

Selbstadaptierender Vorlaufregler für Radiatorheizungen

Markus Brückner, Dipl. El.-Ing. ETH, Engelgasse 128, CH-4052 Basel
mabrueckner@echos.ch, www.echos.ch/caleffeco

Zusammenfassung / Résumé

Zum optimalen Betrieb einer Heizungsanlage muss die Raumtemperatur als Grösse gemessen werden. Genau das tun die herkömmlichen Aussentemperatur-gesteuerten Vorlaufregler nicht und deshalb arbeiten diese Regler nicht effizient. Das hier vorgestellte Verfahren zeigt, wie man installationsmässig einfach eine mittlere Gebäudetemperatur messen kann.

Zu diesem Zweck wird in der Nacht das Ventil des Heizkreises während 2½ Stunden vollständig geschlossen und die Wassertemperatur des auskühlenden Heizkreises beobachtet. Aus dem Verlauf der Auskühlung wird die mittlere Temperatur der am Heizkreis angeschlossenen Räume bestimmt. Damit kann die Heizkurvensteilheit adaptiert werden und mit Energiekorrekturen werden Abweichungen der Raumtemperatur am folgenden Tag korrigiert.

Das Messverfahren eignet sich für Radiator-Heizkreise und lässt ein Energiesparpotenzial gegenüber konventionellen Reglern von 10-15% erwarten. Wird das Verfahren mit dem Wärmeerzeuger verkoppelt, sind bei Wärmepumpen und Brennwertkesseln zusätzliche Gewinne in der Grössenordnung von 10% zu erwarten.

Régulateur de départ auto-adaptatif pour chauffages à radiateurs

L'exploitation optimale d'une installation de chauffage exige une mesure chiffrée de la température ambiante. Car si l'état de chauffage du bâtiment est connu, le réglage de la courbe de chauffe peut s'effectuer de manière automatique; c'est le principe du régulateur présenté ici.

Afin de déterminer la température moyenne du bâtiment, la vanne du circuit de chauffage est fermée pendant 2½ durant la nuit. Ce faisant, la pompe continue de tourner et la température de l'eau en cours de refroidissement est mesurée régulièrement par le capteur de retour. La valeur finale du refroidissement est ensuite déterminée par approximation et correspond à la température moyenne des pièces reliées au chauffage.

Cette méthode convient en particulier aux chauffages à radiateurs. Avec un potentiel d'économie d'énergie de 10 à 15%, elle offre un meilleur rapport coûts-avantages que tout autre mesure de rénovation des installations techniques. En reliant ce type de régulation au producteur d'énergie, des économies supplémentaires d'environ 10% seront réalisées au niveau des PAC et des chaudières à condensation.

1. Ausgangslage

1.1 Stand der Technik

Die aussentemperaturgesteuerte Vorlaufregulierung ist in unseren Breiten die Standard-Methode um die Heizleistung eines Gebäudes automatisch der wechselnden Witterung anzupassen. Die im Regler abgelegte Heizkurve bestimmt den Zusammenhang zwischen Aussentemperatur und Soll-Vorlauftemperatur. Das Verfahren widerspricht dem Prinzip, dass man *das* messen soll, was man regeln will. Man misst die Aussentemperatur und will aber eine Raumtemperatur regeln. Das ist ungefähr gleich falsch, wie wenn der Tempomat im Auto auf die Geschwindigkeit des Fahrwindes oder den momentanen Benzinverbrauch abstellen würde.

Ob die Einstellung der Heizkurve nun richtig auf das Gebäude abgestimmt ist oder nicht, kann ohne Messung von Raumtemperaturen nicht gesagt werden. Die Einstellung der Heizkurvensteilheit ist eine heikle Sache. Der Heizungsinstallateur muss bei der Inbetriebnahme eine Einstellung vornehmen, die sicher so liegt, dass niemand zu kalt hat. Über Erfahrungswerte des Beheizungszustandes kann er bei der Inbetriebsetzung aber noch nichts wissen. Mit anderen Worten, er stellt die Anlage deutlich zu warm ein, um Reklamationen vorzubeugen. Das ist aber nicht energiesparend. Und einmal eingestellt, wird der Monteur kaum mehr gerufen.

