

Bewilligungsempfänger:
Kimakon GmbH
Gemündener Str. 41
97753 Karlstadt

**Entwicklung einer modularen Steuerungstechnik für vorrangig
hocheffiziente Energiesparprojekte im Bereich Nichtwohnge-
bäude**

Abschlussbericht über ein Demonstrationsvorhaben,
gefördert unter dem Az: 24737-25 von der
Deutschen Bundesstiftung Umwelt (DBU)

Verfasser:
Achim Schreck
Werner Haase

Klimakon GmbH, Karlstadt

September 2009

Projektkennblatt
der
Deutschen Bundesstiftung Umwelt



Az	24737	Referat	25	Fördersumme	125.000,00 €
----	--------------	---------	-----------	-------------	---------------------

Antragstitel **Entwicklung einer modularen Steuerungstechnik für vorrangig hoch-effiziente Energiesparprojekte im Bereich Nichtwohngebäude**

Stichworte Ökobau, Haustechnik

Laufzeit	Projektbeginn	Projektende	Projektphase(n)
3 Jahre	14.07.2006	14.07.2009	1

Zwischenberichte	23.07.2008
------------------	------------

Bevollichtigungsempfänger	Klimakon GmbH	Tel	09353-985925
	Gemündener Str. 41	Fax	
	97753 Karlstadt	Projektleitung	
		Hr. Achim Schreck	
		Bearbeiter	
		Hr. Achim Schreck/Hr. Werner Haase	

Kooperationspartner

Architekturbüro Werner Haase
Julius-Echter-Str. 59
97753 Karlstadt
Tel: 09353/9828-0 Fax: 6375
ganzheitlicher Sanierungsplan

Zielsetzung und Anlass des Vorhabens

Es ist vorgesehen ein System zu entwickeln, welches in einem hochwärmedämmten Gebäudeneubau oder Altbausanierung mit entsprechender Trägheit der Massen und z.T. hohen internen Lasten, wie z.B. Bürogebäude, Laborgebäude, Schulgebäude oder temporär genutzten Gebäuden, wie z.B. Kirchen, Mehrzweckhallen oder aber dauergenutzten Räumen, wie z.B. Server-Räume eine angepasste, energiesparende und schnell reagierende Steuerung zu entwickeln, die nicht den Ballast einer herkömmlichen Steuerung eines hochverbrauchenden Gebäudes in sich trägt.

So ist es beispielsweise notwendig in großen Gebäuden eine wandweise Vorlauftemperatur steuern zu können und es ist empfehlenswert die Klimaanlage zu vermeiden und durch eine hocheffiziente Be- und Entlüftungsanlage zu ersetzen, die nur die Luftqualität regelt, so dass die Temperaturregelung über die Heizungsregelung ohne Überlagerung mit einer Lüftungsregelung stattfindet.

Dies setzt voraus, dass die Heizflächen heizen und kühlen können. Dies ist in der Steuerungstechnik zu berücksichtigen. Desweiteren sind in der Wärmegegewinnung Hierarchien und Tageszeiten zu berücksichtigen. Z.B. ist in einem Frühlingstag, der als warm und sonnig gemeldet ist es nicht notwendig, früh um 7 Uhr alle Heizkörper auf Übertemperatur zu fahren, da bereits ab 8 Uhr die Sonneneinstrahlungen zu Überlagerungen mit der vorher bereit gestellten Heizenergie führen würden, was zur Folge hätte, dass kurz nachdem geheizt wurde der Kühlfall eintritt. Auch hier ist eine vorausschauende Steuerung notwendig.

Als Hierarchie ist zu verstehen, dass solare Energien und rückgewonnene Energien immer Vorfahrt haben, ihnen muss Platz im Pufferspeicher gelassen werden und die damit bediente Temperaturebene ist vorrangig zu nutzen. Nur wenn die solaren und rückgewonnenen Energien oder „Abfall-Energie“, wie z.B. aus dem BHKW nicht ausreichen, erst dann darf ein Kessel mit fossilen Energien in Betrieb gehen. Oder anders gesprochen: Zuerst werden kostenlose Energien verwendet und zuallerletzt kostenaufwendige Energieformen. Nicht der Kessel mit der hohen Laufzeit ist wirtschaftlich, sondern der Kessel, der hauptsächlich zur Redundanz benutzt wird.

Die zu entwickelnde Steuerungstechnik hat daher immer zu berücksichtigen, welche wirtschaftlichen Auswirkung die Nutzung der einzelnen Energiequellen und die Nutzung der einzelnen Temperaturebenen im Pufferspeicher bewirken.

Darstellung der Arbeitsschritte und der angewandten Methoden

Es sollen Klimareferenzdaten als Steuerungshintergrund vorgeben werden, bei dem die tatsächlich gemessenen Klimadaten als Korrekturfaktor dienen. Des Weiteren sollen Wetterprognosen' vorausschauend die Laderichtung und Intensität der Beladung regeln. Dafür müssen die Ladezustände der Speicher bilanziert werden und über die ermittelte Differenz zwischen zukünftigem Bedarf und Speicherinhalt die notwendigen Energiebereitstellungen regeln.

Es ist vorgesehen, die Regelung adaptiv auszuführen, so dass die objektbezogenen Klima- und Innenraumkenndaten von den einzelnen Reglern zur Optimierung herangezogen werden. D. h. die einzelnen beteiligten Komponenten der Wärmeerzeugung haben intern meistens ein eigenes Regel- bzw. Steuerungssystem. Dieses muss mit der übergeordneten Regelung abgestimmt werden. Hierbei ist die Verträglichkeit der einzelnen Computersprachen abzuklären. Außerdem muss die Betriebssicherheit der einzelnen Komponenten gewährleistet bleiben und durch die übergeordnete Regelung eine Optimierung im Zusammenspiel der einzelnen Komponenten erreicht werden.

Die Besonderheit soll sein, dass Standard-Hardwarekomponenten aus der industriellen Prozesstechnik einfließen sollen, um aufwendige System-Entwicklungen zu vermeiden. Neben den vergleichsweise geringen Hardwarekosten (aufgrund der sehr hohen Stückzahlen, in denen diese Systeme produziert werden) liegt der Vorteil in einer sehr ausgereiften und damit zuverlässigen Technik. Durch geeignete und dafür spezifisch realisierte Software soll die Hardware für den spezifischen Anwendungsbereich mit der notwendigen Funktionalität versehen werden. Alleine durch Softwareanpassungen können so neue Leistungen erschlossen werden, die heute bei vielen Regelungssystemen nicht möglich sind. Durch vorausschauendes Speichermanagement können Primärenergie-Verbrauchssysteme gedämpft werden.

Die Steuerungstechnik soll mit bewährten Hydraulikschemas kombiniert werden, die teilweise auch einfache, mechanische Regelungen aufweisen. Damit soll erreicht werden, dass nicht jeder Steuerschritt voll-elektronisch durchgeführt werden muss, was zu einer Vereinfachung des Systems und zusätzlichen Sicherheiten beiträgt.

In die Gesamtsteuerung fließen neue Denkweisen ein, wie z.B. eine gemeinsame Flächenheizung zum Heizen und Kühlen in Kombination mit Lüftungsanlagen mit hocheffizienter Wärmerückgewinnung. Die Lüftungsanlage hat dabei einen so hohen Rückwärmegrad, dass sie nicht nachgeheizt werden muss und somit die Flächenheizung für die Temperatur im Raum zuständig ist, also sowohl für Heizen, als auch für Kühlen. Ziel ist, dass es nicht mehrere parallele Steuerungssysteme gibt, die sich teilweise überlagern und verfälschen, oder sogar gegeneinander arbeiten, so dass ein gegenseitiges Aufschaukeln von Heiz- und Kühlregelung vermieden wird.

Der modulare Aufbau sieht autark arbeitende lokale Reglersysteme vor, die von übergeordneten Systemen koordiniert und synchronisiert werden. Dies garantiert nicht nur relativ überschaubare Softwarestrukturen, sondern erlaubt einfache, schrittweise Inbetriebnahmen und flexible Notfallstrategien bei Ausfall von Teilsystemen.

Ergebnisse und Diskussion

Öffentlichkeitsarbeit und Präsentation

Die Verbreitung der gewonnenen Erkenntnisse wird durch den Abschlussbericht bzw. Veröffentlichungen in der Fachpresse und Präsentationen unter Nennung der Förderung durch die DBU gewährleistet. Da in der Anwendung dieser Technologien große Zukunftspotentiale liegen, sollen weitere Projekte realisiert werden, womit die Schaffung zusätzlicher Arbeitsplätze möglich sein sollte und auch die umweltrelevanten Ziele weiter verfolgt werden können.

Fazit

Durch ein neu aufgebautes Denkmodell der Steuerungsanforderungen soll ein Neuansatz ohne Ballast aus Vorgängermodellen erarbeitet werden, bei dem nicht die herkömmliche Energietechnik im Zentrum steht, sondern unterschiedlichste Energiequellen auf unterschiedlichen Temperaturniveaus optimiert eingebunden werden können. Dieser Ansatz macht einen modularen Aufbau möglich, der jederzeit durch weitere Wärme- oder Kältequellen ergänzt werden kann.

Die neue Regelungstechnik soll kostengünstig in der Investition, verständlich in der Handhabung, Kosten sparend in Betrieb und Wartung sowie umweltschonend durch effektives Energiemanagement sein.

Inhaltsverzeichnis:

Verzeichnis von Bildern, Zeichnungen, Grafiken und Tabellen	Seite 5
Verzeichnis von Begriffen, Abkürzungen und Definitionen	Seite 6
Zusammenfassung	Seite 8
A EINLEITUNG	Seite 10
B HAUPTTEIL	
B1 Projektbeschreibung	Seite 13
B2 Vorgehensweise	Seite 26
B3 Erkenntnisse aus der bisherigen Entwicklungsarbeit	Seite 47
B4 Kosten	Seite 51
B5 Fazit	Seite 53
Anhänge	Seite 57

Verzeichnis von Bildern, Zeichnungen, Grafiken und Tabellen

Abbildung 1 – Bild Forum+	13
Abbildung 2 – Objektbeschreibung Forum+	14
Abbildung 3 – VR-Bank in Sennfeld	17
Abbildung 4 – Objektbeschreibung VR-Bank Sennfeld	17
Abbildung 5 - Omicron in Erlangen.....	21
Abbildung 6 – Objektbeschreibung Omicron	21
Abbildung 7 – Headquarter von s.Oliver in Rottendorf	23
Abbildung 8 - Objektbeschreibung s.Oliver	23
Abbildung 9 - Zortström-Verteiler	29
Abbildung 10 - Grundriss mit Zoneneinteilung und Fühlerpositionen	33
Abbildung 11 - TGA-Komponenten.....	34
Abbildung 12 - Hydraulikschema (vereinfacht).....	35
Abbildung 13 - Hydraulikschema (Verbesserungsvorschlag).....	36
Abbildung 14 - Gebäudeanimation.....	37
Abbildung 15 - Topologie Forum+	41
Abbildung 16 - Forum+ - Darstellung GLT-Navigation.....	42
Abbildung 17 - Forum+ - Darstellung Energieverteilung Zort-heiß	43
Abbildung 18 - Forum+ - Darstellung Pufferspeicher	43
Abbildung 19 - Forum+ - Darstellung Heiz-/Kühlzonen	44
Abbildung 20 - Forum+ - Darstellung Hauptzuluft	45
Abbildung 21 - Forum+ - Darstellung Lüftungskombigeräte	45
Abbildung 22- Forum+ - Darstellung Jalousien	46
Abbildung 23 - Monitoringergebnisse Forum+.....	49
Abbildung 24 - Woche der Umwelt.....	50
Abbildung 25 - Forum+ - Hydraulikschema	57
Abbildung 26 - Forum+ - Klimatisierungszonen.....	58
Abbildung 27 - Forum+ - Hydraulik Zentrale.....	59
Abbildung 28 - Topologieschema s.Oliver	60
Abbildung 29 - Anlagenschema s.Oliver.....	61
Abbildung 30 - GLT s.Oliver – Pufferspeicher	62
Abbildung 31 - GLT s.Oliver - Wärmepumpen	62
Abbildung 32 - GLT s.Oliver – Lüftungsanlage.....	63
Abbildung 33 - GLT s.Oliver - Gaswärmepumpen.....	63
Abbildung 34 - GLT s.Oliver – Beleuchtung	64
Abbildung 35 - GLT s.Oliver - Beschattung	64
Abbildung 36 - GLT s.Oliver - Heiz-/Kühlzonen.....	65
Abbildung 37 - GLT s.Oliver – Fensterüberwachung.....	65
Abbildung 38 - GLT s.Oliver - Wettervorhersage	66
Abbildung 39 - Hydraulikschema VR-Bank.....	67
Abbildung 40 - Hydraulikplan Stockwerke VR-Bank.....	68
Abbildung 41 - Hydraulikschema Omicron	69
Abbildung 42 - Verteilerschema Omicron	70
Abbildung 43 - Topologieschema Omicron	71
Abbildung 44 - GLT Omicron – Übersicht.....	71
Abbildung 45 - GLT Omicron - Puffer	72
Abbildung 46 - GLT Omicron - Heizkreise	72

Verzeichnis von Begriffen, Abkürzungen und Definitionen

Begriffsdefinitionen gemäß Energieausweis nach EnEV:

Primärenergiebedarf

Der Primärenergiebedarf bildet die Gesamtenergieeffizienz eines Gebäudes ab. Er berücksichtigt neben der Endenergie auch die so genannte „Vorkette“ (Erkundung, Gewinnung, Verteilung, Umwandlung) der jeweils eingesetzten Energieträger (z.B. Heizöl, Gas, Strom, erneuerbare Energien etc.). Kleine Werte signalisieren einen geringen Bedarf und damit eine hohe Energieeffizienz und eine die Ressourcen und die Umwelt schonende Energienutzung.

Endenergiebedarf

Die Endenergie gibt die nach technischen Regeln berechnete, jährlich benötigte Energiemenge für Heizung, Warmwasser, eingebaute Beleuchtung, Lüftung und Kühlung an. Er wird unter Standardklima- und Standardnutzungsbedingungen errechnet und ist ein Maß für die Energieeffizienz eines Gebäudes und seiner Anlagentechnik. Der Endenergiebedarf ist die Energiemenge, die dem Gebäude bei standardisierten Bedingungen unter Berücksichtigung der Energieverluste zugeführt werden muss, damit die standardisierten Innentemperatur, der Warmwasserbedarf, die notwendige Lüftung und eingebaute Beleuchtung sichergestellt werden können. Kleine Werte signalisieren einen geringen Bedarf und damit eine hohe Energieeffizienz.

Nutzenergie

Die Energie, die tatsächlich genutzt werden kann, z.B. in Form von Wärme, die von den Heizflächen abgegeben wird. Weil aber bei der Verbrennung im Heizkessel und bei der Wärmeverteilung durch Heizungsrohre im Haus Verluste entstehen, ist die Nutzenergie kleiner als die Endenergie. Diese Verluste können bei alten Heizungen bis zu 50 % betragen und bei modernen Heizungen bis unter 10 % reduziert werden.

Heizwärmebedarf

Der Jahresheizwärmebedarf eines Gebäudes errechnet sich aus den Transmissionswärmeverlusten durch z. B. Wände, Fenster, Böden und Dächer und dem Lüftungswärmeverlust, vermindert um die solaren Gewinne und die internen Wärmegewinne. Bezieht man diesen Jahresheizwärmebedarf auf die beheizbare Fläche, so erhält man die Energiekennzahl „Heizwärmebedarf pro m² und Jahr“.

Abkürzungen:

DDC	Eine Direct Digital Control, kurz DDC, ist eine einem Computer ähnliche elektronische Baugruppe, die für MSR-Aufgaben in der Gebäudeautomatisierung eingesetzt wird
MSR	Mess-, Steuer- und Regelungstechnik
GA	Gebäudeautomation
GLT	Gebäudeleittechnik
ISP	Informationsschwerpunkt
LON	Local Operating Network (LON) ist ein Feldbus für GA
BACnet	BACnet (Building Automation and Control Networks) ist ein Netzwerkprotokoll für die Gebäudeautomation
ULK	Umluftkühlgeräte
BHKW	Blockheizkraftwerk
AKM	Absorptionskältemaschine
kWh	Kilowattstunde
MWh	Megawattstunde
BRI	Brutto-Rauminhalt
BGF	Brutto-Grundfläche
NGF	Netto-Grundfläche
VF	Verkehrsfläche
FF	Funktionsfläche
HNF	Hauptnutzfläche
NNF	Nebennutzfläche
A/V-Verhältnis	Verhältnis von Gebäudehüllfläche A zu Brutto-Gebäudevolumen V
EnEV	Energieeinsparverordnung
WLG	Wärmeleitfähigkeitsgruppe
KfW	Kreditanstalt für Wiederaufbau
CO ₂	Kohlendioxid
ppm	part per million
WP	Wärmepumpen
EG	Erdgeschoss

Zusammenfassung

Die neu gegründete Firma Klimakon GmbH hat in der Zeit von Juli 2006 bis September 2009 Mess-Steuer-Regeltechnik in 4 hochwärmegedämmten Bürogebäuden durchgeführt. Ein Gebäude (s. Oliver) ist ein Neubau. Die Gebäude Forum⁺ in Erlangen sowie Raiffeisenbank Sennfeld sind Sanierungen mit Teilerweiterungen. Das Gebäude Omicron ein Denkmalschutzgebäude mit Innendämmung als energetische Generalsanierung und Umnutzung.

In allen vier Gebäuden sind mehrere Wärmeerzeuger, Pufferspeichersysteme sowie Lüftungsanlagen mit Wärmerückgewinnung anstelle von herkömmlichen Klimaanlage eingebaut. Die Energieverbräuche nach den Sanierungen entsprechen jeweils in etwa den Kriterien von Greenbuilding; sie betragen ca. 100-120 kWh Primärenergie/m² für Heizung, Kühlung und Beleuchtung.

Drei der Gebäude besitzen schnell reagierende Decken- bzw. Wandheizflächen, die im Niedertemperaturbereich heizen bzw. im Kühlfall Energie aus den Räumen entziehen können. Des Weiteren sind die einzelnen Gebäudeteile nach Himmelsrichtung mit unterschiedlichen Heizkreisen so versehen, dass der Solareintrag jeweils berücksichtigt wird und es innerhalb des Hauses möglichst keine Temperaturgefälle gibt. Dies funktioniert bei den drei Gebäuden mit Decken- und Wandheizflächen; der Neubau mit Betonkerntemperierung kann nicht differenziert betrieben werden. Bei zwei Gebäuden wird die Wettervorhersage zur vorausschauenden Regelung des Puffermanagements miteinbezogen.

Zusammenfassend wird festgestellt, dass bei hochwärmegedämmten Gebäuden der Energieverbrauch hauptsächlich dadurch bestimmt wird, wie gut die Wärmeerzeugungskomponenten innerhalb einer Hierarchie (Vorrang für Umweltenergie, Rückgewinnung, Abfallwärme. Nachrang fossile Wärmeerzeugung) gesteuert werden und möglichst vorausschauend auf zukünftige „Heizungstrends“ (in Zukunft erhöhter Kühl- oder Heizbedarf) zu reagieren. Durch die Trägheit der Gebäude würde ein schnelles Aufheizbedürfnis oder Kühlbedürfnis Leistungsspitzen erzeugen, wofür die relativ teuren Energieerzeugungskomponenten bei einer guten Regelung nicht ausgelegt sein müssen. Die Systeme in allen vier Gebäuden sind so ausgelegt, dass möglichst wenig Leistungsspitzen der Energieentnahme aus dem Energieversorgungsnetz entstehen. Dies ist eine wichtige Zukunftsaufgabe, da dadurch die nationalen Kraftwerksparks bzw. Gasversorgungsnetze entlastet werden.

Derzeit sind die MSR-Techniken noch sehr kostenaufwendig; hier muss weiter intensiv Entwicklungsarbeit geleistet werden.

In Zukunft ist es zwingend notwendig, Gebäude mit hohem fossilem Energieverbrauch und schwer kalkulierbaren Energieverbrauchskosten zu möglichst CO₂-neutralen Gebäuden mit möglichst regenerativem Energieverbrauch umzustellen.

Hierbei ist es wichtig, dass die regenerativen Energieerzeuger möglichst hocheffizient eingesetzt werden und durch Puffersysteme z. B. der Ausgleich zw. Tag und Nacht bzw. solararmer Zeit und verbrauchsintensiver Zeit durch intelligente Regelungen ermöglicht wird. Im Prinzip wird fehlende Speichermasse der Gebäude durch schaltbare Speichermasse über Übertragungsflächen im Gebäude ausgeglichen. Dies intelligent zu steuern ist der Inhalt des Förderprojektes gewesen. In weiten Bereichen ist dies gelungen. Es gibt jedoch sehr unterschiedliche Anfangsschwierig-

keiten, die im folgenden Bericht geschildert werden. Die vorliegende Entwicklungsarbeit erstreckte sich über ca. 3 Jahre; d. h. es konnten ca. 9 Mannjahre Entwicklungsarbeit geleistet werden, womit ein guter Anfang abgedeckt werden konnte, aber noch viel zukünftige Entwicklung notwendig ist.

Es wurde erkannt, dass es möglich ist verschiedene Komponenten sinnvoll miteinander zu verbinden, dass Synergieeffekte genutzt werden. Es wurde aber ebenso dabei festgestellt, dass hierbei sehr genau das Verhalten der einzelnen Komponenten auch in Extremsituationen erkannt werden muss, da in den Herstellerangaben oftmals kritische Bereiche eher informationsmäßig unterdrückt werden. Hier müssen weitere Erfahrungen gesammelt werden und die Branche muss miteinander offener Informationen austauschen, um hier ein wichtiges Zukunftspotential zu nutzen.

Ein wichtiger Bereich der „Zukunftsforschung“ ist eine möglichst unabhängige Regelung einzelner Räume oder Bereich innerhalb eines komplexen Gebäudes derart, dass z. B. ein innenliegender Konferenzraum gekühlt wird und gleichzeitig z. B. Nordräume oder unterbesetzte Bereich geheizt werden. Idealerweise wird dann die Kühlabwärme zum Heizen verwendet. Hierfür ist entsprechende Hydraulik kostengünstig zu entwickeln und mit einer plausiblen kostengünstigen Bereichssteuerung so zu versehen, die sie in das Gesamtnetz eingebunden werden kann und von dort aus mitverwaltet wird.

Die jetzigen Steuerungen sind aus einer gewissen Sicherheit bzw. Unerfahrenheit zu aufwendig. Hier muss in Zukunft gelernt werden, auf welche Vereinfachungen zurückgegriffen werden kann bzw. wie einfache physikalische Vorgänge, die u. U. keine Steuerung brauchen, eingebunden werden können.

Eine wichtige Erkenntnis ist z. B., dass die Lüftungsanlage in erster Linie die Luftqualität und den Sauerstoffgehalt regelt und die Temperatur im Raum alleinig Sache der schnell reagierenden Heizflächen ist. Dadurch werden Steuerungsüberlagerungen vermieden.

Insgesamt wird festgestellt, dass die MSR-Technik eine sehr komplexe Aufgabe ist und in diesem Bereich verstärkt Ausbildung von speziellen Fachleuten stattfinden müsste. Außerdem sollten Anreize geschaffen werden, diesen Technikbereich verstärkt zu erforschen und in das allgemeine Bauwissen einzubinden.

Gefördert durch die Deutsche Bundesstiftung Umwelt (DBU),
Osnabrück unter AZ 24737

Kooperationspartner:

Ingenieurbüro Werner Haase
Gemündener Str. 41, 97753 Karlstadt
Tel.: 09353-985749-0, Fax: 09353-985849-6

Architekturbüro Werner Hase
Julius-Echter-Str. 59, 97753 Karlstat
Tel.: 09353-9828-0, Fax: 09353-6375, info@arch-haase-karlstadt.de

A EINLEITUNG

Etwa 1/3 der Primärenergie in Deutschland wird für Beheizung von Gebäuden verwendet. Hierbei haben die Nichtwohngebäude einen sehr hohen Anteil, da z. B. in Bürogebäuden eine oft schlechte Wärmedämmung und hohe Heizkosten bestehen und zusätzlich im Sommer einen hohen Kühlbedarf zur Herstellung des Nutzerkomforts aufgewendet werden. Hinzu kommt, dass in Bürogebäuden ein sehr hoher interner Stromverbrauch durch Kommunikationstechnik und Beleuchtung besteht.

Dies hat z. T. den Grund darin, dass die Gebäude unter wirtschaftlichen Gesichtspunkten gebaut wurden. Hierbei war diese Wirtschaftlichkeit in den 60- und 70er Jahren dadurch geprägt, dass bei hohem Zinsniveau niedrigste Energiekosten und gleichzeitig die Meinung vertreten wurde, durch Nutzung von Öl, Gas und Atomstrom alle zukünftigen Energieprobleme gelöst zu haben. Diese Wirtschaftsfaktoren vermieden Investitionskosten in anspruchsvolle Energiespartechnik, da die Zinsen hierfür teurer als die Energiekosten waren.

Aus diesen dadurch resultierenden hohen Energieverbräuchen und die sehr breite Einführung dieser Bauweise, führt dies u. a. zur Energieknappheit mit gleichzeitig steigenden Preisen. Dadurch verschieben sich die Wirtschaftlichkeitsfaktoren. D. h. wenn Energie sehr teuer wird und die Zinsen außerordentlich niedrig sind, definiert sich Wirtschaftlichkeit so, dass in Zukunft hohe Energiekosten vermieden werden müssen, auch wenn dafür gewisse (niedrige) Zinsaufwendungen notwendig sind.

Aus diesem Grunde und dem erforderlichen Klimaschutzbedürfnis heraus gebietet diese „neue Wirtschaftlichkeit“ einen sparsamen bzw. hocheffizienten Umgang mit Primärenergie.

Gleichzeitig ist es notwendig von Energieimporten unabhängiger zu werden und dauerhaft kostenlose und umweltbelastungsfreie Energie zu verwenden. Dies ist:

- jegliche ersparte Energie (durch Dämmung und Speichereffekte)
- jegliche kostenlose Umweltenergie, wie Solarwärme oder Erdwärme – Kühle
- jegliche rückgewonnene Energie
- jegliche durch Energieprozesse eingebundene „Abfallenergie“, wie z. B. die Abwärme von BHKW's, die den Strom für den eigengenutzten Strom herstellen

Um diese möglichst CO₂-arme Energieformen in einem größeren Objekt nutzen zu können, ist es notwendig sie zu gewinnen, teilweise zu speichern und sinnvoll einzusetzen.

Im Rahmen des Energiemanagements ist es innerhalb des Gebäudes notwendig Energie in Form von Wärme „umzulagern“. Hierbei wird die Speicherkapazität des Gebäudes in sofern einbezogen, dass die Trägheit, aber auch die Speicherfähigkeit des Gebäudes in den Steuerungsprozess eingebunden werden muss.

Hierzu ist ein abgestimmtes Zusammenspiel verschiedenster Komponenten notwendig. Die Praxis zeigt hier, dass es relativ viele sehr gute Einzelkomponenten gibt, die derzeit gegenseitig z. T. als Konkurrenz angesehen werden und deren Synergieeffekte bei sinnvoll vernetztem Betrieb jedoch hohe Effizienz versprechen. Diese Vernetzungen müssen sehr genau geregelt und gesteuert werden. Die Hydraulik muss dafür passend ausgelegt sein. Eine hohe Gesamteffizienz ist dann erreichbar, wenn

jeder einzelne Faktor für sich sehr effizient ist, keine Temperaturüberlagerungen oder z. B. thermische Kurzschlüsse stattfinden. Des Weiteren ist es sehr wichtig, dass ein großes, hochwärmegedämmtes Gebäude, welches in seiner Gesamtmaterialmasse eine große Trägheit, aber auch Speichermasse besitzt, vorausschauend und genau passend gesteuert wird. Dafür muss eine leistungsfähige Mess-, Steuer- und Regeltechnik entwickelt werden, die genau diese Anforderungen erfüllt.

Die Entwicklung dieser Steuerung ist die Aufgabe der Firma Klimakon GmbH. Die Firma ist eine Neugründung. Sie soll als „Quereinsteiger“ eine gezielte Softwareentwicklung erarbeiten, die nicht Rücksicht evtl. bestehende firmeninterne Softwareentwicklungen nehmen muss. Dadurch wird erwartet, dass keine „Altlasten“ durch eine zu enge Bindung an gewisse Firmenprodukte bestehen.

Die Firma Klimakon GmbH wurde zum 01.06.2006 gegründet. Der Hauptgesellschafter ist Herr Dipl. Ing. (FH) Achim Schreck, der eine Softwarefirma für Industriesoftware erfolgreich betreibt. Unter anderem werden in dieser Firma Prozesssteuerungen entwickelt, z. B. für Molkereien mit den entsprechenden thermischen Prozessen, aber auch Abfüllvorgänge, Materialverwaltung bis hin zum Betriebsablauf. Mit diesem Wissen aus Industriesteuerungsanlagen ist er der Fachmann für die Möglichkeiten der Programmierung und Ablaufsteuerung.

