Neues Konzept für Heizungsregelung

Autor(en): **Hutter, Andreas / Onillon, Emmanuel / Malik, Sohail**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Bulletin.ch : Fachzeitschrift und Verbandsinformationen von Electrosuisse, VSE = revue spécialisée et informations des associations Electrosuisse, AES**

Band (Jahr): **103 (2012)**

Heft (10)

PDF erstellt am: **30.05.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-857355

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

Neues Konzept für Heizungsregelung

Reduktion des Energiebedarfs um bis zu 30 %

In der Schweiz entfallen 36 % des gesamten Energieverbrauchs auf das Heizen von Gebäuden. Die überwiegend mit fossilen Brennstoffen erzeugte Heizenergie hat somit einen bedeutenden Anteil an den CO_2-Emissionen des Landes. Umso wichtiger ist es, den Energieverbrauch in diesem Sektor zu verringern. Mit dem Konzept einer kontinuierlichen, adaptiven und prädiktiven Heizungsregelung erreicht der hier vorgestellte Neurobat-Regler Einsparungen, die deutlich über den Möglichkeiten heutiger kommerzieller Heizungsregler liegen.

Andreas Hutter, Emmanuel Onillon, Sohail Malik, Jens Kraus

Nach einer vom Bundesamt für Energie (BFE) veröffentlichten Energieverbrauchsstudie [1] wurden in der Schweiz im Jahr 2010 300 PJ[1)] für die Heizung des Gebäudeparks verwendet, was 36,5 % des gesamten Energieverbrauchs der Schweiz entspricht. Weitere 5,9 % entfielen auf die Warmwasserbereitung, 2,6 % auf die Klimatisierung, Lüftung und Haustechnik der Gebäude. Fast die Hälfte des Gesamtenergiebedarfs der Schweiz ist somit auf den Energiebedarf von Gebäuden zurückzuführen. Da in rund 66 % der Gebäude in der Schweiz Gas oder Erdöl zur Erzeugung von Heizenergie eingesetzt werden, ist diese auch für einen bedeutenden Teil der CO_2-Emissionen des Landes verantwortlich.

Somit hat jede Technik, die zur Steigerung der Effizienz von Heizungssystemen beiträgt, einen signifikanten Einfluss auf die Reduktion des Energieverbrauchs. Dies gilt besonders bei grossflächigem Einsatz. Da der Gebäudepark nur langsam erneuert wird, derzeit etwa mit einer Rate von rund 1 % pro Jahr[2)], muss sich eine solche Technik auch für den Einsatz in vorhandenen Gebäuden eignen. Zudem sollten die entsprechenden Produkte wirtschaftlich interessant sein.

Das von der EPFL [3, 4] konzipierte und vom Centre Suisse d'Electronique et de Microtechnique (CSEM) in Neuenburg entwickelte Heizungsregelsystem Neurobat erfüllt diese Anforderungen. Dieses System wird ab 2012 von der Neurobat AG [5] vertrieben. Im vorliegenden Artikel werden die technischen Grundlagen, das Funktionsprinzip und die Prüfergebnisse dieses Systems vorgestellt.

