

AutorProf. Dr.-Ing. Gunter Lauckner¹,Prof. Dr.-Ing. Achim Trogisch²¹ HTW DD, Fakultät Elektrotechnik, LG

Anlagen- und Produktautomatisierung,

² HTW DD, Fakultät Maschinenbau/

Verfahrenstechnik. LG TGA



Bild 1: Bibliothek der HTW Dresden am Tag

Heizung und Lüftung einer Hochschulbibliothek

Betriebserfahrungen an der HTW Dresden

Beim Neubau eines Bibliotheksgebäudes für die Hochschule für Technik und Wirtschaft Dresden wurde ein Heizungs-, Lüftungs- und Klimakonzept geplant und realisiert, das weitgehend ohne Klimaanlage auskommt. Nach fast drei Jahren des Betriebs wurden die realen Raumbedingungen mit der ursprünglichen Aufgabenbeschreibung verglichen und Abweichungen analysiert.

Im Dezember 2006 wurde das neue Bibliotheksgebäude der Hochschule für Technik und Wirtschaft Dresden nach fast zweijähriger Bauzeit eröffnet (Bilder 1 und 2). Damit konnte die Hochschule einen weiteren Neubau in Besitz nehmen, der den Campus komplettiert. Die neue Bibliothek bietet in vier Etagen und mit einer Gesamtfläche von ca. 2100 m² genügend Platz für Bücherregale, Arbeitsplätze für Studenten, Gruppenräume, einen Schulungsraum sowie für einen Lesesaal mit 48 Sitzplätzen (Bild 4). Im Inneren der Bibliothek befindet sich ein Atrium. Mit dem Neubau gelang dem Architekturbüro R. Herbst aus Berlin eine Komposition aus Funktionalität, Eleganz und Modernität. Dazu gehört ein innovatives Heizungs-, Lüftungs- und Klimakonzept. Auf Klimaanlage wurde verzichtet. Nur im PC-Schulungsraum und im Magazin wird der Raumluftzustand durch Klimaanlage beeinflusst. Die natürliche Belüftung und Belichtung wird mit den Fenstern ermöglicht. Durch eine motorisch gesteuerte Fensterlüftung wird unter Ausnutzung des thermischen Auftriebes im Atrium (Bild 3) für eine Querlüftung und für eine Belüftung der anderen Geschosse gesorgt.

Als passive Speichermassen werden unverkleidete Bauteile eingesetzt, die sich im Sommer bei Durchströmung mit kühlerer Außenluft abkühlen sollen. Eine Bauteilaktivierung der Decken zwischen den Geschossen soll das Lüftungskonzept aktiv unterstützen.

Mit diesem Klimakonzept wird die Reduzierung der Betriebs- und Unterhaltungskosten angestrebt. In der kalten Jahreszeit sorgen eine partielle statische Heizung, die Fußbodenheizungen im Erdgeschoss und im Lesesaal sowie die Betonkernaktivierung für eine angenehme Raumtemperatur in den einzelnen Räumen. Das konzipierte HLK-Kon-

zept wird durch ein umfangreiches und komplexes Regelungskonzept ergänzt. Vom Bauherrn SIB (Sächsischer Staatsbetrieb Immobilien- und Baumanagement) wurden die Autoren beauftragt, die sich tatsächlich einstellenden Raumkonditionen und das Regelverhalten einzelner Komponenten zu analysieren und sie mit der konzipierten Aufgabenbeschreibung der Planung zu vergleichen [1].

Hausanschlussstation

Dabei wurde festgestellt, dass die Temperaturen im Sekundärkreis der Hausanschlussstation schwingen. Deshalb wurden eine umfangreiche Analyse der Anlagen- und Automatisierungslösung sowie eine experimentelle Prozessanalyse für das dynamische Verhalten der Teilregelstrecken vorgenommen, um die Ursachen für diese Schwingungen zu erkennen und Maßnahmen daraus abzuleiten. Das betrifft die primärseitige Versorgung durch ein Fernwärmenetz mit Rücklauftemperaturbegrenzung und die Verteilung über einen Zortström-Verteiler, dessen Aufbau und Übertragungsverhalten ungenügend bekannt sind. Starke Schwingungen traten bei Außentemperaturen unter 10 °C auf, d.h. bei einer größeren Belastung der Anlage. Bei starken Schwankungen im Sekundärkreis schwingen auch die nachfolgenden Heizkreise (Bild 5). Je mehr Abnehmer Wärme beziehen, umso größer werden die Schwankungen der Sekundärvorlauftemperatur. Es konnte bisher nicht abschließend geklärt werden, welche Ursache die Instabilitäten haben. Offensichtlich überträgt der Sekundärkreis durch die Verkopplung der Regelkreise seine Schwingungen auf die Verteilerkreise (Bild 6). Die Instabilität der Vorlauftemperaturregelung im Sekundärkreis ist scheinbar



Bild 2: Ein Teil der Bibliothek der HTW Dresden am Abend



Bild 3: Bibliothek der HTW Dresden; Atrium



Bild 4: Bibliothek der HTW Dresden; Lesesaal

Fotos: Sebb, HTW DD

ein regelungstechnisches Problem, was in der Komplexität der Anlage und dem ungenügend bekannten Verhalten des Verteilers liegen kann. Deshalb werden das dynamische Übertragungsverhalten der Sekundärtemperaturregelstrecke qualitativ und quantitativ durch geeignete Versuche an der Anlage weiter messtechnisch erfasst und die Regelung ggf. neu eingestellt. Das Übertragungsverhalten der Regelstrecke verändert sich in den verschiedenen Jahreszeiten, denn nur bei niedrigen Außentemperaturen tritt eine höhere Wärmeabnahme der Heizkreise auf.

Dies lässt die Vermutung zu, dass sich auch das Verhalten der Regelung belastungsabhängig und wenig robust gegenüber Arbeitspunktveränderungen, d.h. Schwankungen in der Wärmeabnahme in den Verteilkreisen, darstellt. Es könnte sich also durchaus ein außentemperaturabhängiges Übertragungsverhalten des Sekundärkreises einstellen, wobei dann auch die nachgeordneten Regelkreise betroffen sind. Die Einflüsse auf das regelungstechnische Verhalten der Anlage können durch weiterführende Messungen von Übergangsfunktionen im Sekundärkreis und in der Verteilung verifiziert oder mittels objektorientierten Verfahren für die Gebäude- und Anlagensimulation analysiert werden [2].

Gebäudezone Lesesaal

Die Zielstellung der Untersuchungen bestand darin, eine Analyse des Raumluftzustandes im Lesesaal der Bibliothek vorzunehmen. Im Lesesaal befinden sich eine Fußbodenheizung sowie drei Heizkörper einer statischen Heizung im Regalbereich, die auf die Innentemperatur des Saals Einfluss nehmen. Eine Raumtemperaturregelung durch die statische Heizung wird ausgeschlossen, da sich an den Heizkörpern Thermostatventile befinden, die im Winter meist 100 % geöffnet sind. Die Fußbodenheizung erweist sich mit ihrer Ansteuerung zur Realisierung der Raumlufttemperatur als geeignet.

Im Lesesaal der Bibliothek befinden sich Sensoren, die die Prozessgrößen Raumlufttemperatur, relative Luftfeuchte und die CO₂-Konzentration in diesem Raum messen. Zusätzliche Sensoren dienen zur Erkennung der geöffneten bzw. geschlossenen Fenster. Als weitere Prozessgrößen werden die Vor- und Rücklauftemperatur, die Ventilstellung des Heizkreismischventils der Fußbodenheizung u.a. gemessen. Jeder Sensor ist einem bestimmten Datenpunkt in den MSR-Plänen zugeordnet.

Die Temperaturmessung erfolgt über zwei Sensoren, die sich über den Eingangstüren in der Nordost- bzw. in der Südostecke des Lesesaals befinden. An den gleichen Positionen befinden sich auch die Sensoren zur

Messung der relativen Raumluftfeuchte und der CO₂-Konzentration. Die Prozessgrößen werden mit einer Abtastzeit von 1 min gemessen und in der Gebäudeleittechnik (GLT) der Bibliothek auf einem Rechner gespeichert.

