

M. Norbert Fisch, Stefan Plessner, Maik Wussler, David Sauss

**Spec&Check Gebäudeautomation –
Entwicklung und Erprobung einer
Methodik zur Beschreibung, Abnahme
und Überwachung von Funktionen der
Gebäudeautomation**

F 3043

Bei dieser Veröffentlichung handelt es sich um die Kopie des Abschlussberichtes einer vom Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) im Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (BBR) im Rahmen der Forschungsinitiative »Zukunft Bau« geförderten Forschungsarbeit. Die in dieser Forschungsarbeit enthaltenen Darstellungen und Empfehlungen geben die fachlichen Auffassungen der Verfasser wieder. Diese werden hier unverändert wiedergegeben, sie geben nicht unbedingt die Meinung des Zuwendungsgebers oder des Herausgebers wieder.

Dieser Forschungsbericht wurde mit modernsten Hochleistungskopierern auf Einzelanfrage hergestellt.

Die Originalmanuskripte wurden reprotechnisch, jedoch nicht inhaltlich überarbeitet. Die Druckqualität hängt von der reprotechnischen Eignung des Originalmanuskriptes ab, das uns vom Autor bzw. von der Forschungsstelle zur Verfügung gestellt wurde.

© by Fraunhofer IRB Verlag

2017

ISBN 978-3-7388-0052-4

Vervielfältigung, auch auszugsweise,
nur mit ausdrücklicher Zustimmung des Verlages.

Fraunhofer IRB Verlag

Fraunhofer-Informationszentrum Raum und Bau

Postfach 80 04 69
70504 Stuttgart

Nobelstraße 12
70569 Stuttgart

Telefon 07 11 9 70 - 25 00
Telefax 07 11 9 70 - 25 08

E-Mail irb@irb.fraunhofer.de

www.baufachinformation.de

www.irb.fraunhofer.de/tauforschung



Technische
Universität
Braunschweig



TU Braunschweig
Institut für Gebäude-
und Solartechnik
Univ.-Prof. Dr.-Ing.
M. Norbert Fisch
Mühlenpfordtstr. 23
D - 38106 Braunschweig
Tel : 0531 / 391 - 3555
Fax : 0531 / 391 - 8125
e-mail : igs@tu-bs.de
www.tu-bs.de/institute/igs

Forschungsprojekt GA Spec&Check

Spec&Check Gebäudeautomation - Entwicklung und Erprobung
einer Methodik zur Beschreibung, Abnahme und Überwachung
von Funktionen der Gebäudeautomation

Labor:
Zimmerstr. 24b
D - 38106 Braunschweig
Tel : 0531 / 391 - 3635
Fax : 0531 / 391 - 3636



Antragsteller: Technische Universität
Carolo Wilhelmina zu Braunschweig



Institut für Gebäude- und Solartechnik
Univ. Prof. Dr.-Ing. M. Norbert Fisch

Projektbearbeitung: Dr.-Ing. Stefan Plesser (Projektleitung)
Maik Wussler
David Sauss



Kooperationspartner: Westfälische Hochschule
Prof. Dr. rer.-nat. Manfred Büchel
Sebastian Scharf



Förderung: F20-13-1-127 / 10.08.18.7-14.37



Datum: 16.12.2016

I. KURZFASSUNG

Da Gebäude derzeit rund 40% der globalen CO₂-Emissionen verursachen, lassen sich die zur Bekämpfung des Klimawandels notwendigen Reduzierungen nur durch eine Optimierung des Gebäudebestands erreichen. Die dafür notwendigen Technologien sind verfügbar. Gebäudeautomationssysteme, die heute in Verbindung mit fast jedem gebäudetechnischen Gewerk eingesetzt werden, spielen dabei eine zentrale Rolle: Sie können für einen deutlich geringeren Energieverbrauch der gebäudetechnischen Anlagen sorgen. Deshalb kommt ihnen eine Schlüsselstellung beim Bau und Betrieb von innovativen, ressourcenschonenden Gebäuden zu.

Wissenschaftliche Studien konnten allerdings auch immer wieder zeigen, dass die Effizienzpotenziale solcher Gebäude in der Praxis deutlich hinter den theoretisch ermittelten Werten zurückbleiben. Dies liegt vor allem an der Komplexität der Gebäudetechnik und an einem mangelhaften Qualitätsmanagement, das vorhandene Fehlfunktionen unentdeckt lässt oder nicht vermeiden kann.

An dieser entscheidenden Stelle fehlt bisher ein praktikables Konzept für ein Qualitätsmanagement. Eine neue Methodik ermöglicht nun erstmals effektive Prüfungen der Gebäudeperformance. Anhand sogenannter Aktiver Funktionsbeschreibungen lassen sich Funktionen von Automationssystemen präzise spezifizieren und im Betrieb automatisiert überprüfen.

Die Methodik Aktiver Funktionsbeschreibungen wurde in diesem Projekt auf die Planungs- und Bauprozesse in der Praxis übertragen und bei einzelnen Anlagen in insgesamt 6 Gebäuden erprobt. Die Anwendung zeigte eine robuste Anwendbarkeit und ein Potential zur Fehlererkennung, dass die Möglichkeit einer wirtschaftlichen Anwendung in der Praxis nahelegt. Für die untersuchten Anlagen wurden Einsparpotenziale festgestellt, die in Bezug auf die Kosten der Qualitätsprüfungen **Amortisationszeiten von unter einem Jahr** ermöglichen. Es wurden **Vermeidungskosten von 0,04 €/kWh_{PE} bzw. 150 €/t_{CO2}** ermittelt.

Die intelligente Konzeption der Methodik ermöglicht dies durch eine fast vollständige Digitalisierung des gesamten Prüfprozesses. So waren die Prüfer z.B. zu keinem Zeitpunkt vor Ort. Zudem wurde keinerlei zusätzliche Messtechnik installiert. Damit die Vorteile der Methodik für Bauherren nutzbar gemacht werden können, müssen sie nun in attraktive Dienstleistungskonzepte übertragen werden.

II. INHALTSVERZEICHNIS

I.	Kurzfassung	2
II.	Inhaltsverzeichnis	3
III.	Begriffe	6
IV.	Abbildungsverzeichnis	7
V.	Tabellenverzeichnis	9
1	Einleitung	10
2	Synopse zu Stand der Technik und des Wissens	11
2.1	Qualität für Gebäudeautomationsysteme	11
2.1.1	HOAI – Honoararordnung für Architekten und Ingenieure	11
2.1.2	VOB – Vergabe- und Vertragsordnung für Bauleistungen	12
2.1.3	VDI 3814 und DIN 16484	13
2.1.4	Handbuch Gebäudeautomation Allgemeiner Umdruck Nr. 173 (HB GA)	13
2.1.5	Bewertungssystem nachhaltiges Bauen	14
2.1.6	VDI E 6041 „Facility-Management - Technisches Monitoring von Gebäuden und gebäudetechnischen Anlagen“	14
2.1.7	VDI 6039 „Inbetriebnahmemanagement für Gebäude“	14
2.1.8	AMEV EnMess 2001	14
2.1.9	AMEV Gebäudeautomation 2005	15
2.1.10	ILK Dresden: Checkliste für die Abnahme von Klima- und Lüftungsanlagen	15
2.1.11	Zertifizierungssysteme	15
2.2	Spezifikationskonzepte für Gebäudeautomationssysteme	16
2.2.1	Automationsschemata, Funktionslisten	16
2.2.2	Funktionspläne	22
2.2.3	Zustandsbeschreibungen	26
2.2.4	Verbale Funktionsbeschreibungen	33
2.3	Die Realität: Qualitätsprobleme in der Gebäudeautomation	34
2.4	Umfrage zur Praxis	35
2.4.1	Ergebnisse der Erfahrungsumfrage	36
2.5	Zusammenfassung und Zieldefinitionen	37
3	Aktive Funktionsbeschreibungen	38
3.1	Sollwerte: Die Spezifikation	39
3.1.1	Betriebsregeln BR und Eigenschaften	39
3.1.2	Zustandsräume ZR und Betriebszustände BZ	39
3.2	Istwerte: Betriebsdaten	42
3.3	Prüfmethodik	43
3.3.1	Auswertung von Zustandsräumen	43

3.3.2	Zustandsindikator	44
3.3.3	Betriebsgüte	44
3.3.4	Darstellung von Prüfergebnissen	46
3.4	Wirkung in das Projekt	46
3.5	Anwendung am Bau	46
3.5.1	Anwendung im Neubau	46
3.5.2	Anwendung im Bestand	47
4	Pilotanwendung in 6 Gebäuden	48
4.1	Beispielgebäude Bibliothek	49
4.1.1	Bestandsaufnahme	49
4.1.2	Erstellung der Funktionsbeschreibungen	50
4.1.3	Prüfung der Betriebsdaten	59
4.2	Beispielgebäude Celler Badeland	64
4.2.1	Bestandsaufnahme	64
4.2.2	Erstellung der Funktionsbeschreibungen	66
4.2.3	Prüfung der Betriebsdaten	68
4.3	Beispielgebäude Deutsche Bundesbank	71
4.3.1	Bestandsaufnahme	71
4.3.2	Erstellung der Funktionsbeschreibungen	72
4.3.3	Prüfung der Betriebsdaten	73
4.4	Beispielgebäude Energy Campus STIEBEL ELTRON	77
4.4.1	Bestandsaufnahme	77
4.4.2	Erstellung der Funktionsbeschreibungen	80
4.4.3	Prüfung der Betriebsdaten	81
4.5	Beispielgebäude Verkaufsmarkt	83
4.5.1	Bestandsaufnahme	83
4.5.2	Erstellung der Funktionsbeschreibungen	84
4.5.3	Prüfung der Betriebsdaten	85
4.6	Beispielgebäude Hörsaalgebäude Westfälische Hochschule	86
4.6.1	Bestandsaufnahme	87
4.6.2	Erstellung der Funktionsbeschreibungen	89
4.6.3	Prüfung der Betriebsdaten	90
5	Evaluation und Prozesskonzept	92
5.1	Technisch-wirtschaftliche Evaluation	92
5.2	Evaluation der praktischen Anwendung	94
5.3	Empfehlungen für die praktische Anwendung	98
6	Zusammenfassung und Fazit	100
7	Anhang	103
7.1	LV-Texte für Errichterleistungen der TGA und GA	103
7.1.1	Einrichtung virtueller Datenpunkte für die Kennzeichnung von Betriebszuständen	103
7.1.2	Einrichtung des Exports von Betriebsdaten	103
7.2	Funktionsbeschreibungen und Prüfgrößen für Anlagen	107



7.2.1	Prüfungsumfang BHKW	109
7.2.2	Gasbrennwertkessel	110
7.2.3	Prüfungsumfang multivalente Anlage aus BHKW, Gasbrennwertkessel und Speicher	111
7.2.4	Prüfungsumfang Wärmepumpe	112
7.2.5	Prüfungsumfang Heizkreis	113
7.2.6	Prüfungsumfang Kompressionskältemaschine	114
7.2.7	Prüfungsumfang Teilklimaanlage mit Zulufttemperaturregelung und WRG	115
7.2.8	Prüfungsumfang Raumklima	115
7.3	Berechnung der technisch-wirtschaftlichen Indikatoren	116
7.3.1	Bibliothek	116
7.3.2	Deutsche Bundesbank Bielefeld	118
7.3.3	Energy Campus STIEBEL ELTRON	119
7.3.4	Verkaufsmarkt	120
7.3.5	Hörsaalgebäude Westfälische Hochschule	122
7.4	Projekt-Workshops	123
7.5	Fragebogen: Qualitätsmanagement in der Gebäudeautomation	124
7.6	Ergebnisse der Expertenbefragungen	125
7.7	Aktive Funktionsbeschreibungen der Pilotanwendungen	127
7.8	Literatur	127

III. BEGRIFFE

AFB	Aktive Funktionsbeschreibung
BZ	Betriebszustand
BR	Betriebsregel
FM	Facility Management
GA	Gebäudeautomation
HOAI	Honorarordnung für Architekten und Ingenieure
MSR	Mess-, Steuer- und Regelungstechnik
TGA	Technische Gebäudeausrüstung
VOB	Vergabe- und Vertragsordnung für Bauleistungen
ZM	Zustandsmarker
ZR	Zustandsraum

IV. ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 1	Ausschnitt aus den IWG-Empfehlungen (1968)	17
Abbildung 2	Beispiel für ein Automationsschema (Quelle: DIN EN ISO 16484-3:2005 (D))	20
Abbildung 3	Beispiel für einen Funktionsplan. Quelle: DIN V 40719-60:1986-11, Bild 15	23
Abbildung 4	Beispiel für einen Funktionsbaustein aus DIN EN ISO 16484-3. Die grafische Darstellung wird ergänzt durch erläuternden Text. Diese Art von Beispielen in der Norm ist „informativ“, nicht „normativ“.	24
Abbildung 5	Beispiel für die Beschreibung eines Funktionsbausteins in VDI 3813-2. Die grafische Darstellung wird ergänzt durch erläuternden Text.	25
Abbildung 6	Beispiel für ein Automationsschema aus VDI 3813-3 zur Beschreibung einer Raumautomationslösung	25
Abbildung 7	Beispiel für einen Programmablaufplan, hier die Beschreibung des Routing eines BACnet-Telegramms aus DIN EN ISO 16484-5.	28
Abbildung 8	Programmablaufplan für eine mögliche Kombination aus den drei Zuständen „AUS“, „Anfahrbetrieb“ und „Normalbetrieb“ einer einfachen RLT-Anlage.	29
Abbildung 9	Darstellung eines Zustands nach VDI 3814-6	30
Abbildung 10	Ein Zustandsgraph („Statechart“) aus DIN EN ISO 16484-5. Es wird der Algorithmus dargestellt, der lt. BACnet-Standard die Übergänge zwischen den drei Zuständen Normal, High_Limit und Low_Limit verwaltet. Aktionen werden in diesem Beispiel nicht festgelegt	31
Abbildung 11	Zustandsgraph für dasselbe Beispiel wie der PAP in Abbildung 8. Der Hinweis auf die Tabelle anstatt einer Aufzählung von einzelnen Aktionen bezieht sich auf dieselbe Tabelle (Tabelle 1), die bereits als Ergänzung zum PAP erstellt wurde.	31
Abbildung 12	Ein Beispiel für die Umsetzung eines Zustandsgraphen in ein Steuerungsprogramm mit Hilfe der Programmiersprache AS	33
Abbildung 13	Auszug aus den Ergebnissen der Erfahrungsumfragen	37
Abbildung 14	Das methodische Prinzip des Qualitätsregelkreises	38
Abbildung 15	Ursprüngliche Darstellung des Zustandsgraphen nach VDI 3814-6 und Erläuterungen (rot)	41
Abbildung 16	Vereinfachte Darstellung des Zustandsgraphen	41
Abbildung 17	Datentransformation von der Gebäudeautomation zum Monitoring	43
Abbildung 18	Prinzip des Vergleichs und der Bewertung von Spezifikation (SOLL) und Betrieb (IST)	45
Abbildung 19	Prinzip der Prüfung der Übereinstimmung von Spezifikation (SOLL) und Betrieb (IST) sowie der Aggregation der Prüfergebnisse	46
Abbildung 20	Vereinfachte Darstellung des Energiekonzepts des Bibliotheksgebäudes	50
Abbildung 21	Darstellung eines vereinfachten Funktionsschemas	51
Abbildung 22	Anlagenschema und Datenpunktliste "Heizkreis RLT 6. OG" (Auszug Export-Dokument Softwaredemonstrator)	52

Abbildung 23 Auszug aus dem Ablaufdiagramm zur Anlagenfreigabe des Heizkreises "H09 RLT 6. OG"	53
Abbildung 24 Spezifikation im Softwaredemonstrator	54
Abbildung 25 Auswertung der Betriebsregeln im Betriebszustand BZ00 Aus	55
Abbildung 26 Auszug aus der Regelstruktur der Temperaturregelung des Heizkreises "H09 RLT 6. OG"	55
Abbildung 27 Auszug aus der Funktionsbeschreibung des Heizkreises "HK09 RLT 6. OG" mit den Parametern der Vorlauftemperaturkennlinie	56
Abbildung 28 Darstellung der Implementierung der Vorlauftemperaturkennlinie des Heizkreises „HK09 RLT 6. OG“ im Softwaredemonstrator	56
Abbildung 29 Spezifikation im Softwaredemonstrator	58
Abbildung 30 Auswertung der Betriebsregeln im Betriebszustand BZ01 Normalbetrieb	59
Abbildung 31 Celler Badeland	64
Abbildung 32 Funktionsschema der Heizzentrale im Celler Badeland	66
Abbildung 33 Bundesbank Bielefeld	71
Abbildung 34 Energy Campus © Stiebel Eltron	77
Abbildung 35 Schematisches Energieversorgungskonzept des Stiebel Energy Campus für den Winter- (oben) und den Sommerfall	79
Abbildung 36 WPF27HT, Zustandsmarker und Spezifikationen	80
Abbildung 37 WPF66, Zustandsmarker und Spezifikationen	80
Abbildung 38 Automationsschema des Lüftungszentralgeräts des untersuchten Verkaufsmarkt	83
Abbildung 39 Rekonstruktion der witterungsgeführten Abluft- bzw. Raumlufttemperaturkennlinie	84
Abbildung 40 Untersuchtes Teilklimazentralgerät der Westfälischen Hochschule Gelsenkirchen	86
Abbildung 41 Grafische Darstellung der witterungsgeführten Ablufttemperaturkaskade	87
Abbildung 42 Automationsschema des untersuchten Teilklimazentralgeräts	88
Abbildung 43 Zustandsgraph nach VDI 3814-6 des untersuchten Teilklimazentralgeräts. Die den Zuständen zugeordneten Aktionen sind nicht eingetragen.	88
Abbildung 44 Der Betriebszustand „Stillstandbetrieb“ (BZ00:Aus)	89
Abbildung 45 Der Betriebszustand „Normalbetrieb“ (BZ01:Normalbetrieb)	89

V. TABELLENVERZEICHNIS

Tabelle 1	Ausgangszuweisungen (Aktionen) der Steuerung für die drei möglichen Zustände im Beispiel.	29
Tabelle 2	Beispiele für Qualitätsdefizite und Optimierungspotenziale im Gebäude- und Anlagenbestand	35
Tabelle 3	Arbeitsschritte für die Anwendung Aktiver Funktionsbeschreibungen	47
Tabelle 4	Liste der Gebäude und der im Projekt bearbeiteten Anlagen	48
Tabelle 5	Bearbeitungsumfang Bibliothek	49
Tabelle 6	Bearbeitungsumfang Celler Badeland	64
Tabelle 7	Ablauf zur Bewertung und Analyse der Probetriebsphase	66
Tabelle 8	Zusammenfassung der Betriebsarten und der zugeordneten Betriebszustände der Heizzentrale	67
Tabelle 9	Bearbeitungsumfang Deutsche Bundesbank	71
Tabelle 10	Bearbeitungsumfang Energy Campus STIEBEL ELTRON	77
Tabelle 11	Bearbeitungsumfang Verkaufsmarkt	83
Tabelle 12	Bearbeitungsumfang Westfälische Hochschule	86
Tabelle 13	Liste der Gebäude und der im Projekt bearbeiteten Anlagen	92
Tabelle 14	Indikatoren der technisch-wirtschaftlichen Bewertung,	93
Tabelle 15	Kriterienprüfung (Bewertungen sind rot markiert)	95
Tabelle 16	Kriterienprüfung der Anwendung des Digitalen Prüfstands (Bewertungen sind rot markiert)	96
Tabelle 17	Bearbeitungsschritte bei der Anwendung Aktiver Funktionsbeschreibungen	98
Tabelle 18	Akteure für mögliche Anwendungen der Aktiven Funktionsbeschreibung	99

1 EINLEITUNG

Grundthese für dieses Projekt war, dass eine Verbesserung der technischen Gebäudeperformance nur erreicht werden kann, wenn diese als messbare Größe definiert und geprüft wird. Aktive Funktionsbeschreibungen ermöglichen diese Qualitätsprüfungen für das Schlüsselgewerk der Gebäudeautomation und die von ihr geregelten Anlagen. Dabei werden die geplanten Funktionen der Anlagen zunächst in einzelnen Betriebszuständen und Betriebsregeln spezifiziert. Anschließend wird mit den entsprechenden Betriebsdaten aus der Gebäudeautomation oder anderen Messsystemen in kurzen Zeitschritten überprüft, ob die tatsächlichen Funktionen im Betrieb mit den Vorgaben übereinstimmen.

Dieses Verfahren ist sowohl anwendbar auf Regelgrößen, Schaltbefehle und sonstige funktionale Vorgaben des Gebäudes als auch auf verschiedene Key-Performance-Indikatoren des spezifizierten Systems. Der Grad der Übereinstimmung zwischen Planung und Betrieb lässt sich in der dafür eingeführten Kenngröße der „Betriebsgüte“ darstellen, um eine Bewertung und einen Vergleich der unterschiedlichen Anlagenqualitäten zu ermöglichen. Die Betriebsgüte bemisst sich aus dem Anteil der Prüfzeitpunkte, zu denen für eine Anlage alle jeweils gültigen Betriebsregeln eingehalten werden, zu den gesamten Prüfzeitpunkten innerhalb des Prüfzeitraums. So entsteht erstmals ein effektiver Qualitätsregelkreis, der ein weitgehend automatisiertes, standardisiertes und damit wirtschaftliches Qualitätsmanagement ermöglicht.

Im Folgenden werden zunächst eine Synopse zum Stand der Technik und anschließend die Methodik Aktiver Funktionsbeschreibungen vorgestellt. Anschließend werden die 6 Pilotprojekte und eine technisch-wirtschaftliche Evaluation der Bearbeitung beschrieben. Im Anhang sind praxisnahe Arbeitshilfen für die Anwendung in Projekten beigelegt.

2 SYNOPSE ZU STAND DER TECHNIK UND DES WISSENS

Im Mittelpunkt dieses Projekt steht der Begriff der „Qualität“. Er kann sowohl umgangssprachlich als auch fachspezifisch mit sehr unterschiedlichen Ansätzen definiert werden, z.B. nach Garvin¹:

- Transzendenter Ansatz: Subjektive Hochwertigkeit
- Produktbezogener Ansatz: Objektive, messbare Größe
- Anwenderbezogener Ansatz: Grad der Erfüllung individueller Erwartungen
- Prozessbezogener Ansatz: Grad der Einhaltung objektiver Spezifikationen

In diesem Projekt wird Qualität in Anlehnung an DIN 55350² als Abweichung eines Merkmals von einer vorgegebenen Forderung verstanden. „Hohe“ bzw. „gute“ Qualität liegt vor, wenn die Abweichung innerhalb geforderter Grenzen liegt. Ist der Prozess der Herstellung bzw. des Betriebs einer Anlage im Stande, gute Qualität zu liefern, wird er beherrscht.

Ausgangspunkt dieses Projekts ist die Feststellung, dass der Prozess der Errichtung und des Betriebs von Gebäudeautomationsanlagen nicht beherrscht wird und entsprechend keine hohe Qualität erreicht wird.

Im Rahmen des Projekts wurden Verordnungen, Richtlinien etc. in Bezug auf Vorgaben für die Qualitätssicherung untersucht, um Grundlagen als organisatorischen Handlungsrahmen für einen Lösungsansatz zu erarbeiten. Im Folgenden werden die Ergebnisse dargestellt.

2.1 Qualität für Gebäudeautomationsysteme

In der Praxis gibt es eine Vielzahl von Regelungen, die die Planung, Errichtung und den Betrieb gebäudetechnischer Anlagen betreffen. Im Folgenden sind einzelne Richtlinien und Verordnungen aufgeführt, die insbesondere für die Qualität und die Prüfung ihrer Funktionsweise relevant sind.

2.1.1 HOAI – Honorarordnung für Architekten und Ingenieure

Die HOAI macht Vorgaben über Entgelte für Leistungen, „soweit sie durch Leistungsbilder oder anderen Bestimmungen dieser Verordnung erfasst werden“³. Die Leistungsbilder werden nach Leistungsphasen mit ihren Inhalten beschrieben.

In der HOAI 2013⁴ ist das „Anpassen und Detaillieren der Funktions- und Strangschemata der Anlagen bzw. der GA-Funktionslisten“ als Grundleistung in Lph 5 aufgeführt.

Auftraggeber, die ihren Ausschreibungen das Standard-Leistungsbuch⁵ zugrunde legen, finden dort die mit Hilfe von GA-Funktionsliste und GA-Automationsschema geplanten Funktionen als Abrechnungseinheiten wieder. Dies bedeutet eine erhebliche Unterstützung beim Erstellen von Leistungsverzeichnissen und beim Kalkulieren und Abrechnen von Leistungen.

Diesem Hinweis auf die Notwendigkeit von Funktionsbeschreibungen folgt keine explizite Vorgabe für die Berücksichtigung von Funktionen in der Ausführungsplanung, Ausschreibung oder Vergabe. Erst in Phase 8 „Objektüberwachung/ Bauüberwachung“ ist dann die Qualitätssicherung durch Aufmaß, fachtechnische Abnahmen und die Feststellung von Mängeln bis zur Übergabe des Gebäudes verankert. Das „Durchführen von Leistungs- und Funktionsmessungen“ ist als *Besondere Leistung* definiert.⁶

2.1.2 VOB – Vergabe- und Vertragsordnung für Bauleistungen

In VOB Teil C „Allgemeine Technische Vertragsbedingungen für Bauleistungen (ATV) Gebäudeautomation - DIN 18386“ hat der Errichter auch seinerseits eine Funktionsbeschreibung als Teil der Werk- und Montageplanung zu erstellen⁷.

Zur Inbetriebnahme von Gebäudeautomationsanlagen heißt es: „Die Anlagenteile sind so einzustellen, dass die geforderten Funktionen und Leistungen erbracht und die gesetzlichen Bestimmungen erfüllt werden“ und „Inbetriebnahme und Einregulierung sind durch Protokolle mit Mess- und Einstellwerten zu belegen“⁸. Die anschließende Abnahmeprüfung gemäß VOB/C DIN 18386 soll aus Vollständigkeitsprüfung und Funktionsprüfung bestehen. Sie umfasst unter anderem die „stichprobenartige Prüfung von Automationsfunktionen, z. B. Regel-, Sicherheits-, Optimierungs- und Kommunikationsfunktionen [sowie] stichprobenartige Einzelprüfungen von Meldungen, Schaltbefehlen, Messwerten, Stellbefehlen, Zählwerten, abgeleiteten und berechneten Werten“⁹. Bemerkenswert ist hier, dass die Prüfungen als Leistung des Errichters gegenüber seiner eigenen Leistung aufgeführt werden.

Hinsichtlich der Inbetriebnahme und Einregulierung verweist der Kommentar zur VOB¹⁰ auf die Problematik fehlender Lasten, z.B. bei Inbetriebnahme einer Heizungsanlage im Sommer, und fordert die Einstellung auf Basis von Erfahrungswerten und eine spätere Optimierung. Die Abnahme soll gemäß VOB/C DIN 18386 generell erst nach der endgültigen Einregulierung der Anlage vorgenommen werden, weshalb dort empfohlen wird, die Abnahme in Vollständigkeitsprüfung und Funktionsprüfung zu gliedern und letztere bei Bedarf zu einem späteren Zeitpunkt als Schlussabnahme durchzuführen: Ist zu erwarten, „dass eine betriebsfertige Anlage nicht unmittelbar nach Fertigstellung auf Ihre

Vertragsmäßigkeit geprüft werden kann (...), so sind besondere Vereinbarungen zwischen Auftraggeber und Auftragnehmer zu treffen¹¹. Die Gewährleistung und der Gefahrenübergang treten jedoch bereits nach der Vollständigkeitsprüfung in Kraft.

2.1.3 VDI 3814 und DIN 16484¹²

VDI 3814 und die aus ihr hervorgegangene DIN EN ISO 16484 beschreiben „Systeme der Gebäudeautomation“. Neben umfassenden Vorgaben für die Hardware, Funktionen und Datenübertragungsprotokolle beschreibt DIN EN ISO 16484 in Teil 1 auch Anforderungen an die Planung und Umsetzung von Projekten unter Einsatz der Gebäudeautomation. Wie auch in der HOAI wird hier eine Funktionsbeschreibung sowohl in der Planung (entsprechend einem Lastenheft) wie auch in der Umsetzung bzw. der Werk- und Montageplanung gefordert. Als Spezifikationsmethoden werden in Teil 3¹³ unter anderem GA-Funktionslisten und Steuerungsablaufpläne vorgestellt (mehr dazu in Abschnitt 2.2).

Als Prüfung wird in der Inbetriebnahme- und Abschlussphase die „Überprüfung der Automationsstrategie“¹⁴ und ein Probetrieb¹⁵ zur Prüfung der Wirkungsweise ausgewählter Funktionen, Verriegelungen und Mensch-System-Schnittstellen bzw. eine Systemvorführung gefordert. In beiden Fällen ist keine präzise Vorgehensweise definiert.

Im Teil 6 der VDI 3814 wurde zumindest für den Spezifikationsteil ein Konzept definiert, mit dem Funktionen von Automationsanlagen spezifiziert werden können. Hier werden Zustandgraphen als geeignetes Beschreibungsmittel beschrieben. Weitere Ausführungen hierzu enthält Abschnitt 2.2.

2.1.4 Handbuch Gebäudeautomation Allgemeiner Umdruck Nr. 173 (HB GA)

Im Handbuch Gebäudeautomation (Allgemeiner Umdruck Nr. 173)¹⁶ wird ein sechswöchiger Probetrieb gefordert. Dieser kann im Sinne des Monitorings als Prüfmonitoring mit den in dieser Unterlage definierten detaillierten Vorgaben durchgeführt werden. Zentrale Forderungen des Monitorings, wie die Prüfung und Aufzeichnung wichtiger Regelparameter und deren „ständige“ Prüfung, sind im HB GA in ähnlicher Weise beschrieben, werden im vorliegenden Bericht jedoch weiter präzisiert.

Im Gegensatz zum Prüfmonitoring kann der Errichter im Rahmen des Probetriebs nach HB GA jedoch in den Betrieb eingreifen und Mängel abstellen. Dies ist im Rahmen eines Prüfmonitorings nicht vorgesehen, da die Aufgaben *Prüfen* und *Betreiben* in getrennten Verantwortungsbereichen liegen.

2.1.5 Bewertungssystem nachhaltiges Bauen¹⁷

Das Bewertungssystem Nachhaltiges Bauen fordert im Kriterium 5.2.4 eine systematische Inbetriebnahme, in der Anlagen nach der Abnahme aufeinander eingestellt und einreguliert werden. Dieser Prozess kann, wie der gesamte Prozess der Zertifizierung, durch ein Monitoring unterstützt werden. Die organisatorische Unabhängigkeit ist zu wahren.

2.1.6 VDI E 6041 „Facility-Management - Technisches Monitoring von Gebäuden und gebäudetechnischen Anlagen“¹⁸

Die VDI Richtlinie E 6041 liegt seit April 2015 vor. Sie beschreibt Anforderungen an das technische Monitoring von Gebäuden und Anlagen. Da bisher nur ein Entwurf vorliegt, wird auf diese Richtlinie hier kein Bezug genommen.

2.1.7 VDI 6039 „Inbetriebnahmemanagement für Gebäude“¹⁹

Seit Juni 2011 liegt die VDI Richtlinie 6039 vor. Sie ist auch eine Reaktion auf die Entwicklungen innovativer Gebäudekonzepte:

„Die steigende Komplexität der Projekte, die oft geforderte »räumliche Integrität« der eingebauten Systeme und Komponenten in Verbindung mit dem Wunsch der Auftraggeber und Nutzer nach Betriebseffizienz und individueller Regelbarkeit bedingen zudem, dass die ingenieurtechnische Bearbeitung der Einzelgewerke viel umfassender und die Koordination der Einzelgewerke mit den anderen am Bau beteiligten Partnern und Gewerken viel frühzeitig einsetzen müssen, als bisher meist praktiziert“²⁰.

Deshalb beschreibt die Richtlinie „Methoden und Vorgehensweisen“ zur Inbetriebnahme von Anlagen der technischen Gebäudeausrüstung. Zentraler Akteur ist hier ein Inbetriebnahmemanager (IBM), der nicht nur Abnahmen plant, koordiniert sowie den Zustand und die Funktion von Anlagen feststellt, sondern der auch Anforderungen des Bauherrn definieren und Mängel rügen kann. Insbesondere bei komplexen Gebäuden mit Gewerke-übergreifenden Funktionen soll der IBM die Aufgaben der Fachplaner unterstützen.

2.1.8 AMEV EnMess 2001²¹

Die Unterlage „Messgeräte für Energie und Medien“ des AMEV definiert Vorgaben für die Installation von Messtechnik in Gebäuden sowie Mindestgrößen für die Berücksichtigung

von Anlagen im Monitoring. Sie wird aktuell auch unter Mitwirkung der Autoren und Berücksichtigung der Ergebnisse dieses Projekts überarbeitet.

2.1.9 AMEV Gebäudeautomation 2005²²

Die „Hinweise für Planung, Ausführung und Betrieb der Gebäudeautomation in öffentlichen Gebäuden“ der Unterlage „AMEV Gebäudeautomation 2005“ schlägt einige Regeln für die Überprüfung einzelner Anlagenfunktionen als „Operatives Energieverbrauchsmanagement“ vor. Die „Checkliste für die Abnahme der Gebäudeautomation“ enthält unter anderem den Punkt „3.12 Entsprechen die Start-, Steuer-, Regel-Funktionen der Ausschreibung?“. Zur Prüfung werden allgemein Stichproben empfohlen. Es werden jedoch keine Methoden für die Durchführung dieser Prüfungen vorgegeben.

Mit diesem Projekt sollen die in der AMEV Empfehlung richtiger Weise geforderten Prüfungen mit der angewendeten Methodik systematisch, schnell und kontinuierlich durchgeführt werden.

2.1.10 ILK Dresden: Checkliste für die Abnahme von Klima- und Lüftungsanlagen²³

Dieses mit Förderung des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie entstandene Papier stellt bei fast jeder der zu prüfenden Anlagenkomponente die Frage:

Ist die Einbindung der MSR in die GLT erfolgt und funktionsfähig?

Hinzu kommt ein eigener Abschnitt „8. MSR und GLT“, in dem folgende Maßnahmen empfohlen werden:

- 1:1-Datenpunkttest / 1:1-Check BACnet-Objekte
- 72-Stunden-Test
- Nachweis der richtigen Funktion von Sensoren, Schaltern und Sicherheitsfunktionen
- Überprüfung der Software
- (Energetische) Optimierung nach 12 Monaten in Form eines Funktionsnachweises über einen Jahresgang

2.1.11 Zertifizierungssysteme

Seit einigen Jahren gibt es für Gebäude Systeme für die Zertifizierung der Nachhaltigkeit. Die wichtigsten sind in Deutschland das Bewertungssystem Nachhaltiges Bauen (BNB)²⁴, das System der Deutsche Gesellschaft Nachhaltiges Bauen (DGNB)²⁵ sowie die LEED-

Zertifizierung des US Green Building Councils²⁶. Alle Systeme legen einen besonderen Schwerpunkt auf die „Systematische Inbetriebnahme“²⁷ bzw. das aus dem angelsächsischen Raum stammende „Commissioning“ zur Erreichung der angestrebten Gebädefunktionen im Betrieb. In keinem der Systeme wird jedoch im Detail festgelegt, wie die Spezifikation einzelner Funktionen und deren Prüfung umzusetzen ist.

Die Sichtung des Normen- und Richtlinienwesens zeigt, dass trotz häufiger Forderung nach Maßnahmen zur Qualitätssicherung und der damit auch offensichtlichen Bedeutung zur Überprüfung keine präzisen Vorgaben für die methodische Umsetzung entsprechender Prüfungen gibt. Im Folgenden wird deshalb untersucht, wie die funktionalen Anforderungen an Gebäudeautomationssysteme als Ausgangspunkt eines möglichen Qualitätsmanagements spezifiziert werden können.

2.2 Spezifikationskonzepte für Gebäudeautomationssysteme

Wie zu Anfang dieses Kapitels bereits erwähnt, bezeichnet der Begriff „Qualität“ im ingenieurtechnischen Sinne die Beherrschung der Abweichung zwischen Soll und Ist bzw. der geplanten Automationsaufgabe und der im Betrieb tatsächlich vorliegenden Automation. Entsprechend sind die Spezifikationskonzepte zur Darstellung des „Solls“ in den verschiedenen Phasen eines Projekts von zentraler Bedeutung für die Qualität von Automationssystemen. Dieser Abschnitt stellt die relevanten Methoden vor und beschreibt Defizite, auf die unser Lösungsansatz reagieren muss.

2.2.1 Automationsschemata, Funktionslisten

2.2.1.1 Grundlagen

Der Begriff „Funktionsliste“ taucht erstmals gegen Ende der sechziger Jahre des letzten Jahrhunderts in einschlägigen Fachpublikationen auf. Sie war damals zentrales Element einer im Jahr 1968 erschienenen Broschüre mit dem Titel

Gebäudeautomation

IWG-Empfehlung für die einheitliche Ausarbeitung von Projektierungs- und Angebotsunterlagen der Gebäudeautomation mit praktischen Beispielen für die gebräuchlichsten Gewerke der Haustechnik

Herausgeber war die Informations- und Werbegemeinschaft „Heizungs- und Klimaregelung“ (IWG), die getragen wurde von den Firmen Billmann, Satchwell, Dräger, Honeywell, Landis & Gyr, Sauter und Siemens (Abbildung 1).

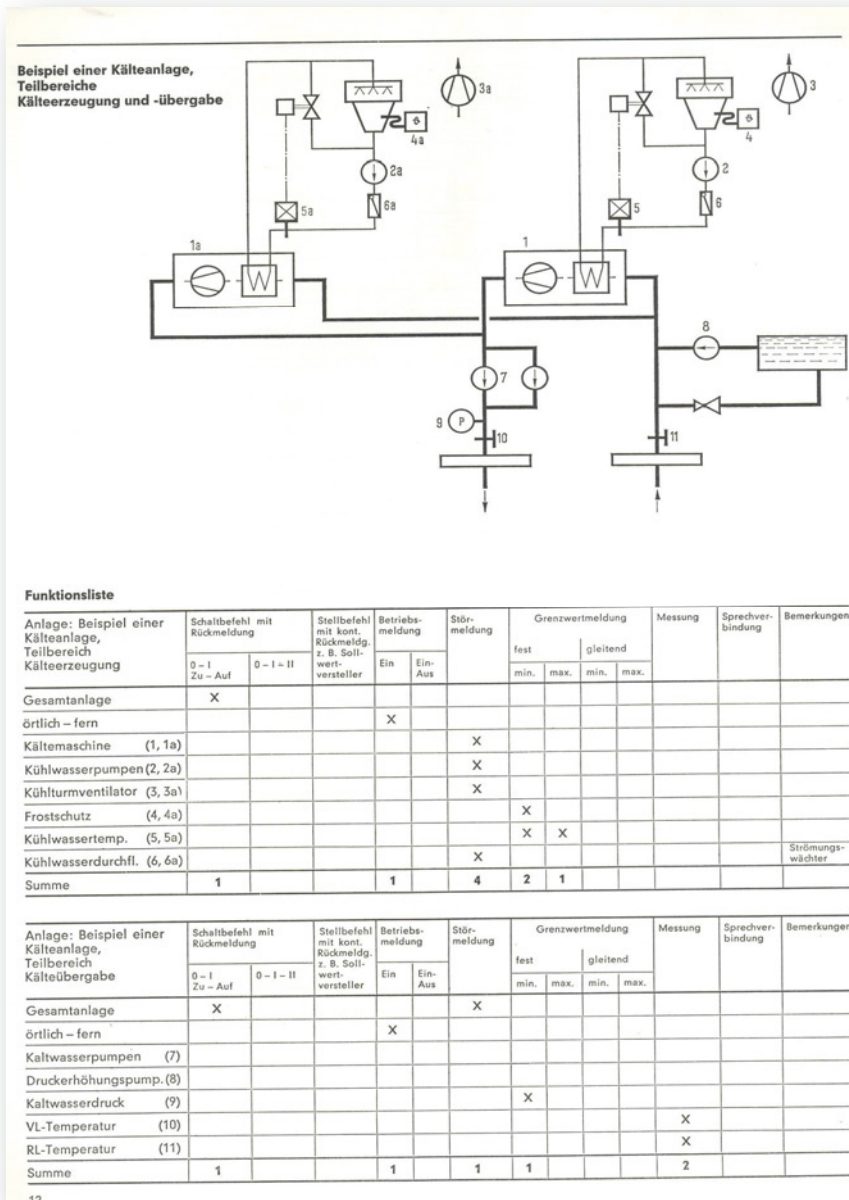


Abbildung 1 Ausschnitt aus den IWG-Empfehlungen (1968)

Wie Abbildung 1 erkennen lässt, war die Funktionsliste gedacht als ergänzendes Dokument zu einer Art Anlagenschema. In diesem ist die Anlage - stark vereinfacht und auf die Belange

der MSR-Technik beschränkt - dargestellt. Vorbild war wohl das R+I-Fließbild, das etwa um dieselbe Zeit normativ in der industriellen Prozessleittechnik²⁸ eingeführt wurde.

Das Konzept der IWG-Empfehlungen wurde vom Verein Deutscher Ingenieure (VDI) aufgegriffen und mündete in die Richtlinienreihe 3814, in deren Blatt 2 – später Blatt 1 – seit März 1977 beide Dokumente enthalten sind. Ihre Bezeichnungen haben sich im Laufe der Zeit über 5 Revisionen mehrmals geändert. Die Funktionsliste aus den IWG-Empfehlungen wurde zunächst zur Informationsliste und heißt seit 2005 (wieder) GA-Funktionsliste. Statt „R+I-Schema“ verwendet die erste Fassung „MSR-orientiertes BTA-Schema“, spätere Fassungen dann „MSR-orientiertes Automationsschema“ und schließlich „Automationsschema“.

Wenn auch die Namen sich geändert haben, so bleibt festzuhalten, dass Automationsschema und Funktionsliste seit nunmehr bald 50 Jahren die Dokumente für die Spezifikation von GA-Systemen bei Planern in Deutschland darstellen. Der Schritt auf den internationalen Markt erfolgte im Jahr 2005, als die VDI 3814-2 Grundlage für die weltweit geltende Norm DIN EN ISO 16484-3²⁹ wurde. Diese enthält im normativen Anhang die GA-Funktionsliste und im informativen Anhang das Automationsschema.

Die Bedeutung von Funktionsliste und Automationsschema haben auch die Hersteller von Gebäudeautomationssystemen und neutrale Softwarehäuser erkannt. Sie haben Werkzeuge entwickelt, um beide Dokumente rechnergestützt anwenden zu können. Das populärste und am weitesten verbreitete Werkzeug heißt TRIC. Der Hersteller *Mervisoft*, Wiesbaden, hat nach eigener Aussage bisher ca. 3.500 Lizenzen im deutschen Markt abgesetzt.

2.2.1.2 Automationsschema und GA-Funktionsliste in Gesetzesverordnungen und Richtlinien öffentlicher Auftraggeber

Funktionsliste und Automationsschema fanden im Laufe der Jahre direkt oder indirekt Eingang in planungs- und ausführungsrelevante Gesetzesverordnungen.

Lt. VOB-C/DIN 18386³⁰ sind in der Leistungsbeschreibung nach den Erfordernissen des Einzelfalls insbesondere anzugeben

0.2.13 Funktionsbeschreibung oder Fließschema nach VDI 3814 Blatt 6 und Gebäudeautomations-Funktionslisten sowie Raumautomations-Funktionslisten.

Im Folgenden einige weitere Zitate aus VOB C/DIN 18386, die die Bedeutung von Funktionsliste und Automationsschema im Verhältnis zwischen Auftraggeber und ausführendem Unternehmen unterstreichen:

3.1.3 Zu den für die Ausführung notwendigen, vom Auftraggeber zu übergebenden Unterlagen (siehe § 3 Abs. 1 VOB/B) gehören insbesondere:

- Funktionslisten nach DIN EN ISO 16484-3 und VDI 3813 Blatt 2, bei Anbindung von Fremdsystemen mit Angaben nach VDI 3814 Blatt 5,
- Anlagenschemata,
- Funktions-Fließschemata oder Beschreibungen,

...

