MET als 24-Stunden-Durchschnitt? Das allerdings muss ein Radprofi oder ähnliches sein, der 8 Stunden täglich im Sattel sitzt.“⁾⁺

| Tätigkeit Art | Gesamt-Wärmeabgabe | | |
|---|--------------------|-------|---------|
| | W/m ² | met** | W/Pers* |
| 1 Ruhig liegend (ruhend, schlafend) | 46 | 0.8 | 83 |
| 2 Ruhig sitzend | 58 | 1.0 | 104 |
| 3 Stehend entspannt | 70 | 1.2 | 126 |
| 4 Sitzende Tätigkeit (Büro, Wohnung, Schule, Labor) | 70 | 1.2 | 126 |
| 5 Leichte Tätigkeit stehend (Zeichenbrett-Tätigkeit) | 84 | - | 151 |
| 6 Leichte Tätigkeit stehend (Laden, Labor, leichte Werkbankarbeit) | 93 | 1.6 | 167 |
| 7 Mittelschwere Tätigkeit stehend (Verkäufer, Hausarbeit, Werkstattarbeit) | 116 | 2.0 | 209 |
| 8 Mittelschwere Arbeit | 139 | - | 250 |
| 9 Schwere Tätigkeit (schwere Werkstattarbeit) | 174 | 3.0 | 313 |

* gültig für eine Person mit 1,8 m² Körperoberfläche, bspw. Grösse 1,7 m, Gewicht 69 kg
 ** 1 metabolische Einheit entspricht einem Aktivitätspegel von 50 kcal pro m² Hautoberfläche und Stunde (58 W/m²)

Tabelle A.1-08⁾⁺

Quellen:

⁾⁺ Gesundheitsinformationsnetz-gin der Universität Innsbruck, Moosburger:
<http://gin.uibk.ac.at/gin/freihhtml/energieumsatz.htm>

⁾⁺ Bundesamt für Energiewirtschaft und Verband Schweizerischer Heizungs- und Lüftungsfirmer:
 Zeitgemässe Lüftungssysteme, 1994, S. 8, Tabelle 3.1

Abschätzung des Elektroenergieverbrauchs

| * | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | |
|---|-------------------|---|---------------------|---|---------------------|---|-----------|
| | 1-Person kWh/a | | 2-Personen kWh/a | | 4-Personen kWh/a | | Bewertung |
| A | unter 800 | | unter 1500 | | unter 2700 | | sehr gut |
| B | 800 bis 1200 | | 1500 bis 1200 | | 2700 bis 3600 | | gut |
| C | 1200 bis 1600 | | 2200 bis 2900 | | 3600 bis 4500 | | hoch |
| D | über 1600 | | über 2900 | | über 4500 | | sehr hoch |

Stand 8/99

Impulsprogramm

Schleswig-Holstein

Tabelle A.1-09

* Die Angaben beinhalten nicht den Stromverbrauch für elektrische Warmwasserbereitung, jedoch für Kochen, Heizungsbrenner und Heizungsumwälzpumpe.

| | | | |
|---|--|--|----|
| Stromverbrauch pro Person [kWh/(Pers a)] | 1600 | Bezugsjahr 1994 | |
| Stromverbrauch pro Haushalt [kWh/a] | 3600 | | |
| Stromkennwerte: | gesamter Haushaltsstromverbrauch | statistischer Durchschnitts-Haushalt der ABL: 2.23 Pers. | |
| Verbrauch bezogen auf die Wohnfläche [kWh/(m ² a)] | -ohne Speicherheizung | | 46 |
| | -ohne Speicherheizung und WW-Bereitung | | 38 |
| | | 32 | |

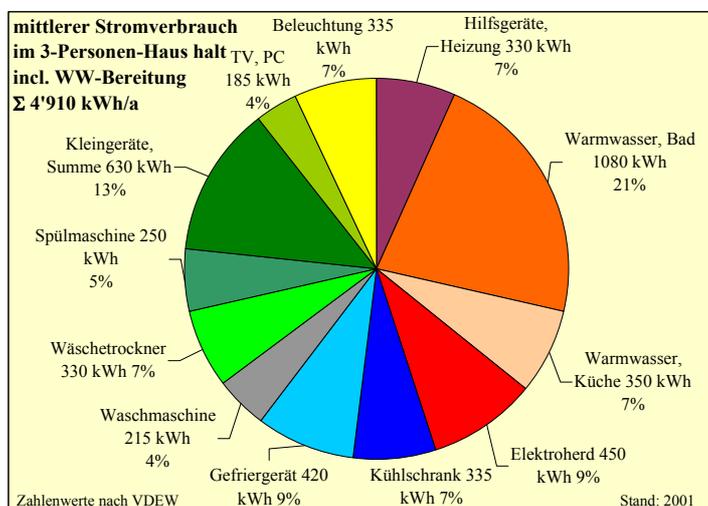
Tabelle A.1-10

Quelle: Feist: Das Niedrigenergiehaus, 1998, S. 149, Tabelle10-1

| Gerätetyp | Größe | Normverbrauch (kWh pro Tag oder Normanwendung) | | |
|--|------------|--|--------|--------|
| | | hoch | mittel | gering |
| Tischkühlschrank, [^] bis ** | ca. 140 l | 0.8 | 0.6 | 0.3 |
| Tischkühlschrank, *** | ca. 140 l | 1.0 | 0.75 | 0.45 |
| Kühlschrank, Standgerät, [^] bis ** | ca. 200 l | 0.9 | 0.6 | 0.28 |
| Kühl-Gefrier-Kombination | ca. 190 l | 2.4 | 1.4 | 0.7 |
| Gefrierschrank | ca. 160 l | 1.6 | 1.0 | 0.7 |
| Gefriertruhe | ca. 200 l | 1.5 | 0.8 | 0.5 |
| Spülmaschine | 12 Maßged. | 1.8 | 1.4 | 1.1 |
| Waschmaschine | 5 kg | 2.3 | 1.9 | 1.7 |
| Wäschetrockner, Abluft | 5 kg | 3.7 | 3.3 | 2.7 |
| Wäschetrockner, Kondensation | 5 kg | 3.8 | 3.5 | 3.1 |
| Lampe | 600 Lumen | 60 W | | 11 W |

Tabelle A.1-11

Quelle: Feist: Das Niedrigenergiehaus, 1998, S. 152, Tabelle10-3



weitere Quellen:

Abbildung A.1-07

<http://www.eam.de/inhalt/01privatkunden/05haushalt/haushalt.pdf>

<http://www.spargeracte.de/eavr>

A.1.4 Thermisches Raumverhalten und instationäre Wärmeleitung

U_{24} -Werte, Angaben zu Phasenverschiebung und Temperaturamplitudendämpfung etc. sind in der Schweiz seit einiger Zeit recht werbewirksame Verkaufsargumente von Baustoffherstellern und Produktlieferanten. Auch in Deutschland beginnt sich dieser Trend durchzusetzen. Welche Randbedingungen werden aber angenommen, um derartige Kennwerte zu berechnen? In diesem Punkt scheint sich die Ingenieurszunft der Baufachleute uneinig zu sein. In den folgenden 3 Quellen konnte der Verfasser jeweils ähnliche Abbildungen mit identischen Kurvenverläufen (Tagesgänge der inneren Wärmestromdichte verschiedener Bauteilkonstruktionen) finden.

- 1.) Zimmermann: Handbuch der passiven Sonnenenergienutzung, 1980, S. 122, Bild 9.14
- 2.) Zürcher/Frank: Bauphysik, 1998, S. 41, Abbildung 2.30
- 3.) Holm: Bauphysik – Folien, SS 2002, <http://www.bauphysik.de/lehre/fh-rosenheim/>, S. 42

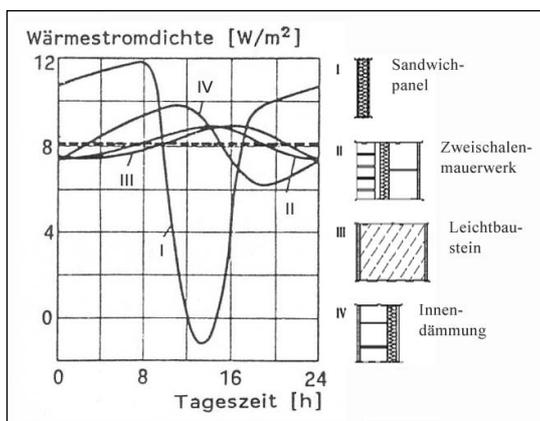


Abbildung A.1-08 Wärmestromdichten im Tagesgang⁶⁹

Randbedingungen zur Abbildung A.1-08:

- Wärmestromdichten bezogen auf die Innenoberfläche (Wärmestrom von innen nach außen)
- Bauteile haben gleiche U -werte ($0.4 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$) jedoch unterschiedliche Massen
- Raumlufthtemperatur = $20 \text{ }^\circ\text{C}$ (konstant)
- Außenlufttemperatur schwankt (gleichmäßiger Sinusverlauf) mit einer Amplitude von 2.1 K um $0 \text{ }^\circ\text{C}$
- Sonneneinstrahlung max. $700 \text{ W}/\text{m}^2$ (Südseite)⁷⁰

Holm kommt mit über 30 % schlechterem U -Wert ($0.53 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$) zu gleichem Kurvenverlauf.⁷¹ Er gibt genaue Bauteilaufbauten an, in den anderen Quellen erfolgt dies nicht oder nur schemenhaft. Weitere Randbedingungen konnten nicht gefunden werden, sind zur Simulation aber nötig. So hat (poliertes) Aluminium bspw. ein Albedo von 0.9, eine graue Mauer hingegen eins von 0.2 bis 0.45.⁷² Es fehlen auch Angaben zum äußeren und inneren Wärmeübergang bzw. zur raumseitigen Speichermasse.

Der Einfluss der meteorologischen Parameter Strahlung (kurz- und langwellig) und Temperatur wird in der Literatur vereinfachend zur fiktiven (korrigierten) Strahlungslufttemperatur⁷³ zusammengefasst.⁷⁴

$$g_{L,a}^* = \frac{\alpha \cdot I_{\text{sol}}}{\alpha_a} - \frac{\varepsilon_0 \cdot \Delta IR}{\alpha_a} \quad \text{Gl. A.1-14}$$

DynaTherm ermöglicht eine getrennte Eingabe beider Parameter, auch die Wärmeübergänge können isoliert betrachtet werden. Über die Variation des inneren Wärmeübergangskoeffi-

⁶⁹ vgl. bspw. Zimmermann: Handbuch der passiven Sonnenenergienutzung, 1980, S. 122, Bild 9.14

⁷⁰ vgl. ebenda

⁷¹ Holm: Bauphysik – Folien, SS 2002, <http://www.bauphysik.de/lehre/fh-rosenheim/>, S. 42

⁷² vgl. Tabelle A.2-09

⁷³ siehe Gleichung Gl. A.1-14

⁷⁴ vgl. bspw. Zürcher/Frank: Bauphysik, 1998, S. 38

zienten ist es möglich das thermische Verhalten von Räumen abzuschätzen. Die mathematische Formulierung bzw. physikalische Deutung, wurde bereits im 4. Kapitel⁷⁵ angedeutet und wir nochmals mit Abbildung A.1-09 anschaulicher verdeutlicht.

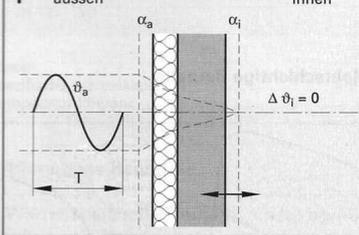
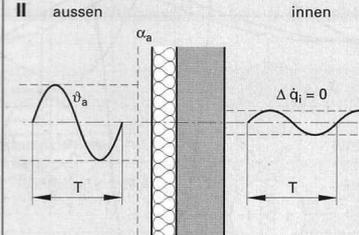
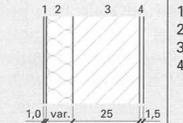
| Randbedingung | | Kennwerte | | Bemerkungen | | | | | | | | | | |
|---|--|---|-------|---|------|------|-------|-----|------|------|-----|------|------|------|
| Wärmelasten aussen | I aussen  | Isotherme Randbedingungen: $\alpha_i = \max$ $\Delta q_i = \max$ $\Delta \theta_i = 0$ $U_{\text{instat}} = \Delta P_i / \Delta \theta_{i,a}^*$ | | Entspricht am ehesten einer Bauweise mit großer innerer Speichermasse (bspw. ein massiver Innenausbau) oder einem klimatisierten Gebäude U_{instat} ist an bestimmte Randbedingungen geknüpft und nicht ohne weiteres auf ähnliche Bauteile übertragbar (sinnvoller Kennwert für erste Abschätzungen des instationären Bauteilverhaltens) | | | | | | | | | | |
| | II aussen  | Adiabatische Randbedingungen: $\alpha_i = \min$ $\Delta q_i = 0$ $\Delta \theta_i = \max$ $TAD = \Delta \theta_{s,a} / \Delta \theta_{s,i}$ $PHV = t(\theta_{s,i,max}) - t(\theta_{s,a,max})$ | | Entspricht eher einem Gebäude mit konstanter Heizung/Kühlung bzw. einer Bauweise mit vernachlässigbarer innerer Speichermasse, bspw. leichter Innenausbau, Innendämmung bzw. Verkleidung von Massivteilen (TAD und PHV sind speziell auf die verwendeten Bauteildaten bezogen und wenig übertragbar → an bestimmte Randbedingungen geknüpft) | | | | | | | | | | |
| Konstruktion (Masse in cm) Aussen Innen | | Materialkennwerte λ [W·(m·K) ⁻¹] λ_D [mg·(m·h·Pa) ⁻¹] c [kJ·(kg·K) ⁻¹] ρ [kg·m ⁻³] | | Randbedingung I ($\dot{\theta}_i = \text{konst.}$) Randbedingung II ($\dot{q}_i = \text{konst.}$) | | | | | | | | | | |
|  | | 1 | 1,000 | 0,01 | 1,50 | 1500 | 0,080 | 314 | 0,33 | 0,05 | 178 | 11,3 | 82,0 | 12,8 |
| | | 2 | 0,035 | 0,53 | 0,61 | 110 | 0,100 | 316 | 0,28 | 0,04 | 221 | 11,7 | 102 | 13,1 |
| | | 3 | 0,440 | 0,15 | 0,92 | 1100 | 0,120 | 318 | 0,24 | 0,03 | 268 | 12,1 | 124 | 13,5 |
| | | 4 | 0,800 | 0,10 | 1,05 | 1000 | 0,140 | 320 | 0,21 | 0,03 | 317 | 12,6 | 147 | 14,0 |
| | | | | | | | 0,160 | 323 | 0,19 | 0,02 | 373 | 13,1 | 172 | 14,5 |
| | | | | | | | 0,180 | 324 | 0,17 | 0,02 | 436 | 13,7 | 202 | 15,1 |

Abbildung A.1-09 Definition der raumseitigen Wärmespeicherkapazität⁷⁶

Im unteren Teil der Abbildung A.1-09 sind für einen typischen Bauteilquerschnitt die, davor erläuterten, instationären Kennwerte tabellarisch aufgeführt. An diesem Beispiel-Wandaufbau ($d(\text{var.}) = 8.0 \text{ cm}$ bzw. $U = 0.33 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$ ⁷⁷) soll mit Hilfe von DynaTherm erläutert werden, wie das thermische Raumverhalten bei vorgegebenen meteorologischen Randbedingungen abgeschätzt werden kann. Gewählt wurde ein Sommerfall bzw. die Klimadaten aus der VDI 2078 (Kühllastzone 3, Monat August)⁷⁸. Der „Infrarot-Zusatzverlust an den klaren Himmel“⁷⁹ (AIR) wurde konstant mit $30 \text{ W}/\text{m}^2$ angenommen und der äußere Wärmeübergang konstant $13.5 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$ ⁸⁰ gesetzt. Auf eine im Zusammenhang mit DynaTherm zu berücksichtigende Besonderheit muss eingegangen werden. So ist eine der beiden Strahlungsarten dem Eingabe-Absorptionswert anzupassen (langwellig: Absorption = Emission). In diesem Fall wurde ΔIR (95 %) an α_{sol} (70 %) angeglichen und in der ΣI (Spalte G der Tabelle A.1-12) für die Eingabe in DynaTherm verrechnet. Es wurde über eine Periode von 7 Tagen simuliert, wobei die Ergebnisse sowohl für den 2. Tag als auch für den 7. Tag tabellarisch aufgeführt sind.

⁷⁵ siehe S. 66

⁷⁶ vgl. Zürcher/Frank: Bauphysik, 1998, S. 42, Abbildung 2.31 und S. 43, Tabelle 2.17

⁷⁷ siehe Abbildung A.1-09, 1. Zeile der Materialkennwerte

⁷⁸ vgl. bspw. Tabelle A.2-56

⁷⁹ Zürcher/Frank: Bauphysik, 1998, S. 38

⁸⁰ siehe bspw. S. A.1-6

Grenzwertbetrachtung Sommerfall - Instationäre Wärmeleitung Eingabewerte und Ergebnisse

| Termin | $\vartheta_{L,a}$ °C | I_{sol} W/m ² | ΔIR W/m ² | $\vartheta^*_{L,a}$ °C | ΣI W/m ² | P_i bei $\alpha_i = 1.0E+08$ | | $\vartheta_{S,a}$ & $\vartheta_{S,i}$ bei $\alpha_i = 1.0E-08$ | | | | |
|------------|-------------------------|-------------------------------|---------------------------------|---------------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------|--|--------|----------------------|--------|------|
| | | | | | | W/m ² | | $\vartheta_{S,a}$ °C | | $\vartheta_{S,i}$ °C | | |
| | | | | | | 2. Tag | 7. Tag | 2. Tag | 7. Tag | 2. Tag | 7. Tag | |
| A | B | C | D | E | G | H | I | K | L | M | O | |
| 1 | 1 | 18.4 | 0 | -30 | 16.3 | -43 | -3.4 | -4.1 | 18.6 | 18.7 | 24.5 | 28.1 |
| 2 | 2 | 17.2 | 0 | -30 | 15.1 | -43 | -3.2 | -3.9 | 16.6 | 16.68 | 24.5 | 28.1 |
| 3 | 3 | 16.6 | 0 | -30 | 14.5 | -43 | -3.0 | -3.6 | 15.4 | 15.46 | 24.6 | 28.2 |
| 4 | 4 | 15.7 | 0 | -30 | 13.6 | -43 | -2.8 | -3.3 | 14.7 | 14.81 | 24.6 | 28.2 |
| 5 | 5 | 15.1 | 0 | -30 | 13.0 | -43 | -2.5 | -3.0 | 13.9 | 13.96 | 24.6 | 28.1 |
| 6 | 6 | 15.4 | 40 | -30 | 15.4 | -3 | -2.2 | -2.7 | 13.4 | 13.45 | 24.6 | 28.1 |
| 7 | 7 | 17.9 | 111 | -30 | 21.5 | 68 | -1.9 | -2.4 | 15.6 | 15.65 | 24.6 | 28.1 |
| 8 | 8 | 20.1 | 270 | -30 | 32.0 | 227 | -1.6 | -2.0 | 21.4 | 21.47 | 24.6 | 28.1 |
| 9 | 9 | 22.9 | 438 | -30 | 43.5 | 395 | -1.3 | -1.7 | 31.2 | 31.28 | 24.5 | 28.0 |
| 10 | 10 | 25 | 579 | -30 | 52.9 | 536 | -1.0 | -1.4 | 42.2 | 42.25 | 24.5 | 28.0 |
| 11 | 11 | 27.1 | 671 | -30 | 59.8 | 628 | -0.8 | -1.2 | 51.3 | 51.44 | 24.5 | 27.9 |
| 12 | 12 | 28.3 | 704 | -30 | 62.7 | 661 | -0.7 | -1.0 | 58.1 | 58.19 | 24.4 | 27.9 |
| 13 | 13 | 29.7 | 671 | -30 | 62.4 | 628 | -0.8 | -1.1 | 61.1 | 61.24 | 24.4 | 27.8 |
| 14 | 14 | 30.5 | 579 | -30 | 58.4 | 536 | -1.0 | -1.3 | 61.0 | 61.11 | 24.4 | 27.8 |
| 15 | 15 | 31.2 | 438 | -30 | 51.8 | 395 | -1.4 | -1.6 | 57.4 | 57.49 | 24.5 | 27.8 |
| 16 | 16 | 31.2 | 270 | -30 | 43.1 | 227 | -1.9 | -2.1 | 51.2 | 51.25 | 24.5 | 27.9 |
| 17 | 17 | 30.8 | 111 | -30 | 34.4 | 68 | -2.4 | -2.7 | 42.9 | 43.0 | 24.6 | 27.9 |
| 18 | 18 | 29.7 | 40 | -30 | 29.7 | -3 | -3.0 | -3.2 | 34.7 | 34.76 | 24.7 | 28.0 |
| 19 | 19 | 27.9 | 0 | -30 | 25.8 | -43 | -3.5 | -3.7 | 29.8 | 29.87 | 24.8 | 28.1 |
| 20 | 20 | 25.8 | 0 | -30 | 23.7 | -43 | -3.9 | -4.1 | 26.0 | 26.07 | 24.9 | 28.2 |
| 21 | 21 | 23.8 | 0 | -30 | 21.7 | -43 | -4.2 | -4.4 | 23.8 | 23.89 | 25.1 | 28.3 |
| 22 | 22 | 22.9 | 0 | -30 | 20.8 | -43 | -4.3 | -4.5 | 21.9 | 21.95 | 25.2 | 28.4 |
| 23 | 23 | 21.7 | 0 | -30 | 19.6 | -43 | -4.3 | -4.4 | 20.9 | 20.98 | 25.3 | 28.5 |
| 24 | 24 | 20.6 | 0 | -30 | 18.5 | -43 | -4.2 | -4.3 | 19.7 | 19.83 | 25.3 | 28.6 |
| Min = | 15.1 | 0.0 | -30.0 | 13.0 | -43 | -4.3 | -4.5 | 13.4 | 13.5 | 24.4 | 27.8 | |
| Max = | 31.2 | 704.0 | -30.0 | 62.7 | 661 | -0.7 | -1.0 | 61.1 | 61.2 | 25.3 | 28.6 | |
| Δ = | 16.1 | 704.0 | 0.0 | 49.7 | 704 | 3.6 | 3.4 | 47.8 | 47.8 | 0.9 | 0.7 | |

32.1

Tabelle A.1-12

Allg. Eingabewerte:

$\alpha = 0.7 -$
 $\alpha_a = 13.5 \text{ W/(m}^2 \text{ K)}$
 $\epsilon_0 = 0.95 -$
 $\Delta IR = 30 \text{ W/m}^2 \quad 42.9 \text{ W/m}^2 \text{ (Umrechnung mit } \alpha)$

Berechnete Bauteilkennwerte:

$U_{instat} = 0.069 \text{ W/(m}^2 \text{ K)}$
 $TAD = v = 65.6 -$
 $PHV = \epsilon = \text{ca. } 11 \text{ bis } 12 \text{ h}$

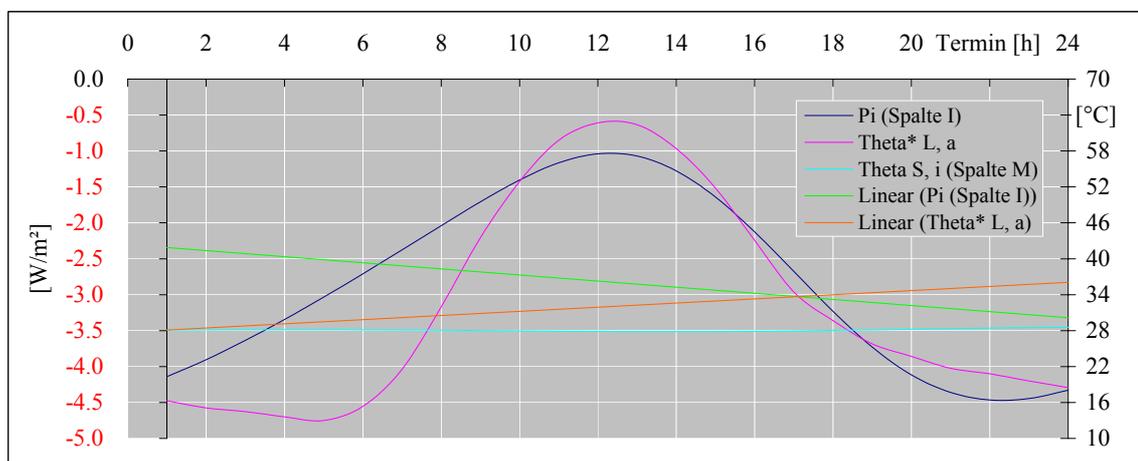


Abbildung A.1-10 Simulationsergebnisse: Grenzwertbetrachtung Sommerfall

Auswertung der Simulationsergebnisse:

Die mit DynaTherm berechneten instationären Bauteilkennwerte weisen nur eine bedingte Übereinstimmung mit den von Zürcher und Frank publizierten Werten auf. Das liegt zum einen daran, dass der von den Autoren angenommene bzw. idealisierte gleichmäßige Sinusverlauf⁸¹ (Erregeramplitude $\vartheta_a = 1$)⁸² sich im Graphen der Strahlungslufttemperatur⁸³ (über weite Teile polynomialer bzw. linearer Verlauf) nicht widerspiegelt. Zum anderen ist der ansteiglose Verlauf bzw. der auf beiden Seiten gleiche Wendepunkt der Amplitude von Außen- und Innentemperatur⁸⁴ nicht korrekt⁸⁵. Er widerspricht dem Ansatz der Strahlungslufttemperatur. So wird der Einschwingvorgang der Strahlungslufttemperatur rechnerisch so lange dauern, bis sich auf beiden Seiten ein Gleichgewicht eingestellt hat. Diese Periodendauer ist hauptsächlich vom Absorptions- und Speicherverhalten⁸⁶ der Gebäudehülle abhängig. Es macht somit einen bedeutenden Unterschied, ob die normale Außenlufttemperatur (Durchschnittswert = 23.6 °C) oder die fiktive Strahlungslufttemperatur (Durchschnittswert = 31.1 °C) verrechnet wird. Physikalisch korrekter und somit auch berücksichtigt sind die 31.1 °C Durchschnittswandoberflächen-Temperatur, um die die Temperaturwelle mit einer Amplitude von ca. 50 K schwingt.

Viel wesentlicher sind ganz andere Zusammenhänge bzw. bisher unberücksichtigte Randbedingungen:

- keine Solarlasten über die Fenster kalkuliert
- keine inneren Lasten angesetzt
- keine Annahmen zur Lüftung (natürlich- bzw. technisch erzwungen) bzw. zum Lüftungskonzept, bspw. Nachtlüftung, getroffen
- etc.

Ohne die Berücksichtigung bzw. Einrechnung dieser Parameter haben jedoch die Ergebnisse der Tabelle A.1-12 sowie der Abbildung A.1-10 nur eine untergeordnete bzw. trendsetzende Bedeutung. Es ist bspw. zu erkennen, dass das betrachtete Bauteil über den Tagesverlauf keinen Verlustwärmestrom aufweist, sich im Gegenteil sogar immer weiter aufheizt. Dies kann bspw. über eine intensive Nachtlüftung o.ä. verbessert werden. Auch die Temperaturen erreichen schnell unbehagliche Werte, wenn auf eine angepasste Lüftung verzichtet werden muss, bspw. erhöhter Lärmschutz. Über eine ausreichend dimensionierte innere Gebäudemasse lassen sich diese Zustände mildern. Dies gelingt aber nur, wenn dieser Puffer auch bewirtschaftet wird.

Durch den verbesserten Wärmeschutz muss zwangsläufig die Lüftung Aufgaben übernehmen, die sie vorher nicht in dem Maße zu erfüllen hatte (Abführen der Wärmelasten). Sie und weitere Faktoren müssen demnach in Überlegungen dieser Art angemessene Berücksichtigung finden. Eine abschließende, bauphysikalisch, aber auch hygienisch und behaglichkeitsorientierte korrekte Bewertung, ist nur unter Einbeziehung aller wesentlichen Parameter möglich.

⁸¹ vgl. Abbildung A.1-09

⁸² ebenda

⁸³ vgl. Abbildung A.1-10

⁸⁴ vgl. Abbildung A.1-09, Skizzen zu den Randbedingungen I und II

⁸⁵ vgl. linearen (orange) Graphen (Θ^*L, a) in Abbildung A.1-10

⁸⁶ Das Fazit von Holm zur Abbildung A.1-08: „guter stationärer, aber schlechter instationärer Wärmeschutz, wenn Masse fehlt“.⁷¹

Nutzereinfluss auf den Heizenergiebedarf

Die folgenden Seiten (Tabellen A.1-13 bis A.1-17 und Abbildung A.1-11) spiegeln den (simulierten) Nutzereinfluss auf die Parameter Lüftung und Raumlufttemperatur wider. Richter und Bach konstruierten die für eine Simulation notwendigen Szenarien anhand allgemein anerkannter Behaglichkeitskriterien. Sie klassifizierten das sich daraus ableitende Verhalten in "Standard", "Sparer" und "Verschwender". Die Auswertung zeichnet ein deutliches Bild. So kann ein bspw. verschwenderisch heizen- und lüftender Nutzer eines Niedrigenergie-Hauses (Wärmeschutz nach EnEV) einen rechnerischen Mehrverbrauch von ca. 88 % gegenüber einem sparsam wirtschaftenden Nutzer eines energetisch unsanierten Altbaus (Wärmeschutz nach WSchV 1982) haben.⁸⁷

Kenngößen des Reihenmittelhauses

| Umschließungsflächen in m ² : | | | | | | |
|--|-------------------------|----------------------|------------|------------|------------|-----------|
| Außenwand | | Außenfenster | | | | |
| Süd | Nord | Süd | Nord | | | |
| 44.3 | 38.2 | 13.6 | 9.6 | | | |
| Außentüren | | Fundament | Dach | | | |
| Süd | Nord | - | - | | | |
| 1.8 | 2.1 | 52.5 | 56.2 | | | |
| Umschließungsfläche A: | | 218.3 m ² | | | | |
| Beheiztes Volumen V_e: | | 476.9 m ³ | | | | |
| A/V_e-Verhältnis: | | 0.46 m ⁻¹ | | | | |
| k-Werte (in W/m ² K): | | | | | | |
| Bauteil | DIN 4108 | WSchV 1977 | WSchV 1982 | WSchV 1995 | EnEV 2002 | |
| Außenwand | 1.53 | 1.15 | 0.82 | 0.49 | 0.27 | |
| Außentür | 3.5 | 3.5 | 2.5 | 1.8 | 1.8 | |
| Fundament | 1.44 | 0.46 | 0.37 | 0.3 | 0.21 | |
| Dach | 1.6 | 0.34 | 0.29 | 0.29 | 0.2 | |
| Fenster | 5.2 | 3 | 2.6 | 1.8 | 1.5 | |
| mittlere k-Werte (in W/m ² K): | | | | | | |
| Bauteil | | DIN 4108 | WSchV 1977 | WSchV 1982 | WSchV 1995 | EnEV 2002 |
| Hüllfläche | U _m (ges) | 1.95 | 1.01 | 0.79 | 0.56 | 0.4 |
| gesamt | Standard/WSchV 1995 | 351% | 183% | 143% | 100% | 71% |
| AW, AT, FE | U _m (AW ges) | 2.38 | 1.63 | 1.26 | 0.81 | 0.58 |
| | Standard/WSchV 1995 | 292% | 200% | 154% | 100% | 72% |
| Wärmebrücken-Verlustkoeffizient WBV (in W/mK): | | | | | | |
| Bauteil | DIN 4108 | WSchV 1977 | WSchV 1982 | WSchV 1995 | EnEV 2002 | |
| Laibung | 0.15 | 0.12 | 0.12 | 0.1 | 0.13 | |
| Perimeter | 0.046 | 0.046 | 0.046 | 0.046 | 0.046 | |

Tabelle A.1-13

⁸⁷ vgl. Richter/Bach: Vom Wärmeschutz zur Energieeinsparung – Grundsatzuntersuchung NOWA zur ESV 2000, 1997, S. 123, Tabelle 6.5 ; weiterführend siehe, Absatz 2 bzw. S. 119 ff., Anhang S. A 3 und A 9

Grundrisse des Reihenmittelhauses

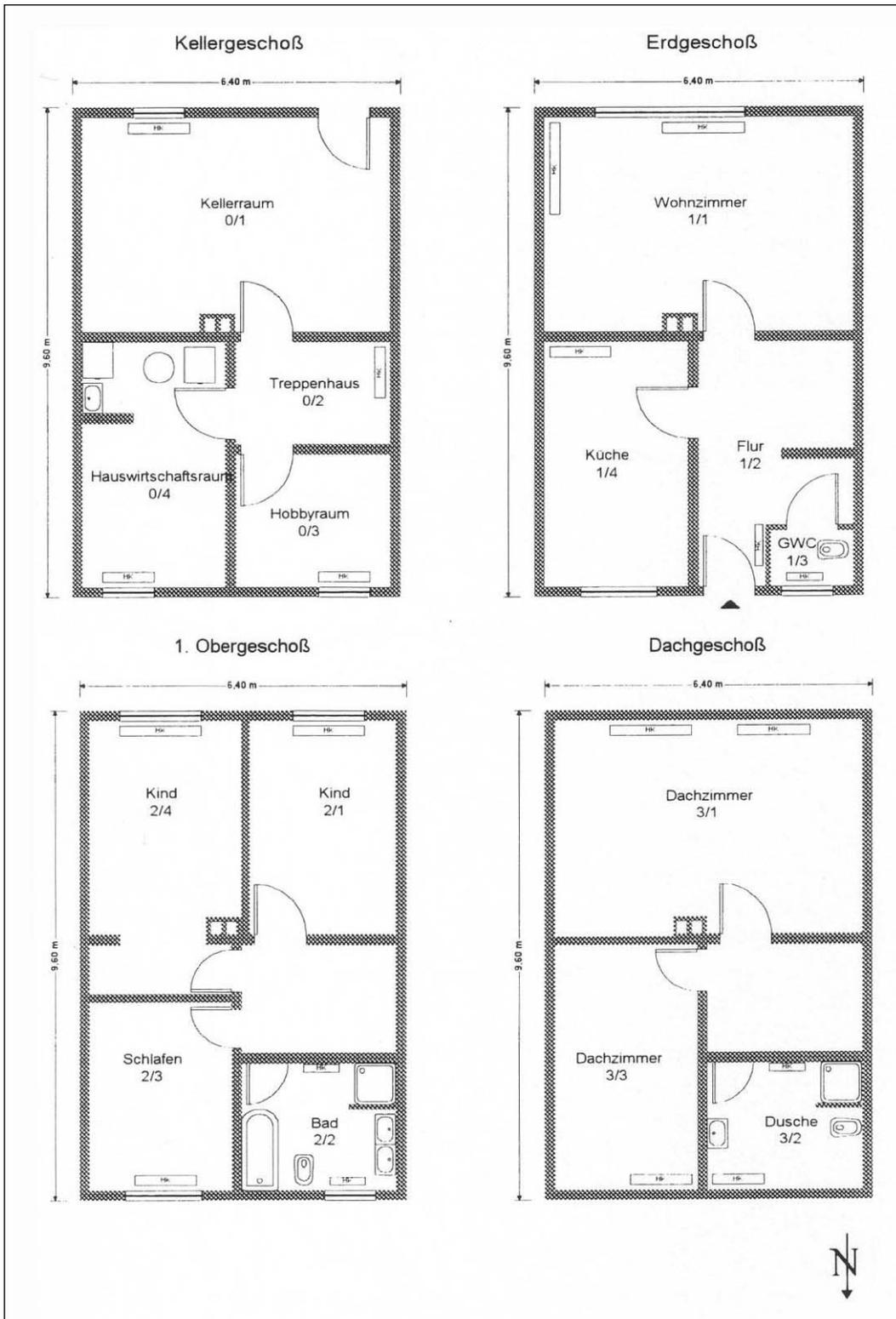


Abbildung A.1-11

NOWA-Simulationen Reihemittelhaus

Allgemeine Randbedingungen der Szenarien/Simulationsrechnungen

| Parameter des Nutzereinflusses | Szenario | | |
|--|--|--|--------------------------------------|
| | Standard | Sparer | Verschwender |
| Raumtemperaturen im Wohnbereich | 21 °C | 21 °C - 2 K | 21 °C + 2 K |
| mittlere Außenluftwechselrate | | | |
| WSchV 1992 | 0.7 h ⁻¹ | 0.56 h ⁻¹ | 1.06 h ⁻¹ |
| WSchV 1995 | 0.64 h ⁻¹ | 0.46 h ⁻¹ | 1 h ⁻¹ |
| EnEV 2002 | 0.55 h ⁻¹ | 0.42 h ⁻¹ | 0.98 h ⁻¹ |
| räumliche Teilbeheizung (Funktionsräume im KG und Gästezimmer im DG) | Temperaturen gegenüber Wohnbereich abgesenkt | Temperaturen gegenüber Wohnbereich weiter abgesenkt | Temperaturen entsprechen Wohnbereich |
| zeitliche Teilbeheizung | 22. ⁰⁰ - 6. ⁰⁰ | 22. ⁰⁰ - 6. ⁰⁰ 8. ⁰⁰ - 16. ⁰⁰ um 3 K abgesenkt | 24. ⁰⁰ - 6. ⁰⁰ |

Tabelle A.1-14

Szenarien-Ergebnisse der Simulationen zum Heizwärmebedarf

| Wärmedämmstandard | Jahresheizwärmebedarf | | | Abweichung vom Standard | |
|-------------------|-----------------------|-------------------------|--------------|-------------------------|--------------|
| | Standard | Sparer | Verschwender | Sparer | Verschwender |
| | | mittlere Raumtemperatur | | mittlere Raumtemperatur | |
| WSchV 1982 | 18' 990 kWh | 15' 560 kWh | 22' 550 kWh | - 18 % | + 19 % |
| WSchV 1995 | 14' 370 kWh | 11' 700 kWh | 17' 230 kWh | - 19 % | + 20 % |
| EnEV 2002 | 11' 150 kWh | 9' 390 kWh | 13' 380 kWh | - 16 % | + 20 % |

Tabelle A.1-15

| Wärmedämmstandard | Jahresheizwärmebedarf | | | Abweichung vom Standard | |
|-------------------|-----------------------|-------------|--------------|-------------------------|--------------|
| | Standard | Sparer | Verschwender | Sparer | Verschwender |
| | | Lüftung | | Lüftung | |
| WSchV 1982 | 18' 990 kWh | 16' 470 kWh | 25' 430 kWh | - 13 % | + 34 % |
| WSchV 1995 | 14' 370 kWh | 11' 250 kWh | 20' 200 kWh | - 22 % | + 41 % |
| EnEV 2002 | 11' 150 kWh | 8' 540 kWh | 16' 100 kWh | - 23 % | + 44 % |

Tabelle A.1-16

Zusammenfassung der Tabellen A.1-14 u. A.1-15

| Wärmedämmstandard | Jahresheizwärmebedarf | | | Abweichung vom Standard | |
|-------------------|-----------------------|-------------|--------------|-------------------------|--------------|
| | Standard | Sparer | Verschwender | Sparer | Verschwender |
| WSchV 1982 | 18' 990 kWh | 12' 790 kWh | 35' 450 kWh | - 33 % | + 87 % |
| WSchV 1995 | 14' 370 kWh | 8' 840 kWh | 29' 380 kWh | - 39 % | + 105 % |
| EnEV 2002 | 11' 150 kWh | 7' 150 kWh | 24' 020 kWh | - 36 % | + 115 % |

Tabelle A.1-17

Zusammenstellung wesentlicher Berechnungs-Werte für den Standort Zürich

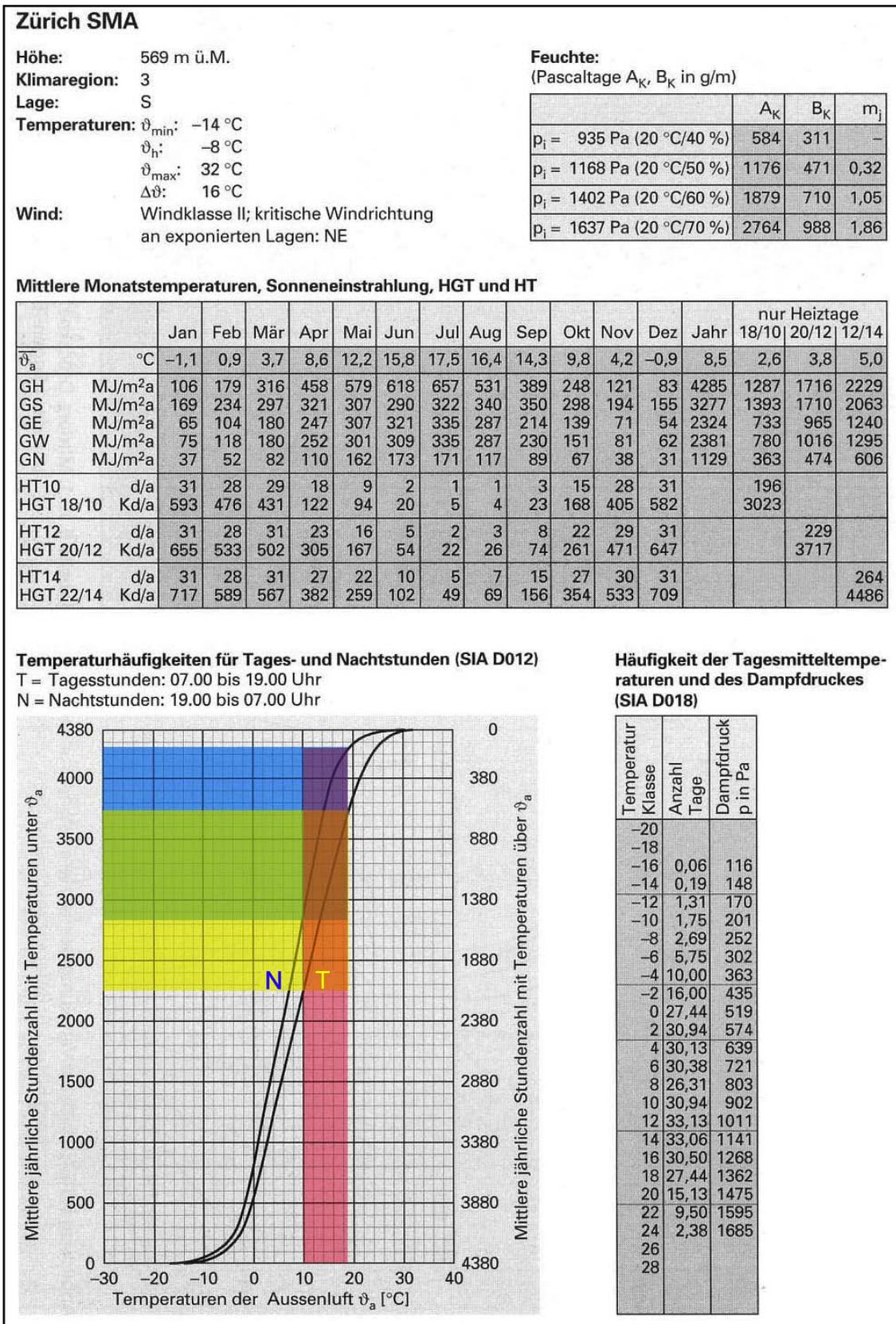


Abbildung A.1-12⁸⁸

⁸⁸ vgl. Zürcher/Frank: Bauphysik, 1998, S. 199

Abstract von Kennwerten und Randbedingungen zum Selbststregleffekt⁸⁹

Die Projektuntersuchungen wurden an einem Systemhaus⁹⁰ durchgeführt. Das (mittelgroße) End-Reiheneinfamilienhaus hat knapp 150 m² beheizte (Wohn-)Fläche, die auf 3 Geschosse verteilt ist. „Der Heizenergiebedarf entspricht der Zielvorgabe des SIA Absenkpades für das Jahr 2000“⁹¹



Abbildung A.1-13 Südansicht des untersuchten NEH

Wichtige Gebäude-Kennwerte sind der Tabelle A.1-18 zu entnehmen.

Das Haus wurde in Simulationsrechnungen als Leichtbau und (mit modifizierter Baukonstruktion) auch als Massivbau untersucht.

Die Wärmeab- bzw. -übergabe erfolgt über eine reine Fußbodenheizung mit einer Auslegungssystemtemperatur von 30/25 °C.

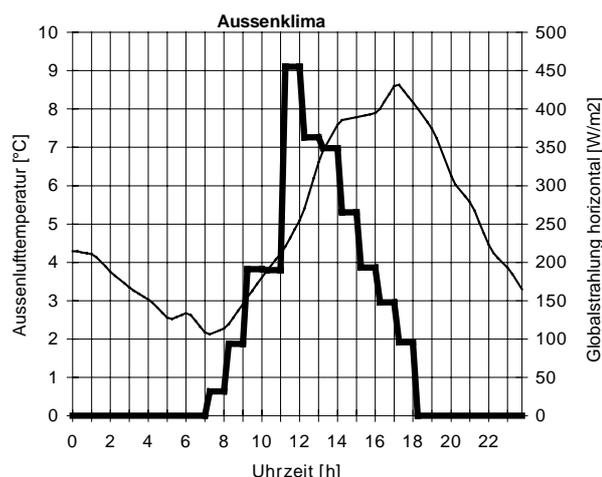


Abbildung A.1-15 Außenklima am Messtag

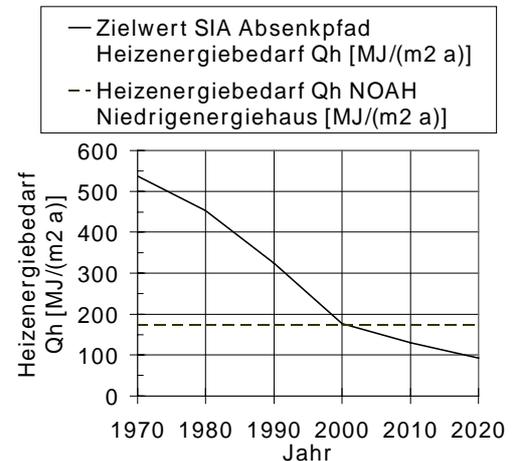
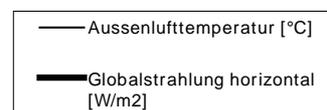


Abbildung A.1-14 Gegenüberstellung:
Heizenergiebedarf NEH
↔ SIA-Absenkpfad

| | |
|---|-------------------------|
| Heizleistung (11 °C, ohne WW) | 3.1 kW |
| durchschnittliche spez. Heizleistung | 22.0 W/m ² |
| <u>k-Werte:</u> | |
| Dach | 0.22 W/m ² K |
| Aussenwände | 0.29 W/m ² K |
| Fenster | 1.1 W/m ² K |
| Boden gegen unbeheizt | 0.25 W/m ² K |

Tabelle A.1-18 Kennwerte des NEH



Das Klima entspricht etwa einem MDT im März, wobei die solare Globalstrahlung mit + 100 W/m² gegenüber dem Tages-Maximum ausfällt (weniger Bewölkung).⁹²

⁸⁹ Zentralschweizerisches Technikum Luzern: BEW-/INFEL-Projekt, Kostengünstige Niedertemperaturheizung mit Wärmepumpe, 1997, <http://www.me.berkeley.edu/~mwetter/download/wp-1997.pdf>

⁹⁰ vgl. Abbildung A.1-11

⁹¹ Zentralschweizerisches Technikum Luzern: BEW-/INFEL-Projekt, Niedertemperaturheizung mit WP, 1997, S. 4

⁹² vgl. Anhang A.2: Klimawerte und Berechnungen, S. A.2-55 f.

Abbildungen zur Thematik Behaglichkeit

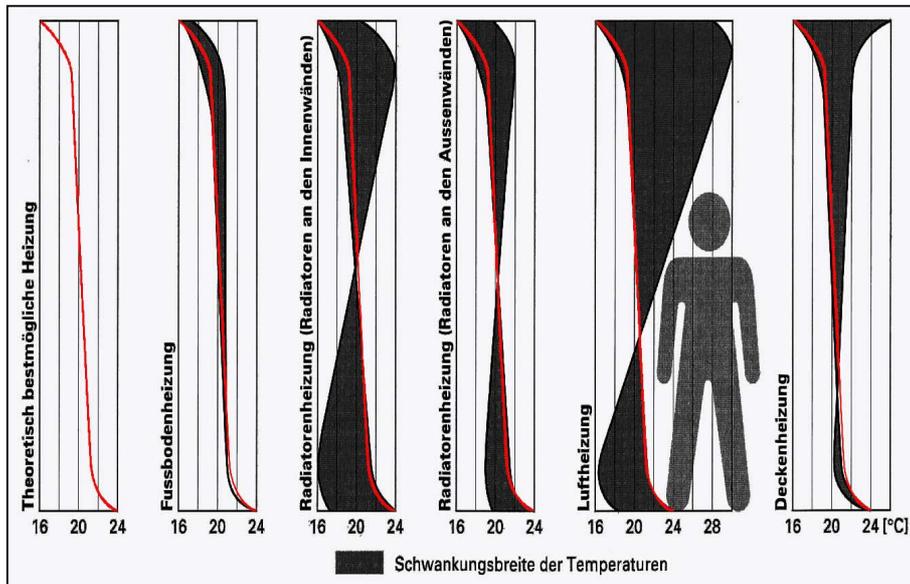


Abb. A.1-16 Vertikale Temperaturprofile verschiedener Heizsysteme in Raummitte (stationärer Zustand)⁹³

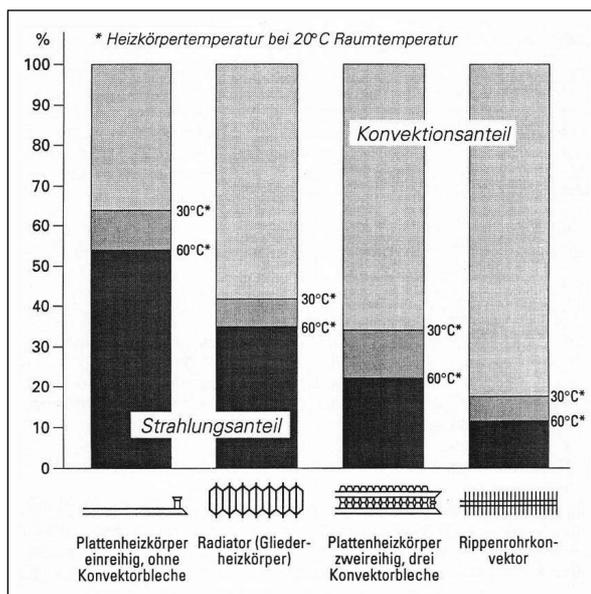


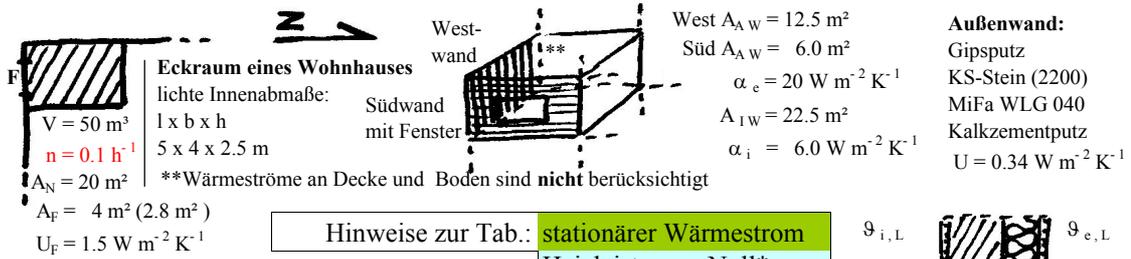
Abb. A.1-17 Strahlungsanteil an der Wärmeübergabe verschiedener Heizkörper⁹⁴

⁹³ vgl. Zürcher/Frank: Bauphysik, 1998, S. 13, Abbildung 1.21 ; siehe vglw. Recknagel/Sprenger/Schramek: Taschenbuch für Heizung und Klimatechnik 2000, 1999, S. 52, Bild 1.2.3-3

⁹⁴ vgl. Schulze Darup: Bauökologie, 1996, S. 325, Abb. 7.11

Simulation des Auskühl- und Anheizverhaltens an einer AW eines Eckraums

(Annahme eines Infiltrationsluftwechsels bzw. einer kleineren Wärmesenke⁹⁵)



Hinweise zur Tab.: stationärer Wärmestrom
 Heizleistung = Null*
 Heizleistung = P_{i,s}

Hinweise zur Berechnung:

- # Der Innenraum ist in 1. Näherung als speicherlos bzw. adiabatisch idealisiert.
- Es wurde eine Heizause von 8 h angenommen (22:00 - 6:00 Uhr).
- * Negatives P_{i,s} vgl. Gl. 18 (+ Anmerkungen) bzw. Werte aus Tab. 10

| Termin | Randbedingung 3 | | | | | Randbedingung 4 | | | | |
|------------|------------------------|------------------------|----------------------------|------------------------|---------------------------|------------------------|------------------------|----------------------------|------------------------|---------------------------|
| | ϑ _{e,L} °C | ϑ _{i,L} °C | α _i W/(m² K) | ϑ _{i,S} °C | *P _{i,s} W/m² | ϑ _{e,L} °C | ϑ _{i,L} °C | α _i W/(m² K) | ϑ _{i,S} °C | *P _{i,s} W/m² |
| 0 22:00:00 | 4.9 | 21 | 6.0 | 20.1 | 5.5 | -14 | 21 | 6.0 | 19.0 | 12.0 |
| 22:30:00 | | ? | 1E-08# | 20.0 | -6.7 | | ? | 1E-08# | 18.9 | -13.6 |
| 1 23:00:00 | | ? | 1E-08 | 19.3 | -6.7 | | ? | 1E-08 | 17.4 | -13.6 |
| 23:30:00 | | ? | 1E-08 | 19.2 | -6.7 | | ? | 1E-08 | 17.1 | -13.6 |
| 2 00:00:00 | | ? | 1E-08 | 19.0 | -6.7 | | ? | 1E-08 | 16.8 | -13.6 |
| 00:30:00 | | ? | 1E-08 | 18.9 | -6.7 | | ? | 1E-08 | 16.6 | -13.6 |
| 3 01:00:00 | | ? | 1E-08 | 18.9 | -6.7 | | ? | 1E-08 | 16.4 | -13.6 |
| 01:30:00 | | ? | 1E-08 | 18.8 | -6.7 | | ? | 1E-08 | 16.3 | -13.6 |
| 4 02:00:00 | | ? | 1E-08 | 18.7 | -6.7 | | ? | 1E-08 | 16.1 | -13.6 |
| 02:30:00 | | ? | 1E-08 | 18.6 | -6.7 | | ? | 1E-08 | 16.0 | -13.6 |
| 5 03:00:00 | | ? | 1E-08 | 18.6 | -6.7 | | ? | 1E-08 | 15.9 | -13.6 |
| 03:30:00 | | ? | 1E-08 | 18.5 | -6.7 | | ? | 1E-08 | 15.7 | -13.6 |
| 6 04:00:00 | | ? | 1E-08 | 18.5 | -6.7 | | ? | 1E-08 | 15.6 | -13.6 |
| 04:30:00 | | ? | 1E-08 | 18.4 | -6.7 | | ? | 1E-08 | 15.5 | -13.6 |
| 7 05:00:00 | | ? | 1E-08 | 18.3 | -6.7 | | ? | 1E-08 | 15.4 | -13.6 |
| 05:30:00 | | ? | 1E-08 | 18.3 | -6.7 | | ? | 1E-08 | 15.3 | -13.6 |
| 8 06:00:00 | | ? | 1E-08 | 18.2 | -6.7 | | ? | 1E-08 | 15.1** | -13.6 |
| 06:30:00 | | ? | 1E-08 | 18.3 | 20.4 | | ? | 1E-08 | 15.2 | 20.4 |
| 07:00:00 | | ? | 1E-08 | 19.8 | 20.4 | | ? | 1E-08 | 17.0 | 20.4 |
| 07:30:00 | | ? | 1E-08 | 20.1 | 20.4 | | ? | 1E-08 | 17.3 | 20.4 |
| | | | | | | | ? | 1E-08 | 17.5 | 20.4 |
| | | | | | | | ? | 1E-08 | 17.7 | 20.4 |
| | | | | | | | ? | 1E-08 | 17.8 | 20.4 |
| | | | | | | | ? | 1E-08 | 17.9 | 20.4 |
| | | | | | | | ? | 1E-08 | 18.0 | 20.4 |
| | | | | | | | ? | 1E-08 | 18.1 | 20.4 |
| | | | | | | | ? | 1E-08 | 18.1 | 20.4 |
| | | | | | | | ? | 1E-08 | 18.2 | 20.4 |
| | | | | | | | ? | 1E-08 | 18.2 | 20.4 |
| | | | | | | | ? | 1E-08 | 18.3 | 20.4 |
| | | | | | | | ? | 1E-08 | 18.3 | 20.4 |
| | | | | | | | ? | 1E-08 | 18.3 | 20.4 |
| | | | | | | | ? | 1E-08 | 18.4 | 20.4 |

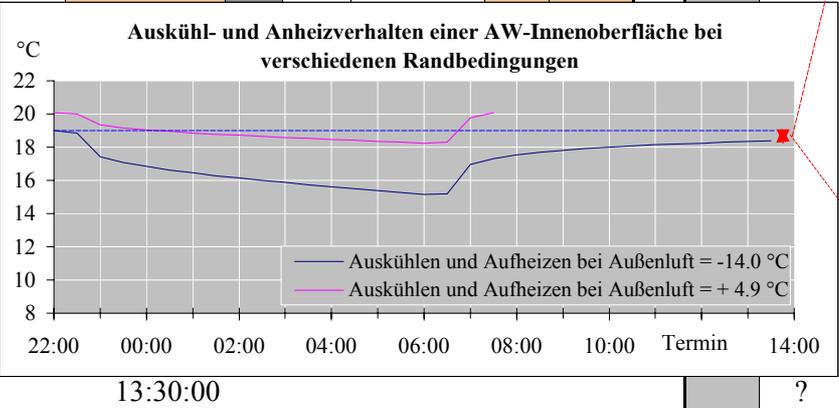


Abbildung A.1-18

Tabelle A.1-19

⁹⁵ siehe Tabelle A.1-20

⁹⁶ **Dass die berechnete Temperaturabsenkung bei einem als speicherlos angenommenen Innenraum nicht unrealistisch tief ist, beweisen die Untersuchungen von Schwarz. vgl. Schwarz: Lüftung – Luftströmung – Zugluft Probleme im Holzhaus, <http://www.inno-mv.de/ia/holzbau/schwarz.pdf>, S. 15

| Bauteil/Vorgang | U-Wert $\text{W m}^{-2} \text{K}^{-1}$ | A_{V}^* $\text{m}^2 \text{m}^{-3} \text{ }^{(1)}$ | ΔT in K | | Wärmebedarf Q_h in W h^{-1} | | |
|--|---|--|-----------------|--------|--|------------------------------------|------|
| | | | -12 °C | 4.9 °C | $\vartheta_{a,L} = -12 \text{ °C}$ | $\vartheta_{a,L} = 4.9 \text{ °C}$ | |
| Wände außen | 0.35 | 18.5 | 33.0 | 16.1 | 214 | 104 | |
| Fenster [$Q_{T,F}$], Gl. 20 | 1.5 | 4.0 | 33.0 | 16.1 | 198 | 97 | |
| Lüftung [Q_{LW}], Gl. 21 | 0.033 [*] | 50.0 | 33.0 | 16.1 | 54 | 27 | |
| WB-Zuschlag nach EnEV | 0.1 | 22.5 | 33.0 | 16.1 | 74 | 36 | |
| ⁽¹⁾ Zellwert = $c_L \cdot n_{LW}$ | | | | | Σ : | 540 | 264 |
| | | | | | auf A_W umgelegte negative Leistung: | -13.6 | -6.7 |
| $A_N = 20 \text{ m}^2$ | | | | | auf A_N umgelegte Wärme-Leistung: | 27.0 | 13.2 |

Tabelle A.1-20 Raumwärmebedarf [W/h] (Transmission und Infiltrations-Lüftung) für einen extremen Wintertag⁹⁷ und einen MDT im März⁹⁸

Heizpause/Fremdwärmeausnutzungsgrad

Das Beispiel Eckraum wurde bisher unter relativ einfachen Randbedingungen betrachtet (adiabatische Innenraumverhältnisse, keine Fremdlasten etc.). Auf den folgenden Seiten wird versucht diese Betrachtung zu verfeinern.⁹⁹ Da die Ergebnisse keine richtige Gebäude bzw. Raumsimulation ersetzen können, wird auf eine (intensive) Auswertung bspw. der Abbildungen A.1-19 f. verzichtet. Ziel war einen diesbezüglichen Rechenansatz vorzustellen sowie ganz allgemeine Aussagen zu treffen.

