

Auswertung des Feldtests eines Selbstadaptierenden Vorlaufreglers

Vorlaufregler für Radiatorheizungen mit automatischer Adaption der Heizkurve an das Gebäude. Feldversuch in 3 Mehrfamilienhäusern.

Inhalt

1	Der Selbstadaptierende Vorlaufregler.....	2
2	Zusammengefasste Resultate der Felderprobung.....	2
2.1	Kommunikation	2
2.2	Ermittlung einer mittleren Raumtemperatur und Adaption der Heizkurve.....	3
2.3	Plug and Play?	3
2.4	Energieverbrauchserfassung und Vergleichbarkeit mit Vergangenheitsdaten	3
2.5	Energieersparnis	4
2.6	Fazit	5
3	Universalität des Messprinzips und Nutzen	5
3.1	Messprinzip	5
3.2	Nutzenabschätzung, Amortisation über die Energieeinsparung.....	6
4	Die Erprobung des Prinzips in drei Pilotobjekten im Detail	6
4.1	Pilotprojekt Nr. 1.....	6
4.1.1	Projektbeschrieb Pilotobjekt Bucheggstrasse 119 in Oerlikon	7
4.1.2	Energieauswertung Bucheggstrasse 119, 18% Einsparung durch Regler!	10
4.2	Pilotprojekt Nr. 2.....	12
4.2.1	Bottmingerstrasse 50 in Münchenstein.....	13
4.2.2	Adaptionsverlauf Bottmingerstrasse 50	16
4.2.3	Probleme bei der Bestimmung der Referenztemperatur.....	16
4.2.4	Lösungsansatz zur Überwindung des Mauerproblems	17
4.2.5	Kleineres Problem: Platzierung des Aussenfühlers	19
4.2.6	Energieauswertung Bottmingerstrasse 50, nur 5.3% Einsparung	20
4.3	Pilotprojekt Nr. 3.....	21

1 Der Selbstadaptierende Vorlaufregler

Der Selbstadaptierende Vorlaufregler ist ein System zur automatischen Adaption der Heizkurve eines Vorlaufreglers in Gebäuden mit Radiatorheizung. Der Selbstadaptierende Regler, im Folgenden kurz Regler genannt, basiert auf einer Messung der Temperaturen am Rücklauf in einer Messphase in der Nacht. Während der Messphase wird das Ventil geschlossen und bei weiterhin laufender Umwälzpumpe wird der Verlauf der Auskühlung am Rücklauf über zweieinhalb Stunden beobachtet. Der aus den Messwerten extrapolierte asymptotische Endwert der Auskühlung entspricht ziemlich gut der mittleren Raumtemperatur im Gebäude. Diese wird als Raumtemperatur-Referenz genommen und ist die Basis für Heizkurvenadaptionen in kleinen Schritten. Sie ist ebenfalls die Basis für Energiekorrekturen. Wenn die Referenztemperatur zu hoch ist, wird die Energiezufuhr am Wärmeerzeuger für den folgenden Tag entsprechend gedrosselt und umgekehrt wird bei zu tiefer Raumreferenz die Heizleistung moderat angehoben. Siehe auch Projektbeschreibung Abs. 4.1.1

Der Regler wurde in 3 Liegenschaften über längere Zeit eingesetzt. Mit diesen Feldtests wollte man in der Praxis die Messmethode zur Ermittlung einer mittleren Raumtemperatur verifizieren und den Energiespareffekt des Prinzips nachweisen, indem die Energieverbräuche der Gebäude vor und nach dem Einbau des Reglers heizgradtag-bereinigt verglichen wurden.

Realisierung des Reglers: Der erste Regler in Objekt 1 wurde mit einer Simatic S7 implementiert. Danach wurde eine günstigere Lösung mit einer B&R Automationsstation als Studienarbeit durch die FHNW Windisch in C programmiert (B&R Bernecker + Rainer Industrie Elektronik GmbH). In Objekt 2 und 3 wurde dann aber auf Wunsch von Sauter eine Sauter Automationsstation modu525 eingesetzt mit Bausteinprogrammierung CASE.

2 Zusammengefasste Resultate der Felderprobung

Vorweg: Die Erprobung hat gezeigt, dass es gar nicht einfach ist, aussagekräftige Feldversuche mit Gebäuden durchzuführen. Da fehlen Daten aus der Vergangenheit oder diese sind so ungenau, dass man daraus eine 10% Verbesserung im Energiehaushalt in einer einjährigen Versuchsperiode nicht schlüssig feststellen kann. Zum ändern wird an den Gebäuden heute viel renoviert, auch energietechnisch. Bei Ausbauten vergrößert sich der Energiebedarf, bei Fenster- und Dachisolationen verkleinert er sich. Jeder solche Eingriff am Gebäude bedingt einen Reset im Versuchsablauf und macht Vergleiche mit der Vergangenheit zunichte.

2.1 Kommunikation

Für die Erprobung wurde zu den Anlagen eine Kommunikation vorgesehen, damit man täglich die wichtigsten Messwerte aus dem Regler in einer Stundenauflösung speichern konnte. Bei 2 von 3 Anlagen fiel die Kommunikation für die Fernüberwachung nach Tagen oder Monaten aus. Sie konnte immer wieder angeworfen werden, aber lückenlos gute Auswertungen waren erschwert (Betrifft Objekte 1 und 3).

2.2 Ermittlung einer mittleren Raumtemperatur und Adaption der Heizkurve

Basis für die Adaption der Heizkurve ist die Messung einer mittleren Raumtemperatur. Ganz richtig funktioniert hat das auf Anhieb an keinem Objekt.

Am ersten Objekt wurde die Umwälzpumpe einfachheitshalber am Originalregler belassen. Der Heizungslieferant gab an, dass die Pumpe im Heizbetrieb "immer läuft". Wenn der Originalregler aber die BWW-Erwärmung einschaltete, stellte sich heraus, dass er in dieser Zeit die Umwälzpumpe ausschaltete. Es kam nicht selten vor, dass dieser Zeitpunkt exakt in die Messphase fiel. Die Messresultate am Rücklauf waren an diesen Tagen unbrauchbar. Nach dem Umhängen der Umwälzpumpe auf den Regler waren die Messungen dann gut.

Beim zweiten Objekt war die mittlere Raumtemperatur stark zu tief. Die Untersuchung ergab, dass die Heizungsrohre im unisolierten Mauerwerk Unterputz verlegt sind. Dies konnte durch eine Softwareänderung kurz nach der Inbetriebsetzung noch korrigiert werden. Allerdings wurde übersehen, dass die entsprechende Korrektur auch bei der Raumtemperaturbestimmung im Sommerbetrieb in der Software hätte angepasst werden müssen. Dies führte dazu, dass der Regler das Sparpotenzial in der Übergangszeit nicht ausschöpfte. Das war ziemlich schlecht, denn die Simulationen haben gezeigt, dass gerade in der Übergangszeit der Regler mit der Energiekorrektur am meisten zum Energiesparen beitragen kann.

Am dritten Objekt war die Messung wegen einer "mitdenkenden Umwälzpumpe" gestört. Die Pumpe hat sich selber bei geringem Wärmebedarf abgestellt, was natürlich im Messintervall der Fall ist. Die Messungen waren so nicht brauchbar, bis die Pumpe auf Dauerlauf programmiert wurde. Im gleichen Objekt waren dann immer noch viele Messungen unbrauchbar, weil elektronische Thermostatventile die Auskühlphase bzw. die Messphase des Reglers als "Fensterlüftung" interpretierten und dann die Radiatoren ganz abschalteten. Die stetige Auskühlung des Rücklaufs war dadurch gestört und die Auswertung der mittleren Raumtemperatur falsch. Auch dieser Effekt konnte eliminiert werden.

Die Adaption der Heizkurve hat im Endeffekt in allen 3 Objekten funktioniert.

2.3 Plug and Play?

Diese Erfahrungen bedeuten, dass eine Begehung des Objektes bei der Installation und die Umprogrammierung dezentraler elektronischer Thermostatventile bei der Inbetriebsetzung unabdingbar sind, damit das Prinzip funktioniert.