CSEM

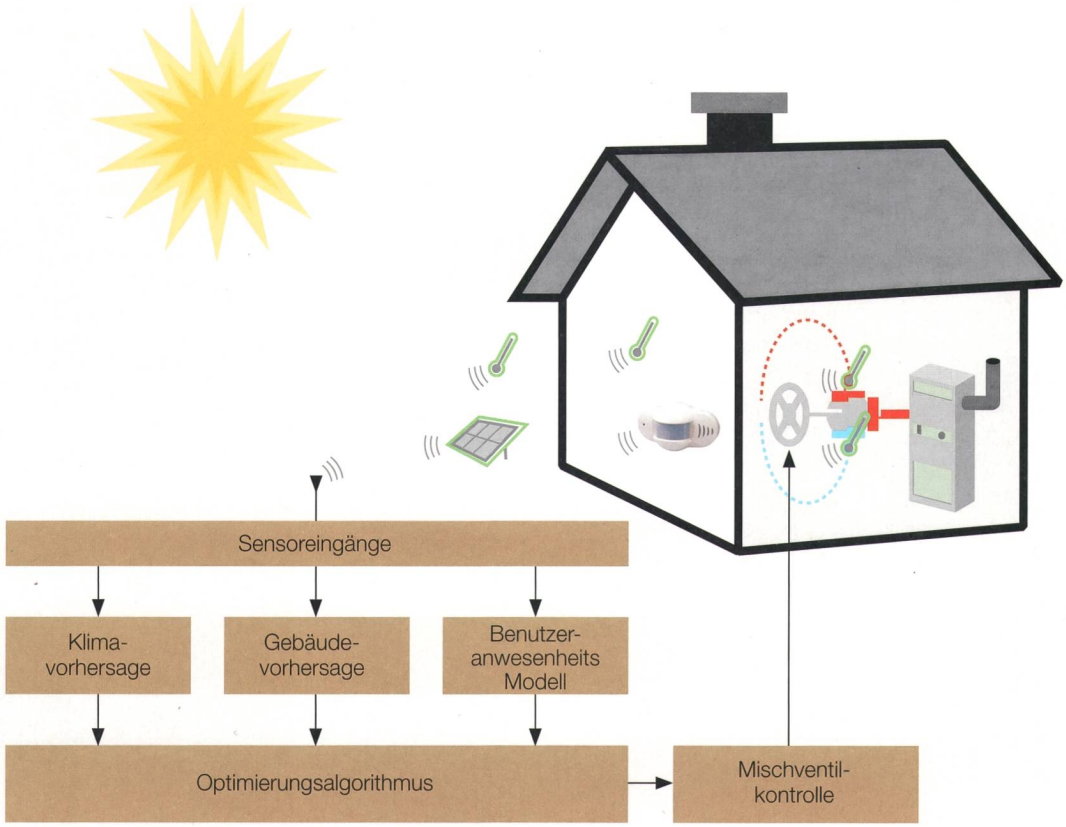


Bild 1 Blockschema des Neurobat-Reglers.

