Zeitschrift: Schweizer Ingenieur und Architekt
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 115 (1997)
Heft: 44

Artikel: Optimierung von Haustechnikanlagen in der ETH Hönggerberg
Autor: Jenni, Felix / Rüger, Heinz / Hardegger, Peter
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-79338

Nutzungsbedingungen
Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation
L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use
The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 12.12.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

Felix Jenni, Heinz Rüger, Theo Strub, Peter Hardegger, Zürich

Optimierung von Haustechnikanlagen in der ETH Hönggerberg

Mit Optimierungen von Haustechnikanlagen reduziert die ETH Zürich in den Gebäuden der ETH Hönggerberg den Stromverbrauch um 5% und den Wärmeverbrauch um 12%. Mit einem einmaligen Aufwand von 4,5 Mio. Franken werden damit pro Jahr 750 000 Franken an Energiekosten eingespart.

Mit der Gesamtleitung der Optimierungen wurde eine Arbeitsgemeinschaft von zwei Ingenieurbüros beauftragt. Die erste Etappe der Arbeiten ist ausgeführt, die zweite soll auf Ende 1997 abgeschlossen werden. Die heute vorliegenden Resultate bestätigen die veranschlagten Kosten und Einsparungen.

Die Bauten der ETH Zürich auf dem Hönggerberg

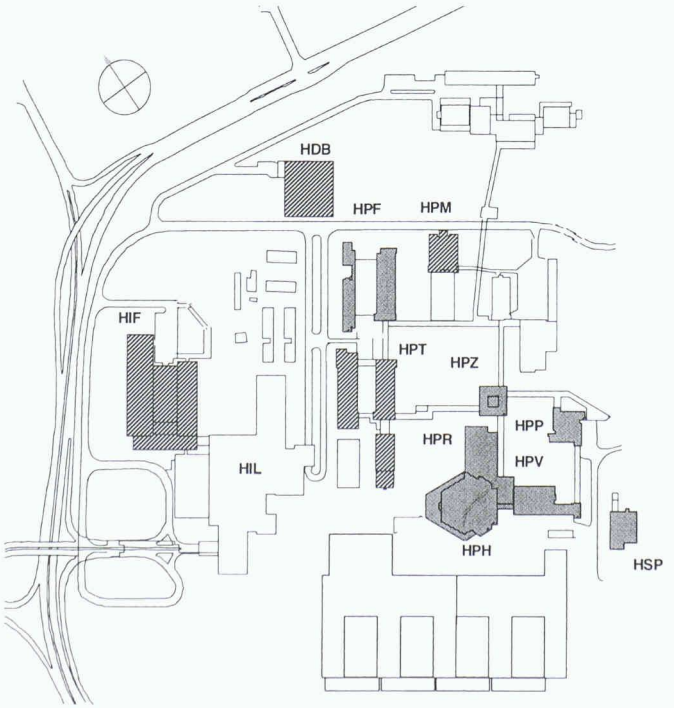
Die ETH Zürich (ETHZ) ist zu über 90% auf die beiden Standorte Zentrum und Hönggerberg konzentriert. In runden Zahlen weisen beide zusammen eine Geschossfläche von 600 000 m^2, ein Geschossvolumen von 2 200 000 m^3 und im Jahre 1995 Ausgaben für Wasser und Energie von 17 Mio. Franken aus.

Für den Hönggerberg allein betrug der Verbrauch 1995, also noch vor Beginn der Optimierungen:

- 26 GWh Strom für 4 Mio. Franken,
- 27 GWh Wärme für 1,2 Mio. Franken,
- 110 000 m^3 Wasser für 0,55 Mio. Franken.

Die 5,7 Mio. Franken für Energie und Wasser verteilen sich auf eine Geschossfläche von rund 250 000 m^2 bzw. ein Volumen von rund 930 000 m^3 (EBF rund 180 000 m^2). Das durchschnittliche Alter der Gebäude beträgt etwa 25 Jahre. In den nächsten Jahren wird die Geschossfläche auf dem Hönggerberg um rund 110 000 m^2 vergrössert. Dieser als dritte Etappe bezeichnete Ausbau ist mit einem beachtlichen Energiemehrbedarf verbunden.

Bauten und Anlagen der ETHZ werden durch das Amt für Bundesbauten (AFB) im Auftrag der ETHZ erstellt. Die ETHZ selbst ist für die Wartung und den Betrieb zuständig. Diese Konstellation bedingt eine intensive Zusammenarbeit zwischen den beiden Partnern. Das AFB als Dienstleistungsorgan des Bundes betreut Bauten für verschiedenste Institutionen des Bundes. Von allen betreuten Bauten hat die ETH Hönggerberg einen Anteil von 9% am Elektrizitätsverbrauch und von 6% am Wärmeverbrauch.



1
Die ETH-Bauten auf dem Hönggerberg

Der Energieverbrauch soll gesenkt werden

Die Bemühungen um eine effiziente Nutzung von Ressourcen sind eng mit dem Bundesprogramm Energie 2000 verknüpft. Dieses hat zum Ziel, bis ins Jahr 2000 den Verbrauch an fossiler Energie in Gebäuden auf einen Wert zu senken, der 15% kleiner ist als jener von 1990. Der Elektrizitätsverbrauch soll ab dem Jahr 2000 stabilisiert werden. Um die Möglichkeiten an der ETH zu ermitteln, wurde 1992 eine Studie durchgeführt, mit der das Sparpotential der Bauten mit den nötigen Massnahmen ermittelt wurde. Neben der Notwendigkeit der Sanierung von ganzen Bauten hat die Studie ein nennenswertes Sparpotential bei haustechnischen Anlagen ausgemacht.

