



## Bundesamt für Energie

3003 Bern

### JAHRESBERICHT 1999

**Über die Arbeiten gemäss Auftrag:**

Vertrags-Nr: 68'821

Projekt-Nr: 29'083

**Titel des Projekts:** NEUROBAT – Neuro-Fuzzy Heizungsregler (Phase II)

#### **Zusammenfassung:**

Die Phase II des NEUROBAT Projektes zielt im Hinblick auf eine neue Generation von Heizungsreglerprodukten auf eine Umsetzung des in der Phase I konzipierten Regelalgorithmus ab. Dabei soll im Besonderen die Realisierbarkeit des NEUROBAT Regelkonzeptes auf einer industriellen Rechenplattform und die Validierung des NEUROBAT Heizungsreglers auf einem mehrstöckigen Wohngebäude untersucht werden.

Der vorliegende Jahresbericht fasst die folgenden Resultate der Projektphasen der Definitions- und der Entwicklungsphase des NEUROBAT Projektes, Phase II, zusammen:

- Die Optimierung des NEUROBAT Regelalgorithmus wie die verbesserte Inbetriebnahmeprozedur, die Optimierung des Gebäude- und des Klimamodelles und die Entwicklung der Regleroptionen
- Die Resultate der H/W- und S/W-Entwicklung des Prototypen des NEUROBAT Heizungsreglers sowie die Inbetriebnahme des NEUROBAT Prototypen
- Die Evaluationsresultate (Funktionsanalyse, Komfort- und Energieeffizienz) der Testdaten des kommerziellen Heizungsreglers der Heizsaison '98/'99

Am Schluss des Jahresbericht sind Hinweise betreffend der F&E-Zusammenarbeiten, der Zukunfts-Perspektiven und der Publikationen zusammengefasst.

**Dauer des Projekts:** 31.11.1998 – 31.06.2000

**Beitragsempfänger:** SAUTER S.A., CSEM S.A., ESTIA S.à.r.l, LESO-PB/EPFL

**Berichterstatter:** Jens Krauss (CSEM S.A.)

**Adresse:** CSEM - Advanced System Engineering  
Jaquet-Droz 1  
2000 Neuchâtel / NE

**Telefon:** 032 / 720 55 46

**Email:** jens.krauss@csem.ch

## 1. Einleitung

Das während der Phase I des NEUROBAT Projektes entwickelte Heizungsreglerkonzept erzielt mittels des besseren Managements der Fremdwärme (Sonneneinstrahlung, Abwärme von Mensch und Maschine), sowie der Adaptation der Regelparameter in Abhängigkeit der Benutzerpräsenz eine markante Reduzierung des Energieverbrauches (Simulationsstudien und Tests zeigten eine Einsparung von ca. 10 % im Vergleich zu einem modernen kommerziellen Heizungsregler), sowie eine einfache und kostensparende Inbetriebnahme. Die technischen Spezifikationen des entwickelten NEUROBAT Heizungsreglerkonzeptes können wie folgt zusammengefasst werden:

- Der NEUROBAT Zentralheizungsregelalgorithmus optimiert aufgrund einer Kostenfunktion die zu liefernde Heizleistung.
- Der NEUROBAT Zentralheizungsregler entspricht einem selbsteinstellenden und unterhaltsfreien Regelgerät. Die Zahl der Serviceparameter ist auf ein Minimum beschränkt ( $<10$ ).
- Das NEUROBAT Regelkonzept basiert auf einer neuronalen Modellierung für die Vorhersage von Klimadaten und des Gebäudeverhaltens. Mittels des dynamischen Programmialgorithmus wird die Kostenfunktion, bestehend aus dem PMV-Komfortfaktor und dem Energieverbrauchsfaktor, minimiert und die optimale Heizleistung berechnet.
- Der NEUROBAT Regelalgorithmus ermöglicht den Verbund mit Standard-Schnittstellen von HLK-Regelgeräten, wie Benutzerschnittstelle, Serviceschnittstelle, Stellmotor und Sensoren. Die verwendeten Sensoren des NEUROBAT Zentralheizungsregler entsprechen den Sonden für Aussen-, Innen-, Vorlauf- und Rücklauftemperatur, sowie der Sonneneinstrahlung. Die NEUROBAT Regleroptionen ermöglichen einen Betrieb mit reduzierter Betriebsleistung ohne Raum- respektive ohne Sonnensensor.

