

Klaus W. Usemann

Energieeinsparende Gebäude und Anlagentechnik

Grundlagen, Auswirkungen, Probleme und Schwachstellen,
Wege und Lösungen bei der Anwendung der EnEV

Mit 358 Abbildungen und 80 Tabellen

 Springer

Inhalt

| | | |
|----------|---|-----------|
| 0 | Einleitung | 1 |
| 1 | Geo-Engineering | 5 |
| 1.1 | Problemstellung | 5 |
| 1.1.1 | Weltweite Klimaveränderungen | 5 |
| 1.1.2 | Zusammenhänge Architektur-Energie-Klima: Der Treib- hauseffekt und was steckt dahinter | 11 |
| 1.2 | Ursachen der weltweiten Klimaveränderungen | 14 |
| 1.2.1 | Global (weltweit) | 14 |
| 1.2.2 | Die Rolle der Bundesrepublik Deutschland | 24 |
| 1.2.3 | Die Rolle des Anwendungsbereichs Niedertemperatur- wärme in der Bundesrepublik Deutschland | 30 |
| 1.2.4 | Die Rolle des Anwendungsbereichs Niedertemperatur- wärme eines einzelnen Gebäudes | 31 |
| 1.3 | Folgen der weltweiten Klimaveränderung | 34 |
| 1.4 | Gegenmaßnahmen: Energie und Architektur | 36 |
| 1.4.1 | Global (weltweit) | 36 |
| 1.4.2 | Rolle der Bundesrepublik Deutschland | 38 |
| 1.5 | Grundlegende Konsequenzen der novellierten Wärmeschutz- verordnungen. Anlass und Ziele | 39 |
| 1.6 | Energie der Zukunft | 42 |
| 2 | Forderungen des Wärmeschutzes | 44 |
| 2.1 | Wärmeschutzforderungen vor der ersten Wärmeschutzverordnung | 44 |
| 2.1.1 | DIN 4108 – Wärmeschutz im Hochbau | 44 |
| 2.2 | Die Wärmeschutzverordnung (WSVO) | 48 |
| 2.2.1 | Erste Wärmeschutzverordnung | 48 |
| 2.2.2 | Zweite Wärmeschutzverordnung | 51 |
| 2.2.3 | Dritte Wärmeschutzverordnung | 52 |
| 2.2.4 | Weitere Ausgaben der DIN 4108 | 66 |
| 2.3 | Heizungsanlagenverordnungen (HeizAnlV) | 67 |
| 2.3.1 | Heizungsanlagenverordnung 1978 | 67 |
| 2.3.2 | Heizungsanlagenverordnung 1982 | 68 |
| 2.3.3 | Heizungsanlagenverordnung 1989 | 69 |
| 2.3.4 | Heizungsanlagenverordnung 1994 | 69 |