CSEM/Neurobat

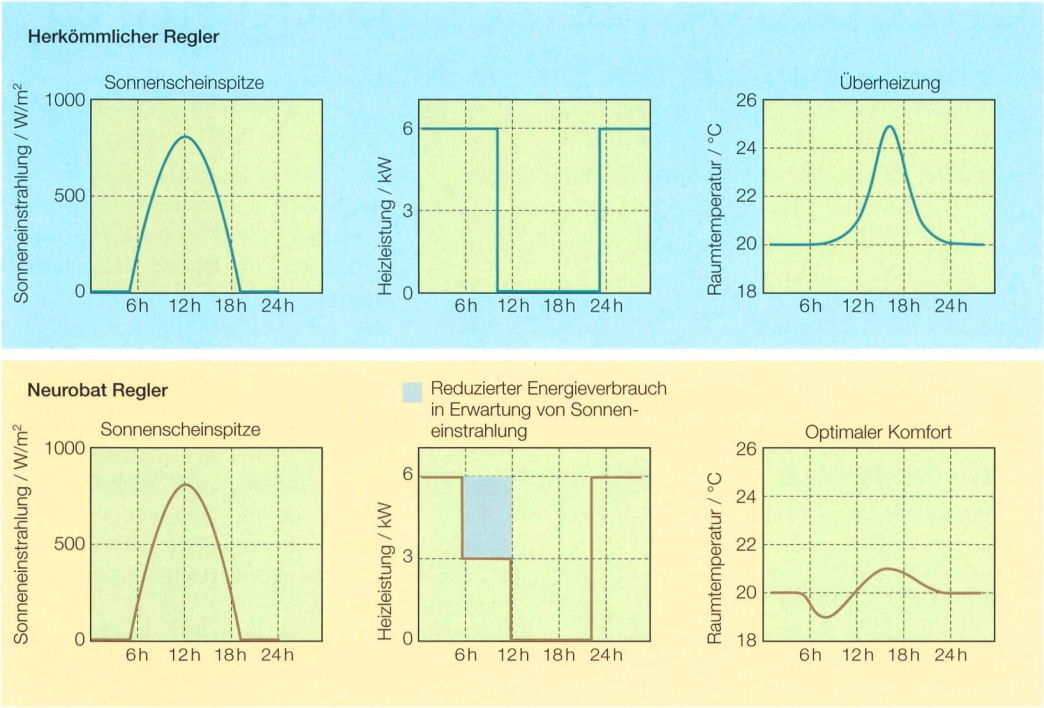


Bild 2 Die Vorhersage ermöglicht eine Energieeinsparung bei gleichzeitiger Verbesserung des Komforts.

Die Regelkonzepte heutiger Geräte

Konventionelle Heizungsregler steuern die Vorlauftemperatur des Heizkreises aufgrund der gemessenen Aussentemperatur – «open loop control» im Sinne eines Zentralheizungsreglers – oder aufgrund einer Rückführung der Raumtemperatur – «closed loop control» im Sinne eines Raumheizungsreglers. 95 % der heute eingesetzten Heizungsregler verwenden dazu sogenannte Heizkurven. Das heisst, sie regeln die Raumtemperatur mit Hilfe vordefinierter Relationen zwischen den gemessenen Aussentemperaturen und der gewünschten Temperatur des Heizmediums. Anschliessend kann die Heizkurve noch in Abhängigkeit der Raumtemperatur angepasst werden. Die Popularität dieser Regelmethode beruht auf ihrer Einfachheit. Was die Verwendung der Energieressourcen betrifft, ist sie aber nicht ideal [3, 4].

Moderne Heizungsregler wenden beide oben genannten Prinzipien an und berücksichtigen manchmal auch die Sonneneinstrahlung, um die geeignete Heizungskurve aus einer Reihe vordefinierter Kurven auszuwählen [6]. Die dazu verwendeten modernen Regelalgorithmen verfügen bereits über optimierende Funktionen für das Anfahren und Abschalten der Heizung. Trotzdem funktionieren auch diese fortschrittlichen Heizungsregler nicht optimal, da ihre Regelstrategie auf einem thermisch stationären und unvollständigen Modell beruht. Sie erfordern zudem einen beträchtlichen Aufwand bei der Inbetriebnahme und für den Unterhalt während des Betriebs.

Ein neuartiges Regelkonzept

Der Neurobat-Heizungsregler wurde ursprünglich im Auftrag des Bundesamts für Energie (BFE) mit Unterstützung der Kommission für Technologie und Innovation (KTI) entwickelt. Er optimiert nicht nur den Energieverbrauch, sondern ist auch einfach zu installieren und zu warten. Er ist mit einem Klimamodul ausgestattet, das die Auswirkungen von Wetter- und Klimadaten auf das Gebäude vorhersagt und die Heizungsregelung dynamisch an die jeweiligen klimatischen Bedingungen anpassen kann. Basis dieses Regelkonzepts ist eine repräsentative mathematische Beschreibung des physikalischen Systems – in diesem Fall des thermischen Verhaltens des Gebäudes.

Ein optimales Regelkonzept basiert zudem auf einer anhand der gewünschten Kriterien minimierten Kostenfunktion, und kann über ein vordefiniertes Zeitintervall dynamische Prozesse berücksichtigen [7]. Die für den Neurobat-Heizungsregler verwendete Kostenfunktion berücksichtigt sowohl die Energiekosten, die dem Energieverbrauch entsprechen, als auch die sogenannten «Komfortkosten», die von einer möglichst geringen Schwankung der Raumtemperatur abhängen. Bei Berücksichtigung dieser beiden Terme kann neben

Neurobat

Bild 3 Der Neurobat-Regler NIQ für Renovationen.

