

TECHNISCHER BERICHT

Inbetriebnahme und digitales Monitoring von Gebäude gemäß Regelwerken

für das EnOB-Verbundvorhaben

BUILD.DIGITIZED

IoT und BIM für die Inbetriebnahme und den Betrieb
von netzdienlichen Niedrigstenergiegebäuden

1.7.2020 – 30.6.2023

MONITORING.digital

FKZ: 03EN1021A

Hochschule Offenburg | Institut für Energiesystemtechnik
Badstraße 24 | 77652 Offenburg

INBETRIEBNAHME.digital

FKZ: 03EN1021B

Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE
Heidenhofstraße 2 | 79110 Freiburg

EVALUATION.digital

FKZ: 03EN1021D

Mondas GmbH
Emmy-Noether-Str. 2 | 79110 Freiburg

Luftqualität

FKZ: 03EN1021F

Testo SE & Co. KGaA
Celsiusstraße 2 | 79822 Titisee-Neustadt

Anlagenplanung mit BIM

FKZ: 03EN1021C

Konzmann Gebäudetechnik GmbH
Niederwiesenstraße 34 | 78050 VS-Villingen

Betriebsführung mit BIM

FKZ: 03EN1021E

Maurer Energie- und Ingenieurleistungen GmbH & Co. KG
Dr.-Kurt-Steim-Strasse 7 | 78713 Schramberg-Sulgen

Autor dieses Berichtes:

Sascha Reißmann

Hochschule Offenburg | Institut für Energiesystemtechnik
Badstraße 24 | 77652 Offenburg

sascha.rissmann@hs-offenburg.de

Offenburg, 25. Juli 2021

Kurzfassung

Die Abnahme und Inbetriebnahme des Gebäudes mit der gesamten Energieversorgungsinfrastruktur für Büro und Technikum ist erfolgreich abgeschlossen. Die Inbetriebnahme konzentrierte sich dabei auf Grundwasserbrunnen, Wärmepumpe, prozesstechnische Anlagen (im Technikum), Lüftungsanlage, Elektrotechnik, Solarstromanlage, Übergabesysteme (Bauteilaktivierung) sowie die Mess- und Regelungstechnik. Neben allen sicherheitstechnischen Aspekten für Mensch und Maschinen wurde dabei insbesondere die gebäudeintegrierte Speicherfähigkeit der Bauteilaktivierung in Mittellage und die Regelbarkeit der oberflächennahen Bauteilaktivierung berücksichtigt.

Um eine detailliertere Abnahme und Inbetriebnahme zu gewährleisten, wurden zusätzlich zu den VOB/B Anforderungen folgende Methoden und Richtlinien berücksichtigt bzw. genutzt:

- VOB/B, hier §12 und insb. Formblatt 442,
- VDI 6039 „Inbetriebnahmemanagement für Gebäude“,
- AMEV-Richtlinie Technisches Monitoring (TMon) und
- AMEV-Richtlinie RLT-Anlagenbau

Dafür wurden ein Schnittstellenkatalog mit den verwendeten Regelwerken, eine Gewerkebeziehungsmatrix und eine Erfahrungstabelle mit den aufgetretenen Mängeln, ihrer Beseitigung und möglichen digitalen Überprüfungsverfahren erstellt.

Zur Kontrolle des Inbetriebnahmeprozesses wurde ein technisches Monitoring als Unterstützung installiert. Darüber hinaus dient die dazugehörige Weboberfläche **mondas IoT** als Anlagen-, Energie-, und Komfortmonitoring.

1 Abnahme / Schnittstellenkatalog

Die Abnahme wurde gemäß VDI 6039 in einem Schnittstellenkatalog für die Einzelgewerke getrennt nach den Kostengruppen entsprechend DIN 276 dokumentiert.

Tabelle 1 zeigt den Schnittstellenkatalog. Hier werden neben den einzelnen Prozessschritten alle an der Abnahme beteiligten Unternehmen vom Planungsbüro über die bauausführenden Firmen bis hin zum Nutzer genannt. Diese Matrix zeigt die Rolle und Verantwortlichkeit jedes Beteiligten im Abnahmeprozess mit seiner Funktion. Damit wird u.a. dokumentiert, ob der Beteiligte zuständig, nur beteiligt ist oder lediglich über den jeweiligen Prozessschritt informiert werden soll. Zusätzlich werden Normen und Protokolle, die zur Durchführung von Abnahme und Funktionsprüfungen der Systeme verwendet werden, definiert.

Tabelle 3 Erfahrungstabelle mit relevanten Fehlern / Mängeln bei der Inbetriebnahme.