Die Phase II des NEUROBAT Projektes zielt im Hinblick auf eine neue Generation von Heizungsreglerprodukten auf eine Umsetzung des in der Phase I konzipierten Regelalgorithmus ab. Dabei soll im Besonderen die Realisierbarkeit des NEUROBAT Regelkonzeptes auf einer industriellen Rechenplattform und die Validierung des NEUROBAT Heizungsreglers auf einem mehrstöckigen Wohngebäude untersucht werden. Zielsetzung der Untersuchungen des NEUROBAT Projektes, Phase II, sind:

- Optimierung des NEUROBAT Regelalgorithmus im Hinblick auf Installations-Rahmenbedingungen wie z.B. Heizregelsysteme mit mengengeführter Durchflusssteuerung, ohne Raumtemperaturfühler respektive ohne Sonnenfühler, etc.
- Definition und Tests der Inbetriebnahmeprozedur des NEUROBAT-Heizungsreglers
- Machbarkeitsanalyse des NEUROBAT Regelkonzeptes im industriellen Kontext
- Realisierung eines NEUROBAT Prototypen
- Validierung des NEUROBAT Zentralheizungsregler-Prototypen auf einem mehrstöckigen Wohngebäude.

## 2. Projektziele 1999

Die Phase II des NEUROBAT Projektes ist in eine Definitions-, eine Entwicklungs-, eine Test- und eine Optimierungsphase unterteilt. Die Definitionsphase des Projektes (Nov.1998 – März 1999) zielt auf eine Erarbeitung der technischen Spezifikationen des NEUROBAT Heizungsreglers ab. Dabei sollen Optionen des NEUROBAT Heizungsregler auf ihre Machbarkeit hin untersucht und die Inbetriebnahme des NEUROBAT Heizungsreglers definiert werden.

Die Aktivitäten der Entwicklungsphase (April 1999 – Oktober 1999) fokussieren auf die Entwicklung eines industriellen Prototypen des NEUROBAT Heizungsreglers. Die während der Definitionsphase entwickelten Options-Schätzalgorithmen sollen mittels reellen Testdaten überprüft werden (Leistungsverluste der Regleroptionen) und der NEUROBAT Reglealgorithmus soll im Hinblick auf die Inbetriebnahmeprozedur und den Datenspeicher der Reglermodelle optimiert werden.

Die Testdaten der Testphase IIa (Heizsaison 1998/1999 mit einem kommerziellen Regler auf einem Testgebäude in Basel) sollen betreffend des Energieverbrauches, des resultierenden Komforts und den Funktionen des kommerziellen Heizungsreglers analysiert werden.

### **3. Geleistete Arbeiten und Resultate**

#### **3.1 Optimierung der Inbetriebnahmeprozedur**

##### **Meteo-Serviceparameter**

Die durchgeführte Sensitivitätsanalyse der Meteo Service-Eingabeparameter resultiert in eine Reduktion der Eingabeparameter auf Breiten- und Längengrad und der Gebäudeorientierung.

Die Resultate der Sensitivitätsanalysen zeigen, dass für eine analoge Realisierung (DIP Schalter) der Benutzeroberfläche ein Raster von  $10^\circ$  für den Längengradparameter und  $5^\circ$  für den Breitengradparameter erforderlich ist. Ein entsprechendes Raster resultiert in eine Einbusse der Betriebsleistung von 3 – 4% . Die Eingabe der Gebäudeorientierung kann mittels eines 5-Positionen DIP-Schalters erfolgen, der die Ausrichtung des Gebäudes nach N, O, S, W oder neutral definiert.

##### **Gebäude-Serviceparameter**

Die Resultate der Sensitivitätsanalyse der Gebäudeinitialisierungs Eingabeparameter (Gebäudetypen gemäss grössenunabhängige Parameter  $a_1$ ,  $a_2$  und  $a_3$ ) zeigen einen geringen Einfluss betreffend der Betriebsleistung des NEUROBAT Heizungsreglers jedoch eine langsame Konvergenz eines gemeinsam vergleichbaren thermischen Verhaltens. Zudem können aus den Simulationsresultate keine Eingaberegeln hergeleitet werden. Aufgrund der Resultate dieser Simulationsstudie wird gefolgert, dass die Inbetriebnahme des NEUROBAT Heizungsreglers dahingehend vereinfacht werden kann, dass lediglich ein globales Gebäudeinitialisierungsmodell definiert wird. Zudem müssen die Lernmethoden des Gebäudemodelles verbessert werden, um eine optimale Konvergenz des thermischen Verhaltens zu garantieren.

Die Sensitivitätsstudie des  $P_{max}$  Eingabeparameter zeigt, dass eine 100% Fehlereingabe des Serviceparameters betreffend den Einbussen der Betriebsleistung des NEUROBAT Reglers tolerierbar ist. Für eine Eingabe des  $P_{MAX}$  Serviceparameters in der Grössenordnung von 5 bis 100 kW wird daher eine 100% Auflösung gemäss einer Eingabe mit dem Einstellvektor [5 10 25 50 100] vorausgesetzt.

