

Zeitschrift: Tec21
Herausgeber: Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein
Band: 127 (2001)
Heft: 11: Kältemittel

Artikel: Intelligentes Klimatisieren: Prototyp eines neuronalen Heizungsreglers nach dem "Plug-and-Play"-Prinzip
Autor: Krauss, Jens
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-80133>

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

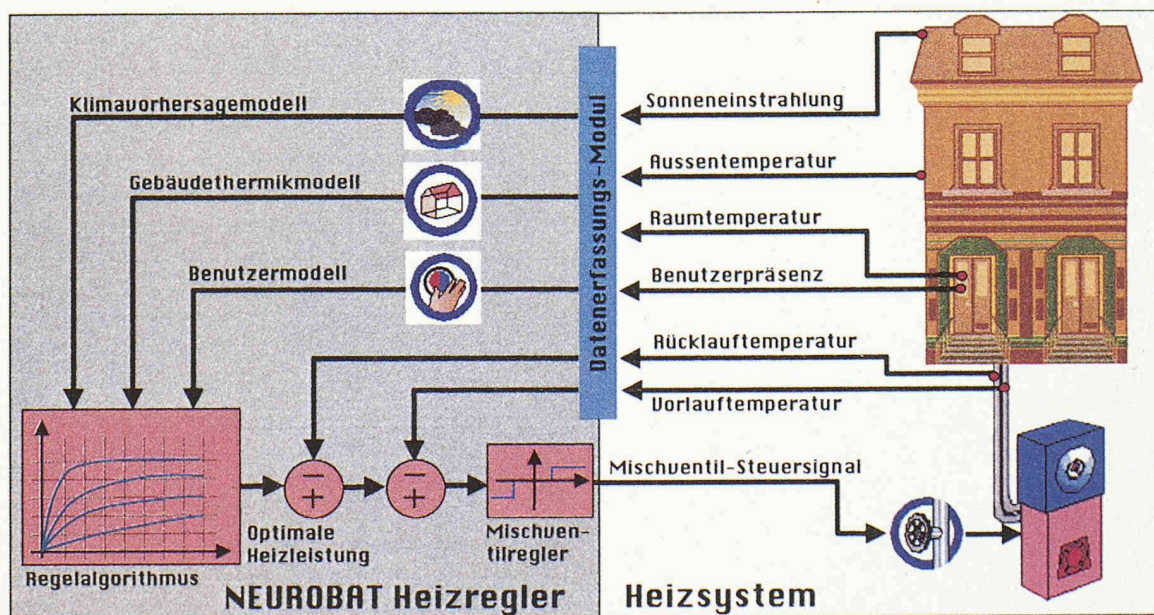
ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Intelligentes Klimatisieren

Prototyp eines neuronalen Heizungsreglers nach dem «Plug-and-Play»-Prinzip

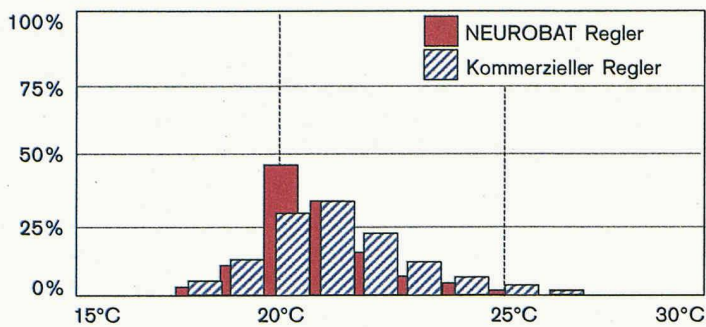
Herkömmliche Heizungsregler berücksichtigen die Gesamtenergiebilanz eines Gebäudes nicht. Dies führt zu einem energetisch nicht optimalen Betrieb. Zudem sind Inbetriebnahme und Unterhalt aufwändig. Im Hinblick auf diese Problematik beauftragte das Bundesamt für Energie (BfE) das Schweizerische Elektronik- und Mikrotechnikzentrum (CSEM), einen auf neuronalen Netzwerken basierenden Regler zu entwickeln, der dank lernfähiger Klima- und Gebäudemodelle die Heizleistung den klimatischen und gebäudetechnischen Gegebenheiten selbständig anpasst.

