

Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins, des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen = Bulletin de l'Association suisse des électriciens, de l'Association des entreprises électriques suisses

Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen

Band: 89 (1998)

Heft: 24

Artikel: Modellbasierte Fehlerdiagnose an Wärmepumpen

Autor: Zogg, David / Shafai, Esfandiar

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-902149>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. 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. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

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. [Voir Informations légales.](#)

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. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 16.03.2025

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

Das Projekt *Kurztestmethode für Wärmepumpenanlagen* ist Teil eines Forschungsprogrammes des *Bundesamtes für Energie (BFE)*. Im Rahmen dieses Projektes werden modellbasierte Methoden für die Fehlerdiagnose als Grundlage zur Betriebsoptimierung vollständiger Heizsysteme mit Wärmepumpen entwickelt. Hier wollen wir uns auf die Wärmepumpe selber konzentrieren und einige Verfahren mit Parameteridentifikation präsentieren.

Modellbasierte Fehlerdiagnose an Wärmepumpen

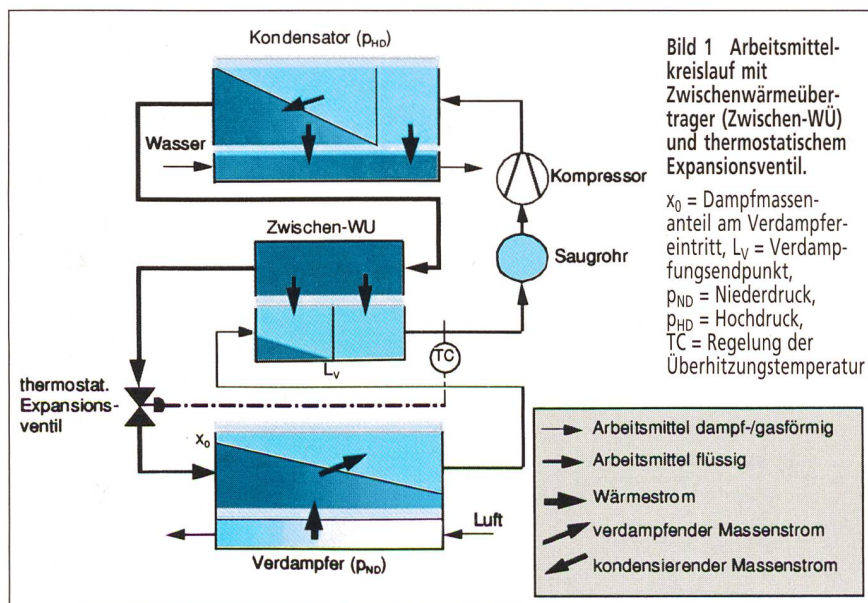
■ David Zogg, Esfandiar Shafai

Die Idee

Bei der Kurztestmethode sollen aufgrund einer kurzen Messphase von wenigen Wochen die Parameter von Wärmepumpenanlagen identifiziert werden. Diese Analyse wird unmittelbar nach der Installation oder später während des Betriebes durchgeführt. Aufgrund der identifizierten Parameter können einerseits

Fehler in der Anlage frühzeitig erkannt werden und andererseits deren Auswirkungen auf Kennzahlen wie die Jahresarbeitszahl JAZ untersucht werden. Dazu werden Jahressimulationen mit dem ermittelten Parametersatz durchgeführt, welche mit Referenz-Wetterdaten gespeist werden. Aufgrund der identifizierten und berechneten Grössen kann frühzeitig eine Betriebsoptimierung durchgeführt werden.

Zunächst wird das Modell einer industriellen Wärmepumpe mit Zwischenwärmeübertrager beschrieben, das zu



Adresse der Autoren

David Zogg (dipl. Masch.-Ing. ETH)
 Dr. Esfandiar Shafai
 Institut für Mess- und Regeltechnik
 ETH Zentrum, 8092 Zürich
 zogg@imrt.mavt.ethz.ch