Formelapparat:

- Heizwärme bzw. -leistung pro Raum oder Gebäude [Q_h]

$$\dot{Q}_h = \dot{Q}_T + \dot{Q}_L - \dot{Q}_{f,g} \quad \text{Gl. A.1-15}$$

- Transmissionswärmestrom je Bauteil [Q_{Tj}]

$$Q_{Tj} = U_j \cdot \Delta \vartheta_j \cdot (A_j) \cdot \Delta t, \text{ (Spalten: I ; K ; S ; AB ; AH ; AR)}^{100} \quad \text{Gl. A.1-16}$$

- Lüftungswärmestrom je Volumeneinheit [Q_L]

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta T \quad \text{Gl. A.1-17}$$

$$Q_L = n \cdot V_L \cdot \rho \cdot c \cdot \Delta \vartheta \cdot \Delta t, \text{ (Spalten: M ; N)} \quad \text{Gl. A.1-18}$$

- Freie Wärme (Fremdwärmemenge) [Q_f]

$$Q_f = Q_p + Q_{el} + Q_{Sol} \quad \text{Gl. A.1-19}$$

- Abwärme elektrischer Geräte [Q_{el}]

$$Q_{el} = Q_{el,ND} \cdot \eta_{el}, \text{ (Spalte: E)}^{101} \quad \text{Gl. A.1-20}$$

- Personenabwärme [Q_p]

$$Q_p = p \cdot \Delta t_p \cdot \dot{Q}_p, \text{ (Spalte: G)}^{101} \quad \text{Gl. A.1-21}$$

⁹⁷ vgl. Norm-Außentemperatur für Magdeburg nach DIN E 4701-2:1985-08: Regeln für die Berechnung der Heizlast von Gebäuden, S. 11, Tabelle 1 ; zusätzlich Außentemperatur-Korrektur, $\Delta \vartheta_a = 2 \text{ K}$ (schwere Bauart) vgl. Recknagel/Sprenger/Schramek: Taschenbuch für Heizung und Klimatechnik 01/02, 2001, S. 922

⁹⁸ vgl. Anhang A.2, Tabelle A.2-55

⁹⁹ vgl. Randbedingungen bzw. Ergebnisse der Tabelle A.1-21

¹⁰⁰ Spaltenangaben beziehen sich auf die Tabelle A.1-21

¹⁰¹ Vergleichs- bzw. Anhaltswerte siehe Anhang, S. A.1-20

- Solareintrag¹⁰² über transparente Bauteile [Q_{Sol}]

$$Q_{\text{Sol}} = I \cdot f_b \cdot g \cdot A_{\text{F,Glas}}^* \quad {}^{103}, \text{ (Spalte: H)} \quad \text{Gl. A.1-22}$$

- nutzbare (ungeregelte) Fremdwärme(-gewinne) [$Q_{\text{f,g}}$]

$$Q_{\text{f,g}} = \eta_g \cdot Q_f \quad {}^{104} \text{ (keinen Ausnutzungsgrad berücksichtigt)} \quad \text{Gl. A.1-23}$$

Definierte Randbedingungen zur Berechnung:

- Eckraum in S-W-Orientierung (Fenster in Südausrichtung)
- Wärmedämmstandard gemäß EnEV
- Raum ist normal möbliert (Speicherfähigkeit der Möbel nicht bilanziert)¹⁰⁵
- Decke ist mit Paneel vertäfelt, im Fußbodenaufbau ist eine Trittschalldämmung angeordnet
- Bauart lässt sich gemäß prEN 12831 als „schwer“¹⁰⁶ einstufen
- keine rechnerische Berücksichtigung (konstruktiver) Wärmebrücken¹⁰⁷
- keine Ermittlung vertikaler Wärmeströme (Decke und Fußboden), da Annahme einer Geschossbauweise mit angrenzenden Räumen gleicher Nutzung/Raumklima
- es wurde über DynaTherm ausgehend vom stationären Fall simuliert
- für die Lüftungswärme wurde über den Tag ein konstanter Luftwechsel von $n = 0.6 \text{ h}^{-1}$ angenommen
- kein Nutzereinfluss (ideale bzw. definierte Heizungsregelung und Lüftung)
- Nachtabsenkung (NAS) der Raumlufttemperatur in der Zeit von 22:00 Uhr bis 06:00 Uhr
- bei Randbedingung 1 wird von einem MDT im März ausgegangen¹⁰⁸ (keine Solargewinne opaker Flächen bilanziert)
- bei Randbedingung 2 wird keine (solare) Globalstrahlung berücksichtigt, die Normaußentemperatur wurde für Magdeburg nach DIN 4701-2¹⁰⁹ gewählt (-14 °C)
- ideale Heizung bzw. Wärmeübergabe an den Raum (Trägheit von Heizung und Raum)
- Fremdlasten sind voll wirksam und sprunghaft (ohne Zeitverzug) eingerechnet

Interpretation der Rechenergebnisse:

Die hohen, selbst für Innenwände¹¹⁰, zu erbringenden Wärmeleistungen, die noch dazu stark dynamisch und in kurzen Abständen folgen müssten, stellen Heizpausen sowohl in Frage als auch auf die Probe. Das Bauwerk sollte jedoch gerade in der Übergangszeit¹¹¹ auf möglichst große passive Solargewinne ausgelegt werden. **Muss hierzu eine nächtliche Heizpause bzw. Temperaturabsenkung erfolgen, um Kapazitäten für die folgenden Tageslasten zu schaffen?** Die geringen Transmissions- und ggf. auch Lüftungswärmeverluste des Gebäudes/

¹⁰² Werte für solare Global- bzw. Gesamt- und Diffusstrahlung vgl. bspw. VDI 2078 (Achtung! Clear-Sky-Werte); DIN 4710; ESRA bzw. Anhang A.2, S. A.2-16 ff.

¹⁰³ * Der heute übliche Fensterrahmenanteil beträgt ca. 30 %.

¹⁰⁴ Gleichungen A.1-15 bis A.1-23 vgl. Zürcher/Frank: Bauphysik, 1998, S. 110 f.

¹⁰⁵ vgl. Bestimmung der Speicherfläche der Möbelausstattung nach E DIN EN 12831:1997-08: Verfahren zur Berechnung der Norm-Heizlast, Heizsysteme in Gebäuden, S. 46, Tabelle D.2

¹⁰⁶ vgl. ebenda, S. 48, Tabelle D.3

¹⁰⁷ nur für Handrechnung näherungsweise abgeschätzt, vgl. Tabelle A.1-20

¹⁰⁸ solare Globalstrahlung und Temperaturen vgl. Anhang 2: Klimawerte und Berechnungen, Tabelle A.2-55

¹⁰⁹ vgl. E DIN 4701-2:1995-08: Regeln für die Berechnung des Wärmebedarfs von Gebäuden, S. 11, Tabelle 1

¹¹⁰ vgl. Tab. A.1-21 bzw. Abbildungen A.1-19 bzw. A.1-20

¹¹¹ gemeint sind die Monate April/Mai und September/Oktober

Raumes in diesem Zeitraum verhindern einen anderen Gedankenschluss. Gleichzeitig wird aber die Abstimmung eines geeigneten Regelkonzeptes durch die relativ große Unvorhersehbarkeit von Fremdlasten stark behindert oder sogar verhindert. Eine Pauschalierung des Fremdwärme-Ausnutzungsgrades über die gesamte Heizperiode¹¹² ist demnach unter heutigen Randbedingungen als unhaltbar einzustufen. Dieser Bonus muss erst von Nutzer, Bauwerk und/oder Anlagentechnik "verdient" werden. Dabei reichen Qualität und Quantität als alleinige Mittel nicht mehr aus. Vielmehr kommt es auf die richtige Abstimmung bzw. Regelung auch und gerade in Verbindung mit Nutzer, Raumträchtigkeit, Fensterfläche¹¹³ und geeigneter Verschattung an. Die stark dynamischen Lastsprünge, die vom Heizsystem in relativ kurzen Zeiträumen zu bewerkstelligen sind, stellen ein weiteres Problem dar. Heizsysteme weisen immer ein gewisse Trägheit in Verbindung mit einer nicht zu unterschätzenden Wärmekapazität der Wärmeübergabeeinrichtung auf.

Entscheidungen sind demnach nur durch andere, bspw. ökologische und energetische Aspekte, Beurteilungskriterien herbeizuführen. Hierbei sind physiologische Gesichtspunkte (die Behaglichkeit des Nutzers) besonders entscheidend, sie wurden aber bisher grundsätzlich unterbewertet. So wird sich die Ausrede (Szenarien: Standard ↔ Sparer ↔ Verschwender)¹¹⁴ bzw. (totale) Schuldzuweisung an die Adresse des Nutzers bei ganzheitlich optimierten Gebäuden (energetische sowie ökologische Effizienz sichergestellt) zukünftig nicht mehr verantworten lassen. In Fragen der Optimierungsmöglichkeiten wird besonders die Zonierung von Aufenthaltsbereichen neu überdacht werden müssen.

Die Auslegung bzw. Bemessung von Raumheizflächen wird in Zukunft primär von zwei Parametern bestimmt werden.

- **Nutzeranspruch** in Bezug auf Komfort und Behaglichkeit, aber auch Nutzerakzeptanz bzw. Toleranz und/oder dessen Bereitschaft (toleriert bspw. kurzzeitiges Unbehagen durch Anpassung der Bekleidung)
- **Speicherfähigkeit** bzw. Zeitkonstante(n!), sowie deren Bewirtschaftung bzw. Regelbarkeit
 - 1) Die Trägheit des Gebäudes bzw. des betreffenden Raumes ergibt sich aus der an- bzw. abgekoppelten Bauwerksmasse bzw. deren Speicherfähigkeit (bspw. Möbel bzw. Raumausstattung gehören auch dazu) und Abstimmung. Bei schlechtem Regelverhalten infolge sehr großer Trägheit oder schlechter Bewirtschaftung (bspw. keine bzw. nur eingeschränkte (Nacht-) Lüftung im Sommer möglich, da ausreichender Schallschutz nicht gewährleistet werden kann), muss ggf. eine Unterstützung über Bauteilkonditionierung/-aktivierung oder Standard-HLK-Komponenten erfolgen.
 - 2) Die Zeitkonstante der Heiz- bzw. Kälteanlage (Wärmespeicherkapazität des Heizmediums bzw. der Wärmeübergabeeinrichtung) sowie deren Regelung ist mit den geforderten Behaglichkeitsansprüchen sowie mit dem Fremdlastenanteil und der Raumträchtigkeit abzustimmen.

¹¹² vgl. bspw. DIN V 4108-6:2000-11, S. 17 bzw. S. 61 ; $\eta = 0.95$

¹¹³ gemeint sind hierbei Fensterorientierung, Größe, Material- bzw. Bauteileigenschaften und evt. Verschattung

¹¹⁴ vgl. ebenda, S. 118 ff. bzw. Anhang A.1, S. A.1-28

Eckraum eines Wohnhauses
 lichte Innenabmaße: 5 x 4 x 2,5 m
 $V = 50 \text{ m}^3$ | $n = 0,6 \text{ h}^{-1}$ | $5 \times 4 \times 2,5 \text{ m}$
 $A_N = 20 \text{ m}^2$ | ****Wärmeströme an Decke und Boden sind nicht berücksichtigt**
 $A_F = 4 \text{ m}^2$ (2,8 m²) | $U_F = 1,5 \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-1}$
 $g_{\text{Gas}} = 0,62$ | Verschmutzung = 5 %

Westwand
 mit Stützwand
 Westwand mit Stützwand
 $West A_{Aw} = 12,5 \text{ m}^2$
 $Süd A_{Aw} = 6,0 \text{ m}^2$
 $\alpha_e = 20 \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-1}$
 $\alpha_{st} = 0,6$
 $A_{1W} = 20,5 \text{ m}^2$ (exkl. Tür)

Innenwand:
 Gipsputz
 KS-Stein (1800)
 Gipsputz
 $U = 1,7 \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-1}$
 $\alpha_i = 6 \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-1}$

Außenwand:
 Gipsputz
 KS-Stein (2200)
 MiFa WLG 040
 Kalkzementputz
 $U = 0,35 \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-1}$

| Termin | Luft ext. | | Global Strahlung | | Fremdlasten | | Qt-Fenster | | Luftwechsel | | Innenwandflächen | | Innenwandflächen | | Innenwandflächen | | Außenwände | | Außenwände | | Außenwände | | | | |
|--------|----------------|----------------|------------------|------------------|------------------|----------------|--------------------|------------------|-----------------|-----|------------------|----------------|------------------|----------------|------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|-------|-------|-----|
| | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | | | |
| | $\theta_{a,L}$ | $\theta_{a,L}$ | West | Süd | Q_{elt} | Q_{p} | $Q_{\text{sol,F}}$ | $Q_{\text{T,F}}$ | Q_{LW} | M | N | $\theta_{i,s}$ | $\theta_{i,s}$ | $\theta_{i,s}$ | $\theta_{i,s}$ | $\theta_{i,s}$ | $\theta_{i,s}$ | $\theta_{i,s}$ | $\theta_{i,s}$ | $\theta_{i,s}$ | $\theta_{i,s}$ | $\theta_{i,s}$ | | | |
| | °C | °C | W/m ² | W/m ² | W | W | W | W | W | W | W | °C | °C | °C | °C | °C | °C | °C | °C | °C | °C | °C | | | |
| 1 | 2.3.00 1:00 | 3,0 | -14 | | | | | 98 | 200 | 171 | 331 | 20,3 | 20,3 | 149 | -6,6 | 149 | 19,4 | -14,3 | 322 | 18,9 | -6,6 | 122 | 16,4 | -14,3 | 265 |
| 2 | 2.3.00 2:00 | 2,3 | -14 | | | | | 101 | 199 | 176 | 328 | 20,1 | 20,1 | 149 | -6,6 | 149 | 19,1 | -14,3 | 322 | 18,7 | -6,6 | 122 | 16,1 | -14,3 | 265 |
| 3 | 2.3.00 3:00 | 1,8 | -14 | | | | | 103 | 198 | 180 | 326 | 20,0 | 20,0 | 149 | -6,6 | 149 | 18,9 | -14,3 | 322 | 18,6 | -6,6 | 122 | 15,8 | -14,3 | 265 |
| 4 | 2.3.00 4:00 | 1,4 | -14 | | | | | 104 | 196 | 183 | 324 | 19,9 | 19,9 | 149 | -6,6 | 149 | 18,7 | -14,3 | 322 | 18,5 | -6,6 | 122 | 15,5 | -14,3 | 265 |
| 5 | 2.3.00 5:00 | 1,2 | -14 | | | | | 104 | 195 | 185 | 321 | 19,8 | 19,8 | 149 | -6,6 | 149 | 18,5 | -14,3 | 322 | 18,4 | -6,6 | 122 | 15,3 | -14,3 | 265 |
| 6 | 2.3.00 6:00 | 1,1 | -14 | | | | | 103 | 193 | 184 | 319 | 19,7 | 19,7 | 149 | -6,6 | 149 | 18,2 | -14,3 | 322 | 18,3 | -6,6 | 122 | 15,0 | -14,3 | 265 |
| 7 | 2.3.00 7:00 | 1,3 | -14 | 8 | 16 | 26 | 113 | 205 | 191 | 338 | 20,6 | 20,6 | 203 | 20,1 | 203 | 20,1 | 18,0 | 405 | 19,6 | 18,0 | 333 | 17,9 | 36,0 | 666 | |
| 8 | 2.3.00 8:00 | 2,0 | -14 | 32 | 79 | 130 | 113 | 209 | 188 | 345 | 21,0 | 21,0 | 203 | 20,8 | 203 | 20,8 | 18,0 | 405 | 20,1 | 18,0 | 333 | 18,8 | 36,0 | 666 | |
| 9 | 2.3.00 9:00 | 3,0 | -14 | 56 | 163 | 269 | 109 | 211 | 180 | 349 | 21,2 | 21,2 | 203 | 21,2 | 203 | 21,2 | 18,0 | 405 | 20,4 | 18,0 | 333 | 19,3 | 36,0 | 666 | |
| 10 | 2.3.00 10:00 | 4,2 | -14 | 77 | 250 | 412 | 104 | 213 | 170 | 352 | 21,3 | 21,3 | 203 | 21,5 | 203 | 21,5 | 18,0 | 405 | 20,6 | 18,0 | 333 | 19,7 | 36,0 | 666 | |
| 11 | 2.3.00 11:00 | 5,5 | -14 | 92 | 321 | 529 | 98 | 215 | 158 | 355 | 21,5 | 21,5 | 203 | 21,8 | 203 | 21,8 | 18,0 | 405 | 20,7 | 18,0 | 333 | 20,0 | 36,0 | 666 | |
| 12 | 2.3.00 12:00 | 6,7 | -14 | 100 | 361 | 595 | 92 | 217 | 147 | 358 | 21,6 | 21,6 | 203 | 22,1 | 203 | 22,1 | 18,0 | 405 | 20,3 | 9,0 | 167 | 19,2 | 18,0 | 333 | |
| 13 | 2.3.00 13:00 | 7,7 | -14 | 162 | 361 | 595 | 81 | 211 | 133 | 349 | 21,2 | 21,2 | 0 | 21,2 | 0 | 0,0 | 0,0 | 0 | 20,2 | 9,0 | 167 | 19,0 | 18,0 | 333 | |
| 14 | 2.3.00 14:00 | 8,4 | -14 | 219 | 321 | 529 | 76 | 210 | 126 | 346 | 21,1 | 21,1 | 0 | 21,0 | 0 | 0,0 | 0,0 | 0 | 20,2 | 9,0 | 167 | 18,9 | 18,0 | 333 | |
| 15 | 2.3.00 15:00 | 8,6 | -14 | 239 | 250 | 412 | 74 | 210 | 123 | 346 | 21,0 | 21,0 | 0 | 20,9 | 0 | 0,0 | 0,0 | 0 | 20,2 | 9,0 | 167 | 19,0 | 18,0 | 333 | |
| 16 | 2.3.00 16:00 | 8,5 | -14 | 215 | 163 | 269 | 74 | 209 | 124 | 346 | 21,0 | 21,0 | 0 | 20,9 | 0 | 0,0 | 0,0 | 0 | 20,2 | 9,0 | 167 | 19,0 | 18,0 | 333 | |
| 17 | 2.3.00 17:00 | 8,3 | -14 | 149 | 79 | 165 | 220 | 130 | 126 | 346 | 21,0 | 21,0 | 0 | 20,9 | 0 | 0,0 | 0,0 | 0 | 20,3 | 9,0 | 167 | 19,0 | 18,0 | 333 | |
| 18 | 2.3.00 18:00 | 7,9 | -14 | 46 | 15 | 225 | 220 | 25 | 78 | 209 | 130 | 21,0 | 21,0 | 0 | 20,9 | 0 | 0,0 | 0 | 20,1 | 5,5 | 102 | 19,1 | 18,0 | 333 | |
| 19 | 2.3.00 19:00 | 7,4 | -14 | | | | 81 | 209 | 135 | 346 | 21,0 | 21,0 | 0 | 20,9 | 0 | 0,0 | 0,0 | 0 | 20,0 | 5,5 | 102 | 19,1 | 18,0 | 333 | |
| 20 | 2.3.00 20:00 | 6,7 | -14 | | | | 85 | 209 | 141 | 346 | 21,0 | 21,0 | 0 | 20,9 | 0 | 0,0 | 0,0 | 0 | 20,0 | 5,5 | 102 | 18,8 | 12,1 | 224 | |
| 21 | 2.3.00 21:00 | 6,0 | -14 | | | | 89 | 209 | 148 | 346 | 21,0 | 21,0 | 0 | 20,9 | 0 | 0,0 | 0,0 | 0 | 20,0 | 5,5 | 102 | 18,7 | 12,1 | 224 | |
| 22 | 2.3.00 22:00 | 5,2 | -14 | | | | 95 | 210 | 156 | 347 | 21,0 | 21,0 | 149 | 21,0 | 149 | 21,0 | -14,3 | 322 | 20,1 | 5,5 | 102 | 19,0 | -14,3 | 265 | |
| 23 | 2.3.00 23:00 | 4,5 | -14 | | | | 94 | 204 | 160 | 337 | 20,6 | 20,6 | 149 | 20,1 | 149 | 20,1 | -14,3 | 322 | 19,3 | 5,5 | 102 | 17,4 | -14,3 | 265 | |
| 24 | 3.3.00 0:00 | 3,7 | -14 | | | | 96 | 202 | 165 | 333 | 20,4 | 20,4 | 149 | 19,7 | 149 | 19,7 | -14,3 | 322 | 19,1 | 5,5 | 102 | 16,8 | -14,3 | 265 | |
| | | 4,9 | -14 | | | | 93.3 | 206 | 158 | 341 | | | | | | | | | | | | | | | |

Tabelle A.1-21 Tagesgänge bauteilweiser Energieströme für unterschiedliche Randbedingunge

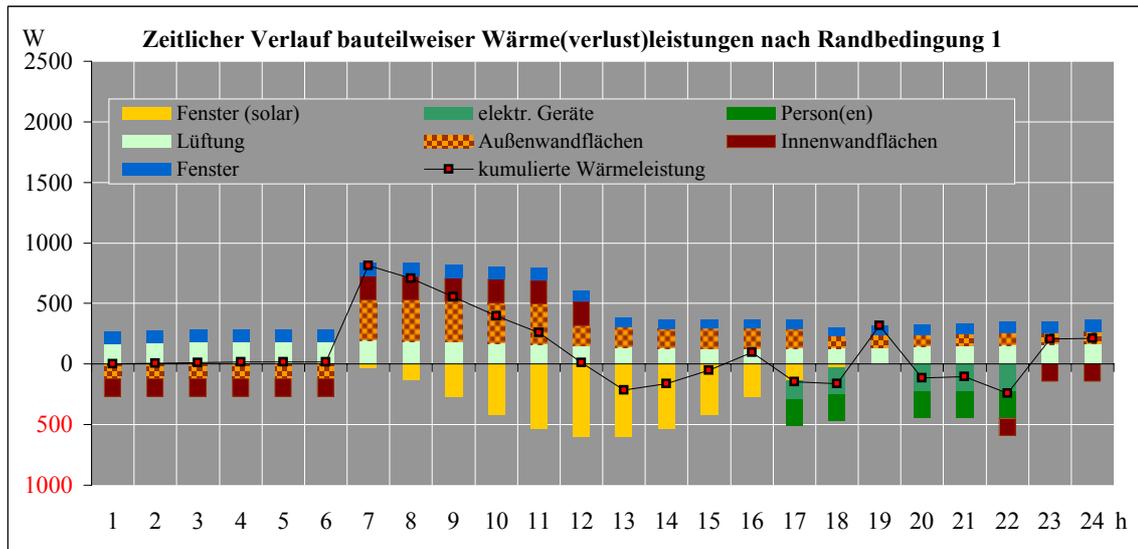


Abbildung A.1-19

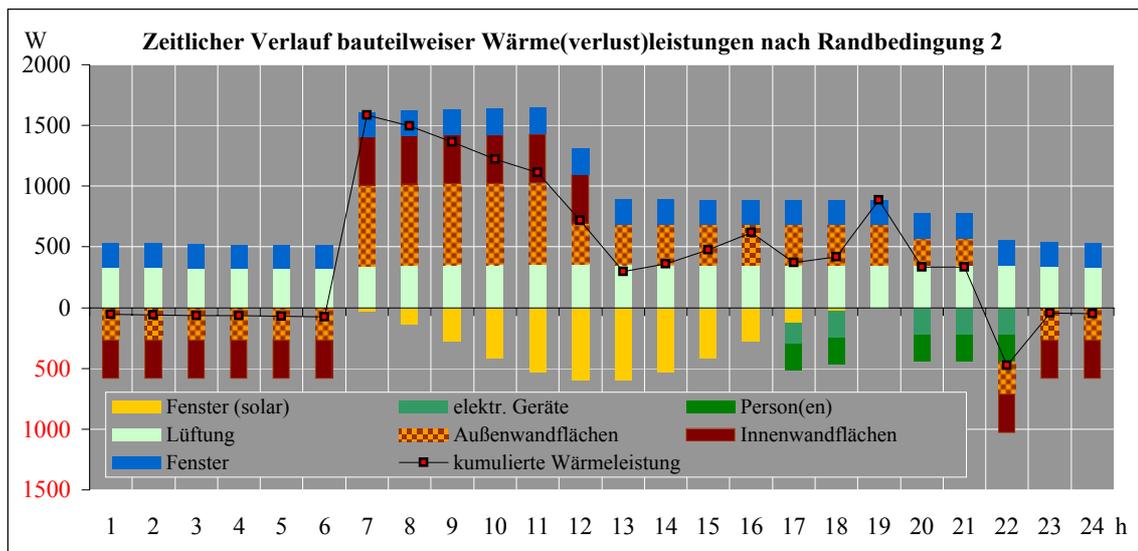


Abbildung A.1-20

Anhang A.2 Klimawerte und Berechnungen

Wetter-Messwerte für die Stadt Magdeburg**

| Monat | Jahr | Lufttemperatur | | | | | | Niederschlag | | Sonnenscheindauer | |
|---------------------------|------|-----------------------------|------------|-------------|--------|--------------|--------|--------------|------------|-------------------|------------|
| | | Monats- mittelwert C° | Delta K | Max. C° | Datum | Min. C° | Datum | mm | Delta % | h | Delta % |
| | | | | | | | | | | | |
| Januar | 1997 | -2.8 | -2.4 | 9.6 | 23.01. | -22.5 | 02.01. | 17 | 53 | 76 | 162 |
| Januar | 1998 | 3.2 | 3.6 | 13.8 | 10.01. | -8.4 | 31.01. | 33 | 99 | 64 | 137 |
| Januar | 1999 | 3.3 | 3.7 | 16.5 | 06.01. | -6.3 | 31.01. | 26 | 79 | 51 | 109 |
| Januar | 2000 | 1.6 | 2.0 | 10.9 | 31.01. | -10.3 | 25.01. | 35 | 106 | 85 | 181 |
| Mittelwert über 4 Jahre: | | 1.3 | 1.7 | 12.7 | | -11.9 | | 28 | 84 | 69 | 147 |
| Mittelwert 1961 bis 1990: | | -0.4 | | | | | | 33 | | 47 | |
| Februar | 1997 | 4.5 | 4.0 | 13.8 | 28.02. | -6.4 | 02.02. | 52 | 166 | 99 | 141 |
| Februar | 1998 | 5.7 | 5.2 | 17.1 | 21.02. | -12.0 | 02.02. | 3 | 9 | 96 | 138 |
| Februar | 1999 | 1.1 | 0.6 | 13 | 27.02. | -12.3 | 12.02. | 36 | 116 | 64 | 91 |
| Februar | 2000 | 4.5 | 4.0 | 16.7 | 28.02. | -2.5 | 21.02. | 38 | 123 | 87 | 124 |
| Mittelwert über 4 Jahre: | | 4 | 3.5 | 15.2 | | -8.3 | | 32 | 104 | 87 | 124 |
| Mittelwert 1961 bis 1990: | | 0.5 | | | | | | 32 | | 70 | |
| März | 1997 | 5.6 | 1.6 | 19.7 | 02.03. | -3.9 | 18.03. | 34 | 88 | 119 | 102 |
| März | 1998 | 5.3 | 1.4 | 19.8 | 31.03. | -5.6 | 25.03. | 39 | 103 | 121 | 103 |
| März | 1999 | 5.7 | 1.8 | 20.5 | 25.03. | -2.4 | 08.03. | 42 | 111 | 118 | 101 |
| März | 2000 | 5.8 | 1.9 | 13.7 | 22.03. | -1.0 | 04.03. | 55 | 145 | 77 | 66 |
| Mittelwert über 4 Jahre: | | 5.6 | 1.7 | 18.4 | | -3.2 | | 43 | 112 | 109 | 93 |
| Mittelwert 1961 bis 1990: | | 3.9 | | | | | | 38 | | 117 | |
| April | 1997 | 6.7 | -1.3 | 17.6 | 28.04. | -4.1 | 07.04. | 25 | 62 | 182 | 114 |
| April | 1998 | 10.0 | 2.0 | 21.8 | 30.04. | -0.3 | 15.04. | 64 | 161 | 133 | 84 |
| April | 1999 | 9.9 | 1.9 | 20.3 | 24.04. | -1.6 | 19.04. | 25 | 63 | 176 | 111 |
| April | 2000 | 11.2 | 3.2 | 27.2 | 23.04. | -2.2 | 06.04. | 21 | 52 | 192 | 121 |
| Mittelwert über 4 Jahre: | | 9.5 | 1.5 | 21.7 | | -2.1 | | 34 | 85 | 171 | 108 |
| Mittelwert 1961 bis 1990: | | 8 | | | | | | 40 | | 159 | |
| Mai | 1997 | 13.4 | 0.4 | 29.5 | 17.05. | 0.7 | 25.05. | 45 | 96 | 238 | 110 |
| Mai | 1998 | 15.0 | 2.0 | 29.3 | 12.05. | 3.4 | 05.05. | 29 | 61 | 250 | 116 |
| Mai | 1999 | 14.4 | 1.4 | 28.9 | 28.05. | 4.9 | 17.05. | 48 | 102 | 260 | 120 |
| Mai | 2000 | 15.5 | 2.5 | 28.9 | 16.05. | 4.4 | 31.05. | 26 | 55 | 295 | 137 |
| Mittelwert über 4 Jahre: | | 14.6 | 1.6 | 29.2 | | 3.4 | | 37 | 79 | 261 | 121 |
| Mittelwert 1961 bis 1990: | | 13 | | | | | | 47 | | 216 | |
| Juni | 1997 | 17.1 | 0.9 | 33.1 | 29.06. | 5.2 | 01.06. | 33 | 54 | 274 | 125 |
| Juni | 1998 | 17.2 | 1.0 | 31.3 | 06.06. | 4.6 | 14.06. | 75 | 122 | 201 | 92 |
| Juni | 1999 | 15.9 | -0.3 | 27.1 | 02.06. | 5.9 | 23.06. | 74 | 119 | 222 | 101 |
| Juni | 2000 | 17.4 | 1.2 | 33.6 | 20.06. | 6 | 17.06. | 50 | 81 | 249 | 114 |
| Mittelwert über 4 Jahre: | | 16.9 | 0.7 | 31.3 | | 5.4 | | 58 | 94 | 237 | 108 |
| Mittelwert 1961 bis 1990: | | 16.2 | | | | | | 62 | | 219 | |
| Juli | 1997 | 18.1 | 0.6 | 28.2 | 22.07. | 9.8 | 02.07. | 118 | 246 | 206 | 94 |
| Juli | 1998 | 16.8 | -0.7 | 33.3 | 20.07. | 8.2 | 07.07. | 41 | 86 | 174 | 79 |
| Juli | 1999 | 20.1 | 2.6 | 33.5 | 05.07. | 9.3 | 28.07. | 26 | 54 | 239 | 109 |
| Juli | 2000 | 16.2 | -1.3 | 25 | 24.07. | 7.1 | 01.07. | 35 | 73 | 116 | 53 |
| Mittelwert über 4 Jahre: | | 17.8 | 0.3 | 30 | | 8.6 | | 55 | 115 | 184 | 84 |
| Mittelwert 1961 bis 1990: | | 17.5 | | | | | | 48 | | 219 | |
| August | 1997 | 21.0 | 3.7 | 32.4 | 25.08. | 10.7 | 02.08. | 41 | 80 | 263 | 127 |
| August | 1998 | 17.1 | -0.2 | 34.3 | 12.08. | 7.9 | 30.08. | 36 | 70 | 209 | 101 |
| August | 1999 | 17.6 | 0.3 | 30.1 | 04.08. | 3.7 | 24.08. | 57 | 112 | 175 | 85 |
| August | 2000 | 18.1 | 0.8 | 31.9 | 14.08. | 8.1 | 24.08. | 86 | 169 | 235 | 114 |
| Mittelwert über 4 Jahre: | | 18.5 | 1.2 | 32.2 | | 7.6 | | 55 | 108 | 221 | 107 |
| Mittelwert 1961 bis 1990: | | 17.3 | | | | | | 51 | | 207 | |

**Tabelle A.2-01

| Monat | Jahr | Lufttemperatur | | | | | | Niederschlag | | Sonnenscheindauer | |
|---------------------------|------|-----------------------------|-------------|-------------|--------|-------------|--------|--------------|------------|-------------------|------------|
| | | Monats- mittelwert C° | Delta K | Max. C° | Datum | Min. C° | Datum | mm | Delta % | h | Delta % |
| September | 1997 | 14.0 | 0.2 | 29.1 | 01.09. | 2.5 | 28.09. | 11 | 32 | 205 | 136 |
| September | 1998 | 14.0 | 0.2 | 23.9 | 09.09. | 4.6 | 15.09. | 46 | 127 | 96 | 63 |
| September | 1999 | 17.7 | 3.9 | 29.1 | 12.09. | 6.8 | 17.09. | 22 | 61 | 220 | 146 |
| September | 2000 | 14.2 | 0.4 | 25.8 | 12.09. | 2.9 | 23.09. | 39 | 108 | 131 | 87 |
| Mittelwert über 4 Jahre: | | 15 | 1.2 | 27 | | 4.2 | | 30 | 82 | 163 | 108 |
| Mittelwert 1961 bis 1990: | | 13.8 | | | | | | 36 | | 151 | |
| Oktober | 1997 | 8.1 | -1.4 | 23.7 | 07.10. | -6.7 | 28.10. | 33 | 113 | 122 | 113 |
| Oktober | 1998 | 8.6 | -0.9 | 18.2 | 17.10. | -0.6 | 19.10. | 96 | 332 | 72 | 66 |
| Oktober | 1999 | 9.7 | 0.2 | 18.6 | 02.10. | -3.3 | 19.10. | 13 | 45 | 121 | 112 |
| Oktober | 2000 | 11.6 | 2.1 | 23.5 | 01.10. | 5.2 | 18.10. | 28 | 97 | 106 | 98 |
| Mittelwert über 4 Jahre: | | 9.5 | 0.0 | 21 | | -1.4 | | 43 | 147 | 105 | 97 |
| Mittelwert 1961 bis 1990: | | 9.5 | | | | | | 29 | | 108 | |
| November | 1997 | 3.7 | -0.8 | 16.6 | 07.11. | -3.6 | 20.11. | 32 | 84 | 51 | 90 |
| November | 1998 | 1.6 | -2.9 | 11.3 | 09.11. | -8.8 | 22.11. | 40 | 104 | 58 | 103 |
| November | 1999 | 4.1 | -0.4 | 15.7 | 02.11. | -6.4 | 16.11. | 18 | 47 | 55 | 105 |
| November | 2000 | 6.4 | 1.9 | 13.4 | 07.11. | 0.3 | 25.11. | 24 | 63 | 86 | 154 |
| Mittelwert über 4 Jahre: | | 4.0 | -0.6 | 14.3 | | -4.6 | | 29 | 75 | 63 | 113 |
| Mittelwert 1961 bis 1990: | | 4.5 | | | | | | 38 | | 55 | |
| Dezember | 1997 | 2.1 | 0.9 | 11.5 | 26.12. | -12.4 | 17.12. | 70 | 170 | 37 | 90 |
| Dezember | 1998 | 1.2 | 0.0 | 11.8 | 28.12. | -11.4 | 09.12. | 21 | 104 | 80 | 195 |
| Dezember | 1999 | 3.0 | 1.8 | 11.9 | 12.12. | -4.2 | 22.12. | 53 | 129 | 45 | 110 |
| Dezember | 2000 | 3.2 | 2.0 | 14.5 | 12.12. | -10.8 | 23.12. | 38 | 93 | 76 | 185 |
| Mittelwert über 4 Jahre: | | 2.4 | 1.2 | 12.4 | | -9.7 | | 46 | 124 | 60 | 145 |
| Mittelwert 1961 bis 1990: | | 1.2 | | | | | | 36 | | 41 | |

**Fortsetzung Tabelle A.2-01

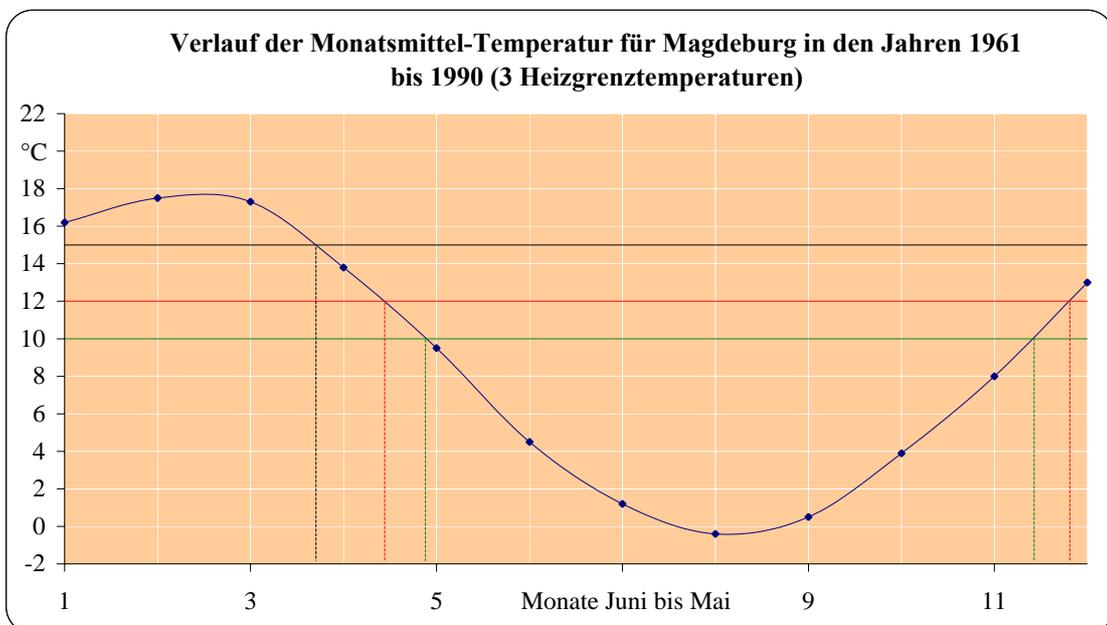


Abbildung A.2-01

**Quelle: Witterungsreport des Deutschen Wetterdienstes

bzw. Werte direkt vom Luftüberwachungssystem Sachsen-Anhalt - LÜSA, Monatsberichte

<http://www.mu.sachsen-anhalt.de/lau/luesa/PDFarchiv.html>

LÜSA wird im Auftrag des Ministeriums für Raumordnung, Landwirtschaft und Umwelt Sachsen-Anhalt (MRLU) vom Landesamt für Umweltschutz (LAU) betrieben.

Wetter-Messwerte für die Stadt Magdeburg**

| Monat | Tage | Lufttemperatur | | | | | | Niederschlag | | Sonnenscheindauer | |
|-----------|------|-----------------------------|------------|------------|------------|-------|--------|--------------|-----|-------------------|-----|
| | | Monats- mittelwert C° | Delta K | Max. C° | Datum | | mm | Delta % | h | Delta % | |
| | | | | | Min. C° | Datum | | | | | |
| Januar | 31 | 0.9 | 1.3 | 9.2 | 06.01. | -8.2 | 01.01. | 34 | 103 | 67 | 143 |
| Februar | 28 | 2.1 | 1.6 | 14.5 | 08.02. | -8.8 | 24.02. | 31 | 100 | 65 | 93 |
| März | 31 | 3.5 | -0.4 | 14.7 | 11.03. | -5.3 | 20.03. | 66 | 174 | 87 | 74 |
| April | 30 | 8.0 | 0.0 | 23.1 | 30.04. | -2.6 | 14.04. | 31 | 78 | 142 | 89 |
| Mai | 31 | 14.8 | 1.8 | 27.1 | 03.05. | 4.7 | 23.05. | 23 | 49 | 300 | 139 |
| Juni | 30 | 14.6 | -1.6 | 29.4 | 27.06. | 4.8 | 13.06. | 54 | 87 | 179 | 82 |
| Juli | 31 | 19.3 | 1.8 | 30.8 | 28.07. | 9.8 | 03.07. | 94 | 196 | 256 | 117 |
| August | 31 | 19.3 | 2.0 | 34.4 | 15.08. | 8.1 | 30.08. | 36 | 72 | 197 | 95 |
| September | 30 | 12.8 | -1.0 | 21.7 | 01.09. | 7.3 | 27.09. | 75 | 208 | 77 | 51 |
| Oktober | 31 | 12.5 | 3.1 | 25.3 | 13.10. | 5.0 | 21.10. | 32 | 110 | 112 | 104 |
| November | 30 | 4.8 | 0.3 | 12.2 | 02.11. | -3.7 | 10.11. | 27 | 71 | 52 | 93 |
| Dezember | 31 | 0.1 | -1.1 | 7.9 | 05.12. | -12.8 | 23.12. | 67 | 163 | 27 | 66 |
| Januar | 31 | 2.1 | 2.5 | 14.5 | 28.01. | -12.9 | 05.01. | 23 | 70 | 72 | 153 |
| Februar | 28 | 5.5 | 5.0 | 16.6 | 02.02. | -5.3 | 16.02. | 55 | 177 | 103 | 147 |
| März | 31 | 5.5 | 1.6 | 18.4 | 18.03. | -3.8 | 20.03. | 28 | 74 | 97 | 83 |
| April | 30 | 8.1 | 0.1 | 18.9 | 25.04. | -4.1 | 08.04. | 32 | 80 | 151 | 95 |
| Mai | 31 | 14.9 | 1.9 | 26.5 | 22.05. | 7.2 | 30.05. | 69 | 147 | 180 | 83 |
| Juni | 30 | 17.1 | 0.9 | 32.1 | 18.06. | 5.9 | 02.06. | 117 | 189 | 205 | 94 |
| Juli | 31 | 18.8 | 0.9 | 34.0 | 09.07. | 9.5 | 05.07. | 80 | 170 | 163 | 80 |
| August | 31 | 20.2 | 2.9 | 30.7 | 01.08. | 10.3 | 06.08. | 91 | 178 | 229 | 111 |
| September | 30 | | | | | | | | | | |
| Oktober | 31 | | | | | | | | | | |
| November | 30 | | | | | | | | | | |
| Dezember | 31 | | | | | | | | | | |

**Tabelle A.2-02

**Quelle: Witterungsreport des Deutschen Wetterdienstes

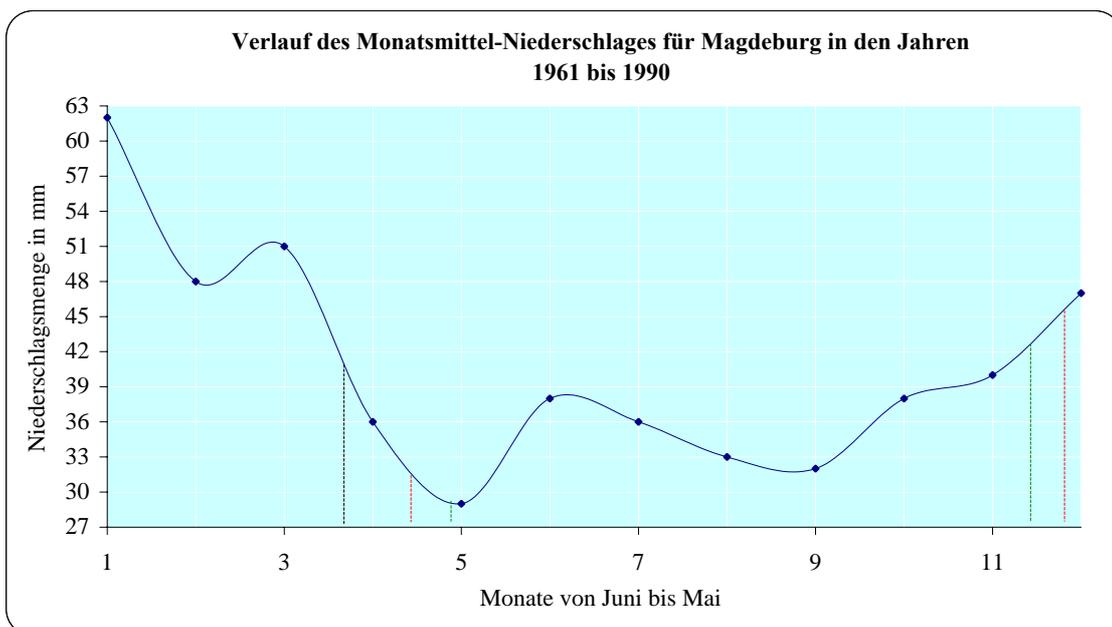
bzw. LÜSA, <http://www.mu.sachsen-anhalt.de/la/luesa/monatsbe/MB-startframe.htm>

Abbildung A.2-02

A.2.1 Berechnung von Gradtagzahlen bei vorgegebenen Heizgrenzen und Innenraumlufttemperaturen für den Standort Magdeburg

| 1 | Tage d | Monatsdurchschnitts-(Mittel) Temperaturen Magdeburg [°C] | | |
|-----------------|------------|---|------------|------------|
| | | LÜSA | | ESRA |
| | | 2001 | 1961-1990 | 1981-1990 |
| | 2 | 3 | 4 | 5 |
| Januar | 31 | 0.9 | -0.4 | 0.6 |
| Februar | 28 | 2.1 | 0.5 | 0.45 |
| März | 31 | 3.5 | 3.9 | 4.85 |
| April | 30 | 8 | 8.0 | 8.4 |
| Mai | 31 | 14.8 | 13.0 | 13.8 |
| Juni | 30 | 14.6 | 16.2 | 15.75 |
| Juli | 31 | 19.3 | 17.5 | 18.1 |
| August | 31 | 19.3 | 17.3 | 18 |
| September | 30 | 12.8 | 13.8 | 14.55 |
| Oktober | 31 | 12.5 | 9.5 | 10.5 |
| November | 30 | 4.8 | 4.5 | 4.9 |
| Dezember | 31 | 0.1 | 1.2 | 1.85 |
| Σ bzw. Ø | 365 | 9.4 | 8.8 | 9.4 |

Tabelle A.2-03

Mitteltemperaturen (Außenluft) in Abhängigkeit von Heizgrenztemperatur und Wärmedämmgebiet

| t_{HG} °C | $t_{e, m, HP}$ WDG 1 | WDG 2 |
|----------------|-------------------------|-------|
| 12.0 | 4.0 | 3.5 |
| 14.0 | 5.0 | 4.5 |

Tabelle A.2-04^{*}

Mittelwert der Außenlufttemperatur der Heizperiode

| Standort | $t_{e, m, HP}$ °C | t_{HP} d/a |
|--------------|----------------------|-----------------|
| Magdeburg | 4.3 | 221 |
| Braunschweig | 5.2 | 255 |

Tabelle A.2-05^{**}

Die Spalten 3 (grün-gestrichelt) und 5 der Tab. A.2-03 dienen nur zum Vergleich. Verwendet werden die Lüsa-Werte der Jahre 1961-1990. Sie ergeben eine Treppenkurve (rot), über die eine Trendlinie (blau) mit der folgenden Funktionsgleichung gelegt ist

Trendfunktion (dazu gehörige Wertetabelle A.2-07)

$$y = -6E-14 x^6 + 1E-10 x^5 - 4E-08 x^4 + 5.01E-07 x^3 + 0.0014988 x^2 - 0.0523 x - 0.0753 \quad \text{Gl. A.2-1}$$

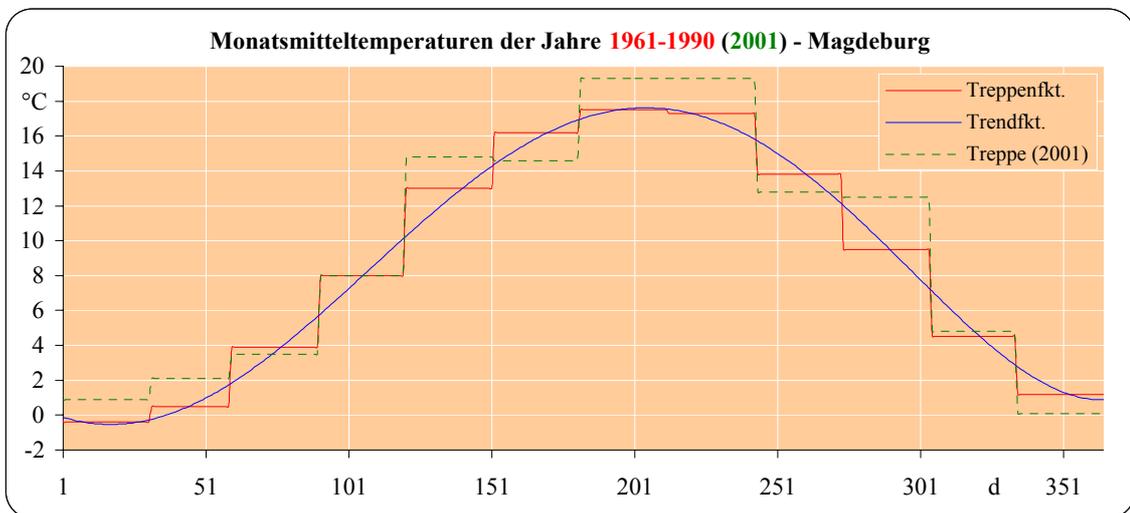


Abbildung A.2-03

Mittlere jährliche Heiztage und Heizgradtagzahlen für den Standort Magdeburg

| Innenraumlufttemp. / Heizgrenztemperatur | 19 10 | 20 10 | 19 12 | 20 12 | 19 15 | 20 15 | 19 19 | 20 14 | 18 12 | 22 13 |
|---|-------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Gradtagzahl [Kd/a] | 3057 | 3254 | 3272 | 3496 | 3529 | 3800 | 3743 | 3706 | 3048 | 4078 |
| Gradtagzahl [kKh/a] | 73.4 | 78.1 | 78.5 | 83.9 | 84.7 | 91.2 | 89.8 | 88.9 | 73.2 | 97.9 |
| Heiztage [d] | 197 | 197 | 224 | 224 | 271 | 271 | 365 | 254 | 224 | 238 |

Tabelle A.2-06

Wertetabelle: Gradtage speziell für Magdeburg (gehört zur Abb. A.2-03)Eingabebeispiel:

| | |
|----------------------------|---------|
| Innenraumlufthtemperatur = | 20.0 °C |
| Heizgrenztemperatur = | 15.0 °C |

Ergebnis:

| | |
|--------------|------------|
| Gradtagszahl | 91.2 kWh/a |
| | 3800 Kd/a |

(Heiz-)Tage (Trendlinie-blau)

