Zeitschrift: Schweizer Ingenieur und Architekt
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 117 (1999)
Heft: 22

Artikel: Kurztest-Methode für Wärmepumpenanlagen
Autor: Zogg, Martin
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-79744

Nutzungsbedingungen
Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation
L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use
The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 16.07.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

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 Vorlauftemperatur 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 Wärmepumpenheizanlage 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-Wärmeverteilsystem-Wärmeabgabe-Gebäude wurde physikalisch modelliert (Bild 1). Um den messtechnischen und rechnerischen Aufwand möglichst gering zu halten, 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 Seriespeicher im Wärmeverteilsystem 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.

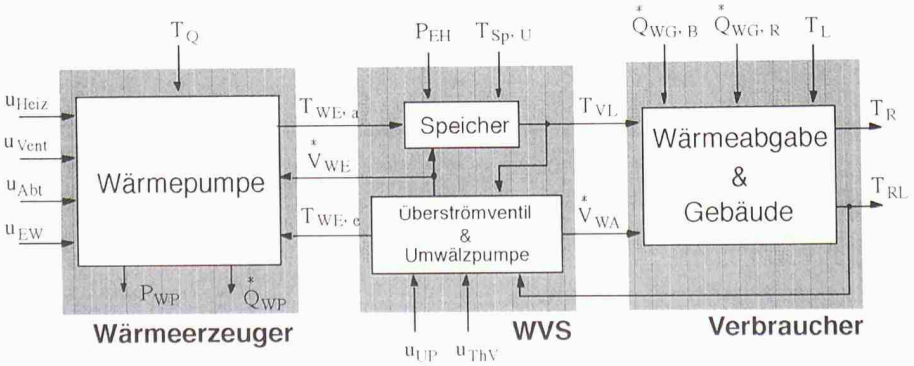
Es ist bereits gelungen, die tatsächliche Energiekennlinie (Tagesheizleistungskennlinie) aus den folgenden Messgrössen zu errechnen: Ein- und Austrittstemperatur der Wärmepumpe, Vor- und Rücklauftemperatur der Heizung, Aussentemperatur, Raumtemperatur und Druckverlust über der Umwälzpumpe. Als Messdauer 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.

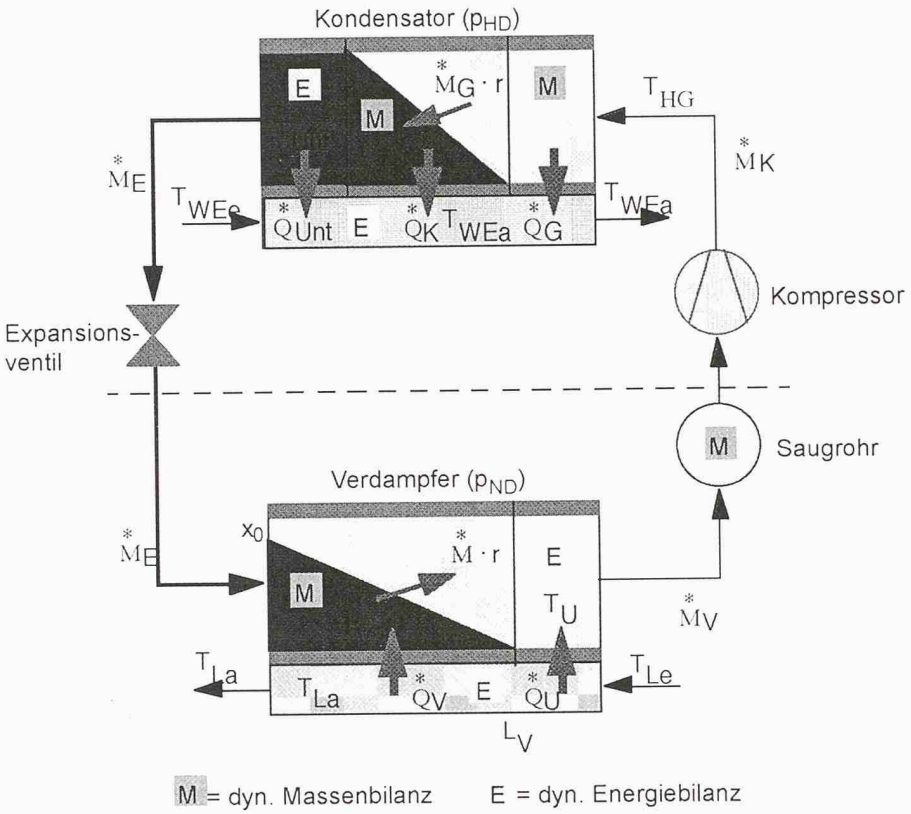
Auch für das Teilsystem Wärmepumpe ist es für ein vereinfachtes stationäres Modell bereits gelungen, die wesentlichen Parameter zu identifizieren. Die Arbeiten werden in der kommenden Phase 4 zur Erfassung dynamischer Grössen auf den instationären Betrieb der Wärmepumpe erweitert. Die Grundlagen der 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/m²a 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-Rücklauftemperaturregler mit Zeitprogrammsteuerung betrieben (Bild 4).

