

Summary, Dissertation Grob

Einleitung:

Inbetriebnahme: Mängeln beheben

Abnahme: Funktionen der vorhandenen Systeme überprüfen

Grobe Problemfeststellung der rudimentären Inbetriebnahme:

Energieverbrauch oder die Reaktionsfähigkeit der Anlage negativ beeinflussen, viele Anlagen entsprechen nicht den geplanten Anforderungen und werden nicht in ihrem Optimum betrieben, Regel- und Steuerfunktionen unter Außeneinfluss können nicht untersucht werden

Zielsetzung:

Automatisierungsfunktionen unabhängig vom Stand der übrigen heiz- und raumluft-technischen Systemen sowie unter beliebigen Lastsituationen überprüfen

Struktur dieser Arbeit:

1. generelle Vorgehensweise für die optimale Inbetriebnahme von Automatisierungsfunktionen definieren
2. Testumgebung entwickeln
3. Vorgehensweise und Testumgebung auf Beispielanlage anwenden

Vorbereitung für Entwicklung der Methodik:

(1) SOTA (gegebenenfalls plus Definition der wichtigen Begriffe):

Im Bereich Gebäudeautomatisierung sowie BEMS mit Schwerpunkt Abnahmeprüfung, Inbetriebnahme und Gebäudeleittechnik

Im Bereich Gebäudesimulation sowie Simulationsprogramm mit Berücksichtigung Anpassung an das reale Verhalten von Komponenten

Im Bereich Emulator als Nachbildung der zu testenden Regelgeräte (oder andere Methodik für Entwicklung einer simulationsbasierten Testumgebung)

(2) Praxis der Inbetriebnahme:

Beispiel in der Praxis der Inbetriebnahme untersuchen, um Anforderungen für die Überprüfung der Funktionen aus den daraus resultierenden Erkenntnissen abzuleiten

Objekte der Inbetriebnahme:

1. Teilanlagen der heiztechnischen und lufttechnischen Systeme sowie stichprobenweise Testen von Regelgeräten:

Anlagen auf ihre Vollständigkeit und Funktion prüfen, z.B. auf die Wassertemperatur und den Luftvolumenstrom; Regelgeräte werden stichprobenweise getestet, wie die Anlage auf Änderung der Sollwerte reagiert; Veränderung dieser Standardwerte passiert nur wenn große Störungen auftreten.

2. Gebäudeleittechniksystem:

Sichten der Revisionsunterlagen; Überprüfen des gesamten GLT-Systems auf Vollständigkeit, Bedienbarkeit und Programmierung; Kontrolle der DDC-Unterstation (Formalbeschriftung, Aufbau); Testen von Automatisierungsfunktionen der GLT durch manuelles Auslösen

bestimmter Sicherung/Alarm (Brandschutzklappen, Frostschutz, Optimierungsfunktionen, Trendprotokolle, etc.).

Wesentliche gefundene Probleme:

Bauherr, im Vergleich zur fachtechnischen Abnahme und Inbetriebnahme, spielt eine größere Rolle im Bezug auf Verantwortung für Bauphase sowie spätere Betrieb.

Automatisierungsfunktionen werden nur sehr oberflächlich sowie stichprobenweise überprüft und detaillierte Überprüfung des dynamischen Verhalten der Regelgeräte fehlt, deshalb keine energetisch optimierter Betrieb möglich ist.

Die traditionelle Kontrolle der gesamten Gebäudeleittechniksystems ist zeit- und personalaufwendig.

Bei der Inbetriebnahme wird nur zufällig herrschende Lastbedingung berücksichtigt, fehlen Innenlasten des Gebäudes und nochmalige Überprüfung der extremen Wetterbedingungen.

Methodik - Definition einer verbesserten Inbetriebnahme und Abnahme:

(1) Anforderungen für Testprozeduren der Inbetriebnahme:

Minimierung des zeitlichen und personellen Aufwands; einfacher sowie effektiver Test von wichtigen Sicherheits- und Alarmfunktionen, Möglichkeit eines höheren Automatisierungsgrads bei der Inbetriebnahme; Möglichkeit zur umfassenden Überprüfung der allen digitalen Automatisierungsfunktionen und Gesamtanlage anstatt der bisherigen stichprobenartigen Prüfung einzelner Funktionen; Möglichkeit zur Inbetriebnahme der Automatisierungsfunktionen abseits der Inbetriebnahme der realen Anlagen; Unabhängigkeit von den zum Zeitpunkt der fachtechnischen Abnahme herrschenden Randbedingungen; Möglichkeit, BEMS unter verschiedenen Extrembedingungen zu testen.

(2) Prinzipielle Idee: Emulator

Einsatz einer bestehenden virtuellen Testumgebung, die aus Simulationsmodell (mit Echtzeitmodul und Emulationsschnittstelle integriert), Datenerfassungssystem und reale Regelgeräte besteht, bildet Basis für weitere Entwicklung und Detaillierung.

1. Simulationsmodell

Simulation der Anlagen und Gebäude, Echtzeitmodul (simulierten Anlagenbetrieb auf Echtzeit verlangsamen) und Emulationsschnittstelle. Die Emulationsschnittstelle als selbstständiges Unterprogramm in Simulationsumgebung spielt eine große Rolle, da sie dient zum Datenaustausch zwischen realen Regelgeräte und virtueller Welt.

Grundlage für Simulation: Lebenszyklusansatz, was zeigt, wie die Betriebssimulation in verschiedenen Lebensphasen eines Gebäudes eingesetzt wird. Im gesamten Lebenszyklus werden nicht nur Simulationsmodell entwickelt und angepasst sondern auch reales Betriebsverhalten der Anlagen und des Gebäudes ständig untersucht und optimiert.

2. Datenerfassungssystem

Datenerfassungssystem, das mit Hilfe der Emulationsschnittstelle mit Simulationsmodell verbunden ist, überträgt Datenströme vom Simulation und von realen Regelgeräte.

3. reale Regelgeräte

Hintergrund: Hardware im Regelgerät (D/D -und D/A-Wandler) dient nur zur Ausführung der Programme sowie Datenübertragung zwischen Sensoren und Aktoren und ist durch eine

Serienfertigung standardisiert. Im Gegensatz dazu zeichnet sich die Software mit Regel-funktionen integriert durch einem individuellen Programmieren und Parametrisieren aus, d.h. muss man die Regelprogramme speziell für jede Anlage neu erstellt. Der Vorteil hierfür liegt darin, dass Kosten durch Aufteilung in Hard- und Software reduziert wird und individuelle Programmierung sowie Parametrierung die Anpassung der Energiemanagementsysteme an jeweiligen Gegebenheiten ermöglicht.

Problem: Im Gegensatz zur Möglichkeit der einfachen sowie effektiven Überprüfung der einzelnen Hardware im Regelungssystem, Software (Programme) wird nur als Ganzes wie ein Black Box betrachtet. Infolgedessen kann die Arbeitsweise der programmierten Algorithmen zur Zeit ausschließlich in der Wechselwirkung mit einer realen Anlage kontrolliert werden.

