

Neue Werkzeuge für die energetische Betriebsführung von Flughafengebäuden

Dipl.-Ing. Nicolas Réhault, Dipl.-Ing. (FH) Sebastian Zehnle, Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme, Abteilung Solares Bauen

New tools for the energy management of airport buildings

The CASCADE project develops an ISO 50001 based Energy Action Plan supported by automated Fault Detection and Diagnostics that integrates with existing Building Automation Systems (BAS) at airports. Goals of the project are the implementation of an Energy Management System at airports and the reduction of the energy consumption by 20 % on targeted systems like air handling units or heating systems by detecting suboptimal operational states in BAS data and defining corrective actions that can be validated accordingly to a PDCA-cycle. The CASCADE solution has been tested at two European large airports Roma-Fiumicino and Milan-Malpensa.

[Airports, Energy Management Systems, Fault Detection and Diagnostics](#)

1. Hintergründe und Motivation

Laut Prognosen von Eurocontrols (the European Organisation for the Safety of Air Navigation) wird der Flugverkehr bis 2030 um den Faktor 1,4 bis 2,2, bezogen auf das Jahr 2009, zunehmen (Eurocontrol, 2010). Bei dieser Entwicklung werden die momentan verfügbaren Kapazitäten an Flughäfen in naher Zukunft erschöpft und neue Infrastrukturen notwendig. Um den Energiebedarf an Flughäfen zu begrenzen sind geeignete Maßnahmen im Bereich der Gebäudehülle, der Anlagen- und Gebäudeleittechnik aber auch des Energiemanagements notwendig, da Flughäfen sehr große Mengen an thermischer und elektrischer Energie für die Heizung, Klimatisierung und Beleuchtung ihrer Terminals, Bürogebäude oder Hangars verbrauchen. Als Beispiel beträgt der Anteil dieser Dienste am Stromverbrauch der Flughafengebäude des Leonardo da Vinci in Rom ca. 55% und entspricht in etwa 100 GWh/a (Aeroporti di Roma, 2010). Zusätzlich haben sich Flughafenbetreibergesellschaften weltweit ambitionierte Energieeinsparungen und Emissionsreduktionen als Ziel gesetzt, die

zeitnah umgesetzt werden sollen. Die Flughafenbetreibergesellschaft Fraport AG will beispielsweise eine Reduzierung der CO₂-Emissionen je Verkehrseinheit¹ um 30% von 3,7 kg/VE im Jahr 2005 auf 2,6 kg/VE im Jahr 2020 erzielen. Zudem sollen trotz des Flughafenausbaus die CO₂-Emissionen bis 2020 auf 238.000 gesenkt werden (Fraport AG, 2014).

Energie- und Facilitymanager der Flughäfen haben die Verantwortung die gesetzten Ziele konkret und zeitnah umzusetzen. Neben der täglichen Bewältigung der anspruchsvollen Aufgaben in derartig komplexen Infrastrukturen eines Flughafens, stellen diese Ziele eine große Herausforderung für die Teams der Flughäfen dar. Deswegen ist es wichtig systematisch Managementstrukturen sowie interne Prozesse zu schaffen, um Aufgaben und Rollen in der Organisation mit dem Thema Energie und Energiemanagement klar zu verteilen und Schnittstellen und Verantwortlichkeiten ausreichend zu definieren.

In großen Liegenschaften wie Flughäfen bleiben Energieeinsparpotentiale im Bereich der Betriebsführung von Gebäuden oft unerschlossen. Zum einen sind die für die Betriebsanalyse von Gebäuden notwendigen Zuständigkeiten und Prozesse in vielen Fällen noch ungenügend geklärt und dokumentiert, zum anderen werden Messdaten aus gebäudeleittechnischen Systemen in nicht ausreichendem Maße oder nicht in aufbereiteter Form verfügbar gemacht, um die Problemstellen schnell und effizient analysieren zu können und entsprechende Korrekturmaßnahmen einzuleiten. Zahlreiche Forschungsprojekte haben gezeigt, dass durch eine kontinuierliche Betriebsüberwachung von Gebäuden und allein durch die korrekte Einstellung von Steuer- und Regelparametern gebäudetechnischer Systeme wie Klima-, Heizungs- oder Kälteanlagen, Energieeinsparpotentiale im Bereich von 5% bis 20% möglich sind (M. Liu, 2002), (Fraunhofer Institut für Solare Energiesysteme, 2011). Dabei handelt es sich meist um einfache Maßnahmen, die durch minimale Eingriffe in die Gebäudeleittechnik realisiert werden können. Zu den typischen Fehlern beim Gebäudebetrieb zählen falsch eingestellte Heiz- und Kühlkurven, defekte Sensoren, die in Regelkreisen eingebunden sind, gleichzeitiges Heizen und Kühlen sowie falsch eingestellte Anlagenlaufzeiten. Diese Fehler können im Laufe des Betriebs der Gebäude z.B. durch Abnutzung von Komponenten oder unkontrollierte Nutzereingriffe immer wieder auftreten und werden solange die thermische Behaglichkeit oder der akustische Komfort nicht beeinträchtigt werden meist nicht erkannt.