#### **3.2 Optimierung des NEUROBAT Regelalgorithmus**

##### **Klimamodell**

Eine Optimierung der Klimamodelle (Vorhersage der Sonneneinstrahlung) wurde mittels einer Kombination eines Saison-Modelles mit einem Kurzzeit-Modell (basierend auf Klimadaten von einigen wenigen Wochen) erreicht. Die Resultate der Vorhersagefehler und deren Streuung zeigen eine Verbesserung, doch im Hinblick auf eine Implementation auf eine industrielle Plattform erscheint der zusätzliche Aufwand als nicht gerechtfertigt. Für die Endversion des NEUROBAT Reglers wird deshalb ein kumulatives Saison-Modell angewendet, welches nebst den Jahreszeit-Daten ebenfalls die kurzzeitigen Schwankungen berücksichtigt.

Die Analyse der optimalen Länge des Datenspeichers ergab einen Wert von 4 bis 6 Wochen, wobei im Unterschied zum ursprünglichen Konzept (wöchentliche Neu-Bestimmung der Modellparameter) eine tägliche Berechnung der Modell-Parameter ausgeführt wird.

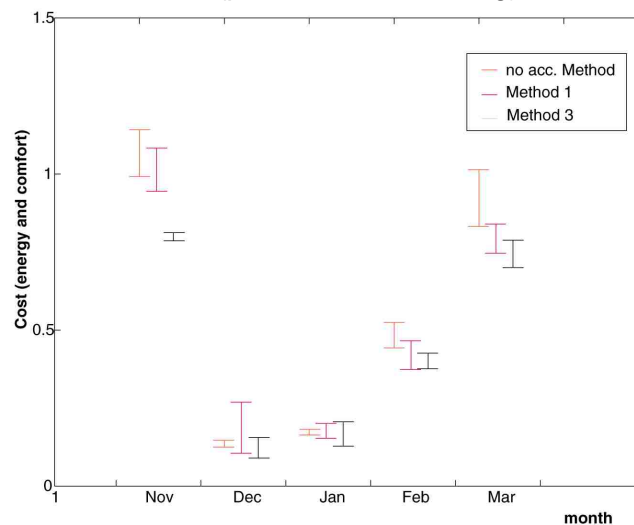
##### **Gebäudemodell**

Um die Initialisierungsphase zu beschleunigen und betreffend den Leistungsdaten robuster zu machen, wurden folgende drei Methoden analysiert:

1. Das Initialisierungsbeispiele des globalen Datenspeichers werden schrittweise mittels einer Vergesslichkeitsfunktion basierend auf einer Zeitkonstante überschrieben.

2. Das neuronale Netzwerkmodell wird nicht mittels des linearen Knotenmodelles initialisiert. Die Wahl des entsprechenden und zu verwenden Gebäudemodelles wird während der Berechnung der optimalen Heizleistung durchgeführt. Diese Wahl wird in Funktion der An- oder Abwesenheit eines realen Datenpunktes im globalen Datenspeicher ausgeführt.
3. Das Initialisierungsmodell berechnet lediglich mit 32 Datenpunkte (anstatt der ursprünglich 1024) des globalen Datenspeichers. Es besteht keine Vergesslichkeitsfunktion, sondern eine normale Aktualisierung der Daten.

Durch die Anwendung der Methode der partiellen Initialisierung für die Beschleunigung des Lernprozesses konnte der Einfluss der Initialisierungsmodelle (siehe Kapitel 3.1) reduziert werden. Figur 1 zeigt die monatlichen Kosten (Energie und Komfort) betreffend der Anwendung der Methoden NEUROBAT (nicht beschleunigte Lernphase), Methode 1 (Vergessensfunktion) und Methode 3 (partielle Initialisierung).



**Figur 1: Monatliche Entwicklung der Funktionskosten in Abhängigkeit der Lernmethoden (Originalfunktion, Vergessensfunktion und partielle Initialisierung)**

### 3.3 NEUROBAT Regleroptionen

Um nicht nur eine einfache, sondern ebenfalls kostengünstige Installation und Inbetriebnahme des NEUROBAT Heizungsreglers zu gewährleisten, wurden weniger leistungsfähige ‚plug-and-play‘ Heizungsreglerversionen untersucht.

#### Option ohne Sonnenfühler

Diese NEUROBAT Reglerversion erfasst Vorlauf-, Rücklauf-, Aussen- und Raumtemperatur. Die Wahl der Substitutionsalgorithmen für die Vorhersage der Sonneneinstrahlung hängt von den weiteren zur Verfügung stehenden Sensorsignalen ab, jedoch resultiert generell ein Betriebsverlust von 1% bis 3% betreffend des Energieverbrauches und durchschnittlichen 5% betreffend des Komforts.