Näherungsweise galt/gilt für Deutschland:

für mittl. Raumtemp.: 20 bzw. 19 °C u. Heizgrenztemp.: 15 bzw. 10 °C
 WSchV 1995, 3500 Kd/a bzw. 84 kWh/a (HP ca. 9 Mon. bzw. 273 d)
 EnEV 2002, 2900 Kd/a bzw. 69.6 kWh/a (HP ca. 6 Mon. bzw. 185 d)

| |
|---------------------------|
| 197 Tage pro Jahr < 10 °C |
| 224 Tage pro Jahr < 12 °C |
| 271 Tage pro Jahr < 15 °C |
| 358 Tage pro Jahr < 19 °C |

| Tage d | ϑ_e Treppe °C | ϑ_e Trend °C | Gradtage Kh/d | | Tage d | ϑ_e Treppe °C | ϑ_e Trend °C | Gradtage Kh/d | | |
|-----------|-------------------------------|------------------------------|------------------|-------|-----------|-------------------------------|------------------------------|------------------|-----|--------------|
| | | | 4 | 5 | | | | 9 | 10 | |
| 0 | 0.4 | -0.08 | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 1 | -0.4 | -0.13 | 483.0 | 483.0 | 182 | 17.5 | 16.97 | 72.6 | 0.0 | Januar/ Juli |
| 2 | -0.4 | -0.17 | 484.2 | 484.2 | 183 | 17.5 | 17.03 | 71.3 | 0.0 | |
| 3 | -0.4 | -0.22 | 485.2 | 485.2 | 184 | 17.5 | 17.08 | 70.1 | 0.0 | |
| 4 | -0.4 | -0.26 | 486.3 | 486.3 | 185 | 17.5 | 17.13 | 68.9 | 0.0 | |
| 5 | -0.4 | -0.30 | 487.2 | 487.2 | 186 | 17.5 | 17.18 | 67.8 | 0.0 | |
| 6 | -0.4 | -0.34 | 488.0 | 488.0 | 187 | 17.5 | 17.22 | 66.7 | 0.0 | |
| 7 | -0.4 | -0.37 | 488.8 | 488.8 | 188 | 17.5 | 17.26 | 65.7 | 0.0 | |
| 8 | -0.4 | -0.40 | 489.5 | 489.5 | 189 | 17.5 | 17.30 | 64.7 | 0.0 | |
| 9 | -0.4 | -0.42 | 490.2 | 490.2 | 190 | 17.5 | 17.34 | 63.8 | 0.0 | |
| 10 | -0.4 | -0.45 | 490.8 | 490.8 | 191 | 17.5 | 17.38 | 63.0 | 0.0 | |
| 11 | -0.4 | -0.47 | 491.3 | 491.3 | 192 | 17.5 | 17.41 | 62.2 | 0.0 | |
| 12 | -0.4 | -0.49 | 491.7 | 491.7 | 193 | 17.5 | 17.44 | 61.5 | 0.0 | |
| 13 | -0.4 | -0.50 | 492.0 | 492.0 | 194 | 17.5 | 17.47 | 60.8 | 0.0 | |
| 14 | -0.4 | -0.51 | 492.3 | 492.3 | 195 | 17.5 | 17.49 | 60.2 | 0.0 | |
| 15 | -0.4 | -0.52 | 492.5 | 492.5 | 196 | 17.5 | 17.52 | 59.6 | 0.0 | |
| 16 | -0.4 | -0.53 | 492.7 | 492.7 | 197 | 17.5 | 17.54 | 59.1 | 0.0 | |
| 17 | -0.4 | -0.53 | 492.8 | 492.8 | 198 | 17.5 | 17.56 | 58.7 | 0.0 | |
| 18 | -0.4 | -0.53 | 492.8 | 492.8 | 199 | 17.5 | 17.57 | 58.3 | 0.0 | |
| 19 | -0.4 | -0.53 | 492.7 | 492.7 | 200 | 17.5 | 17.58 | 58.0 | 0.0 | |
| 20 | -0.4 | -0.52 | 492.6 | 492.6 | 201 | 17.5 | 17.60 | 57.7 | 0.0 | |
| 21 | -0.4 | -0.52 | 492.4 | 492.4 | 202 | 17.5 | 17.60 | 57.5 | 0.0 | |
| 22 | -0.4 | -0.50 | 492.1 | 492.1 | 203 | 17.5 | 17.61 | 57.4 | 0.0 | |
| 23 | -0.4 | -0.49 | 491.8 | 491.8 | 204 | 17.5 | 17.61 | 57.3 | 0.0 | |
| 24 | -0.4 | -0.47 | 491.3 | 491.3 | 205 | 17.5 | 17.61 | 57.3 | 0.0 | |
| 25 | -0.4 | -0.45 | 490.9 | 490.9 | 206 | 17.5 | 17.61 | 57.3 | 0.0 | |
| 26 | -0.4 | -0.43 | 490.3 | 490.3 | 207 | 17.5 | 17.61 | 57.4 | 0.0 | |
| 27 | -0.4 | -0.40 | 489.7 | 489.7 | 208 | 17.5 | 17.60 | 57.6 | 0.0 | |
| 28 | -0.4 | -0.38 | 489.0 | 489.0 | 209 | 17.5 | 17.59 | 57.8 | 0.0 | |
| 29 | -0.4 | -0.35 | 488.3 | 488.3 | 210 | 17.5 | 17.58 | 58.1 | 0.0 | |
| 30 | -0.4 | -0.31 | 487.5 | 487.5 | 211 | 17.5 | 17.57 | 58.4 | 0.0 | |
| 31 | -0.4 | -0.28 | 486.6 | 486.6 | 212 | 17.5 | 17.55 | 58.8 | 0.0 | |
| 32 | 0.5 | -0.24 | 485.7 | 485.7 | 213 | 17.3 | 17.53 | 59.3 | 0.0 | |
| 33 | 0.5 | -0.19 | 484.7 | 484.7 | 214 | 17.3 | 17.51 | 59.8 | 0.0 | |
| 34 | 0.5 | -0.15 | 483.6 | 483.6 | 215 | 17.3 | 17.49 | 60.4 | 0.0 | |
| 35 | 0.5 | -0.10 | 482.5 | 482.5 | 216 | 17.3 | 17.46 | 61.0 | 0.0 | |
| 36 | 0.5 | -0.05 | 481.3 | 481.3 | 217 | 17.3 | 17.43 | 61.7 | 0.0 | |
| 37 | 0.5 | 0.00 | 480.0 | 480.0 | 218 | 17.3 | 17.40 | 62.5 | 0.0 | |
| 38 | 0.5 | 0.05 | 478.7 | 478.7 | 219 | 17.3 | 17.36 | 63.3 | 0.0 | |

| | | | | | | | | | | |
|----|-----|------|-------|-------|-----|------|-------|-------|-------|----------------|
| 39 | 0.5 | 0.11 | 477.3 | 477.3 | 220 | 17.3 | 17.33 | 64.2 | 0.0 | Februar/August |
| 40 | 0.5 | 0.17 | 475.9 | 475.9 | 221 | 17.3 | 17.29 | 65.1 | 0.0 | |
| 41 | 0.5 | 0.23 | 474.4 | 474.4 | 222 | 17.3 | 17.25 | 66.1 | 0.0 | |
| 42 | 0.5 | 0.30 | 472.9 | 472.9 | 223 | 17.3 | 17.20 | 67.2 | 0.0 | |
| 43 | 0.5 | 0.36 | 471.3 | 471.3 | 224 | 17.3 | 17.15 | 68.3 | 0.0 | |
| 44 | 0.5 | 0.43 | 469.6 | 469.6 | 225 | 17.3 | 17.11 | 69.5 | 0.0 | |
| 45 | 0.5 | 0.51 | 467.9 | 467.9 | 226 | 17.3 | 17.05 | 70.7 | 0.0 | |
| 46 | 0.5 | 0.58 | 466.1 | 466.1 | 227 | 17.3 | 17.00 | 72.0 | 0.0 | |
| 47 | 0.5 | 0.66 | 464.2 | 464.2 | 228 | 17.3 | 16.94 | 73.4 | 0.0 | |
| 48 | 0.5 | 0.74 | 462.4 | 462.4 | 229 | 17.3 | 16.88 | 74.8 | 0.0 | |
| 49 | 0.5 | 0.82 | 460.4 | 460.4 | 230 | 17.3 | 16.82 | 76.3 | 0.0 | |
| 50 | 0.5 | 0.90 | 458.4 | 458.4 | 231 | 17.3 | 16.76 | 77.8 | 0.0 | |
| 51 | 0.5 | 0.99 | 456.4 | 456.4 | 232 | 17.3 | 16.69 | 79.4 | 0.0 | |
| 52 | 0.5 | 1.07 | 454.3 | 454.3 | 233 | 17.3 | 16.62 | 81.0 | 0.0 | |
| 53 | 0.5 | 1.16 | 452.1 | 452.1 | 234 | 17.3 | 16.55 | 82.7 | 0.0 | |
| 54 | 0.5 | 1.25 | 449.9 | 449.9 | 235 | 17.3 | 16.48 | 84.5 | 0.0 | |
| 55 | 0.5 | 1.35 | 447.6 | 447.6 | 236 | 17.3 | 16.40 | 86.3 | 0.0 | |
| 56 | 0.5 | 1.44 | 445.3 | 445.3 | 237 | 17.3 | 16.33 | 88.2 | 0.0 | |
| 57 | 0.5 | 1.54 | 443.0 | 443.0 | 238 | 17.3 | 16.25 | 90.1 | 0.0 | |
| 58 | 0.5 | 1.64 | 440.6 | 440.6 | 239 | 17.3 | 16.16 | 92.1 | 0.0 | |
| 59 | 0.5 | 1.74 | 438.2 | 438.2 | 240 | 17.3 | 16.08 | 94.1 | 0.0 | |
| 60 | 3.9 | 1.85 | 435.7 | 435.7 | 241 | 17.3 | 15.99 | 96.2 | 0.0 | |
| 61 | 3.9 | 1.95 | 433.1 | 433.1 | 242 | 17.3 | 15.90 | 98.3 | 0.0 | |
| 62 | 3.9 | 2.06 | 430.6 | 430.6 | 243 | 17.3 | 15.81 | 100.5 | 0.0 | |
| 63 | 3.9 | 2.17 | 427.9 | 427.9 | 244 | 13.8 | 15.72 | 102.8 | 0.0 | |
| 64 | 3.9 | 2.28 | 425.3 | 425.3 | 245 | 13.8 | 15.62 | 105.1 | 0.0 | |
| 65 | 3.9 | 2.39 | 422.6 | 422.6 | 246 | 13.8 | 15.52 | 107.4 | 0.0 | |
| 66 | 3.9 | 2.51 | 419.8 | 419.8 | 247 | 13.8 | 15.42 | 109.8 | 0.0 | |
| 67 | 3.9 | 2.62 | 417.0 | 417.0 | 248 | 13.8 | 15.32 | 112.3 | 0.0 | |
| 68 | 3.9 | 2.74 | 414.2 | 414.2 | 249 | 13.8 | 15.22 | 114.8 | 0.0 | |
| 69 | 3.9 | 2.86 | 411.4 | 411.4 | 250 | 13.8 | 15.11 | 117.3 | 0.0 | |
| 70 | 3.9 | 2.98 | 408.5 | 408.5 | 251 | 13.8 | 15.00 | 119.9 | 0.0 | |
| 71 | 3.9 | 3.10 | 405.5 | 405.5 | 252 | 13.8 | 14.89 | 122.6 | 122.6 | |
| 72 | 3.9 | 3.23 | 402.6 | 402.6 | 253 | 13.8 | 14.78 | 125.3 | 125.3 | |
| 73 | 3.9 | 3.35 | 399.6 | 399.6 | 254 | 13.8 | 14.67 | 128.0 | 128.0 | |
| 74 | 3.9 | 3.48 | 396.5 | 396.5 | 255 | 13.8 | 14.55 | 130.8 | 130.8 | |
| 75 | 3.9 | 3.61 | 393.5 | 393.5 | 256 | 13.8 | 14.43 | 133.7 | 133.7 | |
| 76 | 3.9 | 3.73 | 390.4 | 390.4 | 257 | 13.8 | 14.31 | 136.5 | 136.5 | |
| 77 | 3.9 | 3.86 | 387.2 | 387.2 | 258 | 13.8 | 14.19 | 139.5 | 139.5 | |
| 78 | 3.9 | 4.00 | 384.1 | 384.1 | 259 | 13.8 | 14.07 | 142.4 | 142.4 | |
| 79 | 3.9 | 4.13 | 380.9 | 380.9 | 260 | 13.8 | 13.94 | 145.5 | 145.5 | |
| 80 | 3.9 | 4.26 | 377.7 | 377.7 | 261 | 13.8 | 13.81 | 148.5 | 148.5 | |
| 81 | 3.9 | 4.40 | 374.4 | 374.4 | 262 | 13.8 | 13.68 | 151.6 | 151.6 | |
| 82 | 3.9 | 4.53 | 371.2 | 371.2 | 263 | 13.8 | 13.55 | 154.7 | 154.7 | |
| 83 | 3.9 | 4.67 | 367.9 | 367.9 | 264 | 13.8 | 13.42 | 157.9 | 157.9 | |
| 84 | 3.9 | 4.81 | 364.6 | 364.6 | 265 | 13.8 | 13.29 | 161.1 | 161.1 | |
| 85 | 3.9 | 4.95 | 361.2 | 361.2 | 266 | 13.8 | 13.15 | 164.4 | 164.4 | |
| 86 | 3.9 | 5.09 | 357.9 | 357.9 | 267 | 13.8 | 13.01 | 167.7 | 167.7 | |
| 87 | 3.9 | 5.23 | 354.5 | 354.5 | 268 | 13.8 | 12.88 | 171.0 | 171.0 | |
| 88 | 3.9 | 5.37 | 351.1 | 351.1 | 269 | 13.8 | 12.74 | 174.3 | 174.3 | |
| 89 | 3.9 | 5.51 | 347.7 | 347.7 | 270 | 13.8 | 12.59 | 177.7 | 177.7 | |
| 90 | 3.9 | 5.66 | 344.2 | 344.2 | 271 | 13.8 | 12.45 | 181.1 | 181.1 | |
| 91 | 8.0 | 5.80 | 340.8 | 340.8 | 272 | 13.8 | 12.31 | 184.6 | 184.6 | |
| 92 | 8.0 | 5.95 | 337.3 | 337.3 | 273 | 13.8 | 12.16 | 188.1 | 188.1 | |
| 93 | 8.0 | 6.09 | 333.8 | 333.8 | 274 | 9.5 | 12.02 | 191.6 | 191.6 | |
| 94 | 8.0 | 6.24 | 330.3 | 330.3 | 275 | 9.5 | 11.87 | 195.2 | 195.2 | |

| | | | | | | | | | | |
|-----|------|-------|-------|-------|-----|-----|-------|-------|-------|---------------|
| 95 | 8.0 | 6.38 | 326.8 | 326.8 | 276 | 9.5 | 11.72 | 198.7 | 198.7 | April/Oktober |
| 96 | 8.0 | 6.53 | 323.3 | 323.3 | 277 | 9.5 | 11.57 | 202.3 | 202.3 | |
| 97 | 8.0 | 6.68 | 319.7 | 319.7 | 278 | 9.5 | 11.42 | 206.0 | 206.0 | |
| 98 | 8.0 | 6.83 | 316.2 | 316.2 | 279 | 9.5 | 11.27 | 209.6 | 209.6 | |
| 99 | 8.0 | 6.97 | 312.6 | 312.6 | 280 | 9.5 | 11.11 | 213.3 | 213.3 | |
| 100 | 8.0 | 7.12 | 309.0 | 309.0 | 281 | 9.5 | 10.96 | 217.0 | 217.0 | |
| 101 | 8.0 | 7.27 | 305.5 | 305.5 | 282 | 9.5 | 10.80 | 220.7 | 220.7 | |
| 102 | 8.0 | 7.42 | 301.9 | 301.9 | 283 | 9.5 | 10.65 | 224.5 | 224.5 | |
| 103 | 8.0 | 7.57 | 298.3 | 298.3 | 284 | 9.5 | 10.49 | 228.2 | 228.2 | |
| 104 | 8.0 | 7.72 | 294.7 | 294.7 | 285 | 9.5 | 10.33 | 232.0 | 232.0 | |
| 105 | 8.0 | 7.87 | 291.1 | 291.1 | 286 | 9.5 | 10.17 | 235.8 | 235.8 | |
| 106 | 8.0 | 8.02 | 287.5 | 287.5 | 287 | 9.5 | 10.02 | 239.6 | 239.6 | |
| 107 | 8.0 | 8.17 | 283.9 | 283.9 | 288 | 9.5 | 9.86 | 243.5 | 243.5 | |
| 108 | 8.0 | 8.32 | 280.3 | 280.3 | 289 | 9.5 | 9.70 | 247.3 | 247.3 | |
| 109 | 8.0 | 8.47 | 276.7 | 276.7 | 290 | 9.5 | 9.54 | 251.2 | 251.2 | |
| 110 | 8.0 | 8.62 | 273.1 | 273.1 | 291 | 9.5 | 9.37 | 255.0 | 255.0 | |
| 111 | 8.0 | 8.77 | 269.5 | 269.5 | 292 | 9.5 | 9.21 | 258.9 | 258.9 | |
| 112 | 8.0 | 8.92 | 265.9 | 265.9 | 293 | 9.5 | 9.05 | 262.8 | 262.8 | |
| 113 | 8.0 | 9.07 | 262.3 | 262.3 | 294 | 9.5 | 8.89 | 266.7 | 266.7 | |
| 114 | 8.0 | 9.22 | 258.7 | 258.7 | 295 | 9.5 | 8.73 | 270.6 | 270.6 | |
| 115 | 8.0 | 9.37 | 255.1 | 255.1 | 296 | 9.5 | 8.56 | 274.5 | 274.5 | |
| 116 | 8.0 | 9.52 | 251.5 | 251.5 | 297 | 9.5 | 8.40 | 278.4 | 278.4 | |
| 117 | 8.0 | 9.67 | 248.0 | 248.0 | 298 | 9.5 | 8.24 | 282.3 | 282.3 | |
| 118 | 8.0 | 9.82 | 244.4 | 244.4 | 299 | 9.5 | 8.08 | 286.2 | 286.2 | |
| 119 | 8.0 | 9.96 | 240.9 | 240.9 | 300 | 9.5 | 7.91 | 290.1 | 290.1 | |
| 120 | 8.0 | 10.11 | 237.3 | 237.3 | 301 | 9.5 | 7.75 | 294.0 | 294.0 | |
| 121 | 13.0 | 10.26 | 233.8 | 233.8 | 302 | 9.5 | 7.59 | 297.9 | 297.9 | |
| 122 | 13.0 | 10.41 | 230.3 | 230.3 | 303 | 9.5 | 7.43 | 301.8 | 301.8 | |
| 123 | 13.0 | 10.55 | 226.8 | 226.8 | 304 | 9.5 | 7.27 | 305.6 | 305.6 | |
| 124 | 13.0 | 10.70 | 223.3 | 223.3 | 305 | 4.5 | 7.10 | 309.5 | 309.5 | |
| 125 | 13.0 | 10.84 | 219.8 | 219.8 | 306 | 4.5 | 6.94 | 313.4 | 313.4 | |
| 126 | 13.0 | 10.99 | 216.3 | 216.3 | 307 | 4.5 | 6.78 | 317.2 | 317.2 | |
| 127 | 13.0 | 11.13 | 212.9 | 212.9 | 308 | 4.5 | 6.62 | 321.1 | 321.1 | |
| 128 | 13.0 | 11.27 | 209.5 | 209.5 | 309 | 4.5 | 6.46 | 324.9 | 324.9 | |
| 129 | 13.0 | 11.41 | 206.1 | 206.1 | 310 | 4.5 | 6.30 | 328.7 | 328.7 | |
| 130 | 13.0 | 11.56 | 202.7 | 202.7 | 311 | 4.5 | 6.15 | 332.5 | 332.5 | |
| 131 | 13.0 | 11.70 | 199.3 | 199.3 | 312 | 4.5 | 5.99 | 336.2 | 336.2 | |
| 132 | 13.0 | 11.83 | 196.0 | 196.0 | 313 | 4.5 | 5.83 | 340.0 | 340.0 | |
| 133 | 13.0 | 11.97 | 192.6 | 192.6 | 314 | 4.5 | 5.68 | 343.7 | 343.7 | |
| 134 | 13.0 | 12.11 | 189.3 | 189.3 | 315 | 4.5 | 5.52 | 347.4 | 347.4 | |
| 135 | 13.0 | 12.25 | 186.1 | 186.1 | 316 | 4.5 | 5.37 | 351.1 | 351.1 | |
| 136 | 13.0 | 12.38 | 182.8 | 182.8 | 317 | 4.5 | 5.22 | 354.7 | 354.7 | |
| 137 | 13.0 | 12.52 | 179.6 | 179.6 | 318 | 4.5 | 5.07 | 358.3 | 358.3 | |
| 138 | 13.0 | 12.65 | 176.4 | 176.4 | 319 | 4.5 | 4.92 | 361.9 | 361.9 | |
| 139 | 13.0 | 12.78 | 173.2 | 173.2 | 320 | 4.5 | 4.77 | 365.5 | 365.5 | |
| 140 | 13.0 | 12.91 | 170.1 | 170.1 | 321 | 4.5 | 4.63 | 369.0 | 369.0 | |
| 141 | 13.0 | 13.04 | 166.9 | 166.9 | 322 | 4.5 | 4.48 | 372.5 | 372.5 | |
| 142 | 13.0 | 13.17 | 163.9 | 163.9 | 323 | 4.5 | 4.34 | 375.9 | 375.9 | |
| 143 | 13.0 | 13.30 | 160.8 | 160.8 | 324 | 4.5 | 4.20 | 379.3 | 379.3 | |
| 144 | 13.0 | 13.43 | 157.8 | 157.8 | 325 | 4.5 | 4.06 | 382.6 | 382.6 | |
| 145 | 13.0 | 13.55 | 154.8 | 154.8 | 326 | 4.5 | 3.92 | 386.0 | 386.0 | |
| 146 | 13.0 | 13.67 | 151.8 | 151.8 | 327 | 4.5 | 3.78 | 389.2 | 389.2 | |
| 147 | 13.0 | 13.80 | 148.9 | 148.9 | 328 | 4.5 | 3.65 | 392.4 | 392.4 | |
| 148 | 13.0 | 13.92 | 146.0 | 146.0 | 329 | 4.5 | 3.52 | 395.6 | 395.6 | |
| 149 | 13.0 | 14.04 | 143.1 | 143.1 | 330 | 4.5 | 3.39 | 398.7 | 398.7 | |
| 150 | 13.0 | 14.15 | 140.3 | 140.3 | 331 | 4.5 | 3.26 | 401.8 | 401.8 | |

Mai/November

| | | | | | | | | | | |
|-----|------|-------|-------|-------|-----|-----|------|-------|-------|---------------|
| 151 | 13.0 | 14.27 | 137.5 | 137.5 | 332 | 4.5 | 3.13 | 404.8 | 404.8 | Juni/Dezember |
| 152 | 16.2 | 14.38 | 134.8 | 134.8 | 333 | 4.5 | 3.01 | 407.7 | 407.7 | |
| 153 | 16.2 | 14.50 | 132.1 | 132.1 | 334 | 4.5 | 2.89 | 410.6 | 410.6 | |
| 154 | 16.2 | 14.61 | 129.4 | 129.4 | 335 | 1.2 | 2.77 | 413.4 | 413.4 | |
| 155 | 16.2 | 14.72 | 126.7 | 126.7 | 336 | 1.2 | 2.66 | 416.2 | 416.2 | |
| 156 | 16.2 | 14.83 | 124.1 | 124.1 | 337 | 1.2 | 2.55 | 418.9 | 418.9 | |
| 157 | 16.2 | 14.93 | 121.6 | 121.6 | 338 | 1.2 | 2.44 | 421.5 | 421.5 | |
| 158 | 16.2 | 15.04 | 119.1 | 0.0 | 339 | 1.2 | 2.33 | 424.1 | 424.1 | |
| 159 | 16.2 | 15.14 | 116.6 | 0.0 | 340 | 1.2 | 2.23 | 426.6 | 426.6 | |
| 160 | 16.2 | 15.24 | 114.2 | 0.0 | 341 | 1.2 | 2.13 | 429.0 | 429.0 | |
| 161 | 16.2 | 15.34 | 111.8 | 0.0 | 342 | 1.2 | 2.03 | 431.3 | 431.3 | |
| 162 | 16.2 | 15.44 | 109.4 | 0.0 | 343 | 1.2 | 1.94 | 433.6 | 433.6 | |
| 163 | 16.2 | 15.54 | 107.1 | 0.0 | 344 | 1.2 | 1.84 | 435.7 | 435.7 | |
| 164 | 16.2 | 15.63 | 104.9 | 0.0 | 345 | 1.2 | 1.76 | 437.8 | 437.8 | |
| 165 | 16.2 | 15.72 | 102.7 | 0.0 | 346 | 1.2 | 1.67 | 439.8 | 439.8 | |
| 166 | 16.2 | 15.81 | 100.5 | 0.0 | 347 | 1.2 | 1.59 | 441.8 | 441.8 | |
| 167 | 16.2 | 15.90 | 98.4 | 0.0 | 348 | 1.2 | 1.52 | 443.6 | 443.6 | |
| 168 | 16.2 | 15.99 | 96.3 | 0.0 | 349 | 1.2 | 1.44 | 445.3 | 445.3 | |
| 169 | 16.2 | 16.07 | 94.3 | 0.0 | 350 | 1.2 | 1.38 | 447.0 | 447.0 | |
| 170 | 16.2 | 16.15 | 92.3 | 0.0 | 351 | 1.2 | 1.31 | 448.5 | 448.5 | |
| 171 | 16.2 | 16.23 | 90.4 | 0.0 | 352 | 1.2 | 1.25 | 450.0 | 450.0 | |
| 172 | 16.2 | 16.31 | 88.5 | 0.0 | 353 | 1.2 | 1.19 | 451.3 | 451.3 | |
| 173 | 16.2 | 16.39 | 86.7 | 0.0 | 354 | 1.2 | 1.14 | 452.6 | 452.6 | |
| 174 | 16.2 | 16.46 | 85.0 | 0.0 | 355 | 1.2 | 1.09 | 453.7 | 453.7 | |
| 175 | 16.2 | 16.53 | 83.2 | 0.0 | 356 | 1.2 | 1.05 | 454.8 | 454.8 | |
| 176 | 16.2 | 16.60 | 81.6 | 0.0 | 357 | 1.2 | 1.01 | 455.7 | 455.7 | |
| 177 | 16.2 | 16.67 | 79.9 | 0.0 | 358 | 1.2 | 0.98 | 456.5 | 456.5 | |
| 178 | 16.2 | 16.73 | 78.4 | 0.0 | 359 | 1.2 | 0.95 | 457.2 | 457.2 | |
| 179 | 16.2 | 16.80 | 76.9 | 0.0 | 360 | 1.2 | 0.92 | 457.8 | 457.8 | |
| 180 | 16.2 | 16.86 | 75.4 | 0.0 | 361 | 1.2 | 0.90 | 458.3 | 458.3 | |
| 181 | 16.2 | 16.92 | 74.0 | 0.0 | 362 | 1.2 | 0.89 | 458.6 | 458.6 | |
| 182 | 17.5 | 16.97 | 72.6 | 0.0 | 363 | 1.2 | 0.88 | 458.9 | 458.9 | |
| 183 | 17.5 | 17.03 | 71.3 | 0.0 | 364 | 1.2 | 0.88 | 459.0 | 459.0 | |
| 184 | 17.5 | 17.08 | 70.1 | 0.0 | 365 | 1.2 | 0.88 | 458.9 | 458.9 | |

Tabelle A.2-07

Quellen:

(* vgl. Eichler/Arndt: Bautechnischer Wärme- und Feuchtigkeitsschutz, 1989, S. 221, Tabelle 11.-13.

(** vgl. ebenda, Tabelle 11.-14.

weitere Quellen für Heiz- und Gradtage:

- DIN V 4108-6:2000-11, S. 50 f.

- VDI 2067 Blatt 2 1993, S. 22 ff.

- Recknagel/Sprenger/Schramek:

Taschenbuch für Heizung und Klimatechnik 2000, 1999, S. 13 (inkl. Grundlagen + Rechnungen)

Hinweis:

Die Werte der Tab. A.2-06 stimmen mit denen der VDI 2067 Blatt 2 nicht exakt überein, da die Sommerheizzeit nicht mit eingerechnet ist (nur extrapolierte Monatsmittelwerte der Temperaturen).

Monatlicher Wärmeverbrauchsanteil [Kd]

vgl. VDI 2067 Blatt 1, Dezember 1983, S. 34, Tabelle 17 bzw. S. 37, Tabelle 22

| | Heizgrenze | 20/15 °C |
|--------------|--------------------|----------------|
| Januar | 632.8 | 16.7 % |
| Februar | 542.7 | 14.3 % |
| März | 506.6 | 13.3 % |
| April | 361.5 | 9.5 % |
| Mai | 237.4 | 6.2 % |
| Juni | 32.0 | 0.8 % |
| Juli | 0.0 | 0.0 % |
| August | 0.0 | 0.0 % |
| September | 141.1 | 3.7 % |
| Oktober | 320.0 | 8.4 % |
| November | 453.0 | 11.9 % |
| Dezember | 572.4 | 15.1 % |
| Summe | 3799.6 Kd/a | 100.0 % |

Tabelle A.2-08

A.2.2 Der Europäische Solarstrahlungs-Atlas (ESRA)

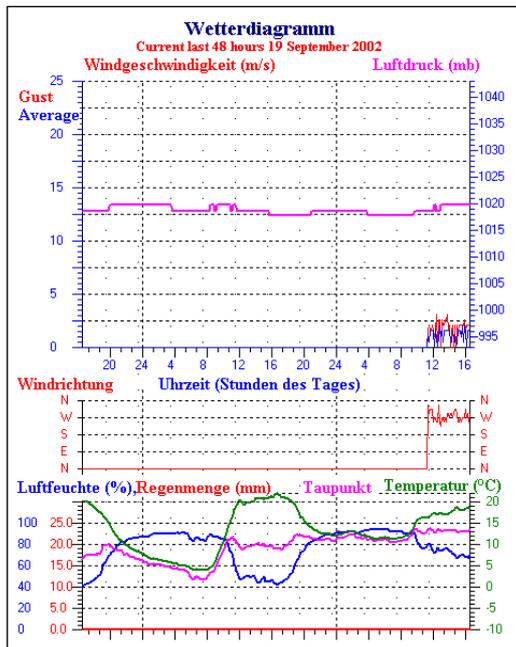


Abbildung A.2-04 Klimawerte für Lenzkirch¹

durchschnittswerten, auch über 5 Jahre gemittelte Stundensummen der solaren Globalstrahlung. 1986 wurde vom Bundesministerium für Forschung und Technologie die Entwicklung von Testreferenzjahren (TRY) für die Klimaregionen der BRD⁵ unterstützt. An diesen Referenzregionen orientieren sich aktuelle Normen. Nach DIN V 4108-6 fällt Magdeburg in die Region 5 (Referenzort Braunschweig)⁶. Neben Monatsmitteltemperaturen sind auch durchschnittliche monatliche Strahlungsintensitäten⁷ für unterschiedliche (Bauteil-) Orientierungen und -Neigungen zu finden. Für dynamische Simulationen bzw. die Planung von Sonnenhäusern (Solararchitektur) sind diese Werte ungeeignet. Die Stundenwerte der VDI 2078 haben ebenfalls einen eingeschränkten Gebrauchswert, da sie über Trübungs-faktoren und reine Atmosphäre statistisch hochgerechnet sind (Clear Sky). Das derzeit verwendete mathematische Trübungsmodell kann aber (noch) keine Messwerte ersetzen. Somit verbleibt nur die DIN 4710 und der Referenzort Braunschweig, um für Magdeburg entsprechendes Datenmaterial zur Verfügung zu haben. Die dort angegebenen Stundenwerte beziehen sich ausschließlich auf die Horizontale. Berechnungen bzw. Umrechnungen sind möglich, setzen aber mathematisch-meteorologisches Grundlagenwissen voraus⁸.

Die Firma Testo² veröffentlicht ständig auf ihrer Homepage aktualisierte Klimawerte ihres Firmensitzes. Für HLK- und Gebäudeplaner gibt es Quellen, die aufbereitetes meteorologisches Datenmaterial enthalten. In der DIN 4710³ sind neben den in der Abbildung A.2-04 dargestellten Werten, diverse Häufigkeitsverteilungen und Rechenwerte für Sonnen- und Himmelsstrahlung zu finden. Diese Norm ist aus dem Jahre 1982 und beinhaltet leider keine Klimawerte für die NBL.

Der HLK-Ingenieur legt Anlagen überwiegend nach Extremwerten⁴ aus. Bei passiver und aktiver Solarenergienutzung werden Durchschnittswerte benötigt. Für aus gewählte Orte der ABL enthält die DIN 4710, neben Monats-

¹ Aktuelle Werte unter: <http://www.testo.de/DE/de/site/index.jsp?url=aktuell/wetter/wx.html>

² vgl. <http://www.testo.de/DE/de/site/company/>

³ vgl. DIN 4710: Meteorologische Daten, 1982

⁴ vgl. bspw. Datenmaterial der VDI 2078 Juli 1996: Berechnung der Kühllast klimatisierter Räume

⁵ vgl. Blümel [u. a.]: Entwicklung von Testreferenzjahren IN: Schriftenreihe Forschungsbericht T 86-051, Bundesministerium für Forschung und Technologie, 1986

⁶ vgl. DIN V 4108-6:2000-11: Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden, S. 34, Bild A.1

⁷ vgl. ebenda, S. 39, Tabelle A.1

⁸ vgl. bspw. VDI 3789 Blatt 2 1994: Umweltmeteorologie, Wechselwirkung zwischen Atmosphäre und Oberflächen, S. 11 ff. oder Holznagel: Erarbeitung eines Rechenprogramms für den instationären Wärmetransport durch mehrschichtige Bauteile, 2000, Anhang S. 78 ff.

- Tabellen A.2-10 bis A.2-49 wurden mit Datenwerten aus dem ESRA erstellt
- Abbildungen A.2-06 bis A.2-14 wurden mit Datenwerten aus dem ESRA erstellt
- Monats Durchschnitts Tag = MDT
- Monats Durchschnitts Clear Sky Tag = MDCST (Linke Trübungsfaktor)
- Tabelle A.2-14: Stundenwerte und Tagessummen der Solarstrahlung MDT für die Horizontale
- Tabellen A.2-15 bis A.2-23: Stundenwerte und Tagessummen der Solarstrahlung MDT für eine unverschattete senkrechte Wand
- Tabellen A.2-24 bis A.2-32: Stundenwerte und Tagessummen der Solarstrahlung MDT für eine unverschattete Dachfläche ($\angle 35^\circ$ DN)
- Tabellen A.2-33 bis A.2-41: Stundenwerte und Tagessummen der Solarstrahlung MDCST¹³ für eine unverschattete Dachfläche ($\angle 35^\circ$ DN)

Linke Trübungsfaktor T_L (Turbidity Factor)

Der Linke-Trübungsfaktor T_L gibt die optische Dicke einer getrüben und feuchten Atmosphäre als Vielfaches der reinen trockenen Atmosphäre (Rayleigh-Atmosphäre) a^{*A}

| Monat | (*1) | (*2) | (*3) | (*4) | |
|-------|------|------|------|------------|--|
| Jan | 3.0 | 2.1 | 4.1 | 3.8 | Quelle (*1 bis (*3: DIN 4710, Tab. 7, S. 89 bis 100 |
| Feb | 3.0 | 2.2 | 4.3 | 4.2 | Quelle (*4: VDI 3789 Blatt 2, S. 32 |
| Mrz | 3.3 | 2.5 | 4.7 | 4.8 | (*1 bis (*3 Basis: 50° geographische Breite, wolkenlose Tage |
| Apr | 3.6 | 2.9 | 5.3 | 5.2 | (*1: Großstadtatmosphäre |
| Mai | 4.0 | 3.2 | 5.5 | 5.4 | (*2: reine Atmosphäre |
| Jun | 4.0 | 3.4 | 5.7 | 6.4 | (*3: Industriatmosphäre |
| Jul | 4.0 | 3.5 | 5.8 | 6.3 | (*4: mittlere Monatsmittelwerte für ganz Deutschland, als |
| Aug | 3.9 | 3.3 | 5.7 | 6.3 | erste grobe Näherung zulässig |
| Sep | 3.7 | 2.9 | 5.3 | 5.5 | |
| Okt | 3.4 | 2.6 | 4.9 | 4.3 | |
| Nov | 3.0 | 2.3 | 4.5 | 3.7 | |
| Dez | 3.0 | 2.2 | 4.2 | 3.6 | |

Anmerkungen^{*A}

| | | |
|---------------------------------------|-------------|---|
| sehr saubere Luft | $T_L = 2$ | In grober Näherung kann der Linke Trübungs- faktor auch aus der meteorologischen Sicht- weite V_M [km] berechnet werden. $T_L = 0.84 + 39/V_M$ Gl. A.2-2 |
| saubere Warmluft | $T_L = 3$ | |
| Feuchtwarme oder stagnierende Luft | $T_L = 4-6$ | |
| verunreinigte Luft | $T_L > 6$ | |
| | | |

Schüpp Trübungsfaktor**

| | |
|--|------|
| klare Luft im Winter | 0.05 |
| Landluft bei schönem Wetter | 0.1 |
| Stadtluft bei schönem Wetter | 0.15 |
| Luft bei starkem Dunstgehalt sehr dunstige Luft | 0.2 |
| eines schwülen Sommertages | 0.25 |

**Quelle:

vgl. Holzner: Erarbeitung eines Rechenprogramms, 2000, Anhang S. 91, Tabelle 1

¹³ Linke Trübung nach Spalte (*1)

Albedo (Reflexionsvermögen verschiedener Oberflächen)

Im Kurzwellenspektrum reflektieren Oberflächen abhängig von der Wellenlänge der (Solar-) Strahlung. Die Reflexion ist außerdem von dem Albedo der (Erd)-Oberfläche abhängig. Diese wiederum variiert je nach Oberflächenart, z.B. Wasser, Vegetation, Wüste etc..

| Oberflächenart | Albedo | Quelle | Oberflächenart | Albedo | Quelle |
|--------------------------|---------|--------|-------------------------------------|-------------|--------|
| Gras | 0.25 | 1 | Asphalt | 0.08 | 2 |
| Wald | 0.15 | 1 | Wasser | 0.08 | 2 |
| Trockener Sand | 0.25 | 1 | Eisen, frisch galvanisiert | 0.35 | 3 |
| Nasser Sand | 0.15 | 1 | Stahl | 0.8 | 3 |
| Lehm | 0.2 | 1 | Anstrich, schwarz | 0.08 | 3 |
| Neuschnee | 0.99 | 1 | Ölfarbe, hellgrün | 0.5 | 3 |
| Wasser* | 0.05 | 1 | Asphalt | 0.09 | 3 |
| Wüste | 0.3 | 1 | Holz | 0.22 | 3 |
| Aluminium | 0.9 | 1 | Aluminium | 0.85 | 3 |
| Asphalt | 0.1 | 1 | Sandboden, trocken, weiß | 0.37 | 3 |
| Wolkendecke | 0.4-0.8 | 1 | Schnee, Neuschnee | 0.82 | 3 |
| Menschliche Haut | | 1 | schwarze Erde (trocken) | 0.14 | 4 |
| Blond | 0.45 | 1 | schwarze Erde (feucht) | 0.08 | 4 |
| Brünett | 0.35 | 1 | heller Sand | 0.3-0.4 | 4 |
| Dunkelhaarig | 0.2 | 1 | Schnee (sauber) | 0.99 | 4 |
| Neuschnee | 0.9 | 2 | Wasserflächen | 0.05-0.15 | 4 |
| alter Schnee | 0.5 | 2 | grünes Gras | 0.26 | 4 |
| mittlere Wolkenbedeckung | 0.5 | 2 | Weizen | 0.1-0.25 | 4 |
| heller Sand | 0.4 | 2 | Beton | 0.14-0.22 | 4 |
| helle Erde | 0.25 | 2 | Mauer (weiß) | 0.65-0.8 | 4 |
| dunkle Erde | 0.1 | 2 | Mauer (gelb) | 0.35-0.5 | 4 |
| Beton | 0.25 | 2 | Mauer (grau) | 0.2-0.45 | 4 |
| grüne Felder | 0.2 | 2 | Asphalt | 0.12-0.25 | 4 |
| grüne Wälder | 0.15 | 2 | Schotter | 0.05-0.1 | 4 |
| | | | Mittelwert der Erdoberfläche | 0.35 | 4 |

Tabelle A.2-09 Typische Albedowerte =(Rückstreuvermögen im Kurzwellenbereich) verschiedener Oberflächenarten und Materialien.

*bei wolkenlosem Himmel hängt die Albedo vom Sonnenzenitwinkel ab

Quellen:

- 1...EUROMET
- 2...Institute for Atmospheric and Climate Science (IAC) ETH Zürich
- 3...VDI 3789 Blatt 2 1994: Umweltmeteorologie, S. 36 ff.
- 4...Stadtentwicklung Berlin

<http://www.euromet.met.ed.ac.uk/ucisa/teachers/german/nwp/n5720/n5720006.htm>

<http://www.iac.ethz.ch/~eszter/vorlesung/strahlung/Reflexionsvermoegen.pdf>

http://www.stadtentwicklung.berlin.de/umwelt/umweltatlas/e_text/k406.doc

WMO 10361 ; Station Magdeburg ; Latitude 52°7' ; Longitude 11°34' ; Elevation 79 m ; Country Code Germa
 Monthly Average (1981-1990) Hourly and Daily Ambient Temperatures in °C

| Hour Month | Jan | Feb | Mar | Apr | May | Jun | Jul | Aug | Sep | Oct | Nov | Dec | 00-24 | | | | | | | | | | | | | |
|------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 00-01 | 1.29 | 0.94 | 0.61 | 0.34 | 0.11 | -0.06 | -0.17 | -0.20 | 0.00 | 0.57 | 1.39 | 2.31 | 3.13 | 3.70 | 3.90 | 3.87 | 3.76 | 3.59 | 3.36 | 3.09 | 2.76 | 2.41 | 2.04 | 1.66 | 1.85 | |
| 01-02 | 3.70 | 3.27 | 2.90 | 2.60 | 2.38 | 2.25 | 2.20 | 2.47 | 3.22 | 4.30 | 5.50 | 6.58 | 7.33 | 7.60 | 7.55 | 7.42 | 7.20 | 6.90 | 6.53 | 6.10 | 5.64 | 5.15 | 4.65 | 4.90 | 4.65 | 4.90 |
| 02-03 | 8.28 | 7.67 | 7.17 | 6.80 | 6.58 | 6.50 | 6.80 | 7.67 | 8.97 | 10.50 | 12.03 | 13.33 | 14.20 | 14.50 | 14.42 | 14.20 | 13.83 | 13.33 | 12.72 | 12.03 | 11.28 | 10.50 | 9.72 | 10.50 | 9.72 | 10.50 |
| 03-04 | 10.71 | 10.21 | 9.90 | 9.80 | 10.09 | 10.91 | 12.18 | 13.73 | 15.37 | 16.93 | 18.19 | 19.01 | 19.30 | 19.20 | 18.89 | 18.39 | 17.73 | 16.92 | 16.02 | 15.05 | 14.05 | 13.08 | 14.55 | 13.08 | 14.55 | 13.08 |
| 04-05 | 12.54 | 12.40 | 12.67 | 13.47 | 14.71 | 16.27 | 18.00 | 19.73 | 21.29 | 22.53 | 23.33 | 23.60 | 23.46 | 23.05 | 22.38 | 21.49 | 20.43 | 19.25 | 18.00 | 16.75 | 15.05 | 14.05 | 13.08 | 14.55 | 13.08 | 14.55 |
| 05-06 | 13.62 | 12.95 | 12.54 | 12.40 | 12.67 | 13.47 | 14.71 | 16.27 | 18.00 | 19.73 | 21.29 | 22.53 | 23.33 | 23.60 | 23.46 | 23.05 | 22.38 | 21.49 | 20.43 | 19.25 | 18.00 | 16.75 | 15.05 | 14.05 | 13.08 | 14.55 |
| 06-07 | 13.23 | 12.76 | 12.60 | 12.82 | 13.47 | 14.50 | 15.82 | 17.32 | 18.88 | 20.38 | 21.70 | 22.73 | 23.38 | 23.60 | 23.44 | 22.97 | 22.22 | 21.22 | 20.05 | 18.76 | 17.44 | 16.15 | 14.98 | 18.10 | 18.10 | 18.10 |
| 07-08 | 11.97 | 11.28 | 10.85 | 10.70 | 10.90 | 11.50 | 12.44 | 13.65 | 15.03 | 16.47 | 17.85 | 19.06 | 20.00 | 20.60 | 20.80 | 20.65 | 20.22 | 19.53 | 18.62 | 17.54 | 16.36 | 15.14 | 13.96 | 15.75 | 15.75 | |
| 08-09 | 9.53 | 8.75 | 8.27 | 8.10 | 8.33 | 9.00 | 10.07 | 11.43 | 12.99 | 14.61 | 16.17 | 17.53 | 18.60 | 19.27 | 19.50 | 19.33 | 18.85 | 18.07 | 17.04 | 15.82 | 14.49 | 13.11 | 11.78 | 13.80 | 13.80 | |
| 09-10 | 5.34 | 4.57 | 3.99 | 3.62 | 3.50 | 3.74 | 4.44 | 5.52 | 6.89 | 8.40 | 9.91 | 11.28 | 12.36 | 13.06 | 13.30 | 13.18 | 12.81 | 12.23 | 11.46 | 10.53 | 9.49 | 8.40 | 7.31 | 8.40 | 8.40 | |
| 10-11 | 0.99 | 0.45 | 0.45 | 0.50 | 0.73 | 1.11 | 1.28 | 1.62 | 2.09 | 2.61 | 3.06 | 3.27 | 3.27 | 3.50 | 3.44 | 3.27 | 2.99 | 2.61 | 2.14 | 1.62 | 1.05 | 0.45 | 0.15 | 0.45 | 0.45 | |
| 11-12 | 2.97 | 2.34 | 1.82 | 1.42 | 1.18 | 1.10 | 1.33 | 1.98 | 2.98 | 4.20 | 5.50 | 6.73 | 7.72 | 8.37 | 8.60 | 8.52 | 8.28 | 7.88 | 7.36 | 6.72 | 6.01 | 5.24 | 4.46 | 4.85 | 4.85 | |
| 12-13 | 2.67 | 2.90 | 2.86 | 2.74 | 2.56 | 2.30 | 2.03 | 1.63 | 1.23 | 0.81 | 0.39 | 0.09 | 0.45 | 0.99 | 1.53 | 2.08 | 2.63 | 3.18 | 3.73 | 4.28 | 4.83 | 5.38 | 5.93 | 6.48 | 6.48 | |
| 13-14 | 2.67 | 2.90 | 2.86 | 2.74 | 2.56 | 2.30 | 2.03 | 1.63 | 1.23 | 0.81 | 0.39 | 0.09 | 0.45 | 0.99 | 1.53 | 2.08 | 2.63 | 3.18 | 3.73 | 4.28 | 4.83 | 5.38 | 5.93 | 6.48 | 6.48 | |
| 14-15 | 2.67 | 2.90 | 2.86 | 2.74 | 2.56 | 2.30 | 2.03 | 1.63 | 1.23 | 0.81 | 0.39 | 0.09 | 0.45 | 0.99 | 1.53 | 2.08 | 2.63 | 3.18 | 3.73 | 4.28 | 4.83 | 5.38 | 5.93 | 6.48 | 6.48 | |
| 15-16 | 2.67 | 2.90 | 2.86 | 2.74 | 2.56 | 2.30 | 2.03 | 1.63 | 1.23 | 0.81 | 0.39 | 0.09 | 0.45 | 0.99 | 1.53 | 2.08 | 2.63 | 3.18 | 3.73 | 4.28 | 4.83 | 5.38 | 5.93 | 6.48 | 6.48 | |
| 16-17 | 2.67 | 2.90 | 2.86 | 2.74 | 2.56 | 2.30 | 2.03 | 1.63 | 1.23 | 0.81 | 0.39 | 0.09 | 0.45 | 0.99 | 1.53 | 2.08 | 2.63 | 3.18 | 3.73 | 4.28 | 4.83 | 5.38 | 5.93 | 6.48 | 6.48 | |
| 17-18 | 2.67 | 2.90 | 2.86 | 2.74 | 2.56 | 2.30 | 2.03 | 1.63 | 1.23 | 0.81 | 0.39 | 0.09 | 0.45 | 0.99 | 1.53 | 2.08 | 2.63 | 3.18 | 3.73 | 4.28 | 4.83 | 5.38 | 5.93 | 6.48 | 6.48 | |
| 18-19 | 2.67 | 2.90 | 2.86 | 2.74 | 2.56 | 2.30 | 2.03 | 1.63 | 1.23 | 0.81 | 0.39 | 0.09 | 0.45 | 0.99 | 1.53 | 2.08 | 2.63 | 3.18 | 3.73 | 4.28 | 4.83 | 5.38 | 5.93 | 6.48 | 6.48 | |
| 19-20 | 2.67 | 2.90 | 2.86 | 2.74 | 2.56 | 2.30 | 2.03 | 1.63 | 1.23 | 0.81 | 0.39 | 0.09 | 0.45 | 0.99 | 1.53 | 2.08 | 2.63 | 3.18 | 3.73 | 4.28 | 4.83 | 5.38 | 5.93 | 6.48 | 6.48 | |
| 20-21 | 2.67 | 2.90 | 2.86 | 2.74 | 2.56 | 2.30 | 2.03 | 1.63 | 1.23 | 0.81 | 0.39 | 0.09 | 0.45 | 0.99 | 1.53 | 2.08 | 2.63 | 3.18 | 3.73 | 4.28 | 4.83 | 5.38 | 5.93 | 6.48 | 6.48 | |
| 21-22 | 2.67 | 2.90 | 2.86 | 2.74 | 2.56 | 2.30 | 2.03 | 1.63 | 1.23 | 0.81 | 0.39 | 0.09 | 0.45 | 0.99 | 1.53 | 2.08 | 2.63 | 3.18 | 3.73 | 4.28 | 4.83 | 5.38 | 5.93 | 6.48 | 6.48 | |
| 22-23 | 2.67 | 2.90 | 2.86 | 2.74 | 2.56 | 2.30 | 2.03 | 1.63 | 1.23 | 0.81 | 0.39 | 0.09 | 0.45 | 0.99 | 1.53 | 2.08 | 2.63 | 3.18 | 3.73 | 4.28 | 4.83 | 5.38 | 5.93 | 6.48 | 6.48 | |
| 23-24 | 2.67 | 2.90 | 2.86 | 2.74 | 2.56 | 2.30 | 2.03 | 1.63 | 1.23 | 0.81 | 0.39 | 0.09 | 0.45 | 0.99 | 1.53 | 2.08 | 2.63 | 3.18 | 3.73 | 4.28 | 4.83 | 5.38 | 5.93 | 6.48 | 6.48 | |

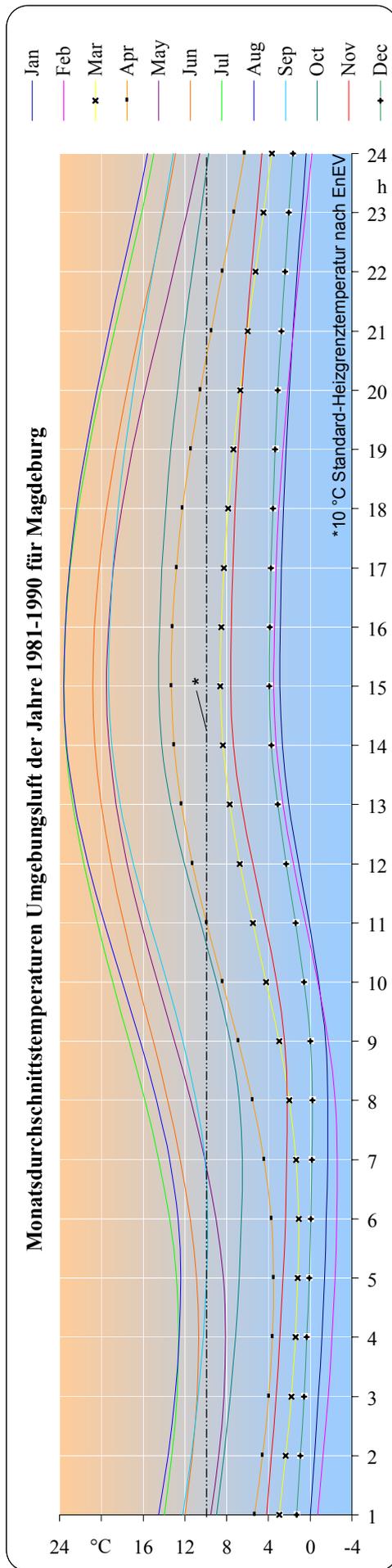


Tabelle A.2-10, Abbildung A.2-06

| WMO 10361 ; Station Magdeburg ; Latitude 52°7' ; Longitude 11°34' ; Elevation 79 m | | | | | | | | | | | | | |
|--|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|-------|----------------|
| Monthly sums of sunshine duration in Hours | | | | | | | | | | | | | |
| Results | | | | | | | | | | | | | |
| Year | Jan | Feb | Mar | Apr | May | Jun | Jul | Aug | Sep | Oct | Nov | Dec | Sum |
| 1981 | 56.6 | 74.2 | 78.5 | 181.0 | 235.8 | 159.7 | 154.8 | 175.5 | 155.1 | 86.1 | 51.0 | 28.2 | 1436.5 |
| 1982 | 43.4 | 94.1 | 148.3 | 212.6 | 228.0 | 226.9 | 294.8 | 215.1 | 203.7 | 94.3 | 77.5 | 43.0 | 1881.7 |
| 1983 | 43.2 | 70.7 | 88.3 | 132.8 | 138.7 | 234.1 | 292.1 | 239.7 | 139.4 | 107.0 | 71.6 | 54.8 | 1612.4 |
| 1984 | 50.3 | 70.4 | 148.9 | 177.5 | 118.0 | 154.8 | 160.2 | 212.8 | 91.1 | 100.3 | 70.3 | 38.4 | 1393.0 |
| 1985 | 43.0 | 87.2 | 67.3 | 157.4 | 222.4 | 176.9 | 243.0 | 229.1 | 152.8 | 91.2 | 51.2 | 28.0 | 1549.5 |
| 1986 | 39.3 | 92.7 | 93.6 | 111.9 | 236.0 | 261.6 | 221.6 | 205.2 | 117.7 | 133.1 | 96.3 | 49.7 | 1658.7 |
| 1987 | 43.9 | 56.5 | 153.1 | 170.4 | 162.7 | 156.0 | 203.0 | 144.7 | 141.6 | 117.2 | 18.4 | 28.2 | 1395.7 |
| 1988 | 52.0 | 58.1 | 90.3 | 204.3 | 272.0 | 160.5 | 202.6 | 224.3 | 146.3 | 86.8 | 58.1 | 46.8 | 1602.1 |
| 1989 | 86.0 | 77.2 | 146.9 | 134.7 | 321.2 | 258.9 | 193.1 | 229.3 | 167.5 | 123.7 | 98.9 | 49.1 | 1886.5 |
| 1990 | 55.4 | 126.2 | 136.0 | 191.9 | 299.0 | 146.8 | 247.9 | 234.5 | 121.9 | 165.7 | 56.4 | 54.2 | 1835.9 |
| | | | | | | | | | | | | | Tabelle A.2-11 |
| Climatological means (1981-1990) of monthly means of daily values | | | | | | | | | | | | | |
| Results | | | | | | | | | | | | | |
| | Jan | Feb | Mar | Apr | May | Jun | Jul | Aug | Sep | Oct | Nov | Dec | Mean |
| Global irradiation | | | | | | | | | | | | | |
| (Wh/m ²) | 672 | 1328 | 2236 | 3628 | 4856 | 4800 | 4911 | 4122 | 2817 | 1636 | 792 | 472 | 2689 |
| Sunshine Duration | | | | | | | | | | | | | |
| (Hours) | 1.60 | 2.80 | 3.70 | 5.50 | 7.20 | 6.40 | 7.10 | 6.80 | 4.70 | 3.50 | 2.10 | 1.30 | 4.50 |
| air temperature °C | | | | | | | | | | | | | |
| Min | -1.70 | -2.60 | 1.10 | 3.50 | 8.10 | 10.70 | 12.60 | 12.40 | 9.80 | 6.50 | 2.20 | -0.20 | 5.20 |
| Max | 2.90 | 3.50 | 8.60 | 13.30 | 19.50 | 20.80 | 23.60 | 23.60 | 19.30 | 14.50 | 7.60 | 3.90 | 13.40 |
| Precipitations | | | | | | | | | | | | | |
| (mm) | 3.50 | 2.90 | 4.10 | 3.80 | 4.20 | 6.50 | 4.30 | 4.20 | 4.30 | 2.70 | 3.50 | 4.10 | 4.00 |
| | | | | | | | | | | | | | Tabelle A.2-12 |
| Summary of solar data (From climatological files) | | | | | | | | | | | | | |
| Results | | | | | | | | | | | | | |
| | Jan | Feb | Mar | Apr | May | Jun | Jul | Aug | Sep | Oct | Nov | Dec | Mean |
| Global horizontal radiation | | | | | | | | | | | | | |
| (kWh/m ²) | 0.67 | 1.33 | 2.24 | 3.63 | 4.86 | 4.8 | 4.91 | 4.12 | 2.82 | 1.64 | 0.79 | 0.47 | 2.689 |
| G0 | 2.22 | 3.76 | 6.1 | 8.64 | 10.6 | 11.5 | 11 | 9.34 | 6.97 | 4.52 | 2.62 | 1.8 | 6.592 |
| Kt mean | | | | | | | | | | | | | |
| (G/G0) | 0.3 | 0.35 | 0.37 | 0.42 | 0.46 | 0.42 | 0.45 | 0.44 | 0.4 | 0.36 | 0.3 | 0.26 | 0.377 |
| Diffus horizontal radiation (kWh/m ²) | | | | | | | | | | | | | |
| D mean | 0.47 | 0.84 | 1.42 | 2.06 | 2.62 | 2.87 | 2.76 | 2.32 | 1.61 | 1.01 | 0.55 | 0.36 | 1.573 |
| D/G mean | 0.7 | 0.63 | 0.63 | 0.57 | 0.54 | 0.6 | 0.56 | 0.56 | 0.57 | 0.62 | 0.7 | 0.75 | 0.619 |
| Sunshine duration (hours) | | | | | | | | | | | | | |
| S mean | 1.6 | 2.8 | 3.7 | 5.5 | 7.2 | 6.4 | 7.1 | 6.8 | 4.7 | 3.5 | 2.1 | 1.3 | 4.4 |
| S0 | 8.1 | 9.7 | 11.7 | 13.7 | 15.5 | 16.4 | 16.0 | 14.4 | 12.5 | 10.5 | 8.6 | 7.6 | 12.1 |
| S/S0 | 0.2 | 0.3 | 0.3 | 0.4 | 0.5 | 0.4 | 0.4 | 0.5 | 0.4 | 0.3 | 0.2 | 0.2 | 0.3 |
| S0 max | 8.8 | 10.6 | 12.7 | 14.7 | 16.2 | 16.5 | 16.4 | 15.3 | 13.5 | 11.5 | 9.4 | 7.9 | 12.8 |
| | | | | | | | | | | | | | Tabelle A.2-13 |

| Azim: all Directions | | Monthly Average (1981-1990) Hourly a. Daily Irradiations | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|----------------------|-------|--|-------|-------|-------|-------|-------|----------|-------|-------|-------|-------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|
| Tilt: 90° | | Reflected (Albedo = 0.2) | | | | | | [kWh/m²] | | | | | | | | | | | | | | |
| 00-24 | 0.067 | 0.133 | 0.224 | 0.363 | 0.486 | 0.480 | 0.491 | 0.412 | 0.282 | 0.164 | 0.079 | 0.047 | | | | | | | | | | |
| 23-24 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | | | | | | | | | |
| 22-23 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | | | | | | | | | |
| 21-22 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | | | | | | | | | |
| 20-21 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | | | | | | | | | |
| 19-20 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.002 | 0.004 | 0.003 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | | | | | | | | | |
| 18-19 | 0 | 0 | 0 | 0.002 | 0.008 | 0.011 | 0.010 | 0.005 | 0 | 0 | 0 | 0 | | | | | | | | | | |
| 17-18 | 0 | 0 | 0.002 | 0.009 | 0.017 | 0.019 | 0.018 | 0.013 | 0.004 | 0 | 0 | 0 | | | | | | | | | | |
| 16-17 | 0 | 0.002 | 0.008 | 0.018 | 0.027 | 0.027 | 0.028 | 0.022 | 0.012 | 0.004 | 0 | 0 | | | | | | | | | | |
| 15-16 | 0.002 | 0.008 | 0.016 | 0.027 | 0.037 | 0.036 | 0.037 | 0.031 | 0.021 | 0.011 | 0.004 | 0.001 | | | | | | | | | | |
| 14-15 | 0.007 | 0.014 | 0.024 | 0.036 | 0.045 | 0.043 | 0.045 | 0.040 | 0.029 | 0.018 | 0.008 | 0.005 | | | | | | | | | | |
| 13-14 | 0.011 | 0.020 | 0.029 | 0.042 | 0.052 | 0.049 | 0.051 | 0.046 | 0.035 | 0.023 | 0.013 | 0.008 | | | | | | | | | | |
| 12-13 | 0.013 | 0.022 | 0.033 | 0.046 | 0.055 | 0.052 | 0.054 | 0.050 | 0.039 | 0.026 | 0.015 | 0.010 | | | | | | | | | | |
| 11-12 | 0.013 | 0.022 | 0.033 | 0.046 | 0.055 | 0.052 | 0.054 | 0.050 | 0.039 | 0.026 | 0.015 | 0.010 | | | | | | | | | | |
| 10-11 | 0.011 | 0.020 | 0.029 | 0.042 | 0.052 | 0.049 | 0.051 | 0.046 | 0.035 | 0.023 | 0.013 | 0.008 | | | | | | | | | | |
| 09-10 | 0.007 | 0.014 | 0.024 | 0.036 | 0.045 | 0.043 | 0.045 | 0.040 | 0.029 | 0.018 | 0.008 | 0.005 | | | | | | | | | | |
| 08-09 | 0.002 | 0.008 | 0.016 | 0.027 | 0.037 | 0.036 | 0.037 | 0.031 | 0.021 | 0.011 | 0.004 | 0.001 | | | | | | | | | | |
| 07-08 | 0 | 0.002 | 0.008 | 0.018 | 0.027 | 0.027 | 0.028 | 0.022 | 0.012 | 0.004 | 0 | 0 | | | | | | | | | | |
| 06-07 | 0 | 0 | 0.002 | 0.009 | 0.017 | 0.019 | 0.018 | 0.013 | 0.004 | 0 | 0 | 0 | | | | | | | | | | |
| 05-06 | 0 | 0 | 0 | 0.002 | 0.008 | 0.011 | 0.010 | 0.005 | 0 | 0 | 0 | 0 | | | | | | | | | | |
| 04-05 | 0 | 0 | 0 | 0.002 | 0.004 | 0.003 | 0.003 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | | | | | | | | | |
| 03-04 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | | | | | | | | | |
| 02-03 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | | | | | | | | | |
| 01-02 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | | | | | | | | | |
| 00-01 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | | | | | | | | | |
| Hour | Jan | Feb | Mar | Apr | May | Jun | Jul | Aug | Sep | Oct | Nov | Dec | | | | | | | | | | |
| Month | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