Im Bereich der technischen Anlagen von Gebäude ist es jedoch noch immer gängige Praxis, dass keine kontinuierliche Betriebsüberwachung zur Erreichung und Sicherstellung eines energieeffizienten Betriebs stattfindet. Die durchgeführten Wartungen beschränken sich lediglich auf die Sicherstellung der prinzipiellen

¹ VE: ein Passagier bzw. 100 kg Fracht

Funktionalität (z.B. „warme“ bzw. „kühle“ Räume). Selbst bei Neubauten wird während der Inbetriebnahme ein energieoptimierter Betrieb oftmals nicht erreicht. Häufig resultiert daraus ein Betrieb der gebäudetechnischen Anlagen weitab ihres energetisch / ökonomischen Optimums. Gleichzeitig fehlen den Betreibern von großen Liegenschaften wie Flughäfen oft geeignete Werkzeuge und/oder Kapital um eine Verbesserung zu erreichen.

2. Das CASCADE Projekt

Das CASCADE Projekt „ICT for Energy Efficient Airports“ (PSE, 2014) wird im Rahmen des FP7 Forschungsprogramms von der Europäischen Kommission gefördert. Das CASCADE Konsortium entwickelt unter der Führung des Fraunhofer ISE neue Methoden und Werkzeuge für ein effizienteres Energiemanagement von Flughafengebäuden. Im Kern der Lösung steht eine Energiemanagement-Software, die auf der ISO Norm 50001 „Energiemanagementsysteme“ basiert. Die Norm hat sich in den letzten Jahren weltweit als eine wichtige Referenz für die Implementierung eines systematischen Energiemanagements in Organisationen (CEN/CENELEC, 2011) durchgesetzt. Sie bietet einen Leitfaden um „Systeme und Prozesse aufzubauen, welche zur Verbesserung der Energieeffizienz und Reduzierung des Energieverbrauchs notwendig sind“. Mit der Anwendung dieser Norm werden auf Grundlage einer energetischen Ausgangsbasis strategische und operative Pläne definiert und konkrete Aktionspläne festgelegt, implementiert, verfolgt und validiert, mit dem Ziel Energiekosten und -verbrauch sowie Treibhausgasemissionen zu reduzieren. Ein ISO 50001 Energiemanagementsystem folgt einem kontinuierlichen Verbesserungsprozess nach dem Plan-Do-Check-Act-Zyklus (PDCA) und gliedert das Energiemanagement in das Tagesgeschäft der Organisation ein.

Im CASCADE Projekt wird die Energiemanagement-Software durch Algorithmen zur automatischen Fehlererkennung und -diagnose (FED) an haustechnischen Anlagen wie Heizungs-, Lüftungs- und Kälteanlagen unterstützt. Energetisch suboptimale Betriebszustände sowie System- und Komponentenfehler können mithilfe der entwickelten Software frühzeitig erkannt und identifiziert werden und in klaren, terminierten Handlungsanweisungen dem Wartungspersonal mitgeteilt werden. Diese Schritte sind Bestandteil des ISO 50001 konformen PDCA-Zyklus, der in der Software formalisiert wurde und vom Wartungsteam bis hin zum Energiemanager am Flughafen systematisch verfolgt und hinsichtlich der eingebrachten Energieeinsparungen der einzelnen Maßnahmen validiert werden können. Für die automatische Fehlererkennung und -diagnose werden Daten aus den Gebäudeleitsystemen (GLT) und von zusätzlich installierten Sensoren und Energiezählern genutzt.