Der zweite Gesellschafter ist Architekt Werner Haase, der seit ca. 1998 effiziente Energiesysteme mit unterschiedlichsten Gerätekonstellationen, aber auch unterschiedlichsten Projektanten zum Teil entwickelt, aber vor allem umgesetzt hat. Hierbei zeigte sich jeweils, die Wichtigkeit des Gesamtsystems der Mess-, Steuer- und Regeltechnik.

Neueingestellte Mitarbeiter ermitteln als Grundlagenarbeit und Programmierung zusammen mit Herrn Schreck die Kompatibilität von verschiedenen Aggregaten. Hierbei ist die Besonderheit, dass z. B. ein BHKW in sich eine elektronische Steuerung besitzt, die z. B. thermische Abläufe, Sicherheitsabschaltungen, interne Umwälzpumpen etc. regelt. Diese internen Regelkreise müssen nun in ein gesamtheitliches Konzept eingebunden werden. Hierbei müssen die verschiedenen Aggregate aufeinander abgestimmt und die vorhandenen Schnittstellen der Geräte aneinander angepasst werden.

Diese Grundlagenarbeit war notwendig, da bisher sehr selten z. B. eine beliebige Wärmepumpe mit einem Sonnenkollektor eines anderen Herstellers und einer BHKW-Anlage eines dritten Herstellers und einer Absorptionskältemaschine eines vierten Herstellers verbunden wird. Es gibt vereinzelt kombinierte Maschinen von einem Hersteller; zur Erzielung höherer Effizienz ist es jedoch in Zukunft notwendig „Bestgeräte“ von verschiedenen Herstellern sinnvoll miteinander zu verknüpfen. Diese Geräte müssen vor Ort angeschlossen und angesteuert werden.

Durch die Förderzusage der DBU konnte die Entwicklungsarbeit aufgenommen werden. Gleichzeitig mussten jedoch praktische Objekte gefunden werden, um in der Praxis die neu entwickelte MSR-Technik anzuwenden und dabei die fehlenden Erfahrungen zu sammeln. Die im DBU-Antrag genannten vier Objekte waren vorgesehen, aber nicht vertraglich vereinbart. Mit Start der Entwicklung konnte nun konkret das entsprechende Umsetzungsprojekt gesucht werden.

Ursprünglich waren folgende Projekte als voraussichtliche Musterprojekte vorgesehen:

- Mauss-Bau Forum+, Erlangen – Generalsanierung eines Verwaltungsgebäudes
- Stadt Aschaffenburg – Modellhafte energetische Sanierungsplanung zur denkmalgeschützten 50er-Jahre Fassade des Rathauses Aschaffenburg
- Raiffeisenbank Sennfeld – Sanierung und Erweiterung eines Verwaltungsgebäudes in Passivhausbauweise
- Sanierung des Alten- und Pflegeheimes „Haus Franziskus“ der Pfründespitalstiftung Ochsenfurt

Im Rahmen der Umsetzung konnte nur die Objekte Mauss-Bau (Forum+) und die VR-Bank Sennfeld gewonnen werden. Darüber hinaus konnten zwei weitere Projekte im Rahmen regulärer Ausschreibungen gewonnen werden:

- Headquarter s.Oliver, Rottendorf – Neubau eines Bürogebäudes
- Omicron Firmengebäude, Erlangen – Sanierung unter Denkmalschutz - Bürogebäude mit Labor

Der ursprüngliche Ansatz, auf alle ausgewählten Projekte bereits im Planungsstadium geeigneten Einfluss nehmen zu können, stellte sich als nicht durchführbar heraus. Dies führte dazu, dass für alle Projekte unterschiedliche Planungsansätze für die TGA verfolgt wurden. Auf die MSR und GLT konnte nur bei den zwei ursprünglich geplanten Objekten (begrenzt) Einfluss genommen werden.

Da alle Projekte unter normalen kommerziellen Gesichtspunkten im Rahmen von Ausschreibungen gewonnen werden mussten (von den Vorteilen der Förderung für Zusatzarbeiten durch die DBU abgesehen), konnte zum Beginn der Entwicklungsarbeiten an dem neuen Steuerungssystem keine projektübergeordnete Planungen vorgenommen werden.

Nur beim Objekt Forum+ war es möglich über die bereits in der Ausschreibung berücksichtigte Monitoringmaßnahme die Effizienz des Steuer- und Regelungssystems mit den vorher simulierten Werten zu vergleichen und damit die Wirksamkeit des Systems zu belegen. Bei den anderen Objekten hat der Auftraggeber die in der Ausschreibung enthaltene Monitoringmaßnahmen nicht beauftragt und nur teilweise einen Zugang zu Verbrauchswerten ermöglicht (VR-Bank Sennfeld).

Durch die zeitlich verzögerte Gewinnung der vier Projekte und der Tatsache, dass in der Planungsphase nur für die ersten zwei Projekte begrenzter Einfluss auf die Planung genommen werden konnte, war es auch nicht möglich mit dem gleichen Steuerungssystem zu arbeiten.

B HAUPTTEIL

B1 PROJEKTBE SCHREIBUNG

Im Rahmen mehrere Projekte sollten musterhafte Umsetzungen hocheffizienter MSR-Anlagen umgesetzt werden, die sich durch folgende Leistungen von bisherigen marktüblichen Systemen absetzen sollte:

- Koordination aller TGA-Komponenten über ein System zur Verhinderung gegenläufiger Maßnahmen
- Bevorzugen von CO²-armen Energiewandlern
- Nutzen von Deckenelementen, die Heizen und Kühlen können
- Vorausschauendes Regeln und Puffermanagement über Einbeziehen der Wettervorhersage
- Aufsetzen auf ein standardisiertes Steuerungssystem

Zuerst sollen die vier durchgeführten Projekte kurz charakterisiert und einander gegenüber gestellt werden. Im Anhang befinden sich für alle vier Projekte weiterführende Planunterlagen über die Hydraulik bzw. die Steuerungstopologie!

Objekt1 – Forum+ in Erlangen



Abbildung 1 – Bild Forum+

Bereich		Bemerkungen
Typ	Bürogebäude	
Beginn MSR	Juni 2007	
Alt/Neu	Sanierung	
Architekt	Scherzer und Kalau, Erlangen	
TGA-Planung	Beck & Trommen, Erlangen	
Nutzfläche	9000 m ²	Einzel- und Großraumbüros
Stockwerke	5 und 2 Untergeschosse	
Heizen	über Decke	zonenweise
Kühlen	über Decke und ULKs	zonenweise
Lüftung	1x Zentral mit Vorheizung und Endgeräte mit WRG	
Beschattung	Integriert in DDC	
Licht	nicht integriert	
Wärmeerzeugung	BHKW	
	Gasbrenner	Im Wesentlichen als Redundanz!
Kälteerzeugung	RKW (Freie Kühlung)	
	AKM	
	WP mit Zisterne	
Speicher	5 Pufferspeicher (W/K)	
	1 Eisspeicher	
	Zisterne	
Steuerung	Plüth	
GLT	Plüth	

Abbildung 2 – Objektbeschreibung Forum+

Dieses Gebäude entspricht als einziges Projekt im vollen Umfang den o. g. Kriterien und ist seit November 2007 in Nutzung. Die ursprünglich realisierte und in Betrieb genommene Software ist im Rahmen einer Erweiterung der Anlagentechnik (Nutzung Zisternenwasser über Wärmepumpe) umfassend überarbeitet worden und steht jetzt kurz vor seiner Abnahme.

Auch mit der ursprünglichen Variante der MSR-Software hat das Gesamtgebäude die Kriterien „Greenbuilding“ erfüllt.

Das bedeutet, dass die Primärenergieverbrauchswerte des Bestandsgebäudes von mehr als 600 kWh/m²/a auf ca. 100 kWh/m²/a im sanierten Gebäude für Heizung, Kühlung und Grundbeleuchtung reduziert wurden. Die Verbrauchsprognosen werden teilweise unterschritten, z. T. überschritten.

Dieser Auftrag hatte einen außerordentlich engen Zeitrahmen und musste aus baulichen Zwängen bis zum Einzug „funktionieren“. Da die Gesamtentwicklung noch nicht abgeschlossen war, musste dadurch z. T. manuell auf die Betriebsartenverwaltung eingegriffen werden, was einen sehr großen Beobachtungs- und Änderungsaufwand verursachte. Dieses Verfahren hat dabei sehr viele Erfahrungswerte erbracht, die dann in die Automation ein gepflegt werden konnten.

Während der Umstellung alter Softwarekomponenten auf neu gab es gelegentlich zu späte Reaktionen auf Ereignisse, was der Nutzer als „Fehler der Automation“ empfand. Erschwert wurde dies dadurch, dass gegenüber der Planung nach Einzug des Mieters verschiedene Umnutzungen innerhalb des Gebäudes stattfanden, die z. T. mit veränderten Raumaufteilungen und anderen Betriebsbedingungen und damit auch anderen Heiz- bzw. Kühlbedürfnissen verbunden waren. D. h. die „Nacharbeit“ in der Programmierung wurde z. T. durch „Umarbeiten“ erschwert. So wurde z. B. ein Teil des Eingangsbereiches mit hohem Glasflächenanteil zu einem Bürobereich umfunktioniert. Dadurch verschoben sich die internen Lasten und der Bereich der Deckenheizung konnte im Winter das Wärmedefizit nicht genügend ausgleichen. Dieses Problem konnte die Steuerung nicht ausgleichen; es wurde jedoch erwartet, dass die „Supersteuerung“ automatisch alle Probleme lösen könne. Es musste in diesem Fall zuerst Ursache gesucht und gefunden werden. Es wurden daher Kollektoren zum Ausgleich des höheren Wärmeverlustes durch die Glasfassade installiert, sodass nun ausreichend Wärmeangebot vorhanden ist, welches geregelt werden kann. Vorher war eine nicht genügende Wärmequelle vorhanden, so dass die Regelnachfrage nicht gedeckt werden konnte und der Raum nicht ausreichend erwärmt wurde.

Das Forum+ hat folgende Besonderheit:

Die Regelung gliedert sich nicht wie in anderen Gebäuden in einzelne Räume, sondern in Zonen auf. Hierbei wiederum die enorm große Zahl von 46 Zonen! Dies ist damit begründet, dass zur Planungszeit der Mieter nicht feststand und das Gebäude sehr weitläufig ist. Daher wurden im Gesamtgebäude (ca. 9.000 m² Nutzfläche) verschiedene große und mehrere kleine Büros geplant. Am Ende der Bauzeit konnte das Gebäude komplett an einen Mieter einer namhaften Großfirma vermietet werden, die dieses Gebäude dann innerhalb derselben Firma aus Abrechnungsgründen an mehrere Firmenabteilungen untervermietet hat. Dies ergab sofort nach Bezug diverse Veränderungen in der Raumaufteilung, die teilweise eine Überlappung mehrere Zonen innerhalb eines Raumes zur Folge hatten.

Daraus ergeben sich im Nachhinein viele Probleme, die während des Baus noch nicht absehbar waren. Viele Räume wurden von Großraumbüros in kleinere Büros unterteilt, woraus sich eine stark geänderte Nutzung ergibt. Als Beispiel hierfür ist ein Großraumbüro in drei kleinere Einheiten aufgeteilt worden, wobei es sich um ein Chef-Büro, das zugehörige Vorzimmer und einen Besprechungsraum handelt. Im Besprechungsraum wurde zusätzlich eine Monitorwand und ein Lichtsystem eingebaut, um Video-Konferenzen übertragen zu können. Bei voller Belegung sind ca. 15 Personen im Raum, die auch noch häufig einen Laptop betreiben, woraus sich ein sehr hoher interner Wärmeeintrag von über 4 kW ergibt. In den beiden anderen Büros befinden sich jeweils nur eine Person und ein Computer, die entsprechend wenig innere Wärmegewinne verursachen. Hier war es nun notwendig, die Zonen neu zu definieren. Sie mussten hydraulisch getrennt werden und zusätzliche Mess- und Steuerpunkte eingebaut werden.

Des Weiteren hat sich als sehr hilfreich erwiesen, dass es pro Stockwerk eine Kaltleitung als Ringleitung gibt, an die zusätzlichen Geräte bzw. Kühltürme individuell angeschlossen werden können. Der Nutzer versteht dies als großen Aufwand. Dabei ist so eine gravierende Umnutzung im Normalfall mit massiven Eingriffen verbunden. Bisher wurde ein solcher erhöhter Kühlbedarf mit zusätzlichen

Splitlevel-Geräten und Kälteleitungen „gelöst“. Im Fall des Forum+ können auch diese Zusatzkühlungen hocheffizient und energiesparend betrieben werden, da sie an das bereits bestehende System relativ einfach angeschlossen werden. Die MSR-Technik ist in ihrer Grundausstattung geeignet, die dafür notwendigen Umprogrammierungen mit vertretbarem Aufwand umzusetzen.

Wünschenswert wäre es, wenn es in Zukunft Deckenheiz- und Kühlsysteme geben würde, die modulartig eingebaut werden können und pro Modul eine einfache Regelungsmöglichkeit aufwiesen.

Ein wesentlich größerer Eingriff in die Technik ist eine Nachrüstung, die direkt in das Energiemanagement eingreift. So hat sich im Betrieb herausgestellt, dass die Kälteerzeugung durch das Rückkühlwerk oft nicht die kalkulierten Kältemengen bereitstellen konnte. Dadurch war eine ausreichende Beladung des Eisspeichers oftmals nicht gesichert, da die Kälte dringend sofort innerhalb des Hauses dort verwendet werden musste, wo höchster Bedarf war. Es führte zwar nicht zu Überschreitungen; die Reserve war jedoch weitgehend aufgebraucht und keine zusätzliche Kühlungssicherheit gegeben. Außerdem konnte die gewünschte Effizienz nicht ausreichend herbeigeführt werden. Die Kältekapazität wird nun dadurch erweitert, dass durch eine Wärmepumpe eine im untersten Kellergeschoss des Gebäudes befindliche Grundwassersammelschachtanlage, die kontinuierlich abgepumpt wird, als Kältequelle genutzt wird. Dadurch kann unabhängig von Außentemperaturen sehr effizient Kühle bereitgestellt werden. Außerdem kann mittels dieser Kältekapazität der Eisspeicher beladen werden. Dies hat zwei Vorteile:

1. Durch den Eisspeicher können bis zu 1.200 kWh Kälte eingelagert werden.
2. Die sommerliche Zuluft muss vorgetrocknet werden, damit die Räume mit trockener, vorgekühlter Luft versorgt werden können, um Kondensat bzw. Schwüle in der Raumluft vorzubeugen. Dies geschieht am effizientesten mit einer sehr niedrigen Vorlauftemperatur, sodass dadurch die Luftfeuchte größtenteils ausfällt. Der Rücklauf aus diesem Wärmetauscher wird dann als Vorlauf für die Decken- bzw. Wandkühlung verwendet (hier darf nur eine minimale Vorlauftemperatur von ca. 16°C herrschen, da ansonsten die Kühlflächen kondensieren würden). Durch diese Zweistufigkeit wird eine hohe Spreizung der Kühltemperatur nutzbar gemacht.

Diese Aufrüstung der Anlage zog einen hohen Programmieraufwand nach sich. Das ganze Speicher- und Puffermanagement musste den neuen Gegebenheiten angepasst werden, da sich die Hydraulik änderte. Das zusätzliche Angebot an Energie erhöhte den Grad der Komplexität enorm. Viele scheinbar kleine Randbedingungen, wie z. B. alle Abbildungen der einzelnen Displays mussten geprüft, z. T. geändert bzw. neu aufeinander abgestimmt werden.

Als sehr aufwendig erwies sich die kurzfristig beauftragte Integration einer Beschattungssteuerung. Bei der außergewöhnlichen Geometrie des Gebäudes ergeben sich komplizierte Beschattungssituationen, die sich nur über ein sehr aufwendiges Beschattungsmodul mit hinterlegten Geometriedaten lösen ließen. Der umfangreiche Einsatz der bisher noch wenig bekannten Zortström-Verteiler-Technik verlangte zudem das Erarbeiten neuer Erkenntnisse über deren Verhalten in unterschiedlichen Betriebssituationen.

Objekt2 – VR-Bank in Sennfeld



Abbildung 3 – VR-Bank in Sennfeld

Bereich		Bemerkungen
Typ	Bürogebäude	
Beginn MSR	September 2007	
Alt/Neu	Sanierung und Erweiterung	
Architekt	AB Haase	
TGA-Planung	Rauch und Richter	
Nutzfläche	2.768 m ²	
Stockwerke	4 und ein Untergeschoss	
Heizen	über Decke	zonenweise, mit unterlagerter Einzelraumregelung
Kühlen	über Decke und UKG	zonenweise, mit unterlagerter Einzelraumregelung
Lüftung	1x Zentralgerät	
Beschattung	nicht integriert	
Licht	nicht integriert	
Wärmeerzeugung	BHKW	
	Gasbrenner	Im Wesentlichen als Redundanz!
Kälteerzeugung	RKW (Freie Kühlung)	
	AKM	
Speicher	3 Pufferspeicher (Wärme)	
	1 Pufferspeicher (Kälte)	
Steuerung	Plüth	
GLT	Plüth	

Abbildung 4 – Objektbeschreibung VR-Bank Sennfeld

Das Bankgebäude ist ebenso ein Gebäude, welches mit Passivhauskomponenten, Tageslichtlenkung und 20 cm Außendämmung versehen wurde. Die Nutzung ist ein Verwaltungsgebäude mit Beratungsbereichen im Erdgeschoss, sowie einem Konferenz- und Vortragsraum mit vorgelagerter Cafeteria im Dachgeschoss. Auch hier ist der Kühlbedarf für die Auslegung der Decken- bzw. Wandkühlflächen bestimmender als der Heizbedarf. Durch die Nutzung als Bürogebäude gibt es grundsätzlich einen relativ hohen Stromverbrauch. Daher wurde ein BHKW mit 5 – 20 kW_{el}, modulierend und 10 – 43 kW_{therm}, wärmegeführt, zur Abdeckung der Stromgrundlast so konzipiert, dass möglichst keine Stromabgabe in das öffentliche Netz erfolgt. Fehlender Strom wird aus dem Netz dazugekauft.

Die Abwärme des BHKW's wird im Winter zum Heizen und im Sommer über eine Absorptionskältemaschine mit 41 kW Kälteleistung zum Kühlen verwendet. Ein Rückkühlwerk hat eine Kühlleistung von 35 kW bei freier Kühlung und bis zu 95 kW in Verbindung mit der Absorptionskältemaschine.

Auf den Einsatz von Erdsonden und Wärmepumpen wurde verzichtet, da im Wesentlichen die Nutzung der Abwärme der Stromherstellung für die thermischen Belange des Gebäudes ausreicht. Es sind entsprechende Kalt- und Wärmepufferspeicher zur Abdeckung von Spitzenlasten integriert. Auf einen Eisspeicher wurde verzichtet, da der Kühlbedarf nicht so hoch ist wie im Forum+. Zur Wärmeversorgung für Spitzenlasten gibt es einen Gaskessel mit 6-35 kW Leistung. Ein zentrales Lüftungsgerät mit hohem Wärmerückgewinnungsgrad mit 7.500 m³ Maximalleistung versorgt das Gebäude mit Frischluft.

Aus betrieblichen Sicherheitsgründen wird der Serverraum mit einem elektrisch betriebenen Kühlgerät mit einer Kälteleistung bis 12 kW betrieben.

Die Verteilung der Wärme und Kälte erfolgt über zwei Zortström-Verteiler, um den Pumpenstrombedarf zu reduzieren.

Anders als im Forum+ wurde hier eine Einzelraumregelung mit Raumbediengeräten eingebaut, was die individuelle Regelung der einzelnen Räume ermöglicht. Für jeden Raum kann der Nutzer individuell eine Solltemperatur innerhalb von 2°K unterhalb und 2°K oberhalb der Normaltemperatur von 21 °C vorgeben, die dann vom System umgesetzt wird. Allerdings kann jeweils eine Zone entweder geheizt oder gekühlt werden. Dies ist so gewollt, um möglichst wenig Energie durch gegenläufiges Ansteuern zu vernichten. Um diesen Spareffekt noch zu vergrößern wurde eine Ruhezeit zwischen der Umschaltung von Heizen und Kühlen oder von Kühlen auf Heizen einprogrammiert. Das System wartet also nach dem Erreichen des Sollwertes erst einmal ab, bevor es in die Gegenrichtung steuern darf. Dies kann in extremen Situationen zu leichten Abweichungen von der gewünschten Raumtemperatur führen. Aus der Vergangenheit sind uns Fälle aus anderen Gebäuden bekannt, in denen z. B. die Klimaanlage im Sommer zu stark gekühlt hat und dadurch im selben Raum die Heizkörper dagegen geheizt haben. Dies ist durch die entweder/oder Funktion der Heizflächen und der steuerungsmäßigen Entkoppelung von der Lüftungsanlage ausgeschlossen.

Als Beispiel sind die innen liegenden Besprechungsräume zu nennen, die keine Außenwände besitzen und somit auch keine Auskühlflächen haben. Wenn diese Räume voll belegt sind und der Rest der außenliegenden Zone noch geheizt werden muss, weil die Solltemperatur noch nicht erreicht werden konnte, kann es

passieren, dass die Besprechungsräume vorübergehend zu warm werden. Die inneren Energiegewinne sind in diesem Fall so hoch, dass sich die genannten Räume alleine durch die Nutzung aufheizen, obwohl kein Heizventil offen ist. In so einem Fall muss aktiv gekühlt werden.

Für die großen Besprechungsräume im Dachgeschoss wurden zusätzlich CO₂-Fühler eingebaut, die auch bei einer vollen Belegung für eine CO₂-Konzentration sorgen sollen, die maximal 1500 ppm nicht überschreitet. Diese Regelung der Lüftungsanlage läuft parallel zur der Temperaturregelung. Diese beeinflussen sich gegenseitig und müssen deshalb auch aufeinander abgestimmt sein. Als weitere Besonderheit gibt es im Schulungsraum außerdem eine Fußbodenheizung, die jedoch hauptsächlich für den Kühlfall ausgelegt ist, da die Deckenflächen zur Raumkühlung nicht ausreichen. Es sollte auf jeden Fall vermieden werden, dass mit zu kühler Wechselluft Zugerscheinungen entstehen. Um bei einer Vollbelegung des Schulungsraumes im Rahmen von Sonderveranstaltungen für eine ausreichende Kühlung zu sorgen musste eine Anforderungsschaltung implementiert werden, die eine Vorkühlung unter das übliche Temperaturniveau einleitete, damit die Erwärmung bei laufende Veranstaltung nicht zu Übertemperaturen führt.

Des Weiteren gibt es je nach Himmelsrichtung der Außenwände dementsprechend unterschiedliche Heizkurven, um innerhalb des Hauses kein Temperaturgefälle aus Gründen der Sonneneinstrahlung zu erhalten. Eine vorausschauende Berücksichtigung von Klimadaten ist möglich, aber derzeit von den Bauherren nicht gewollt.

Die einzige „Umweltwärme“ wird durch das Rückkühlwerk eingebunden; ansonsten wird hauptsächlich Energiemanagement durch weitgehende Verwendung der Stromherstellungsabwärme betrieben. Auf Solaranlagen und Erdsonden wurde verzichtet, um den Wirkungsgrad des BHKW's nicht zu schmälern. Es wurde konsequent die Anlagentechnik BHKW mit dazu kombinierbaren Komponenten, wie z. B. Absorptionskältemaschine und Pufferspeicher optimiert. Für das Zusammenspiel dieser Komponenten ist sehr wesentlich die eingesetzte MSR-Technik verantwortlich. Auch hier sind die Komponenten von verschiedenen Herstellern; es wurde kein Gesamtsystem eines Herstellers verwendet, da es auf dem Markt in dieser Richtung nichts Serienmäßiges gab.

Das Gebäude VR-Bank hat wenig nutzbare Speichermassen, da aus dem Vorgängergebäude eine Stützenkonstruktion ohne Zwischenwände übernommen wurde. Die neu eingebauten Zwischenwände sind jeweils Trennwände in Gipskartonleichtbauweise. Eine Verwendung von PCM-Materialien in diesen leichten Trennwänden wäre sehr kostenintensiv; es wurde daher die schnell reagierende Heiz- und Kühldecke verwendet, die auf interne Lastwechsel schnell reagieren kann. Die fehlende bauliche Speichermasse findet sich z. T. in Form der Pufferspeicher in „schaltbarer Form“.

In der Projektierungsphase wurde die Simulation durch das Büro Haase mit RIUSKA durchgeführt; diese Software hat jedoch Mängel und Lücken in der Abbildbarkeit der thermischen Vorgänge. So können z. B. die energetischen Effekte einzelner Geräte, wie z. B. BHKW oder Absorptionskältemaschine nicht integriert werden. Aus diesem Grunde hat das Büro Rauch und Richter eigene Bedarfsberechnungen durchgeführt. Beide Ergebnisse wurden dann diskutiert und abgeglichen. Eine genau zutreffende Simulation war mit der eingesetzten Software nicht voll zufrieden stellend durchführbar. Die Steuerungssoftware hat eine andere Hintergrundsoftware, die die einzelnen Lastfälle auf Grund der entnommenen Daten und Erfahrungswerten jeweils neu errechnet.

Das VR-Bankgebäude wurde parallel zu Forum⁺ programmiert; die Vorlaufzeit war zur Gesamtentwicklung des Gesamtprogrammes zu knapp. Es musste deshalb um das Gebäude beziehen zu können auch z. T. mit Provisorien bzw. von Hand gesteuert werden. Mittlerweile sind die Steuerungsvorgänge automatisiert und weitgehend optimiert. Hier sollte ein weiterer Optimierungs- und Monitoringzeitraum von etwa zwei Jahren folgen. Diese Leistung möchte der Bauherr nicht bezahlen, da er im Prinzip der Meinung ist, dass so eine Programmierung von Anfang an einwandfrei laufen muss und von Grund auf optimiert ist. Dies ist jedoch bei einem Gebäude dieser Art nicht möglich.

Um die Qualität des neuen Steuerungssystems und die Wirksamkeit der bereits durchgeführten Optimierungsschritte überprüfen zu können, wäre es wünschenswert mit einer geförderten Monitoringmaßnahme die bisherigen Ergebnisse überprüfen zu können.

Objekt3 – Omicron in Erlangen



Abbildung 5 - Omicron in Erlangen

Bereich		Bemerkungen
Typ	Bürogebäude	Gebäude unter Denkmalschutz
Beginn MSR	Oktober 2008	
Alt/Neu	Sanierung	
Architekt	Diekmann / AB Haase	
TGA-Planer	IB-ennovation	
Nutzfläche	840 m ²	
Stockwerke	3 und ein Untergeschoss	
Heizen	über Decke	
Kühlen	über Decke und UKG	
Lüftung	1x Zentrale	
Beschattung	Ja, über MSR	
Licht	Nicht über MSR	
Wärmeerzeugung/ Kälteerzeugung	WP Erdsondenfeld	
Speicher	2 Pufferspeicher (K+W) Erdsondenfeld	
Steuerung	Wago	
GLT	PROCON-WIN	

Abbildung 6 – Objektbeschreibung Omicron

Dieses Gebäude ist zusätzlich eingeworben worden. Es ist ein denkmalgeschütztes Gebäude, welches zu einem Bürogebäude umgenutzt und modernisiert wurde.

Es steht in der Altstadt von Erlangen und ist ein Sandstein-Sichtmauerwerk, welches von außen im Erscheinungsbild nicht verändert werden darf. Die Außenwände waren von den Vornutzern des Gebäudes innen mit Gipskartonplatten verkleidet und hatten entsprechende Hohlräume zur Natursteinaußenwand. Diese Konstruktion ist außerordentlich kondensatanfällig. Sie wurde daher ausge-

baut und die Natursteinwände mit einer kapillaroffenen Innenwanddämmung, hohlraumfrei, versehen. Auf diese Innenwanddämmung wurden Kapillarwandheizflächen aufgebracht, die im Prinzip die Außenwände „thermisch neutralisieren“. Damit ist gemeint, dass ein Wärme- oder Kälte durchgang durch die Bruchsteinwände durch die Dämmung abgebremst wird und dann der sonst erfolgende Eintrag durch entweder Heizung oder Kühlung der Wandflächen eliminiert wird. Die internen Wärmelasten werden durch zusätzliche Deckenkühlflächen bzw. Kühlsegel abgeführt. Bei noch höheren Wärmelasten wird mit Umluftkühlgeräten gearbeitet, die am Kältenetz angeschlossen sind.