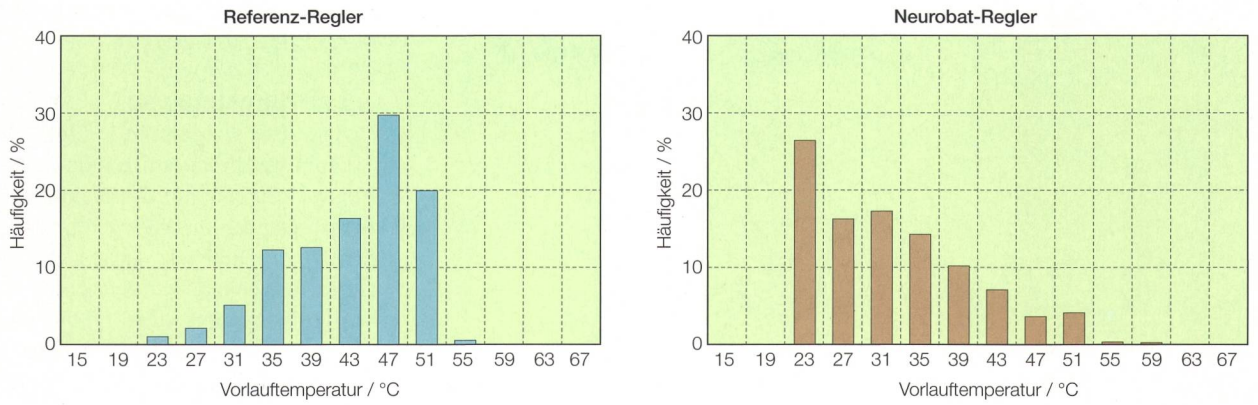


Bild 4 Vorlauftemperaturverteilung im CSEM-Gebäude.

dem minimalen Energieverbrauch auch ein optimaler thermischer Benutzerkomfort erreicht werden.

Vorhersage des thermischen Gebäudeverhaltens

Primärenergie muss auch den thermischen Effekt der Sonneneinstrahlung – nachfolgend «Freiwärme» genannt – berücksichtigen. Das thermische Verhalten von Gebäuden wird dabei als passives Klimasystem betrachtet, welches mittels der für die Regelung der Raumtemperatur verwendeten Freiwärme den Heizenergieverbrauch des Gebäudes reduziert.

Zwar reicht die Freiwärme nicht immer aus, um die vom Benutzer gewünschte Raumtemperatur zu gewährleisten, doch kann sie im Rahmen der Heizungsregelung vorteilhaft für die optimale Steuerung des Benutzerkomforts verwendet werden. Ein «Überheizen» der Räume wird so nahezu ausgeschlossen. Dies erfordert jedoch ein Regelsystem, das in der Lage ist, das zukünftige thermische Verhalten des Gebäudes vorherzusagen. Dieses System muss anhand der Vorhersage der Raumtemperaturen und des Klimas, die entsprechenden Steuerparameter antizipieren können [8].

Technik

Der Neurobat-Heizungsregler ist mit einem eigenen Klimamodul ausgestattet. Es kann Klimadaten wie die Aussentemperatur und die Sonneneinstrahlung anhand bereits vorliegender Messwerte «vorhersagen» und die Temperatur des Heizmediums dann optimal an die äusseren Bedingungen anpassen. Basis dieses Regelkonzepts ist ein adaptives Gebäudemodell, dass das Verhalten des Gebäudes für die zukünftigen Konditionen (Aussentemperaturen, Sonneneinstrahlung, Temperatur des Heizmediums) vorhersagen kann. Dieses Modell optimiert die Heizkurve so, dass der ideale Benutzerkomfort auch bei minimalem Energieverbrauch gewährleistet ist.

Funktionsweise

Die einzelnen Elemente des Neurobat-Reglers sind in Bild 1 dargestellt. Wie bei modernen kommerziellen Heizungsreglern sind die folgenden Parametereingänge verfügbar: Aussentemperatur, Raumtemperatur, Präsenzmelder für im Raum anwesende Personen, Sensor für die Sonneneinstrahlung sowie die Vor- und Rücklauftemperaturen des Heizkreises [3, 8].

