OBSERVE

Arbeitspaket 2
Betreuung der Demonstrationsgebäude, Datenabruf und Aufbereitung

Abschlussbericht

Förderkennzeichen: 03ET1225C

Dr. Arnold Harmsen, Paul Harmsen, Raphael Kirchner,
Karsten Reese, Nicolas Réhault, Michael Boeck
a.harmsen@plenuming.de
paul.harmsen@plenuming.de
raphael.kirchner@plenuming.de
karsten.reese@ingsoft.de
nicolas.rehault@ise.fraunhofer.de
boeck@kieback-peter.de

Plenum Ingenieurgesellschaft für Planung Energie Umwelt mbH
Rantzaustraße 32, 22041 Hamburg

3. Mai 2018

Gefördert durch:

Bundesministerium für Wirtschaft und Energie

aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages

Zuwendungsempfänger:

Plenum Ingenieurgesellschaft für Planung Energie Umwelt mbH

Rantzaustraße 32, 22041 Hamburg

Förderkennzeichen:

03ET1225C

Vorhabensbezeichnung:

OBSERVE: Optimierung und Betriebsführung komplexer Gebäudeenergieversorgungsanlagen;
Teilprojekt: Implementierung und Evaluation der Methoden

Laufzeit des Vorhabens:

01.09.2014 - 31.12.2017

Berichtszeitraum:

01.09.2014 - 31.12.2017

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis 3
Tabellenverzeichnis 3
2.1 Beschreibung des Arbeitspakets 4
2.2 Beschreibung der Demonstrationsobjekte 5
2.2.1 Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Essen 7
2.2.2 Bezirksregierung Düsseldorf 8
2.2.3 Kreispolizeibehörde Mettmann 11
2.2.4 Schule Sterntalerstraße 14
2.2.5 Schule Mendelssohnstraße 17
2.2.6 LMT Group Schwarzenbek 19
2.2.7 Kieback & Peter Zentrale Berlin (Kieback & Peter) 21
2.2.8 DKB-Bank Zentrale Berlin (Kieback & Peter) 23
2.3 Datenabruf 25
2.3.1 Grundlegende Überlegungen (IngSoft) 25
2.3.2 Einrichtung einer zentralen Datensammlung (IngSoft) 26
2.3.3 Projektspezifische Anpassungen an der Software InterWatt (IngSoft) 26
2.3.4 Einrichtung und Abgleich der Datenpunkte im InterWatt-System; Einrichtung der Bilanzierung (IngSoft) 37
2.3.5 Datenabruf und Datenverarbeitung am ISE (ISE) 38
2.3.6 Datenabruf und Datenverarbeitung bei Plenum 46
2.4 Bilanzierung 49
2.5 Visualisierung des Betriebs 50
2.5.1 Online Monitoring 50
2.5.2 Implementierung einer Schnittstelle zur Datenbank in MATLAB (HAW) 53
Anhang 56
A Bericht über die Überprüfung der Durchflussmessungen in der LMT-Group Schwarzenbek vom 4. Februar 2016 56

Abbildungsverzeichnis

2.2-1	LANUV Essen	7
2.2-2	Anlagenschaubild (Wärmeerzeugung) LANUV Essen	7
2.2-3	Bezirksregierung Düsseldorf	9
2.2-4	Anlagenschaubild Bezirksregierung Düsseldorf	9
2.2-5	KPB Mettmann	11
2.2-6	Komponenten KPB Mettmann	11
2.2-7	Raumtemperaturen auf der Westseite im Sommerhalbjahr 2015	12
2.2-8	Klassenhaus 1 und Sporthalle der Schule Sterntalerstraße	14
2.2-9	Vereinfachtes Anlagenschema Schule Sterntalerstraße	15
2.2-10	Schule Mendelssohnstraße	17
2.2-11	Hydraulikschema Schule Mendelssohnstraße	17
2.2-12	LMT Group in Schwarzenbek	19
2.2-13	Zentrale von Kieback & Peter in Berlin.	21
2.2-14	Zentrale der DKB-Bank in Berlin.	23
2.3-1	Negative Verbräuche in Wasserzählerdaten	33
2.3-2	Häufigkeitverteilung des Verbrauchs	33
2.3-3	Negative Verbräuche und Schwellwert	34
2.3-4	Beispiel für leicht rückwärts laufendes Zählwerk	36
2.3-5	Datentransfer zwischen dem InterWatt-Server und Datastorage.	38
2.3-6	Visualisierung der Datenqualität beim Bezirksregierung Düsseldorf	45
2.5-1	Bedienfeld zur Erstellung individueller Grafiken	52
2.5-2	Grafische Benutzeroberfläche: Measurement Viewer	54

Tabellenverzeichnis

2.2-1	Übersicht über die Demonstrationsobjekte	6
2.3-1	Übersicht Zähler	27
2.3-2	Beispiele für die Behandlung eingestreuter 0-Werte	31
2.3-3	Plausibilität der Werte in den Objekten	38
2.3-4	Kategorien der vereinheitlichten Datenpunktbezeichner	40

2.1 Beschreibung des Arbeitspakets

Die Demonstrationsgebäude bzw. Demonstrationsobjekte, sofern es sich um Liegenschaften mit mehreren Gebäuden handelt, decken ein breites Spektrum der gebräuchlichen Wärmeerzeugung, Wärmeverteilung und Wärmenutzung ab. Es wurden solche Objekte ausgewählt, bei denen ein Bedarf zur Optimierung der Betriebsabläufe zu erwarten ist. Dieser ergibt sich aus der Vorkenntnis der einzelnen Objekte durch die Firmen PLENUM und Kieback & Peter.

Aus der Tatsache eines erkannten Sanierungs- bzw. Optimierungsbedarfs leitet sich auch die Bereitschaft der Eigentümer ab, an dem Forschungsvorhaben teilzunehmen und in gewissem Umfang auch Umbauten vorzunehmen oder in zusätzliche Komponenten der Heizungstechnik zu investieren. Zur Steigerung der Investitionsbereitschaft sowie zur Finanzierung neuartiger technischer Lösungen können Umbauten mit 40 % bezuschusst werden. Hierzu stehen insgesamt Mittel in Höhe von 200.000 € bereit.

In Kapitel 2.2 findet sich eine Kurzbeschreibung von Gebäudetechnik und Nutzungsart aller Demonstrationsobjekte, wobei auf Besonderheiten der Objekte eingegangen wird. Außerdem werden die Möglichkeiten zur Bilanzierung und der sich daraus ergebende Nachrüstungsbedarf dargestellt.

Der Datenabruf aus den Demonstrationsobjekten wird von der Firma IngSoftDurchgeführt ist in Kapitel 2.3 beschrieben. Die Messdaten werden den Projektpartnern zur Verfügung gestellt. Der Abruf der Daten von der Firma IngSoft und Weiterverarbeitung bei der Firma Plenum sowie dem Fraunhofer ISE sind in den Kapitel 2.3.5 und 2.3.6 erläutert.

In Kapitel 2.5 wird die Online-Visualisierung des Betriebs der wichtigsten gebäudetechnischen Anlagen und der zu bilanzierenden Kennzahlen für die einzelnen Objekte dargestellt.

2.2 Beschreibung der Demonstrationsobjekte

Einen Überblick über die ausgewählten Objekte gibt die Tabelle 2.2-1. Für die ersten fünf Objekte liegen teils langjährige Daten, auch aus dem Forschungsprojekt ModQS - Qualitätssicherung des energetischen Gebäudebetriebs (Förderkennzeichen 0327893A des BMWi), vor. Dadurch wird die Beurteilung von Maßnahmen zur Energieeinsparung wesentlich erleichtert.

Im Anschluss findet sich eine Beschreibung aller Objekte, des dazugehörigen Datenabrufs und der Möglichkeiten zur Bilanzierung.

Tabelle 2.2-1: Übersicht über die Demonstrationsobjekte

Objekt		**LANUV, Essen**	**Bezirks-regierung, Düsseldorf**	**Kreispolizei-behörde, Mett-mann**	**Schule Sterntalerstr. Hamburg**	**Schule Men-delssohnstr., Hamburg**	**LMT Group, Schwarzenbeck**	**Kieback & Peter Zentrale, Berlin**	**DKB Zentrale, Berlin**
Nutzung		Labor Verwaltung	Büro	Verwaltung, Leit-zentrale, Haftzellen	Schule	Schule	Büro, Produktion	Büro	Büro, Rechen-zentrum
Wärmeer-zeugung	Kessel	1200 kW		130 kW		2x247 kW	2x 576 kW, 750 kW, 1,25 MW	140 kW, 230 kW	
	BHKW	2X 189 kW		204 kW					
	WP			167 kW					
	Druckluft-Kompressor						bis 300 kW		
	FW direkt				2000 l/h		Nahwärme		
	FW indirekt		2x750 kW						1x500 kW
	Solar				30 kW				
Kälteerzeu-gung	Art, Leistung	2 Kältemaschinen	nein	82 kW Kältema-schine, 75kW Wärmepumpe	nein	nein	ja		
Kältenut-zung		RLT, Prozesskälte		RLT					
Verteilung	Speicher	2x5 m³		10 m3	Speicher 3,7 m3	Puffer, 4x750 l	Ringleitung		
	Zahl HK		ca 12		6	12	12 Unterverteiler	7	
	Mischk.	1	1		4	4	3 Einspeiser	3	7
	GLT	K&P	Neuberger	GAT	Schneider LON	K&P	Honeywell	K&P	K&P
	T-Raum		20-40 geplant	17	Einzelraumregelung	1 je HK			
Nutzung	stat. HZG	X	X	X	X	X	X	X	X
	dyn. HZG (RLT-Anlagen)	X		7	X	2	X	X	x
	FB HZG			X					x
	Betonkern			X					
	WWB	3x	1	1	3		4	1	
Bestands-daten	seit	05/2009	08/2007	2/2010	3/2011	2/2011	06/2015	02/2015	02/2015
	Anzahl DP	303	49	411	994	209	266	344	474
Regelung/ Datenexport		K&P DSL	Neuberger, Ana-logtelefon	Saia GAT DSL	Schneider LON, DSL	K&P, DSL	Honeywell, DSL	K&P	K&P DSL
Bemerkung		Kessel wird erneu-ert	Nachtabsenkung geplant	BTA problema-tisch, Prädiktive Regelung	grundsaniert Leuchtturmprojekt	Heizung+Verteilung sind saniert	Hydraulik Ringlei-tung	hoher Grundver-brauch, Behag-lichkeit	grundsaniert, guter thermischer Standard

2.2.1 Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Essen

Abbildung 2.2-1: LANUV Essen

Das Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen (LANUV NRW) ist als Landesoberbehörde tätig im Naturschutz, im technischen Umweltschutz für Wasser, Boden und Luft, bei der Anlagensicherheit und in Fragen des Klimawandels sowie bei Tiergesundheit und Lebensmittelsicherheit im Verbraucherschutz.

An der Autobahn A52 südlich von Essen befindet sich eine Dienststelle mit Laborgebäuden. Die Liegenschaft setzt sich zusammen aus mehreren Büro- und Laborgebäuden die über ein Nahwärmenetz versorgt werden. Die Bruttogeschossfläche beträgt 6089 m^2, die Nettogeschossfläche 4436 m^2. Die Wärmeversorgung geschieht

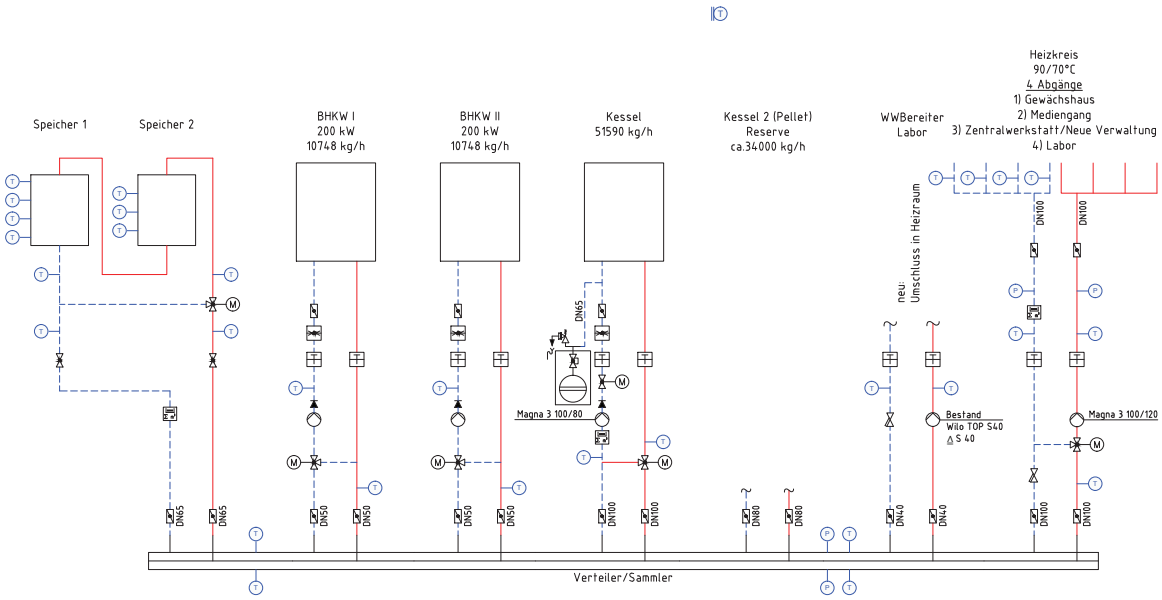


Abbildung 2.2-2: Anlagenschaubild (Wärmeerzeugung) LANUV Essen

über zwei gasbetriebene BHKW mit einer Heizleistung von je 189 kW sowie einem Gasheizkessel mit der Heizleistung von 1,4 MW. Wenn möglich übernehmen ein oder beide BHKW die Wärmeversorgung des LANUV Essen. Bei Lastspitzen, Ausfall der BHKW oder bei niedrigen Außentemperatur soll der Gaskessel in Betrieb gehen.

Es stehen zwei in Reihe geschaltete Pufferspeicher mit je 5 m^3 zur Verfügung um

längere Laufzeiten der BHKW zu ermöglichen. Da die BHKW eine konstante Vorlauftemperatur liefern sind die Verbraucher über einem Mischkreis eingebunden.

Warmwasser wird über verschiedene Warmwasserbereiter zur Verfügung gestellt welche an das Heizungsnetz angeschlossen sind.

In Abbildung 2.2-2 ist ein Anlagenschaubild der Wärmeerzeugung zu sehen.

Die Wärmenutzung erfolgt größtenteils über statische Heizflächen und Lüftungsanlagen.

Die BHKWs sind Baujahr 2001. Sie sind mitlerweile defekt. Im Jahr 2014/2015 wurde der Kessel aufgrund eines Defekts gegen einen Brennwertkessel selber Leistung getauscht. In Zuge dieser Maßnahme wurden auch Hauptverteiler und -Sammler erneuert.

Bilanzierung

Für eine Bilanzierung des Gesamtverbrauchs können Viertelstundenwerte des Stromverbrauchs von dem Versorger angefordert werden. Der Gesamtgasverbrauch wird in der GLT erfasst. Da die Messung des Betriebes der BHKW und des Kessels mit einer Zeitauflösung von einer Minute erfolgt, sollte die Zeitauflösung sowohl für den Stromverbrauch als auch für den Gasverbrauch angepasst werden. Die technischen Voraussetzungen die vorhandenen Zähler mit erhöhter Zeitauflösung abzufragen wurden geprüft. Dem Zählerkonzept des Bau- und Liegenschaftsbetrieb NRW (BLB) zufolge, müssen sowohl für die BHKW als auch den Kessel fernauslesbare Gaszähler installiert werden, was jedoch nicht Während der Projektlaufzeit geschah. In diesem Fall hätte auch der energetische Wirkungsgrad der BHKW und des Kessels überprüft werden können. Eine präzise Erfassung der Wärmeerzeugung auf Anlagenseite ist seit dem Umbau im Jahr 2015 grundsätzlich möglich, da die zur Berechnung notwendigen Vor- und Rücklauftemperaturen sowie die Durchflüsse von Kessel und BHKWs erfasst werden. Ein besonderes Interesse wird bei der Bilanzierung auf der Warmwasserbereitung in der Kantine liegen. Diese kann zurzeit sowohl über das Verteilnetz als auch dezentral über Heizstäbe erfolgen. Insbesondere im Sommer könnte die Warmwasserbereitung mit Heizstäben in der Kantine von Vorteil sein, da die Verteilungsverluste entfallen und die hohen Rücklauftemperaturen, zu Zeiten in denen keine Abnahme stattfindet, für die BHKW ein Problem darstellen.

2.2.2 Bezirksregierung Düsseldorf

Das Gebäude der Bezirksregierurg wurde in den Jahren 1908 bis 1910 am Rheinufer in Düsseldorf erbaut. Hauptsächlich befinden sich in ihm Verwaltungsbüros. Im sogenannten Schlösschen, im ehemaligen Wohnhaus des Regierungspräsidenten, befinden sich heute die Repräsentationsräume.

Die Heizungsverteilung ist im Sommer 2005 erneuert worden. Über zwei Wärmetauscher mit je 750 kW Leistung wird die Heizungsanlage mit Fernwärme versorgt. Die Heizungsrohre wurden früher in einer Schwerkraftheizung verwendet und sind nach dem Tichelmann-Prinzip aufgebaut. Heute versorgt eine Doppelpumpe die Anlage, alle neun Heizkreise werden mit der gleichen, außentemperaturabhängigen Vorlauftempe-

Abbildung 2.2-3: Bezirksregierung Düsseldorf

ratur beaufschlagt. Die Wärme wird weitgehend über statische Heizflächen und eine Lüftungsanlage abgegeben. Ein Anlagenschaubild ist in Abbildung 2.2-4

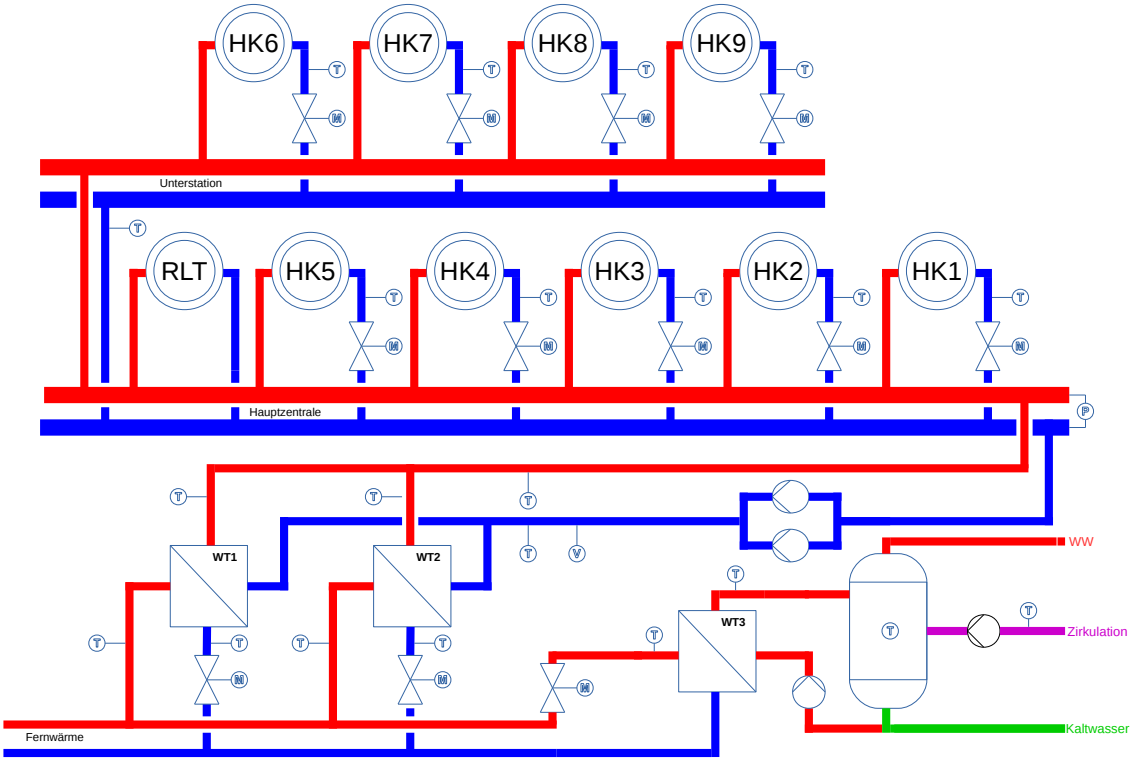


Abbildung 2.2-4: Anlagenschaubild Bezirksregierung Düsseldorf

Bilanzierung

Bei der Bezirksregierung Düsseldorf wird der Fokus auf der Bilanzierung der Gesamten Heizwärme liegen, um die Effekte der dort einzuführenden Nacht- und Wochenendsabsenkung zu untersuchen. Zur Optimierung von Absenkung und Wiederaufheizung werden zusätzliche Raumtemperaturfühler installiert. Im Rahmen dieser Optimierung ist insbesondere eine experimentelle Bestimmung der Heizkurve geplant, sofern die Gebäudenutzer von der Durchführung dieser Maßnahme überzeugt werden können.

Durchfluss, Vor- und Rücklauftemperatur der Sekundärseite der Fernwärmeübergabe zur Heizung, sowie die Außentemperatur werden bereits im 5-Minuten Takt erfasst. Damit ist die Bilanzierung des gesamten Heizungssystems bereits möglich. Der Wärmeverbrauch der Warmwasserbereitung wird nicht erfasst und kann daher auch nicht bilanziert werden. Da im Rahmen des Forschungsprojekts OBSERVE keine Änderungen an der Warmwasserbereitung geplant sind, ist dies auch nicht notwendig.

2.2.3 Kreispolizeibehörde Mettmann

Abbildung 2.2-5: KPB Mettmann

Das Gebäude der Kreispolizei Mettmann wurde im Jahr 2005 fertiggestellt. Auf rund 11 300 m^2 Brutto-Grundfläche bietet es Platz für etwa 250 Mitarbeiter. Größtenteils ist es ein Verwaltungsgebäude, aber auch andere Funktionen wie Leitstelle oder Gewahrsam sind darin untergebracht. Die Fassade wird bestimmt von den raumhohen Glas- und Aluminiumpaneelen der obersten vier Stockwerke. Komponenten die hohe Vorlauftemperaturen benötigen, wie z.B. Lüftungsanlagen, werden von dem BHKW mit Wärme versorgt. Die Betonkernaktivierung wird von der Wärmepumpe versorgt, im Winter mit Wärme, im Sommer mit Kühlung. Um längere BHKW-Laufzeiten zu erreichen wurde ein 10 m^3 Pufferspeicher installiert. Der Gaskessel dient zur Spitzenlastabdeckung bzw. als Redundanz wenn das BHKW ausfällt. In der Wärmeverteilung sind redundante Leitungswege vorgesehen, so dass z.B. der Betonkern auch bei Ausfall der Wärmepumpe beheizt werden kann. Ein Schema der verwendeten Komponenten ist in Abbildung 2.2-6 zu sehen. Die Standardbüros werden ausschließlich über thermische Bauteilaktivierung in den Decken beheizt bzw. gekühlt. Über Randzonen können die

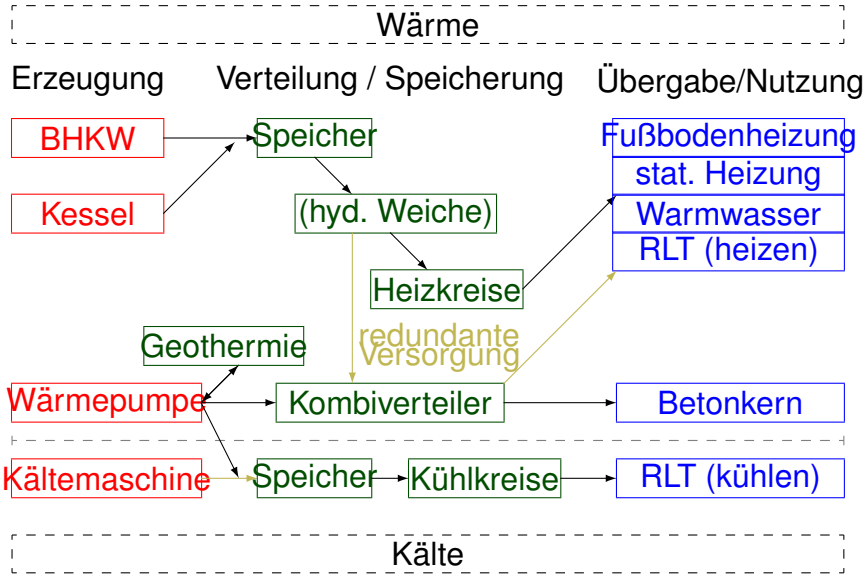


Abbildung 2.2-6: Komponenten KPB Mettmann

Nutzer individuell Einfluss auf die Raumtemperatur nehmen. Räume mit besonderen Anforderungen wie z.B. die Leitstelle sind voll klimatisiert.

2014 wurde die Regelungstechnik völlig neu aufgesetzt. Damit sollten die häufigen Mängel bei der Regelungstechnik behoben und auch ein BacNet-Zugang eingerichtet werden. In der Folge waren von PLENUM der Datenabruf und die Zuordnung der Datenpunkte neu zu organisieren. Dies verursachte einen erheblichen, vorher nicht vorgesehenen Mehraufwand.