Lösung im Emulator: die herstellersistezifisch standardisierten Regelungsgeräte über Emulationsschnittstellen mit einem Simulationsmodell verknüpfen und das für die reale Anlage entworfene Automatisierungsprogramm auf die standardisierte Hardware aufspielen. Falls man die Automatisierungssysteme der verschiedenen Anlagen testen sollte, muss lediglich das Simulationsmodell ausgetauscht sowie die entsprechende Automatisierungssoftware der anderen Anlage auf die Hardware aufgespielt werden, falls der gleiche Hersteller die Regelung liefert.

(3) Definition der Testprozeduren

Durch den Einsatz des bestehenden Emulators sind einige vorher gestellte grundlegende Anforderungen im Bereich min. Zeit- und Personalaufwand, einfache und effektives Testen, Überprüfung der Automatisierungsfunktionen abseits der Inbetriebnahme der Gesamtanlagen, Überprüfung unter Bedingungen der veränderbaren Innenlast und Witterung zu erfüllen. Die Entwicklung der universell einsetzbaren Testprozeduren wird von Erfüllung der praktischen Anforderungen z.B. bezüglich eines höheren Automatisierungsgrads der Inbetriebnahme und Berücksichtigung verschiedener Extrembedingungen ausgegangen.

1. Vorbereitungsphase

Hardware zuerst in virtuelle Umgebung installieren und dann Aufspielen der zu testenden Regelungsprogramme auf die Regelungsgeräte; Einbinden des Simulationsmodells in die virtuelle Testumgebung; Herstellen der Datenverknüpfungen zwischen der virtuellen Anlage in Simulationsumgebung und dem realem Regelungssystem mit Schwerpunkt auf Konfiguration der Datenkanäle hinsichtlich Signalart und Signalbereich.

- Datenaustauschmodul in Simulationsumgebung:

virtuelle Messwerte und Regelsignale nach außen an realen Regelgeräte geben, Stell- und Regelsignale des zu testenden Regelungssystems an virtuellen Anlagen im Simulationsmodell geben

2. Testphase im Open-Loop-Modus

Simulationsmodell wird nicht genutzt, wesentliche zu testende Funktionen: **Steuer/Alarmfunktionen**, bei denen keine gegenseitige Beeinflussung von Anlagen- und Regelverhalten besteht.

Vorgehensweise:

- Steuerfunktion-Überprüfung: alle Anlagengrößen als Eingangsgrößen in das zu testende Regelungssystem auf konstante Werte einstellen, Eingangsgrößen, über die die jeweilige Alarm- oder Steuerungsfunktion ausgelöst wird, so verändern, dass man die Alarm in virtuelle

Testumgebung auslösen sowie Steuerung aktivieren kann, anschließend die resultierende Verhalten der Regelanlage untersuchen.

- Schaltsequenzen-Überprüfung: die Eingangsgrößen der Automatisierungsfunktionen auf konstante Werte einstellen, in Testumgebung die Eingangsgrößen, die die Steuersequenz beeinflussen können, über vorab definierte Zeitprofile kontinuierlich verändern. Schaltsequenzen bedeuten hier geregelte oder gesteuerte Betriebsstatus verschiedener Anlagenkomponenten in Abhängigkeit der Eingangsgrößen, zum Beispiel die Reihenfolge, in der verschiedene Anlagenkomponenten betrieben werden.

Schwerpunkt:

die Eingangsgrößen als steuernde Größe oder Testsignal, die Steuerung/Alarm/Schaltsequenz beeinflussen, durch Signalgenerator (oder Einlesen der vorhandenen Datei) anstatt durch Signalausgabe von Anlagenkomponenten wie in der Realität erzeugen und in die zu testenden Regelgeräte geben. Es wird nur **resultierende Steuerverhalten und Schaltverhalten auf Seiten von Regelgeräte** beobachtet. Betrachtung der Simulationsumgebung und der Anlagenverhalten sind nicht zu berücksichtigen.

3. Testphase im Closed-Loop-Modus

Digitales Regelungssystem wird in virtuelle Testumgebung mit Simulationsmodell (Gebäude und Anlagen) verbunden. Der entwickelte Emulationsmodus wird als Ganzes eingesetzt. Die einzelnen Schritte zur Überprüfung, die unten aufgelistet werden, sind je nach Anforderung in der Praxis optional durchgeführt.

Vorgehensweise:

- Überprüfung einzelner Regelkreise: einzelne Regelkreise z.B. Regelung von einem Erwärmer unter stationären Bedingungen im Simulationsmodell (innere Lasten und Wetterbedingungen konstant) untersuchen, dann definiertes Störsignal (z.B. Sollwertsprung oder Signalsequenz über Signalgenerator) von außerhalb der Simulation aufbringen
- Überprüfung Energiemanagement: verändernde Betriebsbedingungen im Simulationsmodell nachbilden, untersuchen, ob die geplanten Anforderungen hinsichtlich Energiemanagement von den in der Regelung implementierten Funktionen erfüllt werden. Die Validierung der Funktion hinsichtlich optimierter Energieeffizienz ist Schwerpunkt.
- Überprüfung bei extremen Bedingungen: Extreme Witterungen und resultierende Überschreitung oder Unterschreitung der Auslegungsfälle; große Schwankung der inneren Lasten

Schwerpunkt:

Die an das zu testenden Regelungsgerät übertragenen Eingangsgrößen werden durch Veränderung der Parameter im Simulationsmodell auf definierte Weise angepasst, um das Regelverhalten zu beobachten. Es besteht ein Informationsfluss, also einer von Simulation an Regelgeräte sowie anderer von Regelgeräte an Simulation. Beispielsweise können die durch Sollwertsprung verursachte Stellsignaländerung die entsprechenden Regelgröße z.B. Vorlauf-temperatur im Heizkreis regeln. Die **gegenseitige Beeinflussung von Anlagen- und Regelverhalten** wird dadurch betrachtet.

(4) Vorbereitung für Weiterentwicklung der Testprozeduren

Durch die Verbesserungen der bereits bestehenden Werkzeuge also Simulation und virtuelle Testumgebung soll ein effektiver und wirkungsvoller Einsatz der Testprozeduren erreicht

werden. Um einen praktischen Einsatz der Testprozeduren sicherzustellen, müssen die Anforderungen jeweils an die Betriebssimulation und an die virtuelle Umgebung hinsichtlich Programmierung sowie gerätetechnische Aufbau näher gestellt und zusammengefasst werden.

1. Anforderungen an die virtuelle Testumgebung

- im Bereich **gerätetechnische Aufbau also Hardware:**

Flexibler und modularer Aufbau; Einfache und schnelle Einbindung unterschiedlicher digitaler Regelungssysteme; Einfache Verkabelung und Konfiguration der verschiedenen Datenpunkte; Hersteller- und systemunabhängige Erweiterbarkeit der Datenerfassung; Möglichkeit, die Testumgebung auch ohne Simulation zu betreiben.