Aufgrund der vorhandenen Kenntnisse haben die Partner AFB und ETHZ die Sparlatte für den ganzen Hönggerberg sehr hoch angesetzt: Die Ziele von E 2000 sollen trotz der in Bild 1 eingezeichneten dritten Ausbauetappe eingehalten werden. Dies ist nur möglich, wenn bei den bestehenden Bauten der Verbrauch wesentlich reduziert wird. Die finanzielle Unterstützung, welche der Bund im Rahmen von Energie 2000 zur Verfügung stellt, ermöglicht die Realisierung von verschiedenen Massnahmen. Eine wichtige Gruppe, die sich relativ schnell ausführen lässt und sich in kurzer Zeit auszahlt, ist die Optimierung von haustechnischen Anlagen. Diese können in den Physikgebäuden des Hönggerberges (im Bild grau unterlegt) weitgehend «flächendeckend» realisiert werden, da sich die Gebäude in ihrer Art und ihrem Zustand ziemlich ähnlich sind. Wegen geplanten Gesamtsanierungen einzelner Gebäude lohnen sich interessante Sparmassnahmen jedoch nicht mehr überall.

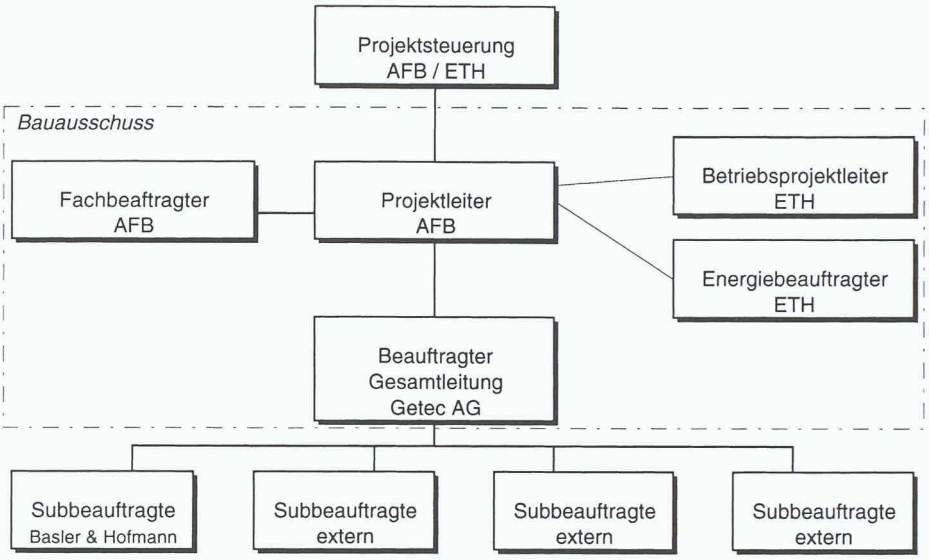
Mit ihrem Energieleitbild hat sich die ETHZ zu einer effizienten Energienutzung verpflichtet. Die hier vorgestellten Optimierungen von Haustechnikanlagen beschreiben nur einen Teil der laufenden Massnahmen zur Senkung des Energieverbrauches.

Projektorganisation, Arbeitsinstrumente und Vorgehen

Die für die Umsetzung der «wirtschaftlichen betrieblichen E2000-Massnahmen» nötige Projektorganisation «Umsetzungsgruppe ETH Hönggerberg» wurde An-

fang 1995 geschaffen. Um Doppelspurigkeiten zwischen dem technischen Dienst der ETH und der Umsetzungsgruppe zu vermeiden, wurde die Projektorganisation gemäss Bild 2 so aufgebaut, dass die Querinformation sichergestellt ist.

Die Umsetzungsgruppe hatte den Auftrag, im Rahmen der verfügbaren Mittel und unter Einhaltung optimaler Arbeitsbedingungen für den Lehr- und Forschungsbetrieb Massnahmen zu realisieren, die zu einem effizienten Energieeinsatz führen. Die dazu vorgesehenen Massnahmen waren auf ihre Wirtschaftlichkeit hin zu überprüfen. Dabei wurden bei den Energiepreisen die beim AFB üblichen Zuschläge für externe Kosten - Kosten der Energiebereitstellung die von der Allgemeinheit bezahlt werden müssen - berücksichtigt (Elektrizität 5,0 Rp./kWh, Erdgas 3,0 Rp./kWh, Erdöl 4,5 Rp./kWh). Massnahmen und Vorgehen sollten bei Benutzern und involvierten Stellen möglichst hohe Akzeptanz finden.



2
Projektorganisation

Der «Massnahmenbericht E 2000» als Arbeitsinstrument

Um energetische Massnahmen zu finden, die sich innerhalb der Nutzungsdauer der Anlagen amortisieren lassen, wurde eine Liste erstellt, welche die Wirtschaftlichkeit für jede einzelne Massnahme ausweist. In Abhängigkeit der Lebensdauer, der voraussichtlichen Investitionskosten, der mutmasslichen Energieeinsparungen und der Energiepreise wurden die Jahreskosten dem Jahresnutzen gegenübergestellt und ein Kosten-/Nutzen-Faktor ermittelt. Ist dieser kleiner als eins, d.h. die jährliche Einsparung grösser als deren Jahreskosten, gilt die Massnahme als wirtschaftlich. Weiter wurde untersucht, ob die vorgeschlagene Massnahme bezüglich Komfort, Unterhalt und Betriebssicherheit den Anforderungen genügt.

Die Resultate der Untersuchung wurden im «Massnahmenbericht E 2000» dokumentiert. Dieser Bericht dient von der Planung bis zur Ausführung als Arbeitspapier, welches im Sinne einer rollenden Planung laufend aktualisiert wird. Über die abgeschlossenen Arbeiten wird periodisch ein Abschlussbericht erstellt. Darin wird über die Ausführung der einzelnen Massnahme Rechenschaft abgelegt und die Erfolgskontrolle dokumentiert.