Erfahrungstabelle bei der Inbetriebnahme					
Gewerke	Nr.	Relevanteste und häufigste Fehler/Probleme	Fehlerbehebung	Digitale Überprüfungsmethode	Bemerkung
1) Wasseranlagen	1.01	Gluckendes Geräusch der GWP	System befüllt	Überwachung Druckhaltestation	Außerdem gespült und entmineralisiert
	1.02	Plötzliche Wertänderung und negative Werte in WMZ bei GWP-Rücklauf	Neupositionierung von Rücklauf in Vorlauf GWP	Überwachung WMZ auf plötzliche Wertänderung und Negativwerte	
	1.03	Abschalten bei Anlaufen der kleinen GWP	Frequenzrichter auf richtiges Modell eingestellt	Nicht möglich	Überstromabschaltung. Nicht als separater Fehler in GLT einprogrammiert ("Systemblockierung")
	1.04	Strömungswächter trotz keiner Strömung aktiv	Strömungswächter auf richtiges Medium konfiguriert	Überwachung Strömungswächter	Umgeschaltet von Gas auf Wasser
	1.05	Strömungswächter stromseitig an Steuerungssignal angeschlossen	Überprüfung vor Ort aller Geräteanschlüsse und Funktionalität der Leittechnik	Nicht möglich	
	1.06	GWP in GLT vertauscht	Neuzuweisung	Überwachung der GWP-Stromaufnahme, oder Beziehung Strom-Druck	Datenpunkt zur Überwachung bei uns nicht vorhanden
	1.07	Rückflussverminderer Defekt	Redundanz durch Rückschlagklappen gewährleistet	Überwachung Druck der GWP bei Systemstillstand	
	1.08	Minimaldurchfluss an Strömungswächter nicht eingestellt	Minimaldurchfluss an Strömungswächter eingestellt	Nicht möglich	
	1.09	Rückflussverminderer an kleiner Pumpe defekt	Keine Fehlerbehebung nötig, da Rückschlagklappe vorhanden.	Nicht möglich	
	1.10	Fehlfunktionen im Betrieb der druckregulierten Grundwasserpumpen-Regelstrategie. Regelungsreihenfolge der großen Pumpe und der kleinen Pumpe in Abhängigkeit von der für den Heiz- und Kühlbedarf benötigten Wassermenge.	Parametrierung des Regelungs-systems durch definierte Testläufe	Parametervergleich durch "aktive Funktionsbeschreibung"	Unvorhergesehene Probleme durch hydraulische Kurzschluss von Pumpen unterschiedlicher Leistung (höherer Pumpendruck einer Pumpe drückt Rückschlagventil kleine Pumpe zu -> keine Strömung -> Strömungswächter löst aus)
	1.11	Kleine GWP ist ausschließlich bei ersten hochfahren aktiv. Ansonsten wird der Bedarf komplett von großer GWP gedeckt	Minimalwert der großen GWP in Regelung anheben	Überwachung Pumpenlaufzeit	Keine Kennwerte bekannt, muss durch ausprobieren gelöst werden
	1.12	Mindestwassermenge für GWP sicherstellen	Bypass zur größeren Wasserabnahme	Überwachung Volumenstrom GWP	Momentan Provisorisch, wird bei funktionierender GWP-Regelung entfernt
	1.13	Pumpenvor- und Nachlauf nicht sichergestellt	Zuverlässiger Pumpennachlauf in W' Pumpe und GWP Regelung implementiert	Temperatur des W' Pumpen-Sekundärkreislauf	Sonst Frostschutz W' Pumpe (Eigene Regelung)
	1.14	Druckschwankungen	Drucksollwert von Pa auf mPa umgestellt	Nicht möglich	Suboptimaler Anschluss des Drucksensors in Brunnenvorlauf (Nennweite von Einbindung zu groß -> Turbulenzen bei Druckmessung) Digitale Überprüfung hätte wahrscheinlich eher eine PID-Regelungsanpassung gemacht
	1.15	Falsche Warmmeldungen und Alarme von Sensoren wie z. B. Brunnenwasserstand und Strömungswächtern.	Einstellung der Grenzwerte von Alarmen und Warmmeldungen entsprechend der Funktionsbeschreibung.	Parametervergleich durch "aktive Funktionsbeschreibung"	
	1.16	Undichtigkeit	Behebung durch ausführende Firma	Überwachung Druckhaltestation und Wassernachspeißung	Würde erst starken Undichtigkeiten oder lang unbemerkten Undichtigkeiten funktionieren
2) Wärmeversorgungsanlagen / TABS / FBH	2.01	Wasserleckagen in der FBH.	Thermografie zur Lokalisierung der Leckstellen im Beton und Reparatur der Kreisläufe durch einen Bypass der beschädigten Rohre. BzW. stilllegen des Kreises (Foyer)	Überwachung Druckhaltestation Wassernachspeißung	Schon in Bauphase bemerkt. Erst in Inbetriebnahme durch Bypass gelöst
