Kurztestmethode für Wärmepumpenanlagen

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

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins, des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen = Bulletin de l'Association Suisse des Electriciens, de l'Association des Entreprises électriques suisses**

Band (Jahr): **91 (2000)**

Heft 10

PDF erstellt am: **29.05.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-855553

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.

Ein Dienst der *ETH-Bibliothek*
ETH Zürich, Rämistrasse 101, 8092 Zürich, Schweiz, www.library.ethz.ch

http://www.e-periodica.ch

Kurztestmethode für Wärmepumpenanlagen

Parameteridentifikation und Fehlerdiagnose für das Teilsystem Wärmepumpe

Im Rahmen der Betriebsüberwachung einschliesslich der Inbetriebnahme, der Abnahme und der Betriebsoptimierung von Heizungsanlagen mit Wärmepumpen ist das Erfassen des richtigen Funktionierens der Wärmepumpe ein zentrales Anliegen. In der Phase 4 des BFE-Projekts Kurztestmethode für Wärmepumpenanlagen wurden deshalb Methoden zum Erkennen allfälliger Fehlfunktionen der Wärmepumpe erarbeitet. Diese beruhen auf detaillierten physikalischen Modellen oder einfachen mathematischen Modellansätzen. Die damit aus Messungen gefundenen Parameter werden mit jenen einwandfrei arbeitender Maschinen verglichen. Aus allfälligen Abweichungen werden die entsprechenden Fehlfunktionen über eine Fuzzy-Logik angezeigt. Das neue Betriebsüberwachungssystem wird deshalb als «FuzzyWatch» bezeichnet (Bild 1).

Physikalisches Modell

Die **detaillierte (nichtlineare) physikalische Modellierung** einer einstufigen Wärmepumpe mit Sauggasüberhitzer führte auf ein komplexes Differenzialgleichungssystem. Dieses konnte durch geschickte Zusammenfassungen von Grössen für den stationären und den instationären Betrieb wesentlich vereinfacht werden. Für den stationären Betrieb erhält man damit ein algebraisches Gleichungssystem zur laufenden Bestimmung der relevanten 13 physikalischen Grössen einer Wärmepumpe im Betrieb aus 10 Messgrössen. Es sind dies der Wärmedurchgangskoeffizient im Verdampfer (k_V), im Kondensator (k_Kg für die Heissgasabkühlung, k_KK für die Kondensation) und im Sauggasüberhitzer (k_ZV für die Restverdampfung, k_ZU für die Überhitzung), der Wassermassenstrom auf der Wärmeabgabeseite (M*_W), der Luftmassenstrom auf der Wärmequellenseite (M*_L), der Arbeitsmittelmassenstrom durch den Kompressor (M*_Kmp), der Arbeitsmittelstrom durch das Expansionsventil (M*_E), ein Wert aus dem Polytropenexponenten (n_exp) und den Liefergrad (lambda) des Verdichters, die Überhitzung nach der Verdampfung (deltaT_Ü) und die Ventilöffnung (s_V). Bild 2 zeigt die erreichten Identifikationsgenauigkeiten für die einzelnen Grössen anhand der Auswertung einer Messreihe an einer Wärmepumpenanlage in einem Einfamilienhaus.

In einem technischen Überwachungssystem eingesetzt, bedingt diese Methode zunächst eine Interpretation der 13 Parameter durch den Inbetriebsetzer oder den Servicemonteur. Eine erste Realisierung erfolgt in einem Gerät zur Überwachung von Wärmepumpen und Kälteanlagen. Später soll die Implementierung in eine Wärmepumpensteuerung erfolgen.

