

# Selbsteinstellender, bedarfsgeregelter Heizungsregler

Jens Krauss, Mario El-Khoury  
Centre Suisse d'Electronique et de Microtechnique SA (CSEM SA)  
Jaquet Droz 1  
2007 Neuchâtel / NE  
<http://www.csem.ch>

Heute eingesetzte Heizungsregler steuern die Vorlauftemperatur des Heizkreises aufgrund der gemessenen Aussentemperatur ('open loop control' im Sinne eines Zentralheizungsregler) oder aufgrund einer Rückführung der Raumtemperatur ('closed-loop control' im Sinne eines Raumheizungsreglers). Moderne Heizungsregler wenden eine Kombination beider Methoden an und korrigieren die vordefinierten Heizkurven in Abhängigkeit der gemessenen Raumtemperatur und/oder der gemessenen Sonneneinstrahlung. Die verwendeten Regleralgorithmen verfügen zudem über optimierende Funktionen für das Aufstarten und Herunterfahren der Heizung. Trotzdem funktionieren modernste, heute eingesetzte kommerzielle Heizungsregler nicht optimal in Bezug auf das intermittierende Heizen und dem Management der vorhandenen Freiwärme, da die Regelstrategie auf einem thermisch stationären und unvollständigen Modell beruht. Modernste kommerzielle Heizungsregler erfordern zudem einen beträchtlichen Aufwand bei der Inbetriebnahme und während des Betriebs. Im Hinblick auf diese Problematik entwickelte das CSEM in Zusammenarbeit mit der Ingenieurfirma ESTIA Sàrl, und dem Institut LESO-PB/EPFL im Auftrag des Bundesamtes für Energie (BfE) ein prädiktives, auf neuronalen Netzwerken basierendes Heizungsregelsystem. Der auf Wohn- und Bürogebäuden eingesetzte Heizungsregler-Prototyp bestätigt das Energie-sparpotential und die Reduktion der Betriebskosten von regeltechnischen HLK-Produkten unter Anwendung von intelligenten Regelkonzepten. Im Rahmen eines weiterführenden Pilotprojekts wird der entwickelte industrielle Prototyp des NEUROBAT Heizungsreglers zurzeit auf dem Hauptgebäude des CSEM in Neuchâtel (NE, Schweiz), andererseits auf einem Wohngebäude mit Fussbodenheizung in Corcelles (VD, Schweiz) getestet.

## Regelkonzept

Der entwickelte Heizungsregler minimiert den Energieverbrauch unter Anwendung einer prädiktiven Regelstrategie kombiniert mit einer nicht-linearen Modellierung der Gebäudethermik, des Benutzerverhaltens und der Wettervorhersage unter Garantie eines optimalen thermischen Benutzerkomforts. Die Adaptation der Klimamodelle, der Gebäudecharakteristik und des Benutzerverhalten werden mittels künstlich neuronalen Netzwerken (KNN) durchgeführt und die Anwendung selbstlernender neuronaler Algorithmen ermöglicht eine beachtliche Reduktion der Betriebskosten für die Inbetriebnahme und den Unterhalt des NEUROBAT Heizungsreglers.

Fig. 1 zeigt das Blockdiagramm der prädiktiven Optimierung der Kostenfunktion des Neurobat-Reglers (Prädiktionshorizont von 6 Stunden). Wie bei fortgeschrittenen herkömmlichen Zentralheizungsregelsystemen stehen dem NEUROBAT-Regler Aussen-, Raum-, Vorlauf- und Rücklauftemperatur sowie Sonneneinstrahlung als Sensorsignale zur Verfügung. Optional kann der NEUROBAT Heizungsregler mit Betriebsleistungseinbussen ohne Sonneneinstrahlung-Sensor sowie ohne Messung der Raumtemperatur betrieben werden.