	2.02	Mindestwassermenge für Wärmepumpe	Regelung angepasst: Wärmepumpe startet erst wenn 1.) Ventil zum Schlackbrunnen offen 2.) Ventil am Wärmetauscher offen und 3.) GWP 2 Minuten Wasser fördert	Nicht möglich	Siehe auch 1.13
	2.03	Probleme bei der Regelungskonfiguration für die Wärmepumpenfreigabe nach Wärmeanforderung.	Einstellung der Wärmepumpen-Freigabewerte gemäß der Funktionsbeschreibung.	Nicht möglich	
	2.04	Wärmepumpe geht bei Abschaltung in Frostschutz	Pumpennachlauf nach Abschaltung der Wärmepumpe	Nicht möglich	Siehe auch 1.13
	2.05	Fehlfunktion der Wärmespeicherstrategie. Wärmepumpenfreigabe in Abhängigkeit von den Temperaturen in den verschiedenen Schichten des Pufferspeichers.	Parametrierung des Regelungs-systems gemäß der Funktionsbeschreibung der Gebäudeautomation.	Nicht möglich	
	2.06	Wärmetauscher Speicher Rücklauf falschrum durchströmt	Ummontieren (Behebung der ausführenden Firma)	Nicht möglich	
	2.07	Wärmetauscher Heizung/Kühlung im Gleichlauf verrohrt	Neue Verrohrung (Behebung der ausführenden Firma)	Nicht möglich	
	2.08	Oberflächenheize BKT ohne Funktion (von System übersteuert)	Ventile von System übersteuert	Fehlerrückgabe bei Nicht-Funktion in Abhängigkeit von Innentemperatur und Außentemperatur	Unterstützt durch Data Monitoring
	2.09	Betonkerntemperatur Ventile ohne Anforderung	Regelung anpassen	Fehlerrückgabe bei Nicht-Funktion in Abhängigkeit von Innentemperatur und Außentemperatur	Unterstützt durch Data Monitoring
	2.10	Betonkerntemperatur Ventile nicht aktiv zur gewünschten Zeitspanne	Regelung anpassen	Fehlerrückgabe bei Nicht-Funktion in Abhängigkeit von Innentemperatur, Außentemperatur und Tageszeit	Unterstützt durch Data Monitoring
	2.11	Undichtigkeiten	Behebung durch ausführende Firma	Überwachung Druckhaltestation und Wassernachspeißung	Würde erst starken Undichtigkeiten oder lang unbemerkten Undichtigkeiten funktionieren
	2.12	Falsch Verrohrt Wärmetauscher	Behebung durch ausführende Firma	Überwachung Kumulierte Wärme-/Kälteleistung	Würde erst nach längerer Messung hilfreich sein
3) Raumlufttechnische Anlagen / Serverkühlung / Prozesskühlung	3.01	Schwierigkeiten bei der Luftmengenregelung des Lüftungsanlage	Parametrierung des Regel-systems des Lüftungsanlage	Nicht möglich	
	3.02	Luftvolumenstromregler falsch eingebaut	Ummontiert	Rückmeldung vom Luftvolumenstromregler	Datenpunkt zur Überwachung bei uns nicht vorhanden
	3.03	Lüftungsbetrieb trotz Kältebetrieb im System in Heizmodus	Parametrierung des Lüftungsanlage	Rückmeldung von der Lüftungsanlage	Datenpunkt zur Überwachung bei uns nicht vorhanden. (Workaround: Sollwert für Heizen an Lüftungsanlage runtergestellt)
	3.04	Umluftgerät in Serverraum gibt Geräusche von sich	Welle des Umluftgeräts zentriert (Behebung durch ausführende Firma)	Nicht möglich	
	3.05	Probleme mit der Serverkühlungsfreigabe und der Raumtemperaturregelung in den Serverräumen.	Freigabe an GLT-Baustein falsch verdrahtet (Polarität umgedreht)	Über Alarm der GLT festgestellt	
	3.06	Serverkühlung startet einzeln und unabhängig voneinander	Verkettung beider Umluftkühler in GLT	Überwachung der Serverkühlungs-Laufzeit	Geringerer Verbrauch, da Grundwasserpumpe nicht extra für ein Umluftkühler anspringen muss
	3.07	Negative Werte im Kältemengenzähler in den Kühlkreisläufen.	Überprüfung vor Ort aller Geräteanschlüsse, die unipolare Signale liefern.	Überwachung WMZ	Falscher WMZ -> Austausch
	3.08	Schwierigkeiten bei der Einhaltung der Sollwerte der Prozesskühlung.	Parametrierung des Regelungs-systems gemäß der Funktionsbeschreibung der Gebäudeautomation.	Überwachung Raumtemperatur	