- im Bereich **Programmierung also Software:**

Unabhängiger und getrennter Ablauf der Simulations- und Datenerfassungsprogramme; Einfache, möglichst standardisierte Verbindung zwischen der Simulation und der Datenerfassung; Einfache, jederzeit veränderbare Konfiguration der übertragenen Datenströme; Möglichkeit, manuell in den Datenfluss einzelner Datenverbindungen einzugreifen; Einlesen bzw. Aufprägen von Signalen und Signalsequenzen auf einzelne Datenströme; Konfigurierbare graphische Darstellung der übertragenen Daten; Archivierung der Daten während einer Emulation

2. Anforderungen an die Betriebssimulation

- **Festanforderungen**, die unbedingt für prinzipielle Anwendung der Testprozeduren erforderlich sind:

Realitätsnahe Abbildung des Betriebsverhaltens der gesamten Anlage; Berücksichtigung der dynamischen Vorgänge in den einzelnen Anlagenkomponenten; Datenaustausch- und Echtzeitmodul für die Einbindung in die virtuelle Testumgebung

- **Grenzanforderungen**, die zu höherer Wirtschaftlichkeit sowie zu größerer Genauigkeit beitragen:

Einfach aufgebaute Modelle auf der Basis allgemein verfügbarer Parameter; Gekoppelte thermische und hydraulische Berechnung

- **Wunschanforderungen**, die zu einer "komfortableren" Anwendung der Testprozeduren beitragen bzw. den praktischen Einsatz der Testprozeduren erleichtern:

Möglichst einfaches Umschalten zwischen Simulations- und Emulationsbetrieb; Vereinfachtes Regelungsmodell für einen Simulationsvorlauf sowie zum Überprüfen des Simulationsmodells

Verbesserung der Werkzeuge: Emulator

(1) Die zu überarbeitende bestehende virtuelle Testumgebung

Hintergrund: Nachteilig ist die zu starre Verbindung zwischen Bestandteilen (die Simulation, die Emulationsschnittstelle und das reale Regelgerät), was die Schwierigkeit beim Umbau und bei der Konfiguration dieser Testumgebung für einen neuen Anwendungsfall sowie erhöhten Aufwand beim Einsatz der entwickelten Testprozeduren zur Folge hat. Deshalb werden die virtuelle Testumgebung neu entwickelt, um anwendungsspezifische Anforderung zu erfüllen.

Prinzipieller Aufbau des Emulators:

-Simulation: die reale Betriebsumgebung für die zu untersuchenden Komponenten oder Anlagen nachbilden; Simulationsanwendung bei einer Emulation muss auf Echtzeit

verlangsamt werden, d.h. der Einsatz von Echtzeitmodul ist erforderlich

- zu untersuchende reale Geräte
- **Emulationsschnittstelle** für Datenerfassung und Datenaustausch, als **Kernelement eines Emulators**: reale Komponenten mit virtuelle Anlagenteile in der zugehörigen Simulation verbinden, aus Hardware und Software bestehen. Die traditionellen Betriebsabläufe zeichnen sich durch **zwei Signalflüsse** aus:
 - Output der Simulation (Zahlenwerte z.B. berechnete Umgebungsbedingungen) über Schnittstellenprogramm aufbereiten, anschließend über Digital/Analog-Wandler in PS (physikalische Schnittstelle) in reale physikalische Größen umwandeln sowie durch MEAS (Messwerterfassungs-/ausgabesystem) als Eingangsgrößen an reale DDC-Geräte ausgeben;
 - die Ausgangsgrößen der realen Komponenten z.B. Regelsignal, die sich aus den berechneten Umgebungsdaten sowie anschließendem Bearbeitungsprozess in den zu untersuchenden Komponenten ergeben, werden zuerst durch MEAS erfasst und zusätzlich über Schnittstellenprogramm aufbereitet, anschließend als Input an Simulationsmodell übertragen. Weil beim traditionellen Aufbau der Schnittstelle im Emulator ist Steuerungsprogramm der Emulationsschnittstelle fest in Simulation integriert, werden Anforderungen der Testprozeduren auf virtuelle Testumgebung bzgl. großer Flexibilität und einfacher Konfiguration nicht erfüllt. Infolgedessen ist **eine neue Struktur der Emulationsschnittstelle** zu erstellen.

(2) Neuer Konzept der Emulationsschnittstelle

Kernunterschied zwischen neue und traditionelle Konzepte für Emulator:

Im Gegensatz zur integrierten Struktur der beiden Funktionselemente also Echtzeitsimulation und Emulationsschnittstelle in einem Funktionsblock, werden Elemente also Simulation mit integriertem Echtzeitmodul und Emulationsschnittstelle in neuem Konzept jeweils als eigenständige Funktionseinheiten mithilfe von **Schnittstellendateien** miteinander verbunden und ausgeführt.

Die Schnittstellendateien sind als **standardisierte ASCII-Dateien** ausgeführt. Die ASCII-Dateien sind bei den meisten Simulationsprogrammen zu lesen und zu schreiben, dadurch können nahezu jedes Simulationsprogramm in die virtuelle Testumgebung integriert werden. Um die Dateigröße dieser Schnittstellendateien und damit die entsprechende Zugriffszeit möglichst klein zu halten, werden ASCII-Dateien bei der Datenübergabe für jeden Zeitschritt stets neu geschrieben.

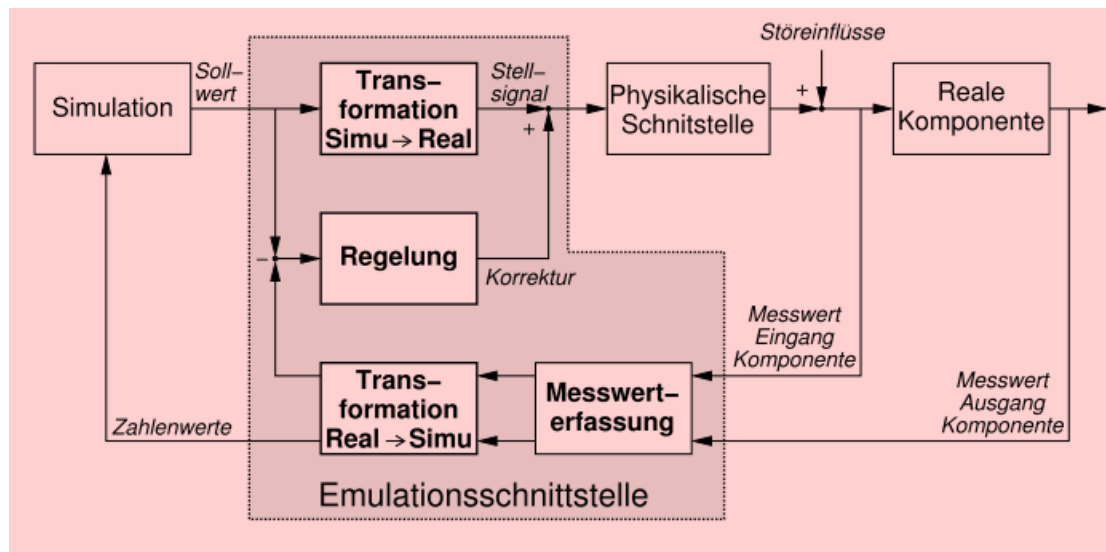
Zwei Arten von Schnittstellendateien:

- die zu übertragenden Daten von der Simulation im Zahlenform, werden von der im Echtzeitmodul der Simulation integrierten Routine ständig neu geschrieben und dann von der Emulationsschnittstelle eingelesen
- die zu übertragenden physikalische Größen von den realen Komponenten, werden von der Emulationsschnittstelle in umgekehrter Weise geschrieben und dann von der Simulationsprogramm für jeden Zeitschritt eingelesen

Funktionsweise der neuen Emulation:

die Gesamtfunktion der Emulationsschnittstelle wird in vier separate Funktionsblöcke aufgeteilt. Die physikalischen Schnittstelle und der Funktionsblock für Regelung der physikalischen Schnittstelle sind von Bedeutung wenn die physikalischen Größen in emulierten realen Komponenten z.B. Wassertemperatur und Wasserströmen bei einer Kessel-

emulation sind. Für DDC-Geräte gelten die betroffenen physikalischen Größen direkt als Strom- und Spannungssignale.