Information über die laufenden Arbeiten

Die Information der direkt von den Umsetzungsmassnahmen Betroffenen wurde einerseits durch die Vertreter in der Umsetzungsgruppe und anderseits durch die ETH-Hauszeitung «ETH Intern» gewährleistet. Ein sehr grosser Stellenwert während der Umsetzung der Massnahmen wurde der Benutzerinformation beigemessen. Mit farbigen Plakaten bei den Haupteingängen der Gebäude informierte man diese über Massnahmen in «ihrem» Gebäude, über Art und Dauer der Interventionen und über deren Resultate und warb für Verständnis bei Störungen. Gleichzeitig wurde aufgezeigt, dass bezüglich Energiesparen an der ETHZ grosse Anstrengungen unternommen werden. Das Energiesparpotential wurde grafisch dargestellt und mit durchschnittlichen Haushaltsverbräuchen verglichen. Dadurch sollten Benutzerinnen und Benutzer bezüglich Energie weiter sensibilisiert werden. Entsprechend dem Stand der Arbeiten wurden diese Tafeln laufend ergänzt.

Vorgehen bei der Umsetzung der Massnahmen

Von den Optimierungen sind nahezu alle Physikbauten sowie das Forschungsgebäude (HIF) der Ingenieurwissenschaften betroffen. Aufgrund des grossen Umfanges wurde die Umsetzung in zwei Hauptetappen aufgeteilt. Innerhalb dieser Etappen unterschied man zwischen zwei Prioritäten: die erste Priorität umfasst wirtschaftliche Massnahmen, welche ohne grossen Planungsaufwand ausgeführt werden können, und die zweite Priorität Massnahmen, die eine vertiefte Planung erfordern. Für Planung und Ausführung wurde und wird gemäss dem Zeitplan in Bild 3 gearbeitet.

Im grossen Lehrgebäude HIL wird voraussichtlich im Sommer 1998, unabhängig von den hier vorgestellten Optimierungen der Haustechnikanlagen, mit umfangreichen Optimierungs- und Sanierungsarbeiten begonnen.

Realisierte Optimierungsmassnahmen

Betroffene Sachgebiete

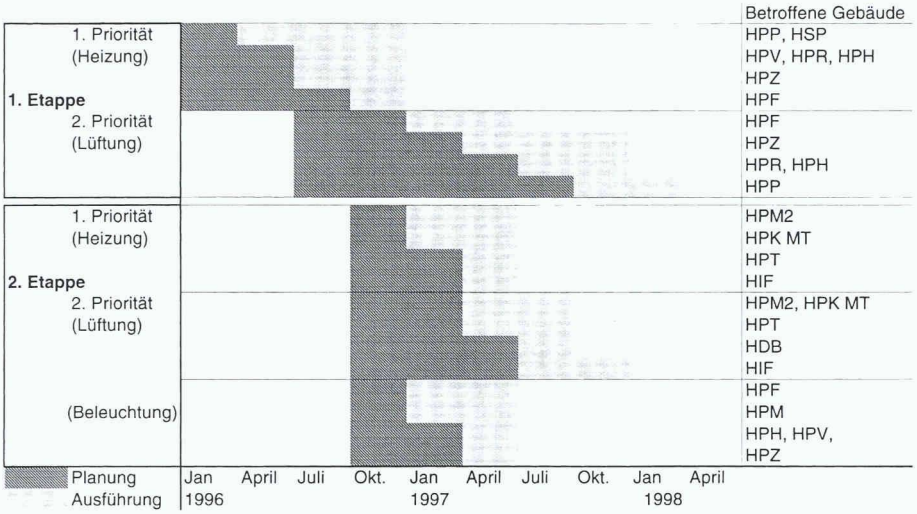
Die Optimierungen sind vor allem auf die technischen Anlagen ausgerichtet. Wo es im Rahmen von Anlagen- und Betriebsoptimierungen nötig bzw. sinnvoll und realistisch erschien, wurden auch kleinere bauliche Massnahmen ausgeführt. Im Vordergrund der Optimierungen standen aber Massnahmen an den Heizungs-, Lüftungs-, Klima- und Kälteanlagen. Weitere Abklärungen bezogen sich auf die Verbesserung von Fensterdichtungen, diversen einfacheren Wärmedämmassnahmen sowie die Überprüfung von Druckluftleitungen.

Umwälzpumpen

Von den in der ETH Hönggerberg eingesetzten Umwälzpumpen wurden seit der Erstellung der Gebäude nur wenige ersetzt. Die verbleibenden Pumpen weisen ein Alter von mindestens 25 Jahren auf. Obwohl von der Bauart her sehr robust, entsprechen sie bezüglich Wirkungsgrad und Regelmöglichkeiten nicht mehr den heutigen Anforderungen. Aus diesem Grunde wurde entschieden, die verschiedenen Pumpen zu ersetzen (Kosten-/Nutzen-Faktor rund 0,5 bis 0,7).

Sekundärpumpen:

Alle Gebäude werden über Fernleitungen ab der ETH-eigenen Heizzentrale mit Wärme versorgt. Unterstationen mit Umformern und Sekundärpumpen versorgen in den Häusern die einzelnen Heizgruppen mit Wärme (Bild 4). Diese zweistufigen Sekundärpumpen mit Leistungen bis zu 10 kW sind in der Regel unabhängig vom Wärmebedarf ganzjährig in Betrieb.



3
Ablaufplan der ersten und zweiten Optimierungsetappe

Im Sommer werden sie jedoch nur auf der ersten Stufe betrieben. Aus Sicherheitsgründen sind jeweils zwei Pumpen eingebaut. Davon läuft lediglich eine; im Störungsfall wird dann auf die zweite umgeschaltet.