	3.09	Pumpe der Prozesskühlung gibt Geräusche von sich	Kühlkreis entlüften, Förderhöhe zu hoch eingestellt	Nicht möglich	Behebung durch ausführende Firma
	3.10	Sollvolumenstrom der Luft nicht ausreichend	Sollvolumenstrom eingestellt	Überwachung der Volumenströme	Datenpunkt zur Überwachung bei uns nicht vorhanden
4) Elektrische Anlagen / Beleuchtung	4.01	Elektrotechnik: Erste Abnahme gemäß § 12 VOB/B (Mängelbehebung bis 28.07.2020)			Mängelfreimeldung 28.07.2020
	4.02	PV Anlage: Erste Abnahme gemäß § 12 VOB/B (Mängelbehebung bis 11.11.2020)			
	4.03	Sicherheitsbeleuchtung / Batterieanlage: Erste Prüfung (Mängelbehebung bis 03.11.2020)			
	4.04	Elektrozähler fehlen in GLT	Erneute Implementierung	Überprüfung der Elektrozähler	Modbus Schnittstelle hat sich zurückgesetzt
	4.05	Beleuchtung im Technikum unkomfortabel	Tasterbelegung Technikum angepasst Es wurde für das Containerdorf ein Zeitprogramm eingerichtet	Nicht möglich	Bei uns nicht möglich gewesen, da Messdatenpunkte zu diesem Zeitpunkt noch nicht übertragen wurden
	4.06	Die Beleuchtung für das Containerdorf hat einen falschen Wirkungssinn Alle drei Büroetagen sind zu warm.		Vergleich mit dem Zeitprogramme der Außenbeleuchtung	Siehe 2.09 und 2.10
5) Arbeitsplatzqualität und Wetterstation	5.01	Jalousieabsenkung für den sommerlichen Wärmeschutz zu früh / zu spät	Positionierung des Pyranometer an der Westfassade, Einstellung des Grenzwertes	Überwachung der Strahlungswerte an der Westfassade	
	5.02	Jalousieabsenkung für den sommerlichen Wärmeschutz funktioniert nicht im Heizbetrieb	Übergangsbetrieb zwischen Heiz- und Kühlbetrieb implementiert	Nach Datum (allerdings unüblich -> manuelle Umschaltung durch Nutzer)	Übergangsbetrieb = Heizen + automatisierte Jalousieabsenkung (Wärmeschutz)
	5.02	Jalousieabsenkung für den sommerlichen Wärmeschutz funktioniert nicht nach Schutzblockierung	Verringerung der Wiedereinschaltzeit nach Schutzblockierung, Übersteuerung durch zentralen Handgriff	Nicht möglich	
	5.03	Raumregelung R205 mit falschem Raumsegment verknüpft (RSegm207)	Die korrekte Verknüpfung wurde manuell eingerichtet	Nicht möglich	
	6.01	Kommunikation zwischen KNX und XWP			Nicht möglich
6) Datenerfassung	6.02	Mehrfache Konfiguration von Controllern und Zählern			Nicht möglich
	6.03	Übertragung von Konfigurationen in andere Betriebsmodi			Nicht möglich
7) Data Monitoring	7.01	Manche Datenpunkte nicht in der EDE-Liste	Würden implementiert	Nicht möglich	
	7.02	Die Datenpunkte zu den Ventilen der oberflächennahen Bauteilaktivierung zeigen keine Daten an	Mithilfe der GLT die echten Datenpunkte finden. Anschließend Implementierung der tatsächlichen Datenpunkte durch Modas.	Nicht möglich	Behelfdatenpunktverknüpfungen wurden verwendet
	7.03	Wärmemengenzähler sind noch nicht alle in der GLT integriert	Erneute Implementierung	Nicht möglich	Mod-Bus Schnittstelle hat sich zurückgesetzt
	7.04	Die Datenpunkte zu den Ventilen der oberflächennahen Bauteilaktivierung zeigen keine Daten an (sollte bei ca. 15 m liegen)	Der Wasserstand wird im Bezug auf den Meeresspiegel angezeigt. Es wurden weitere Datenpunkte gefunden, die den gewünschten Wert anzeigen.	Nicht möglich	Schwer verständliche Datenbeschreibung
	7.05	Wasserstandssensoren zeigen 150 m an (sollte bei ca. 15 m liegen)	Durch Abgleich mit den Datenblättern der jeweiligen Sensoren und den Daten in der GLT die richtigen Einheiten ermittelt. Neuer Import der korrigierten Metadaten.	Nicht möglich	
	7.05	Vereinzelte Sensoren im Monitoring zeigen die Messwerte mit falschen Einheiten an, weil sie vorab falsch definiert wurden.			