Funktionsblöcke von Emulationsschnittstelle:

- **Transformation Simulation an Real:** Sollwerte von der Simulation im Zahlenform werden in diesem Funktionsblock in Stellsignale für die physikalischen Schnittstellen transformieren. Die Stellsignale werden über ein standardisiertes Datenbussystem an die physikalischen Schnittstellen übertragen und dann durch Digital/Analog-Wandler in physikalische Schnittstelle in reale physikalische Größen umgewandelt sowie an reale Komponenten ausgegeben.
- **Regelung für physikalische Schnittstelle:** Die von der Simulation ausgegebenen Stellsignale werden mit dieser Regelung korrigiert falls Störeinfluss zwischen physikalischer Schnittstelle und realer Komponenten auftreten können. Für **DDC-Geräte** (oder andere Regelungsgeräte mit Stromsignale als Eingangsgröße) als die emulierte reale Komponenten spielt dieser Funktionsblock eine untergeordnete Rolle, weil **die von der Simulation ausgegebenen Stellsignale hier direkt als physikalische Eingangsgrößen** verwendet werden.
- **Erfassung der Messwerte an realen Komponenten:** Zum einen werden die Eingangsgrößen der realer Komponenten, die für Regelung für physikalische Schnittstelle benötigt sind, und zum anderen die Ausgangsgrößen der realer Komponenten, die durch weitere Datenbearbeitung in Input der Simulation im Zahlenform umgewandelt werden, in diesem Funktionsblock erfasst und aufbereitet.
- **Transformation Real an Simulation:** die Signaltransformation von der in Emulationsschnittstelle erfassten Messdaten in Zahlenwerte, die am Eingang der Simulationsumgebung anliegen.

(3) Umsetzung des neuen Emulators

1. Im Bereich des gerätetechnischen Aufbaus

Der Emulationsversuchstand besteht aus drei Bereiche: die zu testenden DDC-Geräte mit Automatisierungsfunktionen, Datenerfassungsgeräte des Messwerterfassungssystems und Simulationsprogramm sowie die spezifischen Programme für Emulation.

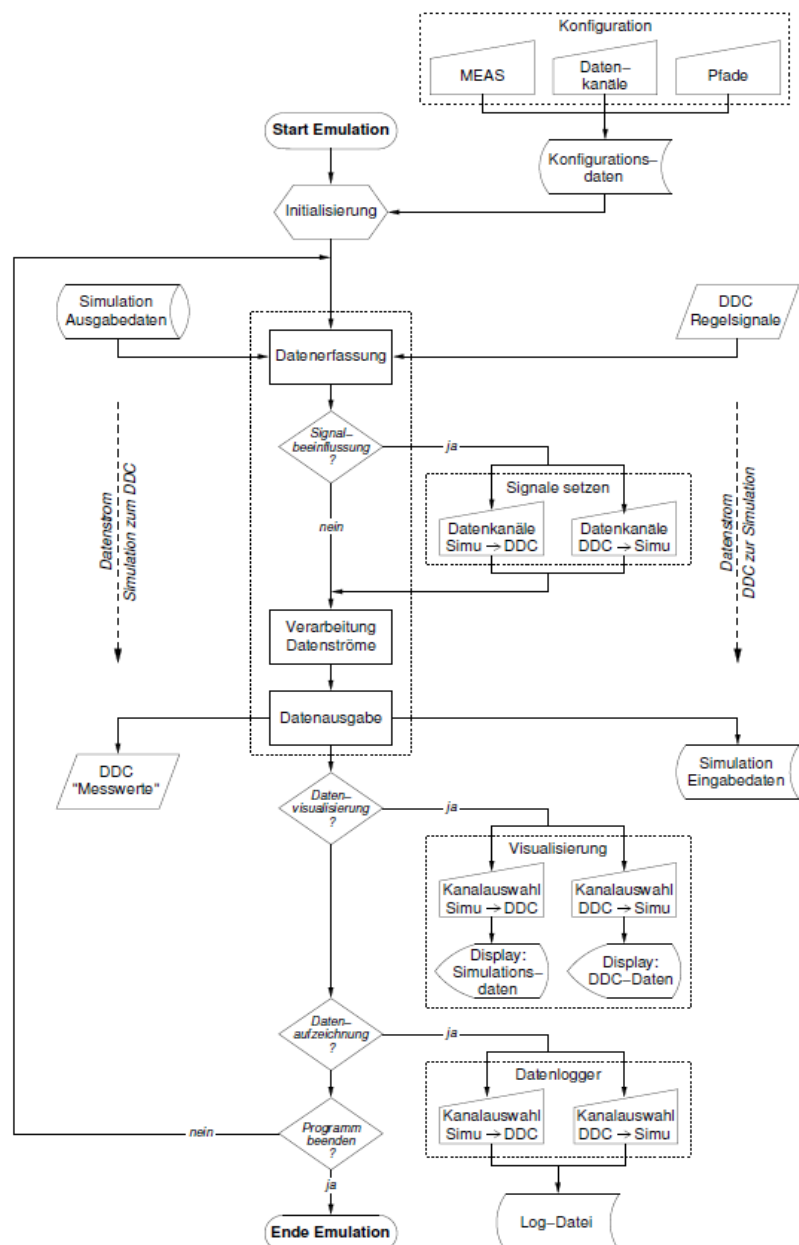
Um die Anforderungen an Hardware dieses weiterentwickelten Emulators, die oben erwähnt werden, zu erfüllen, werden geeignete Anpassung bei der Installation vorgenommen.

2. Im Bereich der Programmierung der Emulationsschnittstelle

Um die grundlegende Ziele von der Programmierung der Emulationsschnittstelle, also möglichst einfache Konfigurierbarkeit sowie eine gute Bedienbarkeit des gesamten Versuchsstandes, zu erreichen, werden die folgenden **Aufgabenbereiche** in verschiedenen eigenständigen Modulen implementiert:

- Konfiguration des Emulationsversuchsstandes
- Datenerfassung, Verarbeitung der Datenströme und Datenausgabe
- manuelles Setzen von Testsignalen für die Testprozeduren
- grafische Visualisierung der übertragenen Daten
- Aufzeichnung von einzelnen Datenkanälen in einer Log-Datei

Der modulare Aufbau und der Ablauf des Programms:



Wesentliche Module in der Programmierung:

