

Kurzbericht

AutoEffi

Forschungsprogramm: Zukunft Bau
Forschungsprojekt: IT-unterstütztes und automatisiertes Energiemonitoring der Technischen Gebäudeausrüstung in Echtzeit als Bestandteil eines zeitnahen und optimierten Energieeffizienzmanagements unter Berücksichtigung der Bauphysik und Nutzung

**Der Forschungsbericht wurde mit Mitteln der Forschungsinitiative Zukunft Bau des Bundesinstitutes für Bau-, Stadt- und Raumforschung gefördert
(Aktenzeichen: II 3-F20-12-1-155 / SWD – 10.08.18.7 – 13.46)**

Die Verantwortung für den Inhalt des Berichtes liegt bei den Autoren

**Ingenieurbüro Stefan Gerhard –
IBSG**

Dipl.-Ing. Stefan Gerhard
Ebertsborn 24
66606 St. Wendel
Tel: +49 6851 8007765
Fax: +49 6851 8007767
E-mail: sg@ing-gerhard.de

**Energie- & Umweltbüro e.V. –
EuB**

Reinhold Maurer
Dr. Julia Kurde
John-F.-Kennedy-Platz
10820 Berlin
Tel: +49 30 7871 7651
Fax: +49 30 7870 5612
E-mail: info@gedeva.de

**Datentechnik Fries –
DTF**

Dipl.-Inf. Wolfgang Fries
Hochstr. 25
85221 Dachau
Tel: +49 8131 80770
Fax: +49 8131 80772
E-mail: wf@DT-Fries.de

Die Landeshauptstadt München (LHM) begleitete und förderte die Forschungsarbeit.

September 2017

Die Landeshauptstadt München (LHM) begann im Jahre 1986 mit ersten Überlegungen zur Einführung eines zentralen Leitsystems. Mit Hilfe des vom BMBF geförderten Forschungsprojektes MEMS¹ entwickelte die LHM in den neunziger Jahren einen Prototyp für eine firmenneutrale Leitzentrale Haustechnik, welche mit entsprechenden Weiterentwicklungen bis heute in München im Gebäude- und Energiemanagement erfolgreich eingesetzt wird. Die Entwicklungen der Stadt werden sehr eng mit dem Arbeitskreis Gebäudeautomation (AK GA) des AMEV² abgestimmt. So sind Richtlinien wie die GA2005 entstanden, welche die Erfahrungen der öffentlichen Hand bei der Planung, dem Aufbau und dem Betrieb von Gebäudeautomation und Gebäudeleittechnik zusammenfassen. Die in München eingesetzten Treiber zur Anbindung proprietärer oder neutraler Bussysteme der Automationsstationen an die firmenneutrale Leitzentrale können in der Regel auch von anderen Kommunen ohne Lizenzgebühren eingesetzt werden. Das System MEMS ist auf die Bedürfnisse großer Kommunen oder Verwaltungen mit entsprechendem Personalbedarf zugeschnitten.

Mit dem vom Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung geförderten Forschungsprojekt VeroGAK³ wurde das Konzept von MEMS für den Einsatz bei der Wohnungswirtschaft und bei kleineren Kommunen weiterentwickelt. Der besondere Schwerpunkt der Weiterentwicklung lag auf der Entwicklung und Migration des in München verwendeten Datenbanksystems hin zu einem Open-Source-Datenbanksystem, welches ohne große Folgekosten auch in kleineren Verwaltungen eingesetzt werden kann. Der damals bis 2006 als Testsystem entwickelte Prototyp wurde vom AMEV als erster Baustein der AMEV-GA-Plattform aufgenommen. Damit war grundsätzlich auch bei kleinem Budget der Aufbau einer datenbankbasierten Leitzentrale Haustechnik möglich. Die umfangreichen Funktionsmöglichkeiten konnten jedoch nur dort nutzbringend eingesetzt werden, wo ein entsprechendes ingenieurtechnisches Verständnis von Gebäuden und technischen Anlagen vorhanden war.

Der moderne Gebäudebetrieb unter Einsatz eines nutzbringenden Energiemanagementsystems erfordert die zeitnahe Rückkopplung des aktuellen Zustands technischer Anlagen und des Verbrauchs. So gelingt grundsätzlich eine Zuordnung von Ursache zu Wirkung. Diese Wirkbeziehung ist Voraussetzung für das Erkennen notwendigen Handlungsbedarfs und der Entwicklung von Maßnahmen bei nicht bedarfsgerechtem Verbrauch oder unerwünschten Anlagenzuständen. Wie kann das Energiemanagement durch automatisierte Verfahren effizienter gemacht werden? In dieser Forschungsarbeit werden Potenziale für die Entwicklung automatisierter Verfahren gesucht, diskutiert, prototypisch umgesetzt und getestet.

¹ <http://www.fnd-forum.de/publikationen/pdf/abschlussbericht-1.pdf>

² AMEV – Arbeitskreis Maschinen- und Elektrotechnik staatlicher und kommunaler Verwaltungen. www.amev-online.de

³ VeroGAK - Entwicklung eines verallgemeinerten offenen Gebäudeautomationskonzeptes. Abschlussbericht, 2006, Bau- und Wohnforschung, Band F 2479

Die allgemeine Bestandsaufnahme der heutigen Praxis hat gezeigt, dass die Verknüpfung eines Energiemanagementsystems mit der Managementebene einer Gebäudeleittechnik weiterhin viel Sinn ergibt. Nur so können neben den Zählwerten von Verbrauchsmessstellen auch weitere Daten wie Vor- und Rücklauftemperaturen, Außentemperaturen, Betriebszuständen und weiteren Zustandsgrößen in den Verbrauchsanalysen berücksichtigt werden. Die relativ einfache Betrachtung von Plausibilitäten oder Stör- und Gefahrenmeldungen sind in heutigen Systemen grundsätzlich bereits feste Bestandteile. Sie können in das immer notwendige Betriebs- und Organisationskonzept des Gebäudebetriebs gut eingebunden werden.