3 Digitales Monitoring

Das technische Monitoring bringt beim digitalen Inbetriebnahmeprozess viele Vorteile mit sich. Die technische Umsetzung des Anlagen-, Energie und Komfortmonitorings wurde mit der Weboberfläche **mondas IoT** realisiert. Die Plattform ist auf das Zeitreihenmanagement spezialisiert und wird genutzt, um Messdaten zu bearbeiten, zu modifizieren und zu visualisieren.

Die bereitgestellte Weboberfläche kann im weiteren Projektverlauf für die digitale Inbetriebnahme verwendet werden. Die Metadatenstruktur, die von *Fraunhofer ISE* entwickelt wurde, ist innerhalb der Weboberfläche für die Messdatenerfassung am *RIZ Energie* implementiert.

3.1 Weboberfläche

Die Weboberfläche **mondas IoT** greift über ein lokal installiertes Gateway auf die am *RIZ Energie* erfassten Daten zu und ermöglicht eine Weiterverarbeitung und Visualisierung der Daten. Dazu können unter anderem Carpetplots („Teppichdiagramme“), Streudiagramme („x,y-Darstellungen“) und Zeitreihendiagramme (vgl. *Abbildung 1*) erstellt werden.



Abbildung 1 Beispiel für Zeitreihendiagramme für den Saug- und Schluckbrunnen: Pumpenbetrieb sowie Vor- und Rücklauftemperatur.

Über die einfache Visualisierung hinaus bietet die Weboberfläche ebenfalls die Möglichkeit, „virtuelle Sensoren“ zu erstellen. Diese Funktion ist speziell für zeitreihenbasierte Anwendungen konzipiert und ermöglicht (ggf. auch rückwirkend) Zeitreihen zu verändern oder zu modifizieren. Das Prinzip kann am Beispiel einer Differenzenbildung anschaulich erläutert werden: Mit einem virtuellen Sensor ist es möglich, aus zwei Zeitreihen für die Vor- und Rücklauftemperatur eines Systems einen (virtuellen) Sensor für die Temperaturdifferenz zu erstellen, vgl. *Abbildung 2*.

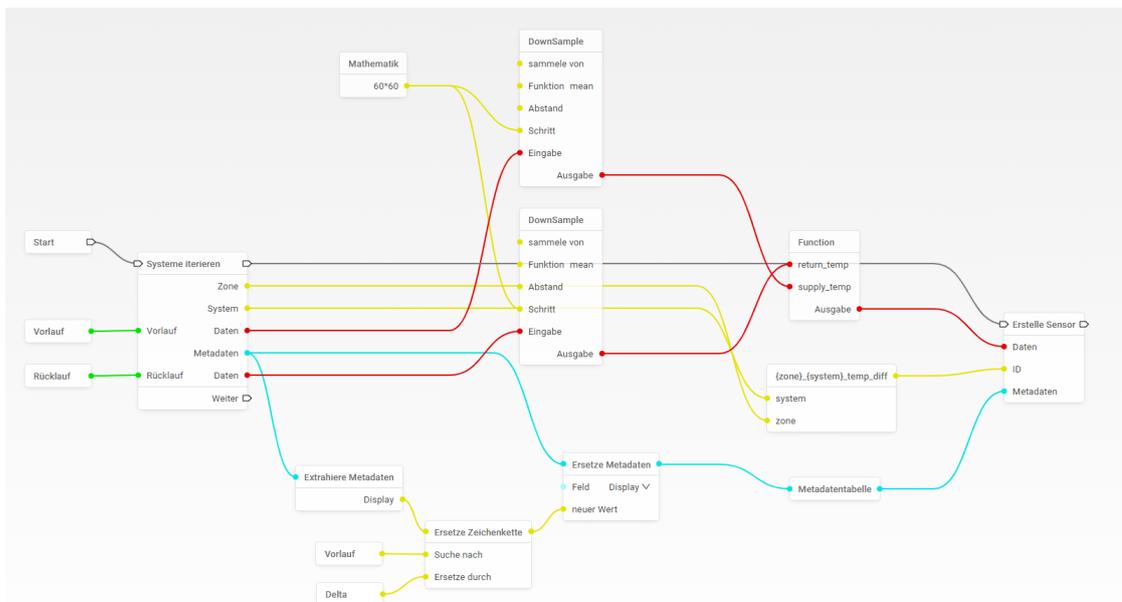


Abbildung 2 Programmierung eines virtuellen Sensors zur Berechnung von Temperaturdifferenzen in *mondas IoT*.