Ziel des Systems wäre, eine Lösung zu haben, die man im Keller montiert und die sich dann selbstständig an das Gebäude anpasst und dann den Energieverbrauch optimiert. Ein Plug-and-Play-System müsste es sein. Das war es in der Praxis leider nicht.

2.4 Energieverbrauchserfassung und Vergleichbarkeit mit Vergangenheitsdaten

Die genaue Messung des Energieverbrauchs war im ersten Objekt (Wärmepumpe mit Elektrizitätszähler) synchron mit den Heizgradtagen möglich. Allerdings war bei diesem Objekt die Brauchwarmwassererzeugung und Heizung zusammengefasst, sodass die Beurteilung des reinen Heizenergieverbrauches mit dem Brauchwarmwasserverbrauch vermischt war. Ein

Vergleich des Wärmeverbrauchs des Gebäudes mit Werten vor dem Einbau der Wärmepumpenheizung mit Erdsonden ist nicht möglich. Dazu hätte man vor und nach der Sanierung einen Wärmezähler am Vorlauf haben müssen.

Im zweiten Objekt wurde der Heizölverbrauch über eine Öl-Uhr abgelesen. Die Genauigkeit dieses Messverfahrens ist gering. Nur ein Öldurchflusszähler mit Fernablesung hätte hier für echte Genauigkeit gesorgt.

Das dritte Objekt ist aus einem anderen Grund nicht geeignet für das System. Die erste der beiden Wohneinheiten wird zu einem wichtigen Teil durch einen Cheminée-Ofen beheizt. Das bivalente Heizungssystem hat aber keine Rückmeldung an den Regler. Somit kommt es vor, dass der Regler bei seiner Adaption durch die manuelle Beheizung des Cheminée-Ofens irregeführt wird. Insgesamt hat die Anlage aber trotzdem adaptiert und die andere beheizte Wohneinheit wurde richtig mit Wärme versorgt. Auch ist bei diesem Objekt der Heizenergieverbrauch nur ungenau auswertbar, weil die Energie, die das Cheminée-Holz abgibt, nur rudimentär abgeschätzt werden kann.

2.5 Energieersparnis

Im Objekt 1 wurde in der Heizperiode 2012/13 der originale CTA-Regler der Wärmepumpe für die Vorlaufregulierung angeschlossen. In der Vorperiode war der Selbstadaptierende Regler aktiv und er hatte Zeit sich zu adaptieren. Dann wurde in der Heizperiode 2013/14 wieder der Selbstadaptierende Regler aktiviert. **Heizgradtag-bereinigt sank der Energieverbrauch dank dem neuen Reglerprinzip um mehr als 18% in der zweiten Heizperiode.** Am Gebäude wurde im Laufe dieser zwei Jahre gar nichts verändert. In diesem Versuch bestätigt sich die aus Simulationen vorhergesagte Verbesserung der Energieeffizienz durch den Regler von über 15% gegenüber einem konventionell eingestellten, nichtadaptiven Heizungsregler.

Der Energiespareffekt blieb im Objekt 2 gegenüber den Erwartungen aber stark zurück und erreichte die prognostizierten 15% nicht. In einer Zwischenauswertung Februar-Juni 2013 wurde ein heizgradtag-bereinigter Energiespareffekt von 8.9% berechnet gegenüber den spezifischen Verbräuchen der 3 Vorjahre. Im zweiten Beobachtungsintervall, der Heizperiode Juli 2013 – Juni 2014, konnten nur 5.31% Energiereduktion berechnet werden, obwohl sich die Heizkurve nach einer Dachisolation im November 2013 von einer Steilheit 1.58 auf 1.32 automatisch senkte. Die Vorlauftemperaturen waren deutlich tiefer, aber der Ölverbrauch ist nicht proportional gesunken. Die Gründe können wie schon gesagt bei der Ungenauigkeit der Ölverbrauchserfassung liegen und aber auch zu einem guten Teil darin, dass der Außenfühler nicht auf der Nordseite sondern an einer nach Süd-Westen ausgerichteten Außenmauer montiert war (siehe Abs 4.2.5). Ferner hat der Regler wie oben schon erwähnt wurde, im Sommerbetrieb die Referenztemperatur in diesem Objekt nicht richtig ermittelt. Auswertbar im Vergleich zu den Vorjahren war das Gebäude am Ende der Heizperiode 2013/2014 nicht, weil zu Beginn der Heizperiode im November 2013 das Dach isoliert wurde.

Im Objekt 3 kann zum Zeitpunkt der Berichtschriftung keine Aussage bezüglich Energiespareffekt gemacht werden, da die Ölverbrauchsdaten erst nach der Auffüllung des Tanks im

September 2014 vorliegen werden. Die Bewohner haben aber mitgeteilt, dass der neue Regler eine behaglichere Wärme erzeuge. Wie man eine solche Aussage technisch deuten soll, ist schwierig zu sagen. Es könnte sein, dass die Haltung einer stabileren Komforttemperatur mit weniger Schwankungen sich gegenüber dem konventionellen Vorlaufregler angenehmer anfühlt.

2.6 Fazit

Wirklich schlüssige Resultate sind dies nicht. Für einen universellen Einsatz ohne Wenn und Aber eignet sich das Prinzip nicht, weil schon an diesen 3 Pilotobjekten zu viele unterschiedliche Probleme bau- und nutzerseitig das Energiesparen behinderten.

Von den Elektro-Installationskosten her gesehen war die Nachrüstung in den Gebäuden nicht sehr aufwändig. Die Elektroinstallation für den Regler mit den Fühlern kostete im Objekt 2 ca CHF 700.00. In einem anderen Haus wurde die gleiche Arbeit von einer anderen Firma mit CHF 680.00 offeriert.

Im Objekt 3 musste ein Mischer in den Vorlauf eingebaut werden, damit der Regler nachgerüstet werden konnte. Der Installateur hat für den Einbau der Mischerbatterie einen halben Tag gearbeitet.

Der Gerätepreis für den Regler auf Basis einer frei programmierbaren Automationsstation modu525 der Fr. Sauter AG ist bei weitem nicht dort, wo ein normaler Kesselregler für ein Wohnhaus hingehört. Um preislich in den gewünschten Bereich zu kommen, müsste das Projekt in eine Kompakt-Hardware transferiert werden. Vom Softwareaufwand her gesehen steht einer Realisierung mit einer kleineren Hardware nichts entgegen.

3 Universalität des Messprinzips und Nutzen

3.1 Messprinzip

Grundsätzlich ist das Messprinzip mit der Approximation der Messwerte des auskühlenden Rücklaufs auf ein Radiatormodell beschränkt. Im Objekt 2 hat sich auch gezeigt, dass selbst bei Gebäuden, die ausschliesslich mit Radiatoren beheizt werden, das ursprünglich angedachte Messprinzip nicht funktionierte, weil die Heizungsrohre über weite Strecken in den Aussenmauern verlegt waren. Damit kühlte der Heizkreis dieses Gebäudes rein exponentiell aus. Die klassische Heizkurve galt dort nicht. Für die Approximation musste der Heizkörperexponent $m = 1.0$ gesetzt werden, wo normal für einen Radiator $m = 1.3$ richtig ist. Eine nachträgliche Untersuchung hat aufgezeigt, dass sich solche Anlagen trotzdem immer noch automatisch adaptieren lassen.

Um das Prinzip universell einsetzen zu können, müsste man in den Approximationsmodellen auch Mischheizungen mit Anteilen an Boden- und Radiatorheizung verarbeiten können. Dann auch reine Bodenheizungen. Ob solche Modelle machbar sind, müsste man an Gebäudesimulationen weiter erforschen.

3.2 Nutzenabschätzung, Amortisation über die Energieeinsparung

Am Beispiel Bottmingerstrasse wurden den Mietern z.B. in der Heizperiode 2010/2011 Oelkosten von CHF 4'596 abgerechnet. Eine 10% Oeleinsparung würde also jährlich CHF 450 bedeuten. Von einem Nachrüstsystem würde man eine Amortisation innert 3 Jahren verlangen, d.h. Installation + Reglerkosten dürften ca CHF 1'500 nicht übersteigen. Für die Elektroinstallation muss man mit CHF 700 rechnen. Braucht es einen neuen Mischer, dann verdoppelt sich der Installationspreis. Der Regler dürfte nicht über CHF 700 liegen, sonst zahlt sich die Investition nicht rasch genug zurück. Wirklich konkurrenzfähig wäre das System nur, wenn der Algorithmus in OEM-Kessel- und Wärmepumpenreglern softwaremässig bei Neuanlagen enthalten wäre. Dann wären die zusätzlichen Hardware- und Installationskosten quasi null.