Simulation

Durch Computersimulationen mit Matlab/Simulink wurden die bisher entwickelten Methoden validiert. Die Computersimulation umfasst nebst der Wärmepumpe auch das Wärmeverteilsystem mit Speicherbewirtschaftung, Umwälzpumpe und dem Bypass über das Überströmventil sowie die Fussbodenheizung und das Gebäude. Sie ermöglicht die Berechnung von Jahresergebnissen der Wärmepumpenheizanlage mit den aus den Messungen während einer Woche gewonnenen Identifikationsergebnissen. Diese Hochrechnung auf Jahresergebnisse erlaubt es, die Auswirkungen ermittelter Fehler zu beurteilen und die richtigen Optimierungsmassnahmen auszulösen.

Fehlerdiagnose

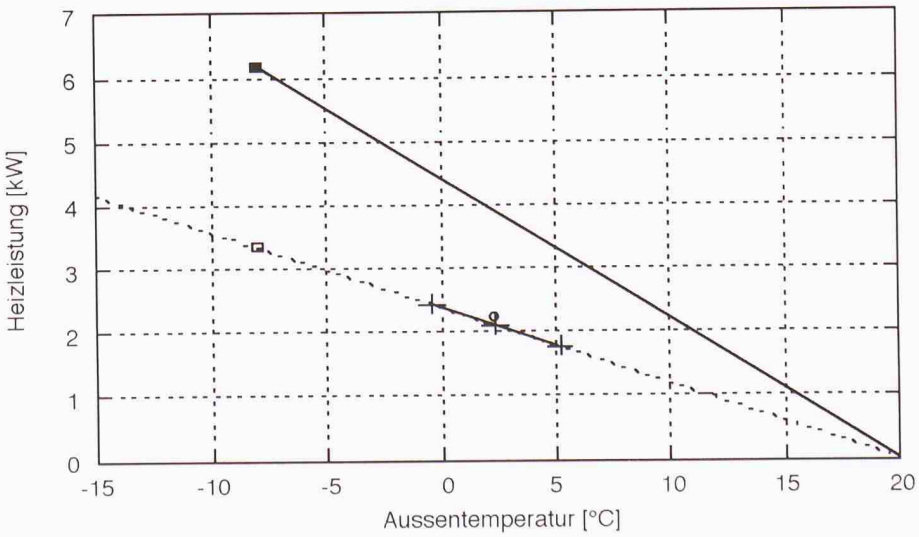
Die Fehlerdiagnose einer ausgeführten Anlage erfolgt zunächst für die ganze Wärmepumpenanlage mit groben Modellen. Bei gravierenden Abweichungen von den Sollwerten wird die Diagnose mit einem verfeinerten Modell für die Wärmepumpe vertieft. Der Schlussbericht enthält zahlreiche Fehlerbäume zur systematischen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