- **Konfigurationsmodul:** Hierbei werden das Messdatenerfassungs- und -ausgabesystem (MEAS) eingestellt, die Datenkanäle für den Informationsaustausch zwischen Simulation und DDC-Gerät konfiguriert sowie die Dateipfade für die Schnittstellen und die Log-Dateien eingegeben. Die entsprechenden daraus ausgegangenen Konfigurationsdaten werden beim Start der Emulation in einem Initialisierungsprozess eingelesen werden.
- **Datenerfassungsmodul:** Ausgabesignale der Simulation sowie die ausgegangenen Regelsignale von der zu testenden DDC-Geräte werden in die Datenkanäle der Emulations-schnittstelle erfasst.
- **Datenverarbeitungsmodul:** Mit Hilfe dieses Moduls werden Signale in den Kanälen der beiden Datenströmen "Simulation zum DDC" und "DDC zur Simulation" festgesetzt. Bei der Verarbeitung der Datenströme werden die Daten in entsprechenden Datenkanälen durch die eingebrachten Testsignale z.B. manuelle Stellbefehle oder Störmeldungen ersetzt.
- **Datenausgabemodul:** Beim Datenstrom "Simulation zum DDC" werden die Ausgabedaten der Simulation in DDC-"Messwerte" umgewandelt und an Messdatenausgabe also am Eingang des DDC-Geräts ausgegeben; beim Datenstrom "DDC zur Simulation" werden ausgegangene Signale der DDC-Geräte also DDC-Regelsignale zum Simulation-Input umgewandelt und an die entsprechende Datei mit Eingabedaten für Simulation ausgegeben.
- **Modul zur grafischen Visualisierung:** Datenkanäle der beiden Datenströme "Simulation zum DDC" und "DDC zur Simulation" können ausgewählt und in grafischen Displays dargestellt werden. In den grafischen Displays werden dabei die verarbeiteten Daten (oder die gesetzten Testsignale) angezeigt. Infolgedessen kann das Verhalten des zu überprüfenden DDC-Geräte betrachtet.
- **Datenlogger-Modul:** Daten aus beliebigen Kanälen, die anhand Kanalauswahl festgestellt werden, lassen sich dabei aufgezeichnet. Die generierten Log-Dateien dienen zur späteren Analyse und Validierung einer zu untersuchenden Funktion in DDC-Geräte.

Verbesserung der Werkzeuge: Simulationsmodell

Anwendung in realen Anlagen

Die Testprozeduren auf Grundlage von der entwickelten virtuellen Testumgebung werden auf ein reales Gebäudeautomationssystem im Betrieb angewendet. Zur Vorbereitung wird der Simulationsmodell im Rahmen bestimmter Software erstellt und in die Emulationsumgebung eingebunden. Anschließend lassen sich eine Kopie von der zu überprüfenden Regelungssoftware auf die in der virtuellen Testumgebung installierten Regelungsgeräte aufspielen.

(1) Überblick über Demonstrationsanlage

1. Aufbau und Nutzung des Gebäudes

- Zuerst wird eine grobe Zonentrennung anhand des Grundrisses des verwendeten Beispielobjekts und Nutzung der einzelnen getrennten Bereiche angezeigt.
- Alle Bereiche des Gebäudes werden im Simulationsmodell nachgebildet. Es wird ein Bereich (hier Produktion 1) als Fokus-Bereich ausgewählt. Der Grund liegt darin, dass dieser Bereich in mehrere kleine Zonen bei der Auslegung des Lüftungssystems unterteilt werden da

unterschiedliche Lastbedingungen ergeben sich hierfür aus einer unterschiedlichen Nutzung (Produktion und Büro) oder aus unterschiedlichen inneren Lasten (z.B. durch verschiedene Produktionsprozesse). Das bedeutet, dass die Teilsysteme wie z.B. Klimatisierung, Raumheizung, Lüftung usw. in diesem Bereich detailliert behandelt werden.

- Die anderen Bereiche mit unterschiedlichen Nutzungen und abweichenden Anforderungen an das Raumklima sowie Raumheizung werden jeweils als eine einzelne große Zone in der Simulation zusammengefasst, um die Randbedingungen und Einflüsse, die sich aus der unterschiedlichen Nutzung der einzelnen Bereiche auf den zu betrachtenden Bereich ergeben, zu erfassen.

2. das zu betrachtende Teilsystem und technische Anlage

Hierzu wird das Lüftungssystem als das zu betrachtende Teilsystem untersucht. Dafür werden einige relevante Parameter wie z.B. maximale Förderstrom gegeben. Außerdem wird die grundlegende Funktionsweise kurz erklärt sowie der Aufbau der RLT-Anlage mit Komponenten Mischkammer, Luftfilter, Luftkühler, Luftbefeuchter, Lufterwärmer, Zu- und Abluftventilator schematisch dargestellt.

In diesem Beispiel besteht die Klimazentrale im Fokus-Bereich aus zwei identisch aufgebauten Anlagen, die abwechselnd je als Führungsanlage, über die die Hauptlast gedeckt wird, eingesetzt werden. Dadurch wird gewährleistet, dass sich die Anlagen gleichmäßig abnutzen und der Grundversorgung beim Ausfall einer Anlage sicherzustellen ist.

(2) Überblick über Automatisierungssystem

Bestandteilen des gesamten Automatisierungssystems

An einem **Leitrechner** sind mehrere eigenständige **Regelgeräte bzw. DDC-Unterstationen**, für die die DDC-Geräte eingesetzt werden, über ein **herstellerspezifisches Bussystem**, über das Daten zwischen einzelnen Unterstationen ausgetauscht werden können, angeschlossen. Jede Heizzentrale oder Klimazentrale wird von jeweils separater Unterstation geregelt. Zudem können DDC-Geräte auch ohne Verbindung zum GLT-System funktionieren.

Reale Anwendung auf Teilsystem, also eine Unterstation

Die entwickelten Testprozeduren werden auf eine DDC-Unterstation, die Automatisierungsfunktionen für Regelung und Steuerung der zu betrachtenden Klimazentrale implementieren, angewendet.

Alle für die Regelung und Steuerung der entsprechenden Komponenten notwendigen Automatisierungsfunktionen werden von installierten Reglern realisiert. Diese Regler sind in Programmmodulen enthalten, mit denen die definierten Automatisierungsfunktionen implementiert werden. Die entsprechenden Parameter im Bezug auf Automatisierungsfunktionen wurden vor Betrieb angepasst, um die Anforderung der Gesamtanlage zu erfüllen. Die konkreten zu implementierenden Funktionen bestehen vor allem aus:

- **Sicherheitsfunktion:** werden normalerweise über Parameter konfiguriert. Beispiele für solche Funktionen sind die Frostschutzüberwachung bei Wärmeübertragern oder die Keilriemenüberwachung bei Ventilatoren.
- **Regelungsfunktion:** Closed-Loop-Control, um die Differenz zwischen der zu regelnden Größen also Istwerte und der entsprechenden Sollwerte auszugleichen.
- **Steuerungsfunktionen:** z.B. Anlaufverhalten von einzelnen Komponenten oder von gesamter Anlage; Mindestlaufzeiten für einzelnen Komponenten, um ständige An/Abschalten

in der Übergangsphase zwischen Heiz- und Kühlfall zu vermeiden

Signale und Datenpunkttyp:

Alle Signale werden zwischen **Datenpunkten an Stellgliedern der RLT-Anlagen sowie an Regler in Programmmodulen** im Rahmen der DDC-Unterstation übertragen.