3.1.4 Der Auftragnehmer hat nach den Planungsunterlagen und Berechnungen des Auftraggebers die für die Ausführung erforderlichen Montage- und Werkstattzeichnungen zu erbringen und, soweit erforderlich, mit dem Auftraggeber abzustimmen. Dazu gehören insbesondere:

- Automationsschemata mit Darstellung der wesentlichen Funktionen auf Basis der Anlagenschemata entsprechend Anlagenplanung,

...

3.1.6 Der Auftragnehmer hat bei der Prüfung der vom Auftraggeber gelieferten Planungsunterlagen und Berechnungen (siehe § 3 Abs. 3 VOB/B) u. a. hinsichtlich der Beschaffenheit und Funktion der Anlage insbesondere zu achten auf:

- Vollständigkeit der Funktionslisten,

...

3.5 Mitzuliefernde Unterlagen

Der Auftragnehmer hat im Rahmen seines Leistungsumfanges folgende Unterlagen aufzustellen und dem Auftraggeber spätestens bei der Abnahme in geordneter und aktualisierter Form zu übergeben:

- Automationsschemata,
- Funktionslisten

...

In der HOAI 2013³¹ ist das "Anpassen und Detaillieren der Funktions- und Strangschemata der Anlagen bzw. der GA-Funktionslisten" als Grundleistung in Lph 5 aufgeführt.

Auftraggeber, die ihren Ausschreibungen das Standard-Leistungsbuch³² zugrunde legen, finden dort die mit Hilfe von GA-Funktionsliste und GA-Automationsschema geplanten Funktionen als Abrechnungseinheiten wieder. Dies bedeutet eine erhebliche Unterstützung beim Erstellen von Leistungsverzeichnissen und beim Kalkulieren und Abrechnen von Leistungen.

Die AMEV-Richtlinie Gebäudeautomation 2005³³ verlangt die Erstellung von Automationsschemata und GA-Funktionslisten bereits ab HOAI-Leistungsphase 2 und deren sukzessive Fortschreibung bis hin zur Leistungsphase 6.

2.2.1.3 Handhabung

Der Umgang mit Automationsschema und GA-Funktionsliste beginnt mit der Zeichnung eines Automationsschemas spätestens in der HOAI-Leistungsphase 2 (Vorplanung).

Das Automationsschema nach DIN EN ISO 16484-3 ist waagrecht unterteilt in drei Bereiche (Abbildung 2):

- Regeldiagramme
- Anlage
- Regelstruktur

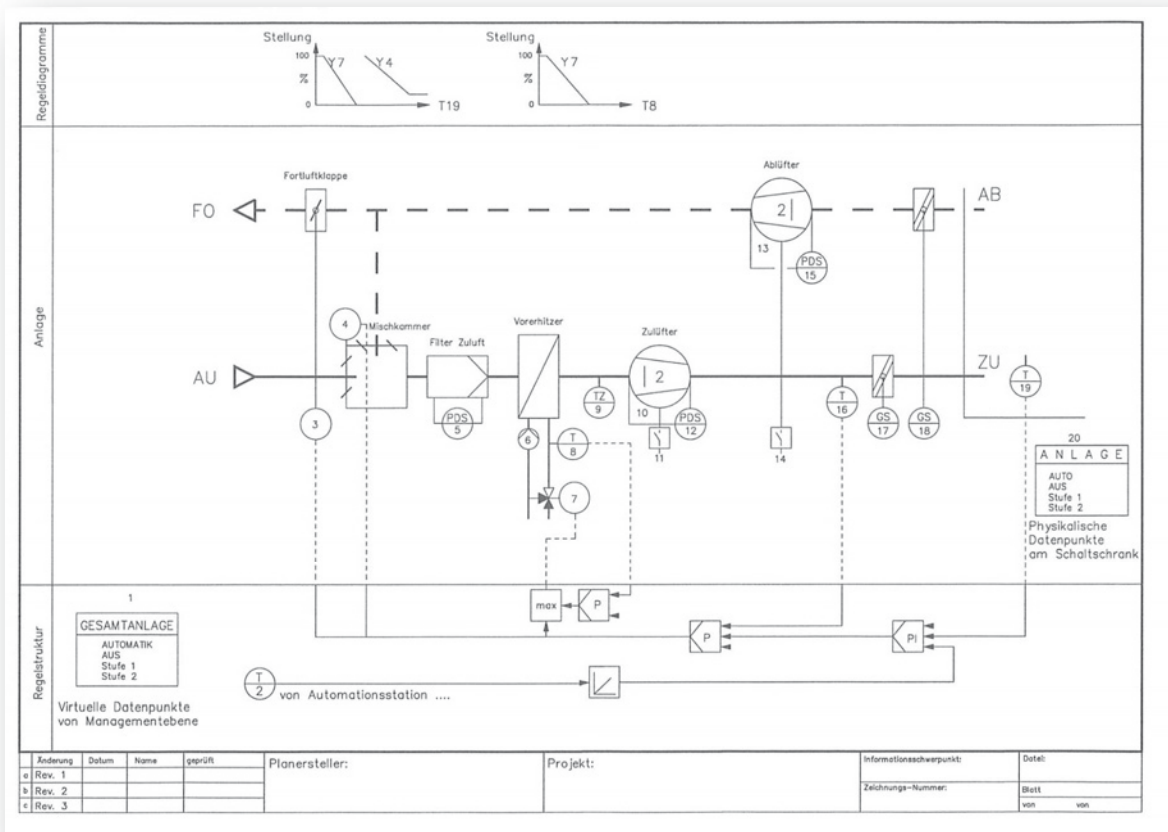


Abbildung 2 Beispiel für ein Automationsschema (Quelle: DIN EN ISO 16484-3:2005 (D))

Der mittlere Bereich (Anlage) enthält die schematische Darstellung der Anlage mit allen für das Verständnis des Regelungskonzepts wichtigen Anlagenkomponenten sowie den Sensoren und Aktoren des Gebäudeautomationssystems. Die Sensoren und Aktoren werden durchnummeriert und mit dieser Nummer in der GA-Funktionsliste zeilenweise aufgeführt. Zu jedem Eintrag („Datenpunkt“) werden abschließend die ihm zugeordneten

GA-Funktionen spaltenweise eingetragen. Die Bedeutung der Spaltenüberschriften (Funktionsbezeichnungen) ist mehr oder weniger detailliert und verständlich im Text von VDI 3814-1 bzw. DIN EN ISO 16484-3 beschrieben.

Der untere Bereich (Regelstruktur) ist vorgesehen für die Darstellung der Regelfunktionen mit Hilfe eines Wirkungsplans nach DIN IEC 60050-351³⁴ bzw. sog. „Funktionsplans“.

Im oberen Bereich (Regeldiagramme) sind die Kennlinien der in der Regelstruktur verwendeten Blöcke einzutragen, z. B. die Sequenzen von Reglern, die auf mehrere Stelleinrichtungen wirken.

Wie bereits erwähnt, werden am Markt rechnergestützte Werkzeuge angeboten, die den Umgang mit Automationsschema und GA-Funktionsliste weitestgehend unterstützen. So wird parallel zum Zeichnen des Automationsschemas automatisch eine Datenbank angelegt, in der nicht nur die jedem Datenpunkt zugeordneten Funktionen, sondern auch andere „Eigenschaften“ des Datenpunkts abgelegt sind, z. B. Angaben zum Gerätetyp, zu den Zuleitungen usw.

Seit Mai 2011 gibt es im VDI-Richtlinienwerk eine Variante von Automationsschema und GA-Funktionsliste: Als Arbeitsmittel für die Planung von Funktionen der **Raum**automation wurden im Rahmen der VDI-Richtlinie 3813-2³⁵ das RA-Automationsschema und die RA-Funktionsliste veröffentlicht. Der Umgang mit beiden Dokumenten ist weitgehend identisch mit denen aus VDI 3814.

Der verfügbare Platz im Bereich „Regelstruktur“ des Automationsschemas reicht in den meisten Fällen nicht aus, um die volle Funktionalität einer Anlage oder eines Raums aufzuzeichnen. Aus diesem Grunde hat man sich in der Praxis – wenn überhaupt – darauf beschränkt, hier nur die Wirkungszusammenhänge zwischen den stetigen Größen aus der Anlage darzustellen, d. h. Regelungskomponenten und deren Verbindungen untereinander sowie mit den Feldgeräten. Binäre Verknüpfungen werden in den meisten der den Autoren bekannten Fälle nicht eingetragen. Dabei sind es gerade die binären Verknüpfungen, die bei vielen Anlagen und Anlagenkonzepten nicht nur zahlenmäßig überwiegen, sondern auch deren individuelle Besonderheiten widerspiegeln.

Binäre Verknüpfungen bewirken Schaltvorgänge in den Anlagen, wenn bestimmte diskrete Ereignisse auftreten.

Beispiele:

- Wenn die Außentemperatur $< 5\text{ °C}$ ist, dann sollen nach dem Einschalten der Anlage für 10 min die Außen- und die Fortluftklappe nicht öffnen, das Vorerhitzerventil soll zu 100 % öffnen, die Vorerhitzerpumpe soll einschalten und die Ventilatoren sollen mit einer Drehzahl von 50 % laufen.

- Im Entrauchungsfall sollen bestimmte Klappen geöffnet, andere geschlossen werden.
- Nachts sollen die Ventilatoren mit einer Leistung von 70 % eingeschaltet werden, sobald die Außenluft um einen bestimmten vorzugebenden Wert unter die Temperatur der Raumluft fällt. Zeitgleich sind Außen- und Fortluftklappe zu öffnen.

Der Bereich „Regelstruktur“ des Automationsschemas bedarf also einer Ergänzung, um auch Verknüpfungen von binären Größen darstellen zu können. Spezifikationskonzepte für Aufgabenstellungen dieses Typs sind Gegenstand der folgenden Abschnitte.

2.2.2 Funktionspläne

“Funktionsplan” ist in der moderneren Literatur ein Begriff aus der Steuerungstechnik. Im aktuellen internationalen elektrotechnischen Wörterbuch wird er als „grafisches Hilfsmittel“ zur symbolischen Darstellung von Ablaufsteuerungen“ definiert³⁶ und rückt insofern bereits in die Nähe des in Abschnitt 2.2.1 behandelten Zustandsgraphen.

Ursprünglich war dieser Begriff wesentlich weiter gefasst. So heißt es etwa in DIN V 40719-60:1986-11³⁷:

2 *Allgemeines*

Der Funktionsplan ersetzt bzw. ergänzt die verbale Beschreibung funktionaler Zusammenhänge von MSR-Funktionen, z. B. Messen, Steuern, Regeln, Überwachen, Übertragen, Darstellen, Bedienen und Protokollieren.

Der Funktionsplan dient als Verständigungsmittel zwischen verschiedenen Fachdisziplinen, z. B. Verfahrenstechnik, Maschinenbau, Elektrotechnik, Hydraulik, Pneumatik.

Der Funktionsplan stellt MSR-Funktionen übersichtlich und eindeutig dar, unabhängig von deren Realisierung, z. B. der verwendeten Betriebsmittel, der Leitungsführung, dem Einbauort (Hardware) bzw. den dafür verwendeten Programmen (Software). Es bleibt dem Anwender freigestellt, auch realisierungsbezogene Angaben in den Funktionsplan aufzunehmen.

Der Funktionsplan ist die Basis für die Erstellung weiterer z. B. realisierungsunabhängiger Unterlagen. In Verbindung mit den übrigen Schaltungsunterlagen dient er auch zur Inbetriebnahme, Betriebsführung und Instandhaltung und ist Bestandteil der Anlagendokumentation.

Der Funktionsplan ist außerdem ein einheitliches Darstellungsmittel für die verschiedenen Realisierungsphasen einer MSR-Einrichtung, nämlich für Projektierung, Erstellung, Inbetriebnahme, Betriebsführung und Instandhaltung.

3 *Inhalt und Ausführung des Funktionsplans*

3.1 *Inhalt*

Der Funktionsplan stellt eine MSR-Funktion je nach Zweck mit ausgewählten wesentlichen Anteilen (Grobstruktur) oder mit allen erforderlichen Details (Feinstruktur) durch graphische Symbole dar.

...

Abbildung 3 zeigt ein Beispiel für einen Funktionsplan, das ausschnittsweise dieser Norm entnommen ist. Bei dem Beispiel handelt es sich eher um eine Feinstruktur, die aus

elementaren Booleschen Funktionen (UND, ODER, NICHT) und elementaren analogen Übertragungsgliedern (z. B. PT1-Glied) besteht.

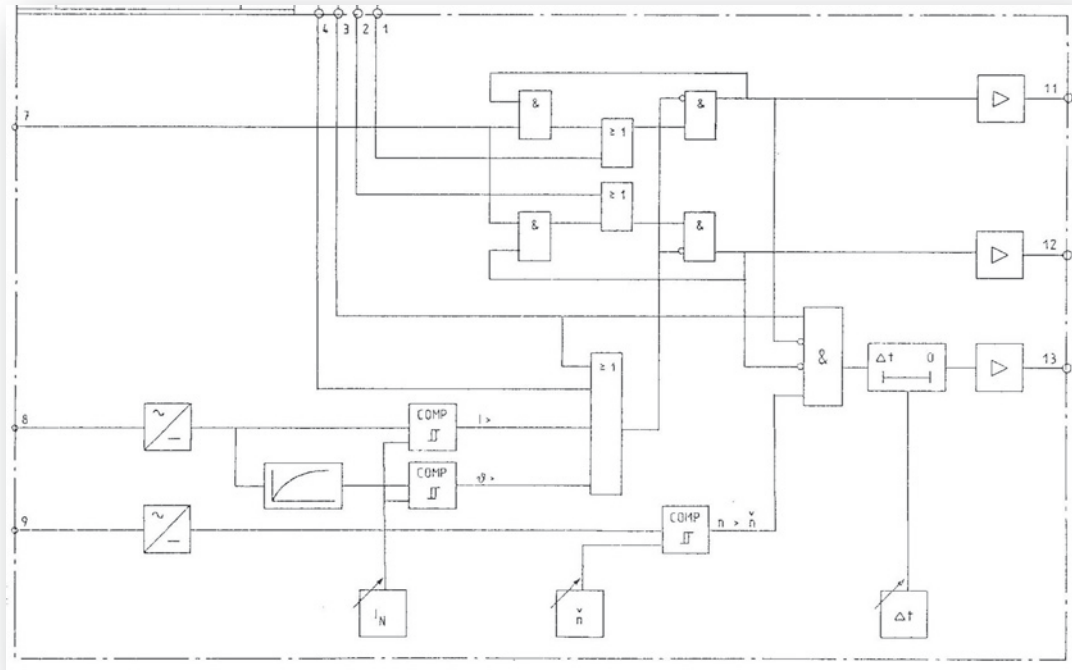


Abbildung 3 Beispiel für einen Funktionsplan. Quelle: DIN V 40719-60:1986-11³⁸, Bild 15

DIN 40719-60 wurde 1992 zurückgezogen und durch andere Normen ersetzt. Dabei sind alle enthaltenen Festlegungen zur Darstellung von MSR-Funktionen ohne Ablaufstruktur entfallen.

„Funktionsplan“ (Abk.: FUP) war darüber hinaus bis etwa 1990 der Name einer grafischen Programmiersprache für speicherprogrammierbare Steuerungen. Im Zusammenhang mit der Norm DIN EN 61131³⁹ wurde diese Sprache jedoch weiter entwickelt zur „Funktionsbausteinsprache FBS“. Als Erweiterung entstand außerhalb der Norm die ebenfalls auf Funktionsbausteinen beruhende Variante „Continuous function chart (CFC)“. „Funktionsplan (FUP)“ wurde aus der Norm entfernt.

In der Gebäudeautomation griff man die Beschreibung von Funktionen in Form von Funktionsbausteinen erstmals in DIN EN ISO 16484-3:2005 wieder auf, ganz im Sinne der o. g. früheren DIN 40719-60. Ein Beispiel zeigt Abbildung 4.

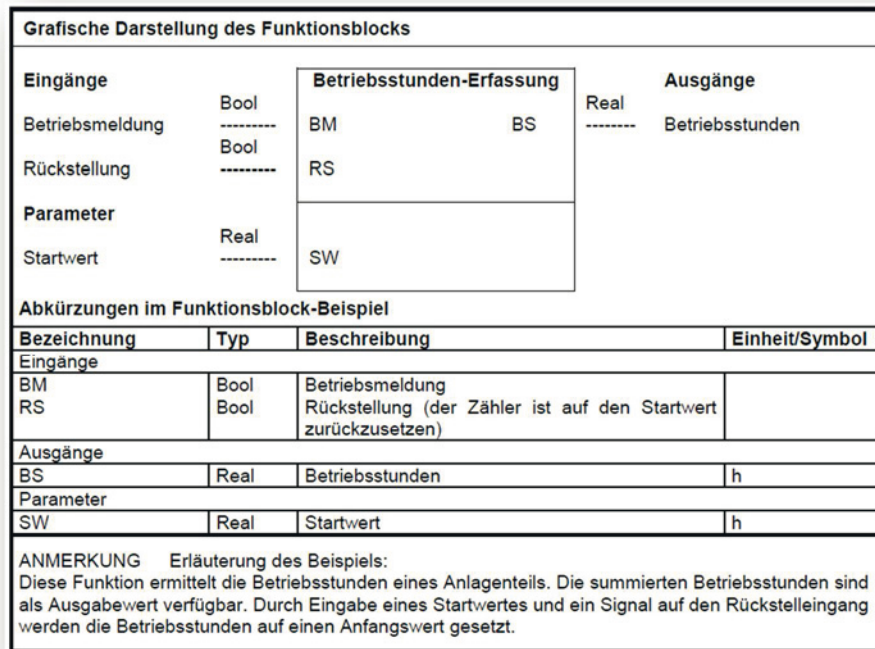


Abbildung 4 Beispiel für einen Funktionsbaustein aus DIN EN ISO 16484-3⁴⁰. Die grafische Darstellung wird ergänzt durch erläuternden Text. Diese Art von Beispielen in der Norm ist „informativ“, nicht „normativ“.

Der Funktionsbaustein wird dargestellt als Rechteck mit Eingangs- und Ausgangsgrößen. Das „Innenleben“ des Funktionsblocks wird grafisch nicht weiter aufgelöst.

Ein Beispiel für die Verknüpfung mehrerer Funktionsbausteine zu einer vollständigen Steuerungsbeschreibung ist in DIN EN 16484-3 nicht enthalten. Um ein solches zu finden, muss man in die VDI-Richtlinie 3813-2⁴¹ schauen. Hier werden sämtliche Raumautomationsfunktionen als Funktionsbausteine ähnlich wie in Abbildung 4 beschrieben (Abbildung 5).

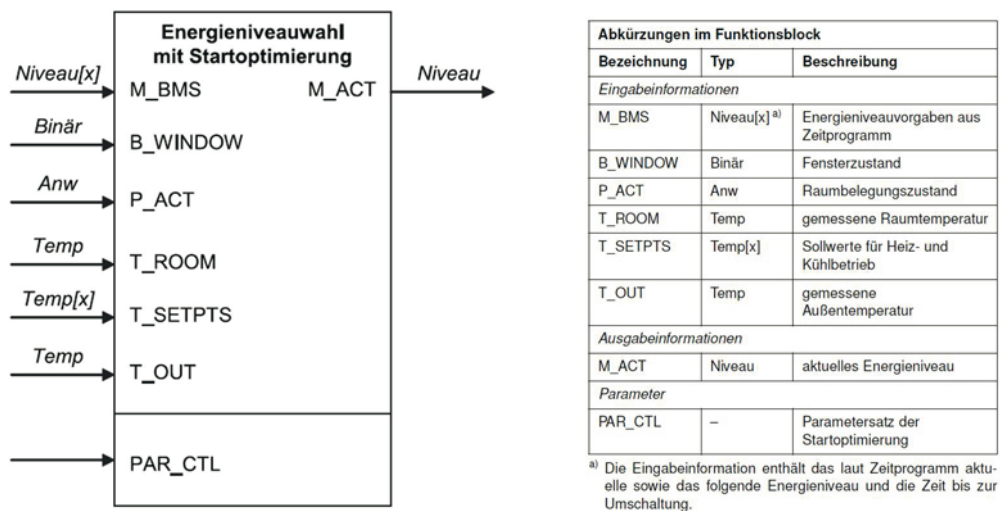


Abbildung 5 Beispiel für die Beschreibung eines Funktionsbausteins in VDI 3813-2. Die grafische Darstellung wird ergänzt durch erläuternden Text.

Zur Darstellung der Lösung der kompletten Steuerungsaufgabe muss der Planer die benötigten Funktionsbausteine im Automationsschema zusammenstellen und deren Ein- und Ausgänge miteinander verknüpfen (Abbildung 6).

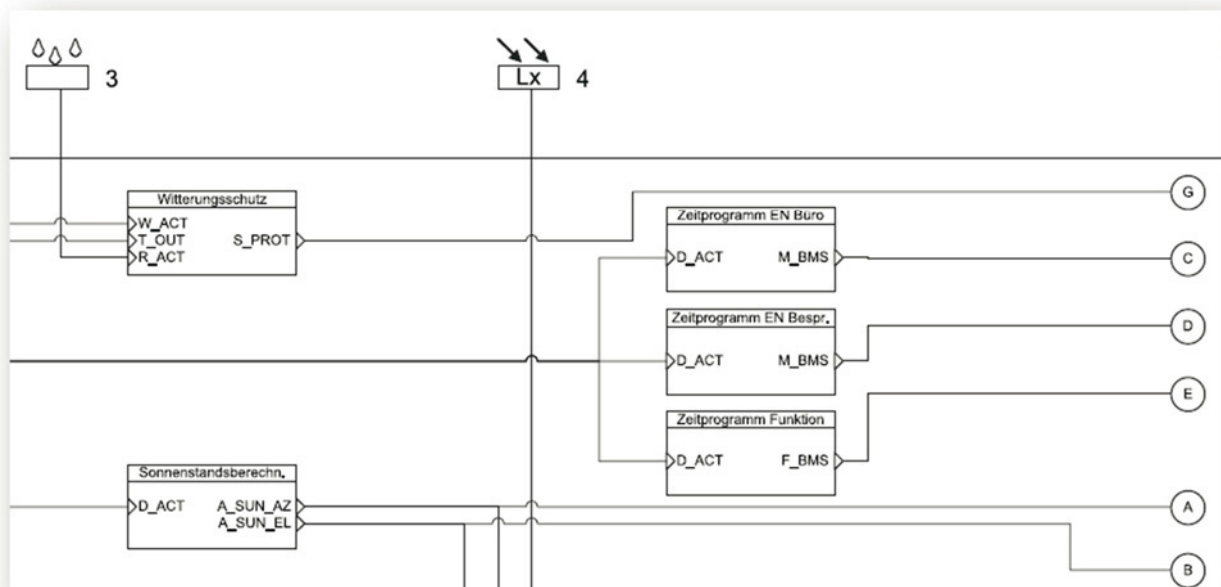


Abbildung 6 Beispiel für ein Automationsschema aus VDI 3813-3 zur Beschreibung einer Raumautomationslösung

Software zur Unterstützung bei der Planung von Raumautomationsfunktionen ist ebenfalls bereits am Markt verfügbar.

Funktionspläne für binäre Verknüpfungen lassen sich nur schwer auf einer höheren Abstraktionsebene darstellen. Dies bedeutet, dass ihr Erstellen in der Regel sehr zeitaufwändig ist, andererseits aber bereits zu Detaillierungsgraden führt, die eher einer Ausführung als einer Spezifikation gerecht werden.

Ein erhebliches Potenzial zur Abstraktion bei gleichzeitiger Wahrung der Möglichkeit, auf derselben Basis weiter zu detaillieren, bietet das Denken in „Anlagenzuständen“. Dieser Spezifikationsansatz ist Gegenstand der folgenden Abschnitte.

2.2.3 Zustandsbeschreibungen

2.2.3.1 Was ist ein Zustand?

Ein „Zustand“ ist eine Situation im „Leben“ einer Anlage - entstanden, weil bestimmte Ereignisse an den Eingängen der Steuerung stattgefunden haben, die zum Schalten bestimmter Aktionen an den Ausgängen geführt haben.

Als Beispiel seien im Folgenden drei Zustände einer einfachen Lüftungsanlage beschrieben:

- Der Zustand „AUS“

Er ist aktiv, weil der Anlagenschalter in Stellung „0“ gebracht wurde. Die Steuerung schaltet daher die Ventilatoren aus, schließt die Außenluft- und die Fortluftklappe, schaltet die Vorerhitzerpumpe aus und schließt das Vorerhitzerventil.



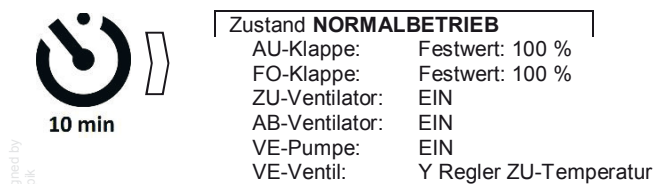
- Der Zustand „Anfahrbetrieb“

Er ist aktiv, weil im „AUS“-Zustand der Anlagenschalter in Stellung „I“ gebracht wurde, als die Außentemperatur $< 8\text{ }^{\circ}\text{C}$ war. Die Steuerung öffnet daher die Außenluft- und die Fortluftklappe sowie das Vorerhitzerventil auf einen Wert von 50 %, schaltet die Vorerhitzerpumpe ein und startet ein Zeitglied, das nach 10 min einen Kontakt schließt.



- Der Zustand „Normalbetrieb“

Er ist aktiv, weil im Zustand „Anfahrbetrieb“ das Zeitglied seinen Kontakt geschlossen hat. Die Steuerung hat daraufhin die Außenluft- und die Fortluftklappe zu 100 % geöffnet, die Ventilatoren und die Vorerhitzerpumpe (weiter) eingeschaltet sowie das Vorerhitzerventil mit dem Ausgang des Zulufttemperaturreglers verbunden.



An diesem Beispiel wird das Grundprinzip einer Zustandsbeschreibung deutlich:

Eine Anlage kann sich stets nur in einem Zustand befinden.

Diese Aussage ist der Grund für die hervorragende Eignung einer Zustandsbeschreibung als Grundlage für Funktionsprüfungen: Wenn bekannt ist, in welchem Zustand sich die Anlage aktuell befindet, ist auch bekannt, welche Aktionen gerade aktiv sein müssen und welche nicht. Jede Abweichung von diesem Soll-Profil ist eine Abweichung von den geplanten Funktionen und somit ein Hinweis auf einen Fehler in der Anlage.

Wenn einmal die Zustände identifiziert sind, die eine Anlage annehmen kann, müssen diese Zustände in geeigneter Weise zusammengestellt werden, d. h. es muss festgelegt werden, durch welches Ereignis ein Zustand verlassen wird und welcher Zustand als nächster folgt. Dazu sind in der Literatur i. W. zwei Beschreibungsformate bekannt: Der Programmablaufplan und der Zustandsgraph.

2.2.3.2 Programmablaufpläne

Im Jahr 1977 wurde der Programmablaufplan (PAP) als „einheitliche und anschauliche Darstellung von Aufgabenlösungen in der Informationsverarbeitung“ in DIN 66 001⁴² veröffentlicht. Alternative Bezeichnungen sind Ablaufdiagramm oder Flussdiagramm. Bildprägend für einen PAP ist die Raute als Sinnbild für eine Verzweigung. Rechtecke stehen für Vorgänge. Der PAP eignet sich nicht nur – wie der Name vermuten lässt - zur Visualisierung von Programmabläufen im engeren Sinne, sondern darüber hinaus auch für die Beschreibung von anderen Prozessen in der Informationsverarbeitung. Als Beispiel zeigt Abbildung 7 die Verwendung des PAP in der DIN EN ISO 16484-5⁴³ zur Erklärung des Routing von BACnet-Telegrammen:

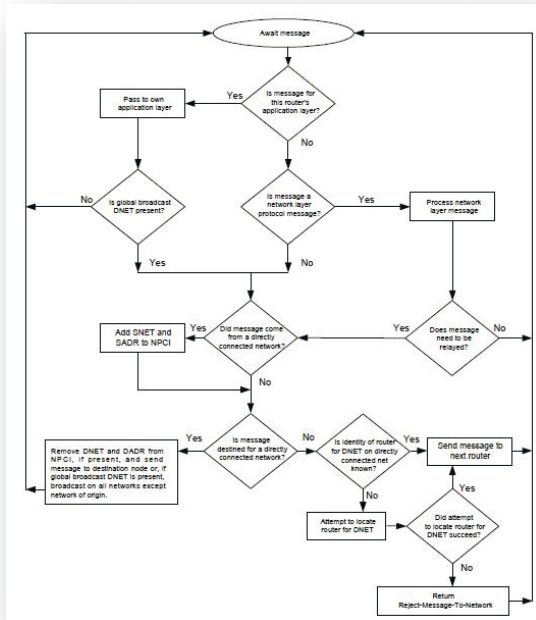


Abbildung 7 Beispiel für einen Programmablaufplan, hier die Beschreibung des Routing eines BACnet-Telegramms aus DIN EN ISO 16484-5.

Der PAP wird auch angewendet in vielen Bereichen außerhalb der Informationsverarbeitung, so etwa zur Beschreibung von Arbeitsabläufen und Verwaltungsprozessen. Dies zeigt, dass ursprünglich ingenieurmäßige Darstellungsmittel offenbar auch von Personen akzeptiert werden, die nicht unbedingt technikaffin sind.

Der PAP ermöglicht die Darstellung einer gegebenen Funktion auf durchaus unterschiedlichen Abstraktionsniveaus, wobei allerdings anzumerken ist, dass bereits sehr einfache Funktionen zu relativ aufwändigen Skizzen führen. Dies mag einer der Gründe dafür sein, dass der PAP zur Beschreibung von Funktionen der Gebäudeautomation kaum gebräuchlich ist.

In Abbildung 8 sind die in Abschnitt 2.2.3.1 definierten Zustände zu einem PAP zusammengefasst.

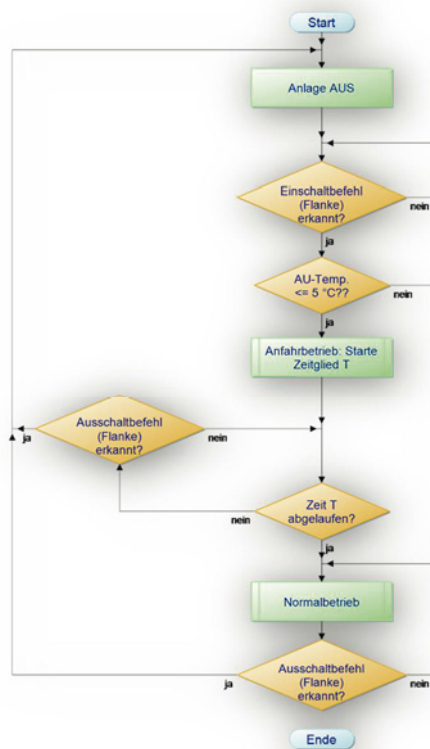
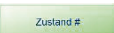
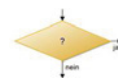


Abbildung 8 Programmablaufplan für eine mögliche Kombination aus den drei Zuständen „AUS“, „Anfahrbetrieb“ und „Normalbetrieb“ einer einfachen RLT-Anlage.

Die Rechtecke  symbolisieren die Zustände. In den Verzweigungen werden die Eingänge der Steuerungen abgefragt.



Der PAP bietet keinen Platz für die Auflistung der Aktionen, die in jedem Zustand ausgeführt werden. Dies kann jedoch übersichtlich geschehen in einer Tabelle, die die Aktionen für alle Zustände zusammenfasst. Im Beispiel aus Abschnitt 2.2.3.1 kommt diese Tabelle durch Zusammenfügen der dort gezeigten Einzellisten zu jedem Zustand zustande:

Tabelle 1 Ausgangszuweisungen (Aktionen) der Steuerung für die drei möglichen Zustände im Beispiel.

	Zustand AUS	Zustand ANFAHRBETRIEB	Zustand NORMALBETRIEB
AU-Klappe:	ZU	Festwert: 50 %	Festwert: 100 %
FO-Klappe:	ZU	Festwert: 50 %	Festwert: 100 %
ZU-Ventilator:	AUS	AUS	EIN
AB-Ventilator:	AUS	AUS	EIN
VE-Pumpe:	AUS	EIN	EIN
VE-Ventil:	ZU	Festwert: 50 %	Y Regler ZU-Temperatur

2.2.3.3 Zustandsgraphen

Zustandsgraphen⁴⁴ sind Alternativen zum PAP für die grafische Darstellung des Zusammenspiels von mehreren Zuständen. Ihre Grundelemente sind

- Zustände,
- Wirkungslinien,
- Übergangsbedingungen.

Letztere entsprechen den Verzweigungen im PAP.

In der deutschsprachigen Literatur⁴⁵ – so auch in der VDI-Richtlinie 3814-6⁴⁶ – werden Zustände als Quadrate, Aktionen und Übergangsbedingungen als Rechtecke und Übergänge als gerichtete Geraden dargestellt (Abbildung 9).

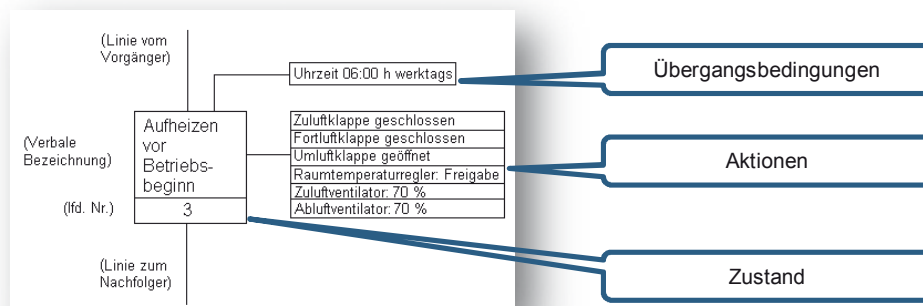


Abbildung 9 Darstellung eines Zustands nach VDI 3814-6

In der internationalen Literatur ist die Symbolik teilweise unterschiedlich. So bevorzugen amerikanische Autoren die Darstellung von Zuständen in Form von Ellipsen und von Übergängen als geschwungene Pfeile, die mit den Übergangsbedingungen beschriftet sind. Ein Beispiel aus der DIN EN ISO 16484-5 zeigt Abbildung 10.

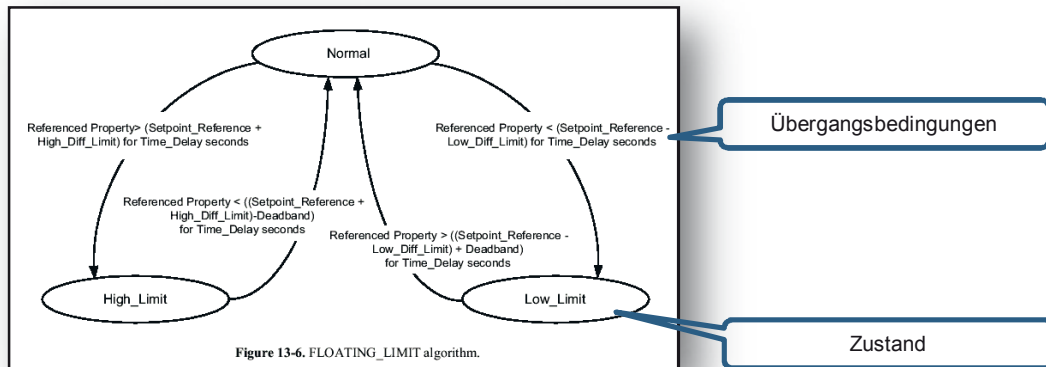


Abbildung 10 Ein Zustandsgraph („Statechart“) aus DIN EN ISO 16484-5. Es wird der Algorithmus dargestellt, der lt. BACnet-Standard die Übergänge zwischen den drei Zuständen Normal, High_Limit und Low_Limit verwaltet. Aktionen werden in diesem Beispiel nicht festgelegt

Einen vollständigen Zustandsgraph nach VDI 3814-6 zeigt Abbildung 11 für dasselbe Beispiel, das in Abbildung 7 als PAP dargestellt ist.

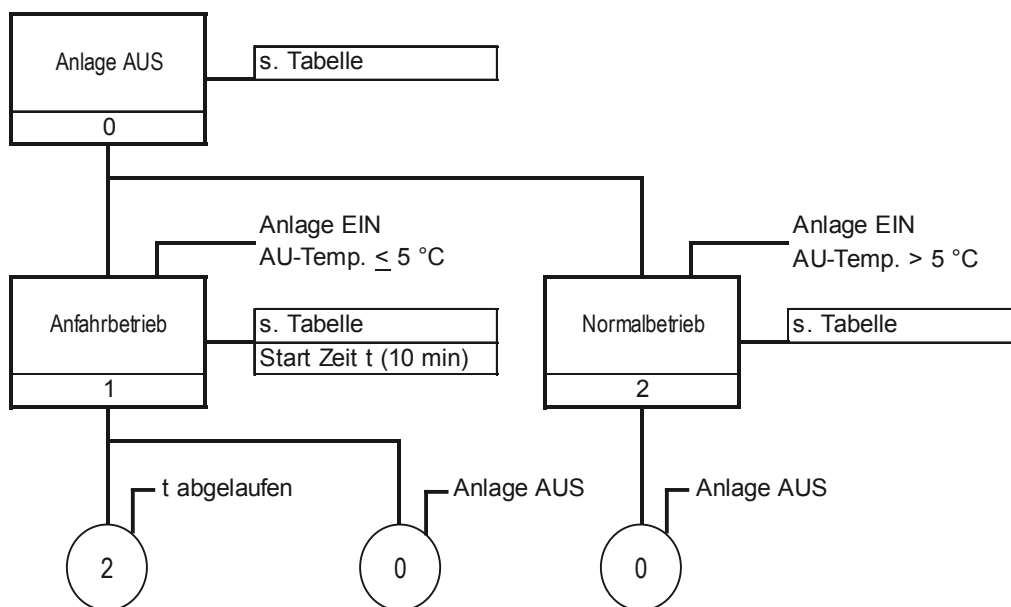


Abbildung 11 Zustandsgraph für dasselbe Beispiel wie der PAP in Abbildung 8. Der Hinweis auf die Tabelle anstatt einer Aufzählung von einzelnen Aktionen bezieht sich auf dieselbe Tabelle (Tabelle 1), die bereits als Ergänzung zum PAP erstellt wurde.

Typisch für die Darstellungsweise in den genannten deutschsprachigen Quellen ist der Verzicht darauf, Rücksprünge zu bereits definierten Zuständen mit (gekrümmten) Pfeilen zu visualisieren. Stattdessen wird das Ziel des Rücksprungs durch dessen Nummer in einem

Kreis dargestellt. Ähnlich wie beim PAP erscheint es auch hier sinnvoll, die Aktionen in einer separaten Tabelle aufzulisten (s. Tabelle 1).

Die Gesamtheit aller Zustände eines Zustandsgraphen wie in Abbildung 11 für eine konkrete Steuerung wird auch als „Zustandsraum“ bezeichnet.

Im Übrigen war die VDI-Richtlinie 3814-6 seinerzeit nicht die erste technische Regel in Deutschland, die den Zustandsgraphen als Mittel zur Beschreibung von Funktionen in der TGA vorschlägt. In der VOB/C für raumluftechnische Anlagen⁴⁷ heißt es bereits im Jahr 2002:

In der Leistungsbeschreibung sind nach den Erfordernissen des Einzelfalls insbesondere anzugeben:

...

0.2 *Angaben zur Ausführung*

0.2.17 *Art und Umfang der zu liefernden Unterlagen z. B.*

...

- *Stromlaufplan und gegebenenfalls Funktionsplan der Steuerung nach DIN EN 60848 „GRAFCET – Spezifikationssprache für Funktionspläne der Ablaufsteuerung*

2.2.3.4 Vom Zustandsgraphen zum Steuerungsprogramm

Die Umsetzung eines Zustandsgraphen in ein Steuerungsprogramm ist seit langem Stand der Technik.

Zum einen lässt sich eine als Zustandsgraph formulierte Funktionsbeschreibung mit den in Abschnitt 2.2.2 erwähnten elementaren Funktionen der Steuerungstechnik (UND, ODER, NICHT, Zeitglieder und RS-Glieder) „von Hand“ in ein Steuerungsprogramm umsetzen. Die dazu erforderlichen Schritte folgen einem starren, leicht zu erlernenden Schema.¹

Zum anderen ist die in DIN EN 61131⁴⁸ beschriebene Programmiersprache AS (Ablaufsprache) ein 1:1 – Abbild eines Zustandsgraphen (Abbildung 12).

¹ s. z. B. Wellenreuther, G., Zastrow, D.: Speicherprogrammierte Steuerungen 1 / SPS, Vieweg, Braunschweig/Wiesbaden (1987)

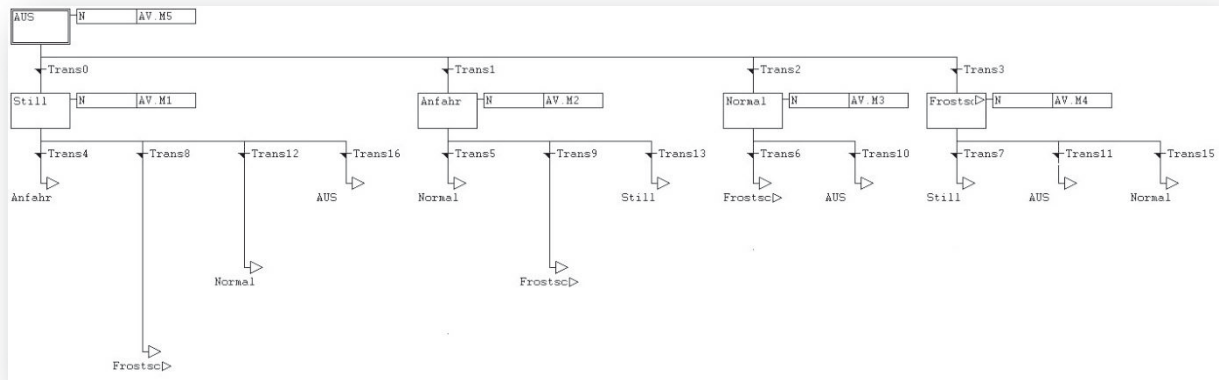


Abbildung 12 Ein Beispiel für die Umsetzung eines Zustandsgraphen in ein Steuerungsprogramm mit Hilfe der Programmiersprache AS

2.2.4 Verbale Funktionsbeschreibungen

Verbale Funktionsbeschreibungen sind formlose schriftliche Äußerungen von Planern oder auch Errichtern mit dem Ziel, eine gewünschte Funktion in Worte zu fassen. Außerhalb der Technischen Gebäudeausrüstung bilden verbale Funktionsbeschreibungen i. d. R. das Grundgerüst von Lastenheften und Pflichtenheften. Einen organisatorischen und inhaltlichen Rahmen für diese Dokumente schlägt z. B. die VDI-Richtlinie 3694 „Lastenheft/Pflichtenheft für den Einsatz von Automatisierungssystemen“⁴⁹ vor.

Darüber hinausgehende Standards für die Erstellung verbaler Funktionsbeschreibungen gibt es nicht. Allgemein bleibt jedoch festzuhalten: Wenn die „Zeichnung die Sprache des Ingenieurs“ ist, dann muss sich eine verbale Funktionsbeschreibung auch in der Gebäudeautomation an den Merkmalen einer ingenieurmäßigen Zeichnung messen lassen:

- Verständlich (für Fachleute auch anderer Gewerke)
- Neutral (wenn Neutralität gewünscht wird)
- Vollständig
- Eindeutig
- Systematisch (d. h. mit EDV-Methoden weiterentwickelbar bis hin zur Umsetzung und darüber hinaus in die Betriebsphase hinein).

2.3 Die Realität: Qualitätsprobleme in der Gebäudeautomation

In der Folge zunehmender Technisierung hat die Komplexität von Gebäuden, sowohl durch hocheffiziente Einzelprodukte als auch durch deren erforderliches Zusammenspiel in integralen Systemen stark zugenommen. Zwei Beispiele sollen die technische Entwicklung illustrieren:

- Die erste Wärmeschutzverordnung⁵⁰, veröffentlicht am 11. August 1977, legte in 15 Paragraphen (einschließlich Berlin-Klausel) auf 6 Seiten fest, wie der Wärmedurchgang und Undichtheiten in der Gebäudehülle zu begrenzen sind. Im Anhang werden auf weiteren 9 Seiten entsprechende Kennwerte festgelegt. Die Verordnung verweist auf 5 Normen.