4 Die Erprobung des Prinzips in drei Pilotobjekten im Detail

4.1 Pilotprojekt Nr. 1

Ein erstes Pilotobjekt wurde in Oerlikon an der Bucheggstrasse 119 installiert (Siehe Projektbeschrieb Abs.4.1.1). Das Prinzip funktionierte dort wie angenommen. Inbetriebnahme August 2010.

Der Energiespareffekt durch den adaptierenden Regler konnte im Bereich von 18% nachgewiesen werden im Vergleich zum Betrieb der Anlage mit dem in der Wärmepumpe eingebauten konventionellen Vorlaufregler. Allerdings haben nicht reglerabhängige Störfaktoren den Energiehaushalt des Gebäudes massgeblich durcheinander gebracht. Im Herbst 2013 adaptierte die Heizkurve zu immer steileren Werten, das bedeutet bei gleicher Aussentemperatur höhere Radiatortemperaturen. Dies war unlogisch. Die Nachfrage beim Liegenschafteneigentümer ergab folgenden Sachverhalt. An den Rändern der neuen Fenster entstanden Feuchtstellen. Eine Aktion zur Schimmelbekämpfung war nötig und die Mieter wurden zu regelmässigem Durchlüften der Wohnungen angehalten. Ab dieser Weisung schwankten dann die mittleren Raumtemperaturen von Tag zu Tag sehr stark, im Maximum waren es einmal 4°C! Der Regler stellte sich auf eine Steilheit ein, wie zu Beginn der Erprobungsphase vor dem Reglereinbau und vor der Fenstersanierung.

Durch Ausbau des Dachgeschosses mit Dachisolation und Entfernung der Deckenisolation im Keller im Zeitraum der Erprobung wurden zusätzlich so viele Änderungen vorgenommen, dass der rein energetische Einfluss des adaptierenden Reglers methodisch gesehen nicht einfach ausgewiesen werden konnte.

4.1.1 Projektbeschreibung Pilotobjekt Bucheggstrasse 119 in Oerlikon

Ziel des Verfahrens ist es, wesentliche Nachteile der branchenüblichen Aussentemperatur-gesteuerten Vorlaufregler zu beheben. Diese sind:

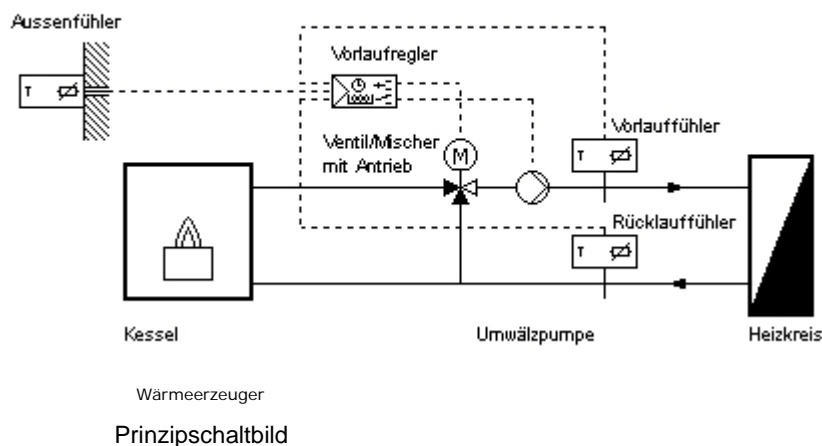
- Die Heizkurvensteilheit, die eingestellt wird, hat keinen direkten Bezug zur Raumtemperatur. Das ist für den Fachmann und den Nichtfachmann intransparent.
- Eine automatische Adaption der Heizkurve verlangt bisher das Setzen von Raumfüh- lern und die Bestimmung eines Referenzraumes. Das soll vermieden werden.
- Der konventionelle Vorlaufregler kann sporadisch anfallende Fremdwärmegewinne aus passiver Sonnenenergienutzung bei der Heizleistung nicht anrechnen.

Das Verfahren beruht auf der täglichen Ermittlung einer Gebäudemitteltemperatur.

Von dieser Gebäudemitteltemperatur abgeleitet wird aus dem Vergleich mit dem Raumsoll- wert die Heizkurvensteilheit in inkrementellen Schritten adaptiert. Adaptionsschritte der Heiz- kurve sind nur erlaubt an Tagen mit wenig Fremdwärme bzw. Sonneneinstrahlung. Als Krite- rium dafür dienen die maximale und minimale Aussentemperatur der letzten 24 Stunden. Wenn diese innerhalb einer Bandbreite von 6°C liegen, kann man davon ausgehen, dass die Wetterlage "bedeckt" war und dass keine Warm- oder Kaltfront vorübergezogen ist.

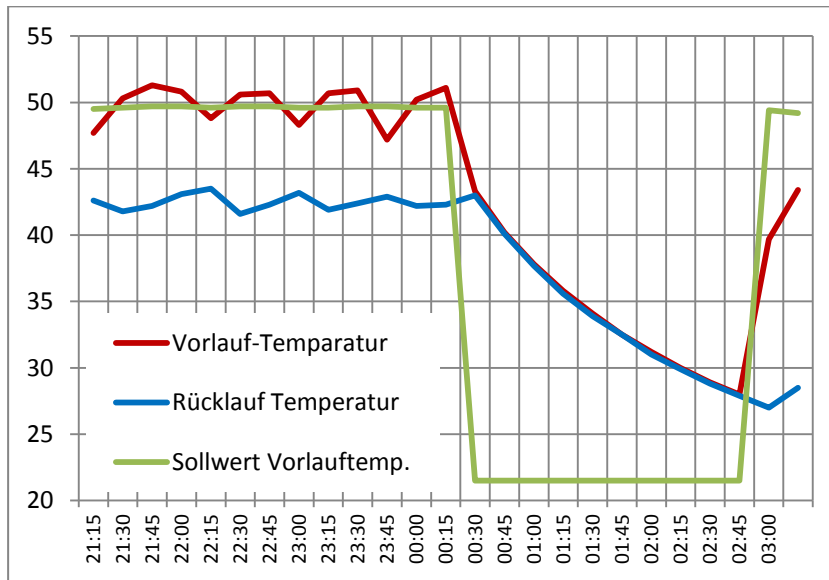
Weicht die Gebäudemitteltemperatur vom vorgegebenen Sollwert ab, wird entsprechend der Abweichung die Heizleistung gegenüber dem Wert nach Heizkurve um Prozente gesenkt bzw. erhöht. Mit dieser sogenannten "Energie-Korrektur" erzielt man vor allem in der Über- gangszeit Energieersparnisse, die dem konventionellen Regler verschlossen bleiben.

Das Messverfahren zur Ermittlung der Gebäudemitteltemperatur eignet sich für Radiator- Heizkreise. Prinzipschaltbild:



Funktion der Messung:

In der Nacht wird während minimal 2 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.



Vor- und Rücklauftemperaturen während des Messintervalles (29.12.2010):

Nach Abschluss des Messintervalles wird das Ventil wieder freigegeben. Die Messwertreihe am 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. Deckungsgleichheit wird über den kleinsten Mean Square Error festgestellt. Das Verfahren konvergiert. Nach 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 über das ganze Gebäude.

Um den Wärmeerzeuger sinnvoll auszulasten kann die Zeit während der Messphase dazu benutzt werden, den Brauchwarmwasserspeicher aufzuladen.

Einsatzbereich:

Das Verfahren eignet sich vor allem für die Sanierung von Gebäuden mit klassischer Radiatorheizung. Da Fussbodenheizungen sehr träge reagieren, benötigte man ein erweitertes Heizkreismodell. Ohne diese Voraussetzung kann vorderhand das Verfahren auf Fussbodenheizungen leider nicht angewendet werden. Auch bringt es keinen Vorteil bei Gebäuden, die grösstenteils leerstehen - wie Ferien-Appartements - wo viele Wohnungen per Thermostatventil auf "Frostschutz" eingestellt sind.