Wärmepumpen

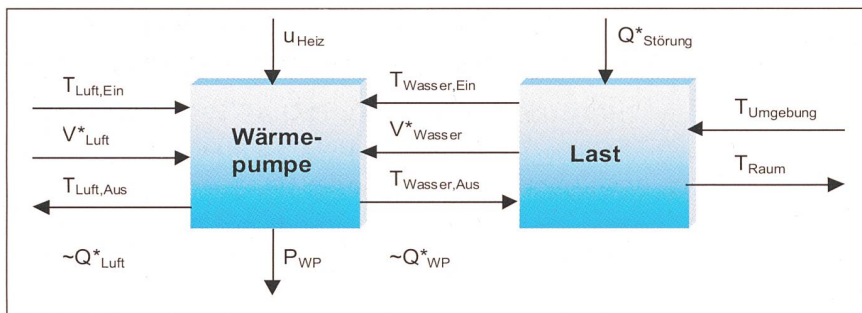


Bild 2 Wärmepumpe mit Last.

V^* = Volumenstrom, T = Temperatur, Q^*_{Luft} = Kälteleistung, Q^*_{WP} = Heizleistung, $Q^*_{Störung}$ = Wärmestrom, mit dem die Sonneneinstrahlung und das Benutzerverhalten berücksichtigt werden, P_{WP} = elektrische Aufnahmeleistung, u_{Heiz} = Heizbefehl (1 ein, 0 aus)

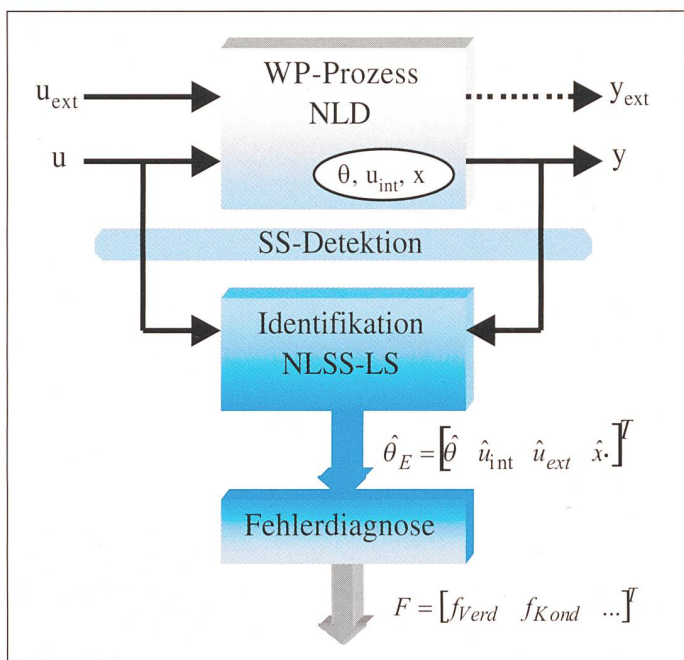


Bild 3 Parameteridentifikation und Fehlerdiagnose in den stationären Phasen.

NLD = Nonlinear Dynamic, SS = Steady State, NLSS = Nonlinear Steady State, LS = Least Squares, u = gemessene Eingangsgrößen, u_{ext} = nicht gemessene externe Eingangsgrößen, y = gemessene Ausgangsgrößen, y_{ext} = nicht gemessene externe Ausgangsgrößen, θ = Parameter des Wärmepumpen-Prozesses, u_{int} = intern geregelte Eingangsgrößen, x = Zustandsgrößen, $\hat{\theta}_E$ = geschätzter erweiterter Parametervektor, F = Fehlervektor (enthält die Fehler gemäss Tabelle I)

Simulationszwecken wie auch zur Integration in die modellbasierten Diagnosemethoden dient. Weiter soll aufgezeigt werden, weshalb für die Fehlerdiagnose der Weg über die Parameteridentifikation gewählt wurde. Anhand eines Verfahrens für die stationären Betriebsphasen und zwei Verfahren für die transienten Betriebsphasen werden verschiedene Lösungsansätze vorgestellt.

Das Simulationsmodell

Für die Wärmepumpe wurde ein physikalisches Modell des internen Arbeitsmittelkreislaufes gebildet (Bild 1). Dieses nichtlineare dynamische Simulations-

modell wurde in *Matlab/Simulink* implementiert und getestet [1]. Dabei wurde besonders auf einen modularen Aufbau geachtet, der es ermöglicht, die einzelnen Komponenten beliebig auszutauschen und neu zu verknüpfen. Damit ist gewährleistet, dass die Modellstruktur und -komplexität jederzeit an die entsprechenden Bedürfnisse anderer Wärmepumpentypen angepasst werden können. Die Differentialgleichungen der Massen- und Energiebilanzen sind möglichst geometrieunabhängig formuliert. In der Modellstruktur spielt es beispielsweise keine Rolle, welcher Kondensator- oder Verdampfertyp eingesetzt wird. Die Unterschiede zwischen den verschiedenen Typen zeigen sich nur in den Parametern.