Die heutige nichtamtliche Lesefassung der EnEV 2014⁵¹ umfasst 31 Paragraphen auf 40 Seiten mit 50 Seiten Anhang und verweist ihrerseits im Wesentlichen auf die DIN V 18599 mit über 1.000 Seiten und unzähligen Verweisen auf weitere Normen.

- Die 1968 erschienene IWG-Empfehlung Gebäudeautomation (s. Abschnitt 2.2.1) beschreibt Ziel, Aufbau und Funktionen der Gebäudeautomation auf drei Seiten und ergänzt dann konkrete Anlagenbeispiele auf knapp 20 Seiten. Allein Blatt 3 aus der Normenreihe DIN EN ISO 16484⁵² über Funktionen umfasst heute 100 Seiten.

Ähnliche technologische Entwicklungen haben in anderen Branchen zu einem Ausbau des Qualitätsmanagements geführt, um diese Komplexität in der Massenfertigung zu beherrschen. Da Gebäude in der Regel nicht als Serienprodukte, sondern als Unikate mit individuellen Fachplaner- und Errichterteams umgesetzt werden, gibt es entsprechend keinen Akteur, der als „Systemprüfer“ die Rolle eines unabhängigen Qualitätsmanagements übernimmt. Der Markt für Gebäude verfügt heute über leistungsfähige Konzepte und hocheffiziente Einzelprodukte, nicht jedoch über die Methoden, um dieses technische und wirtschaftliche Potenzial in der Praxis in vollem Umfang zu nutzen.

In Tabelle 2 sind einzelne Beispiele zu identifizierten Qualitätsdefiziten bzw. zu Optimierungspotenzialen in Gebäuden und Anlagen zusammengestellt, wie sie in den letzten Jahren überwiegend im Rahmen von Forschungsprojekten ermittelt wurden. Allen Beispielen ist gemeinsam, dass entweder die Qualitätsdefizite durch Mängel der Gebäudeautomation verursacht wurden, oder aber dass die Gebäudeautomation Mittel zur Verfügung stellen kann, die Qualität der Gebäudeperformance zu steigern.

Tabelle 2 Beispiele für Qualitätsdefizite und Optimierungspotenziale im Gebäude- und Anlagenbestand

Untersuchungsschwerpunkt	Qualitätsdefizite bzw. Optimierungspotenziale
Brennwertkessel Wohngebäude⁵³ Ca. 1.000 Wohngebäude Kessel überwiegend < 30kW	<ul style="list-style-type: none"> • Fehlender Außentemperaturfühler • Fehlerhafter Absenkbetrieb
Wärmepumpen Wohngebäude^{54, 55} 110 elektrische Wärmepumpensysteme	<ul style="list-style-type: none"> • Heizbetrieb im Sommer • Fehlerhafte Beladung von Kombispeichern • Dauerbetrieb Ladepumpen
Raumluftechnik Nichtwohngebäude⁵⁶ Ca. 120 Lüftungsanlagen in Nichtwohngebäuden	<ul style="list-style-type: none"> • Hohe spez. Ventilatorleistung, Drehzahlregelung • Betriebszeitenoptimierung • Optimierung der Sollwerte • Einsatz der WRG
Dezentrale Lüftungsgeräte Nichtwohngebäude⁵⁷ 10 Nichtwohngebäuden	<ul style="list-style-type: none"> • Filterverschmutzung • Betriebszeitenoptimierung • Bedarfsanpassung des Volumenstroms • Fehlende indiv. Regelung und Präsenzsteuerung
Kindertagesstätten⁵⁸ 8 Kindertagesstätten	<ul style="list-style-type: none"> • Wirkungsgradoptimierung Gas-Brennwertkessel • Betriebszeiten der Lüftungsanlagen • CO₂-Regelung Raumlüftung • Reduzierung der Spezifischen Ventilatorleistung
Betriebsoptimierung in Nichtwohngebäuden⁵⁹ 14 Gebäude, > 100 Maßnahmen	<ul style="list-style-type: none"> • Betriebsweise von Lüftungsanlagen • Betriebsweise von Heizungsanlagen

Studien des Wuppertal Instituts⁶⁰, von PROGNOSE⁶¹ und von McKinsey⁶² zum gesamten Energieeinsparpotenzial im Gebäudebestand bewerteten auch die Wirtschaftlichkeit von Optimierungsmaßnahmen. Dabei wurden Maßnahmen als besonders wirtschaftlich bewertet, die vor dem Hintergrund von Tabelle 1 als Korrektur von Qualitätsdefiziten begriffen werden können, insbesondere geringinvestive Maßnahmen im Bereich regelungstechnischer Optimierungen von Lüftungsanlagen. Die Einführung eines Qualitätsmanagements für Funktionen der Gebäudeautomation ist somit naheliegend.

2.4 Umfrage zur Praxis

Qualität im Bereich der Gebäudefunktionen fällt heute nach Einschätzung des Projektteams häufig folgenden Phänomenen zum Opfer:

- Einer (falsch verstandenen) **Sparsamkeit**: In der Angebotsphase befürchten Anbieter, dass entsprechend ausgestattete Angebote aufgrund der höheren Projektkosten keine Akzeptanz finden. In der Projektphase kommt Gebäudeautomation in vielen Fällen erst

ganz zum Schluss auf die Baustelle - zu einem Zeitpunkt also, zu dem das Projektbudget schon fast erschöpft oder sogar bereits erreicht ist. Die Neigung des Bauherrn, in dieser Situation noch eine neue Kostenstelle „Qualitätsprüfung“ einzurichten, ist somit gering.

- b) Einem **Zeitproblem**: Der gegen Ende einer geplanten Projektlaufzeit beinahe übliche Zeitdruck für die Erlangung einer Abnahme ist der Tod jeder systematischen Prüfmaßnahme. Im Vordergrund steht, dass die Anlagen laufen müssen. Alle Beteiligten sind froh, wenn das Gebäude in Betrieb ist. Nach „Performance“ wird in einer derartigen Situation zunächst nicht gefragt. Wenn es dann keine Regelung über einen Probebetrieb nach der Abnahme und über die rechtlichen und faktischen Konsequenzen für den Fall einer dabei festgestellten unzureichenden Gebäudeperformance gibt, so ist das Thema „Qualität“ entweder erledigt oder ein Fall für die Gerichte.
- c) Ein **Kompetenzproblem**: Die Gebäudeautomation hat sich in den letzten Jahren, wie beschrieben, sehr schnell entwickelt. Viele Planer, deren Schwerpunkt der Ausbildung und der praktischen Erfahrung nach eher im Bereich der Hydraulik liegt, und Betreiber konnten dieser Entwicklung nur bedingt folgen. Auch bei den Errichtern scheint der Personalbedarf erheblich zu sein.

Um diese Einschätzungen zu validieren, wurden im Rahmen der Projektworkshops am 13.05.16 in Gelsenkirchen sowie am 09.06.16 in Braunschweig die anwesenden Experten gebeten, einen Fragebogen zu ihren Erfahrungen zum Qualitätsmanagement in der Gebäudeautomation anonym auszufüllen. Unter den Befragten waren Errichter von HKL- und MSR-Anlagen, Betreiber, Eigentümer bzw. Bauherren sowie planende Ingenieure und Architekten. Die Fragen bezogen sich dabei sowohl auf die Auswirkungen mangelnder Qualität der Gebäudeautomation auf die Energieeffizienz als auch auf Verantwortlichkeiten und Barrieren der Qualitätsdefizite. Der vollständige Fragebogen ist Anhang 7.5 zu entnehmen.

2.4.1 Ergebnisse der Erfahrungsumfrage

Abbildung 13 zeigt einen Auszug der Ergebnisse aus den Erfahrungsumfragen bei den Projektworkshops. Mit 53 % der Antworten sehen die befragten Experten die größten Qualitätsdefizite in der Kombination aus Gebäudeautomation (MSR) mit den Gewerken Heizung, Klima und Lüftung.

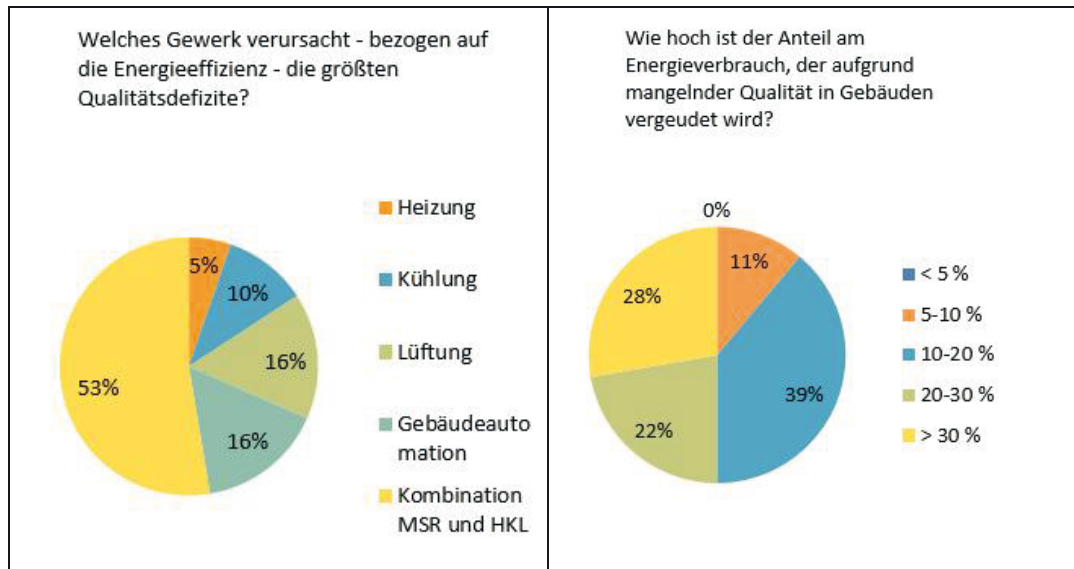


Abbildung 13 Auszug aus den Ergebnissen der Erfahrungsumfragen

Den Anteil am Energieverbrauch, der aufgrund mangelnder Qualität in Gebäuden vergeudet wird, schätzen die Experten mit 39 % der Antworten durchschnittlich auf 10-20 %. Exakt die Hälfte der Befragten geht sogar von einem Anteil über 20 % bis hin zu mehr als 30 % vom Gesamtenergieverbrauch aus.

Die Ursachen für Qualitätsdefizite verteilen sich nach Ansicht der Befragten annähernd gleichmäßig auf die Fachplaner, Errichter der GA-Anlagen, die Betreiber und die Nutzer (z.B. durch unwissentliches oder vorsätzlich falsches Verhalten) mit jeweils 20-35%. Überraschender Weise wurden die Ursachen überhaupt nicht bei den Errichtern der HLK-Anlagen selbst, also z.B. in einer fehlerhaften Hydraulik gesehen.

Die gesamten Umfrageergebnisse sind zusätzlich in Anhang 7.6 dargestellt.

2.5 Zusammenfassung und Zieldefinitionen

Die Gebäudeautomation hat sich in den letzten Jahren schnell zu einem Schlüsselgewerk von Gebäuden entwickelt. Dabei kam es zu einer Beeinträchtigung der Qualität. In diesem Projekt wird untersucht, ob die Methode der Aktiven Funktionsbeschreibung geeignet ist, einen effektiven Qualitätsregelkreis als Qualitätsmanagementprozess für die Gebäudeautomation zur Anwendung in konventionellen Bauprojekten wie auch als Methodik zur Nachhaltigkeitszertifizierung von Gebäuden aufzubauen.

3 AKTIVE FUNKTIONSBESCHREIBUNGEN

Auf Basis des Konzepts Aktiver Funktionsbeschreibungen⁶³ wird eine entsprechend dem Controlling-Gedanken gestaltete durchgängige Methodik für die Spezifikation und Überprüfung des Betriebs von Gebäuden und Anlagen entwickelt. Aktive Funktionsbeschreibungen ermöglichen es, Eigenschaften (Sollwerte) von Anlagen, sowohl der Sensorik als auch der Aktorik, innerhalb bestimmter Betriebszustände zu beschreiben. Anhand der Beschreibung wird unter Verwendung von Betriebsdaten (Istwerten) überprüft, ob die Funktion im Betrieb mit den Vorgaben übereinstimmt.

Das Konzept baut einen Qualitätsregelkreis aus vier Elementen auf: Sollwert, Istwert, Prüfmethode und Wirkung. In der Spezifikation werden in der Planungsphase Funktionen von Gebäuden und Anlagen definiert. Die Betriebsmessung umfasst die tatsächliche technisch-physikalische Messung bzw. die Erfassung von Betriebsdaten aus der Gebäudeautomation. Die Betriebsregeln werden dann auf ihre Gültigkeit unter Verwendung der Betriebsdaten überprüft. Das Prüfergebnis kann anschließend wirksam für Abnahmen, zur Bewertung oder Optimierung des Gebäudebetriebs, als Teil einer Bestandsaufnahme bzw. Gebäudeaudits oder auch als Erkenntnis für das nächste Projekt genutzt werden. Es entsteht ein Qualitätsregelkreis für die Gebäude- und Anlagenperformance, Abbildung 14.

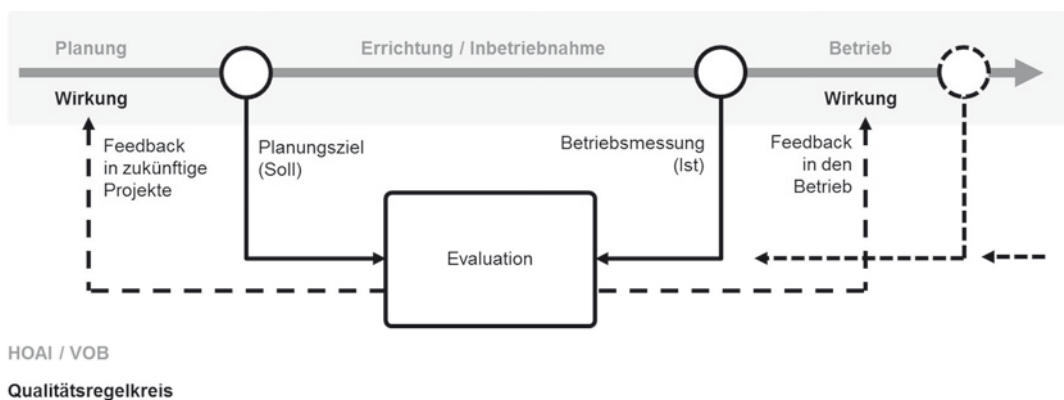


Abbildung 14 Das methodische Prinzip des Qualitätsregelkreises

Im Folgenden wird das Konzept *Aktiven Funktionsbeschreibungen* als methodischer Kern für die Darstellung und Prüfung von Funktionen vorgestellt.

3.1 Sollwerte: Die Spezifikation

Das Konzept der Aktiven Funktionsbeschreibung wurde 2013 von Stefan Plesser⁶⁴ entwickelt. Die Methodik vereinfacht das Beschreibungsmittel des Zustandsautomat bzw. Zustandsgraphen, wie es in VDI 3814-6 definiert wird, durch Reduktion auf Betriebszustände und Aktionen unter Verzicht auf Übergänge und Übergangsbedingungen und durch Erweiterung um ein Auswertungskonzept für Betriebsdaten.

3.1.1 Betriebsregeln BR und Eigenschaften

Eine *Betriebsregel* BR beschreibt eine Eigenschaft einer Anlage zu einem Zeitpunkt als logisches Argument. Eine Betriebsregel ist für einen Zeitpunkt t gültig, wenn das spezifizierte logische Argument für die für diesen Zeitpunkt übergebenen Betriebsdaten gültig ist, siehe als Beispiel Gleichung 1.

Gleichung 1 **Betriebsregel BR_t : $T_{VL,t} > 45^\circ\text{C}$**

mit

$T_{VL,t}$ Betriebsdaten der Vorlauftemperatur zum Zeitpunkt t .

Die Betriebsregel wird in der *Aktiven Funktionsbeschreibung* definiert. Im Betrieb werden der Regel bzw. dem verwendeten Parameter die Betriebsdaten für die Vorlauftemperatur zugewiesen. Für alle Zeitpunkte t , an denen die Vorlauftemperatur größer als 45°C ist, wird die Betriebsregel als gültig ausgewertet.

Als Eigenschaft von Gebäuden und Anlagen werden überwiegend physikalische Größen wie Temperatur, Druck oder Volumenstrom definiert. Dies können aber auch betriebstechnische Merkmale von Anlagen wie Betriebsmeldungen der Gebäudeautomation für die Aktorik oder einzelner Teilanlagen (z.B. EIN/AUS [-], Ventilstellung [%]) sowie Zählerwerte (z.B. für Betriebsstunden) oder Anlagenkennwerte definiert werden.

3.1.2 Zustandsräume ZR und Betriebszustände BZ

Wie in VDI 3814-6 dargestellt, können die Funktionen einer Anlage als Menge bzw. Abfolge von Betriebszuständen mit Hilfe von Zustandsräumen^{II} dargestellt werden. Der dort beispielhaft gezeigte Zustandsraum bzw. Zustandsgraph einer Lüftungsanlage setzt hier

^{II} An Stelle des Begriffs „Zustandsautomat“, der das methodische Konzept beschreibt, und dem Begriff „Zustandsgraph“, der die grafische Beschreibung des Automaten meint, wird im Weiteren der Begriff „Zustandsraum“ verwendet, der die spezifische Anwendung beschreibt.

implizit eine zeitliche und funktionale Kontinuität voraus: die Anlage befindet sich zu jedem Zeitpunkt in einem der dargestellten Zustände und alle Übergangskriterien sind dargestellt.

Die Aktive Funktionsbeschreibung soll Zustände und Eigenschaften umfassen, die nicht nur spezifiziert, sondern auch überprüft werden können. Die Darstellungsform hängt damit sowohl von der Beschreibung als auch von den zur Prüfung verfügbaren Daten ab. Es ist in der Praxis weder praktikabel noch erforderlich, alle möglichen Zustände einer Anlage in der Planung darzustellen. Ebenso ist es nicht möglich, eine Überprüfung des Betriebs zu jedem Zeitpunkt vorzunehmen, da hierzu entsprechend zeitkontinuierliche bzw. vollständige Betriebsdaten vorliegen müssten. In Abschnitt 3.2 wird gezeigt, dass als Betriebsdaten jedoch nur diskrete Werte verfügbar sind, die keine kontinuierliche Abfolge darstellen. Sie können jedoch mit den entsprechenden Werten aus der Spezifikation zu Wertepaaren verknüpft werden.

Entsprechend wird das Konzept der Zustandsräume für die Aktive Funktionsbeschreibung wie folgt vereinfacht definiert:

1. Ein durch einen Zustandsraum beschriebenes System befindet sich in den definierten Zeiträumen immer in genau einem Betriebszustand. Dargestellt werden diskrete Betriebszustände ohne Abfolge oder Bezüge untereinander. Es werden keine Übergänge (Transitionen) dargestellt. Da es keine Übergänge gibt, gibt es keine Darstellung von Übergangsbedingungen.
2. Zustände enthalten Betriebsregeln, deren Gültigkeit für die entsprechenden Betriebsdaten Ausdruck der Einhaltung einer für den Betriebszustand spezifizierten Eigenschaft ist. Weitere für Zustandsautomaten definierte Elemente wie Hierarchien, Start- und Endzustände werden nicht verwendet.

Abbildung 15 zeigt den in VDI 3814-6 dargestellte Zustandsgraph, Abbildung 16 eine unter den genannten Vorgaben vereinfachte Darstellung.

Übergänge (Transitionen), Übergangsbedingungen (Stimuli) und sonstige Merkmale können als Grafiken oder Texte zusätzlich zu Betriebszuständen und Eigenschaften spezifiziert werden. Sie sind aber nicht „aktiver“ Teil der Funktionsbeschreibung, da sie mit der hier vorgestellten Methode nicht automatisch überprüft werden können.

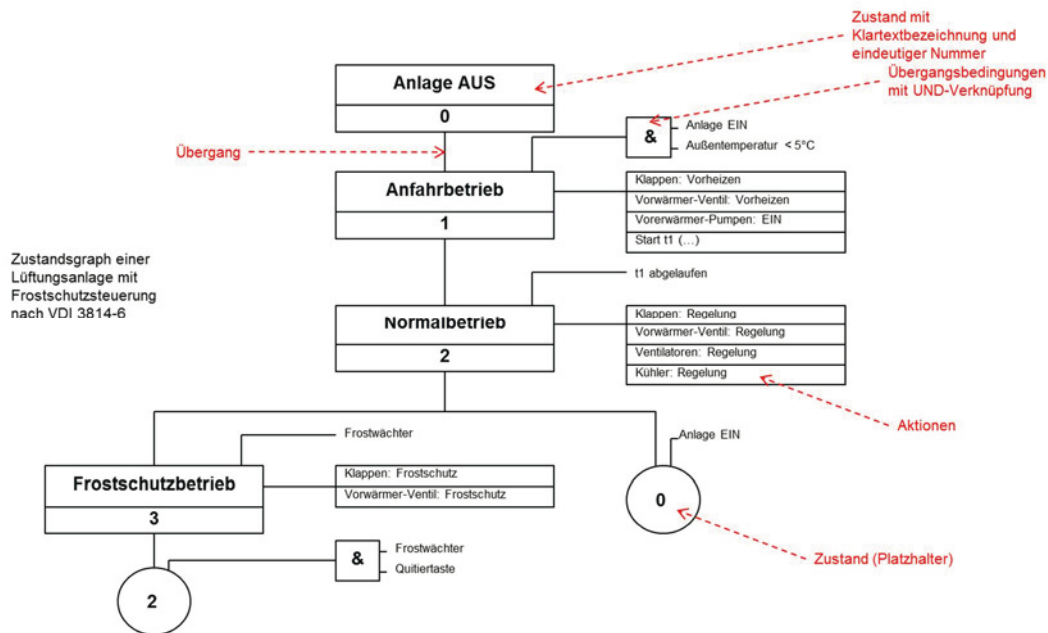


Abbildung 15 Ursprüngliche Darstellung des Zustandsgraphen nach VDI 3814-6⁶⁵ und Erläuterungen (rot)

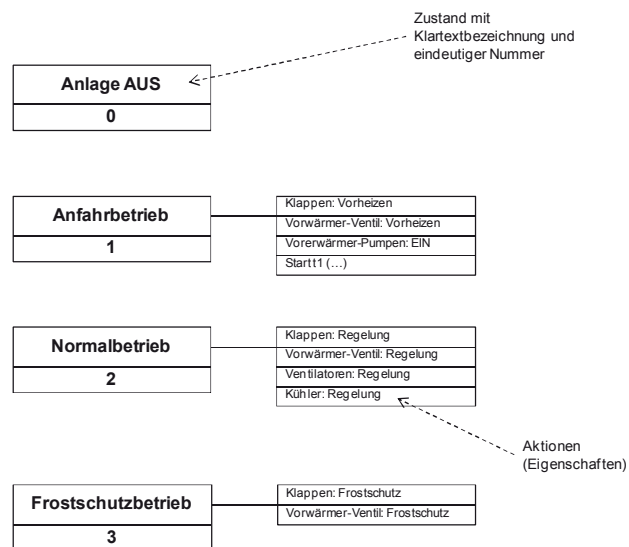


Abbildung 16 Vereinfachte Darstellung des Zustandsgraphen

3.2 Istwerte: Betriebsdaten

Daten der Gebäude- oder Anlagenautomation und von speziellen Messsystemen können über die Managementfunktionen von Gebäudeautomationsanlagen⁶⁶ erfasst, gespeichert und an externe Stellen übergeben werden, z.B. zu Systemtemperaturen, Ventilstellungen oder Betriebszustände von Anlagen, aber auch Energiezählerstände oder Leistungen. Momentanwerte im Abstand von 15 Minuten werden unter anderem seit Langem für die Abrechnung von elektrischen Leistungen verwendet und bilden in zahlreichen Forschungsprojekten die Datengrundlage.

Die Signale von Sensoren werden im Zuge der Datenerfassung transformiert. Analoge Messwerte der Sensorik, z.B. die Spannung (0-10 V) eines Analoggebers, sind stetige zeitkontinuierliche Signale. Zur Verarbeitung in digitalen speicherprogrammierbaren Steuerungen (SPS) werden sie zunächst mit einem Analog-Digital-Umsetzer abgetastet und in digitale Signale umgewandelt. Die Abtastung kann über Stufen erfolgen, so dass sich der digitale Wert ändert, wenn das analoge Signal sich um ein bestimmtes Maß verändert hat. Alternativ kann das analoge Signal auch taktgebunden, also in festen Zeitschritten abgetastet werden. Um Quantisierungs- und Abtastfehler zu begrenzen ist im ersten Fall die Höhe der Stufen ausreichend klein, im zweiten die Abtastfrequenz^{III} ausreichend hoch zu wählen, um nach der Abtastung ohne Informationsverlust rekonstruiert zu werden.

Die Verarbeitung der Daten erfolgt zyklisch innerhalb der entsprechenden Programme. Diese können für eine externe Auswertung und Überwachung des Anlagenbetriebs mit den gleichen Verfahren auch dauerhaft gespeichert werden. Auf Grund des notwendigen Speicherplatzes erfolgt dies in der Regel jedoch in größeren Zeitschritten. Üblich sind im Monitoring von Gebäuden Zeitschritte zwischen 1 und 60 Minuten. Mit dieser niedrigen Abtastfrequenz liegt im Ergebnis keine Transformation des Ursprungssignals mehr vor. Vielmehr werden zu den einzelnen Zeitpunkten jeweils diskrete Momentanwerte gespeichert.

Abbildung 17 zeigt schematisch die Transformation vom analogen Signal $f_1(t)$ über das analog-digital gewandelte $f_2(t)$ zum extern gespeicherten Momentanwert $f_3(t)$.

^{III} Für die Rekonstruktion eines stetigen Ursprungssignals ohne Informationsverlust ist nach dem Nyquist-Shannon-Abtasttheorem eine gleichmäßige Abtastung mit der zweifachen Frequenz des Ursprungssignals notwendig. In einem Regelkreis erfolgt in diesem Kontext jedoch keine Abtastung von Signalen mit dem Ziel einer Rekonstruktion, sondern lediglich die Verarbeitung des Signalwerts zur Berechnung einer Regelabweichung zu bestimmten Zeitpunkten.

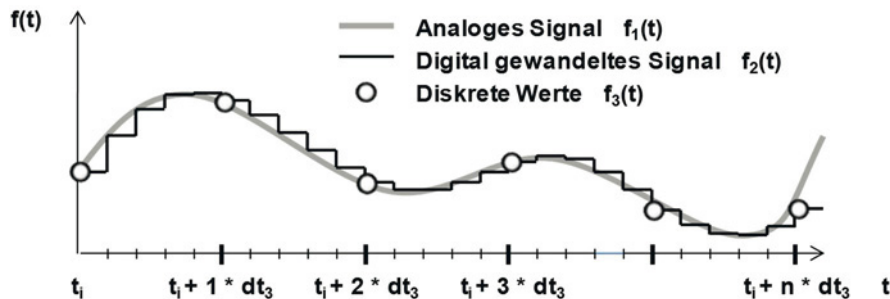


Abbildung 17 Datentransformation von der Gebäudeautomation zum Monitoring

Speicherung und Export von Betriebsdaten für alle Datenpunkte und die Übergabe an externe Stellen sind heute Standardfunktionen der Gebäudeautomation. Entsprechend können sie zur Überprüfung z.B. bei Abnahmen oder zur Überwachung im Betrieb genutzt werden. Sie sollten bei neuen Gebäude grundsätzlich ausgeschrieben werden.

3.3 Prüfmethodik

Soll- und Istwerte können durch die definierte Prüfmethodik verglichen werden, so dass eine Aussage über die Übereinstimmung von Planung und Betrieb getroffen werden kann.

3.3.1 Auswertung von Zustandsräumen

Zur Auswertung eines Zustandsraums zu einem Zeitpunkt wird der gültige Betriebszustand für diesen Zeitpunkt evaluiert. Der Zustandsraum ist gültig, wenn alle Betriebsregeln des Betriebszustands, in dem sich die Anlage befindet, für die entsprechenden Betriebsdaten gültig sind. Ein Zustandsraum ist auch dann gültig, wenn für den gültigen Betriebszustand überhaupt keine Betriebsregeln und damit keine Vorgaben für den Betrieb definiert sind.

Da sich das in dem Zustandsraum abgebildete System zu jedem betrachteten Zeitpunkt in genau einem Zustand befindet, ist bei Gültigkeit des vorliegenden Zustands auch der Zustandsraum zu diesem Zeitpunkt gültig^{IV}.

Alternative Varianten der Auswertungslogik sind grundsätzlich möglich. So kann auch definiert werden, dass in einem Zustandsraum zwei Zustände gleichzeitig gültig sind. Entsprechende Möglichkeiten wurden im Zuge des Forschungsprojekts Energie-Navigator untersucht⁶⁷.

^{IV} Gültig ist im engeren Sinne die im Demonstrator automatisch angelegte Regel zur Auswertung des Zustandsraums. Im Weiteren wird von der „Gültigkeit des Zustandsraums“ gesprochen.

3.3.2 Zustandsindikator

Offen ist bei der Evaluierung des Zustandsraums die Frage, in welchem Zustand sich ein System zu einem bestimmten Zeitpunkt befindet. Als einzige zusätzliche Leistung bei der Anwendung dieser Methodik muss das Gebäudeautomationssystem deshalb für jeden Zustandsraum einen sogenannten *Zustandsindikator* als virtuellen Datenpunkt definieren. Der Zustandsindikator gibt an, in welchem Zustand sich eine Anlage zum einem bestimmten Zeitpunkt befindet. Die Überprüfung erfolgt dann für die Betriebsregeln des entsprechenden Betriebszustands.

Liegt in einem bestehenden System kein Zustandsindikator vor, kann dieser auch durch einen anderen zuverlässigen Indikator gebildet werden, z.B. den Stromverbrauch eines Ventilators als Indikator für die Betriebszustände AN/AUS einer Lüftungsanlage oder die Betriebsmeldung einer Umwälzpumpe.

3.3.3 Betriebsgüte

Die Gültigkeit eines Zustandsraumes bezieht sich jeweils auf einen einzelnen Zeitpunkt. Die Betriebsgüte dient der Bewertung der Zustandsräume über der Zeit. Die *Betriebsgüte BG* ist ein Maß für den Anteil der einzelnen Zeitpunkte innerhalb einer Zeitspanne, für die ein Zustandsraum ZR gültig ist, und damit für die Übereinstimmung zwischen Planung und Betrieb innerhalb einer Zeitspanne.

Grundlage der Bewertung ist entsprechend der Definition von Plesser⁶⁸ die Menge der Booleschen Werte ZR_T für alle Zeitpunkte $t_1 \dots t_n$ innerhalb der Zeitspanne T , s. Gleichung 2.

Gleichung 2 $ZR_T = \{ZR_{t1}, ZR_{t2}, ZR_{t3} \dots ZR_{tn}\}$

mit

ZR_T Menge der Booleschen Werte in der betrachteten Zeitspanne zu den Zeitpunkten t

t_n Zeitpunkte innerhalb der betrachteten Zeitspanne

Wie bei der Betriebsabweichung wird auch für die Betriebsgüte BG ein Grenzwert-Konzept zur Bewertung eingeführt. Als Bewertungsmaß wird die relative Häufigkeit $h_n(ZR_T)$ der Zeitpunkte innerhalb der Zeitspanne verwendet, für die der Boolesche Wert TRUE vorliegt, Gleichung 3.

Gleichung 3 $h_n(ZR_T) = \frac{H_n(ZR_T)}{n}$

mit

$h_n(ZR_T)$ Relative Häufigkeit gültiger Zustandsräume im Zeitraum

$H_n(ZR_T)$ Absolute Häufigkeit gültiger Zustandsräume im Zeitraum

n Anzahl der Elemente der Menge (ZR_T)

Die Betriebsgüte BG_T für eine Zeitspanne T wird entsprechend nach Gleichung 4 definiert.

Gleichung 4 $BG_T = h_n(ZR_T) \times 100 [\%]$

mit

$h_n(ZR_T)$ Relative Häufigkeit gültiger Zustandsräume im Zeitraum

BG_T Betriebsgüte im Zeitraum T

Die Einheit der Betriebsgüte ist %.

Für die Betriebsgüte eines Zustandsraums kann eine Mindestanforderung bzw. ein unterer Grenzwert definiert werden. Damit ist eine Anforderung an die Übereinstimmung des Betriebs mit der Planung eindeutig beschreiben und prüfbar. Abbildung 18 zeigt das gesamte Auswertungskonzept für Zustandsräume und die Betriebsgüte.

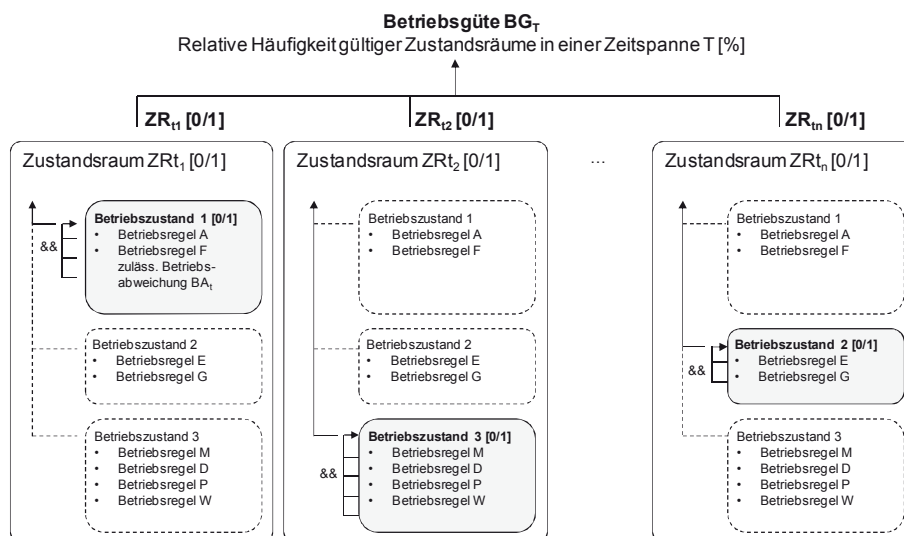


Abbildung 18 Prinzip des Vergleichs und der Bewertung von Spezifikation (SOLL) und Betrieb (IST)

Zu beachten ist, dass lediglich bei der Auswertung einzelner Betriebsregeln technische oder physikalische Einheiten berücksichtigt werden. Für die weitere Auswertung werden lediglich Boolesche Werte verwendet.

3.3.4 Darstellung von Prüfergebnissen

Ein Prüfergebnis, das nun für die Betriebsdaten vorliegt, kann aggregiert werden. Abbildung 19 zeigt die Spezifikation (links) und die Visualisierung der Prüfungsergebnisse der Betriebsdaten (rechts) einschließlich der Aggregation zur Betriebsgüte.

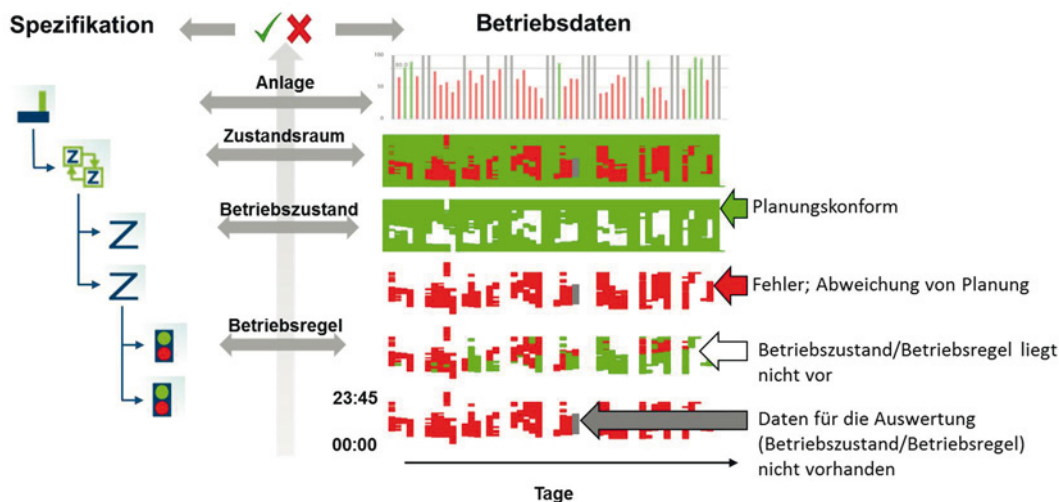


Abbildung 19 Prinzip der Prüfung der Übereinstimmung von Spezifikation (SOLL) und Betrieb (IST) sowie der Aggregation der Prüfergebnisse

3.4 Wirkung in das Projekt

Die Prüfergebnisse sind Ausdruck der Übereinstimmung von Planung und realem Betrieb. Sie können entsprechend als Funktionsprüfung nach HAOI und VOB in Projekten eingesetzt werden. Weitere können in verschiedensten Prozessen genutzt werden. Darüber hinaus können sie auch z.B. zur Bewertung von Betreiberleistungen oder im Rahmen einer Due Diligence genutzt werden.

3.5 Anwendung am Bau

Die Methodik kann für das Qualitätsmanagement am Bau eingesetzt werden. Hierzu werden im Folgenden unterschiedliche Vorgehensweisen für Neubauten und Bestandsgebäude definiert.

3.5.1 Anwendung im Neubau

Für die Anwendung in Neubauprojekten werden 4 Arbeitsschritte definiert, Tabelle 3.

Tabelle 3 Arbeitsschritte für die Anwendung Aktiver Funktionsbeschreibungen

Arbeitsschritt	Leistungen
Grundlagen	Die Aktive Funktionsbeschreibung wird auf Basis der Ausführungsplanung TGA und GA erstellt. Hierzu werden die entsprechenden Planunterlagen gesichtet.
LV-Erstellung	Für die Durchführung der Funktionsprüfungen sind Daten aus der Gebäudeautomation erforderlich. Um die technischen Möglichkeiten zur Datenübergabe sowie die Zuarbeit der Errichter sicherzustellen, sind entsprechende Vorgaben in Leistungsverzeichnisse aufzunehmen. Vorlagen sind im Anhang dargestellt.
Aktive Funktionsbeschreibung	Auf Basis der Fachplanung, ggf. ergänzt durch die Werk- und Montageplanung für die TGA und GA, wird die Aktive Funktionsbeschreibung erstellt.
Funktionsprüfung Probebetrieb	<p>/ Über den Zeitraum mindestens einer Woche soll ein Probebetrieb für eine zu prüfende Anlage erfolgen. Während des Probebetriebs müssen die Anlagen im Automatikbetrieb laufen. Es dürfen keine manuellen Eingriffe erfolgen.</p> <p>Die entsprechenden Betriebsdaten werden durch die GA aufgezeichnet und nach Abschluss des Probebetriebs übergeben. Mit Hilfe der Aktiven Funktionsbeschreibung kann nun die Prüfung durchgeführt werden. Fehler können als Mangel des Mängelmanagements dokumentiert werden.</p> <p>Falls eine Wiederholung einer Prüfung erforderlich wird, kann ein weiterer Betriebsdatensatz untersucht werden.</p>

Da die Funktionsprüfung der TGA und GA in der Regel mehrere Gewerke betrifft und ggf. auch Planungsdefizite identifizieren kann, ist die Prüfung durch einen unabhängigen Dritten durchzuführen.

Da zum Ende eines Neubauprojekts häufig die Zeit fehlt, Probebetriebe noch vor der Übergabe durchzuführen, oder nicht die notwendigen Witterungsbedingungen vorliegen, kann vereinbart werden, die Funktionsprüfungen nach der Übergabe getrennt von der Vollständigkeitsprüfung durchzuführen.

3.5.2 Anwendung im Bestand

Im Bestand kann im Wesentlichen der gleiche Prozess wie im Neubau umgesetzt werden. Allerdings ist es nicht bei allen GA-Anlagen möglich, Daten zu exportieren, sodass ggf. Kosten für die Umsetzung einer Speicher- und Exportfunktionalität entstehen.

4 PILOTANWENDUNG IN 6 GEBÄUDEN

Das Konzept Aktiver Funktionsbeschreibungen wurde im Forschungsprojekt an gebäudetechnischen Anlagen in 6 Gebäuden erprobt. Ziel war es, die technisch-wirtschaftliche sowie die praktische Eignung zu durchgängigen Spezifikation und Prüfung von Automationsfunktionen zu bewerten. Im Folgenden wird die Bearbeitung der 6 Pilotgebäude dokumentiert. Dabei wird die Art der grafische Darstellungen und Tabellen im ersten Beispiel erläutert und in den weiteren Beispielen nicht näher erläutert.

Im Projekt wurden die Methodik an einzelnen Anlagen in 6 Gebäude untersucht, siehe Tabelle 4.

Tabelle 4 Liste der Gebäude und der im Projekt bearbeiteten Anlagen

Gebäude	Anlagen
Bibliothek	Heizkreise, Kälte, RLT
Celler Badeland	Heizzentrale
Deutsche Bundesbank	Heizung, Kälte, RLT-Anlagen
STIEBEL ELTRON Energy Campus	Heizung, Kälte
Verkaufsmarkt	RLT-Anlage
Hörsaalgebäude W-HS	RLT-Anlage

Für die Prüfung der Anlagen wurde mit der Software “Digitaler Prüfstand” für Gebäudeperformance der synavision GmbH eingesetzt, die die erste Software-Anwendung für Aktive Funktionsbeschreibungen ist. Die Software ermöglicht die Spezifikation von Anlagenfunktionen als Aktive Funktionsbeschreibungen und gleichzeitig den Import von Betriebsdaten, Ihre Verknüpfung mit den Spezifikationen und so die Prüfung der Übereinstimmung von geplanten und umgesetzten Funktionen. Die Projektbeispiele fassen die Bearbeitung jeweils zusammen. Die vollständigen Prüfspezifikationen im Softwaredemonstrator sind dem Anhang zu entnehmen.

4.1 Beispielgebäude Bibliothek

Tabelle 5 Bearbeitungsumfang Bibliothek

Bibliothek	
Gebäudetyp	Bibliothek
Baujahr	2015
Nettogrundfläche NGF	38600 m ²
Anzahl der bearbeiteten Anlagen	3
Anzahl der verwendeten Datenpunkte	99

4.1.1 Bestandsaufnahme

Bei diesem Pilotprojekt handelt es sich um die Kernsanierung einer Bibliothek. Im Rahmen eines innovativen Licht-, Energie- und Klimakonzepts erhielt das Gebäude eine neue transparente Fassadenhaut aus Metall und Glas. Das Gebäude zeichnet sich durch die Offenheit zwischen dem zum großen Teil frei zugänglichen Magazinbestand und den Beständen in den Lesesälen in den oberen Etagen mit mehr als 1.700 differenzierten Benutzerarbeitsplätzen aus: vom Lautlosbereich bis zur Lernlounge. Die Bibliothek ist von vornherein für einen Betrieb rund um die Uhr an sieben Tagen der Woche geplant.

Eine Besonderheit des Energiekonzepts ist der Grundwasserbrunnen im Rücklauf des Kälteverteilers, Abbildung 20. Dieser liefert über einen Wärmeübertrager den Großteil des benötigten Kältebedarfs, die nachgeschaltete Kältemaschine wird nur dann aktiv, wenn die vom Brunnen bereitgestellte Kälteleistung nicht ausreicht. Über einen Nahkälteabgang wird im Weiteren noch ein angrenzendes Nachbargebäude mit Kälte versorgt.

Zudem verfügt das Gebäude über keine konventionellen Heizkörper, sondern wird ausschließlich über Flächentemperiersysteme (Betonkernaktivierung und Heiz- / Kühldeckensegel) sowie die Lüftungsanlagen beheizt.