Installation:

Die Installation eines zusätzlichen Rücklauffühlers gegenüber konventionellen Vorlaufreglern mit Aussen- und Vorlauffühler ist dann zwingend, wenn man nicht sicher ist, ob das Regelventil dichtschliessend ist oder wenn der Kessel z.B. wegen Brauchwarmwasseraufbereitung

auch in der Nacht auf Standby bleiben muss und nicht auskühlt. Andernfalls kann der Vorlauffühler die Funktion der Rücklaufmessung übernehmen und man spart einen Fühler.

Damit der Regler seine Rechnungen richtig durchführen kann, muss bei der Inbetriebsetzung die Wärmekapazität des Gebäudes parametrisiert werden (Bautyp, beheiztes Volumen). Die üblichen weiteren Daten aus der Heizungsdimensionierung sind die Kessel-Nennleistung, die Auslegetemperatur und die Vorlauf-Nenntemperatur.

Das Verfahren bietet die Chance, mit akzeptierbarem Installationsaufwand eine grösstmögliche Wirkung bezüglich Regelgenauigkeit und Energieersparnis zu bringen. Dank den Energiekorrekturen, die bei extremen Witterungsverhältnissen sofort eingreifen, müssen in der Heizkurvensteilheit nicht Sicherheitsreserven zugegeben werden. 5 bis 15% Energieeinsparung lässt sich je nach Gebäudetyp durch diese Art der Regeltechnik gegenüber gut eingestellten klassischen Vorlaufreglern gewinnen.

Ganz wichtig ist aber auch, dass am Regler ohne Fachwissen eine Raum-Solltemperatur in °C eingestellt werden kann. Von allen Massnahmen zur Energieeinsparung in Gebäuden hat diese Regulierungsmethode das beste Kosten/Nutzenverhältnis.

Die Methode wurde auf Basis einer Gebäude-, Heizkreis- und Witterungssimulation an 3 Gebäudetypen erprobt und optimiert. Das Sparpotenzial nimmt zu, je träger das Gebäude ist. Bei thermisch leichten Bauten (Holzhäuser) bringt die Methode keine Verbesserung aber auch keine Verschlechterung im Energieverbrauch.

Das Verfahren wurde mit einer Simatic S7 in einem Mehrfamilienhaus in Zürich während vier Jahren erprobt (Realisierung und Programmierung: EL-TECH AG, Basel). Eine Adaption ist nach 4-6 Wochen abgeschlossen. In dieser Zeit sorgt aber die Energiekorrektur-Funktion bereits dafür, dass Wärmeüberschüsse im Gebäude abgebaut werden. Es gab nie Mieterreklamationen wegen der Heizung. Auch konnte z.B. der Einbau von wärmedämmenden Fenstern im Sommer nach der ersten Heizperiode an der Bewegung der Heizkurve direkt abgelesen werden. Der Regler hat aufgrund dieser baulichen Massnahme automatisch die Auslegetemperatur von -4°C auf -7.8°C adaptiert (Fenstersanierung).

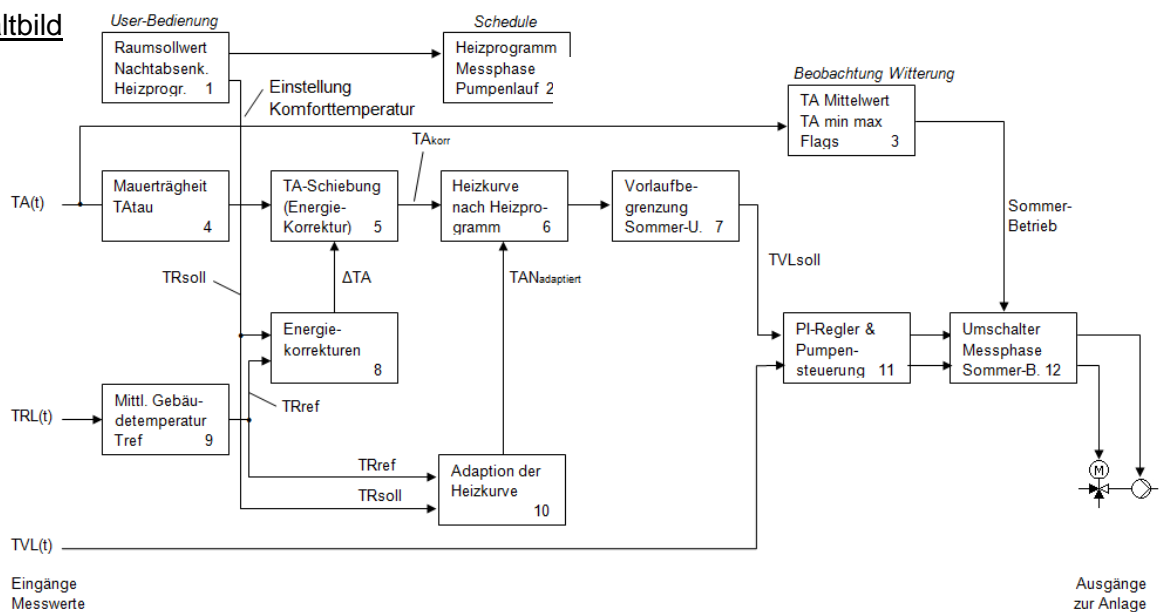


Das Mehrfamilienhaus mit der Pilotanlage



Heizungskeller, Steuerkasten (Simatic S7)

Blockschaltbild



4.1.2 Energieauswertung Bucheggstrasse 119, 18% Einsparung durch Regler!

Quelle der Heizgradtage für Bucheggstrasse 119:

<http://www.stadt-zuerich.ch/content/gud/de/index/umwelt/energie/energiestatistik/heizgradtage.html>

In dieser Pilotliegenschaft wurde ab Beginn der Heizperiode 2012/13 ein Versuch gefahren. Der adaptierende Regler wurde abgehängt und dafür der originale CTA-Regler für den Vorlauf eingeschaltet. Danach wurde im Sommer 2013 wieder der Regler aktiviert für die Heizperiode 2013/14. Am Gebäude wurden in den beiden Jahren des Versuchs keinerlei baulichen Veränderungen vorgenommen.

Der Verbrauch stieg heizgradtag-bereinigt in der ersten Versuchsperiode um 21.4%. Dies war mit auch dadurch begründet, dass im Sommer 2012 noch das Dachgeschoss ausgebaut wurde und damit der Energiebedarf des Gebäudes logischerweise ansteigen musste.

Interessant war aber das Absinken des Energieverbrauchs in der folgenden Heizperiode mit dem adaptierenden Regler. Ebenfalls heizgradtag-bereinigt sank der Energieverbrauch um **18.44%**. Das entspricht der Prognose aus Simulationen, dass der adaptierende Regler durch richtige Einstellung der Heizkurve und eine gescheiterte Sommer-Winterschaltung Ersparnisse ohne Komforteinbusse erzielt, die der konventionellen Regler nicht hereinholen kann.

In der Tabelle unten sind die Ablesewerte und die Energieverbräuche im Vergleich zu den Vorjahresperioden seit Versuchsbeginn aufgeführt. Da an dem Gebäude verschiedene Veränderungen vorgenommen wurden (Isolierfenster, Ausbau des Daches zu einer Wohnung, z.T. zusätzliche Beheizung von Kellerräumen), ist der Energieverbrauch aus verschiedenen Gründen gestiegen bzw. auch gesunken.

Ohne Förderbeiträge ist der mittlere Preis des EWZ 15 Rappen/kWh. Bei einem Verbrauch von 25'690 kWh im Jahr 2012/213 kostete die Energie CHF 3'853. 18.44% gespart bedeutet in Geld ca. CHF 710 Minderausgaben pro Jahr.