Tabelle A.2-15

| NorthWest (Azim: 135°) | | Monthly Average (1981-1990) Hourly a. Daily Irradiations | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|------------------------|-------|--|-------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|----------|-------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|---|--|
| Tilt: 90° | | Global | | | | Direct | | | | [kWh/m²] | | | | Diffus | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 00-24 | 0.239 | 0.475 | 0.870 | 1.545 | 2.266 | 2.299 | 2.339 | 1.829 | 1.129 | 0.601 | 0.285 | 0.175 | 0.003 | 0.029 | 0.091 | 0.314 | 0.611 | 0.550 | 0.615 | 0.415 | 0.191 | 0.051 | 0.005 | 0.000 | 0.169 | 0.313 | 0.555 | 0.869 | 1.169 | 1.269 | 1.233 | 1.001 | 0.656 | 0.386 | 0.200 | 0.127 | | | |
| 23-24 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | |
| 22-23 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| 21-22 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| 20-21 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| 19-20 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| 18-19 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| 17-18 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| 16-17 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| 15-16 | 0.014 | 0.054 | 0.108 | 0.187 | 0.250 | 0.241 | 0.250 | 0.213 | 0.142 | 0.072 | 0.022 | 0.006 | 0.003 | 0.014 | 0.030 | 0.065 | 0.095 | 0.081 | 0.091 | 0.076 | 0.048 | 0.020 | 0.004 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | |
| 14-15 | 0.026 | 0.048 | 0.086 | 0.144 | 0.205 | 0.211 | 0.211 | 0.170 | 0.107 | 0.060 | 0.031 | 0.019 | 0 | 0 | 0.003 | 0.017 | 0.038 | 0.058 | 0.040 | 0.025 | 0.008 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | |
| 13-14 | 0.038 | 0.062 | 0.092 | 0.123 | 0.145 | 0.154 | 0.153 | 0.133 | 0.103 | 0.072 | 0.043 | 0.029 | 0 | 0 | 0.003 | 0.017 | 0.038 | 0.058 | 0.040 | 0.025 | 0.008 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | |
| 12-13 | 0.044 | 0.069 | 0.100 | 0.132 | 0.153 | 0.154 | 0.154 | 0.141 | 0.111 | 0.079 | 0.049 | 0.035 | 0 | 0 | 0.003 | 0.017 | 0.038 | 0.058 | 0.040 | 0.025 | 0.008 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| 11-12 | 0.044 | 0.069 | 0.100 | 0.132 | 0.153 | 0.154 | 0.154 | 0.141 | 0.111 | 0.079 | 0.049 | 0.035 | 0 | 0 | 0.003 | 0.017 | 0.038 | 0.058 | 0.040 | 0.025 | 0.008 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| 10-11 | 0.038 | 0.062 | 0.092 | 0.123 | 0.145 | 0.147 | 0.147 | 0.133 | 0.103 | 0.072 | 0.043 | 0.029 | 0 | 0 | 0.003 | 0.017 | 0.038 | 0.058 | 0.040 | 0.025 | 0.008 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| 09-10 | 0.026 | 0.048 | 0.077 | 0.107 | 0.130 | 0.132 | 0.132 | 0.118 | 0.088 | 0.057 | 0.031 | 0.029 | 0 | 0 | 0.003 | 0.017 | 0.038 | 0.058 | 0.040 | 0.025 | 0.008 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| 08-09 | 0.010 | 0.029 | 0.056 | 0.086 | 0.108 | 0.113 | 0.113 | 0.096 | 0.067 | 0.038 | 0.014 | 0.005 | 0 | 0 | 0.003 | 0.017 | 0.038 | 0.058 | 0.040 | 0.025 | 0.008 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| 07-08 | 0 | 0.008 | 0.032 | 0.060 | 0.083 | 0.089 | 0.087 | 0.071 | 0.042 | 0.015 | 0.001 | 0 | 0 | 0 | 0.003 | 0.017 | 0.038 | 0.058 | 0.040 | 0.025 | 0.008 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| 06-07 | 0 | 0 | 0.008 | 0.033 | 0.056 | 0.064 | 0.061 | 0.044 | 0.017 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.003 | 0.017 | 0.038 | 0.058 | 0.040 | 0.025 | 0.008 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| 05-06 | 0 | 0 | 0 | 0.008 | 0.029 | 0.038 | 0.035 | 0.017 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.003 | 0.017 | 0.038 | 0.058 | 0.040 | 0.025 | 0.008 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| 04-05 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.006 | 0.015 | 0.011 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.003 | 0.017 | 0.038 | 0.058 | 0.040 | 0.025 | 0.008 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| 03-04 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.003 | 0.017 | 0.038 | 0.058 | 0.040 | 0.025 | 0.008 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| 02-03 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.003 | 0.017 | 0.038 | 0.058 | 0.040 | 0.025 | 0.008 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| 01-02 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.003 | 0.017 | 0.038 | 0.058 | 0.040 | 0.025 | 0.008 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| 00-01 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.003 | 0.017 | 0.038 | 0.058 | 0.040 | 0.025 | 0.008 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| Hour | Jan | Feb | Mar | Apr | May | Jun | Jul | Aug | Sep | Oct | Nov | Dec | Jan | Feb | Mar | Apr | May | Jun | Jul | Aug | Sep | Oct | Nov | Dec | Jan | Feb | Mar | Apr | May | Jun | Jul | Aug | Sep | Oct | Nov | Dec | Hour | | |
| Month | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

Tabelle A.2-17

| West (Azim: 90°) | | Monthly Average (1981-1990) Hourly a. Daily Irradiations | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|------------------|-------|--|-------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|----------|-------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Tilt: 90° | | Global | | | | Direct | | | | [kWh/m²] | | | | Diffus | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 00-24 | 0.463 | 0.901 | 1.394 | 2.260 | 2.986 | 2.816 | 2.955 | 2.540 | 1.806 | 1.088 | 0.531 | 0.309 | 0.164 | 0.343 | 0.467 | 0.837 | 1.138 | 0.912 | 1.060 | 0.934 | 0.693 | 0.410 | 0.182 | 0.093 | 0.231 | 0.425 | 0.703 | 1.059 | 1.362 | 1.423 | 1.405 | 1.194 | 0.831 | 0.514 | 0.270 | 0.169 | | | | | | | | | | | | |
| 23-24 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | | | | | | | | | | |
| 22-23 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | | | | | | | | | |
| 21-22 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | | | | | | | | | |
| 20-21 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.012 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | | | | | | | | | |
| 19-20 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.086 | 0.109 | 0.117 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.071 | 0.075 | 0.09 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.014 | 0.030 | 0.030 | 0.001 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | | | | | | | | | |
| 18-19 | 0 | 0 | 0 | 0.082 | 0.213 | 0.286 | 0.284 | 0.143 | 0.011 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.141 | 0.110 | 0.132 | 0.09 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.017 | 0.063 | 0.066 | 0.066 | 0.024 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | | | | | | | | | |
| 17-18 | 0 | 0.046 | 0.200 | 0.280 | 0.359 | 0.337 | 0.310 | 0.256 | 0.007 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.164 | 0.127 | 0.063 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.064 | 0.097 | 0.099 | 0.099 | 0.067 | 0.038 | 0.001 | 0 | 0 | 0 | | | | | | | | | | |
| 16-17 | 0.001 | 0.054 | 0.149 | 0.215 | 0.280 | 0.326 | 0.337 | 0.368 | 0.019 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.177 | 0.158 | 0.127 | 0.063 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.097 | 0.127 | 0.127 | 0.127 | 0.074 | 0.035 | 0.001 | 0 | 0 | 0 | | | | | | | | | | |
| 15-16 | 0.103 | 0.184 | 0.239 | 0.326 | 0.388 | 0.375 | 0.337 | 0.357 | 0.066 | 0.019 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.177 | 0.158 | 0.127 | 0.063 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.122 | 0.147 | 0.143 | 0.143 | 0.100 | 0.074 | 0.035 | 0.001 | 0 | 0 | | | | | | | | | | |
| 14-15 | 0.108 | 0.172 | 0.219 | 0.286 | 0.332 | 0.326 | 0.293 | 0.310 | 0.255 | 0.019 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.177 | 0.158 | 0.127 | 0.063 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.122 | 0.147 | 0.143 | 0.143 | 0.100 | 0.074 | 0.035 | 0.001 | 0 | 0 | | | | | | | | | | |
| 13-14 | 0.079 | 0.121 | 0.162 | 0.208 | 0.236 | 0.236 | 0.229 | 0.233 | 0.182 | 0.060 | 0.019 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.177 | 0.158 | 0.127 | 0.063 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.122 | 0.147 | 0.143 | 0.143 | 0.100 | 0.074 | 0.035 | 0.001 | 0 | 0 | | | | | | | | | | |
| 12-13 | 0.044 | 0.069 | 0.100 | 0.132 | 0.153 | 0.153 | 0.154 | 0.154 | 0.111 | 0.035 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.177 | 0.158 | 0.127 | 0.063 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.122 | 0.147 | 0.143 | 0.143 | 0.100 | 0.074 | 0.035 | 0.001 | 0 | 0 | | | | | | | | | | |
| 11-12 | 0.038 | 0.062 | 0.092 | 0.123 | 0.145 | 0.145 | 0.147 | 0.147 | 0.103 | 0.035 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.177 | 0.158 | 0.127 | 0.063 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.122 | 0.147 | 0.143 | 0.143 | 0.100 | 0.074 | 0.035 | 0.001 | 0 | 0 | | | | | | | | | | |
| 10-11 | 0.026 | 0.048 | 0.077 | 0.107 | 0.130 | 0.130 | 0.132 | 0.132 | 0.103 | 0.035 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.177 | 0.158 | 0.127 | 0.063 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.122 | 0.147 | 0.143 | 0.143 | 0.100 | 0.074 | 0.035 | 0.001 | 0 | 0 | | | | | | | | | | |
| 09-10 | 0.010 | 0.029 | 0.056 | 0.086 | 0.108 | 0.108 | 0.113 | 0.113 | 0.088 | 0.035 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.177 | 0.158 | 0.127 | 0.063 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.122 | 0.147 | 0.143 | 0.143 | 0.100 | 0.074 | 0.035 | 0.001 | 0 | 0 | | | | | | | | | | |
| 08-09 | 0 | 0.008 | 0.032 | 0.060 | 0.083 | 0.083 | 0.089 | 0.087 | 0.067 | 0.035 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.177 | 0.158 | 0.127 | 0.063 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.122 | 0.147 | 0.143 | 0.143 | 0.100 | 0.074 | 0.035 | 0.001 | 0 | 0 | | | | | | | | | | |
| 07-08 | 0 | 0 | 0.008 | 0.033 | 0.060 | 0.060 | 0.064 | 0.064 | 0.042 | 0.035 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.177 | 0.158 | 0.127 | 0.063 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.122 | 0.147 | 0.143 | 0.143 | 0.100 | 0.074 | 0.035 | 0.001 | 0 | 0 | | | | | | | | | | |
| 06-07 | 0 | 0 | 0 | 0.008 | 0.033 | 0.060 | 0.060 | 0.064 | 0.042 | 0.035 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.177 | 0.158 | 0.127 | 0.063 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.122 | 0.147 | 0.143 | 0.143 | 0.100 | 0.074 | 0.035 | 0.001 | 0 | 0 | | | | | | | | | | |
| 05-06 | 0 | 0 | 0 | 0.008 | 0.033 | 0.060 | 0.060 | 0.064 | 0.042 | 0.035 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.177 | 0.158 | 0.127 | 0.063 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.122 | 0.147 | 0.143 | 0.143 | 0.100 | 0.074 | 0.035 | 0.001 | 0 | 0 | | | | | | | | | | |
| 04-05 | 0 | 0 | 0 | 0.006 | 0.029 | 0.056 | 0.056 | 0.061 | 0.042 | 0.035 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.177 | 0.158 | 0.127 | 0.063 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.122 | 0.147 | 0.143 | 0.143 | 0.100 | 0.074 | 0.035 | 0.001 | 0 | 0 | | | | | | | | | | |
| 03-04 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.015 | 0.038 | 0.064 | 0.064 | 0.042 | 0.035 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.177 | 0.158 | 0.127 | 0.063 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.122 | 0.147 | 0.143 | 0.143 | 0.100 | 0.074 | 0.035 | 0.001 | 0 | 0 | | | | | | | | | | |
| 02-03 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.011 | 0.035 | 0.061 | 0.061 | 0.044 | 0.035 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.177 | 0.158 | 0.127 | 0.063 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.122 | 0.147 | 0.143 | 0.143 | 0.100 | 0.074 | 0.035 | 0.001 | 0 | 0 | | | | | | | | | | |
| 01-02 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.177 | 0.158 | 0.127 | 0.063 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.122 | 0.147 | 0.143 | 0.143 | 0.100 | 0.074 | 0.035 | 0.001 | 0 | 0 | | | | | | | | | | |
| 00-01 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.177 | 0.158 | 0.127 | 0.063 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.122 | 0.147 | 0.143 | 0.143 | 0.100 | 0.074 | 0.035 | 0.001 | 0 | 0 | | | | | | | | | | |
| Hour | Jan | Feb | Mar | Apr | May | Jun | Jul | Aug | Sep | Oct | Nov | Dec | Jan | Feb | Mar | Apr | May | Jun | Jul | Aug | Sep | Oct | Nov | Dec | Jan | Feb | Mar | Apr | May | Jun | Jul | Aug | Sep | Oct | Nov | Dec | Jan | Feb | Mar | Apr | May | Jun | Jul | Aug | Sep | Oct | Nov | Dec |

Tabelle A.2-18

| South (Azim: 0°) | | Monthly Average (1981-1990) Hourly a. Daily Irradiations | | | | | | | | | | | | | | | | |
|------------------|-------|--|-------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|----------|-------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|-------|
| Tilt: 90° | | Global | | | | Direct | | | | [kWh/m²] | | | | Diffus | | | | |
| 00-24 | 00-24 | 00-24 | 00-24 | 00-24 | 00-24 | 00-24 | 00-24 | 00-24 | 00-24 | 00-24 | 00-24 | 00-24 | 00-24 | 00-24 | 00-24 | 00-24 | 00-24 | 00-24 |
| Jan | 1.241 | 0.132 | 0.199 | 0.238 | 0.238 | 0.199 | 0.132 | 0.051 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Feb | 2.018 | 0.217 | 0.294 | 0.337 | 0.337 | 0.294 | 0.217 | 0.125 | 0.035 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Mar | 2.381 | 0.250 | 0.321 | 0.361 | 0.361 | 0.321 | 0.250 | 0.163 | 0.079 | 0.016 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Apr | 2.950 | 0.302 | 0.374 | 0.414 | 0.414 | 0.374 | 0.302 | 0.212 | 0.121 | 0.043 | 0.008 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| May | 3.075 | 0.308 | 0.376 | 0.413 | 0.413 | 0.376 | 0.308 | 0.221 | 0.129 | 0.056 | 0.029 | 0.006 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Jun | 2.712 | 0.264 | 0.318 | 0.348 | 0.348 | 0.318 | 0.264 | 0.194 | 0.115 | 0.064 | 0.038 | 0.015 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Jul | 2.896 | 0.286 | 0.347 | 0.381 | 0.381 | 0.347 | 0.286 | 0.207 | 0.121 | 0.061 | 0.035 | 0.010 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Aug | 2.984 | 0.303 | 0.372 | 0.410 | 0.410 | 0.372 | 0.303 | 0.215 | 0.125 | 0.050 | 0.017 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Sep | 2.795 | 0.290 | 0.366 | 0.407 | 0.407 | 0.366 | 0.290 | 0.198 | 0.105 | 0.030 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Oct | 2.218 | 0.237 | 0.313 | 0.356 | 0.356 | 0.313 | 0.237 | 0.145 | 0.057 | 0.002 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Nov | 1.331 | 0.143 | 0.209 | 0.247 | 0.247 | 0.209 | 0.143 | 0.063 | 0.004 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Dec | 0.836 | 0.085 | 0.141 | 0.173 | 0.173 | 0.141 | 0.085 | 0.019 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Jan | 0.780 | 0.082 | 0.125 | 0.150 | 0.150 | 0.125 | 0.082 | 0.033 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Feb | 1.208 | 0.128 | 0.177 | 0.205 | 0.205 | 0.177 | 0.128 | 0.072 | 0.022 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Mar | 1.188 | 0.124 | 0.167 | 0.192 | 0.192 | 0.167 | 0.124 | 0.075 | 0.031 | 0.005 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Apr | 1.295 | 0.137 | 0.180 | 0.205 | 0.205 | 0.180 | 0.137 | 0.085 | 0.036 | 0.004 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| May | 1.116 | 0.121 | 0.161 | 0.184 | 0.184 | 0.161 | 0.121 | 0.071 | 0.022 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Jun | 0.742 | 0.081 | 0.111 | 0.128 | 0.128 | 0.111 | 0.081 | 0.044 | 0.008 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Jul | 0.920 | 0.100 | 0.135 | 0.155 | 0.155 | 0.135 | 0.100 | 0.056 | 0.013 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Aug | 1.190 | 0.127 | 0.168 | 0.191 | 0.191 | 0.168 | 0.127 | 0.078 | 0.030 | 0.001 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Sep | 1.409 | 0.148 | 0.194 | 0.220 | 0.220 | 0.194 | 0.148 | 0.093 | 0.042 | 0.008 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Oct | 1.275 | 0.134 | 0.182 | 0.210 | 0.210 | 0.182 | 0.134 | 0.079 | 0.031 | 0.002 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Nov | 0.810 | 0.085 | 0.127 | 0.152 | 0.152 | 0.127 | 0.085 | 0.038 | 0.003 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Dec | 0.513 | 0.051 | 0.087 | 0.108 | 0.108 | 0.087 | 0.051 | 0.011 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Jan | 0.394 | 0.044 | 0.064 | 0.075 | 0.075 | 0.064 | 0.044 | 0.015 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Feb | 0.677 | 0.075 | 0.098 | 0.110 | 0.110 | 0.098 | 0.075 | 0.045 | 0.011 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Mar | 0.969 | 0.102 | 0.125 | 0.137 | 0.137 | 0.125 | 0.102 | 0.072 | 0.040 | 0.009 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Apr | 1.292 | 0.129 | 0.164 | 0.164 | 0.164 | 0.164 | 0.129 | 0.099 | 0.066 | 0.030 | 0.006 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| May | 1.474 | 0.163 | 0.175 | 0.175 | 0.175 | 0.163 | 0.142 | 0.113 | 0.081 | 0.039 | 0.021 | 0.004 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Jun | 1.490 | 0.159 | 0.169 | 0.169 | 0.169 | 0.159 | 0.140 | 0.115 | 0.079 | 0.045 | 0.028 | 0.011 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Jul | 1.484 | 0.171 | 0.171 | 0.171 | 0.171 | 0.171 | 0.141 | 0.114 | 0.080 | 0.042 | 0.025 | 0.008 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Aug | 1.382 | 0.169 | 0.169 | 0.169 | 0.169 | 0.169 | 0.136 | 0.106 | 0.074 | 0.036 | 0.012 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Sep | 1.104 | 0.149 | 0.149 | 0.149 | 0.149 | 0.149 | 0.114 | 0.084 | 0.051 | 0.018 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Oct | 0.780 | 0.120 | 0.120 | 0.120 | 0.120 | 0.120 | 0.108 | 0.085 | 0.055 | 0.022 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Nov | 0.442 | 0.080 | 0.080 | 0.080 | 0.080 | 0.080 | 0.069 | 0.049 | 0.022 | 0.001 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Dec | 0.275 | 0.056 | 0.056 | 0.056 | 0.056 | 0.056 | 0.046 | 0.029 | 0.006 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

Tabelle A.2-20

| East (Azim: - 90°) | | Monthly Average (1981-1990) Hourly a. Daily Irradiations | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--------------------|-------|--|-------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|----------|-------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Tilt: 90° | | Global | | | | Direct | | | | [kWh/m²] | | | | Diffus | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 00-24 | 0.463 | 0.902 | 1.394 | 2.260 | 2.986 | 2.816 | 2.956 | 2.540 | 1.806 | 1.088 | 0.531 | 0.309 | 0.164 | 0.343 | 0.467 | 0.837 | 1.138 | 0.912 | 1.060 | 0.934 | 0.693 | 0.410 | 0.182 | 0.093 | 0.231 | 0.426 | 0.703 | 1.060 | 1.362 | 1.423 | 1.405 | 1.194 | 0.831 | 0.514 | 0.270 | 0.169 | | | | | | | | | | | | |
| 23-24 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | | | | | | | | | | | |
| 22-23 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | | | | | | | | | | |
| 21-22 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | | | | | | | | | | |
| 20-21 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | | | | | | | | | | |
| 19-20 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.006 | 0.015 | 0.010 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.004 | 0.011 | 0.008 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | | | | | | | | | | |
| 18-19 | 0 | 0 | 0 | 0.008 | 0.029 | 0.038 | 0.015 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.006 | 0.021 | 0.028 | 0.011 | 0.025 | 0.008 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | | | | | | | | | |
| 17-18 | 0 | 0 | 0.007 | 0.033 | 0.056 | 0.064 | 0.035 | 0.017 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.024 | 0.039 | 0.045 | 0.028 | 0.042 | 0.025 | 0.012 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | | | | | | | | | | |
| 16-17 | 0 | 0.029 | 0.056 | 0.060 | 0.083 | 0.089 | 0.061 | 0.044 | 0.017 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.056 | 0.062 | 0.062 | 0.045 | 0.059 | 0.042 | 0.025 | 0.012 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | | | | | | | | | |
| 15-16 | 0.010 | 0.026 | 0.048 | 0.056 | 0.077 | 0.086 | 0.060 | 0.042 | 0.017 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.058 | 0.072 | 0.077 | 0.062 | 0.074 | 0.059 | 0.042 | 0.025 | 0.012 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | | | | | | | | | |
| 14-15 | 0.026 | 0.048 | 0.077 | 0.086 | 0.107 | 0.130 | 0.108 | 0.083 | 0.056 | 0.038 | 0.015 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.071 | 0.084 | 0.089 | 0.089 | 0.087 | 0.074 | 0.065 | 0.046 | 0.030 | 0.012 | 0 | 0 | 0 | 0 | | | | | | | | | | |
| 13-14 | 0.038 | 0.062 | 0.092 | 0.107 | 0.123 | 0.145 | 0.130 | 0.113 | 0.089 | 0.064 | 0.038 | 0.015 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.086 | 0.098 | 0.102 | 0.098 | 0.096 | 0.087 | 0.078 | 0.065 | 0.046 | 0.030 | 0.012 | 0 | 0 | 0 | 0 | | | | | | | | | |
| 12-13 | 0.044 | 0.069 | 0.100 | 0.132 | 0.153 | 0.154 | 0.147 | 0.132 | 0.111 | 0.087 | 0.061 | 0.044 | 0.017 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.098 | 0.109 | 0.112 | 0.102 | 0.092 | 0.087 | 0.078 | 0.065 | 0.046 | 0.030 | 0.012 | 0 | 0 | 0 | 0 | | | | | | | | | |
| 11-12 | 0.079 | 0.121 | 0.162 | 0.208 | 0.236 | 0.229 | 0.233 | 0.220 | 0.182 | 0.136 | 0.079 | 0.072 | 0.057 | 0.038 | 0.015 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.123 | 0.139 | 0.145 | 0.142 | 0.131 | 0.092 | 0.087 | 0.078 | 0.065 | 0.046 | 0.030 | 0.012 | 0 | 0 | 0 | | | | | | | | | |
| 10-11 | 0.108 | 0.172 | 0.219 | 0.286 | 0.322 | 0.310 | 0.310 | 0.300 | 0.255 | 0.192 | 0.136 | 0.079 | 0.072 | 0.057 | 0.038 | 0.015 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.152 | 0.160 | 0.160 | 0.154 | 0.143 | 0.131 | 0.092 | 0.087 | 0.078 | 0.065 | 0.046 | 0.030 | 0.012 | 0 | 0 | 0 | | | | | | | | |
| 09-10 | 0.103 | 0.184 | 0.239 | 0.328 | 0.375 | 0.337 | 0.337 | 0.345 | 0.292 | 0.229 | 0.166 | 0.117 | 0.086 | 0.049 | 0.043 | 0.031 | 0.014 | 0.001 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.160 | 0.169 | 0.169 | 0.160 | 0.149 | 0.139 | 0.098 | 0.093 | 0.084 | 0.072 | 0.056 | 0.039 | 0.021 | 0.004 | 0 | 0 | | | | | | | | |
| 08-09 | 0.054 | 0.149 | 0.215 | 0.326 | 0.388 | 0.331 | 0.331 | 0.349 | 0.281 | 0.209 | 0.151 | 0.117 | 0.086 | 0.049 | 0.043 | 0.031 | 0.014 | 0.001 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.177 | 0.185 | 0.185 | 0.177 | 0.166 | 0.156 | 0.112 | 0.084 | 0.031 | 0.020 | 0.020 | 0.020 | 0.020 | 0.020 | 0.020 | 0.020 | | | | | | | | |
| 07-08 | 0.001 | 0.060 | 0.149 | 0.280 | 0.359 | 0.310 | 0.310 | 0.310 | 0.225 | 0.166 | 0.117 | 0.086 | 0.049 | 0.043 | 0.031 | 0.014 | 0.001 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.199 | 0.207 | 0.207 | 0.199 | 0.188 | 0.177 | 0.136 | 0.108 | 0.079 | 0.072 | 0.057 | 0.038 | 0.015 | 0 | 0 | 0 | | | | | | | | |
| 06-07 | 0 | 0 | 0.046 | 0.200 | 0.297 | 0.256 | 0.256 | 0.256 | 0.132 | 0.097 | 0.072 | 0.057 | 0.038 | 0.015 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.219 | 0.227 | 0.227 | 0.219 | 0.208 | 0.197 | 0.156 | 0.128 | 0.100 | 0.072 | 0.057 | 0.038 | 0.015 | 0 | 0 | 0 | | | | | | | | |
| 05-06 | 0 | 0 | 0 | 0.083 | 0.213 | 0.286 | 0.286 | 0.286 | 0.111 | 0.077 | 0.057 | 0.038 | 0.015 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.239 | 0.247 | 0.247 | 0.239 | 0.228 | 0.217 | 0.176 | 0.148 | 0.120 | 0.092 | 0.072 | 0.056 | 0.032 | 0.007 | 0 | 0 | | | | | | | | |
| 04-05 | 0 | 0 | 0 | 0.087 | 0.213 | 0.286 | 0.286 | 0.286 | 0.111 | 0.077 | 0.057 | 0.038 | 0.015 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.259 | 0.267 | 0.267 | 0.259 | 0.248 | 0.237 | 0.196 | 0.168 | 0.140 | 0.112 | 0.092 | 0.072 | 0.056 | 0.032 | 0.007 | 0 | 0 | | | | | | | |
| 03-04 | 0 | 0 | 0 | 0.012 | 0.109 | 0.186 | 0.186 | 0.186 | 0.015 | 0.015 | 0.015 | 0.015 | 0.015 | 0.015 | 0.015 | 0.015 | 0.015 | 0.015 | 0.015 | 0.015 | 0.015 | 0.015 | 0.015 | 0.015 | 0.035 | 0.043 | 0.043 | 0.035 | 0.024 | 0.013 | 0.008 | 0.006 | 0.004 | 0.003 | 0.002 | 0.001 | 0 | 0 | 0 | | | | | | | | | |
| 02-03 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.056 | 0.064 | 0.064 | 0.056 | 0.045 | 0.034 | 0.023 | 0.012 | 0.007 | 0.005 | 0.004 | 0.003 | 0.002 | 0.001 | 0 | 0 | 0 | | | | | | | |
| 01-02 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.077 | 0.085 | 0.085 | 0.077 | 0.066 | 0.055 | 0.044 | 0.033 | 0.022 | 0.011 | 0.007 | 0.005 | 0.004 | 0.003 | 0.002 | 0.001 | 0 | 0 | 0 | | | | | |
| 00-01 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.098 | 0.106 | 0.106 | 0.098 | 0.087 | 0.076 | 0.065 | 0.054 | 0.043 | 0.032 | 0.021 | 0.010 | 0.006 | 0.004 | 0.003 | 0.002 | 0.001 | 0 | 0 | 0 | | | | |
| Hour | Jan | Feb | Mar | Apr | May | Jun | Jul | Aug | Sep | Oct | Nov | Dec | Jan | Feb | Mar | Apr | May | Jun | Jul | Aug | Sep | Oct | Nov | Dec | Jan | Feb | Mar | Apr | May | Jun | Jul | Aug | Sep | Oct | Nov | Dec | Jan | Feb | Mar | Apr | May | Jun | Jul | Aug | Sep | Oct | Nov | Dec |

Tabelle A.2-22

| NorthEast (Azim: - 135°) | | Monthly Average (1981-1990) Hourly a. Daily Irradiations | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--------------------------|-------|--|-------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|----------|-------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Tilt: 90° | | Global | | | | Direct | | | | [kWh/m²] | | | | Diffus | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Hour | Month | Jan | Feb | Mar | Apr | May | Jun | Jul | Aug | Sep | Oct | Nov | Dec | Jan | Feb | Mar | Apr | May | Jun | Jul | Aug | Sep | Oct | Nov | Dec | | | | | | | | | | | | |
| 00-01 | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | | | | | | | | | | | | |
| 01-02 | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | | | | | | | | | | | | |
| 02-03 | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | | | | | | | | | | | | |
| 03-04 | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.015 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.001 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | | | | | | | | | | | | |
| 04-05 | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.092 | 0.121 | 0.130 | 0.129 | 0.014 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.015 | 0.032 | 0.026 | 0.001 | 0 | 0 | | | | | | | | | | | | | |
| 05-06 | | 0 | 0 | 0 | 0.070 | 0.200 | 0.182 | 0.200 | 0.129 | 0.008 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.015 | 0.065 | 0.065 | 0.001 | 0 | 0 | | | | | | | | | | | | | |
| 06-07 | | 0 | 0 | 0.032 | 0.153 | 0.247 | 0.225 | 0.243 | 0.190 | 0.093 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.011 | 0.055 | 0.065 | 0.001 | 0 | 0 | | | | | | | | | | | | | |
| 07-08 | | 0 | 0.027 | 0.090 | 0.188 | 0.265 | 0.246 | 0.261 | 0.219 | 0.138 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.010 | 0.042 | 0.062 | 0.001 | 0 | 0 | | | | | | | | | | | | | |
| 08-09 | | 0.014 | 0.054 | 0.108 | 0.187 | 0.250 | 0.241 | 0.250 | 0.211 | 0.142 | 0 | 0.003 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.032 | 0.062 | 0.060 | 0 | 0 | 0 | | | | | | | | | | | | | |
| 09-10 | | 0.026 | 0.048 | 0.086 | 0.144 | 0.205 | 0.211 | 0.211 | 0.170 | 0.107 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.032 | 0.060 | 0.060 | 0 | 0 | 0 | | | | | | | | | | | | | |
| 10-11 | | 0.038 | 0.062 | 0.092 | 0.123 | 0.145 | 0.154 | 0.153 | 0.133 | 0.103 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.047 | 0.062 | 0.062 | 0 | 0 | 0 | | | | | | | | | | | | | |
| 11-12 | | 0.044 | 0.069 | 0.100 | 0.132 | 0.153 | 0.154 | 0.154 | 0.141 | 0.111 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.067 | 0.067 | 0.067 | 0 | 0 | 0 | | | | | | | | | | | | | |
| 12-13 | | 0.044 | 0.069 | 0.100 | 0.132 | 0.153 | 0.154 | 0.154 | 0.141 | 0.111 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.067 | 0.067 | 0.067 | 0 | 0 | 0 | | | | | | | | | | | | | |
| 13-14 | | 0.038 | 0.062 | 0.092 | 0.123 | 0.145 | 0.147 | 0.147 | 0.133 | 0.103 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.047 | 0.062 | 0.062 | 0 | 0 | 0 | | | | | | | | | | | | | |
| 14-15 | | 0.026 | 0.048 | 0.077 | 0.107 | 0.130 | 0.132 | 0.132 | 0.118 | 0.088 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.033 | 0.040 | 0.040 | 0 | 0 | 0 | | | | | | | | | | | | | |
| 15-16 | | 0.010 | 0.029 | 0.056 | 0.086 | 0.108 | 0.113 | 0.111 | 0.096 | 0.067 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.021 | 0.023 | 0.023 | 0 | 0 | 0 | | | | | | | | | | | | | |
| 16-17 | | 0 | 0.007 | 0.032 | 0.060 | 0.083 | 0.089 | 0.087 | 0.071 | 0.042 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.006 | 0.023 | 0.023 | 0 | 0 | 0 | | | | | | | | | | | | | |
| 17-18 | | 0 | 0 | 0.007 | 0.033 | 0.056 | 0.064 | 0.061 | 0.044 | 0.017 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.006 | 0.023 | 0.023 | 0 | 0 | 0 | | | | | | | | | | | | | |
| 18-19 | | 0 | 0 | 0 | 0.008 | 0.029 | 0.038 | 0.035 | 0.017 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.006 | 0.023 | 0.023 | 0 | 0 | 0 | | | | | | | | | | | | | |
| 19-20 | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.006 | 0.015 | 0.010 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.004 | 0.021 | 0.021 | 0 | 0 | 0 | | | | | | | | | | | | | |
| 20-21 | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | | | | | | | | | | | | |
| 21-22 | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | | | | | | | | | | | | |
| 22-23 | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | | | | | | | | | | | | |
| 23-24 | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | | | | | | | | | | | | |
| 00-24 | | 0.239 | 0.475 | 0.871 | 1.545 | 2.266 | 2.299 | 2.339 | 1.829 | 1.129 | 0.601 | 0.285 | 0.175 | 0.003 | 0.029 | 0.091 | 0.314 | 0.611 | 0.550 | 0.615 | 0.415 | 0.191 | 0.051 | 0.005 | 0.000 | 0.169 | 0.313 | 0.556 | 0.869 | 1.169 | 1.269 | 1.234 | 1.001 | 0.656 | 0.386 | 0.200 | 0.127 |

Tabelle A.2-23

| North (Azim: 180°) | | Monthly Average (1981-1990) Hourly a. Daily Irradiations | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--------------------|-------|--|-------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|----------|-------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|---|
| Tilt: 35° | | Global | | | | Direct | | | | [kWh/m²] | | | | Diffus | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 00-24 | 0.415 | 0.740 | 1.206 | 2.337 | 3.665 | 3.936 | 3.894 | 2.881 | 1.518 | 0.894 | 0.486 | 0.314 | 0.000 | 0.000 | 0.004 | 0.554 | 1.306 | 1.289 | 1.374 | 0.835 | 0.182 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.403 | 0.716 | 1.162 | 1.717 | 2.272 | 2.560 | 2.431 | 1.971 | 1.286 | 0.864 | 0.472 | 0.305 | |
| 23-24 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| 22-23 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 21-22 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 20-21 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 19-20 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 18-19 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 17-18 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 16-17 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 15-16 | 0.018 | 0.018 | 0.052 | 0.099 | 0.138 | 0.186 | 0.226 | 0.276 | 0.317 | 0.276 | 0.289 | 0.289 | 0.224 | 0.155 | 0.122 | 0.082 | 0.035 | 0.001 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| 14-15 | 0.046 | 0.046 | 0.083 | 0.132 | 0.199 | 0.276 | 0.345 | 0.372 | 0.329 | 0.289 | 0.289 | 0.224 | 0.155 | 0.122 | 0.082 | 0.035 | 0.001 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| 13-14 | 0.066 | 0.066 | 0.105 | 0.144 | 0.199 | 0.276 | 0.345 | 0.372 | 0.329 | 0.289 | 0.289 | 0.224 | 0.155 | 0.122 | 0.082 | 0.035 | 0.001 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| 12-13 | 0.077 | 0.077 | 0.117 | 0.155 | 0.203 | 0.276 | 0.345 | 0.372 | 0.329 | 0.289 | 0.289 | 0.224 | 0.155 | 0.122 | 0.082 | 0.035 | 0.001 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| 11-12 | 0.077 | 0.077 | 0.117 | 0.155 | 0.203 | 0.276 | 0.345 | 0.372 | 0.329 | 0.289 | 0.289 | 0.224 | 0.155 | 0.122 | 0.082 | 0.035 | 0.001 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| 10-11 | 0.066 | 0.066 | 0.105 | 0.144 | 0.199 | 0.276 | 0.345 | 0.372 | 0.329 | 0.289 | 0.289 | 0.224 | 0.155 | 0.122 | 0.082 | 0.035 | 0.001 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| 09-10 | 0.046 | 0.046 | 0.083 | 0.132 | 0.199 | 0.276 | 0.345 | 0.372 | 0.329 | 0.289 | 0.289 | 0.224 | 0.155 | 0.122 | 0.082 | 0.035 | 0.001 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| 08-09 | 0.018 | 0.018 | 0.052 | 0.099 | 0.138 | 0.186 | 0.226 | 0.276 | 0.317 | 0.276 | 0.289 | 0.289 | 0.224 | 0.155 | 0.122 | 0.082 | 0.035 | 0.001 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| 07-08 | 0 | 0.014 | 0.058 | 0.103 | 0.155 | 0.203 | 0.276 | 0.345 | 0.372 | 0.329 | 0.289 | 0.289 | 0.224 | 0.155 | 0.122 | 0.082 | 0.035 | 0.001 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| 06-07 | 0 | 0 | 0.014 | 0.058 | 0.103 | 0.155 | 0.203 | 0.276 | 0.345 | 0.372 | 0.329 | 0.289 | 0.289 | 0.224 | 0.155 | 0.122 | 0.082 | 0.035 | 0.001 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| 05-06 | 0 | 0 | 0 | 0.025 | 0.084 | 0.138 | 0.199 | 0.276 | 0.345 | 0.372 | 0.329 | 0.289 | 0.289 | 0.224 | 0.155 | 0.122 | 0.082 | 0.035 | 0.001 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| 04-05 | 0 | 0.036 | 0.066 | 0.103 | 0.155 | 0.203 | 0.276 | 0.345 | 0.372 | 0.329 | 0.289 | 0.289 | 0.224 | 0.155 | 0.122 | 0.082 | 0.035 | 0.001 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| 03-04 | 0 | 0 | 0 | 0.006 | 0.060 | 0.103 | 0.155 | 0.203 | 0.276 | 0.345 | 0.372 | 0.329 | 0.289 | 0.289 | 0.224 | 0.155 | 0.122 | 0.082 | 0.035 | 0.001 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| 02-03 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 01-02 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 00-01 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Hour | Jan | Feb | Mar | Apr | May | Jun | Jul | Aug | Sep | Oct | Nov | Dec | Jan | Feb | Mar | Apr | May | Jun | Jul | Aug | Sep | Oct | Nov | Dec | Jan | Feb | Mar | Apr | May | Jun | Jul | Aug | Sep | Oct | Nov | Dec | |

Tabelle A.2-25

| NorthWest (Azim: 135°) | | Monthly Average (1981-1990) Hourly a. Daily Irradiations | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|------------------------|-------|--|-------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|----------|-------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Tilt: 35° | | Global | | | | Direct | | | | [kWh/m²] | | | | Diffus | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Hour | Month | Jan | Feb | Mar | Apr | May | Jun | Jul | Aug | Sep | Oct | Nov | Dec | Jan | Feb | Mar | Apr | May | Jun | Jul | Aug | Sep | Oct | Nov | Dec | | | | | | | | | | | | |
| 00-01 | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | | | | | | | | | | | | |
| 01-02 | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | | | | | | | | | | | | |
| 02-03 | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | | | | | | | | | | | | |
| 03-04 | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | | | | | | | | | | | | |
| 04-05 | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | | | | | | | | | | | | |
| 05-06 | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | | | | | | | | | | | | |
| 06-07 | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | | | | | | | | | | | | |
| 07-08 | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | | | | | | | | | | | | |
| 08-09 | | 0.018 | 0.052 | 0.099 | 0.145 | 0.187 | 0.218 | 0.206 | 0.157 | 0.114 | 0.074 | 0.046 | 0.018 | 0.018 | 0.050 | 0.096 | 0.140 | 0.157 | 0.128 | 0.101 | 0.074 | 0.052 | 0.034 | 0.018 | | | | | | | | | | | | | |
| 09-10 | | 0.046 | 0.083 | 0.132 | 0.175 | 0.232 | 0.286 | 0.326 | 0.332 | 0.271 | 0.168 | 0.083 | 0.046 | 0.046 | 0.080 | 0.128 | 0.158 | 0.180 | 0.188 | 0.158 | 0.106 | 0.066 | 0.034 | 0.018 | | | | | | | | | | | | | |
| 10-11 | | 0.066 | 0.105 | 0.153 | 0.232 | 0.319 | 0.377 | 0.415 | 0.423 | 0.326 | 0.168 | 0.083 | 0.046 | 0.046 | 0.080 | 0.128 | 0.158 | 0.180 | 0.213 | 0.231 | 0.248 | 0.248 | 0.205 | 0.106 | | | | | | | | | | | | | |
| 11-12 | | 0.077 | 0.117 | 0.179 | 0.232 | 0.286 | 0.326 | 0.326 | 0.326 | 0.271 | 0.168 | 0.083 | 0.046 | 0.046 | 0.080 | 0.128 | 0.158 | 0.180 | 0.213 | 0.231 | 0.248 | 0.248 | 0.205 | 0.106 | | | | | | | | | | | | | |
| 12-13 | | 0.077 | 0.118 | 0.179 | 0.232 | 0.286 | 0.326 | 0.326 | 0.326 | 0.271 | 0.168 | 0.083 | 0.046 | 0.046 | 0.080 | 0.128 | 0.158 | 0.180 | 0.213 | 0.231 | 0.248 | 0.248 | 0.205 | 0.106 | | | | | | | | | | | | | |
| 13-14 | | 0.066 | 0.126 | 0.221 | 0.342 | 0.438 | 0.438 | 0.438 | 0.383 | 0.270 | 0.168 | 0.083 | 0.046 | 0.046 | 0.080 | 0.128 | 0.158 | 0.180 | 0.213 | 0.231 | 0.248 | 0.248 | 0.205 | 0.106 | | | | | | | | | | | | | |
| 14-15 | | 0.052 | 0.116 | 0.207 | 0.332 | 0.430 | 0.430 | 0.430 | 0.372 | 0.260 | 0.168 | 0.083 | 0.046 | 0.046 | 0.080 | 0.128 | 0.158 | 0.180 | 0.213 | 0.231 | 0.248 | 0.248 | 0.205 | 0.106 | | | | | | | | | | | | | |
| 15-16 | | 0.023 | 0.082 | 0.167 | 0.292 | 0.394 | 0.394 | 0.394 | 0.334 | 0.222 | 0.168 | 0.083 | 0.046 | 0.046 | 0.080 | 0.128 | 0.158 | 0.180 | 0.213 | 0.231 | 0.248 | 0.248 | 0.205 | 0.106 | | | | | | | | | | | | | |
| 16-17 | | 0 | 0.027 | 0.105 | 0.229 | 0.334 | 0.334 | 0.334 | 0.271 | 0.168 | 0.083 | 0.046 | 0.046 | 0.080 | 0.128 | 0.158 | 0.180 | 0.213 | 0.231 | 0.248 | 0.248 | 0.205 | 0.106 | 0.046 | | | | | | | | | | | | | |
| 17-18 | | 0 | 0 | 0.029 | 0.148 | 0.256 | 0.256 | 0.256 | 0.210 | 0.160 | 0.083 | 0.046 | 0.046 | 0.080 | 0.128 | 0.158 | 0.180 | 0.213 | 0.231 | 0.248 | 0.248 | 0.205 | 0.106 | 0.046 | | | | | | | | | | | | | |
| 18-19 | | 0 | 0 | 0 | 0.052 | 0.170 | 0.170 | 0.170 | 0.148 | 0.103 | 0.052 | 0.027 | 0.018 | 0.018 | 0.050 | 0.096 | 0.140 | 0.157 | 0.128 | 0.101 | 0.074 | 0.052 | 0.034 | 0.018 | | | | | | | | | | | | | |
| 19-20 | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.061 | 0.061 | 0.061 | 0.052 | 0.037 | 0.023 | 0.014 | 0.009 | 0.009 | 0.034 | 0.062 | 0.095 | 0.116 | 0.128 | 0.128 | 0.106 | 0.066 | 0.034 | 0.018 | | | | | | | | | | | | | |
| 20-21 | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | | | | | | | | | | | | |
| 21-22 | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | | | | | | | | | | | | |
| 22-23 | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | | | | | | | | | | | | |
| 23-24 | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | | | | | | | | | | | | |
| 00-24 | | 0.426 | 0.839 | 1.574 | 2.738 | 3.930 | 4.061 | 4.077 | 3.220 | 1.999 | 1.063 | 0.508 | 0.316 | 0.009 | 0.096 | 0.306 | 0.859 | 1.506 | 1.386 | 1.513 | 1.091 | 0.549 | 0.166 | 0.019 | 0.001 | 0.404 | 0.719 | 1.227 | 1.813 | 2.336 | 2.589 | 2.475 | 2.054 | 1.399 | 0.868 | 0.474 | 0.306 |

Tabelle A.2-26

| West (Azim: 90°) | | Monthly Average (1981-1990) Hourly a. Daily Irradiations | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|------------------|-------|--|-------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|----------|-------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|---|--|
| Tilt: 35° | | Global | | | | Direct | | | | [kWh/m²] | | | | Diffus | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 00-24 | 0.655 | 1.286 | 2.112 | 3.425 | 4.569 | 4.470 | 4.598 | 3.883 | 2.681 | 1.575 | 0.765 | 0.453 | 0.205 | 0.477 | 0.752 | 1.418 | 2.009 | 1.704 | 1.920 | 1.622 | 1.113 | 0.597 | 0.239 | 0.117 | 0.437 | 0.784 | 1.320 | 1.942 | 2.472 | 2.679 | 2.590 | 2.186 | 1.517 | 0.948 | 0.512 | 0.328 | | | |
| 23-24 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | | |
| 22-23 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | |
| 21-22 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | |
| 20-21 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | |
| 19-20 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | |
| 18-19 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | |
| 17-18 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | |
| 16-17 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | |
| 15-16 | 0.045 | 0.104 | 0.134 | 0.132 | 0.106 | 0.069 | 0.046 | 0.018 | 0.014 | 0.058 | 0.104 | 0.142 | 0.208 | 0.300 | 0.382 | 0.437 | 0.456 | 0.434 | 0.372 | 0.281 | 0.175 | 0.059 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | |
| 14-15 | 0.104 | 0.201 | 0.230 | 0.222 | 0.181 | 0.121 | 0.083 | 0.052 | 0.014 | 0.058 | 0.104 | 0.142 | 0.208 | 0.300 | 0.382 | 0.437 | 0.456 | 0.434 | 0.372 | 0.281 | 0.175 | 0.059 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | |
| 13-14 | 0.134 | 0.230 | 0.323 | 0.313 | 0.269 | 0.203 | 0.135 | 0.099 | 0.014 | 0.058 | 0.104 | 0.142 | 0.208 | 0.300 | 0.382 | 0.437 | 0.456 | 0.434 | 0.372 | 0.281 | 0.175 | 0.059 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | |
| 12-13 | 0.132 | 0.230 | 0.323 | 0.313 | 0.269 | 0.203 | 0.135 | 0.099 | 0.014 | 0.058 | 0.104 | 0.142 | 0.208 | 0.300 | 0.382 | 0.437 | 0.456 | 0.434 | 0.372 | 0.281 | 0.175 | 0.059 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | |
| 11-12 | 0.106 | 0.181 | 0.222 | 0.222 | 0.181 | 0.121 | 0.083 | 0.052 | 0.014 | 0.058 | 0.104 | 0.142 | 0.208 | 0.300 | 0.382 | 0.437 | 0.456 | 0.434 | 0.372 | 0.281 | 0.175 | 0.059 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | |
| 10-11 | 0.069 | 0.121 | 0.161 | 0.161 | 0.121 | 0.083 | 0.052 | 0.014 | 0.058 | 0.104 | 0.142 | 0.208 | 0.300 | 0.382 | 0.437 | 0.456 | 0.434 | 0.372 | 0.281 | 0.175 | 0.059 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | |
| 09-10 | 0.046 | 0.083 | 0.106 | 0.106 | 0.083 | 0.052 | 0.014 | 0.058 | 0.104 | 0.142 | 0.208 | 0.300 | 0.382 | 0.437 | 0.456 | 0.434 | 0.372 | 0.281 | 0.175 | 0.059 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | |
| 08-09 | 0.018 | 0.052 | 0.069 | 0.069 | 0.052 | 0.014 | 0.058 | 0.104 | 0.142 | 0.208 | 0.300 | 0.382 | 0.437 | 0.456 | 0.434 | 0.372 | 0.281 | 0.175 | 0.059 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | |
| 07-08 | 0 | 0.014 | 0.018 | 0.018 | 0.014 | 0 | 0.014 | 0.058 | 0.104 | 0.142 | 0.208 | 0.300 | 0.382 | 0.437 | 0.456 | 0.434 | 0.372 | 0.281 | 0.175 | 0.059 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | |
| 06-07 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| 05-06 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| 04-05 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| 03-04 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| 02-03 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| 01-02 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| 00-01 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| Hour | Jan | Feb | Mar | Apr | May | Jun | Jul | Aug | Sep | Oct | Nov | Dec | Jan | Feb | Mar | Apr | May | Jun | Jul | Aug | Sep | Oct | Nov | Dec | Jan | Feb | Mar | Apr | May | Jun | Jul | Aug | Sep | Oct | Nov | Dec | Hour | | |
| Month | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

Tabelle A.2-27

| SouthWest (Azim: 45°) | | Monthly Average (1981-1990) Hourly a. Daily Irradiations | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----------------------|-------|--|-------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|----------|-------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Tilt: 35° | | Global | | | | Direct | | | | [kWh/m²] | | | | Diffus | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Hour | Month | Jan | Feb | Mar | Apr | May | Jun | Jul | Aug | Sep | Oct | Nov | Dec | Jan | Feb | Mar | Apr | May | Jun | Jul | Aug | Sep | Oct | Nov | Dec | | | | | | | | | | | | |
| 00-01 | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | | | | | | | | | | | | |
| 01-02 | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | | | | | | | | | | | | |
| 02-03 | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | | | | | | | | | | | | |
| 03-04 | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | | | | | | | | | | | | |
| 04-05 | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | | | | | | | | | | | | |
| 05-06 | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | | | | | | | | | | | | |
| 06-07 | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | | | | | | | | | | | | |
| 07-08 | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | | | | | | | | | | | | |
| 08-09 | | 0.021 | 0.063 | 0.125 | 0.216 | 0.371 | 0.482 | 0.447 | 0.511 | 0.544 | 0.580 | 0.576 | 0.531 | 0.451 | 0.349 | 0.238 | 0.132 | 0.049 | 0.002 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | | | | | | | | | | | | |
| 09-10 | | 0.076 | 0.143 | 0.216 | 0.316 | 0.414 | 0.493 | 0.532 | 0.605 | 0.601 | 0.563 | 0.524 | 0.474 | 0.359 | 0.259 | 0.154 | 0.075 | 0.030 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | | | | | | | | | | | | | |
| 10-11 | | 0.136 | 0.225 | 0.304 | 0.414 | 0.493 | 0.532 | 0.605 | 0.601 | 0.563 | 0.524 | 0.474 | 0.359 | 0.259 | 0.154 | 0.075 | 0.030 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | | | | | | | | | | | | | |
| 11-12 | | 0.183 | 0.289 | 0.372 | 0.493 | 0.532 | 0.605 | 0.601 | 0.563 | 0.524 | 0.474 | 0.359 | 0.259 | 0.154 | 0.075 | 0.030 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | | | | | | | | | | | | | |
| 12-13 | | 0.202 | 0.318 | 0.403 | 0.524 | 0.563 | 0.605 | 0.601 | 0.563 | 0.524 | 0.474 | 0.359 | 0.259 | 0.154 | 0.075 | 0.030 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | | | | | | | | | | | | | |
| 13-14 | | 0.185 | 0.302 | 0.389 | 0.504 | 0.543 | 0.585 | 0.581 | 0.543 | 0.504 | 0.465 | 0.426 | 0.387 | 0.291 | 0.195 | 0.109 | 0.044 | 0.017 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | | | | | | | | | | | | | |
| 14-15 | | 0.133 | 0.244 | 0.332 | 0.453 | 0.492 | 0.534 | 0.530 | 0.492 | 0.453 | 0.414 | 0.375 | 0.336 | 0.240 | 0.144 | 0.058 | 0.022 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | | | | | | | | | | | | | |
| 15-16 | | 0.054 | 0.154 | 0.242 | 0.363 | 0.402 | 0.444 | 0.440 | 0.402 | 0.363 | 0.324 | 0.285 | 0.246 | 0.150 | 0.054 | 0.018 | 0.006 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | | | | | | | | | | | | | |
| 16-17 | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | | | | | | | | | | | | | |
| 17-18 | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | | | | | | | | | | | | | |
| 18-19 | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | | | | | | | | | | | | | |
| 19-20 | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | | | | | | | | | | | | | |
| 20-21 | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | | | | | | | | | | | | | |
| 21-22 | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | | | | | | | | | | | | | |
| 22-23 | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | | | | | | | | | | | | | |
| 23-24 | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | | | | | | | | | | | | | |
| 00-24 | | 0.990 | 1.800 | 2.626 | 3.960 | 4.958 | 4.696 | 4.894 | 4.354 | 3.272 | 2.116 | 1.114 | 0.676 | 0.482 | 0.900 | 1.171 | 1.856 | 2.329 | 1.888 | 2.161 | 2.008 | 1.599 | 1.042 | 0.527 | 0.303 | 0.496 | 0.876 | 1.415 | 2.039 | 2.541 | 2.720 | 2.644 | 2.272 | 1.622 | 1.044 | 0.573 | 0.365 |