| | | |
|----------|---|-----------|
| 2.3.5 | Heizungsanlagenverordnung 1998 | 71 |
| 2.4 | Mindestanforderungen an den Wärmeschutz und Energieeinsparung in Gebäuden nach DIN 4108 | 72 |
| 2.5 | Energiesparendes Bauen, Herausforderung für Architekten und Ingenieure | 90 |
| 3 | Energieeinsparverordnung – EnEV | 93 |
| 3.1 | Schwerpunkte der Verordnung im Einzelnen | 94 |
| 3.1.1 | Beitrag der Energieeinsparung zum Klimaschutz | 94 |
| 3.1.2 | Verschärfung der Anforderungen im Neubau | 101 |
| 3.1.3 | Integration von Wärmeschutz und Anlagentechnik | 102 |
| 3.1.4 | Vereinfachtes Nachweisverfahren bei Wohngebäuden | 104 |
| 3.1.5 | Anforderungskonzept für den Gebäudebestand | 105 |
| 3.1.6 | Erleichterung des Einsatzes erneuerbarer Energien und der Kraft-Wärme-Kopplung sowie sommerlicher Wärmeschutz | 110 |
| 3.1.7 | Erhöhung der Transparenz für Bauherren und Nutzer durch Energieausweise | 111 |
| 3.1.8 | Verweise auf Regeln der Technik, Anpassung an die europäische Normung | 112 |
| 3.1.9 | Rechtsvereinfachung | 114 |
| 3.1.10 | Umsetzung europäischer Richtlinien in nationales Recht | 115 |
| 3.1.11 | Sonderregelungen in Deutschland für Gebäude in energiesparender Bauweise | 115 |
| 3.2 | Verordnungstext mit Erläuterungen | 118 |
| 3.3 | Energiebedarfs- und Wärmebedarfsausweise | 296 |
| 3.4 | EU-Richtlinie EER über die Energieeffizienz von Gebäuden | 314 |
| 3.5 | Wirtschaftliche Vertretbarkeit der Anforderungen, Auswirkungen auf die Baukosten, Mieten und Preise sowie Honorierung | 319 |
| 3.5.1 | Wirtschaftliche Vertretbarkeit | 319 |
| 3.5.2 | Gebäudekosten | 321 |
| 3.5.3 | Preisniveau bei Bauprodukten | 331 |
| 3.5.4 | Mieten und Gesamtwohnkosten, Verbraucherpreise | 334 |
| 3.5.5 | Auswirkungen auf die öffentlichen Haushalte | 336 |
| 3.5.5.1 | Bund, Länder und Gemeinden als Bauherren | 336 |
| 3.5.5.2 | Verwaltungskosten | 337 |
| 3.5.5.3 | Finanzielle Förderung | 337 |
| 3.5.5.4 | Auswirkung der energetischen Modernisierung von Gebäuden auf den Arbeitsmarkt | 338 |
| 3.5.6 | Honorierung | 338 |
| 3.5.7 | Bautypische Instandhaltungsbegriffe | 341 |
| 3.6 | Gebäudegeometrieverhältnis (Kompaktheitsgrad) A/V_e | 345 |

| | |
|--|----------------|
| 4 Berechnung des Jahresheizwärme- und des Jahresheizenergiebedarfs nach DIN V 4108-6 | 353 |
| 4.1 Der Baupfad. Allgemeines | 353 |
| 4.2 Erläuterungen zum vereinfachten Nachweisverfahren nach der EnEV | 360 |
| 4.3 Wärmeverluste nach dem Monatsbilanzverfahren | 384 |
| 4.4 Wärmegewinne nach dem Monatsbilanzverfahren | 388 |
| 4.5 Heizunterbrechung, Nachtbetriebsabschaltung nach dem Monatsbilanzverfahren | 394 |
| 4.6 Ausnutzungsgrad der Wärmegewinne nach dem Monatsbilanzverfahren | 396 |
| 4.7 Jahresheizwärmebedarf nach dem Monatsbilanzverfahren | 401 |
| 4.8 Formblätter | 401 |
| 4.9 Einige kritische Anmerkungen | 412 |
| 4.9.1 Der nach DIN EN 832 bzw. DIN V 4108-6 ermittelte Jahresheizwärmebedarf ist keine alleinige Eigenschaft des Gebäudes | 412 |
| 4.9.2 Lüftungswärmebedarf keine alleinige Gebäude- oder Anlageneigenschaft | 412 |
| 4.9.3 Heizunterbrechungen keine alleinige Gebäude- oder Anlageneigenschaft | 413 |
| 4.9.4 Bedarfsgeführte Regelung gleichberechtigt zu anderen Maßnahmen | 414 |
| 4.9.5 Einfache Primärenergiebewertung auf Basis der Heizenergiebilanz und mit Primärenergiefaktoren | 414 |
| 4.9.6 Weiterentwicklung des technischen Regelwerkes | 414 |
| 5. Energetische Bewertung heiz- und raumlufttechnischer Anlagen (Heizung, Trinkwassererwärmung, Lüftung) nach DIN 4701-10 | 416 |
| 5.1 Der Anlagenpfad. Allgemeines | 416 |
| 5.2 Grundlagen des Rechenverfahrens | 425 |
| 5.3 Anlagenaufwandszahl e_p | 427 |
| 5.4 Bereiche und Stränge | 433 |
| 5.5 Symbole und Indizierung | 437 |
| 5.6 Diagrammverfahren nach DIN V 4701-10 | 438 |
| 5.7 Tabellen- und Detailliertes Rechenverfahren | 441 |
| 5.8 Berechnungsgrundlagen für das Detaillierte Verfahren | 441 |
| 5.9 Berechnungsblätter | 445 |
| 5.10 Nachweise nach der EnEV | 451 |
| 5.11 Mindestangaben für das Tabellenverfahren | 453 |
| 5.12 Zusätzliche Angaben für das Detaillierte Verfahren | 462 |
| 5.13 Der umfassendere Ansatz zur DIN V 4701-10 | 477 |
| 5.14 Verrechnung von Anlagentechnik und Bauphysik | 479 |