Bedingt durch den hohen Fensterflächenanteil und einen fehlenden äußeren Wärmeschutz kommt es im Sommerhalbjahr besonders auf der Ost- und Westseite des Gebäudes bei Sonnenschein zu starken Temperaturanstiegen. Die Verhältnisse zeigt die Abbildung 2.2-7 exemplarisch für die Westseite im Sommerhalbjahr 2015. Auf der Südseite

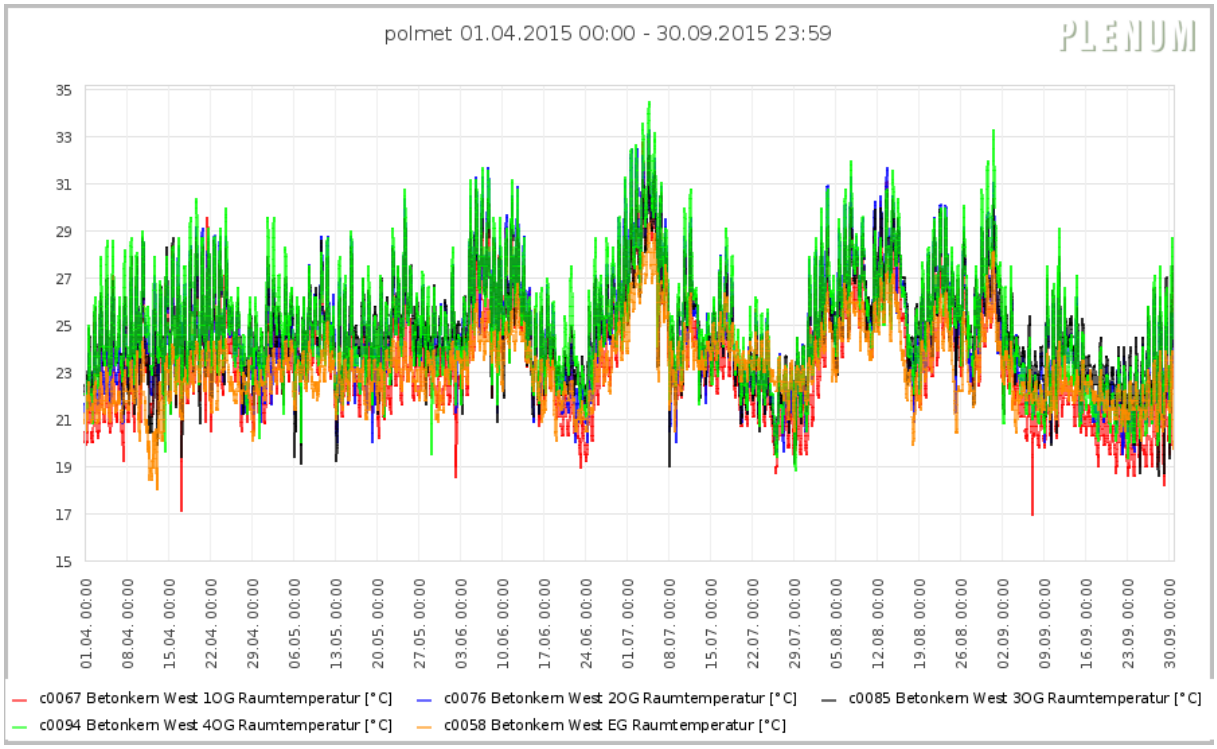


Abbildung 2.2-7: Raumtemperaturen auf der Westseite im Sommerhalbjahr 2015

kommt es hingegen im Frühjahr und Herbst als Folge eines niedrigen Sonnenstandes zu starken Überwärmungen. Diese sollen durch den Einsatz einer Betonkernaktivierung verringert bzw. kompensiert werden.

Die vorhandene Regelungstechnik ist nicht geeignet diese Probleme angemessen zu beherrschen. Ursache für die Probleme bei der Beheizung und Kühlung ist auch in der unvorteilhaften Aufteilung der Heizkreise und der Tatsache zu sehen, dass das gesamte Gebäude entweder nur gekühlt oder beheizt werden kann.

Ein weiteres Problem stellt der Betrieb der Wärmepumpe dar, welcher insbesondere bei der Umschaltung von Heizen auf Kühlen immer wieder zu Störungen führt.

In der Folge wurde für die Westseite des Gebäudes eine Änderung der Regelung entwickelt (ISE, AP A3) welche auf der Grundlage einer Einzelraumregelung, auch unter Berücksichtigung von Wettervorhersagen, die Versorgung ändern sollte. Die weit entwickelten Planungen wurden durch den Betreiber (BLB NRW) nicht umgesetzt, da der Leidensdruck der Mieter nicht hoch genug war.

Eine thermographische Untersuchung des Zellentraktes im Winter zeigte, dass die Luftführung, welche derzeit stattfindet keine Beheizung des gesamten Raumes ermöglicht. Bei niedrigen Außentemperaturen kommt es daher, auch als Folge einer mangelhaften Außendämmung, zu problematischen Raumtemperaturen. Eine einfache Änderung wurde vorgeschlagen, bisher aber nicht umgesetzt.

Bilanzierung

In dem Gebäude der Kreispolizeibehörde Mettmann wird eine erhebliche Verbesserung des Nutzungskomforts angestrebt, daher wird eine Verbesserung des Anlagenbetriebs nicht notwendiger Weise zu einem geringeren Gesamtenergieverbrauch führen. Aus der Menge der verbauten Systeme, welche BHKW, Kessel, Geothermie mit Wärmepumpe, Kältemaschine, freie Kühlung und mehrere Speicher umfasst, ergeben sich zahlreiche unterschiedliche Möglichkeiten zur Bereitstellung von Wärme und Kälte. Daher lässt eine ausschließliche Betrachtung der Einzelsysteme keine Aussagen über die Gesamtanlage zu.

Vor diesem Hintergrund wird eine Bilanzierung sowohl des Gesamtsystems, als auch der entscheidenden Anlagenteile vorgeschlagen. Zur Erstellung einer Gesamtbilanz müssen sowohl Strom- als auch Gasverbrauch des Gebäudes gemessen werden. Ein Gaszähler für den Gesamtverbrauch ist installiert, übergibt aber bisher keine Daten an die Gebäudeleittechnik. Der Betreiber konnte leider nicht von dem Einbau eines auf die GLT aufgeschalteten oder der Aufrüstung des vorhandenen Zählers überzeugt werden. Der Gasverbrauch des BHKW wird bereits erfasst, eine Nachrüstung des Gaszählers für den Gesamtverbrauch wurde vorgeschlagen, damit auch der Verbrauch des Kessels erfasst werden kann. Dies wurde jedoch ebenfalls nicht umgesetzt.

Als ständig zu bilanzierende Kenngrößen wurden sowohl Arbeits- und Leistungszahl der Wärmepumpe, jeweils für Heiz- und Kühlbetrieb, sowie die Leistungszahl der Kältemaschine ausgewählt. Um diese Bilanzierungen durchführen zu können, wäre eine dauerhafte Erfassung des Stromverbrauchs der Kältemaschine zur Überprüfung der Leistungszahl, sowie eine Reparatur des Stromzählers der Wärmepumpe notwendig gewesen, was vorgeschlagen, aber nicht umgesetzt wurde.

Der vorhandene Wasserzähler ließ sich ebenfalls nicht über die GLT auslesen.

Anfang 2015 wurde ein Strahlungssensor nachgerüstet, womit die Wärmegewinne durch solare Einstrahlung bilanziert werden können.

Zusätzlich wurde überprüft, ob der Hauptstromzähler sich über die Gebäudeleittechnik auslesen lässt, bzw. ob der Betreiber an einer solchen Nachrüstung interessiert ist. Dies war insbesondere vor dem Hintergrund einer möglichen Steuerung des BHKWs über den Stromverbrauch des Gebäudes interessant, da sich so die elektrische Anschlussleistung, und damit die Kosten, deutlich verringern lassen. Dies wurde jedoch nicht vom Betreiber gewünscht. Alternativ können vom Energieversorger Viertelstundenwerte für den Stromverbrauch abgerufen werden. Diese können jedoch nur zur nachträglichen Bewertung getroffener Maßnahmen verwendet werden da sie üblicher Weise nur mit Verzögerung zur Verfügung stehen.

2.2.4 Schule Sterntalerstraße

Abbildung 2.2-8: Klassenhaus 1 und Sporthalle der Schule Sterntalerstraße

Die Schule Sterntalerstraße ist eine Grundschule, Baujahr 1966 - 1968. Sie umfasst 5 Klassenhäuser, Sporthalle, Pausenhalle, Musikpavillon, die Verwaltung sowie eine Hausmeisterwohnung, welche ebenfalls an die Wärmeversorgung der Schule angeschlossen ist. In den Jahren 2003 - 2004 wurden Wände, Fenster und Dach der Verwaltung, die Dächer von Sporthallen und deren Nebengebäude sowie die Fenster der Nebengebäude saniert und auf das damalige EnEV-Niveau angehoben. In den Jahren 2009 - 2013 fand eine Grundinstandsetzung der Schule statt. Dabei wurden die 5 Klassengebäude, die Pausenhalle und der Musikraum mit einem Vollwärmeschutz versehen, was die Gebäude auf den Stand von EnEV 2007 - 40 % brachte. Zusätzlich wurden in der Sporthalle das Mauerwerk, die Betonstützen und die Verglasung der Südseite saniert. Die Klassengebäude wurden mit einer mechanischen Belüftung ausgerüstet. Das Klassengebäude 1 wurde zu einem Fachklassengebäude mit Kantine umgebaut. In der Pausenhalle und dem Musikraum wurde die vorhandene Lüftungsanlage saniert. Auf der Sporthalle wurde eine Solarkollektoranlage installiert.

Bei der Sanierung wurde auch das Energiekonzept der Schule überarbeitet. Die Schule wird direkt, d.h. ohne Wärmetauscher, mit Fernwärme versorgt. Die neu installierten Erdsonden ermöglichen in den Klassenhäusern eine Kühlung der Zuluft im Sommer bzw. eine Vorerwärmung der Luft im Winter. Zusammen mit einem rekuperativen Wärmetauscher wird so die notwendige Nacherwärmung minimiert. Hierfür wird keine Wärmepumpe eingesetzt. Auf dem Dach der Sporthalle wurden Solarkollektoren montiert. Mit ihnen werden zwei Pufferspeicher beheizt. Aus diesem Pufferspeicher erfolgt die Warmwasserbereitung für die Duschen und die Küche. Bei ausreichender Solareinstrahlung kann die Wärme auch für statische und dynamische Heizungen verwendet werden. Sollte die Schule die Sonnenwärme nicht selbst benötigen, etwa in den Sommerferien, kann die überschüssige Energie in das Fernwärmenetz Rückeingespeist werden. Ein Schema der Anlagentechnik ist in Abbildung 2.2-9 zu sehen.

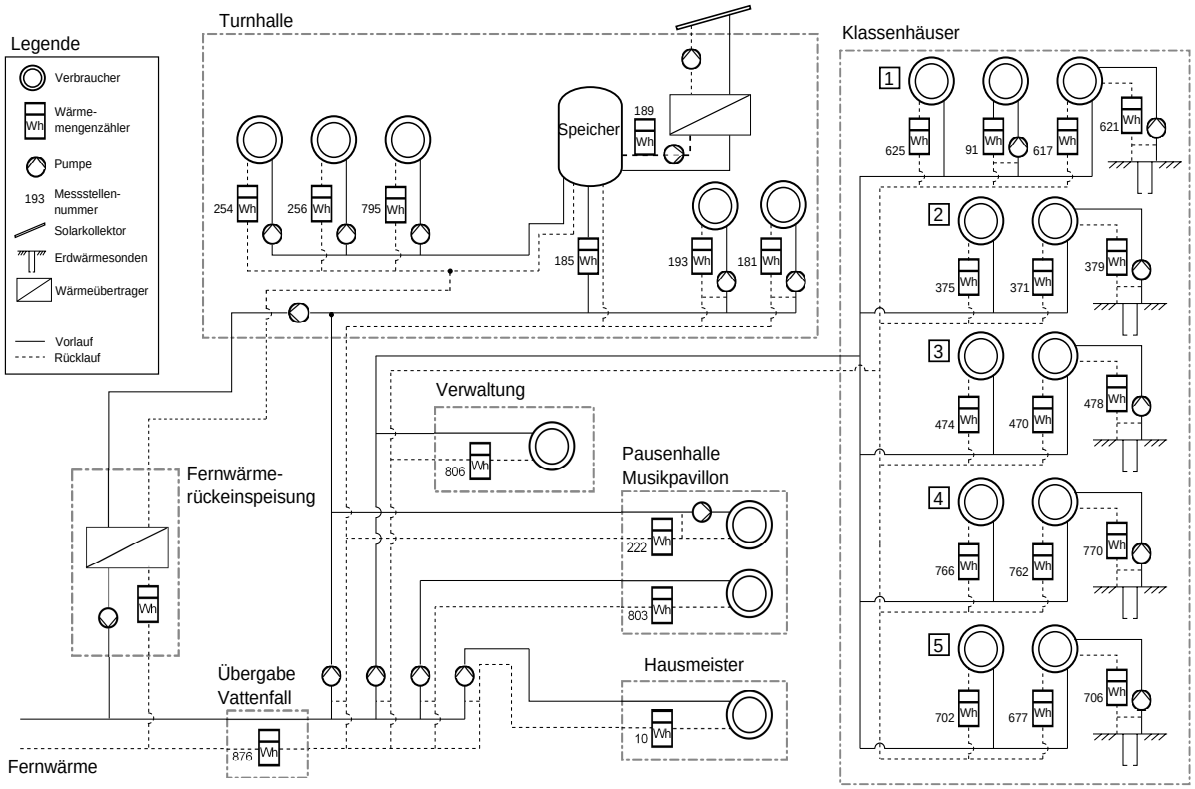


Abbildung 2.2-9: Vereinfachtes Anlagenschema Schule Sterntalerstraße

Die Klassenräume werden CO_2-geführt belüftet.

Bilanzierung

Zur Gesamtbilanzierung stehen in der Schule Sterntalerstraße die Durchfluss, Vor- und Rücklauftemperaturen von der Fernwärmeübergabe und Rückeinspeisung mit einer Zeitauflösung von einer Minute zur Verfügung. Durchfluss, Vor- und Rücklauftemperatur des Solarkollektors und aller Geothermiesonden werden mit der Auflösung von fünf Minuten erfasst, Außerdem gibt es, bis auf einen Strang, an sämtlichen Abgängen vom Hauptverteiler Wärmemengenzähler. Mit Ausnahme der Hausmeisterwohnung sind auch sämtliche Verbraucher mit Wärmemengenzähler ausgerüstet, so dass der Wärmeverbrauch aller Gebäude detailliert bilanziert werden kann. Zur Erfassung des Stromverbrauchs sind für alle Klassenhäuser und die Sporthalle Stromzähler installiert, welche die akkumulierte Arbeit minütlich ausgeben. Um den Einfluss der solaren Strahlung auf die Wärmeverbräuche erfassen zu können, wurde zudem eine Globalstrahlungssensor auf dem Turnhallendach an einem unverschatteten Platz installiert. Ziel der Bilanzierung wird sein, die Auswirkung von Veränderungen im Anlagenbetrieb auf den Energieverbrauch zu untersuchen. Von Interesse sind hierbei Veränderungen der hinterlegten Nutzungszeiten, der Absenktemperaturen und der Lüftungsstrategie, insbesondere bei der morgendlichen Spüllüftung. Außerdem soll die Rückeinspeisung von Überschüssen aus der Solarthermie im Sommer untersucht werden.

Auch der Wärmeverbrauch der Lüftung incl. der Anteile von Geothermie, Fernwärme und Umluft an der Erwärmung der Zuluft sollen Untersucht werden.

Um die Bilanzierungen wie geplant durchführen zu können, ist es unbedingt notwen-

dig die Einbaupositionen der WMZ zu korrigieren, da sie bei allen Verbrauchern mit Mischkreisen verkehrt eingebaut wurden.

2.2.5 Schule Mendelssohnstraße

Abbildung 2.2-10: Schule Mendelssohnstraße

Die Gebäude der Schule Mendelssohnstraße wurden in den Jahren 1957 - 1973 im Hamburger Stadtteil Altona erbaut. Zur Zeit werden in ihnen etwa 250 Grundschüler unterrichtet. Die Nettogeschossfläche beträgt 5839 m^2. Die Wärmeerzeugung und -verteilung wurde im Winter 2011/2012 saniert. Die beiden Gas-Brennwertkessel leisten je 247 kW. Ein Pufferspeicher dient zur Versorgung bei Spitzenlast und sorgt für längere Brennerlaufzeiten bei geringer Wärmeabnahme. Es gibt vier Heizkreise die als Mischkreise ausgeführt sind. Eine Übersicht über die Heizungsanlage ist in Abbildung 2.2-11 zu sehen.

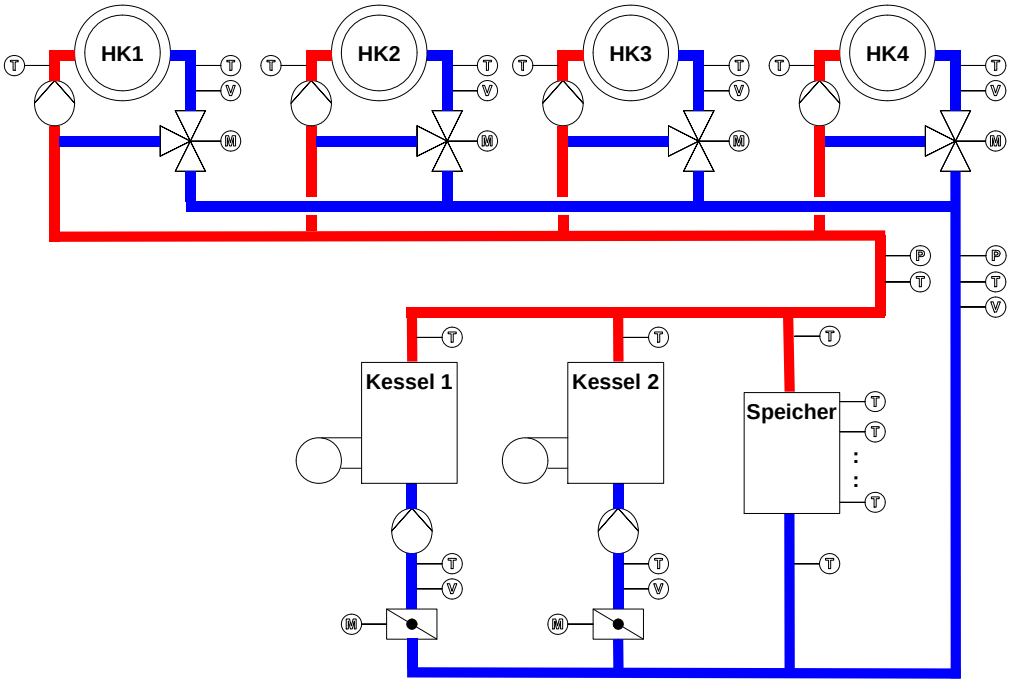


Abbildung 2.2-11: Hydraulikschema Schule Mendelssohnstraße

Bilanzierung

In der Schule Mendelssohnstraße sollen die Auswirkungen von Veränderungen in der Aufheizstrategie und dem Nutzerkomfort, sowie veränderte Nutzungszeiten untersucht

werden. Wasserseitig sind Durchfluss, Vor- und Rücklauftemperatur der zwei Kessel und auch des Gesamten Vor- bzw. Rücklaufs bekannt, womit die Bilanzierung der Gesamtwärmenutzung möglich ist.

Zur Gesamtbilanzierung, welche die Wärmeerzeugung beinhaltet, wurde dem Betreiber der Einbau eines neuen Gaszählers empfohlen. Damit hätte die Brennwertnutzung der Gaskessel bilanziert werden können, der Einbau ist jedoch nicht erfolgt.

Für den Fall dass der Kaltwasserzähler alterungsbedingt getauscht werden muss war ein Zähler geplant, dessen Stand von der GLT erfasst werden kann. Die hierzu notwendigen Signalleitungen sind bereits verlegt. Während der Projektlaufzeit fand jedoch keine Tausch des Wasserzählers statt.

2.2.6 LMT Group Schwarzenbek

Abbildung 2.2-12: LMT Group in Schwarzenbek

Die LMT Group in Schwarzenbek bei Hamburg ist ein Maschinenbaubetrieb mit zahlreichen Fertigungshallen, Verwaltung, Mensa und EDV. Die Wärme wird über eine Ringleitung auf dem Gelände verteilt, in welche an drei Stellen Wärme eingespeist wird. Zum einen wird die Abwärme dreier Kompressoren, welche maximal 300 kW thermische Leistung bereitstellen, verwendet. Außerdem gibt es zwei Heizzentralen, welche Wärme in die Ringleitung einspeisen. In der Heizzentrale 1 stehen zwei Gaskessel mit 576 kW sowie ein Gaskessel mit 780 kW zur Verfügung. In der Heizzentrale 2 befindet sich ein Gaskessel mit einer Leistung von 1,25 MW. Bisher wird die Wärmeerzeugung im Handbetrieb gefahren, wobei der Nutzung der Kompressor-Abwärme Vorrang eingeräumt wird. Da die Verteilung der Wärme in der Vergangenheit nicht zufriedenstellend war, wurde die Ringleitung im Winter an einer Stelle abgesperrt um die Erzeuger und Verbraucher in getrennten Abschnitten der Ringleitung zu betreiben.

Bilanzierung

In der Liegenschaft der LMT Group wird eine bessere Wärmeversorgung der Gebäude im Winter angestrebt.

Um eine Bilanzierung und Analyse von Wärmeerzeugung, Verteilung und Verbrauch zu ermöglichen wurde 2014 die Installation eines Minimalsatzes von 15 Wärmezählern geplant, welche neben Leistung und Arbeit auch Temperaturen und Durchflüsse als Minutenwerte bereitstellen.

Im Frühjahr 2015 wurden 14 der geplanten Messstellen installiert. Leider fand kein Abgleich der Durchflussmessungen und Temperaturfühler statt. Dies wurde durch Messungen der Firma Plenum im Dezember 2015 festgestellt, welche im Anhang A dokumentiert sind. Im Anschluss wurden die festgestellten Probleme leider nicht behoben, was die Aussagekraft der Messwerte schmälert.

Außerdem wurde zur genaueren Eingrenzung der bestehenden Probleme sowie in Vorbereitung einer neuen Regelungsstrategie eine Erweiterung der Installierten Messtechnik um 3 Wärmemengenzähler, 2 Druckmessungen und 4 Temperaturmessungen sowie Verbesserungen der bereits installierten Messtechnik geplant. Hierzu wurden Angebote aller beteiligten Gewerke eingeholt und geprüft. Leider dauerte die Prüfung

zur Förderung mit 40 % durch das Fraunhofer ISE sehr lange. Dies hatte zur Folge, dass die LMT-Group im zweiten Halbjahr 2016 kein Budget mehr für die Maßnahme zur Verfügung hatte und eine Installation im Jahr 2017 für das Projekt OBSERVE zu spät gewesen wäre.

Um die Wärmeerzeugung der Kompressoren beurteilen zu können, wären Messdaten des Stromverbrauchs der Kompressoren notwendig gewesen. Leider konnten diese nur einmal exemplarisch bereit gestellt werden, eine dauerhafte Übertragung war mit dem vor Ort installierten System nicht möglich.

Eine Einbindung des Gaszählers, welcher für eine Beurteilung der Kessel notwendig gewesen wäre ließ sich ebenfalls nicht bewerkstelligen.

2.2.7 Kieback & Peter Zentrale Berlin (Kieback & Peter)

Abbildung 2.2-13: Zentrale von Kieback & Peter in Berlin.

Bei der Hauptverwaltung von Kieback & Peter in Berlin handelt es sich um ein typisches Nichtwohngebäude, welches als Büro- und Verwaltungsgebäude konzipiert wurde. Das 7-geschossige Bestandsgebäude wurde Anfang der 1990er Jahre in Form eines “T” errichtet und beinhaltet in erster Linie Einzel- und Gruppenbüros. Neben weiteren Besprechungsräumen in den einzelnen Etagen, sind im 5. OG zusätzlich großflächige Schulungsräume etabliert, die mit RLT-Anlagen ausgerüstet sind. Alle Räume verfügen über raumhohe Fensterverglasungen die mit außenliegenden, manuell zu bedienenden Jalousien als Sonnenschutz versehen sind. In der obersten Etage (Dachgeschoß) befindet sich ausschließlich ein Küchen-/Kantinenbereich, der einen Zugang zur teilweise offenen Dachterrasse liefert. Das Gebäude ist komplett unterkellert und beherbergt zwei Tiefgaragenebenen.

Zur Wärmeerzeugung wird das Gebäude von Kieback & Peter, mit einer Nettogrundfläche von 3716 m^2, konventionell mit zwei 2-stufigen, ölbefeuerten Heizkesseln unterschiedlicher Leistung (140 bzw. 230 kW) betrieben. Die Kessel werden durch die nachgeschalteten Verbraucher angefordert. Diese setzen sich aus den angeschlossenen Heizkreisen, den RLT-Anlagen für Schulungsräume und Küche/Kantine, sowie einer zentralen Warmwasserbereitung (WWB) zusammen. Bei Anforderung über die Warmwasserbereitung im Winterbetrieb wird ein Mindestsollwert vorgegeben. Im Sommer wird die WWB über eine Elektro-Heizpatrone betrieben. Der Wechsel zwischen Führungs- und Folgekessel findet über die Außentemperatur statt. Eine manuelle Kesselauswahl sowie eine wöchentliche Zwangsumschaltung ist ebenfalls möglich. Die strombetriebenen Kompressionskältemaschinen (3x 45kW) befinden sich auf dem Dach des Gebäudes und versorgen die angeschlossenen RLT-Anlagen mit Kälte.

Bilanzierung

Um eine Bilanzierung im Gebäude von Kieback & Peter durchführen zu können, konnten auf bestehende, sowie im Rahmen des Projektes nachgerüstete Sensorik zurückgegriffen werden.

Im Bereich „Wärme“ konnten neben der Erfassung des primärseitigen Energieverbrauchs durch die Wärmeerzeuger weitere Messdaten von Wärmemengenzähler für die angeschlossenen Verbraucherkreise (statische Heizungen, Warmwasserbereitung und RLT-Anlagen) bereitgestellt werden. Dieser Detaillierungsgrad war notwendig, da eine Modellierung des Gebäudes auch auf Etagenebene angestrebt wurde um damit Trainingsdaten für modellbasierte Methoden zur Verfügung zu stellen. Im Rahmen der Implementierungs- und Evaluierungsphase ausgewählter Methoden sind somit Rückschlüsse auf die im Projekt umgesetzten Maßnahmen durchführbar.

Zur Erfassung des Stromverbrauchs standen Elektrozähler für ausgewählte Stromkreise zur Verfügung. Darüber hinaus existieren von dieser Liegenschaft Jahreslastgänge des Energieverbrauchers (EVU) in Form von 15-Minuten-Werten.