Das Gebäude verfügt über vier Teilklimazentralgeräte, die die Lesesäle mit konditionierter (WRG, Heizen, Kühlen) frischer Außenluft versorgen. Zwei Sonderräume im 4. OG (Konferenz- und Sitzungssäle) werden zudem über ein gemeinsames Klimazentralgerät vollklimatisiert (WRG, Heizen, Kühlen, Befeuchten, Entfeuchten). Für den teilweise empfindlichen Buchbestand in den Tiefmagazinen stehen zwei weitere Klimazentralgeräte zur Verfügung. Der Wärmebedarf wird über einen Fernwärmeanschluss gedeckt. Die Übergabestation besteht aus zwei redundant ausgelegten Dampfwärmeübertragern.

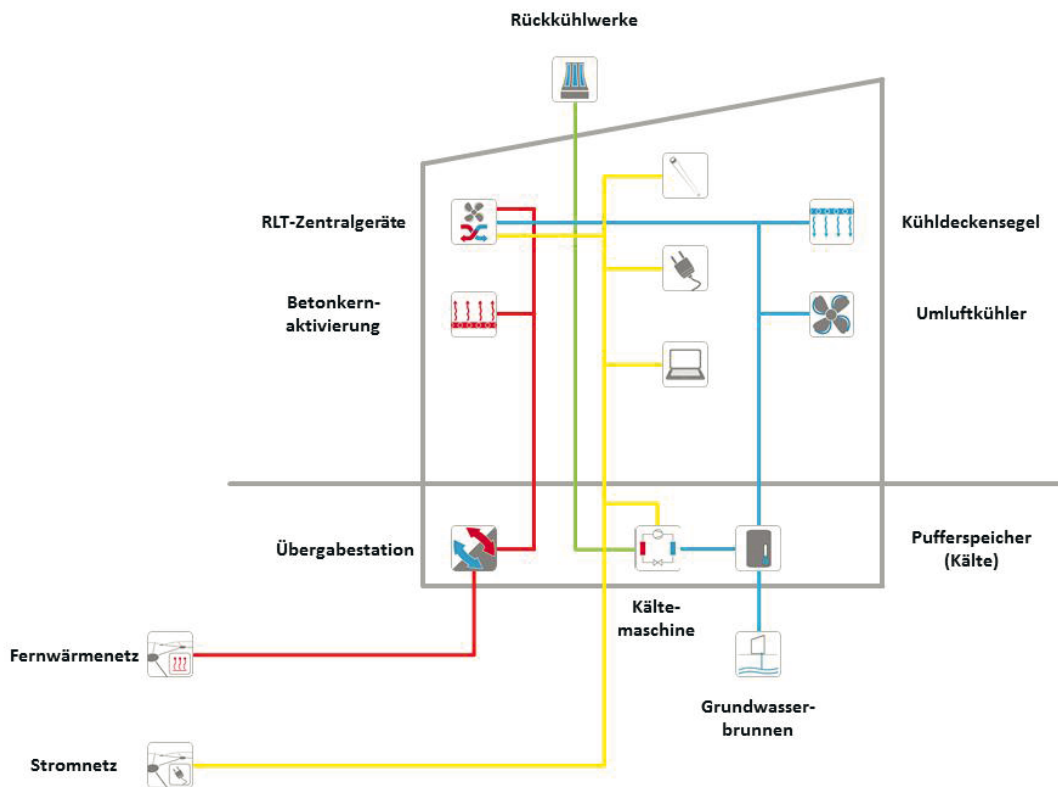


Abbildung 20 Vereinfachte Darstellung des Energiekonzepts des Bibliotheksgebäudes

4.1.2 Erstellung der Funktionsbeschreibungen

Folgende Unterlagen wurden übergeben:

- Vollständige Revisions- und Planungsunterlagen des GA-Planers (Funktionsbeschreibungen, Ablaufdiagramme, Anlagen- und Automationsschemen)
- Ergebnisse der thermischen Gebäudesimulation (daraus wurden einige Benchmarks und Key Performance Indikatoren abgeleitet)
- Verschiedene Herstellerunterlagen
- EDE-Listen aus der Gebäudeleittechnik
- Raumtypenlisten

Die Funktionsbeschreibungen wurden für jede Anlage separat erstellt, sodass dem Betreiber bei Bedarf direkt eine detaillierte Analysemöglichkeit zur Verfügung steht.

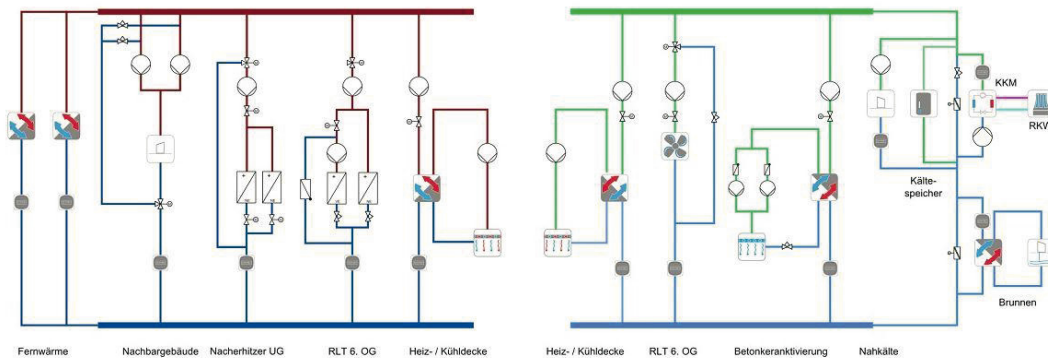
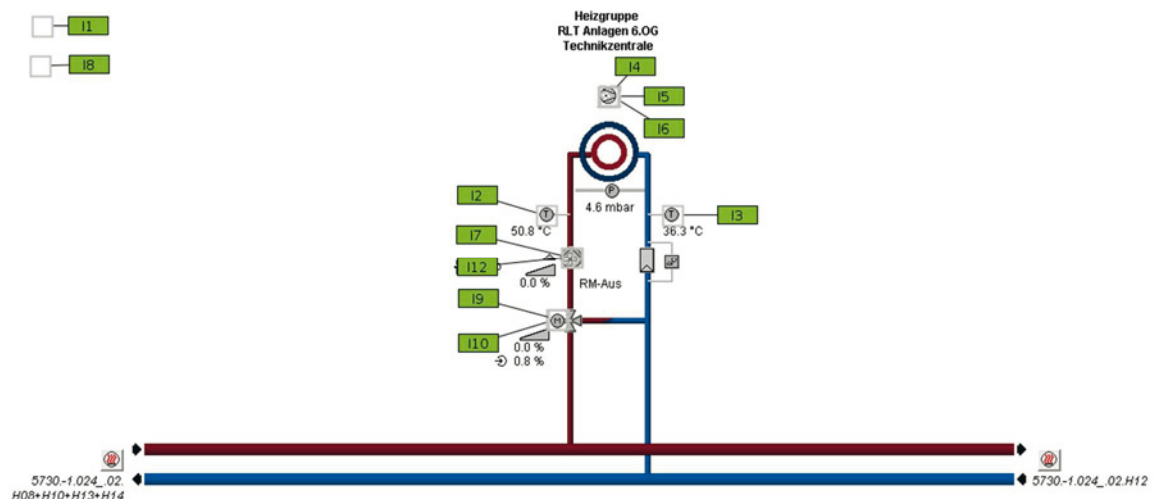


Abbildung 21 Darstellung eines vereinfachten Funktionsschemas

4.1.2.1 Erläuterung der Vorgehensweise am Beispiel der Anlage „Heizkreis RLT 6. OG“

Die Heizregister der Lüftungsanlagen werden über einen separaten Heizkreis am Heizwärmeverteiler versorgt. Dieser Heizkreis dient im Folgenden dazu, die Vorgehensweise bei der Spezifikation der Aktiven Funktionsbeschreibungen anhand der verfügbaren Planungsdokumentation exemplarisch zu erläutern. Der eingesetzte Softwaredemonstrator erlaubt den Export der Prüfspezifikation als gegliedertes Word-Dokument (*.docx). Um die softwareseitige Implementierung der Aktiven Funktionsbeschreibungen zu verdeutlichen werden die aus der Planungsdokumentation abgeleiteten Betriebszustände und Betriebsregeln an entsprechender Stelle durch Auszüge aus dem genannten Export-Dokument ergänzt.

Abbildung 22 zeigt die grafische Darstellung des Anlagenschemas mit den zugehörigen Datenpunkten im Softwaredemonstrator. Zur Prüfung wurden insgesamt 10 Datenpunkte herangezogen.



Name	Kommentar	Einheit	Kurzbeschreibung
I1	Aussen_T	°C	
I2	VL_T	°C	H09 VL-Temp. Hzg RLT 6.OG
I3	RL_T	°C	H09 RL-Temp. Hzg RLT 6.OG
I4	Pth	kW	H09 Leistung Wärmezähler Hzg RLT 6.OG
I5	Qth	kWh	H09 Energie Wärmezähler Hzg RLT 6.OG
I6	Qth_Zähler	kWh	
I7	Pu_BM	-	H09 RM EIN P-PE Hzg RLT 6.OG
I8	ZM	-	
I9	Ve	%	H09 Stellsignal Ventil Hzg RLT 6.OG
I10	Ve_Rückführung	-	H09 Rückführ. Ventil Hzg RLT 6.OG

Abbildung 22 Anlagenschema und Datenpunktliste "Heizkreis RLT 6. OG" (Auszug Export-Dokument Softwaredemonstrator)

Da der Heizkreis unmittelbar an die Anforderung der Lüftungsanlagen geknüpft ist und diese aufgrund der 24-stündigen Nutzungszeit des Gebäudes im Dauerbetrieb sind, ist kein Absenkbetrieb vorgesehen. Für den Heizkreis ergeben sich somit also die folgenden Betriebszustände:

- BZ00: Aus
- BZ01: Normalbetrieb

Der Betriebszustand BZ01: Normalbetrieb liegt dabei immer dann vor, wenn eine Freigabe der Anlage erfolgt. Aus dem Auszug aus dem Ablaufdiagramm geht hervor, dass die Anlage freigegeben wird, wenn eine Anforderung von den Lüftungsanlagen anliegt und keine Störmeldung hinsichtlich der Spannungsversorgung, des Schaltschranks oder der Umwälzpumpen registriert ist. Da die Lüftungsanlagen zum Stand der Bearbeitung im Dauerbetrieb betrieben werden, wird der Betriebszustand BZ00: Aus somit nur aktiv, wenn eine Störmeldung anliegt oder Wartungsarbeiten durchgeführt werden müssen. Zur Unterscheidung der Betriebszustände wird aus der Gebäudeleittechnik kein differenzierter Datenpunkt übergeben, weshalb dieser über eine Merkerfunktion anhand geeigneter zuverlässiger Indikatoren gebildet werden muss. Für übliche Heizkreise, die zusätzlich einen Absenkbetrieb vorsehen stellen derartige Indikatoren häufig ein entsprechendes Zeitprogramm in Kombination mit den Heizgrenztemperaturen der Außenluft dar. Da sich die Anforderung des hier beschriebenen Heizkreises jedoch primär nach der Anforderung durch die Lüftungsanlagen unter Berücksichtigung eventueller Störmeldungen richtet, bieten sich

die genannten Indikatoren nicht an. Ebenso werden Störungsmeldungen nicht mit den Datensätzen aus der GLT übergeben, weshalb der Zustandsmerker auch nur bedingt über die Anforderungsmeldung der Lüftungsanlagen gebildet werden könnte. Vor diesem Hintergrund wurde als Indikator zur Zustandsunterscheidung die Betriebsmeldung der Umwälzpumpe des Heizkreises gewählt.

Die Spezifikation der Merkerfunktion im Softwaredemonstrator lautet demnach wie folgt dar:

if I7 == 1 then 1 else 0

Name	Kommentar	Einheit	Kurzbeschreibung
I7	Pu_BM	-	H09 RM EIN P-PE Hzg RLT 6.OG

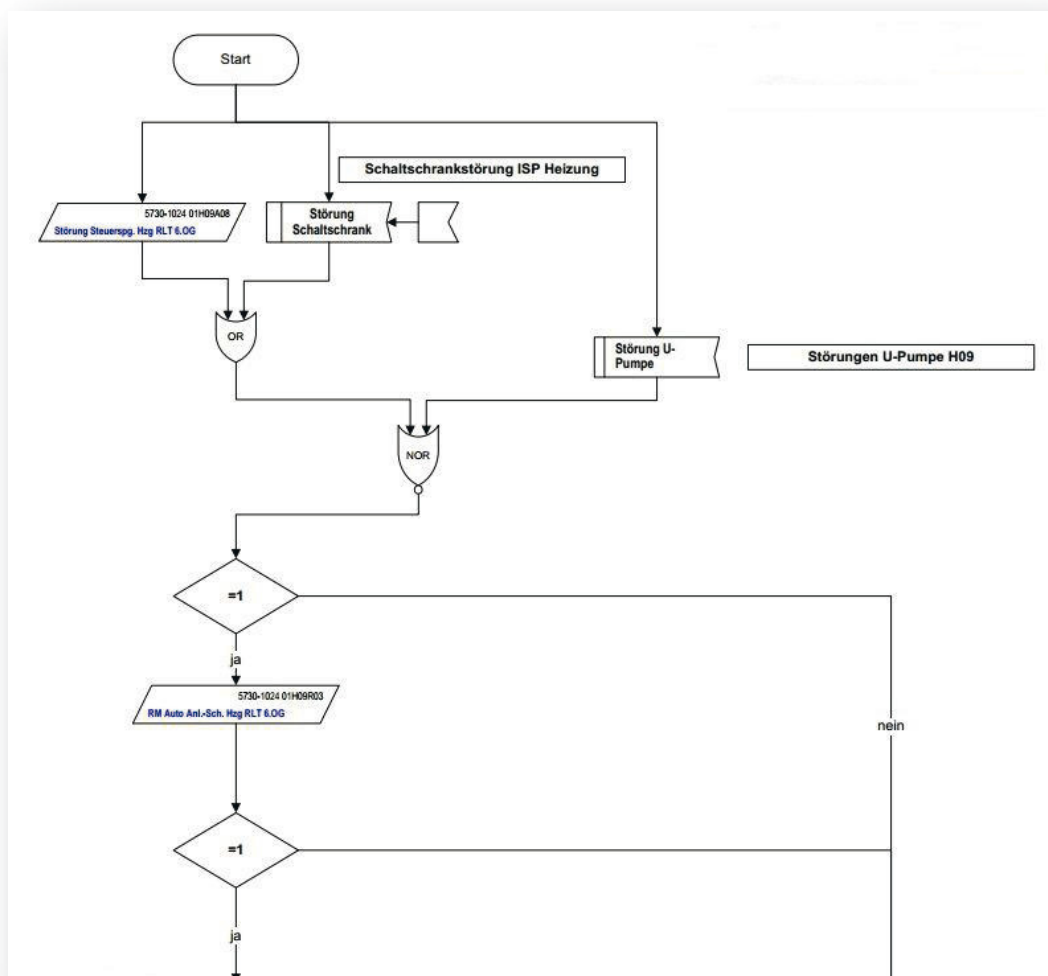




Abbildung 23 Auszug aus dem Ablaufdiagramm zur Anlagenfreigabe des Heizkreises "H09 RLT 6. OG"

Die Erstellung der den Betriebszuständen zugeordneten Regeln erfolgt anhand der Dokumentationsunterlagen (Funktionsbeschreibungen, Ablaufdiagramme, Anlagenschemen) sowie anhand logischer Operatoren. Für den Betriebszustand BZ00: Aus werden folgende Betriebsregeln festgelegt:

- BR01 Pth: Keine thermische Leistung des Heizkreises ($P_{th} = 0 \text{ kW}$)
- BR02 Pu_BM: Die Umwälzpumpe ist aus (Betriebsmeldung = 0)
- BR03 Ve: Das Regelventil ist geschlossen ($Y = 0 \%$)

Im Softwaredemonstrator wurden die Betriebsregeln wie folgt spezifiziert, Abbildung 24:

 Pth			
I4 == 0			
Name	Kommentar	Einheit	Kurzbeschreibung
I4	Pth	-	H09 Leistung Wärmezähler Hzg RLT 6.OG

 Pu_BM			
I7 == 0			
Name	Kommentar	Einheit	Kurzbeschreibung
I7	Pu_BM	-	H09 RM EIN P-PE Hzg RLT 6.OG


 Ve			
I9 == 0			
Name	Kommentar	Einheit	Kurzbeschreibung
I9	Ve	-	H09 Stellsignal Ventil Hzg RLT 6.OG

Abbildung 24 Spezifikation im Softwaredemonstrator

Anhand der Betriebsdaten wird über die definierten Regeln der Ist- mit dem Soll-Zustand verglichen und evaluiert. Die grafische Auswertung der Betriebsregeln für den Betriebszustand BZ00: Aus ist in Abbildung 25 dargestellt. Es wird deutlich, dass die Anlage

in diesem Zustand weitestgehend planungskonform betrieben wird und keine gravierenden Abweichungen auftreten.

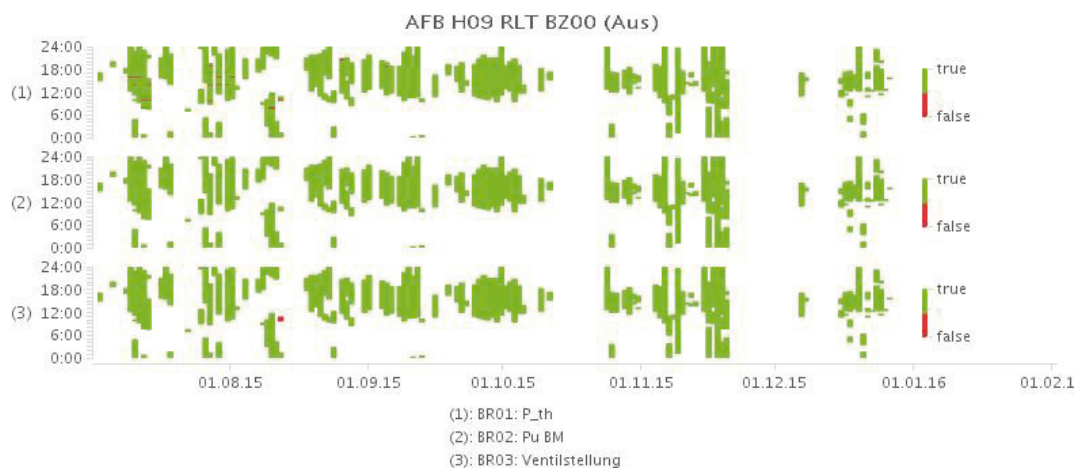


Abbildung 25 Auswertung der Betriebsregeln im Betriebszustand BZ00 Aus

Im Normalbetrieb unterliegt die Regelung der Vor- und Rücklauftemperatur der dargestellten Regelstruktur. Das Regelventil wird dabei mit dem Minimalwert aus den beiden PID-Reglern der Vor- und Rücklauftemperatur angesteuert. Der Sollwert der Vorlauftemperatur generiert sich über eine Kennlinie in Abhängigkeit zur Außenlufttemperatur (witterungsgeführt). Die Parametrierung dieser Kennlinie kann der Funktionsbeschreibung entnommen (siehe Abbildung 27) und im Demonstrator spezifiziert werden, Abbildung 28. Die Rücklauftemperatur wird auf einen Maximalwert von 40 °C begrenzt.

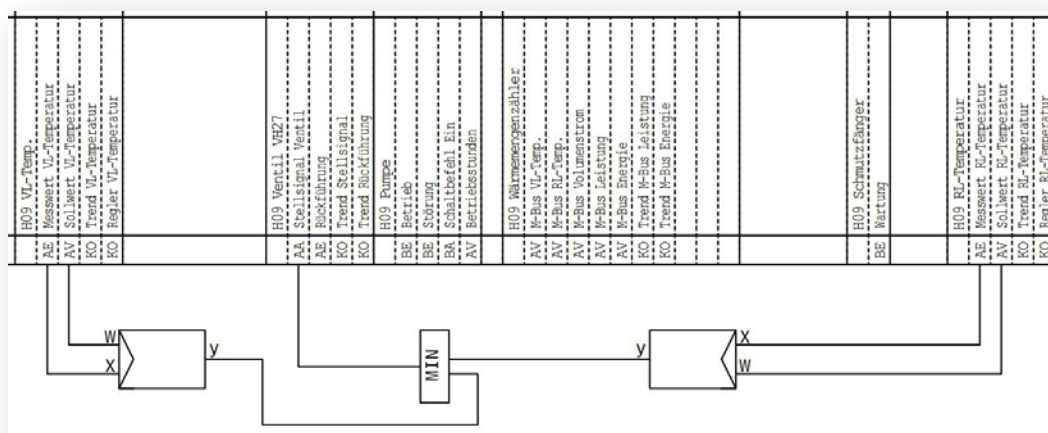


Abbildung 26 Auszug aus der Regelstruktur der Temperaturregelung des Heizkreises "H09 RLT 6. OG"

Im Automatikbetrieb wird die Vorlauftemperatur auf den berechneten Sollwert „XC VL-Temp.“ geregelt. Dieser ergibt sich aus einer AT-Kurve mit folgenden Eckdaten:

Parameter	Wert	Geändert
Sollw. VL-Temp. max.	70°C	
Sollw. VL-Temp. Min.	50°C	
AuT-Ausleg.temp. max.	25°C	
AuT-Ausleg.temp. min.	-12°C	

Abbildung 27 Auszug aus der Funktionsbeschreibung des Heizkreises "HK09 RLT 6. OG" mit den Parametern der Vorlauftemperaturkennlinie

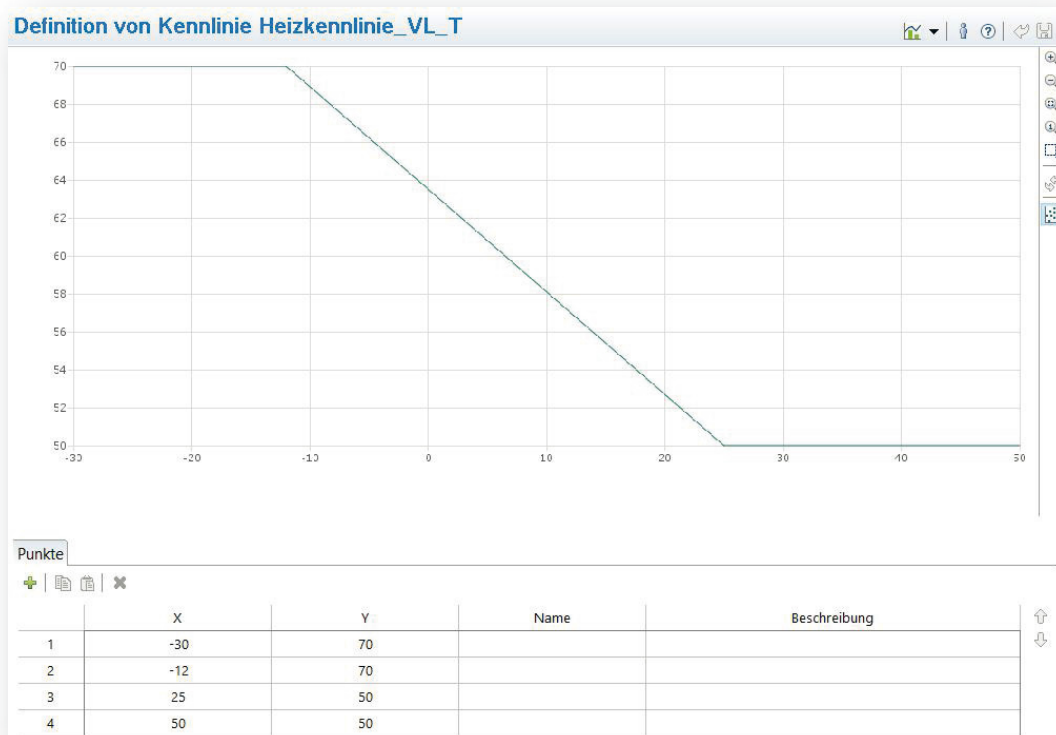



Abbildung 28 Darstellung der Implementierung der Vorlauftemperaturkennlinie des Heizkreises „HK09 RLT 6. OG“ im Softwaredemonstrator


Für den Betriebszustand BZ01: Normalbetrieb werden somit die folgenden Betriebsregeln festgelegt:


- BR01 Aussen_T: Die Außenlufttemperatur liegt unter 18 °C
- BR02 Pth: Thermische Leistung liegt an ($P_{th} > 0$ kW)


- BR03 Pu_BM: Umwälzpumpe ist in Betrieb (Pu_BM = 1)
- BR04 RL_T: Die Rücklauftemperatur liegt unter 40 °C
- BR05 VL_T: Die Vorlauftemperatur weicht max. 2 K vom Sollwert ab
- BR06 Ve: Das Regelventil ist geöffnet (Y > 0 %)


Im Softwaredemonstrator wurden die genannten Betriebsregeln für den Betriebszustand BZ01 wie folgt spezifiziert, Abbildung 29:

 Aussen_T			
I1 < 18			
Name	Kommentar	Einheit	Kurzbeschreibung
I1	Aussen_T	-	

 Pth			
I4 > 0			
Name	Kommentar	Einheit	Kurzbeschreibung
I4	Pth	-	H09 Leistung Wärmezähler Hzg RLT 6.OG

 Pu_BM			
I7 == 1			
Name	Kommentar	Einheit	Kurzbeschreibung
I7	Pu_BM	-	H09 RM EIN P-PE Hzg RLT 6.OG

 RL_T			
I3 < .RL_T_max //40°C			
Name	Kommentar	Einheit	Kurzbeschreibung
I3	RL_T	-	H09 RL-Temp. Hzg RLT 6.OG

 Ve			
I9 > 0			
Name	Kommentar	Einheit	Kurzbeschreibung
I9	Ve	-	H09 Stellsignal Ventil Hzg RLT 6.OG


 VL_T			
$\text{abs}(I2 - .VL_T_SW_Normalbetrieb) < .VL_T_Toleranz \ //2K$			
Name	Kommentar	Einheit	Kurzbeschreibung
I2	VL_T	-	H09 VL-Temp. Hzg RLT 6.OG

Abbildung 29 Spezifikation im Softwaredemonstrator

Abbildung 30 zeigt die grafische Auswertung der Aktiven Funktionsbeschreibung für die im Betriebszustand BZ01: Normalbetrieb definierten Betriebsregeln. Aus der Darstellung geht hervor, dass der Heizkreis in den Sommermonaten trotz Außenlufttemperaturen über 18 °C in Betrieb geht (BR01). Dies führt wiederum zu Folgefehlern in den Betriebsregeln BR02 und BR04. Da der Heizkreis in Betrieb geht, ohne dass eine Anforderung von den versorgten Lüftungszentralgeräten vorliegt, erfolgt keine Wärmeabnahme und es liegt somit keine thermische Leistung an (BR02). Dies führt wiederum dazu, dass die maximal zulässige Rücklauftemperatur überschritten wird (BR04). Weiterhin gehen anhand der Betriebsregel BR05 hohe Fehlbetriebszeiten bezüglich der Vorlauftemperaturregelung hervor. Eine Detailanalyse zeigt, dass trotz der witterungsgeführten Vorlauftemperaturregelung kein Regelverhalten erkennbar wird. Die Betrachtung der Ventilstellung (BR06) zeigt kein charakteristisches Regelverhalten, sondern öffnet, bzw. schließt sich mehrmals pro Stunde vollständig, was wiederum zu starken Vorlauftemperaturschwankungen führt. Dieses Schwingverhalten kann entweder auf eine fehlerhafte Dimensionierung des Ventils oder auf eine falsche Parametrierung bzw. Auswahl des Reglers zurückzuführen sein.

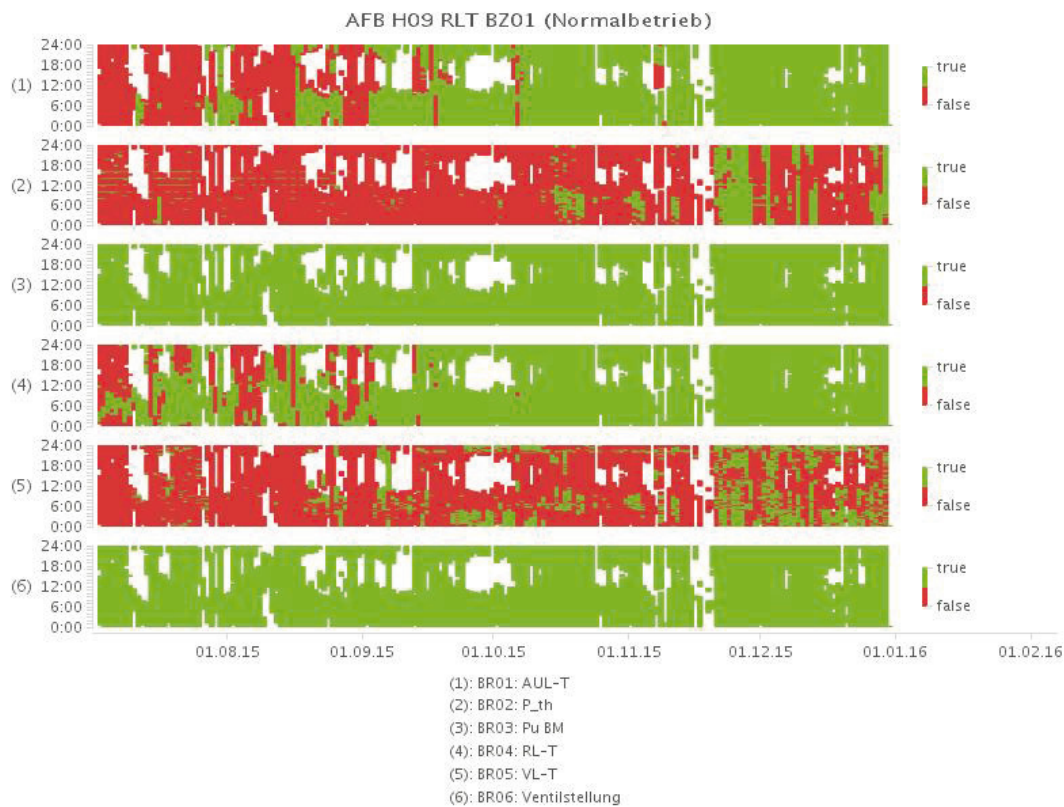


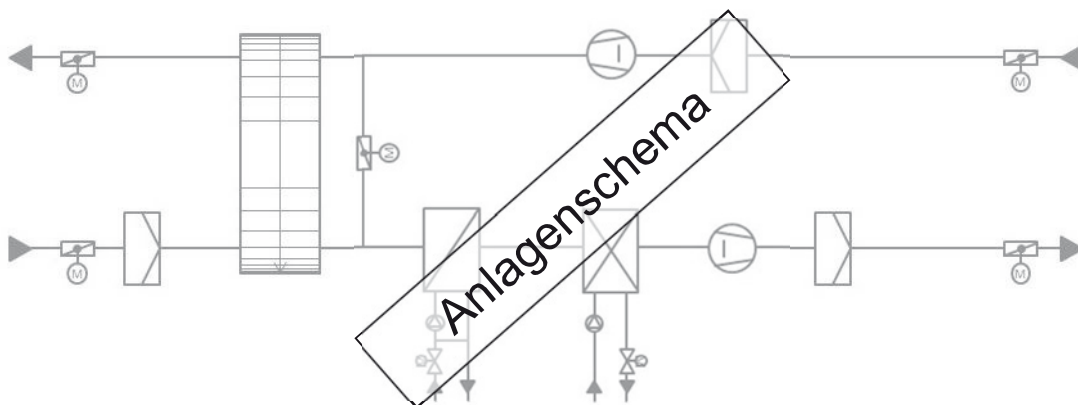
Abbildung 30 Auswertung der Betriebsregeln im Betriebszustand BZ01 Normalbetrieb




4.1.3 Prüfung der Betriebsdaten

Die Auswertung der Messdaten sollte ursprünglich bereits begleitend zur Inbetriebnahme beginnen. Der Datenexport aus der eingesetzten Managementebene der Gebäudeleittechnik bereitete jedoch erhebliche Probleme, wodurch sich die Bereitstellung von konsistenten Datensätzen verzögerte. Nutzungsbeginn des Gebäudes war bereits im Juli 2015, die ersten Messdaten im ausgeschriebenen Format wurden erst ab Dezember 2015 bereitgestellt. Das hauptsächliche Problem stand in der Aufzeichnung der Messdaten. So wurden Daten – entgegen der Ausschreibung - nach dem Schwellwertverfahren zusammengefasst in einer Datei je ISP historisiert. Diese Vorgehensweise führte zu extremen Datenmengen und erschwerte die Auswertung. Im Zuge der Bearbeitung wurde das Format auf die geforderten ¼-Stunden Werte umgestellt. Die Prüfungen konnten dann in der ersten Betriebsphase durchgeführt werden. Die Messdatendateien wurden täglich per E-Mail zur Verfügung gestellt und auf einem FTP-Server zwischengespeichert. Der Import in den Software-Demonstrator erfolgte dann automatisiert.

Im Folgenden sind die Prüfergebnisse weiterer Anlagen auf Basis der AFB dargestellt. Die Darstellung der Auswertung erfolgt dabei in Form von Prüfprotokollen entsprechend der exemplarischen Darstellung im Folgenden. Zur übersichtlicheren Darstellung der Prüfergebnisse beschränkt sich die grafische Darstellung in der Spalte „Auswertung“ lediglich auf die Betriebsgüte (Performance Chart), den Zustandsraum (Rasterdiagramm) sowie die zugehörigen Betriebszustände (Maskierte Rasterdiagramme). Auf die grafische Darstellung der einzelnen Betriebsregeln wird an dieser Stelle verzichtet, um eine möglichst kompakte Ergebnisübersicht zu erzielen. Stattdessen werden die signifikanten Betriebsregeln sowie die erkannten Abweichungen in den Kommentarspalten textlich beschrieben.

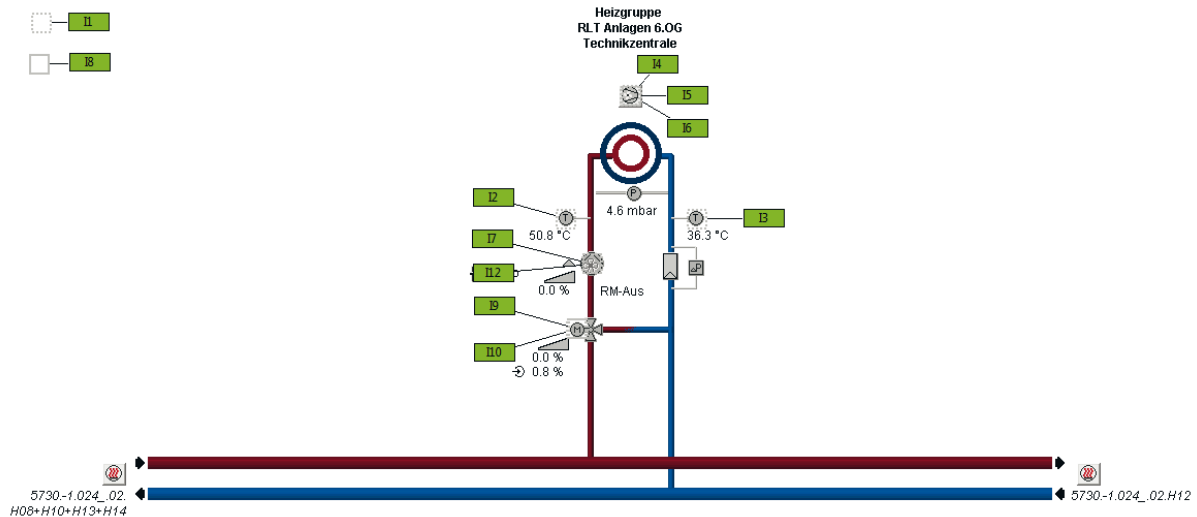
Anlage	Prüfzeitraum von	bis	Datenpunkte
Anlagenbezeichnung	XX.XX.XXXX	XX.XX.XXXX	XX





Auswertung	Funktion Soll	Funktion Ist / Empfehlung
 <p>Betriebsgüte</p>  <p>Zustandsraum</p>  <p>Betriebszustände</p> <p>AFB H09 HK RLT</p> <p>(1): Zustandsraum (2): Betriebszustand 00 (Aus) (3): Betriebszustand 01 (Normalbetrieb)</p>	<p>BZ01 Normalbetrieb</p> <p>In dieser Spalte erfolgt die Beschreibung der durch die Betriebsregeln definierten Sollfunktionalität je Betriebszustand.</p>	<p>In dieser Spalte erfolgt die Beschreibung des tatsächlichen Betriebsverhaltens, bzw. die Feststellung der Sollabweichung. Ggf. wird zusätzlich ein Handlungs- bzw. Optimierungshinweis gegeben.</p>

4.1.3.1 Heizkreis RLT-Anlagen Dachzentrale

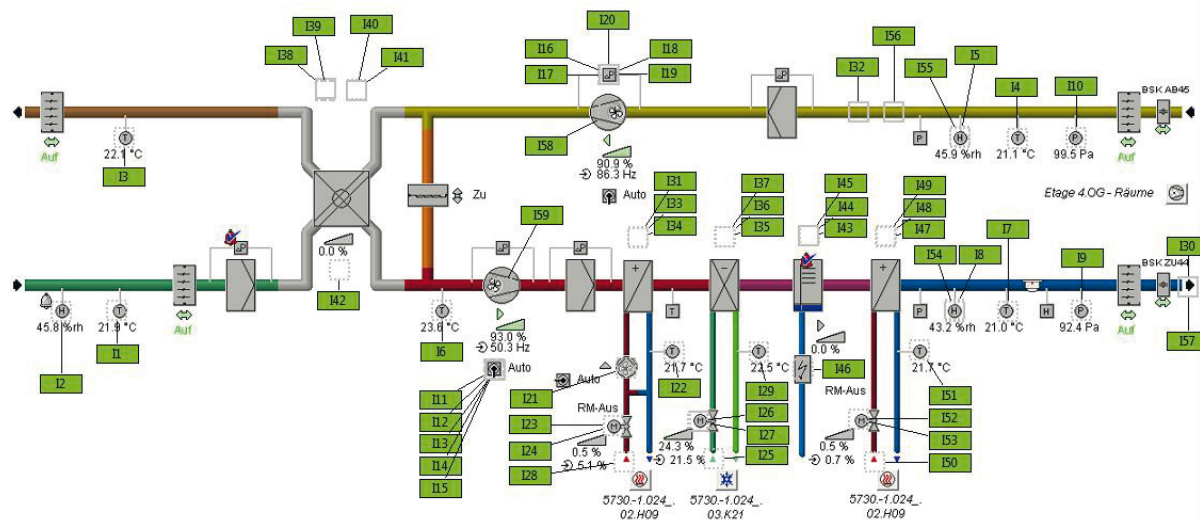
Anlage	Prüfzeitraum von	bis	Datenpunkte
HK09 RLT 6. OG	01.07.2015	31.12.2015	10

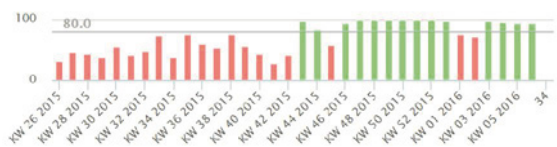
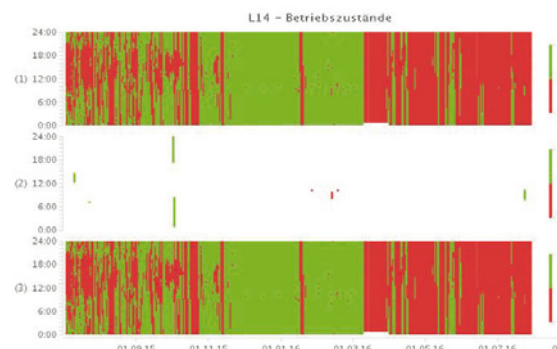


Auswertung	Funktion Soll	Funktion Ist / Empfehlung
 <p>AFB H09 HK RLT</p>  <p>(1): Zustandsraum (2): Betriebszustand 00 (Aus) (3): Betriebszustand 01 (Normalbetrieb)</p>	<p>BZ01 Normalbetrieb</p> <p>Außenlufttemperatur unter 18 °C</p> <p>Thermische Leistung des Heizkreises über 0 kW (Wärmeabnahme)</p> <p>Die Vorlauftemperatur wird per Kennlinie auf einen witterungsgeführten Sollwert geregelt</p>	<p>Heizkreis ist im Normalbetrieb, obwohl Außenlufttemperatur über 18 °C liegt</p> <p>Der Heizkreis ist im Normalbetrieb, es erfolgt aber keine Wärmeabnahme ($P_{th} = 0 \text{ kW}$)</p> <p>Die Vorlauftemperatur liegt häufig außerhalb des Toleranzbereichs, es ist kein Regelverhalten erkennbar</p>

4.1.3.2 Klimazentralgerät L14

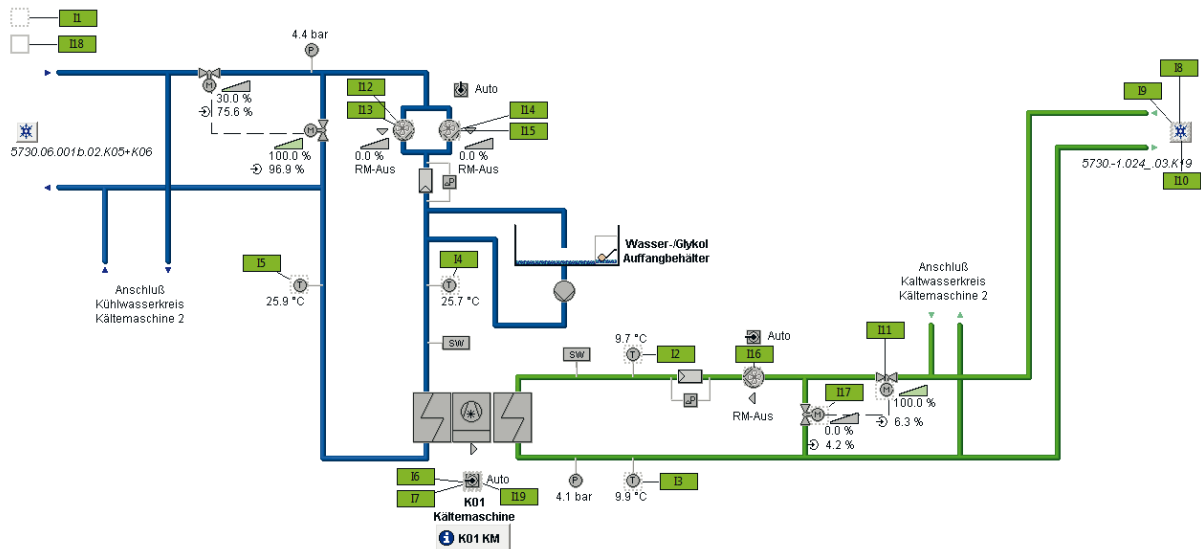
Anlage	Prüfzeitraum von	bis	Datenpunkte
L14 RLT Sonder K1	01.07.2015	15.02.2016	59


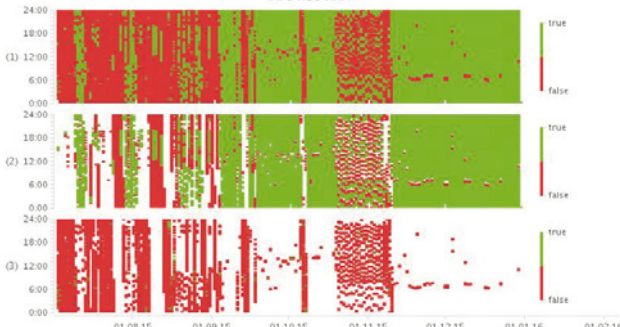


Auswertung	Funktion Soll	Funktion Ist / Empfehlung
  <p>(1): Zustandsraum ZR01 (2): Zuluft-Rotor (3): Zuluft-Rotor</p>	BZ01 Normalbetrieb: Ablufttemperatur nach Kennlinie Vorerhitzer wird beim Entfeuchten (ab $\phi_{\text{Abluft}} > 55\%$) gesperrt, das Stellventil ist geschlossen Relative Abluftfeuchte konstant bei $\phi_{\text{Abluft}} = 55\% \pm 10\%$ Relative Zuluftfeuchte im Bereich $40\% < \phi_{\text{Zuluft}} < 85\%$ WRG-Rotor gesperrt, wenn $\Delta\theta(\text{Aul/Abl}) < 3\text{ K}$	Bei Außenlufttemperaturen über 28 °C unterschreitet die Ablufttemperatur das Toleranzband Das Stellventil des Vorerhitzers ist speziell in der Übergangszeit (Oktober) häufig trotz zu hoher Feuchte geöffnet Häufige Toleranzaustritte zwischen August und Oktober 2015 Überschreitung im August 2015 Unterschreitung im Januar 2016 Zwischen August und November 2015 erfolgt häufig keine Sperrung des Rotors, trotz Überschreitung der Temperaturdifferenz

4.1.3.3 Kältezentrale

Anlage	Prüfzeitraum von	bis	Datenpunkte
K18 Kältezentrale	01.07.2015	31.12.2015	30



Auswertung	Funktion Soll	Funktion Ist / Empfehlung
 <p>AFB K18 KKM</p>  <p>(1): Zustandraum (2): Betriebszustand 00 (Brunnenbetrieb) (3): Betriebszustand 01 (Normalbetrieb)</p>	BZ00 Brunnenbetrieb Regelklappe K3 ist geschlossen	Regelklappe K3 schließt nicht vollständig
	BZ01 Normalbetrieb KM-Eintrittstemperatur kaltwasserseitig nicht unter 12 °C Das Stellsignal der Kühlwasserpumpen wird über eine Kennlinie in Abhängigkeit zur Kühlwasseraustrittstemperatur geregelt Die Kühlwassereintrittstemperatur wird auf einen Sollwert von 30 °C geregelt	Eintrittstemperatur liegt häufig unter 12 °C, KM ist trotzdem in Betrieb Das Stellsignal der Pumpen weicht häufig um mehr als 5 % vom Sollwert ab Die Kühlwassereintrittstemperatur weicht häufig um mehr als 2 K vom Sollwert ab Häufiges Takten der KKM während der Übergangszeit (September-November)

4.2 Beispielgebäude Celler Badeland

Das zweite Pilotobjekt war das Gebäude des Celler Badelands, Abbildung 31 und Tabelle 6



Abbildung 31 Celler Badeland

Tabelle 6 Bearbeitungsumfang Celler Badeland

Celler Badeland	
Gebäudetyp	Freizeitbad
Baujahr	2015
Nettogrundfläche NGF	k. A.
Anzahl der bearbeiteten Anlagen	1 (Heizzentrale)
Anzahl der verwendeten Datenpunkte	60

4.2.1 Bestandsaufnahme

Im Rahmen der energetischen Sanierung der Heizzentrale wurden zwei Blockheizkraftwerke (BHKW) zur Deckung der elektrischen und thermischen Grundlasten installiert. Diese liegen

in der Größenordnung von jeweils 540 kW (thermisch) und 405 kW (elektrisch) für BHKW 1 bzw. 360 kW (th.) und 240 kW (el.) für BHKW 2. Um die Laufzeiten der BHKWs zu optimieren, wird zusätzlich ein Speichersystem von zwei parallel geschalteten Pufferspeichern (je 57 m³ Fassungsvermögen) betrieben. Zur Optimierung der Effizienz der Anlage befindet sich im Abgasstrom des ersten BHKWs ein Brennwertwärmeübertrager. Dieser ermöglicht es, die mit dem Verbrennungsabgas abgeführte Wärme zusätzlich zur Vorwärmung der Pufferspeicher zu nutzen.

