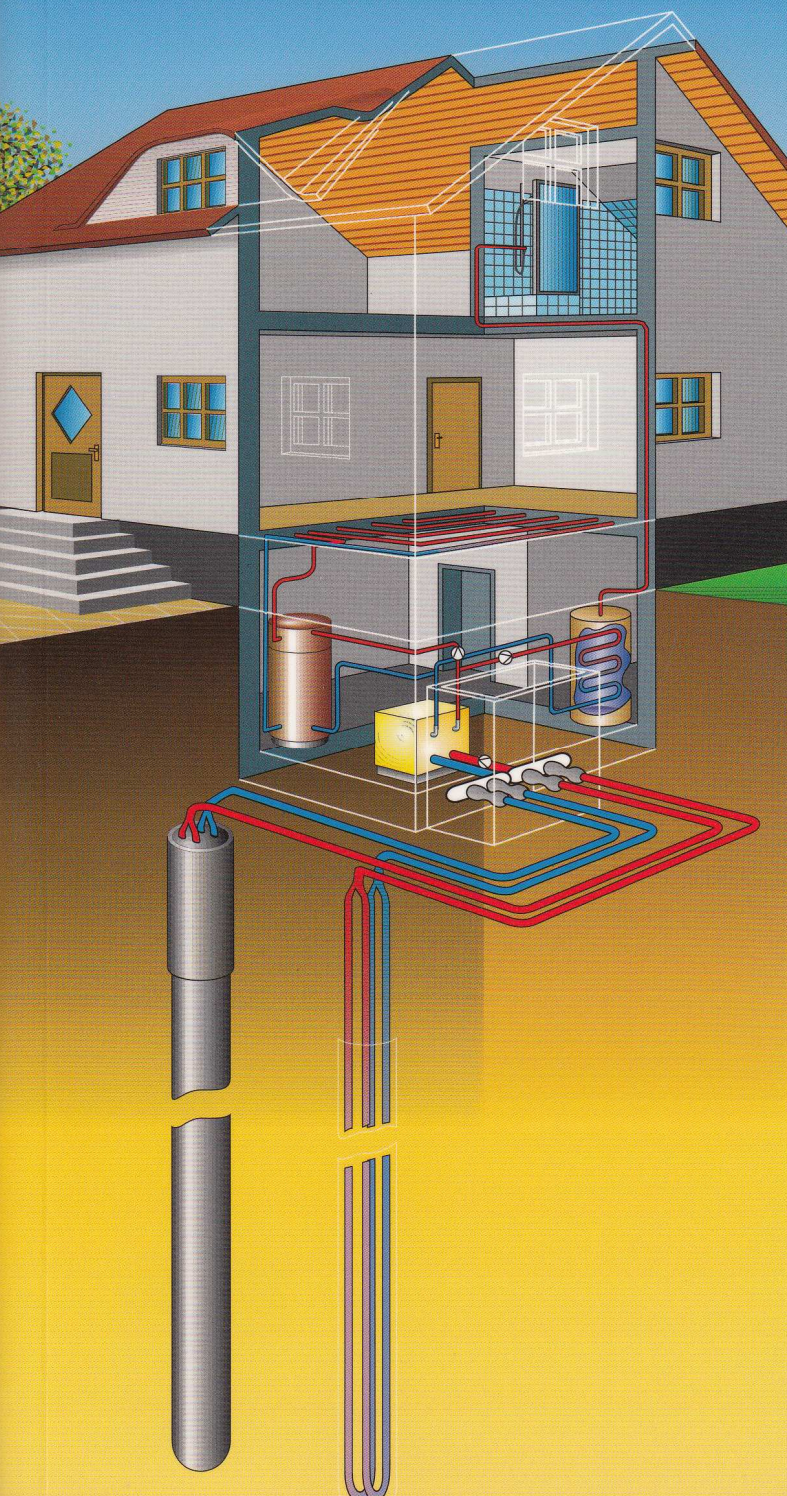


TECHNISCHE  
GEBÄUDEAUSRÜSTUNG

DIN

PRAXIS



Jürgen Bonin

# Handbuch Wärmepumpen

Planung und Projektierung

2., überarbeitete und erweiterte  
Auflage

Stand: 08/2012

Beuth



## **Autorenporträt**

Der Verfasser ist 1957 geboren und hat an der UNI/GH Elektrotechnik studiert. Seit 1994 gründete er Umwelt & Technik zum Vertrieb von Wasseraufbereitungsanlagen sowie ökologischer Haustechnik. 1998 baute er sein Wohnhaus, in dem er auch arbeitet, nach rein ökologischen Aspekten. Es ist ein Lehm-Fachwerk-Haus als Niedrigenergiehaus, welches natürlich mit einer Wärmepumpe zum Heizen + Kühlen sowie einer großen Solaranlage mit regenerativer Energie versorgt wird.

Jürgen Bonin hat im Rahmen seiner beratenden Tätigkeit seine Schulungs- und Projektierungsunterlagen ausgearbeitet und stets weiterentwickelt. Auf dieser Basis und im Zuge seiner Lehrtätigkeit bei der HWK (Handwerkskammer) Oberhausen ist nun dieses Handbuch für die Projektierung von Wärmepumpenanlagen entstanden.



Im September 2011 wurde Jürgen Bonin auf der alljährlichen Energiefachmesse RENEXPO in Augsburg für seine Erfindung, den Geo-Protektor, mit einem EnergyAward ausgezeichnet. Der Geo-Protektor dient zur deutlichen Erhöhung des Grundwasserschutzes bei Sole- oder Wasser-Wasser-Wärmepumpen.

Ein weiteres Buch zum Thema regenerativer Energien ist in Arbeit.

## Vorwort

Dieses Buch richtet sich an Bauherren und Interessenten sowie insbesondere an alle Fachhandwerker, Planer, Architekten und Städtebauer. Es eignet sich auch sehr gut als Lehrbuch für die Aus- und Weiterbildung.