Die genannten Messdaten wurden auf die vorhandene Gebäudeleittechnik von Kieback & Peter aufgeschaltet und konnten somit für weiterführende Untersuchungen den Projektpartnern bereitgestellt werden.

2.2.8 DKB-Bank Zentrale Berlin (Kieback & Peter)

Abbildung 2.2-14: Zentrale der DKB-Bank in Berlin.

Bei dem Gebäude der Deutschen Kreditbank AG handelt es sich um ein Büro- und Geschäftshaus im Stadtteil Berlin-Mitte. Die im Jahr 2005 fertiggestellte Immobilie verbindet dabei Neubau und Bestand. Hinter einer denkmalgerechten Natursteinfassade wurde das Bestandgebäude technisch neu erschlossen und nach Süden durch einen T-förmigen Neubau mit einem glasüberdachten Innenhof ergänzt. So gewährleistet diese Konstruktion die maximale Ausnutzung von Tageslicht und Luft und die Aktivierung des glasüberdachten Innenhofes.

Das DKB-Gebäude, mit einer Nettogrundfläche von 9873 m^2, wird wärmeseitig mit Hilfe einer Fernwärmeübergabestation (Anschlussleistung 500kW) versorgt. Zu den einzelnen Verbrauchern gehören konventionelle, statische Heizkreise mit Heizkörpern, Heiz-/Kühldecken, mehrere RLT-Anlagen und eine unterstützende Fußbodenheizung im Bereich des Atriums. Eine Kältemaschine (260 kW), zwei Kaltwassersätze (58 bzw. 86 kW) sowie eine Umluftkühlung (36 kW) versorgen das Gebäude kühlseitig. Eine Verschattung besteht teilweise auf der Süd- und Westfassade. Außer Personen befinden sich im Gebäude überwiegend elektrische Lasten, zu denen auch zwei Serverräume gehören.

Bilanzierung

Als technische Voraussetzung wurden in dieser Liegenschaft zu Projektbeginn Wärme- und Kältemengenzähler in den vorhandenen Subsystemen integriert. Diese Zählerdaten lieferten die Grundlage für eine energetische Betrachtung in den unterschiedlichen Verbraucherkreisen, zu denen statische Heizkreise mit Heizkörpern, Heiz-/Kühldecken, RLT-Anlagen sowie eine unterstützende Fußbodentemperierung im Atrium gehören. Neben der Möglichkeit diese Systeme energetisch zu bewerten, wurden auch bauseits vorhandene Strommesszähler unterschiedlicher Verbraucherkreise aufgenommen und für eine spätere Analyse herangezogen.

Da die bestehende GLT der DKB ausschließlich im hausinternen, technischen Netz der DKB verfügbar ist, wurde eine zusätzliche DDC-Zentrale vor Ort etabliert, die als Gateway für relevante Anlagendaten eingesetzt werden konnte. Über eine gesicherte VPN-Verbindung und der Aufschaltung dedizierter Anlagendatenpunkte auf eine externe Gebäudeleitstation von Kieback & Peter, konnten die Daten somit den Projektpartnern zur Verfügung gestellt werden.

Neben den gewonnenen Messdaten in den Bereichen Wärme und Kälte konnte der Betreiber Datenmaterial der Energieversorger bereitstellen, die die Strom-Jahreslastgänge in 15-minütiger Auflösung sowie die Jahresrechnungen der genutzten Fernwärme als monatliche Verbräuche beinhalten.

Eine geplante Nachrüstung eines neuartigen Luftmengen- und Luftenergiezählers der Fa. halstrup-walcher (Luftmeister®) konnte leider aus technischen Gründen nicht realisiert werden. Hiermit wäre erstmalig die Möglichkeit gegeben, Energieflüsse und Luftverbräuche kontinuierlich innerhalb von Klimaluftanlagen zu erfassen und diese z.B. in ausgewählten Zubringerzonen innerhalb des DKB-Gebäudes zu bewerten.

2.3 Datenabruf

2.3.1 Grundlegende Überlegungen (IngSoft)

Nicht nur bezüglich der wärmetechnischen Anlagen bilden die Demonstrationsobjekte ein breites Spektrum ab, sondern auch in Bezug auf den Fernzugriff auf die erfassten Daten. Ein Arbeitsschwerpunkt der Firma IngSoft ist in diesem Arbeitspaket der Aufbau und Betrieb von Mechanismen zum regelmäßigen Abruf der erfassten Daten und Bereitstellung der Daten in einer zentralen Datenbank für alle anderen Projektpartner.

In allen Fällen verfügen die Gebäude über eine zentrale Gebäudeleittechnik (GLT), die so konfiguriert ist, die Mess- und Zählwerte regelmäßig abzurufen und zwischen zu speichern. Bzgl. der Zeitpunkte der Speicherung der einzelnen Werte gibt es zwei grundlegend unterschiedliche Verfahrensweisen:

2.3.1.1 Speicherung im fixen Raster

Die Werte werden regelmäßig, z.B. zu jeder vollen 1/4-Stunde abgerufen und abgespeichert. Bedingt durch die auf der Strecke Zähl/Messpunkt und GLT eingesetzten Protokolle kann der tatsächlich Zeitpunkt der Messung um einige oder sogar wenige Dutzend Sekunden vom Planzeitpunkt abweichen, jedoch rechtfertigen die Zeitkonstanten der beobachteten physikalischen Prozesse die Annahme einer Erfassung im exakten Zeitraster. Meist ist bei einem Messpunkt die zeitliche Abweichung vom Planablesezeitpunkt jedes Erfassungsintervall ähnlich und die Zeitspanne zwischen zwei Ablesungen ist somit mit dem Erfassungszeitraster nahezu deckungsgleich.

Für eine Energiebilanzierung und andere Untersuchungen, bei denen die Daten mehrerer Messpunkte herangezogen werden, müssen die Daten im fixen Raster vorliegen. Werden sie schon so erfasst, erspart man sich die Umrechnung und die damit verbundenen Ungenauigkeiten.

2.3.1.2 Speicherung bei Wertänderung (Change Of Value)

Zu einem Messpunkt wird immer dann ein neuer Wert aufgezeichnet, wenn sich der Wert um ein eingestelltes Delta geändert hat. Aus Sicht der weiteren Datenverarbeitung ist es dabei unwesentlich, ob ein Sensor dazu defacto im raschen Takt abgefragt werden muss oder ob tatsächlich eine Ereignis wie das Schließen eines Kontaktes die Aufzeichnung initiiert. Da sich so viele im Bereich der Gebäudeleittechnik übliche Größen wie beispielsweise Innentemperaturen bzgl. der Datenmenge sehr effizient aufzeichnen lassen, ist dieses Verfahren im GLT-Bereich sehr verbreitet

Da im OBSERVE-Projekt Daten gemeinsam verarbeitet werden müssen, die auf Basis beider Verfahren gewonnen wurden, werden die Werte in fast allen Objekten im Minutentakt verarbeitet: Da in Bezug auf die beobachteten physikalischen und technischen Prozesse die Minute ein sehr kurzes Zeitintervall ist, verlieren COV-Daten, deren Erfassungszeitpunkt auf die nächstgelegene volle Minute gerundet wird, keine Aussagekraft. Alle üblichen fixen Erfassungsintervalle sind ebenso glatt durch 1 Minute teilbar, so dass auch bei im fixen Raster erfassten Werten kein Genauigkeitsverlust

entsteht. Die so gewonnenen Zeitreihen mit Minutenauflösung können dann problemlos weiterverarbeitet werden.

2.3.2 Einrichtung einer zentralen Datensammlung (IngSoft)

Gemäß Projektplanung wurde für die zentrale Datensammlung das von IngSoft entwickelte System IngSoft InterWatt eingesetzt. Dazu wurde dedizierte Hardware zur Datenspeicherung beschafft und im Rechenzentrum der IngSoft GmbH eingebunden. Auf der vorhandenen Virtualisierungsplattform wurde ein dedizierter virtueller Server aufgesetzt und eine Basisinstallation von IngSoft InterWatt vorgenommen.

2.3.3 Projektspezifische Anpassungen an der Software InterWatt (IngSoft)

Aufgrund der speziellen Anforderungen im Forschungsvorhaben waren zahlreiche Modifikationen an dem Softwaresystem IngSoft InterWatt erforderlich. Diese Anpassungen lassen sich folgenden Themenbereichen zuordnen:

a) Ertüchtigung zur Erfassung im 1-Minutenraster

b) Spezielle projektspezifische Daten-Anbindungen

c) Erhöhung der Datenqualität

2.3.3.1 Ertüchtigung zur Erfassung im 1-Minutenraster

Da im Forschungsvorhaben sowohl Daten in feiner Auflösung zur Verarbeitung durch die Projektpartner bereitgestellt werden mussten, als auch eine Bilanzierung möglich sein musste, war eine Datenspeicherung im 1-Minutentakt notwendig.

Die dadurch entstehende riesige Datenmenge stellt eine Herausforderung dar. Stand August 2017 werden im OBSERVE-Projekt 3.125 Datenpunkte mit einer Auflösung von 1 Minute aufgezeichnet, mit Daten aus der Vergangenheit sind somit allein auf Ebene der Minutenwerte über 3,4 Milliarden Datensätze in der Datenbank vorhanden. Das verwendete Grundsystem IngSoft InterWatt musste daher an mehreren Stellen angepasst und erweitert werden, u.a. auch bei der Darstellung der Werte. Bis dahin war die kleinste mögliche Auflösung 5 Minuten. Neben der reinen Erweiterung um die zusätzliche Auflösung waren auch zahlreiche Performance-Optimierungen nötig.

Tabelle 2.3-1: Übersicht Zähler, Datenreihen in Zählern, sonstige Datenreichen und Quasi-fixe Bezugswerte

	Zähler	Datenreihen in Zählern	Sonstige Datenreihen	Quasi-fixe Bezugswerte
Bezirksregierung, Düsseldorf	1	1	48	12
K&P Zentrale, Berlin	38	227	118	15
Kreispolizeibehörde, Mettmann	5	6	401	51
LaNuV, Essen	23	28	217	2
Schule Mendelsohnstr., Hamburg	9	32	173	22
LMT-Fette, Schwarzenbek	14	56	210	17
Schule Sterntalerstr., Hamburg	49	166	841	80
DKB-Zentrale, Berlin	43	435	1	15
Summe	**182**	**951**	**2223**	**214**

2.3.3.2 Spezielle projektspezifische Daten-Anbindungen

Für die Anbindung der GLT-Systeme, die sich zum Teil in sensiblen Einrichtungen befinden, mussten individuell angepasste Wege zur Übertragung der Daten gefunden werden. Folgende Bausteine kamen dabei zum Einsatz:

- Für den direkten Zugriff auf die Datenbanken der verschiedenen GLT-Systeme wurden bestehende Treiber eingesetzt bzw. entwickelt
- Da auf den GLT-Rechner in einigen Fällen nicht direkt eine Zugriffssoftware installiert werden konnte / durfte, kommen VPN-Strecken (Virtual Private Network) zum Einsatz
- Da in allen Fällen ein direkter Zugriff auf die GLT-Datenbank via Internet nicht möglich ist, kommt in den meisten Fällen eine spezielle von IngSoft entwickelte Software-Lösung (der sog. IngSoft InterWatt SoftLogger) zum Einsatz, die mittels des oben erwähnten Treibers die Daten aus der GLT abfragt und als E-Mail an den zentralen OBSERVE-Server weiterleitet. Diese Software befindet sich:
  - entweder auf dem GLT-Rechner direkt
  - einem Rechner im gleichen Netz
  - oder einem Rechner in einem anderen Netz, von dem aber ein VPN-Tunnel zum GLT-Rechner aufgebaut werden kann.
- In einem Fall muss über eine proprietäre Fernzugriffssoftware (PC anywhere) automatisiert eine Fernwartungssitzung aufgebaut werden, in deren Rahmen dann Dateien mit Messdaten vom Leittechnikrechner im Objekt auf den bei IngSoft stehenden Server kopiert werden.
- In fast allen Fällen erfolgt die Datenübertragung aus der Liegenschaft zum zentralen Server letztlich über das Internet, in einem Fall kommt eine Modem-Wahlverbindung zum Einsatz.

Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Essen

Im LANUV erfolgt die Datenerfassung über eine GLT der Firma Kieback & Peter. Ein bei IngSoft betriebener virtueller PC stellt täglich automatisiert eine VPN-Verbindung

in das GLT-Netz dort her, dabei kommt das Produkt LANCOM Advanced VPN Client zum Einsatz. Steht die Verbindung, greift ein IngSoft InterWatt Softlogger auf die PostgreSQL-Datenbank des K&P-Systems zu und liest die Daten aus. Danach wird die VPN-Verbindung wieder abgebaut. Die neu gelesenen Daten verschickt der Softlogger per E-Mail an den eigentlichen IngSoft InterWatt-Server. Der bestehende Datenabonnement-Treiber für K&P musste so erweitert werden, dass er auch jene Tabelle in der K&P-Datenbank lesen kann, in der die Minutenwerte gespeichert sind.

Bezirksregierung Düsseldorf

In der Bezirksregierung wird eine GLT von Neuberger eingesetzt. Die Datenübergabe erfolgt über Export-Dateien, die von der GLT dort regelmäßig in ein Verzeichnis geschrieben werden. Ein von IngSoft betriebener Rechner stellt täglich eine Modem-Wählverbindung in das Gebäude her. Dazu kommt die Fernwartungssoftware PC-Anywhere zum Einsatz. Die Export-Dateien werden in ein Import-Verzeichnis auf dem IngSoft InterWatt-Server kopiert, wo diese dann mit einem speziell entwickelten Treiber eingelesen werden.

Kreispolizeibehörde Mettmann

Auf einem vorhandenen Rechner in der Kreispolizeibehörde wurde der IngSoft InterWatt Softlogger installiert, der über einen speziell im Projekt entwickelten Treiber die vorhandene GLT von DeltaControls abfragt und dazu Dateien aus einer Verzeichnisstruktur verarbeitet. Die gesammelten Meta- und Bewegungsdaten schickt der IngSoft InterWatt Softlogger per E-Mail an den IngSoft InterWatt-Server, wo diese zugeordnet werden.

Schule Sterntalerstraße, Hamburg

Für die in der Schule Sterntalerstr. verwendete GLT „TacVista“ wurde im Rahmen des Projektes ein Importtreiber entwickelt, mittels dem der auf einem bestehenden Rechner in der Schule installierte IngSoft InterWatt Softlogger die zu übertragenden Daten direkt aus der SQL-Datenbank der GLT herausliest. Die gesammelten Meta- und Bewegungsdaten schickt der IngSoft InterWatt Softlogger per E-Mail an den IngSoft InterWatt-Server, wo diese zugeordnet werden.

Schule Mendelssohnstraße, Hamburg

In der Schule Mendelssohnstr. erfolgt die Datenerfassung über eine GLT der Firma Kieback & Peter. Ein bei IngSoft betriebener virtueller PC stellt täglich automatisiert eine VPN-Verbindung in das GLT-Netz dort her. Steht die Verbindung, greift ein IngSoft InterWatt Softlogger auf die PostgreSQL-Datenbank des K&P-Systems zu und liest die Daten aus. Danach wird die VPN-Verbindung wieder abgebaut. Die neu gelesenen Daten verschickt der Softlogger per E-Mail an den eigentlichen IngSoft InterWatt-Server. Der bestehende Datenabonnement-Treiber für K&P musste so erweitert werden, dass er auch jene Tabelle in der K&P-Datenbank lesen kann, in der die Minutenwerte gespeichert sind.

LMT-Group Schwarzenbek

Das Gebäudeleittechniksystem des Industriebetriebes LMT-Group sendet täglich Dateien in einem proprietären CSV-Format an einen von IngSoft bereitgestellten FTP-Server (auf Basis eines Datenbankabrufes per PHP-Skript). Dort greift IngSoft InterWatt mit Hilfe eines speziell angepassten Treibers die Daten ab.

Kieback & Peter Zentrale Berlin

In der Zentrale von K&P erfolgt die Datenerfassung über eine GLT der Firma K&P. Ein bei K&P betriebener virtueller PC stellt täglich automatisiert eine VPN-Verbindung in das GLT-Netz dort her. Steht die Verbindung, greift ein IngSoft InterWatt Softlogger auf die PostgreSQL-Datenbank des K&P-Systems zu und liest die Daten aus. Danach wird die VPN-Verbindung wieder abgebaut. Die neu gelesenen Daten verschickt der Softlogger per E-Mail an den eigentlichen IngSoft InterWatt-Server. Der bestehende Datenabonnement-Treiber für K&P musste so erweitert werden, dass er auch jene Tabelle in der K&P-Datenbank lesen kann, in der die Minutenwerte gespeichert sind.

DKB-Bank Berlin

In der Zentrale der DKB erfolgt die Datenerfassung über eine GLT der Firma K&P. Ein bei K&P betriebener virtueller PC stellt täglich automatisiert eine VPN-Verbindung in das GLT-Netz dort her. Steht die Verbindung, greift ein IngSoft InterWatt Softlogger auf die PostgreSQL-Datenbank des K&P-Systems zu und liest die Daten aus. Danach wird die VPN-Verbindung wieder abgebaut. Die neu gelesenen Daten verschickt der Softlogger per E-Mail an den eigentlichen IngSoft InterWatt-Server. Der bestehende Datenabonnement-Treiber für K&P musste so erweitert werden, dass er auch jene Tabelle in der K&P-Datenbank lesen kann, in der die Minutenwerte gespeichert sind.

2.3.3.3 Erhöhung der Datenqualität

In den ersten Monaten der Bearbeitungszeit des Vorhabens floss seitens IngSoft sehr viel Zeit in die in die Aufrechterhaltung des Regelbetriebs (im Schnitt 1h pro Objekt und Woche). Speziell Datenausfälle in den Vorsystemen und fehlerhafte Werte bedeuten immer wieder Zusatzaufwand, um den anderen Projektpartnern Daten möglichst hoher Qualität zur Verfügung stellen zu können.

Im OBSERVE-Projekt ist es Aufgabe von IngSoft, eine größtmögliche Vollständigkeit der Mess- und Zähldaten sicherzustellen. Um zu entdecken, wann welche Daten nicht eingegangen sind, werden verschiedene Überwachungsalgorithmen genutzt

- Die prinzipielle Funktion der Server-Plattform des IngSoft InterWatt-Servers wird durch eine redundante Konfiguration (Cluster) und ein Monitoring auf Ebene der Virtualisierungsplattform sichergestellt.
- Das korrekte Arbeiten der Services auf dem IngSoft InterWatt-Server wird durch ein spezielles System überwacht (IngSoft InterWatt Supervisor)

- In IngSoft InterWatt selber erfolgt eine sog. Dateneingangsüberwachung, die beim Ausbleiben von Nachrichten aus den angeschlossenen Systeme Alarm schlägt
- Eingegangene Daten werden mit den vorhandenen Daten in Beziehung gesetzt, u.a. werden
  - Datenlücken gefüllt (Interpolation)
  - Grundlegende Plausibiltätschecks durchgeführt

Im Bereich der inhaltlichen Plausibilitätsprüfung wurde im Rahmen des Projektes Verbesserungsbedarf identifiziert.

Neben einzelnen korrigierenden Eingriffen (wie z.B. Anpassungen des Timings der einzelnen Verarbeitungsschritte beim Datenabruf) wurden folgende Maßnahmen zur Verbesserung der Datenqualität entwickelt und umgesetzt

a) Dateneingangsüberwachung

b) Objektübergreifende bilanzierende Visualisierung

c) Automatische Ignorierung von 0-Werten

d) Umgang mit leicht rückwärtslaufenden Zählwerken

Dateneingangsüberwachung

Die im Vorhaben entwickelte Dateneingangsüberwachung stellt sicher, dass Ausfälle zeitnäher entdeckt werden. Da die Ausfälle nicht weniger geworden sind, wurde kaum eine Verringerung des Aufwandes erreicht, jedoch eine deutliche Steigerung der Datenqualität

Objektübergreifende bilanzierende Visualisierung

Nahezu alle Datenfehler haben in der Bilanzierung einen so deutlichen Einfluss, dass sie in einer Visualisierung sofort sichtbar werden: Fehlende Werte machen sich ebenso deutlich bemerkbar wie eingestreute 0-Werte bei kumulativen Zählern.

Somit lässt sich theoretisch der gesamte Datenstatuts anhand einer einzelnen Visualisierung überwachen, die den Verbrauch aller Objekte in den einzelnen Energieeinsatzbereichen als gestapelte Balken darstellt. Dabei waren jedoch einige Herausforderungen zu lösen:

a) Rechte: Es musste sichergestellt werden, dass eine solche Auswertung nur dann aufgerufen werden kann, wenn der ausführende Benutzer auf allen Objekten ausreichende Rechte hat

b) Soll-Datenlage: Da die Objekte zu unterschiedlichen Zeitpunkten aufgeschaltet wurden, gibt es Zeiten zu denen ein Teil der Objekte planmäßig keine Daten haben, so dass in der Darstellung unterschieden werden muss, ob ein Wert aufgrund fehlender Daten oder planmäßig nicht vorhanden ist

Tabelle 2.3-2: Beispiele für die Behandlung eingestreuter 0-Werte: Verbrauch 1 wird berechnet unter der Annahme, dass das Zählwerk auch rückwärts laufen kann; Verbrauch 2 wird unter der Annahme berechnet, dass das Zählwerk nicht rückwärts laufen kann und dass der Maximalzählerstand 99.999,99 ist; Verbrauch 3 wird berechnet mit der Einstellung „0-Werte ignorieren“

Zeitstempel	Zählerstand	Verbrauch 1	Verbrauch 2	Verbrauch 3
09:45	4.746,84	0,27	0,27	0,27
10:00	4.747,11	0,26	0,26	0,26
10:15	4.747,37	95.252,63	-4.747,37	0,14
10:30	0,00	4.747,65	4.747,65	0,14
10:45	4.747,65	0,33	0,33	0,33
11:00	4.747,98	0,31	0,31	0,31
11:15	4.748,29			

c) Performance: Einer Darstellung aller Objekte über mehrere Jahre liegen letztlich die Daten aller relevanten Zähler zugrunde. Zusammen mit den Anforderungen a) und b) müssen letztlich Millionen von Datensätzen verarbeitet werden – normale Datenbank-Mechanismen sind hier nur zum Teil hilfreich, da diese nur auf „stumpfe“ Summierung ausgelegt sind.

Die objektübergreifende Visualisierung wurde erfolgreich umgesetzt.

Ignorierung von 0-Werten bei kumulativen Zählwerken

Meistens melden Energiezähler einen Zählerstand, man spricht von kumulativer Erfassung. Hauptvorteil der kumulativen Erfassung ist, dass somit für den Zeitraum zwischen zwei Ablesungen der Verbrauch ermittelt werden kann – egal, wie viel Zeit zwischen diesen Ablesungen liegt.

Aus verschiedenen Gründen werden in den im Forschungsvorhaben betrachteten Objekten immer wieder einzelne 0-Werte als Ablesungen solcher kumulativen Zähler gemeldet, teilweise mehrfach im Monat. Das hat zur Folge, dass der Verarbeitungsalgorithmus je nach Einstellung am Zählwerk, entweder einen hohen negativen Verbrauch und anschließend einen hohen positiven Verbrauch erkennt oder dass ein Zählerübersprung und daraus resultierend (in Abhängigkeit vom Maximalzählerstand) ein extrem hoher Verbrauch erkannt wird. Ursache für die eingestreuten 0-Werte ist meist die fehlende Übermittelung einer Gültigkeitsinformation aus dem Vorsystem z.B. aus der GLT. Gelingt z.B. auf Ebene des Feldbusses die Kommunikation mit dem Zähler nicht, schreibt das GLT-System den Wert 0 – jedoch meist mit der sekundären Information „Wert ungültig“. Diese sekundäre Information wird jedoch bei einem der folgenden Verarbeitungsschritte (z.B. beim Speichern im Trendlog der GLT) nicht mit verarbeitet.

Im Energiemanagement werden Zähler üblicherweise im 15-Minutentakt abgefragt. Da im OBSERVE-Projekt fast alle Zähler im 1-Minutentakt abgefragt wurden, tritt das Pro-

blem der 0-Werte entsprechend häufiger auf. Anfangs wurden die Werte unter der Annahme berechnet, dass das Zählwerk nicht rückwärts laufen kann und dass es einen Maximalzählerstand gibt. So entstanden mit jedem 0-Wert falsche Zusatzverbräuche (siehe Tabelle 2.3-2, Spalte „Verbrauch 1“).

Als eine erste Linderung des Problems wurde bei allen Zählern angenommen, dass diese rückwärts laufen können (siehe Tabelle 2.3-2, Spalte „Verbrauch 2“). Somit entstehen durch 0-Werte keine zusätzlichen Verbräuche, sondern es gibt lediglich positive und negative Verbräuche, die sich bis auf die Höhe des tatsächlichen Verbrauchs aufheben. Somit haben 0-Werte bei Darstellungen mit geringer zeitliche Auflösung (z.B. Monatswerte) nur dann einen sichtbaren Einfluss, wenn sie zufällig auf die Nahtstelle zwischen zwei dargestellten Intervallen (z.B. auf den Monatswechsel) fallen.

Bei beiden Behandlungsarten war es jedoch erforderlich, regelmäßig von Hand die 0-Werte aus der Datenbank zu löschen.

Die beste Lösung ist es jedoch, solche 0-Werte automatisch zu ignorieren – also so tun, als wenn diese nie gemeldet worden sind (siehe Tabelle 2.3-2, Spalte „Verbrauch 3“). In diesem Fall wird der Verbrauch, der sich als Differenz zwischen den plausiblen Ablesungen ergibt, auf die Intervall dazwischen verteilt. Dies funktioniert auch, wenn im Einzelfall mehrere 0-Wert hintereinander gemeldet werden. Eine Herausforderung in der Programmierung war, dass diese Ignorierung der 0-Werte nicht pauschal bei jedem Zählwerk erfolgen darf. Erfasst man z.B. eine Außentemperatur oder einen momentanen Durchfluss, so der Wert 0,0 durchaus ein zulässiger Wert, der nicht ignoriert werden darf. Es erfolgt daher eine Beschränkung auf Zählwerke mit kumulativer Erfassung.