Die Untersuchung von klassischen Verfahren der Analysis und der Statistik hat das größte Potenzial für eine systematische und möglichst automatisierte Anlagen- und Prozessanalyse gezeigt. Insbesondere der Einsatz statistischer Methoden wie die Korrelationsanalysen können bei Bestandsanlagen gut herausstellen, ob gewünschte Regelaufgaben von der Gebäudeautomation erfüllt und plausible Anlagenzustände erreicht werden. Eingebaut in Energieberichte oder, wie im Testsystem umgesetzt, als zusätzliche Funktionen in der Visualisierungssoftware (hier jLZHview) kann der Anlagenbetreiber auf Knopfdruck einen Überblick über die Qualität oder Güte des Betriebes der Gebäudetechnischen Anlagen erhalten. Die entwickelten Verfahren erlauben auch die einfache und schnelle Beurteilung einer Vielzahl von Anlagen und Prozessen.

Verschiedene Testläufe haben gezeigt, dass die Tiefe der Analyse mit dem Parametrierungsaufwand des Anwenders proportional steigt. So kann eine einfache Analyse fast vollständig automatisiert ablaufen, während eine detaillierte Analyse zunächst vom Anwender parametrieren muss.

In einer einfachen Analyse wählt der Anwender den zu analysierenden Zeitbereich sowie die gewünschten Vor- und Rücklauftemperaturen im Anlagenbild über die symbolischen Adressen aus.

Ablauf:

Das Programm findet automatisch die Paare der Temperaturen Vorlauf und Rücklauf (TV, TR) in den verschiedenen Heizkreisen und ermittelt aus den Messwerten im Zeitbereich die Kennzahlen zur Bewertung der Heizkreise:

Mittelwert und Standardabweichung von TV, TR und (TV-TR)

Korrelation von TV mit TR

Ergebnis:

Tabelle mit Kennzahlen und deren Bewertung durch farbliche Hervorhebung.

Folge:

Rot markierte Heizkreise sollten vom Anwender geprüft werden. Dazu kann die grafische Darstellung der Messwerte hilfreich sein. Zur tieferen Betrachtung des auffälligen Heizkreises kann eine detaillierte Analyse mit

weiteren Datenpunkten dieses Heizkreises durchgeführt werden (z.B. Außentemperatur, Ventil-Stellung, Betriebsmeldung etc.).

Fazit:

Mit Hilfe solcher einfachen automatisch ablaufbaren Analysen kann das Fachpersonal gezielt auf solche Heizkreise hingewiesen werden, die nicht oder nicht mehr das tun, was sie eigentlich sollen. Die Ursache kann vielfältig sein und erfordert entsprechendes Fachwissen beim Anwender.

Eine detaillierte Analyse kann beispielsweise für verschiedene Betriebsmodi wie TAG/NACHT oder HEIZKREIS EIN/AUS durchgeführt werden.

Die Auswahl der Parameter wird gespeichert und kann für weitere Analysen wieder aufgerufen werden.

Der Anwender wählt die zu analysierenden Datenpunkte, den Zeitbereich und Zyklus (z.B. 2017 - monatlich) sowie die Nutzzeiten oder Messwerte-Filter (optional) aus.

Ablauf:

Das Programm findet automatisch die Messwerte der ausgewählten Datenpunkte im angegebenen Zeitintervall, wendet Filter bzw. Nutzzeiten an und berechnet die Statistik sowie Korrelationsmatrizen.

Ergebnis:

Tabellarische und grafische Darstellung der Statistik sowie der Korrelationsmatrizen mit farblicher Hervorhebung.

So kann in einer Jahresübersicht der Anlagenbetrieb Sommer/Winter bewertet werden:

- Ist die Anlage Außentemperatur geführt?
- Korrelieren Ist-Werte mit ihren Sollwerten?
- Sind Mittelwerte und Streuung der Messwerte in Ordnung?

Folge:

Der Anlagenbetrieb kann automatisch in beliebigen Zeitbereichen geprüft werden.

Fazit:

Die detaillierte Analyse gibt einen tiefen Einblick in die Funktion einer Anlage oder eines Prozesses. Hilfreich zur Beurteilung der berechneten statistischen Werte sind vergleichende historische Ergebnisse der gleichen Analyse.

Gerade die Untersuchung des Potenzials der detaillierten Analysen anhand realer Gebäudedaten hat gezeigt, dass die Qualität der umgesetzten Gebäudeautomation herstellerabhängig sehr stark schwankt. Eine schlechte Regelgüte eines Regelkreises wird durch die Analyse direkt aufgedeckt, kann jedoch nicht immer durch eine bessere Reglerparametrierung vom Anwender verbessert werden. So sind bei außentemperaturgeführten Regekreisen die

zugrundeliegenden Steuergesetze für die Bestimmung des Temperatursollwertes (Heizkurve) nichtlinear. Die Heizkurven werden stückweise linear (zwei und mehr Punkteform) abgebildet und weisen daher an den Stützstellen Unstetigkeiten auf. Bei unsauberer Programmierung der Heizkurven identifiziert die Analyse einen Fehler in der Korrelation, der vom Nutzer selbst nicht behoben werden kann. Auch die Praxis, den Außentemperaturwert als gleitenden Mittelwert über mehrere Stunden (teilweise 24 Stunden und mehr) zu dämpfen, führt dazu, dass der Temperatursollwert nicht mehr dem Steuergesetz der Heizkurve entspricht. Die Analyse identifiziert diese Abweichung als schlechte Regelgüte, der Korrelationskoeffizient wird betragsmäßig kleiner. Hier muss sichergestellt sein, dass der Nutzer über die Dämpfung Bescheid weiß und diese vom Planer als bedarfsgerecht gefordert wurde.

Die Verschiedenheit der Anlagen in ihrer Funktion, ihrer baulichen Umsetzung, ihrer Aufschaltungstiefe und in den Datenbezeichnungen in der Gebäudeleittechnik verhindert die Entwicklung eines allgemein anwendbaren Analysewerkzeugs. Eine Anpassung an die konkrete Anlage muss immer erfolgen. Diese Anpassung muss allerdings nicht von jedem Anwender neu parametrisiert werden, sondern kann, einmal erstellt, abgespeichert und automatisiert aufgerufen werden.