Es gibt viele verschiedenen Wärmepumpentypen und -anlagen. Von der Vielzahl der Wärmepumpen gilt es die richtige Wärmepumpe für die gewünschte Anwendung herauszufinden. Der Markt bietet viel – doch die Frage ist, welche Wärmepumpe passt optimal zu der gewünschten Anwendung – und es ist nicht alles sinnvoll.

Aufgrund der stetig steigenden Energiekosten wird es immer notwendiger regenerative, Energien einzusetzen – zumal dies nun auch vom Gesetzgeber vorgeschrieben wird. Die nobelste regenerative Energie ist dabei die Erdwärme, zumal diese für alle vor der Haustüre quasi kostenlos zur Verfügung steht.

Nun gilt es zu prüfen, wie die Nutzung dieser Erdwärme oder Umweltwärme sinnvoll ist. Dazu sind Architekten, Planer, Energieberater, Handwerker, Brunnenbauer, kurz alle, die mit dem Gewerk „Wärmepumpenanlage“ zu tun haben, gefragt, dies zu überprüfen und entsprechend beratend tätig zu werden. Mit diesem Buch beabsichtigt der Verfasser, dem Anwender, vom Planer bis zum Betreiber, die Möglichkeit an die Hand zu geben, möglichst schnell, übersichtlich und verständlich alle wichtigen und gewünschten Informationen zu bekommen. Viele Bilder und Beispiele veranschaulichen die geschilderten Informationen.

Ein paar ökologische Betrachtungen verdeutlichen die Notwendigkeit zur Nutzung regenerativer Energien. Dazu gewinnt die Wärmepumpe zunehmend an Bedeutung, weil sie – richtig dimensioniert – einen wesentlichen Betrag zum Umweltschutz leisten kann. Nicht zu vernachlässigen sind auch die wirtschaftlichen Aspekte, aufgrund dessen die Nachfrage an Wärmepumpen stark zunimmt. Falsch projektierte Wärmepumpenanlagen können jedoch genau das Gegenteil bewirken.