Der Regler ist mit mehreren Vorhersagemodulen ausgestattet:

- Das Klimamodul errechnet die «Wettervorhersage» mittels der aktuellen Messwerte der Aussentemperatur und der Sonneneinstrahlung über einen vordefinierten Zeithorizont.
- Das Gebäudemodul bildet das Gebäudeverhalten ab und sagt dessen zukünftigen Heizungsbedarf aufgrund der vorausgesagten Klimadaten, der Raumtemperatur und der aktuellen Heizleistung vorher.
- Ein weiteres Modul bildet mittels der vom Präsenzmelder gelieferten Daten das Verhalten der Gebäudebenutzer ab.

Das Modul der Leistungsoptimierung kann anhand der Daten dieser Module und über die kontinuierliche Auswertung der Kostenfunktion die optimale Temperatur des Heizmediums bestimmen. Mit Hilfe dieses Werts wird das Mischventil gesteuert. Interessant ist dabei, dass sich dieses Konzept auf den unterschiedlichsten Heizungssystemen anwenden lässt.

Weitere Vorteile der prädiktiven Regelstrategie

Durch die Klimavorhersage wird ein «Überheizen» der Gebäude verhindert: Ist ein signifikanter Anstieg der passiven Energie (Freiwärme durch Sonneneinstrahlung) zu erwarten, kompensiert das System die thermische Trägheit des Gebäudes, indem es die Temperatur des Heizmediums im Vorlauf des Heizkreises senkt, um den zusätzlichen Wärmeeintrag von aussen auszugleichen. Das führt zu einer direkten Energieeinsparung bei gleichem oder sogar verbessertem Benutzerkomfort (Bild 2).

Die Klimaprädiktion und die entsprechende kontinuierliche Anpassung der Heizungsregelung können ausserdem saisonale Schwankungen ausgleichen, die beispielsweise durch den Schattenwurf von Gebäuden oder Bäumen entstehen. Zur Reduktion des Heizbedarfs trägt auch die Berücksichtigung der Personen, die sich im Gebäude aufhalten, bei.

Ein adaptives, kontinuierlich lernendes System

Kern der patentierten Neurobat-Technologie [9] ist ein selbstlernendes Gebäudemodul, das wenig bis gar keine Informationen über die zugrundeliegenden Prozesse und Mechanismen des Heizungssystems eines Gebäudes benötigt. Der zugrundeliegende Algorithmus ist so programmiert, dass er das thermische Gebäudeverhalten unter unterschiedlichen Bedingungen vorhersagen kann und so die optimale Heizkurve bestimmt, die hohen Benutzerkomfort bei tiefsten Kosten gewährleistet. Das System «lernt», indem es die vorhergesagten Werte kontinuierlich mit den gemessenen vergleicht. Der spezielle Algorith-

CSEM/Neurobat

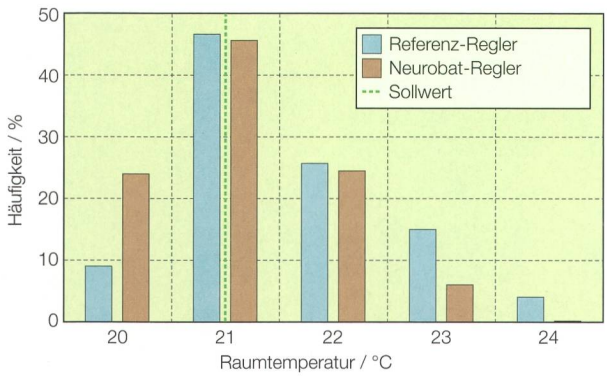


Bild 5 Verteilung der Raumtemperatur im CSEM-Gebäude.

mus strebt dabei die permanente Annäherung beider Werte an. So passt sich das System automatisch an veränderte Bedingungen an – beispielsweise an die verbesserte Isolierung eines Gebäudes oder an ein verändertes Benutzerverhalten der Personen, die das Gebäude bewohnen. Sobald das System installiert ist, beginnt der Prozess seiner Anpassung an die Grundparameter, bis es nach etwa zwei bis drei Wochen das Energiemanagement des Gebäudes perfekt optimieren kann.