Als behagliche Raumlufttemperaturen wurden vom Planer für den Winterfall 22 °C und für den Sommerfall der Bereich von 22 bis 24 °C angenommen. Damit die Nutzer sich im Lesesaal nicht unbehaglich fühlen, muss eine Regelung die Raumlufttemperatur konstant halten. Zusätzlich zum aktiven Heizen und Kühlen soll die Regelung der Raumtemperatur im Lesesaal durch Öffnen und Schließen der Fenster geschehen. Hierzu wird der Mittelwert der beiden Raumtemperatursensoren mit dem oberen Grenzwert 26 °C und dem unteren Grenzwert 20 °C verglichen. Des Weiteren erfolgt eine Überprüfung, ob die Außentemperatur eine entsprechende Stellreserve zur Beeinflussung der Raumlufttemperatur bietet. Wird eine Grenzwertverletzung der Raumtemperatur festgestellt und besteht eine Stellreserve seitens der Außentemperatur, so werden die Fenster im Lesesaal 5 cm geöffnet. Wenn der Mittelwert der Innentemperatur jeweils den entgegengesetzten Grenzwert erreicht oder die Stellreserve sinkt, werden die Fenster wieder geschlossen.

Das konzipierte und geplante Heizungs-, Lüftungs- und Klimakonzept weist gegenwärtig durch seine Komplexität einige Probleme auf. Im Betriebsablauf der gebäudetechnischen Anlagen zeigt sich, dass eine korrekte Funktion des gewünschten Prozessverhaltens kaum gegeben ist. Die Regelung der Temperatur, der relativen Feuchte und der Raumluftqualität der einzelnen Freihandbereiche soll durch Öffnen und Schließen der Fenster erfolgen. Durch eine Vielzahl von Entscheidungen in Abhängigkeit des Innen- und Außenluftzustandes kommt es zu gegenseitigen Verriegelungen und nur selten zum Öffnen der Fenster. Somit kann eine kontinuierliche bedarfsgerechte Regelung der Raumtemperatur und der Luftqualität nach diesem Prinzip nur bedingt durchgeführt werden. Dieses Problem der Raumtemperatur- und Luftqualitätsregelung trifft auch für den Lesesaal der Bibliothek zu. In diesem großen Raum kommt es z.B. in Zeiten der Prüfungsphase zu großen Überschreitungen der empfohlenen CO₂-Grenze von 1000 ppm für gute Raumluft.

Des Weiteren wird an heißen Sommertagen eine Raumtemperatur von mehr als 30 °C erreicht. Eine genaue Untersuchung der gemessenen Prozessgrößen des Lesesaals zeigt, dass das gewünschte Prozessverhalten nach Funktionsbeschreibung des Planers nur unzureichend realisiert wird.

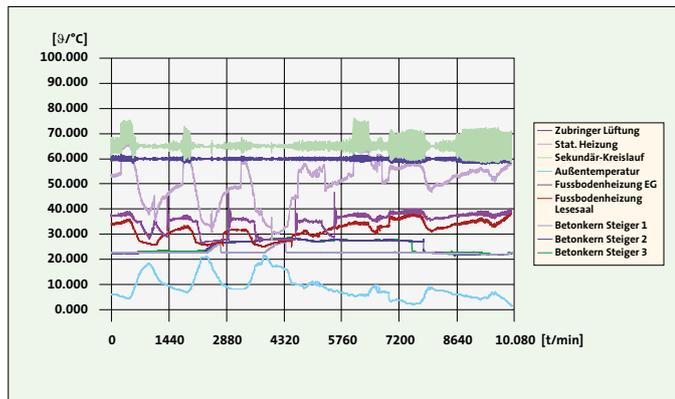


Bild 5: Zusammenhang zwischen der Sekundärtemperaturregelung und den Heizkreisen

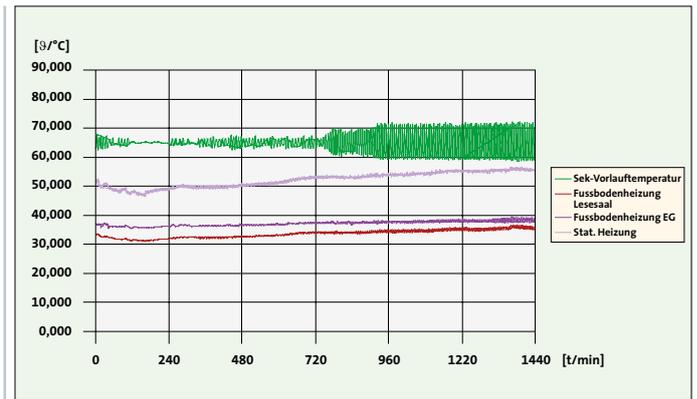


Bild 6: Vorlauftemperaturen Fußbodenheizung und statische Heizung

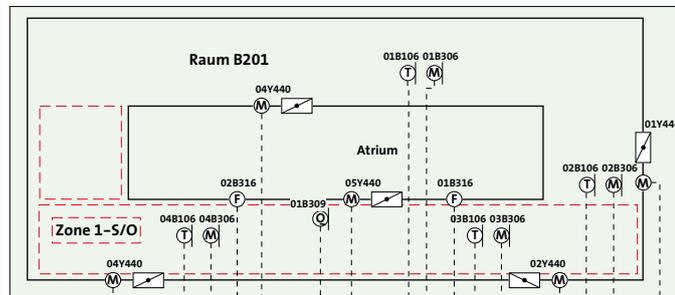


Bild 7: Zone 1-S/O 1. OG

Somit ergeben sich folgende Schlussfolgerungen:

- Eine Regelung der Raumtemperatur durch Öffnen und Schließen der Fenster findet nicht bzw. nur selten statt und ist durch die Verriegelung mehrerer Prüfbedingungen kaum wirksam. Durch Öffnen der Fenster erfolgen nur kurzzeitige Temperaturänderungen. Die Speicherwirkungen der dicken Wände haben einen großen Einfluss auf die Raumtemperatur. Die zusätzliche Regelung der Raumlufttemperatur ist durch Öffnen der Fenster aus ökonomischen und ökologischen Aspekten angebracht. Nach EnEV 2007 sollte jedoch eine raumweise Regelung der Temperatur durch selbsttätig wirksame Einrichtungen, wie stellbarer Wärmeübertrager mit Antrieb und Regelung, ermöglicht werden. Dazu ist das gegenwärtig vorhandene Konzept zu überarbeiten.
- Aufgrund der schweren Bauweise der Bibliothek und der Nutzung kann auf eine Regelung der relativen Feuchte verzichtet werden. Die Bauweise bewirkt eine Vergleichmäßigung der relativen Raumluftfeuchte, so dass Grenzwerte selten überschritten werden.
- Eine Einhaltung der Grenzwerte für die CO_2 -Konzentration durch Ansteuerung der Fenster führt zu keinem erkennbaren Ergebnis. Es kann teilweise zu großen Überschreitungen der Grenzwerte kommen.
- Gründe für das seltene Öffnen der Fenster sind eine Fülle von Fallunterscheidungen, die zum Blockierung der Fenster führen (Wind, äußere akustische Belastung, Regen, Sicherheit).
- Bei der Ansteuerung der Fußbodenheizung als stellbarer Wärmeübertrager zur Regelung der Raumlufttemperatur ist nur ein Auf-/Zu-Ventil vorgesehen, d.h. die Heizung kann nur an- oder ausgeschaltet werden. Damit kommt es zum Schwingen der Raumlufttemperatur, da die Fußbodenheizung eine große Trägheit aufweist.
- Die Fußbodenheizung könnte jedoch zusätzlich kontinuierlich über den Sollwert ihrer Vorlauftemperaturregelung angesteuert werden, was allerdings wenig üblich ist.

Betonkernaktivierung (BTA bzw. TABS)

Die im Dezember 2006 in Betrieb genommene HTW-Bibliothek ist mit einer Betonkernaktivierung (BTA) ausgestattet [3].

Seit Inbetriebnahme der BTA zeigten sich einige Problemen in der Regelung der Anlage, die zu einigen, jedoch behebbaren Unzufriedenheiten beim Nutzer geführt haben. Deshalb ist es notwendig, sich kritisch mit der konzipierten Regelung bzw. Steuerung der BTA auseinander zu setzen

Steuerung Heizkreissteuerung

Der Betrieb des Heizkreises wird in Abhängigkeit der Anforderung (Öffnung Zonenventile) von den Zonen freigegeben. Mit der Betriebsfreigabe geht die Vorlauftemperaturregelung in Betrieb und die Pumpe schaltet ein.