Die Wärmepumpe kann neben dem Verdampfer, Kompressor mit Saugrohr, Kondensator und thermostatischen Expansionsventil einen zusätzlichen Zwischenwärmeübertrager enthalten (Zwischen-WÜ auf Bild 1, gemäss Wärmepumpe Natura AW110 Hi von SATAG Thermotechnik AG). Das Arbeitsmittel verdampft entweder vollständig im eigentlichen Verdampfer oder die Restverdampfung geschieht im Zwischenwärmeübertrager. Der Dampfmasseanteil x nimmt kontinuierlich von x_0 am Verdampfereintritt auf 1 am Verdampfungs- endpunkt L_V zu, was auf Bild 1 vereinfachend durch einen linearen Verlauf dargestellt ist. Mit dem Verdampfungs- endpunkt haben wir eine variable Bereichsgrenze zwischen Verdampfung und Überhitzung [2]. Wir können damit auf komplizierte Strukturen mit finiten Elementen verzichten.

Der Kompressor kann hier durch eine statische Kennlinie repräsentiert werden, die den Massenstrom in Abhängigkeit des Druckgefälles und der Drehzahl festlegt. Im Kondensator wird zunächst das Heissgas abgekühlt und anschliessend kondensiert. Der Dampfanteil x reduziert sich dabei von 1 auf 0 – wiederum vereinfachend mit einem linearen Verlauf dargestellt. Die Unterkühlung geschieht im Zwischenwärmeübertrager, wo die Wärme von der Flüssig- auf die Dampf-/Gas- seite übergeht.

Auch das Expansionsventil ist in Form einer statischen Kennlinie modelliert. In Abhängigkeit des Druckgefälles und der Ventilöffnung resultiert der Massenstrom. Die Ventilöffnung ist durch die Rückführung der Überhitzung geregelt (TC). Es kann ein rein mechanisch arbeitendes thermostatisches Expansionsventil oder ein elektronisch geregeltes Ventil eingesetzt werden. Bei der isenthalpen Expansion im 2-Phasengebiet nimmt der Dampfanteil x von 0 auf x_0 zu, womit der Kreis geschlossen ist.

Die Stoffdaten des Arbeitsmittels werden in Abhängigkeit vom jeweiligen Druck berechnet. Es können Arbeitsmittelgemische wie R407C mit Temperatur-Glide eingesetzt werden.

Die intern geregelte Wärmepumpe gemäss Bild 1 kann in einem weiteren Schritt mit der Lastseite gekoppelt werden, was Bild 2 veranschaulicht. In der Last sind das Wärmeabgabesystem mit Fussbodenheizung und das Gebäude zusammengefasst.

Die Schnittstellen zwischen den Blöcken sind jeweils Volumenströme und Temperaturen. Daraus kann direkt der von der Luft aufgenommene Wärmestrom Q^*_{Luft} (Kälteleistung) und der

erzeugte Wärmestrom Q^*_{WP} (Heizleistung) berechnet werden. Die Wärmepumpe hat bei gegebenen Randbedingungen (Eingängen) eine bestimmte elektrische Aufnahmeleistung P_{WP} , die hier signaltechnisch als Ausgang erscheint. Der Eingang u_{Heiz} kann 0 für ausgeschaltet oder 1 für eingeschaltet annehmen und ist die Stellgröße der übergeordneten Heizungsregelung. Beim Einschalten erhöht sich die Drehzahl n_K des Kompressors von 0 auf den Betriebspunkt n_{K0} und beim Ausschalten geht sie zurück auf 0. Aufgrund der im Modell berücksichtigten Dynamik reagieren die Heiz-, Aufnahme- und Kälteleistung verzögert. Die Drehzahl n_K des Kompressors kann auch eine beliebig variierbare Eingangsgröße sein. Es können also ebenfalls drehzahlvariable oder drehzahlgestufte Wärmepumpen simuliert werden.