| | | |
|----------|--|------------|
| 6 | Jahresheizwärmebedarfs- und Primärenergiebedarfsübersichten | 484 |
| | Rechenprogramme nach der EnEV | 518 |
| 7 | Konsequenzen der Energieeinsparverordnung auf Konstruktion und Gestaltung der Gebäude | 522 |
| 7.1 | Energieeinsparhäuser | 522 |
| 7.1.1 | Definitionen | 522 |
| 7.1.2 | Gebäudeentwurf bei einer Niedrigenergiebauweise | 526 |
| 7.1.3 | Wärmeschutzkonstruktionen | 531 |
| 7.1.4 | Gebäudetechnik | 548 |
| 7.1.5 | Checkliste und Planungsablauf | 554 |
| 7.2 | Anforderungen an Bauteile für Neubauten | 556 |
| 7.2.1 | Außenwände | 556 |
| 7.2.2 | Decken, Dächer | 577 |
| 7.2.3 | Fenster, Fenstertüren, Dachfenster | 583 |
| 7.2.4 | Wärmedämmstoffe | 609 |
| 7.2.5 | Erdreichberührte Gebäudeaußenfläche | 619 |
| 7.2.6 | Massiv-Absorber | 621 |
| 7.2.7 | Allgemeine Feststellungen | 626 |
| 7.3 | Anforderungen an bestehende Gebäude | 627 |
| 7.4 | Anforderungen an denkmalgeschützte Gebäude | 666 |
| 7.5 | Ökologische Aspekte | 672 |
| 7.6 | Luftdichtheit der Außenhülle von Gebäuden | 685 |
| 7.6.1 | Konstruktive Anforderungen an die Fugendurchlässigkeit von Fenstern, Bauteilfugen usw. | 689 |
| 7.6.2 | Luftdichtigkeitsprüfung von Gebäuden | 699 |
| 7.6.3 | Ermittlung der Luftdichtheit durch Indikatorgasmesstechnik | 714 |
| 7.6.4 | Rechnerische Überprüfung des Luftwechsels | 718 |
| 7.7 | Möglichkeiten und Praxis der Bau-Thermographie | 720 |
| 7.8 | Energieberatung | 724 |
| 7.9 | Anforderungen an Wintergärten | 726 |
| 7.9.1 | Der unbeheizte Wintergarten, Neubau | 727 |
| 7.9.2 | Der beheizte Wintergarten, Neubau | 727 |
| 7.9.3 | Nachträglicher Anbau eines Wintergartens an ein bestehendes Gebäude | 728 |
| 7.9.4 | Allgemeine Hinweise | 729 |
| 8 | Konsequenzen der Energieeinsparverordnung auf die energiewirtschaftliche Beurteilung von Heizungsanlagen, Lüftung, Trinkwassererwärmung | 731 |
| 8.1 | Allgemeines | 731 |
| 8.2 | Wärmeerzeugung | 742 |
| 8.2.1 | Heizkessel | 742 |
| 8.2.2 | Blockheizkraftwerk (BHKW) | 758 |