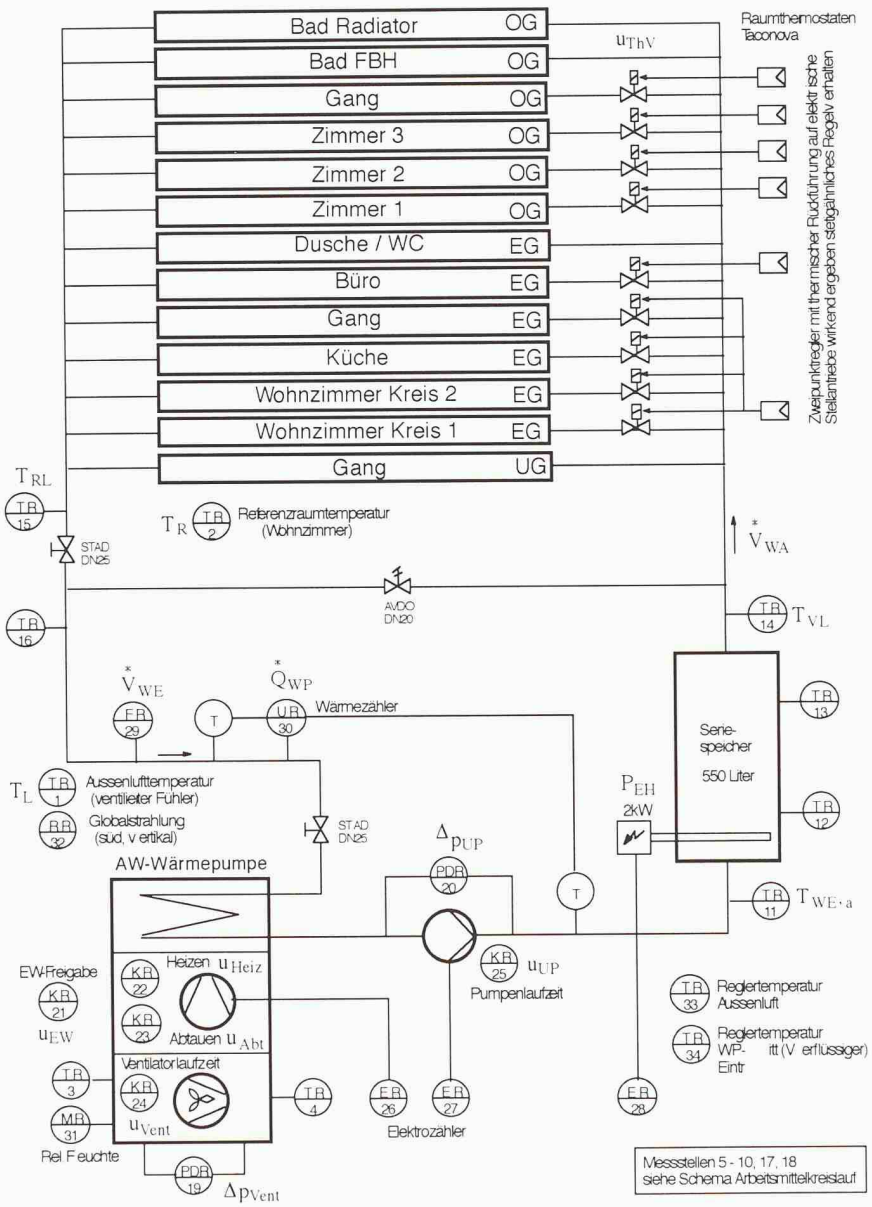
Ausblick

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 «Diagnoseset» 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 Rücklauftemperaturregelung mit fester Energiekennlinie ein erhebliches Verbesserungspotential besteht, erkennt man bereits aus der im Bild 3 gezeigten Abwei-

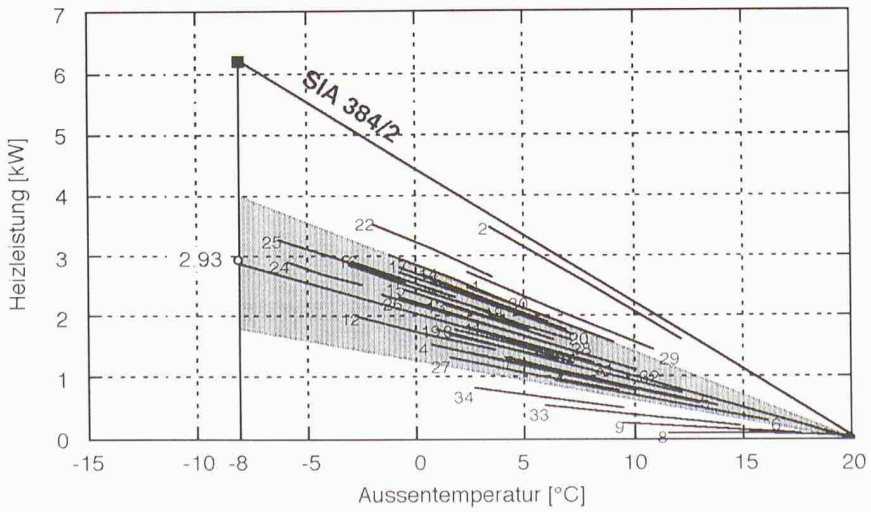
3
Oben: Energiekennlinie (Tagesheizungskennlinie) gemäss der Planung. Unten: durch Parameteridentifikation im realen Wärmepumpenbetrieb ermittelte tatsächliche Energiekennlinie. Beispiel für die Referenzanlage in Woche 48 des Jahres 1997 (aus [SB])





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])



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, Kirchstutz 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.