- analoge Eingang: Messwerte (z.B. die durch Sensor gemessene Temperatur und Feuchten) als auch die Rückmeldungen von Stellgliedern für die Regler, vom Stellglied/Sensor an Regler
- analoge Ausgang: Stellsignale aus dem Regler, um die Aktoren der entsprechenden Anlagenkomponenten anzutreiben, vom Regler an Stellglieder
- digitale Eingang: Warn/Stör/Betriebsmeldungen, vom Stellglied/Sensor an Regler
- digitale Ausgang: Freigabe/Schaltsignale, um die entsprechenden Anlagenkomponenten anzuschalten oder abzuschalten, vom Regler an Stellglieder
- global: globale Messwerte der Umgebung (analog) und Quittierung von Störmeldung nach dem Störungsbehebung (digital), direkt von außen über Bussystem

(3) Konkrete Anwendung der Testprozeduren

1. Überprüfung Anfahrverhalten

Beschreibung:

Beim Start einer Anlage werden einzelne Komponenten zeitlich versetzt in Betrieb genommen; beim Anfahren der Komponente mit hohen benötigten elektrischen Leistungen sollte genügender zeitlicher Abstand berücksichtigt.

Vorgehensweise:

Fühlerwerte über Emulationssoftware manuell einstellen, Freigabe- und Regelverhalten der beiden identisch aufgebauten Anlagen betrachten sowie vergleichen und dadurch mögliche Automatisierungsfehler erkennen. Diese Fühlerwerte sollen von vorgegebenen Sollwerten der Regelung abweichen, dadurch funktioniert die entsprechende Regelkreise.

Ergebnisse:

- digitale Ausgangssignale (DDC-Regelgeräte an Simulation) wie z.B. Schalt-/Freigabesignale für einzelne Komponenten
- analoge Ausgangssignale (DDC-Regelgeräte an Simulation) also die von der Regelung ausgegebenen Stellsignale

Reihenfolge der Freigabesignale wird durch zeitlichen Abstand zwischen Komponenten erläutert. Die Reihenfolge, in der die Komponenten der jeweiligen Anlage geschaltet werden, ist prinzipiell für beide Anlagen gleich. Die Reihenfolge der Freigabesignale wird am Beispiel Anlage A2 erläutert. Die verschiedenen Frequenzumformer werden verzögert freigegeben, um Zusammentreffen der Leistungsspitzen der einzelnen Frequenzumformer zu vermeiden. Beim **Verlauf der Stellsignale** liegen die Linien für die beiden Zuluftventilatoren nahezu aufeinander, was eine übermäßige elektrische Leistungsspitze beim Anfahren im realen Betrieb resultiert. Bei den Stellsignalen für die gleiche Komponente also Lufterwärmer (unter Beeinflussung der Zulufttemperatur) der beiden Anlagen lässt sich trotz gleicher Randbedingungen erhebliche Unterschiede zeigen, was bedeutet auf einen Fehler in einem der Automatisierungsprogramme der beiden Anlagen hin.

Beobachtung in der Praxis:

Jede Anlage wird betrachtet und werden auch kleine Mängel in der Programmierung in Regelgeräte durch unterschiedlichen Verlauf der Stellsignale klar festgestellt. Im Gegensatz

dazu, wird eine Abweichung zwischen beiden identisch aufgebauten Anlagen durch Zufall festgestellt, wird meist von voneinander abweichenden Randbedingungen in beiden Anlagen oder vom Installationsfehler in Gesamtanlage ausgegangen.

2. Überprüfung Lufterwärmerregelungen

Beschreibung:

Mit der Automatisierungsfunktion "Lufterwärmerregelung" wird die Zulufttemperatur im Heiz- oder Entfeuchtungsfall auf dem im Regelprogramm vorgegebenen Sollwert gehalten. Das Ziel der Überprüfung ist, Einflussgröße auf Lufterwärmerregelung zu untersuchen, um die Fehler der Automatisierungsprogramme zu identifizieren.

Die möglichen Eingangsgröße bei Lufterwärmerregelung sind vorgegebene **Sollwerte der Zulufttemperatur, Messwerte der Zulufttemperatur und Ablufttemperatur** (da Abluft ist Hauptanteil der Mischluft, die durch Behandlung im Erwärmer auf Zuluft geworden ist).

Zulufttemperatur nach Erwärmer ist die Regelgröße (hier die Messwert der Zulufttemperatur als analoge Eingangssignal). Der Sollwert ist gegebenenfalls veränderlich (z.B. bei sich verändernder Umgebungsbedingung).

Vorgehensweise:

Randbedingungen wie z.B. Außenluft- und Ablufttemperatur so festsetzen (abweichend von Sollwert), dass das Automatisierungssystem im Erwärmer schaltet. Diese Randbedingungen sind manuell festgesetzt, daraus ergeben sich die Zulufttemperatur, die einem quasistationären Betrieb der Regelgeräte in virtueller Testumgebung entsprechen. Zusätzlich werden Sprünge bei den entsprechenden Fühlerwerten für Zulufttemperatur und Ablufttemperatur aufgeprägt, was ca. 1 Min dauert.

- analoge Eingangssignale (Simulation an DDC-Regelgeräte): Zulufttemperatur mit die aufgeprägten Temperatursprünge, die sich aus den einstellten Randbedingungen ergeben, also die Regelsignal

Ergebnisse:

- analoge Ausgangssignale (DDC-Regelgeräte an Simulation): die Rückmeldung/ Reaktionssignal der Automatisierungsfunktion "Lufterwärmerregelung" auf die aufgeprägten Temperatursprünge, also die Stellsignal.

Temperatursprung um -2K der Zulufttemperatur bei beiden Anlagen führt zu einem sprunghaften Ansteigen des Stellsignals für Erwärmer. Dieser Anstieg bleibt aufgrund der 1-min-dauerend Abweichung der Zulufttemperatur vom Sollwert stetig, um die Abweichung vom Sollwert zu kompensieren. Nachdem die Sprung beendet fallen die Stellsignale wieder zurück (nahezu auf den Ausgangswert vor Temperatursprung).

Temperatursprung um +2K bei Ablufttemperatur führt zur Rücknahme sowie anschließend Ansteigen des Stellsignale für Erwärmer bei Anlage 1. Im Gegensatz dazu reagiert die Erwärmerregelung von Anlage 2 überhaupt nicht auf den Temperatursprung der Ablufttemperatur, was bedeutet dass bei Anlage 2 Ablufttemperatur nicht in Zulufttemperaturregelung eingeht.

Beobachtung in der Praxis:

Um die möglichen Fehler bei Lufterwärmerregelung in traditioneller Inbetriebnahme festzustellen, werden die für Überprüfung erforderlichen veränderlichen Randbedingungen also die Temperatursprünge nur an den entsprechenden Sensoren aufgeprägt (z.B. durch

Eisspray) und außerdem sind mindestens zwei Personen (einer an Fühler und anderer an Display des Automatisierungssystems) erforderlich. Daraus entstehen hohe Zeit- und Kosten- aufwand.

3. Überprüfung Alarmauslösung Frostschutz

Beschreibung:

“Frostschutzalarm” ist eine Sicherheitsfunktion, um Anlagenschäden infolge von der zu niedrigen Lufttemperatur vor Wärmeübertrager zu vermeiden. Dies funktioniert durch Anwendung der Komponente Temperaturwächter (keine Temperaturfühler).