#### Option ohne Raum- und Sonnenfühler (Low-Cost Version)

Die ‚Low-Cost‘-Reglerversion des NEUROBAT Konzeptes orientiert sich an den kommerziellen ‚Low-cost‘-Heizungsreglern, welche lediglich über einen Aussentemperaturfühler verfügen und aufgrund dieser Grösse mittels vordefinierten Heizkurven die Vorlauftemperatur regeln. Um den NEUROBAT Heizungsregelalgorithmus in dieser Art und Weise anzuwenden, muss ein Schätzalgorithmus für die Raumtemperatur entwickelt werden, da die zu optimierende Kostenfunktion des dynamischen Programmieralgorithmus die Raumtemperatur als Signalgrösse benötigt.

Eine indirekte Methode zur Schätzung der Raumtemperatur eines Gebäudes wurde analysiert. Diese Methode basiert auf einem einfachen dynamischen Modell des Heizkreises. Die Temperaturmessungen der Vorlauf- und der Rücklauftemperatur genügen um die Raumtemperatur zu schätzen. Die Evaluation des Modelles unter realen Bedingungen (Testgebäude in Basel) zeigt:

- Die Präzision der geschätzten Raumtemperatur beträgt 2-3°C
- Das Modell ist empfindlich betreffend Veränderungen des Heizkreises (z.B. Variation des Durchflusses, Aenderung der Temperatursensoren).

Die Methode ist jedoch beschränkt in die Praxis umsetzbar:

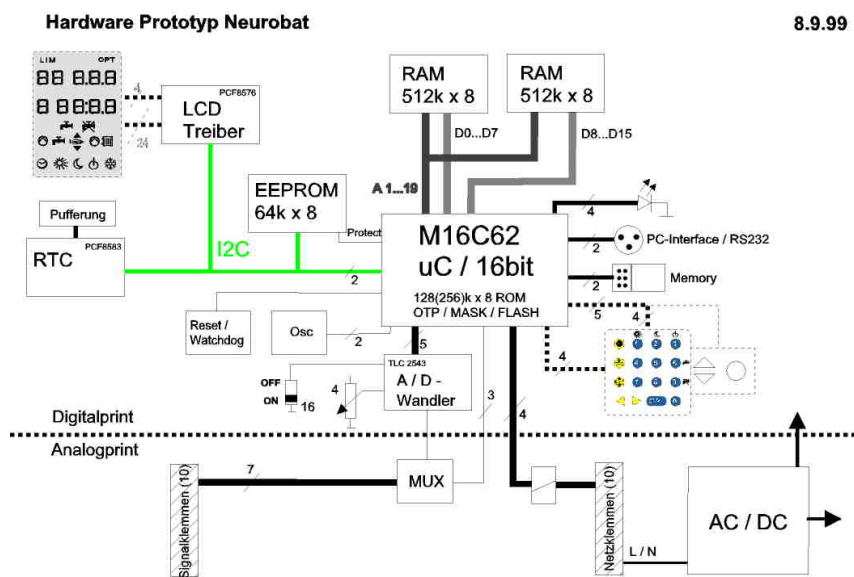
- Die Raumtemperatur muss während der Inbetriebsetzung gemessen werden (Parameteridentifikation des Modelles)
- Der Durchfluss des Heizkreises muss konstant sein
- Die Zirkulationspumpe muss kontinuierlich eingeschaltet sein (die Raumtemperatur muss seitens des Heizungsreglers jederzeit verfügbar sein).
- Bei Aenderung des Heizkreises (Aenderung der Sensoren, Modifikation der Geschwindigkeit der Zirkulationspumpe, etc.) muss die Identifikation wiederholt werden

Um eine Raumtemperaturmessung anlässlich der Inbetriebnahme zu vermeiden, wurde eine Methode einer nächtlichen Parameteridentifikation angewendet. Die erhaltenen Resultate zeigen, dass es nicht möglich ist, die Parameter des Heizkreises ausschliesslich in der Nachtperiode anzupassen.

Um die Einschränkungen der untersuchten Methoden zu umgehen, wurde eine empirische Methode getestet. Diese besteht darin, die Raumtemperatur entsprechend der Rücklauftemperatur zu bestimmen, falls der Betrieb der Heizung während einer längeren Periode (nächtliche Absenkung) reduziert wurde. Mit Einschalten der Heizung zu Beginn der Komfortperiode wird die Raumtemperatur mittels des Gebäude-Initialisierungsmodelles berechnet. Diese Methode erlaubt die Unterdrückung der Messung der Raumtemperatur während der Inbetriebnahme. Im Vergleich zu Betriebsleistung von modernen, kommerziellen Heizungsreglerversionen, welche in Phase I des NEUROBAT Projektes getestet wurden, zeigt dieser NEUROBAT „Low-Cost“ Regler vergleichbare Resultate (betreffend Energieverbrauch und thermischen Komfort)