1.2 Geschichte

Zum Zwecke der Energieeinsparung hat der Gesetzgeber die Initiative ergriffen und die individuelle Heizkostenabrechnung vielerorts vorgeschrieben mit der Idee, dass der Nutzer übers Portemonnaie zum Energiesparen motiviert wird. Damit der Nutzer Einfluss auf seinen Wärmeverbrauch nehmen konnte, hat der Gesetzgeber auch eine Raumregulierung vorgeschrieben, wobei das Anbringen von Thermostatventilen in den wichtigsten Räumen die Anforderung erfüllte. Der Gesetzgeber ging nun davon aus, dass der Nutzer seinen Verbrauch durch Einstellen der Thermostatknöpfe selber in die Hand nimmt. Daraus schloss der Heizungsinstallateur, dass ihm die Verantwortung einer korrekten Heizkurveneinstellung vom Gesetzgeber abgenommen wurde. Der Vorlaufregler war erfunden und andere Einrichtungen waren fürs Energiesparen verantwortlich und – überspitzt gesagt - an einer technischen Weiterentwicklung arbeitete kein Hersteller mehr. Dass die Thermostatknöpfe in aller Regel keine in °C geeichte Skala haben störte den Gesetzgeber dabei nicht. Und dass Brennwertkessel und Wärmepumpen empfindliche Effizienzeinbussen erleiden, wenn sie höhere Vorlauftemperaturen als nötig bereitstellen müssen, wird jetzt mit der Verbreitung dieser Heiztechniken zum Thema.

1.3 Das Problem der Heizkurveneinstellung

In der Heizungsbranche ist man sich auch heute bewusst, dass eine korrekte und auf das Gebäude und die Nutzungsart abgestimmte Heizkurveneinstellung die Energieeffizienz verbessert. Der Wärmeverbrauch eines Gebäudes wird ja nicht nur durch die mit Thermostatventilen ausgerüsteten Heizkörper bestimmt. Zuleitungen, Korridore und Allgemeinräume sind unreguliert. Kommt dazu, dass die Bereitstellungsverluste in der Wärmezentrale zunehmen, je höher das Temperaturniveau des Vorlaufkreises ist. Wärmepumpen und Kondensationsheizkessel arbeiten am effizientesten mit der tiefst möglichen Vorlauftemperatur.

Der folgende Beitrag behandelt nun eine Methode, wie der Beheizungszustand eines Gebäudes als mittlere Raumtemperatur dem Regler zur Verfügung gestellt werden kann, damit dieser die Heizkurvensteilheit automatisch an den voreingestellten Raumsollwert anpassen kann. Die Methode wurde bei Gebäuden mit Radiatorheizkreisen validiert.

1.4 Fremdwärmenutzung sorgt für zusätzliches Energiesparpotenzial

Ausgehend von der Messung einer mittleren Raumtemperatur des Gebäudes lassen sich weiter auch Fremdwärmeeinflüsse (Sonne, Geräte mit viel Abwärme) mit in die Vorlaufregulierung einbeziehen und an die Heizleistung anrechnen. Auch dies ist ein Sparpotenzial, das konventionelle Regler nicht erschliessen können.

2. Vorgehen

2.1 Aufgabenstellung

Ziel ist es, mit minimalem Installationsaufwand die konventionelle Aussentemperatur-gesteuerte Vorlaufregulierung mit einem Messwert der mittleren Raumtemperatur des Gebäudes zu versorgen. Ist eine Messung des Raum-Istwertes vorhanden, kann die Heizkurve automatisch angepasst werden.

Viele Vorlaufregler besitzen Fühleranschlüsse für die Raumtemperatur, aber z.B. im Mehrfamilienhaus lässt sich damit gar nichts anfangen. Man kann nicht ein ganzes Haus nach den Bedürfnissen einer Pilotwohnung steuern. Lüftungsgewohnheiten der Personen in der Pilotwohnung würden sich auf das ganze Haus übertragen. Korrekt wären Regelventile, die den Wärmeverbrauch jeder einzelnen Wohnung steuern. Das ist im Neubau wirtschaftlich zu realisieren, in bestehender Bausubstanz ist das aber schlicht zu aufwendig.

Minimaler Installationsaufwand bedeutet: Suche nach einer Lösung, die möglichst nur mit Aussen- und Vorlauffühler auskommt. Die bestehenden Trassen der Sensorleitungen sollen verwendet werden und die Installation soll keine Bauarbeiten im Nutzerbereich des Gebäudes mit sich bringen und auch keine zusätzlichen Sonnenfühler auf dem Dach.