Zur Deckung von thermischen Lastspitzen und um die Wärmeversorgung im Falle von Störungen der BHKWs zu gewährleisten, dienen zwei parallel betriebene Gasheizkessel mit einer thermischen Leistung von je ca. 1000 kW. Die Anbindung der Erzeuger an das Verbrauchernetz erfolgt über eine hydraulische Weiche.

Die regelungstechnische Besonderheit der Heizzentrale besteht darin, dass sich die Anlage in vier verschiedenen Betriebsarten und somit insgesamt 13 unterschiedlichen Betriebszuständen betreiben lässt. Dadurch kann auf unterschiedliche Last- und Umgebungssituationen reagiert und die BHKWs ideal und effizient betrieben werden.

Entsprechend der energetischen Zielsetzung sollen mindestens 80 % des thermischen und 120 % des elektrischen jährlichen Energiebedarfs durch die BHKWs bereitgestellt werden.

Folgende Unterlagen wurden übergeben:

- Hydraulikschema Heizung Energiezentrale (Revision)
- Pflichtenheft vom 07.11.2014
- Regelstrategie (kommentiert)

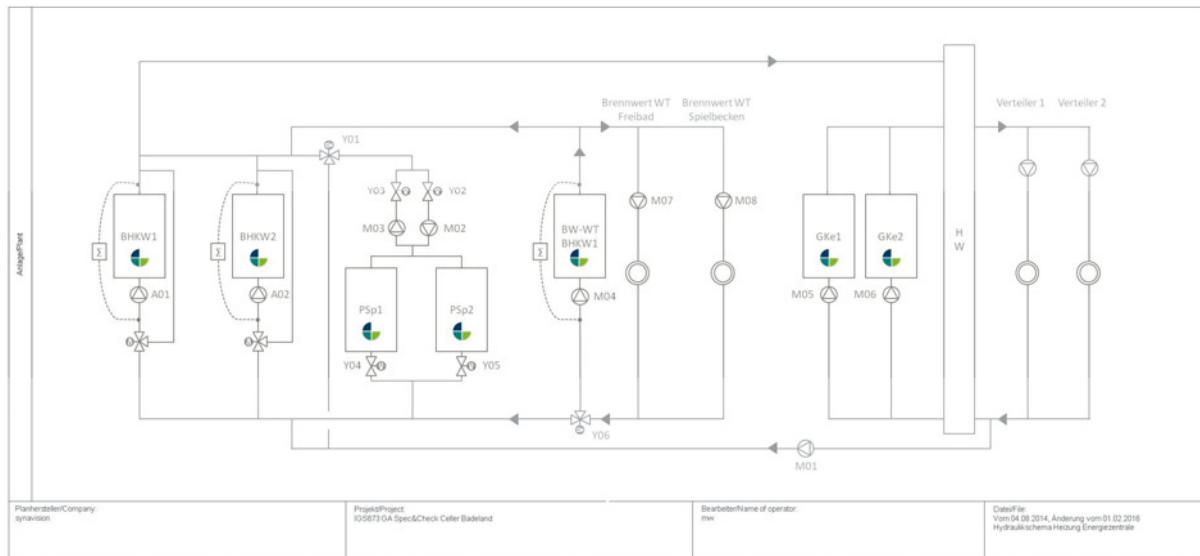


Abbildung 32 Funktionsschema der Heizzentrale im Celler Badeland

4.2.2 Erstellung der Funktionsbeschreibungen

Durch die Prüfungen sollte die planungsgemäße Funktion der Automationsanlage bzw. der technischen Ausstattung gewährleistet werden. Daher wurden bereits begleitend und unterstützend zum Probetrieb Daten ausgewertet und analysiert, sodass Mängeln und Fehlern bereits in diesem frühen Stadium auf den Grund gegangen werden konnte.

Zum anderen wurden die bereits genannten energetischen Ziele anhand eines energetischen Langzeitmonitorings (i. d. R. über 1-2 Jahre) über verschiedene Bilanzgrenzen hinweg überprüft und durch die Analyse Optimierungsansätze aufgezeigt.

Dazu wurden zunächst anhand von Planungsunterlagen (Anlagenschemata, Funktionsbeschreibungen etc.) die vorhandenen Anlagen und Automationsfunktionen auf dem Virtuellen Prüfstand spezifiziert. Die Auswertung erfolgte dann automatisiert mit dem Import von Messdaten aus der Automationsstation. Im Folgenden ist der chronologische Ablauf zur Bewertung und Analyse der Probetriebsphase kurz skizziert, Tabelle 7:

Tabelle 7 Ablauf zur Bewertung und Analyse der Probetriebsphase

1. Woche	<ol style="list-style-type: none"> 1. Bereitstellung der erforderlichen Unterlagen 2. Spezifizierung der Aktiven Funktionsbeschreibung anhand der erforderlichen Unterlagen <p>Bearbeitungszeit etwa 3 Tage.</p>
2. Woche	<ol style="list-style-type: none"> 1. Beginn des Probetriebs und der Datenaufzeichnung 2. Abends Bereitstellung des ersten Datensatzes 3. Import und Zuweisung der Datenpunkte im Software-Demonstrator

	<p>Bearbeitungszeit 1 Tag.</p> <ol style="list-style-type: none"> 4. Auswertung erfolgte ab jetzt automatisiert mit der Bereitstellung einer neuen Datendatei. 5. Analyse und Rückmeldung nach jedem Tag telefonisch/per Mail an Betreiber/Planer. Visualisierung der Ergebnisse im Web. <p>Gesamte Bearbeitungszeit bis zum Ende des Probetriebs etwa 1,5 Wochen.</p>
--	--

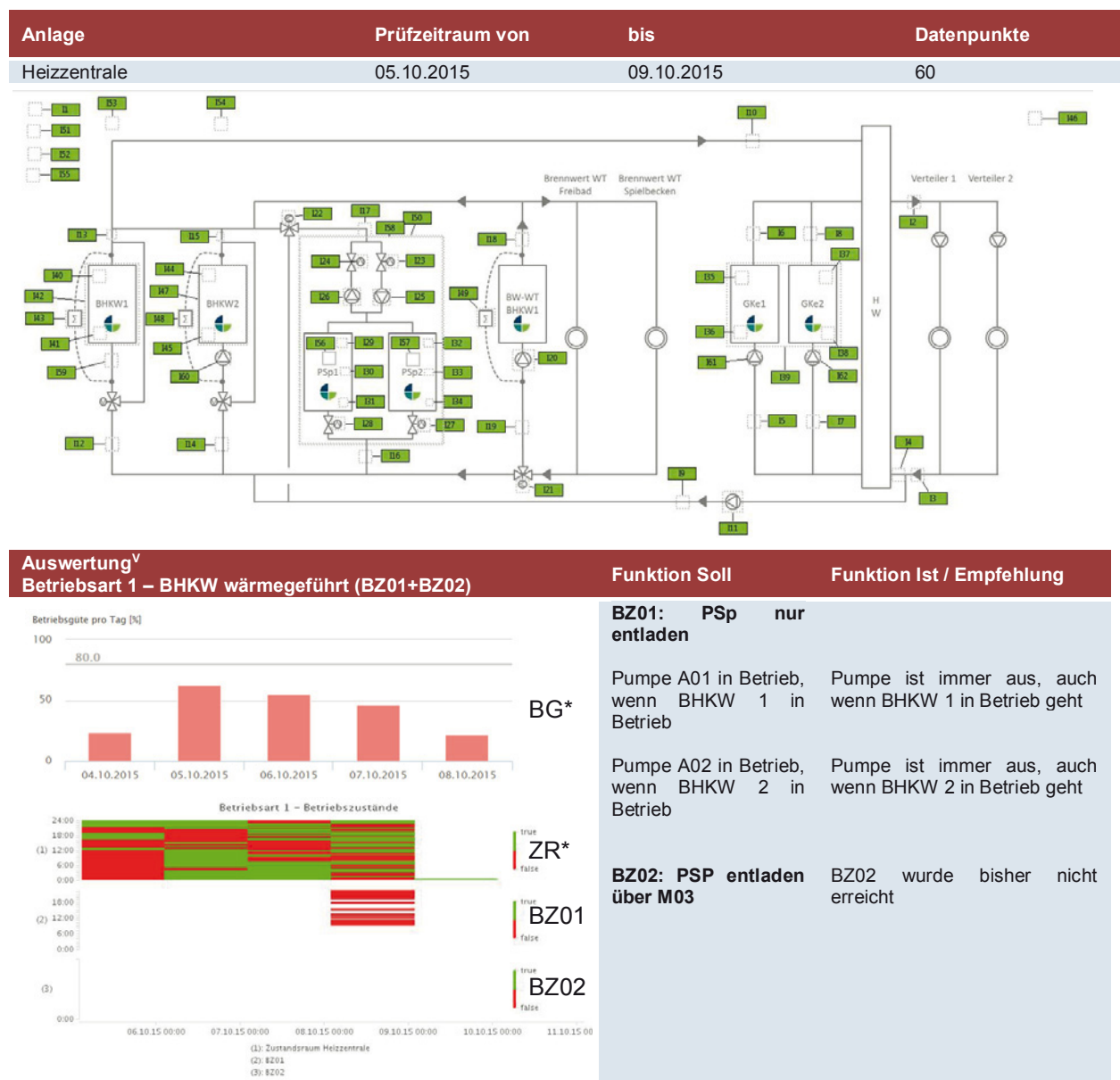
Wie in Kapitel 4.2.1 bereits erwähnt, kann die Anlage in vier verschiedenen Betriebsarten betrieben werden. In Tabelle 8 sind diese sowie die zugeordneten Betriebszustände dargestellt. Zur Unterscheidung der Betriebszustände in den Aktiven Funktionsbeschreibungen wird ein Zustandsmerker als Datenpunkt aus der GLT bereitgestellt. Aufgrund der hohen Anzahl an Betriebszuständen wird die Prüfung der Betriebsdaten in Kapitel 4.2.3 zur besseren Übersicht entsprechend der Betriebsarten unterteilt.

Tabelle 8 Zusammenfassung der Betriebsarten und der zugeordneten Betriebszustände der Heizzentrale

Betriebsart	Zustand	Bezeichnung
1. BHKW wärmegeführt	BZ01	PSp nur entladen
	BZ02	PSp entladen über M03
2. BHKW stromgeführt	BZ03	PSp laden über M02
	BZ04	PSp entladen über M03
3. Laufzeitoptimierung BHKWs	BZ05	PSp entladen über M03
	BZ06	PSp entladen über M02
	BZ07	PSp entladen über M03, BHKW 1 ein
	BZ08	PSp entladen über M03, BHKW 1+2 ein
	BZ09	PSp entladen über M02, B02 < 70 °C
4. Gas-Verbrauchsspitze minimieren	BZ10	PSp entladen über M03, BHKWs gesperrt
	BZ11	PSp beladen über M02
	BZ12	PSp durchladen, BHKWs gesperrt
	BZ13	PSp entladen, GKe unterstützend, BHKWs gesperrt

4.2.3 Prüfung der Betriebsdaten

Die ersten Daten aus dem Probebetrieb hatten nicht das geforderte und ausgeschriebene Format und mussten deshalb händisch für den Import aufbereitet werden. Zudem lagen bei den Kesselpumpen (M05 und M06) und den Pumpen der BHKWs (A01 und A02) Fehler in der Datenaufzeichnung vor. Diese Aspekte wurden als Mangel rückgemeldet und wurden für die kommenden Datensätze korrigiert.



^v Die Darstellungen der Auswertung der Betriebsgüte und des Zustandsraums umfassen jeweils alle 13 Betriebszustände. Der Übersichtlichkeit halber sind in dieser und den folgende Tabellen jedoch nur einzelne Gruppen von Betriebszuständen dargestellt.

Auswertung Betriebsart 2 – BHKW stromgeführt (BZ03+BZ04)



Funktion Soll

Funktion Ist / Empfehlung

BZ03: PSp laden über M02

BHKW-RL-Temp B02 > 70 °C

BHKW-RL-Temp. B02 teilweise unter 70 °C

Pumpe A01 in Betrieb, wenn BHKW 1 in Betrieb

Pumpe ist immer aus, auch wenn BHKW 1 in Betrieb geht

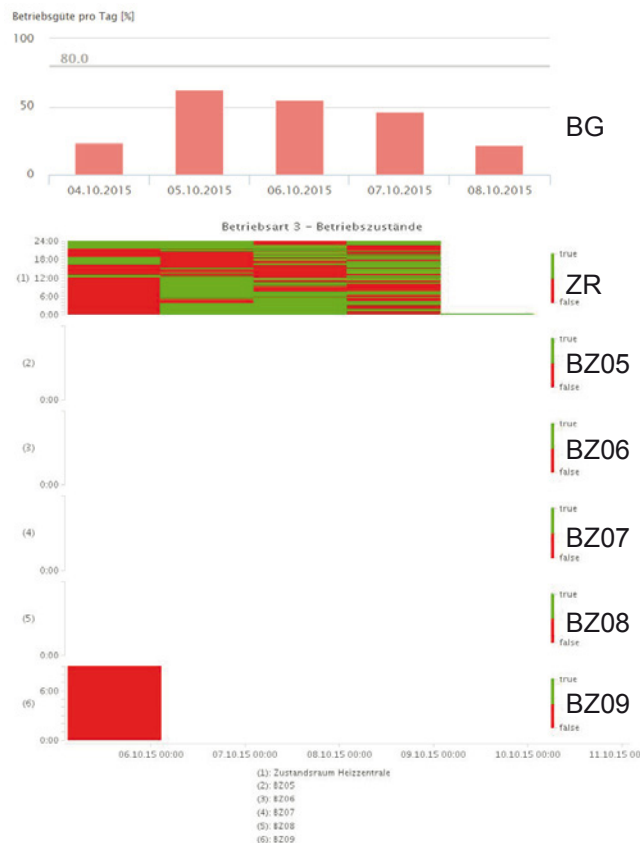
Pumpe A02 in Betrieb, wenn BHKW 2 in Betrieb

Pumpe ist immer aus, auch wenn BHKW 2 in Betrieb geht

BZ04: PSp entladen über M03

BZ04 wurde bisher nicht erreicht

Auswertung Betriebsart 3 – Laufzeitoptimierung BHKWs (BZ05-BZ09)



Funktion Soll

Funktion Ist / Empfehlung

BZ05: PSp entladen über M03

BZ05 wurde bisher nicht erreicht

BZ06: PSp entladen über M02

BHKW-RL-Temp B02 > 70 °C

BHKW-RL-Temp. B02 teilweise unter 70 °C

Pumpe A01 in Betrieb, wenn BHKW 1 in Betrieb

Pumpe ist immer aus, auch wenn BHKW 1 in Betrieb geht

BZ07: PSp entladen über M03, BHKW 1 ein

BZ07 wurde bisher nicht erreicht

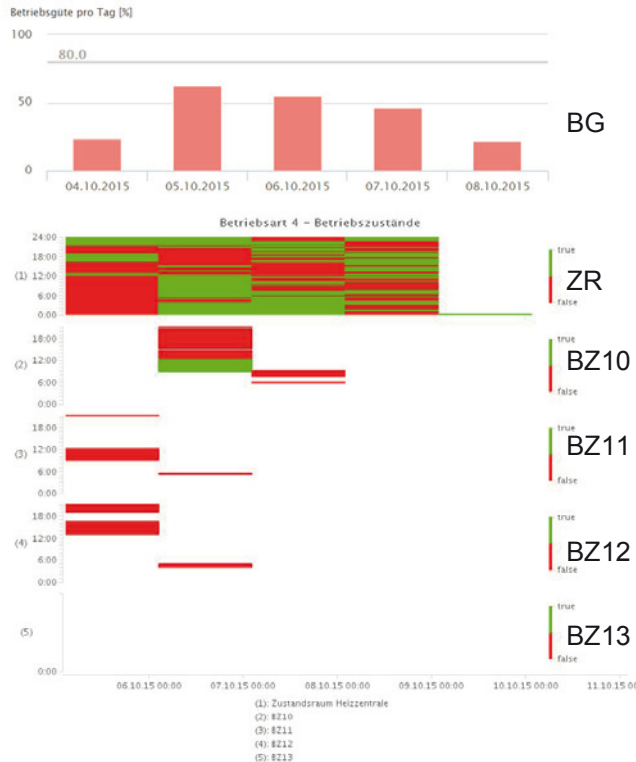
BZ08: PSp entladen über M03, BHKW 1+2 ein

BZ08 wurde bisher nicht erreicht

BZ09: PSp entladen über M02

BHKW-Pumpen A01 und A02 nie in Betrieb

Auswertung
Betriebsart 4 – Gasverbrauchsspitze minimieren (BZ10-BZ13)



Funktion Soll

Funktion Ist / Empfehlung

BZ10: PSp entladen über M03, BHKW keine Freigabe

Kesselpumpen (M05 und M06) in Betrieb, wenn entspr. Kessel in Betrieb

M05 und M06 sind nie in Betrieb

BZ11: PSp beladen über M02

Pumpen der BHKWs (A01+A02) und der Kessel (M05+M06) in Betrieb, wenn entspr. Erzeuger in Betrieb

Alle vier Pumpen sind nie in Betrieb

BZ12: BHKW1+2 aus, PSp durchladen

Pumpe M02 an

Pumpe M02 aus

Klappe Y02 geöffnet

Klappe Y02 geschlossen

Pumpe M03 aus

Pumpe M03 an

Klappe geschlossen

Y03 Klappe Y03 geöffnet

Anmerkung:

Die Überprüfung der hydraulischen Schaltung in BZ12 lässt darauf schließen, dass entgegen der Planungsdocumentation die Pumpe M03 in Betrieb und das Ventil Y03 geöffnet sein muss. Hierbei handelte es sich schlicht um einen Zeichenfehler im Hydraulikschema. An dieser Stelle kann daher zwar eine Abweichung von der (fehlerhaften) Planungsdocumentation, jedoch kein fehlerhafter Betrieb identifiziert werden.

Die Auffälligkeiten aus der Analyse der Probetriebsdaten wurden rückgemeldet. Auf dieser Basis erfolgten erste Nachbesserungen noch während der Inbetriebnahme.

4.3 Beispielgebäude Deutsche Bundesbank

Das dritte Pilotobjekt war ein Bürogebäude der Deutschen Bundesbank, Abbildung 33 und Tabelle 9.



Abbildung 33 Bundesbank Bielefeld

Tabelle 9 Bearbeitungsumfang Deutsche Bundesbank

Deutsche Bundesbank	
Gebäudetyp	Bürogebäude
Baujahr	2015
Nettogrundfläche NGF	k. A.
Anzahl der bearbeiteten Anlagen	4
Anzahl der verwendeten Datenpunkte	98

4.3.1 Bestandsaufnahme

Bei der Filiale der Deutschen Bundesbank in Bielefeld wurde im Zuge der energetischen Sanierung die Anlagentechnik erneuert. Es wurde eine Neustrukturierung der Versorgungsfläche für die Raumluftechnik vorgenommen, ebenso für die Heizkreise. Das

Gebäude wird wärmeseitig über einen Fernwärmeanschluss versorgt, die Wärmeübergabe erfolgt über vier statische Heizkreise. Zur bestehenden Kältemaschine wurde eine neue eingebunden, um den Kältebedarf des Gebäudes zu decken. Die alte Kältemaschine bleibt als Reserve bestehen und kann manuell zugeschaltet werden. Die Kälte wird über die Lüftungsanlagen in die einzelnen Versorgungsräume gebracht, sofern eine Anforderung besteht. Die Lüftungsanlage versorgt die Räume im Erdgeschoss, welche das Kundenteam, den Pförtneraum und die Räume der Geldbearbeitung beinhalten. Die Anlage ist als Klimazentralgerät ausgeführt und umfasst die thermodynamischen Luftbehandlungsfunktionen Heizen, Kühlen, Be- und Entfeuchten. Im Rahmen der Bestandsaufnahme wurde keine Begehung durchgeführt. Die Erstellung der Funktionsbeschreibungen in Kapitel 4.3.2 basiert ausschließlich auf der zur Verfügung gestellten Planungsdokumentation. Folgende Unterlagen wurden übergeben:

- Funktionsbeschreibung MSR/DDC
- Regelschemen (Stand: Ausführungsplanung)

4.3.2 Erstellung der Funktionsbeschreibungen

Betrachtet wurden jeweils die Heizkreise der Heizregister der RLT-Anlagen und der statischen Heizung im Bankbereich EG/UG sowie ein Klimazentralgerät und die Kältezentrale. Dabei wurden die Betriebszustände und die entsprechenden Regeln aus den Funktionsbeschreibungen sowie den Regeldiagrammen abgeleitet.

Während der Heizkreis der RLT-Anlagen lediglich über die Zustände BZ00: Aus und BZ01: Normalbetrieb verfügt, wurde für den Heizkreis der statischen Heizung im Bankbereich zusätzlich ein Absenkbetrieb über ein Zeitprogramm spezifiziert. Zudem erfolgt eine witterungsgeführte Schiebung der Vorlaufsolltemperatur anhand einer vordefinierten Kennlinie.

Die Kältezentrale verfügt insgesamt über drei Betriebszustände, BZ00: Aus, BZ01: Normalbetrieb und BZ02: Betrieb Anlage 2. Grundsätzlich ist ein Betrieb der Bestandsanlage 2 nur bei Störungen oder Wartungen der neuen Kältemaschine (Anlage 1) vorgesehen. In die Spezifikation der Aktiven Funktionsbeschreibungen der Kältezentrale wurden zudem die automationsrelevanten Sollwerte der Speichertemperaturen eingearbeitet.

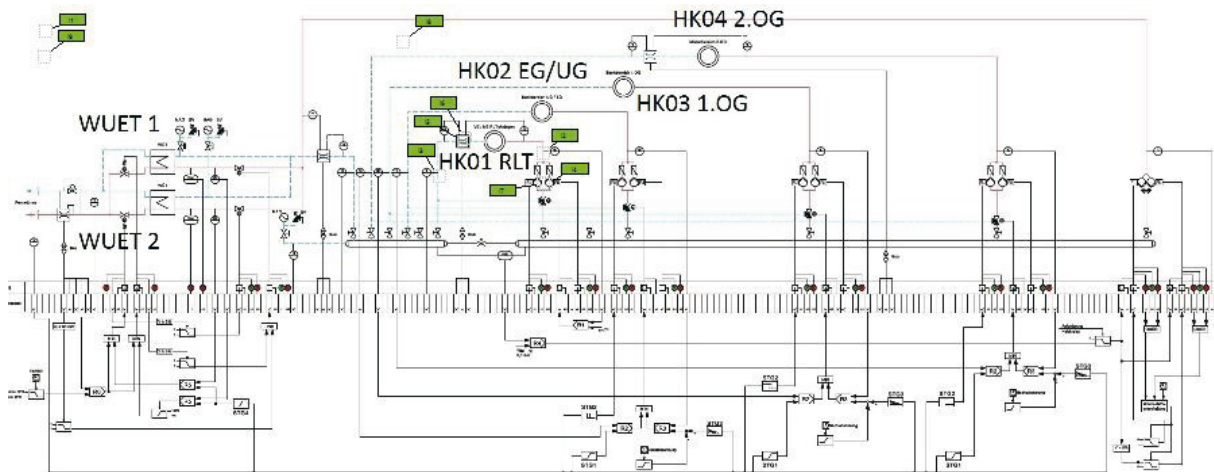
Das untersuchte Klimazentralgerät sichert die Außenluftversorgung der Innenräume und trägt maßgeblich zur thermischen Behaglichkeit bei. Spezifiziert wurden die Betriebszustände BZ00: Aus sowie BZ01: Normalbetrieb. Im Normalbetrieb folgt die

Regelung der Temperaturen einer witterungsgeführten Ablufttemperaturkaskade. Gleichzeitig erfolgt eine Begrenzung der zulässigen Zulufttemperatur sowie der relativen Zuluftfeuchte. Die Frequenzumformer der Zu- und Abluftventilatoren werden jeweils durch eine Konstantdruckregelung angesteuert.

4.3.3 Prüfung der Betriebsdaten

4.3.3.1 Heizkreis 01 – Erhitzer RLT

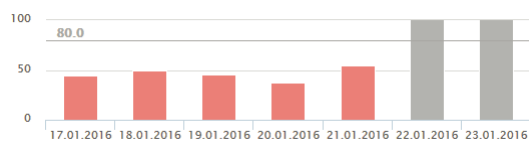
Anlage	Prüfzeitraum von	bis	Datenpunkte
Heizkreis 01 – Erhitzer RLT	18.01.2016	24.01.2016	9



Auswertung

Funktion Soll

Funktion Ist / Empfehlung



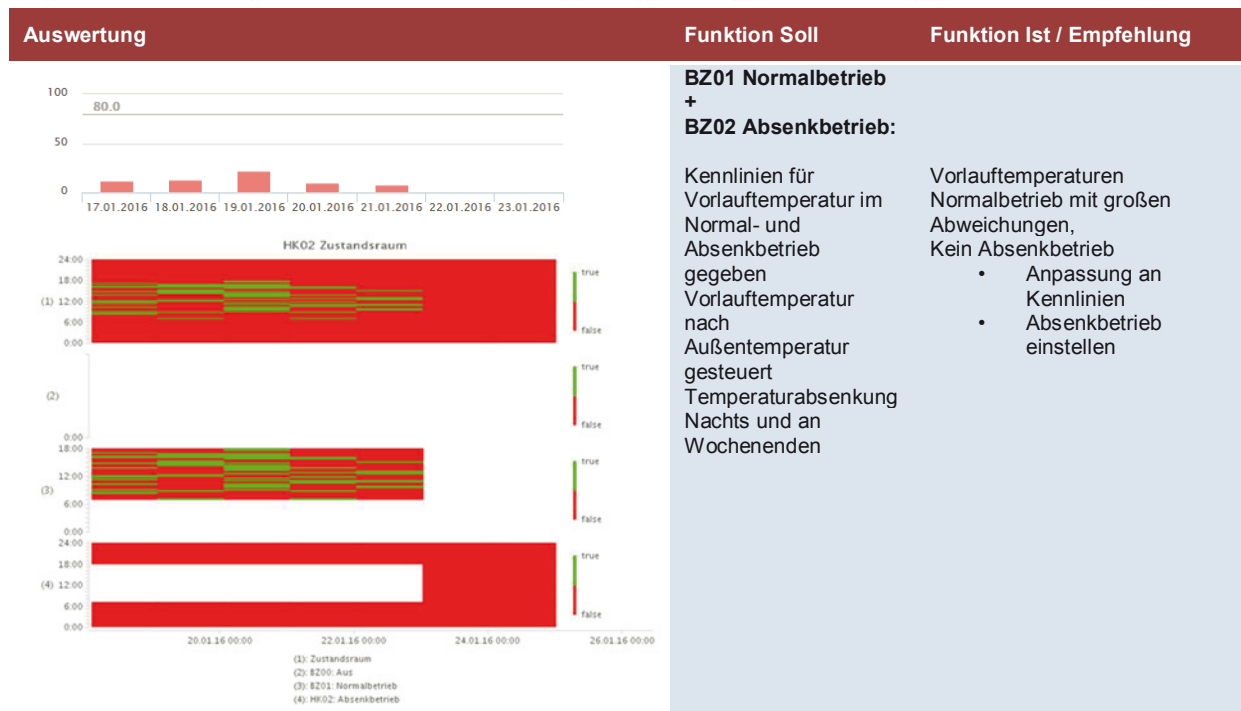
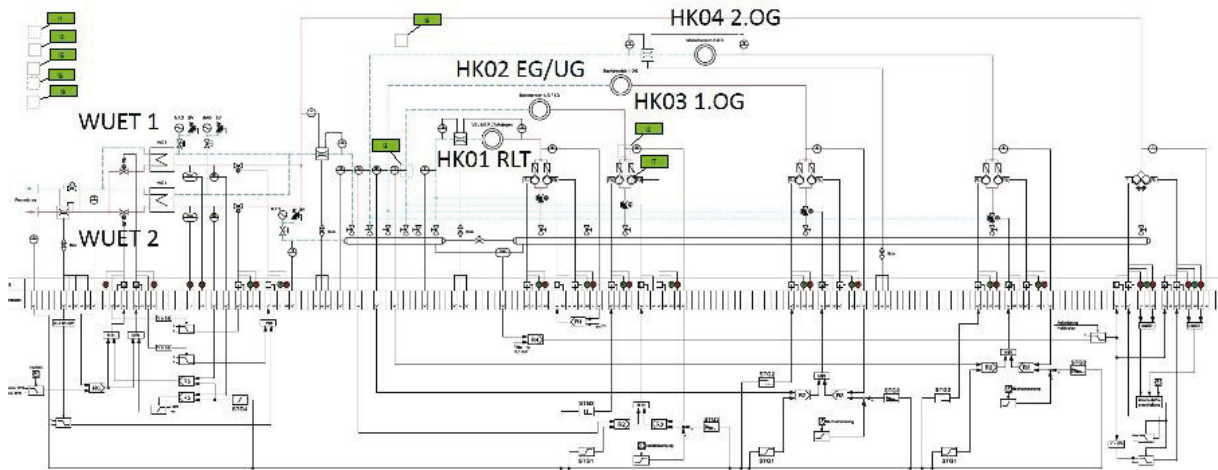
BZ01 Normalbetrieb:

Vorlauftemperatur
konstant auf 60 °C

Vorlauftemperaturen
schwanken stark, kein
Regelverhalten erkennbar

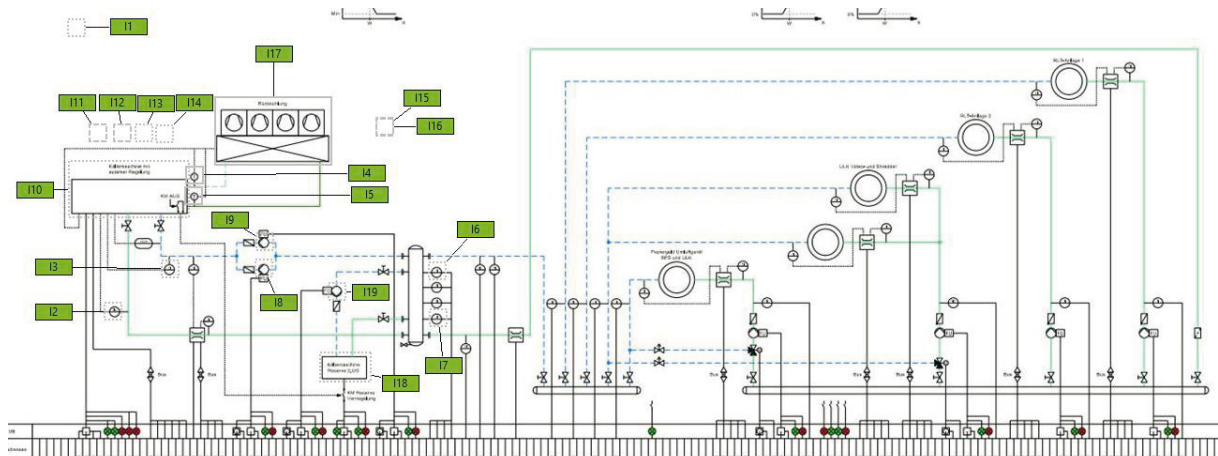
4.3.3.2 Heizkreis 02 – Bankbereich EG/UG

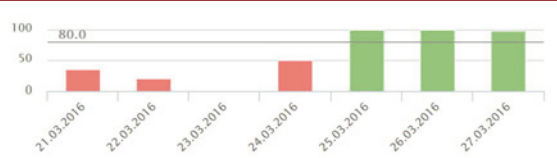

Anlage	Prüfzeitraum von	bis	Datenpunkte
Heizkreis 02 – Bankbereich EG/UG	17.01.2016	23.01.2016	8



4.3.3.3 Kältezentrale

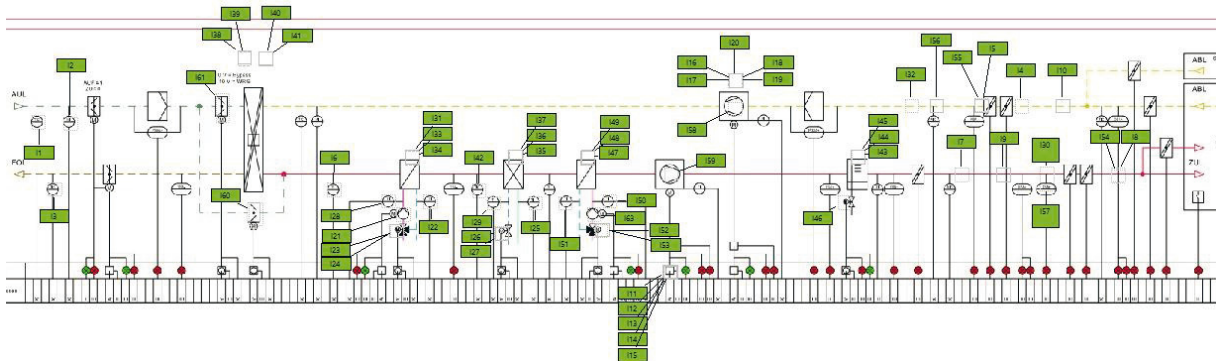
Anlage	Prüfzeitraum von	bis	Datenpunkte
Kältezentrale	21.03.2016	27.03.2016	18

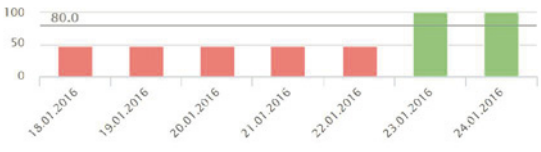



Auswertung	Funktion Soll	Funktion Ist / Empfehlung
 <p>Zustandsraum</p>  <p>(1): Zustandsraum [-] (2): BZ00: Aus (3): BZ01: Normalbetrieb (4): BZ02: Anlage 2</p>	<p>BZ00 Aus:</p> <p>Keine Pumpe darf aktiv sein</p> <p>BZ01 Normalbetrieb:</p> <p>Kälteleistung > 0 kW</p> <p>BZ02 Anlage 2:</p> <p>Speichertemperatur oben > 6 °C und < 12 °C</p>	<p>Pumpen sind teilweise aktiv</p> <p>Es liegt teilweise keine Kälteleistung an, Pumpe ist aber in Betrieb</p> <p>Speichertemperatur oben > 12 °C</p> <ul style="list-style-type: none"> • Frühere Aktivierung der Kältemaschine

4.3.3.4 Lüftungsanlage

Anlage	Prüfzeitraum von	bis	Datenpunkte
RLT1-Zentralgerät	18.01.2016	24.01.2016	63



Auswertung	Funktion Soll	Funktion Ist / Empfehlung
 	<p>BZ01 Normalbetrieb:</p> <p>Begrenzung der rel. Luftfeuchte der Zuluft und der Abluft >40% und <60%</p> <p>Raumtemperatur bei 21 °C +/- 2 K</p> <p>Begrenzung der Zulufttemperatur >= 16°C und <= 28°C</p>	<p>rel. Luftfeuchte liegt oft deutlich unterhalb des Soll- Bereichs (Teilweise < 30 %)</p> <p>Ablufttemperatur liegt oberhalb des Toleranzbereichs</p> <p>Zulufttemperatur liegt teilweise unterhalb des Temperaturbereichs</p>

4.4 Beispielgebäude Energy Campus STIEBEL ELTRON

Das vierte Pilotobjekt war der Neubau des Stiebel Energy Campus, Abbildung 34 und Tabelle 10.



Abbildung 34 Energy Campus © Stiebel Eltron

Tabelle 10 Bearbeitungsumfang Energy Campus STIEBEL ELTRON

Stiebel Energy Campus	
Gebäudetyp	Schulungsgebäude
Baujahr	2015
Nettogrundfläche NGF	3080 m ²
Anzahl der bearbeiteten Anlagen	2
Anzahl der verwendeten Datenpunkte	35

4.4.1 Bestandsaufnahme

Der Energy Campus auf dem Werksgelände in Holzminden ist bundesweit der erste Forschungs- und Schulungscampus für Energie-Plus-Gebäude. Hintergrund ist die Entwicklung von konventionellen Versorgungskonzepten hin zu innovativen, intelligenten und automatisierten Systemen. Diese erfordern zum einen optimal aufeinander abgestimmte Anlagen, zum anderen die Berücksichtigung verschiedenster Randbedingungen in der Betriebsführung. Es werden dynamische Gebäude- und Anlagensimulationen durchgeführt, die bestehenden realen Teststände basieren allerdings auf einzelnen Komponenten, sodass die komplexen Systeme nicht getestet werden können. Der Energy Campus dient daher als Teststand, um diese Energieversorgungssysteme der Zukunft unter realen Bedingungen zu prüfen und zu validieren. Verschiedene hydraulische Systeme sind dort installiert und können Handwerkern und Fachplanern in Schulungen präsentiert werden. Neben

theoretischen Inhalten werden praktische Anwendungen auf einer Fläche von 3.080m² vermittelt. In vier Praxisräumen (Wärmepumpe, Lüftung, Haus der Zukunft, Warmwasser) werden Geräte und Systeme von STIEBEL ELTRON getestet und Schulungen für Mitarbeiter und Kunden können direkt am Gerät durchgeführt werden. Zudem gibt es Seminarräume für theoretische Informationsübermittlung, sowie Meetingräume und eine Kantine für die Mitarbeiter am Standort.

Hauptversorger des Gebäudes sind zwei Wasser/Wasser-Wärmepumpen (Hochtemperatur und Niedertemperatur) als zentrale Komponenten zur Energieerzeugung, welche mit dem Werkswasser von STIEBEL ELTRON als Hauptenergiequelle betrieben werden. Das Werkswasser wird über Brunnen dem Grundwasser entnommen und auf dem Werk in Holzminen verteilt. Die Wärmepumpentechnik weist eine Heizleistung von etwa 130 kW und eine Kühlleistung von 125 kW auf. Großzügig ausgelegte Pufferspeicher ermöglichen eine zeitversetzte Nutzung der Energie. Zudem liefern weitere 16 Wärmepumpen im Schulungsbetrieb Energie, welche ebenfalls zum Heizen und Kühlen des Campus genutzt wird. Die Stromversorgung läuft über Photovoltaikanlagen mit einer Gesamtleistung von etwa 110 kWp sowie Netzbezug bei Bedarf.

Desweiteren verfügt das System über einen integrierten Luft/Wasser Rückkühler. Dieser ist mit dem Hochtemperatur- (HT) und Niedertemperatur- (NT) Verteiler gekoppelt und dient dazu, im Fall der überschüssigen Wärmeproduktion die Wärme abzuführen. Dieser Fall tritt ein, wenn beide Pufferspeicher komplett geladen sind und für einen gewissen Zeitraum keine weitere Ladeanforderung besteht.

Abbildung 35 zeigt das schematische Energiekonzept des Stiebel Energy Campus.