Die Pumpe wird nach 168 h Stillstand zum Zwecke des Blockierschutzes für 5 min eingeschaltet.

Betriebsanforderung Heizbetrieb Zonen

Die BTA ist in die Temperaturregelung der Zonen in einer Sequenz eingebunden. Wenn durch die Fensteröffnung keine entsprechende Temperaturerhöhung mehr erreicht werden kann und die Raumtemperatur unter 22°C absinkt, öffnet das der jeweiligen Zone zugeordnete Zonenventil.

Betriebsanforderung Kühlbetrieb Zonen

Es werden zwei unterschiedliche Betriebsanforderungen unterschieden. Der Mittelwert wird über drei charakteristische Messwerte der Außentemperatur des Vortages geprüft. Liegt dieser über 24°C , so wird nachts über ein Zeitprogramm der GLT (Voreinstellung 21 bis 6 Uhr) der Kühlbetrieb der Betonkernaktivierung freigegeben. Es werden dann alle Zonenventile gleichzeitig geöffnet.

Eine sofortige Betriebsfreigabe erfolgt, wenn die Raumtemperatur einen Grenzwert von 27°C übersteigt. Es ist dann nur das Zonenventil geöffnet, in deren zugeordneter Zone die Grenzwertverletzung auftrat.

Umschaltung Heizbetrieb / Kühlbetrieb

Entsprechend des aktuellen Betriebszustandes des Heizkreises wird dieser über die im Anlagenvor- und Anlagentrücklauf angeordneten Umschaltventile jeweils dem Heiz- oder Kühlwassernetz zugeordnet.

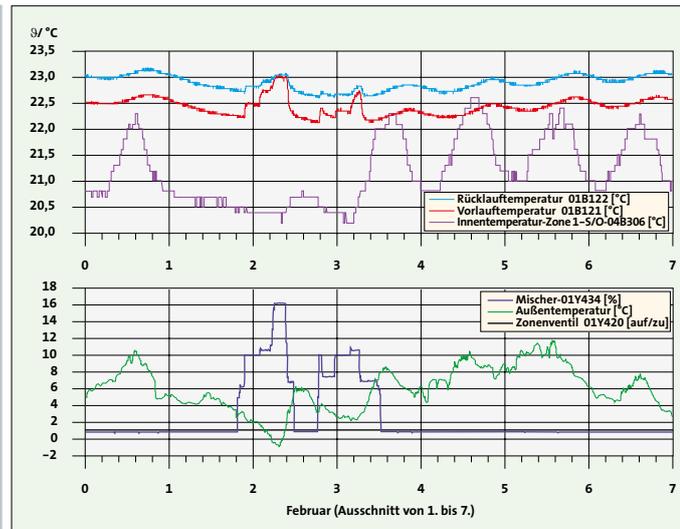


Bild 8: Heizfall: 1. bis 7. Februar 2007; Innentemperatur und Mischerverhalten (Steiger 1) zur Außentemperatur

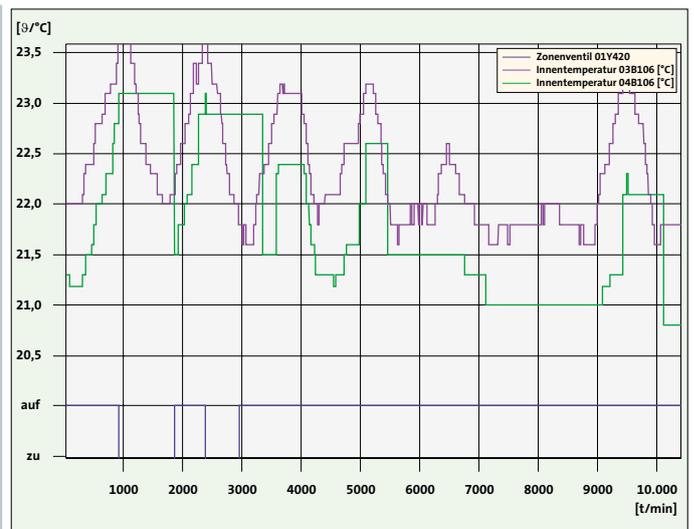


Bild 9: Heizfall: 1. bis 7. April 2008; Zonenventilumschaltung bei Innentemperatur < 22 °C

Heizungs-Not-Aus

Bei Auslösung des Heizungs-Not-Aus oder des Min-Druck-Begrenzers wird die Pumpe hardwareseitig abgeschaltet und das Regelventil geschlossen. Ein Wiederanlauf erfolgt hier erst nach Quittierung am Gerät und am Schaltschrank.

Max-Druck-Begrenzer

Bei Auslösung des Max-Druck-Begrenzers läuft die Pumpe weiter und das Regelventil wird softwareseitig voll geöffnet. Eine Rückkehr zum normalen Regelbetrieb erfolgt nach Quittierung am Gerät und am Schaltschrank.

Vorlauftemperaturüberwachung Min und Max

Im Anlagenvorlauf ist ein Max-Temperaturwächter vorgesehen. Dieser spricht bei Vorlauftemperaturen > 32 °C an. Daraufhin wird durch die DDC die Heizkreispumpe abgeschaltet und das Regelventil geschlossen. Nach Wegfall der Grenzwertmeldung durch den Temperaturwächter läuft der Heizkreis automatisch wieder an.

Im Anlagenvorlauf ist ein Min-Temperaturwächter vorgesehen. Dieser spricht bei Vorlauftemperaturen < 16 °C an. Daraufhin wird durch die DDC die Heizkreispumpe abgeschaltet und das Regelventil geschlossen. Nach Wegfall der Grenzwertmeldung durch den Temperaturwächter läuft der Heizkreis automatisch wieder an.

Regelung

Vorlauftemperaturregelung Heizfall

Es erfolgt eine Regelung der Vorlauftemperatur unter Verwendung eines PI-Reglers. Der Sollwert der Vorlauftemperatur wird außentemperaturgeführt (-15 bis +15 °C Außentemperatur) zwischen 27 und 20 °C direkt proportional verschoben. Diese Grenzen der Vorlauftemperatur sind von der Leittechnik aus einstellbar. Als Stellglied der Temperaturregelung dient das im Vorlauf angeordnete Mischventil.

Vorlauftemperaturregelung Kühlfall

Es erfolgt eine Regelung der Vorlauftemperatur unter Verwendung eines PI-Reglers. Die Vorlauftemperatur wird mittels eines Temperaturfühlers gemessen. Der Grundsollwert der Vorlauftemperatur beträgt 17 °C. Als Stellglied der Temperaturregelung dient das im Vorlauf angeordnete Mischventil.

Taupunktüberwachung

Es wird zusätzlich geprüft, ob die Taupunkttemperaturen der Raumluft und der Außenluft den Sollwert der Vorlauftemperatur mindestens um 2 K unterschreiten. Ist dies nicht der Fall, wird der Vorlauftemperatursollwert entsprechend angehoben.

Beispielhaft werden im Folgenden die Untersuchungen für den Raum B201 im 1. OG betrachtet (Bild 7). Die Zone liegt an der S/O-, O-, N/O-Seite (kurz: Zone 1-S/O) des Gebäudes und wird zum größten Teil als Freihandbereich benutzt (302 m²).

In dem Bereich befinden sich die für die Zonenregelung verantwortlichen Messeinrichtungen. Bild 7 zeigt die Messstellen für die Temperatur- und für die Feuchtigkeitsmessung. Wie es sich in der Nutzungszeit gezeigt hat, wird die Zone 1-S/O intensiver als die anderen Bereiche frequentiert. Die Zone wird vermutlich im Sommerhalbjahr einer höheren Kühllast und größeren Änderungen der relativen Feuchte ausgesetzt sein.

Ein Teil dieser Zone (70 m²) wird als abgeschlossener Raum genutzt. Der Raum ist klimatisiert und wird mit einer eigenen Regelung bedient. Dadurch hat der Raum kaum Einfluss auf die Regelung der Zone 1-S/O.

Es kann angenommen werden, dass die Zone 1-S/O ausreichend genau das Verhalten der anderen Zonen widerspiegelt. Dadurch eignet sie sich am besten zur Untersuchung des Verhaltens der Regelstrecke.