Die Bedienung der Reglereinstellung soll kundenfreundlicher gemacht werden, also weg von einer abstrakten Heizkurve hin zur Einstellung eines in °C geeichten Raumtemperatur-Sollwertes.

2.2 Methode zur Findung eines Raum-Istwertes

Der Entwicklung liegt die Idee zugrunde, dass die Radiatoren bei geschlossenem Ventil und laufender Umwälzpumpe sich gegen die Raumtemperatur hin auskühlen. Wird der Verlauf dieser Auskühlung über eine gewisse Zeit beobachtet, dann kann man aus den Messwerten einen Schluss auf die Raumtemperatur ziehen. Am Rücklauf der Heizgruppe ist das Wasser aller Stränge des Heizkreises zusammengemischt. Somit liefert dieses Verfahren eine durchschnittliche Raumtemperatur über alle beteiligten Räume.

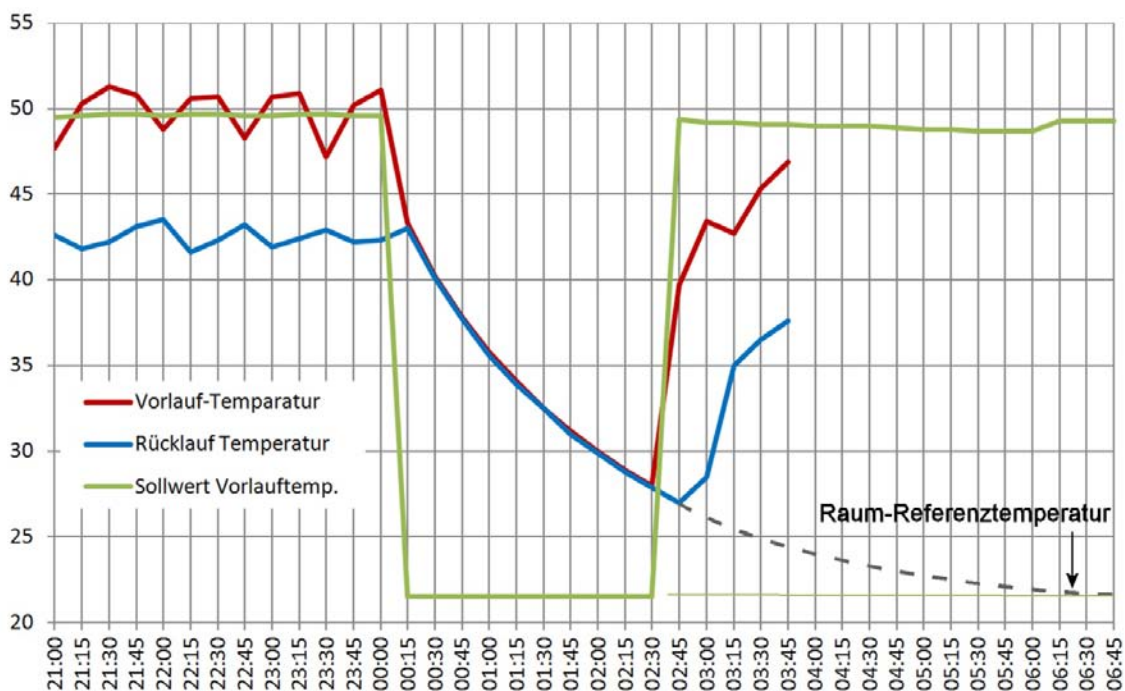


Abbildung 1 Die Auskühlung von Vor- und Rücklauf im Messintervall und der daraus abgeleitete asymptotische Endwert als Raum-Referenztemperatur. Messwerte aus einer Anlage in Zürich vom 29.12.2010.

Je nach Nutzereinstellungen können so z.B. Schlafzimmer tiefere und Badezimmer höhere Temperaturen aufweisen. Gemessen wird ein Durchschnitt und die Soll-Durchschnittstemperatur kann in Grad Celsius am Regler eingestellt werden.

Das Messverfahren bedingt eine vorübergehende Schliessung des Ventils. Normalerweise eignet sich dazu die Zeit zwischen Mitternacht und dem Morgen, wo meist abgesenkt geheizt wird. Im Konzept ist eine Messphase von zweieinhalb Stunden vorgesehen. Falls die Heizung bei extremer Kälte an die Auslegungsgrenze kommt, wird die Messphase ausgeblendet und die Heizung auch in der Nacht voll durchgeföhren.