### 3.4 NEUROBAT Prototypen Entwicklung

Die Aktivitäten der Entwicklungswirkungsphase fokussierten sich auf die Entwicklung des NEUROBAT Prototypen. In einem ersten Schritt wurde das H/W Konzept des NEUROBAT-Prototypen realisiert und der Regelalgorithmus auf die Mikrocontroller-Plattform transferiert. In einem zweiten Schritt wurde die S/W integriert und nach funktionellen Tests auf einer Simulationsplattform wurde der NEUROBAT Prototyp Anfang Oktober 1999 auf dem Testgebäude in Basel installiert.



**Figur 2: H/W Konzept des NEUROBAT Prototypen**

Figur 2 zeigt das Hardware-Konzept des NEUROBAT Prototypen. Die Hardware-Plattform des NEUROBAT-Prototypen basiert auf einem konventionellen Kompakt-Heizungsregler (QRK151) und dessen Analog/ Leistungsprint kombiniert mit einem für diesen Zweck konzipierten Digital / Messprint. Der Digitalprint ist mit einem 16-Bit Mikroprozessors bestückt (Mitsubishi M16C). Die Ausführung wurde steckerkompatibel in einem angepassten Seriegehäuse des oben erwähnten Kompaktreglers eingebaut. XX zeigt die Front des NEUROBAT Prototypen.

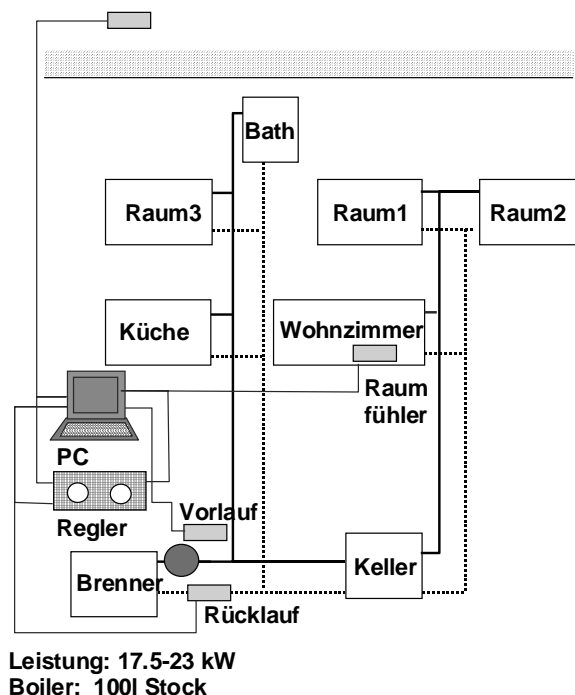


Figur 3: Benutzerschnittstele des NEUROBAT Prototypen

### 3.5 Testphase IIa

#### Test-Installation

Die Testphase des NEUROBAT Projektes, Phase 2, erstreckt sich über die Heizperioden 98/99 und 99/00. In der Heizsaison 98/99 wurde zu Vergleichszwecke ein kommerzieller SAUTER Heizungsregler (Equitherm QRK201) installiert und die Testdaten analysiert. Die Heizsaison 99/00 dient zur Analyse des NEUROBAT Heizungsreglers.



Figur 4: Funktionelles Installationsschema des Testgebäudes in Basel

Beim Testgebäude in Basel handelt es sich um ein Zweifamilien-Wohnhaus auf drei Etagen (siehe Figur 4 und Figur 5). Als Messsystem wurde ein vom Heizungsreglersystem unabhängiges Datenakquisitionsverfahren gewählt. Das Verfahren der Positionierung von autonomen Dataloggern garantiert eine vom Regelalgorithmus unabhängige Evaluation der Betriebsleistung des Heizungsreglers. Zur Messung der Raumtemperatur wurden mehrere Messsonden in unterschiedlichen Wohnräumen mit verschiedener Benutzung und Ausrichtung installiert. Zur Evaluation der Betriebsleistung des Heizungsregelalgorithmus werden zusätzlich die Vorlauf- und Rücklauftemperatur gemessen, sowie die Ausgangssignale des Wärme- und Energiezählers registriert. Um den benutzerabhängigen Komfort zu analysieren wurde ein Präsenzsensoren installiert (Schalter). Die Klimabedingungen werden in Ergänzung zu den Messdaten der Meteostation Basel durch die Signale der Aussentemperatur und der globalen, horizontalen Sonneneinstrahlung vervollständigt.