Neben klassischen Verfahren der Analysis und der Statistik sind Verfahren der künstlichen Intelligenz zur selbstständigen Berechnung neuer mathematischer Modelle für Regler und Strecken zur Optimierung der Automation in der Forschungsarbeit entwickelt und beurteilt worden. Auf den ersten Blick erscheint die Computational Intelligence vielversprechend bei der Lösung komplexer Aufgabenstellungen in der Analyse und Optimierung gebäudetechnischer Anlagen. Neben der experimentellen Analyse von Systemen und Speicherung von Ein-/Ausgabewerten mit Hilfe Neuronaler Netze in Black-Box-Modellen ist sogar die automatisierte Erstellung von Modellen in Struktur und Parameter mit Hilfe Genetischer Programmierung analog einer theoretischen Modellerstellung möglich. Die konkrete Diskussion einzelner Einsatzszenarien zeigte, dass viele Aufgabenstellungen der gebäudetechnischen Betriebsführung mit Hilfe klassischer Methoden der Regelungstechnik aufgrund geeigneter Voraussetzungen besser gelöst werden können. So sind für nahezu alle Gebäude entsprechende Planungsunterlagen über Aufbau und Maße vorhanden, die beispielsweise bei der Heizungsauslegung und Bedarfsberechnung einfacher zu genauen Modellen führen. Wo diese nicht vorhanden sind, kann eine Gebäudeaufnahme leicht durchgeführt werden und führt im Ergebnis zu einer genaueren Aussage. Beispielsweise kann ein mehrschichtiger Wandaufbau kaum eindeutig mit Hilfe evolutionärer Verfahren automatisiert identifiziert werden. Die Herausforderungen beim Einsatz evolutionärer Verfahren sind hierbei die Kodierung der Problemstellung in geeignete Individuen sowie die Entwicklung geeigneter Ziel- und Fitnessfunktionen zur Steuerung der Algorithmen.

Die in diesem Forschungsprojekt prototypisch herausgearbeiteten Methoden sind für den Einsatz im laufenden betrieblichen Einsatz weiter zu entwickeln. So ist es sicher notwendig, die mathematischen Methoden für den Anwender in ihrer Handhabung und Interpretation weiter zu vereinfachen.

Als Beispiel für ein mögliches Ergebnis einer automatisierten Analyse ist die im Folgenden dargestellte Heizkreisanalyse in Berichtsform.

Im Beispiel wird ein siebenseitiger Ergebnisbericht eines „gut“ eingestellten Heizkreises in Abbildung 1 bis Abbildung 7 dargestellt. Das Beispiel wurde mit den gespeicherten Daten der Leitzentrale Haustechnik des Bezirksamtes Treptow-Köpenick in Berlin generiert und zeigt in Abbildung 2 neben den monatlichen Mittelwerten auch die Korrelationskoeffizienten zwischen verschiedenen Messwerten und der Außentemperatur sowie zwischen Soll- und Istwerten.

Objekt BARB: H20 SG-O: Schulgebäude-Ost

Wärmeerzeuger ist ein Brennwertkessel, welcher 5 Heizkreise incl. RLT+WWB versorgt. Dieses Objekt wurde als Positiv-Beispiel für eine Heizkreis-Analyse ausgewählt, da

- die erforderlichen Archiv-Messwerte vorhanden sind,
- die Strategie für den berechneten Soll-Wert der Vorlauftemperatur bekannt ist,
- die Anlage stabil läuft.

Im Heizkreis H20 SG-O ist ein Wochenprogramm aktiv (TAG/NACHT). Die beiden Betriebsmodi TAG/NACHT wurden getrennt analysiert.

Die Jahres-Analyse zeigt, dass der Heizkreis in den Sommermonaten Juni bis September 2016 außer Betrieb war, was in Abbildung 2 als blau dargestellte Korrelationskoeffizienten erkennbar ist. In den übrigen Monaten erreicht die Anlage mit wenigen Ausnahmen eine mittelmäßige (gelbe) bis gute (grüne) Bewertung.

Die Rücklauftemperatur ist im Wesentlichen konstant, was zu einer eher schlechten Korrelation mit der Außentemperatur führt. Das Beimischventil im Vorlauf wird beim Wechsel zwischen den Betriebsmodi TAG/NACHT oft kurzzeitig geschlossen und wieder geöffnet. Diese schnellen Änderungen führen zu einer teilweise schlechten Korrelation mit der Außentemperatur.

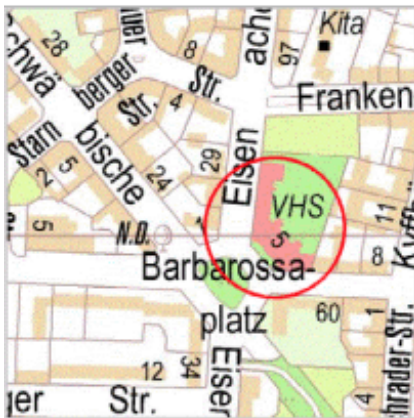
Hinweise:

Die Heizkreis-Pumpe arbeitet mit konstantem Druck.

Im JAN 2017 taktete der Brennwertkessel 3904-mal in den Zustand EIN, d.h. im Monatsmittel etwa 5-mal pro Stunde. Brennwertkessel sollten aber möglichst lange bei etwa 30 bis 40 % Leistung betrieben werden (nicht dargestellt).

BARB
 ZSG: G18 + VHS
 Barbarossaplatz 5

Objekt-Übersicht



Heizung + WWB + Lüftung
 DDC: KP DDCS002 V2.93
 CA-KNOTEN-HARDWARE: CA-Knoten-2.00-ISA
 MSN-FND: '23630689
 MSN-PPP: '23630690
 MSN-LZH: '77326202

Wärmeerzeuger ist ein Brennkessel, welcher 5 Heizkreise ind. RLT+WWB versorgt.

Im Heizkreis H20 SG-O ist ein Wochenprogramm aktiv (TAG/NACHT).
 Die beiden Betriebsmodi TAG/NACHT wurden getrennt analysiert.

Der Heizkreis ist in den Sommermonaten nicht in Betrieb und die Vorlauftemperatur ist mit 65°C nach oben begrenzt.