Installation und Unterhalt

Die Neurobat-Produkte sind so ausgelegt, dass sie sich leicht in verschiedene, bereits vorhandene Infrastrukturen und Heizungsanlagen integrieren lassen. Nach ihrer Inbetriebnahme wird nur noch die gewünschte Raumtemperatur eingegeben, während bei konventionellen Heizungsreglern mitunter einige Dutzend Parameter zur Konfiguration der Heizkurven eingestellt werden müssen.

Der erste kommerzielle Heizungsregler der neuen Generation wurde für neue Wohngebäude (Einfamilienhäuser) und den OEM-Markt (OEM = Original Equipment Manufacturer) entwickelt. Punkto Installation ist er mit einem modernen Heizungsregler vergleichbar. Der Datenaustausch zwischen Neurobat und dem OEM-Regler erfolgt über eine Busschnittstelle. Neurobat erhält die Eingangsdaten vom OEM-Regler und stellt diesem die errechneten Sollwerte für die Regelung der Heizenergie zur Verfügung. Das Mischventil und alle übrigen Elemente in der Kette werden vom OEM-Regler gesteuert.

Ab Ende 2012 wird das zweite, für den Markt der Gebäuderenovation bestimmte Neurobat-Produkt in der Schweiz kommerzialisiert werden, das bereits installierte, konventionelle Heizungsregler ergänzt (Bild 3). In dieser Konfiguration wird der Neurobat-Regler zusammen mit den noch benötigten Sensoren (etwa zur Erfassung der Sonneneinstrahlung) in die vorhandene Infrastruktur eingebunden. Anstelle des Messwerts für die Mischventilsteuerung liefert der Neurobat-Regler dem konventionellen Regler den korrigierten Wert der Aussentemperatur. Dieser Wert ist so angepasst, dass der vorhandene Heizungsregler das Heizmedium auf die gewünschte Temperatur einstellen kann. Auch dieses System lässt sich leicht und kostengünstig installieren, da es mit kabellosen Sensoren ausgestattet ist. Neurobat-Heizungsregler rechnen sich – in Abhängigkeit von den Gebäudeparametern – in einem Zeitraum zwischen einem und drei Jahren.

Während die beiden ersten Produkte vor allem für die Verwendung in Eigenheimen konzipiert wurden, ist der dritte neu entwickelte Regler für industrielle und öffentliche Gebäude sowie grosse Mehrfamilienhäuser gedacht. Das System, das sich derzeit noch im Entwicklungsstadium befindet, soll ebenfalls mit den in den Gebäuden vorhandenen Mess- und Regelsystemen kommunizieren, wobei die Daten für die energetische Optimierung auf zentralen Servern verarbeitet werden. Seine Markteinführung ist für Ende 2013 geplant.

Leistungsanalyse

Seit 2010 werden die Leistungsdaten (sowohl der Apparaturen als auch der Analyseinstrumente) der Neurobat-Heizungsregler auf diversen Pilotinstallationen in der Schweiz untersucht. Zwei dieser Testgebäude wurden seither eingehender betrachtet: Der Hauptsitz des CSEM in Neuenburg und die sogenannte «Villa» des Observatoriums in Neuenburg.

Als Referenzregler diente in beiden Gebäuden ein herkömmlicher moderner Heizungsregler (Econesta ECR 450 von Elesta). Die Resultate beider Regler, des konventionellen und des Neurobat-Reglers, wurden kontinuierlich in jeweils zweiwöchigen Intervallen miteinander verglichen. Dank dieses Testaufbaus konnten während der gesamten Heizperiode statistisch vergleichbare Daten erhoben werden. Die Tests zeigten zum einen, dass der Neurobat-Regler das Wasser tendenziell mit einer tieferen Vorlauftemperatur in den Heizkreis schickt als der Referenzregler (Bild 4) und dass er zum anderen in der Lage ist, die gewünschte Raumtemperatur präziser zu halten und ein Überheizen zu verhindern (Bild 5).