Das Gebäude hat eine Lüftungsanlage mit WRG gemäß den Passivhauskriterien. Die Heiz- und Kühlleistung wird durch eine WP in Verbindung mit dem Erdsonden erbracht. Der Untergrund ist sandig. Das Erdsondenfeld wurde so angelegt, dass Teilflächen später überbaut werden könnten ohne durch Sonden beeinträchtigt zu sein. Dadurch, dass die Erdsonden sowohl für den Heiz- als auch für den Kühlfall verwendet werden, sind diese als Erdspeicher zu betrachten. D. h. die Speicher im Heizraum decken die Spitzenlasten ab und sind thermische Weichen; über die WP werden sie jeweils vorausschauend je nach zukünftigem Energiebedarf beladen.

Da in diesem zukünftigen Büro Entwicklungs- und Prüfarbeiten durchgeführt werden, ist mit einer hohen Wärmelast von Geräten und Computern zu rechnen, was zu einem hohen Kühlbedarf führt. Es soll als Denkmalgebäude passivhausähnliche Eigenschaften zumindest im Bereich Primärenergieverbrauch darstellen. Dieses Gebäude wurde im Februar 2009 bezogen. Die MSR-Technik ist installiert und arbeitet im Probetrieb. Es wird erwartet, dass durch die Doppelnutzung der WP für Heizen und Kühlen die Jahresarbeitszahl der WP höher sein wird, als die Normangabe. Die JAZ wird, je mehr Lastwechsel stattfinden werden, umso höher sein.

Hier wäre für die Zukunft ein Monitoring und Optimierungsprozess hilfreich, um auch hier Vergleichszahlen zu ermitteln. Ein Monitoring wurde trotz erneutem, und gegenüber der Ausschreibung nochmals geringerem Kostenangebot, vom Kunden nicht beauftragt. Insofern ist eine Überprüfung und Optimierung der Anlage durch die Klimakon derzeit nicht möglich.

Auch hier wäre die Durchführung eines Monitorings zur Überprüfung der Wirksamkeit des neuen Steuerungssystems sinnvoll!

Objekt4 – s.Oliver



Abbildung 7 – Headquarter von s.Oliver in Rottendorf

Bereich		Bemerkungen
Typ	Bürogebäude	
Beginn MSR	Januar 2008	
Alt/Neu	Neubau	
Architekt	KSP Engel und Zimmermann Architekten	
TGA-Planer	IBG Ingenieurbüro f. Gesamtplanung	
Nutzfläche	9300 m ²	
Stockwerke	5 und 2 Untergeschosse	
Heizen	über Betonkernaktivierung	
Kühlen	über Betonkernaktivierung und ULK	
Lüftung	1x Zentral mit WRG	
Beschattung	Ja, über MSR	
Licht	Ja, über MSR	
Wärmeerzeugung/Kälteerzeugung	4 Elektrowärmepumpen 4 Gaswärmepumpen Erdsondenfeld 88 Tiefensonden	
Speicher	Je 1x Pufferspeicher (W, K)	
	Erdsondenfeld	
Steuerung	Wago	
GLT	PROCON-WIN	

Abbildung 8 - Objektbeschreibung s.Oliver

Hier erfolgte die Planung und Projektierung durch Architekten und Ingenieure, die von s.Oliver beauftragt wurden. Klimakon hat als Firma die MSR-Technik programmiert und eingebaut nach den Vorgaben und Planungen der Planungsbeteiligten dieses 53.300 m³ großen Verwaltungsgebäude-Neubaus. Er wird ausschließlich durch vier Elektro-Wärmepumpen, die mit Netzstrom betrieben werden und vier gasmotorisch betriebenen WP beheizt und gekühlt. Eine zusätzliche Wärmequelle gibt es nicht.

Die Nutzenergie wird durch 88 Erdtiefensonden, á 100 m Tiefe, gewonnen und gekühlt; das Gebäude besitzt keinen Pufferspeicher für Wärme oder Kälte, sondern nur eine „Zwischenpufferung“ als thermische Weiche mit 2.500 l. Die Wärmepumpen werden temperaturgesteuert kaskadiert. D. h. je nach Bedarf laufen eine, mehrere oder alle Wärmepumpen gleichzeitig.

Das Gebäude selbst wird durch Betonkerntemperierung geheizt und gekühlt, was mit einer großen Trägheit verbunden ist und der Sonnenlauf um das Haus diverse Temperaturgefälle im Haus hervorruft. Außerdem hat die Trägheit der Betonkerntemperierung zur Folge, dass keine Einzelräume geregelt werden können, sondern nur Zonen innerhalb der Stockwerke. Es ist auch schwierig, die einzelnen Stockwerke aufeinander abzustimmen, da z. B. ein Zwischengeschoss von zwei Ebenen beeinflusst wird (Betonkern über und unter dem Geschoss), während das Erdgeschoss (ohne Fußbodenheizung – aber ca. 4,50m Geschosshöhe) nur durch die Decke darüber „temperiert“ wird. Zusätzlich erfolgt eine Beeinflussung durch die überhohen EG-Fenster mit diversen Luftströmungen die z. T. als unangenehm empfunden werden. Hier kann die Steuerung nur geringen Einfluss auf den Komfort nehmen, da Komfortminderungen hauptsächlich durch die Gebäudestruktur, Nutzung und System gegeben sind. Es wird zwar versucht, die Decke über dem EG „hochtemperaturig“ zu fahren, was jedoch gleichzeitig bedeutet, dass der Fußboden des darüber liegenden Geschosses auch temperiert wird. Zwar wird nun die Decke über dem 1. OG geringer beheizt, was jedoch die Probleme im 1. OG abmildert, aber dem Erdgeschoss nicht hilft. Verstärkt wird das Problem noch dadurch, dass über ein offenes Treppenhaus Wärme nach oben steigt und damit die Wärmepolster unter der EG-Decke zum Teil nach oben als „Luftblase bzw. Thermik“ entweichen. Dadurch entstehen weitere Zugerscheinungen sowie ein zu warmes Obergeschoss und ein zu kaltes Erdgeschoss. All diese Mängel können durch die Steuerung minimal gedämpft, aber nicht beseitigt werden.

Interessant wird der Vergleich des Primärenergieaufwandes zwischen Forum⁺ und s.Oliver sein, da im Forum⁺ schnell reagierende Decken- und Wandheizungen ohne besondere Massenträgheit des „Heizkörpers“ zur Verfügung stehen und außerdem im Forum⁺ eine Kälteringleitung pro Geschoss besteht, an die individuelle Kühltürme nach Bedarf angeschlossen werden können, um hiermit auf Nutzungsänderungen oder erhöhte Wärmelasten zu reagieren.

Im s.Oliver-Gebäude sind diese schnell reagierenden Komponenten so nicht vorhanden und führen zu Komforteinbußen. Außerdem ist wegen des fehlenden Energiemanagements und der Nichtnutzung von Synergieeffekten von Stromnutzung und Heizung und Kühlung davon auszugehen, dass der PE-Aufwand trotz umfänglicher Erdsonden eher höher sein wird, als im Forum⁺, wo die nicht ausführbaren Erdsonden (zu kleines Grundstück, voll durch Tiefgarage oder Leitungstrassen genutzt) durch Energiemanagement ausgeglichen werden mussten! Das Gebäude s. Oliver wird hohe Stromverbräuche für Beleuchtung und WP haben, die hohe CO₂-Emissionen verursachen. Bei einer Kombination aus BHKW und WP mit Erdsonden könnten bei einem so großen Gebäude die Erdsonden und WP kleiner gehalten werden, wenn die Abwärme der BHKW's als „Abfallenergie der Stromerzeugung“ in das Gesamtsystem eingebunden worden wäre.

Es wäre hochinteressant, die vier o. g. Objekte energetisch auszuwerten und miteinander zu vergleichen. Des Weiteren wäre es hochinteressant, alle vier Gebäude zu vermessen und eine Nachoptimierung durchzuführen mit der Vermessung der dabei zusätzlich eingesparten Energiemengen. In diesem Bereich fehlen entsprechende Referenzobjekte. Der Ausnutzungsgrad von Wärmepumpen in Abhängigkeit ihres Einsatzes innerhalb des Gesamtsystems hängt sehr stark von der Erhöhung der Vorlauftemperatur für die WP und möglichst niedrige Zieltemperatur ab. Dieses Wissen muss weiter ausgebaut werden und systematisch erfasst und veröffentlicht werden.

Auch hier wäre die Durchführung eines Monitorings zur Überprüfung der Wirksamkeit des neuen Steuerungssystems sinnvoll!

Gemeinsamkeiten

→ Es gab keine Gemeinsamkeit in Hinblick auf Komponenten der TGA, die über alle Projekte hinweg gegolten hat!

Für die Programmierung der unterschiedlichen Objekte konnten folgende Softwarekomponenten übernommen werden (wobei durch die verschiedenen Systemplattformen kein direktes Übertragen möglich war):

- Übergeordnete jahreszeitliche Betriebsartenverwaltung (Sommer, Winter, Übergangszeit)
- Modul Rückkühlwerk mit Berechnung der Verfügbarkeit von ausreichender Energie über die Außentemperatur und Luftfeuchtigkeit
- Modul Deckenelemente mit Berücksichtigung eines gemeinsamen Stranges für mehrere Räume und der Möglichkeit des Heizens und Kühlens mit Einberechnung der Trägheit der Energiewandlung
- Aggregatmodule für die Steuerung von Ventilen, Pumpen, Reglern auf der unteren Softwareebene (teilweise aus herstellereigenen Modulen ergänzt und angepasst)
- Beschattung nach energetischen Gesichtspunkten

Vergleich der Projekte

Die teilweise schon aus den Tabellen erkennbare Problematik liegt in folgenden Punkten begründet:

- Unterschiedliche Planer für die TGA mit verschiedenen Philosophien
- Verschiedene Komponenten der TGA
- Verschiedene Steuerungssysteme und verschiedene GLTs
- Weit differierende Umfänge für die MSR
- Unterschiedliche Größenordnung der Projekte
- Unterschiedliche Bauherrenwünsche bzw. -anforderungen

B2 Vorgehensweise

Die Auswahl der Systemplattform

Zu Beginn der Entwicklungsmaßnahmen stand die Auswahl einer geeigneten Hardwareplattform.

Zuerst wurden die Anforderungen an die Hardwareplattform definiert:

- Modular aufgebautes System
- Vom Formfaktor für die Gebäudeautomation passend
- Vollständiges Programm in Hinblick auf die Varianten der benötigten I/O-Module und Zentraleinheiten (Rechenleistung)
- Verwendung und Unterstützung anerkannter Protokolle für die GA, insbesondere Unterstützung von BACnet, das heute in fast allen (öffentlichen) Ausschreibungen als Forderung verankert ist
- Möglichkeit eigene Softwaremodule (auch in Hochsprache) einbringen zu können

Zudem wurden weitere Anforderungen an den gewünschten Hardwarepartner festgelegt:

- Unternehmen, das bereits mehrere Jahre am Markt ist und über entsprechende Referenzen verfügt
- Unternehmen, das bereit ist, unser Vorhaben durch Offenlegung der notwendigen Softwareumgebung zu unterstützen
- Unternehmen, von dem wir durch Know-How-Transfer Branchenwissen aufnehmen können

Eine im Internet durchgeführte Marktrecherche brachte eine große Anzahl an Anbietern heraus, die zuerst durch Telefongespräche und später durch persönliche Treffen näher eingegrenzt wurde.

Die Wahl fiel dann auf das Unternehmen Plüth mit der Cosmos-Serie an DDC-Steuerungen, weil das mittelständige Unternehmen – Vertreten durch Stefan Plüth – uns entsprechende Unterstützung zusagte und die geeignete Hardwareplattform anbieten konnte. Der für uns zuständige vertriebliche Ansprechpartner in Bayern war zudem sehr branchenerfahren und hat uns im späteren Verlauf massiv unterstützt.

Das Konzept für die Software

In den nachfolgenden Monaten konzentrierten wir uns auf die Erarbeitung eines Konzeptes und den Entwurf der Software. Dies betraf zum einen die Steuerungsseite (DDC) und Module für die übergeordnete Leitzentrale.

Auf Seiten der DDC wurden exemplarisch Module umgesetzt und die Schnittstellen zwischen den Modulen erprobt. Dabei konnten wir feststellen, dass die für Plüth not-

wendige Programmierung in FUP (Funktionsplan) sehr zeitaufwendig war und wenig geeignet ist, komplexe Formelwerke oder Entscheidungsbäume umzusetzen. Die Anfangs in Aussicht gestellte Möglichkeit alternativ auch in der Hochsprache ‚C‘ zu arbeiten wurde erst sehr spät für uns freigeschaltet und war zudem mit diversen Systemeinschränkungen versehen, die eine breite Nutzung nicht erlaubten. Diese Umsetzungen und Tests waren begleitet durch das Erstellen geeigneter Oberflächen innerhalb der GLT.

Die Arbeiten an der Software für die Leittechnik zu Abruf der Wetterdaten und für die Berechnung der Energieprognose kamen anfangs schnell voran, wobei der softwaretechnisch notwendige Schritt den neueren Energy+ Kernel als Basis der Energieprognose einzubinden zu sehr vielen, vorher nicht dokumentierten Problemen führte. So konnten die für die Berechnungen notwendigen Gebäudedaten nicht (wie vorher vom Anbieter dokumentiert) direkt aus der auch vom Architekturbüro Haase benutzten Simulationssoftware übernommen werden, sondern verlangten ein sehr viel detaillierteres Modell mit nicht klar definierten Parametern, die aus der Simulationssoftware nicht direkt übernommen werden konnten. In Folge verbrachten wir sehr viel Zeit damit, das neue komplexere Modell zu analysieren und im Rahmen vieler Iterationen das Modell anzugleichen. Dennoch konnten die Ergebnisse der Simulation durch die Software des Ingenieurbüros mit denen unseres Modells nie völlig deckungsgleich gebracht werden.

Die Arbeiten an den ersten zwei Projekten

Die Arbeiten an den ersten zwei Projekten (Forum⁺ und VR-Bank) haben sich teilweise massiv überlagert, was uns an die Kapazitätsgrenzen brachte (Für beide Objekte war der Jahresanfang 2008 der Einzugstermin). Dennoch konnten zum Einzugstermin beide Objekte uneingeschränkt durch den Kunden genutzt werden, auch wenn noch erhebliche Restarbeiten in der Programmierung auszuführen waren.

Nur im Forum⁺ konnten wir die komplette Palette der geplanten Softwaremodule anwenden, da in der VR-Bank weder eine Wettervorhersage eingebunden werden sollte, noch ein vorausschauendes Puffermanagement vorgesehen und notwendig war.

Der MSR-Auftrag für das Bürogebäude Forum⁺ in Erlangen war mit einer zu geringen Vorlaufzeit versehen, weil der Auftraggeber erst drei Monate vor dem Inbetriebnahmebeginn den Auftrag an uns vergeben hat.

Weiterhin stellte sich heraus, dass ein neuartiges Fenstersystem (2+1) mit integrierter Tageslichtlenkung eingesetzt wird. Die Steuerung der Jalousien für dieses System sollte in die MSR-Technik integriert werden, um einerseits für eine Verschattung zu sorgen, die im Sommer nicht zu Überhitzungen führt und im Gesamtsteuersystem integriert ist. Andererseits wäre es nicht sinnvoll gewesen, ein zweites Steuersystem mit zusätzlicher Hardware vorzusehen, welches dann trotzdem Daten an die Klimatechnik des Hauses hätte melden müssen. Deshalb wurde dieser Zusatzauftrag angenommen, obwohl zu diesem Thema und über die Komplexität noch keine Erfahrungen vorlagen und dieser Bereich nicht im Förderumfang enthalten war.

Von Seiten des Herstellers der Verschattung gab es steuerungstechnisch keine Hilfestellung, (neues Produkt und nicht endentwickelt) so dass im Prinzip die ganze Problematik selbst erarbeitet werden musste, was sich als außerordentlich aufwendig herausstellte. Der Programmieraufwand war besonders in der Verschattungstechnik sehr hoch, da die Stockwerke einzeln angesteuert werden und diese auch noch in verschiedene Zonen unterteilt sind. Für jede Zone und jedes Stockwerk werden separat Azimut und Elevation (Sonnenstand) berücksichtigt – ebenso Verschattungen aus der Nachbarschaft.

Erschwert wurde die Programmierarbeit dadurch, dass es von Seiten des Projektanten keine Funktionsbeschreibung als Grundlage für die MSR-Technik gab. Hilfsweise wurde hier auf Ingenieure des Ingenieurbüros Haase zurückgegriffen, die übergangsweise verfügbar waren.

Durch die Parallelität der Arbeiten an den Objekten Forum+ und VR-Bank, die beide sehr stark durch die terminlichen Randbedingungen für die unterschiedlichen Inbetriebnahmesituationen geprägt waren, ergaben sich verschiedene Varianten gleicher Softwaremodule. Zu einem späteren Zeitpunkt wurden die Funktionen wieder gleichgeschaltet.

Die Entwicklungsarbeit ging schneller in eine Umsetzungsphase über als vorgesehen und war viel komplizierter als angenommen aus vielerlei Gründen:

- Die Unerfahrenheit der anfangs beschäftigten Mitarbeiter (vor allem in Heizungstechnikfragen) auf einigen Gebieten der MSR führte zu erhöhten Entwicklungsaufwendungen und v.a. zu Verzögerungen im Rahmen der Inbetriebnahme
- Im Projekt Forum⁺ und VR-Bank Sennfeld wurden für die Verteilung Zortström-Verteiler (Der Zortströmverteiler ist ein runder Körper mit Zu- und Ableitungen. Er fungiert als thermische Weiche und hat einen geringeren Widerstand als die üblichen Verteilungen mit Ventilen und Pumpen. Die Rückflussenergie wird integriert. Insgesamt werden bedeutende Pumpenstrommengen eingespart. Weitere Informationen unter www.zortea.at) eingesetzt. Diese haben zwar gewisse Vorteile in der Verteilungshydraulik und im Pumpenstromverbrauch, sind jedoch extern schwer steuerbar bzw. fehlte jegliche Erfahrung zur Steuerung von Zortström-Verteilern. Eine Stangenverteilung mit jeweils Mischventil bzw. Stellmotor wäre sowohl in der Mess-, als auch in der Regeltechnik klarer erfassbar und regelbar, da in diesem Falle die Mischvorgänge sehr schnell mess- und regelbar sind. Im Zortström wiederum kann es u. U. auch ½ Stunde dauern, bis ein Temperaturzustand „eingeschwungen“ ist. Die Temperaturschichtung kann sich im Extremfall sogar umkehren. Das bedeutet, dass im oberen Bereich des Warm-Speichers eine geringere Temperatur herrschen kann als in tieferliegenden Schichten. In dieser Zeit muss die Regelung im Prinzip „abwarten“. Die Vorteile des Zortströmsverteilers liegen u. a. darin, dass Pumpenstrom eingespart wird und der Rücklauf in der richtigen Temperaturebene im Zortström eingeführt wird. Im Heizfall werden den Rücklauftemperaturen höhere Temperaturen zugemischt. Es können mit diesem System unterschiedlich temperierte Pufferspeicher besser eingebunden werden. Hierunter ist zu verstehen, dass Wärmemengen im Pufferspeicher möglichst wirkungsvoll verwendet werden sollen. Im Prinzip ist es nicht sinnvoll ei-

ne Temperaturebene im oberen Bereich auf eine bedeutend niedrigere Ebene „herunterzumischen“; es ist vielmehr sinnvoller, Pufferspeicher mit niedrigerer Temperatur solange als Ergänzung beizumischen, bis im Prinzip der Speicher auf Rücklaufemperatur gebracht ist. Dadurch werden möglichst lange die oberen Temperaturebene als Reserve gehalten und in den unteren Ebenen Kapazitäten geschaffen, um z. B. günstige Solarwärme eintragen zu können. Dadurch können niedrigste Vorlauftemperaturen erreicht werden, die dadurch einen kühlen Speicherbereich schaffen, der es eher ermöglicht z. B. Solarwärme in das Gesamtsystem einzubinden.



Abbildung 9 - Zortström-Verteiler

- Die hochgedämmten Bürogebäude sind im Prinzip sehr träge, aber auch gutmütige Gebäude, da sie durch die hervorragende Außendämmung ihre gesamte Speichermasse zur Verfügung stellen. Dadurch werden Aufheiz-, aber auch Abkühlungsvorgänge sehr stark verzögert. Gleichzeitig haben äußere Einflüsse, wie Kälte oder warme Luft, relativ wenig Einfluss auf das Gebäude, jedoch ist direkte Sonneneinstrahlung durch die Glasflächen zu vermeiden, da es sonst zu starken Überhitzungen kommen kann. Temperaturänderungen innerhalb des Gebäudes werden jedoch sehr stark durch interne Lasten hervorgerufen, da sich die Raumluft auf Grund ihrer geringen Masse sehr schnell erwärmt im Gegensatz zu den Bauteilen. Daraus ergibt sich, dass diese schnellen internen Lastwechsel möglichst genauso schnell kompensiert werden. Dafür ist ein System mit wenig Masse und kurzer Reaktionszeit notwendig. Dies ist z. B. Gipskartondecken mit integrierten Wärmetauscherrohren oder Metaldecken mit integrierten Wärmetauscherrohren als so genannte Kühl- oder Heizdecken bzw. -Wandflächen.
- Die heutigen Bürogebäude sind dadurch gekennzeichnet, dass Kommunikationstechnik und elektrische Bürogeräte eingesetzt werden. Hierdurch entstehen sehr hohe Abwärmemengen. Ein Büroraum mit zwei Mitarbeitern hatte in den 50er Jahren eine Lampe, eine mechanische Schreibmaschine und diese zwei Mitarbeiter. Daraus resultierte ein interner Wärmegewinn von ca. 250 Watt. Der gleiche Büroraum mit zwei Mitarbeitern hat heute eine aufwendige-

re Beleuchtung („Deckenfluter“) und u. U. 2-4 Computeranlagen mit bis zu sechs Bildschirmen, wenn entsprechende Entwicklungs- bzw. Rechercharbeit betrieben wird. Mit den dazugehörigen peripheren Geräten, wie z. B. Drucker, Plotter, Telefonanlage, Kaffemaschine, kann es durch aus geschehen, dass bis zu 2.500 Watt interne Abwärme von diesem Raum zu verkräften ist. Dies kann nur durch aktive Kühlung ausgeglichen werden.

- Hierzu kommt das Problem, dass diese Räume sehr unterschiedlich genutzt werden; hat z. B. der Computerspezialist Außendienst, so entfällt die interne Wärme komplett; der Raum soll aber trotzdem genügend warm sein. Hierfür ist eine sehr genaue Mess- und Regeltechnik notwendig, die möglichst alle diese Einflüsse verarbeitet und rechtzeitig „gegensteuert“. In der Vergangenheit konnte es in klimatisierten Gebäuden vorkommen, dass die Klimaanlage etwas zu kalt gekühlt hat und dieser Missstand wurde durch gleichzeitiges Gegenheizen ausgeglichen, was einen mehrfachen Energieverbrauch zur Folge hatte. Bei energieeffizienten Gebäuden wiederum kann immer nur entweder geheizt oder gekühlt werden, wobei dies nicht kurzfristig wechselweise sein darf, weil ansonsten ein unangenehmes Raumklima entsteht und gleichzeitig viel Energie verschwendet wird. Deshalb wird eine gewisse Ruhezeit zwischen den Phasen einprogrammiert um ein Schwingen der Anlage zu vermeiden.
- Nutzer von Gebäuden mit besonders energieeffizienten Eigenschaften neigen dazu, besonders kritisch zu sein. So ist es z. B. für viele Leute ein un gutes Gefühl, wenn keine heißen Heizkörper im Winter vorzufinden sind, es aber trotzdem einigermaßen angenehm warm ist. Außerdem würden manche gerne die Fenster öffnen, obwohl durch die kontinuierlich laufende Lüftungsanlage mit Wärme-Rückgewinnung eine außerordentlich sauerstoffreiche Luft vorhanden ist, die diese Qualität nicht hätte, wenn die Fenster mal auf und mal zu wären. Es ist daher notwendig, die Nutzer auf die Besonderheiten der Heiz- und Kühltechnik und deren Funktionsweise hinzuweisen. Dies kann in Form eines Nutzerhandbuches oder durch eine Art Schulung erfolgen. Wichtig jedoch ist, dass den einzelnen Mitarbeitern eine gewisse Einflussnahme möglich ist. Z. B. hat sich erwiesen, dass im Bankgebäude mit den Temperaturverstellmöglichkeiten eine hohe Zufriedenheit herrscht. Im Forum⁺ kann diese Einflussnahme nicht vorgenommen werden, was dazu führt, dass damit Nutzer unzufrieden sind. Bei Vermessungen stellte sich heraus, dass die Temperaturen in beiden Bürogebäuden gleich sind. Daraus ist zu schließen, dass bei den Nutzern sehr viel „gefühlte“ Beurteilungen und Bewertungen stattfinden. Dem kann hauptsächlich durch Einbeziehung des Nutzers begegnet werden.

Im Bauvorhaben Forum⁺ in Erlangen wurde auf Grund der engen Grundstücksverhältnisse mit einer umfassenden Pufferspeichertechnik gearbeitet. Erdsonden konnten nicht eingebaut werden, da das Grundstück durch eine Tiefgarage umfassend bebaut ist und in den Restflächen verschiedene Erschließungsleitungen verlegt sind. In dieser Art gibt es in vielen Stadtkernen vergleichbare Objekte. Es wäre ideal, wenn fehlende Speichermassen eines Gebäudes durch Erdmassen- oder Felsmassenspeicher mittels Erdsonden und Wärmepumpe sowohl im Winter als auch im Sommer ausgeglichen werden könnten, in dem Fall Forum⁺ war dies allerdings aus Platzgründen nicht möglich.

Im Forum Plus wurde daher ein Energiesystem gewählt, welches hauptsächlich dadurch gekennzeichnet ist, dass eine gewisse Strommenge im Gesamtgebäude hergestellt und verwendet wird, wobei die Abwärme, die bei der Herstellung des Stromes entsteht, im Gebäude integriert wird. Dies geschieht im Winter durch einfaches Verwenden der Abwärme zum Heizen. Im Sommer wird die Abwärme des BHKW mit einer Absorptionskältemaschine in Kälte umgewandelt. Dadurch kann die Laufzeit des BHKW's bei gleichzeitig Nutzung der Abwärme zum Heizen und Kühlen deutlich verlängert werden, ohne dass die Abfallenergie ungenutzt in die Umwelt entlassen wird.

Da das BHKW nur eine begrenzte Abwärmeleistung hat und möglichst lange zusammenhängende Laufzeiten haben sollte, müssen Leistungsspitzen für Wärme und Kälte durch Pufferung ausgeglichen werden. Ein Puffersystem wiederum ist dann effizient, wenn es möglichst oft be- und entladen wird. Ein Puffer, der konstant auf hohe Temperaturen gehalten wird, ist überflüssig. Die Auslegung der Puffer ist so zu wählen, dass im Heizfall u. U. ein Tag weitgehend der Wärmeausgleich aus dem Puffer erfolgen kann und dies gilt ebenso für den Kalt- bzw. Eisspeicher.

Erläuterung: Die Warmspeicher können als Speicherkapazität die Differenz zwischen Heizungsvorlauf und Höchsttemperatur des Pufferspeichers nutzen. D. h. je niedriger die Vorlauftemperatur ist umso effizienter kann ein Speicher genutzt werden. Bei z. B. 90°C Speicherhöchsttemperatur und 35°C Vorlauftemperatur kann eine Spreizung von 55 K genutzt werden; dies entspricht pro m³ Wasserinhalt des Speichers ca. 55 kWh nutzbaren Speicherenergien. Im Kältebereich ist dies komplizierter. Da ab Vorlauftemperaturen von 16-18°C die Kühlflächen kondensieren können, kann ein Kältspeicher nur mit einer Spreizung von ca. 14K genutzt werden. D. h. der Kältspeicher könnte nur pro 1.000 l nur 14 kWh nutzbare Kälte speichern. Da im Forum⁺ jedoch eine Speicherkapazität von ca. 1.300 kWh im Verhältnis zur Gebäudegröße als sinnvoll erscheint, hieße das z. B. 100 m³ Speichertanks einzurichten. Dies ist sehr teuer und platzraubend. Deshalb wird hier auf Eisspeichertechnik zurückgegriffen, da durch den Phasenwechsel Wasser zu Eis ca. 100 kWh Kälte im Bereich zw. -6°C und +16°C pro 1.000 l Wasser gespeichert werden können. D. h. mit ca. 13 m³ Eisspeichervolumen kann die Kältemenge von 100 m³ Kaltwasserspeicher gleichgesetzt werden. Außerdem hat die niedrigere Temperatur des Eisspeichers für den Lufttrocknungseffekt, der im Bereich Lüftungsanlage beschrieben wurde, bedeutende bessere Eigenschaften.

Im Gebäude selbst muss der Wärmeübertrag sehr genau geregelt werden, damit es nicht zu Überhitzungen oder zu Unterkühlungen kommt; hierbei müssen Überlagerungseffekte möglichst ausgeschlossen werden. Es darf also in einer Zone nicht gleichzeitig geheizt und gekühlt werden.