Die entwickelten Werkzeuge werden an den zwei größten italienischen Flughäfen Milano-Malpensa und Roma-Fiumicino getestet und validiert. Ziele des Projekts sind durch die konkrete Implementierung der entwickelten Lösung an beiden Flughäfen, den

Energieverbrauch und die CO₂-Emissionen von ausgewählten gebäudetechnischen Anlagen wie Kälte- und Lüftungsanlagen um 20 Prozent zu reduzieren. Somit soll erreicht werden die Investitionskosten für die zusätzliche Messtechnik und die Optimierungsmaßnahmen innerhalb von maximal drei Jahren zu amortisieren.

3. Bausteine und Architektur der CASCADE-Lösung

Energiemanagement Teams an Flughäfen wird die ISO 50001 basierte Energieaktionsmanagement-Plattform über eine Web-Schnittstelle angeboten (Bild 1). Für die Anwendung der entwickelten Lösung ist es notwendig, dass Daten aus den bestehenden Gebäudeleitsystemen zeitnah, kontinuierlich und mit einer hohen zeitlichen Auflösung erfasst werden. Für den Zugriff auf die GLT-Systeme in beiden Demonstrationsflughäfen wurden unterschiedliche Lösungen implementiert. Am Flughafen Fiumicino wurde eine BacNet-Schnittstelle installiert, die direkt Daten aus dem GLT-Netzwerk ausliest und in ASCII-Dateien schreibt. Aufgrund eines proprietären Protokolls war ein direkter Zugriff auf das GLT-Netzwerk am Flughafen Malpensa nicht möglich. Als Alternativlösung wurde eine SQL-Datenbank eingerichtet, in welche die Daten aus der GLT kontinuierlich gespeichert und zur Verfügung gestellt werden.

Um die Algorithmen sowie die Energieeinsparmaßnahmen zu validieren, war es notwendig zusätzliche Informationen über den Energieverbrauch und den Verlauf physikalischer Größen wie Temperaturen in betrachteten Systemen wie große raumluftechnischen Anlagen oder Wasserkreisen zu erfassen. Dafür wurden Strom- und Wärmemengenzähler sowie weitere Sensoren nachgerüstet, die über speziell entwickelten Datenloggern ausgelesen werden.

Die Daten aus den GLT-Systemen und den Datenloggern werden von den Flughäfen über gesicherte VPN-Verbindungen zu den Servern des Konsortiums übertragen. Dort werden sie automatisch vorprozessiert und in eine HDF5 Datenbank (HDFGroup, 2014) – die für die effiziente und flexible Speicherung von großen Mengen an Zeitreihendaten entwickelt wurde – gespeichert. Algorithmen zur Fehlererkennung und –diagnose analysieren diese Daten um die Schwachstellen beim Betrieb einer Anlage zu identifizieren. Durch die Kopplung mit der Energiemanagement-Software werden die FED-Ergebnisse in Form von Diagnosetexten und Visualisierungen an Energie- oder Facilitymanager weitergeleitet bevor große Energiemengen verschwendet werden. Für die Visualisierung der Anlagen wurden dynamische Anlagenbilder mit Visualisierung der Messdaten und der Fehler entwickelt und den Nutzern an Flughäfen zur Verfügung gestellt.

Ein weiteres Merkmal der entwickelten Lösung ist die Nutzung eines Flughafen-Ontologiemodells (Tomašević, 2012). Hintergrund für die Nutzung dieser Technologie ist, dass in Gebäuden aktuelle und relevante Daten über eine Anlage typischerweise zwischen unterschiedlichen Quellen und Kommunikationsprotokollen verstreut sind und dem betroffenen Personenkreis nur schwer zugänglich. Um diese Informationen

unmittelbar und kontinuierlich den Energie- und Wartungsteams an Flughäfen verfügbar zu machen, wurden im Rahmen des Projekts die Energiemanagement-Software und das FED-System mit einem neuen semantischen Modell oder Ontologie der Flughäfen verknüpft. Mit diesem Modell kann die Vielfalt der Informationen harmonisiert werden, so dass Rückschlüsse über den Zusammenhang der vorhandenen Daten gezogen werden können. So erhält der Nutzer zusätzliche Informationen z.B. über technischen Daten einer Anlage, ihre Verschaltung mit anderen Anlagen oder über versorgte Zonen.