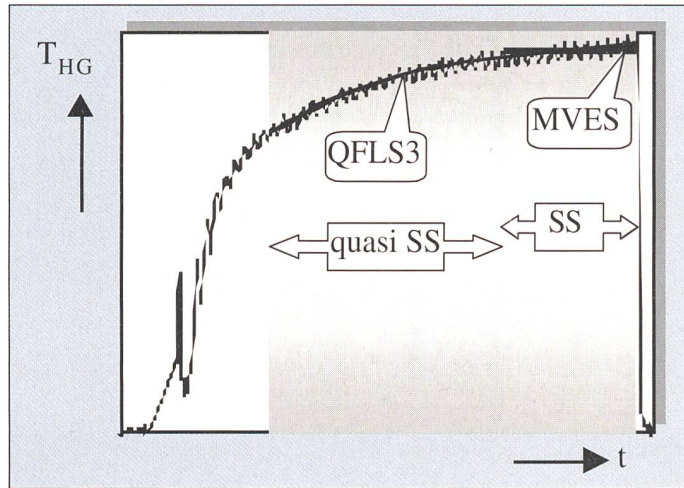
Das vorgestellte Simulationsmodell dient als Grundlage für die folgenden Diagnoseverfahren. Je nach Verfahren verwenden wir das vollständige dynamische Modell oder lediglich die stationären Gleichungen des Modells.

Fehlerdiagnose durch Parameteridentifikation

Das Ziel der Fehlerdiagnose ist es, mit möglichst wenigen, kostengünstigen Messstellen und bei möglichst kurzer Messzeit Fehler im Wärmepumpen-Prozess frühzeitig zu erkennen. Zu den Fehlern gehören Verschmutzungen, defekte Komponenten oder Leckage (Tabelle I). Im Arbeitsmittelkreislauf werden Temperatursonden (evtl. Drucksonden) integriert und die Signale laufend gespeichert. Im Prinzip kann aus den Abweichungen der gemessenen Temperaturen von ihrem Nominalwert auf die entsprechenden Fehler geschlossen werden. Bei rein signalbasierten Ansätzen haben wir jedoch das Problem, dass sich die gemessenen Temperaturen nicht nur aufgrund der Fehler verändern, sondern auch aufgrund der unterschiedlichen Randbedingungen (Eingänge $T_{Luft, Ein}$, $T_{Wasser, Ein}$, V^*_{Luft} , V^*_{Wasser} in Bild 2). Auch die Zuordnungen zwischen den Signalabweichungen und den jeweiligen Fehlern ist nicht trivial. Zudem wollen wir die Fehler und deren Auswirkungen quantifizieren können.

Aus diesen Gründen wählen wir den modellbasierten Ansatz der Parameteridentifikation. Dabei werden aus den Ein- und Ausgangssignalen des Wärmepumpen-Prozesses zunächst die Modellparameter identifiziert, welche im Normalfall konstant bleiben. Nur beim Auf-

Bild 4 Verlauf der Heissgastemperatur T_{HG}



treten eines Fehlers verändern sich die Parameter. Die Zuordnung zwischen Parametern und Fehlern ist einfach, und mit den identifizierten Parametern haben wir automatisch quantitative Größen. Die veränderten Parameter können nun wiederum im Simulationsmodell eingesetzt werden. Damit ist es beispielsweise möglich, über eine Jahressimulation mit Referenz-Wetterdaten die Auswirkungen der Fehler auf die Jahresarbeitszahl JAZ hochzurechnen.

Nachfolgend sollen ein Identifikationsverfahren für die stationären Betriebsphasen sowie zwei dynamische Identifikationsverfahren für die transienten Betriebsphasen vorgestellt werden. Mit dem stationären Verfahren können bereits die wichtigsten (stationären) Parameter erfasst werden, während mit den dynamischen Verfahren auch die restlichen (dynamischen) Parameter identifizierbar sind. Da die transienten Signalverläufe mehr Information enthalten als die stationären Signale, werden die dynamischen Verfahren tendenziell genauer sein.