Die unterschiedlichen Zonen können sich im Schaltverhalten (gegenseitige Verriegelungen) und im thermodynamischen Verhalten gegenseitig stark beeinflussen. Beim Einschalten einer Zone wird gleichzeitig auch die darüber liegende Zone mit beeinflusst.

Für die Untersuchungen liegen Messwerte in einem Zeitraum von Februar 2007 bis zum Juli 2008 vor.

Heizfall

Für die Betrachtungen wurde ein Zeitraum im Monat Februar 2007 ausgewählt. Während dieses Zeitabschnittes sind die tiefsten Außentemperaturen bis -6 °C, im Bild 8 bis -1 °C, aufgetreten, die eine Auswirkung auf die Zonenventile und die Mischerstellung hatten. Der 2. und 3. Februar sind Wochenendtage. An diesen Tagen kann man eine deutliche Senkung der Innentemperatur erkennen, vermutlich ein unmittelbarer Einfluss fehlender Lasten und der Außentemperatur auf die Innentemperatur. Für die folgenden Tage müsste man die Globalstrahlung als Messgröße hinzuziehen, um den Einfluss der Sonne nachzuweisen. Das Zonenventil ist über die gesamte Zeit geöffnet, was auf die Anforderung

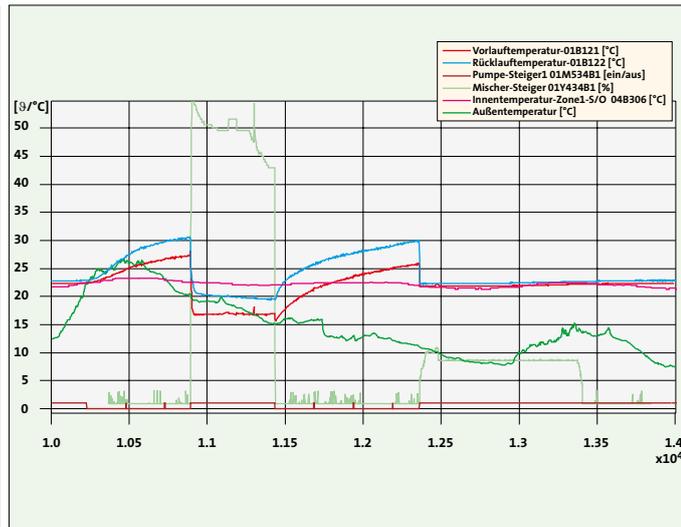


Bild 10: Kühlfall: 8. bis 10. September 2007; Mischerstellung zum VL-Steiger1

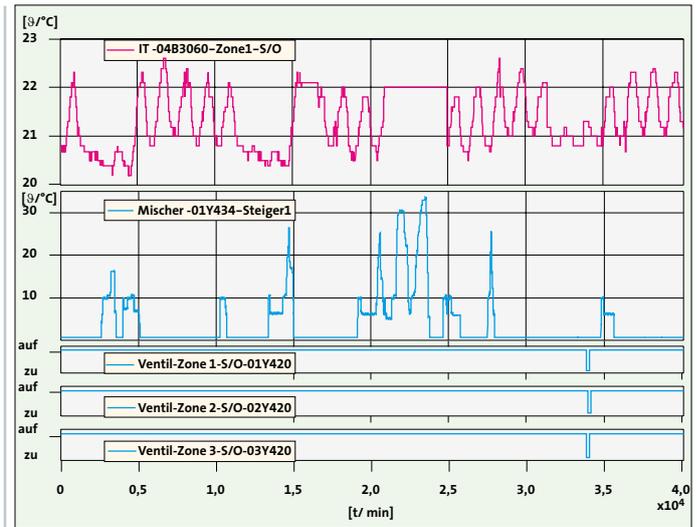


Bild 11: Heizfall: 1. bis 28. Februar 2007; Mischerstellung Wärmeanforderung

derung Heizen schließen lässt. Allerdings beteiligt sich die BTA nur vom 1. bis 3. Februar 2007 ohne sichtbaren Erfolg an der Regelung der Temperatur. Die Außentemperatur wirkt auch sehr direkt auf die Mischerstellung für die Vorlauftemperatur, obwohl die Umfassungskonstruktion und die BTA sehr große Zeitkonstanten aufweisen.

Im April kam es zu deutlichen Umschaltungen des Zonenventils (Bild 9). Man kann die hervorgerufene Anforderung durch Absinken der Raumtemperatur unter 22 °C aus der Stellung von Umschaltventilen und Zonenventilen nach Bild 9 gut nachvollziehen. Es geht aber nicht deutlich genug hervor, ob das Schaltverhalten der BTA die Schwingungen der Raumlufttemperatur verstärkt oder dämpft.

Kühlfall

Der Kühlfall wurde in mehreren Zeitabschnitten betrachtet (Ende Mai 2007, 1. bis 6. Juni 2007, 1. bis 30. September 2007)

Zu der ausgewählten Zone ist eine zusätzliche Zone 3-S/O betrachtet worden. Die Zone liegt über die Zone 1-S/O im 3. OG, hat das gleiche geometrische Abmaß und wird vom selben Steiger gespeist.

Vorlauftemperaturregelung

Die Vorlauftemperatur wird wieder mittels Mischventil beeinflusst. In Bild 10 ist das für den 8. bis 10. September 2007 zu erkennen. Der Mischer wird gerade dann aufgeföhrt, als Außen- und Raumlufttemperaturen wieder im Absinken begriffen sind. Auch in diesem Fall ist nicht nachweisbar, ob das Schaltverhalten der BTA die Schwingungen der Raumlufttemperatur verstärkt oder dämpft. Bei Verkleinerung der Spreizung fährt der Mischer immer weiter zu, um eine Vorlauftemperatur von 17 °C zu halten. Während des untersuchten Zeitraums, außer vermutlich Reparatur bzw. Wartungsarbeiten im September 2007, sind die Max- und Min-Temperaturgrenzen (Vorlauftemperaturen > 32 °C bzw. < 16 °C) nicht überschritten worden. Die Temperaturwächter haben keine Abschaltungen von Pumpen und Regelventilen ausgelöst.

Schlussfolgerungen und Vorschläge

Heizperiode

Aus den Untersuchungen an der BTA und den dazugehörigen Regelkreisen ergeben sich einige Schlussfolgerungen.

Die Regelung der Raumlufttemperatur („Heizen“) durch das Öffnen von Fenstern kann die Behaglichkeit negativ beeinflussen. Die Fenstersteuerung sollte überdacht und geändert werden. Beispiele zur Nut-

zung der automatischen Fenstersteuerung sind die Nachtkühlung zur Unterstützung der BTA-Kühlung, um die höhere Wärmeabfuhr im Sommer zu gewährleisten, oder die geschickte Ausnutzung höherer Außenlufttemperaturen in der Übergangszeit zur Anhebung der Raumlufttemperatur.

Als problematisch in der Fahrweise von thermoaktiven Bauteilen ist die Mischerregelung im Bezug zur Außen- und Raumtemperatur zu sehen. Es ist bekannt, dass die thermoaktiven Bauteile ein sehr hohes Speichervermögen und dadurch sehr große Zeitkonstanten haben. Die Mischerstellung folgt der Veränderungen der Außentemperatur unverzüglich. Dieses Verhalten der Mischerregelung kann mit der Voraussicht auf die Zeitkonstanten der BTA mit vermutlich ca. 10 h nicht an einer BTA eingesetzt werden. Allerdings wird auch der Transmissionswärmefluss durch die Gebäudehülle mit relativ großer Verzögerung wirksam. Dies könnte durch die mit großer Verzögerung wirksame Wärmeabgabe der BTA kompensiert werden. Wenn dies aber nicht zusammentrifft, kann es zu einer Verstärkung der Raumtemperaturschwankung und zur Verschwendung von Energie kommen.

Häufig wird die gemessene Außentemperatur über ein Verzögerungsglied gedämpft auf die Vorlauftemperaturregelung aufgeschaltet. Das Dämpfungsglied beschreibt näherungsweise das dynamische Verhalten der Außenwand. Nach diesem künstlich berechneten Wert wird nach der Heizkurve dann der Mischer gestellt. Eine örtliche Einzelraumregelung hat dann für die Regelung der Raumlufttemperatur zu sorgen und kompensiert lokal unterschiedliche Heizlasten.