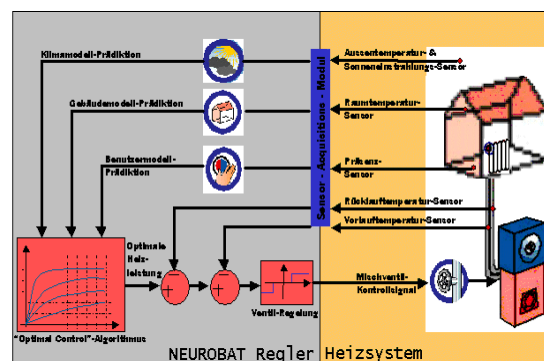


Fig. 1: Blockdiagramm des NEUROBAT-Heizungsreglers mit unterlagertem Hilfsregelkreis (Regelung der Vorlauftemperatur) und übergeordnetem Hauptregelkreis (Bestimmung der optimalen Heizleistung).

Die Innovation des entwickelten Regelkonzeptes besteht einerseits in der Reduktion des Energieverbrauches unter Anwendung eines intelligenten Freiwärmanagements, andererseits durch eine markante Vereinfachung der Inbetriebnahmeprozedur. Die in Fig.1 abgebildeten Regelblöcke sollen im folgenden kurz erläutert werden:

1. Das Klimamodul errechnet die "Wettervorhersage" mittels der aktuellen Messwerte der Aussentemperatur und der Sonneneinstrahlung über einen vordefinierten fixen Zeithorizont.
2. Das Gebäudemodul bildet das Gebäudeverhalten ab, welches aufgrund der Prädiktion der Klimadaten, der aktuellen Raumtemperatur und der Heizleistung das zukünftige thermische Verhalten des Gebäudes vorhersagt.
3. Ein zusätzliches Modul bildet das Benutzerverhalten und die Komforteinstellungen ab und bildet die Schnittstelle zwischen Benutzereingabe und Regelalgorithmus.
4. Die Berechnung der optimalen Heizleistung erfolgt mittels des dynamischen Programmieralgorithmus, der eine Kostenfunktion, bestehend aus Energieverbrauch und Benutzerkomfort über einen fixen Zeithorizont minimiert. Der den thermischen Komfort quantifizierende PMV-Faktor (Predicted Mean Vote) entspricht heute dem europäischen Standard (EN ISO 27730) zur Beurteilung des thermischen Komforts
5. Die Ventilsteuerung gewährleistet die Schnittstelle mit herkömmlichen HLK-Anlagen. Die vom NEUROBAT Regler errechnete, optimale und zu liefernde Heizleistung wird mittels der aktuellen Rücklauftemperatur in eine nominale Vorlauftemperatur umgerechnet.

Der NEUROBAT Heizungsregler zeichnet sich durch eine Optimierung der Betriebskosten aus, was ebenfalls durch eine Vereinfachung der Inbetriebnahmeprozedur bestätigt wird. Die Inbetriebnahme umfasst neben der Initialisierung von lediglich vier Serviceparametern die Einstellung bloss zweier Benutzerparameter (Komfortempfinden, Zeitprogramm). Während oder nach der Inbetriebnahme des Heizungsreglers seitens des Service-Personals oder der Benutzer sind keine weiteren Parameter-Einstellungsoptimierungen erforderlich. Die ausgeführten Tests und Simulationen ergeben, dass sich der NEUROBAT-Regler nach einer Betriebsdauer von drei Wochen optimal an die Regelstrecke adaptiert, wobei er während dieser Adaptionsphase eine Betriebseffizienz erzielt, die mit herkömmlichen Heizungsregelsystemen vergleichbar ist.

### Betriebsverhalten

In einer ersten Projektphase wurde das NEUROBAT Regelkonzept während zweier Heizperioden (1996-1998) in Büroräumlichkeiten des LESO-PB/EPFL getestet und mit den Betriebsdaten eines kommerziellen, adaptiven und 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. Die Kommutierung der Heizungsregelsysteme mittels eines eingebauten Schalters ermöglicht den fairen Vergleich der Betriebsdaten der beiden Heizungsregelsysteme. Damit konnte das für den Betrieb eines Heizungsregelsystemes entscheidende Verhalten der Benutzer teilweise kompensiert werden.