Die Messphase sollte so gelegt werden, dass die Brauchwarmwasseraufladung gegen den Morgen in die gleiche Zeit fällt. Der Wärmerezeuger kann dann für das Brauchwarmwasser arbeiten, wenn der Heizkreis keine Wärme bezieht.

2.3 Entwicklung

Für die Entwicklung des Verfahrens wurde zuerst eine PC-Simulation erstellt mit den Objekten Witterungsgenerator, Gebäude, Radiator-Heizkreis inkl. Kessel und Vorlaufregler. Die Simulation wurde mit Witterungsdaten der Jahre 1991, 1992, 1993 für Basel durchgeführt. Es wurden die stündlichen Werte von Temperatur und Sonneneinstrahlung der Wetterstation St. Margarethen verwendet.

Mit dieser Simulation wurden 3 Gebäudetypen getestet werden. Es mussten Gebäude sein, für die Architekturpläne zur Verfügung standen. Für die Modellierung müssen die Wärmeleitfähigkeit von Mauern und Fenstern sowie die Speicherkapazitäten der Wände und Böden aus den Materialeigenschaften berechnet werden. Die Simulation enthält auch einen Wärmehähler am Kesselausgang. Dieser Zähler saldiert den Energieverbrauch über die Testperiode zu Vergleichszwecken.

Zu Vergleichszwecken wurden weitere Regler-Objekte "Raumthermostat" und "konventioneller, nicht adaptiver Vorlaufregler mit fester Heizkurve" erstellt.

Mit diesen Hilfsmitteln wurde der adaptive Regler entworfen, getestet und optimiert.

Für den Echtzeit-Test des Prototypreglers wurde die Simulationsoftware (Witterung, Gebäude, Heizkreis) mit einem Hardware-Interface mit Temperatursensoren und Kontakteingängen versehen.

2.4 Lösung

Prinzipschaltbild

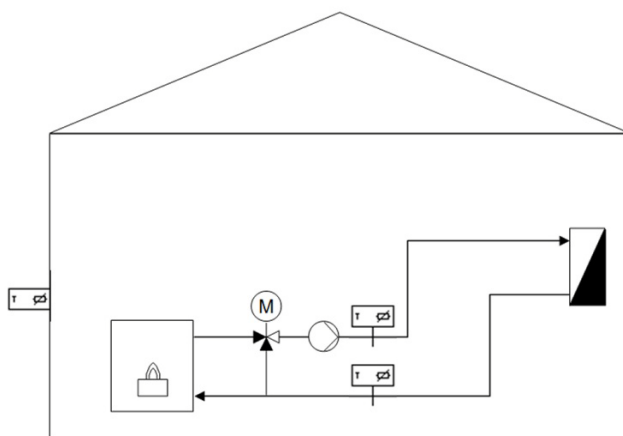


Abbildung 2 Prinzipschaltbild mit Aussen-, Vor- und Rücklauffühler

Im Regelfall soll die Referenztemperatur am Rücklauf gemessen werden, weil im Falle von nicht ganz dicht schliessenden Ventilen die Beimischung von warmem Restwasser die Messung am Vorlauf ein wenig verfälschen würde. Bei dicht schliessenden Ventilen kann man vom Prinzip her auf den Rücklauffühler verzichten.

Messprinzip für die Ermittlung der mittleren Raumtemperatur

In der Nacht wird während ca. zweieinhalb Stunden das Ventil vollständig geschlossen. Die Umwälzpumpe läuft dabei weiter und am Rücklauffühler wird die Wassertemperatur des auskühlenden

Heizkreises beobachtet. Nach einer Wartezeit von ca. 30 Minuten werden die Messwerte am Rücklauf in regelmässigen Abständen (typisch alle 15 Minuten) gespeichert.

Nach Abschluss des Messintervalles wird das Ventil wieder freigegeben (Abbildung 1). Die Messwertreihe vom Rücklauf wird im Regler mit einem Radiator-Modell verglichen und die Parameter des Modelles werden solange modifiziert, bis die Messwerte der Anlage mit dem Modell deckungsgleich sind. Deckungsgleich bedeutet, dass der Mean Square Error zwischen Messung und Modell minimal ist. Das Verfahren konvergiert. Das Verfahren liefert auch gleichzeitig einen Anhaltspunkt, ob die Messreihe konsistent war. Ist der Mean Square Error zu hoch, darf das Resultat des Approximationsverfahrens nicht weiter verwendet werden. Nach positivem Abschluss der Approximation liefert das Modell die Raumtemperatur, zu der sich die Radiatoren in den Räumen des Gebäudes hin auskühlen. Diese Raum-Referenztemperatur entspricht dem Mittelwert der Räume, die von dieser Vorlaufgruppe versorgt werden.