Zeitreihen und Diagramme werden für einzelne Anlagen dargestellt, um Subsysteme und Anlagenkomponenten getrennt und unter Berücksichtigung ihrer Wechselwirkung evaluieren und optimieren zu können:

- Wetterstation
- Brunnenanlage
- Wärmepumpe
- Wärmespeicher
- Betonkerntemperatur
- Lüftung
- Arbeitsplatzqualität

Damit können Teilenergiekennwerte und das Innenraumklima (jeweils in Abhängigkeit des Wetters, der Anwesenheit und des Nutzerverhaltens) bestimmt bzw. analysiert werden.

3.2 Metadatenstruktur

Zur Datenstrukturierung wurde vom *Fraunhofer ISE* ein Metadatenkonzept entwickelt und mit den entsprechenden Metadaten für das *RIZ Energie* parametrisiert. *Tabelle 4* zeigt die Hauptkategorien des Konzepts.

Tabelle 4 Metadatenkonzept für das *RIZ Energie*.

Kategorie	Beschreibung
Zone	räumliche Zone, in der sich der Sensor befindet / auf die sich der Sensor bezieht
SYS	technisches System, in dem sich der Sensor befindet
SUBSYS	Untersystem innerhalb eines technischen Systems
MED	Medium, das gemessen wird
POS	Position des Sensors innerhalb des technischen Systems, z.B. Vor- oder Rücklauf
DP	Typbezeichnung des Datenpunkts

Die Metadaten werden innerhalb der Webplattform genutzt, um strukturiert Abfragen durchführen zu können. So kann beispielsweise im technischen System Wärmepumpe (SYS) über die Kategorien SYS und DP eine Abfrage aller Temperaturmessungen (DP) realisiert werden. *Abbildung 3* zeigt einen Ausschnitt der in **mondas IoT** hinterlegten Metadatentabelle.

ImportLabel	Description	Unit	object-type	SYS	SUBSYS1	SUBSYS2	MED	POS	DP	Color	Min
Heiz-/Kältekreis zur...	RIZETHCFIHC14VivShof1	Ventil Zone 1.4.2	Binärer Ausgang	WC.HC.ACS		VAL_CTRL	W.HC	RET	COM.CLEA	■	
Lüftungsgerät Klapp...	RIZETAHuDmp2	Fortluft/Abluftklappe	Binärer Eingang	AHU	DAMP		AIR_EXTR		STAT.POS	■	
Heiz-/Kältekreis zur...	RIZETHCFIHC33HCdmd	Wärme/Kältebedarf	Binärer Wert	WC.HC.ACS			W.HC		COM.CLEA	■	
Lüftungsgerät Abluf...	RIZETAHuExP	Abluftdruck	Analoger Eingang	Pa	AHU		AIR_EXTR		MEA.P	■	
Heiz-/Kältekreis zur...	RIZETHCFIHC31PrOpMod	Aktuelle Betriebsart	Binärer Wert	WC.HC.ACS			W.HC		STAT.MOD	■	
Braunen Pumpe 2 K...	RIZETWPu2Mdl	Stetige Ansteuerung	Analoger Ausgang	%	GW	PU		W.CO	SUP	SEV.POS	■
Lüftungsgerät Voku...	RIZETAFlr3VSR6	VSR 3.1.Z.1 3.0G 3.16 ZUL	Analoger Ausgang	%	AHU			AIR_SUP		SEV.VF	■
Heiz-/Kältekreis zur...	RIZETHCFIHC21VivShof2	Ventil Zone 2.1.3	Binärer Ausgang	WC.HC.ACS		VAL_CTRL	W.HC	RET	COM.CLEA	■	
Heiz-/Kältekreis 3 P...	RIZETHCHGGrp3MxO1PuCmd	Befehl	Binärer Ausgang	WC.HC		PU		W.HC	SUP	COM.CLEA	■
Außenklima MEAS...	RIZETAWhStnSolAzim	Sonnenazimut	Analoger Eingang	°	ODC				MEA.SUN.ANGL	■	

Abbildung 3 Ausschnitt aus der Metadatentabelle in der Webplattform **mondas IoT**.