Bei kumulativen Zähler kann zwar theoretisch auch der Wert 0,0 korrekt sein, jedoch nur direkt nach Erstinbetriebnahme oder bei einem Übersprung. Wenn eine korrekte 0,0 einmalig ignoriert wird, ist dies vollkommen akzeptabel. Problematisch wäre es nur, wenn die 0,0 über einen längeren Zeitraum korrekt wäre. Meist erfolgt jedoch die Erstinbetriebnahme im Zählerwerk und Zähler haben am finalen Einbauort eigentlich immer einen kleinen Startstand, so dass selbst bei einem Einbau eines neuen Wärmemengenzählers im Sommer keine 0,0 gemeldet wird. Ein Übersprung tritt recht selten auf und die 0,0 wird dann am Zähler nur für einen kurzen Moment angezeigt. Somit kann bei kumulativen Zählern die 0,0 gefahrlos ignoriert werden.

Leicht rückwärts laufende Zählwerke

Es ist normalerweise angenommen, dass ein kumulatives Zählwerk nicht rückwärtslaufen kann. Jedoch, gibt es kumulative Zählwerke die rückwärtslaufen können. Zum Beispiel kann es in Wasserzählwerke passieren, dass wegen starken Druckvariation läuft das Zählwerk rückwärts. Die Identifikation und Auswertung negativer Verbräuche ist wichtig, weil einige davon plausible Werte sein können. Dieser Untersuchung zeigt, dass 10 % der Wasserzählwerke negative Verbräuche zeigen. Andere Typ von Zählwerke zeigen auch negative Verbräuche, wie z.B. Leistungszählwerke. Die Abbildung 2.3-1 zeigt der Wasserverbrauch von zwei kumulative Zählwerke. Auf dem linken Panel sind alle negative Verbräuche plausible. Auf dem rechten Panel findet man negative Verbräche die weichen zu viel unten der Null-Verbrauch Linie ab und dann sollten sie als „nicht plausiblen“ klassifiziert werden. Das ist genau die Aufgabe einen Algorithmus für automatische Erkennung plausibler negativer Verbräuche.

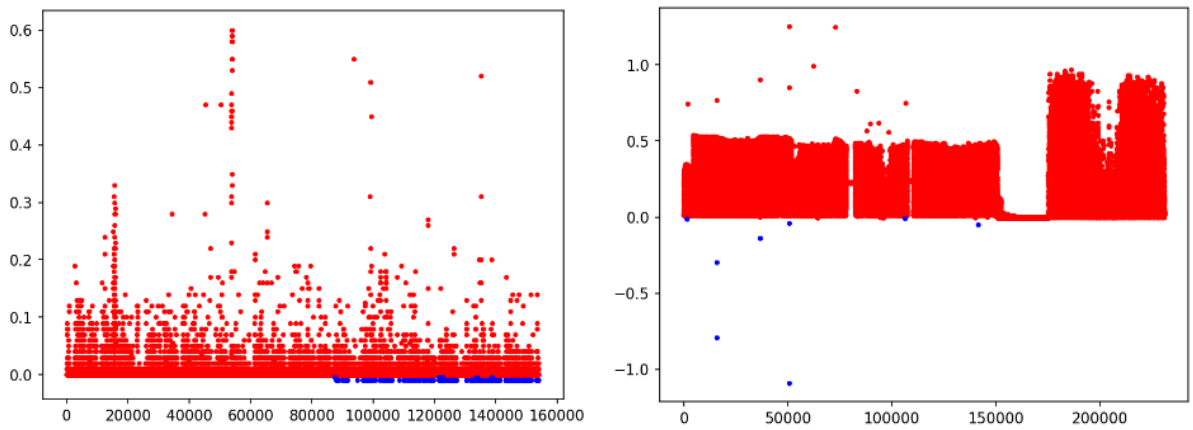


Abbildung 2.3-1: Wasserverbrauch (m^3) versus Zeitindex. Die blauen Punkte zeigen negativer Verbrauch

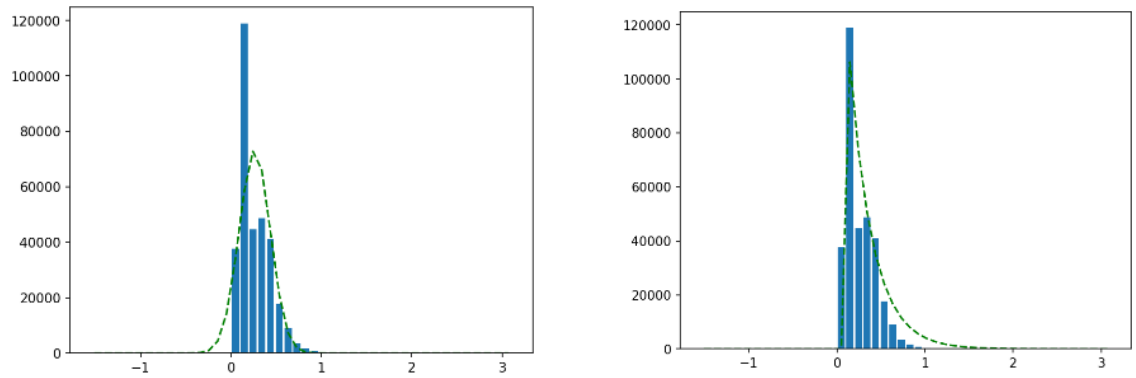


Abbildung 2.3-2: Die Balkenplot zeigt die Häufigkeitverteilung des Verbrauchs und die grüne gestrichelte Kurve das beste Modell. Links: Gaußmodell. Rechts: Exponentialmodell.

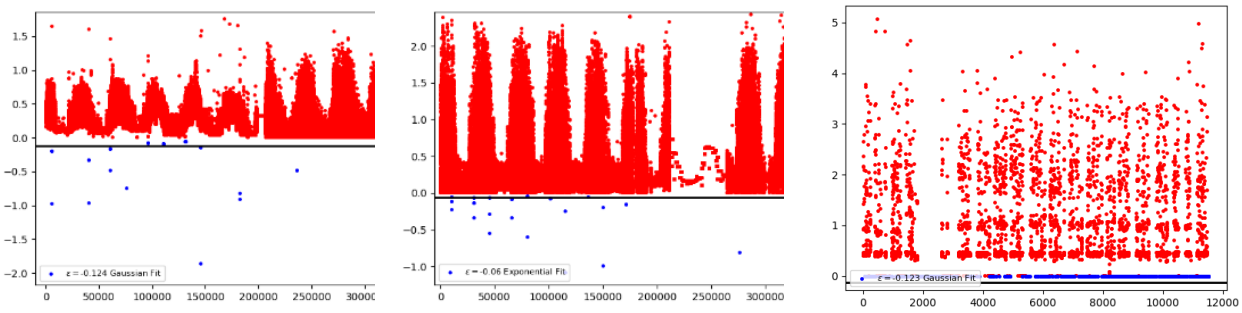
Der Algorithmus für die automatische Erkennung plausibler negativer Verbräuche betrachtet die Verteilung des Verbrauchs. Das Ziel ist ein vernünftiger negativer Schwellwert ϵ zu ermitteln, der trennt plausible von nicht-plausible Verbräuche.

Erst werden positive Ausreißer ausgefiltert. Außerdem werden lange Periode mit null Verbrauch auch ausgefiltert, weil sie keine Informationen enthalten. Dann, wird die Verbrauchsverteilung so erzeugt, dass es eine scharfe Trennung gibt zwischen positive und negative Verbräuchen. Das heißt, die Häufigkeit in jedem Intervall enthält nur Verbräuche mit gleichem Vorzeichen. Diese Verteilung wird mit zwei verschiedener Modellverteilung verglichen, und zwar eine Gaußverteilung und eine Exponentialverteilung. Das Modell wird mittels eine nichtlineare Regression an der Verteilung angepasst. Das Modell das das kleinste Fehler liefert wird ausgewählt.

Abbildung 2.3-2 zeigt die Häufigkeitsverteilung des Verbrauchs und Modelle. In diesen Fall ist das bestpassende Modell das Exponentialmodell. Das bestpassende Modell wird für die Ermittlung des Schwellwert ϵ genutzt. In den Fall, dass den bestpassenden Modell Gauß ist, berechnet man

$$\epsilon = -0.10\sigma$$

In den Fall, dass das bestpassenden Modell Exponentiell ist, berechnet man beide



(a) **(b)** **(c)** •

Abbildung 2.3-3: Verbrauch versus Zeitindex. Die baue Punkte zeigen negativer Verbrauch und die schwarze Linie die berechnete negative Schwellwert. Graphiken 2.3-3(a) und 2.3-3(b) zeigen Wasserzählwerke, und die Graphik 2.3-3(c) zeigt ein Leistungszählwerk.

Regressionen rechts und links des Maximums und ermittelt man

$$\epsilon = -0.10\left(\frac{\sigma_r + \sigma_l}{2}\right)$$

Wenn der Regressionsfehler (in %) zu hoch ist, die oberen beschriebene Algorithmen können nicht verwendet werden. In diese Fälle, wird ein Verfahren in Rangordnung basiert benutzt. Nach Bereinigung der positive Ausreißer, werden die Verbräuche sortiert und der Wert w_{95} der 95 % Anteil der Daten entspricht, wird genommen. Der negativer Schwellwert ϵ ist

$$\epsilon = -0.01 w_{95}$$

Abbildung 2.3-3 zeigt drei Beispiele der Berechnung des Schwellwert ϵ Graphiken 2.3-3(a) und 3(b) zeigen den Verbrauch versus den Zeitindex von Wasserzählwerke. Im Beispiel 2.3-3(a) war das bestpassende Modell ein Gaußmodell und im Beispiel 2.3-3(b) war es Exponentiell. Die negative Werte die unten die schwarze Linie liegen sind nicht plausible Werte. Alle anderen Verbräuche sind plausible. Graphik 2.3-3(c) zeigt ein Leistungszählwerk. Nach Berechnung des Schwellwerts ϵ sind in diesen Fall alle negative Verbräuche als „plausible“ klassifiziert.

In bestimmten Situationen laufen z.B. Wasserzähler durch Druckschwankungen im Wassernetz minimal rückwärts. Dies fällt bei üblichen Erfassungsintervallen (¿=15 Minuten) meist nicht auf. Im OBSERVE-Projekt wurden solche Phänomene aufgrund der hochauflösenden Erfassung sichtbar. Neben dem physikalisch erklärbaren Verhalten von Wasserzählern wurden ähnliche Phänomene beobachtet, wenn im GLT-System eine um einige Minuten der Realität vorauseilende Uhrzeit korrigiert wurde und somit tatsächlich neuere Werte eine korrekten Zeitstempel erhielten, der aber somit effektiv vor den Zeitstempeln älterer Werte lagen, die mit vorauseilendem Zeitstempel aufgezeichnet wurden.

Bei Zählwerken mit der Einstellung „Mögliche Laufrichtung: Vorwärts“ (kumulativ) bzw. „Erwartete Werte: Positiv“ (non-kumulativ), führt dieses leichte Rückwärtslaufen zu gestörten Werten, sodass Intervallen mit diesem Zählerstand auf Grund des Messstatus „Gestörter Wert“ nicht auswertbar sind. Fatalerweise führt der Messstatus „Gestörter Wert“ in einem kleinen Zeitintervall (z.B. Minute) dazu, dass alle größeren Zeitinterval-

le (z.B. Stunde, Tag, Woche, Monat, Jahr), die diesen gestörten Wert enthalten, auch als gestört markiert werden.

Eine erste Abhilfe, die auch im OBSERVE-Projekt zum Einsatz kam, war, dass bei den Zählwerken beide Laufrichtungen als zulässig eingestuft wurden. Jedoch führt das Erlauben beider Laufrichtungen bzw. das Erlauben von negativen Werten dazu, dass eine wichtige Plausibilitätskontrolle der Zählerstände nicht durchgeführt wird.

Es wurde daher für Zählwerke eine weitere Eigenschaft eingeführt: Unter „Untere Schranke für Verbrauch je Auflösungsintervall“ kann eine Grenze größer Null angegeben werden, die besagt wie groß der für ein Zeitintervall der Rechenauflösung des Zählwerks bestimmte negative Verbrauch maximal sein darf, um nicht als gestört zu gelten. Diese Schranke gilt auch für Zeitintervalle in denen Datenlücken vorhanden sind.

Die Schranke kann auch per Knopfdruck automatisch bestimmt werden. Hierbei werden die vorhandenen Verbräuche aufsteigend nach ihrem Wert sortiert. Die letzten 5 % der Werte werden ignoriert, damit Ausreißer das Ergebnis nicht verfälschen. Dieser Wert wird durch 100 geteilt und mit (-1) multipliziert. Das Ergebnis entspricht der automatisch bestimmten Schranke.

Beispiel: Für ein kumulatives, vorwärtslaufendes Echtzeitzählwerk eines Wasserzähler beträgt die automatisch bestimmte Schranke $-0{,}006\,m^3$. In unten stehender Abbildung ist zu erkennen, dass ein negativer Verbrauch innerhalb eines Intervalls der Rechenauflösung von 15 Minuten kleiner oder gleich dieser Schranke als „Wahrer Wert“ behandelt wird (orangefarbene Markierung). Entsteht in einem Zeitintervall ein Verbrauch kleiner $-0{,}006\,m^3$, so wird dieser mit dem Messstatus „Gestörter Wert“ versehen (graue Markierung). Für die automatische Bestimmung der akzeptierten Grenze wurden von IngSoft zahlreiche Ansätze ausprobiert und verworfen (u.a Übergangswahrscheinlichkeit mit Regressionskorrektur und Abschätzung des Toleranzintervalls mittels Resampling-Methode und statistischer Tests). Welcher Wert für ein spezielles Zählwerk „klein“ ist, hängt nämlich von den Verbrauchsverhältnissen ab, die sich von Gebäude zu Gebäude um etliche Zehnerpotenzen unterscheiden können. Die oben beschriebene Herangehensweise hat sich als zweckmäßig erwiesen.

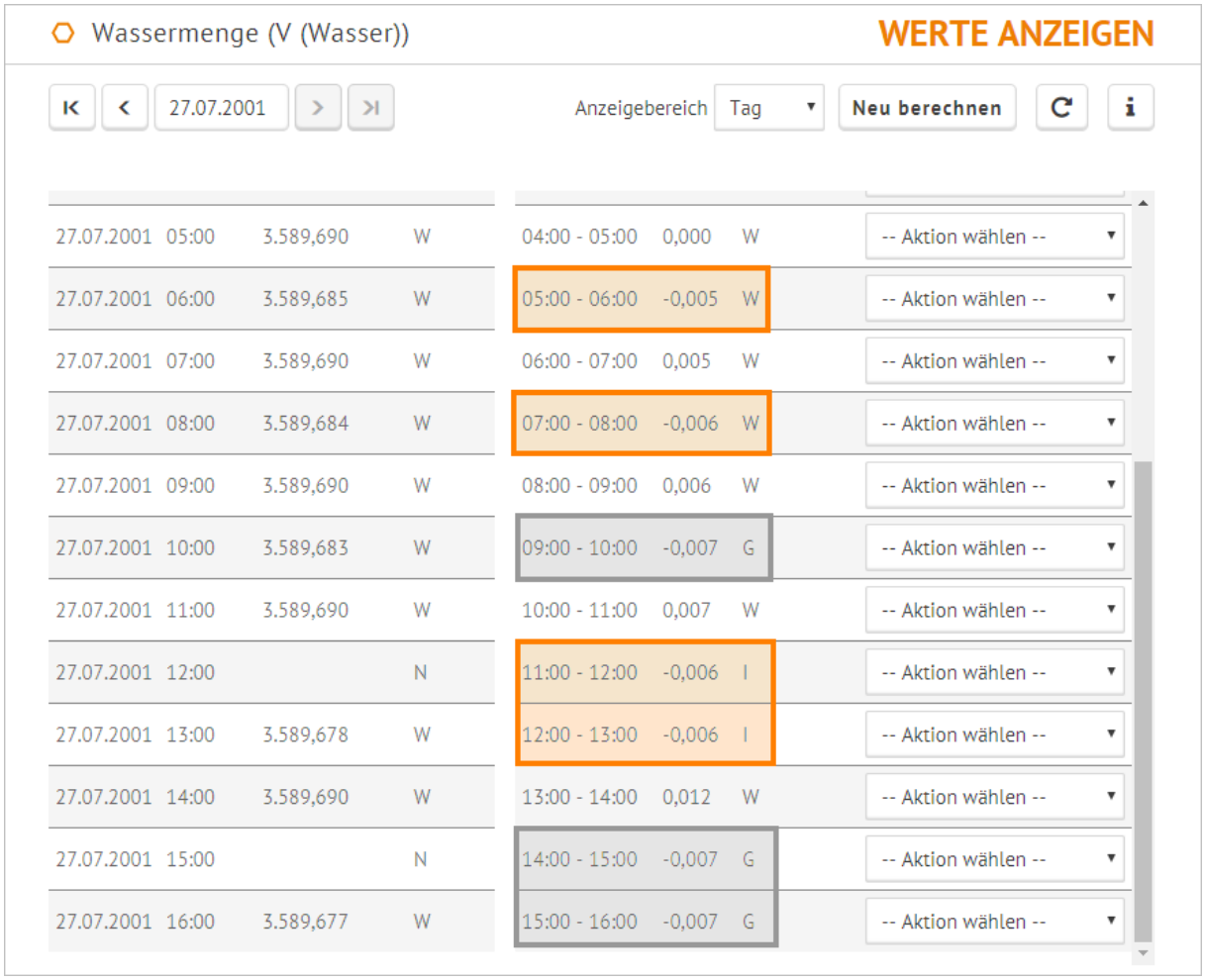


Abbildung 2.3-4: Beispiel für leicht rückwärts laufendes Zählwerk

2.3.3.4 Einrichtung von Zugängen zu den Daten für die Projektpartner

Um den Projektpartnern einen automatisierbaren Zugriff auf die von IngSoft zentral eingesammelten Daten zu ermöglichen, wurde in Abstimmungen mit den Projektpartnern eine spezielle Schnittstelle entwickelt.

Eine grundlegende Anforderung an diese Schnittstelle war die Sicherstellung der Datensicherheit, d.h.

- der Zugriff kann nur mit entsprechenden Credentials (Benutzername / Kennwort) erfolgen
- Die Credentials und deren Übertragung unterliegen den üblichen Regeln (verschlüsselte Übertragung, asymmetrische Speicherung des Kennworts, Komplexitätsanforderungen an das Kennwort, beschränkte Kennwort-Lebensdauer, Erkennung von Brute-Force-Attacken)
- Benutzer bekommen nur jene Daten, für die Ihnen im IngSoft InterWatt-System Rechte eingeräumt wurden (bereichsselektive Berechtigungen)

Als Schnittstellentechnologie kommen RESTful Webservices zur Anwendung. Es wurden insgesamt drei Methoden zur Verfügung gestellt:

a) Eine Methode stellt die Liste der sog. Datenabonnements zur Verfügung, dies sind im Falle des Forschungsvorhabens die Liste der acht regelmäßigen Datenabrufe bei jeweils einem Gebäude

b) Eine weitere Methode liefert die Liste aller Zählpunkte, die von einem speziellen Datenabonnement beliefert werden. Zu den Datenpunkten werden neben der internen ID, die für den eigentlichen Bewegungsdatenabruf wichtig ist auch Zusatzinformationen zum Datenpunkt geliefert inkl. von den Projektpartnern fallweise in sog. Benutzerdatenfelder abgelegten Zusatzinformationen.

c) c) Der Abruf der Bewegungsdaten erfolgt über die dritte Methode, die neben der internen ID des Zählpunktes u.a. die gewünschte zeitliche Auflösung und den angefragten Zeitraum übergeben bekommt.

2.3.4 Einrichtung und Abgleich der Datenpunkte im InterWatt-System; Einrichtung der Bilanzierung (IngSoft)

Für die jeweiligen objektspezifischen Datenanbindungen mussten natürlich auch objektseitig Voraussetzungen geschaffen werden, was teilweise zu etlichen Monaten Verzögerung geführt hat. Stand eine Datenanbindung zu einem Gebäude konnte in IngSoft InterWatt mit der Abbildung des Gebäudes begonnen werden.

Dazu mussten teilweise die aus den Datenanbindungen ausgelesenen Meta-Daten über die Zählwerke aus parallel zur Verfügung stellten Listen oder auch über eine Analyse der Bewegungsdaten so ergänzt werden, dass eine sinnvolle und korrekte Verwendung möglich wurde (z.B. Bezeichnung, Messgröße, Messart).

Zusätzlich wurden weitere Angaben zu den Gebäuden recherchiert (z.B. Fläche, Zuordnung der Zähler). Mit diesen Informationen wurden die Gebäude für die Bilanzierung in der Software abgebildet.

Bei zahlreichen Zählern mussten die Zählwerkseinstellungen (kumulativ/nicht-kumulativ (alle), Wandlerfaktoren und Messgrößen (Sterntaler), Zählerwechsel (Betriebsstundenzähler bei Kieback & Peter) auf Basis einer Analyse vorhandener Daten korrigiert werden. Auch nach dieser Analyse lassen sich ein kleiner Anteil von Zählwerke nicht zuordnen (betrifft vor allem das Objekt Sterntalerstraße).

Leider standen nicht in allen Gebäuden die zur Bilanzierung notwendigen Zähleinrichtungen zur Verfügung, auch scheiterte teilweise der Versuch einer Nachrüstung. So kann der Wärmeverbrauch in den Objekten LMT Fette und Bezirksregierung Düsseldorf nur auf Basis von Durchflusswerten und Temperaturdifferenzen grob errechnet werden. Ferner kann im Gebäude KPB Mettmann nur ein Teil des Wärmeverbrauchs erfasst werden, da u.a. der Stromzähler der Wärmepumpe defekt ist und während der Projektlaufzeit nicht repariert wurde. An einigen Standorten z.B. Bezirksregierung Düsseldorf und LMT-Fette stehen keine Zähler für den Wärmeverbrauch zur Verfügung sondern nur momentane Leistungswerte. Es wurde daher damit begonnen eine bestehende Software-Komponente (FieldService) zu ertüchtigen, dass dieser mit hinreichend hoher Abtastrate Leistungswerte durch nummerische zeitliche Integration in Energiewerte umrechnen kann. Die praktische Erprobung steht noch aus.

Tabelle 2.3-3: Verfügbare Werte. Die Zuordnung der Zähler zu den entsprechenden Untereinheiten ist grundsätzlich plausibel. Die obige Farbzuteilung gilt demnach für die übergeordneten Liegenschaften und die untergeordneten Einheiten gleichermaßen

Bilanzierung Observe							
Objekte	Summe	Stromverbrauch	Wärmeverbrauch	Wasserverbrauch	Kälteverbrauch	Stromerzeugung	Wärmeerzeugung
Kieback und Peter Zentrale	🟡	🟡	🟢				
LMT Fette	🟡		🟡				
KPB Mettmann	🟡	🟡	🟡	🟡		🟢	
Schule Mendelsohnstraße	🟡		🟡				
DKB Zentrale	🟡	🟢	🟡		🟢	🟢	
BR Düsseldorf	🟢		🟢				
Lanuv Essen	🟡		🟢	🟡			🟢
Schule Sterntalerstraße	🟢	🟢	🟢				🟡

Legende:

- 🟢 Grundsätzlich plausible Werte
- 🟡 Unplausible, schwer nachvollziehbare oder fehlende Werte
- 🔴 Keine oder gänzlich unplausible Werte

2.3.5 Datenabruf und Datenverarbeitung am ISE (ISE)

2.3.5.1 Datenabruf

Die Daten aus den Demonstrationsgebäuden werden über verschiedene Anbindungswege auf einem InterWatt-Server der Fa. IngSoft gesammelt. Bei dem vom Fraunhofer ISE verwendeten Datenhandling-Werkzeug erfolgt die Kommunikation mit dem InterWatt-Server wie in folgender 2.3-5 dargestellt. Das Fraunhofer ISE importiert die Messdaten aller Demonstrationsgebäude täglich in sein Datenanalyse-Werkzeug *Datastorage*.

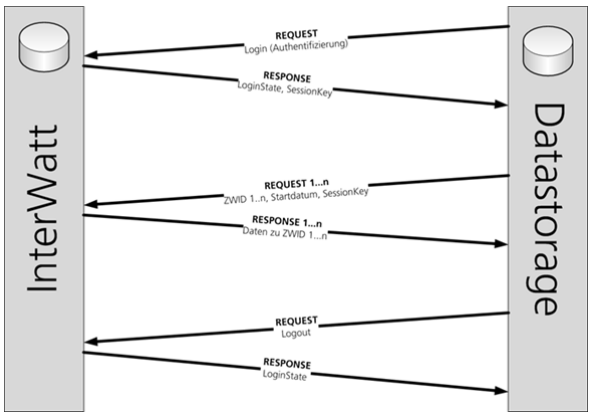


Abbildung 2.3-5: Datentransfer zwischen dem InterWatt-Server und Datastorage.

2.3.5.2 Kennzeichnungsstruktur zur automatisierten Prozessierung von Datenpunkten

a. Hintergrund

Für jedes Demonstrationsgebäude in OBSERVE wurden die originalen Datenpunktbezeichnungen, die in InterWatt mit Zählwerk-IDs kennzeichnet sind, in ein vereinheitlichtes Datenpunktschema (VDS) übersetzt.

Eine standardisierte Bezeichnung von Datenpunkten ist eine grundlegende Voraussetzung für die Nutzung automatisierter Systeme. Sie ermöglichen die eindeutige Zuordnung einer Komponente und somit der zugehörigen Analyseroutinen. Im Bereich des Gebäudemonitorings und für die Anwendung von automatisierten Analyseverfahren wie Methoden zur Fehlererkennung und Diagnose kann mit einer vereinheitlichten Bezeichnung von Anlagen und Sensoren eine automatisierte Verarbeitung der gesammelten Daten realisiert werden.