Adaptive Regelstrukturen, angepasste Algorithmen für die Start/Stop-Prozedur und benutzerorientierte Bedienungsflächen gehören heute zum Standard in der Klimatechnik. Allen gemeinsam ist das Konzept der vordefinierten Heizkurven. Die heute eingesetzten Heizungsregler steuern die Vorlauftemperatur des Heizkreises auf zwei Arten: Im «open loop control» wird – einem Zentralheizungsregler entsprechend – die Aussentemperatur, im «closed loop control» – einem Raumheizungsregler entsprechend – die Raumtemperatur als Referenz genommen. Im Vergleich dazu basiert das am CSEM neuentwickelte Regelkonzept des Prototyps «Neurobat» auf der Optimierung der zugeführten Heizleistung unter Berücksichtigung der vorhandenen Freiwärme, wie etwa der Sonneneinstrahlung oder der



1

Das Regelkonzept des Neurobat-Reglers: Aussentemperatur, Sonneneinstrahlung, Raumtemperatur, Vorlauf- und Rücklauftemperatur stehen als Sensorsignale zur Verfügung



2

Komfortquantifizierung im Vergleich: Die gemessenen Raumtemperaturen während der Benutzerpräsenz, Sollwert 20 °C

gebäudeinternen Freiwärme. Das intelligente Management der Freiwärme geschieht über ein neuronales Klimavorhersagemodul, das die zu erwartende Aussentemperatur und Sonneneinstrahlung schätzt. Mit Hilfe dieser «Wetterprognose» berechnet das zentrale Gebäudethermikmodell die optimale Heizleistung, die dem Gebäude zugeführt werden muss, um den erwünschten Benutzerkomfort zu gewährleisten. Eine einfache Schnittstelle zu herkömmlichen Heizungsreglern ist via Mischventilregelkreis gewährleistet. Dabei wird die Regelungs- und Steuerungssoftware von herkömmlichen Systemen durch den übergeordneten Energieregler des neuentwickelten Reglers erweitert. Letzterem stehen Aussentemperatur, Sonneneinstrahlung, Raumtemperatur, Vorlauf- und Rücklauf-temperatur als Sensorsignale zur Verfügung (Bild 1). Optional kann der Prototyp auch ohne Sonneneinstrahlungssensor und ohne Raumtemperaturmessung betrieben werden.

In der Entwicklungsphase

In einer ersten Projektphase wurden während zweier Heizperioden in den Jahren 1996–1998 in Büroräumlichkeiten der ETH Lausanne (LESO-PB/EPFL) Tests durchgeführt und die Resultate mit den Betriebsdaten eines kommerziellen, adaptiven, mit dem Start/Stop-Algorithmus und einer Raumtemperaturaufschaltung ausgerüsteten Heizungsreglers verglichen. Zwei thermisch unabhängige Büroräumlichkeiten von gleicher Dimension und Orientierung wurden mit zwei unabhängigen Heizkreisen ausgerüstet und dabei die Betriebseffizienz der Heizungsregler analysiert. Das Histogramm in Bild 2 zeigt für eine Heizsaison die während der Benutzerpräsenz gemessenen Durchschnitts-Raumtemperaturen. Der Sollwert wurde für die beiden Regelsysteme auf 20 °C festgelegt. Das Zeitprogramm der beiden Heizungsregler entspricht einer Benutzerpräsenz von 8–18 Uhr während den Wochentagen und einer Abwesenheit an den Wochenenden. Das Raumtemperatur-Histogramm zeigt für den neuentwickelten Regler eine Kumulierung der Raumtemperaturen um den Sollwert (Bild 2). Die Komfortdaten im Vergleich deuten auf ein verbessertes Management der passiven Energie (Sonneneinstrahlung und Abwärme) hin. Mittels der neuronalen Vorhersagemodulen ist der neue Regler in der Lage, den geforderten Komfort mittels Freiwärme energiesparend zu erhalten. Dies führt zu einer markanten Reduktion der Überheizwerte einerseits und des Energieverbrauchs andererseits. Die im vorliegenden Testfall realisierte Energieeinsparung betrug 13%. Zudem können bei stark veränderlichem Wetter, insbesondere während der Zwischensaison (Herbst und Frühling), Energieeinsparungen von bis zu 40% im Vergleich zu einem herkömmlichen Heizungsregler erreicht werden.