Tabelle A.2-28

| South (Azim: 0°) | | Monthly Average (1981-1990) Hourly a. Daily Irradiations | | | | | | | | | | | | | | | | |
|------------------|-------|--|-------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|----------|-------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|-------|
| Tilt: 35° | | Global | | | | Direct | | | | [kWh/m²] | | | | Diffus | | | | |
| 00-24 | 00-24 | 00-24 | 00-24 | 00-24 | 00-24 | 00-24 | 00-24 | 00-24 | 00-24 | 00-24 | 00-24 | 00-24 | 00-24 | 00-24 | 00-24 | 00-24 | 00-24 | 00-24 |
| Jan | 1.148 | 0.121 | 0.186 | 0.224 | 0.224 | 0.186 | 0.121 | 0.043 | 0 | 0.032 | 0.099 | 0.199 | 0.300 | 0.300 | 0.300 | 0.300 | 0.121 | 0.043 |
| Feb | 2.041 | 0.123 | 0.220 | 0.346 | 0.346 | 0.300 | 0.220 | 0.123 | 0.031 | 0.099 | 0.199 | 0.300 | 0.300 | 0.300 | 0.300 | 0.300 | 0.123 | 0.031 |
| Mar | 2.854 | 0.199 | 0.300 | 0.427 | 0.427 | 0.382 | 0.300 | 0.199 | 0.099 | 0.300 | 0.419 | 0.509 | 0.555 | 0.555 | 0.555 | 0.555 | 0.199 | 0.099 |
| Apr | 4.156 | 0.307 | 0.419 | 0.555 | 0.555 | 0.507 | 0.419 | 0.307 | 0.190 | 0.419 | 0.507 | 0.555 | 0.555 | 0.555 | 0.555 | 0.555 | 0.307 | 0.190 |
| May | 5.050 | 0.256 | 0.377 | 0.489 | 0.489 | 0.445 | 0.377 | 0.256 | 0.154 | 0.377 | 0.445 | 0.516 | 0.554 | 0.554 | 0.554 | 0.554 | 0.256 | 0.154 |
| Jun | 4.735 | 0.250 | 0.352 | 0.445 | 0.445 | 0.400 | 0.352 | 0.250 | 0.151 | 0.352 | 0.400 | 0.472 | 0.516 | 0.516 | 0.516 | 0.516 | 0.250 | 0.151 |
| Jul | 4.949 | 0.257 | 0.369 | 0.451 | 0.451 | 0.406 | 0.369 | 0.257 | 0.149 | 0.369 | 0.406 | 0.472 | 0.516 | 0.516 | 0.516 | 0.516 | 0.257 | 0.149 |
| Aug | 4.506 | 0.218 | 0.335 | 0.446 | 0.446 | 0.400 | 0.335 | 0.218 | 0.110 | 0.335 | 0.400 | 0.472 | 0.516 | 0.516 | 0.516 | 0.516 | 0.218 | 0.110 |
| Sep | 3.516 | 0.141 | 0.254 | 0.364 | 0.364 | 0.318 | 0.254 | 0.141 | 0.045 | 0.254 | 0.318 | 0.364 | 0.364 | 0.364 | 0.364 | 0.364 | 0.141 | 0.045 |
| Oct | 2.366 | 0.057 | 0.154 | 0.263 | 0.263 | 0.217 | 0.154 | 0.057 | 0.002 | 0.154 | 0.217 | 0.263 | 0.263 | 0.263 | 0.263 | 0.263 | 0.057 | 0.002 |
| Nov | 1.278 | 0.003 | 0.058 | 0.136 | 0.136 | 0.100 | 0.058 | 0.003 | 0 | 0.058 | 0.100 | 0.136 | 0.136 | 0.136 | 0.136 | 0.136 | 0.003 | 0 |
| Dec | 0.779 | 0 | 0.017 | 0.078 | 0.132 | 0.132 | 0.078 | 0.017 | 0 | 0.017 | 0.078 | 0.132 | 0.132 | 0.132 | 0.132 | 0.132 | 0 | 0 |
| Jan | 0.612 | 0 | 0.022 | 0.061 | 0.100 | 0.100 | 0.061 | 0.022 | 0 | 0.022 | 0.061 | 0.100 | 0.100 | 0.100 | 0.100 | 0.100 | 0 | 0 |
| Feb | 1.096 | 0.015 | 0.059 | 0.115 | 0.115 | 0.100 | 0.059 | 0.015 | 0 | 0.059 | 0.100 | 0.115 | 0.115 | 0.115 | 0.115 | 0.115 | 0.015 | 0 |
| Mar | 1.354 | 0.033 | 0.084 | 0.142 | 0.142 | 0.123 | 0.084 | 0.033 | 0.004 | 0.084 | 0.123 | 0.142 | 0.142 | 0.142 | 0.142 | 0.142 | 0.033 | 0.004 |
| Apr | 2.014 | 0.073 | 0.140 | 0.209 | 0.209 | 0.186 | 0.140 | 0.073 | 0.002 | 0.140 | 0.186 | 0.209 | 0.209 | 0.209 | 0.209 | 0.209 | 0.073 | 0.002 |
| May | 2.407 | 0.103 | 0.176 | 0.246 | 0.246 | 0.217 | 0.176 | 0.103 | 0.003 | 0.176 | 0.217 | 0.246 | 0.246 | 0.246 | 0.246 | 0.246 | 0.103 | 0.003 |
| Jun | 1.923 | 0.085 | 0.141 | 0.195 | 0.195 | 0.176 | 0.141 | 0.085 | 0.003 | 0.141 | 0.176 | 0.195 | 0.195 | 0.195 | 0.195 | 0.195 | 0.085 | 0.003 |
| Jul | 2.211 | 0.097 | 0.162 | 0.225 | 0.225 | 0.200 | 0.162 | 0.097 | 0.003 | 0.162 | 0.200 | 0.225 | 0.225 | 0.225 | 0.225 | 0.225 | 0.097 | 0.003 |
| Aug | 2.131 | 0.084 | 0.152 | 0.220 | 0.220 | 0.200 | 0.152 | 0.084 | 0.001 | 0.152 | 0.200 | 0.220 | 0.220 | 0.220 | 0.220 | 0.220 | 0.084 | 0.001 |
| Sep | 1.797 | 0.057 | 0.120 | 0.188 | 0.188 | 0.163 | 0.120 | 0.057 | 0 | 0.120 | 0.163 | 0.188 | 0.188 | 0.188 | 0.188 | 0.188 | 0.057 | 0 |
| Oct | 1.245 | 0.024 | 0.072 | 0.131 | 0.131 | 0.110 | 0.072 | 0.024 | 0 | 0.072 | 0.110 | 0.131 | 0.131 | 0.131 | 0.131 | 0.131 | 0.024 | 0 |
| Nov | 0.662 | 0.002 | 0.026 | 0.067 | 0.106 | 0.106 | 0.067 | 0.002 | 0 | 0.026 | 0.067 | 0.106 | 0.106 | 0.106 | 0.106 | 0.106 | 0.002 | 0 |
| Dec | 0.389 | 0 | 0.007 | 0.036 | 0.066 | 0.066 | 0.036 | 0.007 | 0 | 0.007 | 0.036 | 0.066 | 0.066 | 0.066 | 0.066 | 0.066 | 0 | 0 |
| Jan | 0.523 | 0 | 0.021 | 0.068 | 0.098 | 0.098 | 0.068 | 0.021 | 0 | 0.021 | 0.068 | 0.098 | 0.098 | 0.098 | 0.098 | 0.098 | 0 | 0 |
| Feb | 0.921 | 0.016 | 0.063 | 0.103 | 0.132 | 0.132 | 0.103 | 0.063 | 0.016 | 0.063 | 0.103 | 0.132 | 0.132 | 0.132 | 0.132 | 0.132 | 0.016 | 0.016 |
| Mar | 1.460 | 0.064 | 0.113 | 0.154 | 0.184 | 0.184 | 0.154 | 0.064 | 0.015 | 0.113 | 0.154 | 0.184 | 0.184 | 0.184 | 0.184 | 0.184 | 0.064 | 0.015 |
| Apr | 2.077 | 0.113 | 0.162 | 0.204 | 0.234 | 0.234 | 0.204 | 0.113 | 0.014 | 0.162 | 0.204 | 0.234 | 0.234 | 0.234 | 0.234 | 0.234 | 0.113 | 0.014 |
| May | 2.555 | 0.148 | 0.195 | 0.235 | 0.264 | 0.264 | 0.235 | 0.148 | 0.010 | 0.195 | 0.235 | 0.264 | 0.264 | 0.264 | 0.264 | 0.264 | 0.148 | 0.010 |
| Jun | 2.726 | 0.160 | 0.204 | 0.242 | 0.268 | 0.268 | 0.242 | 0.160 | 0.026 | 0.204 | 0.242 | 0.268 | 0.268 | 0.268 | 0.268 | 0.268 | 0.160 | 0.026 |
| Jul | 2.650 | 0.155 | 0.200 | 0.239 | 0.267 | 0.267 | 0.239 | 0.155 | 0.019 | 0.200 | 0.239 | 0.267 | 0.267 | 0.267 | 0.267 | 0.267 | 0.155 | 0.019 |
| Aug | 2.300 | 0.130 | 0.178 | 0.219 | 0.249 | 0.249 | 0.219 | 0.130 | 0.001 | 0.178 | 0.219 | 0.249 | 0.249 | 0.249 | 0.249 | 0.249 | 0.130 | 0.001 |
| Sep | 1.668 | 0.082 | 0.130 | 0.171 | 0.201 | 0.201 | 0.171 | 0.082 | 0 | 0.130 | 0.171 | 0.201 | 0.201 | 0.201 | 0.201 | 0.201 | 0.082 | 0 |
| Oct | 1.092 | 0.032 | 0.080 | 0.120 | 0.149 | 0.149 | 0.120 | 0.032 | 0 | 0.080 | 0.120 | 0.149 | 0.149 | 0.149 | 0.149 | 0.149 | 0.032 | 0 |
| Nov | 0.602 | 0.001 | 0.031 | 0.067 | 0.094 | 0.094 | 0.067 | 0.001 | 0 | 0.031 | 0.067 | 0.094 | 0.094 | 0.094 | 0.094 | 0.094 | 0.001 | 0 |
| Dec | 0.382 | 0 | 0.010 | 0.041 | 0.064 | 0.064 | 0.041 | 0.010 | 0 | 0.010 | 0.041 | 0.064 | 0.064 | 0.064 | 0.064 | 0.064 | 0 | 0 |

Tabelle A.2-29

| SouthEast (Azim: - 45°) | | Monthly Average (1981-1990) Hourly a. Daily Irradiations | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-------------------------|-------|--|-------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|----------|-------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Tilt: 35° | | Global | | | | Direct | | | | [kWh/m²] | | | | Diffus | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Hour | Month | Jan | Feb | Mar | Apr | May | Jun | Jul | Aug | Sep | Oct | Nov | Dec | Jan | Feb | Mar | Apr | May | Jun | Jul | Aug | Sep | Oct | Nov | Dec | | | | | | | | | | | | |
| 00-01 | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | | | | | | | | | | | | |
| 01-02 | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | | | | | | | | | | | | |
| 02-03 | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | | | | | | | | | | | | |
| 03-04 | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | | | | | | | | | | | | |
| 04-05 | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | | | | | | | | | | | | |
| 05-06 | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | | | | | | | | | | | | |
| 06-07 | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | | | | | | | | | | | | |
| 07-08 | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | | | | | | | | | | | | |
| 08-09 | | 0.054 | 0.154 | 0.242 | 0.378 | 0.466 | 0.553 | 0.601 | 0.605 | 0.563 | 0.544 | 0.511 | 0.447 | 0.489 | 0.469 | 0.441 | 0.337 | 0.226 | 0.127 | 0.077 | 0.031 | 0.001 | 0 | 0 | | | | | | | | | | | | | |
| 09-10 | | 0.133 | 0.244 | 0.332 | 0.470 | 0.524 | 0.539 | 0.539 | 0.576 | 0.580 | 0.542 | 0.519 | 0.441 | 0.436 | 0.359 | 0.259 | 0.154 | 0.075 | 0.030 | 0.001 | 0 | 0 | 0 | 0 | | | | | | | | | | | | | |
| 10-11 | | 0.185 | 0.302 | 0.389 | 0.524 | 0.601 | 0.605 | 0.576 | 0.580 | 0.542 | 0.519 | 0.441 | 0.337 | 0.226 | 0.127 | 0.075 | 0.030 | 0.001 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | | | | | | | | | | | | |
| 11-12 | | 0.202 | 0.318 | 0.403 | 0.532 | 0.605 | 0.563 | 0.544 | 0.511 | 0.447 | 0.489 | 0.469 | 0.441 | 0.337 | 0.226 | 0.127 | 0.075 | 0.030 | 0.001 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | | | | | | | | | | | | |
| 12-13 | | 0.183 | 0.289 | 0.372 | 0.493 | 0.414 | 0.376 | 0.259 | 0.150 | 0.096 | 0.051 | 0.010 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | | | | | | | | | | | | |
| 13-14 | | 0.136 | 0.225 | 0.304 | 0.412 | 0.447 | 0.469 | 0.371 | 0.264 | 0.161 | 0.105 | 0.061 | 0.019 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | | | | | | | | | | | | |
| 14-15 | | 0.076 | 0.143 | 0.216 | 0.311 | 0.376 | 0.360 | 0.262 | 0.167 | 0.112 | 0.068 | 0.027 | 0.001 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | | | | | | | | | | | | |
| 15-16 | | 0.021 | 0.063 | 0.104 | 0.125 | 0.058 | 0.014 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | | | | | | | | | | | | |
| 16-17 | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | | | | | | | | | | | | |
| 17-18 | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | | | | | | | | | | | | |
| 18-19 | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | | | | | | | | | | | | |
| 19-20 | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | | | | | | | | | | | | |
| 20-21 | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | | | | | | | | | | | | |
| 21-22 | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | | | | | | | | | | | | |
| 22-23 | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | | | | | | | | | | | | |
| 23-24 | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | | | | | | | | | | | | |
| 00-24 | | 0.990 | 1.800 | 2.626 | 3.961 | 4.958 | 4.696 | 4.894 | 4.354 | 3.272 | 2.116 | 1.114 | 0.676 | 0.482 | 0.900 | 1.171 | 1.856 | 2.329 | 1.888 | 2.161 | 2.008 | 1.599 | 1.042 | 0.527 | 0.303 | 0.496 | 0.876 | 1.415 | 2.039 | 2.541 | 2.720 | 2.644 | 2.272 | 1.622 | 1.044 | 0.573 | 0.365 |

Tabelle A.2-30

| East (Azim: - 90°) | | Monthly Average (1981-1990) Hourly a. Daily Irradiations | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--------------------|-------|--|-------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|----------|-------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|---|
| Tilt: 35° | | Global | | | | Direct | | | | [kWh/m²] | | | | Diffus | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 00-24 | 0.655 | 1.286 | 2.112 | 3.425 | 4.569 | 4.470 | 4.598 | 3.883 | 2.681 | 1.575 | 0.765 | 0.453 | 0.205 | 0.477 | 0.752 | 1.418 | 2.009 | 1.704 | 1.920 | 1.622 | 1.113 | 0.597 | 0.239 | 0.117 | 0.437 | 0.784 | 1.320 | 1.942 | 2.472 | 2.679 | 2.590 | 2.186 | 1.517 | 0.948 | 0.512 | 0.328 | | |
| 23-24 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | |
| 22-23 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| 21-22 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| 20-21 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.001 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| 19-20 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.010 | 0.027 | 0.001 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.010 | 0.026 | 0.001 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| 18-19 | 0 | 0 | 0 | 0.014 | 0.051 | 0.096 | 0.051 | 0.010 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.013 | 0.050 | 0.010 | 0.066 | 0.026 | 0.001 | 0 | 0 | |
| 17-18 | 0 | 0 | 0.014 | 0.058 | 0.104 | 0.059 | 0.096 | 0.051 | 0.010 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.058 | 0.093 | 0.050 | 0.108 | 0.066 | 0.026 | 0.001 | 0 | 0 |
| 16-17 | 0 | 0.018 | 0.052 | 0.099 | 0.058 | 0.104 | 0.059 | 0.051 | 0.010 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.101 | 0.135 | 0.093 | 0.147 | 0.102 | 0.059 | 0.018 | 0 | 0 |
| 15-16 | 0.018 | 0.046 | 0.083 | 0.135 | 0.099 | 0.142 | 0.139 | 0.096 | 0.051 | 0.010 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.096 | 0.136 | 0.101 | 0.175 | 0.147 | 0.102 | 0.059 | 0.018 | 0 |
| 14-15 | 0.046 | 0.069 | 0.121 | 0.203 | 0.135 | 0.208 | 0.142 | 0.139 | 0.096 | 0.051 | 0.010 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.096 | 0.136 | 0.101 | 0.175 | 0.147 | 0.102 | 0.059 | 0.018 | 0 | 0 |
| 13-14 | 0.069 | 0.106 | 0.181 | 0.269 | 0.203 | 0.300 | 0.208 | 0.142 | 0.139 | 0.096 | 0.051 | 0.010 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.096 | 0.136 | 0.101 | 0.175 | 0.147 | 0.102 | 0.059 | 0.018 | 0 | 0 |
| 12-13 | 0.106 | 0.132 | 0.222 | 0.313 | 0.269 | 0.382 | 0.269 | 0.181 | 0.121 | 0.083 | 0.052 | 0.014 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.052 | 0.099 | 0.058 | 0.104 | 0.059 | 0.010 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 11-12 | 0.132 | 0.134 | 0.230 | 0.323 | 0.269 | 0.437 | 0.269 | 0.181 | 0.121 | 0.083 | 0.052 | 0.014 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.052 | 0.099 | 0.058 | 0.104 | 0.059 | 0.010 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 10-11 | 0.134 | 0.104 | 0.201 | 0.294 | 0.230 | 0.456 | 0.230 | 0.134 | 0.083 | 0.052 | 0.014 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.052 | 0.099 | 0.058 | 0.104 | 0.059 | 0.010 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 09-10 | 0.104 | 0.045 | 0.137 | 0.229 | 0.201 | 0.434 | 0.201 | 0.104 | 0.067 | 0.048 | 0.024 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.048 | 0.075 | 0.052 | 0.082 | 0.052 | 0.024 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 08-09 | 0.045 | 0.046 | 0.139 | 0.229 | 0.201 | 0.434 | 0.201 | 0.104 | 0.067 | 0.048 | 0.024 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.048 | 0.075 | 0.052 | 0.082 | 0.052 | 0.024 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 07-08 | 0 | 0.046 | 0.139 | 0.229 | 0.201 | 0.434 | 0.201 | 0.104 | 0.067 | 0.048 | 0.024 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.048 | 0.075 | 0.052 | 0.082 | 0.052 | 0.024 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 06-07 | 0 | 0 | 0.037 | 0.175 | 0.284 | 0.388 | 0.284 | 0.175 | 0.083 | 0.052 | 0.014 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.052 | 0.099 | 0.058 | 0.104 | 0.059 | 0.010 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 05-06 | 0 | 0 | 0 | 0.059 | 0.177 | 0.284 | 0.388 | 0.284 | 0.175 | 0.083 | 0.052 | 0.014 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.052 | 0.099 | 0.058 | 0.104 | 0.059 | 0.010 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 04-05 | 0 | 0 | 0 | 0.059 | 0.177 | 0.284 | 0.388 | 0.284 | 0.175 | 0.083 | 0.052 | 0.014 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.052 | 0.099 | 0.058 | 0.104 | 0.059 | 0.010 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 03-04 | 0 | 0 | 0 | 0.008 | 0.086 | 0.175 | 0.269 | 0.175 | 0.083 | 0.052 | 0.014 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.052 | 0.099 | 0.058 | 0.104 | 0.059 | 0.010 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 02-03 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 01-02 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 00-01 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Hour | Jan | Feb | Mar | Apr | May | Jun | Jul | Aug | Sep | Oct | Nov | Dec | Jan | Feb | Mar | Apr | May | Jun | Jul | Aug | Sep | Oct | Nov | Dec | Jan | Feb | Mar | Apr | May | Jun | Jul | Aug | Sep | Oct | Nov | Dec | Hour | |

Tabelle A.2-31

| NorthEast (Azim: - 135°) | | Monthly Average (1981-1990) Hourly a. Daily Irradiations | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--------------------------|-------|--|-------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|----------|-------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Tilt: 35° | | Global | | | | Direct | | | | [kWh/m²] | | | | Diffus | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 00-24 | 0.426 | 0.839 | 1.574 | 2.738 | 3.930 | 4.061 | 4.077 | 3.220 | 1.999 | 1.063 | 0.508 | 0.316 | 0.009 | 0.096 | 0.306 | 0.859 | 1.506 | 1.386 | 1.513 | 1.091 | 0.549 | 0.166 | 0.019 | 0.001 | 0.404 | 0.719 | 1.227 | 1.813 | 2.337 | 2.589 | 2.475 | 2.054 | 1.399 | 0.868 | 0.474 | 0.306 | | | | | | | | | | | | |
| 23-24 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | | | | | | | | | | |
| 22-23 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | | | | | | | | | |
| 21-22 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | | | | | | | | | |
| 20-21 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | | | | | | | | | |
| 19-20 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | | | | | | | | | |
| 18-19 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | | | | | | | | | |
| 17-18 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | | | | | | | | | |
| 16-17 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | | | | | | | | | |
| 15-16 | 0.018 | 0.046 | 0.052 | 0.014 | 0.099 | 0.058 | 0.014 | 0.059 | 0.014 | 0.051 | 0.010 | 0.068 | 0.027 | 0.001 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | | | | | | | | | |
| 14-15 | 0.046 | 0.066 | 0.083 | 0.132 | 0.099 | 0.058 | 0.014 | 0.059 | 0.014 | 0.051 | 0.010 | 0.068 | 0.027 | 0.001 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | | | | | | | | | |
| 13-14 | 0.066 | 0.077 | 0.105 | 0.153 | 0.132 | 0.099 | 0.058 | 0.014 | 0.059 | 0.014 | 0.051 | 0.010 | 0.068 | 0.027 | 0.001 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | | | | | | | | | |
| 12-13 | 0.077 | 0.117 | 0.179 | 0.232 | 0.232 | 0.232 | 0.232 | 0.232 | 0.232 | 0.232 | 0.232 | 0.232 | 0.232 | 0.232 | 0.232 | 0.232 | 0.232 | 0.232 | 0.232 | 0.232 | 0.232 | 0.232 | 0.232 | 0.232 | 0.232 | 0.232 | 0.232 | 0.232 | 0.232 | 0.232 | 0.232 | 0.232 | 0.232 | 0.232 | 0.232 | 0.232 | 0.232 | | | | | | | | | | | |
| 11-12 | 0.077 | 0.118 | 0.179 | 0.232 | 0.232 | 0.232 | 0.232 | 0.232 | 0.232 | 0.232 | 0.232 | 0.232 | 0.232 | 0.232 | 0.232 | 0.232 | 0.232 | 0.232 | 0.232 | 0.232 | 0.232 | 0.232 | 0.232 | 0.232 | 0.232 | 0.232 | 0.232 | 0.232 | 0.232 | 0.232 | 0.232 | 0.232 | 0.232 | 0.232 | 0.232 | 0.232 | 0.232 | | | | | | | | | | | |
| 10-11 | 0.066 | 0.126 | 0.221 | 0.342 | 0.438 | 0.438 | 0.438 | 0.438 | 0.438 | 0.438 | 0.438 | 0.438 | 0.438 | 0.438 | 0.438 | 0.438 | 0.438 | 0.438 | 0.438 | 0.438 | 0.438 | 0.438 | 0.438 | 0.438 | 0.438 | 0.438 | 0.438 | 0.438 | 0.438 | 0.438 | 0.438 | 0.438 | 0.438 | 0.438 | 0.438 | 0.438 | 0.438 | | | | | | | | | | | |
| 09-10 | 0.052 | 0.116 | 0.207 | 0.322 | 0.430 | 0.430 | 0.430 | 0.430 | 0.430 | 0.430 | 0.430 | 0.430 | 0.430 | 0.430 | 0.430 | 0.430 | 0.430 | 0.430 | 0.430 | 0.430 | 0.430 | 0.430 | 0.430 | 0.430 | 0.430 | 0.430 | 0.430 | 0.430 | 0.430 | 0.430 | 0.430 | 0.430 | 0.430 | 0.430 | 0.430 | 0.430 | 0.430 | | | | | | | | | | | |
| 08-09 | 0.023 | 0.082 | 0.167 | 0.292 | 0.394 | 0.414 | 0.426 | 0.439 | 0.439 | 0.439 | 0.439 | 0.439 | 0.439 | 0.439 | 0.439 | 0.439 | 0.439 | 0.439 | 0.439 | 0.439 | 0.439 | 0.439 | 0.439 | 0.439 | 0.439 | 0.439 | 0.439 | 0.439 | 0.439 | 0.439 | 0.439 | 0.439 | 0.439 | 0.439 | 0.439 | 0.439 | 0.439 | 0.439 | | | | | | | | | | |
| 07-08 | 0 | 0.027 | 0.105 | 0.229 | 0.334 | 0.378 | 0.414 | 0.426 | 0.439 | 0.439 | 0.439 | 0.439 | 0.439 | 0.439 | 0.439 | 0.439 | 0.439 | 0.439 | 0.439 | 0.439 | 0.439 | 0.439 | 0.439 | 0.439 | 0.439 | 0.439 | 0.439 | 0.439 | 0.439 | 0.439 | 0.439 | 0.439 | 0.439 | 0.439 | 0.439 | 0.439 | 0.439 | 0.439 | | | | | | | | | | |
| 06-07 | 0 | 0 | 0.029 | 0.148 | 0.256 | 0.322 | 0.378 | 0.414 | 0.426 | 0.439 | 0.439 | 0.439 | 0.439 | 0.439 | 0.439 | 0.439 | 0.439 | 0.439 | 0.439 | 0.439 | 0.439 | 0.439 | 0.439 | 0.439 | 0.439 | 0.439 | 0.439 | 0.439 | 0.439 | 0.439 | 0.439 | 0.439 | 0.439 | 0.439 | 0.439 | 0.439 | 0.439 | 0.439 | | | | | | | | | | |
| 05-06 | 0 | 0 | 0 | 0.052 | 0.170 | 0.251 | 0.322 | 0.378 | 0.414 | 0.426 | 0.439 | 0.439 | 0.439 | 0.439 | 0.439 | 0.439 | 0.439 | 0.439 | 0.439 | 0.439 | 0.439 | 0.439 | 0.439 | 0.439 | 0.439 | 0.439 | 0.439 | 0.439 | 0.439 | 0.439 | 0.439 | 0.439 | 0.439 | 0.439 | 0.439 | 0.439 | 0.439 | 0.439 | | | | | | | | | | |
| 04-05 | 0 | 0 | 0 | 0.062 | 0.173 | 0.251 | 0.322 | 0.378 | 0.414 | 0.426 | 0.439 | 0.439 | 0.439 | 0.439 | 0.439 | 0.439 | 0.439 | 0.439 | 0.439 | 0.439 | 0.439 | 0.439 | 0.439 | 0.439 | 0.439 | 0.439 | 0.439 | 0.439 | 0.439 | 0.439 | 0.439 | 0.439 | 0.439 | 0.439 | 0.439 | 0.439 | 0.439 | 0.439 | | | | | | | | | | |
| 03-04 | 0 | 0 | 0 | 0.009 | 0.092 | 0.180 | 0.261 | 0.336 | 0.394 | 0.426 | 0.439 | 0.439 | 0.439 | 0.439 | 0.439 | 0.439 | 0.439 | 0.439 | 0.439 | 0.439 | 0.439 | 0.439 | 0.439 | 0.439 | 0.439 | 0.439 | 0.439 | 0.439 | 0.439 | 0.439 | 0.439 | 0.439 | 0.439 | 0.439 | 0.439 | 0.439 | 0.439 | 0.439 | | | | | | | | | | |
| 02-03 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | | | | | | | | | |
| 01-02 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | | | | | | | | |
| 00-01 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | | | | | | | | |
| Hour | Jan | Feb | Mar | Apr | May | Jun | Jul | Aug | Sep | Oct | Nov | Dec | Jan | Feb | Mar | Apr | May | Jun | Jul | Aug | Sep | Oct | Nov | Dec | Jan | Feb | Mar | Apr | May | Jun | Jul | Aug | Sep | Oct | Nov | Dec | Jan | Feb | Mar | Apr | May | Jun | Jul | Aug | Sep | Oct | Nov | Dec |

Tabelle A.2-32

| North (Azim: 180°) | | Monthly Average Hourly a. Daily Clear Sky Irradiations | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--------------------|-------|--|-------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|----------|-------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|---|
| Tilt: 35° | | Global | | | | Direct | | | | [kWh/m²] | | | | Diffus | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 00-24 | 0.347 | 0.522 | 0.677 | 2.579 | 4.594 | 5.791 | 5.264 | 3.469 | 1.227 | 0.659 | 0.393 | 0.302 | 0.000 | 0.000 | 0.012 | 1.660 | 3.251 | 4.269 | 3.818 | 2.339 | 0.531 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.324 | 0.480 | 0.593 | 0.814 | 1.214 | 1.380 | 1.310 | 1.016 | 0.614 | 0.609 | 0.366 | 0.283 | | |
| 23-24 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | |
| 22-23 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| 21-22 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| 20-21 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| 19-20 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| 18-19 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| 17-18 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| 16-17 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| 15-16 | 0.023 | 0.041 | 0.052 | 0.068 | 0.073 | 0.073 | 0.068 | 0.058 | 0.041 | 0.023 | 0.041 | 0.052 | 0.068 | 0.073 | 0.073 | 0.068 | 0.058 | 0.041 | 0.023 | 0.041 | 0.052 | 0.068 | 0.073 | 0.073 | 0.068 | 0.058 | 0.041 | 0.023 | 0.041 | 0.052 | 0.068 | 0.073 | 0.073 | 0.068 | 0.058 | 0.041 | 0.023 | |
| 14-15 | 0.041 | 0.058 | 0.068 | 0.073 | 0.073 | 0.068 | 0.058 | 0.041 | 0.023 | 0.041 | 0.058 | 0.068 | 0.073 | 0.073 | 0.068 | 0.058 | 0.041 | 0.023 | 0.041 | 0.058 | 0.068 | 0.073 | 0.073 | 0.068 | 0.058 | 0.041 | 0.023 | 0.041 | 0.058 | 0.068 | 0.073 | 0.073 | 0.068 | 0.058 | 0.041 | 0.023 | 0.041 | |
| 13-14 | 0.052 | 0.068 | 0.073 | 0.073 | 0.068 | 0.058 | 0.041 | 0.023 | 0.041 | 0.052 | 0.068 | 0.073 | 0.073 | 0.068 | 0.058 | 0.041 | 0.023 | 0.041 | 0.052 | 0.068 | 0.073 | 0.073 | 0.068 | 0.058 | 0.041 | 0.023 | 0.041 | 0.052 | 0.068 | 0.073 | 0.073 | 0.068 | 0.058 | 0.041 | 0.023 | 0.041 | | |
| 12-13 | 0.058 | 0.073 | 0.073 | 0.068 | 0.058 | 0.041 | 0.023 | 0.041 | 0.052 | 0.068 | 0.073 | 0.073 | 0.068 | 0.058 | 0.041 | 0.023 | 0.041 | 0.052 | 0.068 | 0.073 | 0.073 | 0.068 | 0.058 | 0.041 | 0.023 | 0.041 | 0.052 | 0.068 | 0.073 | 0.073 | 0.068 | 0.058 | 0.041 | 0.023 | 0.041 | 0.052 | 0.068 | |
| 11-12 | 0.058 | 0.068 | 0.073 | 0.073 | 0.068 | 0.058 | 0.041 | 0.023 | 0.041 | 0.052 | 0.068 | 0.073 | 0.073 | 0.068 | 0.058 | 0.041 | 0.023 | 0.041 | 0.052 | 0.068 | 0.073 | 0.073 | 0.068 | 0.058 | 0.041 | 0.023 | 0.041 | 0.052 | 0.068 | 0.073 | 0.073 | 0.068 | 0.058 | 0.041 | 0.023 | 0.041 | 0.052 | |
| 10-11 | 0.052 | 0.068 | 0.073 | 0.073 | 0.068 | 0.058 | 0.041 | 0.023 | 0.041 | 0.052 | 0.068 | 0.073 | 0.073 | 0.068 | 0.058 | 0.041 | 0.023 | 0.041 | 0.052 | 0.068 | 0.073 | 0.073 | 0.068 | 0.058 | 0.041 | 0.023 | 0.041 | 0.052 | 0.068 | 0.073 | 0.073 | 0.068 | 0.058 | 0.041 | 0.023 | 0.041 | 0.052 | |
| 09-10 | 0.041 | 0.058 | 0.068 | 0.073 | 0.073 | 0.068 | 0.058 | 0.041 | 0.023 | 0.041 | 0.052 | 0.068 | 0.073 | 0.073 | 0.068 | 0.058 | 0.041 | 0.023 | 0.041 | 0.052 | 0.068 | 0.073 | 0.073 | 0.068 | 0.058 | 0.041 | 0.023 | 0.041 | 0.052 | 0.068 | 0.073 | 0.073 | 0.068 | 0.058 | 0.041 | 0.023 | 0.041 | |
| 08-09 | 0.023 | 0.041 | 0.052 | 0.068 | 0.073 | 0.073 | 0.068 | 0.058 | 0.041 | 0.023 | 0.041 | 0.052 | 0.068 | 0.073 | 0.073 | 0.068 | 0.058 | 0.041 | 0.023 | 0.041 | 0.052 | 0.068 | 0.073 | 0.073 | 0.068 | 0.058 | 0.041 | 0.023 | 0.041 | 0.052 | 0.068 | 0.073 | 0.073 | 0.068 | 0.058 | 0.041 | 0.023 | |
| 07-08 | 0 | 0.019 | 0.049 | 0.140 | 0.180 | 0.208 | 0.228 | 0.241 | 0.247 | 0.247 | 0.242 | 0.230 | 0.211 | 0.183 | 0.142 | 0.040 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| 06-07 | 0 | 0 | 0.019 | 0.049 | 0.140 | 0.180 | 0.208 | 0.228 | 0.241 | 0.247 | 0.247 | 0.242 | 0.230 | 0.211 | 0.183 | 0.142 | 0.040 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| 05-06 | 0 | 0 | 0 | 0.040 | 0.203 | 0.270 | 0.314 | 0.346 | 0.368 | 0.383 | 0.391 | 0.391 | 0.384 | 0.370 | 0.348 | 0.316 | 0.272 | 0.205 | 0.016 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| 04-05 | 0 | 0 | 0 | 0.016 | 0.274 | 0.335 | 0.378 | 0.411 | 0.435 | 0.450 | 0.458 | 0.451 | 0.436 | 0.413 | 0.381 | 0.337 | 0.276 | 0.149 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| 03-04 | 0 | 0 | 0 | 0.084 | 0.245 | 0.307 | 0.351 | 0.383 | 0.406 | 0.421 | 0.429 | 0.429 | 0.422 | 0.408 | 0.385 | 0.353 | 0.309 | 0.247 | 0.084 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| 02-03 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.114 | 0.197 | 0.240 | 0.270 | 0.291 | 0.305 | 0.311 | 0.312 | 0.306 | 0.293 | 0.272 | 0.242 | 0.199 | 0.116 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 01-02 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.044 | 0.080 | 0.103 | 0.119 | 0.129 | 0.134 | 0.135 | 0.130 | 0.121 | 0.105 | 0.082 | 0.045 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 00-01 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.031 | 0.056 | 0.073 | 0.083 | 0.087 | 0.087 | 0.083 | 0.073 | 0.056 | 0.031 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Hour | Jan | Feb | Mar | Apr | May | Jun | Jul | Aug | Sep | Oct | Nov | Dec | Jan | Feb | Mar | Apr | May | Jun | Jul | Aug | Sep | Oct | Nov | Dec | Jan | Feb | Mar | Apr | May | Jun | Jul | Aug | Sep | Oct | Nov | Dec | Hour | |
| Month | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

Tabelle A.2-34

| West (Azim: 90°) | | Monthly Average Hourly a. Daily Clear Sky Irradiations | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|------------------|-------|--|-------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|----------|-------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Tilt: 35° | | Global | | | | Direct | | | | [kWh/m²] | | | | Diffus | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Hour | Month | Jan | Feb | Mar | Apr | May | Jun | Jul | Aug | Sep | Oct | Nov | Dec | Jan | Feb | Mar | Apr | May | Jun | Jul | Aug | Sep | Oct | Nov | Dec | | | | | | | | | | | | |
| 00-01 | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | | | | | | | | | | | | |
| 01-02 | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | | | | | | | | | | | | |
| 02-03 | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | | | | | | | | | | | | |
| 03-04 | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | | | | | | | | | | | | |
| 04-05 | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.016 | 0.032 | 0.026 | 0.034 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.016 | 0.031 | 0.025 | 0 | 0 | | | | | | | | | | | | | |
| 05-06 | | 0 | 0 | 0 | 0.020 | 0.050 | 0.062 | 0.058 | 0.034 | 0.034 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.019 | 0.048 | 0.033 | 0 | 0 | | | | | | | | | | | | | |
| 06-07 | | 0 | 0 | 0.019 | 0.052 | 0.078 | 0.087 | 0.083 | 0.066 | 0.064 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.019 | 0.049 | 0.062 | 0 | 0 | | | | | | | | | | | | | |
| 07-08 | | 0 | 0.019 | 0.049 | 0.077 | 0.098 | 0.098 | 0.101 | 0.089 | 0.064 | 0.031 | 0.004 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.018 | 0.046 | 0.083 | 0 | 0 | | | | | | | | | | | | | |
| 08-09 | | 0.023 | 0.042 | 0.070 | 0.085 | 0.127 | 0.162 | 0.144 | 0.103 | 0.085 | 0.056 | 0.028 | 0.017 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.022 | 0.040 | 0.066 | 0.030 | 0.004 | | | | | | | | | | | | | |
| 09-10 | | 0.041 | 0.058 | 0.091 | 0.190 | 0.282 | 0.324 | 0.306 | 0.232 | 0.125 | 0.071 | 0.046 | 0.035 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.022 | 0.038 | 0.064 | 0.033 | 0.043 | | | | | | | | | | | | | |
| 10-11 | | 0.058 | 0.116 | 0.243 | 0.368 | 0.452 | 0.491 | 0.473 | 0.402 | 0.288 | 0.159 | 0.070 | 0.049 | 0.013 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.022 | 0.042 | 0.063 | 0.030 | 0.040 | | | | | | | | | | | | | |
| 11-12 | | 0.160 | 0.269 | 0.408 | 0.534 | 0.609 | 0.645 | 0.628 | 0.562 | 0.447 | 0.313 | 0.187 | 0.133 | 0.105 | 0.193 | 0.308 | 0.436 | 0.511 | 0.625 | 0.694 | 0.710 | 0.674 | 0.629 | | | | | | | | | | | | | | |
| 12-13 | | 0.262 | 0.392 | 0.543 | 0.669 | 0.737 | 0.770 | 0.753 | 0.691 | 0.576 | 0.436 | 0.294 | 0.232 | 0.193 | 0.308 | 0.436 | 0.511 | 0.623 | 0.694 | 0.710 | 0.674 | 0.629 | 0.584 | | | | | | | | | | | | | | |
| 13-14 | | 0.319 | 0.463 | 0.630 | 0.757 | 0.819 | 0.851 | 0.835 | 0.774 | 0.659 | 0.505 | 0.355 | 0.278 | 0.244 | 0.369 | 0.511 | 0.623 | 0.694 | 0.710 | 0.674 | 0.629 | 0.584 | 0.539 | | | | | | | | | | | | | | |
| 14-15 | | 0.319 | 0.467 | 0.658 | 0.787 | 0.848 | 0.880 | 0.864 | 0.802 | 0.685 | 0.505 | 0.356 | 0.256 | 0.244 | 0.371 | 0.533 | 0.643 | 0.694 | 0.710 | 0.674 | 0.629 | 0.584 | 0.539 | | | | | | | | | | | | | | |
| 15-16 | | 0.229 | 0.403 | 0.620 | 0.754 | 0.818 | 0.853 | 0.836 | 0.771 | 0.647 | 0.435 | 0.282 | 0.136 | 0.182 | 0.315 | 0.496 | 0.607 | 0.657 | 0.691 | 0.674 | 0.629 | 0.584 | 0.539 | | | | | | | | | | | | | | |
| 16-17 | | 0 | 0.211 | 0.504 | 0.659 | 0.732 | 0.771 | 0.753 | 0.680 | 0.542 | 0.395 | 0.213 | 0 | 0.168 | 0.394 | 0.519 | 0.607 | 0.657 | 0.691 | 0.674 | 0.629 | 0.584 | 0.539 | | | | | | | | | | | | | | |
| 17-18 | | 0 | 0 | 0.134 | 0.496 | 0.709 | 0.842 | 0.921 | 0.944 | 0.809 | 0.594 | 0.403 | 0 | 0.099 | 0.379 | 0.519 | 0.607 | 0.657 | 0.691 | 0.674 | 0.629 | 0.584 | 0.539 | | | | | | | | | | | | | | |
| 18-19 | | 0 | 0 | 0 | 0.109 | 0.402 | 0.642 | 0.844 | 0.926 | 0.766 | 0.542 | 0.395 | 0 | 0 | 0.394 | 0.519 | 0.607 | 0.657 | 0.691 | 0.674 | 0.629 | 0.584 | 0.539 | | | | | | | | | | | | | | |
| 19-20 | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.016 | 0.211 | 0.210 | 0.276 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | | | | | | | | | | | | | |
| 20-21 | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | | | | | | | | | | | | | |
| 21-22 | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | | | | | | | | | | | | | |
| 22-23 | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | | | | | | | | | | | | | |
| 23-24 | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | | | | | | | | | | | | | |
| 00-24 | | 1.411 | 2.441 | 3.969 | 5.556 | 6.677 | 7.351 | 7.043 | 6.015 | 4.460 | 2.807 | 1.634 | 1.136 | 0.980 | 1.793 | 2.980 | 4.216 | 5.030 | 5.600 | 5.335 | 4.505 | 3.273 | 2.003 | 1.146 | 0.764 | 0.408 | 0.606 | 0.916 | 1.235 | 1.518 | 1.608 | 1.572 | 1.396 | 1.105 | 0.754 | 0.460 | 0.353 |

Tabelle A.2-36

| SouthWest (Azim: 45°) | | Monthly Average Hourly a. Daily Clear Sky Irradiations | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----------------------|-------|--|-------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|----------|-------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-----|--|
| Tilt: 35° | | Global | | | | Direct | | | | [kWh/m²] | | | | Diffus | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 00-24 | 2.816 | 4.107 | 5.650 | 6.881 | 7.536 | 7.896 | 7.723 | 7.086 | 5.942 | 4.410 | 3.110 | 2.427 | 2.206 | 3.275 | 4.498 | 5.438 | 5.851 | 6.152 | 5.998 | 5.508 | 4.613 | 3.422 | 2.440 | 1.882 | 0.587 | 0.790 | 1.080 | 1.338 | 1.556 | 1.602 | 1.588 | 1.465 | 1.247 | 0.939 | 0.643 | 0.526 | | | |
| 23-24 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | | |
| 22-23 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | |
| 21-22 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | |
| 20-21 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | |
| 19-20 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.016 | 0.097 | 0.060 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.055 | 0.029 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.016 | 0.040 | 0.030 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | |
| 18-19 | 0 | 0 | 0 | 0.074 | 0.255 | 0.300 | 0.097 | 0.060 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.208 | 0.194 | 0.119 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.027 | 0.079 | 0.089 | 0.040 | 0.085 | 0.030 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | |
| 17-18 | 0 | 0 | 0.115 | 0.394 | 0.462 | 0.494 | 0.300 | 0.097 | 0.060 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.082 | 0.294 | 0.341 | 0.174 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.097 | 0.117 | 0.120 | 0.089 | 0.055 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | |
| 16-17 | 0 | 0.295 | 0.476 | 0.677 | 0.883 | 0.903 | 0.801 | 0.649 | 0.462 | 0.255 | 0.300 | 0.097 | 0.060 | 0 | 0.178 | 0.623 | 0.474 | 0.294 | 0.341 | 0.174 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.032 | 0.105 | 0.126 | 0.097 | 0.079 | 0.040 | 0.085 | 0.030 | 0 | 0 | 0 | 0 | | |
| 15-16 | 0.461 | 0.617 | 0.796 | 0.983 | 1.166 | 1.338 | 1.500 | 1.652 | 1.794 | 1.926 | 2.048 | 2.160 | 2.262 | 2.354 | 2.436 | 2.508 | 2.570 | 2.622 | 2.664 | 2.706 | 2.748 | 2.790 | 2.832 | 2.874 | 2.916 | 2.958 | 2.999 | 3.041 | 3.083 | 3.125 | 3.167 | 3.209 | 3.251 | 3.293 | 3.335 | 3.377 | 3.419 | | |
| 14-15 | 0.531 | 0.692 | 0.844 | 0.997 | 1.150 | 1.303 | 1.456 | 1.609 | 1.762 | 1.915 | 2.068 | 2.221 | 2.374 | 2.527 | 2.680 | 2.833 | 2.986 | 3.139 | 3.292 | 3.445 | 3.598 | 3.751 | 3.904 | 4.057 | 4.210 | 4.363 | 4.516 | 4.669 | 4.822 | 4.975 | 5.128 | 5.281 | 5.434 | 5.587 | 5.740 | 5.893 | | | |
| 13-14 | 0.529 | 0.685 | 0.818 | 0.944 | 1.061 | 1.169 | 1.268 | 1.358 | 1.439 | 1.511 | 1.574 | 1.628 | 1.673 | 1.709 | 1.736 | 1.754 | 1.762 | 1.760 | 1.748 | 1.726 | 1.694 | 1.652 | 1.600 | 1.548 | 1.496 | 1.444 | 1.392 | 1.340 | 1.288 | 1.236 | 1.184 | 1.132 | 1.080 | 1.028 | 0.976 | 0.924 | | | |
| 12-13 | 0.457 | 0.598 | 0.723 | 0.827 | 0.917 | 0.994 | 1.058 | 1.112 | 1.157 | 1.193 | 1.220 | 1.238 | 1.247 | 1.247 | 1.236 | 1.215 | 1.184 | 1.143 | 1.092 | 1.041 | 0.990 | 0.939 | 0.888 | 0.837 | 0.786 | 0.735 | 0.684 | 0.633 | 0.582 | 0.531 | 0.480 | 0.429 | 0.378 | 0.327 | 0.276 | 0.225 | | | |
| 11-12 | 0.330 | 0.447 | 0.570 | 0.652 | 0.703 | 0.739 | 0.761 | 0.769 | 0.764 | 0.747 | 0.719 | 0.681 | 0.634 | 0.587 | 0.540 | 0.493 | 0.446 | 0.399 | 0.352 | 0.305 | 0.258 | 0.211 | 0.164 | 0.117 | 0.070 | 0.023 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | | | |
| 10-11 | 0.176 | 0.263 | 0.378 | 0.460 | 0.503 | 0.523 | 0.531 | 0.527 | 0.511 | 0.484 | 0.447 | 0.400 | 0.353 | 0.306 | 0.259 | 0.212 | 0.165 | 0.118 | 0.071 | 0.024 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | | | |
| 09-10 | 0.036 | 0.086 | 0.171 | 0.252 | 0.306 | 0.331 | 0.340 | 0.336 | 0.319 | 0.292 | 0.255 | 0.208 | 0.161 | 0.114 | 0.067 | 0.020 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | | | |
| 08-09 | 0 | 0.019 | 0.048 | 0.086 | 0.124 | 0.142 | 0.137 | 0.120 | 0.093 | 0.056 | 0.019 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | | | |
| 07-08 | 0 | 0 | 0.019 | 0.052 | 0.078 | 0.087 | 0.083 | 0.066 | 0.029 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | | | |
| 06-07 | 0 | 0 | 0 | 0.020 | 0.050 | 0.062 | 0.058 | 0.034 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | | | |
| 05-06 | 0 | 0 | 0 | 0.016 | 0.032 | 0.032 | 0.026 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | | | |
| 04-05 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | |
| 03-04 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| 02-03 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| 01-02 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| 00-01 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| Hour | Jan | Feb | Mar | Apr | May | Jun | Jul | Aug | Sep | Oct | Nov | Dec | Jan | Feb | Mar | Apr | May | Jun | Jul | Aug | Sep | Oct | Nov | Dec | Jan | Feb | Mar | Apr | May | Jun | Jul | Aug | Sep | Oct | Nov | Dec | Jan | Feb | |
| Month | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

Tabelle A.2-37

| South (Azim: 0°) | | Monthly Average Hourly a. Daily Clear Sky Irradiations | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|------------------|-------|--|-------|-------|-------|--------|-------|-------|--------|----------|-------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Tilt: 35° | | Global | | | | Direct | | | | [kWh/m²] | | | | Diffus | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Hour | Month | Jan | Feb | Mar | Apr | May | Jun | Jul | Aug | Sep | Oct | Nov | Dec | Jan | Feb | Mar | Apr | May | Jun | Jul | Aug | Sep | Oct | Nov | Dec | | | | | | | | | | | | |
| 00-01 | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | | | | | | | | | | | | |
| 01-02 | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | | | | | | | | | | | | |
| 02-03 | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | | | | | | | | | | | | |
| 03-04 | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | | | | | | | | | | | | |
| 04-05 | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.016 | 0.032 | 0.026 | 0.0036 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.016 | 0.031 | 0.025 | 0 | 0 | 0 | 0 | | | | | | | | | | | | | |
| 05-06 | | 0 | 0 | 0 | 0.020 | 0.055 | 0.070 | 0.063 | 0.036 | 0.086 | 0.167 | 0.368 | 0.567 | 0.742 | 0.886 | 0.940 | 0.940 | 0.940 | 0.940 | 0.940 | 0.940 | 0.940 | 0.940 | 0.940 | | | | | | | | | | | | | |
| 06-07 | | 0 | 0 | 0.044 | 0.145 | 0.196 | 0.219 | 0.209 | 0.167 | 0.296 | 0.368 | 0.404 | 0.435 | 0.487 | 0.577 | 0.650 | 0.732 | 0.816 | 0.900 | 0.984 | 1.068 | 1.152 | 1.236 | | | | | | | | | | | | | | |
| 07-08 | | 0 | 0.125 | 0.273 | 0.354 | 0.394 | 0.413 | 0.404 | 0.368 | 0.296 | 0.234 | 0.186 | 0.151 | 0.116 | 0.081 | 0.046 | 0.011 | 0.003 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | | | | | | | | | | | | | | |
| 08-09 | | 0.212 | 0.344 | 0.491 | 0.564 | 0.589 | 0.603 | 0.595 | 0.567 | 0.502 | 0.435 | 0.368 | 0.301 | 0.234 | 0.167 | 0.100 | 0.033 | 0.006 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | | | | | | | | | | | | | | |
| 09-10 | | 0.402 | 0.533 | 0.680 | 0.747 | 0.761 | 0.769 | 0.762 | 0.742 | 0.683 | 0.616 | 0.550 | 0.483 | 0.416 | 0.350 | 0.283 | 0.216 | 0.150 | 0.083 | 0.016 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | | | | | | | | | | | | | | |
| 10-11 | | 0.535 | 0.685 | 0.819 | 0.883 | 0.887 | 0.891 | 0.886 | 0.871 | 0.817 | 0.750 | 0.683 | 0.616 | 0.550 | 0.483 | 0.416 | 0.350 | 0.283 | 0.216 | 0.150 | 0.083 | 0.016 | 0.001 | | | | | | | | | | | | | | |
| 11-12 | | 0.610 | 0.770 | 0.893 | 0.956 | 0.955 | 0.956 | 0.952 | 0.940 | 0.888 | 0.821 | 0.754 | 0.687 | 0.620 | 0.553 | 0.486 | 0.419 | 0.352 | 0.285 | 0.218 | 0.151 | 0.084 | 0.017 | | | | | | | | | | | | | | |
| 12-13 | | 0.610 | 0.770 | 0.893 | 0.956 | 0.955 | 0.956 | 0.952 | 0.940 | 0.888 | 0.821 | 0.754 | 0.687 | 0.620 | 0.553 | 0.486 | 0.419 | 0.352 | 0.285 | 0.218 | 0.151 | 0.084 | 0.017 | | | | | | | | | | | | | | |
| 13-14 | | 0.535 | 0.685 | 0.819 | 0.883 | 0.887 | 0.891 | 0.886 | 0.871 | 0.817 | 0.750 | 0.683 | 0.616 | 0.550 | 0.483 | 0.416 | 0.350 | 0.283 | 0.216 | 0.150 | 0.083 | 0.016 | 0.001 | | | | | | | | | | | | | | |
| 14-15 | | 0.402 | 0.533 | 0.680 | 0.747 | 0.761 | 0.769 | 0.762 | 0.742 | 0.683 | 0.616 | 0.550 | 0.483 | 0.416 | 0.350 | 0.283 | 0.216 | 0.150 | 0.083 | 0.016 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | | | | | | | | | | | | | | |
| 15-16 | | 0.212 | 0.344 | 0.491 | 0.564 | 0.589 | 0.603 | 0.595 | 0.567 | 0.502 | 0.435 | 0.368 | 0.301 | 0.234 | 0.167 | 0.100 | 0.033 | 0.006 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | | | | | | | | | | | | | | |
| 16-17 | | 0 | 0.124 | 0.273 | 0.354 | 0.394 | 0.413 | 0.404 | 0.368 | 0.296 | 0.234 | 0.186 | 0.151 | 0.116 | 0.081 | 0.046 | 0.011 | 0.003 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | | | | | | | | | | | | | | |
| 17-18 | | 0 | 0.044 | 0.145 | 0.196 | 0.219 | 0.209 | 0.167 | 0.134 | 0.086 | 0.116 | 0.151 | 0.186 | 0.221 | 0.256 | 0.291 | 0.326 | 0.361 | 0.396 | 0.431 | 0.466 | 0.501 | 0.536 | | | | | | | | | | | | | | |
| 18-19 | | 0 | 0 | 0 | 0.020 | 0.055 | 0.070 | 0.063 | 0.036 | 0.086 | 0.167 | 0.301 | 0.435 | 0.569 | 0.703 | 0.837 | 0.971 | 1.105 | 1.239 | 1.373 | 1.507 | 1.641 | 1.775 | | | | | | | | | | | | | | |
| 19-20 | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.016 | 0.032 | 0.026 | 0.0036 | 0.086 | 0.167 | 0.301 | 0.435 | 0.569 | 0.703 | 0.837 | 0.971 | 1.105 | 1.239 | 1.373 | 1.507 | 1.641 | 1.775 | | | | | | | | | | | | | | |
| 20-21 | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | | | | | | | | | | | | | |
| 21-22 | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | | | | | | | | | | | | | |
| 22-23 | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | | | | | | | | | | | | | |
| 23-24 | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | | | | | | | | | | | | | |
| 00-24 | | 3.519 | 4.913 | 6.401 | 7.339 | 7.706 | 7.905 | 7.794 | 7.383 | 6.544 | 5.169 | 3.844 | 3.065 | 2.808 | 3.980 | 5.171 | 5.880 | 6.051 | 6.214 | 6.119 | 5.812 | 5.160 | 4.082 | 3.072 | 2.426 | 0.687 | 0.891 | 1.158 | 1.355 | 1.526 | 1.549 | 1.539 | 1.457 | 1.302 | 1.037 | 0.745 | 0.621 |

Tabelle A.2-38

| SouthEast (Azim: - 45°) | | Monthly Average Hourly a. Daily Clear Sky Irradiations | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-------------------------|-------|--|-------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|----------|-------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Tilt: 35° | | Global | | | | Direct | | | | [kWh/m²] | | | | Diffus | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 00-24 | 2.816 | 4.108 | 5.650 | 6.881 | 7.536 | 7.896 | 7.723 | 7.086 | 5.942 | 4.410 | 3.110 | 2.427 | 2.206 | 3.275 | 4.498 | 5.438 | 5.851 | 6.152 | 5.998 | 5.508 | 4.613 | 3.422 | 2.440 | 1.882 | 0.587 | 0.791 | 1.080 | 1.338 | 1.556 | 1.602 | 1.588 | 1.465 | 1.247 | 0.939 | 0.643 | 0.527 | | | | | | | | | | | | |
| 23-24 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | | | | | | | | | | | |
| 22-23 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | | | | | | | | | | |
| 21-22 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | | | | | | | | | | |
| 20-21 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | | | | | | | | | | |
| 19-20 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | | | | | | | | | | |
| 18-19 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | | | | | | | | | | |
| 17-18 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | | | | | | | | | | |
| 16-17 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | | | | | | | | | | |
| 15-16 | 0.036 | 0.176 | 0.330 | 0.457 | 0.529 | 0.531 | 0.461 | 0.295 | 0.025 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | | | | | | | | | | |
| 14-15 | 0.036 | 0.176 | 0.330 | 0.457 | 0.529 | 0.531 | 0.461 | 0.295 | 0.025 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | | | | | | | | | |
| 13-14 | 0.176 | 0.330 | 0.457 | 0.529 | 0.531 | 0.461 | 0.295 | 0.025 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | | | | | | | | | |
| 12-13 | 0.330 | 0.457 | 0.529 | 0.531 | 0.461 | 0.295 | 0.025 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | | | | | | | | | |
| 11-12 | 0.457 | 0.529 | 0.531 | 0.461 | 0.295 | 0.025 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | | | | | | | | | |
| 10-11 | 0.529 | 0.531 | 0.461 | 0.295 | 0.025 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | | | | | | | | | |
| 09-10 | 0.531 | 0.461 | 0.295 | 0.025 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | | | | | | | | | |
| 08-09 | 0.461 | 0.295 | 0.025 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | | | | | | | | | |
| 07-08 | 0.295 | 0.025 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | | | | | | | | | |
| 06-07 | 0.025 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | | | | | | | | | |
| 05-06 | 0.025 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | | | | | | | | | |
| 04-05 | 0.025 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | | | | | | | | | |
| 03-04 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | | | | | | | | | |
| 02-03 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | | | | | | | | | |
| 01-02 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | | | | | | | | | |
| 00-01 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | | | | | | | | | |
| Hour | Jan | Feb | Mar | Apr | May | Jun | Jul | Aug | Sep | Oct | Nov | Dec | Jan | Feb | Mar | Apr | May | Jun | Jul | Aug | Sep | Oct | Nov | Dec | Jan | Feb | Mar | Apr | May | Jun | Jul | Aug | Sep | Oct | Nov | Dec | Jan | Feb | Mar | Apr | May | Jun | Jul | Aug | Sep | Oct | Nov | Dec |