Adaption der Heizkurve

Von der Gebäudemitteltemperatur abgeleitet wird aus dem Vergleich mit dem Raumsollwert die Heizkurvensteilheit in inkrementellen Schritten adaptiert. Diese Adaption findet nach dem Messintervall einmal täglich statt, wobei es sich von selbst versteht, dass Adaptionsschritte der Heizkurve nur erlaubt sind an Tagen mit wenig Fremdwärmeeinfluss (Sonneneinstrahlung) und bei stabiler Witterung (keine Kalt- oder Warmfront). Als Kriterium dafür dienen die maximale und minimale Aussentemperatur der letzten 24 Stunden. Wenn diese innerhalb einer Bandbreite von ca. 6°C liegen, kann man davon ausgehen, dass die Wetterlage "bedeckt" und stabil war.

Energiekorrekturen

Die Gebäudemitteltemperatur wird zusätzlich für eine "Energiekorrektur" verwendet. Weicht die Gebäudemitteltemperatur vom vorgegebenen Sollwert ab, wird entsprechend der Abweichung und der Trägheit des Gebäudes die Heizleistung gegenüber dem Wert nach Heizkurve für den kommenden Tag um Prozente gesenkt bzw. erhöht. Mit dieser Funktion erzielt man vor allem in der Übergangszeit Energieersparnisse, die dem konventionellen Regler verschlossen bleiben. Adaptionsschritte haben Langzeitwirkung wogegen Energiekorrekturen kurzfristig in jedem Fall schon am folgenden Tag greifen.

2.5 Realisierung eines Pilotprojektes

Der Regelalgorithmus wurde mit einer SPS Simatic S7 durch EL-TECH AG in Basel realisiert und in einen Schaltkasten eingebaut. Das Gerät wurde in einem Gebäude mit 7 Mietwohnungen und einem Studio über 2 Winter (2010-2011 und 2011-2012) erprobt. Anlass für den Einbau war die Erneuerung der Heizung durch eine CTA-Wärmepumpenheizung mit Erdsonden. Nach dem ersten Winter mussten noch einige Anpassungen an der Software vorgenommen. Insbesondere wurde die Zahl der Messwerte während der Messphase erhöht und die Extrapolation des Raumreferenzwertes aus den Auskühlwerten mit einer e-Funktion wurde durch das oben beschriebene Approximationsverfahren unter Verwendung der korrekten Heizkurvenformel ersetzt.

$$T_{VLSoll} = \left(\left(\frac{T_R - T_A}{T_R - T_{AN}} \right)^{\frac{1}{m}} \right) \cdot \left(\left(\frac{T_{VLN} + T_{RLN}}{2} \right) - T_R \right) + \left(\left(\frac{T_R - T_A}{T_R - T_{AN}} \right) \cdot \left(\frac{T_{VLN} + T_{RLN}}{2} \right) \right) + T_R$$

T_{VLSoll} = Vorlauf Sollwert – Temperatur
 T_{VLN} = Vorlauf – Nenntemperatur
 m = Heizkörperkoeffizient

T_R = Rücklaftemperatur

T_{RLN} = Rücklauf – Nenntemperatur

T_A = Auslegetemperatur

T_{AN} = Auslege Nenntemperatur

Diese Massnahmen haben die Genauigkeit der Raummessung wesentlich verbessert.

Sicherheitshalber wurde im Pilotprojekt die Möglichkeit offen gelassen, auf den Original-Vorlaufregler zurückzuschalten (Abbildung 6). In der Anlage wurden die Steuerleitungen des Originalreglers der Wärmepumpensteuerung abgehängt und stattdessen die Leitungen vom Selbstadaptierenden Regler angeschlossen. Die Messwerte am Vor- und Rücklauf wurden für Originalregler und den Selbstadaptierenden Regler parallel installiert (Abbildung 5), ebenso die Aussenfühler (auf den Abbildungen nicht sichtbar).