Jeweils eine der beiden Sekundärpumpen wurde neu durch eine drehzahlregulierte Pumpe ersetzt. (Frequenzumrichter, entweder in der Pumpe integriert oder extern). In Abhängigkeit des Differenzdruckes wird die Drehzahl so geregelt, dass nur die momentan nötige Wassermenge gefördert wird. Durch diesen bedarfsabhängigen Betrieb wird folgendes erreicht:

- Der Frequenzumrichter regelt den elektrischen Energiefluss zum Antriebsmotor auf den minimal notwendigen Wert.
- Die Drehzahl ist nur noch so gross wie zur Förderung der momentan geforderten Wassermenge nötig.
- Durch die Reduktion der Wassermenge erreicht die Rücklauftemperatur tiefere Werte. Damit verbessern sich die Temperaturverhältnisse im Umformer so, dass dessen Wirkungsgrad ansteigt. Die tiefere Rücklauftemperatur reduziert die Verluste im Wärmeverteilnetz signifikant.

Gruppenpumpen:

Die ursprünglich eingesetzten Heizungs-Gruppenpumpen förderten mit konstanter Drehzahl unabhängig vom Wärmebedarf der Gruppe. Deshalb wurden sie auch im Hinblick auf eine zukünftige Gesamtsanierung der Bauten durch drehzahlregulierte Pumpen ersetzt. Zusätzlich wurden sämtliche Heizkörper mit Thermostatventilen ausgerüstet. Die reduzierte Wassermenge durch die Heizkörper geht mit einer kleineren Pumpenleistung einher. Mit dem Einsatz der geregelten Pumpen tritt aber ein neues Problem auf: Nachts, wenn die Vorlauftemperatur reduziert wird, öffnen sich die Thermostatventile. Dies führt dazu, dass die Pumpen eine grössere Wassermenge fördern möchten, was schliesslich dem Absenken der Heizleistung zuwiderläuft. Durch Zurückregeln der Pumpenleistung wird deshalb die geförderte Wassermenge in der Nacht begrenzt.

Schwierigkeiten:

Erhebliche Schwierigkeiten ergaben sich durch die zum Teil sehr schlechte Dokumentation der bestehenden Anlagen. Angaben bezüglich Förderhöhen und Fördermengen waren nur lückenhaft vorhanden. Rohrnetzberechnungen kamen in Folge der enorm grossen Netze nicht in Frage. Messungen mittels Messpumpen sind in einer so grossen Anlage zeitintensiv und aufwendig, zumal alle Verbraucher für eine solche Messung voll geöffnet werden müssten. Schliesslich boten in vielen Fällen die bestehenden Pumpen die einzigen Angaben. Die neuen Pumpen wurden deshalb basierend auf den Daten der bestehenden, unter Berücksichtigung der früher üblichen Überdimensionierung, ausgewählt.

Die neuen Pumpen verfügen über eine eingebaute Elektronik, welche neben der eigentlichen Programmierung verschiedene Angaben speichern können: bisheriger Energieverbrauch, bisherige Betriebsstundenzahl, letzte Störung, momentane Fördermenge und -druck. Das ermöglicht eine gute Verbrauchskontrolle. Das prognostizierte Ziel von 30% Minderverbrauch wurde sogar übertroffen: Im Durchschnitt der fast 70 ersetzten Pumpen konnten 40% elektrische Energie eingespart werden. Dies entspricht einer Leistungsreduktion von knapp 9 kW, was bei einer Betriebszeit von durchschnittlich 4000 Stunden pro Jahr dem Stromverbrauch (ohne Warmwasser) von zehn Durchschnitts-Haushaltungen entspricht.

Pumpen mit externen Frequenzumrichtern

Aus wirtschaftlichen wie aus technischen Gründen ist es nicht immer gerechtfertigt, bei der Systemumstellung auf variablen Volumenstrom die Pumpen zu ersetzen. In einigen Fällen hat man deshalb die alten Pumpen belassen und sie mit einem vorgeschalteten Frequenzumrichter ausgerüstet. Heute werden solche Umrichter für Pumpen ab 100 Watt angeboten. Ihr Einsatz ist aber wegen der verhältnismässig hohen Investitionskosten meist erst ab Leistungen über 500 Watt wirtschaftlich.

Da einige Sekundärpumpen infolge Gesamtsanierungen vermutlich bald verschwinden, entschloss man sich, statt sie zu ersetzen, sie nachzurüsten: Eine der beiden Pumpen wurde mit einem Frequenzumrichter ausgerüstet. Dieser ist auf etwa die halbe Pumpenleistung ausgelegt. Die volle Leistung wird selten benötigt, so dass sich der erhebliche Mehrpreis für einen Umrichter mit der grösseren Leistung nicht lohnt. Wie bisher muss daher der Technische Dienst bei grosser Kälte manuell auf Stufe 2 umschalten. Die zweite Pumpe wurde als Redundanzpumpe ohne Änderung belassen. Mit dieser Lösung konnte eine kostengünstige Variante gefunden werden.

Von den Gruppenpumpen kamen aufgrund der Pumpengrösse nur die grösseren für eine externe Umformerspeisung in Frage.

Schwierigkeiten ergaben sich bei der Integration der Frequenzumrichter in die bestehende Anlagensteuerung: Die bestehenden Steuerungen sind gegen dreissig Jahre alt, vielfach umgebaut, repariert und optimiert worden und deshalb teilweise unübersichtlich und schlecht dokumentiert. Eine korrekte Integration der Umrichter war schwierig, konnte aber schliesslich zufriedenstellend realisiert werden.