Es wurden daher Flächenheizungssysteme in der Decke und in den Außenwänden verwendet, die im Niedertemperaturbetrieb gefahren werden. D. h. sie sind so ausgelegt, dass bei -10°C Außentemperatur ca. 35°C – 40°C Vorlauftemperatur notwendig sind. Bei durchschnittlichen Wintertemperaturen von um die 0°C betragen die Vorlauftemperaturen meist unter 30°C . Daher eignen sich diese Systeme bestens für den Einsatz von WP oder Solarwärme. Auch hier zählt wieder, je niedriger die Vorlauftemperaturen gefahren werden, umso effizienter können WP, Solarwärme und Pufferspeicherkapazitäten genutzt werden.

Bei dem Flächenkühlungsfall ist darauf zu achten, dass die Kühltemperatur nicht zu niedrig eingestellt ist, da ansonsten Kondensatgefahr besteht. Als niedrigste Temperatur sind 16°C als Normaltemperatur ca. 18°C zu betrachten. Aus diesem Grund wird ständig der Taupunkt aus der Temperatur und der Raumfeuchte errechnet, um diesen Wert nicht zu unterschreiten und die Vorlauftemperatur dahingehend zu regeln.

Außerdem gibt es für die unterschiedlichen Himmelsrichtungen der Räume unterschiedliche Vorlauftemperaturen. Hiermit soll der solare Einfluss derart ausgeglichen werden, dass nicht das ganze Haus mit einer Vorlauftemperatur bedient wird, die dann u. U. auf der Südseite zu warm und auf der Nordseite zu kalt ist. Im Prinzip wird durch diese unterschiedliche Vorlauftemperatursteuerung ein Temperaturgefälle auf Grund der Sonnenwanderung vermieden.

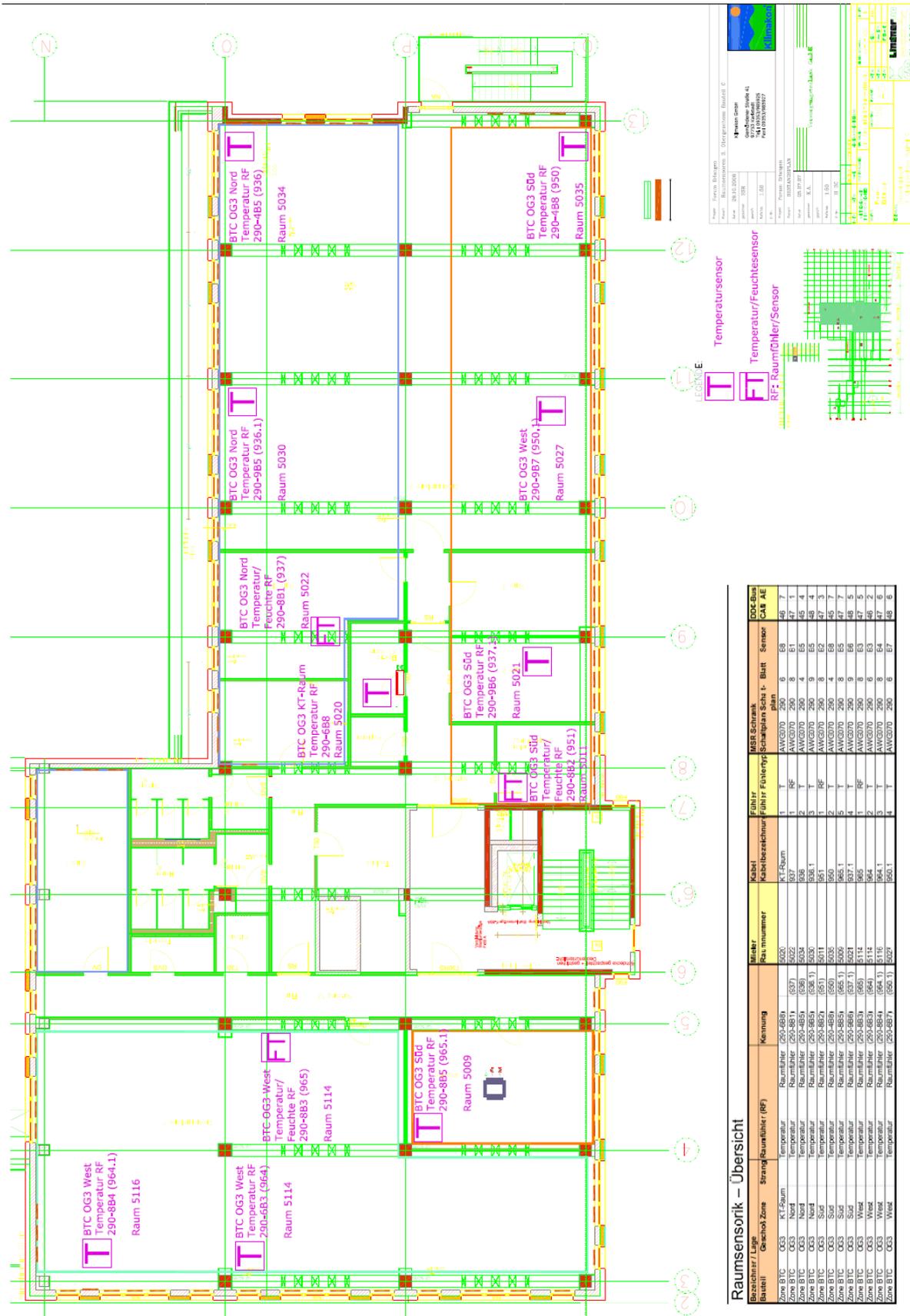


Abbildung 10 - Grundriss mit Zoneneinteilung und Fühlerpositionen

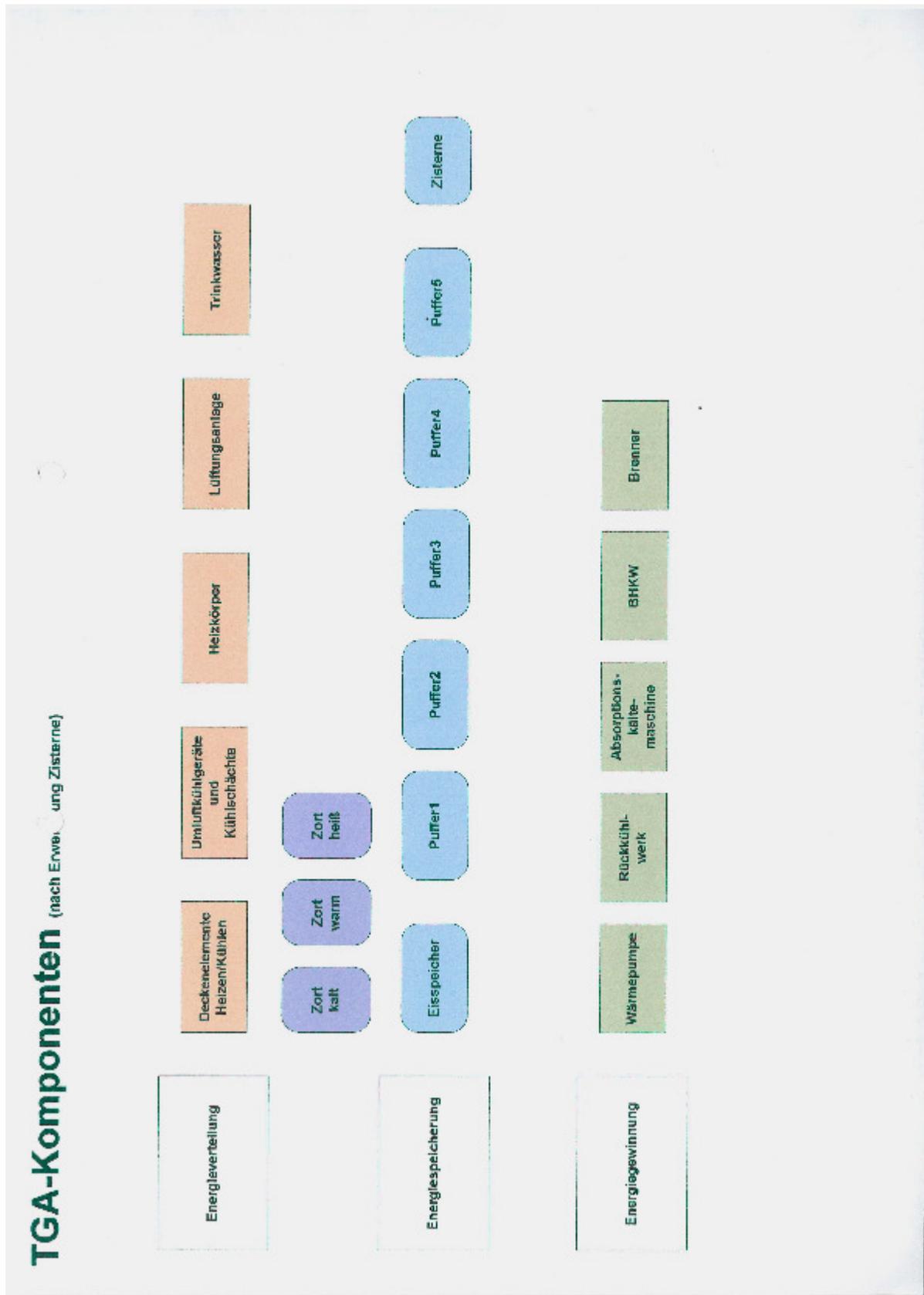


Abbildung 11 - TGA-Komponenten

Hydraulikschemata (vereinfacht)

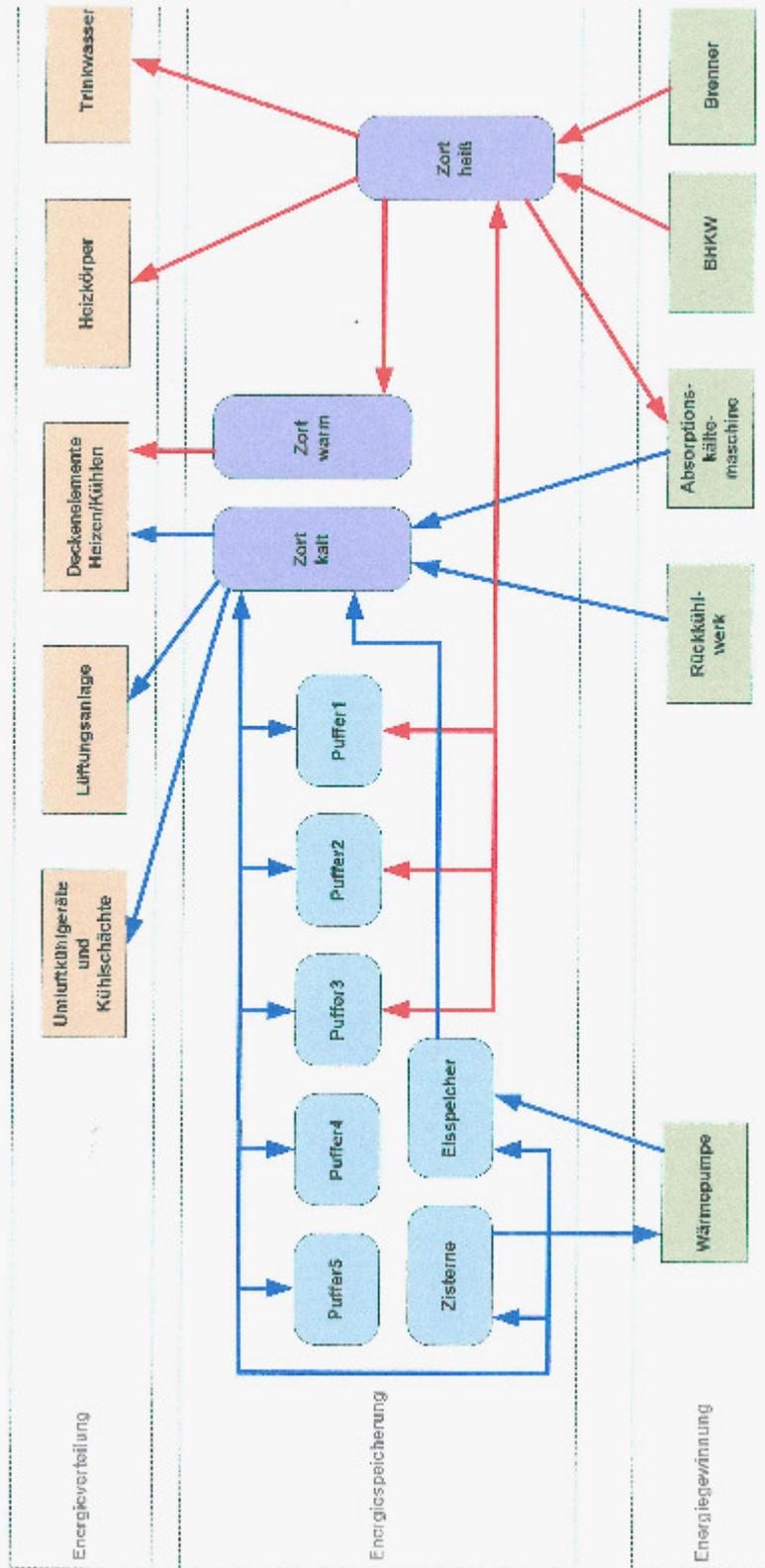


Abbildung 12 - Hydraulikschemata (vereinfacht)

Hydraulikschemata (Verbesserungsvorschlag)

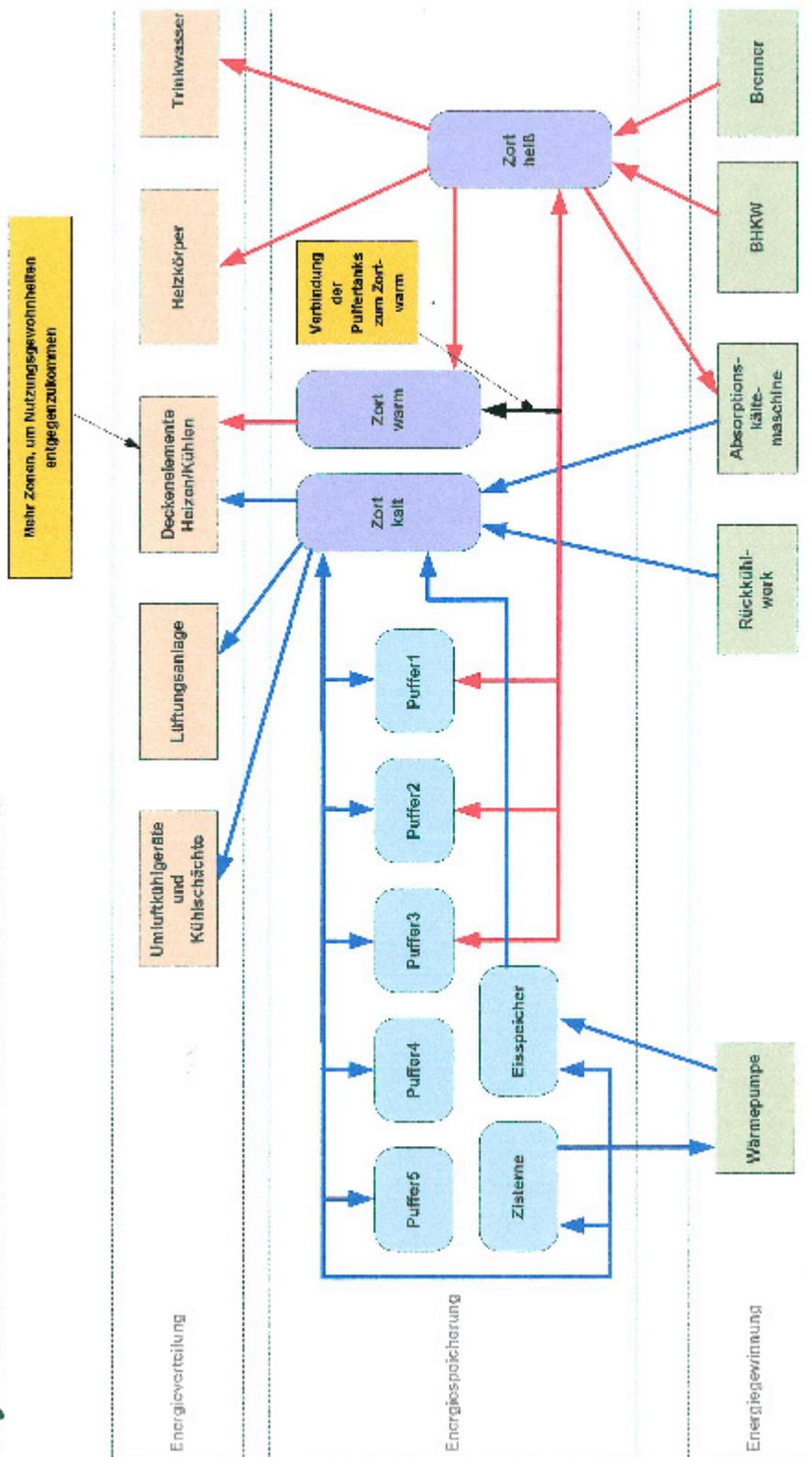


Abbildung 13 - Hydraulikschemata (Verbesserungsvorschlag)

Gebäudeautomation

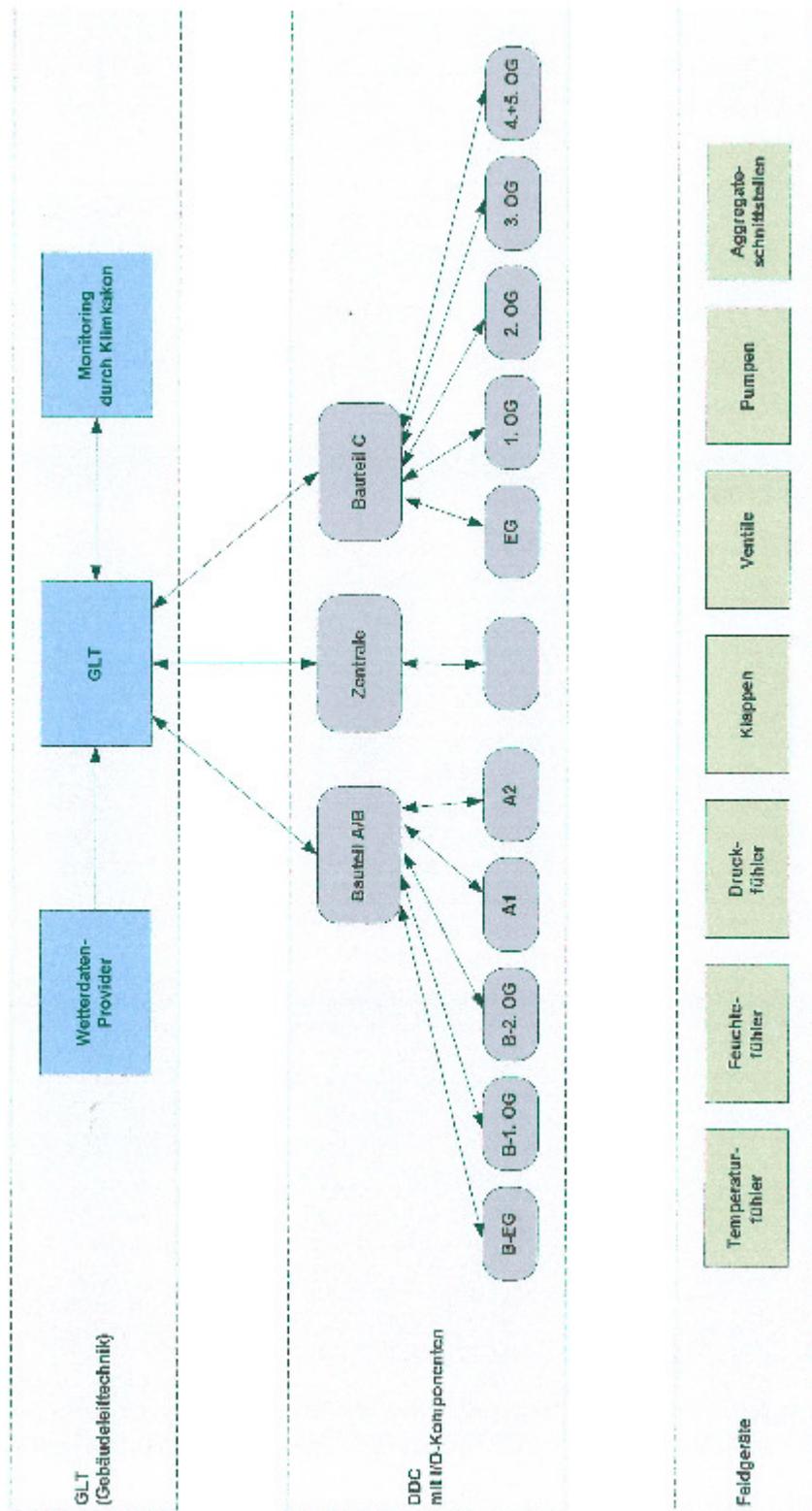


Abbildung 14 - Gebäudeautomation

So läuft auf Grund des Sonnenlaufes die „Ergänzungsheizung“ dem nicht besonnten Teil des Hauses nach. Unter Umständen kann auf der Südseite schon leichte Kühlung notwendig sein, wenn auf der Nordseite noch leicht geheizt werden muss. Hier gilt es, diese Energie innerhalb des Hauses auf der einen Seite „einzufangen“ und auf der anderen Seite freizusetzen. Dies kann dadurch unterstützt werden, dass z. B. die „Heizseite“ Wärme bezieht, die Abwärme einer WP darstellt, die auf der „Kühlseite“ die Kälte liefert. Dies ist viel effizienter, als wenn im bisherigen Gebrauch auf der Südseite eine elektrisch betriebene Kältemaschine anspringen und gleichzeitig auf der Nordseite durch einen Kessel geheizt werden würde.

Diese aufgeführten Beispiele sind ein kleiner Ausschnitt aus den anders zu denkenden Steuerungsfällen dieser neu entwickelten MSR-Technik. Hierbei zählt immer vorrangig, Energie rückzugewinnen oder mehrfach einzusetzen oder durch Verwendung der Umweltenergie fossilen Energieverbrauch zu vermeiden. Das Berücksichtigen dieser Kriterien bedeutet einen weitaus höheren Regelaufwand, als wenn vereinfacht gesprochen nur ein Kessel oder eine Kältemaschine ein- und auszuschalten wären. Der Lohn dafür ist ein hohes Maß an Primärenergie-Einsparung.

Sparen ist Mangel verwalten und vorausschauend bzw. abwartend zu reagieren. Ein wichtiges Ziel ist nicht alleinig Jahresenergieverbrauch in der Gesamtmenge zu reduzieren, sondern Leistungsspitzen bei Strom- und Gasverbrauch deutlich zu vermeiden, zu reduzieren bzw. in leistungsarme Zeiten verlagern.

Als Ergebnis für das Bauvorhaben Forum⁺ wird festgestellt:

Die Kältewelle Anfang des Jahres 2009 hat innerhalb des Gebäudes zu keinen Heizungsengpässen geführt, obwohl nicht alle Arbeitsräume voll besetzt waren und die internen Lasten dadurch nur teilweise aktiviert waren. Vor der Sanierung war das Gebäude mit einer Heizanlage mit bis zu 2.000 kW Leistung ausgestattet. Nach der Sanierung ergeben sich aus dem BHKW 80 kW Abwärme. Der Spitzenkessel hat eine Leistung von 105 kW. Hierbei ist zu bemerken, dass die gemessenen Raumtemperaturen während der Bürozeiten zwischen 21 °C und 23 °C liegen, obwohl nur 20 °C vereinbart waren. Die Mitarbeiter wünschen jedoch ca. 22 °C als Mindesttemperatur.

Im Sommer 2008 konnten die Raumtemperaturen in allen Räumen unter 26 °C gehalten werden, obwohl es bei der Kühlung verschiedene Probleme gab. Z. B. hat die Absorptionskältemaschine die gewünschten Kälteleistungen nur teilweise erbracht, da das Rückkühlwerk nicht die geplante Leistung von 130 kW dauerhaft leisten konnte, wenn die Rahmenbedingungen Umgebungstemperatur, Luftfeuchte nicht ideal waren. Nach unseren Messungen wurden im ungünstigsten Falle nur ca. 14 kW geleistet; und das zu Zeiten, zu denen der größte Kältebedarf bestand. Dies führte dazu, dass die Absorptionskälte immer direkt verbraucht werden musste und selten eine Pufferung zur Abdeckung von Spitzenlasten bzw. als Reserve stattfand. Dies ist einerseits zu wenig Reserve, auf der anderen Seite hat es jedoch gezeigt, dass die Speicherung des Gebäudes und die Steuerung diesen Mangel sehr gut ausgleichen konnten. Es ist allerdings zu bedenken, dass nicht alle Arbeitsräume voll belegt waren. In Zukunft wird eine Wärmepumpe installiert, die aus einer im

Grundstück befindlichen Grundwasserquelle Kälte gewinnt, die dann den Eisspeicher und die Kältspeicher beladen kann bzw. die Kälteleistung in etwa auf das projektierte Maß erweitert und damit die fehlende Leistung des Rückkühlwerkes ausgleicht. Dadurch, dass immer an der kritischsten Stelle Kühlung erfolgen musste und an den nicht so kritischen Stellen die Kühlung eingespart wurde, hat sich mehr oder weniger ungewollt eine „Mangelverwaltung“ ergeben, die eigentlich die beste Form des Sparens ist. Diese ungewollte „Mangelverwaltung“ wurde parametrierbar in die Regelung aufgenommen. Darüber lässt sich bei extremen Spitzen im Kältebedarf die verfügbare Energie auf die Zonen verteilen, wo der Bedarf am höchsten ist.

Lüftungssystem

Im Gebäude Forum⁺ war vor der Sanierung eine Klimaanlage installiert, die über Klimatruhen an den Außenwänden die Räume konditionierte. Insgesamt war eine stündliche Luftmenge von bis 350.000 m³/h notwendig. Die Heizleistung betrug bis 2.000 kW. Die Kühlleistung ca. 450 kW. Für die Klimaanlage wurde ein Technikgeschoss als „Penthouse“ auf dem Dach mit einer Fläche von 250 m² bereitgestellt. Diese Klimaanlage ist entfallen (hier sind jetzt neue, zusätzliche Büroräume untergebracht).

Das jetzige Lüftungssystem besteht aus einer Lüftungsanlage mit hocheffizienter Wärmerückgewinnung. Die Luftwechselrate beträgt pro Mitarbeiter ca. 25m³/h. Insgesamt ca. 18.000 m³/h für das ganze Gebäude. Die Lüftungsanlage hat die Aufgabe, den Sauerstoffgehalt hoch und den CO₂-Gehalt auf weniger als ca. 1.000 ppm/m³ zu halten. Im Prinzip gibt es die Niedertemperaturflächen zum Heizen und Kühlen und die Lüftungsanlage für die Luftqualität.

Da im Sommer bei zu kalten Oberflächen die Gefahr des Kondensierens besteht und die relative Luftfeuchte in den Räumen zu nehmen würde (Wärmeentzug durch Flächen) ist es notwendig, bei hoher Luftfeuchte der Außenluft diese „vorzutrocknen“. Hierbei wird die Luftfeuchte kondensiert und die Luft „vorgekühlt“. Dieses Lufttrocknen findet bei hohen Temperaturen und hoher Luftfeuchte nach Bedarf statt. Idealerweise wird die Kälteleistung aus dem Eisspeicher genutzt, der Rücklauf aus dem „Lufttrockner“ ist dann der Vorlauf für die Flächenkühlung, die ca. 16-18°C minimal haben dürfen.

Auf diesem Gebiet ist es zwingend nötig umfangreiche Praxiserfahrung zu sammeln, da durch dieses System enorme Stromspitzen durch Klimageräte vermieden werden. Der Eisspeicher wird idealerweise nachts bei niedrigen Umgebungstemperaturen und Nachtstrom geladen. – Entzerrung von Stromleistungsspitzen –

Im Forum⁺ wird die Zuluftzuführung dadurch erschwert, dass keine Erdvorwärmstrecke wie bei z. B. Passivhaus-Neubauten üblich, eingerichtet werden konnte. Die Zuluft muss daher frostfrei in den hausinternen Zuluftkanal eingebracht werden. Dies geschieht hier mit einem Wärmetauscher, der hierfür Nutzenergie einsetzt. Hier wird zurzeit geprüft, ob im Winter mit der Abwärme aus der zurzeit installierten WP aus dem Grundwasser diese Vortemperierung abgedeckt werden kann. Dies ist nicht ideal, aber aus Gründen der örtlichen Gegebenheiten nicht zu ändern. Hier gäbe es noch ein hohes Einsparpotential. Die Steuerung dieser Luftnacherwärmung wurde in einem ersten Schritt durch die Installation zusätzlicher Temperaturfühler nachopti-

miert, was zu einer besseren Erreichung der angestrebten Temperatur führte. Somit konnte der hohe Energiebedarf durch die zu starke Vorerwärmung reduziert werden.