Das am Fraunhofer ISE verwendete Werkzeug *Datastorage* ermöglicht das automatisierte Darstellen, Verarbeiten und Analysieren von Zeitreihendaten. Um dies zu vereinfachen werden den ursprünglichen Datenpunktbezeichnern im VDS entsprechende Bezeichner zugeordnet. Das VDS ermöglicht es insbesondere die Datenpunkte einer Anlage eindeutig zu identifizieren.

Wird ein solches System aus vereinheitlichten Datenpunktbezeichnern verwendet, um schon die durch Gebäudeautomationssysteme (GA) zur Verfügung gestellten Daten zu kennzeichnen, erübrigt sich das manuelle Einpflegen der Messwerte. Die Daten können dann ohne großen Aufwand direkt in eine Datenbank übernommen und zeitnah ausgewertet werden. Bei der Nutzung von *Datastorage* im Rahmen verschiedener Projekte hat sich das VDS als gutes Mittel zur Datenpunktkennzeichnung bewährt.

b. Struktur und Bestandteile des VDS

Das VDS basiert auf der hierarchischen Struktur einer typischen Anlage in der GA. Dementsprechend wird zur Kennzeichnung jedem Datenpunkt eine Folge von Abkürzungen gewählt, die jeweils einer Kategorie in der Hierarchie entsprechen. Die Kategorien beginnen auf der Ebene des Gebäudes und reichen bis zu einem einzelnen Sensor. Die Struktur entspricht dabei der Systemzugehörigkeit. Dabei wird betrachtet, welche Bereiche im Gebäude durch ein System versorgt werden in dem es verbaut ist, anders als bei einer Strukturierung entsprechend der räumlichen Lage eines Systems oder einer Anlage. Gegenüber dem rein räumlichen Ansatz hat das VDS somit den Vorteil, dass unabhängig von der räumlichen Realisierung einer Anlage eine eindeutige, vereinheitlichte Identifikation der Datenpunkte bezüglich der funktionalen Hierarchie stattfinden kann.

In Tabelle 2.3-4 sind die entsprechend dem VDS vorgesehenen Kategorien aufgeführt.

Tabelle 2.3-4: Kategorien der vereinheitlichten Datenpunktbezeichner

Nr	Kategorie	Bemerkung
1	Building/ Gebäude	Gebäudename oder Abkürzung
2	Zone	Name der Zone auf die sich der Sensor bezieht (Nicht die Lage des Sensors!); z.B. Name der Zone, die durch die AHU versorgt wird, zu der der Sensor gehört (z.B. Zulufttemperatur)
3	System	Hauptsystem zu dem der Sensor gehört (z.B. Heizkreis, Raumluft Technische Anlagen (AHU), Wetterstation, . . .)
4	Subsystem1	Falls zutreffend, Subsystem des Systems (z.B. Erhitzer einer AHU oder Pumpe eines Heizkreises)
5	Subsystem2	Falls zutreffend, Subsystem von Subsystem1 (z.B. Pumpe des Erhitzers einer AHU)
6	Medium	Falls zutreffend, Medium in dem sich der Sensor befindet (z.B. Warmwasser, Kaltwasser, Zuluft, etc.)
7	Position	Falls zutreffend, Position des Sensors (z.B. Vor- oder Rücklauf, Primär- oder Sekundärkreis)
8	Kind/Art	Art des Datenpunkts (z.B. Messwert, Sollwert, Signal, Alarm)
9	Datapoint/ Datenpunkt	Die (physikalische) Messgröße (z.B. Temperatur, Energie, Status)

Für die aufgeführten Kategorien wurde eine Liste passender Abkürzungen definiert. Diese umfasst Abkürzungen zu den häufigsten Komponenten und Datenpunkttypen in der GA. Die Kategorien und die möglichen Einträge sind in englischer Sprache definiert. Dies ist auf die enge Verstrickung des VDS mit der Programmierung von Analyseroutinen zurückzuführen. Ist eine Internationalisierung der Einträge und der daraus resultierenden Bezeichner erwünscht, bietet es sich an, erst in der Benutzerschnittstelle eine Übersetzung vorzunehmen.

Zusätzliche Angaben können nach einem Punkt („.“) angehängt werden. Dazu gehören auch funktionale Zusätze wie die genauere Spezifikation eines Systems (siehe Beispiel 2). Vom Nutzer festgelegte Zusätze, die lediglich zur besseren Unterscheidbarkeit dienen, werden klein geschrieben, um sie von den eigentlichen Einträgen unterscheiden zu können.

Für die Nutzung in *Datastorage* werden die Einträge in den einzelnen Kategorien in Form von Metadaten zu den eigentlichen Zeitreihendaten abgelegt. Um automatisiert auf die Daten zugreifen zu können genügen diese Metadaten und lassen somit die letztliche Bezeichnung des Datenpunktes offen. Zur Wahrung der Konsistenz gegenüber dem Nutzer bietet sich allerdings die Wahl eines auf den Kategorien gestütz-

ten Bezeichners an. Dieser kann letztlich dazu genutzt werden um den Datenpunkt in Schaubildern und Legenden zu kennzeichnen. Für einen solchen, dem VDS entsprechenden, Bezeichner werden die Einträge der verschiedenen Kategorien durch Unterstriche („_“) getrennt zusammengeführt. Wird zu einer Kategorie kein Eintrag gesetzt, bleibt diese Stelle im Bezeichner frei. Im Folgenden sind zwei Beispiele für einen vollständigen Bezeichner aufgeführt.

Beispiel 1: Messdaten der Zulufttemperatur der Anlage AHU 1 im Gebäude A:

- Building: `BuildingA`
- Zone: `-`
- System: `AHU.1`
- Subsystem1: `-`
- Subsystem2: `-`
- Medium: `SUPA`
- Position: `-`
- Kind: `MEA`
- Datenpunkt: `T`

Vollständiger Bezeichner: `BuildingA__AHU.1___SUPA__MEA_T`

Beispiel 2: Ein Statussignal der Wasserkreise zur Warmwasserversorgung der Anlage AHU 1 im Gebäude A:

- Building: `BuildingA`
- Zone: `-`
- System: `WC.H.AHU.1`
- Subsystem1: `-`
- Subsystem2: `PU`
- Medium: `HW`
- Position: `SUP.SEC`
- Kind: `SIG`
- Datenpunkt: `STAT`

Vollständiger Bezeichner: `BuildingA__WC.H.AHU.1__PU_HW_SUP.SEC_SIG_STAT`

Die so entstehenden Bezeichner könnten prinzipiell ebenso wie die zuvor genannten Metadaten dazu genutzt werden um zu den Daten passende Algorithmen zur Auswertung und Methoden zu ihrer Darstellung auszuwählen. Hierzu muss der Bezeichner lediglich wieder in seine Bestandteile zerlegt werden. Die Bezeichner stellen somit eine kompakte, alternative Möglichkeit zur Ablage der Einträge des VDS dar. Dabei sind die Bezeichner nicht nur maschinenlesbar sondern auch von Nutzern nachvollziehbar. Allerdings bietet die Ablage in den Metadaten technische Vorteile wie höhere Auslesegeschwindigkeit, Robustheit und Flexibilität. Darüber hinaus sind zu den Messdaten abgelegte Metadaten von Nutzen um zusätzliche Informationen zu hinterlegen. Dazu zählen unter anderem die Beschreibung eines Datenpunkts, der mögliche Wertebe-

reich oder auch die Einheit einer gemessenen Größe. Diese lassen sich nach Bedarf auch erweitern.

c. Richtlinien zur Anwendung

Durch die Struktur des VDS wird die Wahl der Einträge für einen Datenpunkt schon größtenteils vorgegeben. Darüber hinaus existiert bisher kein standardisiertes Vorgehen für die Nutzung des VDS für beliebige Systeme. Bei der Anwendung des VDS können dennoch gewisse Richtlinien beachtet werden, um sicher zu stellen, dass die Einträge über verschiedene Projektierungen hinweg konsistent vergeben werden.

Wahl der „building“ und „zone“ Einträge

Diese Einträge sind vom Nutzer frei zu wählen und nur in Ausnahmefällen kritisch für die spätere Anwendung zur Auswertung oder Visualisierung. Hierbei ist lediglich zu beachten, dass die angegebene Zone den durch das System versorgten Bereich angibt und nicht die Position des Systems oder Sensors.

Wahl des „system“ Eintrags

Um das System auf den sich der Datenpunkt bezieht genau zu spezifizieren, können hier zusätzlich zum Kürzel des Systems weitere Zusätze nach einem Punkt beigefügt werden, um die Art des Systems genauer einzugrenzen und den Nutzen des Systems in der betrachteten Anlage anzugeben. So würde man zum Beispiel den Bezeichner eines Wasserkreises zunächst entsprechend erweitern um kenntlich zu machen, ob es sich um einen Heiz- oder Kühlkreis handelt und schließlich welche anderen Systeme er versorgt (siehe Beispiel 1). Um eine Angabe der Art `A.B` zu prüfen, sollte man die beiden Systeme mit einer Aussage der Art „System A versorgt System B“ oder „System B benötigt System A für XY“ verknüpfen können. Eine solche Angabe unterscheidet sich zu der Angabe eines Subsystems in der Art, dass System B weiterhin ein selbstständiges System darstellt, das allerdings ohne System A nicht korrekt funktionieren kann.

Wahl der „subsystem1“ und „subsystem2“ Einträge

Subsysteme sind all jene Teile einer Anlage, die eine notwendige Komponente eines Systems darstellen und somit nicht eigenständig sind. Ein Subsystem B von einem System A erfüllt eine Aussage der Art „Subsystem B ist Teil des Systems A“ oder auch „System A ist aus Subsystem B und anderen Subsystemen zusammengesetzt“. Ob die Angabe eines Subsystem Eintrags notwendig ist, lässt sich einsehen indem man prüft, ob der betrachtete Datenpunkt auch ohne das Subsystem Sinn ergeben würde. So könnte man die Temperatur der Zuluft in einer Lüftungsanlage auch ohne ein Subsystem bestimmen, die Leistungsaufnahme des Ventilators in der Zuluft allerdings nicht. Grundsätzlich kann ein beliebiges System auch Subsystem eines anderen Systems sein und umgekehrt. Es liegt aber in der Natur der typischen Anlagen in der GA, dass eine Pumpe kein eigenständiges System darstellt und eine Lüftungsanlage kein übergeordnetes System besitzt.

Wahl des „medium“ Eintrags

Das angegebene Medium ist nicht nur rein physikalisch zu verstehen, sondern gibt auch Auskunft über die funktionalen Zusammenhänge. So kann zum Beispiel über einen Eintrag `SUPA` angeben werden, dass der Datenpunkt eine Messgröße der Zuluft

abbildet. Durch diese Angabe wird in vielen Fällen schon die wichtigste Aussage über den Nutzen des Datenpunktes getroffen.

Wahl des „position“ Eintrags

Hier sollte die Position des Datenpunktes entsprechend der funktionalen Zusammenhänge, oder für Datenpunkte, die ohne ein System angegeben werden können, die Lage in der Zone dokumentiert werden. Diese Angabe stellt häufig eine genauere Spezifizierung zum Eintrag des Mediums dar. In manchen Fällen ist diese Zusatzinformation auch von entscheidender Bedeutung, so wird zum Beispiel mit `SUP.SEC` angegeben, dass es sich um einen Datenpunkt im sekundären Kreislauf handelt.

2.3.5.3 Datenaufbereitung

Die Daten werden mittels des Datenanalyse-Werkzeug *DataStorage* aufbereitet, so dass einerseits spezielle Visualisierungen wie Zeitreihen, Carpet- und Scatterplots automatisch erzeugt und synchronisiert werden und andererseits, dass diese von Algorithmen zur automatischen Fehlererkennung und Diagnose automatisch identifiziert und prozessiert werden können.

a. Datenimport

In *Datastorage* wird der Datenimport über Instanzen sogenannter „Importer“ Klassen realisiert. Diese sind auf die verschiedenen Quellen der Eingangsdaten ausgelegt. Dabei ist vor allem zwischen Eventdaten (Change of Value) und Daten mit einem vorgegebenen Zeitraster zu unterscheiden. Während letztere schon eine reguläre Struktur aufweisen, müssen Eventdaten vor der Analyse erst in ein nutzbares Format gebracht werden. Dies beinhaltet, dass die Daten an ein zuvor gewähltes Zeitraster angepasst werden müssen, was zum Beispiel über Interpolation realisiert werden kann. Der Import der Daten wird mit spezifischen Merkmalen der ursprünglichen Anlage parametrisiert. Dazu gehört zum Beispiel das Format und die Zeitzone, der Zeitstempel oder der Wert, der von der Anlage für fehlerhafte Werte verwendet wird. Werte die diesen Fehlerschlüssel enthalten werden maskiert in die Datenbank übernommen und bei späteren Analysen nicht berücksichtigt.

b. Vorprozessieren der Daten

Nachdem die Daten importiert wurden, werden sie vorprozessiert. Die Vorprozessierung der Daten wird über eine Definitionstabelle gesteuert, in der die Metadaten der einzelnen Sensoren hinterlegt sind. Über diese ist letztlich definiert welche Einträge entsprechend des VDS den verschiedenen Messgrößen und deren anlagenspezifischen Adressen zugewiesen werden. Daten, die in Form einzelner Ereignisse, wie der Änderung eines Wertes, von der Anlage übergeben werden, müssen vor der Nutzung in einer Analyse oder Visualisierung an ein festgelegtes Zeitraster angepasst werden. Hierzu wird, je nach Signaltyp, eine andere Methode gewählt. So kann es für Temperaturwerte sinnvoll sein, diese auf das gewünschte Raster zu interpolieren, während diese Vorgehensweise für diskrete Statussignale (z.B. An/Aus) zu falschen Ergebnissen führen würde. In den Metadaten sind neben der Art der Messdaten auch deren charakteristische Eigenschaften abgelegt. So wird hier definiert, ob über einen Faktor eine Umwandlung in eine andere Einheit stattfinden muss oder in welchen Grenzen der

Messwert liegen darf. Liegt ein Wert außerhalb der vorgegebenen Grenzwerte, kann dies zum Anlass genommen werde, den Wert in der Datenbank zu maskieren.

c. Filterung der Daten

Datastorage beinhaltet eine Vielzahl von Filterklassen, die zur Nutzung in der Analyse von Messdaten aus dem Gebäudebetrieb instanziiert werden können. In vielen Filtern werden die Rechenoperationen als String übergeben und sämtliche Funktionen der Pythonpakete numpy und scipy können verwendet werden. Folgende wichtige Filterfunktionalitäten sind implementiert:

- user_filter: berechnet die Ausganggröße anhand von beliebig vielen Eingangsgrößen. Eingangsgrößen können sowohl Sensoren, als auch skalare Parameter sein.
- condition_filter: liefert als Ausgangsgröße einen nach frei wählbarer Bedingung maskierten Eingangswert. Die Ausgangsgröße kann hierbei anhand von beliebig vielen Eingangsgrößen berechnet werden. Eingangsgrößen können sowohl Sensoren, als auch skalare Parameter sein.
- range_filter: prüft die Eingangsdaten auf vorgegebenen Wertebereich (min/max). Werte außerhalb des Bereichs werden maskiert. Dieser Filter wird typischerweise bei der Aufbereitung von Rohdaten verwendet. In den Metadaten wird der erlaubte Wertebereich der Daten definiert. Werden Messdaten in der Datenbank abgelegt, die außerhalb dieser Grenzen liegen, werden sie in den vorverarbeiteten Daten maskiert und finden in späteren Auswertungen keine Berücksichtigung.
- diff_filter: berechnet die Differenzen von aufeinanderfolgenden Werten und speichert die Ergebnisse unter dem jeweils höheren Zeitstempel ab.
- diff_overflow_filter: berechnet die Differenzen von aufeinanderfolgenden Werten und speichert die Ergebnisse unter dem jeweils höheren Zeitstempel ab, hierbei werden jedoch zusätzlich Überläufe der Eingangsgröße berücksichtigt (Sägezahnmuster).
- fillup_last_filter: Datenlücken der Eingangsgröße werden mit dem letzten validen Wert aufgefüllt bis wieder ein valider Wert vorhanden ist. Anwendung z.B. bei Eventdaten, d.h. Speicherung von Daten in einer Datenbank nur bei vordefinierter Änderung.
- sample_filter: ermöglicht das Verdichten von Messdaten in frei wählbaren Zeitschritten und Methoden; er kann somit als mehrere Filter in einem betrachtet werden. Als Eingang für den Filter dienen Sensorobjekte oder Filterobjekte. Der sample_filter ermöglicht zudem das Arbeiten mit Eventdaten (ereignisorientierte Messdaten ohne festen Zeitschritt).

Die Aufarbeitung der anfallenden Daten beinhaltet häufig wiederkehrende Verarbeitungsschritte. Dabei sollen persistent gespeicherte Daten prozessiert werden, um sie entweder für die graphische Darstellung vorzubereiten oder um weitere Analysemechanismen zu verwenden. Um die Verknüpfung mit den gespeicherten Daten zu sichern bietet sich eine gemeinsame Ablage der Berechnungsroutinen und der Daten an. *Datastorage* realisiert dies über Filter, die in der gleichen Datenbank serialisiert

werden können wie die Daten selbst. Dazu werden über verschiedene Typen von Filterobjekten die Berechnung der Daten definiert. Dabei können die Ergebnisse einer Berechnung wiederum als Eingang für einen weiteren Filter verwendet werden. Eine gesamte Kette von hintereinander durchgeführten Filteroperationen kann somit als Filterobjekt in der Datenbank abgelegt werden, so dass sämtliche Informationen zu den durchgeführten Operationen erhalten bleiben. Bei neu anfallenden Daten werden die Ergebnisse einer Filterkette aktualisiert.

2.3.5.4 Datenqualitätsprüfung

Eine korrekte Auswertung erfordert eine Prüfung der Verfügbarkeit und Qualität der Messdaten. Dies erfolgte mit den Werkzeugen des Fraunhofer ISE. Geprüft werden hierbei die Rohdaten auf Verfügbarkeit sowie auf Einhaltung der in Metadaten festgelegten Minima und Maxima. So lassen sich defekte Sensoren, Messdatenausfälle sowie falsch definierte Einheiten identifizieren. Die Ergebnisse werden anschließend grafisch dargestellt was eine schnelle Übersicht ermöglicht. Die Grafiken wurden den Partnern zur Verfügung gestellt um mögliche Korrekturmaßnahmen in der Datenerfassung einzuleiten.

Beispielhaft zeigt die nachfolgende Abbildung 2.3-6 einen Ausschnitt der grafischen Darstellung der Datenqualitätsprüfung. Grüne Bereiche zeigen valide Messdaten, gelbe Bereiche Messdaten außerhalb der erwarteten Minimum- bzw. Maximalwerte, rote Bereiche zeigen Datenlücken.

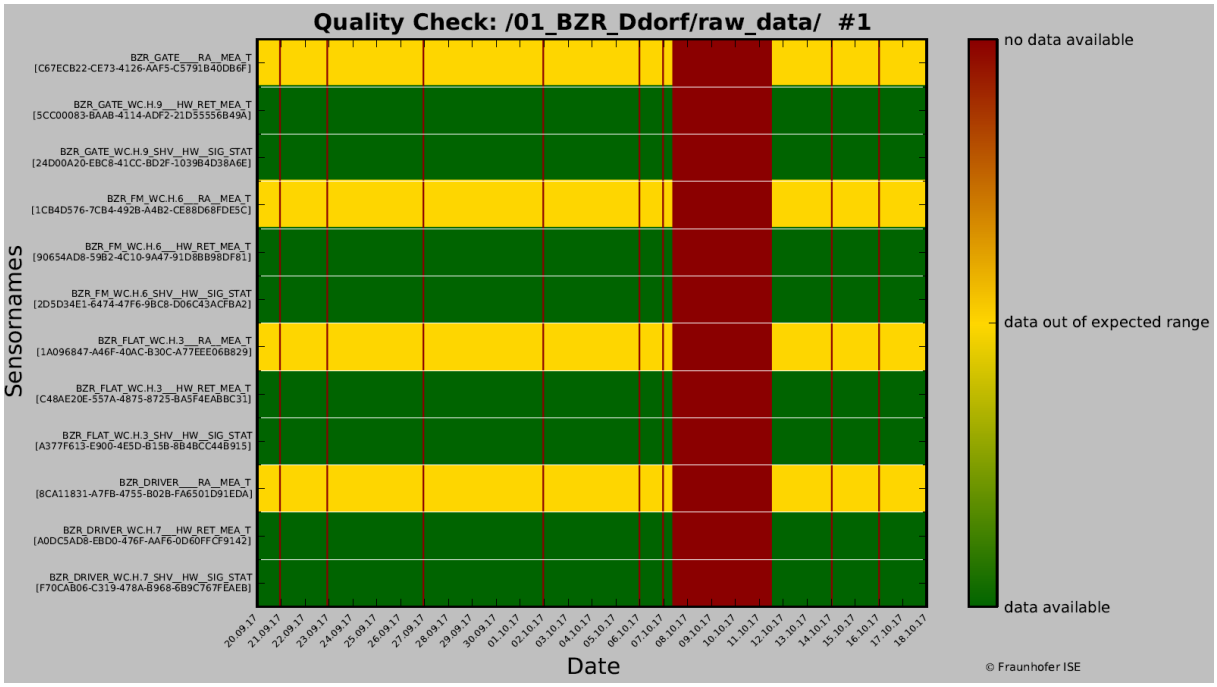


Abbildung 2.3-6: Visualisierung der Datenqualität beim Bezirksregierung Düsseldorf

2.3.6 Datenabruf und Datenverarbeitung bei Plenum

Die bei PLENUM erfassten Betriebsdaten werden in einer SQL-Datenbank abgelegt. Dabei gibt es für jedes Gebäude eine Tabelle mit Uhrzeit, Daten und weiteren Spalten für beschleunigten Zugriff auf individuell benötigte Zeit- oder Tagesdatensätze, z.B. nur Montage von 7 bis 9 Uhr. Zu jeder dieser Tabellen gibt es jeweils eine Informationstabelle, in welcher Meta-Informationen zu den Datenpunkten gespeichert sind. Neben den für die Organisation des Datenabrufs benötigten Informationen ist in diesen Tabellen folgendes enthalten:

- Kurz- und Langbezeichnung in deutsch und ggf. auf englisch
- Originale Datenpunktbezeichnung sowie die technische Adresse
- Einheiten und Umrechnungsfaktoren um die Daten automatisch in SI-Einheiten auslesen zu können
- Parameter für automatische Datenüberprüfung, sowohl der Wertebereich als auch die Art der Überprüfungen werden definiert

Somit ist es möglich, Daten automatisch mit Zusatzinformation verknüpft zur Weiterverarbeitung, d.h. zur Visualisierung und für Berechnungen, auszulesen.
Über die Definition von Sichten (das sind virtuelle Tabellen) kann auf berechnete Werte zugegriffen werden. In den Sichten werden für jedes Objekt die jeweils benötigten Rechenoperationen definiert. Als Beispiel sind Differenztemperaturen, -drücke, Wärmeleistungen, Ableitungen und gleitende Mittelwerte zu nennen. Auch die Aufbereitung für die Datenvisualisierung erfolgt in dieser Form. Für jede Sicht gibt es wiederrum eine Informationstabelle, die die oben genannten Punkte enthält.

Um auch auf rechenintensive Sichten mit akzeptablen Antwortzeiten zugreifen zu können, werden bei Bedarf persistente Sichten (MATERIALIZED VIEW) eingesetzt. Dabei erzeugt der Datenbankserver im Hintergrund eine Tabelle, welche die Ergebnisse der Berechnungen enthält, die dann performant abgerufen werden können. Nach jeder Änderung der zugrundeliegenden Datentabelle muss ein UPDATE der der persistenten Sichten ausgelöst werden, was bei der Firma Plenum einmal täglich, jeweils nach dem Laden der Daten des Vortags, erfolgt.

Die Daten der im Projekt OBSERVE erfassten Gebäude erfolgt täglich per HTTP GET Befehl von einem Server der IngSoft, damit zu Arbeitsbeginn die Daten des Vortags vorhanden sind. Dabei wird für jedes Gebäude zuerst in der Datenbank bei Plenum überprüft, welchen Zeitstempel der neuste vorhandene Datenpunkt hat. Dann wird versucht alle Daten seit diesem Zeitpunkt bis zur letzten Mitternacht abzurufen. Auf diese Weise werden Temporäre Datenausfälle automatisch nachträglich geladen. Für Objekte außerhalb des Projekts OBSERVEstehen weitere Schnittstellen zum Datenimport bereits. So können zyklisch exportierte Text- oder Tabellendateien abgerufen und eingelesen werden, ebenso werden per E-Mail bereitgestellte Daten automatisiert importiert werden. Daten von mobilen Messungen und anderen externen Quellen können in die gleiche Datenstruktur eingelesen werden und über Sichten mit den aus dem Gebäude gelieferten verknüpft werden.

Da GLT-Rechner üblicherweise Einzel-PCs und keine hochverfügbaren Server-Cluster sind, kommt es immer wieder zu Ausfällen, welche in Datenlücken resultieren. Ursachen können hier z. B. defekte Festplatten, unvollständiges Hochfahren nach einem

Stromausfall oder auch eine stark abfallende Performance mit zunehmendem Füllstand der internen Datenbank sein. Diese Probleme führen zu unterschiedlichen Arten von Datenlücken, für die mehrere Reparaturmethoden implementiert wurden:

1. Komplette Datenausfälle (fehlende Lieferung über einen Zeitraum) können mit „leeren Minuten“ kompensiert werden, wenn dies für die weitere Verarbeitung z. B. in Matlab erforderlich ist. Hierbei werden Zeilen eingefügt, die lediglich den Zeitstempel, aber keine Werte enthalten.

2. Kurze Ausfälle einzelner Werte können durch das Fortschreiben des letzten Wertes aufgefüllt werden. Diese Methode wird auch verwendet, wenn die Quelle Eventdaten liefert, d. h. nur dann einen Wert sendet, wenn sich dieser geändert hat.

3. Wenn von einem zu langsamen GLT-Rechner regelmäßig nicht alle Werte übertragen werden, kann auch auf lineare Interpolation zurückgegriffen werden, sofern die Lücken dadurch mit plausibleren Werten gefüllt werden.