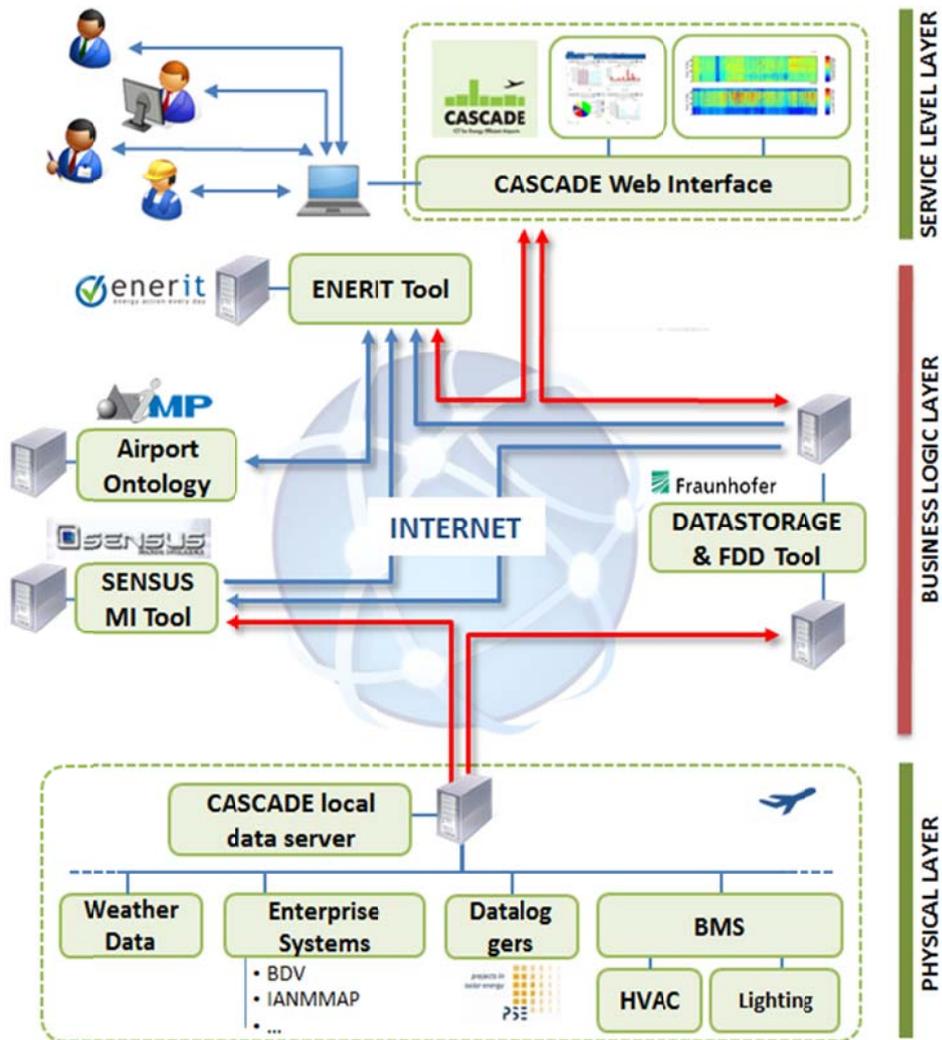


Bild 1 Die Architektur der CASCADE-Lösung

4. Werkzeug zur automatischen Fehlererkennung und Diagnose

Mit der Anwendung von Verfahren zur Fehlererkennung und -Diagnose können Qualitätsicherungsprozesse zur Sicherstellung eines dauerhaft energieeffizienten Gebäudebetriebs unterstützt und verbessert werden. Dabei ist es notwendig, dass die großen Datenmengen, die täglich in den bestehenden GLT-Systemen anfallen, kontinuierlich analysiert werden um suboptimale Betriebszustände zeitnah zu identifizieren. Zur genaueren Analyse des energetischen Betriebs von gebäudetechnischen Systemen sind Daten wie Temperaturniveaus, Durchflüsse, Drücke, Betriebsrückmeldungen und Stellungen von Regelorganen sowie von Ventilatoren und Pumpen notwendig. Fehlererkennung und Diagnose – im englischen Sprachraum als FDII (Fault Detection, Isolation, and Identification) bezeichnet – kann prinzipiell auf die in Bild 2 dargestellten Methoden bzw. Algorithmen aufbauen.