Laborkühlwasserpumpen mit externen Frequenzumrichtern:

Verschiedene Pumpen für Laborkühlwasser sind vor wenigen Jahren ersetzt und neu als Konstantvolumen-Systeme konzipiert worden. Bei der damaligen Erneuerung der Anlagen hat man aus Sicherheitsgründen auf eine variable Führung verzichtet. Ein erneuter Ersatz der teuren Hochdruckpumpen kam nicht in Frage. Diese Pumpen förderten beispielsweise im Gebäude HPF rund die dreifache Menge

des effektiv benötigten Kühlwassers; die nichtbenötigte Menge zirkulierte über einen Bypass.

Im Rahmen der Optimierungen wurde aufgrund des grossen Sparpotentials eine Umstellung auf variablen Volumenstrom wieder überprüft. Die Versorgungssicherheit konnte entgegen anfänglicher Vorbehalte des Technischen Dienstes dank Ausrüstung beider Umwälzpumpen mit Umformern gewährleistet werden. In enger Zusammenarbeit mit den Benutzern wurde die Massnahme vorerst im HPF-Gebäude realisiert. Nach erfolgreichem Test konnte die Lösung auch auf die anderen Grossanlagen übertragen werden.

Umrichtertechnologie und Ausrüstung beider Pumpen mit Frequenzumrichtern kann die Versorgungssicherheit heute gewährleisten.

Die Leistungsaufnahme der Elektromotoren konnte von rund 26 auf etwa 11 kW reduziert werden. Wegen geringerer Reibungswärme und kleineren Verlusten sinkt gleichzeitig auch der Kühlleistungsbedarf. Gesamthaft wurden aufgrund der Messdaten Jahreseinsparungen von rund 180 MWh (elektrisch) bzw. von über Fr. 30 000.- pro Jahr und Pumpe erreicht. Die Investition ist damit in weniger als einem Jahr bereits amortisiert!

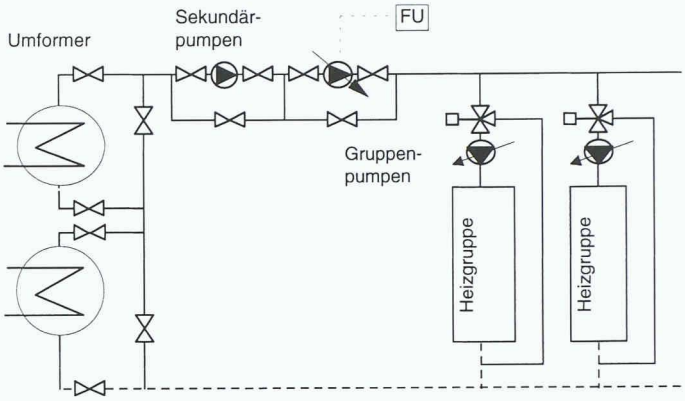
Einsatz von Thermostatventilen und Zonenregulierungen

Um die Sparmöglichkeiten durch drehzahlregulierte Gruppenpumpen maximal ausnützen zu können, ist es wichtig, die Durchflussmengen durch das Heizungssystem möglichst dem Bedarf anzupassen. Deshalb wurden, wo sinnvoll und möglich, die Heizkörper mit Thermostatventilen oder Zonenregulierungen versehen. In klimatisierten Räumen verzichtete man prinzipiell auf Thermostatventile, um zu verhindern, dass der gesamte Wärmebedarf über die Klimaanlage gedeckt werden muss; dafür wurde teilweise eine Zonenregulierung mit Aussenfühlern realisiert.

Anpassung der Hydraulik

In den Unterstationen der ETHZ waren, wie früher üblich, alle Verteiler mit grosszügigen Bypässen ausgestattet. Dies bewirkte, dass auch bei kleinem oder keinem Verbrauch der einzelnen Gruppen Wärme bzw. Kälte dauernd zirkulierte und der Verteiler immer die entsprechende Temperatur aufwies. Eine permanente Zirkulation von Heizungs- oder Kühlwasser verursacht aber einen hohen Energieverbrauch.

Mit den bedarfsabhängig geregelten Sekundärpumpen wurden verschiedene Anpassungen im hydraulischen System möglich: Verteilerbypässe konnten entfernt oder zumindest durch kleinere, einstellbare ersetzt werden. Die Bypässe in allen Nachwärmern der Lüftungsgruppen wurden entfernt. Die Vorwärmerbypässe durften dagegen nicht unterbrochen werden, weil sonst der Frostschutz nicht mehr gewährleistet wäre. Mit diesen Änderungen liess sich die zirkulierende Wassermenge wesentlich reduzieren.



4
Prinzipschema der Wärmeverteilung in den Gebäuden

Umstellung der Klimaanlagen auf variablen Volumenstrom

In den meisten Gebäuden auf dem Hönggerberg sind Zweikanalanlagen eingebaut, die heute zwischen 20 und 30 Jahre alt sind. Die Anlagen werden mit Konstantvolumen gefahren. Die Volumenströme können an den Mischkasten selbst fest voreingestellt werden. Die Temperaturregelungen in den Mischkasten funktionieren aber ungenügend. Die pneumatischen Regler und Relais sind alt und teilweise defekt, die Druckluftversorgung knapp. Die zentralen Steuerungen erwiesen sich ebenfalls als revisionsbedürftig: Freigabe-Signale, Verriegelungen und Klappensteuerungen arbeiteten nicht mehr zuverlässig.

Aus energetischen Gründen ist es angebracht, Anlagen mit genügender Restlebensdauer bis zur Gesamtsanierung auf variablen Volumenstrom umzubauen. Ab rund sieben Jahren Amortisationszeit lohnt sich diese Investition finanziell.