Zählerstände Wärmepumpe

Datum	I	II	Verbrauch	Periode	HGT Zü- rich	kWh/HGT mit BWW	in % zu Vorperiode	Beheizter Raum, Regler 1166m3
01.07.2009								
30.06.2010			20506	Jul09-Jun10	3470	5.91		Regler
01.07.2010	12299	8207						
30.06.2011			18300	Jul10-Jun11	3122	5.86	-0.81%	Regler neue Fenster
01.07.2011								
30.06.2012	32813	25302	19309	Jul11-Jun12	3294	5.86	0.00%	Regler Dachausbau 1360 m3
01.07.2012	32813	25302						
20.06.2013	46195	37610	25690	Jul12-Jun13	3608	7.12	21.47%	CTA-Regler
01.07.2013	46195	37610						
30.06.2014	55313	45758	17266	Jul13-Jun14	2973	5.81	-18.44%	Regler

4.2 Pilotprojekt Nr. 2

Das zweite Pilotobjekt an der Bottmingerstrasse 50 in Münchenstein wurde im Januar 2013 in Betrieb genommen. Es hat vom ersten Tag an viel zu tiefe Raumreferenztemperaturen ermittelt. Diese lagen bei 16 bis 17°C, was offensichtlich falsch war.

Die weiteren Untersuchungen über die Ursache der Fehlmessung haben ergeben, dass die Leitungsführung der Rohre zu den Radiatoren dafür massgeblich ist. An der Bucheggstrasse sind die Rohre frei im Raum und führen durch recht gut isolierende Holzdecken zu den Stockwerken. An der Bottmingerstrasse jedoch sind die Zuleitungen meist in der Aussenmauer eingelassen und die Böden/Decken sind aus Beton. Wo die Rohre über Kältebrücken der Betondecken und in der Aussenmauer verlegt sind, geht offenbar ein nicht zu unterschätzender Anteil der produzierten Wärme über Wärmeleitung im Mauerwerk direkt an die Aussenluft verloren. Das Verfahren der Extrapolation der Auskühlkurve misst so einen Wert, der zwischen der Raumtemperatur und der Aussentemperatur liegt (Er liegt natürlich trotzdem sehr nahe bei der Raumtemperatur, aber eben deutlich zu tief). Je tiefer die Heizungsrohre in der Aussenmauer eingelassen sind, umso tiefer ist auch der so ermittelte Endwert der Auskühlung. In diesem Falle folgte die Auskühlung im Rücklauf nach einem rein exponentiellen Gesetz und nicht mit dem Heizkörper-Koeffizienten $m=1.3$. Das Approximationsverfahren zur Referenztemperaturbestimmung musste diesem Sachverhalt angepasst werden.

Bild Rohrführung Bucheggstrasse 119



Heizungsrohre im Raum freistehend

Bild Rohrführung Bottmingerstrasse 50



Rohre in der Aussenmauer eingelassen

Durch Anpassung der Software gleich nach Beginn der Inbetriebsetzung konnte dieses Problem überwunden werden (siehe auch Resultate in Abs. 4.5). Dieses Objekt hat sich in der Erprobung dann als sehr stabil herausgestellt mit sehr positiven Resultaten bezüglich Funktion des adaptierenden Reglers. Die Energieeinsparung durch den Regler in kWh nachzuweisen war jedoch praktisch nicht möglich. Dazu hätte man einen Öl-Durchflusszähler beim Ölbrenner haben müssen, und zwar schon in den Jahren vor der Umrüstung auf den adaptiven Regler. Die Messung des monatlichen Ölverbrauchs über die Ablesung der Öl-Uhr vor Ort ist ungenau und hat mit den Daten des Öllieferanten um mehr als ca 5% differiert. Dies hängt auch damit zusammen, dass die Öllieferungen asynchron zu den monatlichen Ablesungen der Öl-Uhr erfolgten. Auch die historischen Öl-Jahresverbräuche aus den Abrechnungen der

Liegenschaftsverwaltung korrelierten nur schlecht bis gar nicht mit den Heizgradtagen der entsprechenden Periode. Die Ablesungen fanden offenbar nicht exakt an den Stichtagen der Abrechnungsperiode statt oder es wurden eben nur gerundete Ablesewerte der Öl-Uhr vom Hauswart gemeldet. Der Langzeitvergleich des Energieverbrauchs war gestört. Aber die positive Wirkung der Adaption nach einer Sanierung der Estrichisolation konnte sehr schön bestätigt werden. Siehe dazu auch Abs. 4.2.6.

4.2.1 Bottmingerstrasse 50 in Münchenstein



Das Gebäude an der Bottmingerstrasse 50 in Münchenstein ist ein Miethaus, einseitig angebaut, mit 9 Wohnungen. Auf jedem der 3 Stockwerke befinden sich 3 Wohnungen. Brauchwarmwasser wird dezentral erzeugt. Der Ölverbrauch betrifft demnach die Heizung allein.

Als Regler wurde eine Automationsstation modu525 von Sauter mit dem Adaptionalgorithmus eingesetzt. Der Regler wurde mit einem Fernwartungsmodem verbunden, sodass die interessierenden Messwerte und Einstellungen über einen Webserver abgerufen und auch verstellt werden können. Damit lässt sich der Betrieb auf Distanz überwachen und verfolgen. Die so gewonnenen Messreihen wurden für die Betriebsauswertung zugezogen.

Bild des Reglers: Alle Einstellungen können vor Ort in Klartext bedient werden. Das betrifft Sollwerte, Parameter und auch die Schaltzeiten für Uhrzeitprogramme.



Bild der Anlage, links der Experimentierregler, rechts bei der Türe der konventionelle Kesselregler

Auf der nächsten Seite ist ein Screenshot des moduWeb abgebildet. Messwerte und Parameter, die auf Distanz eingesehen und bedient werden können.

caleffeco.dyndns.org/installationview?id=536870914&parent=536870914&slot=-2

SAUTER moduWeb admin Abmelden About DE EN FR SAUTER

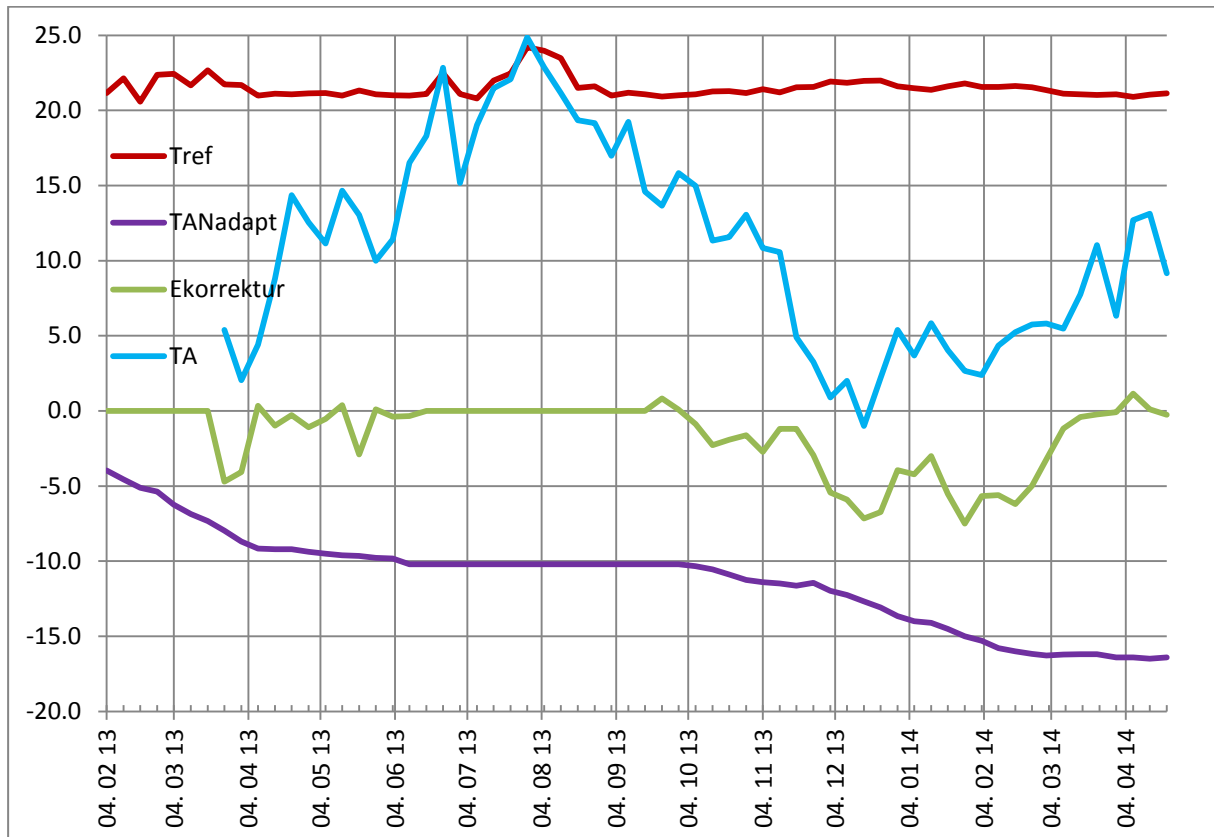
Information Einstellungen Extra 23.01.2013 09:13:16