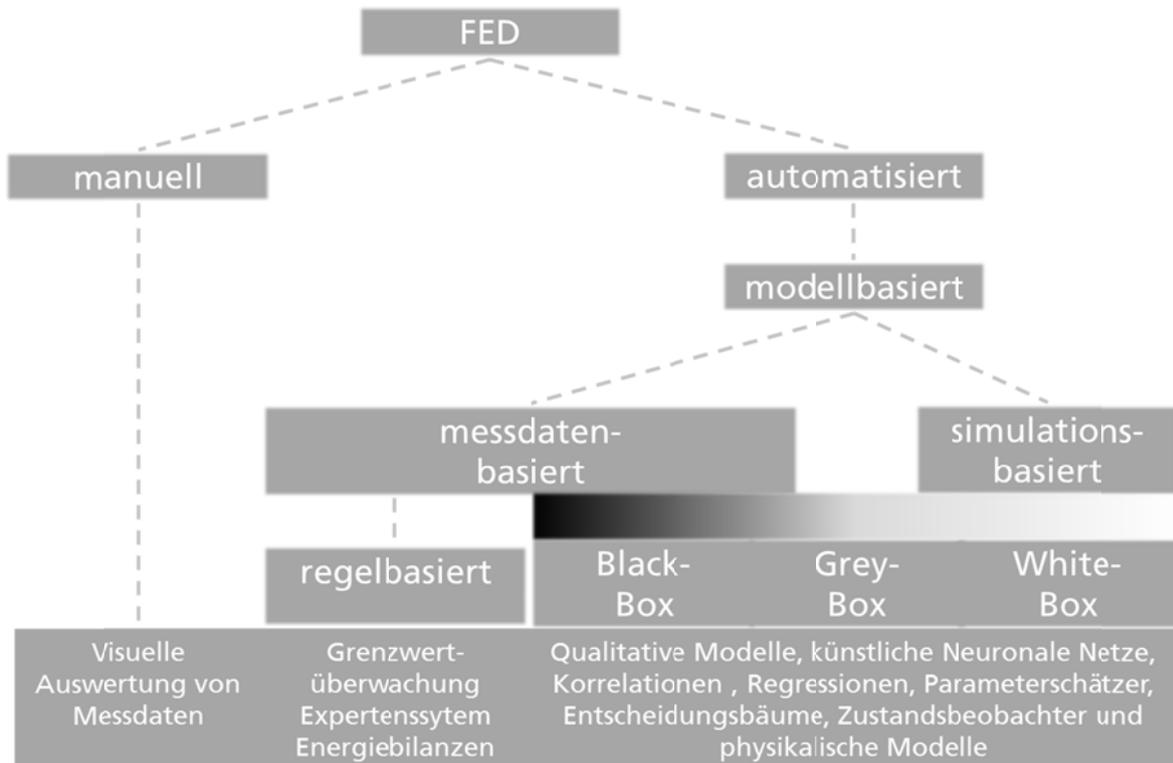


Bild 2 Einteilung der Fehlererkennungs- und Diagnoseverfahren.

Im Rahmen von CASCADE wurden zwei der in Bild 2 dargestellten Methoden, ein regelbasiertes Verfahren und ein modellbasiertes Verfahren mit Nutzung von qualitativen Modellen, am Fraunhofer ISE entwickelt und mit Messdaten aus beiden Demonstrationsflughäfen getestet.

Um automatisierte Datenauswertungsroutinen zu ermöglichen, ist die Einführung einer einheitlichen Datenpunktbezeichnung auf Basis einer hierarchischen Strukturierung notwendig. Die einheitliche Datenpunktbezeichnung beinhaltet folgende Kategorien:

1. Gebäude
2. Zone
3. System
4. Subsystem 1
5. Subsystem 2
6. Medium
7. Position
8. Datenpunktart
9. Messgröße

Für jede dieser Kategorien wurden Inhalte und entsprechende Abkürzungen definiert. Die Vorlauftemperatur in einem Heizkreis kann somit z.B. folgende Bezeichnung erhalten: Building1_GF_WC.H__HW_SUP_MEA_T

(GF=Ground Floor, WC.H = Water Circuit for Heating, HW=Hot Water, SUP=Supply Pipe, MEA=Measured Value, T=Temperature sensor)

Durch die einheitliche Datenpunktbezeichnung und hierarchische Struktur können Algorithmen zur Identifikation der für die Analyse notwendigen Datenpunkte entwickelt werden.