Dabei erfasst ein **Temperaturfühler die analogen Messwerte nach DDC-Regelgerät** aber für **Temperaturwächter werden digitale Eingangssignale an DDC-Regelgeräte** übertragen, 1 für "Entstört" und 0 für "Störung".

Wenn eine Störung/Frostschutzalarm an das Automatisierungssystem gemeldet wird, lassen sich Maßnahmen automatisch auslösen, wie z.B. dass alle Komponenten der betroffenen Anlage bis auf Erhitzer ausgeschaltet werden, Erhitzer mit max. Leistung im Betrieb bleibt bis die Störung behoben ist. Nach der Behebung der Störung muss die Anlage wieder in Betrieb gehen.

Vorgehensweise:

Randbedingungen (Außenlufttemperatur, Ablufttemperatur usw.) so auswählen, dass beide Anlage im quasistationären Betrieb mit Mischklappensystem bleiben. Frostschutzalarm bei Anlage 1 auf “Störung” für 4 min. manuell setzen und dann analoge und digitale Ausgangssignale beobachten. Nach Störmeldung des Frostschutzes wieder auf "Entstört" wird “globale Quittierung” kurzzeitig auf “ein” also “Entriegelung” manuell gesetzt, was die Voraussetzung für Wiederinbetriebnahme der gesamten Anlage ist.

Hierzu wird die Zulufttemperatur über **Mischklappensystem anstatt Lufterwärmer** geregelt, das heißt **Außenluftklappe und Umluftklappe statt Lufterwärmer** kommen im quasi-stationären Betrieb zum Einsatz.

Globale Quittierung für gesamte Anlage: 1 für “ein, Entriegelung/ Unlock” und 0 für “aus, Verriegelung/ Lock”

- digitale Eingangssignale (Simulation an DDC-Regelgeräte): Störmeldung des Frostschutzes sowie “globale Entriegelung”, die sich aus der manuellen Einstellung ergeben

Ergebnisse:

- digitale Ausgangssignale (DDC-Regelgeräte an Simulation) wie z.B. Schalt-/Freigabesignale für einzelne Komponenten

- analoge Ausgangssignale (DDC-Regelgeräte an Simulation) also die von der Regelung ausgegebenen Stellsignale

Nach dem Auslösen des Alarms bei Anlage 1 werden alle Komponenten bis auf Erwärmer ausgeschaltet (digitale Freigabesignale auf 0). Die Stellsignale der entsprechenden Komponenten fallen sprunghaft auf 0 ab, dagegen geht Stellsignal für Erwärmer sprunghaft von 0 auf 100%. Sofort Alarmsignal wieder auf “Entstört” gesetzt wird, sinkt Stellsignal für Erwärmer und steigen Stellsignale für andere Komponenten mit zeitlicher Verzögerung.

Auch kurz nachdem die “globale Quittierung” wieder auf “ein” gesetzt wird, werden alle Komponenten wieder in Betrieb genommen werden (Freigabesignale zurück auf 1). Hierbei werden nacheinander das Klappensystem, die Ventilatoren sowie der Befeuchter freigegeben.

Die Automatisierungsfunktion "Frostschutzalarm" arbeitet somit fehlerfrei.

Beobachtung in der Praxis:

Um Sicherheitsfunktionen an realer Anlage zu testen, werden die entsprechenden Störmeldesignale durch Eingriffe in die Anlage ausgelöst (z.B. mit Eisspray oder durch Abklemmen von der Spannungsversorgung). Dies hat wiederum zur Folge, dass Ingenieur unter Berücksichtigung vom hohen personeller und zeitlicher Aufwand nur stichprobenartige Überprüfung in der Praxis durchführen kann.

4. Überprüfung Schaltsequenz

Beschreibung:

In dieser Überprüfung wird Schaltsequenz bei der Zulufttemperaturregelung, also mit welchen Komponenten (z.B. in Lufterwärmerregelung) die geforderten Zuluftbedingungen unter den gegebenen **Lastzuständen (Heizen oder Kühlen)** und Umgebungsbedingungen (Außenluft- und Abluftzustand) erreicht können, betrachtet. Die Funktion Schaltsequenz bedeutet vor allem die Reihenfolge, in der einzelnen Komponenten bei sich verändernden Lasten geschaltet werden. Zudem ist es sicherzustellen, dass einzelnen Komponenten nicht gegeneinander arbeiten (z.B. Vermeiden des gleichzeitigen Betriebs von Erhitzer und Kühler).

Vorgehensweise:

Bei Anlage 2 bleiben die Umgebungsbedingungen konstant, also die Randbedingungen an Anlage 2 werden als gleiche Werte wie zu Beginn an Anlage 1 angelegt. Diese Werte sind so eingestellt, dass bei Zulufttemperaturregelung der Anlage 2 befindet sich der Lufterwärmer mit einer 100% Leistung.

Im Gegensatz dazu wird Automatisierungsfunktion "Schaltsequenz" an Anlage 1 untersucht, dabei wird die Anlage vom Heizfall auf den Kühlfall anschließend wieder auf Heizfall durch manuelle Einstellung der Temperatursprung an Außenlufttemperatur, Zulufttemperatur, Mischlufttemperatur und Ablufttemperatur umgeschaltet. Mischluft ist durch Mischung von Außenluft und Abluft, die durch geregelte Umluftklappe realisiert wird, erfolgt.

- analoge Eingangssignale (Simulation an DDC-Regelgeräte): Zulufttemperatur, Ablufttemperatur, Außenlufttemperatur usw. mit die aufgeprägten Temperatursprünge, die sich aus den manuelle einstellen Randbedingungen ergeben

Ergebnisse:

- analoge Ausgangssignale (DDC-Regelgeräte an Simulation) also die von der Regelung ausgegebenen Stellsignale auf die einzelnen Komponenten wie z.B. Erhitzer, Kühler, Umluftklappe und Außenluftklappe.

a. Übergang vom Heizfall auf Mischluftbetrieb: Mit großem Anstieg bei Außenluft, Mischluft und Zuluft fällt das Stellsignal für Erhitzer von 100% steil ab und anschließend auf 0% (wenn Mischlufttemperatur = Zulufttemperatur) Sofort danach beginnt Mischklappensystem zu arbeiten um Sollwertabweichung bei Zulufttemperatur zu beseitigen, bis Stellsignal für Außenluftklappe auf 100% erhöht und Umluftklappe auf 0% sinkt.

b. Übergang vom Mischluftbetrieb auf Kühlfall: Bei Zulufttemperatur gibt es immer Sollwertabweichung (da er ist manuell festgesetzter Wert), deshalb geht Kühler mit kürzer Verzögerung dann in Betrieb und zuletzt fällt das Stellsignal für Kühler von 100% an. Die verzögerten Freigabe des Luftkühlers hat ihre Ursache darin, dass im Kühlfall der Sollwert der Zulufttemperatur Band von 4K hat.

c. im Kühlfall: Wenn Außenlufttemperatur niedriger als Ablufttemperatur ist, bleibt Stellsignal für Außenluftklappe auf maximalen Wert (100%). Steigt Außenlufttemperatur über Ablufttemperatur, wird Außenluftanteil auf Minimalwert beschränkt bzw. Stellsignal für Außenluftklappe auf Minimalwert zurückgefahren aber diese Stellsignal bleibt unverändert. D.h. ein Fehler bei dieser Steuerung des Mischklappensystems wird entdeckt.

d. Zurücksetzen vom Kühlfall auf Heizfall: die betroffene Komponenten (Heizer, Kühler, Umluftklappe, Außenluftklappe) werden in umgekehrter Reihenfolge ab-/angeschaltet. Also wird zuerst Kühler abgeschaltet, dann wird Mischklappensystem umgekehrt auf Randbedingungen beim Heizfall zurückgefahren, dann geht der Erhitzer wieder in Betrieb.