Eisspeicher:

Mit der zusätzlichen Kälteleistung aus der Wasserquelle muss in Zukunft der Eisspeicher geladen werden, um damit Tagesspitzen auszugleichen ohne in diesen Zeiten den Stromverbrauch zu erhöhen. Außerdem soll erreicht werden, dass vorrangig zu Nachtzeiten die Kälte gewonnen wird, da dies effektiver ist als zur heißen Tageszeit und somit in Spitzenzeiten Energieverbrauch aus dem Netz vermieden wird. Durch das zusätzliche kühle Wasser verspricht man sich außerdem eine Steigerung der Effizienz des Rückkühlwerkes. Es kann auf diese Weise in einem günstigeren Temperaturniveau mit einer größeren Spreizung betrieben werden.

Der Eisspeicher hat verschiedene Aufgaben:

Durch den Phasenwechsel vom Übergang Wasser zu Eis wird eine große Energiemenge gebunden. Mit einer Eistemperatur von ca. -6°C wird im Sommer z. B. der Frischlufteintrag „getrocknet“. Dadurch wird der sommerlichen Zuluft Feuchte durch Kondensation entzogen, die gleichzeitig das Kühlmedium auf eine Vorlauftemperatur bringt, die wiederum für die Decken- bzw. Wandkühlflächen ausreichend temperiert ist. Außerdem hat der Eisspeicher eine hohe Kältekapazität, die Spitzen über 2-4 Stunden abfangen kann, ohne dass in dieser Zeit Strom aus dem Netz zu Spitzentarifpreisen verbraucht wird. In der Nacht kann der Eisspeicher unter Nutzung von Nachtstrom und Nachtkühle günstiger beladen werden, als zu nachmittäglichen Spitzenzeiten.

Außerdem wird dadurch einem evtl. Vollbetrieb des Gebäudes mit einer gleichzeitigen andauernden Hitzewelle Rechnung getragen. Im Jahr 2008 herrschten in Erlangen relativ kurze Hitzespitzen, die im Wesentlichen durch die Gutmütigkeit des Gebäudes aufgefangen wurden. Dazu hatte außerdem die konsequente Verschattung der Fensterflächen beigetragen.

Seit Januar 2008 wird ein Monitoring in monatlichem Rhythmus durchgeführt. Die bisherigen Erkenntnisse zeigen, dass der Primärenergieverbrauch des Gebäudes weitgehend den Erwartungen entspricht. Aufgrund geringer Kapazitäten in der Kältebreitstellung war es nur schwer möglich, ausreichende Pufferungen vorzunehmen, um prognostizierten Spitzenbedarf dann auch abzudecken. Die 2009 durchgeführte Erweiterung um die Zisterne für die Wärmepumpe schaffte dafür Abhilfe. Jetzt kann bei Ankündigung einer Hitzewelle durch die Wettervorhersage bereits mehrere Tage vorher die Kältespeicher überdurchschnittlich geladen werden, die Gesamtgebäudetemperatur insgesamt leicht abgesenkt und die Kühlvorgänge in den einzelnen Räumen vorsorglich eher eingeleitet werden.

Damit wird erreicht, dass nicht das Gebäude „herunter gekühlt“ werden muss, sondern der Aufheizprozess abgebremst wird. D. h. im Idealfall wird morgens mit 22°C Raumtemperatur gestartet und diese Temperatur möglichst lange auf diesem Niveau gehalten. Es dürfen jedoch abends 26°C im Raum vorhanden sein, die über Nacht möglichst durch Nachtlüftung wieder auf 22°C zurückgeführt werden. Dies ist weitaus energiesparender, als wenn zu lange der Anstieg der Temperatur zugelassen wird

und dann z. B. ab Nachmittag massiv dagegen gekühlt wird. Dies ist in der MSR berücksichtigt!

Es ist zu erwarten, dass nach der Erweiterung um die Zisternennutzung in Verbindung mit dem daraufhin angepassten und verbesserten Puffermanagement der bisher schon niedrige Energieverbrauch des Gesamtgebäudes weiter abgesenkt werden kann.

Aufbau des Steuerungssystems am Beispiel vom Forum⁺

Das Klimakon-System im Forum⁺ weist folgende Topologie auf:

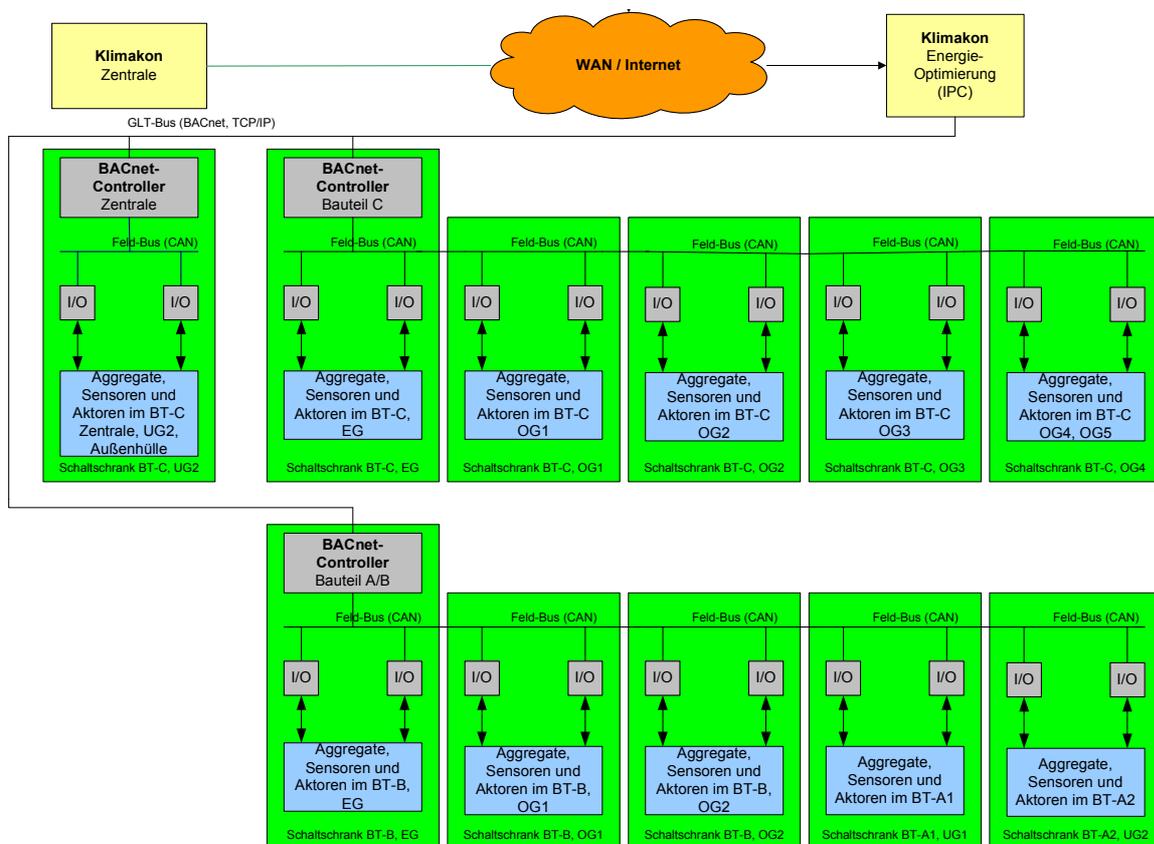


Abbildung 15 - Topologie Forum⁺

Das MSR-System besteht aus drei Controllern, die per TCP-IP untereinander und zum übergeordneten Industrie-PC mit der GLT verbunden sind. An jedem Controller sind durch einen CAN-Feldbus dezentrale I/Os angeschlossen, die über mehrere Unterverteilungen verteilt sind. Im Objekt gibt es insgesamt 11 ISPs (Informationsschwerpunkte), die jeweils als eigener Schaltschrank ausgeführt sind.

Das komplette Netzwerk ist per DSL mit dem Internet verbunden und kann darüber bedient und ferngewartet werden. Der Zugang ist über verschiedene Sicherungsstufen vor unberechtigten Zugriff gesichert und bietet für das Monitoring und für die Hausverwaltung einen direkten und verzögerungsfreien Zugang zur Benutzeroberfläche der GLT.

Maßnahmen zur Bedienungs- und Nutzerfreundlichkeit der Visualisierung

Hier sollen am Beispiel vom Forum+ die Benutzeroberflächen der GLT dargestellt werden.

Als Portal für den Zugriff auf die GLT wird eine übersichtliche Grafik dargestellt, die die einzelnen Gebäude- und Anlagenteile darstellt. Diese können durch einfachen Mausklick angewählt werden.

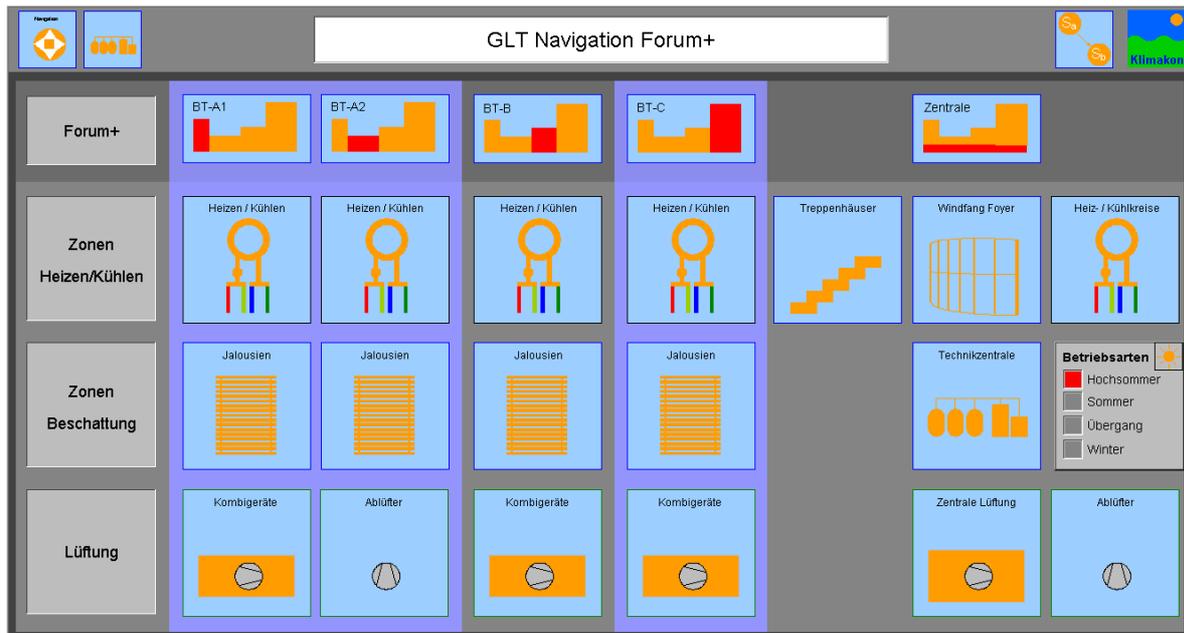


Abbildung 16 - Forum⁺ - Darstellung GLT-Navigation

So einfach kann man zu allen wichtigen Menüpunkten gelangen:

- Technikzentrale => Zort Heiß
- Zonen Heizen / Kühlen
- Zonen Beschattung
- Lüftung
- Zentrale Lüftung
- Jalousiesteuerung

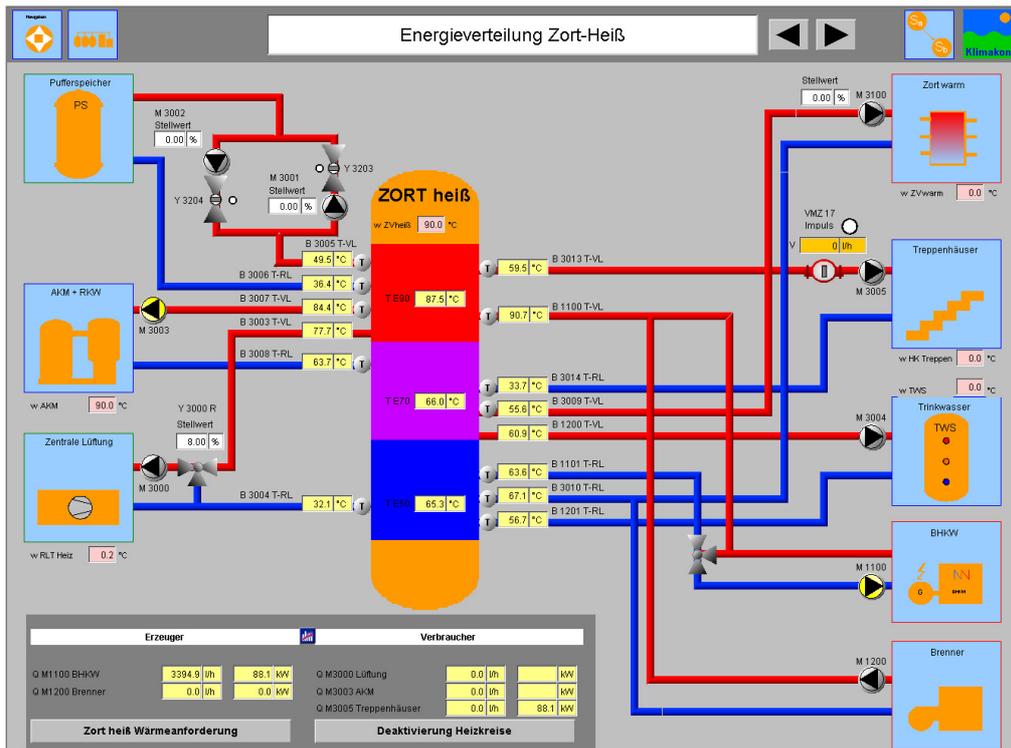


Abbildung 17 - Forum⁺ - Darstellung Energieverteilung Zort-heiß

Die kleinen Bilder am Rand der Grafik können angeklickt werden um zu weiteren Menüpunkten zu gelangen. In diesem Beispiel kann die Anzeige des Pufferspeichers, des Rückkühlwerkes der Zentralen Lüftung, die Treppenhäuser, die Trinkwasserbereitung, das BHKW und der Brenner erreicht werden.

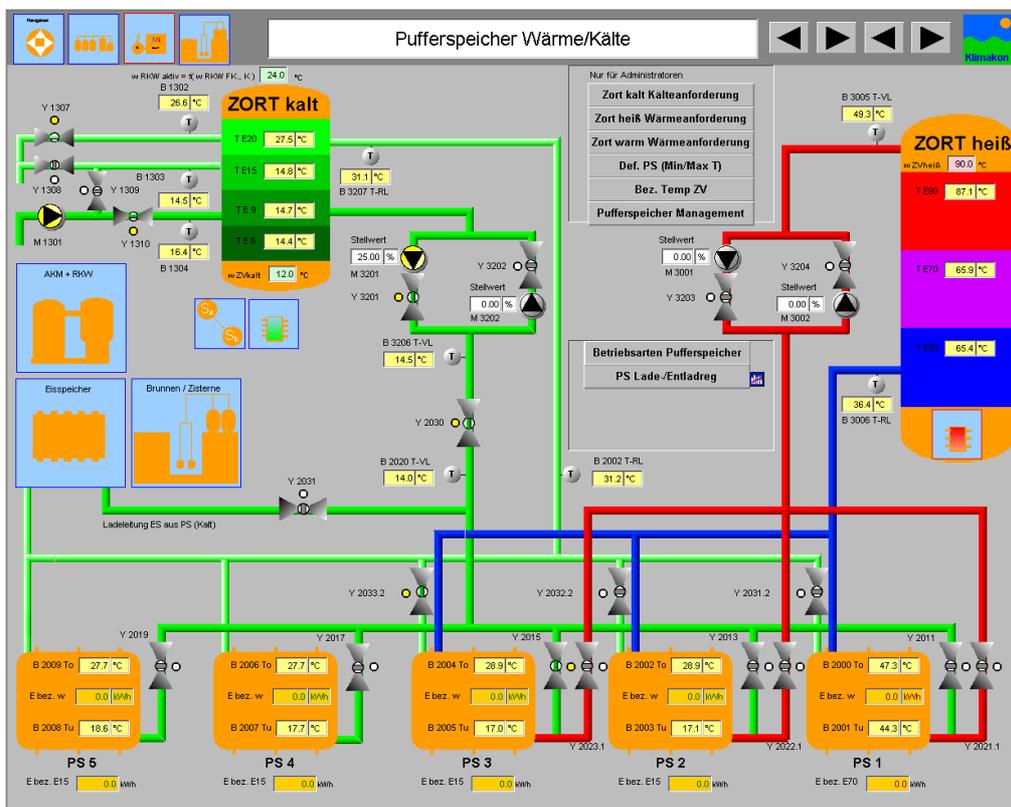


Abbildung 18- Forum⁺ - Darstellung Pufferspeicher

Die Pufferspeicher können außentemperaturgeführt angefahren werden. Zusätzlich ist die Wettervorhersage eingebunden, die dann vorausschauend die Pufferspeicher entweder mit warmen oder kalten Medien lädt.

Das folgende Bild zeigt exemplarisch die Heiz- und Kühlzonen der Stockwerke EG und OG1 des Bauteils A1. Die Zone Windfang wird analog dargestellt:

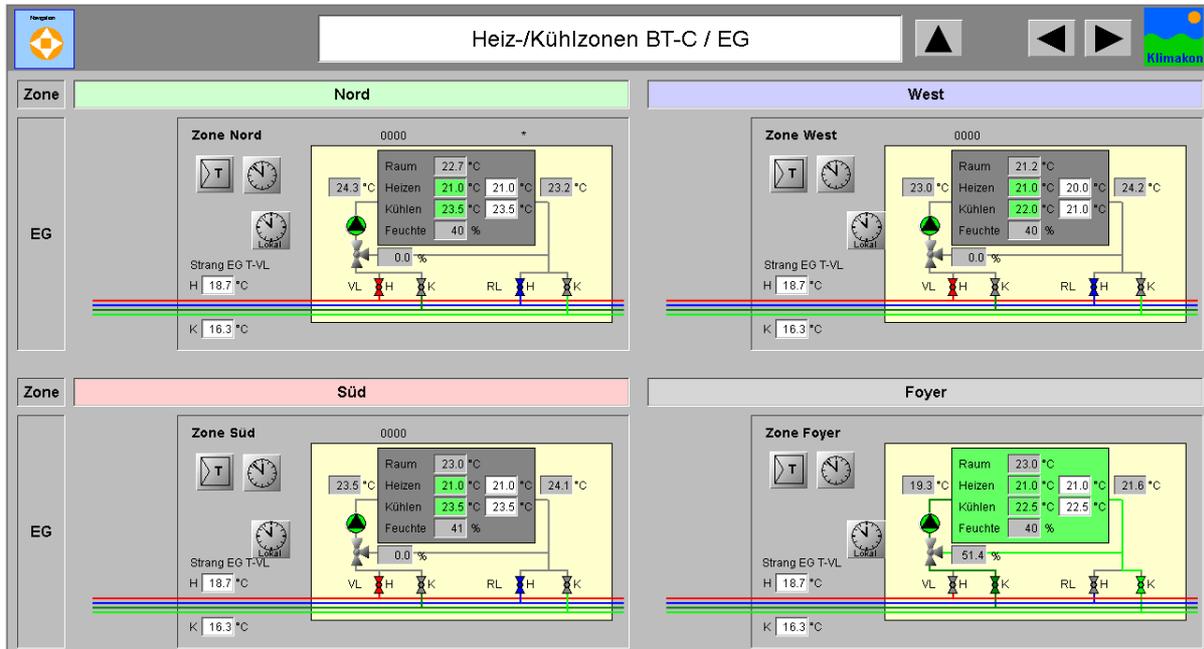


Abbildung 19 - Forum⁺ - Darstellung Heiz-/Kühlzonen

In der Übersicht werden die Daten einer Heiz- und Kühlzone visualisiert:

- Strang-Temperaturen des Geschosses
- Vor- und Rücklauf-Temperaturen
- Stellwert des Mischventils
- Pumpenaktivität
- Durchschnittstemperatur der Zone (gewichtet)
- Relative Luftfeuchtigkeit
- Sollwerte Heizen und Kühlen im Tag- und Nachtfall (Diese können einfach angeklickt und verändert werden.)

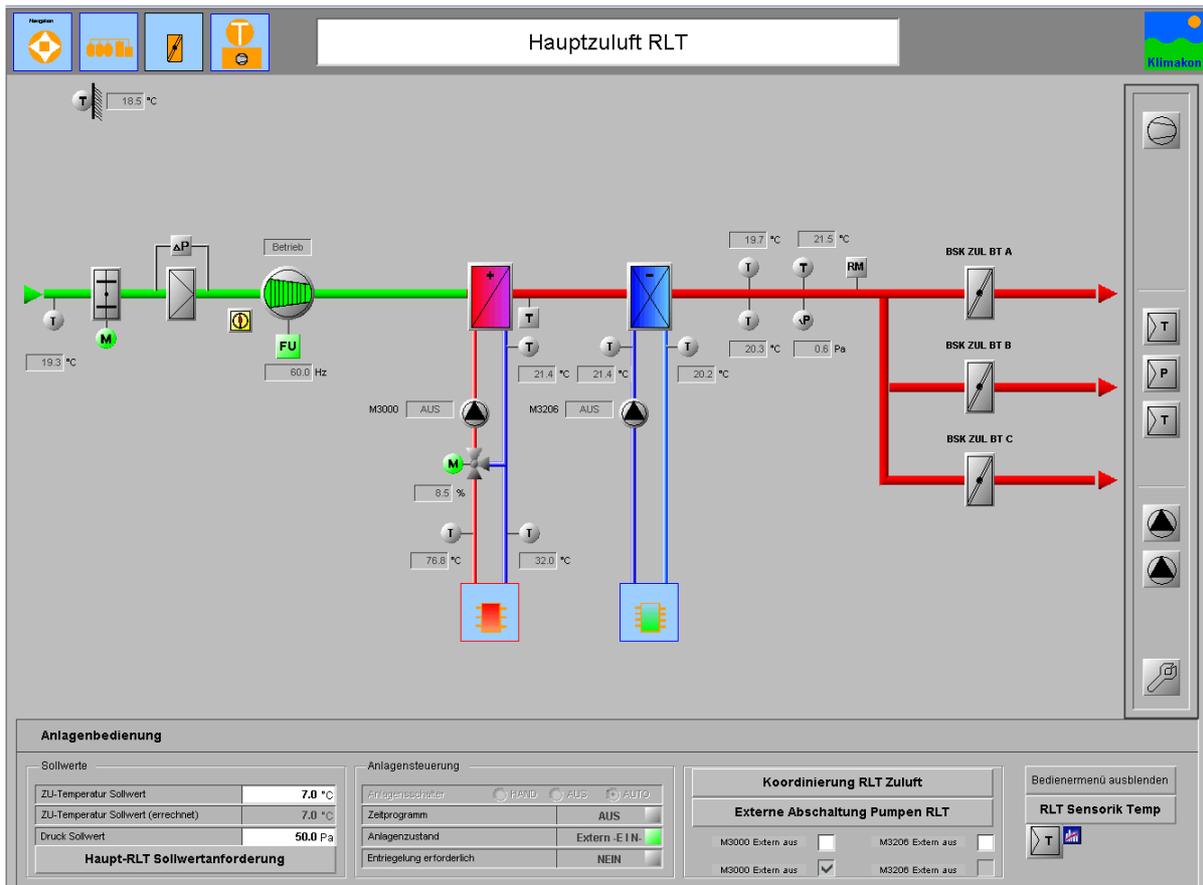


Abbildung 20 - Forum⁺ - Darstellung Hauptzuluft

Von links nach rechts werden die Bauteile kurz erklärt. Die Hauptluftzufuhr strömt durch die motorisch gesteuerten Zustromklappen, dann durch einen Filter mit Differenzdruckschalter. Anschließend gelangt die Luft durch einen Wärmetauscher, der die Zuluft vorwärmt und vom Frostwächter überwacht wird. Der nachfolgende Wärmetauscher kann die Luft abkühlen. Dann kommt der Wartungsschalter mit dem frequenzgesteuerten Ventilator. Der Luftstrom wird dann durch Kanaltemperaturfühler und Drucksensoren gemessen. Diese regeln die Zuluftklappen, die am Ende des dargestellten Schemas die Luft weiterverteilen.

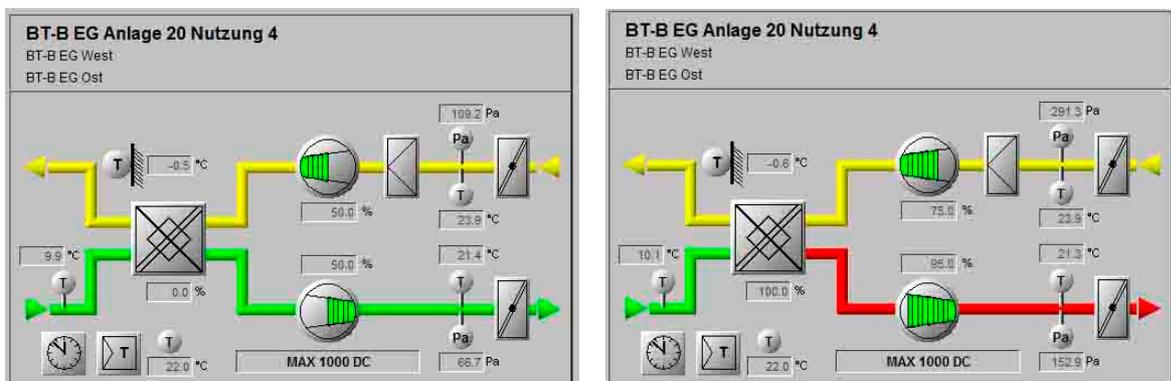


Abbildung 21 - Forum⁺ - Darstellung Lüftungskombigeräte

Die beiden Grafiken zeigen die Lüftungs-Kombigeräte in zwei unterschiedlichen Betriebszuständen an. Das linke Bild zeigt das Lüftungs-Kombigerät im Zustand ohne Wärmerückgewinnung (WRG = 0%); das rechte Bild zeigt das Gerät im WRG Betrieb auf (WRG = 100%). Neben der Prozentanzeige zeigt die rote Farbe eine Veränderung der Medientemperatur an.

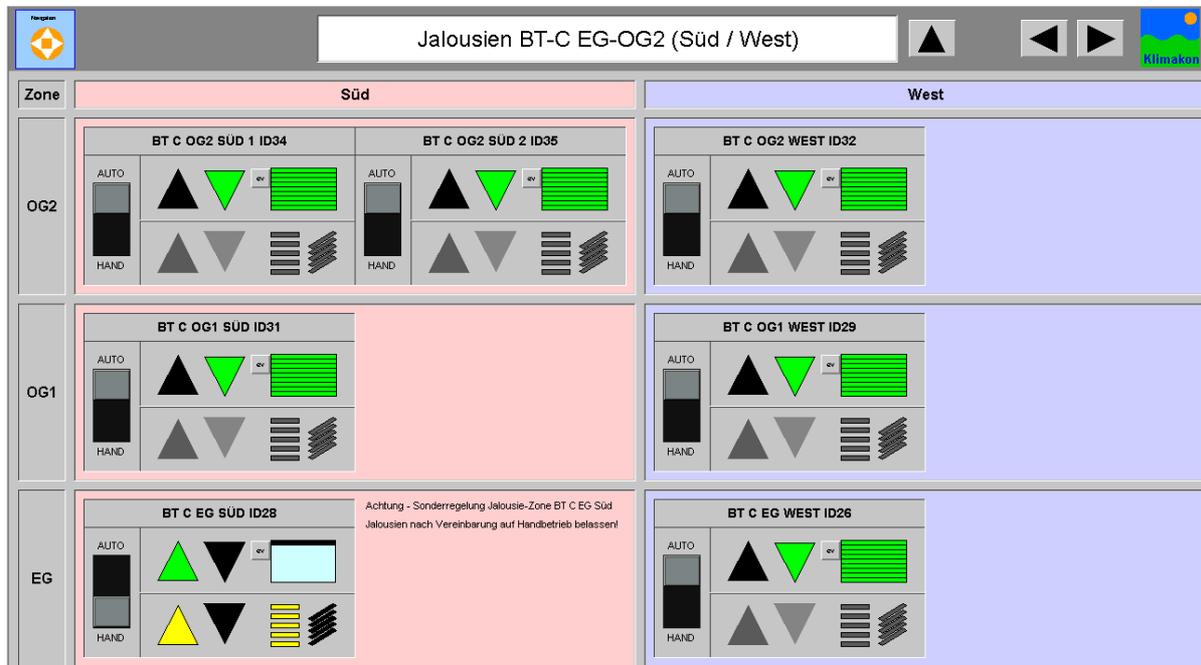


Abbildung 22- Forum⁺ - Darstellung Jalousien

Die Grafik zeigt exemplarisch die Jalousien-Zonen Nord, Ost vom EG-OG2 des BT-C. Über die Navigationspfeile können weitere Jalousien-Zonen erreicht werden.