| | | |
|----------|---|------------|
| 8.2.3 | Wärmepumpen | 763 |
| 8.3 | Raumheizflächen | 773 |
| 8.4 | Pumpenauslegung | 789 |
| 8.5 | Regelungstechnik | 796 |
| 8.6 | Warmwasserversorgung | 801 |
| 8.7 | Einzelfeuerstätten | 812 |
| 8.8 | Maschinelle Wohnungslüftung | 813 |
| 8.9 | Solaranlagen | 842 |
| 9 | Nachweis nach der EnEV am Beispiel eines Einfamilienhauses | 855 |
| 9.1 | Berechnungsverfahren | 855 |
| 9.2 | Baubeschreibung | 855 |
| 9.3 | Grundrisse und Ansichten | 856 |
| 9.4 | Eingangsdaten | 858 |
| 9.4.1 | Wärmeübertragende Umfassungsfläche A | 858 |
| 9.4.2 | Beheiztes Gebäudevolumen V_e | 860 |
| 9.4.3 | Gebäudenutzfläche A_N | 864 |
| 9.4.4 | A/V_e -Verhältnis und Anforderungsniveau der EnEV | 864 |
| 9.4.5 | Nettoflächenermittlung | 865 |
| 9.4.6 | Fensterflächenanteil | 867 |
| 9.4.7 | Aufbau raumabschließender Außenbauteile | 869 |
| 9.4.7.1 | Wände | 869 |
| 9.4.7.2 | Wintergarten | 869 |
| 9.4.7.3 | Dach | 869 |
| 9.4.7.4 | Erdreichberührte Bauteile | 870 |
| 9.5 | Monatsbilanzverfahren. Transmissionswärmeverluste | 871 |
| 9.5.1 | Berechnungshinweise | 871 |
| 9.5.2 | Eingangswerte | 872 |
| 9.5.3 | Wärmebrücken | 874 |
| 9.5.4 | Temperaturkorrekturfaktoren | 876 |
| 9.5.5 | Berechnung des Transmissionswärmeverlustes H_T | 876 |
| 9.5.6 | Berechnung des monatlichen Bruttowärmeverlustes durch Transmission | 878 |
| 9.6 | Monatsbilanzverfahren. Lüftungswärmeverluste | 879 |
| 9.6.1 | Rechenvorschriften | 879 |
| 9.6.2 | Eingangsdaten | 880 |
| 9.6.3 | Berechnung des spezifischen Lüftungswärmeverlustes H_v | 880 |
| 9.6.4 | Berechnung des Bruttowärmeverlustes durch Lüftung | 881 |
| 9.7 | Monatsbilanzverfahren: Bruttowärmeverluste durch Transmission und Lüftung | 882 |
| 9.8 | Monatsbilanzverfahren. Interner Wärmegewinn | 883 |
| 9.8.1 | Allgemeines | 883 |
| 9.8.2 | Berechnung des mittleren internen Wärmegewinns | 884 |
| 9.8.3 | Berechnung des internen Bruttowärmegewinns | 884 |
| 9.9 | Monatsbilanzverfahren. Solarer Wärmegewinn | 885 |
| 9.9.1 | Solarer Wärmegewinn der Fenster. | 885 |

| | | |
|------------|--|-----|
| 9.9.1.1 | Allgemeines | 885 |
| 9.9.1.2 | Eingangsdaten | 886 |
| 9.9.1.3 | Vereinfachte Berechnungsformel | 886 |
| 9.9.1.4 | Orientierung der Fenster | 888 |
| 9.9.1.5 | Strahlungsintensitäten und Fensterflächen | 889 |
| 9.9.1.6 | Berechnung des solaren Bruttowärmegewinns der Fenster | 890 |
| 9.9.2 | Solarer Wärmegewinn des Wintergartens | 890 |
| 9.9.2.1 | Allgemeines | 890 |
| 9.9.2.2 | Direkter Wärmegewinn | 892 |
| 9.9.2.3 | Indirekter Wärmegewinn | 894 |
| 9.9.2.4 | Berechnung des solaren Bruttowärmegewinns des Wintergartens | 896 |
| 9.10 | Monatsbilanzverfahren. Bruttowärmegewinne | 897 |
| 9.11 | Monatsbilanzverfahren. Intermittierender Heizungsbetrieb | 898 |
| 9.11.1 | Berechnung der Reduzierung des Wärmeverlusts | 899 |
| 9.11.2 | Anmerkungen | 909 |
| 9.12 | Monatsbilanzverfahren. Nettowärmeverluste | 909 |
| 9.13 | Monatsbilanzverfahren. Nettowärmegewinne | 911 |
| 9.13.1 | Eingangswerte | 912 |
| 9.13.1.1 | Berechnung der Zeitkonstante | 912 |
| 9.13.1.2 | Berechnung des numerischen Parameters | 912 |
| 9.13.1.3 | Berechnung des Wärmegewinn- / Wärmeverlustverhältnisses | 912 |
| 9.13.1.4 | Berechnung des Ausnutzungsgrades | 913 |
| 9.13.2 | Berechnung des Nettowärmegewinns | 914 |
| 9.13.3 | Anmerkungen | 916 |
| 9.14 | Monatsbilanzverfahren. Berechnung des JahresHeizwärmebedarfs | 916 |
| 9.15 | Monatsbilanzverfahren. Nachweis nach der EnEV | 918 |
| 9.16 | Nachweis nach der EnEV am Beispiel des Einfamilienhauses – Berechnung des Primärenergiebedarfs | 918 |
| 9.16.1 | Allgemeines | 918 |
| 9.16.2 | Berechnungsablauf | 919 |
| 9.16.3 | Eingangswerte | 920 |
| 9.16.3.1 | Berechnungen nach DIN V 4108-6 | 920 |
| 9.16.3.1.1 | Heizgrenztemperatur | 920 |
| 9.16.3.1.2 | Dauer der Heizperiode | 921 |
| 9.16.3.2 | Primärenergiefaktoren | 923 |
| 9.16.3.3 | Gradtagsfaktor | 924 |
| 9.16.3.4 | Anlagenluftwechsel | 926 |
| 9.16.4 | Trinkwarmwasserbereitung | 926 |
| 9.16.4.1 | Verteilungsverluste | 926 |
| 9.16.4.2 | Speicherverluste | 927 |
| 9.16.4.3 | Erzeugungsverluste | 928 |
| 9.16.4.3.1 | Allgemeines | 928 |
| 9.16.4.3.2 | Kessel (Erzeuger 1) | 928 |

