

# Kurztest-Methode für Wärmepumpenanlagen

Autor(en): **Zogg, Martin**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizer Ingenieur und Architekt**

Band (Jahr): **117 (1999)**

Heft 22

PDF erstellt am: **06.07.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-79744>

## **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

## **Haftungsausschluss**

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Martin Zogg, Oberburg

## Kurztest-Methode für Wärmepumpenanlagen

**Im Forschungsvorhaben des Bundesamtes für Energie «Kurztest-Methode für Wärmepumpen» wird in Zusammenarbeit von Hochschule und Industrie versucht, von den Ergebnissen der modernen Systemanalyse zur Reduktion des Messaufwands mit Hilfe eines hinreichend genauen mathematischen Modells und der Ermittlung seiner Parameter zu profitieren.**

Heizungsanlagen mit Wärmepumpen nutzen ihr grosses Energiesparpotential nur bei optimalem Betrieb des Gesamtsystems aus Wärmepumpe, Wärmeverteilung, Wärmeabgabe und Gebäude. Zwischen der Abnahme nach der Inbetriebsetzung mit Ersteinstellungen aufgrund von Planungsdaten und der Schlussprüfung vor Ablauf der Garantiezeit ist der Betrieb der Wärmepumpenanlage zu optimieren. Besonderes Gewicht ist dabei aus Gründen der energetischen Effizienz und einer langen Lebensdauer der Wärmepumpe auf den Betrieb mit minimaler Vorlaufzeit und maximaler unterbrechungsfreier Laufzeit der Wärmepumpe zu legen. In der wichtigen Phase der Betriebsoptimierung ist vor verbessernden Eingriffen die effektive Betriebsweise des Wärmepumpenheizungssystems zu erfassen. Dies ist mit konventionellen Methoden recht aufwendig. Die Betriebsoptimierung kommt deshalb insbesondere bei Kleinanlagen oft zu kurz. Das Bundesamt für Energie hat deshalb einen Auftrag zur Entwicklung einer

neuen Methode erteilt, welche folgendes leistet:

- Ermittlung der Abweichung der tatsächlichen Anlageparameter gegenüber den Planungsdaten
- Auffinden der häufigsten Fehlerquellen (Fehlerdetektion)
- Auswirkungen allfälliger Fehler der Anlage auf das Jahresergebnis
- Betriebsoptimierung
- Betriebsüberwachung während der Lebensdauer der Wärmepumpenanlage

Dabei sollen die wichtigsten Anlagekenngrößen aus möglichst wenigen, kostengünstigen Betriebsmessungen an installierten Anlagen in möglichst kurzer Zeit (maximal ein Monat während der Heizperiode) gewonnen werden. Die neue Methode soll aber auch als Basis für das Fernziel einer neuen, modellbasierten Regelungsstrategie für Wärmepumpen dienen. Diese soll bei möglichst speicherfreiem Betrieb zu höheren Jahresarbeitszahlen der gesamten Wärmepumpenheizung und bestmöglicher Nutzung von Niedertarifzeiten führen. Die Ergebnisse der bisherigen Phasen 1 bis 3 an diesem anspruchsvollen Projekt wurden in den folgenden Teilschritten erarbeitet:

### Physikalische Modellierung

Das Gesamtsystem Wärmepumpe-Wärmeverteilungssystem-Wärmeabgabe-Gebäude wurde physikalisch modelliert (Bild 1). Um den messtechnischen und rechnerischen Aufwand möglichst gering zu hal-

ten, erfolgte dies so einfach wie möglich – aber doch so, dass das wesentliche dynamische Verhalten der einzelnen Teilsysteme noch richtig wiedergegeben wird. So wird das Gebäude mit einem einfachen Einzonenmodell modelliert – für die Wärmepumpe ist dagegen eine wesentlich feinere physikalische Modellierung nötig (Bild 2).

Das Modell für den Wärmeverbraucher (Wärmeabgabe und Gebäude) enthält 6 physikalische Parameter. Das Wärmepumpenmodell deren 11. Der Speicherspeicher im Wärmeverteilungssystem wird zur Erfassung der thermischen Schichtung aus 6 Zonen mit homogenen Temperaturen modelliert.