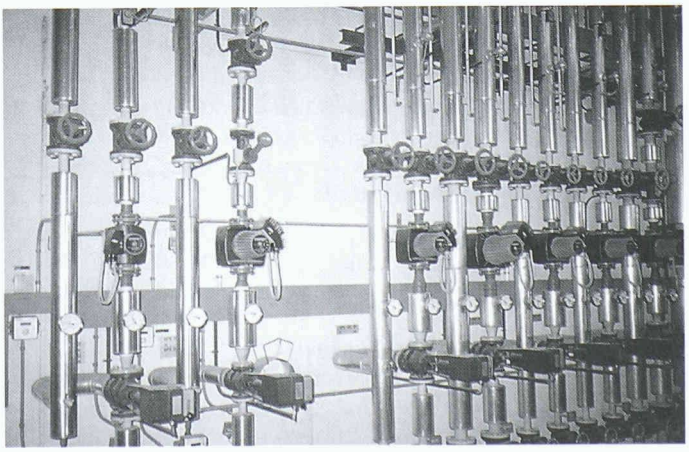
Die Umstellung auf variablen Volumenstrom erfolgt auf zwei Ebenen:

- Drehzahlregulierung der Zu- und Fortluftventilatoren mit Druckfühlern:

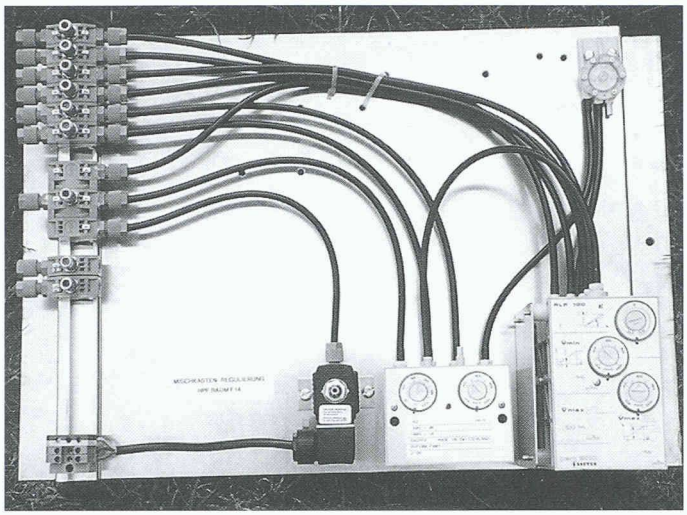
Für die Drehzahlregulierung der Ventilatoren wurden wie bei den Sekundärpumpen der Heizung die Motoren neu über Frequenzumrichter gespeist. Die Integration erfolgt in zwei verschiedenen Ausführungen: umstellbarer Betrieb über einen Schalter «FU»/«Normal» am Haupttableau und Direktbetrieb nur über Umrichter. Die Regulierung erfolgt durch je zwei Druckmessungen im Warm- und im Kaltluftkanal. Aufgrund des tiefsten Signals werden die Zuluftventilatoren geregelt. Die Fortluftventilatoren laufen in Funktion «slave» der Zuluftventilatoren.

- Erneuerung der Mischkastenregler durch voll variable Regulierungen:

Da die bestehenden Regulierungen keinen genügenden Regelbereich haben, veraltet sind und über Jahre hinweg unübersichtlich aus Einzelkomponenten zusammengestellt und ergänzt worden waren, war eine weitere Ergänzung nicht möglich. Nur mit einem Totalersatz konnte eine sau-



5
Heizungsunterstation mit neuen Pumpen



6
Neue Reglerkonsole

bere Regulierung realisiert und die Funktionsfähigkeit aller Komponenten voll gewährleistet werden. Gleichzeitig konnte so auf modernere Regelgeräte und lärmarme Relais umgestellt werden. Aus Integrations- wie aus Kostengründen wird die neue Regulierung wie bisher pneumatisch ausgeführt.

Anstelle der bisherigen unübersichtlichen Einzelmontage werden die Komponenten der Regulierung modular in vier Varianten (Master, Slave, mit Kapelle, Solitär) mit allen nötigen Anschlüssen und Beschriftungen auf eine Konsole aufgebaut (Bild 6). Zur Kanalnetzkontrolle sind auf jeder Konsole auch Anschlüsse für die Überprüfung des Vordruckes vorhanden. Alle Anschlüsse sind zur Einregulierung und zur Überprüfung zusätzlich über Schnellkupplungen abgreifbar. Fünf Stellgrössen sind an der Konsole variierbar: Maximalvolumenstrom, Kalt- und Warmluft, Minimalvolumenstrom Normalbetrieb und Nachtbetrieb und Neutrale Zone. Am Raumregler kann die Temperatur noch um +/-1 °C verstellt werden.

Zusätzlich zur dezentralen Regulierung an den einzelnen Mischkasten wurde die zentrale Regulierung überprüft und wo nötig revidiert und um einen Sommer-Winter-Nachtregler ergänzt. Dieser schaltet zwischen Normalbetrieb Winter, Sommerbetrieb (mit Sommerschiebung nach Aussentemperatur) und Absenkbetrieb (Nacht) um. Das erzeugte Regelsignal ist bei jedem Mischkasten verfügbar, wird aber nur angeschlossen, wenn Temparaturschwankungen zugelassen sind.

Schwierigkeiten:

Die Arbeiten waren sehr aufwendig und umfangreich und erforderten eine gute Koordination und viel Flexibilität aller Beteiligten. Kleine Änderungen führten rasch zu grossen Verzögerungen. Bei Umbauten der Zentralen in den Sommermonaten mussten die Anlagen provisorisch weiterbetrieben werden, damit es in den Gebäuden nicht zu warm wurde.