Anlagensicht

Übersicht
Regelkreise
Alarmer
Datenpunkte
Protokollierung

Status	Name	Istwert		Aktion
✓	MV_0 100 Betriebszustand	Heizen	Heizen	↶ ↷
✓	AV_13 101 TA Aussentemp.	-3,4 °C	-3,4	↶ ↷
✓	AI_1 102 TVL Ni 1000	74,8 °C		↶ ↷
✓	AI_2 103 TRL Ni 1000	52,4 °C		↶ ↷
✓	AV_11 104 Raum-Mittelwert	20,5 °C	20,5	↶ ↷
✓	AV_7 105 Energiekorrektur	2 %	2	↶ ↷
✓	BO_1 106 Heizkreispumpe	EIN	EIN	↶ ↷
✓	AV_9 107 Soll-Vorlauftemp	68,5 °C	68,5	↶ ↷
✓	BV_3 108 Witterung	Sun/Front	Sun/Front	↶ ↷
✓	AO_0 109 Reglerausgang stetig	8,48 V	8,48	↶ ↷
✓	AV_0 110 Raum-Sollwert	21 °C	21	↶ ↷
✓	AV_8 111 Nachtabsenkung	3 °C	3	↶ ↷
✓	BV_1 112 Heizprogramm	normal	normal	↶ ↷
✓	AV_6 120 Auslegetemp. max	-3 °C	-3	↶ ↷
✓	AV_18 121 Auslegetemp. adapt	-4 °C	-4	↶ ↷
✓	AV_14 122 setTAN	-4 °C	-4	↶ ↷
✓	AV_5 123 Vorlauf-Nenntemp.	70 °C	70	↶ ↷
✓	AV_4 124 Leistung Wärmeerz.	60 kW	60	↶ ↷
✓	MV_3 125 Stellantrieblaufzeit	150 sec	150 sec	↶ ↷
✓	AV_1 130 Beheizter Raum	1572 m³	1572	↶ ↷
✓	AV_2 131 Spez. Wärmekap.	52	52	↶ ↷
✓	MV_1 132 Fassadentyp	Mauer	Mauer	↶ ↷
✓	MO_0 140 3-Pkt Stellantrieb	STOP	STOP	↶ ↷
✓	BV_2 141 zykl Pumpenlauf So	0	0	↶ ↷
✓	AV_10 142 MS Error	0,02	0,02	↶ ↷
✓	AV_12 143 TA Mittelwert	0 °C	0	↶ ↷
✓	AV_19 144 Sommer	0	0	↶ ↷
✓	AV_3 146 Software Version	1,03	1,03	↶ ↷
✓	AV_15 Faktor	0,16	0,16	↶ ↷
✓	AV_28 Heizkörperexponent	1,3	1,3	↶ ↷
✓	AV_29 MSE-Schwellwert	0,15	0,15	↶ ↷
✓	AI_0 TA Ni 1000_1	-3,4 °C		↶ ↷
✓	AV_16 TRL0	37,1 °C	37,1	↶ ↷
✓	AV_20 TRL1	33,62	33,62	↶ ↷
✓	AV_21 TRL2	30,91	30,91	↶ ↷
✓	AV_22 TRL3	28,8	28,8	↶ ↷
✓	AV_23 TRL4	27 °C	27	↶ ↷
✓	AV_24 TRL5	25,6 °C	25,6	↶ ↷
✓	AV_25 TRL6	24,5 °C	24,5	↶ ↷
✓	AV_26 TRL7	23,5 °C	23,5	↶ ↷
✓	AV_27 TRL8	22,8 °C	22,8	↶ ↷
✓	AV_17 ekorrektur1	0,02	0,02	↶ ↷
✓	BV_0 start messphase1	0	0	↶ ↷

4.2.2 Adaptionsverlauf Bottmingerstrasse 50



Variablen: Tref = mittlere Raumtemperatur, TANadapt = adaptierte Auslegenenntemperatur
Ekorrektur = tägliche Energiekorrektur in Abhängigkeit der gemessenen mittleren Raumtemperatur vom Vortag, TA = Aussentemperatur

Nach der Inbetriebsetzung Ende Januar 2013 dauerte es bis Beginn April 2013, bis sich die Auslegenenntemperatur auf das Gebäude adaptiert hatte. Im Sommerbetrieb bewegt der Regler die Adaption nicht. Im Herbst ab September 2013 bewegte sich die Adaption nochmals leicht nach unten. Im November 2013 wurde das Dach isoliert. Diese energietechnischen Massnahmen hatten zur Folge, dass die Auslegenenntemperatur vom Regler automatisch nochmals stark gesenkt wurde (TANadapt). Der Endwert liegt jetzt im Frühjahr 2014 bei TANadapt = -16.2°C. Bis zum Abschluss der Adaption haben Energiekorrekturen (Ekorrektur) die Heizleistung tageweise reduziert. Man sieht auch, dass die mittlere Raumtemperatur Tref bis zum Abschluss der Adaption leicht über 21°C war.

4.2.3 Probleme bei der Bestimmung der Referenztemperatur

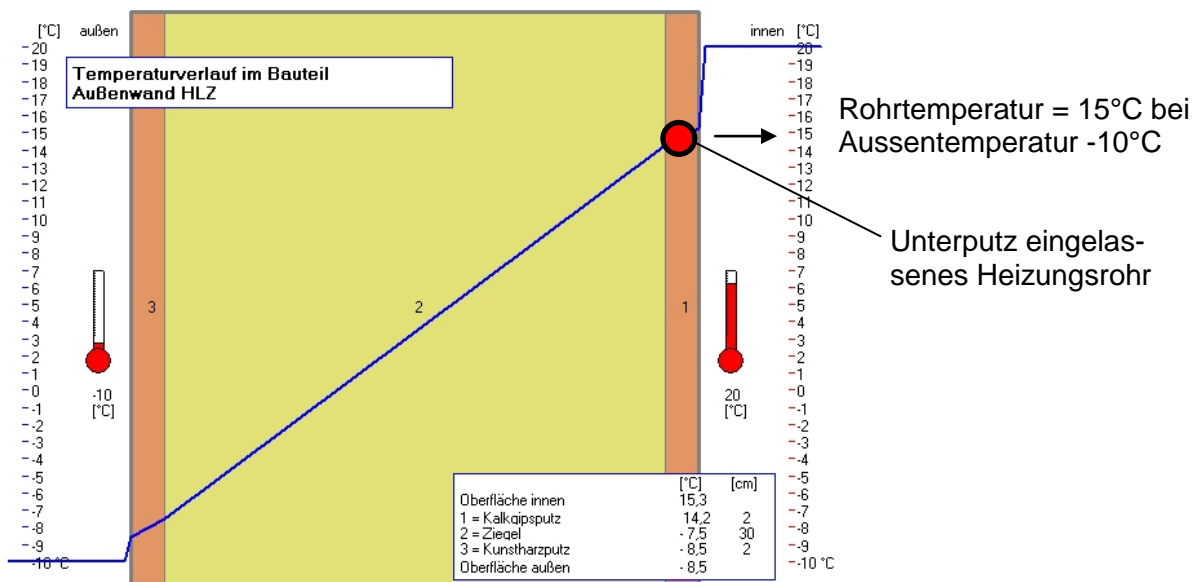
Bei der Bestimmung der Referenztemperatur sind wie eingangs erwähnt zuerst viel zu tiefe, unplausible Werte herausgekommen.