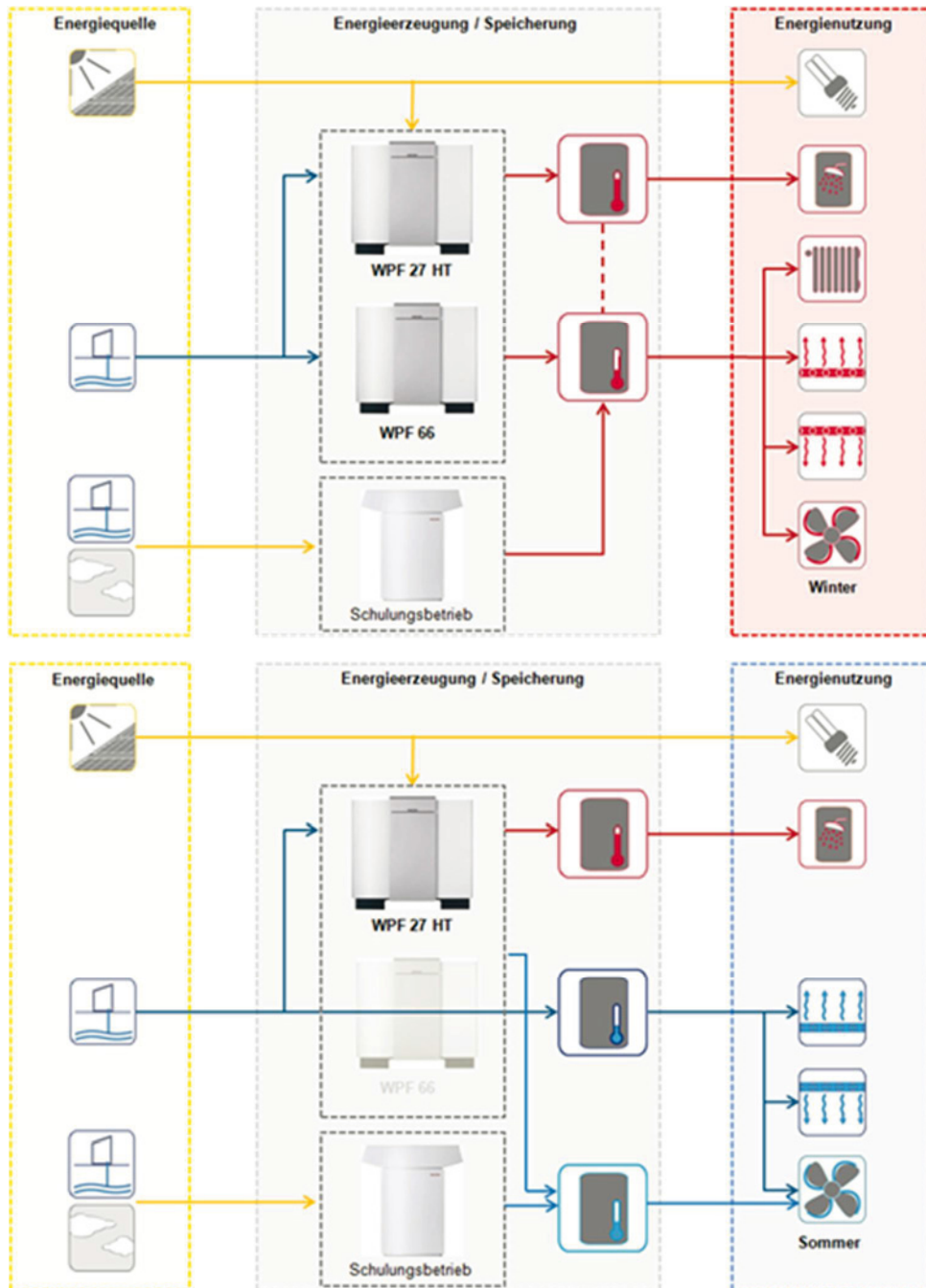


Abbildung 35 Schematisches Energieversorgungskonzept des Stiebel Energy Campus für den Winter- (oben) und den Sommerfall

4.4.2 Erstellung der Funktionsbeschreibungen

4.4.2.1 Hochtemperatur-Wärmepumpe

Die Hochtemperatur-Sole/Wasser-Wärmepumpe WPF27 HT^{VI} ist für die Ladung des Hochtemperatur-Pufferspeichers zuständig. Damit wird im Gebäude vor allem der Trinkwarmwasserbedarf gedeckt. Die Wärmeleistung beträgt im Auslegungsfall 27,41 kW bei einer Leistungszahl von 4,34. Die Wärmepumpe kann sich in den drei Betriebszuständen Aus (BZ00), Heizen (BZ01) und Kühlen (BZ02) befinden. Da aus der Gebäudeautomation kein Zustandsmarker übergeben wurde, wurde dieser entsprechend Abbildung 36 gebildet.



Abbildung 36 WPF27 HT, Zustandsmarker und Spezifikationen

4.4.2.2 Niedertemperatur-Wärmepumpe

Die Niedertemperatur-Sole/Wasser-Wärmepumpe WPF66^{VII} ist die größere der beiden Wärmepumpen. Sie belädt den Niedertemperatur Pufferspeicher und ist vorrangig für die Kühlung verantwortlich. Die Wärmeleistung beträgt im Auslegungsfall 67,1 kW bei einer Leistungszahl von 4,56. Die Betriebszustände sind ähnlich wie bei der HT Wärmepumpe Aus (BZ00), Heizen (BZ01) und Kühlen (BZ02) und in folgender Grafik dargestellt.



Abbildung 37 WPF66, Zustandsmarker und Spezifikationen

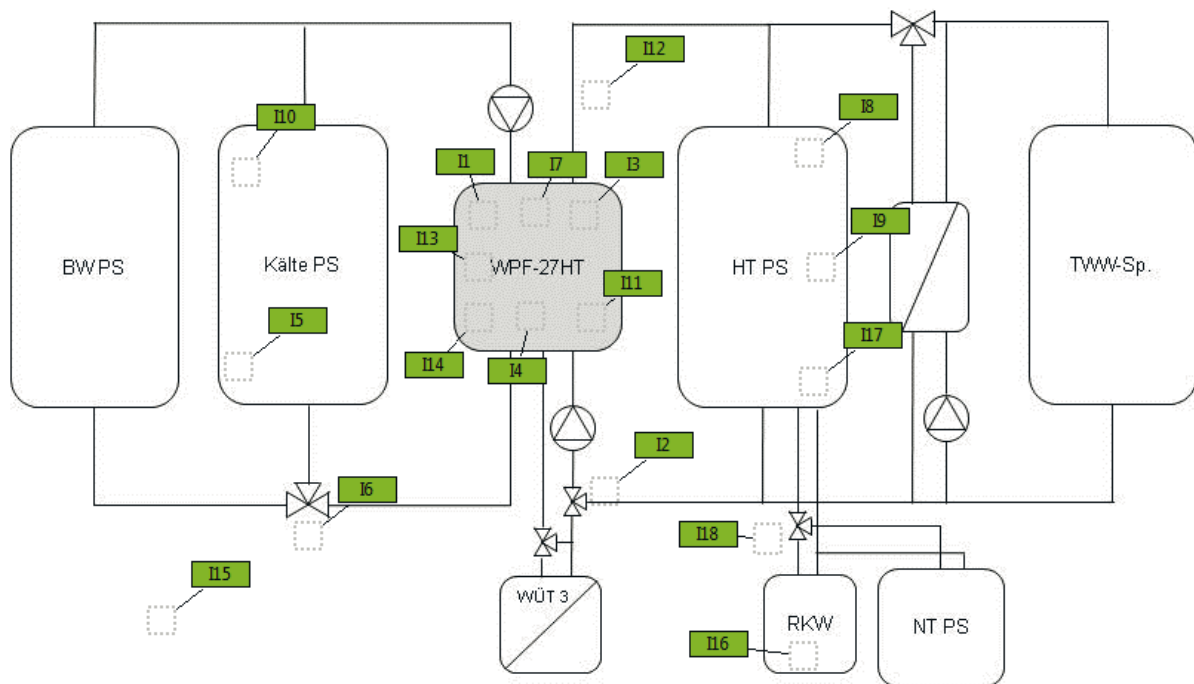
^{VI} Produktspezifische Bezeichnung der Hochtemperatur-Wärmepumpe.



^{VII} Produktspezifische Bezeichnung der Niedertemperatur-Wärmepumpe.

4.4.3 Prüfung der Betriebsdaten

4.4.3.1 Hochtemperatur-Wärmepumpe

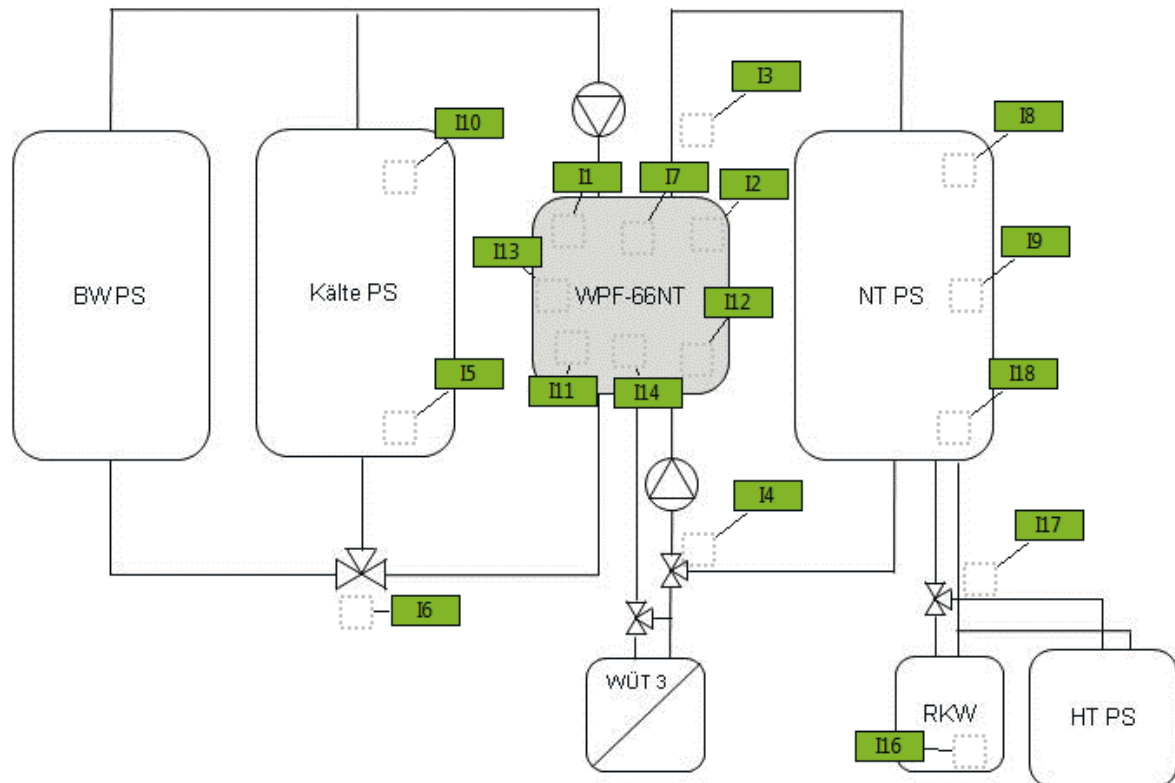
Anlage	Prüfzeitraum von	bis	Datenpunkte
WPF 27 HT	11.01.2016	17.01.2016	18

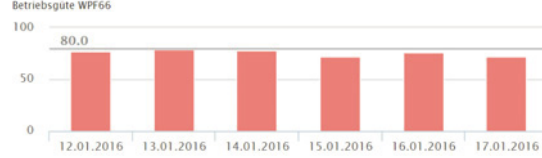
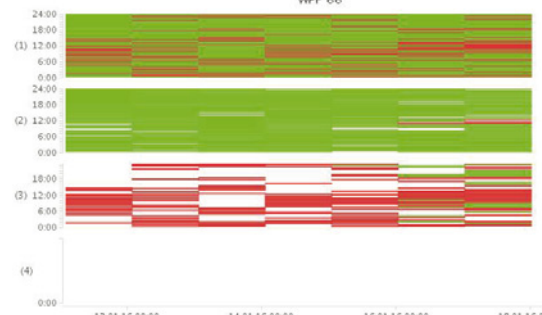


Auswertung	Funktion Soll	Funktion Ist / Empfehlung
<p>Betriebsgüte WPF27 HT</p>  <p>WPF27</p>  <p>(1): Zustandsraum (2): BZ00_AUS (3): BZ01_Heizen (4): BZ02_Kühlen</p>	<p>BZ00 AUS:</p> <p>WPF27 HT AUS</p> <p>$\vartheta_{HT PSmitte} > 67^{\circ}C$</p> <p>BZ01 HEIZEN:</p> <p>WPF27 HT EIN</p> <p>$\vartheta_{HT PSmitte} \leq 67^{\circ}C$ ODER $\vartheta_{HTPSunten} < 70^{\circ}C$</p> <p>$\vartheta_{VL} = 70^{\circ}C$ (Toleranz 3K)</p> <p>$\Delta\vartheta_{VL-RL} 5-7K$</p> <p>Umschaltkugelhahn WP Kühlbetrieb (V76) „Aus“</p> <p>BZ02 KÜHLEN:</p> <p>WPF27 & WPF66 EIN</p>	<p>WP fast nie AUS</p> <p>$\vartheta_{HT PS}$ gültig</p> <p>BM WP gültig</p> <p>$\vartheta_{HT PS}$ gültig</p> <p>ϑ_{VL} ungültig (Außerhalb Toleranzbereich)</p> <p>$\Delta\vartheta_{VL-RL}$ ungültig</p> <p>V76 gültig</p> <p>Zustand tritt im betrachteten Zeitraum nicht ein</p>

4.4.3.2 Niedertemperatur-Wärmepumpe

Anlage	Prüfzeitraum von	bis	Datenpunkte
WPF 66	11.01.2016	17.01.2016	17



Auswertung	Funktion Soll	Funktion Ist / Empfehlung
<p>Betriebsgüte WPF66</p>  <p>WPF 66</p>  <p>(1) Zustandraum (2) BZ00_AUS (3) BZ01_HEIZEN (4) BZ02_KUEHLEN</p>	<p>BZ00 AUS:</p> <p>WPF66 Aus</p> <p>$\vartheta_{NT PS \text{ oben}} > 37^\circ C$</p> <p>BZ01 HEIZEN:</p> <p>WPF66 EIN</p> <p>$\vartheta_{NT PS \text{ oben}} > 37^\circ C$ ODER $\vartheta_{NT PS \text{ mitte}} < 40^\circ C$</p> <p>$\vartheta_{VL} = 40^\circ C$ (Toleranz 2 K)</p> <p>$\Delta\vartheta_{Spreizung} = 5-7 K$</p> <p>BZ02 KUEHLEN:</p> <p>WPF66 EIN</p>	<p>$\vartheta_{NT PS \text{ oben}}$ gültig</p> <p>BM WP gültig</p> <p>$\vartheta_{NT PS}$ gültig</p> <p>ϑ_{VL} ungültig (Außerhalb Toleranz)</p> <p>$\Delta\vartheta_{Spreizung}$ gültig</p> <p>Zustand tritt im betrachteten Zeitraum nicht ein</p>

4.5 Beispielgebäude Verkaufsmarkt

Das fünfte Pilotobjekt war ein Verkaufsmarkt, Abbildung 38 und Tabelle 11.

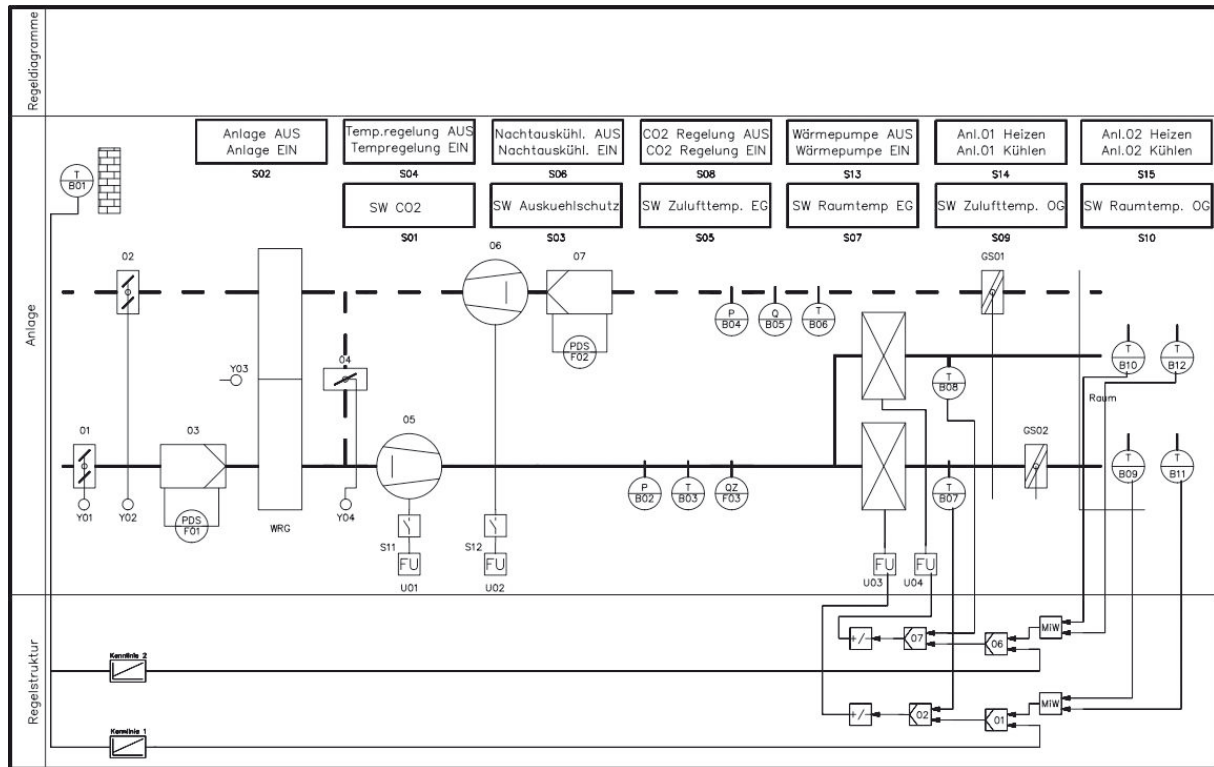


Abbildung 38 Automationsschema des Lüftungszentralgeräts des untersuchten Verkaufsmarkt

Tabelle 11 Bearbeitungsumfang Verkaufsmarkt

Verkaufsmarkt	
Gebäudetyp	Verkaufsmarkt
Baujahr	k. A.
Nettogrundfläche NGF	7.500 m ²
Anzahl der bearbeiteten Anlagen	1
Anzahl der verwendeten Datenpunkte	44

4.5.1 Bestandsaufnahme

Im Rahmen der Pilotprojekte wurde auch die zentrale Lüftungsanlage eines größeren Verkaufsmarktes untersucht. Dabei handelt es sich um ein Außenluftgerät mit zwei Soleregistern in den Verteilsträngen, die jeweils direkt mit einer reversiblen Kompressionswärmepumpe zum Heizen und Kühlen gekoppelt sind. Zur Wärme- und Feuchterückgewinnung sind zudem ein drehzahl geregelter Rotationswärmeübertrager

sowie eine Umluftklappe installiert. Die Konditionierung der Ab- bzw. Raumluft erfolgt über eine witterungsgeführte Abluft-Zulufttemperatur-Kaskade. Der Rotor der WRG, die Umluftklappe sowie die Ventile der Soleregister werden in Sequenz angesteuert. Folgende Unterlagen wurden übergeben:

- Automationsschema
- Funktionsbeschreibung in Textform (3 Seiten, teilweise fehlerhaft)

4.5.2 Erstellung der Funktionsbeschreibungen

Aus der Funktionsbeschreibung der Lüftungsanlage gehen drei Betriebszustände hervor. Zusätzlich zu den Zuständen **BZ00:Aus** und **BZ01:Normalbetrieb** ist auch eine freie Nachtkühlung vorgesehen. Dieser Betriebszustand wird im Folgenden als **BZ02:Nachtauskühlung** bezeichnet. In der vorliegenden Funktionsbeschreibung waren im Wesentlichen Platzhalter oder Konstanten eingetragen. Die tatsächlichen Regelparameter für die Spezifikation der Aktiven Funktionsbeschreibungen konnten teilweise aus den Betriebsdaten abgeleitet werden. So wurde z. B. die witterungsgeführte Kennlinie der Abluft- bzw. Raumlufttemperatur über den jeweils aktuellen Sollwert aus den Betriebsdaten rekonstruiert (Abbildung 39, grau).

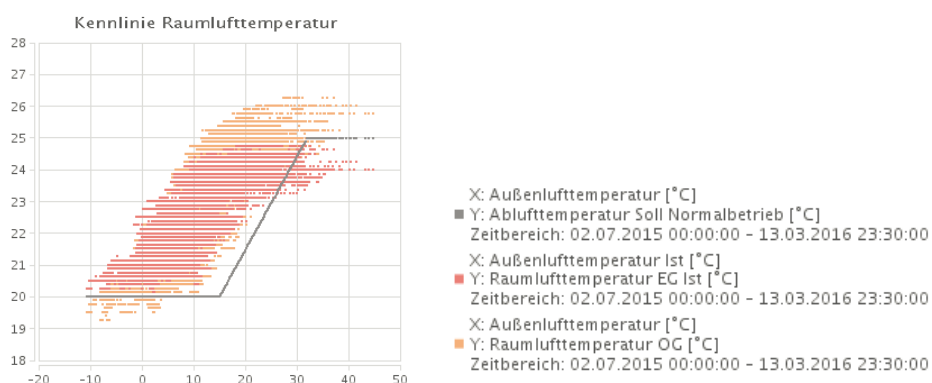


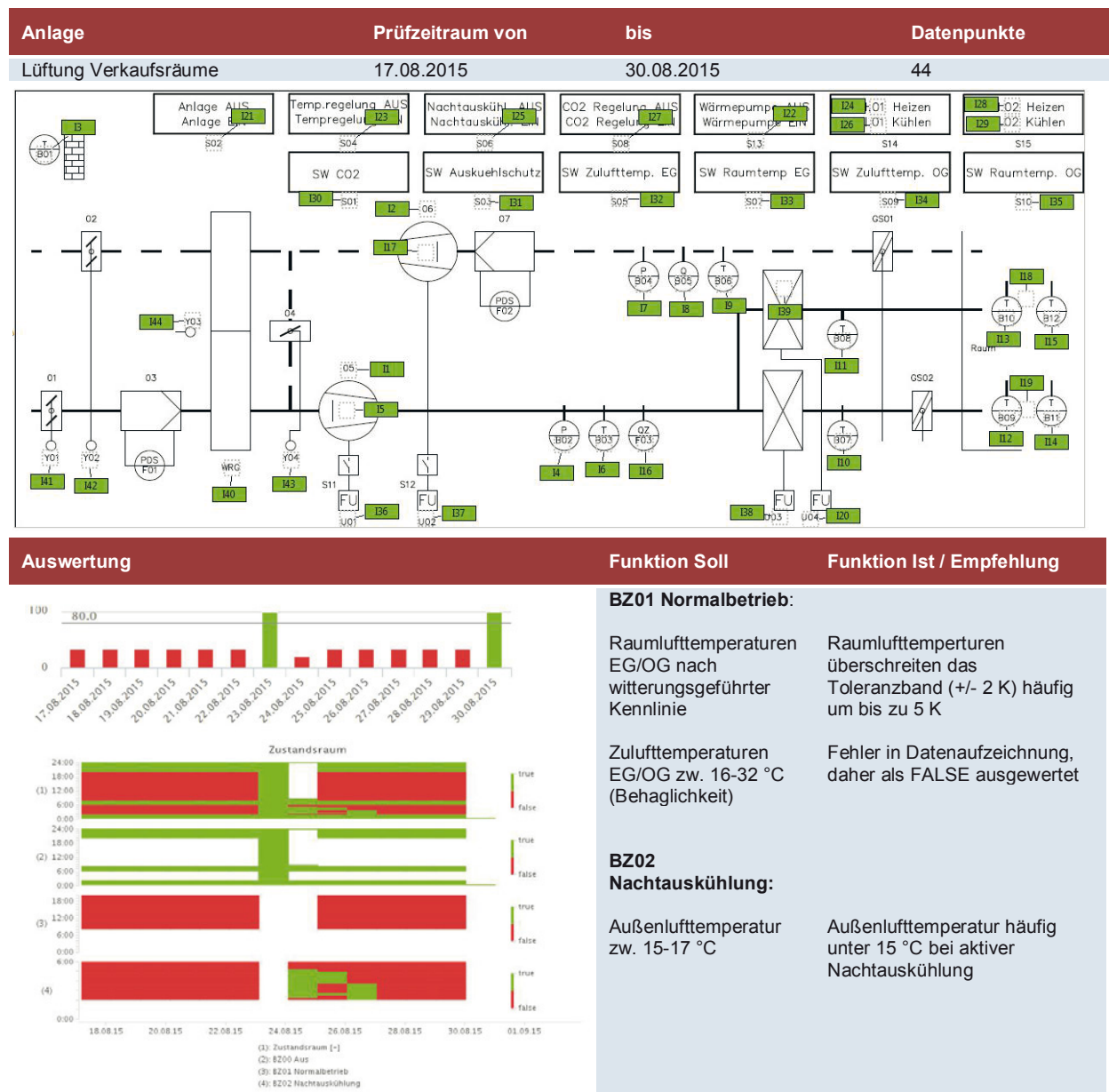
Abbildung 39 Rekonstruktion der witterungsgeführten Abluft- bzw. Raumlufttemperaturkennlinie

Im Betriebszustand BZ01: Normalbetrieb erfolgt die Regelung der Ventilator Drehzahl in Abhängigkeit vom CO₂-Gehalt in der Raumluft. Die Regelung der Raumlufttemperatur besitzt erfolgt als Kaskade. Dabei steuert der Zuluftregler in Sequenz das Erhitzerventil und die Klappen an.

Bei aktivem Nachtkühlbetrieb (**BZ02:Nachtauskühlung**) werden die Ventile der Heiz-/Kühlregister und der WRG-Rotor gesperrt sowie die Bypassklappe geschlossen. Die Verkaufsräume werden mit unkonditionierter kühler Außenluft durchspült.

Der Zustandsindikator zur Unterscheidung der einzelnen Betriebszustände wurde in Form eines virtuellen Datenpunkts mit den Betriebsdaten aus der GLT übergeben.

4.5.3 Prüfung der Betriebsdaten



4.6 Beispielgebäude Hörsaalgebäude Westfälische Hochschule

Das sechste Pilotobjekt war ein Hörsaalgebäude der Westfälischen Hochschule, Abbildung 40 und Tabelle 12.



Abbildung 40 Untersuchtes Teilklimazentralgerät der Westfälischen Hochschule Gelsenkirchen

Tabelle 12 Bearbeitungsumfang Westfälische Hochschule

Hörsaalgebäude Westfälische Hochschule	
Gebäudetyp	Hörsaalgebäude
Baujahr	k. A.
Nettogrundfläche NGF	k. A.
Anzahl der bearbeiteten Anlagen	1
Anzahl der verwendeten Datenpunkte	17

4.6.1 Bestandsaufnahme

Die Bearbeitung des Pilotprojekts Hörsaalgebäude Westfälische Hochschule umfasste die Prüfung eines Teilklimazentralgeräts, das einen Hörsaal mit konditionierter Außenluft versorgt ($q_v = 7300 \text{ m}^3/\text{h}$).

Als Dokumentation der Anlagenfunktionen stand ein vom Projektierungswerkzeug des Herstellers automatisch generierter Ausdruck zur Verfügung. Darin waren - nicht normgerecht - ein Automationsschema, eine Skizze der Regelstruktur sowie sog. Steuertabellen enthalten. Aus der Benutzeroberfläche der Anlage existierten einige Screenshots.

Die Analyse dieser Unterlagen ergab als regelungstechnisches Ziel des Gebäudeautomations-Systems die Konstanzhaltung der Zulufttemperatur auf einen Sollwert entsprechend DIN EN 13779. Dies wird erreicht über eine Abluft-/Zulufttemperatur-Kaskadenregelung, die in Sequenz auf die Stellglieder Kreislaufverbundsystem zur Wärmerückgewinnung sowie ein Heiz- und ein Kühlregister wirkt. Eine Feuchterege- lung ist nicht vorgesehen, Abbildung 41.

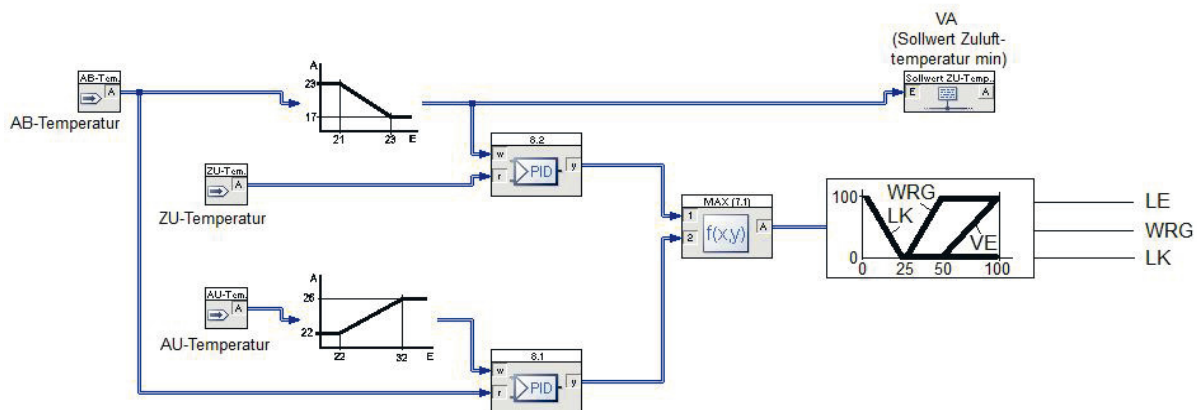


Abbildung 41 Grafische Darstellung der witterungsgeführten Ablufttemperaturkaskade

Als Dokumentation der Anlage und ihrer gesamten Regelstruktur wurde schließlich das in Abbildung 42 dargestellte Automationsschema nach DIN EN ISO 16484-3 erstellt.

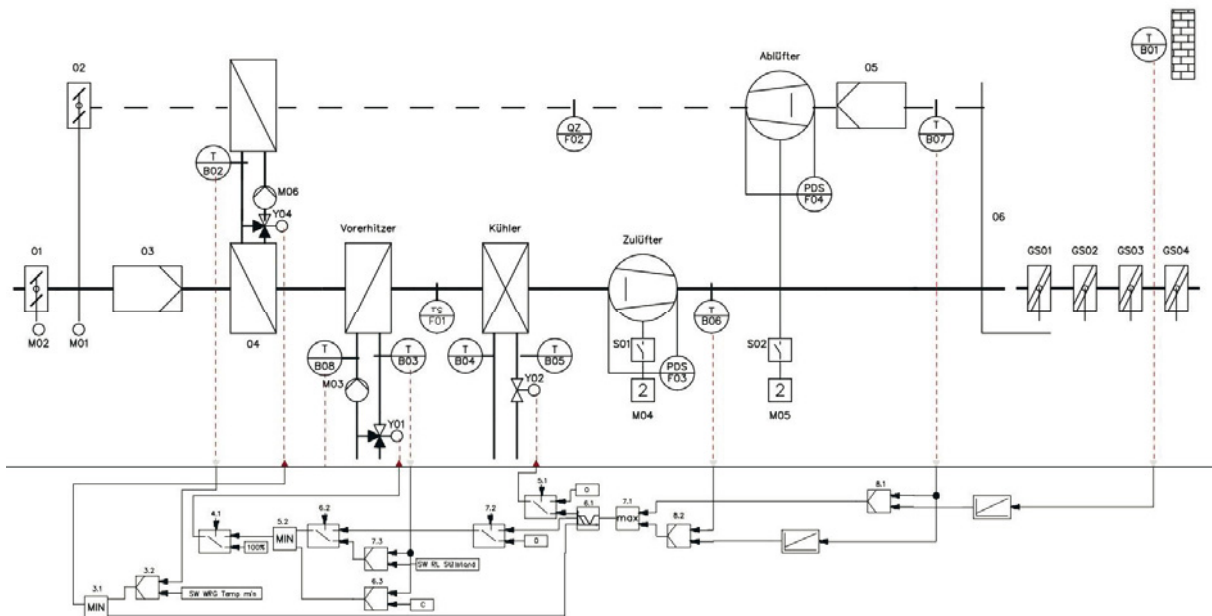


Abbildung 42 Automationsschema des untersuchten Teilklimazentralgeräts

Zur Analyse der binären Verknüpfungen wurden die „Steuertabellen“ des Herstellers in einen Funktionsplan umgesetzt. Erfreulicherweise zeigte sich dabei eine Struktur, die direkt auf drei Betriebszustände führte.

Die so entwickelte Dokumentation war die Basis für die Erstellung des Zustandsgraphen, Abbildung 43, und der daraus abgeleiteten Aktiven Funktionsbeschreibung, mit deren Hilfe es möglich war, eine Funktionsprüfung in zwei Prüfzeiträumen von je 7 Tagen durchzuführen (KW20/2015 und KW32/2015).

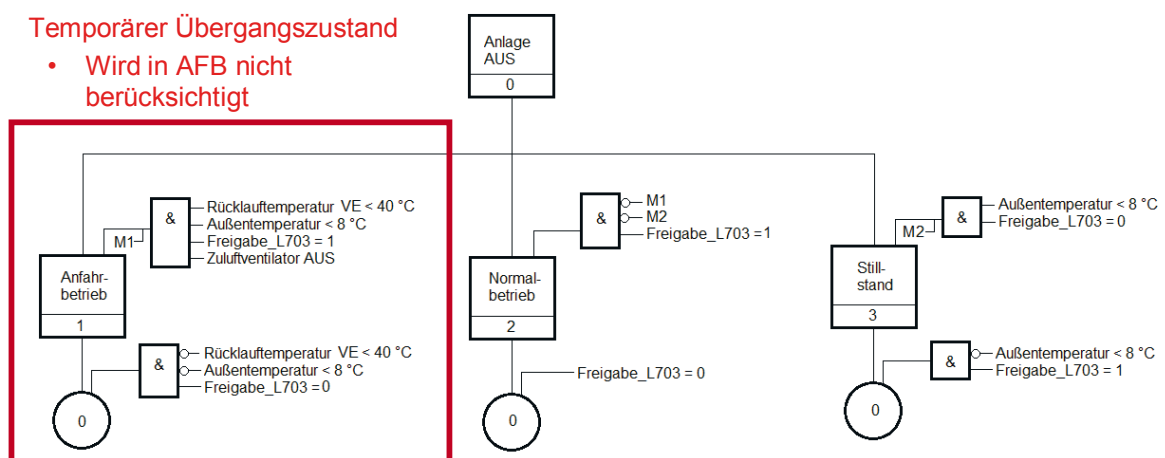


Abbildung 43 Zustandsgraph nach VDI 3814-6 des untersuchten Teilklimazentralgeräts. Die den Zuständen zugeordneten Aktionen sind nicht eingetragen.

4.6.2 Erstellung der Funktionsbeschreibungen

Die Anlage verfügt entsprechend dem in Abbildung 43 dargestellten Zustandsgraphen über die Betriebszustände „Anfahrbetrieb“, „Normalbetrieb“ und „Stillstand“ bzw. „Anlage AUS“. Da es sich beim Anfahrbetrieb um einen temporären Übergangszustand handelt, wird dieser in der Aktiven Funktionsbeschreibung nicht berücksichtigt. Die Zustände „Anlage AUS“ und „Stillstand“ werden aufgrund der gleichen Ausgangsparameter zusammengefasst. Somit ergeben sich für das Teilklimazentralgerät die Betriebszustände **BZ00:Aus** und **BZ01:Normalbetrieb**. Zur Unterscheidung der Betriebszustände im Betrieb steht kein virtueller Datenpunkt von der GLT zur Verfügung, daher wird die Betriebsmeldung des Zuluftventilators als Zustandsindikator herangezogen.

Die den Zuständen **BZ00:Aus** und **BZ01:Normalbetrieb** zugeordneten Aktionen sind in Abbildung 44 und Abbildung 45 dargestellt. Daraus ergeben sich die folgenden Betriebsregeln:

- Betriebszustand BZ00 (Abbildung 44): Sämtliche Luftbehandlungsregister sowie die Ventilatoren sind gesperrt und die Außen- und Fortluftklappen geschlossen.

<div>Still</div> <div>1</div>	Y01	Lufterhitzer == 0
	Y04	Wärmerückgewinnung == 0
	Y05	Luftkühler == 0
	M01	Zuluftventilator == 0
	M02	Abluftventilator == 0
	M04	WRG Pumpe == 0
	Y02	AU-FO Klappen == 0

Abbildung 44 Der Betriebszustand „Stillstandbetrieb“ (BZ00:Aus)

- Betriebszustand BZ01 (Abbildung 45): Die Ansteuerung der Luftbehandlungsregister erfolgt über die Sequenz.

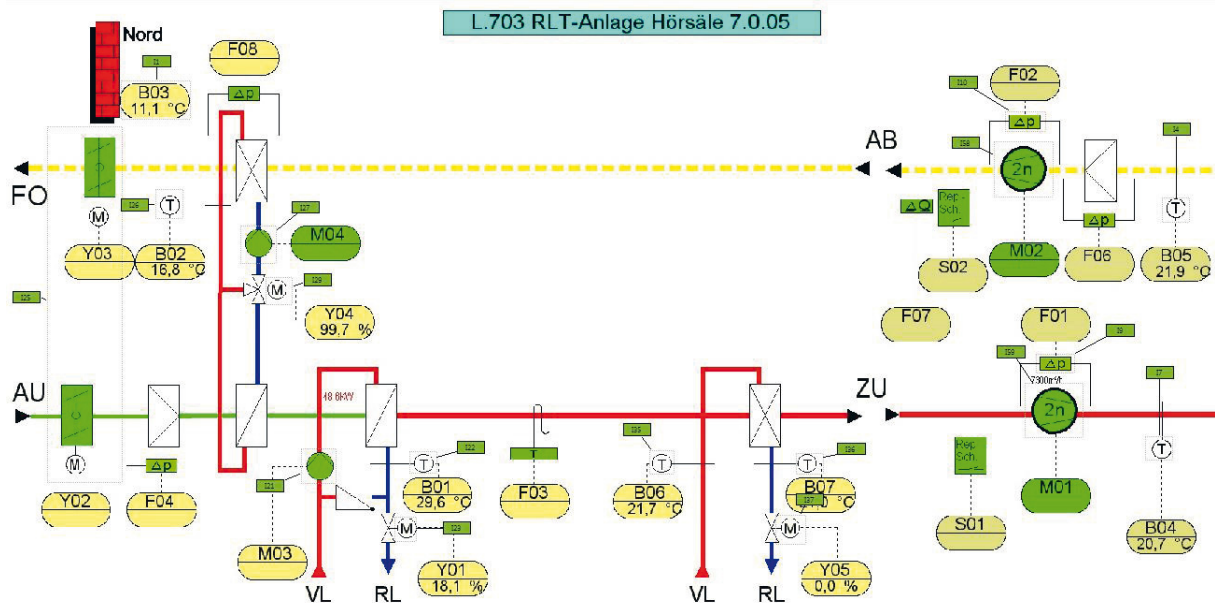
<div>Normalbetrieb</div> <div>3</div>	Y01	Lufterhitzer == entspr. Sequenz
	Y04	Wärmerückgewinnung == entspr. Sequenz
	Y05	Luftkühler == entspr. Sequenz
	M01	Zuluftventilator == 1
	M02	Abluftventilator == 1
	M04	WRG Pumpe == entspr. Sequenz

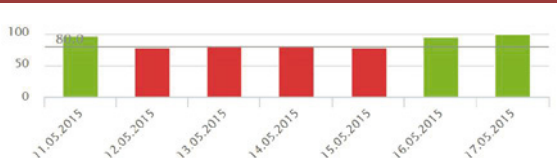
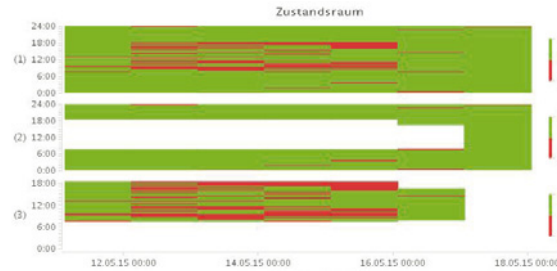
Abbildung 45 Der Betriebszustand „Normalbetrieb“ (BZ01:Normalbetrieb)

4.6.3 Prüfung der Betriebsdaten

Lüftungsanlage L703 Hörsaal – Prüfzeitraum KW20

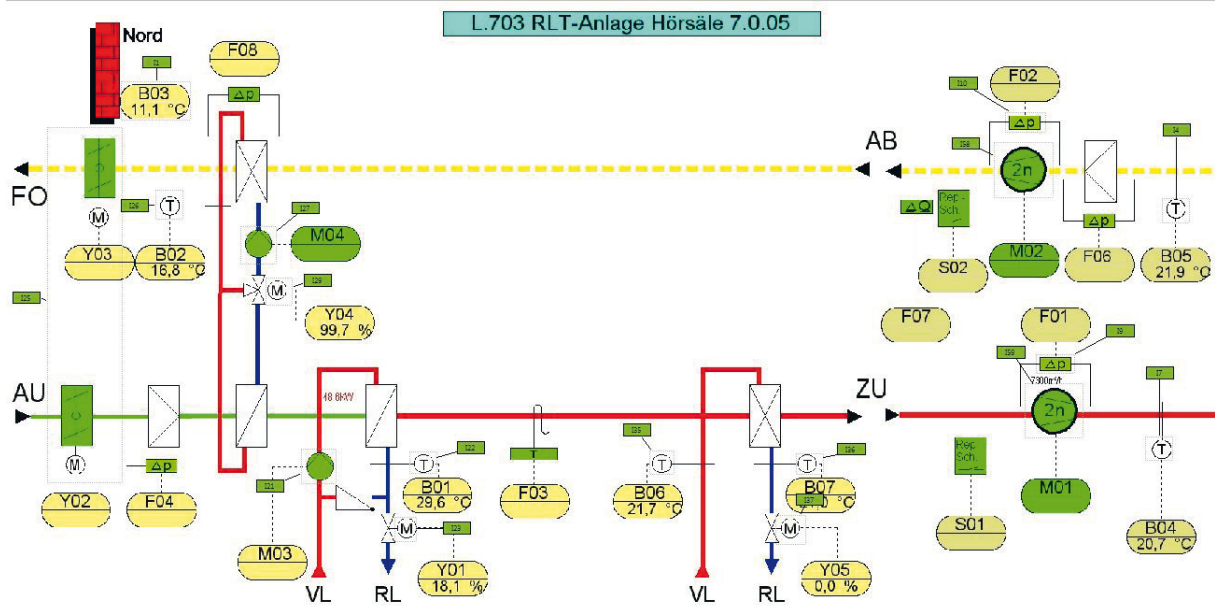
Anlage	Prüfzeitraum von	bis	Datenpunkte
Lüftung L703 Hörsaal	11.05.2015	17.05.2015	33

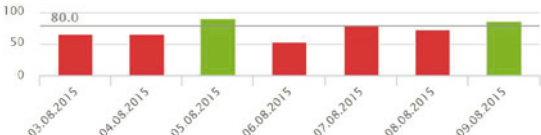
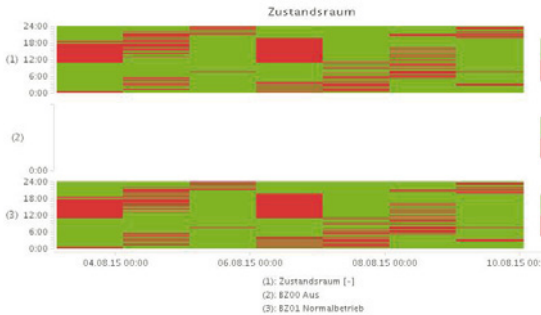


Auswertung	Funktion Soll	Funktion Ist / Empfehlung
  <p>(1): Zustandsraum [-] (2): BZ00 Aus (3): BZ01 Normalbetrieb</p>	<p>BZ00 Aus:</p> <p>Vorerhitzer Ventil geschlossen (Y = 0 %)</p> <p>BZ01 Normalbetrieb:</p> <p>Bei $\vartheta_{Aul} < 15\text{ °C}$ UND inaktiver WRG, ist der Vorerhitzer gesperrt (Y = 0 %)</p> <p>$18,5\text{ °C} < \vartheta_{Zul} < 30\text{ °C}$</p>	<p>Das Vorerhitzerventil taktet in den Nachtstunden</p> <p>Das Vorerhitzerventil taktet zu früh. Ggf. Hystere anpassen.</p> <p>Die Zulufttemperatur liegt häufig unterhalb des Grenzwerts (Mögliche Komforteinbußen durch Zugerscheinungen)</p>

Lüftungsanlage L703 Hörsaal – Prüfzeitraum KW32

Anlage	Prüfzeitraum von	bis	Datenpunkte
Lüftung L703 Hörsaal	03.08.2015	09.08.2015	56



Auswertung	Funktion Soll	Funktion Ist / Empfehlung
 	<p>BZ00 Aus:</p> <p>Vorheizter Ventil geschlossen (Y = 0 %)</p> <p>BZ01 Normalbetrieb:</p> <p>Bei $\vartheta_{\text{Aul}} < 15 \text{ °C}$ UND inaktiver WRG, ist der Vorheizter gesperrt (Y = 0 %)</p> <p>$18,5 \text{ °C} < \vartheta_{\text{Zul}} < 30 \text{ °C}$</p>	<p>Fehler beheben</p> <p>Fehler beheben</p> <p>Die Zulufttemperatur liegt häufig unterhalb des Grenzwerts (Mögliche Komforteinbußen durch Zugerscheinungen)</p>

Die Anlage befindet sich im Prüfzeitraum KW32 im Dauerbetrieb, ein Absenkbetrieb außerhalb der Nutzungszeiten ist zudem nicht vorgesehen. Die zeitgesteuerte Abschaltung greift nicht.