**Figur 5: Westfassade des Testgebäudes in Basel**

### **Analysemethoden**

Die Analyse der Testresultate der Heizsaison 98/99 (SAUTER Regler QRK150) und 99/00 (NEUROBAT Heizungsregler) wird mittels zweier Methoden durchgeführt.

Die erste Evaluationsmethode entspricht einer Funktionsanalyse der Heizungsregelung. Während kurzen Zeitabschnitten (von 4 bis 9 Tagen) unter unterschiedlichen klimatischen Bedingungen werden im Detail die möglichen Regelfunktionen analysiert. Diese Methode erlaubt eine Bewertung der Reglerfunktionen unter unterschiedlichen Bedingungen, insbesondere:

- Winterklima, Zwischensaison und Ende der Saison
- Schaltzeitprogramm : nächtliches Absenken der Sollwerttemperatur, tägliche Unterbrechung der Komfortperioden, längere Abwesenheiten

Die zweite Evaluationsmethode entspricht einer Leistungsanalyse. Diese Analyse (während der gesamten Heizperiode) erlaubt folgende Schlussfolgerungen:

- Wärmetechnischer Wohnkomfort
- Energieverbrauch
- Die Verbrauchscharakterisierung in Funktion äusserer Parameter (energetische Effizienz) zur Berechnung des Energieverbrauches während eines Jahres unabhängig der äusseren Bedingungen.



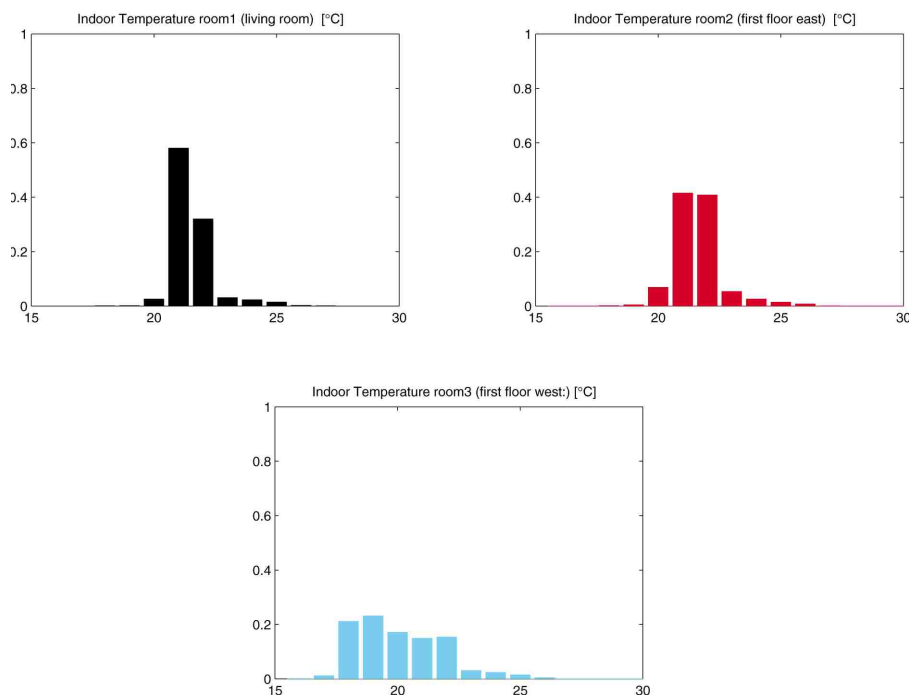
## Evaluationsergebnisse

Während der Heizsaison 98/99 wurde der kommerzielle SAUTER Heizungsregler (QRK 150) auf dem Testgebäude in Basel ausgewertet und analysiert.

Während der Wintersaison ist die Antizipation der Komfortperioden sowie die Regelung der Raumtemperatur auf den Sollwert beinahe perfekt (siehe Figur 6 und Figur 7). Dies erklärt sich durch eine vernachlässigbare Trägheit des Gebäudes und einem minimalen Fremdwärmepotential (insbesondere der Sonneneinstrahlungswärme). Eine Antizipation der Fremdwärme wurde durch eine Reduktion der Wärmezufuhr zwischen 9:00 bis 11:00 erreicht (manuelles Schaltzeitprogramm), was den thermischen Komfort und den Energieverbrauch verbesserte.