Parameteridentifikation in den stationären Phasen

Bild 3 zeigt die Idee der Parameteridentifikation in den stationären Betriebsphasen. Der Prozess der Wärmepumpe ist nichtlinear und dynamisch (NLD), während die Identifikation auf einem nichtlinearen stationären Modell basiert (NLSS). Die SS-Detektion entscheidet, ob sich der Prozess in einem stationären bzw. quasistationären Zustand befindet. Das Entscheidungskriterium kann entweder zeit- oder signalgesteuert sein. Eine Analyse von Messdaten zeigt, dass relativ lange quasistationäre Betriebsphasen vorhanden sind (sehr kleine Ableitungen nach der Zeit). Aus den gemessenen Eingängen u und Ausgängen y (Temperaturen, evtl. Drücke) kann der erweiterte Parametervektor mit der Least-Squares-Methode (LS) geschätzt werden. Im erweiterten Parametervektor sind Schätzungen für die Parameter q , die intern geregelten Eingänge u_{int} , die nicht gemessenen Eingänge u_{ext} sowie die Zustandsgrößen x enthalten.

Erweiterte Parameter	Fehler	Beschreibung
$\theta_1 = k_{Verdampfer}$, $u_{ext1} = V^*_{Luft}$	f_{Verd}	Verschmutzung Verdampfer
$\theta_2 = k_{Kondensator}$, $u_{ext2} = V^*_{Wasser}$	f_{Kond}	Verschmutzung Kondensator
$\theta_3 = k_{ZW, Verdampf}$, $\theta_4 = k_{ZW, Überhitz}$	f_{ZW}	Verschmutzung Zwischenwärmeübertrager
$u_{ext1} = V^*_{Luft}$	f_{Vent}	Defekter Ventilator
$u_{ext2} = V^*_{Wasser}$	f_{UP}	Defekte Umwälzpumpe
$x = M^*_{Arbeitsmittel}$	f_{Leck}	Leckage im Arbeitsmittelkreis
$\theta_5 = \lambda_{Kompressor}$, $\theta_6 = \varepsilon_{Kompressor}$	f_{Komp}	Defekter Kompressor, ungenügender Liefergrad
$u_{int} = k_{V, Expansionsventil}$	f_{EV}	Defektes Expansionsventil

Tabelle I Diagnostizierbare Fehler (Parameteridentifikation in den stationären Phasen).

θ = Parameter, x = Zustandsgrößen, u_{int} = interne Eingangsgrößen, u_{ext} = externe Eingangsgrößen; k = Wärmedurchgangskoeffizienten, V^* = Volumenströme, M^* = Massenströme, λ = Liefergrad, ε = Temperatur-Druck-Koeffizient (enthält Polytropenexponent n), k_V = Ventilkonstante, ZW = Zwischenwärmeübertrager

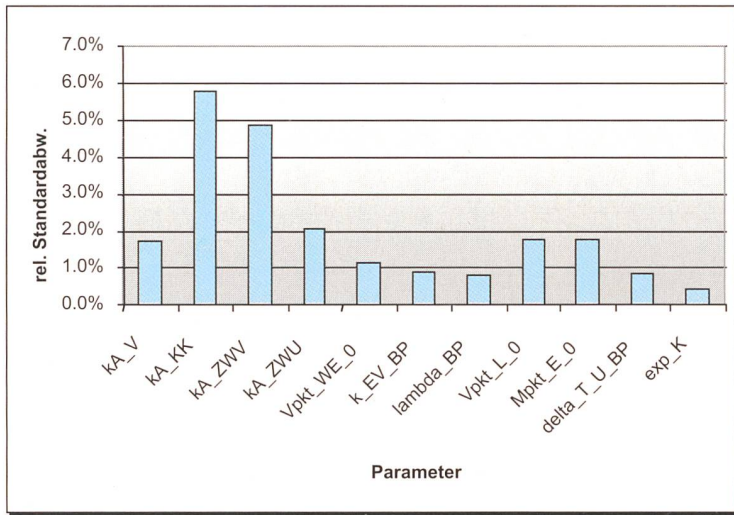


Bild 5 Relative Standardabweichungen der identifizierten Parameter aus Tabelle II.

Aufgrund des geschätzten erweiterten Parametervektors können durch einfache Zuordnungen die acht Fehler in Tabelle I erkannt und diagnostiziert werden.