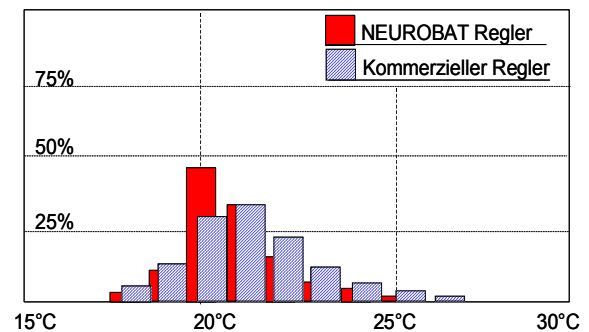


Fig. 2: Quantifizierung des Komforts während der Heizperioden im Vergleich. Das Histogramm der Raumtemperaturen (in [°C]) entspricht der während der Heizsaison gemessenen durchschnittlichen Raumtemperatur während der Benutzerpräsenz. Der Sollwert der Raumtemperatur wurde für die beiden Regelsysteme auf 20°C während der Präsenzzeit des Benutzers festgelegt. Das Zeitprogramm der beiden Heizungsregler entspricht einer Benutzerpräsenz von 8 bis 18 Uhr während den Wochentagen und einer Abwesenheit während den Wochenenden (Bürozeiten-Zeitprogramm).

Das Raumtemperatur-Histogramm zeigt für den NEUROBAT-Heizungsregler eine Kumulierung der Raumtemperaturen um den Sollwert und im Vergleich zum kommerziellen Heizungsregler eine Reduktion der Überheizwerte. Die Komfortdaten im Vergleich bestätigen ein verbessertes Management der passiven Energie (Sonnenenergie, Abwärme) des NEUROBAT Reglers. Mittels der neuronalen Prädiktionsmodulen ist der Regler in der Lage, den geforderten Komfort zu antizipieren und diesen mittels der Freiwärme energiesparend zu erhalten. Dies führt zu einer markanten Reduktion der Überheizwerte einerseits und des Energieverbrauches andererseits. Die im vorliegenden Testfall realisierte Energie-

ein-sparung betrug 13%. Im Besonderen sei an dieser Stelle die Betriebseffizienz des NEUROBAT Reglers während der sogenannten Zwischen-saisons (Herbst und Frühling) erwähnt, wo aufgrund des sich stark ändernden Klimas Energieeinsparungen von bis zu 40% im Vergleich zu einem modernen, kommerziellen Heizungsregler erreicht worden sind.

### Prototypenentwicklung

Aufgrund der erfolgsversprechenden Resultate wurde während einer zweiten Projektphase die industrielle Machbarkeit des Regelkonzeptes mit der Entwicklung und den Tests eines Prototypen unter Beweis gestellt.



*Fig. 3: Industrieller NEUROBAT Heizungsreglerprototyp. Die Benutzerparameter (Raumsollwert, Komfortperiode) sowie die vier Serviceparameter (Längengrad, Breitengrad, Gebäudeorientierung und maximale Heizleistung) können über eine einfache Benutzerschnittstelle mit LCD-Anzeige und Tastatur definiert werden.*

Fig. 3 zeigt den industriellen NEUROBAT Prototypen, dessen H/W-Konzept auf einem herkömmlichen, kommerziellen Kompakt-Heizungsregler beruht. Dabei wurde ein leistungsfähiger 16-bit Prozessor eingesetzt, um den Anforderungen des rechenintensiven NEUROBAT-Regelalgorithmus zu genügen.