Die Heizkreis-Pumpe arbeitet mit konstantem Druck

Datenpunkt-Baum

Baum-Darstellung nach Datenpunkt-Adresse

DP_BAUM	BESCHREIBUNG
BARB	
Zentrale: S	
Gewerk: D	DOC
DA0 (1)	DA0 DDC-1 WP1 NZ_BM EIN
DA1 (14)	DA1 DDC-1 WP1.1 NZ_
DA2 (14)	DA2 DDC-1 WP1.2 NZ_
DB0 (1)	DB0 DDC-1 WP2 NZ_BM EIN
DB1 (14)	DB1 DDC-1 WP2.1 NZ_
DB2 (14)	DB2 DDC-1 WP2.2 NZ_
DC0 (1)	DC0 DDC-1 WP3 NZ_BM EIN
DC1 (14)	DC1 DDC-1 WP3.1 NZ_
DC2 (14)	DC2 DDC-1 WP3.2 NZ_
DD0 (1)	DD0 DDC-1 WP4 NZ_BM EIN
DD1 (14)	DD1 DDC-1 WP4.1 NZ_
DD2 (14)	DD2 DDC-1 WP4.2 NZ_
DD3 (14)	DD3 DDC-1 WP4.3 NZ_
DD4 (14)	DD4 DDC-1 WP4.4 NZ_
DE0 (1)	DE0 DDC-1 WP5 NZ_BM EIN
DE1 (14)	DE1 DDC-1 WP5.1 NZ_
DF2 (14)	DF2 DDC-1 WP5.7 NZ_
D00 (3)	D00 AP DDC TS_
D01 (10)	D01 SG DDC
Gewerk: H	Heizungsanlagen
H01 (23)	H01 K1
H03 (2)	H03 Druck
H04 (4)	H04 Vert. T
H10 (12)	H10 Lft.
H20 (48)	H20 SG O
H30 (48)	H30 SG-W
H40 (48)	H40 SG-TH
H50 (18)	H50 WW
intern: %	(5)

Abbildung 1: Beispiel Ergebnisbericht Heizkreisanalyse Seite 1

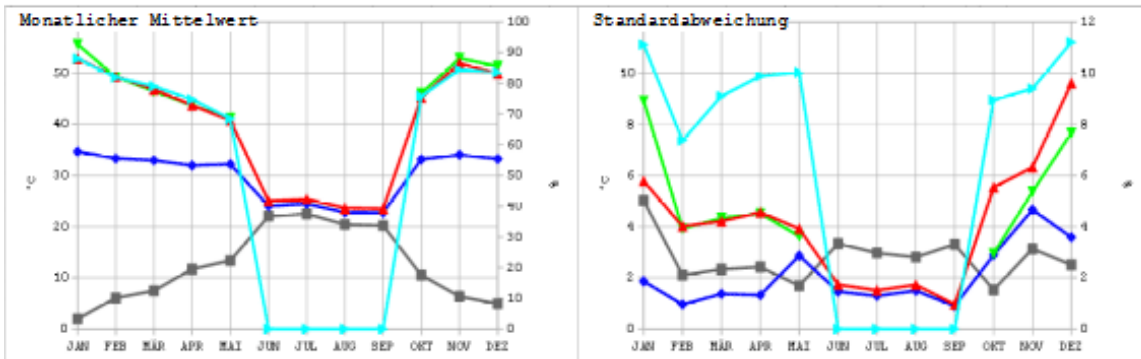
BARB: Barbaros splatz 5
H2O SG-O: Schulgebäude Ost (Hof)

Jahresübersicht 2016 - Tagbetrieb

Datenpunkte

OBJEKT	ADRESSE	BESCHREIBUNG	DIM	KÜRZEL
BARB	SD00T8003SGUGKP4	D00 AP DDC TS_IST	°C	TS_IST
BARB	SH20TV003SGUGKP4	H2O SG-O TV_SOLL	°C	TV_SOLL
BARB	SH20TV003SGUGKP4	H2O SG-O TV_IST	°C	TV_IST
BARB	SH20TR003SGUGKP4	H2O SG-O TR_IST	°C	TR_IST
BARB	SH20VV003SGUGKP4	H2O SG-O VV_SOLL	%	VV_SOLL

Zeitlicher Verlauf der Messwerte



Vergleich mit Grenzwerten

Vergleich mit Grenzwerten: Mittelwert													AL_U	WA_U	WA_O	AL_O
	JAN	FEB	MAR	APR	MAI	JUN	JUL	AUG	SEP	OKT	NOV	DEZ				
TS_IST	2,858	2,868	2,849	2,828	2,822	22,049	22,51	20,439	20,213	20,208	2,287	2,294	-10	-10	20	25
TV_SOLL	55,624	49,379	46,493	43,659	41,216					46,064	52,93	51,397				
TV_IST	52,897	48,37	46,308	43,708	40,788	25,031	25,394	23,623	23,508	45,218	51,903	49,933	20	30	70	80
TR_IST	24,665	22,246	22,959	21,947	21,228	24,038	24,462	22,782	22,726	22,163	24,084	23,22	20	30	70	80
VV_SOLL	88,078	81,971	79,055	74,784	68,473	0	0	0	0	75,839	84,498	83,590				

Vergleich mit Grenzwerten: Standardabweichung													Stabp
	JAN	FEB	MAR	APR	MAI	JUN	JUL	AUG	SEP	OKT	NOV	DEZ	
TS_IST	5,021	5,104	5,338	5,422	5,488	3,242	2,972	2,81	3,108	3,53	3,126	2,959	4
TV_SOLL	0,926	0,921	0,336	0,513	0,626					2,946	5,27	7,668	
TV_IST	5,785	4,011	4,218	4,308	3,917	1,73	1,81	1,729	0,943	5,339	6,325	6,633	5
TR_IST	5,858	0,958	1,371	1,328	2,805	1,408	1,294	1,498	0,898	2,889	4,062	3,888	5
VV_SOLL	13,116	9,379	9,304	9,887	10,033	0	0	0	0	8,958	9,396	11,209	10

Korrelationen

Korrelation mit TS_IST												
	JAN	FEB	MAR	APR	MAI	JUN	JUL	AUG	SEP	OKT	NOV	DEZ
TV_SOLL	-0,948	-0,876	-0,743	-0,916	-0,989					-0,865	-0,862	-0,712
TV_IST	-0,786	-0,854	-0,803	-0,898	-0,724	0,248	0,333	0,004	0,333	-0,854	-0,704	-0,597
TR_IST	-0,786	-0,5	-0,511	-0,32	0,089	0,322	0,389	0,078	0,536	-0,429	-0,237	-0,439
VV_SOLL	-0,796	-0,514	-0,55	-0,71	-0,824					-0,189	-0,765	-0,479

Korrelation mit Soll-Wert												
	JAN	FEB	MAR	APR	MAI	JUN	JUL	AUG	SEP	OKT	NOV	DEZ
TV_IST	0,867	0,933	0,851	0,948	0,751					0,426	0,725	0,808

Bemerkungen

- (1) Die Anlage ist außer Betrieb (TV_SOLL ist NULL und VV_SOLL ist 0%) in den Monaten: JUN, JUL, AUG, SEP

Hinweise

- (1) Die Korrelation mit TS_IST muss negativ sein, wenn die Anlage in Betrieb ist.
- (2) Die Korrelation mit dem Soll-Wert muss positiv sein, wenn die Anlage in Betrieb ist.