Die hier realisierte Strategie ist scheinbar eine Mehrpunktregelung in der Hoffnung, die dynamischen Vorgänge könnten sich gerade aufheben und so zu einer Stabilisierung der Temperatur beitragen. Regelkreise mit schaltenden Kennlinien gehören zu den nichtlinearen Regelungen und schwingen immer. Die Schwingungen werden umso größer, je größer die Trägheiten sind. Ob dieser Mechanismus im vorliegenden Fall das Mittel der Wahl ist, muss man bezweifeln, allerdings ist den Autoren eine Standardlösung nicht bekannt. Aufgrund der hier zu vermutenden Zeitkonstanten sollte die Beladung der BTA prädiaktiv erfolgen, dem dynamischen Charakter der thermodynamischen Übergangsvorgänge entsprechen und auch Ansätze von Regelungen erkennen lassen.

Ein weiterer Aspekt betrifft die Mischerstellung in Bezug auf die Zonenventile und die Innentemperatur (Bild 11). Bei der Wärmeanforderung aus Zone1-S/O, d.h. Zonenventil offen, bleibt das Mischventil häufig

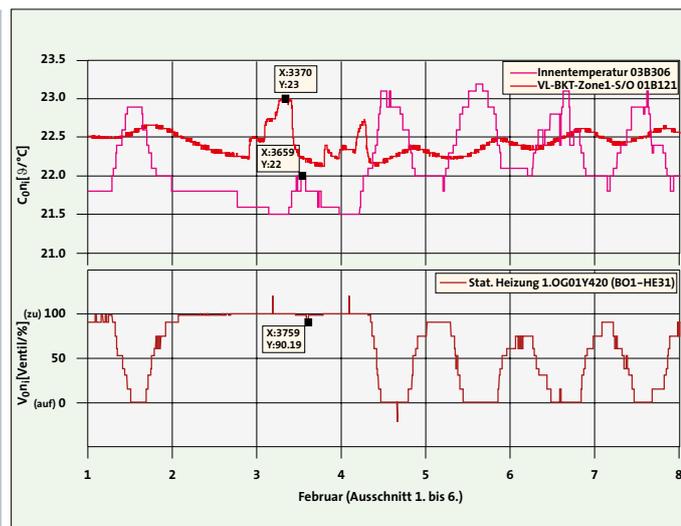


Bild 12: Heizfall: 1. bis 6. Februar 2007; Schaltvorgang statische Heizung zur Innentemperatur

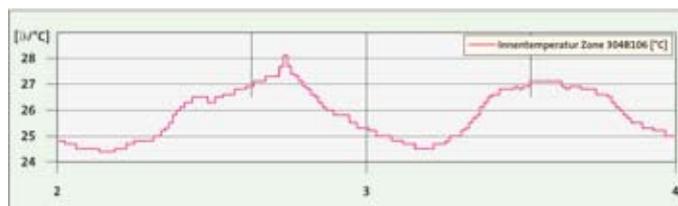
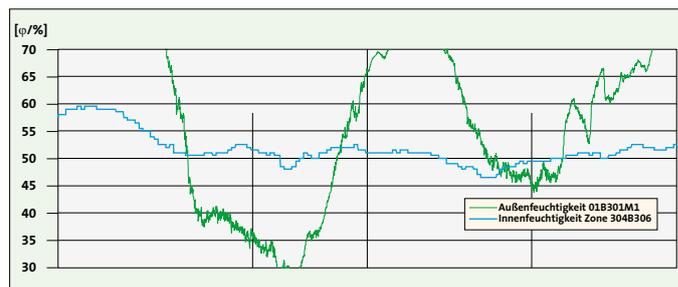


Bild 13a und b: Kühlfall: 2. und 3. Juni 2007; Relative Luftfeuchte (Innen/Außen) und Innentemperatur

geschlossen. Am Vorlauftemperatursensor liegt die gleiche oder eine höhere Temperatur an, als der Sollwert vorgibt. Trotzdem steigt die Raumtemperatur. Die Wärme kann nicht aus den anderen Zonen einfließen, weil dort die gleiche Wärmeanforderung vorliegt (Bild 11, Zonen 2 und 3). Während der ersten Februarwoche steigt die Vorlauftemperatur in dem BTA-Kreis weiter höher an, obwohl der Mischer nicht öffnet. Daraus lässt sich schlussfolgern, dass die Heizlast fast komplett von anderen Wärmequellen, d.h. von inneren Lasten und der statischen Heizung, aufgebracht wird (Bild 12). Ein Ziel der Nutzung thermoaktiver Flächen ist die Erhöhung der Behaglichkeit. Bei einer solchen Betriebsweise wird dies nicht erreicht. Eine effektive Nutzung von BTA während der Heizperiode wäre ein kontinuierlicher Betrieb, um die Abnahme dem Bedarf mit den besten Voraussetzungen für die Behaglichkeit anzupassen.

Kühlperiode

Wie im Heizfall ergeben sich einige Widersprüche. Am Mittag des 3. Juni 2007 hat die Raumtemperatur den Wert von 27 °C erreicht, und der Regler hat die Ventile umgeschaltet. Obwohl am 2. Juni auch eine Überschreitung von 27 °C vorkommt, schaltet der Regler nicht. Das Verhalten kann nicht durch die Taupunktverriegelung verursacht werden (Bild 13). Zur genauen Berechnung der Taupunkttemperatur sind jedoch Oberflächentemperaturfühler notwendig. Im Bild 13 wird das Überschreiten der Behaglichkeitsgrenzen sichtbar. Der Regler greift zwar ein, doch er hat keinen Einfluss auf die Raumtemperatur. Das wird wieder durch die Trägheit der BTA verursacht. Die Regelungsstrategie für die Kühlung mit der BTA wäre also zu überdenken. Zur Verringerung von Raumtemperaturschwankungen während der Kühlphase existieren verschiedene Varianten zur Regelung der BTA. Eine hier verwendete Methode zur Freigabe der Beladung der BTA wird, wie vorn erläutert, mittels Berechnung des Mittelwertes aus drei Messwerten des Vortages der Außentemperatur durchgeführt. Wegen der großen Zeitkonstanten sollten prädikative Komponenten, d.h. ein vereinfachtes dynamisches Modell des Verhaltens von der Umfassungskonstruktion, der BTA und der Raumlufttemperatur, mitgeführt werden, um die Vorlauftemperatur und die Freigabe der BTA vorausschauend zu berechnen.

Natürliche Lüftung

Gebäudezone Lesesaal

Der Raum hat eine Fläche von 268,8 m² und eine Höhe von 7,4 m. Es

sind zwei Fenstergruppen im 1. OG und zwei Fenstergruppen im 2. OG vorhanden, die nach bestimmten Bedingungen öffnen bzw. schließen. Direkt über den beiden äußeren Türen zum Lesesaal befinden sich je ein Raumtemperatur-, ein Raumfeuchtefühler und je ein Raumluftqualitätsfühler (CO₂-Fühler). In jedem Fenster sind drei Motoren (Ti_LM_Typ_200_RWA) von STG-Beikirch eingebaut. Die Kette wird über Zahnräder von einem 24 V-GS-Motor angetrieben. Das Zahnrad unmittelbar am GS-Motor besteht aus Plastik, was eventuell die Lebensdauer von 10000 Fahrten begründet. Des Weiteren besteht das Problem, das die eingebauten Motoren nur die Stellung Auf und Zu melden, keine individuelle Fahrweise ermöglichen und keine Fehlererkennung besitzen.

Geplante Funktion

Öffnen und Schließen der Fenster

Die Ansteuerung der Fenster erfolgt je Fenstergruppe über zwei Binärausgänge der DDC. Binärausgang 1 dient dem Öffnen der Fenster und Binärausgang 2 dem Schließen der Fenster. Die Umsetzung dieser Schaltbefehle in eine entsprechende Ansteuerung der Fenstermotoren erfolgt durch eine Relaischaltung im Schaltschrank (Umpolungsschaltung). Diese gewährleistet auch die gegenseitige Verriegelung der Schaltbefehle. Das Schließen des Fensters erfolgt in mehreren Etappen. Es sind Fensterlaufzeiten von ca. 2s mit dazwischen liegenden Pausen von ca. 4s eingestellt. Weiterhin wird die Gesamtlaufzeit der Fenster überwacht. Wenn nicht von allen der jeweiligen Gruppe zugeordneten Fenster innerhalb der Sollzeit die Endlage „Zu“ gemeldet wird, so werden aus Sicherheitsgründen die Fenster wieder aufgeföhren und eine Alarmmeldung am zentralen Bedientableau (Blinklicht an der Meldeleuchte „Fenster Zu“) ausgegeben. Nach Kontrolle der Fenster kann die Fenstersteuerung durch Betätigung des Tasters „Fenster Zu“ am zentralen Bedientableau wieder in den Normalbetrieb zurückgesetzt werden.

