



Netzwerkbasierte Beleuchtungssteuerung und adaptive Betriebszeitoptimierung

Beispiele innovativer Smart Building-Technologien - lokal und aus der Cloud



Dr.-Ing.
Bruno Lüdemann,
Leiter Energiesysteme
und Simulation,
Rud. Otto Meyer
Technik GmbH & Co. KG,
Hamburg



Christian Warnecke
M.Sc.,
Projektingenieur F&E,
Rud. Otto Meyer
Technik GmbH & Co. KG,
Hamburg



Johannes Nußbaum,
Geschäftsführer
wtec GmbH,
Bad Homburg

Digitalisierung und Künstliche Intelligenz halten Einzug in die Gebäude bzw. die Gebäudesteuerung und vernetzen zunehmend verschiedene technische Anlagen, Geräte und Sensoren („Internet der Dinge“ bzw. „IoT“). Ein wichtiges Kernelement so genannter intelligenter Gebäude sind Daten aus technischen Anlagen und Daten aus der Raumnutzung, beispielsweise zu Anwesenheit, Temperatur oder Luftqualität, die über verteilte Sensorik aus dem gesamten Gebäude gemeldet werden. In einem intelligenten Gebäude liegen solche Daten in einer hohen Granularität, Präzision und in Echtzeit vor. Smart Building-Technologien nutzen diese Daten, um den Gebäudebetrieb in Zukunft effizienter, wirtschaftlicher und für den Nutzer

oder den Betreiber einfacher und bequemer zu gestalten.

„Infrastruktur“ für intelligente Gebäude

Network Powered Lighting ist die Anbindung von Leuchten mithilfe von Datenkabeln. Viele verschiedene Anbieter haben die Beleuchtung als Infrastruktur für die benötigte Sensorik eines intelligenten Gebäudes für sich entdeckt. Dafür spricht, dass Beleuchtung jede Stelle eines Gebäudes erreicht, in einer hohen Dichte vorhanden ist und zudem über eine Stromversorgung verfügt, die auch Sensoren mit der nötigen Energie versorgen kann. Zur Übermittlung der Daten muss zwischen kabelbasierter Übertragung („Network Powered Lighting“ oder „Power over Ethernet - PoE“) und kabelloser Übertragung unterschieden werden. Kabellose Übertragung ist zwar vermeintlich mit weniger Investitionsaufwand umzusetzen, sie ist jedoch komplexer und im laufenden Betrieb anfälliger – die Stichworte sind „Funkkataster“ und „Signalschwäche“. Viel entscheidender sind jedoch der Datenschutz und die Sicherheit gegenüber Cyberattacken oder Hackerangriffen. Eine PoE-basierte Lösung mit lokalem offline-Betrieb oder entsprechender Sicherheitsverschlüsselung der Cloudanbindung bietet die für den Betreiber eines smarten Gebäudes in Bezug auf die Betreiberverantwortung unverzichtbare Sicherheit. Bildlich gesprochen: Die Datenkabel bilden das „Nervensystem“ eines intelligenten Gebäudes – die Sensorik stellt die Sinnesorgane dar.

Machine Learning generiert aus Daten konkrete Mehrwerte

Damit ein Gebäude wirklich als „intelligent“ bezeichnet werden kann, müssen die Daten aus den verschiedensten Quellen in einem ersten Schritt an eine zentrale Plattform übermittelt werden. Zu den Quellen zählen Sensorik, technische Anlagen und externe Quellen, beispielsweise Wetterdaten, Sonnenstand etc. Die zentrale Plattform kann auch als „Gehirn“ des Gebäudes bezeichnet werden. Da vermehrt Daten aus separaten Sensoren generiert werden, reicht die GLT als Datenspeicher oder „Gehirn“ des Gebäudes

des womöglich in Zukunft nicht mehr aus. Spätestens Vergleiche zwischen oder das Monitoring einer Vielzahl von Gebäuden erfordern eine cloudbasierte und zentrale IoT-Plattform. Hier werden die Daten gesammelt, hier findet die Verarbeitung und Steuerung statt. Damit wird eine Steuerung des Gebäudebetriebs anhand des tatsächlichen Verhaltens des Nutzers möglich. Eine rein zeitprogramm-basierte Steuerung kann dadurch ersetzt werden – höhere Effizienz und größerer Nutzerkomfort werden erreicht. Doch wieviel größer wäre der Zugewinn, wenn das Gebäude nicht nur in Echtzeit reagieren könnte, sondern sogar die Anforderungen antizipieren würde? Das ist mithilfe von Machine Learning und anderen Anwendungen aus dem Bereich der Künstlichen Intelligenz schon heute möglich. Aus dem Meer an Daten können durch spezielle Algorithmen zuverlässige Vorhersagen getroffen werden. Das Gebäude kennt den Bedarf, bevor dieser benutzt wird – beispielsweise die Kühlleistung in einem bestimmten Raum. Das Gebäude sorgt dann eigenständig für das richtige Raumklima zum richtigen Zeitpunkt.