Beim Schreiben dieses Buches war es das Bestreben des Verfassers, den neuesten Stand der Technik sowie auch die derzeit gültigen Gesetze und Vorschriften umfänglich zu berücksichtigen. Weil bekanntlich die technischen Erkenntnisse, einschließlich die Technik selbst, aber auch die gesetzlichen Bestimmungen häufigen Änderungen unterliegen, nicht zuletzt auch Fehler nicht auszuschließen sind, wird keine Gewähr für die Richtigkeit oder Vollständigkeit übernommen. Gleiches gilt für technische Angaben verschiedener Hersteller, die nur beispielhaft angewendet werden. Grundsätzlich sind bei späteren zu projektierenden Wärmepumpenanlagen die Angaben und Daten der jeweiligen Hersteller zu beachten und vorrangig gültig. Selbiges gilt auch für geänderte Gesetze und Richtlinien.

Letztendlich dankt der Verfasser bei dieser Gelegenheit seiner Frau Heidemarie sowie auch allen Partnern, Kunden und Kollegen für zahlreiche Hinweise, Korrekturen und Tipps sowie dem Ing.-Büro und Wärmepumpeninstitut LOHRConsult und auch weiteren Partnern und Herstellern für die zur Verfügung gestellten Unterlagen. Ebenso dankt der Verfasser auch dem Beuth-Verlag GmbH für die Publikation dieses Buches.

Es wünscht Ihnen viele neue Erkenntnisse, Informationen und Anregungen beim Lesen dieses Buches und Erfolg bei den zu planenden Wärmepumpenanlagen.

Ihr



Jürgen Bonin

## Inhaltsübersicht

1. Einleitung
2. Betrachtungen zur Ökologie
  - 2.1 Auswirkungen auf die Umwelt
  - 2.2 Entwicklung der Energiekosten
  - 2.3 Woher die Erdwärme kommt
3. Was ist eine Wärmepumpe und wie funktioniert sie?
  - 3.1 Warum heißt die Wärmepumpe „Wärmepumpe“?
  - 3.2 Aufbau einer Wärmepumpe und deren Komponenten
  - 3.3 Der technische Kältekreislauf und die Funktion der Wärmepumpe
    - 3.3.1 Technischer Kältekreislauf einer Wärmepumpe mit Unterkühlung und Überhitzung
    - 3.3.2 Technischer Kältekreislauf einer Wärmepumpe mit Heißgasnutzung
    - 3.3.3 Beispiel zum prinzipiellen Aufbau einer Wärmepumpe
  - 3.4 Der Regler
  - 3.5 Der Kältekreislauf im p-h-Diagramm
  - 3.6 Das Kältemittel