Nach erfolgreichem Laden von Daten findet eine automatische Dateneingangskontrolle auf einem Server von Plenum statt. Die Grundlagen dieser Überprüfung werden im Arbeitspaket B.3, die konkrete Umsetzung in Arbeitspaket B.5 beschrieben.

Ursprünglich wurde der Fehlerfall bei der Dateneingangskontrolle als E-Mail-Alert realisiert, was sich aber aufgrund der hohen Zahl an Fehlalarmen als unpraktisch herausstellte. Auch das einführen des Status *inaktiv* für Datenpunkte deren Fehler nicht mehr gemeldet werden sollten verringerte die Menge an Fehlermeldungen nicht auf eine aufmerksam bearbeitbare Menge. Daher wurde eine Weblösung entwickelt, die zum einen immer den aktuellen Stand liefert und zum anderen eine Archivfunktion bietet. Zudem ist sie bei Bedarf allen Berechtigten zugänglich, nicht nur den ursprünglichen E-Mail Empfängern.

Die Eingangskontrolle besteht aus drei unabhängigen „Schichten“, welche zunehmend in die Tiefe gehen.

1. Der *Serverstatus* bietet eine grobe Übersicht auf einen Blick. Hier wird für jedes Gebäude angezeigt, ob aktuelle Daten verfügbar sind. Falls nicht, wird die Lücke in Tagen angezeigt, wobei zur leichteren Übersicht mit Ampelfarben codiert wird (grün = aktuell, orange = max. 3 Tage, sonst rot). Beim Datenbezug über IngSoft Interwatt wird differenziert angezeigt, wo die Lücke besteht. Da hier live auf die Datentabellen zugegriffen wird, ist nach etwaigem händisch ausgelösten Nachladen von Daten der neue Status sofort sichtbar.

2. Der *Tabellenstatus* liefert detailliertere Informationen, die von einem nach dem Laden der Daten ausgeführten Testservice in einer eigenen Datenbank abgelegt werden und daher auch historisch abrufbar sind. Angezeigt wird eine tabellarische Übersicht der Testergebnisse der letzten 7 Tage, aus der dann Detailseiten aufgerufen werden können. Für den Zugriff auf weiter zurückliegende Ereignisse kann der Zeitraum frei gewählt werden.

Geprüft werden:

a) Sensorausfälle, zu erkennen an fehlenden oder konstanten („ hängengebliebenen“) Werten. Da Sensorausfälle häufig vorkommen, wird in der Übersicht nur angezeigt, wieviel Prozent der Datenpunkte betroffen sind.

b) Grenzwertüberschreitungen. Hier wird analog zur o. g. Prozentzahl die Anzahl der Datenpunkte mit Grenzwertüberschreitungen angezeigt.

c) Geänderte Konstanten, z. B. eine manuell umkonfigurierte Solltemperatur. Hier wird ebenso die Anzahl der betroffenen Datenpunkte angezeigt.

   Welche Datenpunkte jeweils überprüft und welche Grenzwerte dabei ggf. herangezogen werden, wird in der zu jedem Objekt angelegten *Infotabelle* konfiguriert. Diese enthält für alle Datenpunkte u.a. Interne Bezeichnung, Klartextbezeichnungen, Technische Adresse, Einheit, SI-Einheit, Umrechnungsfaktor und Offset zur SI-Einheit, Frequenz, Skalierung, Active, Minimal- und Maximalwert für Grenzwertüberprüfung sowie Binärwerte ob das überschreiten der Grenzwerte oder Wertänderungen bzw. keine Wertänderungen innerhalb von 24 Stunden einen Fehler produzieren sollen.

3. Die Spalte *Monitoring* im Tabellenstatus zeigt die Ergebnisse der dritten Schicht, in welcher tiefere inhaltliche Tests durchgeführt werden. Diese Tests sind in einer eigenen *Monitoring-Verwaltung* konfigurierbar und werden ebenfalls nach dem Laden der Daten ausgeführt. Angezeigt wird die Anzahl der positiven Testergebnisse, welche als Fehler definiert sind. Das genaue Vorgehen zum Anlegen solcher Test ist in Arbeitspaket B.5 Kapitel 9.2 beschrieben.

Ein Klick auf die Zahl in der Tabelle öffnet eine *Detailseite*, auf der die jeweils betroffenen Datenpunkte einzelnd aufgelistet sind. Zu jedem Datenpunkt werden das Kürzel, der Langname und testspezifische Details angezeigt: Wenn ein Datenpunkt „hängengeblieben“ ist, auf welchem Wert? Wenn Grenzwerte überschritten wurden, wie oft? Dies hilft dem Nutzer So kann der Nutzer oft direkt beurteilen, ob Handlungsbedarf besteht.

Aus der *Detailseite* wird für einen effizienten Workflow direkt in andere Bereiche verlinkt. So kann der Nutzer direkt

- den Chart eines Einzelwerts im Datenviewer anzeigen,
- mehrere Werte (durch Checkboxen wählbar) gemeinsam im Datenviewer anzeigen, mit optionaler Zuordnung zu einer zweiten Y-Achse um z. B. Temperaturen und Drücke gemeinsam betrachten zu können und
- ein Ticket zur weiteren Bearbeitung des Fehlers erstellen, wobei die relevanten Informationen automatisch vorausgefüllt werden: das betroffene Gebäude, Datum und Art des Fehlers sowie die betroffenen Datenpunkte. Bei Monitoring-Fehlern wird auch ein Link zur Testdefinition in der Monitoring-Verwaltung beigefügt. Das Ticketsystem wird in Arbeitspaket B.5 Kapitel 9.2.4 näher erläutert.

2.4 Bilanzierung

Zur Dokumentation der im Rahmen des Forschungsvorhabens getroffenen Maßnahmen ist eine fortlaufende Bilanzierung bestimmter Kennzahlen unabdingbar. Die Auswahl der für zu bilanzierenden Kennzahlen hängt von den jeweiligen Objekten und den geplanten Maßnahmen ab. So ist eine Bilanzierung des gesamten Wärmeverbrauchs nur dann zweckmäßig, wenn Maßnahmen zur Senkung des selbigen getroffen werden sollen. In Objekten, bei denen die Herstellung eines akzeptablen Nutzungskomforts im Zentrum steht, macht ggf. nur die Bilanzierung von zu energetisch zu optimierenden Anlageteilen Sinn.

Neben der Witterungskorrektur von Verbräuchen auf Jahres- und Monatsebene ist die Entwicklung und Bewertung von Algorithmen, welche eine Bilanzierung von kürzeren Zeiträumen ermöglichen, vorgesehen. Hierzu werden in der Bilanzierung zusätzliche Informationen, wie z.B. Nutzungszeiten, berücksichtigt. Ziel ist eine schnellere Quantifizierbarkeit des Nutzens von bestimmten Maßnahmen als dies mit herkömmlichen Methoden möglich ist.

Die Möglichkeiten zur Bilanzierung sind beschränkt durch die zur Verfügung stehenden Zähler, welche in Kapitel 2.2 für alle Demonstrationsobjekte beschrieben wurden. Die Betreiber der Gebäude waren in vielen Fällen nicht bereit fernauslesbare Zähler zu verbauen, da diese der Dokumentation und Bilanzierung einzelner Maßnahmen dienen, was in der Regel dem Nutzer zugute kommt.

Von IngSoft lag uns zu Redaktionsschluss kein Beitrag zur Weiterentwicklung von Bilanzierungsmethoden vor.

2.5 Visualisierung des Betriebs

Zum laufenden Monitoring, der Fehleranalyse sowie der Unterstützung der Gebäudebetreiber wurden durch die Firma Plenum zwei Methoden der grafischen Datenaufbereitung auf einem Webserver verwendet und weiterentwickelt. Zum einen gibt es für jedes Objekt vordefinierte Grafiken, welche eine schnelle Übersicht über Erzeugung, Verteilung und Verbraucher bieten. Diese sind leicht zu verwenden und daher den Gebäudebetreibern zur Verfügung gestellt; sie werden in Kapitel 2.5.1.1 beschrieben. Für spezifischere ausführlichere Analyse ist der direkte Zugriff auf einzelne Datenpunkte notwendig, was mit der in Kapitel 2.5.1.2 beschriebenen Methode für fachkundiges Personal möglich ist.

2.5.1 Online Monitoring

2.5.1.1 Vordefinierte Grafiken

Zur manuellen Prüfung der Betriebsdaten wurde bei PLENUM eine Webseite entwickelt, auf der die Betriebsdaten grafisch dargestellt werden. Die Daten werden strukturiert ausgegeben. Für jedes Gebäude bzw. jeden Gebäudekomplex können Bereiche vergeben werden, in denen Teilsysteme und Komponenten dargestellt sind. Die Einteilung ist individuell, folgt aber nach Möglichkeit einem festgelegten Muster. Die Bereiche sind:

- Wärmeerzeugung
- Wärmeverteilung
- Wärmenutzung
- ggf. Kältebereich
- ggf. Strom- und Wasserzähler
- ggf. Klimadaten

Für den Fall, dass es viele Daten zu einzelnen Teilsystemen gibt, wird für diese ein eigener Bereich definiert, z.B. einer für die Lüftungsanlagen.
Jeder Bereich ist in unterschiedliche Seiten eingeteilt. In diesen werden einzelne Komponenten und Teilsysteme in grafischer Form abgebildet. So kann für die Wärmeerzeugung beispielsweise eine Seite für BHKWs und eine für Gaskessel definiert werden. In der Wärmenutzung können z.B. Seiten für Verbraucher nach Stockwerken oder Gebäudeteilen sortiert angelegt werden oder nach Art der Verbraucher wie Warmwasserbereiter, Lüftungsanlagen etc.
Auf den einzelnen Seiten ist der Betrieb der Komponenten und Teilsysteme in einer oder mehreren Grafiken visualisiert. Je nach Objekt sind 30% bis 100% der verfügbaren Datenpunkte in Grafiken eingebunden. Die Benutzeroberfläche ist in Abbildung 2.5.1.1 abgebildet. Sie enthält auch weitere Schaltflächen in denen Statusseiten und weitere Funktionen verlinkt sind und kann wie folgt genutzt werden [1]:

1 - Auswahl des Objekts
Nach dem Login muss zuerst das zu bearbeitende Gebäude ausgewählt werden.
2 - Link zu Anlagenbildern
Hier gelangt man zu hinterlegten Hydraulikschemata und anderen auf dem Server hinterlegte Schaubildern. Die Nummern der Datenpunkte sind dort eingetragen.
3 - Notizen
Die Notizseite dient dem Informationsaustausch zwischen PLENUM und dem Betreiber sowie der Dokumentation von Eingriffen.
4 - Schnellauswertung
Schnellauswertung bzw. Übersicht über den Betriebszustand der Gebäudetechnik. Es können individuell für das Gebäude hinterlegte Zeitreihen-Scatter und Carpetplots in Tages, Wochen, Monats und Jahresansicht dargestellt werden.
Die Auswertung ist in die Bereiche Wärmeerzeugung, Wärmeverteilung und Wärmenutzung aufgeteilt. Je nach Anforderung können weitere Kategorien, wie z.B. Kälte oder Komfort, hinzugefügt werden.
5 - Serverstatus
Stand des Datenabrufs.
6 - Übersicht gefundene Fehler
Tabelle mit den gefundene Fehlern.
7 - Anlegen von Regeln
Anlegen von individuellen Regeln.
8 - Erzeugen individueller Grafiken
Es können Zeitreihenplots mit bis zu 2 y-Achsen sowie Scatterplots beliebiger Datenpunkte erzeugt werden. Die Datenpunkte können per Freitext-Suche ausgewählt werden.

Zeitreihenplots, sind bei PLENUM der am häufigsten verwendete Grafiktyp mit einem Anteil von etwa 82 %. Der Anteil von **Streudiagrammen** liegt bei etwa 12 %, **Rasterdiagramme** werden seltener verwendet und haben einen Anteil von etwa 6 %.
Die Länge des betrachteten Zeitraums kann für alle Grafiken in folgenden Schritten gewählt werden: 1 Tag, 7 Tage, 30 Tage, 365 Tage (Tag, Woche, Monat, Jahr). Diese

Unterteilung hat sich für alle Grafiktypen bewährt. Bei der Wahl von einem Tag werden alle Datenpunkte eingelesen und dargestellt, bei längeren Zeiträumen werden nur jeder x.te Datenpunkt geladen und angezeigt. Die Länge von x richtet sich nach der Grafikgröße bzw. Anzahl der verfügbaren Pixel. Der Verzicht auf eine Mittelung erhöht dabei zum einen die Geschwindigkeit der Datenbankabfrage, zum anderen besteht eine gewisse Chance Ausreißer zu erkennen, welche Anderenfalls durch die Mittelung verschwinden.

2.5.1.2 Individuelle Grafiken

Für individuelle Auswertungen und für die Betrachtung von frei wählbaren Zeitabschnitten wurde ein Anzeigewerkzeug entwickelt, in dem Grafiktyp, Zeitabschnitt und zu verwendende Datenpunkte frei gewählt werden können. Der Wertebereich für x- und y-Achse ist frei definierbar und wird automatisch gesetzt falls keine explizite Auswahl getroffen wird. Nach Erzeugung der Grafik kann diese für Dokumentationszwecke gespeichert werden. In Zukunft sollen so erstellte Grafiken mit einer Favoritenfunktion gespeichert werden können um bei Bedarf schnellen Zugriff zu haben.

Mit einer Exportfunktion können die Rohdaten für die Weiterverarbeitung in Excel im CSV-Format ausgegeben werden.

Das Bedienfeld zur Erstellung individueller Grafiken ist in Abbildung 2.5-1 dargestellt und kann wie folgt genutzt werden [1]:

Abbildung 2.5-1: Bedienfeld zur Erstellung individueller Grafiken

1 - Auswahl der Tabelle
Auswahl der Datentabelle.
2 - Schaltbild
Link zum dazugehörigen Hydraulikschema mit nummerierten Datenpunkten.
3 - Datumsauswahl
Auswahl des Start- und Endzeitpunkts. Bei klick auf die Felder öffnet sich ein Menü zur Datumseingabe. Die grünen Pfeile links und rechts vom dem Eingabeboxen dienen dem Verschieben des Zeitfensters um die Länge des gerade ausgewählten Zeitraums.
4 - primäre Y-Achse
Durch Texteingabe kann hier nach Datenpunkten gesucht werden. Im Zweifelsfall können die Nummern der Datenpunkte im Hydraulikschema nachgeschaut werden.
5 - sekundäre Y-Achse oder X-Achse
Siehe 4
6 - Liniengrafik erzeugen
Ein Klick auf diesen Button erzeugt einen Zeitreihenplot der in 4 und 5 Ausgewählten Datenpunkte. Es muss mindestens ein Datenpunkt in 4 als primäre y-Achse ausgewählt werden.
7 - Scatterplot erzeugen

Ein Klick auf diesen Button erzeugt ein Streudiagramm / Scatterplot. Dazu muss in 4 und 5 jeweils genau ein Datenpunkt ausgewählt sein.

8 - Export von CSV-Dateien

Für die Auswertung der Messdaten in externen Programmen wird durch klick auf diesen Button eine CSV-Datei mit den Rohdaten erzeugt und zum Download angeboten.

9 - Zeitauflösung

Hier kann das Zeitraster für den CSV-Export eingegeben werden.

10 - Anzeigen der Rohdaten im Browser.

11 - Einschränkung des anzuzeigenden Wertebereichs

2.5.1.3 Weitere Funktionen

Für jedes Objekt sind die verfügbaren Schemata mit Zuordnung der Datenpunkte eingebunden um einen schnellen Zugriff auf diese häufig benötigte Information zu haben.

Außerdem wurde eine Notizfunktion eingerichtet, in der Nutzer Hinweise zu Fehlfunktionen, Handeingriffe und Änderungen der Anlage eintragen können. Bei den Nutzern welche diese Funktion verwendet haben erwies sich dies in vielen Fällen als große Hilfe bei der Fehleranalyse.

2.5.2 Implementierung einer Schnittstelle zur Datenbank in MATLAB (HAW)

Der Measurement Viewer ist ein Tool, welches an der HAW für die Visualisierung von Messdaten entwickelt wurde, welche in einer Datenbank abgelegt sind und bildet die Schnittstelle zwischen dem Nutzer und der Datenbank. Auch das Herunterladen eines Datensatzes von der Datenbank und anschließende lokale Speichern ist mit diesem Tool möglich. Die Entwicklung des Tools erfolgte im Vorgängerprojekt ModQS. Im Rahmen des Projektes OBSERVE wurde der Measurement Viewer in seiner Funktionalität weiterentwickelt und an die Projektbedürfnisse angepasst. Die Weiterentwicklung erfolgte mit der Unterstützung von Hilfswissenschaftlern und wurde mit der Programmierumgebung MATLAB realisiert. Die grafische Nutzeroberfläche ist in Abbildung 2.5-2 dargestellt. Die angeschlossene Datenbank wird von dem Projektpartner IngSoft GmbH verwaltet, welcher für die Datenverarbeitung und deren Bereitstellung im Rahmen des Projektes verantwortlich ist. Von der Datenbank können die Demonstrationsgebäude, sowie die dazugehörigen Datenpunkte, die in diesem Projekt zur Verfügung stehen, abgerufen werden. Mit Hilfe dieser Listen kann der Nutzer ein Gebäude auswählen und anschließend aus der Datenpunktliste, den Messpunkt bzw. die Messpunkte auswählen, welche er visualisieren oder herunterladen möchte. Die Visualisierung der Daten erfolgt für einen festgelegten Zeitbereich, welchen der Nutzer durch die Vorgabe eines Start- und Enddatums auswählt. Es können ein oder mehrere Datenpunkte gleichzeitig visualisiert werden, um diese untereinander zu vergleichen.

Das Herunterladen der Messdaten erfolgt jahresweise. Dabei können gleichzeitig mehrere Datenpunkte ausgewählt und heruntergeladen werden. Die heruntergeladenen Daten werden in dem Dateiformat .mat von MATLAB lokal abgelegt, sodass diese für die weitere Verwendung in MATLAB zur Verfügung stehen. Es werden die einzelnen Messwerte und die entsprechenden Zeitstempel gespeichert, sowie weitere Informatio-

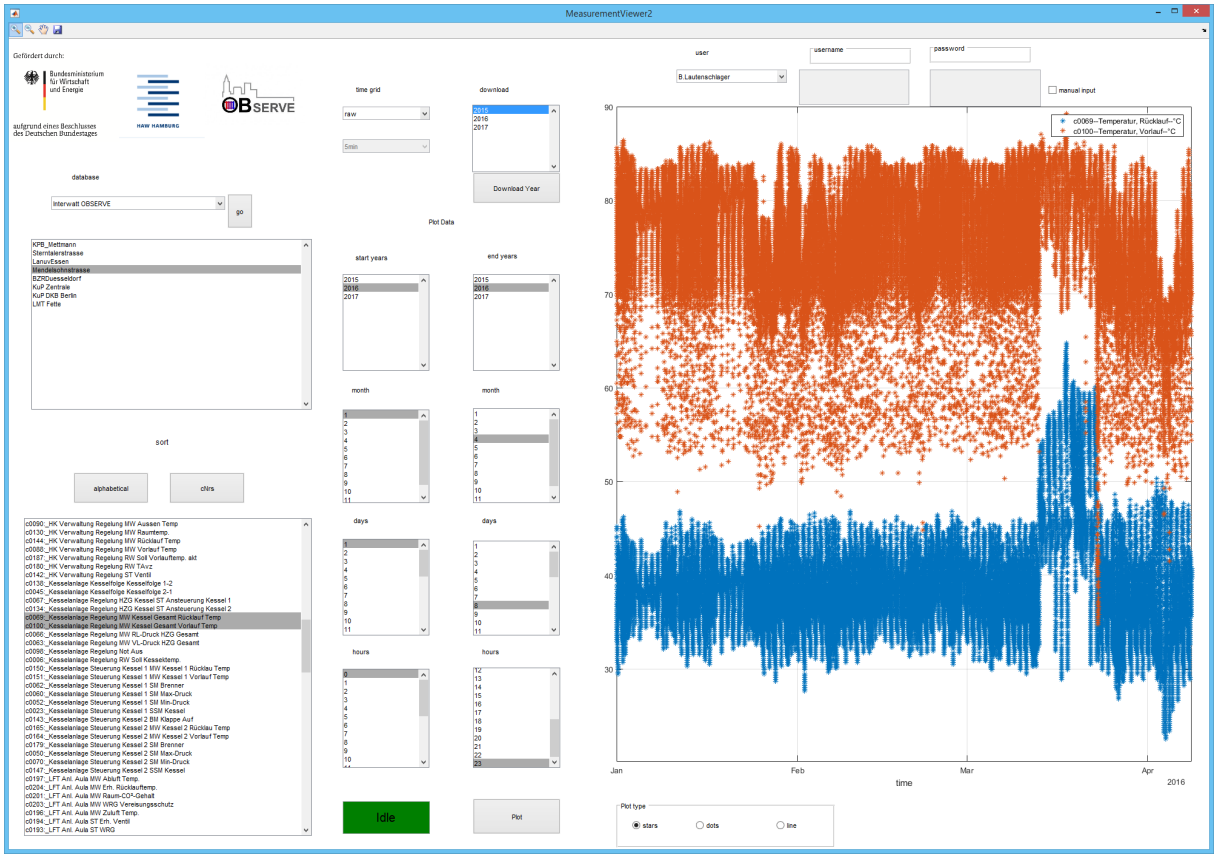


Abbildung 2.5-2: Grafische Benutzeroberfläche: Measurement Viewer

nen zu diesem Datenpunkt, wie die Einheit der Messgröße, der Name der Messgröße oder die Datenpunkt-ID.

Zusammengefasst dient der Measurement Viewer als Schnittstelle zur Datenbank und stellt dem Nutzer eine übersichtliche grafische Oberfläche zur Verfügung, mit der sich die Datensätze visualisieren oder jahresweise herunterladen lassen, um diese lokal auf der Festplatte zu speichern.

Literaturverzeichnis

[1] SEWE, E. ; HARMSEN, P.: *Fehlererkennung und Diagnose gebäudetechnischer Anlagen*. Workshop OBSERVE - Nichtwohngebäude energieeffizient betreiben, 2017

Anhang

A Bericht über die Überprüfung der Durchflussmessungen in der LMT-Group Schwarzenbek vom 4. Februar 2016

A.1 Motivation der Überprüfung

Bei Analysen der Durchflussmessungen ergeben sich Unstimmigkeiten welche sich am plausibelsten durch fehlerhafte Durchflussmessungen erklären lassen. Beispiele sind der Durchfluss in Halle 5, der den Durchfluss- und Temperaturmessungen zufolge zeitweilig negativ ist. Der Temperaturverlauf zeigt dabei keinerlei Auffälligkeiten, lediglich der Durchfluss wird zeitweilig negativ gemessen und führt damit zu einer errechnetet Einspeisung was bei den Verbrauchern in Halle 5 jedoch ausgeschlossen werden kann. Dieser Sachverhalt ist exemplarisch in Abbildung A-3 dargestellt. Hinzu kommt, dass die Vorlauftemperatur bei einer Flussumkehr zur Rücklauftemperatur wird und somit einbrechen müsste. Dies ist nicht zu erkennen. Außerdem wird auf dem Verteiler im gesamten gezeigten Zeitraum ein positiver Differenzdruck gemessen.

Diese Beobachtung rechtfertigt die Annahme, das mindestens einen Offset-Fehler in der Volumenstrommessung des Abgangs Halle 5 von der Ringleitung vorliegt.

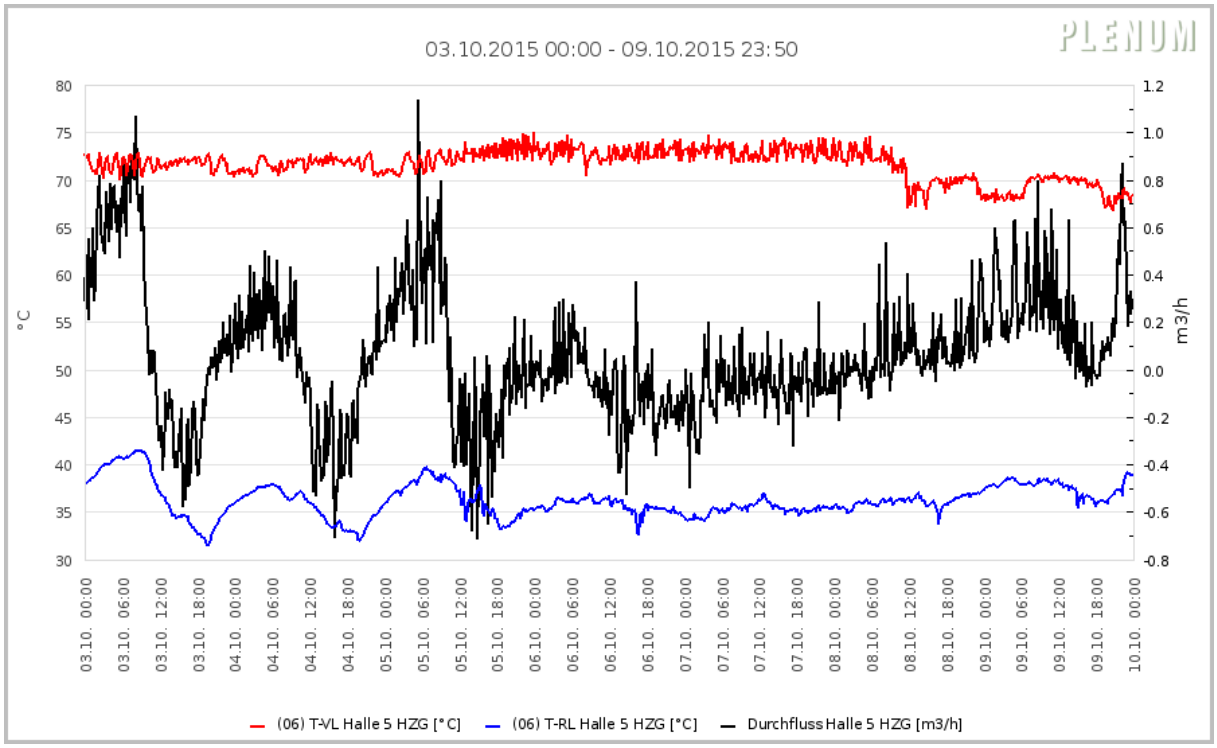


Abbildung A-3: Zeitweise negativer Durchflusswerte des Abgangs Halle 5 von der Ringleitung.