Tabelle A.2-39

| NorthEast (Azim: - 135°) | | Monthly Average Hourly a. Daily Clear Sky Irradiations | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--------------------------|-------|--|-------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|----------|-------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Tilt: 35° | | Global | | | | Direct | | | | [kWh/m²] | | | | Diffus | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 00-24 | 0.392 | 0.900 | 2.065 | 3.722 | 5.214 | 6.153 | 5.734 | 4.363 | 2.631 | 1.218 | 0.492 | 0.311 | 0.058 | 0.395 | 1.271 | 2.582 | 3.757 | 4.571 | 4.203 | 3.053 | 1.649 | 0.583 | 0.111 | 0.016 | 0.311 | 0.463 | 0.723 | 1.036 | 1.329 | 1.439 | 1.394 | 1.196 | 0.900 | 0.586 | 0.353 | 0.276 | | | | | | | | | | | | |
| 23-24 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | | | | | | | | | | |
| 22-23 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | | | | | | | | | |
| 21-22 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | | | | | | | | | |
| 20-21 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | | | | | | | | | |
| 19-20 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | | | | | | | | | |
| 18-19 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | | | | | | | | | |
| 17-18 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | | | | | | | | | |
| 16-17 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | | | | | | | | | |
| 15-16 | 0.023 | 0.041 | 0.023 | 0.041 | 0.023 | 0.041 | 0.023 | 0.041 | 0.023 | 0.041 | 0.023 | 0.041 | 0.023 | 0.041 | 0.023 | 0.041 | 0.023 | 0.041 | 0.023 | 0.041 | 0.023 | 0.041 | 0.023 | 0.041 | 0.023 | 0.041 | 0.023 | 0.041 | 0.023 | 0.041 | 0.023 | 0.041 | 0.023 | 0.041 | 0.023 | 0.041 | 0.023 | 0.041 | | | | | | | | | | |
| 14-15 | 0.041 | 0.052 | 0.041 | 0.052 | 0.041 | 0.052 | 0.041 | 0.052 | 0.041 | 0.052 | 0.041 | 0.052 | 0.041 | 0.052 | 0.041 | 0.052 | 0.041 | 0.052 | 0.041 | 0.052 | 0.041 | 0.052 | 0.041 | 0.052 | 0.041 | 0.052 | 0.041 | 0.052 | 0.041 | 0.052 | 0.041 | 0.052 | 0.041 | 0.052 | 0.041 | 0.052 | 0.041 | 0.052 | | | | | | | | | | |
| 13-14 | 0.052 | 0.058 | 0.052 | 0.058 | 0.052 | 0.058 | 0.052 | 0.058 | 0.052 | 0.058 | 0.052 | 0.058 | 0.052 | 0.058 | 0.052 | 0.058 | 0.052 | 0.058 | 0.052 | 0.058 | 0.052 | 0.058 | 0.052 | 0.058 | 0.052 | 0.058 | 0.052 | 0.058 | 0.052 | 0.058 | 0.052 | 0.058 | 0.052 | 0.058 | 0.052 | 0.058 | 0.052 | 0.058 | | | | | | | | | | |
| 12-13 | 0.058 | 0.058 | 0.058 | 0.058 | 0.058 | 0.058 | 0.058 | 0.058 | 0.058 | 0.058 | 0.058 | 0.058 | 0.058 | 0.058 | 0.058 | 0.058 | 0.058 | 0.058 | 0.058 | 0.058 | 0.058 | 0.058 | 0.058 | 0.058 | 0.058 | 0.058 | 0.058 | 0.058 | 0.058 | 0.058 | 0.058 | 0.058 | 0.058 | 0.058 | 0.058 | 0.058 | 0.058 | 0.058 | | | | | | | | | | |
| 11-12 | 0.058 | 0.058 | 0.058 | 0.058 | 0.058 | 0.058 | 0.058 | 0.058 | 0.058 | 0.058 | 0.058 | 0.058 | 0.058 | 0.058 | 0.058 | 0.058 | 0.058 | 0.058 | 0.058 | 0.058 | 0.058 | 0.058 | 0.058 | 0.058 | 0.058 | 0.058 | 0.058 | 0.058 | 0.058 | 0.058 | 0.058 | 0.058 | 0.058 | 0.058 | 0.058 | 0.058 | 0.058 | 0.058 | | | | | | | | | | |
| 10-11 | 0.049 | 0.049 | 0.049 | 0.049 | 0.049 | 0.049 | 0.049 | 0.049 | 0.049 | 0.049 | 0.049 | 0.049 | 0.049 | 0.049 | 0.049 | 0.049 | 0.049 | 0.049 | 0.049 | 0.049 | 0.049 | 0.049 | 0.049 | 0.049 | 0.049 | 0.049 | 0.049 | 0.049 | 0.049 | 0.049 | 0.049 | 0.049 | 0.049 | 0.049 | 0.049 | 0.049 | 0.049 | 0.049 | | | | | | | | | | |
| 09-10 | 0.059 | 0.059 | 0.059 | 0.059 | 0.059 | 0.059 | 0.059 | 0.059 | 0.059 | 0.059 | 0.059 | 0.059 | 0.059 | 0.059 | 0.059 | 0.059 | 0.059 | 0.059 | 0.059 | 0.059 | 0.059 | 0.059 | 0.059 | 0.059 | 0.059 | 0.059 | 0.059 | 0.059 | 0.059 | 0.059 | 0.059 | 0.059 | 0.059 | 0.059 | 0.059 | 0.059 | 0.059 | 0.059 | | | | | | | | | | |
| 08-09 | 0.053 | 0.053 | 0.053 | 0.053 | 0.053 | 0.053 | 0.053 | 0.053 | 0.053 | 0.053 | 0.053 | 0.053 | 0.053 | 0.053 | 0.053 | 0.053 | 0.053 | 0.053 | 0.053 | 0.053 | 0.053 | 0.053 | 0.053 | 0.053 | 0.053 | 0.053 | 0.053 | 0.053 | 0.053 | 0.053 | 0.053 | 0.053 | 0.053 | 0.053 | 0.053 | 0.053 | 0.053 | 0.053 | | | | | | | | | | |
| 07-08 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | | | | | | | | |
| 06-07 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | | | | | | | | |
| 05-06 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | | | | | | | | |
| 04-05 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | | | | | | | | |
| 03-04 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | | | | | | | | |
| 02-03 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | | | | | | | | |
| 01-02 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | | | | | | | | |
| 00-01 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | | | | | | | | |
| Hour | Jan | Feb | Mar | Apr | May | Jun | Jul | Aug | Sep | Oct | Nov | Dec | Jan | Feb | Mar | Apr | May | Jun | Jul | Aug | Sep | Oct | Nov | Dec | Jan | Feb | Mar | Apr | May | Jun | Jul | Aug | Sep | Oct | Nov | Dec | Jan | Feb | Mar | Apr | May | Jun | Jul | Aug | Sep | Oct | Nov | Dec |

Tabelle A.2-41

WMO 10361 ; Station Magdeburg ; Latitude 52°7' ; Longitude 11°34' ; Elevation 79 m ;
Country Code Germa

Monthly Average (1981-1990) Hourly and Daily Irradiations in Wh/m²
Global

| Month | 00-01 | 01-02 | 02-03 | 03-04 | 04-05 | 05-06 | 06-07 | 07-08 | 08-09 | 09-10 | 10-11 | 11-12 | 12-13 | 13-14 | 14-15 | 15-16 | 16-17 | 17-18 | 18-19 | 19-20 | 20-21 | 21-22 | 22-23 | 23-24 | 00-24 | Azimuth |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|---------|
| Dec | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 19 | 85 | 141 | 173 | 173 | 141 | 85 | 19 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 836 | 0° s |
| Dec | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 5 | 19 | 29 | 35 | 60 | 77 | 66 | 19 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 309 | 90° w |
| Dec | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 19 | 66 | 77 | 60 | 35 | 29 | 19 | 5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 309 | -90° e |
| Dec | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 5 | 19 | 29 | 35 | 35 | 29 | 19 | 5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 174 | 180° n |
| Dec | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 11 | 47 | 79 | 98 | 98 | 79 | 47 | 11 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 472 | horiz. |

Tabelle A.2-42

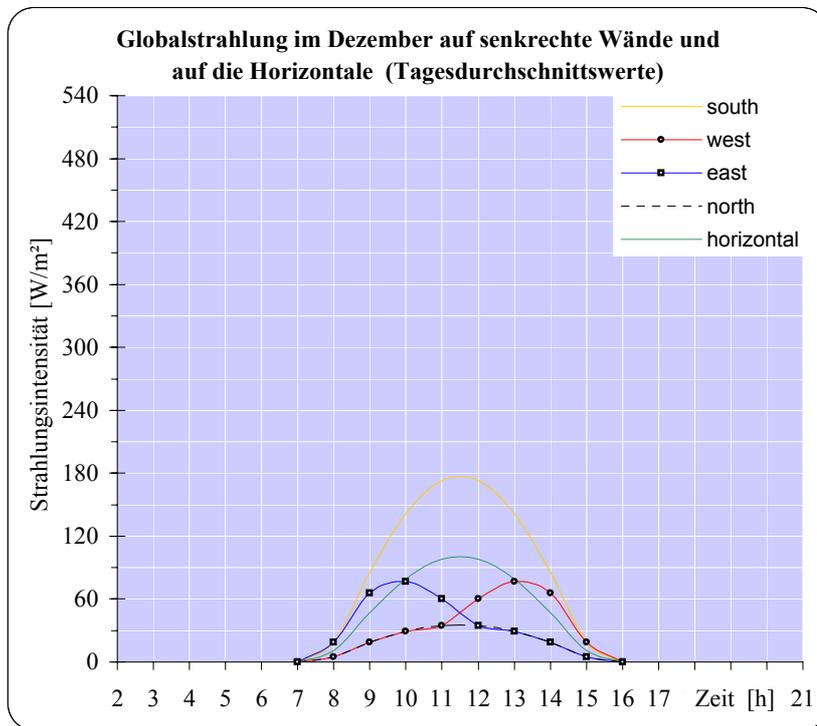


Abbildung A.2-07

WMO 10361 ; Station Magdeburg ; Latitude 52°7' ; Longitude 11°34' ; Elevation 79 m ;
Country Code Germa

Monthly Average (1981-1990) Hourly and Daily Irradiations in Wh/m²
Global

| Month | 02-03 | 03-04 | 04-05 | 05-06 | 06-07 | 07-08 | 08-09 | 09-10 | 10-11 | 11-12 | 12-13 | 13-14 | 14-15 | 15-16 | 16-17 | 17-18 | 18-19 | 19-20 | 20-21 | 21-22 | 00-24 | Azimuth |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|---------|
| Jun | 0 | 0 | 15 | 38 | 64 | 115 | 194 | 264 | 318 | 348 | 348 | 318 | 264 | 194 | 115 | 64 | 38 | 15 | 0 | 0 | 2712 | 0° S |
| Jun | 0 | 0 | 15 | 38 | 64 | 89 | 113 | 132 | 147 | 154 | 229 | 293 | 331 | 337 | 310 | 256 | 186 | 109 | 12 | 0 | 2816 | 90° W |
| Jun | 0 | 12 | 109 | 186 | 256 | 310 | 337 | 331 | 293 | 229 | 154 | 147 | 132 | 113 | 89 | 64 | 38 | 15 | 0 | 0 | 2816 | -90° O |
| Jun | 0 | 10 | 73 | 99 | 108 | 97 | 113 | 132 | 147 | 154 | 154 | 147 | 132 | 113 | 98 | 109 | 100 | 74 | 10 | 0 | 1867 | 180° N |
| Jun | 0 | 1 | 39 | 106 | 186 | 272 | 357 | 432 | 488 | 518 | 518 | 488 | 432 | 357 | 272 | 186 | 106 | 39 | 1 | 0 | 4800 | horiz. |

Tabelle A.2-43

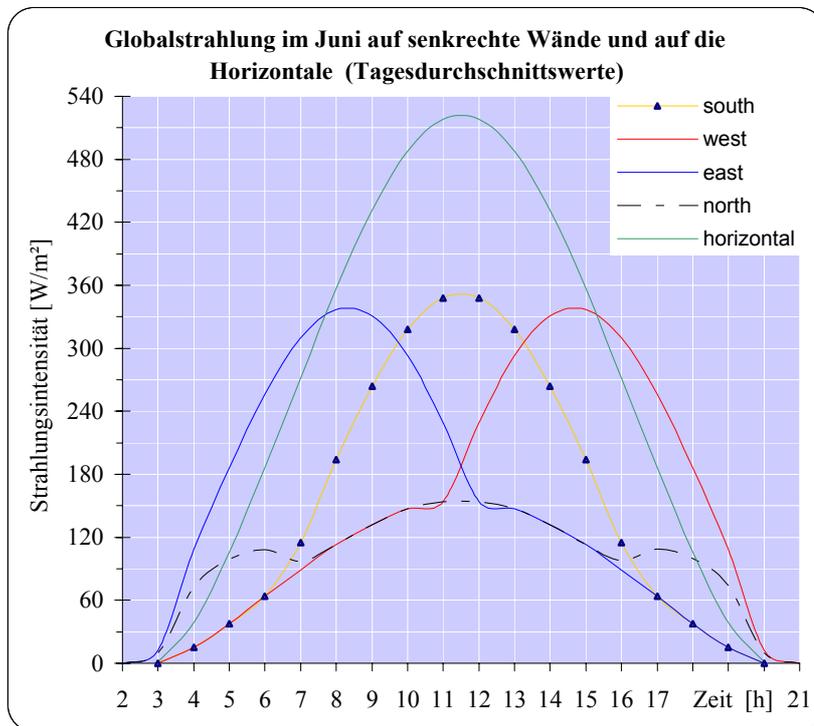


Abbildung A.2-08

WMO 10361 ; Station Magdeburg ; Latitude 52°7' ; Longitude 11°34' ; Elevation 79 m ;
Country Code Germa

Monthly Average Hourly and Daily Clear Sky Irradiations in Wh/m²

Global

Turbidity Factor (VDI 3789 Blatt 2, S. 32)

| Month | 00-01 | 01-02 | 02-03 | 03-04 | 04-05 | 05-06 | 06-07 | 07-08 | 08-09 | 09-10 | 10-11 | 11-12 | 12-13 | 13-14 | 14-15 | 15-16 | 16-17 | 17-18 | 18-19 | 19-20 | 20-21 | 21-22 | 22-23 | 23-24 | 00-24 | Azimuth |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|---------|
| Dec | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 154 | 384 | 551 | 647 | 647 | 551 | 384 | 154 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3471 | 0° s |
| Dec | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 10 | 25 | 37 | 44 | 124 | 239 | 273 | 156 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 907 | 90° w |
| Dec | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 156 | 273 | 239 | 124 | 44 | 37 | 25 | 10 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 908 | -90° e |
| Dec | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 10 | 25 | 37 | 44 | 44 | 37 | 25 | 10 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 231 | 180° n |
| Dec | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 28 | 93 | 158 | 198 | 198 | 158 | 93 | 28 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 954 | horiz. |

Tabelle A.2-44

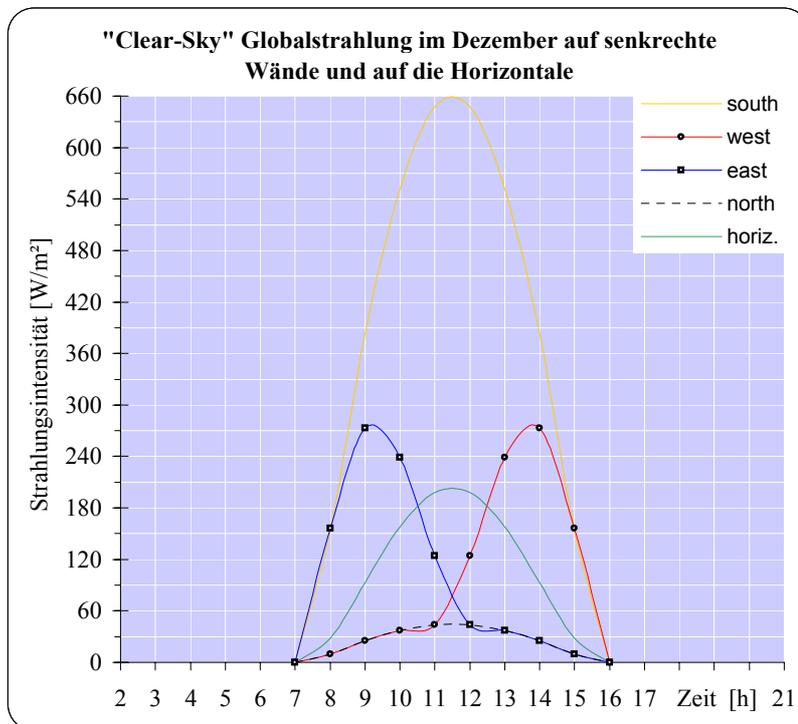


Abbildung A.2-09

WMO 10361 ; Station Magdeburg ; Latitude 52°7' ; Longitude 11°34' ; Elevation 79 m ;
Country Code Germa

Monthly Average Hourly and Daily Clear Sky Irradiations in Wh/m²

Global

Turbidity Factor (VDI 3789 Blatt 2, S. 32)

| Month | 01-02 | 02-03 | 03-04 | 04-05 | 05-06 | 06-07 | 07-08 | 08-09 | 09-10 | 10-11 | 11-12 | 12-13 | 13-14 | 14-15 | 15-16 | 16-17 | 17-18 | 18-19 | 19-20 | 20-21 | 21-22 | 00-24 | Azimuth |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|---------|
| Jun | 0 | 0 | 0 | 20 | 46 | 69 | 118 | 226 | 324 | 397 | 436 | 436 | 397 | 324 | 226 | 118 | 69 | 46 | 20 | 0 | 0 | 3272 | 0° s |
| Jun | 0 | 0 | 0 | 20 | 46 | 69 | 85 | 96 | 101 | 104 | 104 | 192 | 345 | 467 | 538 | 548 | 490 | 364 | 110 | 0 | 0 | 3679 | 90° w |
| Jun | 0 | 0 | 0 | 110 | 364 | 490 | 548 | 538 | 467 | 345 | 192 | 104 | 104 | 101 | 96 | 85 | 69 | 46 | 20 | 0 | 0 | 3679 | -90° e |
| Jun | 0 | 0 | 0 | 76 | 169 | 146 | 93 | 96 | 101 | 104 | 104 | 104 | 104 | 101 | 96 | 94 | 148 | 171 | 77 | 0 | 0 | 1784 | 180° n |
| Jun | 0 | 0 | 0 | 49 | 150 | 259 | 368 | 470 | 556 | 617 | 650 | 650 | 617 | 556 | 470 | 368 | 259 | 150 | 49 | 0 | 0 | 6237 | horiz. |

Tabelle A.2-45

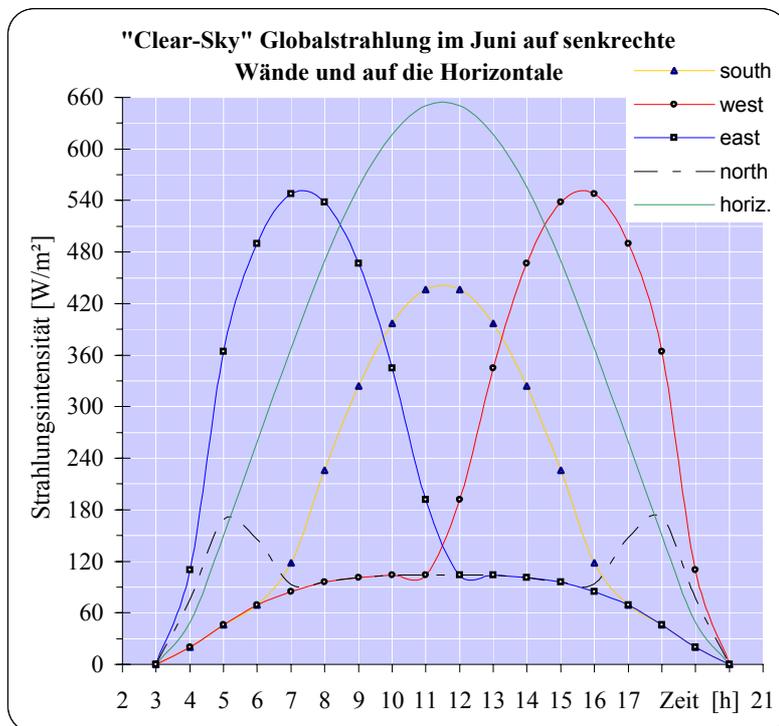


Abbildung A.2-10

WMO 10361 ; Station Magdeburg ; Latitude 52°7' ; Longitude 11°34' ; Elevation 79 m ;
Country Code Germa

Monthly Average (1981-1990) Hourly and Daily Irradiations in Wh/m²
Global

| Month | 00-01 | 01-02 | 02-03 | 03-04 | 04-05 | 05-06 | 06-07 | 07-08 | 08-09 | 09-10 | 10-11 | 11-12 | 12-13 | 13-14 | 14-15 | 15-16 | 16-17 | 17-18 | 18-19 | 19-20 | 20-21 | 21-22 | 22-23 | 23-24 | 00-24 | Azimuth |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|---------|
| Dec | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 17 | 78 | 132 | 163 | 163 | 132 | 78 | 17 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 779 | 0° s |
| Dec | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 9 | 34 | 53 | 79 | 98 | 95 | 67 | 17 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 453 | 90° w |
| Dec | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 18 | 67 | 95 | 98 | 79 | 53 | 34 | 9 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 453 | -90° e |
| Dec | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 9 | 34 | 52 | 62 | 62 | 52 | 34 | 9 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 314 | 180° n |
| Dec | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 11 | 47 | 79 | 98 | 98 | 79 | 47 | 11 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 472 | horiz. |

Tabelle A.2-46

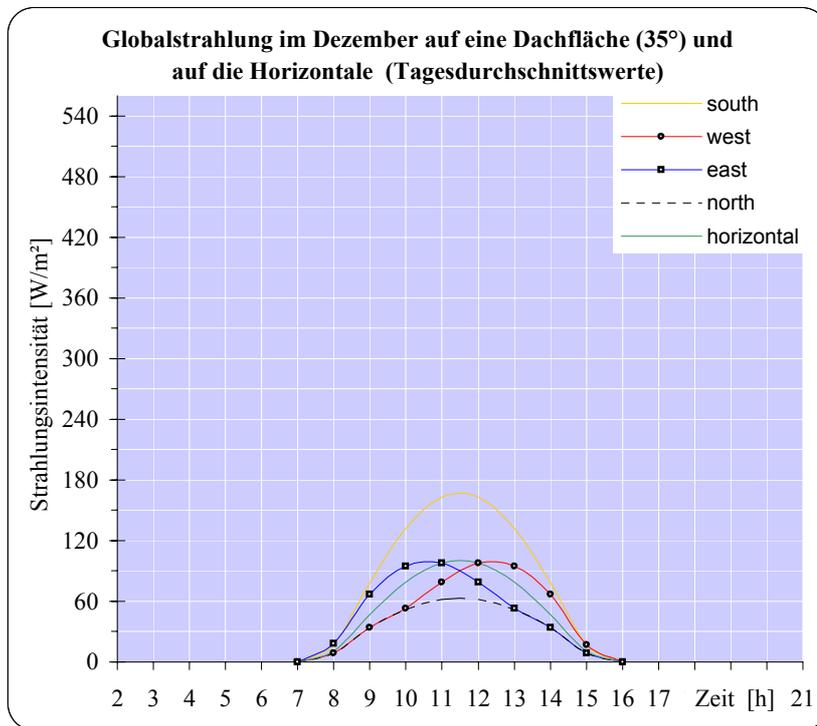


Abbildung A.2-11

WMO 10361 ; Station Magdeburg ; Latitude 52°7' ; Longitude 11°34' ; Elevation 79 m ;
Country Code Germa

Monthly Average (1981-1990) Hourly and Daily Irradiations in Wh/m²
Global

| Month | 02-03 | 03-04 | 04-05 | 05-06 | 06-07 | 07-08 | 08-09 | 09-10 | 10-11 | 11-12 | 12-13 | 13-14 | 14-15 | 15-16 | 16-17 | 17-18 | 18-19 | 19-20 | 20-21 | 21-22 | 00-24 | Azimuth |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|---------|
| Jun | 0 | 1 | 27 | 72 | 151 | 250 | 352 | 445 | 516 | 554 | 554 | 516 | 445 | 352 | 250 | 151 | 72 | 27 | 1 | 0 | 4735 | 0° S |
| Jun | 0 | 1 | 27 | 68 | 112 | 152 | 207 | 290 | 372 | 440 | 486 | 501 | 483 | 434 | 359 | 269 | 175 | 86 | 8 | 0 | 4470 | 90° W |
| Jun | 0 | 8 | 86 | 175 | 269 | 359 | 434 | 483 | 501 | 486 | 440 | 372 | 290 | 207 | 152 | 112 | 68 | 27 | 1 | 0 | 4470 | -90° O |
| Jun | 0 | 6 | 66 | 125 | 184 | 239 | 289 | 329 | 357 | 372 | 372 | 357 | 329 | 289 | 240 | 184 | 126 | 66 | 6 | 0 | 3936 | 180° N |
| Jun | 0 | 1 | 39 | 106 | 186 | 272 | 357 | 432 | 488 | 518 | 518 | 488 | 432 | 357 | 272 | 186 | 106 | 39 | 1 | 0 | 4800 | horiz. |

Tabelle A.2-47

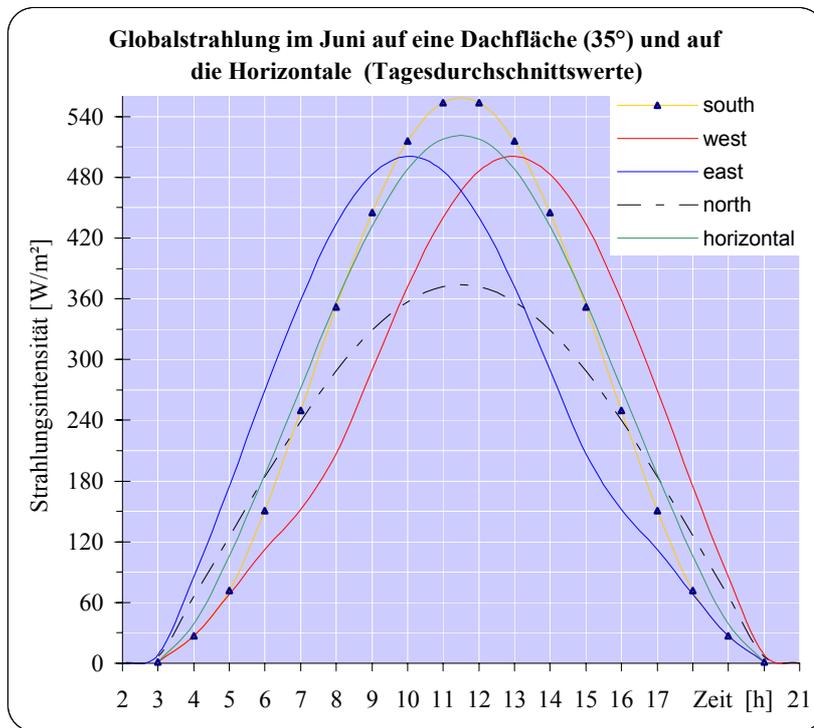


Abbildung A.2-12

WMO 10361 ; Station Magdeburg ; Latitude 52°7' ; Longitude 11°34' ; Elevation 79 m ;
Country Code Germa

Monthly Average Hourly and Daily Clear Sky Irradiations in Wh/m²

Global

Turbidity Factor (VDI 3789 Blatt 2, S. 32)

| Month | 00-01 | 01-02 | 02-03 | 03-04 | 04-05 | 05-06 | 06-07 | 07-08 | 08-09 | 09-10 | 10-11 | 11-12 | 12-13 | 13-14 | 14-15 | 15-16 | 16-17 | 17-18 | 18-19 | 19-20 | 20-21 | 21-22 | 22-23 | 23-24 | 00-24 | Azimuth |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|---------|
| Dec | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 104 | 285 | 430 | 515 | 515 | 430 | 285 | 104 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2667 | 0° s |
| Dec | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 18 | 40 | 55 | 130 | 215 | 251 | 221 | 105 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1034 | 90° w |
| Dec | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 105 | 221 | 251 | 215 | 130 | 55 | 40 | 17 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1034 | -90° e |
| Dec | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 18 | 40 | 54 | 61 | 61 | 54 | 40 | 17 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 344 | 180° n |
| Dec | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 28 | 93 | 158 | 198 | 198 | 158 | 93 | 28 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 954 | horiz. |

Tabelle A.2-48

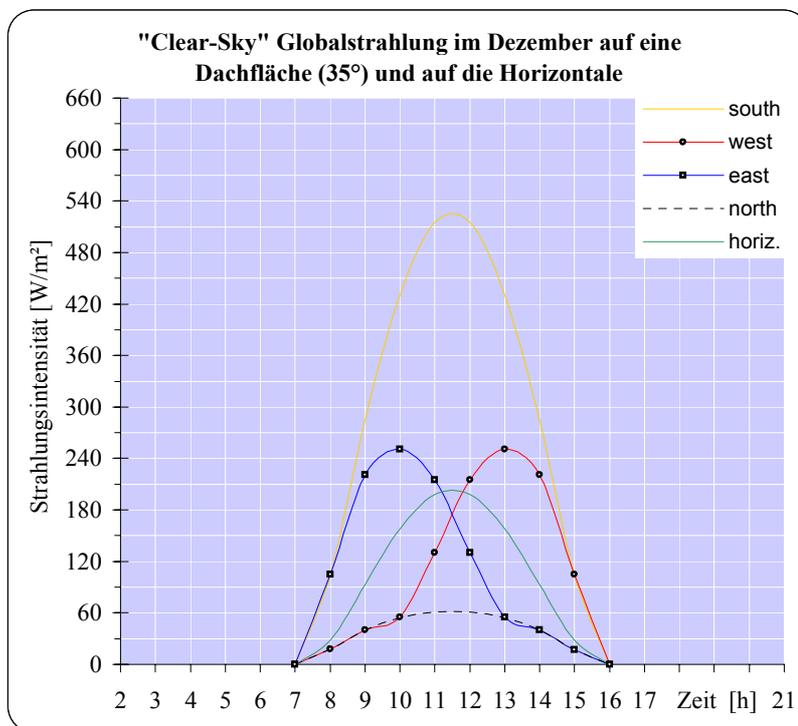


Abbildung A.2-13

WMO 10361 ; Station Magdeburg ; Latitude 52°7' ; Longitude 11°34' ; Elevation 79 m ;
Country Code Germa

Monthly Average Hourly and Daily Clear Sky Irradiations in Wh/m²

Global

Turbidity Factor (VDI 3789 Blatt 2, S. 32)

| Month | 01-02 | 02-03 | 03-04 | 04-05 | 05-06 | 06-07 | 07-08 | 08-09 | 09-10 | 10-11 | 11-12 | 12-13 | 13-14 | 14-15 | 15-16 | 16-17 | 17-18 | 18-19 | 19-20 | 20-21 | 21-22 | 00-24 | Azimuth |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|---------|
| Jun | 0 | 0 | 0 | 36 | 83 | 192 | 334 | 476 | 601 | 693 | 742 | 742 | 693 | 601 | 476 | 334 | 192 | 83 | 36 | 0 | 0 | 6314 | 0° s |
| Jun | 0 | 0 | 0 | 36 | 78 | 108 | 119 | 161 | 274 | 395 | 508 | 602 | 663 | 683 | 655 | 580 | 463 | 310 | 93 | 0 | 0 | 5729 | 90° w |
| Jun | 0 | 0 | 0 | 93 | 310 | 463 | 580 | 655 | 683 | 663 | 602 | 508 | 395 | 274 | 161 | 119 | 108 | 78 | 36 | 0 | 0 | 5729 | -90° e |
| Jun | 0 | 0 | 0 | 73 | 198 | 266 | 311 | 339 | 355 | 364 | 368 | 369 | 365 | 357 | 340 | 312 | 267 | 200 | 74 | 0 | 0 | 4559 | 180° n |
| Jun | 0 | 0 | 0 | 49 | 150 | 259 | 368 | 470 | 556 | 617 | 650 | 650 | 617 | 556 | 470 | 368 | 259 | 150 | 49 | 0 | 0 | 6237 | horiz. |

Tabelle A.2-49

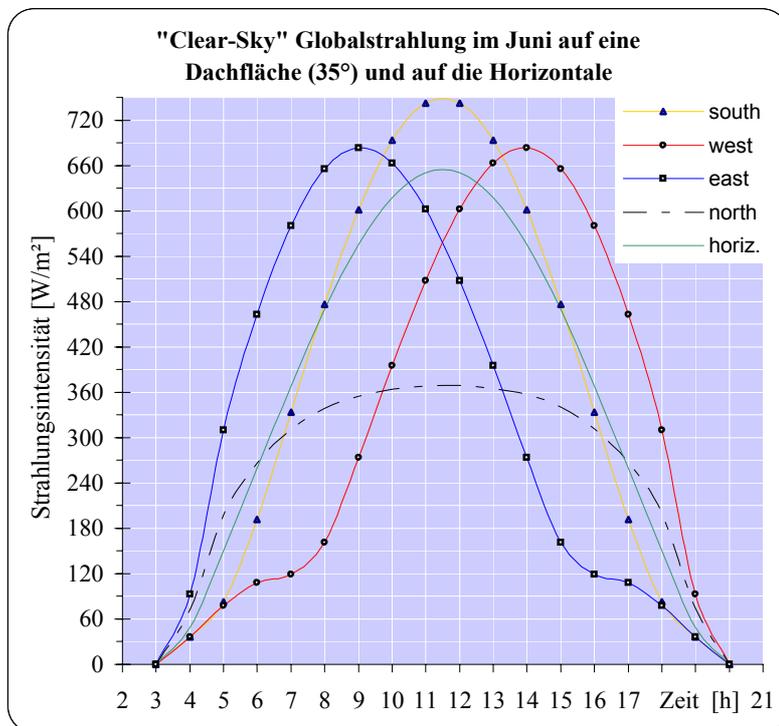


Abbildung A.2-14

A.2.3 Auswertung von ESRA-, DIN-Werten u. Wärmeschutzbestimmungen

Durchschnittlich monatliche (solare) Strahlungsintensität nach DIN V 4108-6:2000-11*

*Region 5, Referenzort: Braunschweig, Tabelle A.1, S. 39

| Werte (24 h-Tagesmonatsdurchschnitt) in W/m ² für senkrechte und horizontale Flächen | | | | | | |
|---|-----------|-----|-----|------|------|--------|
| Tage | Monat | Süd | Ost | West | Nord | Horiz. |
| 31 | Januar | 46 | 20 | 22 | 14 | 29 |
| 28 | Februar | 82 | 40 | 42 | 25 | 58 |
| 31 | März | 93 | 61 | 63 | 40 | 94 |
| 30 | April | 116 | 99 | 99 | 62 | 155 |
| 31 | Mai | 125 | 125 | 123 | 80 | 206 |
| 30 | Juni | 111 | 121 | 120 | 88 | 202 |
| 31 | Juli | 118 | 124 | 126 | 89 | 206 |
| 31 | August | 122 | 110 | 110 | 69 | 177 |
| 30 | September | 104 | 75 | 73 | 48 | 115 |
| 31 | Oktober | 87 | 47 | 49 | 28 | 69 |
| 30 | November | 57 | 25 | 25 | 15 | 34 |
| 31 | Dezember | 30 | 12 | 12 | 9 | 18 |

Tabelle A.2-50

| Werte (Monatssummendurchschnitt) in kWh/(m ² Mon.) für senkrechte und horizontale Flächen | | | | | | |
|--|-----------|--------|--------|--------|--------|---------|
| Tage · 0.024 | Monat | Süd | Ost | West | Nord | Horiz. |
| 0.744 | Januar | 34.224 | 14.880 | 16.368 | 10.416 | 21.576 |
| 0.672 | Februar | 55.104 | 26.880 | 28.224 | 16.800 | 38.976 |
| 0.744 | März | 69.192 | 45.384 | 46.872 | 29.760 | 69.936 |
| 0.72 | April | 83.520 | 71.280 | 71.280 | 44.640 | 111.600 |
| 0.744 | Mai | 93.000 | 93.000 | 91.512 | 59.520 | 153.264 |
| 0.72 | Juni | 79.920 | 87.120 | 86.400 | 63.360 | 145.440 |
| 0.744 | Juli | 87.792 | 92.256 | 93.744 | 66.216 | 153.264 |
| 0.744 | August | 90.768 | 81.840 | 81.840 | 51.336 | 131.688 |
| 0.72 | September | 74.880 | 54.000 | 52.560 | 34.560 | 82.800 |
| 0.744 | Oktober | 64.728 | 34.968 | 36.456 | 20.832 | 51.336 |
| 0.72 | November | 41.040 | 18.000 | 18.000 | 10.800 | 24.480 |
| 0.744 | Dezember | 22.320 | 8.928 | 8.928 | 6.696 | 13.392 |
| Summe Jahr (365 Tage) | | 796 | 629 | 632 | 415 | 998 |
| Summe, Oktober bis März | | 287 | 149 | 155 | 95 | 220 |
| | | 6 % | -4 % | 0 % | -5 % | -2 % |
| DIN V 4108-6:2000-11, S.61 | | 270 | 155 | 155 | 100 | 225 |
| Summe, September bis Mai | | 538 | 367 | 370 | 234 | 567 |
| | | 35 % | 34 % | 35 % | 46 % | - |
| WSchV 95 (ca. 9 Monate) | | 400 | 275 | 275 | 160 | - |

Tabelle A.2-51

Globalstrahlungswerte (Solarstrahlung) aus dem ESRA

Globalstrahlung für Braunschweig Durchschnittswert der Jahre 1981-1990
Solarstrahlung auf senkrechte Flächen und auf die Horizontale

| Werte (Tagessumme) in kWh/Monatsdurchschnittstag | | | | | |
|--|-------|-------|-------|-------|--------|
| Monat | Süd | Ost | West | Nord | Horiz. |
| Januar | 1.229 | 0.456 | 0.456 | 0.231 | 0.661 |
| Februar | 2.029 | 0.902 | 0.902 | 0.428 | 1.322 |
| März | 2.398 | 1.399 | 1.399 | 0.726 | 2.236 |
| April | 3.023 | 2.316 | 2.316 | 1.150 | 3.686 |
| Mai | 3.170 | 3.100 | 3.100 | 1.734 | 4.986 |
| Juni | 2.749 | 2.864 | 2.864 | 1.890 | 4.858 |
| Juli | 2.915 | 2.976 | 2.976 | 1.834 | 4.931 |
| August | 3.096 | 2.647 | 2.647 | 1.374 | 4.239 |
| September | 2.761 | 1.781 | 1.781 | 0.850 | 2.783 |
| Oktober | 2.293 | 1.116 | 1.115 | 0.524 | 1.658 |
| November | 1.435 | 0.560 | 0.560 | 0.278 | 0.814 |
| Dezember | 0.807 | 0.299 | 0.299 | 0.170 | 0.458 |

Tabelle A.2-52

| Werte (Monatssumme) in kWh/(m ² Mon.) | | | | | | |
|--|-----------|------|------|------|-------|--------|
| Tage | Monat | Süd | Ost | West | Nord | Horiz. |
| 31 | Januar | 38 | 14 | 14 | 7 | 20 |
| 28 | Februar | 57 | 25 | 25 | 12 | 37 |
| 31 | März | 74 | 43 | 43 | 23 | 69 |
| 30 | April | 91 | 69 | 69 | 35 | 111 |
| 31 | Mai | 98 | 96 | 96 | 54 | 155 |
| 30 | Juni | 82 | 86 | 86 | 57 | 146 |
| 31 | Juli | 90 | 92 | 92 | 57 | 153 |
| 31 | August | 96 | 82 | 82 | 43 | 131 |
| 30 | September | 83 | 53 | 53 | 26 | 83 |
| 31 | Oktober | 71 | 35 | 35 | 16 | 51 |
| 30 | November | 43 | 17 | 17 | 8 | 24 |
| 31 | Dezember | 25 | 9 | 9 | 5 | 14 |
| Summe Jahr (365 Tage) | | 849 | 623 | 623 | 341 | 995 |
| Summe, Oktober bis März | | 308 | 143 | 143 | 72 | 217 |
| | | 14 % | -7 % | -7 % | -28 % | -4 % |
| DIN V 4108-6:2000-11, S.61 | | 270 | 155 | 155 | 100 | 225 |
| Summe, September bis Mai | | 580 | 362 | 362 | 185 | 565 |
| | | 45 % | 32 % | 32 % | 16 % | |
| WSchV 95 (ca. 9 Monate) | | 400 | 275 | 275 | 160 | |

Tabelle A.2-53

Hinweis:

Negative Prozentzahlen sind über die unterschiedlichen Betrachtungszeiträume zu erklären.

- DIN-Werte sind über eine Zeitspanne > 20 Jahre gemittelt (vgl. DIN 4710: Meteorologische Daten, 1982, S. 2)

- ESRA-Werte beziehen sich auf eine Zeitspanne von 10 Jahren (1981 bis 1990)

Die Tabellenwerte zeigen prozentuale Abweichungen gegenüber den Werten der jeweiligen Wärmeschutzbestimmungen. Gegenüber den Globalstrahlungswerten (ESRA) enthalten die EnEV-Werte keine Sicherheiten mehr (vgl. WSchV 1995 >30 %).

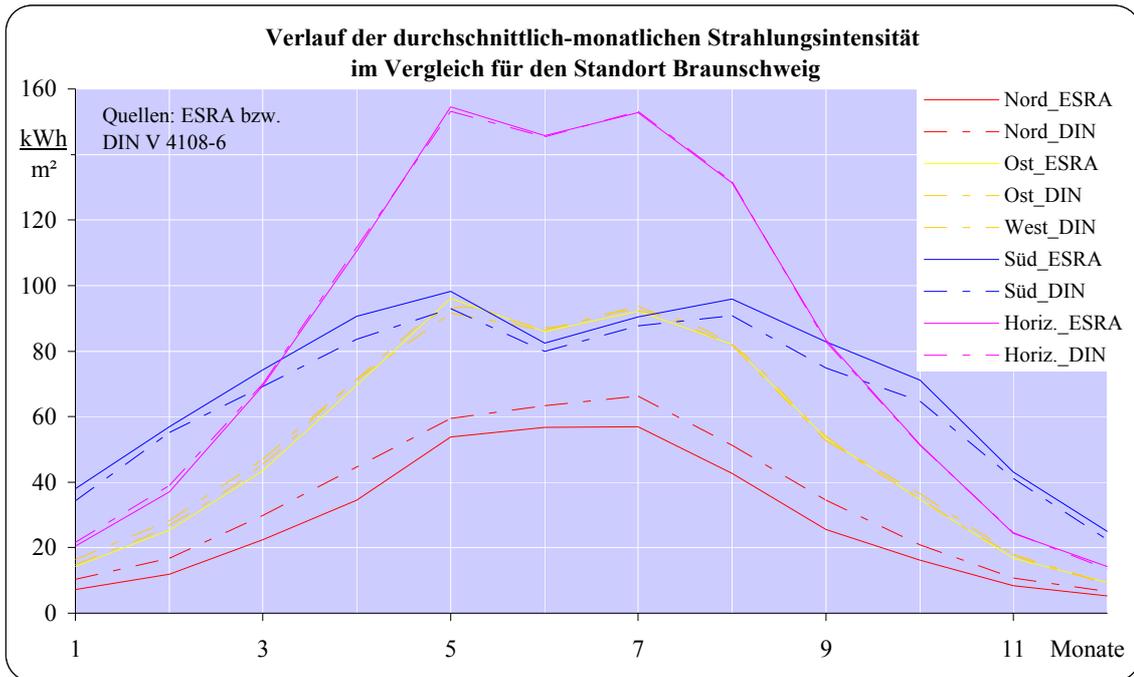


Abbildung A.2-15

Auswertung von ESRA- und DIN-Werten gegenüber den Wärmeschutzbestimmungen und für den Standort Braunschweig

Die Globalstrahlungswerte (Horizontale) beider Quellen sind als deckungsgleich zu bezeichnen. Abweichungen resultieren vermutlich aus unterschiedlichen Albedos bzw. Trübungsmodellen. Im Zweifelsfall sind die Nord_DIN-Werte zu optimistisch ausgelegt. Für Sonderfälle, bspw. Haus am Wasser oder viel (Neu-)Schnee im Winter, kann der ESRA differenzierte Werte liefern. Für derartige Probleme ist der Solaratlas den DIN-Werten vorzuziehen.

Zum Vergleich ESRA-Werte für den Standort Magdeburg

| Werte (Monatssumme) in kWh/(m² Mon.) | | | | | | |
|--------------------------------------|-----------|------|------|------|-------|--------|
| Tag | Monat | Süd | Ost | West | Nord | Horiz. |
| 31 | Januar | 38 | 14 | 14 | 7 | 21 |
| 28 | Februar | 57 | 25 | 25 | 12 | 37 |
| 31 | März | 74 | 43 | 43 | 23 | 69 |
| 30 | April | 89 | 68 | 68 | 34 | 109 |
| 31 | Mai | 95 | 93 | 93 | 53 | 151 |
| 30 | Juni | 81 | 84 | 84 | 56 | 144 |
| 31 | Juli | 90 | 92 | 92 | 57 | 152 |
| 31 | August | 93 | 79 | 79 | 42 | 128 |
| 30 | September | 84 | 54 | 54 | 26 | 85 |
| 31 | Oktober | 69 | 34 | 34 | 16 | 51 |
| 30 | November | 40 | 16 | 16 | 8 | 24 |
| 31 | Dezember | 26 | 10 | 10 | 5 | 15 |
| Summe Jahr (365 Tage) | | 835 | 611 | 611 | 339 | 984 |
| Summe, Oktober bis März | | 303 | 142 | 142 | 72 | 216 |
| | | 12 % | -8 % | -8 % | -28 % | -4 % |
| DIN V 4108-6:2000-11, S.61 | | 270 | 155 | 155 | 100 | 225 |
| Summe, September bis Mai | | 571 | 357 | 357 | 184 | 560 |
| | | 43 % | 30 % | 30 % | 15 % | |
| WSchV 95 (ca. 9 Monate) | | 400 | 275 | 275 | 160 | |

Tabelle A.2-54

Monatlich-durchschnittliche Stundenwerte der Außenlufttemperatur sowie der (solaren) Globalstrahlung einer unverschatteten, senkrechten Südwand (Albedo 0.2) für den Standort Magdeburg (Periode: 1981-1990)

Datenwerte: ESRA bzw. Anhang A.2: Tabelle A.2-10, S. A.2-14 ; Tabelle A.2-20, S. A.2-22

| Termin h | Januar | | Februar | | März | | April | | Mai | | Juni | | Juli | | August | | September | | Oktober | | November | | Dezember | |
|-------------|--------|------------------|---------|------------------|------|------------------|-------|------------------|------|------------------|------|------------------|------|------------------|--------|------------------|-----------|------------------|---------|------------------|----------|------------------|----------|------------------|
| | °C | W/m ² | °C | W/m ² | °C | W/m ² | °C | W/m ² | °C | W/m ² | °C | W/m ² | °C | W/m ² | °C | W/m ² | °C | W/m ² | °C | W/m ² | °C | W/m ² | °C | W/m ² |
| 1 | -0.03 | -0.72 | 2.97 | 5.34 | 9.53 | 12 | 14 | 14.5 | 12.2 | 8.97 | 4.16 | 1.29 | | | | | | | | | | | | |
| 2 | -0.43 | -1.24 | 2.34 | 4.57 | 8.75 | 11.3 | 13.2 | 13.6 | 11.4 | 8.28 | 3.7 | 0.94 | | | | | | | | | | | | |
| 3 | -0.79 | -1.71 | 1.82 | 3.99 | 8.27 | 10.9 | 12.8 | 13 | 10.7 | 7.67 | 3.27 | 0.61 | | | | | | | | | | | | |
| 4 | -1.10 | -2.09 | 1.42 | 3.62 | 8.1 | 10.7 | 12.6 | 12.5 | 10.2 | 7.17 | 2.9 | 0.34 | | | | | | | | | | | | |
| 5 | -1.36 | -2.37 | 1.18 | 3.5 | 8.33 | 6 | 10.9 | 15 | 12.4 | 6.8 | 2.6 | 0.11 | | | | | | | | | | | | |
| 6 | -1.54 | -2.54 | 1.1 | 3.74 | 8 | 9 | 11.5 | 38 | 13.5 | 35 | 12.7 | 17 | 9.8 | 6.58 | 2.38 | -0.1 | | | | | | | | |
| 7 | -1.66 | -2.60 | 1.33 | 4.44 | 43 | 10.1 | 56 | 12.4 | 64 | 14.5 | 61 | 13.5 | 50 | 10.1 | 30 | 6.5 | 2 | 2.25 | 4 | -0.2 | | | | |
| 8 | -1.70 | -2.37 | 36 | 5.52 | 121 | 11.4 | 129 | 13.7 | 115 | 15.8 | 121 | 14.7 | 125 | 10.9 | 105 | 6.8 | 57 | 2.2 | 4 | -0.2 | | | | |
| 9 | -1.47 | -1.71 | 125 | 2.98 | 163 | 6.89 | 212 | 13 | 221 | 15 | 194 | 17.3 | 207 | 16.3 | 215 | 12.2 | 198 | 7.67 | 145 | 2.47 | 63 | 0 | 19 | |
| 10 | -0.83 | -0.72 | 217 | 4.2 | 250 | 8.4 | 302 | 8.4 | 308 | 16.5 | 264 | 18.9 | 286 | 18 | 303 | 13.7 | 290 | 8.97 | 237 | 3.22 | 143 | 0.57 | 85 | |
| 11 | 0.09 | 0.45 | 294 | 5.5 | 321 | 9.91 | 374 | 16.2 | 376 | 17.9 | 318 | 20.4 | 347 | 19.7 | 372 | 15.4 | 366 | 10.5 | 313 | 4.3 | 209 | 1.39 | 141 | |
| 12 | 1.11 | 1.62 | 337 | 6.73 | 361 | 11.3 | 414 | 17.5 | 413 | 19.1 | 348 | 21.7 | 381 | 21.3 | 410 | 16.9 | 407 | 12 | 356 | 5.5 | 247 | 2.31 | 173 | |
| 13 | 2.03 | 2.61 | 337 | 7.72 | 361 | 12.4 | 414 | 18.6 | 413 | 20 | 348 | 22.7 | 381 | 22.5 | 410 | 18.2 | 407 | 13.3 | 356 | 6.58 | 247 | 3.13 | 173 | |
| 14 | 2.67 | 3.27 | 294 | 8.37 | 321 | 13.1 | 374 | 19.3 | 376 | 20.6 | 318 | 23.4 | 347 | 23.3 | 372 | 19 | 366 | 14.2 | 313 | 7.33 | 209 | 3.7 | 141 | |
| 15 | 2.90 | 3.50 | 217 | 8.6 | 250 | 13.3 | 302 | 19.5 | 308 | 20.8 | 264 | 23.6 | 286 | 23.6 | 303 | 19.3 | 290 | 14.5 | 237 | 7.6 | 143 | 3.9 | 85 | |
| 16 | 2.86 | 3.44 | 125 | 8.52 | 163 | 13.2 | 212 | 19.3 | 221 | 20.7 | 194 | 23.4 | 207 | 23.5 | 215 | 19.2 | 198 | 14.4 | 145 | 7.55 | 63 | 3.87 | 19 | |
| 17 | 2.74 | 3.27 | 35 | 8.28 | 79 | 12.8 | 121 | 18.9 | 129 | 20.2 | 115 | 23 | 121 | 23.1 | 125 | 18.9 | 105 | 14.2 | 57 | 7.42 | 4 | 3.76 | | |
| 18 | 2.56 | 2.99 | | 7.88 | 15 | 12.2 | 43 | 18.1 | 56 | 19.5 | 64 | 22.2 | 61 | 22.4 | 50 | 18.4 | 30 | 13.8 | 2 | 7.2 | | 3.59 | | |
| 19 | 2.30 | 2.61 | | 7.36 | | 11.5 | 8 | 17 | 29 | 18.6 | 38 | 21.2 | 35 | 21.5 | 17 | 17.7 | | 13.3 | | 6.9 | | 3.36 | | |
| 20 | 1.99 | 2.14 | | 6.72 | | 10.5 | | 15.8 | 6 | 17.5 | 15 | 20.1 | 10 | 20.4 | | 16.9 | | 12.7 | | 6.53 | | 3.09 | | |
| 21 | 1.63 | 1.62 | | 6.01 | | 9.49 | | 14.5 | | 16.4 | | 18.8 | | 19.3 | | 16 | | 12 | | 6.1 | | 2.76 | | |
| 22 | 1.23 | 1.05 | | 5.24 | | 8.4 | | 13.1 | | 15.1 | | 17.4 | | 18 | | 15.1 | | 11.3 | | 5.64 | | 2.41 | | |
| 23 | 0.81 | 0.45 | | 4.46 | | 7.31 | | 11.8 | | 14 | | 16.2 | | 16.8 | | 14.1 | | 10.5 | | 5.15 | | 2.04 | | |
| 24 | 0.39 | -0.15 | | 3.69 | | 6.27 | | 10.6 | | 12.9 | | 15 | | 15.6 | | 13.1 | | 9.72 | | 4.65 | | 1.66 | | |
| | 0.6 | 51.7 | 0.5 | 84.0 | 4.9 | 99.1 | 8.4 | 122.8 | 13.8 | 128.2 | 15.8 | 113.0 | 18.1 | 120.7 | 18.0 | 124.3 | 14.6 | 116.3 | 10.5 | 92.5 | 4.9 | 55.5 | 1.9 | 34.8 |

Tabelle A.2-55

Monatliche Stundenwerte der Außenlufttemperatur sowie der (solaren) Globalstrahlung "Clear Sky" einer unverschatteten, senkrechten Südwand für die Kühllastzone 3 (gültig für den Standort Magdeburg)

Datenwerte: VDI 2078 1996: Berechnung der Kühllast, Kühllastzone 3, S. 133 (Temperaturen), S. 142 bis 145 Strahlungsdaten

| Termin h | Januar | | Februar | | März | | April | | Mai | | Juni | | Juli | | August | | September | | Oktober | | November | | Dezember | |
|-------------|--------|------------------|---------|------------------|------|------------------|-------|------------------|------|------------------|------|------------------|------|------------------|--------|------------------|-----------|------------------|---------|------------------|----------|------------------|----------|------------------|
| | °C | W/m ² | °C | W/m ² | °C | W/m ² | °C | W/m ² | °C | W/m ² | °C | W/m ² | °C | W/m ² | °C | W/m ² | °C | W/m ² | °C | W/m ² | °C | W/m ² | °C | W/m ² |
| 1 | -5.60 | -6.40 | 4.4 | | 11.3 | | 13.8 | | 15.3 | | 18.5 | | 18.4 | | 14.1 | | 7.6 | | 1.6 | | -2.3 | | | |
| 2 | -5.80 | -6.80 | 3.3 | | 10.5 | | 12.5 | | 14.4 | | 17.5 | | 17.2 | | 13.1 | | 7 | | 1.2 | | -2.6 | | | |
| 3 | -6.10 | -7.30 | 2.6 | | 9.7 | | 11.7 | | 13.7 | | 16.6 | | 16.6 | | 12.6 | | 6.6 | | 1 | | -2.8 | | | |
| 4 | -6.50 | -7.80 | 1.8 | | 9.1 | | 10.8 | | 12.9 | 3 | 16.2 | | 15.7 | | 11.7 | | 6.1 | | 0.7 | | -3.2 | | | |
| 5 | -6.80 | -8.30 | 1.4 | | 8.3 | | 10.8 | | 12.9 | 36 | 15.9 | 27 | 15.1 | | 11.2 | | 5.5 | | 0.4 | | -3.5 | | | |
| 6 | -7.00 | -8.40 | 0.9 | | 8.7 | 38 | 11.7 | 57 | 14.5 | 66 | 17.3 | 60 | 15.4 | 40 | 10.9 | 3 | 5.3 | | 0.2 | | -3.8 | | | |
| 7 | -7.40 | -8.60 | 35 | 1.1 | 126 | 10.5 | 113 | 14.6 | 88 | 17.5 | 96 | 20.1 | 92 | 17.9 | 111 | 12.3 | 112 | 5.4 | 38 | 0 | -4 | | | |
| 8 | -7.60 | -8.50 | 268 | 2.1 | 322 | 12.8 | 285 | 16.6 | 222 | 19.5 | 193 | 22 | 20.1 | 270 | 14.4 | 294 | 6.1 | 272 | 0.2 | 129 | -4.1 | | | |
| 9 | -7.50 | -7.80 | 503 | 4.7 | 523 | 15.7 | 463 | 19.4 | 380 | 21.6 | 336 | 24 | 22.9 | 438 | 17.6 | 485 | 8.4 | 506 | 0.4 | 402 | -3.9 | 336 | | |
| 10 | -6.80 | -6.60 | 691 | 7.9 | 689 | 17.9 | 610 | 21.3 | 513 | 23.5 | 458 | 25.9 | 25 | 579 | 20.3 | 644 | 10.7 | 692 | 1.5 | 614 | -2.9 | 566 | | |
| 11 | -5.60 | -4.90 | 812 | 10.7 | 796 | 20.1 | 706 | 23 | 600 | 24.9 | 539 | 27.4 | 27.1 | 671 | 22.6 | 746 | 12.7 | 811 | 2.7 | 745 | -1.9 | 708 | | |
| 12 | -4.50 | -3.60 | 853 | 13 | 833 | 21.7 | 740 | 24.5 | 629 | 26 | 567 | 28.8 | 28.3 | 704 | 24.4 | 783 | 14.1 | 851 | 3.6 | 790 | -1 | 754 | | |
| 13 | -3.60 | -2.30 | 812 | 14.9 | 796 | 22.9 | 706 | 25.4 | 600 | 27.2 | 539 | 30 | 29.7 | 671 | 25.5 | 746 | 15.2 | 811 | 4.3 | 745 | 0 | 708 | | |
| 14 | -2.60 | -1.10 | 691 | 16.3 | 689 | 23.9 | 610 | 26.4 | 513 | 28.1 | 458 | 30.9 | 30.5 | 579 | 26.6 | 644 | 15.9 | 692 | 4.9 | 614 | 0.2 | 566 | | |
| 15 | -2.60 | -0.90 | 503 | 17 | 523 | 24.4 | 463 | 26.9 | 380 | 28.6 | 336 | 31.6 | 31.2 | 438 | 27 | 485 | 16.2 | 506 | 4.9 | 402 | 0.1 | 336 | | |
| 16 | -3.00 | -0.90 | 268 | 16.6 | 322 | 24.4 | 285 | 26.9 | 222 | 29 | 193 | 32 | 31.2 | 270 | 26.9 | 294 | 15.7 | 272 | 4 | 129 | -0.9 | | | |
| 17 | -3.70 | -1.40 | 35 | 15.6 | 126 | 23.7 | 113 | 26.6 | 88 | 28.9 | 96 | 31.7 | 30.8 | 111 | 26 | 112 | 14.5 | 38 | 3.2 | | -1.5 | | | |
| 18 | -4.40 | -2.70 | | 13.7 | 2 | 22.5 | 38 | 25.4 | 57 | 28.1 | 66 | 31.1 | 29.7 | 40 | 24.2 | 3 | 13.1 | | 2.5 | | -2.1 | | | |
| 19 | -4.80 | -3.30 | | 11.8 | | 20.9 | | 24.2 | 26 | 27 | 36 | 29.8 | 27.9 | | 22 | | 12 | | 1.9 | | -2.5 | | | |
| 20 | -5.30 | -3.50 | | 10.3 | | 19.1 | | 22.2 | | 25.2 | 3 | 27.9 | 25.8 | | 20.5 | | 11.1 | | 1.4 | | -2.5 | | | |
| 21 | -5.80 | -4.10 | | 9.1 | | 17.2 | | 20.2 | | 22.9 | | 25.9 | 23.8 | | 18.8 | | 10.1 | | 0.9 | | -2.9 | | | |
| 22 | -6.20 | -4.50 | | 7.9 | | 16.3 | | 19.1 | | 21.7 | | 24.7 | 22.9 | | 17.7 | | 9.5 | | 0.8 | | -3.2 | | | |
| 23 | -6.50 | -5.20 | | 6.7 | | 15.1 | | 17.8 | | 20.3 | | 23.1 | 21.7 | | 16.9 | | 8.7 | | 0.4 | | -3.5 | | | |
| 24 | -6.80 | -5.60 | | 5.8 | | 13.9 | | 16.4 | | 19.1 | | 21.9 | 20.6 | | 15.8 | | 8.2 | | 0.2 | | -3.9 | | | |
| | -5.1 | 201.5 | -5.0 | 228.0 | 8.3 | 239.5 | 16.7 | 215.4 | 19.5 | 183.4 | 21.8 | 167.5 | 24.6 | 177.6 | 23.6 | 205.1 | 18.9 | 223.0 | 10.2 | 228.7 | 1.8 | 190.4 | -2.4 | 165.6 |

Tabelle A.2-56

A.2.4 Abschätzung von Solargewinnen opaker Bauteile

Mit den Werten aus dem ESRA¹⁴ und über die Software DynaTherm¹⁵ ist es relativ einfach solare Gewinne opaker Flächen abzuschätzen. Die Abschätzung ergibt ähnliche Ergebnisse, wie sie bspw. Feist in¹⁶ für eine Ziegelwand (Klima: TRJ Frankfurt/Main, unverschattete Südwand, $U = 1.41 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$, Absorption 70 %) darstellt. Leider geht der Autor auf den Rechengang nicht ein. Darum wird versucht, das Ergebnis mit den bereits genannten Programmen für den Standort Magdeburg nachzustellen. Da für Magdeburg keine vergleichbaren Rechnungen/Simulationen zu finden waren, wurden die DynaTherm-Ergebnisse zusätzlich tabellarisch¹⁷ ausgewertet. Die Randbedingungen des Beispiels orientieren sich an aktuellen Werten:

Absorptionswert für kurzwellige Strahlung $\alpha = 0.56$ (grauer Putz¹⁸)

Bauteilaufbau von innen nach außen¹⁹:

- Gipsputz ohne Zuschlag $d = 1.5 \text{ cm}$
- Kalksandstein DIN106 Dichte 2000 $d = 17.5 \text{ cm}$
- Schilfrohmatten TGL 35424/02²⁰ $d = 14.0 \text{ cm}$
- Klinker Dichte 1800 $d = 11.5 \text{ cm}$

U-Wert (Bauteil) $= 0.35 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$

Stationärer Wärmestrom ($\Delta\vartheta = 19.4 \text{ °C}$) $= 6.8 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ h})$ ²¹

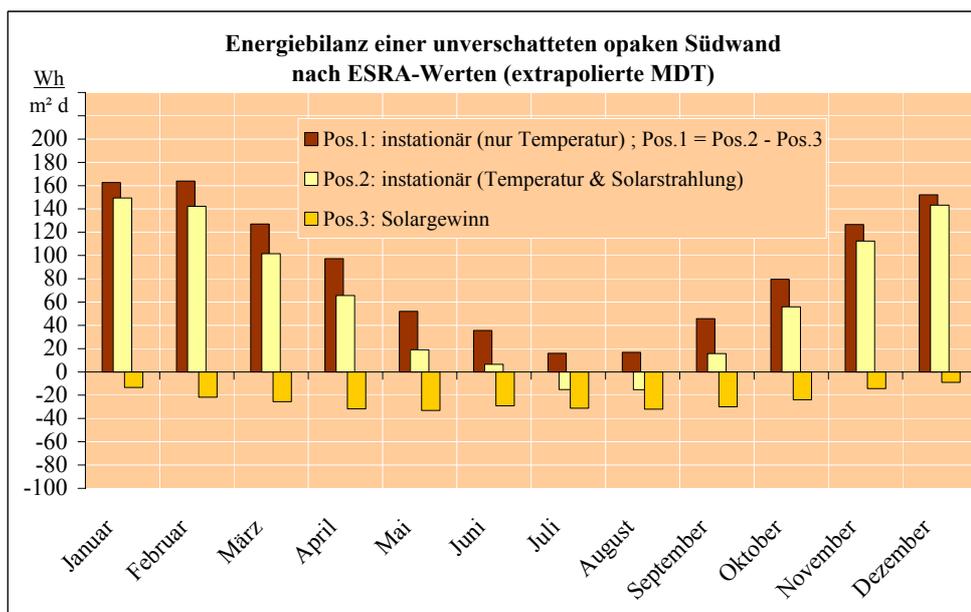


Abbildung A.2-16 Energiebilanz einer Südwand (Klima: ESRA)

¹⁴ vgl. S. A.2-55, Tabelle A.2-55

¹⁵ vgl. Beispielausdruck: Eingabe/Randbedingungen/Berechnung für MDT Januar (ESRA), S. A.2-62 ff.