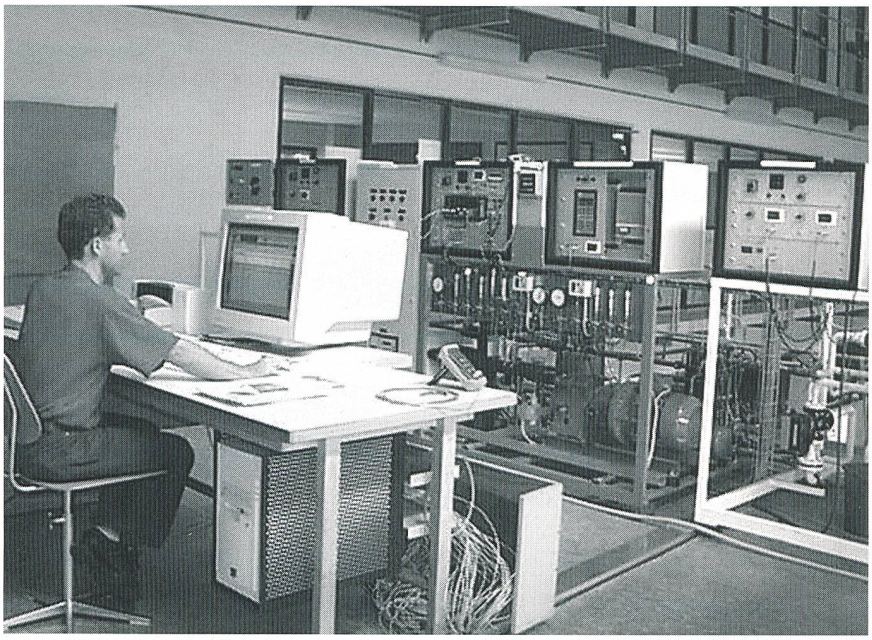

Bild 1 Versuchswärmepumpe an der Zürcher Hochschule Winterthur zur Erprobung von FuzzyWatch (Bild aus Schlussbericht).

Forschungsprojekt im Forschungsprogramm «Umgebungs- und Abwärme, Wärme-Kraft-Kopplung (UAW)» des Bundesamts für Energie (BFE).

Adresse des Autors
Prof. Dr. *Martin Zogg*
BFE-Forschungsprogrammleiter UAW
Kirchstutz 3
3414 Oberburg

martin.zogg@bluewin.ch
www.waermepumpe.ch/fe

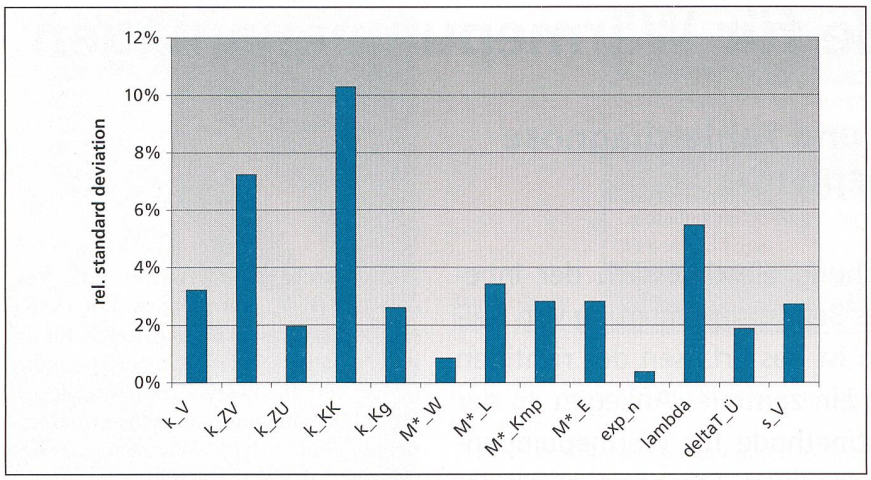

Bild 2 Relative Standardabweichungen der laufenden Parameterbestimmung mit dem detaillierten physikalischen Modell aus Messungen während 24 Stunden an einer Einfamilienhaus-Wärmepumpenanlage. Bedeutung der Symbole im Text (Bild aus Schlussbericht).