Unsere Messdaten zeigen bei den aufgezeichneten Temperaturen typische Signalverläufe nach Bild 4 (hier am Beispiel der Heissgastemperatur T_{HG}).

Die Messdaten wurden nach einer Umschaltung vom Abtauen auf normalen Heizbetrieb aufgenommen. Am Anfang sind die dynamischen Effekte überwiegend, werden aber mit der Zeit immer kleiner. Exakt wird der stationäre Zustand zwar nicht erreicht, wir können allerdings den Einfluss der Dynamik in der quasistationären Phase (quasi-SS) und der SS-Phase vernachlässigen. Die quasi-SS- und die SS-Phase zusammen dauern rund 1 Stunde, während die Temperatur T_{HG} in diesem Zeitraum etwa 10 °C zunimmt.

Dem Signal ist ein sinusähnlicher Verlauf überlagert, der auf das «Hunting» des thermostatischen Expansionsventils

zurückzuführen ist. Der «Hunting»-Effekt ist wesentlich grösser als allfälliges Störerauschen. Um das Signal auszuwerten, müssen wir es zunächst filtern oder einen geeigneten Signal-Fit finden. In der quasi-SS-Phase kann das Signal durch einen Polynom-Fit 2. Ordnung angenähert werden, während in der SS-Phase eine reine Mittelwertbildung ausreicht (Fit 0. Ordnung). Bisherige Erfahrungen haben gezeigt, dass eine Mittelwertbildung genügt, womit auch der Rechenaufwand minimal ist.

Auch die Temperatursignale an den anderen Stellen des Arbeitsmittelkreislaufes werden auf die gleiche Weise verarbeitet und mit der Least-Squares-Methode ausgewertet. Je nach Anzahl und Art der zu identifizierenden Parameter variiert die Anzahl und der Ort der Messstellen. Das Verfahren ist jedoch unabhängig von einer speziellen Konfiguration. Typische Messungen im Arbeitsmittelkreislauf sind die Heissgastemperatur, Überhitzungs- und Unterkühlungstempe-

ratur sowie die Verdampfungs- und Kondensationstemperatur. Anstelle der Verdampfungs- und Kondensationstemperaturen können auch die entsprechenden Drücke gemessen werden.

Tabelle II und Bild 5 zeigen die erweiterten Parameter, welche mit dem Verfahren aus realen Messdaten identifiziert wurden. Es wurden mehrere Identifikationen durchgeführt und anschliessend gemittelt. Die relativen Standardabweichungen zeigen die Streuung der identifizierten Parameter, wobei deutliche Unterschiede zu erkennen sind. Die zuverlässigsten Parameter wurden mit einer relativen Standardabweichung unter 1% identifiziert, während der kA-Wert im Kondensator mit 5,8% die grösste Streuung aufwies. Diese Resultate sind aus ersten Tests hervorgegangen und müssen noch durch zahlreiche Simulationen für die verschiedensten Randbedingungen überprüft werden.

Parameteridentifikation in den transienten Phasen

Der Betrieb der Wärmepumpe kann in verschiedene Modi aufgeteilt werden wie normaler Heizbetrieb, Abtauung, ausgeschalteter Zustand usw. Die dynamischen Effekte sind hauptsächlich bei den Übergängen von einem Betriebsmodus auf den anderen relevant. Die transienten Signalverläufe enthalten zusätzliche Informationen, womit weitere Parameter wie Volumen- und Masseninhalte identifiziert werden können. Wegen der internen Regelung durch das thermostatische Expansionsventil wirken sich die Fehler beispielsweise nur sehr schwach auf die stationäre Überhitzungstemperatur aus. Während der transienten Phase sind die Auswirkungen eher spürbar.

Ein erstes Verfahren für die Parameteridentifikation in den transienten Phasen, basierend auf einem nichtlinearen dynamischen Modell (NLD), benutzt wiederum das Least-Squares-Verfahren (LS).

Bild 6 zeigt die Idee dieses Ansatzes. Der zeitkontinuierliche Prozess liefert die Ausgänge y aufgrund der Eingänge u , während das zeitdiskrete Identifikationsverfahren u und y mit einer bestimmten Samplingfrequenz abtastet und daraus in einem Schritt den Parametervektor schätzt.