B3 Erkenntnisse aus der bisherigen Entwicklungsarbeit

Die Erkenntnisse erstrecken sich über unterschiedliche Bereiche:

- Markt
- Unternehmensorganisation
- Technische Erkenntnisse

Zuerst sollen die nicht direkt für das Entwicklungsvorhaben relevanten nicht-technischen Aspekte erläutert werden:

Markt

Der Markt ist geprägt von einer sehr starken Beeinflussung durch die marktführenden MSR-Anbieter (=Hersteller/Anbieter der Steuerungssysteme). Da die planenden Unternehmen in den wenigsten Fällen über eine eigene Kompetenz im Bereich der MSR/GLT haben, holen sich diese die notwendigen Informationen per Zuarbeit von den Steuerungsanbietern oder deren Vertreter. Damit sind die Ausschreibungen oft stark von den Lösungen etablierter Anbieter eingefärbt und verschaffen diesen einen teilweise sehr deutlichen Wettbewerbsvorteil.

Unternehmensorganisation

Was eigentlich nicht hätte überraschen dürfen war dennoch in dieser Härte unerwartet. Trotz umfangreichen Know-Hows in der industriellen Steuerungstechnik und in der Steuerung der dabei durchgeführten Projekte mussten erhebliche Defizite für die Branche der Gebäudeautomation erkannt werden. Dies führte zu sehr großen Zusatzaufwendungen und auch finanziellen Verlusten, die durch branchenerfahrenes Personal hätten vermieden werden können. Bis Ende des Jahres 2009 ist das Stammpersonal so weit umorganisiert, dass die Mehrzahl über langjährige Branchenerfahrung verfügt und dass ein erfahrener Projektleiter auch die formalen Voraussetzungen für einen betriebswirtschaftlichen Erfolg durchsetzen kann.

Das Zusammenführen von Heizen, Kühlen, Lüftung und Beschattung in ein System verlangt sehr viele Ressourcen im Rahmen der Inbetriebnahme, da alle Bereiche fast gleichzeitig fertig gestellt werden müssen. Das komplette Know How muss auf ein bis zwei Mitarbeiter konzentriert werden, um die Software für die zentrale Steuerung zu realisieren. Dies erfordert große Anstrengungen bei der Beschaffung und Übermittlung des notwendigen Wissens.

Technische Erkenntnisse

Hardwareplattform

Obwohl die Mehrzahl der Ausschreibungen systemneutral erfolgen muss, ist es notwendig unterschiedliche Hardwareplattformen zu unterstützen. Dies ergibt sich aus bestimmten Systemspezifika (z.B. Unterstützung einer integrierten Handbedienebene, Unterstützung von Raumbediengeräten oder Einbaupaneels, ...) die aus Kostengründen nicht immer die gleiche Systemplattform erlauben. Daraus resultiert die Notwendigkeit Lösungen für unterschiedliche Plattformen vorzuhalten und diese dafür zu portieren. Durch die teilweise sehr große Unterscheidung in der Art der

Programmierung bedarf dies teilweise der Neuerstellung der Module, auf Basis der vorliegenden internen Dokumentation (siehe Übertragung der Beschattungsfunktion vom Forum+ zu s.Oliver). Die im Rahmen der ersten Projekte immer auftretende Pflege bestehender Funktionen in Hinblick auf zusätzliche Parametrierung oder neuen Funktionsdetails macht eine spätere Rückübertragung auf das Ursprungssystem notwendig.

Hydraulik

Die Hydraulik ist im Forum⁺ sehr komplex aufgebaut und stellt damit sehr hohe Anforderungen an die Regelungstechnik, da sich die einzelnen Komponenten untereinander beeinflussen. Noch während der Inbetriebnahme wurde die Hydraulik nachgebessert um eine größere Parallelität bei der Nutzung der Speicher zu erzielen (gleichzeitiges Laden/Entladen von Wärme/Kälte für einen Teil der Puffer).

Das Verhalten der Zortströms als Energieverteiler und hydraulische Weiche ist steuerungstechnisch sehr schwer vorhersehbar, da die vertikale Schichtung sehr stark abhängig ist von den jeweiligen Energieströmen, die von den autark laufenden unterlagerten Regelkreisen z.B. der Zonen angefordert werden. Darüber ergeben sich unerwünschte Einflüsse auf das Abführen von Energien zu den unterschiedlichen Abnehmern (Heiz- und Kühlelemente) und sehr aufwendige Ladefunktionen für die Puffer. Hierzu wären konkrete Angaben des Herstellers als Vorgaben für die Regelungstechnik wünschenswert.

Sonnenschutz

Gegenüber den ursprünglichen Planungen wurde bei dem Objekt Forum⁺ der Sonnenschutz als wichtiger und integraler Bestandteil der MSR gefordert, um speziell im Sommer zusätzliche Energieeinträge gesichert zu verhindern. Dies war bis dahin nicht berücksichtigt und stellte einen erheblichen Zusatzaufwand dar, da hierfür auf Basis einer Sonnenstandberechnung für sehr viele getrennt verwaltete Beschattungszonen die Sonneneinstrahlung ermittelt werden mussten. Die Ermittlung und Überprüfung der hierfür notwendigen geometrischen Daten kostete sehr viel Zeit. Ein direkter Zugriff auf 3D-Planunterlagen, auch der benachbarten beschattenden Gebäude wäre hier sehr von Vorteil, damit im Vorfeld diese Parameter konkret berechnet werden könnten.

Beleuchtung

Die Integration von Beleuchtungssteuerungen war ursprünglich nicht vorgesehen, aber im Rahmen eines ganzheitlichen Konzeptes sinnvoll und beim Objekt s.Oliver aufgrund der spezifischen Nutzung auch notwendig. Die Einarbeitung auf die Besonderheiten des DALI und enocean-Busses erforderte viel Zeit, zumal wir mit spezifischen technischen Problemen aufgrund elektrischer Störungen bei DALI und der Nutzung vieler Antennen für enocean. Dabei hatten wir massive Performanceprobleme, die zur Erhöhung der notwendigen Anzahl von Controllern (DDCs) führten.

Wettervorhersage

Die Prognose des Energiebedarfs auf Basis der Gebäudesimulation und der vorhergesagten Wetterdaten ist schwer in Einklang zu bringen mit den wirklichen Werten, da die Annahmen der Simulation in der Planungsphase durch abweichende Umsetzungen in der Bauphase teilweise verändert wurden. Die teilweise abweichenden Ergebnisse der unterschiedlichen Rechenmodelle der Simulationssoftware gegenüber der Klimakon-Gebäudesimulation erschwert dies zusätzlich. Zudem verlangen

die Nutzer im Winter eine höhere Raumtemperatur (etwa 2 Kelvin) als simuliert, um Behaglichkeit zu verspüren. Dies ist auf die überwiegend sitzende Bürotätigkeit zurückzuführen. Dazu kommt, dass manche Bereiche - durch intensive Reisetätigkeiten der Mieter - nur gering genutzt werden und die inneren Wärmeeinträge entfallen. So wurde im Forum⁺ das zugrundegelegte Nutzungsverhalten nicht annähernd erreicht und es wäre organisatorisch nicht darstellbar gewesen die extremen Nutzungsschwankungen durch den Nutzer zeitnah in das System ein zu pflegen.

Übergeordnetes System

Der Aufbau eines übergeordneten Systems zum vereinfachten Monitoring vieler Objekte und dem Gewinnen von objektübergeordneten Erkenntnissen, die als Optimierungspotenzial genutzt werden könnten, war nicht möglich. Die technischen Voraussetzungen in Form einer breitbandigen Anbindung der Objekte waren grundsätzlich gegeben und wurden auch intensiv genutzt. Der Abruf von objektspezifischen Informationen und Aufzeichnungen zur Ablage und Auswertung auf einem zentralen Server wäre technisch gesehen kein sehr großer Schritt mehr gewesen, aber aufgrund der mangelnden Akzeptanz für ein Monitoring nicht durchführbar. Ohne ausreichend große Anzahl an geeigneten Objekten ist der Aufbau dieser Lösung nicht wirtschaftlich durchführbar.

Erzielte Energiereduzierungen

Trotz vieler Probleme ist der in der Praxis gemessene Energieverbrauch (Objekt Forum⁺) – unter Berücksichtigung einiger Randbedingungen während des ersten Betriebsjahres – von hoher Übereinstimmung mit den simulierten Werten. Dies bescheinigt der Regelungstechnik eine sehr hohe Effizienz.

Die nachfolgende Tabelle veranschaulicht dies:

Monat	von bis Tage (für Auswertung)			Simulation			Wärme																
				Gesamt	BHKW		Gasbrenner		BT AB		BT C		Lüftung		Foyer/Windf.		Treppenh.		Rest/Verlust				
					Heizung	Kühlen	abs.	%	abs.	%	abs.	%	abs.	%	abs.	%	abs.	%	abs.	%	abs.	%	
Januar	1.1	31.1	31	22.961	18.052	41.013	63.999	42.081	65.8%	21.918	34.2%	11.424	17.9%	23.397	36.6%	16.191	25.3%	3.618	5.7%	4.044	6.3%	5.325	8.3%
Februar	1.2	29.2	29	18.295	15.412	33.707	48.079	38.410	79.9%	9.669	20.1%	12.677	26.4%	17.915	37.3%	7.144	14.9%	2.140	4.5%	4.148	8.6%	4.055	8.4%
März	1.3	28.3	28	9.832	22.378	32.210	35.983	34.411	95.6%	1.572	4.4%	9.281	25.8%	12.958	36.0%	5.174	14.4%	1.458	4.1%	3.961	11.0%	3.151	8.8%
April	1.4	30.3	30	5.731	21.889	27.620	20.815	20.744	99.7%	71	0.3%	6.604	31.7%	8.117	39.0%	798	3.8%	1.018	4.9%	2.324	11.2%	1.954	9.4%
Mai	1.5	31.5	31	2.564	28.443	31.007	24.028	22.711	94.5%	1.317	5.5%	448	1.9%	401	1.7%	0	0.0%	94	0.4%	104	0.4%	22.981	95.6%
Juni	1.6	30.6	30	1.740	29.337	31.077	33.180	31.385	94.6%	1.795	5.4%	0	0.0%	13	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	33.167	100.0%
Juli	1.7	31.7	31	1.451	35.022	36.473	26.588	25.113	94.5%	1.475	5.5%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	26.588	100.0%
August	1.8	31.8	31	2.058	29.603	31.661	52.225	31.935	61.1%	20.290	38.9%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	52.225	100.0%
September	1.9	30.9	30	1.467	29.338	30.805	24.859	21.863	87.9%	2.996	12.1%	2.258	9.1%	8.222	33.1%	369	1.5%	288	1.2%	25	0.1%	13.697	55.1%
Oktober	1.10	31.10	31	2.058	27.106	29.164	23.992	23.457	97.8%	535	2.2%	5.558	23.2%	8.584	35.8%	1.503	6.3%	440	1.8%	651	2.7%	7.256	30.2%
November	1.11	30.11	30	12.524	21.229	33.753	43.104	37.679	87.4%	5.425	12.6%	11.871	27.5%	16.125	37.4%	6.606	15.3%	1.288	3.0%	1.780	4.1%	5.434	12.6%
Dezember	1.12	31.12	31	20.033	17.818	37.851	75.526	55.267	73.2%	20.260	26.8%	18.311	24.2%	25.329	33.5%	35.001	46.3%	2.591	3.4%	4.538	6.0%	-10.244	-13.6%
Jahr 2008	363			100.714	295.627	396.341	472.378	342.975	72.6%	65.405	13.8%	67.008	14.2%	97.664	20.7%	56.595	12.0%	9.317	2.0%	17.531	4%	160.264	33.9%

Abbildung 23 – Monitoring - Ergebnisse Forum⁺

Abweichungen:

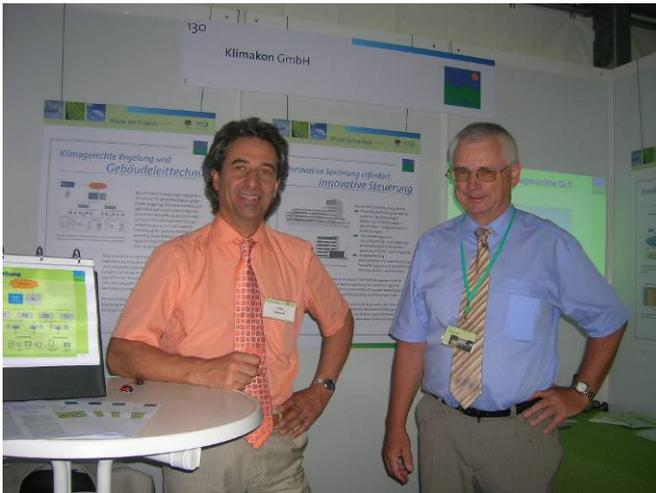
- Im Januar und Februar wurden mehrfach Gebäudeteile durch Lüften wegen Wasserschäden erheblich ausgekühlt.
- Im August wurden aufgrund von Handschaltungen (wegen hydraulischer Probleme in den Deckenelementen und abrutschenden Druckschläuchen) zeitweise Wärme gegen Kälte gefahren
- Im November und v.a. Dezember wurde durch die überhöhte Vorwärmung der Außentemperatur für die Lüftung sehr viel Energie benötigt. Dies liegt an der

ungenügenden Regelungsfähigkeit des Heizregisters aufgrund von Fehlauflösung.

Veröffentlichungen zur Darstellung der Ergebnisse

Die Klimakon hat durch unterschiedliche Maßnahmen die Erkenntnisse aus der Fördermaßnahme einem breiten Publikum zugänglich gemacht:

- Teilnahme an der Woche der Umwelt – eine Initiative des Bundespräsidenten in Zusammenarbeit mit der DBU [05.-06. Juni 2007]



- Abbildung 24: Woche der Umwelt
- v.links: Herr Achim Schreck, Herr Werner Haase
- Vortrag auf der Passivhaustagung in Nürnberg [11.-12. April 2008]
Ortsbesichtigung am 12. April mit Erläuterung der Steuerungstechnik, ca. 60 Teilnehmer
- Vortrag auf der Passivhaustagung in Brno [30.-31. Oktober 2008]
- Greenbuilding-Auszeichnung für das Forum⁺ [März 2007]
- Führungen der Agenda21-Gruppe der Stadt Erlangen zum Forum⁺ [10. Juni 2008] ca. 25 Teilnehmer
- Prospekte der Fa. Mauss Bau
- Internetauftritt der Fa. Mauss Bau

Die Veröffentlichungen werden fortgesetzt!

B4 KOSTEN

Die Kosten für die Entwicklungsmaßnahme haben den geplanten Ansatz überschritten. Daneben konnte die anteilige Finanzierung über die Einnahmen aus den ursprünglich gewählten vier Objekten (wovon zwei durch andere ersetzt wurden) nicht im gewünschten Maße erfolgen.

Die Gesamtprojektvolumen beliefen sich auf etwa 700 T€, wobei darin alleine der Wareneinsatz für Schaltschränke, DDC/GLT und Feldgeräte in Höhe von etwa 430 T€ lag.

Alle Projekte wurden unter üblichen Wettbewerbsbedingungen vergeben und unterlagen somit dem in der Branche üblichen harten Wettbewerb. Innerhalb dieses Rahmens ist es nur im sehr geringen Maße möglich Deckungsbeiträge für Entwicklungsaufwendungen zu erwirtschaften.

Aufgrund der von uns erbrachten Leistungen – die teilweise erheblich über das Maß der Marktbegleiter hinausging – konnte nur das Projekt Omicron kostendeckend abgeschlossen werden!

Worin lagen die Gründe für die Kostenüberschreitungen?

Die Gründe für die Kostenüberschreitung lagen bei:

- Der Unerfahrenheit eines Teils Mitarbeiter mit den Besonderheiten der Mess- und Steuerelementen der Gebäudeautomation und mit dem auf dem Bausektor herrschenden organisatorischen Notwendigkeiten hatten bei den ersten zwei Projekten massiven Zusatzaufwand verursacht
- Wir waren bei den Projekten Forum+ und s.Oliver jeweils mit zwei neuen Aufgabenbereichen konfrontiert (Beschattung und Licht), die kurzfristig eine intensive Einarbeitung in das Thema verlangten und bei der Inbetriebnahme einen hohen Anteil für Überarbeitungen und Nachbesserungen notwendig machte
- Teilweise hatten wir es mit einer extrem hohen Erwartungshaltung des Kunden zu tun, die in keiner Weise durch die Ausschreibung berücksichtigt wurde. Dennoch wurde diesen Anforderungen oft ohne Kostenberechnung im Interesse des Projektes nachgekommen

Wie erfolgte die Finanzierung?

Ab dem Jahre 2009 wurden auch Aufträge auf reiner Dienstleistungsbasis angenommen, die gute Deckungsbeiträge erwirtschaften ließen. Daneben konnten kurzfristig technisch einfachere Gebäudeautomatisierungen verkauft werden, die ebenfalls zu guten Deckungsbeiträgen führten.

Dennoch sind insgesamt – trotz der Förderung durch die DBU - deutliche Verluste eingetreten, die über Gesellschafterdarlehen und eine Erhöhung des Stammkapitals aufgefangen wurden. Für 2010 rechnen wir mit einem positiven Jahresergebnis und schrittweisem Abbau der bisher aufgelaufenen negativen Erträge.

Wie können solche Projekte wirtschaftlich rentabel umgesetzt werden?

Die Analyse der durchgeführten Projekte zeigt folgendes Bild:

- Um so einfacher die Technik (TGA), um so einfacher und von weniger Risiken geprägt ist die Umsetzung
- Umso besser die Planung, um so geringer das Risiko und umso geringer sind die Aufwendungen für die Inbetriebnahme und die Einregulierung der Anlage. Zudem sind nach Abschluss der Inbetriebnahme keine weiteren Änderungen notwendig, die nicht auf Vermietungsbelange zurückzuführen sind
- Nur bei Übertragbarkeit der bestehenden Softwarelösungen auf die vom Kunden geforderten Hardware kann eine kostengünstige Umsetzung erfolgen. Ansonsten sind die Portierungskosten innerhalb eines Projektes finanziell nicht abzufangen
- Wenn der Bauherr in seiner Ausschreibung kein energieoptimiertes System fordert und dafür auch keine spezifischen Aufwendungen (z.B. für Monitoring) ansetzt, kann gegenüber einer klassischen Lösung finanziell kaum konkurriert werden. Erst die reduzierten Folgekosten machen eine solche Lösung wirtschaftlich interessant.
- Für die hydraulischen Lösungen müssen Standards gefunden und bereits vom Hydraulikplaner berücksichtigt werden, damit vorgefertigte Softwaremodule mit angepasster Parametrierung verwendet werden können.

B5 FAZIT

Das Vorhaben, eine vorausschauende und energieeffiziente Steuerung zu realisieren, stellte sich als erheblich schwieriger in der Umsetzung dar, als geplant.

Probleme

Die Gründe hierfür liegen teilweise im organisatorischen bzw. Markt-Umfeld, teilweise in der Technik begründet.

Negative organisatorische Randbedingungen:

- Keine oder wenig Zusammenarbeit zwischen TGA- und MSR-Techniker in der Planungsphase
- Unzureichend ausgearbeitete Funktionsbeschreibung des Planers für den Betrieb der TGA und die notwendige Regelung
- Herstellerspezifische Ausschreibungen (auch wenn formal neutralisiert) erschweren die Wahl des Steuerungssystems bzw. schränken dies sehr ein
- Keine bzw. geringe Standardisierung hydraulischer Konstruktionen
- Unzureichende Akzeptanz der Bauherren für ein Monitoring und den darin liegenden Kosten

Negative technische Randbedingungen:

- Keine freie Wahl des Steuerungssystems
- Keine Übertragbarkeit der Software auf andere Steuerungsplattformen
- Hoher Bedarf bei der Leistungsfähigkeit der Steuerungssystem schränkt die Auswahl der Typen ein bzw. verlangt den Einsatz einer größeren Anzahl an Controllern

Was konnte erreicht werden?

Wettersvorhersage

In zwei der Projekte konnte die Vorausschau auf Basis der lokalisierten Wettervorhersage eingebracht werden und war auch notwendig, wobei die Gründe hierfür unterschiedlich waren:

Forum⁺

Durch die extrem knappe Auslegung der TGA war es notwendig, Bedarfsspitzen über Puffer auszugleichen, weil die direkte Bereitstellung der Energie durch die installierten Komponenten nicht möglich war.

s.Oliver

Hier war die Energiebereitstellung nicht das Problem, weil ausreichend Kapazität und sogar Redundanz installiert war. Das Gebäude war über die Betonkernaktivierung allerdings sehr träge und verlangte darüber eine vorausschauende Regelung.

Die Simulation des Energiebedarfs über ein Gebäudemodell ist zu aufwendig, um die höhere Genauigkeit gegenüber einem einfachen Modell zu rechtfertigen. Eine einfache Tabelle mit typischen Referenzwerten ist hier völlig ausreichend und wurde für das Objekt s.Oliver integriert. Die Module für die Übertragung der Wettervorhersage aus dem Server des Anbieters, die Wandlung in eine Tabelle und Übertragung zu den Steuerungssystemen Plüth oder Wago sind umgesetzt und für weitere Projekte direkt anwendbar.

Beschattungsmodul

Es wurde ein Beschattungsmodul entwickelt, welches über die Berechnung des Sonnenstandes und einer Erfassung der Außenhelligkeit die Beschattung unter energetischen Gesichtspunkten vornimmt. Dieses Beschattungsmodul ist für die zwei Steuerungssysteme Plüth und Wago verfügbar und kann heute mit geringen Aufwendungen auf beliebige Objekte angepasst werden. Es zeichnet sich durch eine weite Parametrierungsmöglichkeit aus, die auch dem Betreiber Optimierungsmöglichkeiten erschließt.

Beleuchtungsmodul

Auf Basis DALI-Bus wurde ein Beschattungsmodul entwickelt, welches mit enocean-Funkkomponenten zusammenarbeitet. Neben der manuellen Steuerung wurden diverse Automatikfunktionen auf Basis Bewegungsmelder, Zeitschaltuhren und Außenhelligkeit implementiert. Eine Konstantlichtregelung befindet sich noch in der Erprobungsphase.

Standardisierte Regelungskomponenten

Wir haben darüber hinaus ein Konzept und standardisierte Module (teilweise nur für Plüth-DDC) für folgende Funktionsbereiche:

- Decken-Heiz-/Kühlelemente an gemeinsamen Versorgungssträngen (4-Leiter)
- Betrieb von Kälteversorgungsaggregaten BHKW/AKM und Freie Kühlung gesteuert über die Witterung (unter Berücksichtigung der Vorhersage)
- Module zur Verwaltung von Pufferspeichern unter Einbeziehung einer Energiebedarfsprognose

Was waren unerwartete Erkenntnisse?

Bei einer grenzwertigen Auslegung der TGA in Hinblick auf die Bereitstellung notwendiger Energien kommt es in seltenen Spitzenlastzeiten zu einem Mangel an notwendiger Energie. Dies führt typischerweise zum Zusammenbrechen typischer Reglerstrukturen, da die physikalischen Voraussetzungen (z.B. ausreichende Temperaturdifferenz) nicht mehr gegeben sind. Durch das partielle Abschalten von Bereichen mit geringer Sollwertabweichung konnten wir die wirklich kritischen Bereiche noch mit ausreichendem Medium versorgen. Dies entspricht einer softwaregesteuerten Mangelverwaltung.

Es gibt zum Teil erhebliche Widerstände des Nutzers gegenüber ungewohnten Restriktionen wie Verbot des Öffnens von Fenstern oder keine manuelle Betätigung der Beschattungseinrichtungen. Dies kann über eine gezielte Aufklärung deutlich reduziert, aber nicht vollständig abgestellt werden. So hatten wir bzw. der Bauherr mit etwa 1% der Nutzer erhebliche Unstimmigkeiten, die sich negativ auf die Akzeptanz für das Gebäude und deren technischer Einrichtungen auswirkten. Dies war meist emotional begründet und auch durch gemeinsame Messungen und Gegendarstellungen nicht auszuräumen.

Wo muss man hinkommen?

Für einen Durchbruch energieoptimierter Regelungssysteme sind folgende Ziele zu erreichen:

Planung

In der Planungsphase werden die wesentlichen Grundlagen für den Erfolg eines Projektes gelegt. Nur wenn in dieser Phase eine enge Zusammenarbeit zwischen TGA-Planer und MSR-Spezialist erfolgt, kann die Lösung den regelungstechnischen Anforderungen gerecht werden.

Die wichtigen Ziele bei der Auslegung der TGA sind:

- Entkopplung der Systeme gegeneinander: So soll z.B. die Nutzung eines Wandlers/Verbrauchers sollte sich nicht auf andere Verbraucher direkt niederschlagen
- Nutzung erprobter Konstruktionen: wiederverwenden erprobter Schaltungen z.B. beim Anschluss von Heiz-/Kühldecken an ein 4-Leiter-System
- In den Ausschreibungen müssen die notwendigen Aufwendungen für ein Monitoring mit Nachregulierung vorgesehen werden.

Kosten

Die Kostenseite ist nur dann konkurrenzfähig mit bestehenden üblichen Steuerungssystemen zu gestalten, wenn die Softwarekosten niedrig gehalten werden können. Durch das Aufsetzen auf einer Standard-Hardware sind diese Kosten marktüblich, stellen also keinen Nachteil dar.

Für die Softwarekosten gilt, dass mit einem eng begrenzten Zeitaufwand bestehende Standardmodule auf die kundenspezifische Anlage projiziert werden müssen. Dies ist bezogen auf einzelne Aggregate (BHKW, AKM, ...) einfach. Schwierig wird es bei den sehr spezifischen Konstruktionen bzgl. der hydraulischen Leitungswege und den damit verschalteten Puffern. Hier müssen bereits durch die Hydraulik standardisierte Lösungen vorgegeben werden, die dann auch auf der Softwareseite über eine reine Parametrierung eingebracht werden können.

Weitere Technische Ziele

Wir halten es für zwingend notwendig, die Benutzeroberflächen für ein solches komplexes Steuerungssystem stärker an die Kenntnisse der Nutzer bzw. deren Vertreter (Hausmeister und FM-Mitarbeiter) zu orientieren. Optimal wären hierfür unterschiedliche Ebenen die zum einem einen Laien eingeschränkte Bedienungsmöglichkeiten ge-

ben, andererseits aber einem Experten sehr umfangreichen Zugriff auf das System erlauben.

Es wäre wünschenswert, dass die Hydrauliksysteme vereinfacht werden. Am besten wäre hier ein modulartiger Aufbau. Wir denken hierbei z. B. an raumweise Energieversorgung aus einem Stockwerksnetz mit Anschluss des Raumes durch eine steuerbare Umwälzpumpe. Jeder dieser Räume hätte dann eine raumweise Temperaturerfassung und Regelungseinheit. Hierdurch könnte sehr präzise die Energiezufuhr gestaltet werden, sehr einfach geregelt werden und dabei zu hohen Umwälzpumpenstromersparnis führen. Außerdem würde durch die genau geregelte Energiezufuhr Energie eingespart. Diese Systeme gibt es derzeit so noch nicht auf dem Markt. Derzeit gibt es etwas Ähnliches von der Firma Wilo für einzelne Heizkörper. Hier ist Entwicklungsbedarf.

Wie beurteilen wir das Ergebnis?

Das Entwicklungsprojekt hat gezeigt, dass es viele Hürden zu überwinden gibt, um ein modulares und energieeffizientes Steuerungssystem zu entwickeln. Die technischen Anforderungen sind mittlerweile bekannt und teilweise gelöst. Wir haben die Hoffnung, über 3-5 weitere Projekte eine weitgehend parametrierbare Softwarelösung, geeignet für die Steuerungssysteme Plüth und Wago, verfügbar zu haben.

Als schwieriger stellen sich die organisatorischen Randbedingungen wie die Information für und die Zusammenarbeit mit den Planer dar, der auch beim Kunden/Betreiber und beim Nutzer die Randbedingungen für ein ökologisch orientiertes System schaffen muss. Hier können wir in einem begrenzten Netzwerk in die richtige Richtung wirken, haben allerdings nicht die Marktposition, weiträumig viel zu bewegen.