Für die Nutzung der Informationen beim instationären Betrieb einer Wärmepumpe (Abtauen, Stillstand nach dem Ausschalten, Wiederanfahren) erwies sich das detaillierte physikalische Modell als zu komplex. Es wurde deshalb eine **vereinfachte physikalische Modellierung** durchgeführt. Diese erlaubt mit modernen mathematischen Methoden die iterationsfreie Identifikation der Modellparameter auch bei instationärem Betrieb.

Grey-Box-Modell

Einfache mathematische Modellansätze («Black-Box-Modelle») mit möglichst einfachen Zusammenhängen zwischen den Eingangs- und Ausgangssignalen führen zu einem minimalen Identifikationsaufwand. Die damit ermittelten Parameter haben aber keine physikalische Bedeutung mehr. Deshalb wurde in einem weiteren Schritt nach einem Kompromiss («Grey Box») zwischen physikalischer Modellbildung («White Box») mit physikalischer Bedeutung der identifizierten Parameter und einfachen mathematischen Ansätzen (leichte Identifizierbarkeit der Parameter) gesucht. Es wurde ein bezüglich Sensorkonfiguration sehr flexibles **Grey-Box-Modell mit paralleler Struktur** für die einzelnen Ein- und Ausgangssignale gefunden und mit Messungen an einer Laborwärmepumpe erprobt. Für die einzelnen ungefilterten Messsignale werden die Modellparameter mit je vier mathematischen Ansätzen identifiziert und mit den gemessenen Signalen verglichen. Die Ansätze mit der besten Übereinstimmung zwischen Messung und Rechnung werden gewählt. Dieses als Betriebsmodelltraining bezeichnete Prozedere wurde vollständig automatisiert. Das Grey-Box-Modell wird dadurch für unterschiedliche Wärmepumpentypen, Kälteanlagen und andere thermische Anlagen universell einsetzbar. Ein grosser Vorteil dieses Modells ist auch, dass zur Betriebsüberwachung und Fehlererkennung wesentlich weniger Sensoren als beim physikalischen Modell benötigt werden und dass die einzelnen Messsignale ungefiltert verwendet werden können.

Die Überwachung einer Anlage erfolgt mit diesem Modell in zwei Schritten (Bild 3). Durch Messungen im Labor oder bei der Inbetriebsetzung einer Anlage wird ein Betriebsmodell vollautomatisch trainiert. Im anschliessenden Betrieb der Anlage werden die Messwerte mit dem trainierten Betriebsmodell ausgewertet. Bei signifikanten Parameterabweichungen liegt ein Anlagenfehler vor. Alternativ zum experimentellen Betriebsmodelltraining kann dieses mit geringerem Aufwand auch durch eine validierte Computersimulation der Wärmepumpe erfolgen.

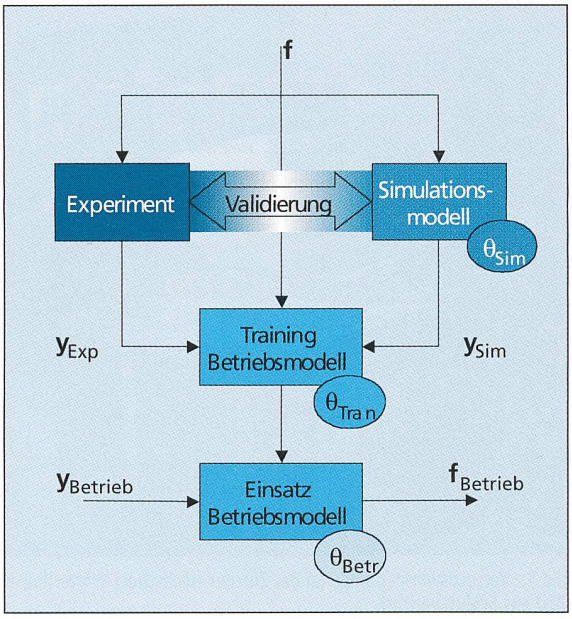

Bild 3 Vorgehen zur Überwachung einer Anlage mit dem Grey-Box-Modell (Bild aus Schlussbericht).