Bei näherem Hinschauen hat sich gezeigt, dass die Wärmekapazität des Radiatormodells im Regler im Vergleich zum ersten Pilotprojekt halb so gross ermittelt wurde. Das ist nicht plausibel, weil beide Pilotprojekte über sehr alte Radiatoren mit dicken Rohren verfügen. Ein solcher Unterschied kann nicht sein.

Weiter ist gleich zu Beginn aufgefallen, dass die Auskühlung des Radiatormodelles sich schlecht mit den Messwerten am Rücklauf approximieren liess. Der Mean Square Error (MSE) war grösser als der erlaubte Schwellwert. Mit den Rücklaufmesswerten wurde dann mit Excel die Sache nachgerechnet und festgestellt, dass der Mean Square Error gegen 0 geht, wenn man den Heizkörperexponent (normal $m = 1.3$ bei Radiatoren) im Modell auf $m = 1.0$ einstellte. Mit anderen Worten die nichtlineare Radiatorauskühlung entsprechend der Heizkurve war in diesem Gebäude die falsche Annahme. Bei rein exponentieller Auskühlung ohne Heizkurvenkrümmung ($m = 1.0$) war die Fehlerabweichung minimal.

Diese Phänomene können nur so erklärt werden, dass die Auskühlung des Heizkreises in der Messphase mehr von der Wärmeableitung der Rohre in der Aussenmauer und Decke als durch die Radiatoren gegen die Luft des Raumes bestimmt ist. Mit anderen Worten, die Methode liefert in diesem Falle nicht einen Näherungswert der Temperatur des Raumes sondern sie läuft hin zu einem Temperaturwert im inneren Teil der Aussenmauer.

Figur: Temperaturverlauf in der unisolierten Backsteinmauer der Aussenhülle. Im Beispiel der folgenden Figur also ca 15°C bei einer Aussentemperatur von -10°C .



Da die Radiatoren bei kleinen Temperaturdifferenzen zur Umgebungstemperatur nur ganz wenig Wärme abgeben oder aufnehmen (Fall laminare Strömung), können sie in diesem Bereich der Auskühlung als isoliert betrachtet werden und der Mauereinfluss wird dann dominant.

4.2.4 Lösungsansatz zur Überwindung des Mauerproblems

Gut ist, dass die bestehende Software das Problem über den MSE selbst herausfindet. Daher ist es möglich, die Gerätesoftware so zu erweitern, dass nach Inbetriebsetzung zuerst der zur Anlage passende Heizkörperexponent gesucht wird. In dieser Zeit wird die Anlage mit Standardwerten der Heizkurve gefahren ohne Energiekorrektur.

Vorgehen. Die Approximation des Radiatormodelles wird mit $m = 1.3$ beginnend gestartet. Der dazugehörige MSE wird gespeichert. Danach wird die Approximation wiederholt mit

$m = 1.2$, $m = 1.1$ und $m = 1.0$. Das m mit dem kleinsten zugehörigen MSE wird für die künftigen Approximationen verwendet.

Je kleiner m umso grösser der Mauereinfluss.

Schon im Basismodell (Bucheggstrasse 119) wurde die Raumreferenz gegenüber dem Approximationswert des Modelles angehoben mit der Begründung, dass die Radiatoren die Raumtemperatur bei den kalten Aussenwänden messen. Im Rauminnen in der Nähe der Innenspeicher ist die Temperatur um ca. 1°C höher, bei einer Aussentemperatur von 0°C . Der Proportionalitätsfaktor (Variablenname *Faktor*), mit dem die Modelltemperatur zur Referenztemperatur herauf gerechnet wird beträgt 0.05. D.h. bei einer Aussentemperatur von z.B. 0°C beträgt die Differenz zwischen Raum- und Aussentemperatur 20°C . Die Differenz multipliziert mit dem Faktor ergibt einen Korrekturwert von $+1^{\circ}\text{C}$ zum Modellwert.

Im Falle Bottmingerstrasse 50 muss der Faktor mit 0.17 eingesetzt werden, damit Tref (Raum-Mittelwert) stimmt. Mit einer Tabelle wie folgt kann man aus der erstmaligen Bestimmung von m die Faktoren zur Modellkorrektur bestimmen:

$m = 1.3 \rightarrow$ Faktor = 0.05	Einstellung Bucheggstrasse 119
$m = 1.2 \rightarrow$ Faktor = 0.09	
$m = 1.1 \rightarrow$ Faktor = 0.13	
$m = 1.0 \rightarrow$ Faktor = 0.17	Einstellung Bottmingerstrasse 50

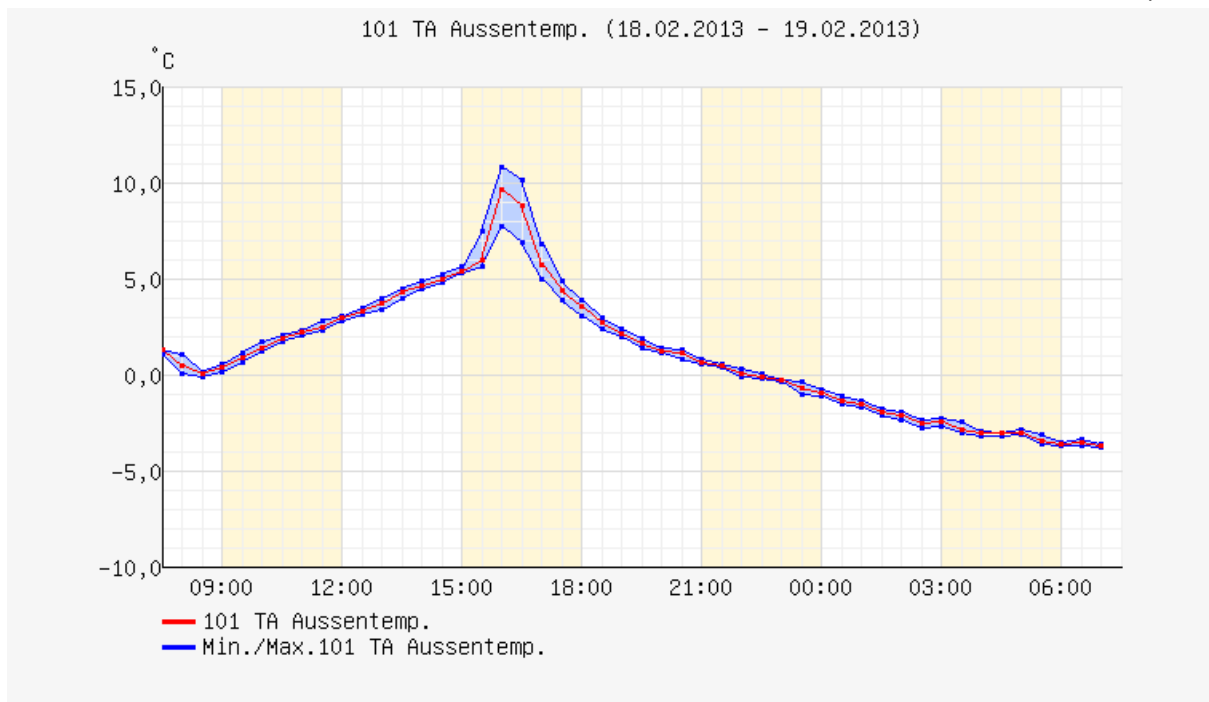
Eine solche Programmerweiterung wurde in C programmiert und hat sich als valable und automatisch ablaufende Lösung für dieses Problem erwiesen. Die Bestimmung des Faktors ist eine Näherung und dürfte aber genau genommen immer eine Unbekannte bleiben, da sie von der Verlegung der Rohre und der Bauweise des Gebäudes abhängig ist. Und genau diese baulichen Gegebenheiten sind versteckt und waren in unserem Falle nicht dokumentiert. Sie können bei einer Begehung in einem älteren Bau auch nicht gesehen werden.

Der Faktor muss auch bei der Bestimmung der Raumreferenztemperatur im Sommerbetrieb berücksichtigt werden. Dies war im Pilotversuch nicht der Fall und das hat dazu geführt, dass nach Umschaltungen in Sommerbetrieb in der Übergangszeit die Anlage immer wieder in den Heizbetrieb zurückfiel. Für eine definitive Ausführung des Reglers muss dieser Punkt noch ins Programm einfließen, sonst wird das Energiesparpotenzial nicht ausgeschöpft.