¹⁶ vgl. Feist: Das Niedrigenergiehaus, 1998, S. 19, Abb. 3-6

¹⁷ vgl. Tabelle A.2-57 bzw. A.2-58

¹⁸ vgl. bspw. Hauser: Vorlesungsskript Bauphysik, 2001, S. 15, Tabelle 1.3, http://www.bpy.uni-kassel.de/de/lehre/Skript_Waermelehre_Okt2001.pdf

¹⁹ vgl. Abbildung A.2-20

²⁰ vgl. TGL 35424/02: Bautechnischer Wärmeschutz, 1985, S. 12

²¹ vgl. Abbildung A.2-21

Zum Vergleich zeigt Abbildung A.2-17 ein mit anderen meteorologischen Randbedingungen (Extremwerte nach VDI 2078²²) simuliertes Beispiel. Es ist zu erkennen, welchen bedeutenden Einfluss die Komponente Solarstrahlung hat. Obwohl die Temperaturwerte nach VDI 2078 einige Kelvin tiefer ausfallen, als die zeitgleichen ESRA-Werte (Winterfall), ist der Nettoverlust deutlich kleiner. Die äußeren klimatischen Randbedingungen sind für derartige Berechnungsergebnisse ausschlaggebend bzw. bestimmend.

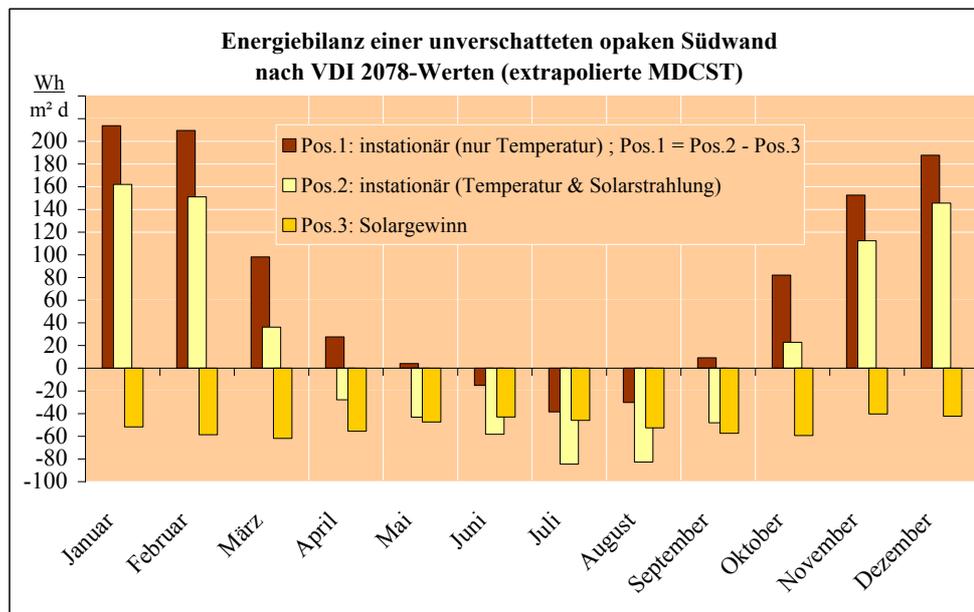


Abbildung A.2-17 Energiebilanz einer Südwand (Klima: VDI 2078)

Die folgenden Gleichungen bieten sich an, wenn auf eine zeitraubende Simulation verzichtet werden soll:

$$g = \tau_e + q_i \quad (\text{bei opaken Flächen ist } \tau_e = 0)^{23} \quad \text{Gl. A.2-3}$$

$$g_{\text{opak}} = \frac{\alpha \cdot U}{\alpha_a} \quad 24 \quad \text{Gl. A.2-4}$$

Über den (fiktiven) Gesamtenergiedurchlassgrad aus Gleichung A.2-4 lassen sich, analog zur Berechnung transparenter Bauteile (Fenster), Solargewinne opaker Flächen berechnen. Aus Gleichung A.2-4 sind die funktionalen Abhängigkeiten ersichtlich. Es bestehen, zumindest für den idealisierten (quasi) stationären Fall, Zusammenhänge mit dem solaren Absorptionsgrad, als auch mit dem U-Wert. Da die letzte Abhängigkeitsbeziehung von Feist²⁵ bestritten wird, wurde nach einer weiteren Quelle gesucht. Die TGL 26760/07²⁶ enthält zu dem strittigen Punkt eine Abbildung. Bei einer (rechnerischen) Untersuchung der funktionalen Zusammenhänge von Bild 1 stellt sich eine eingeschränkte Gültigkeit ($\alpha_a = 25 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$) heraus. Diese Problematik bzw. Abhängigkeit ist bis heute nicht vollständig praxistauglich geklärt. An einem relativ windstillen

²² vgl. S. A.2-56, Tabelle A.2-56

²³ vgl. Heidemann/Hahne: Energetische Beurteilung von Solarkomponenten und Fassadenelementen unter natürlichen klimatischen Bedingungen, <http://www.itw.uni-stuttgart.de/WWW/Literaturliste/Passys1.pdf>, Gleichung 4a

²⁴ vgl. ebenda, Gleichung 4b

²⁵ vgl. Feist: Das Niedrigenergiehaus, 1998, S. 19

²⁶ vgl. TGL 26760/07: Heizlast von Bauwerken, 1983, S. 6, Bild 1

Wintertag kann bspw. der konvektive Wärmeübergang $[\alpha_{cv}]$ einen Wert von $8 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$ ²⁷ annehmen. An dieser Stelle sei rückblickend auf das Kapitel A.1.1 bzw. auf die Anmerkungen von Schüle und Künzel²⁸ verwiesen.

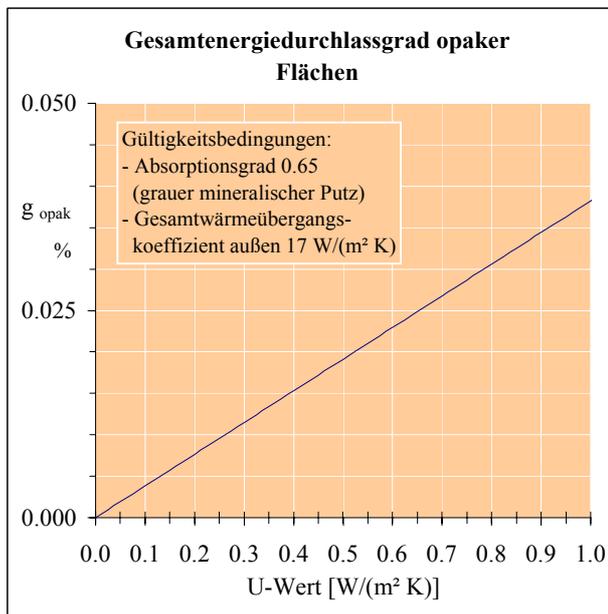


Abbildung A.2-18 Gesamtennergiedurchlassgrad g_{opak}

V 4108-6³⁰ als Temperaturdifferenz zur Umgebungsluft (10 K) angegeben. Das dieser Wert zu pauschal und optimistisch angesetzt ist, beweist die Abbildung A.2-19. Sie zeigt den jahreszeitlichen Verlauf von Luft- und Himmelstemperatur. Die relativ eingeschränkte Aussagekraft der Abbildung kann mit den Werten der Tabelle A.2-59³¹ verbessert werden.

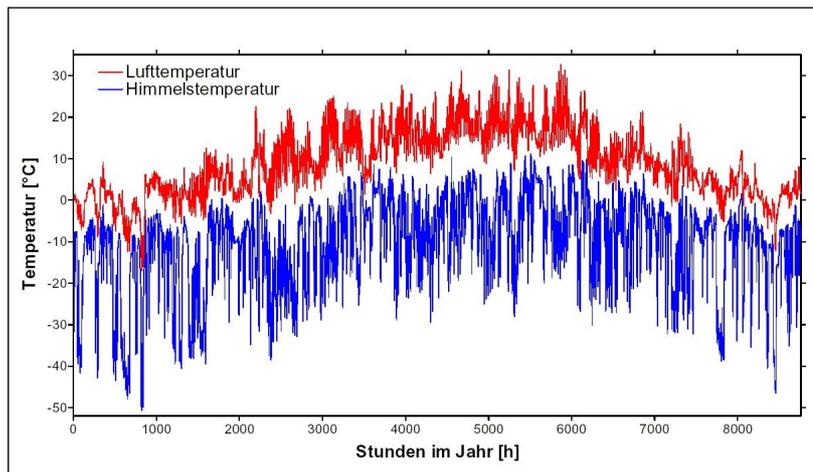


Abbildung A.2-19 Himmelstemperatur infolge IR-Strahlungsaustausch³²

²⁷ vgl. Finger/Kneubühl/Thiébaud/Zürcher/Frank: Verbesserung des Energiehaushalts von Gebäuden durch Verminderung der Wärmeabstrahlung IN: Schweizer Ingenieur und Architekt, 1979, S. 287

²⁸ vgl. Gösele/Schüle/Künzel: Schall-Wärme-Feuchte, 1997, S. 179

²⁹ vgl. S. A.1-8 ff.

³⁰ vgl. DIN V 4108-6:200-11: Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden, S. 30

³¹ Dem Verfasser wurde vom ZAE Bayern (Dipl.-Phys. H. Weigl) Datenmaterial zur Verfügung gestellt.

³² vgl. <http://www.zae-bayern.de/a2/pdf/zisterne.pdf>

Energiebilanz mit DynaTherm und ESRA-Werten

| | | Januar | Februar | März | April | Mai | Juni | Juli | August | September | Oktober | November | Dezember |
|----------|-----------------------------------|---------------------------|---------|------|-------|------|------|------|--------|-----------|---------|----------|----------|
| Zeit [h] | | | | | | | | | | | | | |
| 1 | | 6.3 | 6.0 | 4.3 | 2.8 | 0.8 | 0.3 | -0.6 | -0.6 | 0.7 | 2.4 | 4.7 | 6.0 |
| 2 | | 6.2 | 5.9 | 4.2 | 2.7 | 0.8 | 0.3 | -0.6 | -0.6 | 0.7 | 2.3 | 4.7 | 6.0 |
| 3 | | 6.2 | 5.9 | 4.2 | 2.7 | 0.7 | 0.2 | -0.7 | -0.7 | 0.6 | 2.3 | 4.7 | 6.0 |
| 4 | | 6.2 | 5.9 | 4.2 | 2.6 | 0.7 | 0.2 | -0.7 | -0.7 | 0.6 | 2.3 | 4.7 | 6.0 |
| 5 | | 6.2 | 5.8 | 4.1 | 2.6 | 0.6 | 0.1 | -0.8 | -0.8 | 0.5 | 2.2 | 4.6 | 5.9 |
| 6 | | 6.2 | 5.8 | 4.1 | 2.6 | 0.6 | 0.1 | -0.8 | -0.8 | 0.5 | 2.2 | 4.6 | 5.9 |
| 7 | | 6.2 | 5.8 | 4.1 | 2.6 | 0.6 | 0.1 | -0.8 | -0.8 | 0.5 | 2.2 | 4.6 | 5.9 |
| 8 | | 6.1 | 5.8 | 4.1 | 2.5 | 0.6 | 0.1 | -0.8 | -0.8 | 0.5 | 2.2 | 4.6 | 5.9 |
| 9 | | 6.1 | 5.8 | 4.1 | 2.5 | 0.6 | 0.1 | -0.8 | -0.8 | 0.5 | 2.2 | 4.6 | 5.9 |
| 10 | | 6.1 | 5.8 | 4.1 | 2.6 | 0.6 | 0.1 | -0.8 | -0.8 | 0.5 | 2.2 | 4.6 | 5.9 |
| 11 | | 6.2 | 5.8 | 4.1 | 2.6 | 0.6 | 0.1 | -0.8 | -0.8 | 0.5 | 2.2 | 4.6 | 5.9 |
| 12 | | 6.2 | 5.8 | 4.1 | 2.6 | 0.7 | 0.2 | -0.7 | -0.8 | 0.5 | 2.2 | 4.6 | 5.9 |
| 13 | | 6.2 | 5.9 | 4.2 | 2.7 | 0.7 | 0.2 | -0.7 | -0.7 | 0.6 | 2.3 | 4.6 | 5.9 |
| 14 | | 6.2 | 5.9 | 4.2 | 2.7 | 0.8 | 0.3 | -0.6 | -0.7 | 0.6 | 2.3 | 4.6 | 5.9 |
| 15 | | 6.2 | 5.9 | 4.2 | 2.8 | 0.8 | 0.3 | -0.6 | -0.6 | 0.7 | 2.3 | 4.7 | 6.0 |
| 16 | | 6.2 | 6.0 | 4.3 | 2.8 | 0.9 | 0.4 | -0.5 | -0.6 | 0.7 | 2.4 | 4.7 | 6.0 |
| 17 | | 6.3 | 6.0 | 4.3 | 2.9 | 0.9 | 0.4 | -0.5 | -0.5 | 0.8 | 2.4 | 4.7 | 6.0 |
| 18 | | 6.3 | 6.0 | 4.4 | 2.9 | 1.0 | 0.4 | -0.5 | -0.5 | 0.8 | 2.4 | 4.7 | 6.0 |
| 19 | | 6.3 | 6.1 | 4.4 | 2.9 | 1.0 | 0.5 | -0.4 | -0.4 | 0.8 | 2.5 | 4.8 | 6.0 |
| 20 | | 6.3 | 6.1 | 4.4 | 2.9 | 1.0 | 0.5 | -0.4 | -0.4 | 0.8 | 2.5 | 4.8 | 6.0 |
| 21 | | 6.3 | 6.1 | 4.4 | 2.9 | 1.0 | 0.5 | -0.4 | -0.4 | 0.8 | 2.5 | 4.8 | 6.0 |
| 22 | | 6.3 | 6.0 | 4.4 | 2.9 | 1.0 | 0.4 | -0.4 | -0.4 | 0.8 | 2.5 | 4.8 | 6.0 |
| 23 | | 6.3 | 6.0 | 4.3 | 2.9 | 0.9 | 0.4 | -0.5 | -0.5 | 0.8 | 2.4 | 4.8 | 6.0 |
| 24 | | 6.3 | 6.0 | 4.3 | 2.8 | 0.9 | 0.4 | -0.5 | -0.5 | 0.8 | 2.4 | 4.7 | 6.0 |
| e | $P_{i, \text{instat}}$ | 6.2 | 5.9 | 4.2 | 2.7 | 0.8 | 0.3 | -0.6 | -0.6 | 0.7 | 2.3 | 4.7 | 6.0 |
| h | $P_{i, \text{stat}}$ | 6.8 | 6.8 | 5.3 | 4.1 | 2.2 | 1.5 | 0.7 | 0.7 | 1.9 | 3.3 | 5.3 | 6.3 |
| i | Solargewinn | 8 | 13 | 20 | 33 | 64 | 82 | 195 | 191 | 66 | 30 | 11 | 6 |
| k | $\vartheta_{e, L, \text{Mon}}$ °C | 0.6 | 0.5 | 4.9 | 8.4 | 13.8 | 15.8 | 18.1 | 18.0 | 14.6 | 10.5 | 4.9 | 1.9 |
| l | $\vartheta_{i, L}$ °C | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 |
| o | $\Delta \vartheta$ °C | 19.4 | 19.6 | 15.2 | 11.6 | 6.2 | 4.3 | 1.9 | 2.0 | 5.4 | 9.5 | 15.1 | 18.2 |
| r | U-Wert | 0.35 W/(m ² K) | | | | | | | | | | | |
| u | $Q_{S, i, \text{stat}}$ | 163 | 164 | 127 | 97 | 52 | 36 | 16 | 17 | 46 | 80 | 127 | 152 |
| v | Solargewinn | 13 | 22 | 26 | 32 | 33 | 29 | 31 | 32 | 30 | 24 | 14 | 9 |
| w | $Q_{S, i, \text{instat}}$ | 149 | 142 | 101 | 66 | 19 | 7 | -15 | -15 | 16 | 56 | 112 | 143 |

Hinweise:

Tabelle A.2-57

- gerechnet bzw. simuliert wurde mit DynaTherm ausgehend vom stationären Zustand³³ + 7 d- Werte Zeile "e" und "h": vgl. DynaTherm³⁴

- Werte Zeile "i" in %

- Werte Zeile "k": vgl. Tabelle A.2-55

$$Q_{S, i, \text{stat}} = U \cdot A \cdot \Delta \vartheta \cdot \Delta t = P_{i, \text{stat}} \cdot \Delta t$$

Gl. A.2-5

- Werte Zeile "u" bis "v" in Wh/(m² d)- Werte Zeile "w": vgl. DynaTherm³⁵

$$Q_{S, i, \text{instat}} = P_{i, \text{instat}} \cdot \Delta t \quad \text{Gl. A.2-6}$$

³³ vgl. Abbildung A.2-21³⁴ vgl. ebenda bzw. Abbildung A.2-24³⁵ vgl. Abbildung A.2-24

Energiebilanz mit DynaTherm und VDI 2078-Werten

| | | Januar | Februar | März | April | Mai | Juni | Juli | August | September | Oktober | November | Dezember |
|---|-----------------------------------|---------------------------|---------|------|-------|------|------|------|--------|-----------|---------|----------|----------|
| | Zeit [h] | | | | | | | | | | | | |
| | 1 | 6.7 | 6.3 | 1.6 | -1.1 | -1.7 | -2.4 | -3.5 | -3.4 | -2.0 | 1.0 | 4.7 | 6.0 |
| | 2 | 6.7 | 6.2 | 1.5 | -1.2 | -1.8 | -2.4 | -3.5 | -3.5 | -2.1 | 0.9 | 4.7 | 6.0 |
| | 3 | 6.6 | 6.2 | 1.4 | -1.3 | -1.9 | -2.5 | -3.6 | -3.6 | -2.1 | 0.8 | 4.7 | 5.9 |
| | 4 | 6.6 | 6.1 | 1.3 | -1.3 | -2.0 | -2.6 | -3.7 | -3.6 | -2.2 | 0.7 | 4.7 | 5.9 |
| | 5 | 6.5 | 6.1 | 1.2 | -1.4 | -2.0 | -2.6 | -3.7 | -3.7 | -2.3 | 0.7 | 4.6 | 5.9 |
| | 6 | 6.5 | 6.0 | 1.2 | -1.4 | -2.1 | -2.7 | -3.8 | -3.7 | -2.3 | 0.7 | 4.6 | 5.9 |
| | 7 | 6.5 | 6.0 | 1.2 | -1.5 | -2.1 | -2.7 | -3.8 | -3.7 | -2.3 | 0.7 | 4.6 | 5.9 |
| | 8 | 6.5 | 6.0 | 1.2 | -1.5 | -2.1 | -2.7 | -3.8 | -3.8 | -2.3 | 0.7 | 4.6 | 5.9 |
| | 9 | 6.6 | 6.1 | 1.2 | -1.5 | -2.1 | -2.7 | -3.8 | -3.7 | -2.3 | 0.7 | 4.6 | 5.9 |
| | 10 | 6.6 | 6.1 | 1.2 | -1.4 | -2.1 | -2.7 | -3.8 | -3.7 | -2.3 | 0.7 | 4.6 | 5.9 |
| | 11 | 6.6 | 6.1 | 1.3 | -1.4 | -2.0 | -2.6 | -3.7 | -3.7 | -2.2 | 0.8 | 4.6 | 6.0 |
| | 12 | 6.7 | 6.2 | 1.3 | -1.3 | -2.0 | -2.6 | -3.7 | -3.6 | -2.2 | 0.8 | 4.6 | 6.0 |
| | 13 | 6.7 | 6.3 | 1.4 | -1.2 | -1.9 | -2.5 | -3.6 | -3.5 | -2.1 | 0.9 | 4.6 | 6.1 |
| | 14 | 6.8 | 6.3 | 1.5 | -1.2 | -1.8 | -2.4 | -3.5 | -3.4 | -2.0 | 1.0 | 4.6 | 6.1 |
| | 15 | 6.9 | 6.4 | 1.6 | -1.1 | -1.7 | -2.4 | -3.4 | -3.4 | -1.9 | 1.1 | 4.7 | 6.2 |
| | 16 | 6.9 | 6.5 | 1.7 | -1.0 | -1.6 | -2.3 | -3.4 | -3.3 | -1.8 | 1.2 | 4.7 | 6.2 |
| | 17 | 7.0 | 6.5 | 1.8 | -0.9 | -1.6 | -2.2 | -3.3 | -3.2 | -1.7 | 1.2 | 4.7 | 6.3 |
| | 18 | 7.0 | 6.6 | 1.8 | -0.8 | -1.5 | -2.2 | -3.3 | -3.1 | -1.7 | 1.3 | 4.7 | 6.3 |
| | 19 | 7.0 | 6.6 | 1.9 | -0.8 | -1.5 | -2.1 | -3.2 | -3.1 | -1.6 | 1.3 | 4.8 | 6.3 |
| | 20 | 7.0 | 6.6 | 1.9 | -0.8 | -1.5 | -2.1 | -3.2 | -3.1 | -1.6 | 1.3 | 4.8 | 6.3 |
| | 21 | 7.0 | 6.5 | 1.8 | -0.8 | -1.5 | -2.1 | -3.2 | -3.1 | -1.7 | 1.2 | 4.8 | 6.2 |
| | 22 | 6.9 | 6.5 | 1.8 | -0.9 | -1.5 | -2.2 | -3.3 | -3.2 | -1.7 | 1.2 | 4.8 | 6.2 |
| | 23 | 6.8 | 6.4 | 1.7 | -0.9 | -1.6 | -2.2 | -3.3 | -3.2 | -1.8 | 1.1 | 4.8 | 6.1 |
| | 24 | 6.8 | 6.4 | 1.6 | -1.0 | -1.7 | -2.3 | -3.4 | -3.3 | -1.9 | 1.0 | 4.7 | 6.1 |
| e | $P_{i, \text{instat}}$ | 6.8 | 6.3 | 1.5 | -1.2 | -1.8 | -2.4 | -3.5 | -3.4 | -2.0 | 1.0 | 4.7 | 6.1 |
| h | $P_{i, \text{stat}}$ | 8.9 | 8.7 | 4.1 | 1.2 | 0.2 | -0.6 | -1.6 | -1.3 | 0.4 | 3.4 | 6.4 | 7.8 |
| i | Solargewinn | 24 | 28 | 63 | 200 | 1129 | -285 | -119 | -174 | 621 | 72 | 26 | 23 |
| k | $\vartheta_{e, L, \text{Mon}}$ °C | -5.5 | 0.5 | 4.9 | 8.4 | 13.8 | 15.8 | 18.1 | 18.0 | 14.6 | 10.5 | 4.9 | 1.9 |
| l | $\vartheta_{i, L}$ °C | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 |
| o | $\Delta \vartheta$ °C | 25.5 | 19.6 | 15.2 | 11.6 | 6.2 | 4.3 | 1.9 | 2.0 | 5.4 | 9.5 | 15.1 | 18.2 |
| r | U-Wert | 0.35 W/(m ² K) | | | | | | | | | | | |
| u | $Q_{S, i, \text{stat}}$ | 214 | 210 | 98 | 28 | 4 | -15 | -39 | -30 | 9 | 82 | 153 | 188 |
| v | Solargewinn | 52 | 59 | 62 | 55 | 47 | 43 | 46 | 53 | 57 | 59 | 40 | 42 |
| w | $Q_{S, i, \text{instat}}$ | 162 | 151 | 36 | -28 | -43 | -58 | -84 | -83 | -48 | 23 | 112 | 146 |

Hinweise:

Tabelle A.2-58

- gerechnet bzw. simuliert wurde mit DynaTherm ausgehend vom stationären Zustand³³ + 7 d
- Werte Zeile "e" und "h": vgl. DynaTherm
- Werte Zeile "i" in %
- Werte Zeile "k": vgl. Tabelle A.2-56
- Werte Zeile "u" bis "v" in Wh/(m² d)
- Werte Zeile "w": vgl. DynaTherm

$$Q_{S, i, \text{stat}} = U \cdot A \cdot \Delta \vartheta \cdot \Delta t = P_{i, \text{stat}} \cdot \Delta t$$

Gl. A.2-5

$$Q_{S, i, \text{instat}} = P_{i, \text{instat}} \cdot \Delta t \quad \text{Gl. A.2-6}$$

Berechnungsbeispiel mit DynaTherm

Gerechnet: MDT (Januar) zu Abbildung A.2-16 (instationäre Bilanz, ESRA)

Excel- bzw. DynaTherm-Arbeitsblatt: "Wandaufbau" – Seite 1

| Fehlerfelder | Pos.-Nr. Wandaufbau | Pos.-Nr. Material-Datenbank | Bewegen Sie die Maus in dieses Feld um allgemeine Informationen, Hilfe und Tipps zu erhalten | | Schichtdicke s in [cm] | Wärmekapazität c in [Ws/(kg*K)] | Wärmeleitfähigkeit λ in [W/(m*K) bzw. alpha in [W/(m²*K)] | 1/Δ Wärmedurchlasswiderstand in [m²*K/W] | Dichte ρ in [kg/m³] | Masse in [kg/m²] -Wandfläche |
|--------------|---------------------|-----------------------------|--|-------|------------------------|---------------------------------|---|--|---------------------|------------------------------|
| | | | Material | innen | | | | | | |
| ok | 1 | 18 | Gipsputz ohne Zuschlag | ▶ | 1.50 | 1000 | 0.35 | 0 | 0 | 0 |
| ok | 2 | 143 | Kalksandsteine DIN106 Dichte 2000 | ▶ | 17.50 | 1000 | 1.1 | 0 | 0 | 0 |
| ok | 3 | 330 | Schilf | ▶ | 14.00 | 2000 | 0.06 | 0 | 0 | 0 |
| ok | 4 | 116 | Klinker Dichte 1800 | ▶ | 11.50 | 1000 | 0.81 | 0 | 0 | 0 |
| ok | | 1 | *****KEIN | ▶ | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| ok | | 1 | *****KEIN | ▶ | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| ok | | 1 | *****KEIN | ▶ | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| ok | | 1 | *****KEIN | ▶ | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| ok | | 1 | *****KEIN | ▶ | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| ok | | 1 | *****KEIN | ▶ | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| ok | | 1 | *****KEIN | ▶ | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| ok | | 1 | *****KEIN | ▶ | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| ok | | 1 | *****KEIN | ▶ | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| ok | | 1 | *****KEIN | ▶ | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| ok | | 1 | *****KEIN | ▶ | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| ok | | 1 | *****KEIN | ▶ | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Σ | 4 | | | | 44.50 | | 2.6773 | | 601.6 | |
| | Schichten | | | | Gesamtdicke | | | | | |

Die unteren Angaben werden nur benötigt, falls Sie eine instationäre Temperaturverteilung unter Einfluss der Sonnenstrahlung berechnen wollen

| | |
|--|--------------------|
| (alpha) Neigung der Wand zum Horizont | 90 [Grad] |
| Azimuth der Außenwand (Nord 0; West 270) | 180 [Grad] |
| Geographische Breite (Norden Positiv) | 52.7 [Grad] |
| Geographische Länge (Westen Positiv) | -11.34 [Grad] |
| Differenz zur Greenwichzeit (GMT) | 2 [h] |
| Berlin(GMT+1) Geographische Breite | 52.52 North [Grad] |
| Geographische Länge | -13.4 East [Grad] |

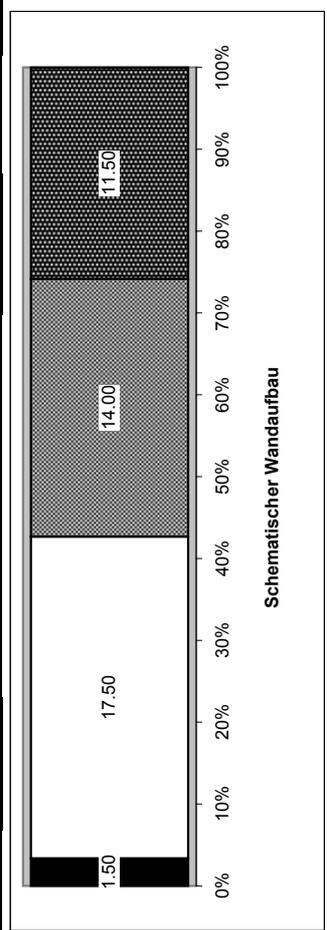
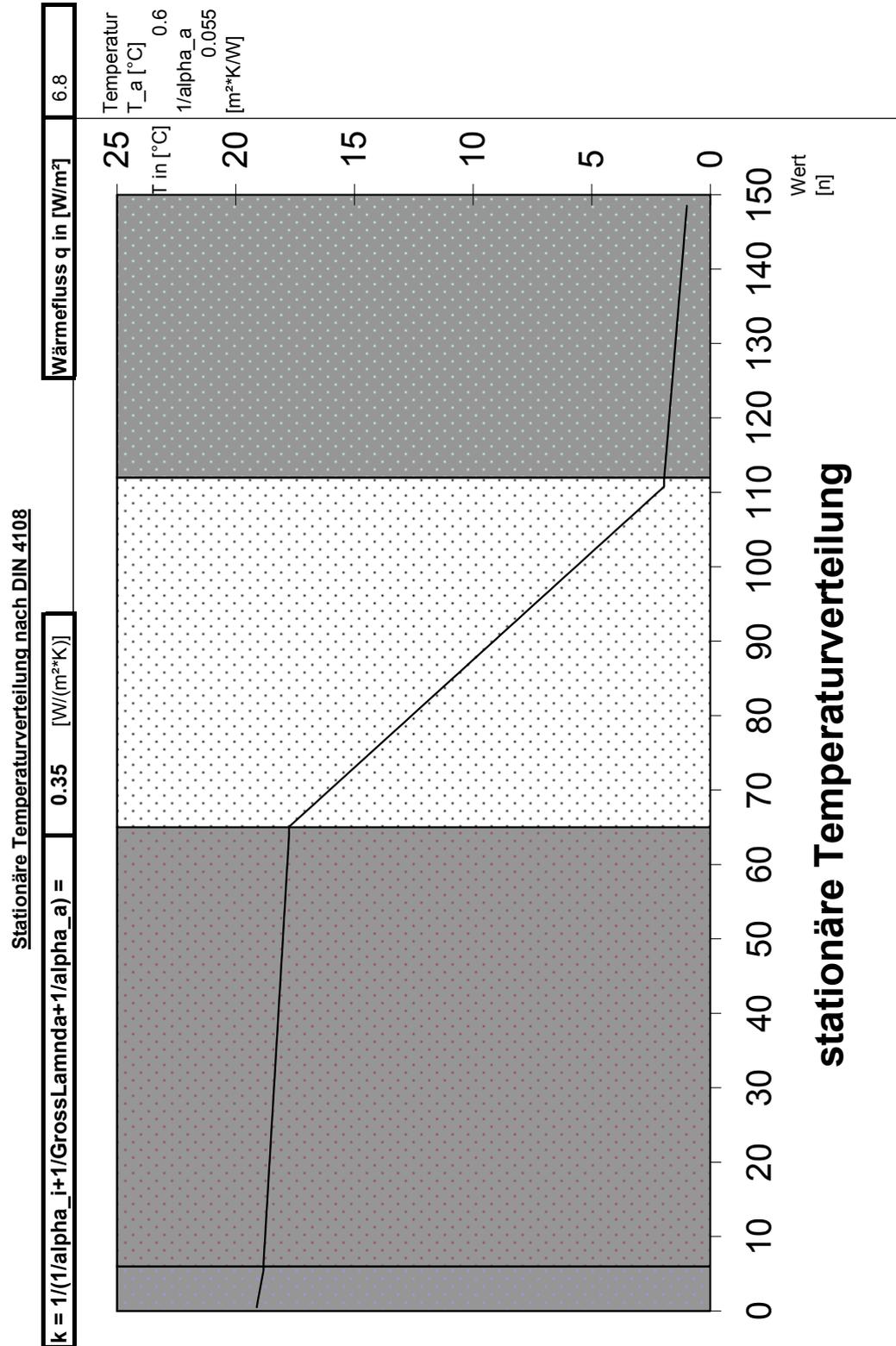


Abbildung A.2-20

DynaTherm-Arbeitsblatt: "Wandaufbau" – Seite 2



Temperatur
T_innen [°C]
20
1/alpha_i
0.13
[m²*K/W]

Temperatur
T_a [°C]
0.6
1/alpha_a
0.055
[m²*K/W]

Abbildung A.2-21

DynaTherm-Arbeitsblatt: "Randbedingungen"

Intervall in dem Messwerte vorliegen (hh:mm:ss) 1:00

Endtermin des letzten Messwertes (dd:mm:yyyy hh:mm:ss) 18.1.00 1:00

Berechnete Differenz in [h] 168 h

Bewegen Sie die Maus in dieses Feld um allgemeine Informationen, Hilfe und Tipps zu erhalten

Trübungsfaktor
0.05 nach Schülpp

Strahlung zur Flächennormalen am Bauteil gemessen
 meteorologische Globalstrahlung (an der Horizontalen)
 Gemittelte Strahlung des angegebenen Tages

(innen)

0.93 Strahlungsabsorptionsfaktor der Innenoberfläche
 FALSCH Seite mit Sonnenstrahlung
 WAHR Stationäre Randbedingungen an der Innenseite

7.69 alpha Null (6.4 - 8.7) in [W/m²K]

(außen)

0.56 Strahlungsabsorptionsfaktor der Außenoberfläche
 WAHR Seite mit Sonnenstrahlung
 FALSCH Stationäre Randbedingungen an der Außenseite

18.18 alpha Null (6.4 - 8.7) in [W/m²K]

| Starttermin (dd:mm-yyy-hh:mm:ss) | Uhrzeit (dd:mm.yy.hh.m) | Windgeschwindigkeit [m/s] | Wärmeübergang alpha [W/(m²K)] | Temperatur in [°C] | gemessene Strahlungsenergie in [W/m²] | direkte Strahlung auf das Bauteil in [W/m²] | Diffuse Strahlung auf das Bauteil in [W/m²] | Strahlung auf das Bauteil in [W/m²] | Strahlungsenergie auf das Bauteil in [W/m²] | Temperatur in [°C] | direkte Strahlung auf das Bauteil in [W/m²] | Diffuse Strahlung auf das Bauteil in [W/m²] | Strahlung auf das Bauteil in [W/m²] | Strahlungsenergie auf das Bauteil in [W/m²] | Temperatur in [°C] | Uhrzeit innen (dd:mm.yy.hh.m) |
|----------------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------------|--------------------|---------------------------------------|---|---|-------------------------------------|---|--------------------|---|---|-------------------------------------|---|--------------------|-------------------------------|
| 18.1.00 1:00 | 11.1.00 1:00 | | 7.69 | 20.00 | | | | | | | | | | | | 11.1.00 1:00 |
| | 11.1.00 2:00 | | 7.69 | 20.00 | | | | | | | | | | | | 11.1.00 2:00 |
| | 11.1.00 3:00 | | 7.69 | 20.00 | | | | | | | | | | | | 11.1.00 3:00 |
| | 11.1.00 4:00 | | 7.69 | 20.00 | | | | | | | | | | | | 11.1.00 4:00 |
| | 11.1.00 5:00 | | 7.69 | 20.00 | | | | | | | | | | | | 11.1.00 5:00 |
| | 11.1.00 6:00 | | 7.69 | 20.00 | | | | | | | | | | | | 11.1.00 6:00 |
| | 11.1.00 7:00 | | 7.69 | 20.00 | | | | | | | | | | | | 11.1.00 7:00 |
| | 11.1.00 8:00 | | 7.69 | 20.00 | | | | | | | | | | | | 11.1.00 8:00 |
| | 11.1.00 9:00 | | 7.69 | 20.00 | | | | | | | | | | | | 11.1.00 9:00 |
| | 11.1.00 10:00 | | 7.69 | 20.00 | | | | | | | | | | | | 11.1.00 10:00 |
| | 11.1.00 11:00 | | 7.69 | 20.00 | | | | | | | | | | | | 11.1.00 11:00 |
| | 11.1.00 12:00 | | 7.69 | 20.00 | | | | | | | | | | | | 11.1.00 12:00 |
| | 11.1.00 13:00 | | 7.69 | 20.00 | | | | | | | | | | | | 11.1.00 13:00 |
| | 11.1.00 14:00 | | 7.69 | 20.00 | | | | | | | | | | | | 11.1.00 14:00 |
| | 11.1.00 15:00 | | 7.69 | 20.00 | | | | | | | | | | | | 11.1.00 15:00 |
| | 11.1.00 16:00 | | 7.69 | 20.00 | | | | | | | | | | | | 11.1.00 16:00 |
| | 11.1.00 17:00 | | 7.69 | 20.00 | | | | | | | | | | | | 11.1.00 17:00 |
| | 11.1.00 18:00 | | 7.69 | 20.00 | | | | | | | | | | | | 11.1.00 18:00 |
| | 11.1.00 19:00 | | 7.69 | 20.00 | | | | | | | | | | | | 11.1.00 19:00 |

Achtung alle Daten beziehen sich auf die lokale Winterzeit!!!

Schematische Wandaufbau

Abbildung A.2-22

Auswahl aus dem Wetterdatensatz vom Dach des ZAE (Uni-Würzburg)

Originaldatensatz (alle 0.066 Stunden = 31'968 Wertezeilen) Periode: 01.11.2001 bis 28.02.2002

(Stundenwerte der Periode 01. - 10. Januar 2002 vom Verfasser rechnerisch u. tabellarisch aufbereitet)

| Datum | Zeit h | Tag | Luft | horizontal | | senkrecht/süd | | Gegen- | (Himmel) | $T_{\text{Luft}} - T_{\text{Sky}}$ °K |
|------------|-----------|-------|-------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|---|--------------------|--|
| | | | Temp. °C | I_global W/m ² | I_diffus W/m ² | I_global W/m ² | I_diffus W/m ² | strahlung horiz. W/m ² | Sky Temp. °C | |
| A | B | D | E | G | L | M | O | Q | R | E-R |
| 01.01.2002 | 1 | 0.042 | -8.2 | -7.9 | -6.6 | -10.0 | -9.1 | 264.5 | -11.6 | -3.5 |
| | 2 | 0.083 | -8.5 | -8.8 | -7.2 | -10.4 | -9.2 | 264.3 | -11.7 | -3.2 |
| | 3 | 0.125 | -8.4 | -6.9 | -5.7 | -7.8 | -7.4 | 269.1 | -10.5 | -2.1 |
| | 4 | 0.167 | -7.0 | -7.6 | -6.4 | -7.6 | -7.0 | 273.8 | -9.4 | -2.4 |
| | 5 | 0.208 | -5.8 | -7.5 | -6.2 | -7.7 | -6.7 | 276.5 | -8.7 | -2.9 |
| | 6 | 0.250 | -4.9 | -8.8 | -7.1 | -8.7 | -7.5 | 279.2 | -8.1 | -3.2 |
| | 7 | 0.292 | -4.2 | -12.6 | -11.1 | -13.2 | -9.7 | 280.2 | -7.9 | -3.6 |
| | 8 | 0.333 | -3.9 | -22.4 | -19.7 | -23.5 | -15.5 | 282.2 | -7.4 | -3.5 |
| | 9 | 0.375 | -3.4 | -20.9 | -18.8 | -22.0 | -14.6 | 284.0 | -7.0 | -3.5 |
| | 10 | 0.417 | -3.0 | -22.3 | -18.2 | -18.6 | -9.8 | 285.4 | -6.7 | -3.7 |
| | 11 | 0.458 | -2.6 | -22.9 | -13.8 | -5.2 | 5.6 | 287.1 | -6.2 | -3.7 |
| | 12 | 0.500 | -1.8 | -12.6 | 2.3 | 27.5 | 35.5 | 286.4 | -6.4 | -4.6 |
| | 13 | 0.542 | -1.3 | -0.4 | 18.2 | 53.5 | 56.9 | 288.3 | -6.0 | -4.7 |
| | 14 | 0.583 | -0.9 | 13.3 | 30.3 | 64.7 | 60.9 | 292.8 | -4.9 | -4.0 |
| | 15 | 0.625 | -0.5 | 12.2 | 29.3 | 63.9 | 59.9 | 292.3 | -5.0 | -4.5 |
| | 16 | 0.667 | -0.8 | 7.1 | 20.2 | 44.5 | 42.9 | 290.4 | -5.5 | -4.7 |
| | 17 | 0.708 | -1.1 | -6.8 | -1.1 | 4.8 | 7.0 | 289.4 | -5.7 | -4.6 |
| | 18 | 0.750 | -1.5 | -17.3 | -15.7 | -17.8 | -11.6 | 289.4 | -5.7 | -4.2 |
| | 19 | 0.792 | -1.6 | -21.3 | -19.4 | -22.0 | -14.5 | 288.5 | -5.9 | -4.3 |
| | 20 | 0.833 | -1.7 | -27.3 | -24.6 | -28.1 | -17.5 | 288.0 | -6.0 | -4.3 |
| | 21 | 0.875 | -1.9 | -29.3 | -26.4 | -30.6 | -19.0 | 286.6 | -6.4 | -4.5 |
| | 22 | 0.917 | -2.3 | -30.1 | -26.9 | -31.4 | -19.6 | 286.0 | -6.5 | -4.2 |
| | 23 | 0.958 | -2.7 | -29.3 | -26.3 | -31.1 | -19.3 | 285.2 | -6.7 | -4.0 |
| | 24 | 1.000 | -3.1 | -30.7 | -27.5 | -32.6 | -20.9 | 283.9 | -7.0 | -3.9 |
| 02.01.2002 | 1 | 1.042 | -3.5 | -32.3 | -28.6 | -35.2 | -22.0 | 282.0 | -7.4 | -4.0 |
| | 2 | 1.083 | -3.9 | -28.9 | -25.7 | -31.2 | -20.1 | 278.7 | -8.2 | -4.3 |
| | 3 | 1.125 | -4.7 | -13.1 | -11.7 | -14.9 | -11.0 | 274.9 | -9.1 | -4.4 |
| | 4 | 1.167 | -5.6 | -18.5 | -16.5 | -21.3 | -15.0 | 274.7 | -9.2 | -3.5 |
| | 5 | 1.208 | -5.4 | -6.1 | -5.3 | -7.3 | -7.5 | 273.3 | -9.5 | -4.1 |
| | 6 | 1.250 | -5.6 | -13.7 | -11.9 | -15.4 | -11.8 | 278.4 | -8.3 | -2.7 |
| | 7 | 1.292 | -4.1 | -24.7 | -22.1 | -25.3 | -17.3 | 275.5 | -9.0 | -4.9 |
| | 8 | 1.333 | -4.3 | -9.6 | -9.3 | -10.7 | -8.9 | 273.4 | -9.5 | -5.2 |
| | 9 | 1.375 | -5.1 | -18.3 | -16.7 | -19.9 | -13.5 | 276.5 | -8.7 | -3.6 |
| | 10 | 1.417 | -4.5 | -4.3 | 0.9 | 3.3 | 2.9 | 276.8 | -8.7 | -4.1 |
| | 11 | 1.458 | -3.8 | 17.4 | 63.8 | 195.8 | 76.1 | 278.0 | -8.4 | -4.5 |
| | 12 | 1.500 | -3.1 | 10.5 | 66.3 | 121.8 | 89.5 | 255.6 | -14.1 | -11.0 |
| | 13 | 1.542 | -2.2 | 38.1 | 148.6 | 420.5 | 195.9 | 207.2 | -27.2 | -25.0 |
| | 14 | 1.583 | -1.1 | 83.7 | 153.4 | 761.3 | 191.4 | 196.8 | -30.3 | -29.2 |
| | 15 | 1.625 | -0.5 | 98.8 | 132.3 | 793.1 | 155.7 | 197.9 | -29.9 | -29.4 |
| | 16 | 1.667 | -0.5 | 161.5 | 36.0 | 620.9 | 109.0 | 227.6 | -21.4 | -21.0 |
| | 17 | 1.708 | -0.7 | 41.0 | 22.2 | 164.5 | 32.4 | 277.6 | -8.5 | -7.8 |
| | 18 | 1.750 | -0.9 | -22.3 | -19.0 | -23.7 | -14.2 | 288.5 | -5.9 | -5.1 |

| | | | | | | | | | | |
|----|----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 43 | 19 | 1.792 | -0.9 | -31.2 | -27.5 | -32.7 | -20.3 | 289.0 | -5.8 | -4.9 |
| 44 | 20 | 1.833 | -1.2 | -26.3 | -23.1 | -27.4 | -17.4 | 287.0 | -6.3 | -5.0 |
| 45 | 21 | 1.875 | -1.7 | -25.1 | -22.5 | -26.2 | -16.7 | 249.7 | -15.7 | -14.0 |
| 46 | 22 | 1.917 | -2.7 | -28.5 | -25.4 | -29.1 | -18.7 | 212.7 | -25.7 | -23.0 |
| 47 | 23 | 1.958 | -4.0 | -30.3 | -27.1 | -30.5 | -20.2 | 203.0 | -28.4 | -24.4 |
| 48 | 24 | 2.000 | -5.3 | -32.3 | -28.9 | -32.4 | -21.2 | 219.7 | -23.6 | -18.3 |
| 49 | 1 | 2.042 | -6.1 | -29.6 | -26.1 | -29.8 | -19.4 | 266.9 | -11.2 | -5.0 |
| 50 | 2 | 2.083 | -5.7 | -14.0 | -12.5 | -14.5 | -10.4 | 206.4 | -27.5 | -21.8 |
| 51 | 3 | 2.125 | -6.7 | -21.3 | -18.9 | -21.2 | -14.8 | 196.5 | -30.4 | -23.7 |
| 52 | 4 | 2.167 | -7.7 | -19.9 | -17.5 | -19.4 | -13.7 | 199.9 | -29.3 | -21.6 |
| 53 | 5 | 2.208 | -7.3 | -23.8 | -20.7 | -22.9 | -15.7 | 201.0 | -29.0 | -21.7 |
| 54 | 6 | 2.250 | -7.5 | -32.1 | -28.0 | -31.2 | -20.4 | 196.7 | -30.3 | -22.8 |
| 55 | 7 | 2.292 | -8.3 | -31.4 | -27.7 | -31.1 | -20.2 | 195.2 | -30.8 | -22.5 |
| 56 | 8 | 2.333 | -8.7 | -31.3 | -27.5 | -30.8 | -20.2 | 196.6 | -30.4 | -21.7 |
| 57 | 9 | 2.375 | -8.5 | -35.3 | -30.6 | -34.8 | -22.4 | 193.6 | -31.3 | -22.8 |
| 58 | 10 | 2.417 | -9.2 | 63.6 | 9.2 | 127.7 | 11.6 | 189.3 | -32.6 | -23.5 |
| 59 | 11 | 2.458 | -8.3 | 198.8 | 38.0 | 448.1 | 82.5 | 177.4 | -35.8 | -27.5 |
| 60 | 12 | 2.500 | -7.4 | 279.3 | 60.8 | 725.0 | 150.0 | 180.1 | -34.2 | -26.8 |
| 61 | 13 | 2.542 | -6.5 | 335.1 | 71.0 | 936.2 | 176.0 | 141.7 | -33.0 | -26.5 |
| 62 | 14 | 2.583 | -5.8 | 420.8 | 67.8 | 959.3 | 184.5 | 177.4 | -32.3 | -26.6 |
| 63 | 15 | 2.625 | -5.4 | 393.2 | 41.9 | 864.2 | 148.8 | 182.4 | -32.0 | -26.6 |
| 64 | 16 | 2.667 | -5.3 | 246.1 | 25.0 | 676.8 | 91.9 | 181.1 | -31.9 | -26.6 |
| 65 | 17 | 2.708 | -5.4 | 88.4 | 6.9 | 372.9 | 28.4 | 175.1 | -31.7 | -26.3 |
| 66 | 18 | 2.750 | -6.8 | -22.8 | -19.7 | -23.0 | -14.7 | 178.1 | -33.3 | -26.6 |
| 67 | 19 | 2.792 | -7.2 | -23.8 | -21.2 | -23.6 | -16.4 | 175.3 | -33.6 | -26.4 |
| 68 | 20 | 2.833 | -9.0 | -21.7 | -19.2 | -21.6 | -15.3 | 175.4 | -35.8 | -26.8 |
| 69 | 21 | 2.875 | -9.7 | -16.9 | -14.8 | -16.5 | -12.6 | 177.2 | -36.5 | -26.8 |
| 70 | 22 | 2.917 | -9.2 | -14.4 | -13.0 | -13.6 | -11.1 | 181.3 | -35.2 | -26.0 |
| 71 | 23 | 2.958 | -10.2 | -18.1 | -16.2 | -17.9 | -13.1 | 177.8 | -36.4 | -26.2 |
| 72 | 24 | 3.000 | -11.1 | -20.8 | -18.5 | -20.5 | -14.6 | 173.3 | -37.9 | -26.8 |
| 73 | 1 | 3.042 | -11.9 | -12.5 | -11.0 | -12.0 | -10.0 | 171.9 | -38.4 | -26.4 |
| 74 | 2 | 3.083 | -12.4 | -9.8 | -8.8 | -9.4 | -8.7 | 171.7 | -38.4 | -26.0 |
| 75 | 3 | 3.125 | -13.3 | -10.3 | -9.3 | -9.7 | -8.9 | 171.6 | -38.5 | -25.1 |
| 76 | 4 | 3.167 | -13.7 | -15.1 | -13.5 | -14.7 | -11.7 | 171.9 | -38.3 | -24.6 |
| 77 | 5 | 3.208 | -13.5 | -9.3 | -8.4 | -8.3 | -8.2 | 170.0 | -39.0 | -25.5 |
| 78 | 6 | 3.250 | -14.5 | -15.3 | -13.7 | -15.2 | -11.9 | 171.5 | -38.5 | -24.0 |
| 79 | 7 | 3.292 | -14.7 | -14.6 | -13.0 | -14.1 | -11.3 | 175.4 | -37.2 | -22.5 |
| 80 | 8 | 3.333 | -14.5 | -13.9 | -12.4 | -13.7 | -11.1 | 177.6 | -36.4 | -21.9 |
| 81 | 9 | 3.375 | -14.3 | -14.2 | -12.4 | -13.5 | -10.6 | 179.5 | -35.8 | -21.5 |
| 82 | 10 | 3.417 | -14.5 | 48.6 | 5.4 | 123.8 | 8.6 | 184.3 | -34.2 | -19.7 |
| 83 | 11 | 3.458 | -12.5 | 226.3 | 37.8 | 511.8 | 75.2 | 182.0 | -35.0 | -22.5 |
| 84 | 12 | 3.500 | -11.0 | 332.3 | 53.8 | 767.8 | 133.1 | 186.0 | -33.7 | -22.6 |
| 85 | 13 | 3.542 | -9.1 | 408.3 | 59.1 | 900.0 | 163.5 | 184.3 | -34.2 | -25.1 |
| 86 | 14 | 3.583 | -8.9 | 403.4 | 51.0 | 928.4 | 166.6 | 182.2 | -34.9 | -26.0 |
| 87 | 15 | 3.625 | -7.8 | 293.9 | 11.7 | 822.1 | 120.7 | 182.8 | -34.7 | -26.9 |
| 88 | 16 | 3.667 | -7.8 | 214.8 | 25.4 | 675.7 | 91.1 | 184.0 | -34.3 | -26.5 |
| 89 | 17 | 3.708 | -7.6 | 73.0 | 2.2 | 374.9 | 25.8 | 175.2 | -37.2 | -29.6 |
| 90 | 18 | 3.750 | -8.9 | -19.8 | -17.5 | -21.2 | -13.8 | 177.2 | -36.6 | -27.6 |
| 91 | 19 | 3.792 | -10.3 | -23.4 | -21.1 | -24.4 | -17.4 | 180.1 | -35.6 | -25.3 |
| 92 | 20 | 3.833 | -10.9 | -13.3 | -12.1 | -13.6 | -11.2 | 181.1 | -35.3 | -24.4 |
| 93 | 21 | 3.875 | -11.8 | -8.7 | -7.8 | -8.4 | -8.3 | 182.8 | -34.7 | -22.9 |
| 94 | 22 | 3.917 | -12.2 | -6.9 | -6.2 | -6.1 | -6.9 | 183.7 | -34.4 | -22.2 |