### Parameteridentifikation

Die Parameter der Modelle aller Teilsysteme werden durch Messungen im normalen Betrieb der Wärmepumpenanlage und anschliessender rechnerischer Auswertung bestimmt (Parameteridentifikation). Geeignete Identifikationsverfahren wurden zunächst anhand von Computersimulationen und dann mit den an einer realen Referenzanlage aufgezeichneten Messwerten ausgewählt und erprobt.

Es ist bereits gelungen, die tatsächliche Energiekennlinie (Tagesheizleistungskennlinie) aus den folgenden Messgrößen zu errechnen: Ein- und Austrittstemperatur der Wärmepumpe, Vor- und Rücklauftemperatur der Heizung, Aussentemperatur, Raumtemperatur und Druckverlust über der Umwälzpumpe. Als Messdauer reicht bei Witterung mit genügendem Wärmepumpenbetrieb eine Woche. Wie man aus dem Bild 3 erkennt, liegt die tatsächliche Energiekennlinie wesentlich unter der bei der Planung erhaltenen Linie. Dies bedeutet, dass eine nach Planung eingestellte Wärmepumpe mit zu hohen Kondensatortemperaturen arbeiten würde. Sie würde damit eine geringere Leistungszahl erreichen als bei der Regelung über die tatsächliche Energiekennlinie.

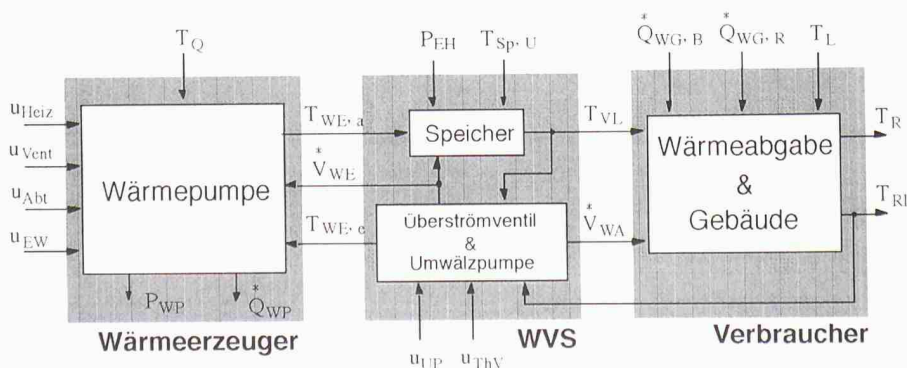
Auch für das Teilsystem Wärmepumpe ist es für ein vereinfachtes stationäres Modell bereits gelungen, die wesentlichen Parameter zu identifizieren. Die Arbeiten werden in der kommenden Phase 4 zur Erfassung dynamischer Grössen auf den instationären Betrieb der Wärmepumpe erweitert. Die Grundlagen der entsprechenden Modelle sind im Schlussbericht ausführlich dargestellt.