  - 3.7 Wasser-Wasser-Wärmepumpe
    - 3.7.1 Wasser-Wasser-Wärmepumpe ohne Systemtrennung
    - 3.7.2 Wasser-Wasser-Wärmepumpe mit Systemtrennung
  - 3.8 Sole-Wasser-Wärmepumpe
    - 3.8.1 Eine Sole-Wasser-Wärmepumpe mit Erdsonden
    - 3.8.2 Eine Sole-Wasser-Wärmepumpe mit Erdkollektoren
  - 3.9 Wärmepumpe mit Direktverdampfer
  - 3.10 Luft-Wasser-Wärmepumpe
    - 3.10.1 Kompaktanlagen
    - 3.10.2 Splitanlagen
  - 3.11 Boiler-Wärmepumpen
  - 3.12 Boiler-Wärmepumpen mit Wärmerückgewinnung aus der Fortluft.
  - 3.13 Kühlen mit einer Wärmepumpe
    - 3.13.1 Die „Freie Kühlung“
    - 3.13.2 Reversibel arbeitende Wärmepumpe zum aktiven Kühlen
    - 3.13.3 Regelung beim Kühlbetrieb
  - 3.14 Gasbetriebene Wärmepumpen
    - 3.14.1 Gasmotor-Wärmepumpe
    - 3.14.2 Absorptionswärmepumpen
    - 3.14.3 Gegenüberstellung der beiden gasbetriebenen Wärmepumpen
    - 3.14.4 Zeolith-Gas-Absorptionswärmepumpen
  - 3.15 Luft-Luft-Wärmepumpen
  - 3.16 Weitere Einsatzmöglichkeiten für Wärmepumpen
4. Leistung einer Wärmepumpe
  - 4.1 Leistungszahl
    - 4.1.1 Leistungszahl einer Wasser-Wasser-Wärmepumpe
    - 4.1.2 Leistungszahl einer Sole-Wasser-Wärmepumpe
    - 4.1.3 Vergleich der Leistungszahl  $\epsilon$  einer Wasser-Wasser-Wärmepumpe mit einer Sole-Wasser-Wärmepumpe
    - 4.1.4 Leistungszahl einer Luft-Wasser-Wärmepumpe
  - 4.2 Das Jahres-Verhalten verschiedener Wärmepumpen
    - 4.2.1 Das Jahres-Verhalten einer Wasser-Wasser-Wärmepumpenanlage
    - 4.2.2 Das Jahres-Verhalten einer Sole-Wasser-Wärmepumpenanlage
    - 4.2.3 Das Jahres-Verhalten einer Luft-Wasser-Wärmepumpenanlage
    - 4.2.4 Vergleichende Betrachtungen zum Jahres-Verhalten der verschiedenen Wärmepumpenanlagen
  - 4.3 Jahresarbeitszahl
    - 4.3.1 Die Jahresarbeitszahl einer Wasser-Wasser-Wärmepumpenanlage
    - 4.3.2 Die Jahresarbeitszahl einer Sole-Wasser-Wärmepumpenanlage
    - 4.3.3 Die Jahresarbeitszahl einer Luft-Wasser-Wärmepumpenanlage
    - 4.3.4 Berechnung der Jahresarbeitszahl gem. VDI 4650
  - 4.4 Primärenergiefaktor  $f_p$  und Energie-Aufwandszahl  $e_p$