Abbildung 2: Beispiel Ergebnisbericht Heizkreisanalyse Seite 2

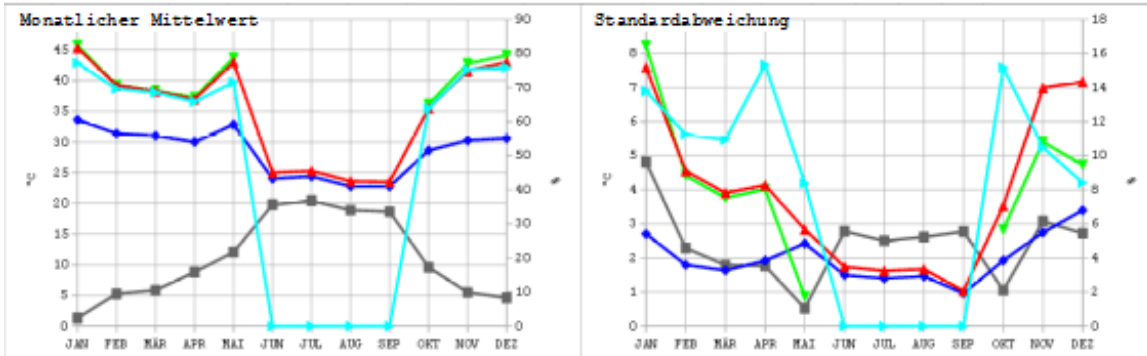
BARB: Barbarossaaplatz 5
H2O SG-O: Schulgebäude Ost (Hof)

Jahresübersicht 2016 - Nachtbetrieb

Datenpunkte

OBJEKT	ADRESSE	BESCHREIBUNG	DIM	KÜRZEL
BARB	SD00T9003SGUGKP4	D00 AP DDC TS_IST	°C	TS_IST
BARB	SH20TVS03SGUGKP4	H2O SG-O TV_SOLL	°C	TV_SOLL
BARB	SH20TV003SGUGKP4	H2O SG-O TV_IST	°C	TV_IST
BARB	SH20TR003SGUGKP4	H2O SG-O TR_IST	°C	TR_IST
BARB	SH20VVS03SGUGKP4	H2O SG-O VV_SOLL	%	VV_SOLL

Zeitlicher Verlauf der Messwerte



Vergleich mit Grenzwerten

Vergleich mit Grenzwerten: Mittelwert													AL_U	WA_U	WA_D	AL_O
	JAN	FEB	MAR	APR	MAI	JUN	JUL	AUG	SEP	OKT	NOV	DEC				
TS_IST	9,328	8,274	5,855	8,812	11,034	19,8	20,441	18,912	18,451	9,807	5,508	4,624				
TV_SOLL	45,781	39,285	38,351	37,271	43,714					34,141	42,792	44,119				
TV_IST	45,344	39,24	38,288	37,908	41,974	25,011	25,29	23,616	23,52	35,489	41,6	43,023	20	30	70	80
TR_IST	39,834	31,424	31,893	30,021	31,882	24,039	24,388	22,781	22,762	28,644	30,27	30,624	20	30	70	80
VV_SOLL	77,144	69,655	68,507	65,864	71,522	0	0	0	0	63,898	75,159	75,659				

Vergleich mit Grenzwerten: Standardabweichung													Stabw
	JAN	FEB	MAR	APR	MAI	JUN	JUL	AUG	SEP	OKT	NOV	DEC	
TS_IST	4,81	3,28	1,799	1,767	0,528	1,781	1,508	2,616	3,774	1,034	1,075	1,724	4
TV_SOLL	8,224	4,417	3,76	4,032	0,871					2,832	5,408	4,729	
TV_IST	7,588	4,45	3,909	4,134	2,874	1,741	1,625	1,472	1,034	3,528	4,984	7,168	5
TR_IST	8,708	1,8	1,824	1,932	2,421	1,497	1,197	1,441	0,944	1,908	2,748	3,398	5
VV_SOLL	13,707	11,258	10,94	13,334	8,378	0	0	0	0	15,171	10,476	8,412	10

Korrelationen

Korrelation mit TS_IST												
	JAN	FEB	MAR	APR	MAI	JUN	JUL	AUG	SEP	OKT	NOV	DEC
TV_SOLL	-0,967	-0,876	-0,814	-0,64	-0,998					-0,45	-0,941	-0,868
TV_IST	-0,952	-0,881	-0,798	-0,678	0,617	0,304	0,278	0,018	0,393	-0,642	-0,774	-0,761
TR_IST	-0,914	-0,911	-0,881	-0,659	0,849	0,381	0,311	0,094	0,574	-0,328	-0,523	-0,547
VV_SOLL	-0,821	-0,548	-0,484	-0,404	0,243					-0,147	-0,48	-0,414

Korrelation mit Soll-Wert												
	JAN	FEB	MAR	APR	MAI	JUN	JUL	AUG	SEP	OKT	NOV	DEC
TV_IST	0,948	0,957	0,946	0,914	-0,619					0,661	0,776	0,774

Bemerkungen

- (1) Die Anlage ist außer Betrieb (TV_SOLL ist NULL und VV_SOLL ist 0%) in den Monaten: JUN, JUL, AUG, SEP

Hinweise

- (1) Die Korrelation mit TS_IST muss negativ sein, wenn die Anlage in Betrieb ist.
- (2) Die Korrelation mit dem Soll-Wert muss positiv sein, wenn die Anlage in Betrieb ist.