Das regelbasierte FED-System basiert auf Wenn-Dann-Verknüpfungen, die auf Grundlage vom Expertenwissen und Energiebilanzgleichungen für einzelne Systemen wie z.B. raumluftechnische Anlagen definiert werden (Schein, 2006). Die für die Regeln benötigten Eingangsgrößen werden hierbei mittels der beschriebenen Kategorien der einheitlichen Datenpunktbezeichner definiert und automatisiert ermittelt. Das entwickelte System bietet zudem grundlegende Funktionalitäten wie z.B. die Erzeugung von Visualisierungen mit Hervorhebung von fehlerbehafteten Zeitbereichen. Die Regeln der Methode basieren meist auf einfachen Konzepten und sind für Systeme wie einfache RLT-Anlagen oder hydraulische Schaltungen gut und ohne großen Aufwand replizierbar. Bei zunehmender Komplexität von Systemen muss jedoch vermehrt auf Expertenwissen zurückzugegriffen werden.

Um diese Defizite zu kompensieren wurde am Fraunhofer ISE eine weitere Methode zur Fehlererkennung und –diagnose in gebäudetechnischen Systemen basierend auf qualitativen Modellen entwickelt, mit dem Ziel diese mit dem regelbasierten System zu kombinieren. Qualitative Modelle können das Verhalten dynamischer Systeme näherungsweise beschreiben und sind in der Lage zukünftige Zustände des Systems anhand von Wahrscheinlichkeiten zu prognostizieren. Sind die Auftrittswahrscheinlichkeiten möglicher Zustände für das Nominalverhalten des Systems bekannt, können vom Optimalbetrieb abweichende Betriebszustände erkannt werden.

Gegenüber klassischen Ansätzen der Fehlererkennung und -diagnose sind diese Modelle vorteilhaft, da sie nur wenige Vorkenntnisse über das physikalische Verhalten der zu analysierenden Systeme benötigen und sich durch die qualitative Betrachtung der Implementierungsaufwand minimieren lässt.

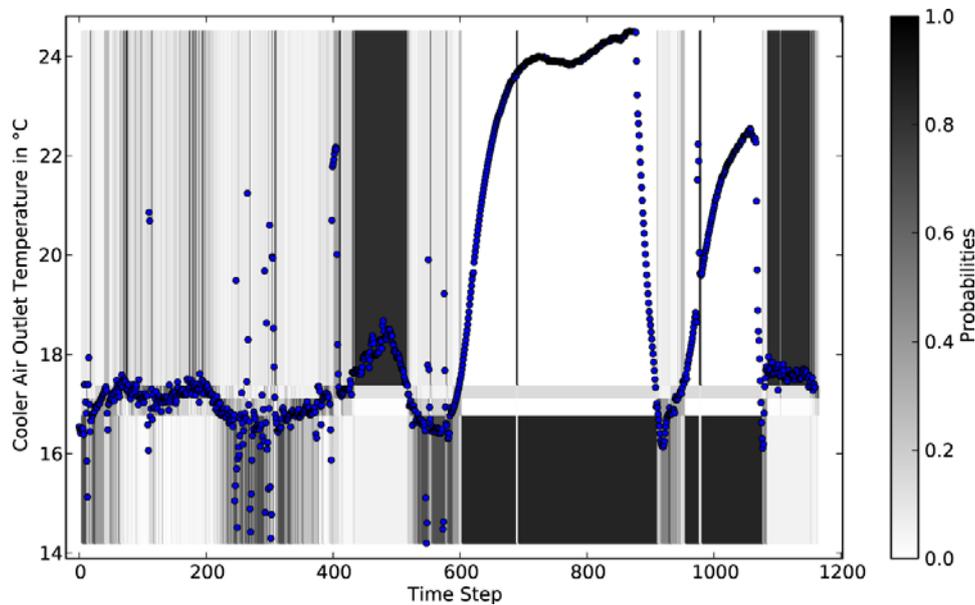


Bild 3: Automatische Fehlererkennung in der Kaltwasserversorgung eines Luftkühlers. Gemessene Luftaustrittstemperatur (Blau) und vom qualitativen Modell prognostizierte Wahrscheinlichkeiten (Graustufen). Ab Zeitschritt 600 liegen die Messwerte nicht mehr in dem Bereich, der vom qualitativen Modell für den Nominalbetrieb vorhergesagt wurde. Durch die instantane Fehlererkennung lassen sich negative Auswirkungen auf die Energieeffizienz vermeiden.