Das Least-Squares-Verfahren liefert eine geschlossene Lösung zur Berechnung des Parametersatzes, womit die Rechenzeit vernachlässigbar klein wird. Die gemessenen Signale u und y müssen gefiltert werden, damit die «Hunting»-Ef-

erw. Parameter	Beschreibung	Einheit	Mittelwert	rel. Stdbw.
kA _{Verdampfer}	kA-Wert Verdampfer	(W/K)	7.59E+02	1,7%
kA _{Kondensator}	kA-Wert Kondensator	(W/K)	6.01E+03	5,8%
kA _{ZW,Verdampfung}	kA-Wert Zwischen-WÜ Verdampfung	(W/K)	3.51E+01	4,9%
kA _{ZW,Überhitzung}	kA-Wert Zwischen-WÜ Überhitzung	(W/K)	1.43E+01	2,0%
V [*] _{Wasser}	Wasser-Volumenstrom im Kondensator	(m ³ /s)	5.25E-04	1,1%
kV _{Expansionsventil}	Ventilkonstante Expansionsventil	(SI)	5.01E-05	0,9%
lam _{Kompressor}	Liefergrad Kompressor	(-)	9.10E-01	0,8%
V [*] _{Luft}	Luft-Volumenstrom im Verdampfer	(m ³ /s)	1.52E+00	1,8%
M [*] _{Arbeitsmittel}	Massenstrom im Arbeitsmittel-Kreislauf	(m ³ /s)	5.37E-02	1,8%
eps _{Kompressor}	Temperatur-Druck-Koeffizient Kompr.	(-)	1.54E-01	0,4%

Tabelle 2 Aus Messwerten identifizierte Parameter (Parameteridentifikation in den stationären Phasen); die kA-Werte sind als Produkte aus den Wärmedurchgangskoeffizienten k und den Wärmeübertragerflächen A definiert; rel. Stdbw. = Standardabweichungen bezogen auf den Mittelwert

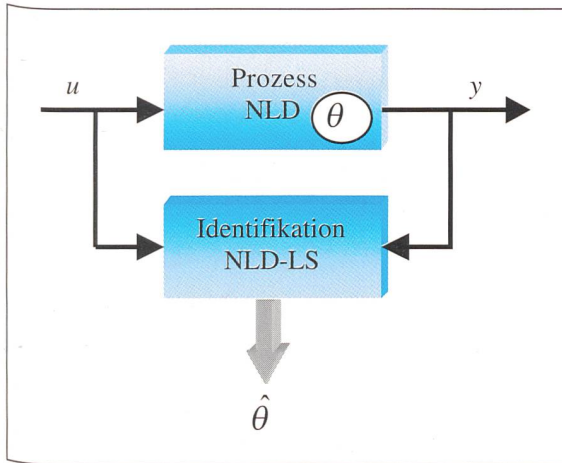


Bild 6 Parameteridentifikation mit Least-Squares-Verfahren in den transienten Phasen.

NLD = Nonlinear Dynamic, LS = Least Squares, u = gemessene Eingangsgrößen, y = gemessene Ausgangsgrößen, θ = reale Parameter des Wärmepumpen-Prozesses, $\hat{\theta}$ = geschätzte Parameter

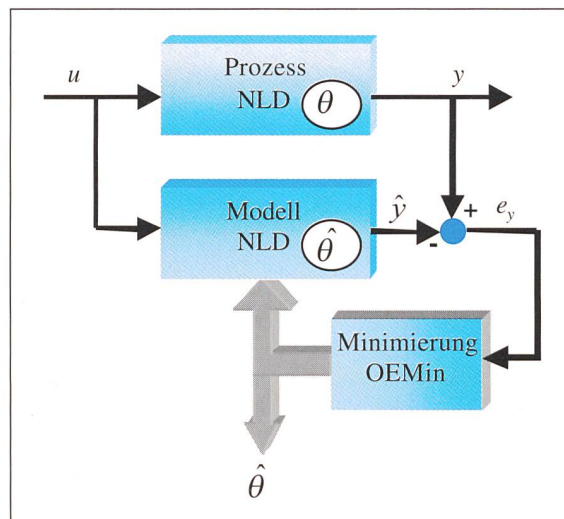


Bild 7 Parameteridentifikation mit Minimierung des Ausgangsfehlers in den transienten Phasen.