Das Pilotprojekt an der Bucheggstrasse 119 in Zürich



Abbildung 3 Pilotliegenschaft



Abbildung 4 Steuerkasten mit Simatic S7 Bediengerät



Abbildung 5 Vorlaufgruppe der Pilotanlage

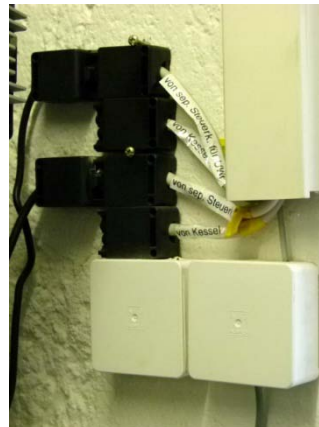


Abbildung 6 Steckverbinder für die Reglerumschaltung

2.6 Industriell gefertigter Regler

Die Algorithmen wurden nun im nächsten Schritt in eine auf HLK-Applikationen zugeschnittene Hardware übertragen. Mit der Wahl von Sauter modulo5 ist es von den Klemmen her möglich, in einem Gerät (Abbildung 7) 2 Vorlaufgruppen direkt anzuschliessen. Die Rechenkapazität der Automationsstation gestattet es mit zusätzlichen Input-Outputmodulen 4 Vorlaufgruppen und die Wärmeaufbereitung (Kessel, Wärmepumpe) inkl. Brauchwarmwasser zu regeln.

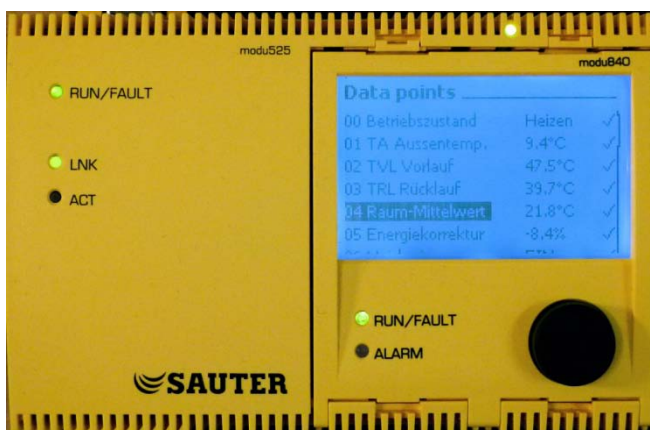


Abbildung 7 Realisierung mit der serienmässig hergestellten Hardware einer Sauter-Automationsstation modulo5

3. Resultate

Im Vergleich mit anderen Reglertypen konnte in der Simulation der Nutzen theoretisch bestätigt werden. Mit dem Selbstadaptierenden Regler "caleffeco" verglichen wurden einerseits der ideale

thermostatisch wirkende Raumregler mit Messung der Raumtemperatur und andererseits der konventionelle Vorlaufregler. Beim konventionellen Regler wurde die Heizkurve so justiert, dass die Soll-Raumtemperatur an keinem Tag unterschritten wurde.

In den Abbildungen 8-10 sind Histogramme der 3 Reglertypen (nur Heiztage) und der Vergleich des Energieverbrauchs in Prozenten wiedergegeben. Vertikal ist die Anzahl Heiztage und horizontal die mittlere Raumtemperatur am Tag an den entsprechenden Heiztagen aufgeführt. Der Thermostat-Regler kann die Raumtemperatur in einem Bereich von 1°C halten. Der Caleffeco liegt beinahe innerhalb 2°C als Regeltoleranz. Beim konventionellen Regler ist bei mehr als der Hälfte der Heiztage die Raumtemperatur um mehr als 1°C über dem Sollwert. Pro Grad Celsius höhere Raumtemperatur rechnet man typisch mit 6% mehr Energieverbrauch.