Verriegelung Fenster bei Wind und Regen/Schnee

Durch die Wetterstation wird laufend die Windgeschwindigkeit ermittelt. Übersteigt diese einen Grenzwert von 6 m/s, schließen alle Fenster des Hauses und werden in der DDC für 15 min gesperrt. Gleiches gilt, wenn am Regenwächter Niederschlag festgestellt wird. Werden innerhalb der Sperrzeit nicht erneut Windgeschwindigkeiten > 6 m/s oder Regenfälle festgestellt, werden die Fenster wieder freigegeben und öföhren ggf. entsprechend den aktuellen Programmanforderungen.

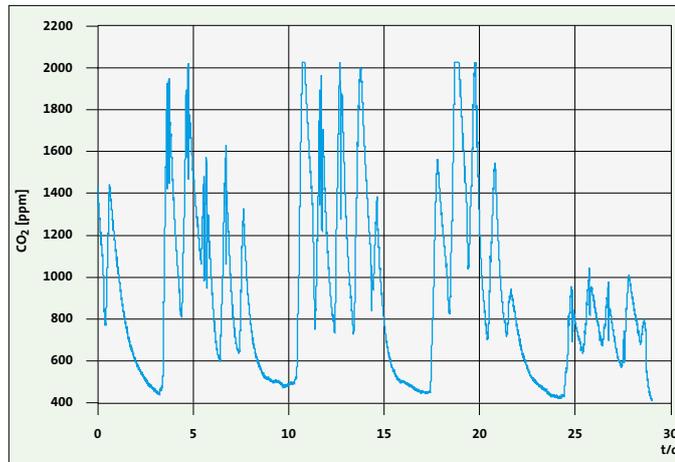


Bild 14: Februar 2008; CO₂-Konzentration in ppm im Lesesaal für die Prüfungsperiode

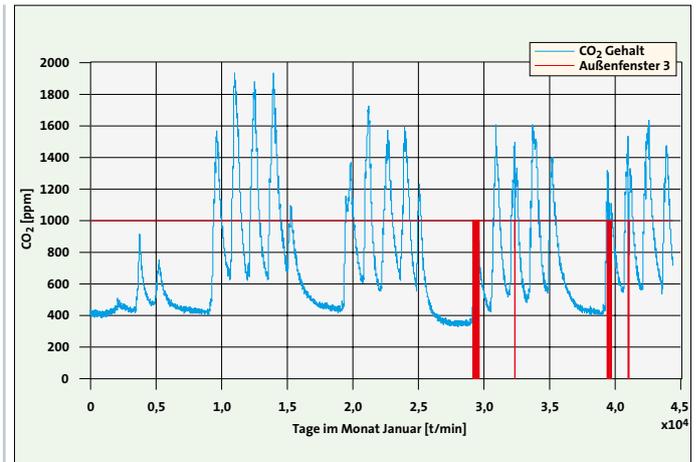


Bild 15: Januar 2008; CO₂-Konzentration in ppm und Öffnung des Außenfensters

Raumluftqualitätsregelung

Für eine effektive Nutzbarkeit des Lesesaals für Studenten muss die Prozessgröße CO₂-Konzentration ebenfalls in Betracht gezogen werden. Nach den Forderungen von [4] wird angegeben, dass der Kohlendioxidgehalt der Raumluft nicht über 1500 ppm liegen sollte und es wird ein Wert von 1000 ppm empfohlen. In der DIN V 13779 [4] wird die Qualitätsbewertung der Raumluft (IDA – indoor air) unter Bezug auf die Differenz zur CO₂-Konzentration der Außenluft vorgenommen, die im Allgemeinen bei zwischen 350 bis 400 ppm liegt (s.a.[5]). Bei Überschreitung dieser Grenze tritt Müdigkeit auf, und das Konzentrationsvermögen des Nutzers nimmt ab.

Die Raumluftqualität wird durch Messung der CO₂-Konzentration überwacht. Bei einer Grenzwertüberschreitung des CO₂-Gehaltes von 800 ppm sollen die Fenster geöffnet werden. Die Fenster schließen, wenn die Konzentration wieder die Grenze von 700 ppm erreicht.

Wirksame Prozessgrößen auf die Ansteuerung der Fensteröffnung sind

- Windgeschwindigkeit,
- Regen,
- Innen- und Außenlufttemperatur,
- relative und absolute Feuchte innen und außen sowie
- die CO₂-Konzentration innen.

Die Fenster öffnen und schließen bei Über- oder Unterschreitung von Grenzwerten. Dieses gewünschte Verhalten kann nicht bzw. nur selten nachgewiesen werden. Aufgrund der vielen Vorschriften zur Blockierung der Fensteröffnung, z.B. zu hohe Windgeschwindigkeit (6 m/s), Regen oder zu hohe Unterschiede zwischen Außen- und Raumfeuchtigkeit, kommt es nur sehr selten zur Öffnung der Fenster. In den letzten Juniwochen 2007 und in den ersten drei Juliwochen 2007 wurde der Grenzwert 1000 ppm (entspricht mittlere Raumluftqualität IDA 2 nach [4]) weit überschritten. In der Prüfungszeit am 10. Juli 2007 wurde ein Spitzenwert von 2050 ppm erreicht. Ähnliche Werte wurden auch in der Prüfungszeit im Februar 2008 (Bild 14) gemessen. Auch in diesen Zeiten hoher Defizite werden die Fenster nicht geöffnet.

Das gegenwärtige Prozessverhalten zeigt, dass auch hier das gewünschte Ziel zur Regelung der Raumluftqualität durch Ansteuerung der Fenster nicht erreicht wird. Eine Untersuchung zur Erstellung einer neuen Regelstrategie wird in dieser Arbeit nicht in Betracht gezogen und kann in einem weiterführenden Projekt als Aufgabe gesehen werden.

Bei einer merklichen Verschlechterung der Raumluftqualität und der Behaglichkeit werden die Fenster dann durch die Mitarbeiter der Biblio-

thek geöffnet bzw. geschlossen. Da die Leittechnik nicht unterscheidet, ob diese Befehle von Hand oder automatisch generiert werden, können die aufgezeichneten Steuerhandlungen nicht zugeordnet werden.

Gebäudezone Freihandbereich 2. Etage B201 – Atrium

Der Freihandbereich hat drei Fenstergruppen in Richtung Südost, Nordost und Norden. Zum Atrium sind noch zwei gegenüberliegende Fenstergruppen vorhanden. Der Sensor für CO₂ und die vier Sensoren für jeweils Temperatur und relative Feuchte befinden sich in der Mitte jeweils an den Bücherregalen in Kopfhöhe. Des Weiteren sind noch zwei Strömungssensoren zum Atrium in der Wand in Luftdurchlässen (Rohre) angeordnet. Die Strömungssensoren sind jeweils unter einem Schreibtisch positioniert. Unmittelbar neben diesen Sensoren befindet sich eine statische Heizung.

Geplante Funktion

Durch eine gezielte Fensteröffnung soll eine bestimmte Luftqualität im Freihandbereich der Bibliothek vorherrschen. Dazu wurde ein Atrium in der Mitte der Bibliothek integriert. An der Oberseite des Atriums wurden Lamellen angebracht, um die entstehende freie Lüftung zu unterstützen (s.a. Bild 3).

Öffnen und Schließen der Fenster im Atrium

Die Ansteuerung der Fenster erfolgt analog zum Lesesaal, wie bereits beschrieben. Bei den Atriumfenstern wird zusätzlich noch die Luftströmung betrachtet. Wenn eine Luftströmung von >0,3 m/s resultiert, sollen die angebrachten Lamellen ihre Stellung so verändern, dass die freie Lüftung gedämpft wird. Wenn das noch nicht ausreicht, werden die Fenster geschlossen.