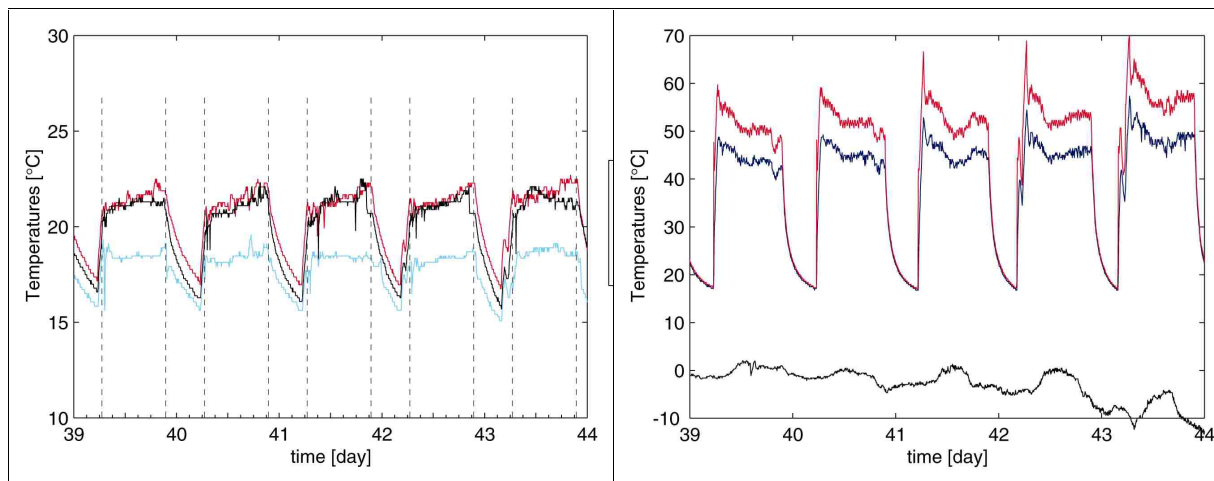
Eine potentielle verbesserte Antizipation der Fremdwärme während den Zwischensaisons konnte festgestellt werden, wobei dabei der Energieverbrauch reduziert und der Komfort verbessert werden könnte.

Es muss an dieser Stelle erwähnt werden, dass die Regelparameter des kommerziellen Heizungsreglers manuell durch einen Experten eingestellt wurden, der die Funktionalitäten des Reglers und das thermische Verhalten des Gebäudes bestens kennt. Unter diesen Bedingungen entsprechen die Testresultate einer idealen Vergleichsbasis zum NEUROBAT Regler, jedoch wird ein entsprechendes Einstellniveau in der Praxis nie erreicht. Daher ist der Spielraum einer Leistungsprogression, welche an den Heizungsregler gebunden ist, für den vorliegenden Testfall gering. Für die kommende Heizsaison werden vom NEUROBAT-Regler vergleichbare Resultate erwartet, die jedoch ohne Intervention eines Experten resultieren. Zudem ist eine wesentliche Verbesserung der Leistungsdaten während den Zwischensaisons (Herbst, Frühling) zu erwarten.



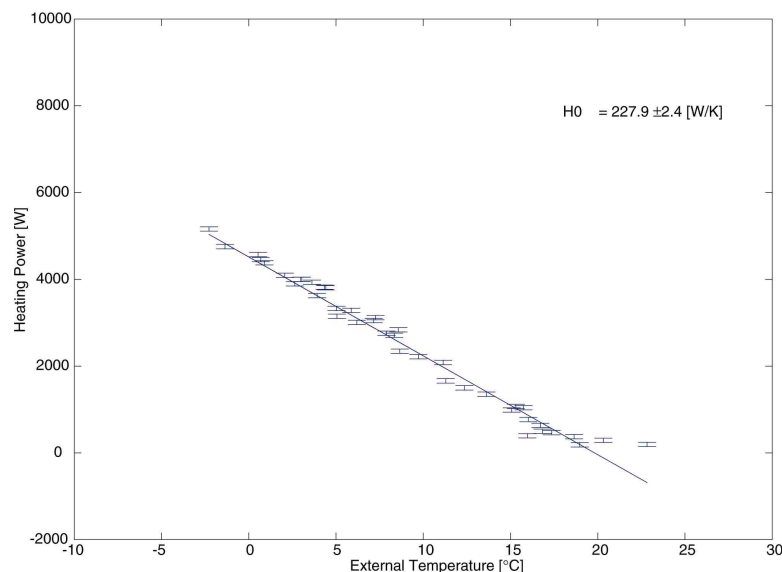
**Figur 6: Histogramm der Raumtemperaturen während der Benutzerpräsenz (Wohnraum, Schlafraum Ost und West)**





**Figur 7: Testdaten während einer Heizperiode von 4 Tagen mit Raumtemperaturen im Graph links (Wohnraum sowie Schlafrum Ost und West) sowie Vorlauf-, Rücklauf- und Aussentemperatur im Graph rechts.**

Figur 8 zeigt den Energieverbrauch während einer Heizsaison mittels einer geradlinigen Charakteristik. Dabei wird die Heizleistung in Abhängigkeit der Aussentemperatur gesetzt und über einen Zeitraum von 4 Tagen integriert. (Punkte in der Graphik entsprechen einem 4-Tage-Integrationsraum). Die erhaltene Korrelation ist sehr gut, was beweist, dass für dieses Gebäude die Aussentemperatur den Energieverbrauch bestimmt und der Einfluss der Sonnenzufuhr vernachlässigbar ist.