5 EVALUATION UND PROZESSKONZEPT

Ziel der Pilotanwendungen war es, die technisch-wirtschaftliche sowie die praktische Eignung zu durchgängigen Spezifikation und Prüfung von Automationsfunktionen zu bewerten. Im Folgenden ist die Evaluation der Pilotanwendungen dokumentiert.

5.1 Technisch-wirtschaftliche Evaluation

Die technisch-wirtschaftliche Leistungsfähigkeit, also die Fähigkeit, mit der erprobten Methodik den Energieverbrauch zu senken und Gebäudenutzungskosten zu reduzieren, ist eine wesentlichen Voraussetzung für die Anwendung in der Praxis und eine Skalierung in der Baubranche. Für die Bewertung der Anwendung in den Pilotprojekten wurden deshalb folgende Indikatoren definiert und ermittelt:

Tabelle 13 Liste der Gebäude und der im Projekt bearbeiteten Anlagen

Gebäude	Anlagen
Zeitaufwand der Bearbeitung durch den Prüfer [h]	Auf Grund der Bearbeitung der Pilotprojekte mit der Software « Digitaler Prüfstand » wurde eine Abschätzung der Bearbeitung der notwendigen Arbeitsstunden in einem realen Projekt abgeschätzt. Die Bewertung ist sehr grob und berücksichtigt keinen Zeitaufwand für z.B. Akquisition, Teilnahme an Vor-Ort-Termine etc.
Kosten der Bearbeitung durch den Prüfer (Arbeitskosten) [€]	Für die oben beschriebenen Leistungen wurde ein Stundensatz von 75 €/h angesetzt
Identifiziertes Einsparpotenzial Primärenergie [kWh/a]	Die Energieeinsparpotentiale wurden anhand der individuellen Anlagen und der vorgefundenen Betriebsweisen ingenieurtechnische bewertet. Die Berechnungen sind in Abschnitt 7.3 ausführlich dargestellt.
Identifiziertes Einsparpotenzial CO₂-Emissionen [t/a]	
Identifiziertes Einsparpotenzial Energiekosten €/a	
Amortisationszeit in Bezug auf die Arbeitskosten^{VIII} [a]	Bewertet wurde die statische Amortisation der Arbeitskosten durch die Nutzung der berechneten Einsparpotentiale.

Für die Bewertung wurde eine realistische Einschätzung im Rahmen einer realen Anwendungssituation angenommen. Der Zeitaufwand für die Bearbeitung berücksichtigt die

^{VIII} Es wurden nur die unmittelbaren Arbeitskosten des Prüfers betrachtet, da andere Kosten wie Software, Vertrieb etc. oder auch Kosten auf Seiten von Kunden oder anderen Beteiligten nicht spezifisch auf die Methode bezogen werden können, sondern in wesentlichem von einer Umsetzung als Dienstleistung abhängen. Die Arbeitszeiten und -kosten beziehen sich auf die Bearbeitung mit dem Software-Demonstrator „Digitaler Prüfstand“ der synavision GmbH.

Anwendung des digitalen Prüfstands. Die Kosten für Software oder der Einfluss etwaiger Markteinflüsse auf die Preise entsprechender Dienstleistungen wurden in der Bewertung nicht berücksichtigt. Die Kosten bewerten also im Wesentlichen die variablen Kosten der nicht digitalisierbaren ingenieurtechnischen Prüfleistungen.

Es wird darauf hingewiesen, dass die Bewertung die Einsparpotentiale einzelner identifizierter Betriebsfehler umfasst. Die Korrektur einzelner Fehler kann auch zu einer Erhöhung des Energieverbrauchs führen, z.B. wenn durch Fehlfunktionen Komfortanforderungen nicht erfüllt werden. Die Korrektur dieser Fehler ist hier nicht berücksichtigt, da sie sowohl auf der Kosten- wie auf der Nutzernseite nur sehr schwer zu quantifizieren ist. Insofern sind die Einsparpotentiale hier als Indikation für die betrachteten Einzelfälle zu betrachten und nicht als Aussage über allgemeine Wirtschaftlichkeit der Methodik. Eine allgemeine wirtschaftliche Bewertung von Fehlern im Betrieb gebäudetechnischer Anlagen ist ein wichtiger ergänzender Beitrag zu diesem Thema und sollte Forschungsgegenstand weiterer Projekte sein.

Tabelle 14 zeigt die Zusammenfassung der Ergebnisse für die Pilotgebäude.

Tabelle 14 Indikatoren der technisch-wirtschaftlichen Bewertung^{IX, X}

Gebäude	1 Zeit- aufwand [h]	2 Arbeits- kosten [€]	3 Einsparung Primär- energie [kWh/a]	4 Einsparung CO ₂ [t/a]	4 Einsparung Betriebs- kosten [€/a]	6 Amorti- sation [a]
Bibliothek (3 Anlagen)	30	2250	87924	23,3	9730	0,23
Celler Badeland (1)	15	1125	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.
Deutsche Bundesbank (4)	35	2625	40920	10,27	4324	0,61
Energy Campus (2)	25	1875	27226	6,9	2836	0,66
Verkaufs- markt (1)	6	450	24130	5,6	1757	0,26
Hörsaal- gebäude (1)	5	375	31568	7,3	2505	0,15
Mittelwert (arithm.)	19	1450	42354	11	4230	0,38
Mittelwert (Median)	20	1500	31568	7	2836	0,26

^{IX} Ansätze: Stundensatz Prüferingenieur: 75€/h (netto); Strompreis: 0,25 €/kWh; Wärmepreis: 0,08 €/kWh; Primärenergiefaktoren gem. DIN V 18599.

^X Die ausführliche Berechnung der technisch-wirtschaftlichen Indikatoren ist in Anhang 7.3 beigelegt.

Aus den Arbeitskosten^{XI} wurden weitere wirtschaftliche Indikatoren berechnet.

Arbeitskosten je Datenpunkt: Insgesamt wurden für alle Anlagen 353 Datenpunkte bearbeitet. Daraus ergeben sich bei den gesamten Arbeitskosten für alle Anlagen von 8.700 € Kosten pro Datenpunkt von ca. 26 €.

Vermeidungskosten je kWh Primärenergie: Insgesamt wurde ein primärenergetische Einsparpotential von ca. 211.000 kWh/a identifiziert. Aus den Arbeitskosten ergeben sich Vermeidungskosten in Bezug auf die Arbeitskosten von 0,04 €/kWhPE.

Vermeidungskosten je Tonne CO₂: Die entsprechenden Vermeidungskosten für CO₂ betragen 150 €/tCO₂.

Nicht berücksichtigt in den Indikatoren sind folgende Aspekte, die die Wirtschaftlichkeit der Anwendung beeinflussen können:

- Die Bearbeitung, die im Projekt durch die Bearbeiter erstmals angewendet wurde, kann durch Lern- bzw. Routineeffekt und eine wachsende Anlagenbibliothek deutlich beschleunigt werden.
- Die wirtschaftliche Bewertung erfolgt vorbehaltlich der Korrektur der erkannten Fehler. Die meisten Fehler können jedoch ohne oder mit minimalen Investitionen behoben werden.
- Nicht berücksichtigt bei den Einsparungspotentialen ist die Bewertung der Komfortverbesserungen oder eine verlängerte Lebensdauer, die durch die Fehlerbeseitigung geschaffen werden.

Dieses Projekt hatte in Bezug auf die Anwendung der Methodik (nicht eines Produkts!) einen experimentellen Charakter. Eine umfassende Bewertung der Wirtschaftlichkeit der Anwendung als Dienstleistung kann erst bei einer breiteren Nutzung in der Praxis als empirische Untersuchung erfolgen.

5.2 Evaluation der praktischen Anwendung

Für die Evaluation der praktischen Anwendung wurde eine Reihe von Kriterien definiert. Für diese wurden jeweils drei Optionen zur Bewertung definiert. Die Bewertung erfolgte als Einschätzung der Autoren. Die Ergebnisse sind entsprechend auch subjektiv geprägt. Eine objektive Bewertung sollte im Zuge einer breiteren Anwendung der Methodik erfolgen.

^{XI} Kumulierte Kosten ohne Celler Badeland.

Die Ergebnisse der Praxiserfahrungen sind in Tabelle 15 dargestellt. Die Bewertung der Software Digitaler Prüfstand der synavision GmbH ist in Tabelle 16 dargestellt.

Tabelle 15 Kriterienprüfung (Bewertungen sind rot markiert)

Kriterien		Bewertungsklassen		
		I (1 Punkt)	II (2 Punkte)	III (3 Punkte)
Bereich A: Anwendung				max. 18 Punkte
A.1	Struktur der Ergebnisse	Ausführlich Einarbeitung und Fachwissen notwendig Ergebnisse schwer nachvollziehbar	Erfassung benötigt Einarbeitung Teilweise schwer nachvollziehbar	Schnelle Erfassung Nachvollziehbarkeit Kein spezielles Fachwissen notwendig
A.2	Eindeutigkeit	Zuordnung der Ergebnisse schwierig Doppeldeutigkeiten	Anlagenzuordnung leicht möglich Ungenauigkeiten der Auswertung möglich	Keine Ungenauigkeiten Anlagenzuordnung leicht möglich
Fehlerhafte Auswertung von Betriebsregeln kann ggf. irreführend sein, da Übergangsbedingungen und systembedingte Trägheiten/Verzögerungen nicht berücksichtigt werden				
A.3	Quantifizierbarkeit	Keine Quantifizierung möglich	Teilweise Kennzahlenbildung Vergleichbarkeit bedingt möglich	Kennzahlenbildung Vergleichbarkeit der Werte möglich
A.4	Fehlererkennung	Erkennung der Fehler in der Anlagenfunktion Fehler können nicht zugeordnet werden	Erkennung der Fehler in der Anlagenfunktion Fehler teilweise schwer zu identifizieren / zuzuordnen	Erkennung der Fehler in der Anlagenfunktion Schnelle Zuordnung Rückschlüsse auf Ursache möglich
A.5	Aktualität	Nach erstmaliger Funktionsbeschreibung keine Änderungen mehr möglich	Aktualisierungen in bestimmten Abständen möglich (nicht kontinuierlich, z.B. je Prüfzyklus)	Projektbegleitende Aktualität der AFB möglich z.B. Änderungen in der Regelung, Sollwertanpassungen
Änderungen bei Sollwerten können zeitlich nicht festgelegt werden: Auswertung kann nur für Zeiträume mit gleichen Spezifikationen sinnvoll erfolgen, sonst entstehen gegebenenfalls fehlerhafte Rückschlüsse				
A.6	Zeitraum	Unregelmäßige Auswertung	Regelmäßige Auswertung in längeren Abständen (z.B. jährlich)	Kontinuierliche Analyse Auswertungen in regelmäßigen, kurzen Abständen (z.B. monatl.)
A.7	Detaillierungsgrad der Datenaufnahme	Aufnahme von Verbräuchen ohne Daten zur Funktionsbeschreibung	Erfassung einzelner Anlagendaten (Anlage nicht komplett beschrieben)	Detaillierte Erfassung aller Anlagendaten

		<p>In der AFB werden bestimmte Spezifikationen beschrieben, welche für die Anlage und das System besonders entscheidend sind. Allerdings werden meistens nicht alle Anlagenteile (jede Klappe, jedes Ventil, etc.) spezifiziert</p> <ul style="list-style-type: none"> Fehler werden nur dort erkannt, wo eine Funktion als Betriebsregel beschrieben ist. 		
A.8	Dokumentation	Unvollständige Dokumentation der GA-Funktionen	Teilweise Dokumentation der GA-Funktionen	Vollständige Dokumentation der GA-Funktionen (Vorgaben für Programmierung der GA- & MSR-Anlagen)
Bereich A GESAMT		20/24 Punkten (83 % Erfüllungsgrad)		

Die Bewertung zeigt, dass das Konzept Aktiver Funktionsbeschreibungen in der Praxis effektiv eingesetzt werden kann, um die Qualität von TGA- und GA-Anlagen zu prüfen und zu verbessern.

Tabelle 16 Kriterienprüfung der Anwendung des Digitalen Prüfstands (Bewertungen sind rot markiert)

Kriterien		Bewertungsklassen		
		III (1 Punkt)	II (2 Punkte)	I (3 Punkte)
B.1	Funktionsbeschreibung	Keine Beschreibung von Anlagenfunktionen möglich	Anlagenfunktionen können teilweise abgebildet werden	Anlagenfunktionen können umfassend und eindeutig beschrieben werden, z.B. entspr. VDI 3814-6
B.2	Anforderungen an das Know-How des Anwenders	Lange Einarbeitungszeit aufgrund komplizierter, fachspezifischer Anwendungen	Teilweise spezifische Fachwissen und Softwarekenntnisse notwendig	Allg. TGA-Fachwissen ausreichend
B.3	Flexibilität der Anwendbarkeit	Anwendbarkeit stark begrenzt auf bestimmte Anlagen	Anwendbarkeit teilweise begrenzt auf bestimmte Anlagen	Anwendbarkeit auf verschiedene Anlagen Systeme können planungs-/ praxisgetreu abgebildet werden
B.4	Strukturierung des Vorgehens	Struktur der Anwendung nicht verständlich Funktionsbeschreibung unstrukturiert	Struktur der Anwendung teilweise unverständlich Funktionsbeschreibung teilweise unstrukturiert	Struktur der Anwendung verständlich Funktionsbeschreibung kann strukturiert abgebildet werden
B.5	Datenexport /-import	Datenexport und -import in Standardformat möglich (z.B. Excel)	Datenexport und -import in Standardformat möglich (z.B. Excel) Aktualisierung/ Erweiterung der Daten möglich	Datenexport und -import in Standardformat möglich (z.B. Excel) Aktualisierung der Daten möglich Unproblematisches

				einlesen der Daten
		Textbasierte Werte des GLT-Systems teilweise nicht einlesbar (z.B. „WRG-Betrieb“ bzw. „KRG-Betrieb“)		
B.6	Visualisierung	Vorrangig Textform ohne grafische Visualisierungen Aufwändige Erfassung der Ergebnisse	Textform und Grafiken/Diagramme Erfassung der Ergebnisse gut möglich, jedoch zeitaufwändig	Vorrangig Grafiken Übersichtliche Darstellungsweise Schnelle Erfassung der Ergebnisse
B.7	Anwenderfreundlichkeit	Anwendung sehr kompliziert	Anwendung teilweise kompliziert Funktionalität eingeschränkt	Hohe Benutzerfreundlichkeit Hohe Funktionalität
		Auswertung: Grafiken im Plot Pilot nur bedingt anpassbar (z.B. Skala, nur Zeitraum mit vorliegenden Werten kann dargestellt werden)		
B.8	Installation und Zugang	Begrenze Lizenzen mit komplizierter Installation	Schnelle Installation Zugang schwierig	Schnelle Installation Zugang unproblematisch
		Installation und Zugang insgesamt schnell und unproblematisch, allerdings ist ein Internetzugang notwendig • gleichzeitig ein Vorteil, da von verschiedenen Orten und Rechnern Zugriff auf die AFB und Auswertung besteht		
B.9	Zeitaufwand	Hoher Zeitaufwand für Aufbau und Analysen der Funktionsbeschreibung	Mittlerer Zeitaufwand für Aufbau und Analysen der Funktionsbeschreibung	Geringer Zeitaufwand für Aufbau und Analysen der Funktionsbeschreibung
		Auswertungen nach erstem Aufbau der Funktionsbeschreibung automatisiert		
B.10	Robustheit des Prozesses	Programmtechnisches Vorgehen ist für jedes Projekt neu zu strukturieren	Programmtechnisches Vorgehen kann für bestimmte Anlagen standardisiert angewendet werden Teilw. neue Einarbeitung bei neuen Projekten	Programmtechnisches Vorgehen kann standardisiert auf verschiedene Projekte angewendet werden Keine neue Einarbeitung bei neuen Projekten
Bereich B GESAMT		27/30 Punkten (90 % Erfüllungsgrad)		

Die Bearbeitung zeigte, dass die Anwendung der Methodik mit der Verarbeitung großer Datenmengen einhergeht. In der Praxis wird deshalb für die Prüfung immer eine Software zur Anwendung kommen müssen. Die im Projekt genutzte Software „Digitaler Prüfstand“ zeigte, dass es möglich ist, den Prozess des Qualitätsmanagements auf Basis Aktiver Funktionsbeschreibungen robust umzusetzen und wirtschaftlich zu skalieren.

5.3 Empfehlungen für die praktische Anwendung

Für die praktische Anwendung der Methodik sind verschiedenen Szenarien denkbar. Die Grundstruktur ist jedoch immer ähnlich und durchläuft folgende Schritte in Bauprojekten:

Tabelle 17 Bearbeitungsschritte bei der Anwendung Aktiver Funktionsbeschreibungen

HOAI Leistungsphase	Leistungen in Bezug auf die Aktive Funktionsbeschreibung
1	-
2	-
3	<p>In der Entwurfsplanung wird die Aktive Funktionsbeschreibung insbesondere für Heizungs-, Kühlungs- und Lüftungsanlagen sowie die Raumregelung erstellt. Hierbei sollten mindestens beschrieben werden:</p> <ul style="list-style-type: none"> - die Anlagen (z.B. Kältemaschine und Pufferspeicher, Heizkreis, Lüftungszentralgerät) - die geplanten Betriebszustände (z.B. Aus, Heizen, Kühlen) und Betriebsregeln - die relevanten Datenpunkte (Vorlauftemperatur, Betriebsmeldung der Pumpe, Volumenstrom etc. <p>Eine Parametrierung der Datenpunkte in den Betriebszuständen ist noch nicht zwingend erforderlich.</p>
4	-
5	<p>In der Ausführungsplanung wird die Aktive Funktionsbeschreibung ggf. überarbeitet und ergänzt. In dieser Phase sollte eine Parametrierung der einzelnen Datenpunkte in den verschiedenen Betriebszuständen und für alle Betriebsregeln erfolgen. Dabei sind ggf. entsprechende zulässige Toleranzen zu berücksichtigen.</p>
6	<p>Die Aktive Funktionsbeschreibung wird Teil der Leistungsverzeichnisse bzw. der Ausschreibung. Wichtige Ergänzungen sind hier die Vorgaben für die Durchführung der Probetriebe, in denen die Einhaltung der Spezifikationen geprüft wird, sowie die Vorgaben für den notwendigen Datenexport.</p>
7	-
8	<p>Am Ende der Objektüberwachung erfolgen die Probetriebe als Teil der Vollständigkeits- und Funktionsprüfungen. Im Anschluss sind vom Errichter die geforderten Betriebsdaten zu übergeben, um die Prüfung durchzuführen.</p>
9	<p>Falls die Prüfung im Zuge des Probetriebs nicht erfolgreich ist oder dieser nicht durchgeführt werden konnte, kann dies als Mangel bewertet werden, der im Zuge der Mängelverfolgung zu beheben ist. Der Nachweis sollte durch eine bereits im LV festgelegt Wiederholung des Probetriebs erfolgen.</p>
Regelbetrieb	<p>Im Regelbetrieb kann eine Prüfung entsprechend des Probetriebs regelmäßig oder mit geeigneter Software kontinuierlich durchgeführt werden.</p>

Zu beachten ist bei der praktischen Anwendung, in welcher Rolle die Aktive Funktionsbeschreibung eingesetzt wird. In der oben beschriebenen Prozessbeschreibung ist die Anwendung durch einen Fachplaner impliziert. Es gibt jedoch gute Argumente, die AFB auch durch andere Akteure einzusetzen:

Tabelle 18 Akteure für mögliche Anwendungen der Aktiven Funktionsbeschreibung

Akteur	Gründe für die Anwendung der Aktiven Funktionsbeschreibung
GA-Errichter	<p>Der GA-Errichter kann die AFB als Pflichtenheft im Rahmen der Werk- und Montageplanung entwickeln. Damit kann er Defizite in der Fachplanung ausgleichen und zugleich mehr Sicherheit in Bezug auf die Prüfung und Abnahme seiner Leistungen erreichen.</p> <p>Diese Anwendung ist besonders sinnvoll, da der Errichter für die Abnahme zum Nachweis seiner Leistung verpflichtet ist.</p>
Hersteller von Komponenten	<p>Anlagen-Komponenten wie z.B. Kesseln, BHKW etc. übernehmen in kleineren Anlagen häufig die Aufgabe der Automation für die Gesamtanlage. Mit entsprechenden technischen Anbindungen der Anlagen an z.B. an das Internet bietet der Zugriff auf die Daten die Möglichkeit, erweiterte Dienstleistungen rund um die Anlagen-Komponente anzubieten. Die AFB kann hier die Anlagenüberwachung unterstützen.</p>
FM	<p>Dienstleister im Facility Mangement sind in der Regel mit technischem Personal in Gebäuden vertreten. Durch den Einsatz einer AFB (z.B. bei einer Due Diligence oder der Erstinbetriebnahme eines Gebäudes) kann der Dienstleister einen Analyse des Gebäudebetriebs durchführen, Aufwand und Risiken für seine Leistung abschätzen und seine Leistungen im Bereich der Betriebsführung nachweisen.</p>
Dienstleister als unabhängige Dritte	<p>Aus Sicht des Qualitätsmanagements ist die Anwendung der AFB besonders in der Rolle des unabhängigen Dritten interessant. Da Fehler im Gebäudebetrieb ggf. auf alle Projektbeteiligten – Fachplaner, Hersteller, Anlagenerrichter und Betreiber – zurückzuführen sein können, besteht hier sicherlich nicht immer Interesse an einer kritischen Prüfung. Für die Aufgabe des Technischen Monitorings ist deshalb die Rolle des unabhängigen Dritten besonders vielversprechend.</p>

In diesem Projekt konnte die Anwendbarkeit und die Leistungsfähigkeit der Methodik der Aktiven Funktionsbeschreibung dargestellt werden. Wie die wirtschaftlichste und in der erfolgreichste Anwendung aussieht, ist in einem Forschungsprojekt natürlich nicht prognostizierbar. Umso wichtiger ist es, diese Entwicklungen bei den zurzeit aufkommenden Bemühungen, entsprechende Leistungen in Bauprojekte zu integrieren wissenschaftlich zu begleiten, um zeitnah empirische Erkenntnisse über deren Erfolg zu erhalten.

Dieses Projekt wurde zeitlich umgesetzt mit der Entwicklung eines Leitfadens für das Monitoring von Bundesbauten⁶⁹ sowie der Erarbeitung der AMEV Technisches Monitoring. Ergebnisse dieses Projekts sind in die Bearbeitung der beiden Projekte eingeflossen.

6 ZUSAMMENFASSUNG UND FAZIT

Die Gebäudeautomation hat sich auch in den in diesem Projekt bearbeiteten Gebäuden und Anlagen als ein Gewerk mit zentraler Bedeutung für die Gebäudeperformance gezeigt. Gleichzeitig war die Performance durch Qualitätsdefizite teilweise erheblich beeinträchtigt.

Die Bearbeitung hat gezeigt, dass die vorgeschlagene Methodik Aktiver Funktionsbeschreibungen für das Qualitätsmanagement der Gebäudeautomation in der Praxis erfolgreich angewendet werden kann. Für die verschiedenen Anlagentypen in unterschiedlichen Gebäuden konnten wichtige Funktionen spezifiziert, überprüft und Fehler identifiziert werden. Die Auswertung zeigt, dass erhebliche Einsparpotentiale mit geringem Aufwand erkannt werden konnten. Damit sind die zentralen Voraussetzungen für eine Anwendung als Qualitätsmanagementprozess gegeben: Aktive Funktionsbeschreibungen können ein wesentlicher Treiber für Qualitätsverbesserungen in der Gebäudeautomation und damit für die Gebäudeperformance insgesamt sein.

In Bezug auf die geäußerten Expertenmeinungen der Befragungen zu Anfang des Projekts kann die die Methodik die als ursächlich für Qualitätsdefizite benannte Komplexität der Systeme sicherlich nicht unmittelbar reduzieren. Jedoch kann sowohl eine präzise Beschreibung fehlender Kompetenz als auch ein transparenter Prüfprozess mangelndem Qualitätsbewusstsein entgegenwirken.

Für die Anwendung in der Praxis werden folgende allgemeine Empfehlungen gegeben:

1. Daten der Gebäudeautomation verfügbar machen

Moderne Gebäudeautomationssysteme können Daten, die sie intern verarbeiten, speichern und an externe Stellen exportieren. Selbst wenn kein Qualitätsmanagement mit Aktiven Funktionsbeschreibungen umgesetzt wird, ist die Übergabe von Betriebsdaten für die Abnahme und die Prüfung des laufenden Betriebs eine zwingende Voraussetzung. Export und Datenformat müssen einfach erfolgen können und produktunabhängig sein, empfohlen wird ein einfaches Zeilen-Spalten-Format in csv-Dateien^{XII}.

2. Leistungsbild Qualitätsmanagement präzise definieren

Das Qualitätsmanagement ist zurzeit in ungeeigneter Weise auf verschiedene Leistungen in der HOAI und der VOB verteilt und nicht in ausreichendem Maße definiert, siehe Absatz 2.1. Um QM erfolgreich in Projekten zu etablieren, muss ein Leistungsbild präzise definiert und ausgeschrieben werden. Zentrales neues

^{XII} Die Vorlage eines entsprechenden Textes für Leistungsverzeichnisse ist im Anhang aufgeführt.

Element muss hierbei eine Spezifikation sein, die sowohl die geplante Funktion als auch den Prüfprozess beschreibt. Wichtig sind darüber hinaus die Rolle des unabhängigen QMs, dessen Aufgaben sowie der inhaltliche und zeitliche Leistungsumfang. Im Anhang sind deshalb klare Vorgaben z.B. für die Anzahl der zu bearbeitenden Datenpunkte für einzelne Komponenten und Anlagen festgelegt.

3. Prüfung als Technisches Monitoring durch einen unabhängigen Dritten

Die Ursachen für Qualitätsdefizite liegen oft in verschiedenen Gewerken und bei unterschiedlichen Akteuren. Wird in einem Projekt der Einsatz der AFB nicht als Planungswerkzeug, sondern als Qualitätsmanagement angestrebt (z.B. als Technisches Monitoring), wird empfohlen, die Bearbeitung von einem unabhängigen Dritten durchführen zu lassen, der nicht in die operative Bearbeitung des Projekts eingebunden und frei von Zielkonflikten insbesondere in Bezug auf Kosten und Termine ist. Architekten, Fachplaner, Errichter, Betreiber und Projektsteuerer sollten nicht mit diesem unabhängigen Qualitätsmanagement beauftragt werden, da es im Projekt eine Rolle ähnlich einem Sachverständigen hat. Es sollte deshalb auch nicht weisungsbefugt gegenüber anderen Beteiligten sein und direkt an den Bauherren berichten. Nichtsdestotrotz kann der Einsatz natürlich mit den übrigen Beteiligten abgestimmt werden, um Synergien zu nutzen. So kann die AFB in Abstimmung mit dem Fachplaner erstellt werden und Prüfergebnisse – bei frühzeitiger Datenübergabe - schon vor dem Probetrieb an den GA-Errichter übergeben werden, um ihn bei der Erreichung eines fehlerfreien Betriebs zu unterstützen.

4. Qualitätsmanagement konstruktiv gestalten

Auch wenn das Qualitätsmanagement allgemein und die Prüfung der Gebäudeautomation im Besonderen latent zu Konflikten führen kann, sollte es immer das Ziel sein, den Prozess konstruktiv zu gestalten. Hierfür ist wichtig, dass alle Beteiligten wissen, wie und mit welcher Zielsetzung der Prozess abläuft und welche Rollen die einzelnen Beteiligten einnehmen. Im Projekt hat sich gezeigt, dass eine kooperative Zusammenarbeit eher zu einer Beschleunigung und Vereinfachung der Bearbeitung führt, als zu einer Konfrontation.

5. Indikatoren für Qualität erfassen

Der dargestellte Qualitätsregelkreis wirkt in zweierlei Weise, sowohl zur Optimierung des Betriebs durch die Beseitigung von Fehlern, also auch durch das Lernen aus einem Projekt für die nächste Bauaufgabe. Um diesen Prozess möglichst effektiv zu gestalten, ist es notwendig, offen über Qualitätsdefizite zu reden und Prüfergebnisse strukturiert zu erfassen. Dazu eignen sich die in diesem Projekt definierten Indikatoren. Die naturgemäß nicht immer angenehme Kommunikation von



Qualitätsdefiziten kann durch die Unterlegung mit Ergebnissen standardisierter Prüfprozeduren eine neutrale Basis erhalten und so konstruktiv und sachlich geführt werden.

Dieses Projekt hat gezeigt, dass Aktive Funktionsbeschreibungen eine effektive Methode für ein Qualitätsmanagement der Gebäudeautomation sind. Damit bietet sie die Möglichkeit, diesen zentralen Baustein moderner Gebäude, dessen Nutzung für die Erreichung der Klimaschutzziele unabdingbar ist, mit der dringend erforderlichen Qualität in der Praxis anzuwenden.

7 ANHANG

7.1 LV-Texte für Errichterleistungen der TGA und GA

Im Anhang sind Texte für die Verwendung in Leistungsbeschreibungen für die beschriebenen Leistungen als Technisches Monitoring enthalten. Gelb markierte Stellen sind je Projekt zu spezifizieren.

7.1.1 Einrichtung virtueller Datenpunkte für die Kennzeichnung von Betriebszuständen

Durch den Auftraggeber werden für die gebäudetechnischen Anlagen Funktionsbeschreibungen mit Zustandsgraphen bzw. Zustandsräumen in Anlehnung an die Darstellung entsprechend VDI-Richtlinie 3814-6:2008-7 erstellt. Die Spezifikation erfolgt durch die Beschreibung von Betriebszuständen und Aktionen (Übergänge und Übergangsbedingungen werden nicht explizit spezifiziert). Die Betriebszustände werden mit Zahlenwerten nummeriert.

Durch den Auftragnehmer ist je definiertem Zustandsraum ein virtueller analoger Datenpunkt einzurichten. Dem Datenpunkt ist im Betrieb der Zahlenwert des jeweils aktuell vorliegenden Betriebszustands zuzuweisen.

Die Umsetzung erfolgt in Abstimmung mit dem Auftraggeber.

Zu kalkulieren sind 20 virtuelle analoge Datenpunkte.

7.1.2 Einrichtung des Exports von Betriebsdaten

Während der Inbetriebnahme und des Betriebs sollen Betriebsdaten der gebäudetechnischen Anlagen aus dem Gebäudeautomations-System (physikalische, kommunikative und virtuelle Datenpunkte) wie weiter unten spezifiziert übergeben werden. Es sind alle notwendigen Dienstleistungen, Kosten für eventuelle Lizenzen, für Hard- und Software sowie für die technischen Klärungen und Einrichtungen am Server und Client zu berücksichtigen, die für die Übergabe der Daten an den AG erforderlich sind.

Zu kalkulieren ist die Einrichtung des Datenexports für 250 Datenpunkte.

a. Datenerfassung und -speicherung

Datenpunkte (physikalisch und virtuell) sind als **15-minütige** Momentanwerte zu speichern. Eine Mittelwertbildung ist nicht zulässig. Auch bei Change-of-Value-Logging sind Momentanwerte im **15-Minuten**-Intervall zu speichern.

Die gespeicherten Daten werden in einer Tabelle mit folgendem Aufbau abgelegt:

Datenpunktadresse	DP001	DP002	DP003
Klartext	Außenlufttemperatur	Stellung Ventil 17	Betriebsmeldung WP3
Einheit	°C	%	-
Min	-10	0	0
Max	50	100	1
01.01.2014 00:00	5,3	0	0
01.01.2014 00:15	6,5	0	1
01.01.2014 00:30	7,2	25	1
01.01.2014 00:45	7,3	37	1
01.01.2014 01:00	7,5	52	0

Zeitstempel werden grundsätzlich in der 1. Spalte im Format „TT.MM.JJJJ hh.mm.ss“ abgelegt. Andere Formate sind nur nach vorheriger Zustimmung des Auftraggebers zulässig. Die Spalten ab der 2. Spalte enthalten die Messwerte der Datenpunkte. Dezimaltrennzeichen ist das Komma. Tausender-Trennzeichen sind nicht erlaubt.

Die Zeilen 1 bis 5 der Tabelle enthalten Informationen über die jeweiligen Datenpunkte. Im Einzelnen gilt:

Die 1. Zeile (Pflichtfeld) muss in jeder Spalte einen Klartext zur eindeutigen Bezeichnung des Datenpunktes (max. 40 Zeichen) enthalten.

Die 3. Zeile (Pflichtfeld) muss in jeder Spalte die SI-Einheit des Datenpunkts enthalten.

Folgende Einheiten sind zu verwenden:

Thermische und elektrische Arbeit	[kWh] (1 Nachkommastelle)
Temperaturen	[°C] (1 Nachkommastelle)
Thermische und elektrische Leistung	[kW] (1 Nachkommastelle)
Volumenströme	[m³/h] (2 Nachkommastellen)
Stellbefehle 0-100	[%] (ohne Nachkommastelle)
Betriebsmeldungen (Aus/An: 0/1)	[-]
Freigaben (Aus/Hand-/Automatikbetrieb: 0/1/2)	[-]

Weitere Einheiten und die Beschreibung von Schaltzuständen (an/aus, Prozent, Stufen etc.) sind während der Montageplanung mit dem Monitorer abzustimmen.

Die Inhalte der Zeilen 2, 4 und 5 sind optional:

Zeile 2: Die eindeutige Datenpunktadresse in Form der Benutzeradresse. Technische Adressen sind nicht zulässig. Weitere Merkmale wie z.B. eine AKS-Nummer (Anlagen- bzw. Allgemeines Kennzeichnungssystem) können ebenfalls für die Datenpunktbeschreibung definiert werden.

In den Feldern Minimum und Maximum können technisch-physikalisch sinnvolle Grenzen für den jeweiligen Datenpunkt angegeben werden. Werte, die außerhalb der Grenzwerte liegen, werden bei der Prüfung nicht berücksichtigt.

b. Datenübergabe

Die Daten werden grundsätzlich als csv-Dateien entsprechend dem Monitoringkonzept zu übergeben.

Spaltentrennzeichen ist das Semikolon (;). Nicht zulässig sind Leerzeichen (Ausnahme: Zwischen Datum und Uhrzeit) sowie Steuerzeichen (z.B. „Linefeed“) innerhalb einer Zeile.

Beispiel für eine zulässige Zeile: 01.01.2014 17:53;12036,00;23442,346

Die Namen der csv-Dateien lassen jeweils das Gebäude sowie den Beobachtungszeitraum erkennen. Einzelheiten hierzu sind im Vorfeld mit dem Auftraggeber abzustimmen. Je nach Umfang der zu exportierenden Datenreihen ist zusätzlich eine Trennung nach Gewerken vorzusehen.

Beispiel: Datenreihen vom 01. Juni bis 30. Juni 2011 zum Gebäude XY • 20110601-20110630_HZG_GebXY.csv .

Die Prüfung der Daten erfolgt erstmals im Zuge der Inbetriebnahme und Abnahme in folgenden Schritten:

4 Wochen vor einem Probetrieb ist eine Liste aller vorgesehenen Datenpunkte an den Auftraggeber zu übergeben. Die Liste enthält folgende Angaben: Eindeutige Datenpunktadresse, Klartext, physikalische Einheit bei analogen Datenpunkten.

3 Wochen vor Abnahme übergibt der Auftraggeber dem Auftragnehmer eine Auswahl von markierten Datenpunkten aus der v. g. Liste.

1 Woche vor dem Probetrieb übergibt der Auftragnehmer dem Auftraggeber die über einen Mindestzeitraum von **einem Tag** gespeicherten Werte der markierten Datenpunkte in der oben genannten Form, damit die Funktionsfähigkeit der Datenerfassung für das Prüfmonitoring sichergestellt werden kann.

Für den Zeitraum des Prüfmonitorings übergibt der Auftragnehmer dem Auftraggeber die über einen Mindestzeitraum von **einem Tag** gespeicherten Werte der markierten Datenpunkte in der oben genannten Form. Die entsprechenden Anlagen müssen während des Prüfmonitorings im Automatikbetrieb gelaufen sein. Ein Handbetrieb oder Eingriffe sind nicht erlaubt.

Im Einregulierungs- und Regelbetrieb übergibt der Auftragnehmer dem Auftraggeber regelmäßig die gespeicherten Werte der markierten Datenpunkte in der oben genannten Form.

7.2 Funktionsbeschreibungen und Prüfgrößen für Anlagen

Funktionsbeschreibungen sind eine elementare Voraussetzung für die Planung, Errichtung und den Betrieb gebäudetechnischer Anlagen. Mit Hilfe von Betriebszuständen können Anlagenfunktion bereits in der Entwurfsplanung so spezifiziert werden, dass eine spätere Prüfung mit der in diesem Bericht vorgestellten Methoden möglich ist.

Im Folgenden werden für typische Komponenten und Anlagen zu berücksichtigende Prüfgrößen mit Soll- und Zielwerten für das Monitoring dargestellt. Dazu werden Beispiele für eine Definition von Betriebszuständen und Betriebsregeln beispielhaft dargestellt. Insbesondere bei Klimaanlage und bei multivalenten Erzeugeranlagen ist die differenzierte Darstellung der Betriebszustände sinnvoll.

Die Leistung „Qualitätsmanagement“ bzw. „Technisches Monitoring“ muss spätestens in zur Ausführungsplanung ausgeschrieben werden, damit erforderliche Messtechnik und Datenschnittstellen dort berücksichtigt werden können. Um die geforderten Leistungen „Qualitätsmanagement“ bzw. „Technisches Monitoring“ als präzises Leistungsbild auszuschreiben, sollten in einer Ausschreibung insbesondere folgende Punkte festgelegt werden:

1. Leistungen (wesentliche Schritte)

- a. Rolle des QMs im Projekt
- b. Sichtung der Planung und Abfragen der Zielwert
- c. Erstellung der Aktiven Funktionsbeschreibung
- d. Datenanalyse und Berichtserstellung
- e. Ggf. Wiederholung von Prüfungen

2. Bearbeitungsumfang

- a. Anzahl der zu bearbeitenden Datenpunkte
- b. Anzahl der Prüfungsberichte und Probetriebe
- c. Geplanter zeitlicher Umfang der Bearbeitung und Präsenz des QM vor Ort

Die Fachplanung muss in der Ausführungsplanung alle Prüfgrößen in der Funktionsbeschreibung planen. Für Kennwerte können entsprechende Ansätze aus früheren Leistungsphasen oder dem EnEV-Nachweis herangezogen werden.

Vor einer Funktionsprüfung bzw. einem Probetrieb müssen alle Prüfgrößen - ggf. in Abstimmung mit dem Errichter – eingegeben bzw. angepasst werden. Die anschließend



vorliegende Aktive Funktionsbeschreibung aus Prüfgrößen, Betriebszuständen und Betriebsregeln ist dann Teil der Grundlagen der Funktionsprüfung.

Mit Blick auf die VDI 3814 bzw. DIN ISO 16484 könnte die GA-Funktionsliste um einen Abschnitt „Prüfung“ ergänzt werden, z.B. mit den Spalten „Prüfgrößen“, „Einheit“, „Intervall“, „Kennwert“.

7.2.1 Prüfungsumfang BHKW

Prüfgröße Planung (Ziel-/Sollwert)	Prüfgröße Betrieb (Istwert)	Einheit	Darstellung der Soll- und Istwerte
Gasverbrauch (bzw. äquivalente Wärmemenge)	Messung (Berechnung)	kWh	Liniendiagramm (15 Min.) Säulendiagramm (Summe Monat und Jahr)
Gasleistung (bzw. äquivalente momentane Wärmeleistung)	Messung (Berechnung)	kW	Liniendiagramm (15 Min.) Säulendiagramm (Mittelwert Monat und Jahr)
Erzeugte Strommenge	Messung	kWh	Liniendiagramm (15 Min.) Säulendiagramm (Summe Monat und Jahr)
Erzeugte Stromleistung	Messung	kW	Liniendiagramm (15 Min.) Säulendiagramm (Mittelwert Monat und Jahr)
Erzeugte Wärmemenge	Messung	kWh/Monat kWh/Jahr	Liniendiagramm (15 Min.) Säulendiagramm (Summe Monat und Jahr)
Erzeugte Wärmeleistung	Messung	kW	Liniendiagramm (15 Min.) Säulendiagramm (Mittelwert Monat und Jahr)
Nutzungsgrad elektr.	Messung und Berechnung	kWh/kWh	Säulendiagramm (Mittelwert Monat und Jahr)
Nutzungsgrad therm.	Messung und Berechnung	kWh/kWh	Säulendiagramm (Mittelwert Monat und Jahr)
Nutzungsgrad ges.	Messung und Berechnung	kWh/kWh	Säulendiagramm (Mittelwert Monat und Jahr)
Wirkungsgrad elektr.	Messung und Berechnung	kW/kW	Liniendiagramm (15 Min.) Säulendiagramm (Mittelwert Monat und Jahr)
Wirkungsgrad therm.	Messung und Berechnung	kW/kW	Liniendiagramm (15 Min.) Säulendiagramm (Mittelwert Monat und Jahr)
Wirkungsgrad ges.	Messung und Berechnung	kW/kW	Liniendiagramm (15 Min.) Säulendiagramm (Mittelwert Monat und Jahr)
Betriebsstunden	Erfassung aus der Komponente/Anlage	h	Säulendiagramm (Summe Monat und Jahr)
Betriebsstarts	Erfassung aus der Komponente/Anlage	-	Säulendiagramm (Summe Monat und Jahr)
Betriebsstarts je Betriebsstunde	Berechnung	1/h	Liniendiagramm (Mittelwert Monat und Jahr)
Vorlauftemperatur	Messung	°C	Messwertpaare (15 Min.) Vorlauftemperatur /Außentemperatur
Rücklauftemperatur	Messung	°C	Messwertpaare (15 Min.) Rücklauftemperatur /Außentemperatur
Abgastemperatur	Messung	°C	Liniendiagramm (15 Min.) Rücklauftemperatur /Außentemperatur
Außenlufttemperatur	Messung	°C	-

7.2.2 Gasbrennwertkessel

7.2.2.1 Prüfgrößen

Prüfgröße Planung (Ziel-/Sollwert)	Prüfgröße Betrieb (Istwert)	Einheit	Darstellung der Soll- und Istwerte
Gasverbrauch (bzw. äquivalente Wärmemenge)	Messung (Berechnung)	kWh	Liniendiagramm (15 min) Säulendiagramm (Summe Monat und Jahr)
Gasleistung (bzw. äquivalente momentane Wärmeleistung)	Messung (Berechnung)	kW	Liniendiagramm (15 Min.) Säulendiagramm (Mittelwert Monat und Jahr)
Erzeugte Wärmemenge	Messung	kWh/Monat kWh/Jahr	Liniendiagramm (15 Min.) Säulendiagramm (Summe Monat und Jahr)
Erzeugte Wärmeleistung	Messung	kW	Liniendiagramm (15 Min.) Säulendiagramm (Mittelwert Monat und Jahr)
Nutzungsgrad therm.	Messung und Berechnung	kWh/kWh	Säulendiagramm (Mittelwert Monat und Jahr)
Wirkungsgrad therm.	Messung und Berechnung	kW/kW	Liniendiagramm (15 Min.) Säulendiagramm (Mittelwert Monat und Jahr)
Betriebsstunden	Erfassung aus der Komponente/Anlage	h	Säulendiagramm (Summe Monat und Jahr)
Betriebsstarts	Erfassung aus der Komponente/Anlage	-	Säulendiagramm (Summe Monat und Jahr)
Betriebsstarts je Betriebsstunde	Berechnung	1/h	Liniendiagramm (Mittelwert Monat und Jahr)
Vorlauftemperatur	Messung	°C	Messwertpaare (15 Min.)
Rücklauftemperatur	Messung	°C	Messwertpaare (15 Min.) Rücklauftemperatur
Abgastemperatur	Messung	°C	Liniendiagramm (15 Min.) Rücklauftemperatur
Außenlufttemperatur	Messung	°C	-

7.2.2.2 Beispiel für Betriebszustände und Betriebsregeln

Betriebszustände	Aus	Ein
Betriebsregeln		
Wirkungsgrad therm.	Keine Vorgabe	> X [-] (Minimalwert)
Betriebsstarts in den letzten 24h	Keine Vorgabe	< X [-] (Maximalwert)
Vorlauftemperatur	Keine Vorgabe	> X [°C] (ggf. parametrisierte Kennlinie)
Rücklauftemperatur	Keine Vorgabe	< X [°C] (Maximalwert)
Abgas_T	Keine Vorgabe	< X [°C] (Maximalwert)

In Kombination mit einem Speicher ist eine Ladehysterese wie folgt zu ergänzen:

Betriebszustände	Aus	Ein
Betriebsregeln		
Speichertemperatur	> X°C (Einschaltkriterium darf nicht erfüllt sein)	< Y°C (Ausschaltkriterium darf nicht erfüllt sein)

7.2.3 Prüfungsumfang multivalente Anlage aus BHKW, Gasbrennwertkessel und Speicher

Für dieses System können die Prüfgrößen sowie Betriebszustände und Betriebsregeln in entsprechender Weise definiert und geprüft werden.