| | | |
|--------|--|------|
| | 9.16.4.3.3 Solaranlage (Erzeuger 2) | 928 |
| | 9.16.4.4 Primärenergiefaktoren | 929 |
| | 9.16.4.5 Berechnungsblatt | 929 |
| 9.16.5 | Lüftung | 930 |
| | 9.16.5.1 Übergabeverluste | 932 |
| | 9.16.5.2 Verteilungsverluste | 932 |
| | 9.16.5.3 Erzeugungsverluste | 932 |
| | 9.16.5.4 Primärenergiefaktor f_p | 933 |
| | 9.16.5.5 Korrektur des Anlagenluftwechsels | 933 |
| | 9.16.5.6 Berechnungsblatt | 933 |
| 9.16.6 | Heizung | 934 |
| | 9.16.6.1 Übergabeverluste | 935 |
| | 9.16.6.2 Verteilungsverluste | 936 |
| | 9.16.6.3 Speicherverluste | 936 |
| | 9.16.6.4 Erzeugungsverluste | 936 |
| | 9.16.6.4.1 Deckungsanteile | 936 |
| | 9.16.6.4.2 Aufwandszahlen | 937 |
| | 9.16.6.4.3 Hilfsenergie | 937 |
| | 9.16.6.5 Primärenergiefaktoren | 937 |
| | 9.16.6.6 Berechnungsblatt | 937 |
| 9.16.7 | Nachweis nach der EnEV | 939 |
| 9.17 | Zusammenfassung und Auswertung der Berechnungsergebnisse | 940 |
| | 9.17.1 Jahres-Heizwärmebedarf | 941 |
| | 9.17.2 Primärenergiebedarf | 945 |
| | 9.17.3 Nachweise nach der EnEV | 951 |
| 9.18 | Berechnung nach der EnEV | 952 |
| | 9.18.1 EnEV (Vereinfachtes Verfahren) | 952 |
| | 9.18.1.1 Transmissionswärmebedarf | 952 |
| | 9.18.1.2 Lüftung | 952 |
| | 9.18.1.3 Solare Wärmegewinne | 952 |
| | 9.18.1.4 Tabellarische Berechnung | 952 |
| | 9.18.2 Bewertung | 954 |
| | 9.18.2.1 Transmission | 954 |
| | 9.18.2.2 Lüftung | 955 |
| | 9.18.2.3 Solare Wärmegewinne | 955 |
| | 9.18.2.4 Interne Wärmegewinne | 955 |
| | 9.18.2.5 Zusammenfassung | 955 |
| 9.19 | Allgemeine Anmerkungen | 956 |
| | Literaturverzeichnis | 963 |
| | Stichwortverzeichnis | 1003 |