Analyse der gegenwärtigen Situation

Die Lamellen bewegen sich gegenwärtig nur nach einem Zeitraster, d.h. 8:00 Uhr stehen die Lamellen senkrecht, mit der dunklen Seite Richtung Norden und drehen sich in acht Stunden um 180°, so dass um 16:00 Uhr die Lamellen mit der dunklen Seite in Richtung Süden zeigen. Um 6:00 Uhr drehen sich die Lamellen in die Ausgangstellung zurück. Der maximale Fahrweg wird durch die Endlagenschalter vorgegeben. Ebenfalls sind die Lamellen auf der einen Seite weiß, auf der anderen Seite jedoch nur grau, anstatt schwarz für die Erwärmung der Luft in den oberen Schichten des Atriums zur Forcierung eines optimalen Auftriebs. Durch die gegenwärtige Steuerung nach einem Zeitplan haben die



Bild 16: 21. Januar 2008; vergrößerter Abschnitt eines Tages aus Bild 15

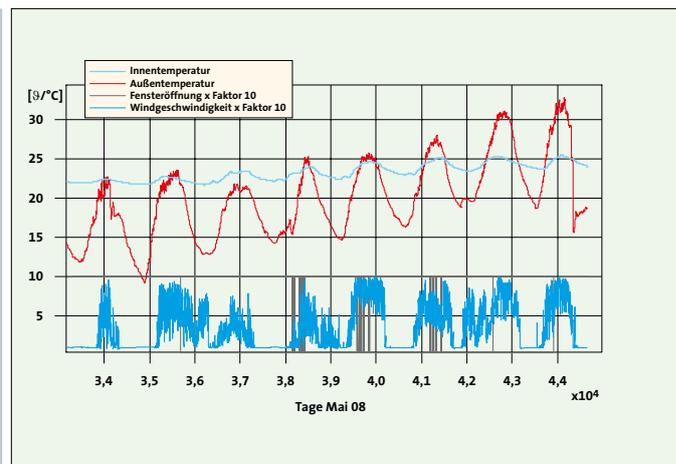


Bild 17: 24. bis 31. Mai 2008; Innen- und Außentemperatur, Windgeschwindigkeit und Fensteröffnung (Zu: 1; Auf: 0)

Lamellen keinen Einfluss auf die Luftströmung und auf die Steuerung der solaren Gewinne. Die Fensteröffnung wird anhand der Bilder (14 bis 17) näher untersucht. Die Atriumfenster werden in diesem Bereich alle gleichzeitig angesteuert. Dies trifft ebenso auf die Außenfenster zu.

Luftgeschwindigkeit

Die Atriumfenster und die Außenfenster öffnen zeitgleich, doch wird das Atriumfenster immer wieder vorzeitig geschlossen, obwohl die Luftgeschwindigkeit $< 0,3 \text{ m/s}$ ist. So wurden in den 8 h die Fenster sechsmal geöffnet, obwohl eine Luftgeschwindigkeit $> 0,3 \text{ m/s}$ gemessen wird.

CO₂-Konzentration

Der Freihandbereich wird gern und intensiv genutzt, wie Bild 14 mit der CO₂-Konzentration für den Anfang des Jahres 2008 dokumentiert. Sehr begehrt sind die Plätze zum Atrium. Merkwürdig stellen sich gerade Öffnungszyklen am 21., 28. und 29. Januar 2008 nach Bild 15 dar. An diesen Tagen scheint der Grenzwert der CO₂-Konzentration auf die Öffnungszyklen Einfluss zu nehmen. Eine erhöhte CO₂-Konzentration in der verbleibenden Zeit scheint jedoch nicht auf die Fenster zu wirken. Nach den Bildern 15 und 16 schwankt der CO₂-Gehalt bei intermittierender Lüftung um 700 ppm, jedoch kommt es aufgrund der vielen Verriegelungen zur Verschiebung der Öffnungsgrenze. Nur an einem Tag ist der gewünschte Regelungseffekt bzgl. der Raumluftqualität mit vielen Auf/Zu-Zyklen zu sehen. In Bild 17 werden Temperaturen, Windgeschwindigkeit und Fensteröffnung gegenübergestellt. Es ist kein Mechanismus zu erkennen, der der o.g. Aufgabenbeschreibung entspricht. Deshalb ist zu vermuten, dass die Fenster sporadisch per Hand geöffnet wurden, z. B. wenn hohe Raumlufttemperaturen vorlagen.

Schlussfolgerungen

Lesesaal

Das automatische Öffnen und Schließen der Fenster im Lesesaal für eine natürliche Lüftung mit Verzicht auf eine raumlufttechnische Anlage anzuwenden, ist eine sinnvolle Aufgabenstellung. Es ist ökonomisch und ökologisch sinnvoll, das Fenster als Stellglied im Prozess „Gebäude“ zur Ausnutzung der natürlichen Ressourcen mit einzusetzen. In der Übergangszeit kann die Lüftung zum Heizen und im Hochsommer kann die Lüftung zur Nachtkühlung einen sinnvollen Beitrag leisten. Das erfordert eine Steuerstrategie, die auch vorausschauend Entscheidungen fällt und die nicht nur anhand von Grenzwerten, sondern auch in Abhängigkeit von Änderungsgeschwindigkeiten und zukünftigen Ent-

wicklungen des Außenluftzustandes in den Raumluftzustand eingreift.

Die Ansteuerung des Fensters zur Temperaturregelung im Winterhalbjahr ist nicht sinnvoll und führt zu energetischen Verlusten. Im Lesesaal wird die Ansteuerung der Fenster von weiteren Bedingungen abhängig gemacht, die sich gegenseitig verriegeln, so dass die Fensteröffnung kaum oder gar nicht durch die vereinbarten Bedingungen ausgelöst wird. Aus dem aufgenommenen Datenmaterial sind kaum Zusammenhänge zwischen den Temperaturen, Feuchten, Windgeschwindigkeit und CO₂-Konzentration zur Fensteransteuerung deutlich geworden. Bis auf wenige Ausnahmen scheinen die Mitarbeiter die Fenster per Hand zu öffnen und zu schließen.

Die Luftbewegung in der Nähe des Fensters hat einen erheblichen Einfluss auf die Behaglichkeit. Am größten ist die Beeinträchtigung des Wohlbefindens, wenn die bewegte Luft kälter als die Raumluft ist und vorwiegend aus einer bestimmten Richtung auf einen Körperteil trifft (Zugluft). Die Empfindlichkeit gegenüber Luftbewegung im Raum ist bei verschiedenen Menschen sehr unterschiedlich und hängt neben der Luftgeschwindigkeit außerdem vom Turbulenzgrad und von der Lufttemperatur ab. Die Schwierigkeit besteht darin, dass der Luftwechsel im Lesesaal sehr stark von der Windgeschwindigkeit und -richtung bei geöffnetem Fenster beeinflusst wird und es vermutlich keine stabilen Strömungen gibt. Bei stark wechselnden Luftgeschwindigkeiten wird der Turbulenzgrad für die Behaglichkeit mit hinzugezogen. Turbulente Luft wird bei gleicher Temperatur unangenehmer empfunden. Die Messungen von Luftgeschwindigkeit, Turbulenzgrad und Strömungsprofil im Lesesaal könnte zukünftig eine notwendige Aufgabe darstellen, um die gegenwärtige Situation besser zu erfassen und zukünftige Steuerhandlungen abzuleiten.

Für eine korrekte Fensterfunktion sind

- die geringe Lebensdauer der Antriebe,
- die Funktionsausfälle der Antriebe,
- die häufige Verwindung/Verklemmung der Fenster und der damit erforderliche Handeingriff des Haustechnikers,
- die Zugscheinungen bei geöffneten Fenstern und
- die fehlenden Zwischenstellungen der Antriebe problematisch.

Atrium

Ähnlich wie im Lesesaal soll im Freihandbereich die natürliche Lüftung zur Verbesserung der Raumluftqualität beitragen. Der thermische Auftrieb im Atrium soll diesen Prozess unterstützen.