Datenpunkte

OBJEKT	ADRESSE	BESCHREIBUNG	DIM	KÜRZEL
■ BARB	SD00TS003SGUGKP4	D00 AP DDC TS IST	°C	TS_IST
■ BARB	SH20TVS03SGUGKP4	H2O SG-O TV SÖLL	°C	TV_SÖLL
■ BARB	SH20TV003SGUGKP4	H2O SG-O TV_IST	°C	TV_IST
■ BARB	SH20TR003SGUGKP4	H2O SG-O TR_IST	°C	TR_IST
■ BARB	SH20VVS03SGUGKP4	H2O SG-O VV_SÖLL	%	VV_SÖLL

Zeitlicher Verlauf der Messwerte

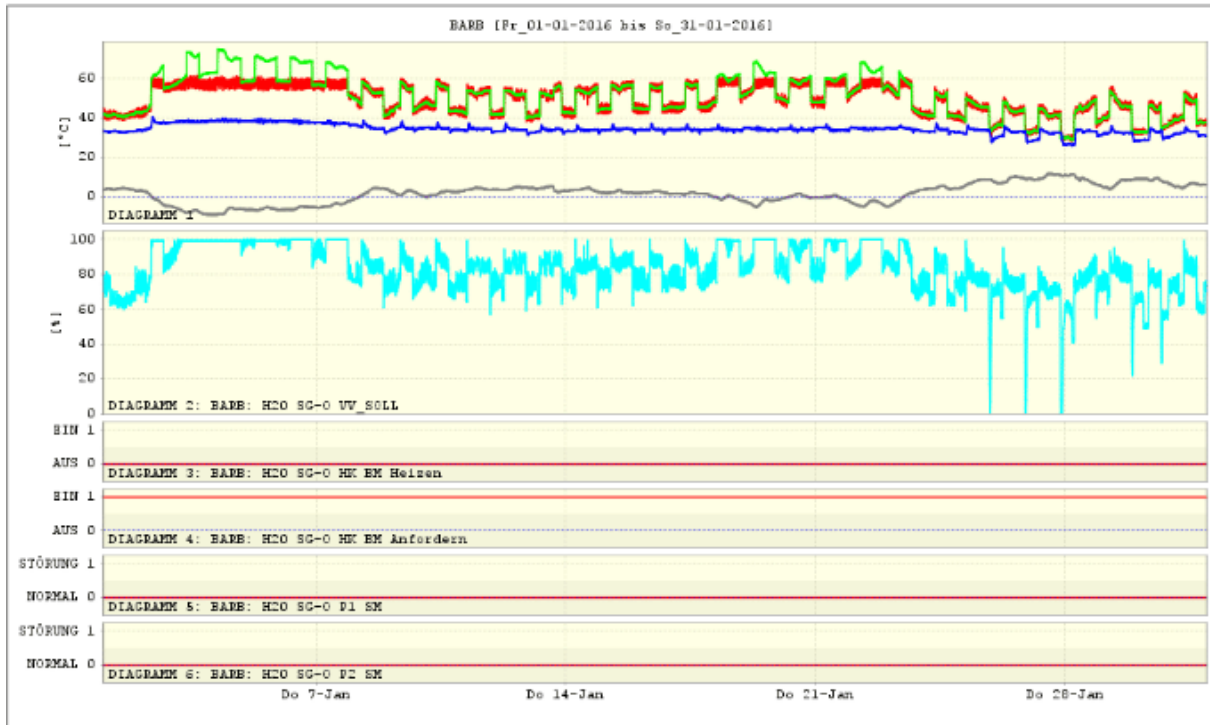


Abbildung 4: Beispiel Ergebnisbericht Heizkreisanalyse Seite 4

BARB: Barbarossaplatz 5
H2O SG-O: Schulgebäude Ost (Hof)

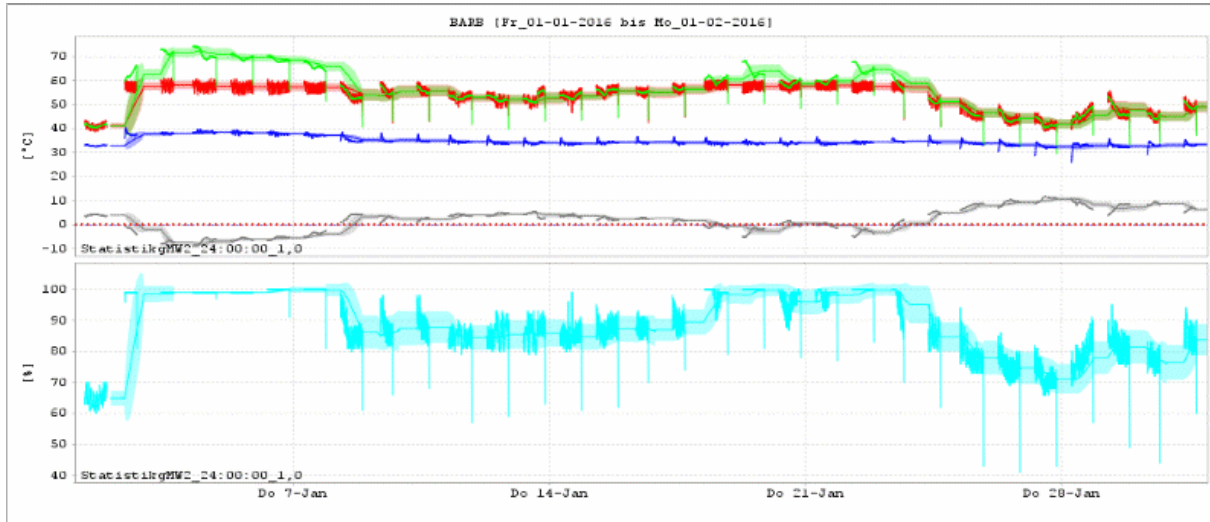
Januar 2016 - Tagbetrieb

Datenpunkte

OBJEKT	ADRESSE	BESCHREIBUNG	DIM	KÜRZEL
BARB	SD00TS003SGUGKP4	D00 AP DDC TS IST	°C	TS_IST
BARB	SH20TVS03SGUGKP4	H2O SG-O TV_SOLL	°C	TV_SOLL
BARB	SH20TV003SGUGKP4	H2O SG-O TV_IST	°C	TV_IST
BARB	SH20TR003SGUGKP4	H2O SG-O TR_IST	°C	TR_IST
BARB	SH20VVS03SGUGKP4	H2O SG-O VV_SOLL	%	VV_SOLL