- 5. Projektierung einer Wärmepumpenanlage
  - 5.1 Die Aufgaben eines Architekten und Beraters
    - 5.1.1 Beratung und Planung durch den Architekten und Berater
    - 5.1.2 Beratung und Planung durch den Architekten und Berater und Sonderwünsche
      - 5.1.2.1 Beheizung von Schwimmbädern
      - 5.1.2.2 Beheizung von Nebengebäuden
    - 5.1.3 Betreuung und Bauüberwachung durch den Architekten und Berater
  - 5.2 Ermittlung der Leistung einer Wärmepumpe
    - 5.2.1 Ermittlung der Leistung einer Wärmepumpe für einen Neubau
    - 5.2.2 Ermittlung der Leistung einer Wärmepumpe für den Baubestand
    - 5.2.3 Wärmepumpen im Baubestand
      - 5.2.3.1 Wärmepumpen im Baubestand mit Fußbodenheizung und Heizkörpern
      - 5.2.3.2 Wärmepumpen im Baubestand mit Heizkörpern
      - 5.2.3.3 Rettet den Ruf der Wärmepumpen!
    - 5.2.4 Ermittlung der Leistung einer Wärmepumpe für Industriehallen
    - 5.2.5 Berechnungsbeispiel der Heizleistung eines Einfamilienhauses gem. Wärmegesetz
    - 5.2.6 Ermittlung der Leistung einer Wärmepumpe für ein Schwimmbad
    - 5.2.7 Wärmepumpen im gewerblichen Einsatz
    - 5.2.8 Wärmepumpen in Wohnsiedlungen und Wärmepumpengroßanlagen
      - 5.2.8.1 Wasser-Wasser-Wärmepumpenanlagen
      - 5.2.8.2 Sole-Wasser-Wärmepumpenanlagen
      - 5.2.8.3 Luft-Wasser-Wärmepumpenanlagen
      - 5.2.8.4 Schlussbetrachtungen zu Wärmepumpen in Wohnsiedlungen und Wärmepumpengroßanlagen
    - 5.2.9 Wärmepumpen für stark gedämmte Häuser und Passivhäuser
  - 5.3 Projektierung von Wärmepumpenanlagen
    - 5.3.1 Projektierung einer Wasser-Wasser-Wärmepumpenanlage
      - 5.3.1.1 Hydrologische und Geologische Bedingungen
      - 5.3.1.2 Die Wasserqualität
      - 5.3.1.3 Förder- und Schluckbrunnen
      - 5.3.1.4 Eine Wasser-Wasser-Wärmepumpe auch bei Eisen / Mangan im Wasser
    - 5.3.2 Projektierungsbeispiel einer Wasser-Wasser-Wärmepumpenanlage
    - 5.3.3 Projektierung einer Sole-Wasser-Wärmepumpenanlage
      - 5.3.3.1 Berechnung der Kälteleistung
        - 5.3.3.2 Erdsonden
        - 5.3.3.3 Projektierung von Erdsonden
        - 5.3.3.4 Erstellung von Erdsonden
        - 5.3.3.5 Projektierungsbeispiel einer Sole-Wasser-Wärmepumpenanlage mit Erdsonden
        - 5.3.3.6 Projektierung von Erdkollektoren
        - 5.3.3.7 Projektierungsbeispiel einer Sole-Wasser-Wärmepumpenanlage mit Erdkollektoren
        - 5.3.3.8 Energiematten – Eine Alternative zu Erdkollektoren?
        - 5.3.3.9 Projektierung von Energiekörben
        - 5.3.3.10 Grabenkollektor
        - 5.3.3.11 Dachabsorber, Energiezäune, Massivabsorber, etc.
        - 5.3.3.12 Seeabsorber / Flussabsorber
      - 5.3.4 Projektierung einer Luft-Wasser-Wärmepumpenanlage
        - 5.3.4.1 Auslegung einer Luft-Wasser-Wärmepumpenanlage auf Tiefsttemperatur
        - 5.3.4.2 Ermittlung des Bivalentpunktes einer Luft-Wasser-Wärmepumpenanlage
        - 5.3.4.3 Projektierungsbeispiel einer Luft-Wasser-Wärmepumpenanlage
    - 5.3.5 Gegenüberstellung von Wasser-Wasser-Wärmepumpen, Sole-Wasser-Wärmepumpen und Luft-Wasser-Wärmepumpen
  - 5.4 Qualitätsmerkmale einer Wärmepumpe
  - 5.5 Projektierung der Elektroinstallation einer Wärmepumpe
  - 5.6 Beantragungen und Genehmigungen von Wärmepumpenanlagen
  - 5.7 Förderungen von Wärmepumpenanlagen
  - 5.8 Bedeutung einer Flächenheizung für Wärmepumpen
- 6. Grundwasserschutz
  - 6.1 Gesetzliche Bestimmungen
  - 6.2 Geo-Protector
    - 6.2.1 Sole-Wasser-Wärmepumpen und deren Gefährdungspotentiale
    - 6.2.2 Der Geo-Protector und seine Funktion
    - 6.2.3 Umweltrelevante und wirtschaftliche Betrachtungen
    - 6.2.4 Kosten-Nutzen-Betrachtungen
    - 6.2.5 Empfehlungen zur Realisierung der neuen Grundwasserschutzeinrichtung (Geo-Protector)