Anhänge

Hydraulikschema Forum⁺

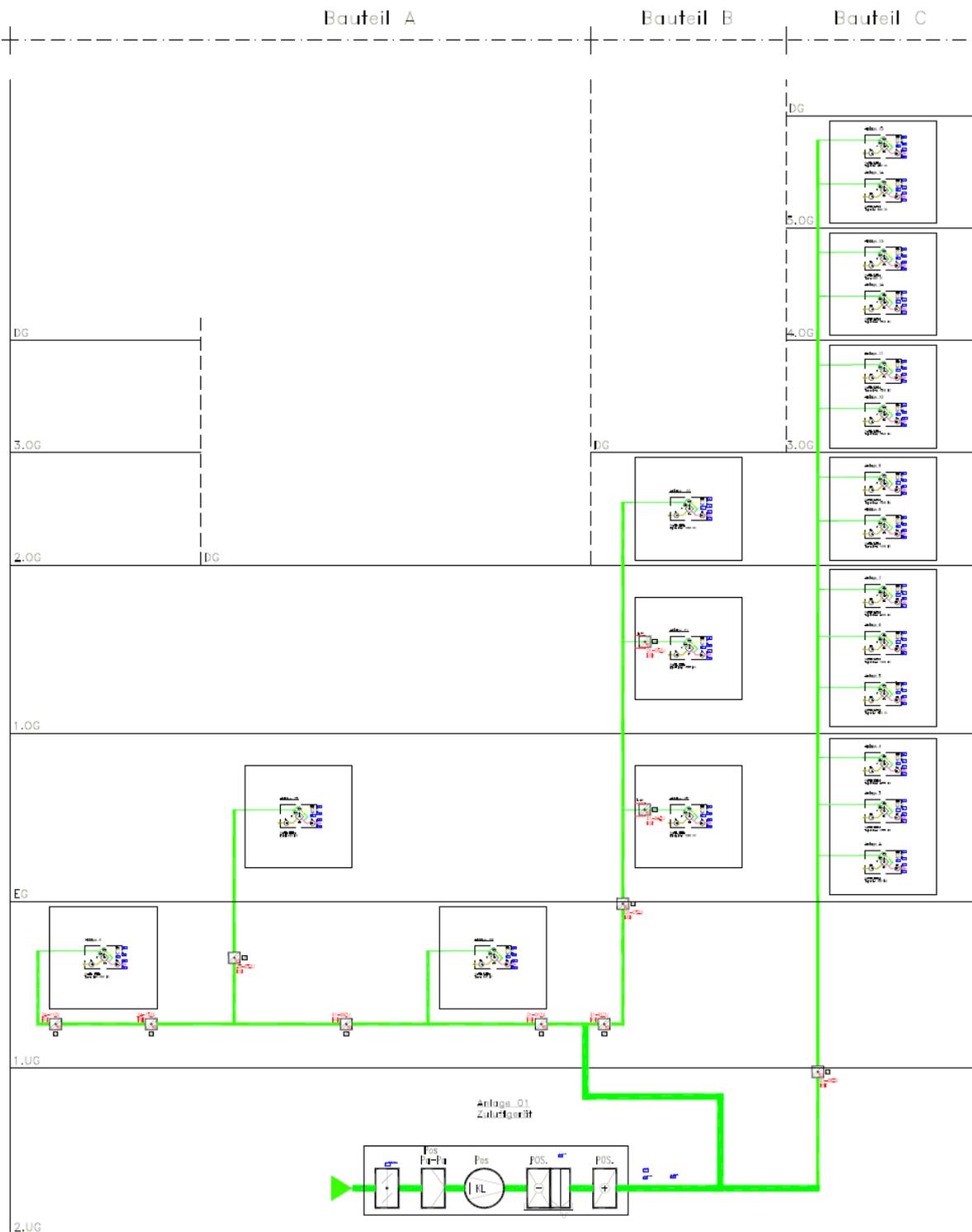


Abbildung 25 - Forum⁺ - Hydraulikschema

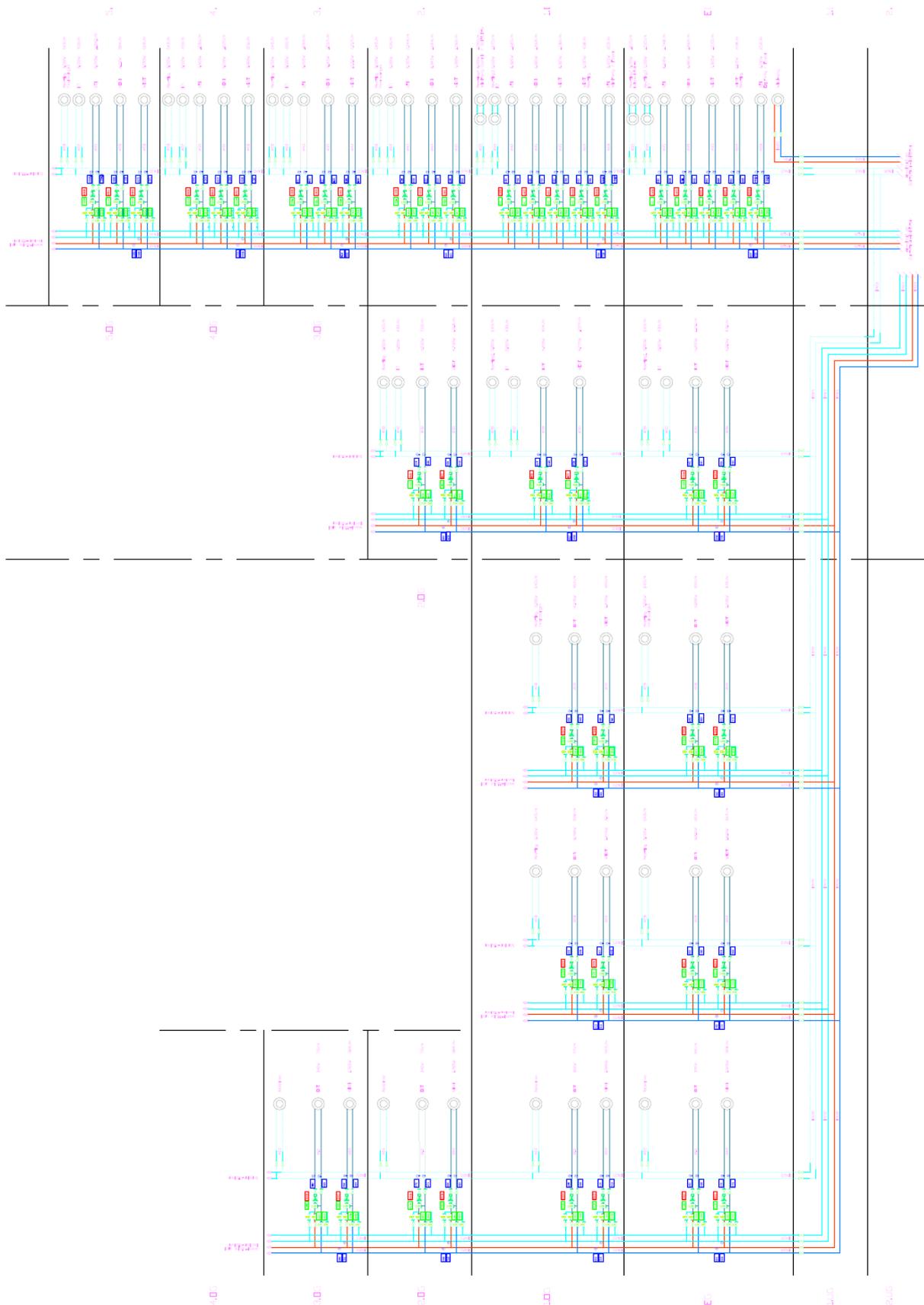


Abbildung 26 - Forum⁺ - Klimatisierungszonen

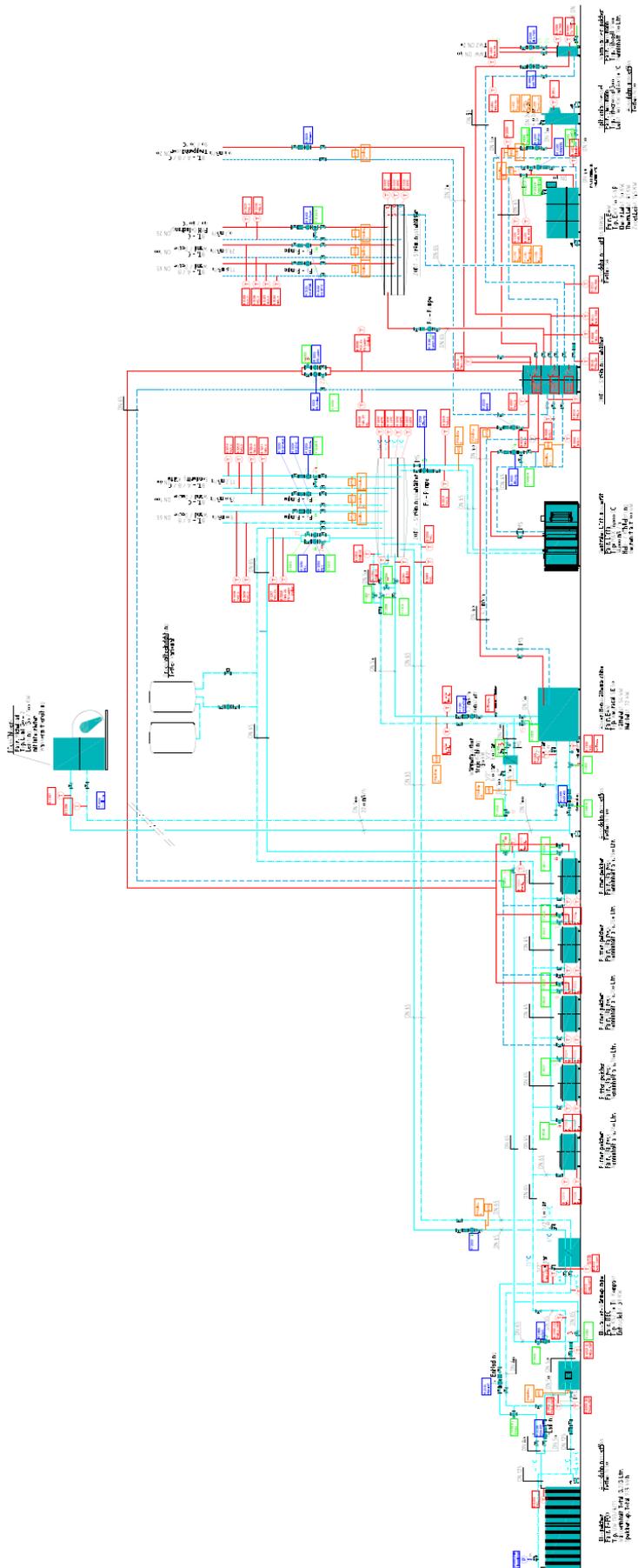


Abbildung 27 - Forum+ - Hydraulik Zentrale

Topologieschema s.Oliver

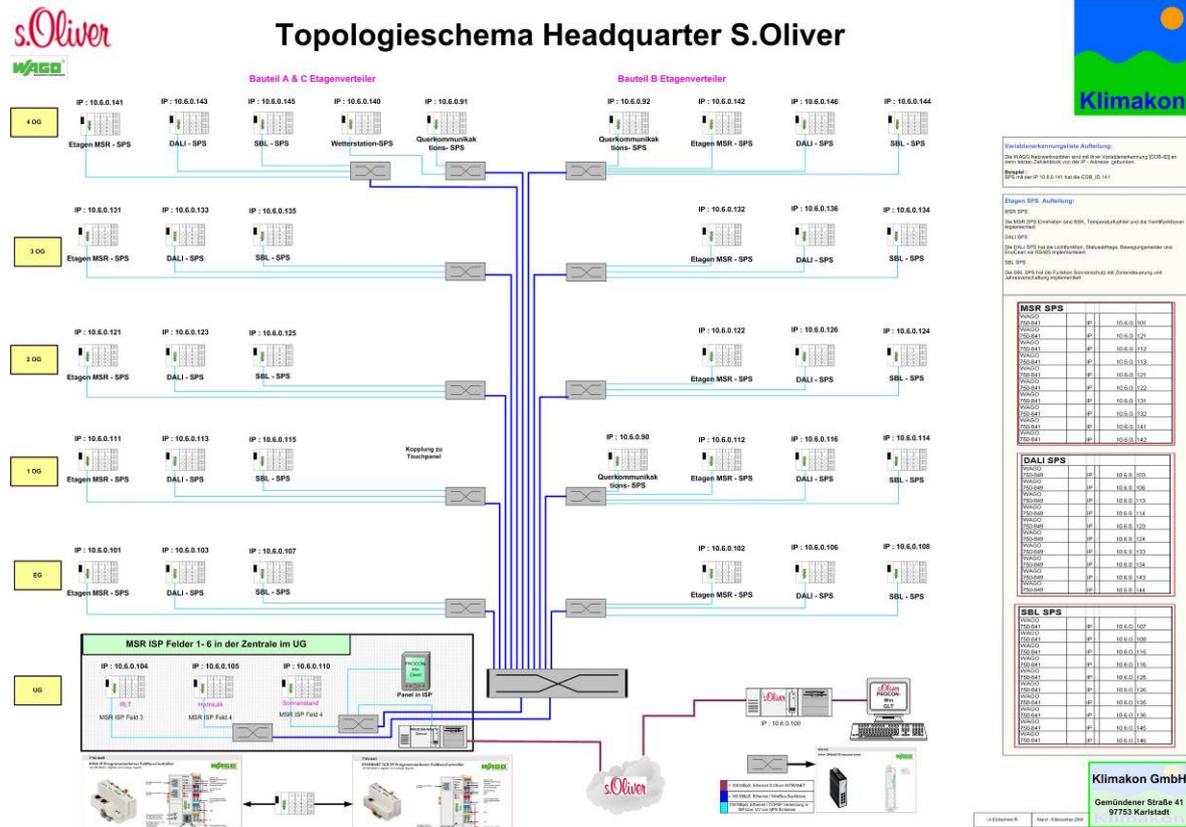


Abbildung 28 - Topologieschema s.Oliver

GLT-Oberfläche s.Oliver

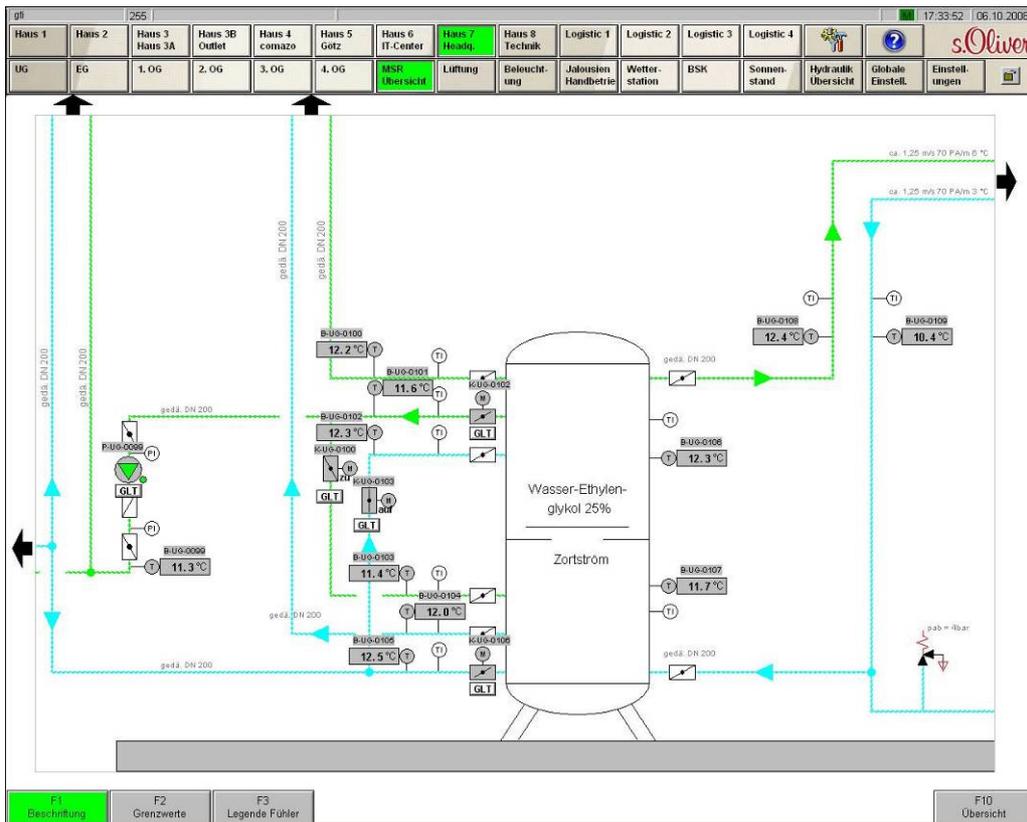


Abbildung 30 - GLT s.Oliver – Pufferspeicher

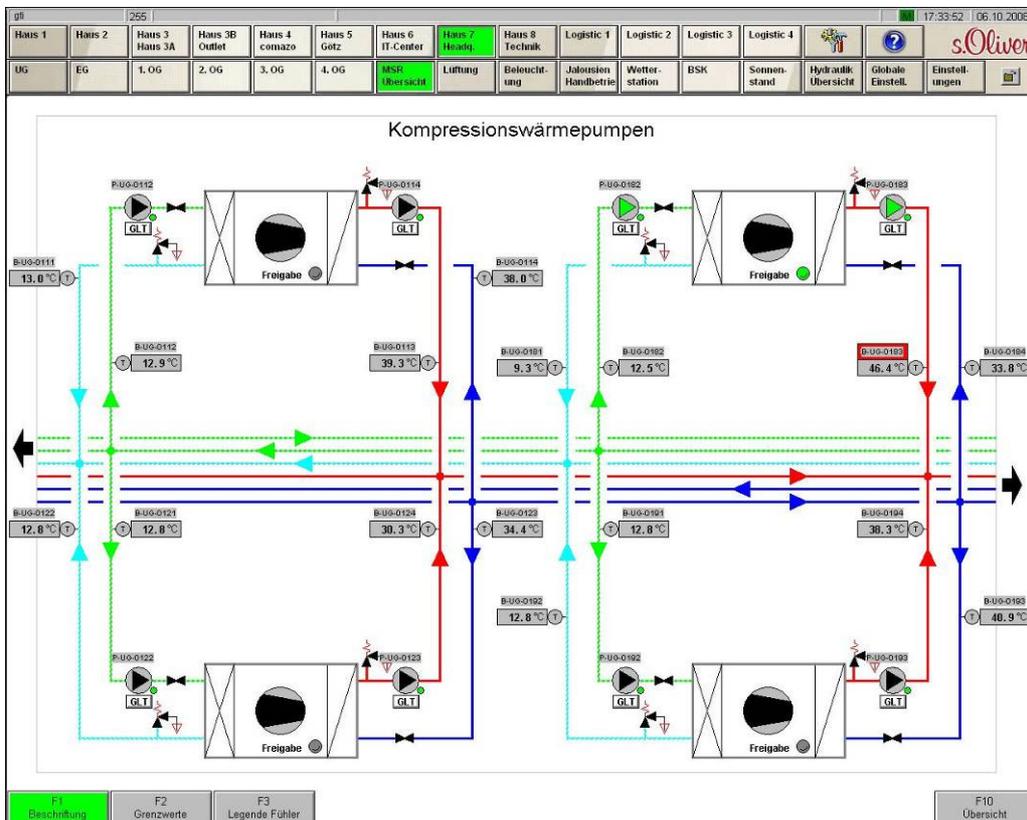


Abbildung 31 - GLT s.Oliver - Wärmepumpen

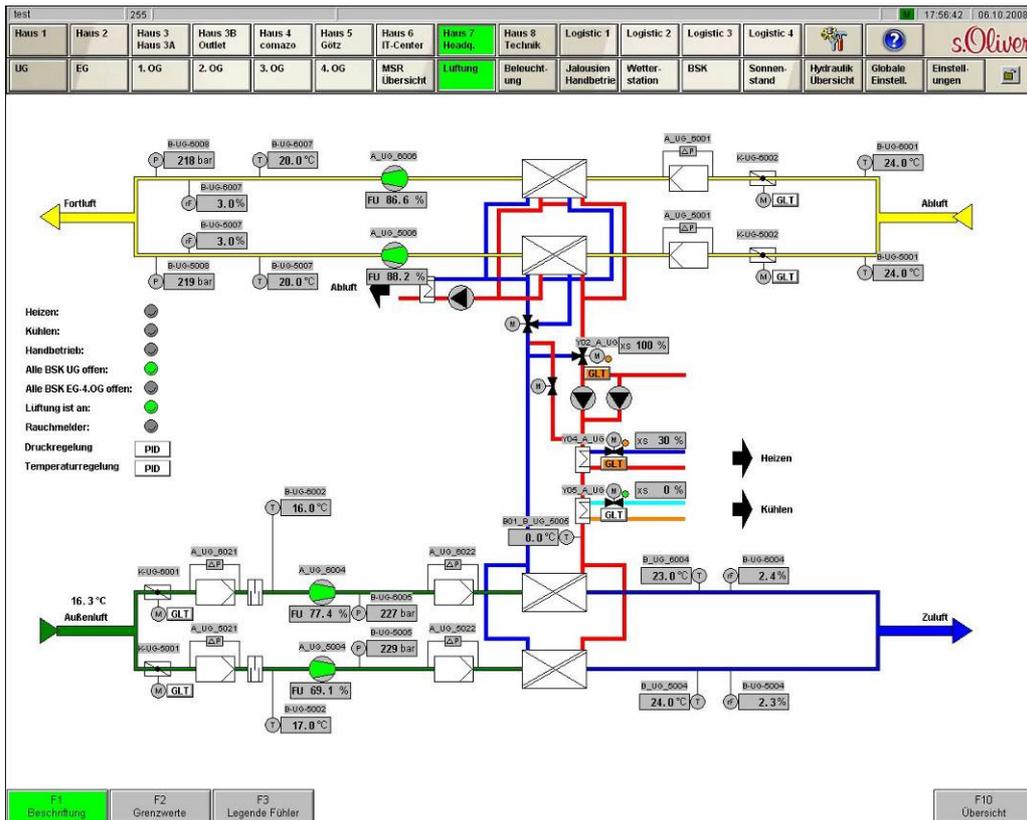


Abbildung 32 - GLT s.Oliver – Lüftungsanlage

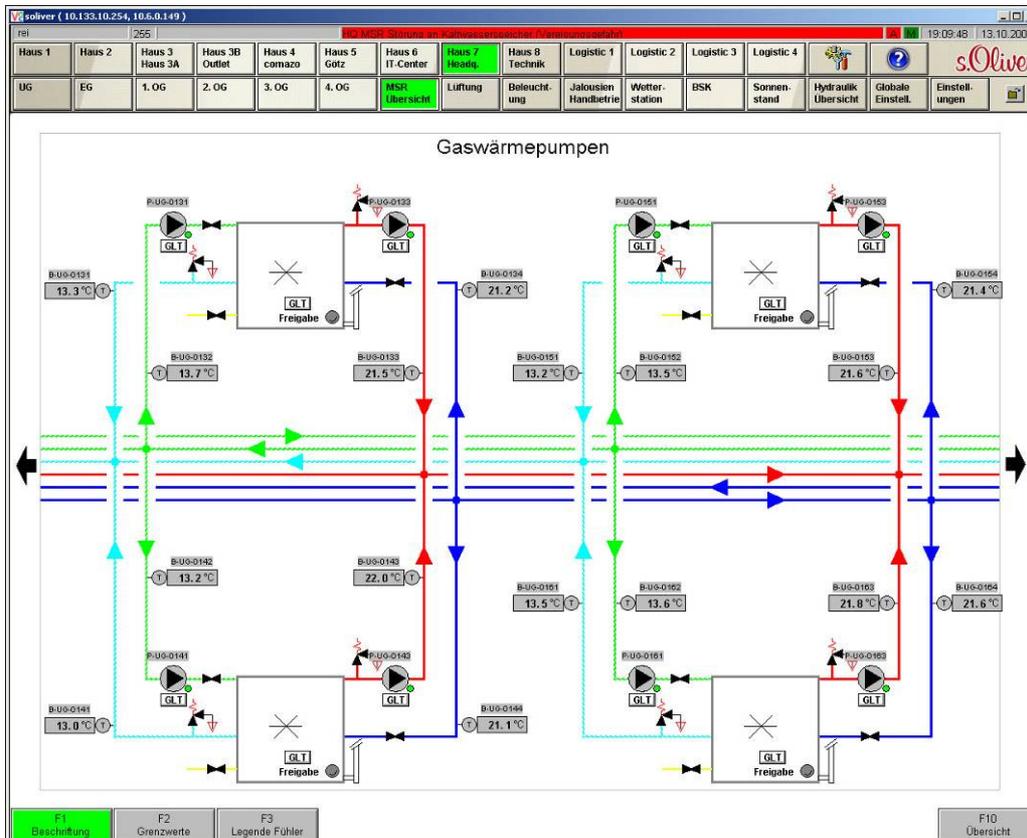


Abbildung 33 - GLT s.Oliver - Gaswärmepumpen

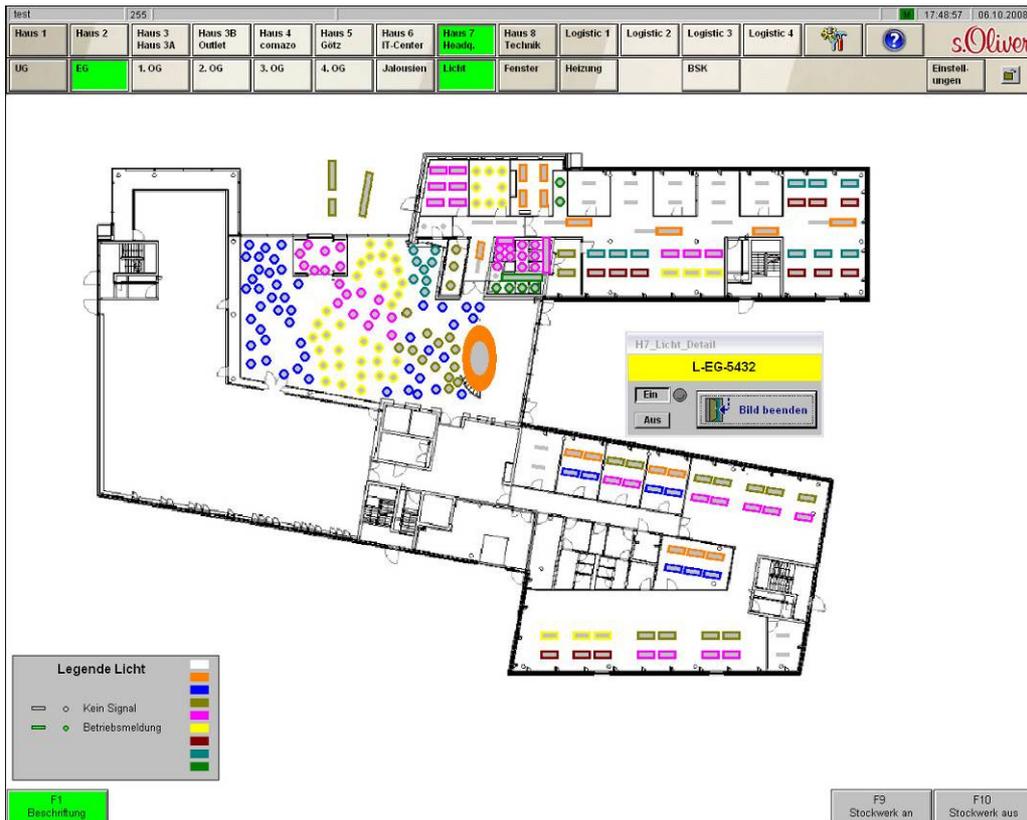


Abbildung 34 - GLT s.Oliver – Beleuchtung

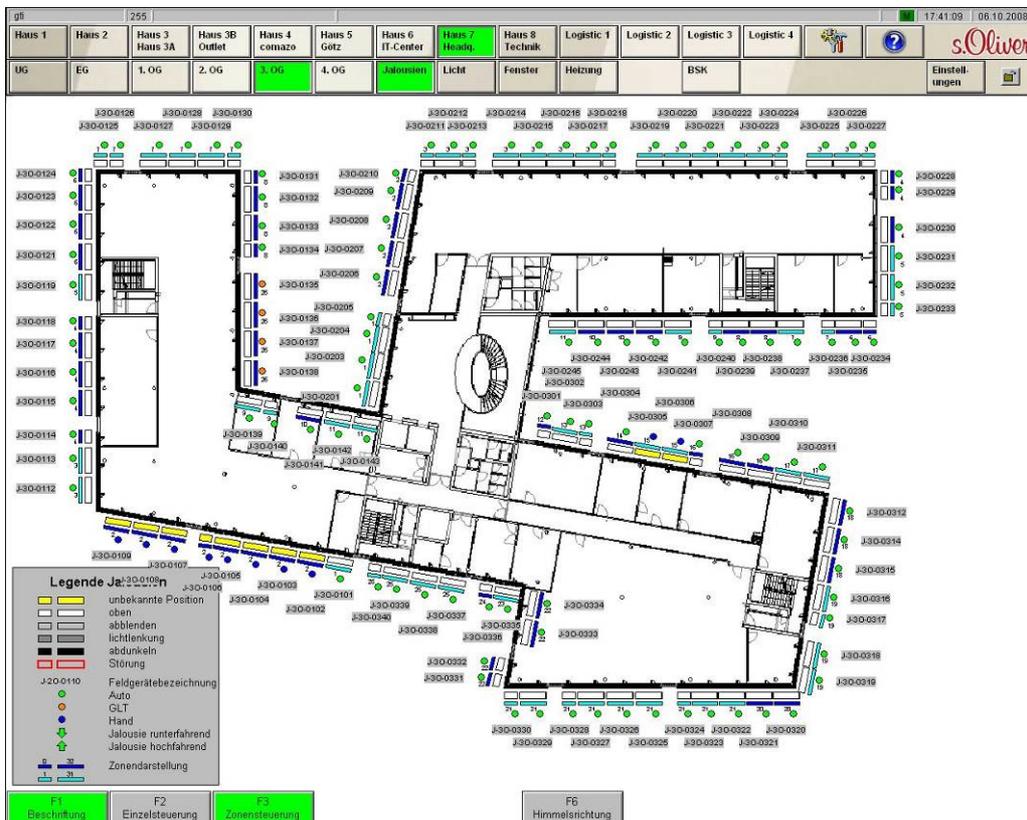


Abbildung 35 - GLT s.Oliver - Beschattung

gl 255 13.20.19 14.10.2008

Haus 1 Haus 2 Haus 3 Haus 3A Haus 3B Outlet Haus 4 comazo Haus 5 Götz Haus 6 IT-Center Haus 7 Headq. Haus 8 Technik Logistic 1 Logistic 2 Logistic 3 Logistic 4