### Referenzanlage

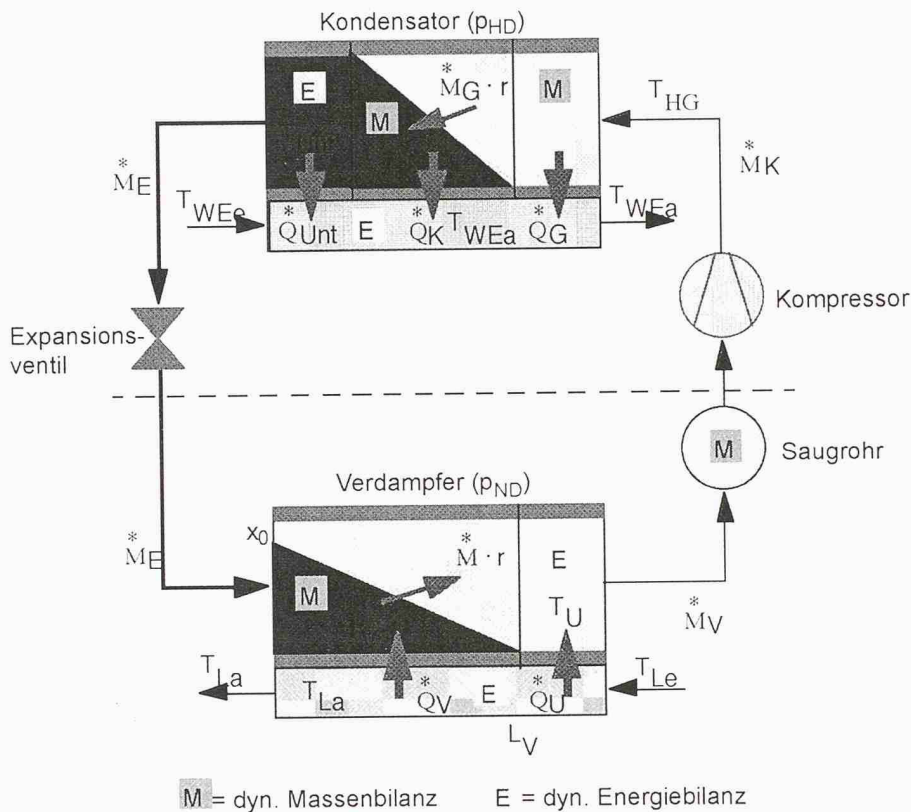
Zur praktischen Erprobung und zur Validierung der Modellierung und der Parameteridentifikation wurden in der Heiz-

1

Signalflussbild des Gesamtsystems (aus [SB])







2  
Zur Modellierung der Wärmepumpe (aus [SB])

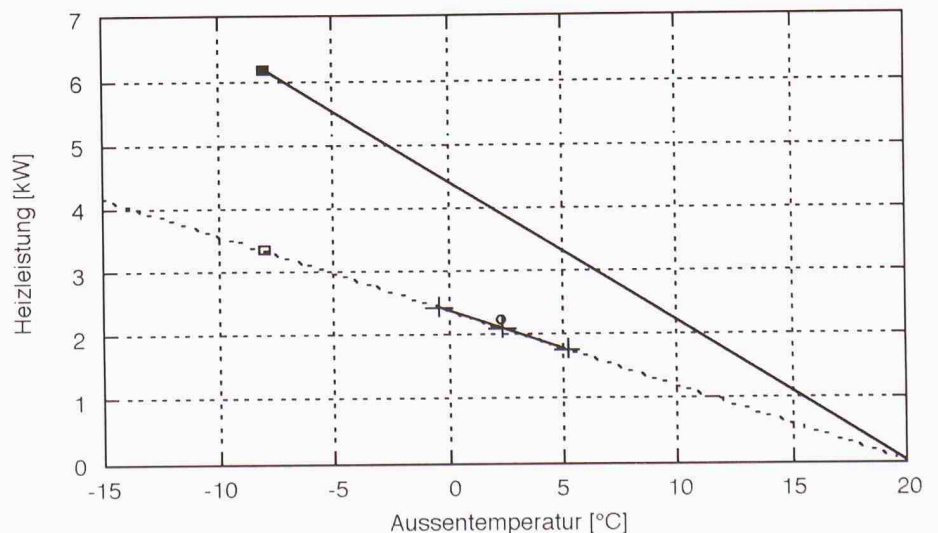
saison 97/98 an einem häufig vorkommenden Wärmepumpenheizsystem in einem EFH in Massivbauweise im Kanton Schaffhausen Messungen in Zeitabständen von 10 Sekunden bis zu 5 Minuten durchgeführt. Dieses Referenzhaus weist eine Energiekennzahl von 234 MJ/m<sup>2</sup>a auf. Die Wärmepumpe benützt Umgebungsluft als Wärmequelle. Die Anlage ist mit einem in Serie geschalteten Speicher im Vorlauf mit einer elektrischen Notheizung ausgerüstet. Das Wärmeabgabesystem besteht aus einer Bodenheizung mit einigen zusätzlichen Radiatoren, Raumthermostaten und einem Überströmventil zur Aufrechterhaltung eines minimalen Durchflusses im Kondensator der Wärmepumpe. Die Wärmepumpe wird über einen aussentemperaturgeführten Zweipunkt-Rücklauf temperaturregler mit Zeitprogrammsteuerung betrieben (Bild 4).