4 Digitale Prozesse bei der Inbetriebnahme und Betriebsoptimierung

Abbildung 4 zeigt das Datenflussdiagramm in **BUILD.DIGITIZED** mit den fünf Datenmodulen. Es zeigt den Prozess im Detail und verdeutlicht wie die Arbeitspakete miteinander verbunden sind:

1. Gebäudemonitoring, das Management, Analyse und Visualisierung der Messdaten in Echtzeit über die Weboberfläche **mondas IoT** umfasst.
2. BIM-Modelle des *RIZ Energie* (auch "statischer digitaler Zwilling" genannt) mit allen nicht variablen Informationen zum Gebäude und zu den technischen Anlagen. In erster Linie für die Parametrisierung genutzt.
3. Arbeitsplatzqualität, mit Messung und Bewertung von Komfort- und Luftqualität
4. Simulationsmodell (auch "dynamischer digitaler Zwilling" genannt) mit dem Simulationsmodell für Gebäude und Anlagentechnik. Ziel ist es, eine energetische Analyse und Bewertung möglichst in Echtzeit durchzuführen.
5. Modul zur Fehlererkennung und -diagnose mit dem Verfahren zur Fehlererkennung (im Idealfall auch Fehlerbehebung) und zur Betriebsoptimierung im Gebäudebetrieb.

Bei der Inbetriebnahme wurden BIM-kompatible Datenstrukturen für die Erstellung der GA-Datenpunktliste mit allen Messpunkten der Gebäude- und Anlagentechnik verwendet. Diese einheitlichen Metadatenstrukturen und Metadatenbezeichnungen, die vom *Fraunhofer ISE* entwickelt wurden, wurden für einen Abgleich mit den Mindestanforderungen der AMEV TMon verwendet, um die benötigten Messpunkte für eine optimale Überwachung des Gebäudes zu filtern und auszuwählen. Gleichzeitig wird ein Anlagenverzeichnis automatisch erstellt. So kann automatisiert und übersichtlich geprüft werden, ob Sensoren in den Anlagen fehlen, um den Gebäudebetrieb überwachen und schließlich betriebsbegleitend optimieren zu können.

Die Weboberfläche **mondas IoT** ermöglicht auch die Überwachung der Systeme mittels verschiedener Methoden. Zum Beispiel konnten durch die Erstellung verschiedener Grafiken wie Signature- und Carpet-Plots Fehler im Betrieb der Anlagen in Echtzeit erkannt werden.

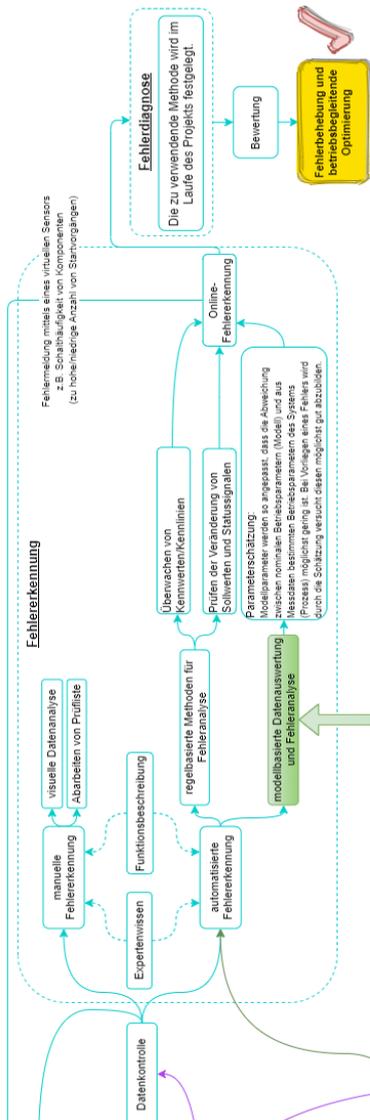
Diese (manuelle) Fehlererkennung wurde maßgeblich durch die Erstellung von "virtuellen Sensoren" unterstützt. Diese virtuellen Sensoren ermöglichen es, eine Messung auf der Grundlage der von anderen Sensoren generierten Informationen zu erstellen.

Diese wirkungsvolle Methode ermöglicht es in einem nächsten Schritt, die digitale Inbetriebnahme weitgehend zu automatisieren.