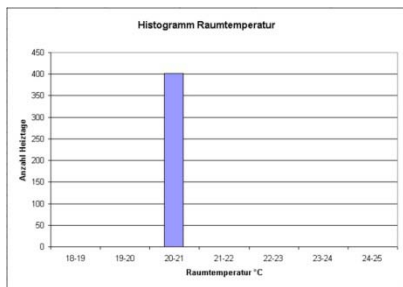


Abbildung 8 Thermostat-Regler
Regler

Energie in % 100%

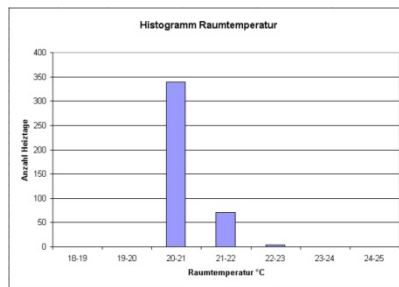


Abbildung 9 Caleffeco-Regler

105%

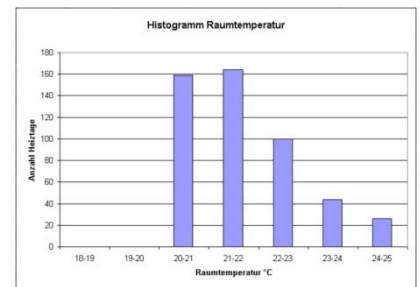


Abbildung 10 konventioneller

115%

Gegenüber einem ideal eingestellten konventionellen Vorlaufregler sind mit dem caleffeco 10% Energieersparnis zu gewinnen. Geschlagen wird der Regler nur von der korrekt angewendeten Einzelraumregelung gemäss Abbildung 8. Diese ist um um 5% effizienter. Der Grund liegt darin, dass der Thermostat-Regler sofort eingreift, wenn Fremdwärmegewinne entstehen. Der Selbstadaptierende Regler misst die Raumtemperatur erst in der folgenden Nacht und hinkt daher mit seinen Energiekorrekturen hinten nach. Nicht berücksichtigt sind hierbei die Verluste durch Energieaufbereitung durch zu hoch eingestellte Vorlauftemperatur.

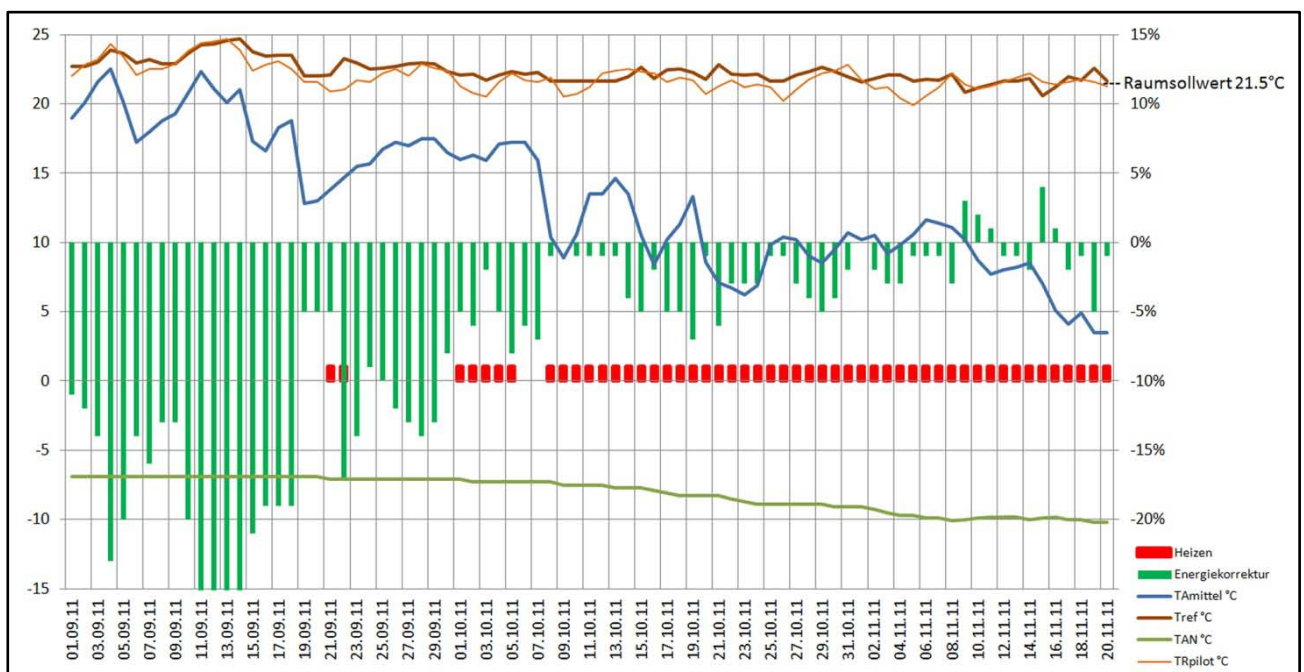


Abbildung 11 Adaption der Auslege-Nenntemperatur TAN (olivgrün) zu Beginn der Heizperiode 2011-2012

Die Adaption in Abbildung 11 zeigt, wie sich die Auslegenentemperatur (TAN, olivgrün) von einem Ausgangswert -7°C zu Beginn der Heizperiode in ca. 30 Tagen auf den neuen Wert bei -10°C einstellt. Adaptionsschritte sind nur an Heiztagen (rote Marke) möglich. Messreihe 1.9.-20.11.2011.