**Simulation**

Durch Computersimulationen mit Matlab/Simulink wurden die bisher entwickelten Methoden validiert. Die Computersimulation umfasst neben der Wärmepumpe auch das Wärmeverteilungssystem mit Speicherbewirtschaftung, Umwälzpumpe und dem Bypass über das Überströmventil sowie die Fussbodenheizung und das Gebäude. Sie ermöglicht die Be-

rechnung von Jahresergebnissen der Wärmepumpenheizanlage mit den aus den Messungen während einer Woche gewonnenen Identifikationsergebnissen. Diese Hochrechnung auf Jahresergebnisse er-

3  
Oben: Energiekennlinie (Tagesheizungskennlinie) gemäss der Planung. Unten: durch Parameteridentifikation im realen Wärmepumpenbetrieb ermittelte tatsächliche Energiekennlinie. Beispiel für die Referenzanlage in Woche 48 des Jahres 1997 (aus [SB])



laubt es, die Auswirkungen ermittelter Fehler zu beurteilen und die richtigen Optimierungsmassnahmen auszulösen.

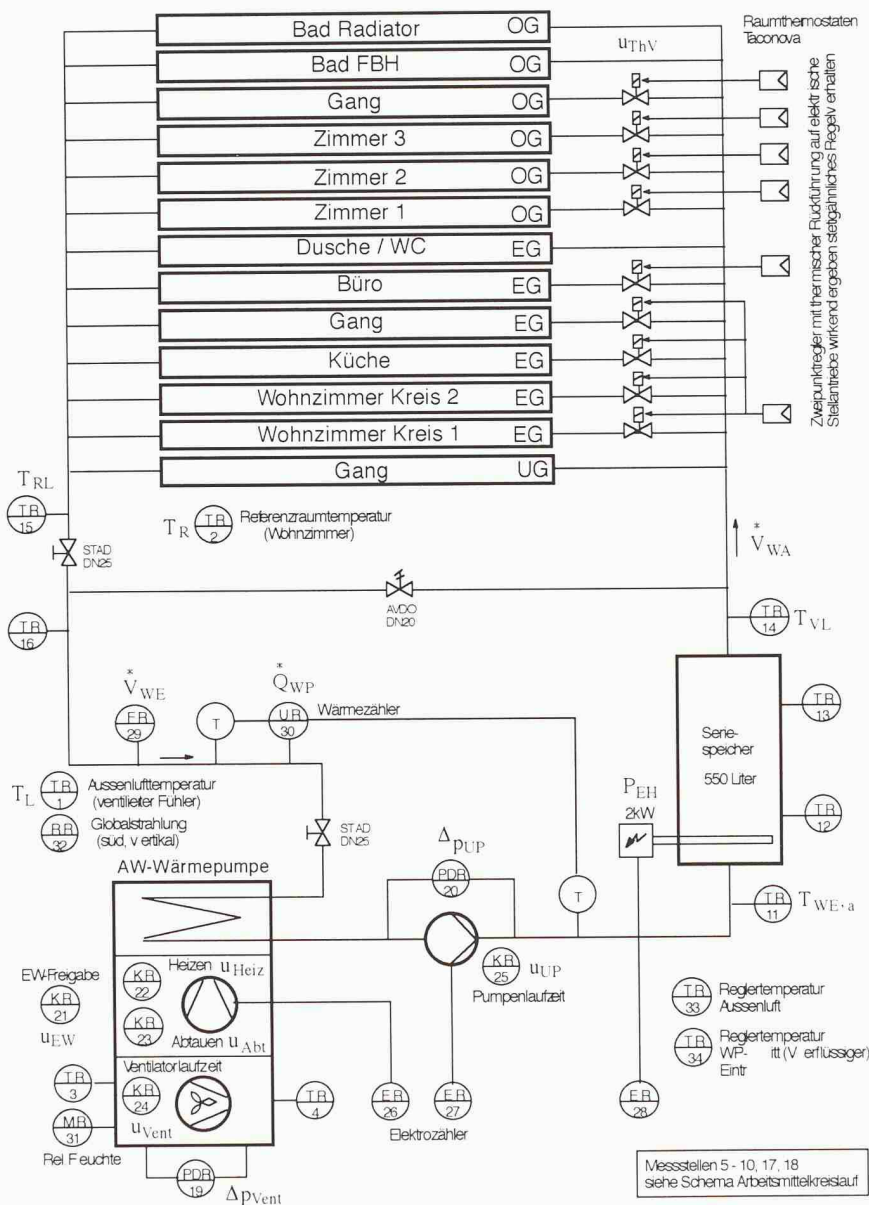
**Fehlerdiagnose**

Die Fehlerdiagnose einer ausgeführten Anlage erfolgt zunächst für die ganze Wärmepumpenanlage mit groben Modellen. Bei gravierenden Abweichungen von den Sollwerten wird die Diagnose mit einem verfeinerten Modell für die Wärmepumpe vertieft. Der Schlussbericht enthält zahlreiche Fehlerbäume zur systematischen Fehlersuche.

**Ausblick**

Die detaillierte Diagnose der Wärmepumpe wird in der Phase 4 des Projekts angegangen. In der Phase 5 soll die Identifikation des Gesamtsystems durch Messungen an weiteren realen Anlagen erprobt und erweitert werden. Dabei sollen auch die Aspekte der Integration in die Wärmepumpensteuerung als «Einbauset» und einer einfachen temporären Ankoppelung eines externen Rechners als «Diagnoset» bearbeitet werden.

Das Projekt liefert aber auch die Grundlagen für eine bessere Regelung der Wärmepumpe. Diese wird im Rahmen des laufenden BFE-Vorhabens «Pulsbreitenmodulation für Kleinwärmepumpenanlagen» bereits angegangen. Dass gegenüber der heutigen aussentemperaturgeführten Rücklauf temperaturregelung mit fester Energiekennlinie ein erhebliches Verbesserungspotential besteht, erkennt man bereits aus der im Bild 3 gezeigten Abwei-