**Figur 8: Energetische Effizienz (Heizleistung in Funktion der Aussentemperatur) mit einem Integrationsintervall von 4 Tagen: SAUTER Regler (Equitherm QRK150), Heizsaison 98/99.**

#### 4. Nationale und internationale Zusammenarbeit

Das Projekt NEUROBAT, Phase II, ist eine nationale Zusammenarbeit zwischen dem industriellen Partner SAUTER S.A. (Basel) und den F&E Institutionen CSEM S.A. (Neuchâtel), ESTIA S.à.r.l. und EPFL/LESO-PB (beide Lausanne).

Auf nationaler Ebene konnte zwischen dem Projekt NEUROBAT und den Aktivitäten im Bereich der Regelung von Wärmepumpen (BfE-Forschungsprogrammes "Umgebungs- und Abwärme, Wärme-Kraft-Kopplung") Synergien geschaffen werden. Anlässlich der Tagung zur Problematik konventioneller Wärmepumpenregelung (9.Mai 2000, HTA Burgdorf) wird das NEUROBAT Konzept als möglicher Regel-Ansatz präsentiert.

Auf internationaler Ebene arbeiten die Projektpartner CSEM S.A. und EPFL/LESO-PB im Rahmen des EU-Programmes "Joule III" mit europäischen Partnern am Projekt EDIFICIO zusammen, welches die Integration verschiedener haustechnischen Anlagen zum Ziel hat.

## 5. Umsetzung

Die Phase II des Projektes NEUROBAT fokussiert auf die Umsetzung des NEUROBAT Regel-Konzeptes, welches in der Phase I des Projektes entwickelt wurde. Die Phase II des NEUROBAT Projektes zeichnet sich daher durch eine extensive und engagierte Zusammenarbeit mit dem industriellen Partner des Projektes aus (SAUTER S.A.).

## 6. Perspektiven

Mit der Inbetriebnahme des NEUROBAT-Prototypen konnte die Machbarkeit der Realisierung des Neuro-Fuzzy Regel-Konzeptes in einem industriellen Kontext bewiesen werden, d.h. die Implementation eines Neuro-Fuzzy Heizungsreglers auf einer industriellen Plattform konnte im Rahmen der Spezifikationen (Rechenzeit, Komponentenkosten, Regleroptionen, etc.) erfolgreich abgeschlossen werden.

Während der Heizsaison '99/'00 wird der Prototyp des NEUROBAT-Heizungsreglers auf dem Testgebäude in Basel eingesetzt. Die Betriebsdaten des NEUROBAT-Heizungsreglers sollen dann mit den Evaluationsdaten des kommerziellen Heizungsreglers der Heizsaison '98/'99 verglichen werden.

Unter Einhaltung der Spezifikationen des Projektes NEUROBAT, Phase II, (Energieeinsparung, optimaler Komfort, vereinfachte Inbetriebnahme) wird der industrielle Partner mit Ende des Projektes eine Industrialisierungsphase evaluieren.

Die Resultate des NEUROBAT Projektes, Phase II, eröffnet interessante Möglichkeiten betreffend des Einsatzes des entwickelten Regelkonzeptes in anderen haustechnischen Anwendungen wie z.B. Klimaanlage oder Solaranlagen. Unter Berücksichtigung des prädiktiven Charakters des NEUROBAT Reglers ist zudem eine Koppelung des Heizungsreglers mit anderen haustechnischen Installationen (wie z.B. Stromverbrauch in öffentlichen Gebäuden) energietechnisch von Interesse.

## 7. Publikationen

Die Phase II des NEUROBAT Projektes ist in eine Definitions-, eine Entwicklungs-, eine Test- und eine Optimierungsphase unterteilt und jede Projektphase wurde durch einen technischen Zwischenbericht abgeschlossen:

- Der technische Zwischenbericht der Definitionsphase resümiert die technischen Spezifikationen des NEUROBAT Heizungsreglers.
- Die Prototypenentwicklung des NEUROBAT Heizungsreglers ist im technischen Zwischenbericht der Entwicklungsphase zusammengefasst.

Basierend auf den Resultaten der Phase I des NEUROBAT Projektes wurde folgende wissenschaftliche Publikation eingereicht und seitens des 'International Journal of Solar Energy' abgedruckt:

- 'NEUROBAT, a predictive and adaptive Heating Control System using Neural Networks', International Journal of Solar Energy – Special Edition on Intelligent Building, 1999