Die Energiekorrekturen (Balken, grün) pendeln nach abgeschlossener Adaption um den Nullpunkt.

Von Seiten der Mieter gab es zur Heizung in beiden Betriebsjahren keine Reklamationen.

4. Diskussion

Das Verfahren funktioniert grundsätzlich in Radiatorheizkreisen und wo keine Einzelraumregelsysteme mit lokaler Messung der echten Raumtemperaturen installiert sind.

Die Regelgenauigkeit und damit das Sparpotenzial ist höher, je träger das Gebäude ist. Das Verfahren bringt bei thermisch leichten Bauten, wie z.B. Holzhäusern, wenig Vorteil – aber auch keinen Nachteil.

Wegen der grossen Trägheit von Fussbodenheizungen lässt sich die Methode auf diesen Heizungstyp vorderhand nicht anwenden. Hier müsste man noch weiter forschen.

Installationsmässig einfach eingesetzt werden kann das Verfahren in der Nachrüstung bei älteren Bauten, wo Pumpe und Ventil der Vorlaufgruppe frei zugänglich sind (Abbildung 5).

Allfällige Garantiezeiten des Kesselherstellers sollten abgelaufen sein, damit diese nicht wegen Änderung der Schaltung verfällt, wie manche Kesselbauer androhen.

Das Verfahren ist weniger geeignet in nur sporadisch bewohnten Apartmentsiedlungen, da eine Mehrzahl von Thermostatventilen, die auf Frostschutz gestellt sind, die Adaption auflaufen lassen würden. Der Regler wäre in solchen Gebäude kein Vorteil – aber auch kein Nachteil.

Den richtig grossen Nutzen bringt das Verfahren, wenn der adaptierende Vorlaufregler mit dem Wärmeerzeuger koordiniert arbeitet. Dann können die Temperaturen bei Brennwertkesseln oder bei Wärmepumpen auch im Primärkreis der Aufbereitung reduziert werden. Dadurch wird die Energieeffizienz nochmals wesentlich verbessert. Eine Energieeinsparung von 15-25% ist gegenüber der konventionellen Lösung zu erwarten.

Da das Verfahren am Vorlauf nicht Wärme im Überschuss anbietet, bleiben Fenster und Kippfenster nicht dauernd geöffnet, weil es sonst zu kalt wird. Ein bisschen hat die Methode erzieherische Wirkung auf den Nutzer und beugt der Energieverschwendung vor.

Von allen Energiesparinvestitionen im Gebäudebereich ist der Ersatz eines konventionellen Vorlaufreglers durch den Selbstadaptierenden Regler die Massnahme mit dem besten Kosten-Nutzenverhältnis. Ein Elektriker kann Regler, Fühler, Umwälzpumpe und Ventilanschluss in einem halben Tag installieren und anschliessen, ohne dass der Wasserkreislauf tangiert wird. Dazu kommt der Preis für den Regler und ein kurzer Check durch den Heizungsfachmann.

5. Ausblick

Das Projekt ist soweit abgeschlossen, dass damit der Markt erschlossen werden kann. Noch gilt es aber mit einigen weiteren Bauten einen grösseren Feldversuch zu starten. Insbesondere konnte am Pilotprojekt kein Nachweis erbracht werden, wieviel Energieeinsparung allein durch den Reglereinbau ausgewiesen werden kann, da auf eine Wärmepumpe umgestellt wurde und gleichzeitig auch am Gebäude Veränderungen vorgenommen wurden. Die weiteren Schritte sind:

- Feldversuch mit mehreren Gebäuden und Energieverbrauchsvergleich auf Heizgradtage bezogen vor und nach dem Einbau des Selbstadaptierenden Reglers. Gesucht sind Gebäude, bei denen gleichzeitig *keine* Energie-relevanten Umbauten vorgenommen werden.
- Bei positiven Ergebnissen beginnt dann die Markterschliessung.
- Weiterentwicklung des Approximationsverfahrens für Fussbodenheizungen.

6. Literatur/Referenzen

[1] Selbstadaptierender Vorlaufregler für Warmwasserheizungen, CH-Patent 698 872 und DE102008040436A1

[2] Taschenbuch für Heizung + Klima, Recknagel, Sprenger, Schramek