Fehlerklassifizierung – FuzzyWatch

Die Zuordnung zwischen Parameterabweichungen vom Normalbetrieb zu bestimmten Fehlern an der Anlage – die so genannte Fehlerklassifizierung – erfolgt nach dem Prinzip der Fuzzy-Logik (Bild 4). Das Expertenwissen wird im Überwachungssystem in der Form von Fuzzy-Regeln gespeichert. Diese Regeln können zum Beispiel anhand eines Fehlerbaums manuell eingegeben werden. Dies käme insbesondere bei Verwendung des eingangs beschriebenen detaillierten physikalischen Modells in Frage.

Die Anlagenüberwachung im Betrieb soll aber mit möglichst wenigen Temperatur- und nötigenfalls Drucksensoren auskommen. Hierzu ist das Grey-Box-Modell mit paralleler Struktur besonders geeignet. Das Überwachungssystem kann dabei die Fuzzy-Regeln in der Trainingsphase selbst lernen. Diese können bei Bedarf manuell ergänzt werden. Es besteht auch eine Erweiterungsmöglichkeit durch die Darstellung des Fuzzy-Systems als neuronales Netz. Das Überwachungssystem würde damit auch während dem Betrieb einer Anlage lernfähig.

Experimentelle Untersuchungen

FuzzyWatch, die neue Betriebsüberwachung mit dem automatischen Betriebsmodelltraining nach dem Grey-Box-Modell mit paralleler Struktur und der automatischen Fuzzy-Regelbildung, wurde an einer Wärmepumpe in einem Laborprüfstand erprobt (Bild 1). Dabei konnten mit nur vier Temperatursensoren folgende durch manuelle Eingriffe in der Versuchsanlage erzeugten fünf Fehler zuverlässig erkannt werden: Kompressor arbeitet mangelhaft, Expansionsventil arbeitet mangelhaft, Störung im Kältemittelkreislauf (Änderung des Kältemittelinhalts, Verschmutzung) und veränderter Kältemittelkreislauf (Bypass im Kältemitteltank). Der Trainingszeitbedarf betrug pro Fehler etwa eine halbe Stunde.

Die experimentellen und theoretischen Untersuchungen werden zur zuverlässigen Erkennung weiterer Wärmepumpenstörungen mit minimalem messtechnischem Aufwand weiterverfolgt.