Erfahrungen:

Erste Erfahrungen zeigen im Hochsommer mit erheblichem Kühlbedarf enorme Einsparungen. Die Leistungsaufnahme der Ventilatoren ist im Gebäude HPF von 30 auf unter 10 kW gefallen und fällt bei moderateren Aussentemperaturen auf 5 kW. Über die vier Gebäude (HIF, HPF, HPT, HPM), in denen die Ventilatoren neu auf diese Weise gesteuert werden, sind Stromeinsparungen im Betrag von über Fr. 140 000.- zu erwarten. Dies entspricht dem Verbrauch von 180 Durchschnittshaushaltungen! Die Reduktion des Kühl- und Heizbedarfes ist sicher erheblich, sie soll aber erst nach definitiver Einregulierung quantitativ überprüft werden. Die Luftmengen wurden soweit reduziert, dass sie unter dem Messbereich der heute eingebauten Messeinrichtungen des Technischen Dienstes liegen. Die Anlagen funktionieren seit der Umstellung zur vollen Zufriedenheit. Während der Umbauarbeiten mussten aber einige Störungen in Kauf genommen werden, da sich Anpassungen im ganzen Gebäude aufdrängten.

Wärmerückgewinnung aus Abluft und Laborkühlwasser

Grundsätzlich besteht bei verschiedenen Abluftanlagen Abwärme, die sich mittels Wärmerückgewinnungsanlagen (WRG) nutzen liesse. Auf dem Hönggerberg existieren aber verschiedene Fortluftkonzepte: solche mit mehreren kleinen Einzelabgängen und solche mit gesammelter Fortluft.

Wirtschaftlich lässt sich die Wärme nur bei den Abgängen der gesammelten Fortluft einbauen. Dort werden Wärmerückgewinnungen in bekannter Art und Weise realisiert.

Eine spezielle Lösung der WRG aus Laborkühlwasser wurde im Gebäude HPF ausgeführt. Mit dem Rücklauf des Laborkühlwassers wird die Aussenluft bis auf maximal Kaltluftkanaltemperatur (rund 16 °C) vorgewärmt und gleichzeitig das Laborkühlwasser (rund 19 °C) vorgekühlt. Da sich die Aussentemperaturen über $^2/_3$ des Jahres unter 16 °C bewegen, ist eine gute Ausnutzung der Wärme möglich. Da sich die Anlage im Sommer noch nicht definitiv einregulieren liess, können keine genauen Aussagen bezüglich der realisierten Einsparungen gemacht werden.

Bedarfsabhängige Lüftung und Klimatisierung in Hörsälen

Fünf Hörsäle in den betroffenen Gebäuden verfügen über eine eigene Klimaanlage, welche die Räume mit Frischluft sowie der geforderten Wärme bzw. Kühlung versorgt. Bisher wurden die Anlagen durch den Hausdienst unabhängig von der effektiven Benutzung und Belegung des Hörsaales gemäss Stundenplan betrieben.

Mit Hilfe von Luftqualitätsfühlern werden nun die Anlagen so geschaltet, dass die Lüftung nur läuft, wenn die Luftqualität unter einen definierten Qualitätsgrad sinkt (z.B. 1000 ppm CO_2-Gehalt). Als Luftqualitätsfühler sind parallel ein CO_2- und ein Mischgasfühler installiert worden, weil man Erfahrungen über das Verhalten der beiden Fühlertypen sammeln wollte.

Für den Einsatz des Mischgasfühlers wird täglich mit einer definierten Vorspülung des Raumes die Qualität der Frischluft neu bestimmt. Aufgrund dieses Wertes wird dann die Luftqualität geregelt. Ein Driften, wie dies von den CO_2-Fühlern bekannt ist, tritt so nicht auf. Um auch die Beheizung und die Kühlung zu gewährleisten, wurden Temperaturfühler installiert, welche die Anlage bei Unter- bzw. Überschreiten der Grenzwerte (20/26 °C) ebenfalls einschalten.

Aufgrund von Messungen können detaillierte Aussagen über den Betrieb sowie den Temperatur- und Luftqualitätsverlauf in den Hörsälen gemacht werden. Die Auswertungen verschiedener Perioden im Sommer und im Winter zeigten:

- Die Betriebszeiten der Anlagen liegen heute rund 30% tiefer als gegenüber dem Stundenplanbetrieb.
- Im Sommer ist der Einfluss der Temperatur dominant. Die Anlage läuft in erster Linie, weil Kühlleistung benötigt wird, was nur beschränkt mit dem eigentlichen Frischluftbedarf korreliert.
- Der Vergleich von Mischgas- und CO_2-Fühler zeigt praktisch identische «Luftqualitätssignale».

Ein weiteres Optimierungspotential liegt

in der Aktivierung der Lüftungsanlage nur während der effektiven Belegungszeiten. Es herrschen jetzt ausserhalb der Belegungszeiten keine Komfortbedingungen mehr. Es muss aber gewährleistet werden, dass zu Beginn von Veranstaltungen die Temperaturen im geforderten Bereich liegen. Dies kann beispielsweise durch die frühzeitige Aktivierung über das Leitsystem geschehen.

Präsenzmelder zur Steuerung von Lüftung und Beleuchtung

Belüftung und Beleuchtung in den Garderoben der Sporthalle der ETH waren bisher an Werktagen inklusive Samstag von morgens 08.00 bis abends 22.00 Uhr in Betrieb. Entsprechend dem öffentlichen Charakter der Garderoben fühlt sich niemand für das Ausschalten des Lichtes verantwortlich. Dem wurde durch den Einsatz von Präsenzmeldern abgeholfen: Betritt jemand die Garderobe, wird dies vom Präsenzmelder erkannt, und das Licht schaltet ein. Wird in der Garderobe keine Bewegung mehr registriert, so schaltet der Präsenzmelder das Licht nach einer einstellbaren Nachlaufzeit wieder aus. Die eingesetzten Melder verfügen zusätzlich über einen einstellbaren Tageslichtsensor: misst der Sensor einen Helligkeitswert über dem eingestellten Schwellenwert von bespielsweise 200 Lux, so schaltet der Präsenzmelder das Licht immer aus.