7.2.3.1 Prüfgrößen

Für die einzelnen Komponenten BHKW und Gasbrennwertkessel sind die oben genannten Prüfgrößen zu spezifizieren.

7.2.3.2 Beispiel für Betriebszustände und Betriebsregeln

Für das Gesamtsystem der Anlagen sind die folgenden Betriebszustände und Betriebsregeln zu spezifizieren.

Betriebsregeln	Betriebszustände	Aus	BHKW Ein	BHKW und Gasbrennwertkessel ein	Gasbrennwertkessel ein
BHKW Betriebsmeldung		Aus	Ein	Ein	Störung
Gasbrennwertkessel Betriebsmeldung		Aus	Aus	Ein	Ein
Umwälzpumpe BHKW Betriebsmeldung		Aus	Ein	Ein	Aus
Umwälzpumpe Gasbrennwertkessel Betriebsmeldung		Aus	Aus	Ein	Ein
Speichertemperatur		> X°C (Einschaltkriterium darf nicht erfüllt sein)	< Y°C (Ausschaltkriterium darf nicht erfüllt sein)	< Y°C (Ausschaltkriterium darf nicht erfüllt sein)	< Y°C (Ausschaltkriterium darf nicht erfüllt sein)

Zusätzlich können auch z.B. die Positionen von Motorstellventilen oder ein Anforderung für eine Speicherladetemperatur aus angeschlossenen Heizkreisen spezifiziert werden.

7.2.4 Prüfungsumfang Wärmepumpe

Prüfgröße Planung (Ziel-/Sollwert)	Prüfgröße Betrieb (Istwert)	Einheit	Darstellung der Soll- und Istwerte
Stromverbrauch	Messung	kWh	Liniendiagramm (15 Min.) Säulendiagramm (Summe Monat und Jahr)
Elektrische Leistungsaufnahme	Messung	kW	Liniendiagramm (15 Min.) Säulendiagramm (Mittelwert Monat und Jahr)
Erzeugte Wärmemenge	Messung	kWh/Monat kWh/Jahr	Liniendiagramm (15 Min.) Säulendiagramm (Summe Monat und Jahr)
Erzeugte Wärmeleistung	Messung	kW	Liniendiagramm (15 Min.) Säulendiagramm (Mittelwert Monat und Jahr)
Nutzungsgrad	Messung und Berechnung	kWh/kWh	Säulendiagramm (Mittelwert Monat und Jahr)
Wirkungsgrad	Messung und Berechnung	kW/kW	Liniendiagramm (15 Min.) Säulendiagramm (Mittelwert Monat und Jahr)
Vorlauftemperatur primärseitig	Messung	°C	Messwertpaare (15 Min.) Vorlauftemperatur /Außentemperatur
Rücklauftemperatur primärseitig	Messung	°C	Messwertpaare (15 Min.) Rücklauftemperatur /Außentemperatur
Vorlauftemperatur sekundärseitig	Messung	°C	Messwertpaare (15 Min.) Vorlauftemperatur /Außentemperatur
Rücklauftemperatur sekundärseitig	Messung	°C	Messwertpaare (15 Min.) Rücklauftemperatur /Außentemperatur
Außenlufttemperatur	Messung	°C	-

7.2.5 Prüfungsumfang Heizkreis

Prüfgröße Planung (Ziel-/Sollwert)	Prüfgröße Betrieb (Istwert)	Einheit	Darstellung der Soll- und Istwerte
Übertragene Wärmemenge	Messung (informativ)	kWh	Liniendiagramm, Auflösung: 15-minütig Säulendiagramm Auflösung: je Messzeitraum des Prüfmonitorings bzw. je Monat oder Jahr
Vorlauftemperatur	Messung	°C	Messwertpaare Vorlauftemperatur über Außentemperatur Auflösung: 15-minütig
Rücklauftemperatur	Messung	°C	Messwertpaare Rücklauftemperatur über Außentemperatur Auflösung: 15-minütig
Temperaturspreizung zwischen Vor- und Rücklauf	Messung und Berechnung	K	Messwertpaare Temperaturspreizung über Außentemperatur Auflösung: 15-minütig
Außenlufttemperatur	Messung	°C	-

7.2.6 Prüfungsumfang Kompressionskältemaschine

Prüfgröße Planung (Ziel-/Sollwert)	Prüfgröße Betrieb (Istwert)	Einheit	Darstellung der Soll- und Istwerte
Stromverbrauch	Messung	kWh	Liniendiagramm (15 Min.) Säulendiagramm (Summe Monat und Jahr)
Elektrische Leistungsaufnahme	Messung	kW	Liniendiagramm (15 Min.) Säulendiagramm (Mittelwert Monat und Jahr)
Erzeugte Kältemenge	Messung	kWh/Monat kWh/Jahr	Liniendiagramm (15 Min.) Säulendiagramm (Summe Monat und Jahr)
Erzeugte Kälteleistung	Messung	kW	Liniendiagramm (15 Min.) Säulendiagramm (Mittelwert Monat und Jahr)
Nutzungsgrad	Messung und Berechnung	kWh/kWh	Säulendiagramm (Mittelwert Monat und Jahr)
Wirkungsgrad	Messung und Berechnung	kW/kW	Liniendiagramm (15 Min.) Säulendiagramm (Mittelwert Monat und Jahr)
Betriebsstunden	Erfassung aus der Komponente/Anlage	h	Säulendiagramm (Summe Monat und Jahr)
Betriebsstarts	Erfassung aus der Komponente/Anlage	-	Säulendiagramm (Summe Monat und Jahr)
Betriebsstarts je Betriebsstunde	Berechnung	1/h	Liniendiagramm (Mittelwert Monat und Jahr)
Vorlauftemperatur primärseitig	Messung	°C	Messwertpaare (15 Min.) Vorlauftemperatur
Rücklauftemperatur primärseitig	Messung	°C	Messwertpaare (15 Min.) Rücklauftemperatur
Vorlauftemperatur sekundärseitig	Messung	°C	Messwertpaare (15 Min.) Vorlauftemperatur
Rücklauftemperatur sekundärseitig	Messung	°C	Messwertpaare (15 Min.) Rücklauftemperatur
Außenlufttemperatur	Messung	°C	-

7.2.7 Prüfungsumfang Teilklimaanlage mit Zulufttemperaturregelung und WRG

Prüfgröße Planung (Ziel-/Sollwert)	Prüfgröße Betrieb (Istwert)	Einheit	Darstellung der Soll- und Istwerte
Stromverbrauch	Messung	kWh	Liniendiagramm (15 Min.) Säulendiagramm (Summe Monat und Jahr)
Elektrische Leistungsaufnahme	Messung	kW	Liniendiagramm (15 Min.) Säulendiagramm (Summe Monat und Jahr)
Volumenstrom	Messung	m³/h	Liniendiagramm (15 Min.) Säulendiagramm (Summe Monat und Jahr)
Spezifische Ventilatorleistung	Messung und Berechnung	W/(m³/s)	Liniendiagramm (15 Min.) Säulendiagramm (Mittelwert Monat und Jahr)
Betriebsstunden	Erfassung aus der Komponente/Anlage	h	Säulendiagramm (Summe Monat und Jahr)
Zulufttemperatur	Messung	°C	Liniendiagramm (15 Min.) Messwertpaare (15 Min.) Vorlauftemperatur /Außentemperatur
Temperatur- änderungsgrad WRG	Messung und Berechnung	-	Liniendiagramm (15 Min.) Säulendiagramm (Mittelwert Monat und Jahr)
Außenlufttemperatur	Messung	°C	-

7.2.8 Prüfungsumfang Raumklima

Prüfgröße Planung (Ziel-/Sollwert)	Prüfgröße Betrieb (Istwert)	Einheit	Darstellung der Soll- und Istwerte
Raumlufthtemperatur	Messung	°C	Messwertpaare Relativer Raumlufffeuchte über Raumlufthtemperatur Auflösung: 15-minütig
Relative Raumlufffeuchte	Messung	%	
Außenlufttemperatur	Messung	°C	-

Zusätzlich können Regelgrößen der Raumkonditionierung geprüft werden (z.B. die Freigabe von Heiz-/Kühlfunktionen oder die CO₂-Konzentration und die Stellung von Volumenstromreglern).

7.3 Berechnung der technisch-wirtschaftlichen Indikatoren

Energieträger	Primärenergiefaktor f_p [kWh _{PE} /kWh _{EE}]	CO ₂ -Äquivalent [kg _{CO2} /kWh _{EE}]	Energiekosten [€/kWh _{EE}]
Strommix	2,4	0,606	0,25
Fernwärme	0,7	0,190	0,08
Erdgas	1,1	0,250	0,08

7.3.1 Bibliothek

Fehler-Nr.	Fehlbetrieb [h/a]	Zusätzliche Leistung [kW]	Endenergie Q _{EE} [kWh/a]	Primärenergie Q _P [kWh/a]	CO ₂ - Emission [t/a]	Kosten k [€/a]
Heizkreis HK09 RLT 6. OG						
1	1600	1,1	1760	4224	1,07	440
2	200	315	63000	44100	11,97	5040
Lüftungsanlage L14 Vollklima						
3	1800	10	18000	12600	3,42	1440
Kältezentrale K18						
4	2500	4,5	11250	27000	6,82	2810
SUMME				87924	23,28	9730

Randbedingungen der Berechnungen:

1. Heizkreispumpe aktiv, obwohl $\vartheta_{Aul} > 18 \text{ °C}$

$$P_{el,Pumpe} = SFP_{Hydr} \dot{V}$$

$$\text{mit } SFP_{Hydr} = 20,9 \text{ Wh/m}^3$$

$$\dot{V} = 53 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$P_{el,Pumpe} = 20,9 \frac{\text{Wh}}{\text{m}^3} \times 53 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} = 1100 \text{ W}$$

$$W_{el,Pumpe} = 1100 \text{ W} \times 1600 \text{ h} = 1760 \text{ kWh/a}$$

2. Überhöhte Vorlauftemperatur um 3-5 K

$$\dot{Q}_{th} = \dot{m} c_p \Delta\vartheta$$

mit $\dot{m} = 15 \frac{kg}{s}$
 $c_p = 4,2 \frac{kJ}{kg K}$
 $\Delta\vartheta = 5 K$

$$\dot{Q}_{th} = 15 \frac{kg}{s} \times 4,2 \frac{kJ}{(kg K)} \times 5 K = 315 kW$$

$$Q_{th} = 315 kW \times 200 h = 63000 kWh/a$$

3. Vorerhitzerventil ist trotz zu hoher rel. Abluftfeuchte ca. 50 % geöffnet, statt geschlossen

$$\dot{Q}_{th} = \dot{V} \varrho c_p \Delta\vartheta$$

mit $\dot{V} = 6000 \frac{m^3}{h}$
 $\varrho = 1,2 kg/m^3$
 $c_p = 1,007 \frac{kJ}{kg K}$
 $\Delta\vartheta = 5 K$

$$\begin{aligned} \dot{Q}_{th} &= 6000 \frac{m^3}{h} \times 1,2 \frac{kg}{m^3} \times 1,007 \frac{kJ}{(kg K)} \times 5 K \\ &= 10 kW \end{aligned}$$

$$Q_{th} = 10 kW \times 1800 h = 18000 kWh/a$$

4. Stellsignal der Kühlwasserpumpen (Kältemaschine) liegt durchgehend um 5 % über dem Sollwert (Kennlinie)

$$P_{el,Pumpe} = 2 \times 45 kW \times 0,05 = 4,5 kW$$

$$W_{el,Pumpe} = 4,5 kW \times 2500 h = 11250 kWh/a$$

7.3.2 Deutsche Bundesbank Bielefeld

Fehler-Nr.	Fehlbetrieb [h/a]	Zusätzliche Leistung [kW]	Endenergie Q_{EE} [kWh/a]	Primärenergie Q_P [kWh/a]	CO ₂ - Emission [t/a]	Kosten k [€/a]
Heizkreis HK02 Bankbereich EG/UG						
1	s. u.	s.u.	52800	39960	10,03	4224
Lüftungsanlage RLT01						
2	190	6,2	400	960	0,24	100
SUMME				40920	10,27	4324

Randbedingungen der Berechnungen:

- Überhöhte Vorlauftemperatur und kein Absenkbetrieb erkennbar (Einsparpotenzial 44 %^{XIII})

$$\dot{Q}_{th} = p \times q_{th} \times A$$

mit $p = 44 \%$

$$q_{th} = 60 \frac{kWh}{m^2 a}$$

$$A = 2000 m^2$$

$$\begin{aligned} \dot{Q}_{th} &= 0,44 \times 60 \frac{kWh}{m^2 a} \times 2000 m^2 \\ &= 52800 kWh/a \end{aligned}$$

^{XIII} Berechnung anhand GA-Effizienzfaktor nach DIN EN 15232:2012 Tabelle 9. Erhöhung der Effizienzklasse von D auf C.

2. Keine witterungsgeführte Regelung der Abluft- und Zulufttemperatur

$$\dot{Q}_{th} = \dot{V} \varrho c_p \Delta\vartheta$$

mit $\dot{V} = 3700 \frac{m^3}{h}$
 $\varrho = 1,2 \frac{kg}{m^3}$
 $c_p = 1,007 \frac{kJ}{kg K}$
 $\Delta\vartheta = 5 K$

$$\begin{aligned}\dot{Q}_{th} &= 3700 \frac{m^3}{h} \times 1,2 \frac{kg}{m^3} \times 1,007 \frac{kJ}{(kg K)} \times 5 K \\ &= 6,2 kW\end{aligned}$$

$$Q_{th} = 6,2 kW \times 190 h = 1200 kWh/a$$

$$W_{el,WP} = \frac{Q_{th}}{JAZ} \quad \text{mit } JAZ = 3,0$$

$$W_{el,WP} = \frac{1200 \frac{kWh}{a}}{3,0} = 400 kWh/a$$

7.3.3 Energy Campus STIEBEL ELTRON

Fehler-Nr.	Fehlbetrieb [h/a]	Zusätzliche Leistung [kW]	Endenergie Q _{EE} [kWh/a]	Primärenergie Q _P [kWh/a]	CO ₂ - Emission [t/a]	Kosten k [€/a]
Wärmepumpen NT/HT						
1	k. A.	k. A.	11344	27226	6,87	2836
SUMME				27226	6,87	2836

Randbedingungen der Berechnungen:

Die erkannten Defizite wurden bei diesem Pilotprojekt bereits rückgemeldet und umgesetzt. Daher kann die Berechnung der Energieeinsparung direkt über den gemessenen Energieverbrauch vor und nach der Umsetzung der Optimierungsmaßnahmen erstellt und auf die Jahresbilanz projiziert werden. Die zugrundeliegenden Berechnungen sind in den nachfolgend dargestellten Tabellen zusammengefasst.

	Zeitraum	Mittelwert Stromverbrauch	Einheit
NT WP	11.01.16 - 17.02.16	89,4	kWh
	29.02.16 - 06.03.16	187,5	kWh
HT WP	11.01.16 - 17.02.16	219,9	kWh
	29.02.16 - 06.03.16	60,2	kWh
Gesamt	11.01.16 - 17.02.16	309,3	kWh
	29.02.16 - 06.03.16	247,7	kWh
Stromeinsparung von KW 2 zu KW 9		-19,9%	
Zusätzlicher Verbrauch bezogen auf Sollzustand		+24,9%	

Bezugsfläche	2.958	m²
Strompreis	0,28	€/kWh
Energiebedarf		
Endenergiebedarf Strom-Mix HZG/ WW ^{XIV}	15	kWh/(m²a)
Prognostizierter Strombedarf HZG/ WW	45.376	kWh/a
Prognostizierter Strombedarf ohne Fehlererkennung im Wärmepumpenbetrieb (+25%)	56.720	kWh/a
Einsparung durch Einregulierung	11.344	kWh/a

7.3.4 Verkaufsmarkt

Fehler-Nr.	Fehlbetrieb [h/a]	Zusätzliche Leistung [kW]	Endenergie Q _{EE} [kWh/a]	Primärenergie Q _P [kWh/a]	CO ₂ - Emission [t/a]	Kosten k [€/a]
Lüftung Verkaufsräume						
1	100	50	5600	6160	1,54	450
2	1.200	12,3	16.336	17.970	4,08	1307
SUMME				22496	5,62	1757

^{XIV} Nach EnEV Berechnung Energy Campus (2013), Endenergiebedarf

Randbedingungen der Berechnungen:

1. Nachtauskühlung aktiv, obwohl die Außenlufttemperatur unter 15 °C liegt

$$\dot{Q}_{th} = \dot{V} \varrho c_p \Delta\vartheta$$

$$\text{mit } \dot{V} = 73000 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}^{\text{xv}}$$

$$\varrho = 1,2 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$c_p = 1,007 \frac{\text{kJ}}{\text{kg K}}$$

$$\Delta\vartheta = 2 \text{ K}$$

$$\begin{aligned}\dot{Q}_{th} &= 73000 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \times 1,2 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times 1,007 \frac{\text{kJ}}{(\text{kg K})} \times 2 \text{ K} \\ &= 50 \text{ kW}\end{aligned}$$

$$Q_{th_{NE}} = 50 \text{ kW} \times 100 \text{ h} = 5000 \text{ kWh/a}$$

$$Q_{th_{EE}} = \frac{Q_{th_{NE}}}{\eta}$$

$$\text{mit } \eta = 0,9$$

$$Q_{th_{EE}} = \frac{5000 \text{ kWh/a}}{0,9} = 5600 \text{ kWh/a}$$

^{xv} Überschlägige Auslegung des Nennzuluftvolumenstroms nach DIN EN 15251 für Verkaufsräume (Kat. II).

2. Raum- bzw. Ablufttemperaturkennlinie um ca. +3 K verschoben

$$\dot{Q}_{th} = \dot{V} \varrho c_p \Delta\vartheta$$

mit $\dot{V} = 73000 \frac{m^3}{h}$

$$\varrho = 1,2 \frac{kg}{m^3}$$

$$c_p = 1,007 \frac{kJ}{kg K}$$

$$\Delta\vartheta = 0,5 K^{xvi}$$

$$\begin{aligned} \dot{Q}_{th} &= 73000 \frac{m^3}{h} \times 1,2 \frac{kg}{m^3} \times 1,007 \frac{kJ}{(kg K)} \times 0,5 K \\ &= 12,25 kW \end{aligned}$$

$$Q_{thNE} = 12,25 kW \times 1200 h = 14702 kWh/a$$

$$Q_{thEE} = \frac{14702 kWh/a}{0,9} = 16336 kWh/a$$

7.3.5 Hörsaalgebäude Westfälische Hochschule

Fehler-Nr.	Fehlbetrieb [h/a]	Zusätzliche Leistung [kW]	Endenergie Q_{EE} [kWh/a]	Primärenergie Q_P [kWh/a]	CO ₂ - Emission [t/a]	Kosten k [€/a]
Lüftung Hörsaal L703						
1	8.760	2,63	2.763	6.631	1,67	691
2	8.760	k. A.	22.670	24.937	5,67	1814
SUMME				31568	7,34	2505

^{xvi} Verbleibende zusätzliche Temperaturdifferenz nach der Wärmerückgewinnung ($\Phi = 0,8$).

Randbedingungen der Berechnungen:

1. Dauerbetrieb der Anlage, ohne Absenkbetrieb (Einsparpotenzial elektrisch 6 %^{xvii})

$$W_{el} = p \times P_{SFP} \times 2 \dot{V} \times t$$

mit $p = 6 \%$

$$P_{SFP} = 0,36 \frac{W}{\frac{m^3}{h}} \text{^{xviii}}$$

$$\dot{V} = 7300 \frac{m^3}{h}$$

$$W_{el} = 0,06 \times 0,36 \frac{W}{\frac{m^3}{h}} \times 2 \times 7300 \frac{m^3}{h} \times 8760 \frac{h}{a}$$

$$W_{el} = 2763 \text{ kWh/a}$$

2. Dauerbetrieb der Anlage, ohne Absenkbetrieb (Einsparpotenzial thermisch 51 %^{xix})

$$Q_{th} = p \times Q_{th,ges}$$

mit $Q_{th,ges} = 44400 \text{ kWh/a}$ ^{xx}

$$p = 51\%$$

$$Q_{th} = 22670 \text{ kWh/a}$$

7.4 Projekt-Workshops

Folge Projektworkshops fanden während der Projektbearbeitung statt:

Datum	Ort	Anlass
	Braunschweig	Workshop mit Planern und Errichtern
	Gelsenkirchen	Schulungsveranstaltung des BLB NRW
13.05.2016	Gelsenkirchen	Schulungsveranstaltung des BLB NRW
09.06.2016	Braunschweig	Workshop mit Planern und Errichtern

Das Projekt wurde außerdem in zahlreichen Vorträgen und Workshops z.B. in Gremien des BTGA vorgestellt.

^{xvii} Berechnung anhand GA-Effizienzfaktor nach DIN EN 15232:2012 Tabelle 7. Erhöhung der Effizienzklasse von D auf C.

^{xviii} Für Kategorie SFP 3 zzgl Aufschlag für hocheffiziente WRG nach DIN EN 13779:2007 Tabelle 9 und Tabelle 10.

^{xix} Berechnung anhand GA-Effizienzfaktor nach DIN EN 15232:2012 Tabelle 5. Erhöhung der Effizienzklasse von D auf C.

^{xx} Statische Simulation mit der Software EUROcalc-AHU der HS Biberach.

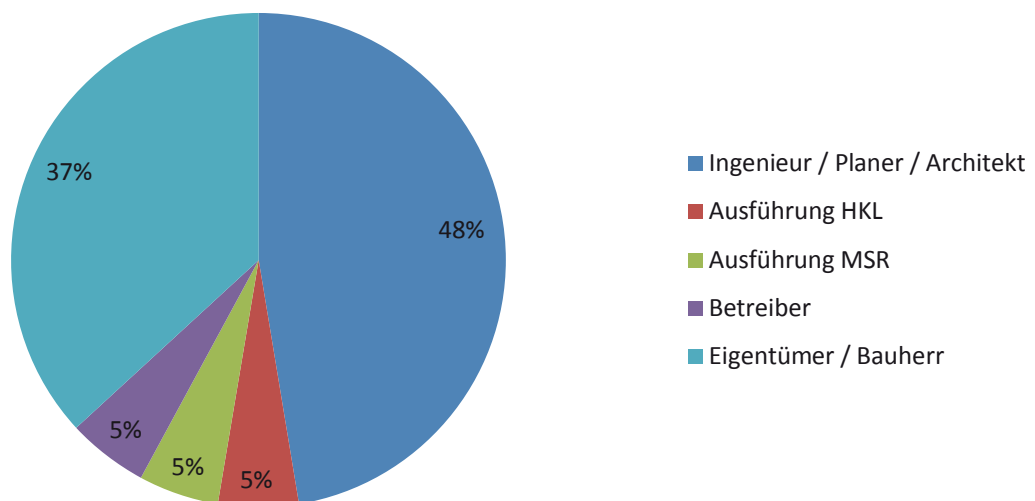
7.5 Fragebogen: Qualitätsmanagement in der Gebäudeautomation

1. Welche Rolle begleiten Sie üblicherweise in Bauprojekten (bzw. was kommt dem am nächsten)?
 - a. Ingenieur / Planer / Architekt
 - b. Ausführung HKL
 - c. Ausführung MSR
 - d. Betreiber
 - e. Eigentümer / Bauherr
2. Wie hoch ist der Energieaufwand, der aufgrund mangelnder Qualität in Gebäuden vergeudet wird?
 - a. < 5 %
 - b. 5-10 %
 - c. 10-20 %
 - d. 20-30 %
 - e. > 30 %
3. Welches Gewerk verursacht - bezogen auf die Energieeffizienz - die größten Qualitätsdefizite?
 - a. Heizung
 - b. Kühlung
 - c. Lüftung
 - d. Gebäudeautomation (MSR)
 - e. Die Kombination von MSR und HKL
4. Wer ist hauptsächlich für Qualitätsdefizite verantwortlich?
 - a. Ingenieur / Planer / Architekt
 - b. Ausführung HKL
 - c. Ausführung MSR
 - d. Betreiber
 - e. Nutzer
5. Was ist die größte Barriere für ein effektives Qualitätsmanagement?
 - a. Fehlendes Qualitätsbewusstsein der Gebäudeeigner
 - b. Mangelnde Kompetenz der Planungs- und Ausführungsfirmen
 - c. Mangel an effektiven Geschäftsmodellen
 - d. Komplexität moderner gebäudetechnischer Anlagen
 - e. Niedrige Energiepreise

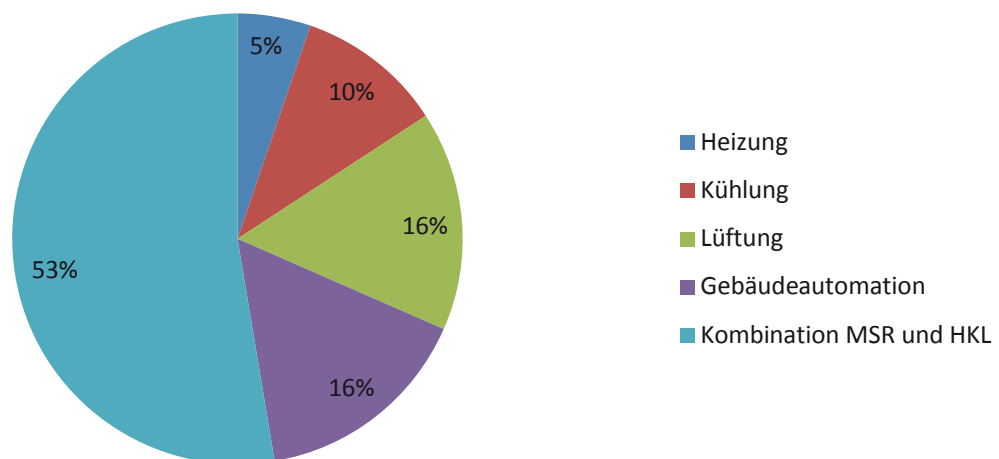
Die in dieser Umfrage aufgeführten Fragen dienen ausschließlich der Vorbereitung des Workshops „Qualitätsmanagement für die Gebäudeautomation“ im Rahmen des Forschungsprojekts GA Spec&Check. Die Umfrage erfolgt anonymisiert und wird vertraulich behandelt.

7.6 Ergebnisse der Expertenbefragungen

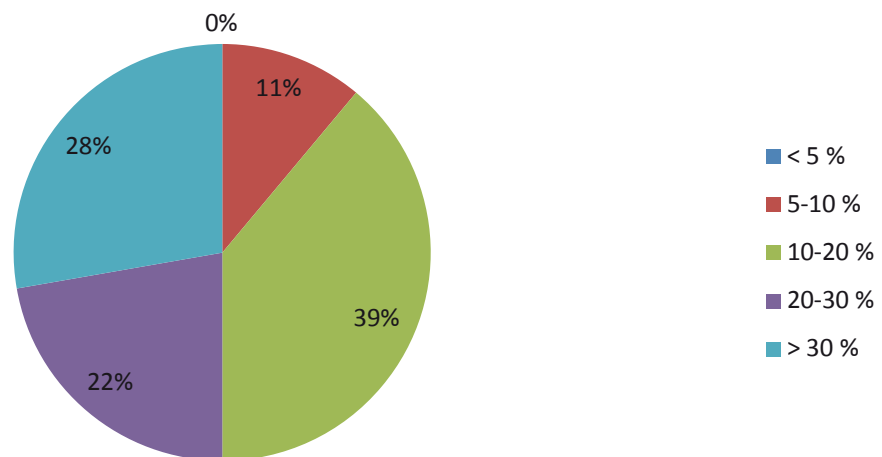
Welche Rolle begleiten Sie üblicherweise in Bauprojekten?



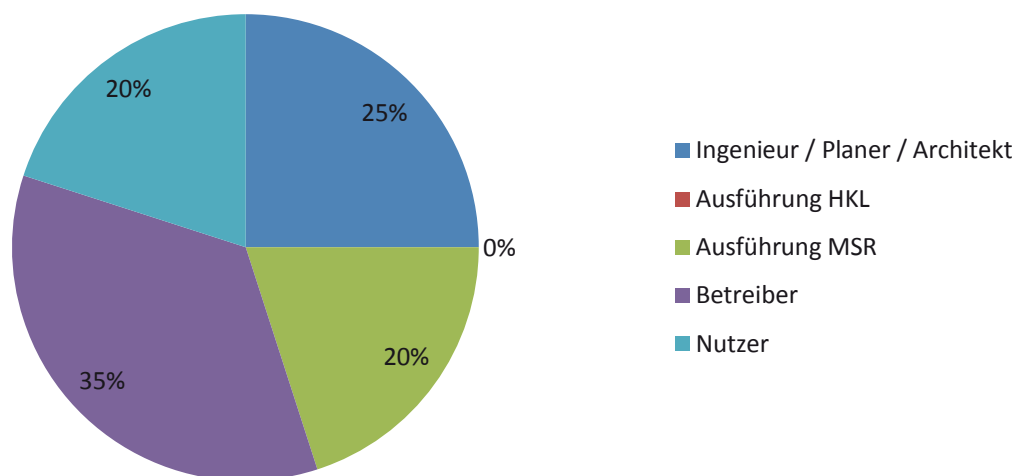
Welches Gewerk verursacht - bezogen auf die Energieeffizienz - die größten Qualitätsdefizite?



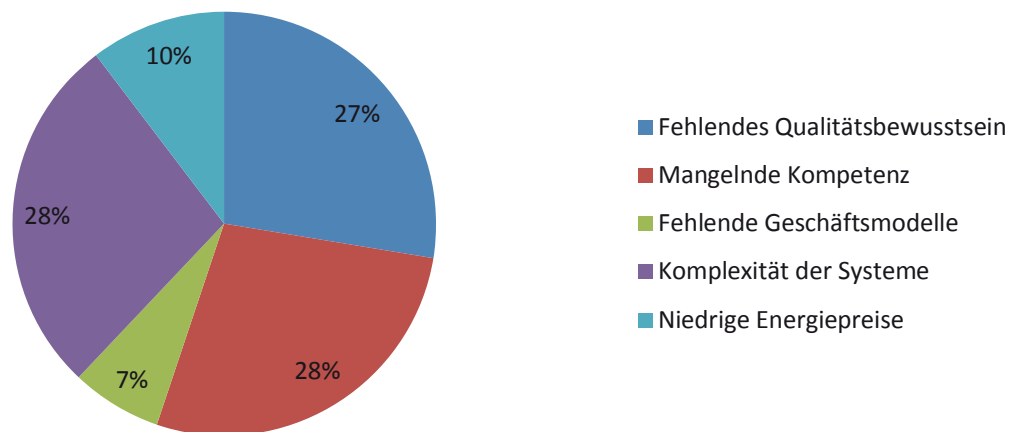
Wie hoch ist der Anteil am Energieverbrauch, der aufgrund mangelnder Qualität in Gebäuden vergeudet wird?



Wer ist hauptsächlich für Qualitätsdefizite verantwortlich?



Was ist die größte Barriere für ein effektives Qualitätsmanagement?



7.7 Aktive Funktionsbeschreibungen der Pilotanwendungen

Die Aktiven Funktionsbeschreibungen zu den Pilotanwendungen sind dem Bericht als Ausdruck in den Anlagen 1 – 6 beigefügt.

7.8 Literatur

- 1 Garvin, D. A. (1984). What does product quality really mean? Sloan Management Review , S. 25 ff.
- 2 DIN 55350-11: Begriffe zu Qualitätsmanagement und Statistik - Teil 11
- 3 Verordnung über die Honorare für Leistungen der Architekten und der Ingenieure (Honorarordnung für Architekten und Ingenieure - HOAI), 2013, §2
- 4 Verordnung über die Honorare für Architekten- und Ingenieurleistungen (Honorarordnung für Architekten und Ingenieure – HOAI), 10.07.2013
- 5 Gemeinsamer Ausschuss Elektronik im Bauwesen (GAEB), StLB Bau, Leistungsbereich 070 - Gebäudeautomation
- 6 Verordnung über die Honorare für Leistungen der Architekten und der Ingenieure (Honorarordnung für Architekten und Ingenieure - HOAI), § 73, S. 69
- 7 DIN 18386:2016-09: „VOB Vergabe- und Vertragsordnung für Bauleistungen - Teil C: Allgemeine Technische Vertragsbedingungen für Bauleistungen (ATV) – Gebäudeautomation“, Deutsches Institut für Normung, Beuth Verlag, Berlin 2016, Abschnitt 3.1.4, Seite 8

- 8 DIN 18386:2016-09: „VOB Vergabe- und Vertragsordnung für Bauleistungen - Teil C: Allgemeine Technische Vertragsbedingungen für Bauleistungen (ATV) – Gebäudeautomation“, Deutsches Institut für Normung, Beuth Verlag, Berlin 2016, Abschnitt 3.3, Seite 9
- 9 DIN 18386:2016-09: „VOB Vergabe- und Vertragsordnung für Bauleistungen - Teil C: Allgemeine Technische Vertragsbedingungen für Bauleistungen (ATV) – Gebäudeautomation“, Deutsches Institut für Normung, Beuth Verlag, Berlin 2016, Abschnitt 3.4, Seite 10
- 10 Baumann, Herbert: „Gebäudeautomation, Kommentar zur VOB Teil C“, Deutsches Institut für Normung, Beuth-Verlag, Berlin 2001
- 11 Baumann, Herbert: „Gebäudeautomation, Kommentar zur VOB Teil C“, Deutsches Institut für Normung, Beuth-Verlag, Berlin 2001, S. 77
- 12 Systeme der Gebäudeautomation (GA) - Teil 1: Projektplanung und -ausführung (ISO 16484-1:2010); Deutsche Fassung EN ISO 16484-1:2010, Berlin, März 2011
- 13 DIN EN ISO 16484-3:2005-12: „Systeme der Gebäudeautomation - Teil 3: Funktionen“, Berlin, 2005
- 14 Systeme der Gebäudeautomation (GA) - Teil 1: Projektplanung und -ausführung (ISO 16484-1:2010); Deutsche Fassung EN ISO 16484-1:2010, Berlin, März 2011, Seite 25
- 15 Systeme der Gebäudeautomation (GA) - Teil 1: Projektplanung und -ausführung (ISO 16484-1:2010); Deutsche Fassung EN ISO 16484-1:2010, Berlin, März 2011, Seite 26
- 16 BMVg: „Handbuch Gebäudeautomation (HB GA)“, Allgemeiner Umdruck 173, Version 3.0, 10/2007
- 17 Bewertungssystem Nachhaltiges Bauen, Kriterium 5.2.4. Systematische Inbetriebnahme, BMVBS Version 2009_4
- 18 VDI E 6041 „Facility-Management - Technisches Monitoring von Gebäuden und gebäudetechnischen Anlagen“, Verein Deutscher Ingenieure e.V., Düsseldorf 2015
- 19 VDI 6039: „Inbetriebnahmemanagement für Gebäude“, Verein Deutscher Ingenieure e.V., Düsseldorf 2011
- 20 VDI 6039: „Inbetriebnahmemanagement für Gebäude“, Verein Deutscher Ingenieure e.V., Düsseldorf 2011, S. 3
- 21 AMEV Messgeräte für Energie und Medien (EnMess 2001), Arbeitskreis Maschinen- und Elektrotechnik staatlicher und kommunaler Verwaltungen (AMEV) Berlin 2001
- 22 AMEV Gebäudeautomation, Arbeitskreis Maschinen- und Elektrotechnik staatlicher und kommunaler Verwaltungen (AMEV) Berlin 2005
- 23 Institut für Luft- und Kältetechnik Gemeinnützige Gesellschaft mbH et al.: Checkliste für die Abnahme von Klima- und Lüftungsanlagen, Fachinstitut Gebäude-Klima e.V. (Hrsg.), Publikation Nr. 170, Oktober 2012
- 24 <https://www.bnb-nachhaltigesbauen.de/>, 06.06.2017
- 25 www.dgnb.de, 06.06.2017
- 26 <http://www.usgbc.org/leed>, 06.06.2017
- 27 BNB Bürogebäude, Steckbrief 5.2.4, BMVBS, Stand 2009_4, und „Kriterienübersicht des DGNB Zertifizierungssystems, Steckbrief 51, DGNB, 4.2.2011
- 28 DIN 28004-2:1969-05 - Entwurf: Fließbilder verfahrenstechnischer Anlagen - Zeichnerische Ausführung
- 29 DIN EN ISO 16484-3:2005-12: „Systeme der Gebäudeautomation - Teil 3: Funktionen“, Berlin, 2005
- 30 VOB Vergabe- und Vertragsordnung für Bauleistungen – Teil C: Allgemeine Technische Vertragsbedingungen für Bauleistungen (ATV) – Gebäudeautomation (August 2015) / DIN 18386.
- 31 Verordnung über die Honorare für Architekten- und Ingenieurleistungen (Honorarordnung für Architekten und Ingenieure – HOAI), 10.07.2013

-
- 32 Gemeinsamer Ausschuss Elektronik im Bauwesen (GAEB), StLB Bau, Leistungsbereich 070 - Gebäudeautomation
 - 33 Arbeitskreis Maschinen- und Elektrotechnik staatlicher und kommunaler Verwaltungen (AMEV): AMEV-Richtlinie „Gebäudeautomation 2005“ / Hinweise für Planung, Ausführung und Betrieb der Gebäudeautomation in öffentlichen Gebäuden, Berlin 2005
 - 34 DIN IEC 60050-351:2009-06 Internationales Elektrotechnisches Wörterbuch – Teil 351: Leittechnik
 - 35 VDI 3813-2:2011-05 Gebäudeautomation (GA): Raumautomationsfunktionen (RA-Funktionen)
 - 36 DIN IEC 60050-351:2009-06, Abschnitt 351-29-22
 - 37 DIN V 40719-60:1986-11, Schaltungsunterlagen: Ausführung von Funktionsplänen für Messen – Steuern – Regeln
 - 38 DIN 40790-60:1986-11 (Entwurf): Schaltungsunterlagen – Ausführung von Funktionsplänen für Messen – Steuern – Regeln
 - 39 DIN EN 61131-3:2014-06: Speicherprogrammierbare Steuerungen - Teil 3: Programmiersprachen (IEC 61131-3:2013); Deutsche Fassung EN 61131-3:2013
 - 40 DIN EN ISO 16484-2:2005-12: Systeme der Gebäudeautomation (GA) Teil 3: Funktionen, Tabelle 12
 - 41 VDI 3813-2:2011-05 Gebäudeautomation (GA): Raumautomationsfunktionen (RA-Funktionen)
 - 42 DIN 66001:1977-09: Informationsverarbeitung; Sinnbilder für Datenfluss- und Programmablaufpläne
 - 43 DIN EN ISO 16485-5:2014-09: Systeme der Gebäudeautomation - Teil 5: Datenkommunikationsprotokoll
 - 44 In der internationalen Literatur existieren eine Reihe von Synonymen für den Begriff „Zustandsgraph“, z. B. Zustandsautomaten, Zustandsmaschinen, Transitionssysteme, Zustandsübergangssysteme, Statecharts
 - 45 s. z. B. Wellenreuther, G., Zastrow, D.: Speicherprogrammierte Steuerungen 1 / SPS, Vieweg, Braunschweig/Wiesbaden (1987)
 - 46 VDI 3814-6:2008-07: Gebäudeautomation (GA) / Grafische Darstellung von Steuerungsaufgaben
 - 47 DIN 18379:2002-12: VOB Vergabe- und Vertragsordnung für Bauleistungen - Teil C: Allgemeine Technische Vertragsbedingungen für Bauleistungen (ATV) - Raumluftechnische Anlagen
 - 48 DIN EN 61131-3:2014-06: Speicherprogrammierbare Steuerungen - Teil 3: Programmiersprachen
 - 49 VDI/VDE 3694:2008-01 „Lastenheft/Pflichtenheft für den Einsatz von Automatisierungssystemen“
 - 50 Verordnung über einen energiesparenden Wärmeschutz bei Gebäuden (Wärmeschutzverordnung – WärmeschutzV), 1977
 - 51 EnEV 2014: Zweite Verordnung zur Änderung der Energieeinsparverordnung, vom 18. November 2013
 - 52 DIN EN ISO 16484-3:2011-03: Gebäudeautomation - Funktionen
 - 53 Brennwertcheck, Verbraucherzentralen, Juni 2011
 - 54 Feldtest Wärmepumpen, Agenda Energie Lahr, Dr. Falk Auer, Dezember 2008
 - 55 Feldtest Wärmepumpen "WP-Effizienz", Fraunhofer ISE Freiburg, Mai 2011
 - 56 Einsparpotenzial der Raumluftechnik, ILK Dresden und Schiller Engineering, Oktober 2011
 - 57 Evaluierung dezentraler, außenwandintegrierter Lüftungsgeräte (DeAL), Steinbeiß Transferzentrum, Energie-, Gebäude und Solartechnik Stuttgart, August 2008
 - 58 Plesser, Dr. Stefan: „8 Passivhaus-Kitas in Hannover: Optimierung von Qualitätssicherungsprozessen für Nachhaltige Gebäude“, Abschlussbericht zum Forschungsbericht, DBU-AZ: 30256, Braunschweig, 2015

-
- 59 Rieger, Ursula; Klemens Leutgöb et al.: "Re-Commissioning Services: Raising Energy Performance in Existing Non-Residential Buildings (Re-Co)", Summary Final Evaluation Report, IEE/10/328/SI2.589423, 2014
- 60 Wuppertal Institut: Optionen und Potenziale für Endenergieeffizienz und Energiedienstleistungen, Kurzfassung, Endbericht im Auftrag der E.ON AG, Wuppertal, 2006
- 61 PROGNOSE: Potenzial für Energieeinsparung und Energieeffizienz im Lichte aktueller Preisentwicklungen, Endbericht 18/06 im Auftrag des BMWi, bearbeitet von F. Seefeldt et al., Basel und Berlin, 2007
- 62 McKinsey & Company: Kosten und Potentiale der Vermeidung von Treibhausgasemissionen in Deutschland, Studie im Auftrag von „BDI initiativ – Wirtschaft für Klimaschutz“, Berlin 2007
- 63 Plesser, Stefan: Plesser, Stefan: "Aktive Funktionsbeschreibungen zur Planung und Überwachung des Betriebs von Gebäude und Anlagen", Dissertation an der Technischen Universität Braunschweig, 2013
- 64 Plesser, Stefan: "Aktive Funktionsbeschreibungen zur Planung und Überwachung des Betriebs von Gebäude und Anlagen", Dissertation an der Technischen Universität Braunschweig, 2013
- 65 Plesser, Stefan et al.: "Der Energie-Navigator, Performance-Controlling für Gebäude und Anlagen", TAB – Technik am Bau, 4-2011, Seiten 36-41, bauverlag, 2011
- 66 DIN EN ISO 16484-3:2005-12: „Systeme der Gebäudeautomation - Teil 3: Funktionen“, Berlin, 2005, Seite 65
- 67 Pinkernell, Claas et al.: „State-Based Modeling of Buildings and Facilities“, ICEBO – International Conference on Enhanced Building Operations 2011, New York City, NY/USA, 2011
- 68 Plesser, Stefan: Plesser, Stefan: "Aktive Funktionsbeschreibungen zur Planung und Überwachung des Betriebs von Gebäude und Anlagen", Dissertation an der Technischen Universität Braunschweig, 2013
- 69 Plesser et al.: "Monitoring für Bundesbauten", Abschlussbericht zum Projekt im Rahmen der Forschungsinitiative Zukunft Bau, Aktenzeichen SWD – 10.08.17.7-14.12, IGS/TU Braunschweig, 31.01.2016