Zeitlicher Verlauf der Messwerte

24-Std-gleitender Mittelwert mit Standardabweichung



Statistik und Vergleich mit Grenzwerten

Anzahl Messwerte	Grenzwert-Überschreitung in %										Stabw. stdl.				Stabw. tagl.		Stabw	■ Überschreitung <=20 % ■ Überschreitung <=50 % ■ Überschreitung > 50 % UÄ_U: Alarm unten UÄ_O: Warnung unten UÄ_O: Warnung oben AL_O: Alarm oben Stabw: Standardabweichung
	GESAMT	AL_U[%]	WA_U[%]	WA_O[%]	AL_O[%]	AL_U	WA_U	WA_O	AL_O	x1[%]	x2[%]	x1[%]	x2[%]					
TS_IST	4464	0	0	0	0	-20	-10	20	25	0	0	0	0	4				
TV_SOLL	4465	0	0	0	0	20	30	70	80	1	0	1	0	5				
TV_IST	4465	0	0	0	0	20	30	70	80	0	0	0	0	5				
TR_IST	4465	0	0	0	0	20	30	70	80	4	2	1	0	10				

Abbildung 5: Beispiel Ergebnisbericht Heizkreisanalyse Seite 5

BARB: Barbarossaplatz 5
H2O SG-O: Schulgebäude Ost (Hof)

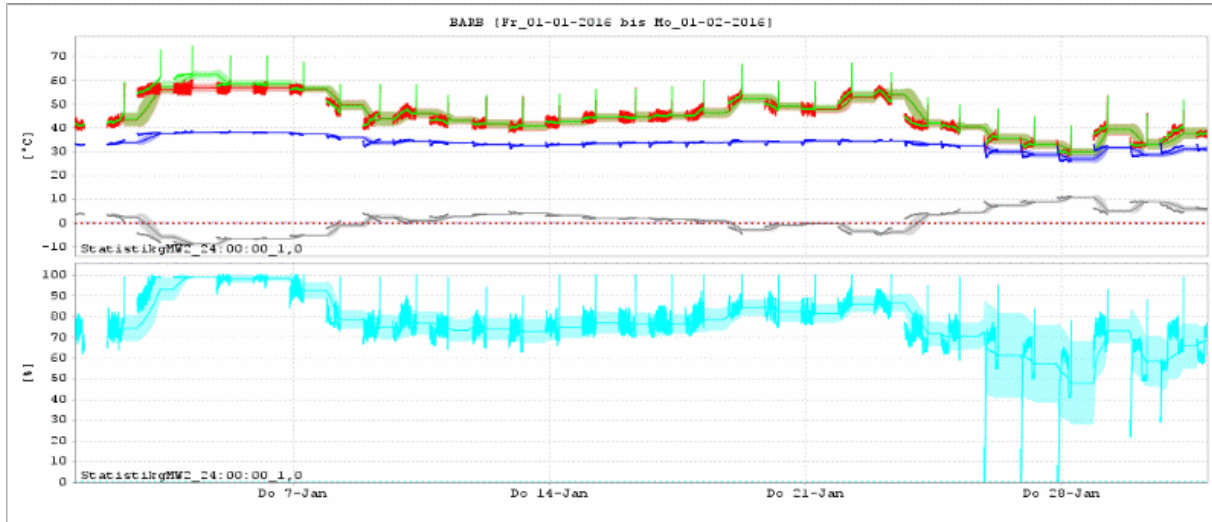
Januar 2016 - Nachtbetrieb

Datenpunkte

OBJEKT	ADRESSE	BESCHREIBUNG	DIM	KÜRZEL
BARB	SD00TS003SGUGKP4	D00 AP DDC TS IST	°C	TS_IST
BARB	SH20TVS03SGUGKP4	H2O SG-O TV_SOLL	°C	TV_SOLL
BARB	SH20TV003SGUGKP4	H2O SG-O TV_IST	°C	TV_IST
BARB	SH20TR003SGUGKP4	H2O SG-O TR_IST	°C	TR_IST
BARB	SH20VVS03SGUGKP4	H2O SG-O VV_SOLL	%	VV_SOLL

Zeitlicher Verlauf der Messwerte

24-Std-gleitender Mittelwert mit Standardabweichung



Statistik und Vergleich mit Grenzwerten

Messwert	Grenzwert-Überschreitung in %										Stabw. stdl.				Stabw. tagl.				Stabw
	GESAMT	AL_U[%]	WA_U[%]	WA_O[%]	AL_O[%]	AL_U	WA_U	WA_O	AL_O	κ1[%]	κ2[%]	κ1[%]	κ2[%]						
TS_IST	4464	0	0	0	0	-20	-10	20	25	0	0	0	0	4					
TV_SOLL	4465	0	0	0	0	20	30	70	80	1	0	2	0	5					
TV_IST	4465	0	0	0	0	20	30	70	80	0	0	0	0	5					
TR_IST	4465	0	0	0	0	20	30	70	80	3	0	10	6	10					

■ Überschreitung <=20 %
■ Überschreitung <=50 %
■ Überschreitung > 50 %
AL_U: Alarm unten
WA_U: Warnung unten
WA_O: Warnung oben
AL_O: Alarm oben
Stabw: Standardabweichung

Abbildung 6: Beispiel Ergebnisbericht Heizkreisanalyse Seite 6

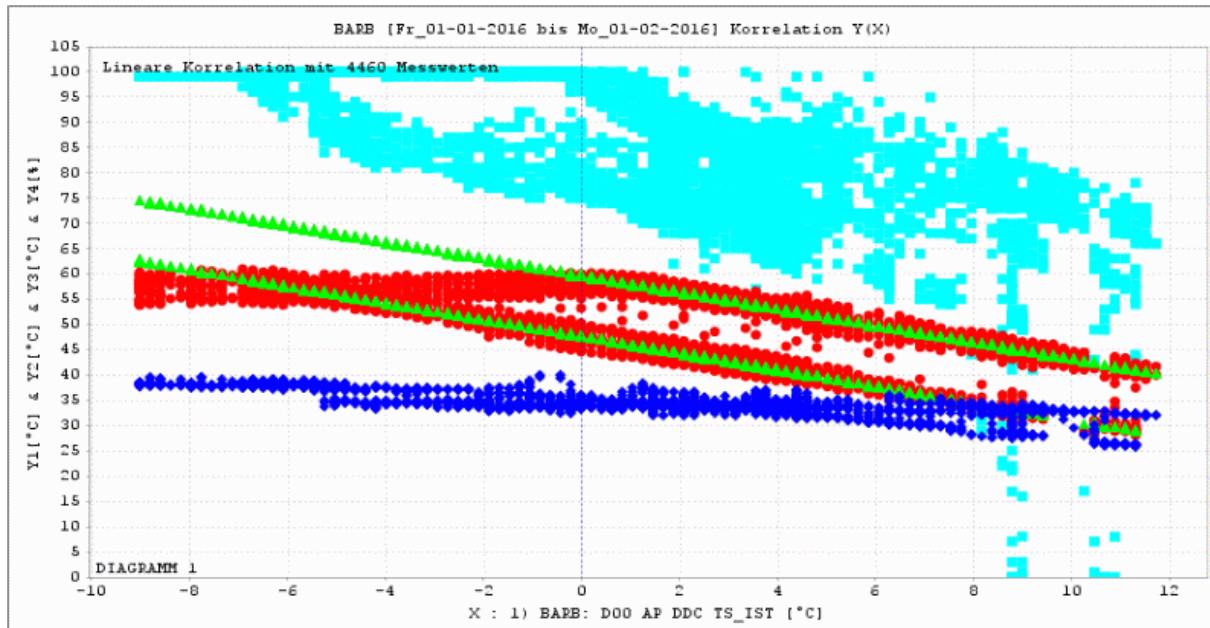
BARB: Barbarossaplatz 5
H2O SG-O: Schulgebäude Ost (Hof)