In der «Villa» wurde – verglichen mit dem herkömmlichen Regler – in den letzten Jahren eine Energieeinsparung von rund 20 % festgestellt. Im Hauptgebäude des CSEM betrug die Einsparung sogar 30 %. In beiden Fällen wurde die Reduktion vor allem aufgrund der Nachtabsenkung der Temperatur im Heizkreis und der antizipierten Freiwärme erreicht. Natürlich korrelieren diese Werte zwangsläufig mit der Art und der Ausstattung der Testgebäude. In jedem Fall können sie einen Ein-

Résumé **Nouveau concept de régulation intelligente**

Jusqu'à 30 % d'économie d'énergie de chauffage

L'énergie de chauffage des bâtiments représente plus de 36 % de la consommation énergétique suisse. Souvent d'origine fossile, elle est responsable d'une part importante des émissions de CO_2 du pays. Il est donc capital de réduire la consommation énergétique dans ce secteur et pour y contribuer, un régulateur de chauffage novateur a été développé.
Grâce à une approche adaptative et prédictive continue, le système Neurobat permet d'effectuer des économies nettement supérieures à celles des régulateurs actuels tout en améliorant le confort des utilisateurs. Sa facilité d'installation, tant pour les nouvelles maisons que lors de rénovations, ainsi que son entretien extraordinairement simple et peu coûteux, s'ajoutent aux avantages mentionnés ci-dessus.
La version française de cet article a paru dans le Bulletin 8/2012. No

druck von der Grössenordnung der Einsparungen vermitteln, die in Abhängigkeit von den Gebäudeparametern möglich sind.

Schlussfolgerung

Für den Bereich der Heizungsreglung ist die Markteinführung eines selbstlernenden, bedarfsgesteuerten Heizungsreglers ein wichtiger Meilenstein. Mit seinem optimierenden, adaptiven und prädiktiven Konzept kann der Neurobat-Heizungsregler die Energieeffizienz von Heizungsanlagen bedeutend steigern und dabei auch noch den Benutzerkomfort verbessern. Weitere Vorzüge sind seine unkomplizierte Installation in Neu- und Altgebäuden sowie der einfache und kostengünstige Unterhalt. Somit kann der Neurobat-Regler einen signifikanten Beitrag zur Verbesserung der Energieeffizienz des Gebäudeparks in der Schweiz leisten.

Referenzen

[1] A. Kircher, A. Kemmler, P. Hofer, M. Keller, M. Jakob, G. Catenazzi: Analyse des schweizerischen Energieverbrauchs 2000–2009 nach Verwendungszwecken. BFE, Dez. 2010.
[2] Office fédéral de la statistique: Bâtiment et logement – chiffres-clés. www.bfs.admin.ch/bfs/portal/fr/index/themen/09/02/blank/key/gebaeude/art_und_groesse.html.
[3] M. Bauer: Gestion biomimétique de l'énergie dans le bâtiment. PhD Thesis no 1792, EPFL, Lausanne, 1998.
[4] A.M. Nygard Fergusson: Predictive Thermal Control of Building Systems. PhD Thesis no 876, EPFL, Lausanne, 1990.
[5] Neurobat AG. www.neurobat.net.
[6] Sauter AG: Heating Control QRK 201. Technical Manual, Basel, 1996.
[7] D.P. Bertsekas: Dynamic Programming and Stochastic Control. Academic Press, New York, USA, 1976.
[8] N. Morel, M. Bauer, J. Krauss, M. El-Khoury: Neurobat, a predictive and adaptive heating control system using artificial neural networks. International Journal of Solar Energy – Special Edition on Intelligent Buildings, Vol. 21, pp. 161-201, 2001.
[9] J. Krauss, M. Bauer: Building heating control system. EPO Patent EP 0980034, 13.08.1998.