- Um den notwendigen Luftwechsel zu sichern und einen erhöhten Luftwechsel zu vermeiden, können Außenwandluftdurchlässe mit besonderen Kennlinien, die den Volumenstrom stabilisieren, eingesetzt werden. Die direkte Übertragung dieser im Mietwohnungsbau vielfach bewährten Lösung nach [7] auf die HTW-Bibliothek ist nicht möglich, aber der Grundgedanke ist der gleiche. Im Bibliotheksgebäude fehlen allerdings die stabilisierenden Elemente.
- Durch die graue Seite der Lamellen wird leider kein optimaler Auftrieb erzeugt.
- Nun ist der thermische Auftrieb in den unteren Geschossen größer, der Winddruck allerdings geringer. In den oberen Geschossen nimmt der Auftrieb ab, der Winddruck allerdings zu. Die Durchströmung der genutzten Zone hängt demnach von einer Reihe von sich überlagernden Störungen ab, die so ohne weiteres nicht abgeschätzt werden können.
- Die Luftgeschwindigkeit der freien Lüftung soll durch die Messwerte der Strömungssensoren bewertet werden, die in der Außenwand in Röhrchen eingebaut sind. Die Messwerte sind aber auch vom Öffnungszustand der Fenster abhängig. Sind die Fenster zum Atrium geschlossen, so wird sich eine höhere Luftgeschwindigkeit am Sensor als bei geöffnetem Atriumfenster einstellen. Wenn an beiden gegenüberliegenden Seiten die Fenster geöffnet sind, wird eine direkte Strömung zwischen den beiden Fenstergruppen entstehen, so dass weniger Luft durch die Röhrchen fließt. Ein Zusammenhang zwischen dem Grenzwert von 0,3 m/s und dem notwendigen Luftwechsel ist nicht zu erkennen.
- Es muss nun die Frage beantwortet werden, welche Zielstellung mit der Ansteuerung der Lamellen im Atrium verfolgt wird:
 1. Steuerung des thermischen Auftriebs durch Unterstützung der Erwärmung der Luft im Atrium sowie Öffnen und Schließen zur Erhöhung der Luftgeschwindigkeit,
 2. Verschattung einiger Atriumfenster zur Steuerung der solaren Gewinne, d.h. zur Ausnutzung der Gewinne in der Übergangszeit und im Winterhalbjahr sowie zum sommerlichen Wärmeschutz,
 3. Steuerung der Lamellen nach der Uhrzeit.
 Für die Variante 1 fehlen geeignete Sensorik und volumenstromgeregelte Luftdurchlässe. Die Hydraulik der Lüftungsprozesse und folglich auch der Luftwechsel könnten allerdings analog zu [6] und [7] in Abhängigkeit der Außen- und Innentemperatur sowie Winddruck berechnet werden. Ob daraus verlässliche Steuerhandlungen abgeleitet werden können, muss anschließend geklärt werden.
 Die Variante 2 ist eine bewährte Maßnahme. Das Anliegen wird häufig praktiziert, allerdings werden auch oftmals viele Bedingungen abgearbeitet, die eine Überautomatisierung zur Folge haben können. Eine geschickte Steuerung der solaren Gewinne erfordert auch hier eine prädikativ arbeitende Strategie z.B. nach [8].
 Bei der gegenwärtig praktizierten Variante 3 ist kein Sinn zu erkennen.

Zusammenfassung

Das Gebäude der HTW-Bibliothek bietet durch seine Architektur, das Nutzungskonzept, die fortgeschrittene technische Ausstattung und die leistungsfähige feldbusbasierte Gebäudeleittechnik alle Voraussetzungen, für ein behagliches Raumklima, die erforderliche Raumluftqualität und unter Nutzung von Umweltenergiegewinnen für die energieeffiziente Bewirtschaftung des Gebäudes zu sorgen. Auf der Grundlage umfangreicher Daten wurden die dynamischen Vorgänge der Betriebsweise der Fernwärmeanschlussstation, der Fußbodenheizung im Lesesaal, der Bauteilaktivierung und der natürlichen Lüftung analysiert und mit der Aufgabenbeschreibung verglichen. Die noch gegenwärtig vorhandenen Probleme in der Regelung der Fernwärmeübergabe sind lösbar. Hier müssen weitere Untersuchungen folgen, die Regelungen auf der Sekundärseite der Fernwärmeübertragung

sukzessive einzustellen und wieder in Betrieb zu nehmen.

Eine zuverlässige Lösung zur Einzelraumregelung im Lesesaal mit der Fußbodenheizung zeichnet sich ab und wird weiter verfolgt.

Die größte Herausforderung besteht in der Steuerung der natürlichen Lüftung im Lesesaal und in den Freihandbereichen durch Ansteuerung der Fenster und der Lamellen im Atrium. Für diese Bereiche soll zukünftig eine Steuerstrategie entwickelt werden, die natürliche Antriebskräfte für die Lüftung ausnutzt, den notwendigen Luftwechsel stabilisiert und Zugserscheinungen vermeidet.

Die Fahrweise der BTA entspricht noch am deutlichsten der Aufgabenbeschreibung. Allerdings werden anhand von festgelegten Schwellen die notwendigen Steuerhandlungen abgeleitet, dies führt zwangsläufig zu Schwingungen in den Raumlufttemperaturen, die es zu dämpfen gilt. Da der bedarfsgerechte Einsatz der Bauteilaktivierung ein regelungstechnisch noch nicht hinreichend gelöstes Problem darstellt, wird eine neuartige Herangehensweise mit prädikativen und modellbasierten Komponenten in der Regelung angestrebt.

Für die Entwicklung komplexer Steuerungen in fortschrittlich ausgestatteten Gebäuden hat sich in den letzten Jahren die Simulation der transienten Vorgänge durchgesetzt. Für die HTW-Bibliothek wird die Entwicklung eines regelungstechnischen Simulationsmodells für das thermodynamische, hygrische und Lüftungstechnische Verhalten der wichtigsten Zonen des gesamten Gebäudes unter Berücksichtigung von inneren Lasten, Nutzung, Außenluftzustand, Verhalten der gebäudetechnischen Anlagen und Automatisierungsstrukturen als ein wichtiger Schritt angestrebt. Auf der Grundlage eines Gesamtmodells können die Abläufe im Zeithorizont der regelungstechnischen Übergangsvorgänge bis zur Jahressimulation ausreichend berücksichtigt und bewertet werden. Das Modell dient der Entwicklung und der Erprobung von komplexen Steuer- und Regelungen sowie der sicheren Übertragung auf die Leittechnik.

Literatur

- [1] Lauckner, G., Trogisch, A.: Energieanalyse und Messreihen zur anlagentechnischen und energetischen Optimierung; Zwischenbericht 10/2008, HTW DD (unv.)
- [2] Matthes, P.; Müller, D.; Objektorientierte Berechnungsverfahren für die Gebäude- und Anlagentechnik – Modellierungsansätze für die Simulation, (2009), TAB, H. 7–8 S. 68 bis 71
- [3] Trogisch, A., Günther, M.: Planungshilfen bauteilintegrierte Heizung und Kühlung, 2008, C.F. Müller-Verlag, Heidelberg
- [4] DIN 1946-T2: Raumlufttechnik, Gesundheitstechnische Anforderungen (VDI-Lüftungsregeln), 01/1994, Beuth-Verlag GmbH, Berlin
- [5] Trogisch, A.: Planungshilfen Lüftungstechnik, 3. Aufl. (2009), C.F. Müller Verlag, Heidelberg
- [6] Lauckner, G.: Development and Field Test of a Demand Guided Coordination of Heating and Ventilation Control Systems in Reconstructed Blocks of Flats. Paper 82, CLIMA 2000 -01 Conference, Napoli, 15th – 18th September 2001
- [7] Riedel, M.; Bentscheff, S.; Lauckner, G.; Klingner, M.: Pilotversuch zur Einführung mikroelektronischer Einzelraumregelsysteme für die bedarfsgeführte Heizungs- und Lüftungssteuerung in rekonstruierten WBS 70 – Mietwohnungen. Abschlußbericht, Förderung durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie BMWi, Förderkennzeichen 0329750D, Berlin 2001
- [8] Klingner, M.; Knabe, G.; Lauckner, G.; u.a.: Bedarfsgerechte Regelung des Raumluftzustandes in Wohngebäuden. Teil 1 und 2. Heizung, Lüftung/Klima, Haustechnik. Springer VDI Verlag, Bd. 50 (1999), Nr. 1, 46 - 55, Nr. 2, 27 - 33