Januar 2016

Datenpunkte

OBJEKT	ADRESSE	BESCHREIBUNG	DIM	KÜRZEL
BARB	SD00TS003SGUGKP4	D00 AP DDC TS_IST	°C	TS_IST
BARB	SH20TVS03SGUGKP4	H2O SG-O TV_SOLL	°C	TV_SOLL
BARB	SH20TV003SGUGKP4	H2O SG-O TV_IST	°C	TV_IST
BARB	SH20TR003SGUGKP4	H2O SG-O TR_IST	°C	TR_IST
BARB	SH20VVS03SGUGKP4	H2O SG-O VV_SOLL	%	VV_SOLL

Korrelation mit der Außentemperatur (TS_IST)



Korrelationsmatrix Tag-Betrieb

KLARTEXT	N	BESCHREIBUNG	DATUM_VON	ANZAHL	MWERT	STABW	Y 1	Y 2	Y 3	Y 4	Y 5
BARB_H2O_SG-O_JULE_TEST_2016_TAG	1	D00 AP DDC TS_IST	2016-01-01 00:00:00	2.377	1,958	5,021	1	-0,786	-0,946	-0,786	-0,796
BARB_H2O_SG-O_JULE_TEST_2016_TAG	2	H2O SG-O TR_IST	2016-01-01 00:00:00	2.377	34,665	1,858	-0,786	1	0,781	0,583	0,6
BARB_H2O_SG-O_JULE_TEST_2016_TAG	3	H2O SG-O TV_SOLL	2016-01-01 00:00:00	2.377	55,624	8,926	-0,946	0,781	1	0,867	0,902
BARB_H2O_SG-O_JULE_TEST_2016_TAG	4	H2O SG-O TV_IST	2016-01-01 00:00:00	2.377	52,857	5,785	-0,786	0,583	0,867	1	0,841
BARB_H2O_SG-O_JULE_TEST_2016_TAG	5	H2O SG-O VV_SOLL	2016-01-01 00:00:00	2.377	88,078	11,116	-0,796	0,6	0,902	0,841	1

Korrelationsmatrix Nacht-Betrieb

KLARTEXT	N	BESCHREIBUNG	DATUM_VON	ANZAHL	MWERT	STABW	Y 1	Y 2	Y 3	Y 4	Y 5
BARB_H2O_SG-O_JULE_TEST_2016_Nacht	1	D00 AP DDC TS_IST	2016-01-01 00:00:00	2.087	1,328	4,81	1	-0,936	-0,967	-0,952	-0,822
BARB_H2O_SG-O_JULE_TEST_2016_Nacht	2	H2O SG-O TR_IST	2016-01-01 00:00:00	2.087	33,634	2,708	-0,936	1	0,906	0,903	0,739
BARB_H2O_SG-O_JULE_TEST_2016_Nacht	3	H2O SG-O TV_SOLL	2016-01-01 00:00:00	2.087	45,781	8,224	-0,967	0,906	1	0,968	0,849
BARB_H2O_SG-O_JULE_TEST_2016_Nacht	4	H2O SG-O TV_IST	2016-01-01 00:00:00	2.087	45,344	7,589	-0,952	0,903	0,968	1	0,803
BARB_H2O_SG-O_JULE_TEST_2016_Nacht	5	H2O SG-O VV_SOLL	2016-01-01 00:00:00	2.087	77,144	13,787	-0,822	0,739	0,849	0,803	1

Hinweise

(1) Die Korrelationsmatrix ist symmetrisch.

Abbildung 7: Beispiel Ergebnisbericht Heizkreisanalyse Seite 7

Die Anwendung von Analyseverfahren erfordert grundsätzlich einen ausreichenden Datenbestand, der idealerweise in einer Archiv-Datenbank innerhalb einer firmenneutralen und gewerkeübergreifenden Leitzentrale Haustechnik (LZH) abgespeichert ist. Die LZH sollte

- Messstellengeräte (Zähler) der Medien Wärme, Gas, Strom, Wasser enthalten,
- mindestens die Gewerke Elektro, Heizung, Klima, Lüftung, Warmwasserbereitung umfassen,
- weitere Aufgaben wie ein elektronisches Schlüsselsystem aufschalten können.

Je umfassender der verfügbare Datenbestand ist, umso umfangreicher können die Analysen durchgeführt werden. Dies ist vor dem Hintergrund wichtig, dass es aus Sicht der Autoren beim Thema Bedarfsgerechtigkeit weiterhin eine große Unsicherheit gibt. Eine technische Anlage wird dann optimal betrieben, wenn der Verbrauch genau dem Bedarf entspricht. Die Festlegung des Bedarfs anhand definierter Anlagenzustände ist ein guter Weg, die Bedarfsgerechtigkeit messbar zu gestalten, sofern sich die Nutzung nicht ändert und alle Abweichungen als Störung ausgeregelt werden sollen. Ein besserer Weg wäre eine dynamische Festlegung des Bedarfs anhand wechselnder Kriterien wie Nutzung oder Wetter.

Die in den Praxistests aufgefallene schlechte Regelgüte bei verschiedenen Herstellern von Automationsstationen hat die Autoren überrascht. Die praktische Umsetzung der Regelaufgabe war teilweise so schlecht gelöst, dass die Analysewerkzeuge einen Fehler identifiziert hatten. Hier wären einheitliche Vorgaben zur Regelgüte bei Automationsstationen notwendig, um die Analyseergebnisse klar beurteilen zu können.