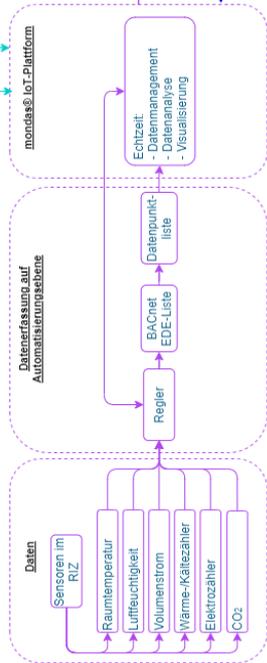
Die betriebsbegleitende Optimierung wurde während der Inbetriebnahmephase durch eine modellbasierte Auswertung mit Algorithmen von *Testo* ergänzt, bei der eine Partikelanalyse durchgeführt und die CO₂-Konzentrationen im Gebäude ermittelt wurden. Diese wurden mit den Messwerten der im *RIZ Energie* installierten Sensoren verglichen, um festzustellen, ob die Messdaten konsistent sind und ob die Lüftungsanlage in Abhängigkeit von der Luftqualität korrekt funktioniert.

Darüber hinaus wurden im Python-Simulationsmodell des *RIZ Energie* Algorithmen eingesetzt, um eine modellbasierte Datenanalyse durchführen zu können. Hier wurden die simulierten Raumtemperaturen mit den im *RIZ Energie* gemessenen verglichen, um Fehler oder Abweichungen im Betriebszustand zu identifizieren und mögliche Gründe für diese Unterschiede zu analysieren und zu korrigieren.

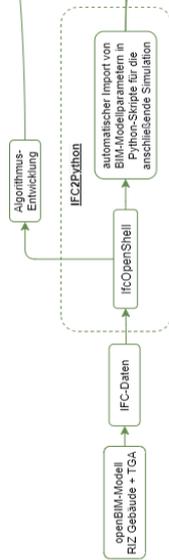
Fehlererkennung und -diagnose



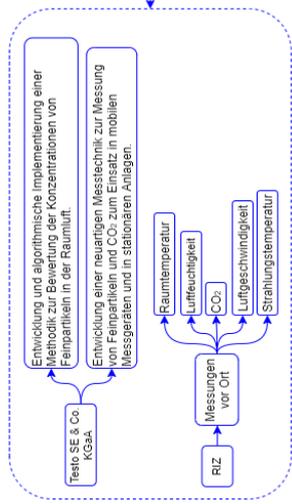
Gebäudemonitoring



BIM-Modell (statischer digitaler Zwilling)



Arbeitsplatzqualität



Simulationsmodell (dynamischer digitaler Zwilling)

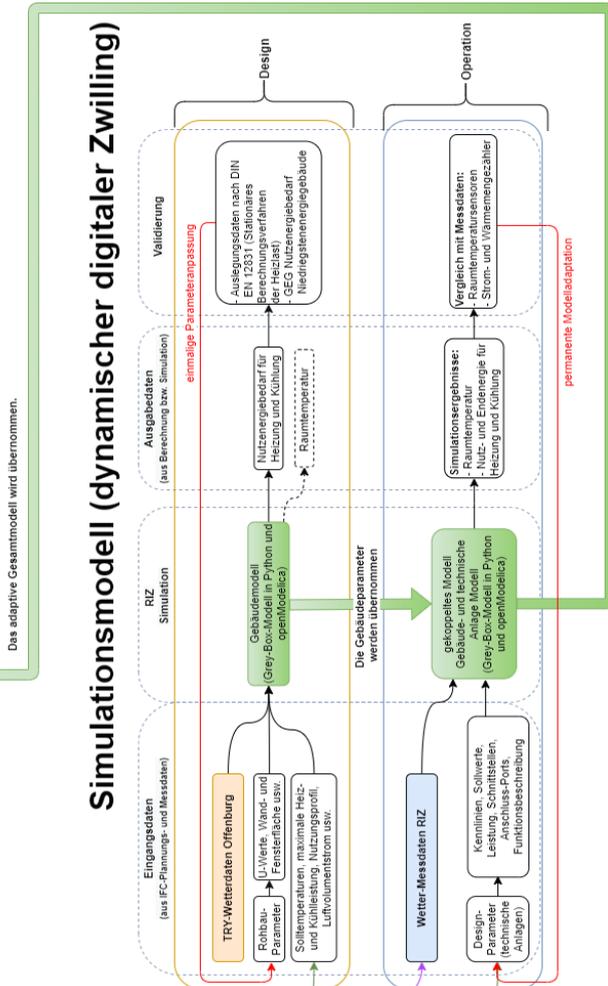


Abbildung 4 Datenflussbild für die digitale Inbetriebnahme in BUilD.DIGITIZED.