4.2.5 Kleineres Problem: Platzierung des Aussenfühlers

An sonnigen Tagen war die Referenztemperatur häufig tiefer als der Sollwert. In der Liegenschaft Bucheggstrasse 119 habe ich das Gegenteil festgestellt. Eine Kontrolle des Aussen-temperaturverlaufs, wie der Fühler sie misst, zeigt Folgendes.

./.



Nach 15 Uhr steigt die Temperatur sprunghaft an, weil zu dieser Zeit am Tag die Sonne den Fühler direkt bescheinen kann. Der Fühler ist an der südlichen Ecke der Nord-Westfassade angebracht (Vorschrift wäre Nordseite). Dies hat zur Folge, dass die Heizung zurückgedreht wird und je nach Dauer des Temperaturpeaks dem Haus weniger Wärme zugeführt wird.

Der Effekt hat dazu geführt, dass wesentlich weniger trübe Tage für die Adaption zur Verfügung standen wie z.B. an der Bucheggstrasse 119. Das hat die Adaption verlangsamt aber nicht verhindert. Gleichzeitig wurde in der Übergangszeit die Heizung häufig kurzfristig in Sommerbetrieb geschaltet und dadurch wurden die Energiekorrekturen am folgenden Tag unterdrückt, obwohl positive Fremdwärmeeinflüsse ein Zurückdrehen des Vorlaufes gerechtfertigt hätten.

4.2.6 Energieauswertung Bottmingerstrasse 50, nur 5.3% Einsparung

Quelle für die offiziellen Heizgradtage ist dieser Link:

<http://www.hev-bs.ch/vermieten-verwalten/heizgradtage/heizgradtage-2013/>

Unplausible Daten aus der Vergangenheit der Liegenschaft Bottmingerstrasse 50:
Die Ölverbrauchsdaten der letzten 3 Heizperioden wurden als Ausgangsbasis für einen Energievergleich analysiert. Die Heizkostenabrechnungen lieferten die Grunddaten dazu.

Heizperiode	Öl in lt	1 kg Öl Öl in kg	11.63 kWh Öl in kWh	85% Wirkungsgrad kWh	HGT	kWh/HGT ohne BWW	Beheizter Raum
2008/09	4895	4322	50268	42'728	3055	13.99	1572m ³
2009/10	5035	4446	51706	43'950	3046	14.43	
2010/11	5400	4768	55454	47'136	2849	16.54	
2011/12	4641	4098	47660	40511	2896	13.99	
Jul13/Jun14	3968	3504	40753	34640	2486	13.41	

Bei diesen Daten fällt auf, dass die geschätzten kWh/HGT für die Heizperiode 2010/11 deutlich höher ausfallen als bei den vorangehenden 2 Heizperioden, obwohl die Heizgradtage HGT tiefer sind (gelb markiert). Das ist unplausibel. Solche Fehler kann es bei Fehlablesungen des Ölstandes oder bei nicht mit der Heizperiode synchroner Ablesung geben. Aber für einen Energievergleich taugt es wenig. Kommt dazu, dass die Ablesung am Ölstandszähler Dreisatzrechnen verlangt, siehe Bild.



Nimmt man aber trotzdem die 4 vollständig dokumentierten Jahre 2008/09 bis 2011/2012 zusammen, dann war der spezifische Energieverbrauch d.h. der Energieverbrauch pro Heizgradtag in diesen 4 Jahren 14.72 kWh/HGT.

Nach abgeschlossener Adaption beträgt diese Kennzahl im Beobachtungszeitraum Juli 2013 – Juni 2014 13.93. Zum langjährigen Mittelwert hat sich der spezifische Energieverbrauch nur um 5.3% reduziert.

4.3 Pilotprojekt Nr. 3

Das dritte Pilotobjekt wurde im Herbst 2013 in Betrieb genommen, ein Zweifamilienhaus in Sexau (D) in der Nähe von Offenburg.

Ziel der Erprobungen ist ja, den Effekt der Energieersparnis durch den adaptierenden Vorlaufregler nachzuweisen. Es hat sich dann herausgestellt, dass dieses Gebäude zu diesem Ziel nichts beitragen kann, weil ein bedeutender Teil der Wohnfläche im Erdgeschoss der einen Wohnung durch ein Holzcheminée geheizt wird. Ein Energievergleich Öl- plus Holzverbrauch ist schwierig zu machen, da der Heizwert des Holzes nur rudimentär messbar ist und in diesem Falle auch nicht jedes Jahr die gleiche Holzsorte eingesetzt wurde.

Die Ermittlung der mittleren Raumtemperatur über den auskühlenden Vorlauf war zu Beginn des Probetriebes immer wieder stark gestört. In einem ersten Schritt musste die Umwälzpumpe auf Dauerbetrieb umprogrammiert werden. Die mit der Vorlaufbatterie neu eingebaute Pumpe hat bei wenig Wärmeabgabe den Motor ganz abgeschaltet. Das Messintervall ist ein Zustand mit Null Wärmeabgabe und somit hat die Pumpe mitten im Messintervall abgeschaltet. Die Messung des auskühlenden Rücklaufs wurde dadurch verhindert. Nach der Korrektur der Pumpeneinstellungen waren die Messungen aber immer noch nicht gut. Die Untersuchungen haben weiter ergeben, dass batteriebetriebene, elektronische Thermostatventile die Ursache waren. In deren Programm gibt es die Funktion, bei Fensterlüftung – d.h. bei raschem Absinken der Raumtemperatur – das Ventil ganz zu schliessen. Allerdings wird die Heizung des Radiators nach 15 Minuten dann wieder freigegeben. Dies hat in der Messphase des Reglers dazu geführt, dass eine Anzahl solcher Ventile die Messphase als Fensterlüftung interpretierten und dann ganz geschlossen haben. Das bewirkte eine nicht gleichmässige Auskühlung des Rücklaufs. Die Messwerte schwankten sehr und der Regler hat viele Messungen als zu ungenau nicht akzeptiert. Die Adaption und die Energiekorrektur waren somit nicht möglich. Nach Ausschaltung dieser Fensterlüftungsfunktion an allen elektronischen Thermostatventilen im Haus hat dann die mittlere Raumtemperaturmessung ordentlich funktioniert. Die Schwankungen waren aber von Tag zu Tag gross, weil die unregelmässige Cheminéebeschickung eine vom Regler nicht erfassbare "Störung" ist.

Im gleichen Gebäude hat sich noch ein anderes Benutzerproblem gezeigt. Im Bemühen möglichst viel Heizenergie zu sparen wurden die Kinderzimmer mit elektronischen Heizkörper-Thermostatventilen mit einem Programm versehen, das während der Schulzeit und in der Nacht die Radiatoren ganz abschaltete. Die Räume waren während der Präsenzzeit aber viel zu kalt (17°C) und die Lösung wurde primär darin gesucht, die Vorlauftemperaturen hinaufzusetzen. Zudem wurde in jedem Kinderzimmer ein elektrischer Heizlüfter hineingestellt, den die Kinder während der Schulaufgaben laufenliessen. Es wurde nicht berücksichtigt, dass ein Raum nicht stundenweise in der Temperatur um mehrere Grade auf- und abgekühlt werden kann. Wegen der thermischen Trägheit der Innen- und Aussenspeicher (Mauerwerk,

Böden, Decken) ist das bauphysikalisch nur in einem sehr engen Bereich möglich, typisch ± 0.5 bis ± 1 °C. Nach Aufhebung dieser Programmierung waren dann auch die Kinderzimmer wärmer aber immer noch nicht warm genug. In letzter Konsequenz hat sich gezeigt, dass elektronische Heizkörperthermostaten im Prospekt viel Energieersparnis propagieren, dabei aber eine ziemlich kontraproduktive Wirkung entfalten können. Im Grunde genommen müsste man wegen der hydraulischen Unausgeglichenheit der Heizkörperauslegung bei den Kinderzimmern die Vorlauftemperatur für den Rest des Gebäudes auch höher ansetzen, obwohl dort nicht notwendig. Ein solches Problem kann die Automatik des selbstadaptierenden Reglers nicht lösen.