Der NEUROBAT-Heizungsregler wurde während der Heizsaison 1999-2000 auf einem für den schweizerischen Immobilienpark repräsentativen 3-stöckigen Wohngebäude in Basel getestet (Verbrauchsenergie von 770 [MJ/m<sup>2</sup>], Brennerleistung von 17-23kW). Die Betriebsdaten des NEUROBAT Heizungsreglers wurden mit den Leistungsdaten (energetische Effizienz und Benutzerkomfort) eines modernen und kommerziellen Heizungsreglers verglichen. Dabei wurden die Regelparameter des kommerziellen Heizungsreglers während der Referenz-Testphase (Heizsaison 1998-1999) kontinuierlich und manuell durch einen Gebäudeexperten angepasst: ein entsprechendes Niveau der Regelparameter-Adaptation ist in der Praxis jedoch nicht erreichbar (aufgrund der erforderlichen Kenntnisse der Regeltechnik und der Gebäudethermik), wäre aber Bedingung für einen optimalen Benutzerkomfort und einen energieeffizienten Betrieb. Die Analyse der Leistungsdaten der beiden Heizungsregler zeigt betreffend der energetischen Effizienz und des Benutzerkomforts eine vergleichbare Betriebsleistung der beiden getesteten Heizungsregler. Während jedoch der kommerzielle Heizungsregler kontinuierlich manuell angepasst wurde, funktioniert der NEUROBAT-Heizungsregler nach dem "Plug-and-Play"-Prinzip: Bei Inbetriebnahme sind lediglich die Einstellung der vier Service- und zweier Benutzerparameter erforderlich. Alle übrigen Einstellungen optimiert der NEUROBAT-Heizungsregler aufgrund seiner lernfähigen neuronalen Reglermodule selbstständig. Der Benutzer und Heizungsinstallateur kann Begriffe wie Heizkurve, Parallelverschiebungen, Nachtabsenkung, etc. vergessen und der NEUROBAT Heizungsregler garantiert eine optimale und kostensparende Inbetriebnahme.

### Pilotinstallation

Im Rahmen eines weiterführenden Pilotprojekts wird der entwickelte industrielle Prototyp des NEUROBAT Heizungsreglers zurzeit in einer Heizzone (Nord-Ost) des CSEM- Hauptgebäude eingesetzt. Dabei soll seine Betriebs-effizienz bezüglich Inbetriebnahme und Energieeinsparung während der Heizsaison 2001/2002 mit den Daten eines kommerziellen Gebäudeteilsystems verglichen werden.

Eine erste Analyse der Messdaten der Pilotinstallation bestätigt die Resultate der Entwicklungsphasen des NEUROBAT Projektes: Mittels den neuronalen Prädiktionsmodulen ist der NEUROBAT Heizungsregler in der Lage, den geforderten Komfort zu antizipieren und diesen mittels der Freiwärme energiesparend zu erhalten. Die auf Grund der heute vorhandenen Mess-

Messdaten geschätzte Energieeinsparung liegt bei rund 12%, wobei die einfache Installation und der günstige Unterhalt des NEUROBAT Heizungs-reglers die Betriebskosten der Heizung zusätzlich senken.

Die Resultate der Pilotanlage im Hauptgebäude des CSEM und die parallel durchgeführten Tests auf einem Wohngebäude mit Fussbodenheizung in Corcelles (VD) sollen den Industrialisierungsprozess des NEUROBAT Heizungsreglers unterstützen. Mit einem noch zu bestimmenden industriellen Partner soll der patentierte NEUROBAT Heizungsreglers kommerzialisiert werden, wobei ein Energieeffizienz-Label die Vermarktung unterstützen soll.

#### Literaturhinweise

- [1] N. Morel, M. Bauer, M. El-Khoury, J. Krauss, "NEUROBAT – a predictive and adaptive heating control system using artificial neural networks", International Journal of Solar Energy, Special Edition "Intelligent Buildings", OPA, N.V., USA, May 2001
- [2] J. Krauss, M. Bauer, J. Bichsel, N. Morel, "NEUROBAT – a self-commissioned heating control system", Volume: Sensors in Intelligent Buildings", Wiley-VCH, Weinheim, Germany, May 2001

## **SGA - ASSPA - SSAC Generalversammlung 2002**

am

Montag, 10 Juni 2002  
vom 14.00 bis 17.00 Uhr

Gastgeber: Dr. Jürg Keller  
Fachhochschule Solothurn-Nordwestschweiz  
Bittertenstr. 15  
4702 Oensingen  
Vorlesungssaal 103