Angaben zu den Autoren

Dr. **Andreas Hutter** ist Diplomingenieur für Elektrotechnik. Er erwarb sein Diplom 1997 an der Technischen Universität München (TUM), wo er 2001 auch promovierte. Andreas Hutter ist Leiter des Bereichs CleanTech des CSEM.

CSEM, 2002 Neuenburg, andreas.hutter@csem.ch.

Dr. **Emmanuel Onillon** ist Diplomingenieur für Regeltechnik. Er erwarb sein Diplom 1991 an der Ecole Supérieure d'Electricité (Paris) und promovierte 1994 an der Université Paris Sud. Emmanuel Onillon arbeitet im CSEM an mehreren Entwicklungen für den Bereich Umwelttechnik mit.

CSEM, 2002 Neuenburg, emmanuel.onillon@csem.ch

Sohail Malik, Dipl. M., MCIM, besitzt ein Diplom im Bereich Marketing der University of the West of England (UWE), Grossbritannien, und umfassende Erfahrung in der Unternehmensführung. Er ist Gründer und CEO der Neurobat AG.

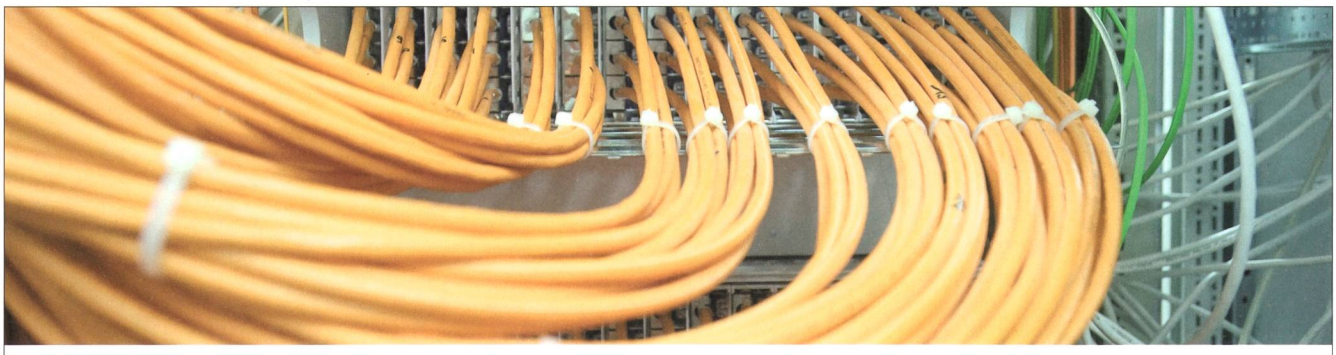
Neurobat AG, 5200 Brugg, sohail.malik@neurobat.net.

Jens Krauss leitet den Bereich «Systeme» des CSEM mit 68 Ingenieuren und Wissenschaftlern, die sich der Verwertung von Technologien in den Bereichen Biomedizin, wissenschaftliche Instrumente und CleanTech widmen. Als Ingenieur (EPFZ) und Spezialist für Steuerungstechnik war er an der EPFL von Beginn weg (seit 1996) an der Konzeption und Entwicklung des Neurobat-Heizungsreglers beteiligt.

CSEM, 2002 Neuchâtel, jens.krauss@csem.ch.

[1] 1 PJ = 1 Petajoule = 1015 J ≈ 278 GWh.
[2] Zwischen 2006 und 2010 wurden in der Schweiz 85 143 Gebäude errichtet; dies entspricht etwa 5,2 % des Gebäudeparks (1,64 Millionen Gebäude) im Jahr 2010 [2].

Anzeige



Ihre Ansprüche sind unsere Herausforderung.

Seit 65 Jahren bauen unsere Kunden auf unsere technische und wirtschaftliche Kompetenz beim Bau, Service und Unterhalt von Energie- und Telecomnetzen sowie Anlagen der Verkehrsinfrastruktur. Mit 500 kompetenten Mitarbeitenden an 20 Standorten sind wir immer nahe bei unseren Kunden – regional und schweizweit.

65 JAHRE / ANS
ARNOLD
Energie & Telecom

www.arnold.ch