Da auch bei anderen Durchflussmessungen unplausible Werte gemessen werden, wurde beschlossen, eine Überprüfung aller Durchflussmessungen vorzunehmen, um eine realistische Einschätzung der Qualität der Messdaten zu erhalten. Dies ist sowohl zur Analyse von Betriebsfehlern als auch für von quantitative Aussagen sowie zur Modellbildung und Überprüfung notwendig.

A.2 Vorgehen

A.2.1 Kurzzeitmessungen Im Rahmen von drei Vor-Ort Terminen wurden bei allen Messstellen eine kurzzeitige Vergleichsmessung zwischen den fest installierten TFX Ultra der Firma Badger Meter und einem mobilen Messgerät Fluxus F601 der Firma Flexim vorgenommen. Dabei wurden auf den Displays abgelesene Momentanwerte in einem Messprotokoll festgehalten. Um die Messwerte bei unterschiedlichen Durchflüssen vergleichen zu können, wurde, falls möglich, der Durchfluss während der Messung sukzessive gedrosselt.

Wichtig zu beachten ist, dass die Messungen bei instationären Werten systematisch abweichende Messwerte liefern, da die Dämpfung unterschiedlich berechnet wird. Dies wirkt sich negativ auf die Vergleichbarkeit der Messwerte aus, da die Durchflüsse während der Begehung teilweise schnellen Veränderungen unterlagen.

A.2.2 Langzeitmessungen Zusätzlich zu den Kurzzeitmessugen wurden an drei Messstellen Langzeitmessungen über mehrere Tage durchgeführt, bei denen die aus der GLT abgerufenen Daten der fest installierten TFX Ultra mit mobilen Durchflussmessungen von Messgeräten des Typs Fluxus ADM 6725 verglichen wurden. Vor Messbeginn wurde die Uhrzeit der Fluxus Messgeräte überprüft und vor dem Vergleich und der Berechnung der Ausgleichsgraden die zeitliche Verschiebung über 300 Sekunden mit der geringsten Abweichung ermittelt.

A.3 Messergebnisse

Aufgrund von zahlreichen Erfahrungen und Vergleichmessungen mit dem mobilen Messgerät Fluxus F601 werden die Messwerte dieses Geräts von uns als als äußerst genau, und im Rahmen dieser Vergleichsmessung als korrekte Referenzwerte betrachtet.

A.3.1 Einspeisung Verwaltung Die Messwerte der Einspeisung Verwaltung liegen um ca. 5 % unter den tatsächlichen Werten. Dies wird im Rahmen der Messgenauigkeit als hinreichend genau betrachtet.

A.3.2 Einspeisung Halle 6 Die von dem fest installierten TFX Ultra in der Einspeisung Halle 6 gemessenen Werte weichen erheblich von der Vergleichsmessung mit dem Fluxus F601 ab. In Abbildung A-4 sind die gemessenen Werte zusammen mit einer Ausgleichsgeraden dargestellt. Die von dem fest verbauten Messgeräten des

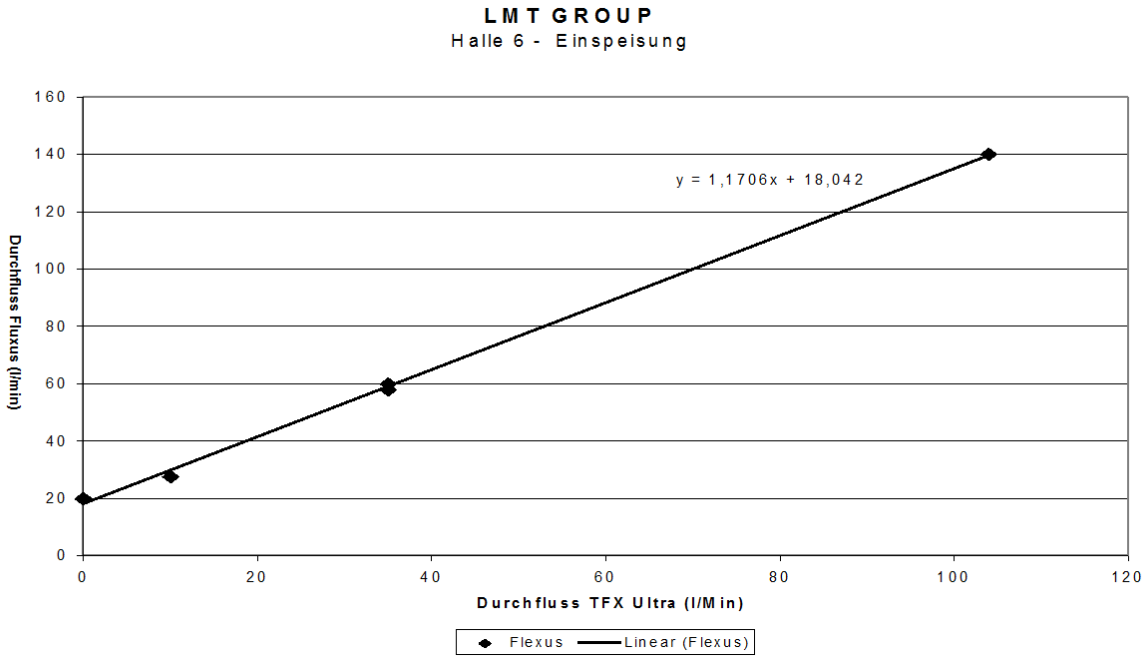


Abbildung A-4: Abweichung der Messwerte des TFX Ultra von den Werten der Referenzmessung mit dem Fluxus F601.

Typs TXF Ultra gemessenen Werte weichen deutlich von den tatsächlichen Werten ab. Es gibt einen Offset Fehler von ca. 20 l/min sowie eine Abweichung in der Steigung von ca. 17 %. Die genauen Werte sind der Abbildung zu entnehmen. Das TFX Ultra scheint nicht kalibriert zu sein, die von uns ermittelten Werte werden als zuverlässig betrachtet, da sich der Volumenstrom an dieser Messstelle relativ konstant einstellen ließ und das Problem der unterschiedlichen Dämpfung der beiden Messgeräte somit zu vernachlässigen ist.

A.3.3 Einspeisung Kompressoren In der Einspeisung der Kompressoren werden in der Anlage ca. 3-5% größere Werte gemessen als in unserer mobilen Vergleichsmessung. Zu dem ebenfalls vor Ort verbauten WMZ ist die Abweichung noch kleiner. Dies wird im Rahmen der Messgenauigkeit als ausreichende Genauigkeit gewertet.

A.3.4 Verwaltung nach Halle 2 Die in Abbildung A-5 gezeigten Messergebnisse deuten auf eine nicht erfolgte Kalibrierung der Messstelle hin.

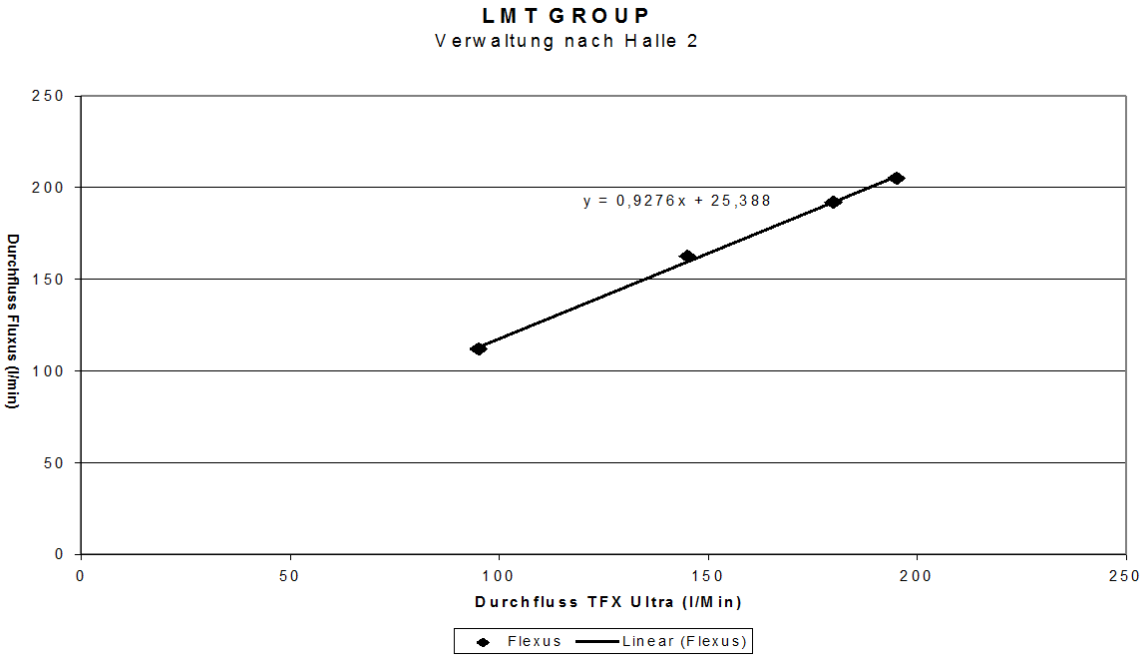


Abbildung A-5: Abweichung der Messwerte des TFX Ultra von den Werten des Fluxus F601.

A.3.5 Verwaltung nach Halle 5 Bei dem Abgang der Ringleitung aus der Heizzentrale Verwaltung in Richtung Halle 5 wurden sowohl Kurz- als auch Langzeitmessung durchgeführt. Die Darstellung der Messergebnisse der Kurzeitmessung in Abbildung A-6 legt die Vermutung einer linearen Abweichung von den tatsächlichen Durchflüssen nahe. In Abbildung A-7 ist ein Ausschnitt aus der Langzeitmessung gezeigt. Hier ist klar ersichtlich, dass eine Korrektur der Messwerte mit den in der Langzeitmessung ermittelten Faktoren zu plausiblen Messergebnissen führt.

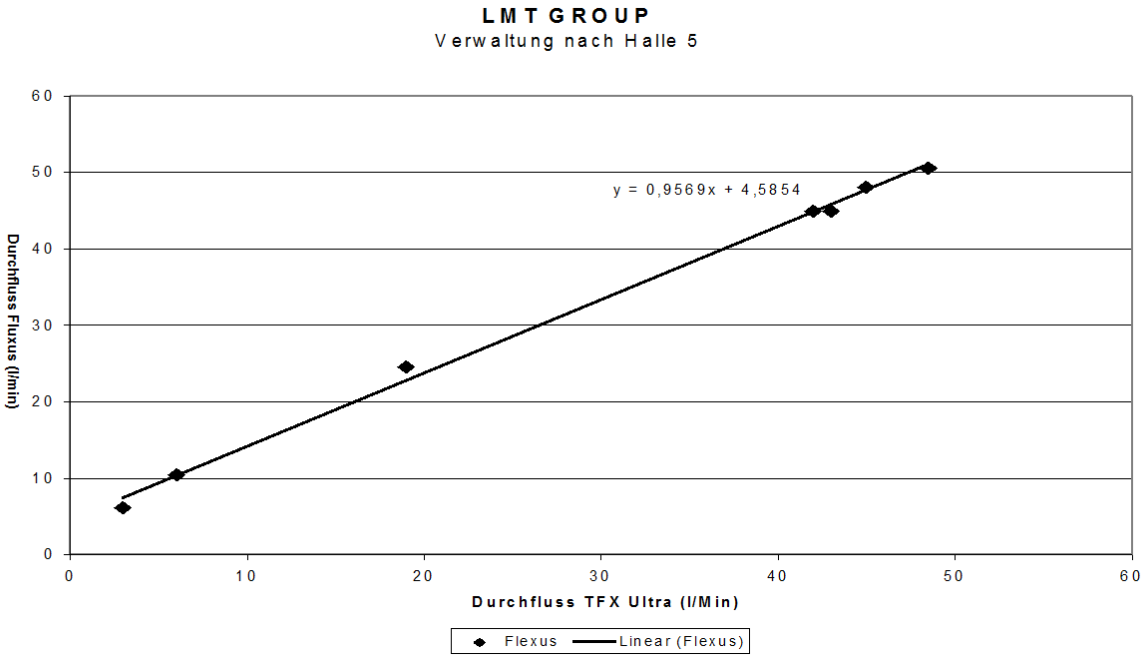


Abbildung A-6: Abweichung der Messwerte des TFX Ultra von den Werten der Referenzmessung mit dem Fluxus F601.

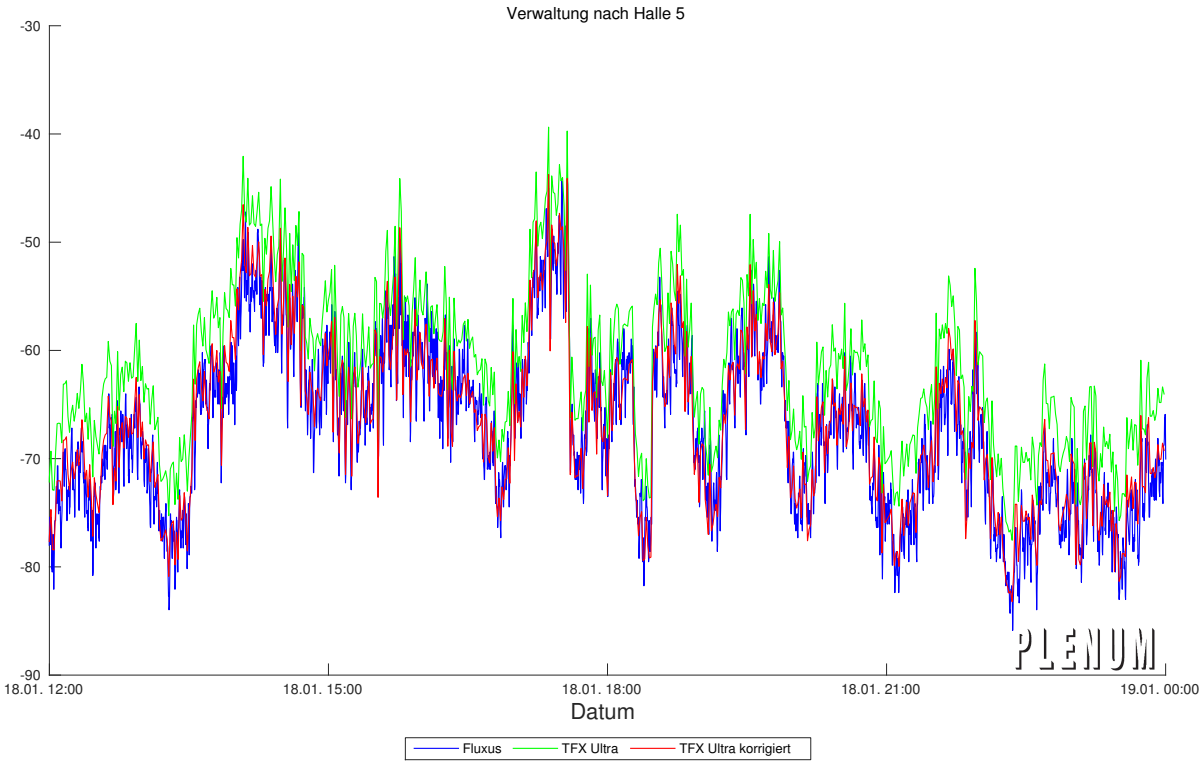


Abbildung A-7: Abweichung der Messwerte des TFX Ultra von den Werten der Referenzmessung mit dem Fluxus F601. Die Messung wurde vom 15.-18.01.2016 durchgeführt.

A.3.6 Halle 2 nach Halle 7 Bei der Messstelle der Ringleitung Halle 2 nach Halle 7, in Halle 7, wurden sowohl eine Kurz- als auch eine Langzeitmessung durchgeführt. Die Darstellung der Messergebnisse der Kurzeitmessung in Abbildung A-8 legt wie auch die vorangegangenen Messungen die Vermutung einer linearen Abweichung von den tatsächlichen Durchflüssen nahe. In Abbildung A-7 ist ein Ausschnitt aus der Langzeitmessung gezeigt. Auch hier wird deutlich, dass eine Korrektur der Messwerte des TFX Ultra mit den in der Langzeitmessung ermittelten Faktoren zu plausiblen Messergebnissen führt. Die kleinere Schwankungsbreite des korrigierten Signals ist darauf zurück zu führen, dass die minütliche Aufzeichnung der Messwerte in der Anlage den tatsächlichen Strömungsverhältnissen nicht gerecht wird. Dies wird teilweise durch die hohe Dämpfung kompensiert, wodurch jedoch die maximalen Amplituden aus dem Signal herrausgerechnet werden.

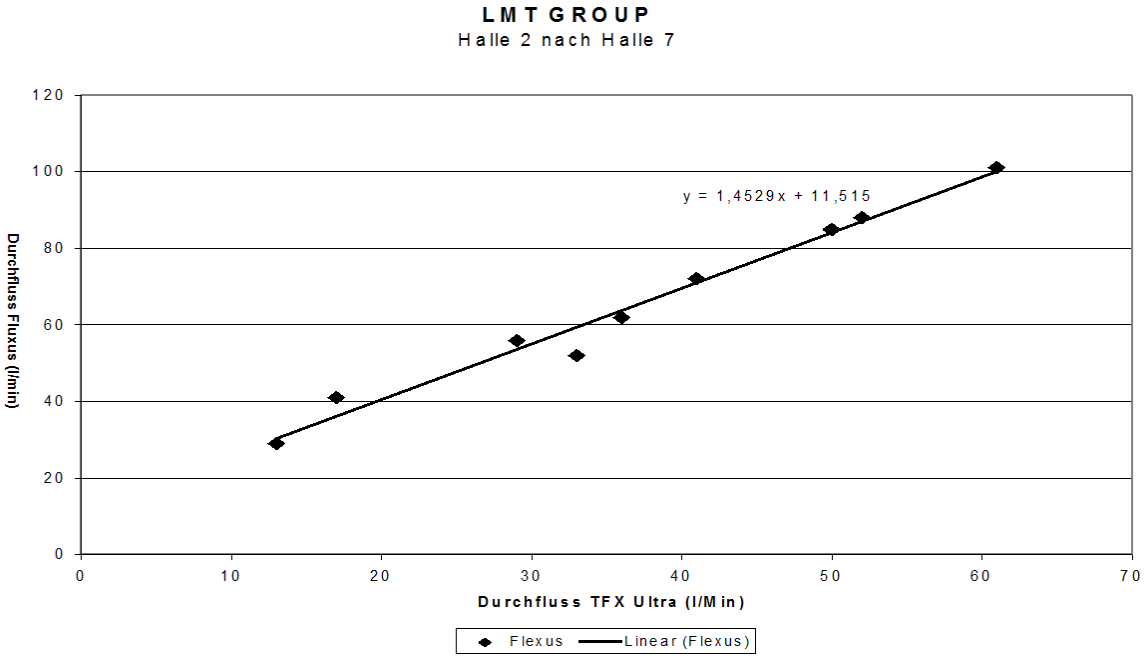


Abbildung A-8: Abweichung der Messwerte des TFX Ultra von den Werten der Referenzmessung mit dem Fluxus F601.

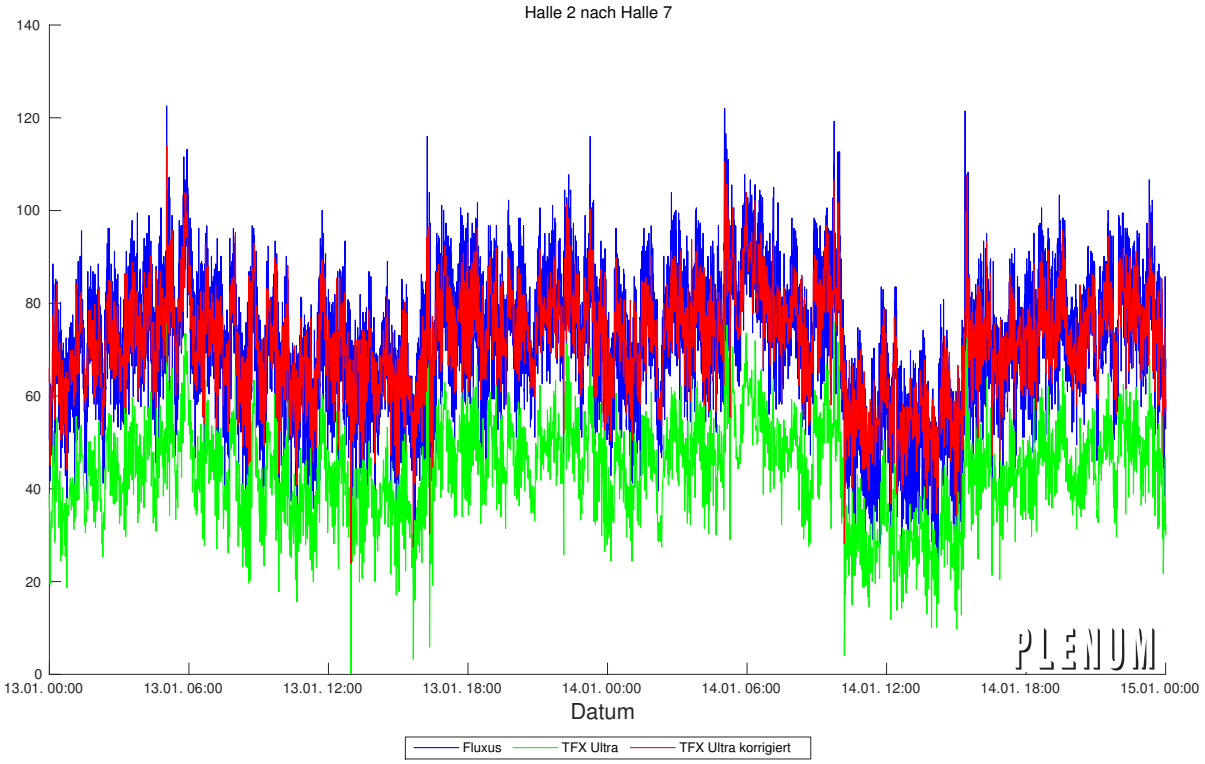


Abbildung A-9: Messergebnisse der Langzeitmessung. Die korrigierten Messwerte (rot) liegen nah an den tatsächlichen Messwerten (blau).

A.3.7 Halle 6 nach Halle 7 Die vom TFX Ultra gemessenen Werte lagen wärend der Begehung um ca. 5-8 % unter den den Werten unserer Referenzmessung mit dem Fluxus F601.

A.3.8 Halle 6 nach Halle 8 Die Messergebnisse der Messstelle an der Ringleitung streuen stark um die Linearisierung. Dies ist auf die stark wechselnden Durchflüsse während der Vergleichsmessung was zusammen mit den unterschiedlichen Methoden der Dämpfungsberechnung zu systematischen Differenzen in den ermittelten Werten führt. Die in Abbildung A-10 gezeigte Linearisierung ist daher nur als grobe Schätzung zu verstehen und kann von den tatsächlichen Werten deutlich abweichen.

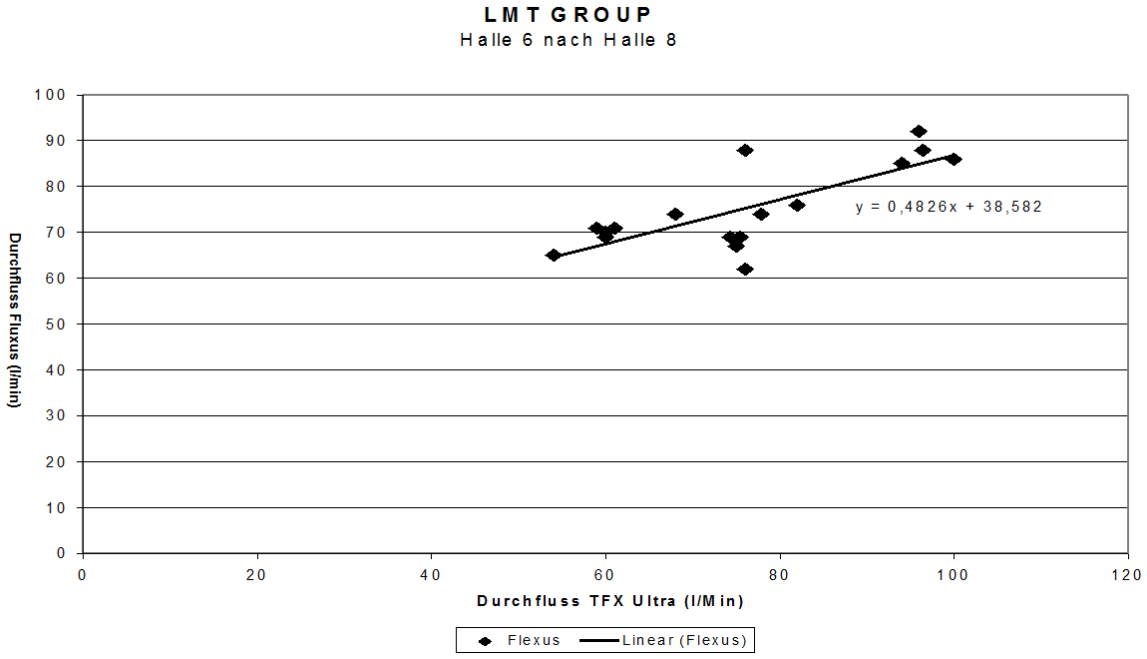


Abbildung A-10: Abweichung der Messwerte des TFX Ultra von den Werten der Referenzmessung mit dem Fluxus F601.