Allgemein? Head-quarter Wettervorhersage Wetterstation SPS Navigation

Wettervorhersage

Zeit UTC	Temp °C	Wind m/s	Glob. Strahlung Wh/m²	Feuchte %	Zeit UTC	Temp °C	Wind m/s	Glob. Strahlung Wh/m²	Feuchte %	Zeit UTC	Temp °C	Wind m/s	Glob. Strahlung Wh/m²	Feuchte %
heute 07:00	9.2	1.1	103.6	95.8	heute+1 07:00	13.1	1.4	57.7	97.2	heute+2 07:00	12.3	1.1	39.3	94.3
heute 08:00	11.9	1.5	271.8	88.2	heute+1 08:00	14.4	1.6	132.3	95.3	heute+2 08:00	13.6	1.6	153.9	88.2
heute 09:00	14.7	1.6	364.3	77.3	heute+1 09:00	15.4	1.6	200.1	92.4	heute+2 09:00	15.3	1.9	191.5	80.0
heute 10:00	17.3	2.1	483.8	68.3	heute+1 10:00	16.6	1.6	280.5	87.8	heute+2 10:00	16.3	1.8	294.4	74.9
heute 11:00	19.2	2.1	569.5	62.4	heute+1 11:00	17.8	1.9	314.1	83.2	heute+2 11:00	17.0	2.1	359.8	70.6
heute 12:00	20.7	2.3	570.9	56.9	heute+1 12:00	18.5	2.0	322.4	81.0	heute+2 12:00	17.2	2.3	331.4	69.7
heute 13:00	21.4	2.2	563.5	54.7	heute+1 13:00	18.6	1.8	306.4	80.0	heute+2 13:00	17.5	1.9	293.8	67.9
heute 14:00	20.5	1.9	447.0	57.2	heute+1 14:00	17.7	1.8	226.6	82.0	heute+2 14:00	17.0	2.1	215.3	69.7
heute 15:00	19.0	1.6	259.4	62.1	heute+1 15:00	16.4	1.3	167.1	87.6	heute+2 15:00	16.1	1.7	141.2	74.5
heute 16:00	17.1	1.3	150.6	70.9	heute+1 16:00	15.0	0.9	86.4	92.3	heute+2 16:00	14.7	1.5	63.5	81.3
heute 17:00	15.0	1.2	21.3	80.8	heute+1 17:00	13.8	0.9	9.9	95.6	heute+2 17:00	14.3	1.7	9.0	83.1
heute 18:00	12.9	1.1	0.0	91.9	heute+1 18:00	12.5	0.8	0.0	98.5	heute+2 18:00	13.5	1.5	0.0	89.7
heute 19:00	11.9	0.8	0.0	97.4	heute+1 19:00	11.8	0.6	0.0	100.0	heute+2 19:00	13.0	1.2	0.0	89.5
heute 20:00	11.2	0.8	0.0	100.0	heute+1 20:00	11.3	0.6	0.0	100.0	heute+2 20:00	12.7	1.6	0.0	91.5
heute 21:00	10.9	0.7	0.0	100.0	heute+1 21:00	11.1	0.5	0.0	100.0	heute+2 21:00	12.6	1.2	0.0	93.0
heute 22:00	10.6	0.7	0.0	100.0	heute+1 22:00	10.9	0.7	0.0	100.0	heute+2 22:00	12.6	1.5	0.0	92.7
heute 23:00	10.5	0.7	0.0	100.0	heute+1 23:00	10.8	0.7	0.0	100.0	heute+2 23:00	12.6	1.3	0.0	91.1
heute+1 00:00	10.4	0.6	0.0	100.0	heute+2 00:00	10.2	0.9	0.0	100.0	heute+3 00:00	12.6	1.5	0.0	90.9
heute+1 01:00	10.4	0.7	0.0	99.3	heute+2 01:00	10.2	1.1	0.0	100.0	heute+3 01:00	12.2	1.6	0.0	91.8
heute+1 02:00	10.4	0.9	0.0	99.1	heute+2 02:00	10.4	1.1	0.0	100.0	heute+3 02:00	12.0	1.7	0.0	91.6
heute+1 03:00	10.1	1.0	0.0	100.0	heute+2 03:00	10.5	0.9	0.0	100.0	heute+3 03:00	12.0	1.6	0.0	92.6
heute+1 04:00	10.5	1.1	0.0	100.0	heute+2 04:00	10.5	0.9	0.0	100.0	heute+3 04:00	11.9	1.8	0.0	95.0
heute+1 05:00	11.5	1.1	0.3	96.1	heute+2 05:00	10.7	0.8	0.1	100.0	heute+3 05:00	11.6	1.5	0.3	97.7
heute+1 06:00	12.2	1.3	2.4	96.8	heute+2 06:00	11.2	1.0	2.1	98.0	heute+3 06:00	12.2	1.7	3.1	95.7
										heute+3 07:00	12.6	1.8	41.0	96.0

F1 GetFTPData F2 Add CR F3 Import

Abbildung 38 - GLT s.Oliver - Wettervorhersage

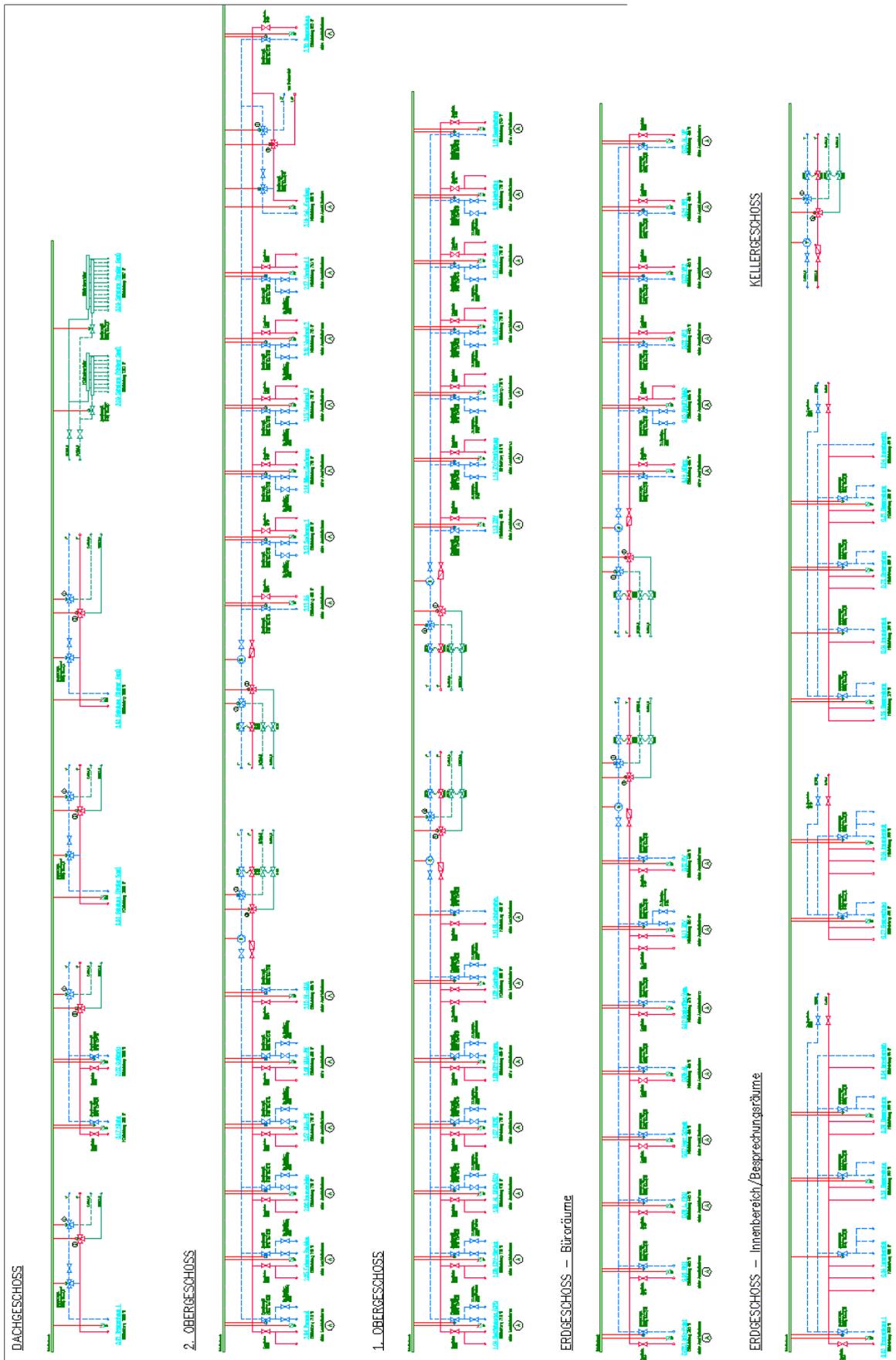


Abbildung 40 - Hydraulikplan Stockwerke VR-Bank

Hydraulikschema Omicron

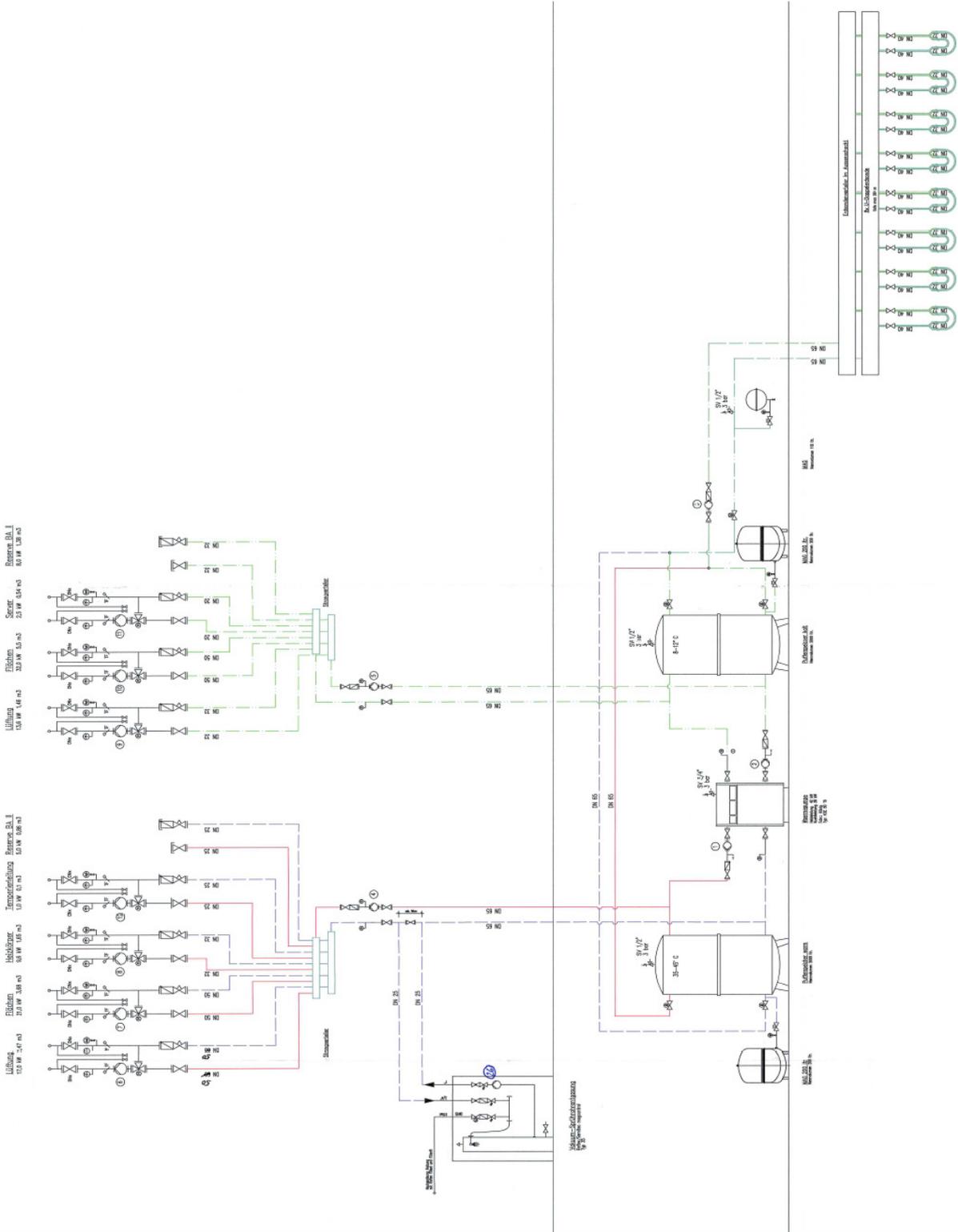


Abbildung 41 - Hydraulikschema Omicron

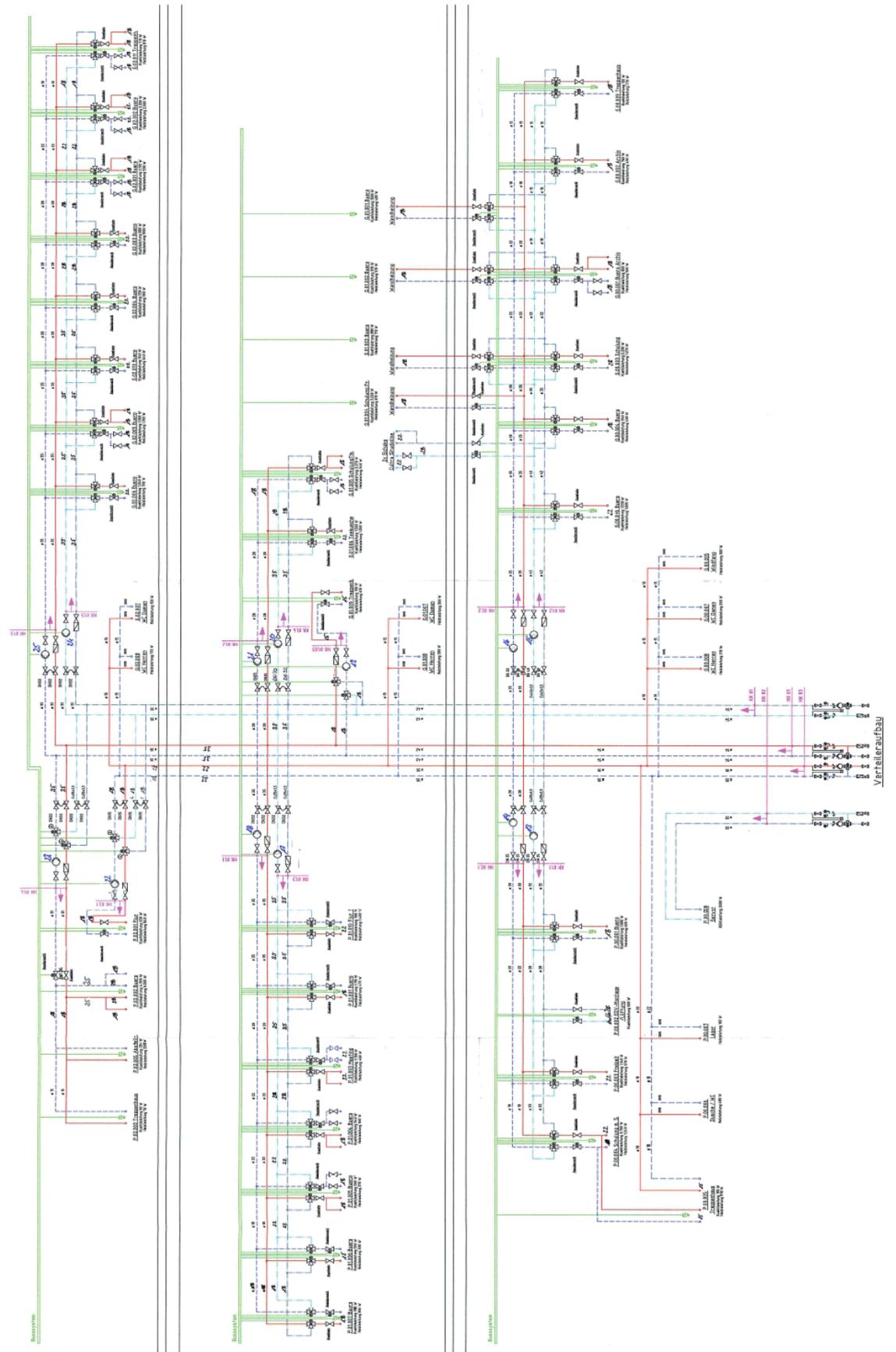


Abbildung 42 - Verteilerschema Omicron

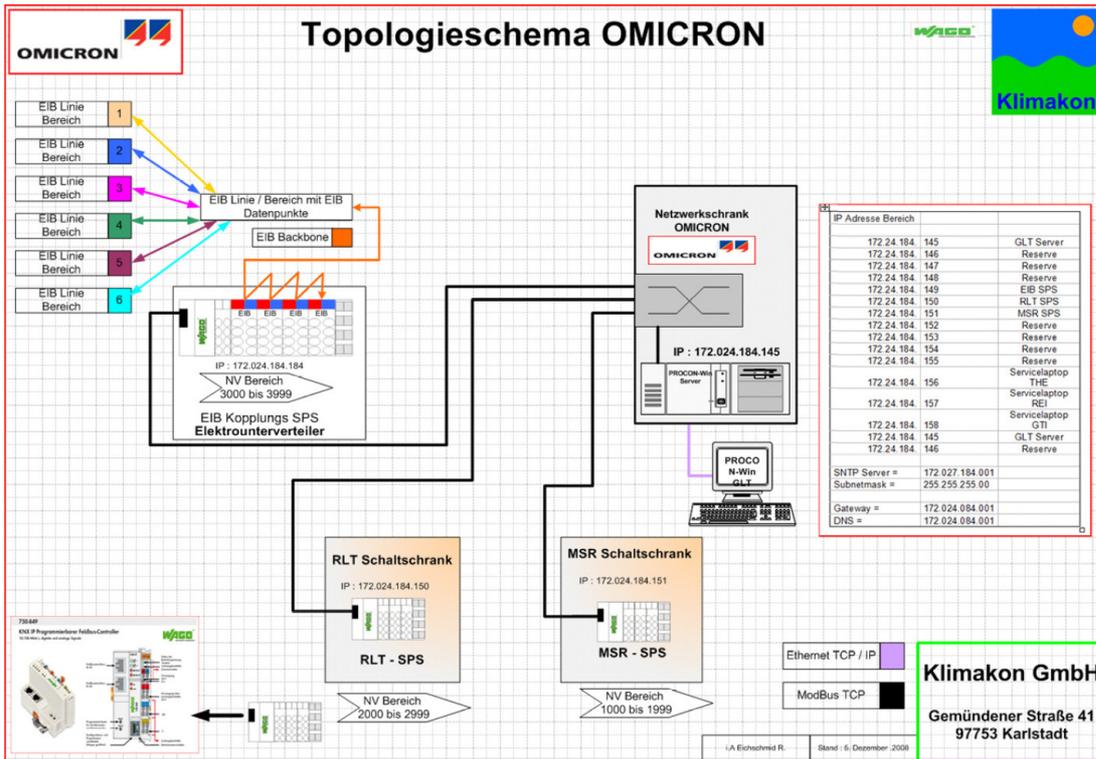


Abbildung 43 - Topologieschema Omicron

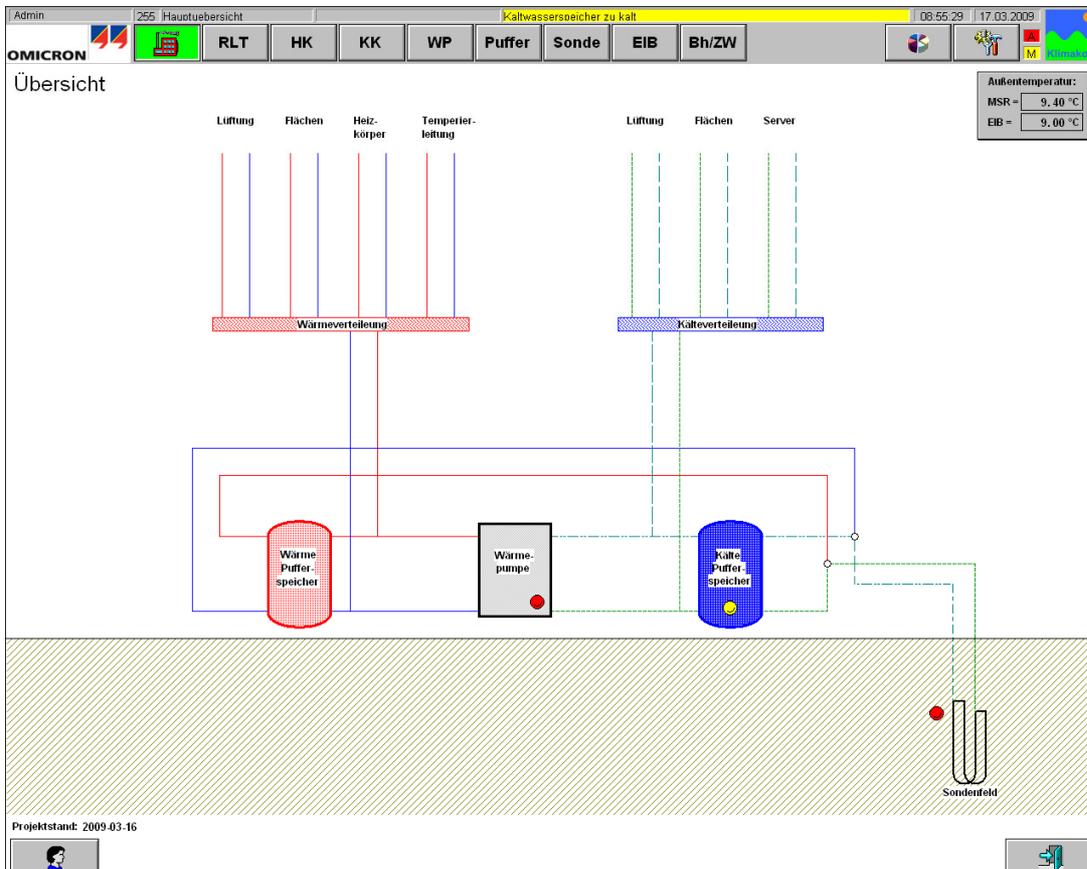


Abbildung 44 - GLT Omicron – Übersicht

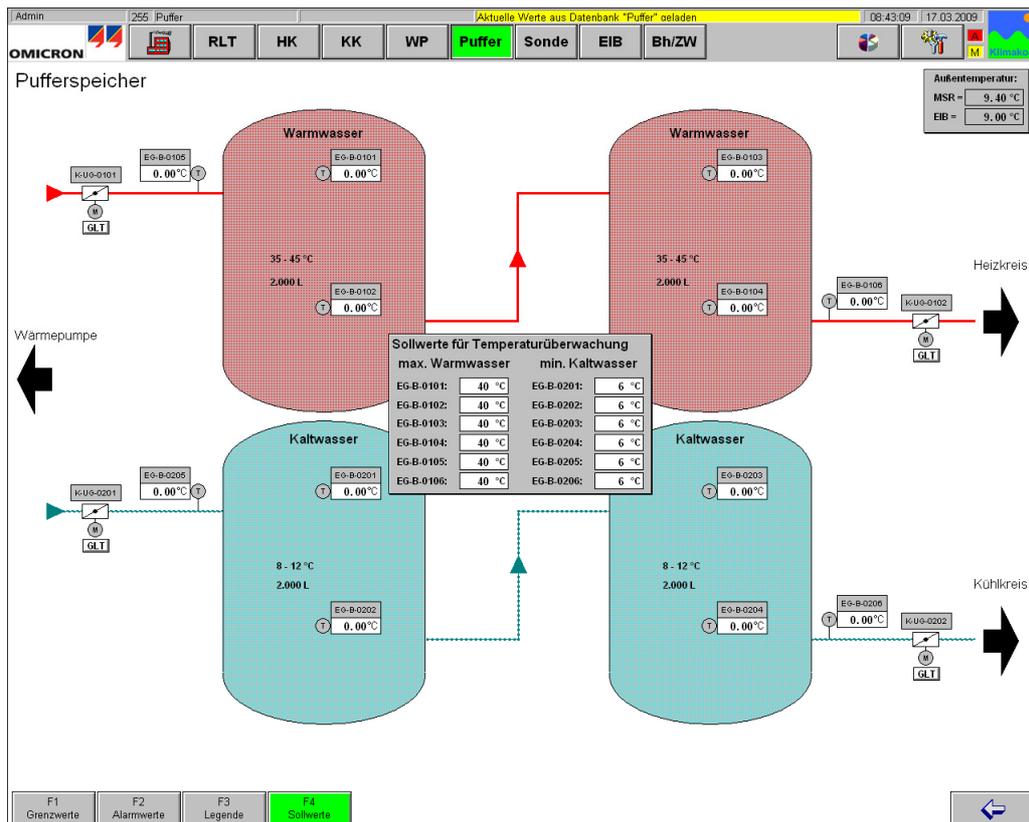


Abbildung 45 - GLT Omicron - Puffer

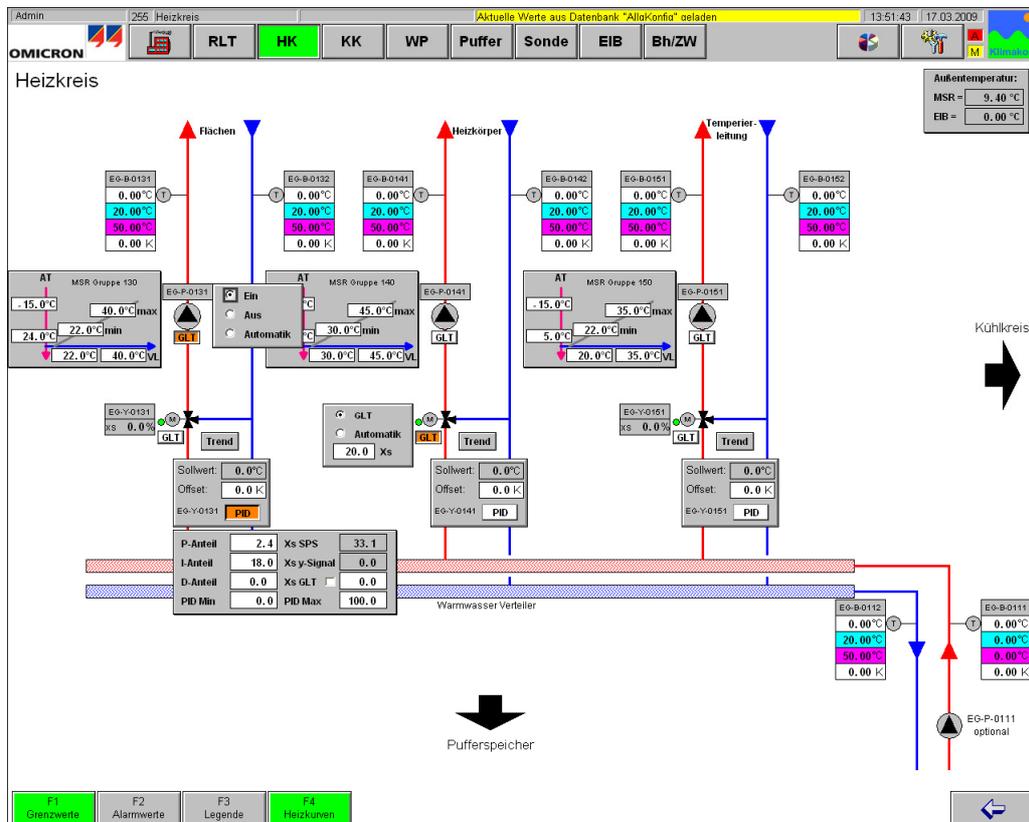


Abbildung 46 - GLT Omicron - Heizkreise