5. Erste Ergebnisse und Ausblick

Nach der Entwicklungs- und Installationsphase erfolgt die Demonstration der Methoden und Werkzeuge in den Demonstrationsflughäfen Rom-Fiumicino und Mailand-Malpensa bis März 2015. Als erster Schritt wurde die verwendete ISO 50001 Energiemanagementsoftware den Anforderungen und Managementstrukturen beider Flughafenbetreibergesellschaften angepasst. Somit wurden sowohl für das tägliche Energiemanagement als auch für die Durchführung von Audits Nutzungsprofile in den Organisationen definiert und softwaretechnisch formalisiert. Weiter stellt die Software alle Informationen zusammen, die für eine systematische Implementierung und Anwendung eines ISO 50001 basierten Energiemanagementsystems notwendig sind.

Das FED-System wurde um Online-Visualisierungen ergänzt die den Nutzer am Flughafen unterstützen einen automatisch identifizierten suboptimalen Betriebszustand zu analysieren. Hierzu stehen ihm Grafiken und zusätzliche Informationen wie Zeit und Lokalisierung eines Fehlers sowie Listen der von den Algorithmen verwendeten Sensoren zur Verfügung.

Am Flughafen Fiumicino konnten mit Hilfe des Systems bisher unbemerkte unnötige Verbräuche in großen RLT-Anlagen identifiziert werden. Die Algorithmen erkannten Verletzungen der Zeitpläne sowie gleichzeitigen Betrieb der Luffeheizter und – kühler im Heizbetrieb. Weiter konnten Fehler wie defekte Sensoren und nicht erreichte Sollwerte entdeckt und gemeldet werden. Am Flughafen Malpensa wurden Ausreißer in der Nahwärmeversorgung identifiziert, die auf einen irregulären Betrieb von Anlagen außerhalb der Nutzungszeiten hingewiesen haben. Weitere Regelungsdefizite wurden in Zweikanal-Lüftungsanlagen beobachtet. Für den Flughafen Fiumicino wurden durch die Behebung der erkannten Fehler Einsparungen bis zu 500 MWh ermittelt, was etwa 3.500 Tonnen CO₂ und 70.000 EUR jährlich entspricht. In der Abschlussphase des Projekts werden gezielte Optimierungen umgesetzt und ausgewertet, mit dem Ziel eine hohe Wirtschaftlichkeit zu erreichen.

Diese Arbeiten wurden im Rahmen des FP7 Rahmenprogramms von der Europäischen Kommission unterstützt.

www.cascade-eu.org

Literaturverzeichnis

Aeroporti di Roma . (2010). Aeroporti di Roma – Company presentation. ADR.

CEN/CENELEC. (12 2011). DIN EN ISO 50001 - Energiemanagementsysteme - Anforderungen mit Anleitung zur Anwendung. Deutschland.

Eurocontrol. (2010). *Long-Term Forecast, Flight Movements 2010 - 2030*.

Fraport AG. (2014). *Nachhaltigkeitsprogramm*. Frankfurt.

Fraunhofer Institut für Solare Energiesysteme. (2011). *Modelbasierte Methoden für die Fehlererkennung und die Optimierung im Gebäudebetrieb*. Freiburg: Fraunhofer ISE.

HDFGroup. (2014). *The HDF Group*. Abgerufen am 25. 11 2014 von <http://www.hdfgroup.org/HDF5/>

M. Liu, D. C. (2002). *Continuous Commissioning Guidebook: Maximizing Building Energy Efficiency and Comfort*. USA: DOE.

PSE, F. I. (2014). *CASCADE ICT for Energy Efficient Airports*. Abgerufen am 19. 11 2014 von www.cascade-eu.org

Schein, J. (2006). A Hierarchical rule-based fault detection and diagnostic method for HVAC systems. *HVAC&R Research* 12, 111-125.

Tomašević, N. (2012). Ontology-based airport data model. *The 18th International Conference on Information and Software Technologies*. Kaunas, Lithuania.