- 6.3 CO<sub>2</sub>-Sonden
- 7. Hydraulik
  - 7.1 Die Primärpumpe
    - 7.1.1 Die Unterwasserpumpe
      - 7.1.1.1 Die Unterwasserpumpe und deren Überwachung
      - 7.1.1.2 Projektierungsbeispiel einer Wasserversorgung mit Unterwasserpumpe und Rohrleitungen
        - 7.1.2.1 Die Solepumpeumwälzpumpe
        - 7.1.2.2 Projektierungsbeispiel des Sole-Kreislaufnetzes mit einer Sole-Umwälzpumpe und Rohrleitungen
    - 7.2 Die Sekundärpumpe oder Ladepumpe
      - 7.2.1 Beispiel: Ermittlung der Sekundärpumpe oder Ladepumpe(n)
  - 7.3 Der Pufferspeicher
  - 7.4 Die Warmwasserbereitung
    - 7.4.1 Warmwasserbereitung über Durchlauferhitzer
    - 7.4.2 Warmwasserbereitung mittels Elektroheizstab in einem separaten Warmwasserspeicher
    - 7.4.3 Warmwasserbereitung mit der Wärmepumpe über einen Warmwasserspeicher
    - 7.4.4 Warmwasserbereitung mit einer Wärmepumpe und einer zusätzlichen Solaranlage
    - 7.4.5 Hygienische Warmwasserbereitung im Durchlaufprinzip
  - 7.5 Dimensionierung der Warmwasserleitung
  - 7.6 Elektrotechnik und Wärmepumpen
    - 7.6.1 Elektrische Einspeisung
    - 7.6.2 Steuerspannungen
    - 7.6.3 Wächter und Sensoren
- 8. Leitfaden zur Projektierung einer Wärmepumpenanlage
- 9. Darstellung verschiedener Wärmepumpenanlagen
  - 9.1 Eine einfache Wasser-Wasser-Wärmepumpenanlage
  - 9.2 Eine Sole-Wasser-Wärmepumpenanlage mit freier Kühlung
  - 9.3 Eine Sole-Wasser-Wärmepumpenanlage mit freier Kühlung, Solaranbindung und Kachelofen
  - 9.4 Wärmepumpengerätetypen
    - 9.4.1 Einzelwärmepumpengeräte
    - 9.4.2 Kompaktanlagen
- 10. Wirtschaftliche Betrachtungen
  - 10.1 Lohnt sich eine Wärmepumpe?
  - 10.2 Einsparmöglichkeiten für Kommunen und Länder
  - 10.3 Betrachtungen zu Amortisationen verschiedener Heizungsanlagen
  - 10.4 Billig oder Gut? – Ich bin zu arm um billig zu kaufen!
- 11. Gesetze und Einrichtungen zum Schutz der Umwelt und Personen
  - 11.1 Normen und Richtlinien
  - 11.2 Schutz des Erdreiches sowie des Grund- und Oberflächenwassers
- 12. Inbetriebnahme von Wärmepumpenanlagen
  - 12.1 Inbetriebnahme einer Wasser-Wasser-Wärmepumpenanlage
  - 12.2 Inbetriebnahme einer Sole-Wasser-Wärmepumpenanlage
  - 12.3 Inbetriebnahme einer Luft-Wasser-Wärmepumpenanlage
  - 12.4 Trockenheizen und Aufheizen
- 13. Häufige Fehler bei Wärmepumpen
  - 13.1 Fehler beim Brunnenbau
  - 13.2 Fehler bei Erdsonden / Erdkollektoren
  - 13.3 Fehler bei der Hydraulik
  - 13.4 Fehler in der Installation
  - 13.5 Fehlermeldungen und deren mögliche Ursachen
  - 13.6 Fehler beim Betrieb
- 14. Schlussbetrachtungen und Aussichten
- 15. Übungsaufgaben
  - 15.1 Projektierung einer Wasser-Wasser-Wärmepumpe mit Solaranlage
  - 15.2 Projektierung einer Sole-Wasser-Wärmepumpe mit Erdsonden
  - 15.3 Projektierung einer größeren Wärmepumpenanlage