| | | | | | | | | | | | |
|-----|------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 95 | | 23 | 3.958 | -12.5 | -5.7 | -5.2 | -5.4 | -6.2 | 181.2 | -35.2 | -22.7 |
| 96 | | 24 | 4.000 | -13.1 | -5.4 | -5.3 | -5.3 | -6.2 | 181.6 | -35.1 | -22.0 |
| 97 | 05.01.2002 | 1 | 4.042 | -14.2 | -5.2 | -4.8 | -4.4 | -5.7 | 182.8 | -34.7 | -20.5 |
| 98 | | 2 | 4.083 | -14.5 | -5.6 | -5.0 | -5.0 | -6.0 | 181.0 | -35.3 | -20.9 |
| 99 | | 3 | 4.125 | -14.6 | -5.1 | -4.5 | -4.3 | -5.6 | 178.7 | -36.1 | -21.5 |
| 100 | | 4 | 4.167 | -14.6 | -5.0 | -4.3 | -3.9 | -5.5 | 181.4 | -35.2 | -20.5 |
| 101 | | 5 | 4.208 | -14.8 | -5.3 | -4.6 | -4.2 | -5.6 | 183.7 | -34.4 | -19.6 |
| 102 | | 6 | 4.250 | -15.6 | -5.3 | -5.0 | -4.9 | -5.9 | 182.5 | -34.8 | -19.2 |
| 103 | | 7 | 4.292 | -15.9 | -5.2 | -5.0 | -4.5 | -5.8 | 183.5 | -34.5 | -18.6 |
| 104 | | 8 | 4.333 | -15.9 | -4.6 | -4.3 | -3.9 | -5.3 | 185.7 | -33.8 | -17.9 |
| 105 | | 9 | 4.375 | -16.2 | -4.6 | -4.2 | -3.8 | -5.2 | 188.7 | -32.8 | -16.6 |
| 106 | | 10 | 4.417 | -16.3 | 50.3 | 14.8 | 99.9 | 16.5 | 194.0 | -31.2 | -14.8 |
| 107 | | 11 | 4.458 | -15.0 | 210.5 | 47.2 | 416.9 | 82.4 | 184.1 | -34.3 | -19.3 |
| 108 | | 12 | 4.500 | -12.7 | 296.3 | 66.1 | 668.2 | 141.1 | 179.8 | -35.7 | -23.0 |
| 109 | | 13 | 4.542 | -11.2 | 334.3 | 70.0 | 857.8 | 170.0 | 167.0 | -40.1 | -28.9 |
| 110 | | 14 | 4.583 | -10.2 | 389.6 | 67.1 | 894.3 | 178.4 | 164.5 | -41.1 | -30.8 |
| 111 | | 15 | 4.625 | -9.0 | 365.4 | 55.6 | 828.5 | 149.6 | 163.9 | -41.2 | -32.1 |
| 112 | | 16 | 4.667 | -8.4 | 241.4 | 36.8 | 656.3 | 96.2 | 172.5 | -38.1 | -29.7 |
| 113 | | 17 | 4.708 | -8.8 | 82.5 | 4.1 | 350.1 | 24.7 | 170.9 | -38.7 | -29.9 |
| 114 | | 18 | 4.750 | -10.1 | -3.6 | -4.0 | -4.2 | -4.8 | 173.0 | -38.0 | -27.9 |
| 115 | | 19 | 4.792 | -12.5 | -6.8 | -6.9 | -7.2 | -7.8 | 175.5 | -37.1 | -24.7 |
| 116 | | 20 | 4.833 | -13.6 | -6.5 | -6.4 | -6.2 | -7.2 | 176.0 | -37.0 | -23.3 |
| 117 | 21 | 4.875 | -14.6 | -6.7 | -6.5 | -6.1 | -6.9 | 177.3 | -36.5 | -22.0 | |
| 118 | 22 | 4.917 | -15.1 | -6.8 | -6.3 | -5.8 | -6.7 | 179.5 | -35.8 | -20.7 | |
| 119 | 23 | 4.958 | -15.6 | -6.3 | -6.1 | -5.9 | -6.6 | 178.6 | -36.1 | -20.5 | |
| 120 | 24 | 5.000 | -16.3 | -6.3 | -6.0 | -5.5 | -6.4 | 182.0 | -35.0 | -18.7 | |
| 121 | 06.01.2002 | 1 | 5.042 | -16.5 | -5.9 | -5.6 | -5.1 | -6.2 | 185.4 | -33.9 | -17.3 |
| 122 | | 2 | 5.083 | -16.9 | -5.8 | -5.5 | -5.0 | -6.0 | 191.1 | -32.1 | -15.1 |
| 123 | | 3 | 5.125 | -17.3 | -5.1 | -4.9 | -4.5 | -5.7 | 194.2 | -31.1 | -13.8 |
| 124 | | 4 | 5.167 | -18.2 | -5.0 | -4.7 | -4.2 | -5.5 | 196.8 | -30.3 | -12.1 |
| 125 | | 5 | 5.208 | -18.2 | -4.5 | -4.3 | -3.9 | -5.3 | 195.9 | -30.6 | -12.4 |
| 126 | | 6 | 5.250 | -18.0 | -4.8 | -4.7 | -4.0 | -5.5 | 209.6 | -26.4 | -8.4 |
| 127 | | 7 | 5.292 | -17.6 | -4.4 | -4.2 | -3.8 | -5.1 | 212.2 | -25.7 | -8.1 |
| 128 | | 8 | 5.333 | -17.7 | -4.7 | -4.5 | -4.4 | -5.5 | 231.9 | -20.1 | -2.5 |
| 129 | | 9 | 5.375 | -17.5 | -3.0 | -2.9 | -3.2 | -4.2 | 239.9 | -18.0 | -0.4 |
| 130 | | 10 | 5.417 | -16.3 | 6.6 | 6.3 | 4.5 | 3.4 | 242.1 | -17.4 | -1.1 |
| 131 | | 11 | 5.458 | -15.2 | 40.0 | 38.4 | 31.4 | 30.5 | 246.1 | -16.3 | -1.1 |
| 132 | | 12 | 5.500 | -14.3 | 77.0 | 73.8 | 63.0 | 61.1 | 251.8 | -14.9 | -0.6 |
| 133 | | 13 | 5.542 | -12.9 | 108.6 | 103.8 | 90.8 | 87.8 | 255.0 | -14.0 | -1.2 |
| 134 | | 14 | 5.583 | -11.2 | 142.8 | 135.4 | 135.7 | 126.6 | 246.9 | -16.1 | -4.9 |
| 135 | | 15 | 5.625 | -11.1 | 90.3 | 86.0 | 80.6 | 76.2 | 239.3 | -18.2 | -7.1 |
| 136 | | 16 | 5.667 | -11.0 | 84.6 | 79.7 | 83.2 | 74.1 | 258.9 | -13.2 | -2.2 |
| 137 | | 17 | 5.708 | -11.2 | 26.6 | 25.2 | 22.5 | 20.8 | 279.9 | -7.9 | 3.3 |
| 138 | | 18 | 5.750 | -10.7 | -0.3 | -0.4 | -1.7 | -2.4 | 279.5 | -8.0 | 2.6 |
| 139 | | 19 | 5.792 | -9.8 | -2.1 | -2.4 | -3.5 | -4.3 | 267.0 | -11.0 | -1.2 |
| 140 | | 20 | 5.833 | -9.1 | -3.1 | -3.0 | -4.1 | -4.5 | 263.2 | -12.0 | -2.9 |
| 141 | | 21 | 5.875 | -9.0 | -3.8 | -3.5 | -4.3 | -4.7 | 266.0 | -11.3 | -2.3 |
| 142 | | 22 | 5.917 | -8.4 | -3.3 | -3.2 | -3.9 | -4.6 | 267.9 | -10.8 | -2.4 |
| 143 | | 23 | 5.958 | -7.8 | -3.2 | -3.2 | -4.0 | -4.6 | 269.3 | -10.5 | -2.7 |
| 144 | | 24 | 6.000 | -7.4 | -3.4 | -3.2 | -4.0 | -4.6 | 271.2 | -10.0 | -2.6 |
| 145 | | 1 | 6.042 | -7.0 | -3.8 | -3.4 | -4.3 | 273.4 | -9.5 | -2.5 | |
| 146 | | 2 | 6.083 | -6.5 | -3.5 | -3.5 | -4.3 | 273.5 | -9.5 | -3.0 | |

| | | | | | | | | | | | | |
|-----|------------|------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 147 | 07.01.2002 | 3 | 6.125 | -6.3 | -4.3 | -4.0 | -4.8 | -5.1 | 273.6 | -9.4 | -3.2 | |
| 148 | | 4 | 6.167 | -6.3 | -4.3 | -4.1 | -4.9 | -5.1 | 273.8 | -9.4 | -3.1 | |
| 149 | | 5 | 6.208 | -6.2 | -4.2 | -3.9 | -4.9 | -5.0 | 274.4 | -9.2 | -3.1 | |
| 150 | | 6 | 6.250 | -5.9 | -4.3 | -4.0 | -4.8 | -5.2 | 275.4 | -9.0 | -3.1 | |
| 151 | | 7 | 6.292 | -5.9 | -4.3 | -4.0 | -4.7 | -5.1 | 277.0 | -8.6 | -2.8 | |
| 152 | | 8 | 6.333 | -5.3 | -4.4 | -4.1 | -4.9 | -5.2 | 277.9 | -8.4 | -3.1 | |
| 153 | | 9 | 6.375 | -5.0 | -4.5 | -4.0 | -4.7 | -5.2 | 278.4 | -8.3 | -3.3 | |
| 154 | | 10 | 6.417 | -4.8 | 3.4 | 3.4 | 2.1 | 1.3 | 281.4 | -7.6 | -2.8 | |
| 155 | | 11 | 6.458 | -4.4 | 33.1 | 32.0 | 29.4 | 27.5 | 287.1 | -6.3 | -1.8 | |
| 156 | | 12 | 6.500 | -3.5 | 54.9 | 53.7 | 46.7 | 48.8 | 287.5 | -6.1 | -2.6 | |
| 157 | | 13 | 6.542 | -2.9 | 79.7 | 77.4 | 68.8 | 69.9 | 280.9 | -7.7 | -4.8 | |
| 158 | | 14 | 6.583 | -2.7 | 86.1 | 83.7 | 73.5 | 74.7 | 279.8 | -8.0 | -5.3 | |
| 159 | | 15 | 6.625 | -2.7 | 92.7 | 89.8 | 82.1 | 79.7 | 276.6 | -8.7 | -6.0 | |
| 160 | | 16 | 6.667 | -2.4 | 60.8 | 59.0 | 52.0 | 51.7 | 279.5 | -8.0 | -5.6 | |
| 161 | | 17 | 6.708 | -2.6 | 23.7 | 23.4 | 18.3 | 18.4 | 281.2 | -7.6 | -5.1 | |
| 162 | | 18 | 6.750 | -2.7 | -6.7 | -5.9 | -7.9 | -5.6 | 283.4 | -7.1 | -4.5 | |
| 163 | | 19 | 6.792 | -2.6 | -16.2 | -14.3 | -16.3 | -11.3 | 281.2 | -7.6 | -5.0 | |
| 164 | | 20 | 6.833 | -2.8 | -14.9 | -13.2 | -15.1 | -10.9 | 284.8 | -6.8 | -4.0 | |
| 165 | | 21 | 6.875 | -2.6 | -17.2 | -15.3 | -17.8 | -12.1 | 288.7 | -5.9 | -3.3 | |
| 166 | | 22 | 6.917 | -2.4 | -19.0 | -16.6 | -19.2 | -12.8 | 289.3 | -5.7 | -3.3 | |
| 167 | | 23 | 6.958 | -2.0 | -13.7 | -12.0 | -13.6 | -10.0 | 219.1 | -23.8 | -21.8 | |
| 168 | | 24 | 7.000 | -2.3 | -15.4 | -13.5 | -15.5 | -11.5 | 214.4 | -25.0 | -22.7 | |
| 169 | | 08.01.2002 | 1 | 7.042 | -3.3 | -18.4 | -16.1 | -17.7 | -13.0 | 216.6 | -24.4 | -21.0 |
| 170 | | | 2 | 7.083 | -4.6 | -16.9 | -15.0 | -16.5 | -12.4 | 227.6 | -21.3 | -16.7 |
| 171 | 3 | | 7.125 | -5.2 | -17.0 | -15.0 | -16.5 | -12.2 | 242.1 | -17.4 | -12.2 | |
| 172 | 4 | | 7.167 | -5.9 | -16.5 | -14.4 | -15.8 | -11.7 | 251.2 | -15.0 | -9.1 | |
| 173 | 5 | | 7.208 | -6.1 | -5.8 | -5.1 | -5.1 | -5.8 | 266.0 | -11.3 | -5.2 | |
| 174 | 6 | | 7.250 | -6.8 | -9.2 | -8.2 | -9.1 | -7.5 | 273.1 | -9.5 | -2.7 | |
| 175 | 7 | | 7.292 | -5.8 | -4.2 | -3.8 | -4.2 | -4.9 | 276.2 | -8.8 | -3.0 | |
| 176 | 8 | | 7.333 | -5.2 | -4.8 | -4.2 | -4.8 | -5.2 | 277.9 | -8.4 | -3.2 | |
| 177 | 9 | | 7.375 | -4.8 | -4.7 | -3.9 | -4.6 | -4.9 | 279.2 | -8.1 | -3.3 | |
| 178 | 10 | | 7.417 | -4.5 | 4.3 | 4.5 | 2.1 | 1.9 | 282.9 | -7.2 | -2.7 | |
| 179 | 11 | | 7.458 | -4.2 | 25.0 | 24.9 | 16.6 | 18.2 | 286.7 | -6.3 | -2.1 | |
| 180 | 12 | | 7.500 | -3.7 | 47.6 | 46.4 | 33.4 | 35.7 | 290.6 | -5.4 | -1.7 | |
| 181 | 13 | | 7.542 | -3.1 | 74.5 | 72.7 | 51.3 | 56.7 | 289.3 | -5.7 | -2.6 | |
| 182 | 14 | | 7.583 | -2.9 | 51.1 | 50.3 | 34.4 | 39.8 | 289.2 | -5.7 | -2.8 | |
| 183 | 15 | | 7.625 | -3.0 | 86.0 | 84.0 | 61.4 | 66.4 | 285.4 | -6.6 | -3.6 | |
| 184 | 16 | | 7.667 | -2.8 | 31.7 | 31.0 | 20.1 | 24.4 | 286.2 | -6.5 | -3.7 | |
| 185 | 17 | | 7.708 | -2.6 | 7.6 | 8.2 | 1.8 | 5.8 | 285.4 | -6.7 | -4.1 | |
| 186 | 18 | | 7.750 | -2.6 | -12.0 | -10.4 | -13.7 | -9.0 | 284.5 | -6.8 | -4.2 | |
| 187 | 19 | | 7.792 | -2.8 | -6.6 | -5.9 | -7.1 | -6.5 | 285.2 | -6.7 | -3.9 | |
| 188 | 20 | | 7.833 | -2.7 | -11.9 | -10.4 | -12.4 | -9.3 | 285.7 | -6.6 | -3.9 | |
| 189 | 21 | | 7.875 | -2.6 | -14.3 | -12.7 | -15.1 | -10.8 | 285.6 | -6.6 | -4.0 | |
| 190 | 22 | | 7.917 | -2.7 | -17.6 | -15.2 | -18.3 | -12.3 | 284.5 | -6.8 | -4.1 | |
| 191 | 23 | | 7.958 | -3.0 | -17.3 | -15.1 | -18.2 | -12.3 | 284.6 | -6.8 | -3.8 | |
| 192 | 24 | | 8.000 | -3.1 | -16.8 | -14.7 | -17.4 | -12.1 | 283.8 | -7.0 | -4.0 | |
| 193 | 1 | 8.042 | -3.2 | -15.7 | -14.1 | -17.0 | -11.6 | 282.9 | -7.2 | -4.0 | | |
| 194 | 2 | 8.083 | -3.3 | -17.7 | -15.7 | -18.8 | -12.5 | 283.5 | -7.1 | -3.8 | | |
| 195 | 3 | 8.125 | -3.2 | -17.8 | -15.8 | -18.4 | -12.6 | 284.2 | -6.9 | -3.7 | | |
| 196 | 4 | 8.167 | -3.1 | -17.6 | -15.6 | -18.5 | -12.6 | 284.7 | -6.8 | -3.7 | | |
| 197 | 5 | 8.208 | -3.1 | -17.5 | -15.2 | -18.5 | -12.5 | 284.0 | -7.0 | -3.9 | | |
| 198 | 6 | 8.250 | -3.2 | -18.2 | -16.0 | -18.9 | -12.7 | 282.1 | -7.4 | -4.2 | | |

| | | | | | | | | | | | | |
|-----|------------|------------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|
| 199 | 09.01.2002 | 7 | 8.292 | -3.6 | -19.0 | -16.5 | -19.9 | -13.1 | 279.9 | -7.9 | -4.4 | |
| 200 | | 8 | 8.333 | -4.0 | -18.1 | -16.1 | -18.9 | -12.9 | 279.8 | -7.9 | -4.0 | |
| 201 | | 9 | 8.375 | -4.1 | -20.6 | -18.3 | -21.7 | -14.2 | 278.9 | -8.2 | -4.1 | |
| 202 | | 10 | 8.417 | -4.2 | -8.5 | -7.1 | -10.0 | -6.1 | 278.6 | -8.2 | -4.1 | |
| 203 | | 11 | 8.458 | -4.2 | 14.4 | 14.5 | 10.7 | 10.6 | 278.8 | -8.2 | -4.0 | |
| 204 | | 12 | 8.500 | -4.2 | 31.3 | 31.0 | 24.4 | 25.5 | 276.9 | -8.6 | -4.4 | |
| 205 | | 13 | 8.542 | -4.2 | 48.9 | 47.5 | 39.9 | 39.0 | 276.5 | -8.7 | -4.5 | |
| 206 | | 14 | 8.583 | -4.1 | 58.9 | 57.4 | 47.7 | 48.1 | 275.9 | -8.9 | -4.8 | |
| 207 | | 15 | 8.625 | -4.3 | 44.3 | 43.7 | 34.7 | 37.9 | 275.0 | -9.1 | -4.8 | |
| 208 | | 16 | 8.667 | -4.2 | 21.7 | 22.1 | 15.0 | 20.6 | 273.0 | -9.6 | -5.4 | |
| 209 | | 17 | 8.708 | -4.6 | 2.8 | 4.1 | -1.1 | 4.4 | 272.3 | -9.8 | -5.2 | |
| 210 | | 18 | 8.750 | -4.9 | -16.8 | -14.8 | -17.6 | -11.2 | 272.1 | -9.8 | -4.9 | |
| 211 | | 19 | 8.792 | -5.0 | -5.3 | -4.5 | -5.1 | -5.4 | 272.6 | -9.7 | -4.7 | |
| 212 | | 20 | 8.833 | -5.1 | -15.0 | -13.2 | -15.4 | -10.9 | 272.7 | -9.7 | -4.6 | |
| 213 | | 21 | 8.875 | -5.2 | -16.5 | -14.5 | -16.6 | -11.7 | 272.1 | -9.8 | -4.6 | |
| 214 | | 22 | 8.917 | -5.3 | -6.5 | -6.0 | -6.9 | -6.4 | 272.2 | -9.8 | -4.5 | |
| 215 | | 23 | 8.958 | -5.4 | -16.5 | -14.7 | -17.3 | -12.0 | 271.9 | -9.8 | -4.5 | |
| 216 | | 24 | 9.000 | -5.5 | -26.7 | -23.6 | -27.9 | -17.4 | 272.0 | -9.8 | -4.3 | |
| 217 | | 10.01.2002 | 1 | 9.042 | -5.7 | -6.0 | -5.5 | -6.6 | -6.1 | 271.2 | -10.0 | -4.3 |
| 218 | | | 2 | 9.083 | -5.9 | -8.7 | -8.0 | -9.5 | -7.7 | 270.8 | -10.1 | -4.2 |
| 219 | | | 3 | 9.125 | -6.1 | -10.3 | -9.2 | -11.0 | -8.4 | 269.8 | -10.4 | -4.2 |
| 220 | | | 4 | 9.167 | -6.4 | -6.4 | -6.0 | -7.1 | -6.5 | 269.2 | -10.5 | -4.1 |
| 221 | | | 5 | 9.208 | -6.5 | -7.8 | -7.0 | -8.4 | -7.0 | 268.5 | -10.7 | -4.2 |
| 222 | | | 6 | 9.250 | -6.6 | -26.9 | -23.7 | -28.0 | -17.6 | 268.0 | -10.8 | -4.2 |
| 223 | 7 | | 9.292 | -6.8 | -15.8 | -13.8 | -16.4 | -11.3 | 268.3 | -10.7 | -3.9 | |
| 224 | 8 | | 9.333 | -6.8 | -8.9 | -7.9 | -9.3 | -7.6 | 269.4 | -10.5 | -3.7 | |
| 225 | 9 | | 9.375 | -6.6 | -14.0 | -12.4 | -14.5 | -10.4 | 270.8 | -10.1 | -3.5 | |
| 226 | 10 | | 9.417 | -6.3 | -11.7 | -10.2 | -13.3 | -7.7 | 272.5 | -9.7 | -3.4 | |
| 227 | 11 | | 9.458 | -6.0 | 18.0 | 17.4 | 14.1 | 13.2 | 273.7 | -9.4 | -3.4 | |
| 228 | 12 | | 9.500 | -5.8 | 32.0 | 31.2 | 25.2 | 26.5 | 274.2 | -9.3 | -3.5 | |
| 229 | 13 | | 9.542 | -5.7 | 54.4 | 52.3 | 45.7 | 43.1 | 273.9 | -9.4 | -3.7 | |
| 230 | 14 | | 9.583 | -5.6 | 56.7 | 54.4 | 47.5 | 45.3 | 274.4 | -9.2 | -3.6 | |
| 231 | 15 | | 9.625 | -5.5 | 49.7 | 47.8 | 42.2 | 39.9 | 273.7 | -9.4 | -3.9 | |
| 232 | 16 | | 9.667 | -5.5 | 28.2 | 27.5 | 22.8 | 24.3 | 272.9 | -9.6 | -4.1 | |
| 233 | 17 | | 9.708 | -5.5 | 5.5 | 5.9 | 2.4 | 5.7 | 273.3 | -9.5 | -4.1 | |
| 234 | 18 | | 9.750 | -5.4 | -6.4 | -5.5 | -7.4 | -5.3 | 275.2 | -9.1 | -3.7 | |
| 235 | 19 | | 9.792 | -5.2 | -4.2 | -3.7 | -4.3 | -4.8 | 276.4 | -8.8 | -3.6 | |
| 236 | 20 | | 9.833 | -5.0 | -3.8 | -3.2 | -3.7 | -4.5 | 277.4 | -8.5 | -3.5 | |
| 237 | 21 | | 9.875 | -4.8 | -4.8 | -4.4 | -5.1 | -5.2 | 278.8 | -8.2 | -3.4 | |
| 238 | 22 | | 9.917 | -4.7 | -16.9 | -15.2 | -17.9 | -12.2 | 279.0 | -8.2 | -3.4 | |
| 239 | 23 | | 9.958 | -4.8 | -8.5 | -7.4 | -8.8 | -7.2 | 279.0 | -8.1 | -3.4 | |
| 240 | 24 | | 10.000 | -4.7 | -6.8 | -6.0 | -7.2 | -6.4 | 279.4 | -8.0 | -3.3 | |

Hinweise:

Tabelle A.2-59

Die Tabellenwerte bzw. die folgende Abbildung zeigen einen deutlichen Zusammenhang zwischen Luft-, Himmelstemperatur und Gegenstrahlung bzw. Bewölkung (Trübung). Ein direkter Zusammenhang zwischen am Bauteil gemessener Globalstrahlung und Himmelstemperatur konnte jedoch nicht abgeleitet werden** (vgl. bspw. Zeile 43 mit 55)

Bei Berechnung der kombinierten Bauteiloberflächentemperatur, sollte deshalb die Sky- bzw. Himmelstemperatur entweder relativ niedrig (bspw. -40°C) gewählt oder im Rechenansatz durch einen repräsentativen Wert für die Gegenstrahlung (bspw. -40 W/m^2) ersetzt werden.

** Es ist unklar, wie hoch der Anteil terrestrischer Strahlung an I_{global} ist?!

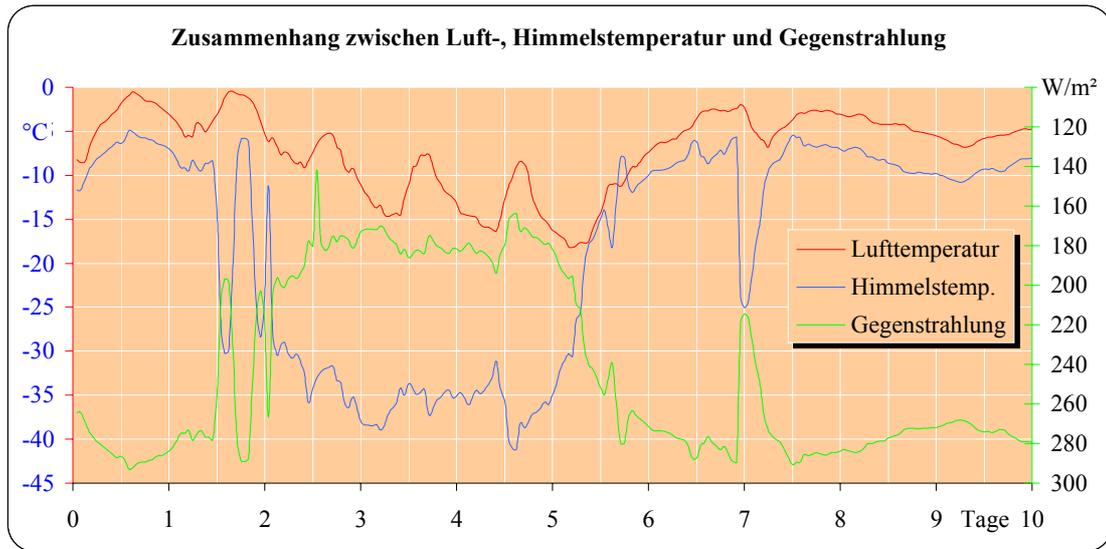


Abbildung A.2-25

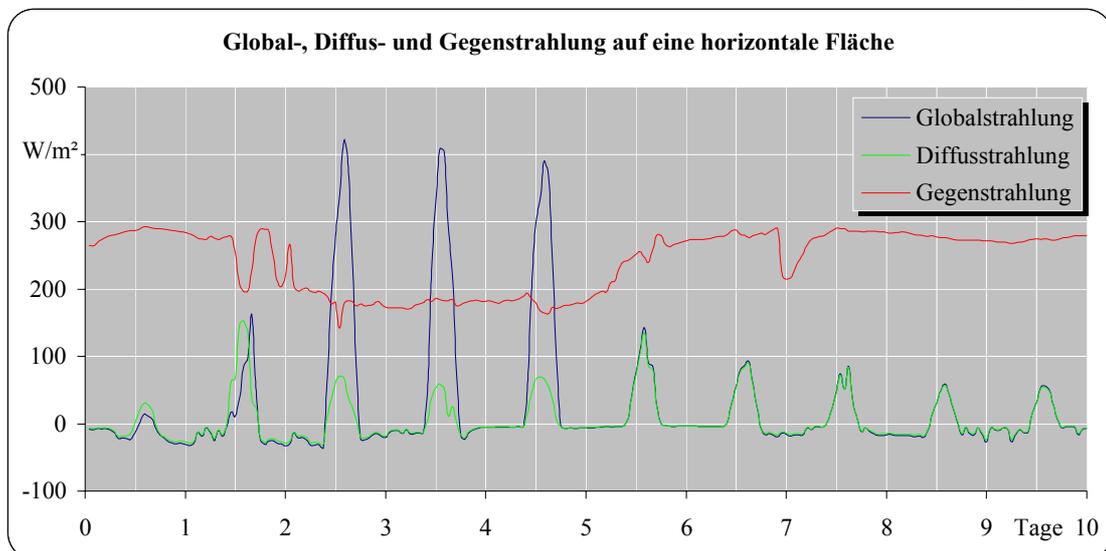


Abbildung A.2-26

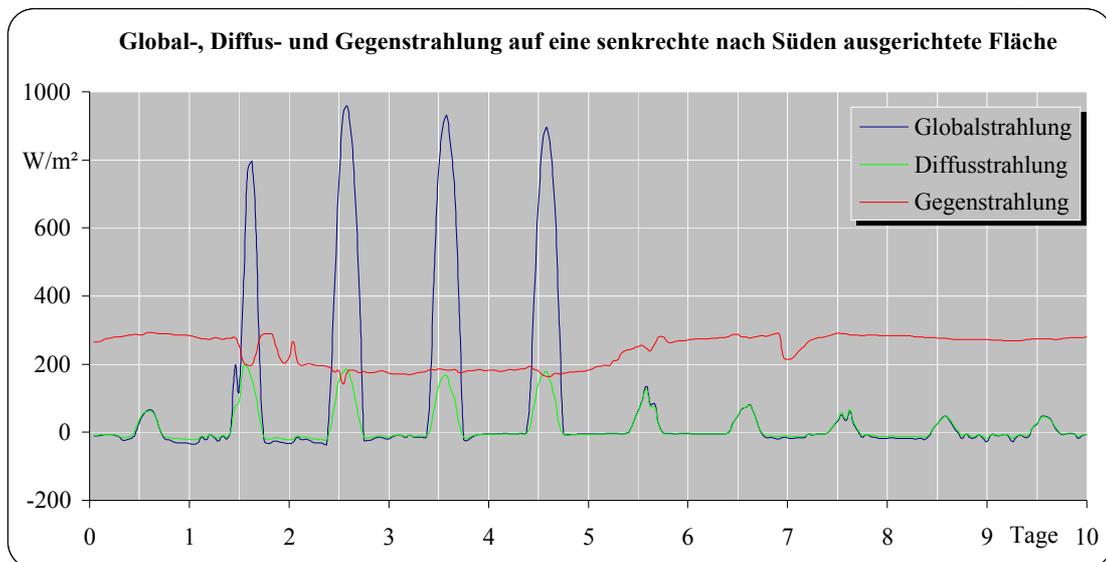


Abbildung A.2-27

Wind-Wetterdaten vom W.-v.-Siemens-Gymnasium** Magdeburg

**Quelle: <http://www.wettinet.de/daten.htm>

Messwerttabelle

Rel. Windhäufigkeit unterschiedl. Perioden

| | | 1998 | | | Rel. Windhäufigkeit unterschiedl. Perioden | | | | | | | | | | |
|----|----|-------------------|------------|------------------------|--|-----------|------------|----------|--------|--------|--------|-----------|--------|-----------|--------|
| | | V _{wind} | Windricht. | Regen | | | Jahr | Frühling | Sommer | Herbst | Winter | Heiz-P. 9 | Monate | Kühl-P. 3 | Monate |
| | | m/s | verb. ° | mm m ² h | | | | | | | | | | | |
| 1 | 1 | 0.5 | OSO | 113 | 0 | N | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 2 | 2 | 0.9 | SO | 135 | 1 | NNO | 22.5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 3 | 3 | 1.8 | SO | 135 | 3 | NO | 45 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 4 | 4 | 1.8 | SSO | 158 | 0 | ONO | 67.5 | 6.6 | 5.4 | 3.3 | 16.5 | 1.1 | 8.4 | 1.1 | |
| 5 | 5 | 1.6 | S | 180 | 1 | O | 90 | 3.6 | 2.2 | 1.1 | 8.8 | 2.2 | 4.8 | 0 | |
| 6 | 6 | 1.7 | SSO | 158 | 0 | OSO | 112.5 | 6.0 | 14.1 | 2.2 | 6.6 | 1.1 | 6.6 | 4.3 | |
| 7 | 7 | 2.0 | SSW | 203 | 0 | SO | 135 | 6.0 | 4.3 | 7.6 | 5.5 | 6.7 | 5.9 | 6.5 | |
| 8 | 8 | 1.6 | S | 180 | 4 | SSO | 157.5 | 10.7 | 13.0 | 9.8 | 11.0 | 8.9 | 12.8 | 4.3 | |
| 9 | 9 | 1.4 | SSW | 203 | 2 | S | 180 | 20.3 | 18.5 | 17.4 | 18.7 | 26.7 | 20.5 | 19.6 | |
| 10 | 10 | 1.2 | ONO | 67.5 | 0 | SSW | 202.5 | 27.7 | 17.4 | 32.6 | 18.7 | 42.2 | 25.3 | 34.8 | |
| 11 | 11 | 1.8 | SO | 135 | 0 | SW | 225 | 8.5 | 10.9 | 14.1 | 5.5 | 3.3 | 5.9 | 16.3 | |
| 12 | 12 | 1.9 | S | 180 | 0 | WSW | 247.5 | 6.6 | 7.6 | 7.6 | 5.5 | 5.6 | 6.2 | 7.6 | |
| 13 | 13 | 1.3 | SSO | 158 | 2 | W | 270 | 3.6 | 6.5 | 4.3 | 1.1 | 2.2 | 2.9 | 5.4 | |
| 14 | 14 | 2.2 | S | 180 | 3 | WNW | 292.5 | 0.5 | 0 | 0 | 2.2 | 0 | 0.7 | 0 | |
| 15 | 15 | 2.4 | S | 180 | 0 | NW | 315 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| 16 | 16 | 2.4 | SSO | 158 | 0 | NWN | 337.5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| 17 | 17 | 1.3 | S | 180 | 0 | N | 360 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | |
| 18 | 18 | 0.3 | SSO | 158 | 0 | | | | | | | | | | |
| 19 | 19 | 1.7 | SSO | 158 | 0 | | | | | | | | | | |

Tabelle A.2-60

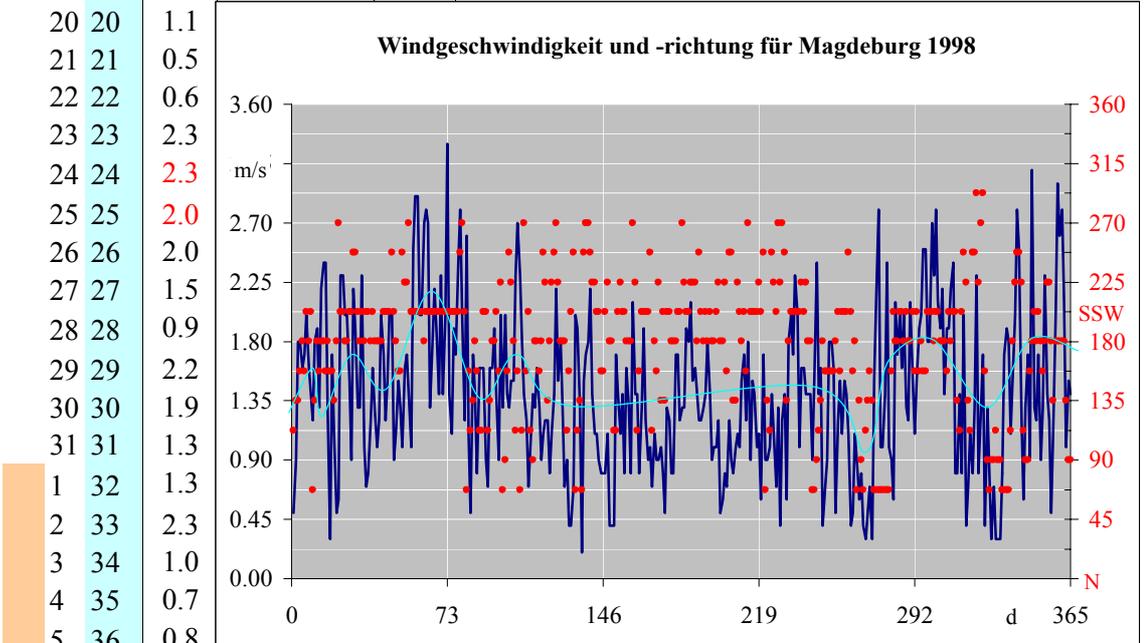


Abbildung A.2-28

| | | | | | | | | | | | | | | | |
|----|----|------------|-----|-----|---|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|
| 20 | 20 | 1.1 | | | | | | | | | | | | | |
| 21 | 21 | 0.5 | | | | | | | | | | | | | |
| 22 | 22 | 0.6 | | | | | | | | | | | | | |
| 23 | 23 | 2.3 | | | | | | | | | | | | | |
| 24 | 24 | 2.3 | | | | | | | | | | | | | |
| 25 | 25 | 2.0 | | | | | | | | | | | | | |
| 26 | 26 | 2.0 | | | | | | | | | | | | | |
| 27 | 27 | 1.5 | | | | | | | | | | | | | |
| 28 | 28 | 0.9 | | | | | | | | | | | | | |
| 29 | 29 | 2.2 | | | | | | | | | | | | | |
| 30 | 30 | 1.9 | | | | | | | | | | | | | |
| 31 | 31 | 1.3 | | | | | | | | | | | | | |
| 1 | 32 | 1.3 | | | | | | | | | | | | | |
| 2 | 33 | 2.3 | | | | | | | | | | | | | |
| 3 | 34 | 1.0 | | | | | | | | | | | | | |
| 4 | 35 | 0.7 | | | | | | | | | | | | | |
| 5 | 36 | 0.8 | | | | | | | | | | | | | |
| 6 | 37 | 1.2 | S | 180 | 0 | | | | | | | | | | |
| 7 | 38 | 1.6 | SSW | 203 | 0 | | | | | | | | | | |
| 8 | 39 | 1.3 | S | 180 | 0 | | | | | | | | | | |
| 9 | 40 | 1.0 | S | 180 | 0 | | | | | | | | | | |

Tabelle A.2-62

| | | | | | | |
|---------|----|-----|-----|-----|-----|---|
| Februar | 10 | 41 | 1.2 | S | 180 | 0 |
| | 11 | 42 | 2.0 | S | 180 | 0 |
| | 12 | 43 | 1.7 | SSW | | |
| | 13 | 44 | 1.2 | SSW | | |
| | 14 | 45 | 1.5 | SSW | | |
| | 15 | 46 | 2.0 | SSW | | |
| | 16 | 47 | 2.0 | WSW | | |
| | 17 | 48 | 0.9 | SSW | | |
| | 18 | 49 | 1.1 | S | | |
| | 19 | 50 | 1.5 | SSO | | |
| 20 | 51 | 1.3 | SSO | | | |
| 21 | 52 | 1.0 | WSW | | | |
| 22 | 53 | 1.6 | SW | | | |
| 23 | 54 | 1.7 | SW | | | |
| 24 | 55 | 1.4 | W | | | |
| 25 | 56 | 1.0 | SSW | | | |
| 26 | 57 | 2.5 | SSW | | | |
| 27 | 58 | 2.9 | SSW | | | |
| 28 | 59 | 2.9 | SSW | | | |

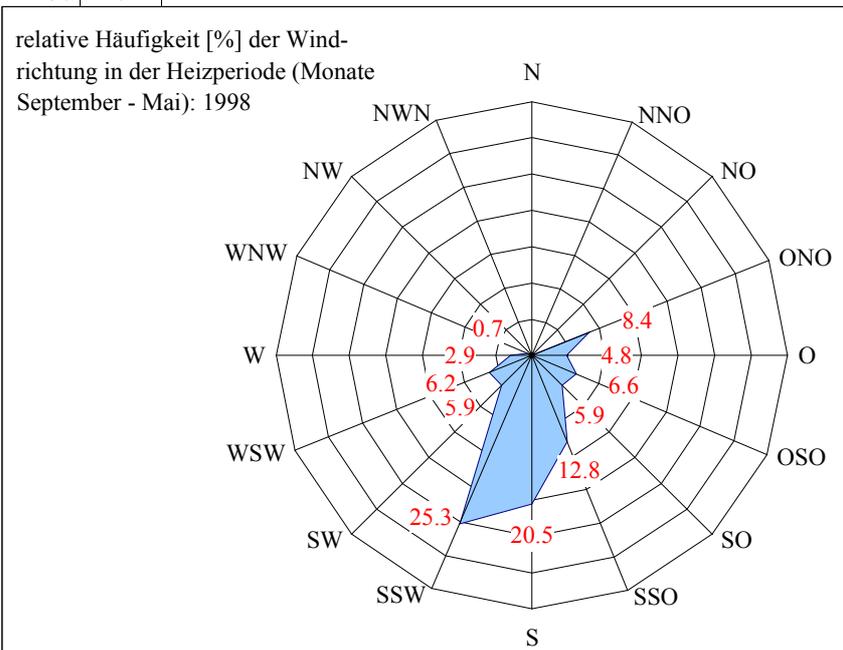


Abbildung A.2-29

| | | | | | | |
|------|----|-----|-----|-----|-----|---|
| März | 1 | 60 | 2.0 | SSW | 203 | 0 |
| | 2 | 61 | 2.0 | SSW | 203 | 1 |
| | 3 | 62 | 2.7 | S | 180 | 4 |
| | 4 | 63 | 2.8 | SSW | | |
| | 5 | 64 | 2.7 | SSW | | |
| | 6 | 65 | 1.3 | SSW | | |
| | 7 | 66 | 1.8 | SSW | | |
| | 8 | 67 | 2.2 | SSW | | |
| | 9 | 68 | 1.9 | SSW | | |
| | 10 | 69 | 1.4 | SSW | | |
| 11 | 70 | 2.3 | SSW | | | |
| 12 | 71 | 1.4 | SSW | | | |
| 13 | 72 | 2.0 | SSW | | | |
| 14 | 73 | 3.3 | SSW | | | |
| 15 | 74 | 1.4 | SSW | | | |
| 16 | 75 | 1.1 | SSW | | | |
| 17 | 76 | 1.9 | SSW | | | |
| 18 | 77 | 1.7 | SSW | | | |
| 19 | 78 | 2.4 | SSW | | | |
| 20 | 79 | 2.8 | WSW | | | |

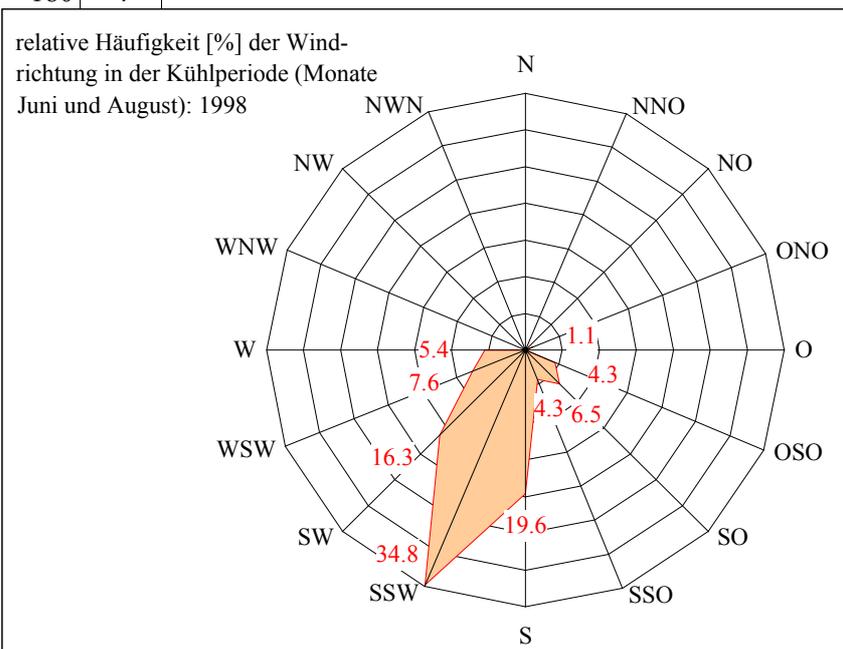


Abbildung A.2-30

| | | | | | |
|----|----|-----|-----|------|---|
| 21 | 80 | 2.0 | W | 270 | 0 |
| 22 | 81 | 1.2 | SSW | 203 | 3 |
| 23 | 82 | 2.6 | ONO | 67.5 | 1 |
| 24 | 83 | 1.1 | SSO | 158 | 0 |
| 25 | 84 | 0.5 | OSO | 113 | 0 |
| 26 | 85 | 1.7 | SO | 135 | 0 |
| 27 | 86 | 1.4 | S | 180 | 0 |
| 28 | 87 | 0.8 | SSO | 158 | 0 |
| 29 | 88 | 1.6 | OSO | 113 | 0 |
| 30 | 89 | 1.6 | OSO | 113 | 0 |

Fortsetzung Tabelle A.2-62

| | | | | | | |
|-------|----|-----|-----|-----|------|-----|
| | 31 | 90 | 1.6 | SSW | 203 | 3 |
| | 1 | 91 | 0.9 | SSW | 203 | 7 |
| | 2 | 92 | 0.7 | OSO | 113 | 14 |
| | 3 | 93 | 1.6 | SO | 135 | 0 |
| | 4 | 94 | 1.6 | S | 180 | 1 |
| | 5 | 95 | 1.9 | S | 180 | 0 |
| | 6 | 96 | 1.4 | SSW | 203 | 1 |
| | 7 | 97 | 0.9 | SSO | 158 | 7 |
| | 8 | 98 | 2.0 | SW | 225 | 4 |
| | 9 | 99 | 1.3 | ONO | 67.5 | 1 |
| | 10 | 100 | 2.0 | O | 90 | 0 |
| | 11 | 101 | 1.4 | SSO | 158 | 4 |
| | 12 | 102 | 1.3 | WSW | 248 | 0 |
| | 13 | 103 | 1.5 | SW | 225 | 0 |
| April | 14 | 104 | 1.5 | S | 180 | 0 |
| | 15 | 105 | 2.3 | OSO | 113 | 0 |
| | 16 | 106 | 2.7 | SSO | 158 | 0 |
| | 17 | 107 | 2.3 | ONO | 67.5 | 0 |
| | 18 | 108 | 1.8 | OSO | 113 | 0 |
| | 19 | 109 | 1.4 | W | 270 | 0 |
| | 20 | 110 | 1.2 | SSO | 158 | 0 |
| | 21 | 111 | 0.7 | SSW | 203 | 14 |
| | 22 | 112 | 1.0 | OSO | 113 | 20 |
| | 23 | 113 | 1.4 | O | 90 | 0 |
| | 24 | 114 | 1.3 | S | 180 | 4 |
| | 25 | 115 | 1.6 | S | 180 | 0 |
| | 26 | 116 | 1.3 | SSO | 158 | 0 |
| | 27 | 117 | 0.9 | S | 180 | 0 |
| | 28 | 118 | 1.1 | WSW | 248 | 5 |
| | 29 | 119 | 1.2 | SW | 225 | 3 |
| | 30 | 120 | 1.2 | SO | 135 | 0 |
| Mai | 1 | 121 | 0.8 | S | 180 | 1 |
| | 2 | 122 | 1.1 | SW | 225 | 0 |
| | 3 | 123 | 1.4 | WSW | 248 | 0 |
| | 4 | 124 | 2.2 | W | 270 | 0 |
| | 5 | 125 | 1.5 | SW | 225 | 0 |
| | 6 | 126 | 1.8 | S | 180 | 0 |
| | 7 | 127 | 1.3 | S | 180 | 0 |
| | 8 | 128 | 0.7 | S | 180 | 0 |
| | 9 | 129 | 0.9 | OSO | 113 | 0 |
| | 10 | 130 | 0.4 | SSO | 158 | 0 |
| | 11 | 131 | 0.4 | SSW | 203 | 1 |
| | 12 | 132 | 0.7 | WSW | 248 | 0 |
| | 13 | 133 | 2.0 | ONO | 67.5 | 0 |
| | 14 | 134 | 1.9 | OSO | 113 | 0 |
| | 15 | 135 | 1.3 | SO | 135 | 0 |
| | 16 | 136 | 0.2 | ONO | 67.5 | 198 |
| | 17 | 137 | 1.5 | WSW | 248 | 5 |

(Durchschnitts-)Werte der Windgeschwindigkeit

| | v _{wind} in m/s | | |
|----------|--------------------------|-----|-----|
| | min | max | |
| Frühling | 1.3 | 0.2 | 2.7 |
| Sommer | 1.23 | 0.4 | 2.4 |
| Herbst | 1.43 | 0.3 | 3.1 |
| Winter | 1.68 | 0.5 | 3.3 |

Tabelle A.2-61

Hinweise:

Da der Zeitraum (1 Jahr) für eine statistische Erhebung nicht ausreicht, wurde auf weitere Hochrechnungen verzichtet. Neben der Häufigkeit der Windrichtung, hätte eine Häufigkeitsverteilung der Windgeschwindigkeit erfolgen können.

Mit einer höhenabhängigen Verteilung der Windgeschwindigkeit (ggf. monatsweise) kann eine relativ sichere rechnerische Prognose zum äußeren Wärmeübergang erstellt werden.

Die Aussagekraft der Daten besitzt eine eingeschränkte Gültigkeit. Das liegt zum einen an der Standorteigenart der Meßstation, zum anderen kann die Genauigkeit der Werte nicht eingeschätzt werden.

Zitate:

Wolfgang Marx für die Zeitschrift **das uni magazin** der Universität Zürich:

„Nicht alles, was sich ausrechnen lässt, ist ... unserem Verständnis zugänglich. ... Unser Verstehen reicht .. so weit wie die Möglichkeiten des Narrativen eben reichen. Wie weit das tatsächlich ist, das haben wir ... noch nicht ausgelotet. Gewiss, nichts ist versprochen, wie Sartre in diesem Zusammenhang einmal formuliert hat, aber alles ist möglich – oder doch fast alles. Der Rest ist Stochern mit der Stange im Nebel; und die Stange heisst Mathematik.“³⁶

Hubert Markl für die Zeitschrift **Die Welt**:

„Opportunismus als Lernziel ließe nicht nur jede moralische Qualität vermissen; wer sich allem und jedem anzupassen bereit ist, besäße auch zuallerletzt die Charakterstärke, die dazu befähigt, die Verhältnisse zu ändern, statt sich von ihnen bis zur Unerkennbarkeit prägen zu lassen. Genauso ist es undenkbar, dass ein junger Mensch seine Leistungskräfte zu entfalten lernt, wenn nicht Ausdauer trotz Anstrengung, Beharrlichkeit gegen Widerstände, Durchhaltevermögen bei Rückschlägen, kurzum das Schwimmen gegen den Strom der geistigen und sozialen Umwelt als Wert setzende Erziehungsziele eingeübt werden.“³⁷

Jean Karen Gregory für die **FAZ**:

„Freiheit ist mit der Übernahme von Verantwortung verbunden. Deshalb tun sich Deutsche mit der Freiheit so schwer; sie flüchten gern aus der Verantwortung in ein fast flächendeckendes Dickicht an Vorschriften. Wer etwas Positives bewirken will oder einfach einen Verbesserungsvorschlag macht, hat es in diesem Lande nicht leicht. In Deutschland herrscht nicht der gesunde Menschenverstand und erst recht nicht Innovationsgeist, sondern der Vorschriften-Fetischismus. Sie, liebe Deutsche, haben es geschafft, Verantwortung durch Bürokratie zu ersetzen.“³⁸

George Bernard Shaw, Irischer Dramatiker (1856-1950):

„Der einzige Mensch, der sich vernünftig benimmt, ist mein Schneider. Er nimmt jedes Mal neu Maß, wenn er mich trifft, während alle anderen immer die alten Maßstäbe anlegen in der Meinung, sie passten auch heute noch.“

³⁶ Marx: Die Abenteuer des Lichts IN: uni magazin, 3/01, S. 52

³⁷ Markl: Welche Bildung braucht der Mensch, Die Welt, 13.09.2000,
<http://www.welt.de/daten/2000/09/13/0913fo190607.htx>

³⁸ Gregory: Den Deutschen fehlt der Stolz, FAZ, 04.07.1997

Danksagung

Mein Dank gilt folgenden Menschen bzw. kritisch aufgeschlossenen Diskussionspartnern:

- Prof. Dr.-Ing. Martin Neumann, Hochschule Magdeburg-Stendal
 - Dipl.-Ing. Matthias Holznagel, Berlin
 - Prof. Dr. habil. Hans-Georg Beyer, Prof. Dr.-Ing. Konrad Hinrichsmeyer, Hochschule Magdeburg-Stendal
 - Dipl.-Physiker Jochen Ebel, Borkheide bei Potsdam
 - Univ.-Prof. Dr. E. Cziesielski, Dipl.-Ing. Marc Göbelsmann (WM), Dipl.-Ing. Tilmann Berg, TU-Berlin
 - Dipl.-Phys. Helmut Weinläder, ZAE Bayern
 - Dr. Roland Vogt, Universität Basel (Schweiz)
 - Univ.Do. Ass.Prof. Dipl.-Ing. Dr. techn. Klaus Krec, Fakultät für Architektur und Raumplanung der Technischen Universität Wien (Österreich)
 - Tomasz P. Kornicki
 - Univ.-Prof. Dr.-Ing. M. Zeller, Lehrstuhl für Wärmeübertragung und Klimatechnik der RWTH Aachen
 - Dr. Vogel, Apotheker
 - Architekt, Bauingenieur und Energiefachmann Paul Bossert, Dietikon (Schweiz)
 - Dipl.-Ing. (Univ.) Architekt Konrad Fischer, Hochstadt a. Main
 - Prof. Dr.-Ing. habil. Architekt Claus Meier, Nürnberg
 - Dipl.-Ing. (FH) Michael Reisinger, Radebeul
 - Dipl.-Ing. (FH) Architekt Christoph Schwan, Berlin
 - Dr.-Ing. Reinald Rudolphi, Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung, Berlin
 - Prof. em. Dr.-Ing. habil. Paul-Michael Weinspach, ehem. Ordinarius für Thermische Verfahrenstechnik, Wärme- und Stoffaustausch
 - Dr. Helmut Böttiger, Wiesbaden
 - Prof. Dr.-rer. nat. Michael Rückert, Experimentalphysik u. Strömungstechnik, FH Köln
 - Rolf Köneke, Vereidigter Sachverständiger für Bauwerkssanierung, Hamburg
 - Prof. Dipl.-Ing. Architekt Jens Peter Fehrenberg, Fachhochschule Hildesheim
 - Prof. Dr. Gerhard Gerlich, Braunschweig
 - Dr. Kurt Andreas Moosburger Facharzt für Innere Medizin, Innsbruck (Österreich)
 - Dipl.-Ing. Norbert Nadler, Berlin
 - Dipl.-Ing. Peter Rauch, Leipzig
 - berat. Ing. USIC/SIA Heinz Bangerter, Kloten-Zürich-Wädenswil (Schweiz)
 - Patrick Widmer, Jenni Energietechnik AG (Schweiz)
 - Dipl.-Ing. (FH) Manfred Kehrer, Fraunhofer-Institut für Bauphysik (IBP), Holzkirchen
 - Dr. Jörg Hetfleisch Bayerisches Zentrum für Angewandte Energieforschung
 - Dipl.-Biologe Georg Rummel, Technische Biologie und Bionik, Universität des Saarlandes
 - Martin Reick, Universität Essen
 - Jörg Brandhorst, ADNR e.V., Bonn
 - Friedemann Mahlke, FEB, Universität Kassel
 - Andreas Milich, Sunways AG, Konstanz
 - Uwe Eckstein, UFE Solar GmbH, Eberswalde
 - Helga Geier und Renate Neumayr, Österreichisches Kuratorium für Landtechnik und Landentwicklung (ÖKL)
-

Eidesstattliche Erklärung

Ich erkläre hiermit, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig und ohne fremde Hilfe verfasst und keine anderen als die angegebenen Hilfsmittel verwendet habe. Insbesondere versichere ich, dass ich alle wörtlichen und sinngemäßen Übernahmen aus anderen Werken als solche kenntlich gemacht habe.

Magdeburg, den 14.10.2002

A handwritten signature in black ink, appearing to read "Henrich Parsiegh". The signature is written in a cursive style with a large, looped initial 'H' and a distinct 'P'.

Hochschule Magdeburg-Stendal
Fachbereich Bauwesen
Fachgebiet Technische Gebäudeausrüstung



**ASPEKTE ZUR ENERGETISCH-ÖKOLOGISCHEN
OPTIMIERUNG VON WOHNGBÄUDEN**

**(THEORETISCHE) INTERAKTION VON BAUWERK
UND GEBÄUDETECHNIK**

THESENPAPIER
zur
DIPLOMARBEIT

verfasst von:

cand.-ing. Henryk Parsiegl
Ummendorferstr. 1 a
39365 Eilsleben

Magdeburg im Oktober 2002

- (1) Bei einer ganzheitlich-ökologischen Betrachtungsweise muss die Ökologie das Bindeglied bzw. die Basis einzelner Betrachtungsschwerpunkte bilden. Wird bei zukünftigen gesamt-ökologischen Bewertungen von Gebäuden der Schwerpunkt ausschließlich auf das Thema CO₂ gelegt, so kann dies zu Fehloptimierungen führen.
- (2) Die EnEV steht an der Schwelle einer ökologischen Bewertung. Sie gefahrfrei bzw. mit kalkuliertem Risiko zu überschreiten, erfordert die Gesamtheit ingenieur-planerischen Könnens. Einzelne Bauthemen können dabei nur isoliert/verallgemeinert betrachtet werden, wenn sie aus der Gesamtdarstellung des Bauens entnommen werden.
- (3) Mit der Nutzerakzeptanz – bestimmt durch Hygiene, Behaglichkeit und Komfort – und dem KISS-Prinzip – bestimmt durch robuste, selbstregulierende bzw. verzeihende und zeitlose Komponenten/Konzepte – steht und fällt die energetisch-ökologische Effizienz des Gesamtsystems – Gebäude ↔ technische Anlage. Es muss deshalb intensiver auf die Bedürfnisse des Menschen eingegangen werden. Dazu genießt die Entwicklung eines geeigneten Summenmaßstabes für die Behaglichkeit eine sehr große Bedeutung.
- (4) Waren/sind bei älterer Bausubstanz und/oder Haustechnik noch pauschale energetische Betrachtungen zur Abstimmung von Gebäude und Anlagentechnik ausreichend, so zählt zunehmend eine Leistungsoptimierung der immer sensibler werdenden Einzelkonzepten (die Begriffe Energie und Leistung sind mit ihrer physikalischen Definition zu verstehen). Dynamische Einflüsse sind dabei als ausschlaggebende Randbedingungen möglichst realitätsnah bzw. geeignet abzuschätzen. Das Gebäude ist das verknüpfende Element der dynamischen Prozesse. Im Zentrum derartiger Betrachtungen steht erst der Mensch, dann das Gebäude und zuletzt die Technik.
- (5) Der *Sündenbock* bei auftretenden Problemen (Fehlfunktionen der Haustechnik, fehlende Behaglichkeit, schlechte Luft, Schimmel bzw. erhöhte Luftfeuchte, zu hoher Energieverbrauch) wird (vorschnell) im Nutzer gesehen und gesucht. Um die energetische, aber auch die ökologische Effizienz von Energiesparmaßnahmen sicher zu stellen, muss zukünftig die Nutzer-Seite auf einer anderen Ebene in derartige Überlegungen einbezogen werden (*bspw. Hausführerschein*). Eine Bagatellisierung der Problematik über sogenannte Nutzer-Szenarien (Standard – Sparer – Verschwender) darf es bei zukünftigen Betrachtungen nicht mehr in dieser Form geben.
- (6) Standardwohngebäude haben, trotz moderner Bautechnik, Baukonstruktion und Baustoffe und trotz gesteigener Komfortansprüche, immer noch Behaglichkeitsdefizite aufzuweisen. Diese lassen sich allein durch die Optimierung des konstruktiven Wärmeschutzes nicht beseitigen. Hierbei muss die Art der Wärmeübergabe bzw. die raumabschnittsweise Zonierung zukünftig neu bzw. anders interpretiert werden. Die Behaglichkeit und Fremdwärme müssen gerade bei der Auslegung der Baukonstruktion konsequenter zur Störgrößen-Regelung Einsatz finden (Gebäude als passives Stellglied).