A.3.9 Halle 7 nach Halle 3 Der Durchfluss am Abgang vom Verteiler Halle 7 in Richtung Halle 3 unterliegt so starke Schwankungen, dass während der Begehung auf einen Vergleich der Momentanwerte verzichtet wurde, da die unterschiedlichen Methoden der Dämpfungsberechnung an den beiden Messgeräten einen aussagekräftigen Vergleich bei derart starken Schwankungen unmöglich macht. Das Ausmaß der Schwankungen ist in Abbildung A-12 gut zu erkennen. Selbst die in blau dargestellte Messung des Fluxus Messgeräts welche mit einer Samplingrate von 10 Sekunden aufgezeichnet wurde ist nicht im Stande die tatsächlichen Verhältnisse akkurat abzubilden. Die über die GLT minütlich abgerufenen Daten des TFX Ultra können dies noch weniger und stellen eine noch stärkere Mittelung über den Messbereich dar. Trotz dieser Problematik liegen die korrigierten Messwerte des TFX Ultra deutlich näher an den durch die Vergleichsmessung ermittelten Werten, was insbesondere in dem in Abbildung A-11 Zweitagesausschnitt deutlich wird.

Abgesehen von den Problemen welche die stark schwankenden Volumenströme für die Messung darstellen ist dies auch ein Hinweis auf Probleme bei den Verbrauchern, da der Volumenstrom über den gesamten Messzeitraum von drei Tagen ähnlich stark schwankt wie in Abbildung A-12 für einen zweistündigen Ausschnitt gezeigt ist. Bei sachgemäßer Regelung und funktionierender Hydraulik sollten in einem Heizungssystem deutlich gleichmäßigere Volumenströme auftreten.

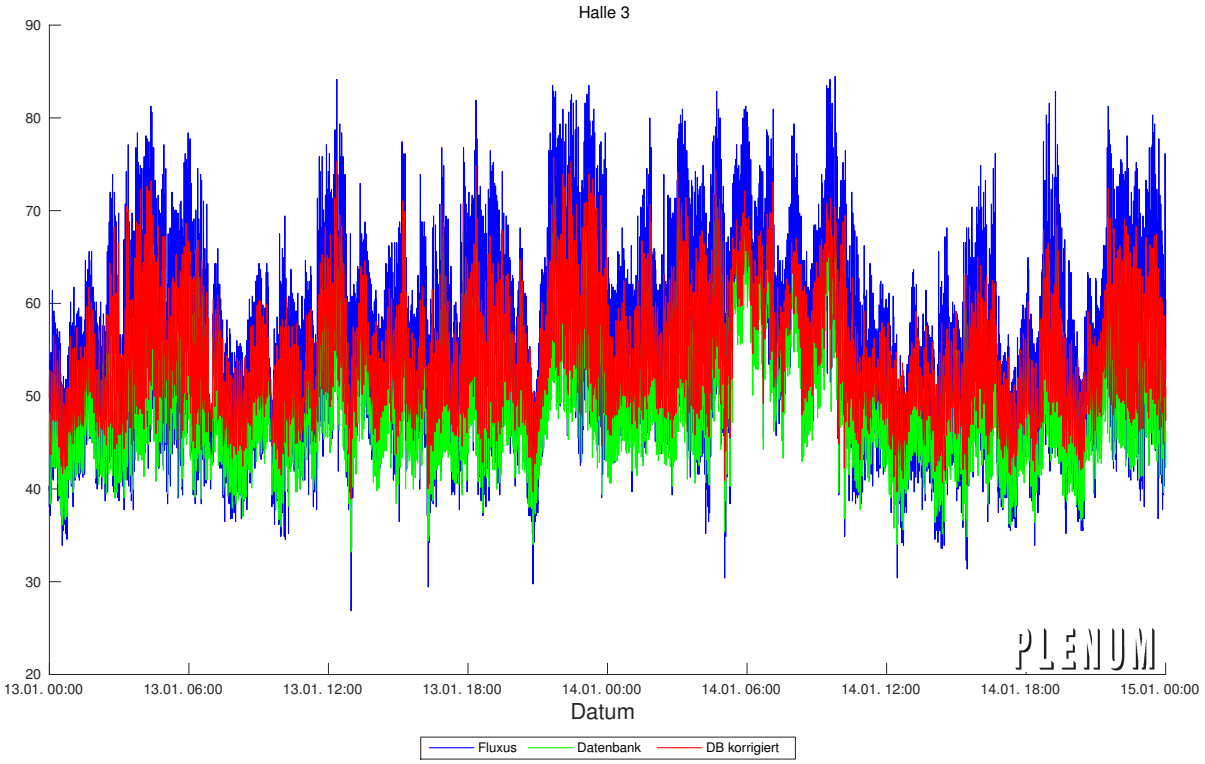


Abbildung A-11: Abweichung der Messwerte des TFX Ultra von den Werten der Referenzmessung mit dem Fluxus F601.

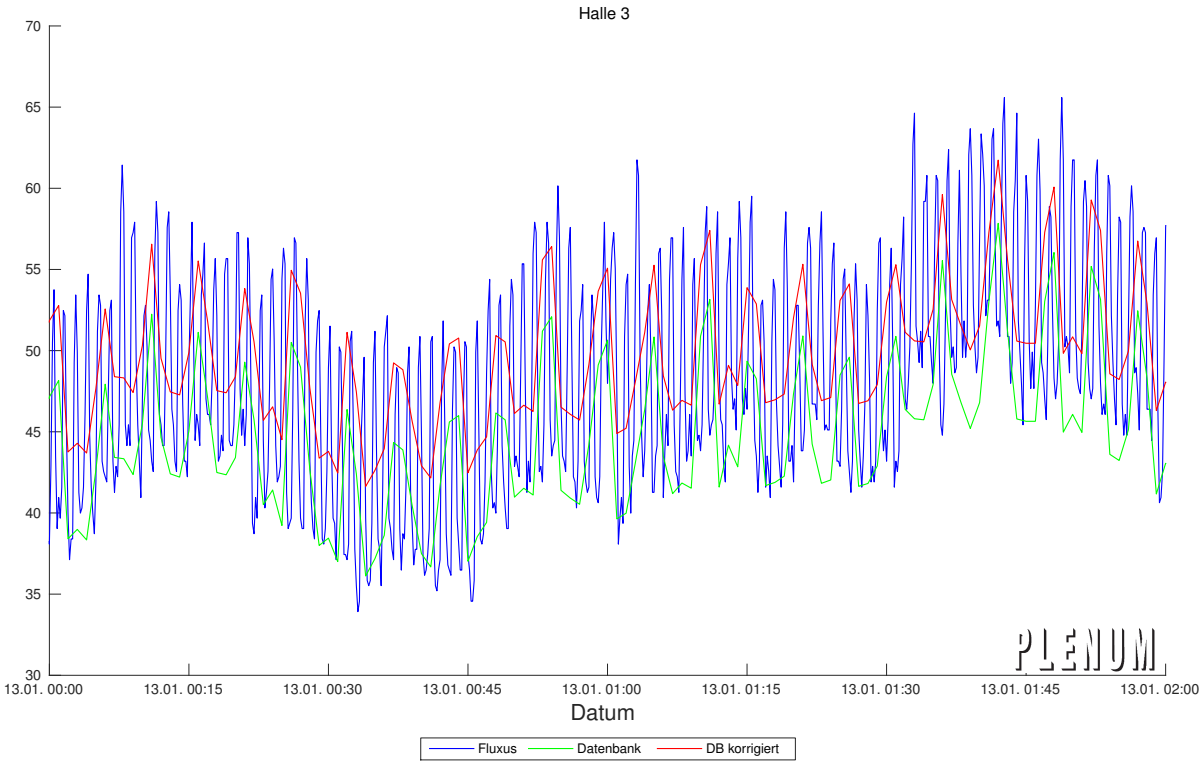


Abbildung A-12: Abweichung der Messwerte des TFX Ultra von den Werten der Referenzmessung mit dem Fluxus F601.

A.3.10 Halle 2A Die Volumenstrommessung in Halle 2A liefert seit der Installation keine zuverlässigen Messwerte, weswegen sich eine Überprüfung selbiger erübrigt. Dies ist zumindest teilweise auf eine ungünstige Messstrecke zurück zu führen. Im Rahmen der Nachrüstung der Messtechnik im Rahmen von OBSERVE ist geplant, einen weiteren Abgang in Halle 2A zu Messen wodurch die derzeitige Messung an eine geeignetere Position versetzt werden kann.

A.3.11 Halle 6 nach EDV Die in Abbildung A-13 dargestelle Abweichung des Durchflusses wurde nach der Korrektur der Wandstärke von 3,65 auf 2,6 mm gemessen. In der von uns erstellten Installationstabelle waren 3,0 mm vorgegeben. Der Durchfluss war während der Messung nahezu konstant und ließ sich eindrosseln. Die an zahlreichen anderen Messstellen vorgefundene Problematik der stark wechselnden Volumenströme traten bei dieser Messstelle nicht auf, was die Zuverlässigkeit der Ergebnisse erhöht.

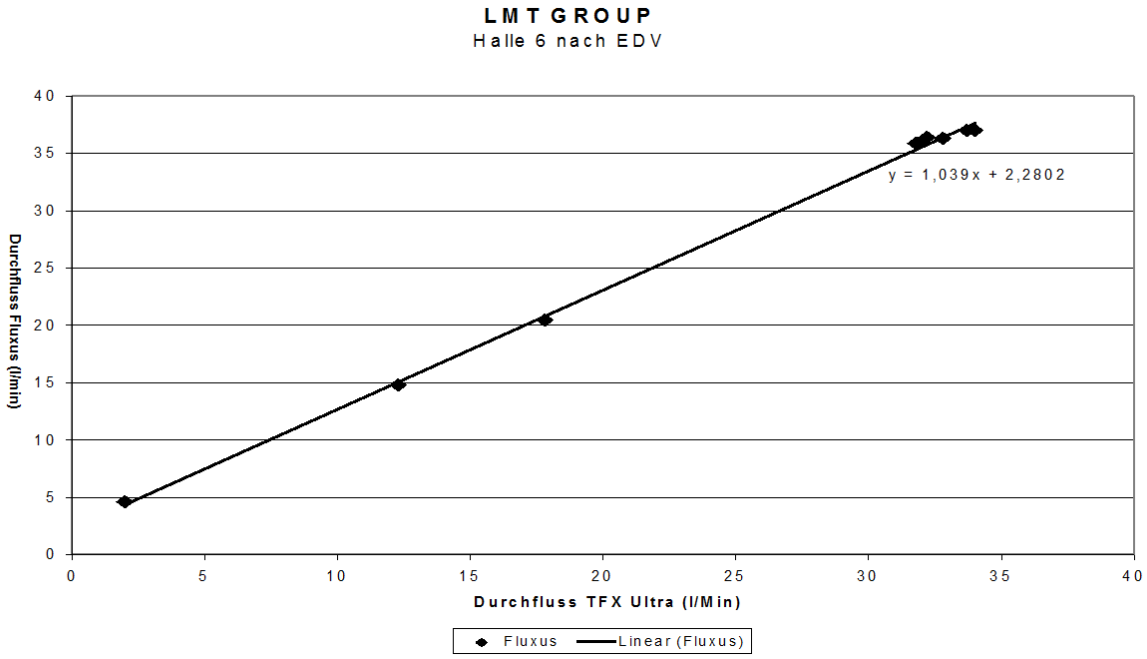


Abbildung A-13: Abweichung der Messwerte des TFX Ultra von den Werten der Referenzmessung mit dem Fluxus F601.

A.3.12 Halle 4 Die Vergleichsmessung in Halle 4 zeigt einen deutliche lineare Abweichung der in der Anlage von dem TFX Ultra gemessenen Werte von den Werten des Fluxus. Eine Kalibrierung der Messstelle wurde augenscheinlich nicht durchgeführt.

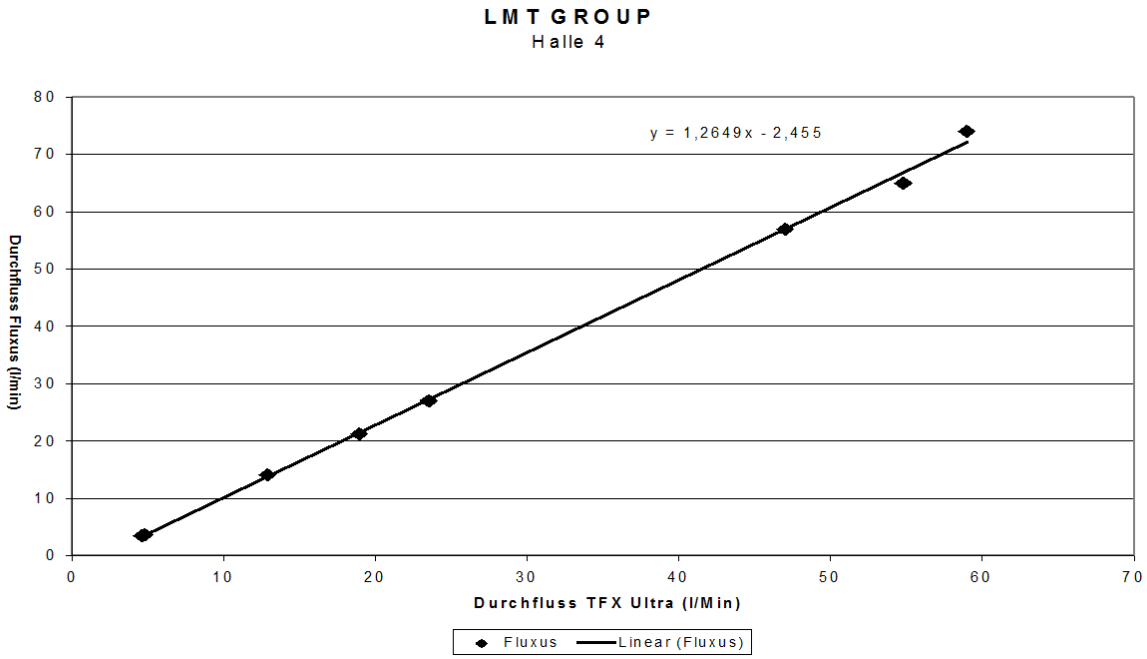


Abbildung A-14: Abweichung der Messwerte des TFX Ultra von den Werten der Referenzmessung mit dem Fluxus F601.

A.3.13 Lüftungsgerät Halle 1 Auch bei dem Lüftungsgerät in Halle 1 gibt es eine deutliche lineare Abweichung des vor Ort gemessenen Durchflusses von dem tatsächlichen. Eine Kalibrierung scheint auch bei dieser Messstelle nicht stattgefunden zu haben.

Dies führte der Analyse der aktuellen Messwerte (30.01.2016) zu der fälschlichen Annahme eines Bypasses mit einem Durchfluss von 0,88 m3/h, woraus sich in Verbindung mit der Temperaturdifferenz von 42 K zwischen Vor- Und Rücklauf eine Verlustleistung von ca. 43 kW ergibt. Eine Korrektur mit den im Rahmen der Begehung ermittelten Korrekturfaktoren ergibt eine Verlustleistung von 20 kW. Dies ist weniger als die Hälfte ist und zeigt die Notwendigkeit einer Kalibrierung der Durchflussmessungen sehr anschaulich.

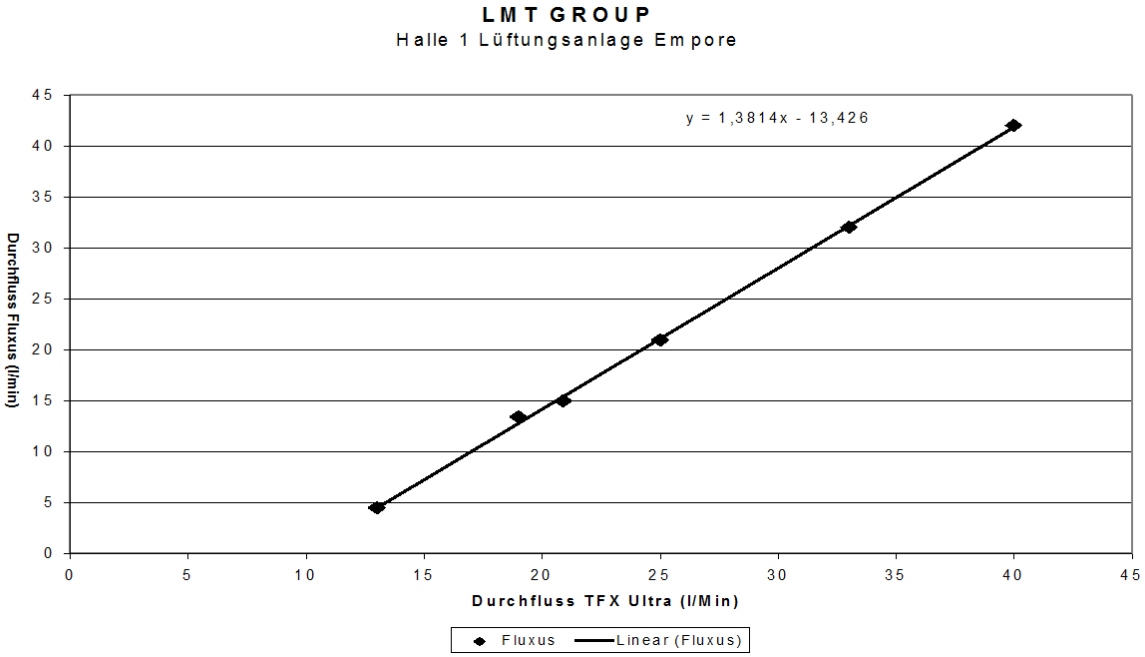


Abbildung A-15: Abweichung der Messwerte des TFX Ultra von den Werten der Referenzmessung mit dem Fluxus F601.

A.3.14 Halle 5 Die Messungen in Halle zeigen ebenfalls eine deutliche lineare Abweichung welche sich durch eine Kalibrierung korrigieren ließe. Die starke Streuung um die Linearisierung ist auf die stark wechselnden Durchflüsse während der Ermittlung der Vergleichswerte zurück zu führen.

Die Art der Abweichung ist jedoch wie erwartet und erklärt das in Kapitel A.1 gezeigte Phänomen der zeitweise als negativ angezeigten Durchflüsse bei positivem Differenzdruck und und unveränderten Vor- und Rücklauftemperaturen auf dem Verteiler. Der Verdacht eines erheblichen Offset Fehlers, welcher Ausgangspunkt der gesamten Überprüfung war, wurde damit bestätigt.

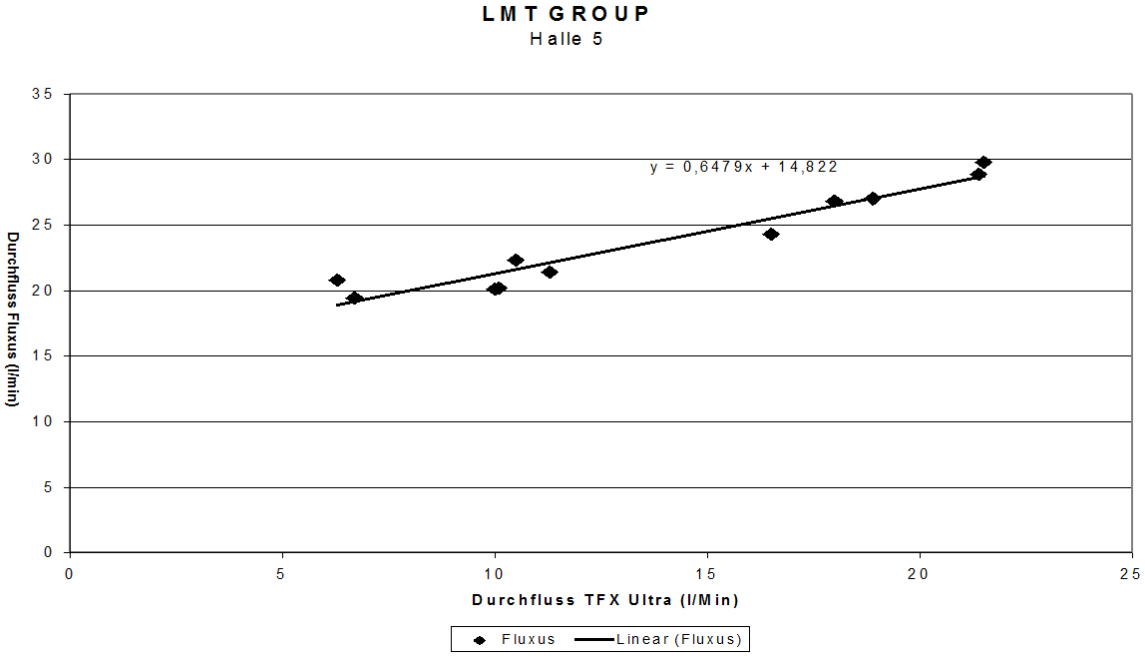


Abbildung A-16: Abweichung der Messwerte des TFX Ultra von den Werten der Referenzmessung mit dem Fluxus F601.

Messstelle	Offset [l/min]	Steigung
Einspeisung Verwaltung	0	1,05
Einspeisung Halle 6	18,0	1,17
Einspeisung Kompressoren	0	0,96
Verwaltung nach Halle 2	25,4	0,93
Verwaltung nach Halle 5	4,6	0,96
Verwaltung nach Halle 5 (langzeit Messung)	-3,03	1,03
Halle 2 nach Halle 7	11,5	1,45
Halle 2 nach Halle 7 (langzeit Messung)	23,8	1,09
Halle 7 nach Halle 6	0	1,07
Halle 7 nach Halle 3 (langzeit Messung)	8,2	0,93
Halle 6 nach Halle 8	38,6*	0,48*
Halle 6 nach EDV	2,3	1,04
Halle 2A	-**	-**
Halle 4	-2,5	1,26
Lüftungsgerät Halle 1	-13,4	1,38
Halle 5	14,8	0,65

* Mit starker Unsicherheit behaftet.
**Nicht ermittelt.

A.3.15 Übersicht der Korrekturfaktoren

A.4 Mögliche Ursachen

Im Rahmen der Messungen wurde bei zahlreichen Messstellen erhebliche Abweichungen der vor Ort verwendeten Durchflussmessgeräte TFX Ultra von unserer Vergleichsmessung mit einem Fluxus F601 festgestellt. Aufgrund der langjährigen Erfahrung halten wir die Messwerte des Fluxus F601 für korrekt, was bedeutet dass die TFX Ultra teilweise fehlerhafte bzw. zu korrigierende Messwerte liefern.

Als Ursache hierfür kann eine Kombination aus folgenden Faktoren sein:

- Bei einigen Messstellen wurden die von uns in Tabellenform bereitgestellten Werte für Wandstärke und Rohrduchmesser im Zuge der Installation falsch eingegeben. Beispiele hierfür sind die Messstellen Halle 6 nach EDV sowie Halle 6 nach Halle 8. Bei anderen Messstellen wurden ebenfalls falsche Parameter korrigiert, jedoch wurde dies nicht im einzelnen dokumentiert und mit den von uns ursprünglich bereitgestellten Werten verglichen.
- An einigen Messstellen wurden die von den TFX Ultra vorgegebenen Installationsabstände der Messwertaufnehmer nicht eingehalten. Beispiele sind die Messstellen Verwaltung nach Halle 5, Verwaltung zum Neubau, und das Lüftungsgerät Halle 1. Bei den beiden erstgenannten wurde der Abstand korrigiert.
- Die Messstellen sind zum Teil nicht optimal in Hinblick auf die Ein- und Auslaufstrecken. Dies ist den baulichen Umständen vor Ort geschuldet. Dies ist insbesondere bei den Messstelle Halle 2 nach Halle 7 sowie in Halle 2A der Fall.

- Der Hersteller empfiehlt nach dem Einbau eine Einmessung mit Nullpunkt und Steigungskorrektur durchzuführen. Dies ist nach unserem Wissen nicht erfolgt.

Außerdem ist eine systematische Problematik zu beachten, welche sowohl die Kurz- als auch die Langzeitmessungen betrifft, nämlich dass die Dämpfung auf den Messgeräten auf unterschiedliche Art und Weise berechnet wird. In den vor Ort verbauten TFX Ultra wird die Dämpfung des Messwerts in % eingestellt, in dem mobilen Fluxus Messgerät lässt sich eine Dämpfung in Sekunden einstellen. In dem ersten Fall findet also eine exponentielle Glättung statt, im zweiten Fall wird ein gleitender arithmetischer Mittelwert gebildet. Ein Vergleich solcher unterschiedlich gedämpfter Messwerte führt bei stark wechselnden Durchflüssen, wie sie an zahlreichen Messstellen in der Anlage vorherrschen, zu systematischen Abweichungen, welche auf die Art und Weise der Messwerterfassung zurück zu führen sind.

A.5 Empfehlungen

Bei der Begehung wurden Abweichungen der in den Messgeräten einprogrammierten Parameter von den bei der Begehung gemessenen Parametern festgestellt. Eine stichprobenartige Überprüfung der einprogrammierten Parameter mit den von uns in Tabellenform zur Installation bereitgestellten Parametern ergab, dass diese Vorgaben, an den zwei Messstellen an denen diese Werte verglichen wurden, nicht eingehalten wurden.

Eine Überprüfung der eingegebenen Parameter und des sich daraus ergebenden Installationsabstands der Messaufnehmer ist daher unbedingt erforderlich.

Außerdem deuten sowohl die Kurz- als auch die Langzeitmessungen auf eine fehlerhafte bzw. nicht erfolge Kalibrierung der Messumformer hin. Dass durch die Kurz- und Langzeitmessungen unterschiedliche Parameter zur Korrektur ermittelt wurden liegt daran, dass die stark schwankenden Durchflüsse in Kombination mit den unterschiedlichen Dämpfungsverfahren keine vergleichbaren Istwerte liefern. Die aus der Auswertung der während der Begehung durch die Kurzzeitmessung ermittelten Korrekturfaktoren sind daher nicht geeignet um damit eine nachträgliche rechnerische Korrektur der Messwerte durchzuführen.

Hinzu kommt, dass eine rechnerische Korrektur der Messwerte unsererseits die Anzeige der fehlerhaften Messwerte in der Leitwarte vor Ort nicht beeinflussen würde. Durch die zum Teil nicht unerheblichen Offset-Fehler in den Messwerten werden dort zum Teil falsche Fließrichtungen angezeigt, wodurch die Messdaten für die Haustechnik möglicherweise zu fehlerhaften Analysen und Entscheidungen führen könnten. Daher empfehlen wir dringend vor Ort eine Überprüfung und Kalibrierung der Messstellen von fachkundigem Personal durchführen zu lassen, da sich nur auf diesem Wege brauchbare Messwerte für alle Beteiligten ermitteln lassen.