chung der tatsächlichen Energiekennlinie von der Planungsenergiekennlinie. Wie schon erläutert, führt diese zu unnötig hohen Kondensationstemperaturen der Wärmepumpe und damit zu einer geringeren Jahresarbeitszahl. Da in der Energiekennlinie auch der Einfluss der Solarstrahlung und die innere Wärmeproduktion durch Bewohner und elektrische Geräte enthalten ist, ergaben sich durch die Auswertung mehrerer Messungen in der Heizsaison 97/98 recht unterschiedliche Verläufe der Heizkurve (Bild 5). Dies bedeutet, dass die tatsächliche Energiekennlinie für eine optimale Betriebsweise der Wärmepumpe laufend erfasst werden sollte. Noch besser wäre es, diese aufgrund der Situation während einiger vergangener Stunden auf die kommende Betriebsstunde vorauszusagen. Auf dem anspruchsvollen Weg in dieser Richtung sind die durchgeführten Arbeiten ein wichtiger Meilenstein.

Adresse des Verfassers:  
 Martin Zogg, Dr. sc. techn. Verfahrens- und Energietechnik, Forschungsprogrammleiter BFE, Kirchstrutz 3, 3414 Oberburg

**Bezugsquelle**  
 Kurztestmethode für Wärmepumpenanlagen, Phasen 1-3: Messungen, Modellierung, und Erprobung der Parameteridentifikation, Schlussbericht, Bundesamt für Energie, 1998: H.U. Bruderer, H.R. Gabathuler, H. Mayer, G. Reiner, E. Shafai, R. Wimmer, M. Zogg  
 Der ausführliche Schlussbericht kann unter der ENET-Nummer 9657407 bezogen werden bei: ENET, Administration und Versand, Postfach 130, 30000 Bern 16, Tel.: 031 350 00 05, Fax: 031 352 77 56 oder www.n+1@email.ch.

4 Fließbild der Wärmepumpenheizung des Referenzgebäudes mit eingezeichneten Messstellen (aus [SB])

5 In der Heizsaison 97/98 bei Aussentemperaturen unter 5°C ermittelte Heizkurven aus der Auswertung der Messungen mehrerer Wochen (aus [SB])