NLD = Nonlinear Dynamic, OEMin = Output Error Minimization, u = gemessene Eingangsgrößen, y = gemessene Ausgangsgrößen, \hat{y} = geschätzte Ausgangsgrößen, e_y = Ausgangsfehler, θ = reale Parameter des Wärmepumpen-Prozesses, $\hat{\theta}$ = geschätzte Parameter des Modells

fekte» und allfälliges Rauschen die Identifikation nicht stören. Für die transienten Phasen sind Signal-Fits nicht mehr sinnvoll.

Als zweites Verfahren soll hier der allgemeine Ansatz über die Minimierung des Ausgangsfehlers e_y (OEMin) erwähnt werden. Gemäss Bild 7 schätzt ein nichtlineares dynamisches Modell (NLD) parallel zum Prozess die Ausgänge \hat{y} , die mit den gemessenen Prozess-Ausgängen y verglichen werden. Die Modell-Parameter $\hat{\theta}$ werden so lange variiert, bis der Fehler e_y zwischen Prozess-Ausgang y und Modell-Ausgang \hat{y} minimal ist. Damit nähert sich $\hat{\theta}$ iterativ dem aktuellen Prozess-Parametersatz θ .

Ausblick

Alle vorgestellten Identifikationsverfahren liefern einen geschätzten Parametersatz, welchem auf einfache Weise die entsprechenden Fehler im Wärmepumpen-Prozess zugeordnet werden können. Während das Verfahren für die stationären Phasen bereits an realen Messdaten getestet wurde, wird dies für die anderen beiden Verfahren momentan durchgeführt. Erste Erfahrungen haben positive Resultate gezeigt. Aus Kostengründen ist ein möglichst einfaches und schnelles Verfahren vorteilhaft. Unter diesem Gesichtspunkt ist das stationäre Verfahren überlegen, da wir dort im besten Fall mit einer einfachen Signalmittelung und an-

schliessenden Auswertung arbeiten können. Das Least-Squares-Problem kann bei vorheriger Mittelwertbildung sogar auf eine geschlossene Lösung eines algebraischen Gleichungssystems reduziert werden.

Auch das erste dynamische Verfahren, basierend auf der Least-Squares-Methode, ist relativ einfach zu implementieren und liefert eine geschlossene Lösung in einem Schritt. Die Anzahl der identifizierbaren Parameter ist höher als beim stationären Verfahren, und wir nutzen den zusätzlichen Informationsinhalt der transienten Phasen. Wir benötigen allerdings eine genügend gute Signalfilterung. Das dynamische Verfahren mit Minimierung des Ausgangsfehlers ist wegen seiner iterativen Lösungsmethode am aufwendigsten zu implementieren,

wird jedoch die zuverlässigsten Resultate liefern. Wir werden die Verfahren anhand der Messdaten vergleichen und hoffen, die einfachste Lösung mit genügender Zuverlässigkeit zusammen mit unseren Projektpartnern zur Marktreife bringen zu können. Dem BFE danken wir für die Finanzierung dieser Arbeit.

Literatur:

- [1] Shafai, E., Wimmer, R., Zogg, D., Gabathuler, H.R., Mayer, H., Bruderer, H.U., Reiner, G.: Kurztestmethode für Wärmepumpenanlagen – Phase 1 bis 3: Messung, Modellierung und Erprobung der Parameteridentifikation, Bundesamt für Energie (BFE), Projekt 17822, 1998, ENET-Nr. 9657407.
- [2] Gruhle, W.D.: Regeldynamische Untersuchungen an Kompressionskälteprozessen und -wärmepumpen, VDI-Reihe 19, Nr. 19, Düsseldorf: VDI-Verlag 1987.

Diagnostic d'erreurs pour pompes à chaleur établi sur la base d'un modèle

Le projet intitulé «Kurztestmethode für Wärmepumpenanlagen» constitue l'un des éléments d'un programme de recherche de l'Office fédéral de l'énergie (OFEN). Dans le cadre de ce projet, des méthodes reposant sur des modèles et destinées à établir le diagnostic d'erreurs ont été développées dans le but d'optimiser des systèmes de chauffage par pompe à chaleur. Nous voulons ici nous concentrer sur la pompe à chaleur et présenter quelques procédés permettant d'identifier les paramètres.