Beobachtung in der Praxis:

Der Mangel bei der Steuerung des Mischklappensystems lässt sich durch aufgeprägte Extrembedingungen für Außenluft- und Ablufttemperaturen beim Wechsel vom Heiz- zum Kühlfall in virtueller Testumgebung feststellen. Im Gegensatz dazu wird dieser Fehler bei der derzeitigen Inbetriebnahme nur unter zufällig in der Realität herrschenden Wetter- und Lastbedingungen gefunden.

5. Überprüfung Ventilatorregelung

Beschreibung:

Das Ziel ist, die Luftströme der Zuluft und Abluft zu regeln. Dabei wird die statische Differenzdruck an vorgegebenen Stelle konstant gehalten und die Druckschwankungen, die durch z.B. veränderte Klappenstellungen beim Mischklappensystem verursacht werden, ausgleichen.

Vorgehensweise:

An Anlage 2 wird Druckdifferenz an jeden Stellen auf Sollwert gehalten. Die Regelung des Abluftventilators von Anlage 1 betrachten. Zuerst wird statische Druckdifferenz der Abluft bei Anlage 1 auf 0 Pa festgesetzt, so dass ein maximales Stellsignal beim Abluftventilator ausgegeben wird. Dann werden unterschiedliche Arten der Veränderungen durch manuelle Eingabe an Verlauf dieser Anlagengröße, also statische Differenzdruck der Abluft von Anlage 1 als Eingangssignal von Simulation an DDC, nachgebildet, z.B. kontinuierliche Anhebung auf 260 Pa kleine Schwankung, sprunghafter Anstieg und Absenkung.

- analoge Eingangssignale (Simulation an DDC-Regelgeräte): statische Differenzdruck der Abluft in Anlage 1 mit die aufgeprägten Sprünge, die sich aus den manuelle einstellten Randbedingungen ergeben

Ergebnisse:

- analoge Ausgangssignale (DDC-Regelgeräte an Simulation) also die von der Regelung ausgegebenen Stellsignale auf die einzelnen Komponenten Abluftventilator.

Zuerst sinkt Stellsignal nahezu linear ab, dann bleibt konstant. Mit leichter Absenkung der stat. Druckdifferenz Abluft steigt Stellsignal kurz und dann konstant. Das ist ähnlich bei leichter Anhebung der Druckdifferenz. Mit sprunghafter Absenkung oder Anhebung der Druckdifferenz lässt sich eine gleichartige aber stärkere Reaktion des entsprechenden Stellsignals beobachten.

Beobachtung in der Praxis:

Es wird nachgewiesen, dass diese Funktion prinzipiell richtig arbeitet. Wird Fehler bei den zu regelnden Komponente im Betrieb auftreten, können die entsprechenden Ursachen dafür auf

die Installation begrenzt werden.

Zusammenfassung

Probleme und Ursache:

Viele heiz- und raumluftechnische Anlagen befinden sich häufig nicht in ihrem planungsgemäßen Zustand und weisen manchmal energetische Mängel auf. Diese Mängel sind vor allem darauf zurückzuführen, dass prinzipielle Fehler in den Automatisierungsfunktionen zur Steuerung und Regelung der Anlagen bei der Inbetriebnahme unentdeckt bleiben.

Die Ursache hierfür liegt zum einen darin, dass heiz- und raumluftechnische Anlagen in der Regel als Einzelstücke geplant und ausgeführt werden und somit keine Möglichkeit besteht, die Anlage im Gegensatz zu Serienprodukten in einer "Nullserie" zu testen und zu überprüfen. Zum anderen besteht bei der rudimentären Inbetriebnahme der Automatisierungsfunktionen heiz- und raumluftechnischer Anlagen aufgrund des vorgegebenen zeitlichen Ablaufs des Bau-prozesses ein Zeitdruck. Dieses resultiert aus dem Sachverhalt, dass die geplanten Automatisierungsfunktionen erst inbetriebgenommen und überprüft werden können, wenn die übrigen Anlagen installiert sind. In den der Inbetriebnahme und Abnahme der Automatisierungssysteme vorgelagerten Bauprozessen treten jedoch im Allgemeinen Verzögerungen auf. Dies hat zur Folge, dass nur elementare Sicherheitsfunktionen stichprobenartig überprüft werden können.

Eine neue Methode wird daher entwickelt, mit der Automatisierungsfunktionen heiz- und raumluftechnischer Anlagen unabhängig vom Stand des Baufortschritts und der Anlageninstallation überprüft werden können. Dabei werden Prozeduren der Inbetriebnahme in einer virtuellen Testumgebung ausgeführt.

Grundlage:

Grundsätzliche Überlegungen (Kenntnisse und Begriffe aus Literaturrecherche) bezüglich der Überprüfung von Automatisierungsfunktionen sowie von in der Praxis ermittelten Anforderungen an deren Inbetriebnahme

Methodik:

Der Emulator, in der eine Betriebssimulation der zu steuernden und zu regelnden Anlagen mit dem zu überprüfenden Automatisierungssystem verbunden wird.

In der Simulation wird das Betriebsverhalten der zu steuernden und regelnden realen Anlage nachgebildet, indem das Verhalten der einzelnen heiz- und raumluftechnischen Komponenten modelliert wird. Um eine möglichst große Abbildungsgenauigkeit zu erhalten und gleichzeitig das Betriebsverhalten der virtuellen Anlage mit dem der realen Anlage möglichst einfach abgleichen zu können, wird das Verhalten der einzelnen Anlagenkomponenten in der Simulation mit Hilfe von Kennlinienmodellen beschrieben.

Praxis:

Die entwickelte Methode wird schließlich auf das Automatisierungssystem einer realen, im Betrieb befindlichen Anlage angewandt. In den Automatisierungsfunktionen dieser Anlage können mit Hilfe der erarbeiteten InbetriebnahmeprozEDUREN innerhalb kürzester Zeit bisher unentdeckte Mängel, die sich vor allem auf den Energieaufwand der Anlage auswirken, aufgezeigt werden.

Vorteile:

- Mit Hilfe der Betriebssimulation können die inneren und äußeren Lasten verändert und somit beliebige realitätsnahe Randbedingungen generiert werden.
- Es besteht die Möglichkeit, die gleichen Tests zu einem späteren Zeitpunkt zu wiederholen und so nachzuweisen, dass die Fehler behoben sind.
- Die Inbetriebnahme von Automatisierungssystemen kann aus dem bisher praktizierten zeitlichen Ablauf herausgelöst werden. Dadurch ist eine vollständige Überprüfung der in solchen Systemen implementierten Funktionen möglich.