- 15.4 Berechnung verschiedener Energie-Aufwandszahlen
- 15.5 Berechnung des Bivalenzpunktes einer Luft-Wasser-Wärmepumpe
- 15.6 Berechnung verschiedener Energieaufwandszahlen
- 15.6.1 Berechnung der Energie-Aufwandszahl eines EFH mit einer Wasser-Wasser-Wärmepumpe für die Beheizung des Gebäudes, einschl. Warmwasserbereitung
- 15.6.2 Berechnung der Energie-Aufwandszahl eines EFH mit einer Sole-Wasser-Wärmepumpe für die Beheizung des Gebäudes mit el. Warmwasserbereitung mittels Elektroheizstab
  
- 16. Fragen . . .
  
- 17. Beispiele Wärmepumpenanlagen
- 17.1 Ein besonderes Beispiel kommunaler Weitsicht in Dorsten-Wulfen
  
- 18. Lösungen zu den Übungsaufgaben
- 18.1 Projektierung einer Wasser-Wasser-Wärmepumpe mit Solaranlage
- 18.2 Projektierung einer Sole-Wasser-Wärmepumpe mit Erdsonden
- 18.3 Projektierung einer Sole-Wasser-Wärmepumpe mit Erdkollektoren
- 18.4 Projektierung einer größeren Wärmepumpenanlage
- 18.5 Berechnung verschiedener Energie-Aufwandszahlen
- 18.5.1 Berechnung der Energie-Aufwandszahl  $e_p$  eines EFH mit einer Wasser-Wasser-Wärmepumpe für die Beheizung des Gebäudes, einschl. Warmwasserbereitung
- 18.5.2 Berechnung der Energie-Aufwandszahl  $e_p$  eines EFH mit einer Sole-Wasser-Wärmepumpe für die Beheizung des Gebäudes mit el. Warmwasserbereitung mittels Elektroheizstab
- 18.6 Berechnung verschiedener Energieaufwandszahlen
- 18.6.1 Berechnung der Energie-Aufwandszahl eines EFH mit einer Wasser-Wasser-Wärmepumpe für die Beheizung des Gebäudes, einschl. Warmwasserbereitung
- 18.6.2 Berechnung der Energie-Aufwandszahl eines EFH mit einer Sole-Wasser-Wärmepumpe für die Beheizung des Gebäudes mit el. Warmwasserbereitung mittels Elektroheizstab
  
- 19. . . . und Antworten
  
- 20. Stichwortverzeichnis
  
- 21. Bildquellenverzeichnis
  
- 22. Tabellenquellenverzeichnis
  
- 23. Literaturverzeichnis
  
- 24. Adressen
  
- Inserentenverzeichnis

## 1. Einleitung

Der Inhalt dieses Buches beschäftigt sich sehr ausführlich mit allen Themen rund um die Wärmepumpe. Es wurde unter den neusten Aspekten verfasst.

Zunächst finden Sie in diesem Buch einige Betrachtungen zur Ökologie und Ökonomie.

Dieses Buch informiert Sie auch recht anschaulich über die Funktion einer Wärmepumpe und deren Komponenten, einschließlich der Eigenschaften verschiedener Kältemittel. Weiterhin werden die verschiedenen Wärmepumpenanlagenarten, einschließlich deren Vor- und Nachteile dargestellt. Ein weiterer wichtiger Punkt ist die Betrachtung der Leistung, Leistungszahl sowie die Jahresarbeitszahl und die Energieaufwandszahl. Damit beabsichtigt der Autor, das Verständnis für Unterschiede zu herkömmlichen Heizungsanlagen zu vertiefen. Ergänzend werden auch einige hydraulische Darstellungen verschiedener Wärmepumpenanlagen gezeigt.

Ein weiterer, neuer Aspekt ist auch der Umwelt- und Grundwasserschutz beim Betrieb von Wärmepumpenanlagen. Hier werden verschiedene Lösungen diskutiert.

Von besonderer Bedeutung sind auch die Auslegung, Projektierung und Hydraulik einer Wärmepumpenanlage. Weil hier in der Praxis häufig Fehler unterlaufen, werden diese Themen recht ausführlich behandelt. Vertiefend werden Projektierungs- und Berechnungsbeispiele gezeigt.

Weiterhin finden Sie hilfreiche Hinweise und Erläuterungen zur Inbetriebnahme einer Wärmepumpenanlage.

Im Kapitel 10. wird diskutiert, ob sich eine Wärmepumpe lohnt oder nicht.

Zahlreiche Bilder und Beispiele aus der Praxis veranschaulichen die vielfältigen Themen rund um die Wärmepumpe.