Ein zweiter Schaltkreis im Präsenzmelder wird zur Steuerung der Belüftung eingesetzt. Die Lüftung wird eingeschaltet, wenn im Raum eine Bewegung detektiert wird. Bewegt sich nichts mehr, so wird sie um eine Nachlaufzeit verzögert ausgeschaltet. Nachlaufzeiten für Belüftung und Beleuchtung können unabhängig voneinander eingestellt werden.

Stichworte zur Steuerung mit Präsenzmeldern:

- An der ETH gilt die Philosophie, dass bei Beleuchtungen das Einschalten wenn möglich durch die Benutzer zu erfolgen hat. Die Präsenzmelder sollen vor allem ausschalten. Dies hätte aber im Falle der Sportanlage installationsmässig einen relativ grossen Aufwand bedeutet.
- Die Reduktion der Betriebszeiten der Beleuchtung wurde nicht gemessen, sie ist aber durch die zusätzliche tageslichtabhängige Steuerung sicher grösser als bei der Lüftung.
- Die Reduktion der Betriebszeiten der Lüftungen liegt bei den verschiedenen Anlagen zwischen 10 und 40%.
- Durch häufigeres Ein- und Ausschalten der Zu- und Abluftventilatoren werden Schaltelemente und Motoren stärker als bisher belastet. Die Verkürzung der Lebensdauer ist jedoch schwer abschätzbar.

Optimierungen durch den Technischen Dienst der ETH

Der Massnahmenbericht enthält eine Reihe von Massnahmen, die durch den Technischen Dienst der ETHZ selber ausgeführt werden sollen. Schon in der Vergangenheit nahm der Technische Dienst laufend Optimierungen vor. So konnten verschiedene Betriebszeiten reduziert und Heizkörper und Luftkühler stillgelegt werden.

Das Heizwasser-Verteilnetz von der Heizzentrale zu den verschiedenen Gebäuden ist das ganze Jahr über aktiv. Die Wärme wird für spezielle Anwendugen und die Warmwasseraufbereitung benötigt. Liegen die Aussentemperaturen über 16 °C, werden die Gebäude nicht mehr beheizt. Für diesen Fall hat der Technische Dienst in das Leitsystem neu eine Funktion eingebunden, welche sämtliche Heizgruppenpumpen abstellt. Die Betriebszeiten der Umwälzpumpen können dadurch markant reduziert werden.

Erfahrungen

Vergleich Ist – Soll

Die im Massnahmenbericht veranschlagten Kosten wurden zu tief angesetzt. Vor allem die Integrationen der Steuerungen in die bestehenden Anlagen waren zum Teil sehr aufwendig. Aus Kostengründen wurden nur ausgewählte Massnahmen nachgemessen. Die resultierenden Einsparungen lagen bei diesen im Bereich des prognostizierten Potentials oder höher. Über alle Gebäude sollte jetzt aber eine Abnahme des Verbrauches feststellbar sein - wenn die Einsparungen nicht durch neue Verbraucher wieder zunichte gemacht werden.

Die Nachkalkulation der Kosten-/Nutzen-Rechnung ergibt trotz der höheren Investitionskosten immer noch sehr positive Resultate: Unter Berücksichtigung der externen Kosten beträgt der Kosten-/Nutzen-Faktor im Mittel 0,3, das heisst, die jährlichen Ausgaben für die Optimierungsmassnahmen sind dreimal kleiner als die jährlichen Einsparungen, die mit diesen Massnahmen erzielt werden.

Ablauf der Arbeiten

Einem wichtigen Aspekt ist anfänglich zu wenig Beachtung geschenkt worden: der Einbindung des Technischen Dienstes bei der Massnahmendefinition. Das dort vorhandene grosse Wissen wurde nicht genutzt. Die Akzeptanz des Betriebspersonals war entsprechend gering. Diesem Umstand wurde in der Folge Rechnung getragen, indem laufend Informationssitzungen mit dem Betriebspersonal stattfanden. Wichtige Informationen von dieser Seite zu einzelnen Anlagen konnten dadurch gewinnbringend genutzt werden.

Wie weiter mit den Optimierungen

Heute, da das Ende der ersten und zweiten Etappe der Optimierungen in Sicht ist, stellt sich die Frage: wie weiter? Allen Beteiligten ist klar, dass mit dem bereits Realisierten der Hönggerberg noch lange nicht «optimiert» ist. ETHZ und AFB sind in der glücklichen Lage, heute über eine gut funktionierende Projektorganisation zu verfügen. Es wurde deshalb beschlossen, in einer dritten Etappe weiteres, teilweise schon bekanntes Optimierungspotential zu analysieren und wo möglich zu realisieren. Diese dritte Etappe wird voraussichtlich Anfang 1998 anlaufen. Über Umfang und Potential können zurzeit aber noch keine detaillierteren Aussagen gemacht werden.

Adresse der Verfasser:
Felix Jenni, Dr., Energiebeauftragter der ETHZ, ETH Zentrum, CLT A6, 8092 Zürich
Heinz Rüger, Getec AG, Meier & Wirz, Hofwiesenstrasse 370, Postfach, 8050 Zürich
Theo Strub, Leiter Aussenstation Hönggerberg, Amt für Bundesbauten BK 4, 8093 Hönggerberg
Peter Hardegger, Basler & Hofmann, Forchstrasse 420, 8029 Zürich

Gesamtleitung der Optimierungen

Arbeitsgemeinschaft der Ingenieurbüros Getec und Basler & Hofmann