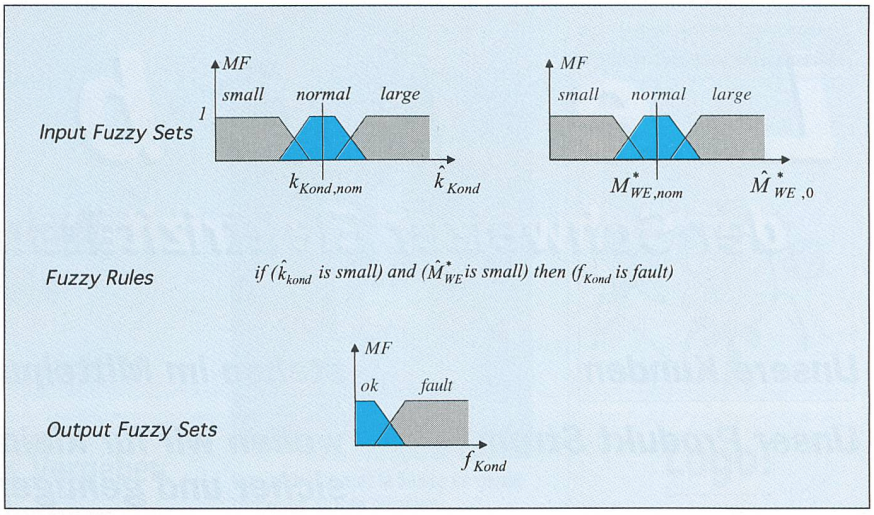

Bild 4 Fehlerklassifikation mit Fuzzy-Logik für das Beispiel einer Verschmutzung des Kondensators. Oben: Bereichsangaben (Input Fuzzy Set) für den Wärmedurchgangskoeffizienten (k_{Kond}) und den Wassermassenstrom durch den Kondensator (M^*_{WE}). Mitte: Fuzzy-Regel: Bei zu kleinem Wärmedurchgangskoeffizienten und zu kleinem Wassermassenstrom durch den Kondensator ist der Kondensator verschmutzt. Unten: Ausgabe des Fehlers; MF: Membership Function (Bild aus Schlussbericht).

Der ausführliche Schlussbericht zu diesem BFE-Forschungsprojekt

D. Zogg, E. Shafai: Kurztestmethode für Wärmepumpenanlagen, Phase 4: Parameteridentifikation und Fehlerdiagnose für das Teilsystem Wärmepumpe, Bundesamt für Energie 1999,

kann unter der ENET-Nummer 9817822 bezogen werden bei

ENET, Administration und Versand
Postfach 130, 3000 Bern 16
Telefon (*41) 31 350 00 05
n+1@email.ch
Telefax (*41) 31 352 77 56

Méthode du test rapide pour installations de pompes à chaleur

Identification de paramètres et diagnostic des erreurs pour les systèmes de pompe à chaleur

Le relevé du fonctionnement correct de la pompe à chaleur constitue un des objectifs centraux du contrôle de l'exploitation y compris mise en service, vérification et optimisation de l'exploitation d'installations de chauffage équipées de pompes à chaleur. La 4e phase du projet de l'OFEN cité ci-dessus a été consacrée à l'élaboration de méthodes visant à déceler d'éventuelles dysfonctions de pompes à chaleur. Ces méthodes se basent sur des modèles physiques détaillés ou de simples esquisses de modèles mathématiques. Les paramètres tirés des mesures sont comparés à ceux de machines fonctionnant sans problèmes. Les dysfonctions dérivant d'éventuels écarts sont mises en évidences par l'intermédiaire d'une logique «fuzzy». C'est la raison pour laquelle le nouveau système de contrôle est nommé «fuzzywatch».

Leitbild

der Schweizer Elektrizitätsunternehmen

Unsere Kunden	**stehen im Mittelpunkt unseres Handelns.**
Unser Produkt Strom	**wollen wir für kleine und grosse Kunden sicher und genügend, kostengünstig und umweltgerecht beschaffen und verteilen.**
Unsere Mitarbeiter	**wollen im Dialog mit den Kunden deren Wünsche und Bedürfnisse ergründen und ernst nehmen.**
Unsere Dienstleistungen	**wollen wir auf die individuellen Bedürfnisse unserer Kunden ausrichten.**
Unsere Leistungsfähigkeit	**wollen wir täglich neu und flexibel unter Beweis stellen.**
Unsere Unternehmen	**wollen wichtige Aufgaben im Dialog miteinander lösen.**
Unsere Energiezukunft	**wollen wir im Dialog mit Kunden, Behörden und Politikern mitgestalten und so unseren Handlungsspielraum erweitern.**
Als Branche	**wollen wir unsere Anliegen in der Öffentlichkeit einmütig vertreten.**

Wir leisten damit einen Beitrag an die Schweiz von morgen

- **zur Sicherung des Wirtschaftsstandorts Schweiz**
- **zur Schonung der Umwelt**
- **zur Erhaltung der Lebensqualität der Bevölkerung**

SCHWEIZER ELEKTRIZITÄT
Der Draht mit Zukunft

4.5.-98d