Der Prototyp im Härtetest

Aufgrund der erfolgsversprechenden Resultate wurde während einer zweiten Projektphase die industrielle Machbarkeit des Regelkonzepts mit der Entwicklung eines Prototypen (Bild 3) unter Beweis gestellt. Während der Heizsaison 1999/2000 wurde er in einem

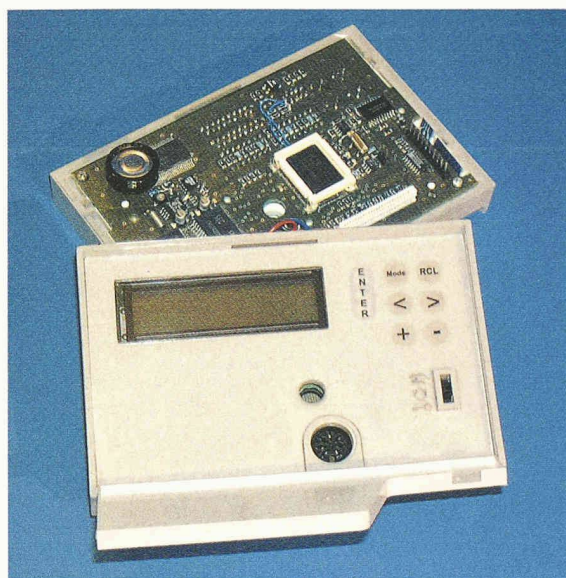
für den schweizerischen Immobilienpark repräsentativen dreistöckigen Wohngebäude in Basel getestet. Die relevanten Gebäudedaten sind: Verbrauchsenergie 770 MJ/m², Brennerleistung 17–23 kW. Die Betriebsdaten des Prototyps wurden mit den Leistungsdaten (energetische Effizienz und Benutzerkomfort) eines herkömmlichen Heizungsreglers verglichen, dessen Regelparameter während der Referenz-Testphase in der Heizsaison 1998/1999 kontinuierlich und manuell durch einen Gebäudeexperten angepasst wurden. Ein entsprechender Aufwand ist in der Praxis aufgrund der erforderlichen Kenntnisse in Regeltechnik und Gebäudethermik jedoch nicht möglich, wäre aber für einen optimalen Benutzerkomfort und einen energieeffizienten Betrieb unerlässlich. Die Analyse der Leistungsdaten zeigt eine vergleichbare Betriebsleistung der beiden getesteten Heizungsregler.

Während der kommerzielle Heizungsregler kontinuierlich manuell angepasst werden musste, funktioniert der getestete Prototyp nach dem «Plug-and-Play»-Prinzip. Die markant vereinfachte Inbetriebnahmeprozedur umfasst neben der Initialisierung von drei Serviceparametern, dem Längen- und Breitengrad sowie der maximalen Heizleistung, nur noch die Einstellung der beiden Benutzerparameter Komfort und Benutzerpräsenzzeit. Alle übrigen Einstellungen werden selbständig angepasst. Parameter-Einstellungsoptimierungen während oder nach der Inbetriebnahme der Anlage fallen deshalb weg. Der Prototyp erfüllt deshalb die Erwartungen bezüglich Energiesparpotential und Betriebskostenreduktion.

Eine neue Generation intelligenter Regler

Das Fundament einer energetisch effizienten Bedarfsregelung ist eine repräsentative mathematische Beschreibung des thermischen Verhaltens des Gebäudes. Die meist nicht-linearen Gleichungen eines thermischen Systems setzen sich als Produkte von Kontroll- und Systemvariablen aus bilinearen Komponenten zusammen. Entsprechend dieser nicht-linearen Charakteristik wurden für das Gebäudemodell im Prototyp «Neurobat» künstliche neuronale Netzwerke (ANN) herangezogen. Diese operieren als «Black-Box»-Modelle, erfordern keine vorgängige Information der Regelstrecke und vermögen aus dem multi-dimensionalen Informationsraum die nicht-linearen Eigenschaften des Systems herauszufiltern. Die Fähigkeit, Gebäude- und Betriebscharakteristiken selbständig zu erlernen, ist ein wichtiges Merkmal des neuronalen Gebäudemodells von «Neurobat» und der Schlüssel zur kostengünstigen Inbetriebnahme.

Die Erstellung der Gesamtenergiebilanz des Gebäudes erfordert zudem die Berücksichtigung der zu erwartenden Freiwärme, wie etwa der Sonneneinstrahlung oder der gebäudeinternen Freiwärme. Entsprechend dem Gebäudemodell werden künstliche neuronale Netzwerke benutzt, um die Klimadaten (Aussentemperatur und Sonneneinstrahlung) vorherzusagen. Aufgrund der berechneten «Wetterprognose» wird die für den gewünschten Benutzerkomfort erforderliche Heizleistung bestimmt. Die Regelgröße ist also nicht die Vor-



3

Der Neurobat-Prototyp basiert auf einem herkömmlichen Kompakt-Heizungsregler. Ein leistungsfähiger 16-bit-Prozessor wurde eingesetzt, um den Anforderungen des rechenintensiven Algorithmus zu genügen



4

Das Testgebäude CSEM in Neuenburg

lauftemperatur des Heizkreises, sondern die für einen optimalen Benutzerkomfort und unter Berücksichtigung der vorhandenen Freiwärme benötigte Heizleistung. Der Regelalgorithmus berechnet mittels Minimierung einer Kostenfunktion – bestehend aus Komfortkosten und Energieverbrauch – die optimale Heizleistung. Dank dem intelligenten Freiwärmanagement von «Neurobat» kann der optimale Benutzerkomfort mit minimalem Energieaufwand erreicht werden. Dabei resultiert eine markante Reduktion der Betriebskosten.

Eine Pilotanlage wurde im CSEM (Bild 4) aufgestellt und kann besichtigt werden. Mit einem noch zu bestimmenden Partner aus der HLK-Branche soll das neue Regelkonzept auf den Markt gebracht werden. Eine Energieeinsparung von 10% und mehr im Vergleich zu herkömmlichen Heizreglern und eine kostensparende Inbetriebnahme sind gute Voraussetzungen für eine erfolgreiche Kommerzialisierung. Das neue Regelkonzept könnte zudem mithelfen, die hochgesteckten Sparziele von EnergieSchweiz, dem Nachfolgeprogramm von Energie 2000, zu erreichen.

Jens Krauss, dipl. El.-Ing. ETH/SIA, CSEM (Centre Suisse d'Electronique et de Microtechnique), Rue Jaquet-Droz 1, 2007 Neuchâtel, www.csem.ch, jens.krauss@csem.ch

Literatur

- 1 Krauss, Bauer, Morel, El-Khoury: Neuronaler Regler in der Klimatechnik. Infrastructa Kongress, Swissbau, Basel (1998)
- 2 Krauss, Bauer, Morel: Neurobat – Predictive Neuro-Fuzzy Building Control System. Final Report, BfE Energy Conservation in Buildings, Bern (1998)
- 3 Krauss, Bauer, Bichsel, Morel: Neurobat – selbststellende, prädiktive und bedarfsgesteuerte Heizungsregelung. 11. Status-Seminar, ETH Zürich (2000)
- 4 Morel, Bauer, Krauss, El-Khoury: Neurobat – a predictive and adaptive heating control system using artificial neural networks. International Journal of Solar Energy, Special Edition (2001)
- 5 Krauss, Bauer, Bichsel, Morel: Neurobat – a self-commissioned heating control system. Volume: sensors in intelligent buildings. Wiley Verlag, Weinheim (2001)

AN DER ENTWICKLUNG DES PROTOTYPS BETEILIGTE FIRMEN UND FORSCHUNGSINSTITUTE

Estia GmbH, Manuel Bauer, PSE-B/EPFL,
1015 Lausanne, www.estia.ch, bauer@estia.ch

Sauter SA, Felix Gassmann, Kägenstr. 17,
4153 Reinach, www.sauter-controls.com,
felix.gassmann@ch.sauter-bc.com

LESO-PB/EPFL, Nicolas Morel, 1015 Lausanne,
lesowww.epfl.ch, morel@lesomail.ch