Aufbau und Funktion eines Beispiels von Network Powered Lighting

Network Powered Lighting basiert auf der Idee, Leuchten über Datenkabel statt über Stromkabel mit Spannung zu versorgen. Dadurch wird jeder Winkel eines Gebäudes für Daten erreichbar und das Gebäude wird „intelligent“. Dazu werden Datenkabel zu allen Positionen der Beleuchtung gezogen und sternförmig im gesamten Gebäude verlegt.

Eine solche PoE-Infrastruktur bietet die smartengine-Technologie, die in Abbildung 2 dargestellt ist. Sie basiert auf einer Stromversorgung von herstellerneutralen LED-Leuchten mit Standard-Datenkabeln (CAT 5e aufwärts) und Sensoren, die Helligkeit, Bewegung, Temperatur und Stromverbrauch erfassen. Die Datenkabel werden in den dezentralen IT-Räumen „aufgepatcht“ und von der „smartengine“ immer mit der benötigten Spannung versorgt. Die Daten werden über das Datennetz zu einer zentralen Steuerungseinheit mit Festplatte („smartdirector“) gesendet und dort gespeichert. Über eine of

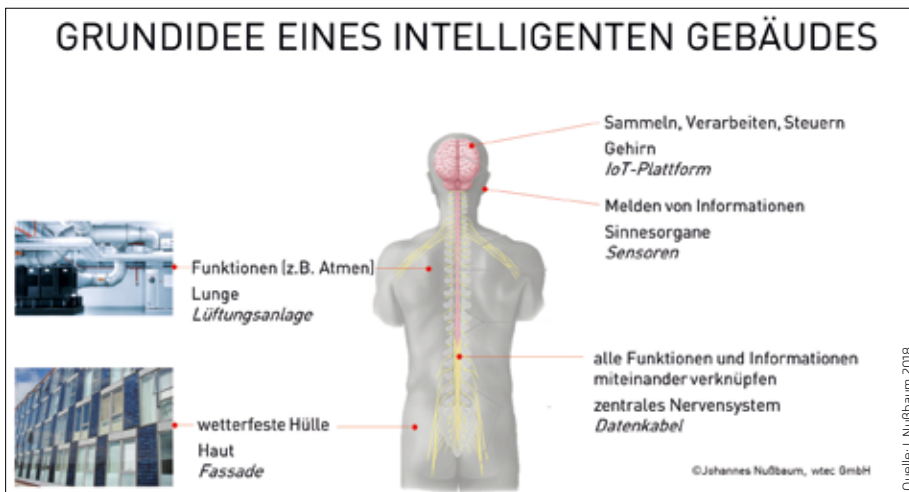


Abbildung 1: Analogie zwischen einem intelligenten Gebäude und dem Menschen

feine Schnittstelle (API) oder eine Cloudanbindung kann auf die Daten zugegriffen werden. Eine BACnet-IP-Schnittstelle ermöglicht den Austausch der Daten mit der GLT. Diese Systemarchitektur macht den Aufbau zweier Infrastrukturen – Strom und KNX/DALI etc. – zur Lichtsteuerung überflüssig und bündelt beide Funktionen in einer Netzwerkinfrastruktur. Die Installation wird dadurch einfach, schnell und günstig. Zudem werden aufwendige Wartungspflichten überflüssig, da Kleinspannung verwendet wird. Darüber hinaus dimmen die Helligkeitssensoren die LEDs in Abhängigkeit des Tageslichteinfalls und reduzieren den Strombedarf für die Beleuchtung auf ein bis zwei Watt pro Quadratmeter. Network Powered Lighting ist somit nicht nur kostensparend, sondern auch nachhaltig und umweltfreundlich.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass Network Powered Lighting eine echte und innovative Alternative ist, die neben der Stromversorgung auch feinmaschige Daten liefert, auf deren Vorteile im Folgenden eingegangen wird.

Mehrwerte eines intelligenten Gebäudes

Auf Betreiberseite können die Daten und die Verknüpfung in Kombination mit einer zentralen IoT-Plattform und Machine Learning helfen, das Gebäude in Echtzeit oder sogar antizipativ intelligent nach dem Nutzerverhalten zu steuern. Außerdem können drohende Ausfälle frühzeitig erkannt werden („Predictive Maintenance“) und Anlagen werden geschont. Ein weiterer Aspekt eines Smart Buildings ist ein digitales Abbild

(„Digital Twin“), in dem Wartungsfristen, Dokumentation, Checklisten usw. digital hinterlegt und jederzeit verfügbar sind. Darüber hinaus gibt es zahlreiche weitere Vorteile und Anwendungsfelder.

Neben den Betriebskostenoptimierungen sind für den Nutzer auch Informationen interessant, die Erkenntnisse zur tatsächlichen Nutzung der angemieteten Fläche liefern. So können zum Beispiel Analysen erstellt werden, welche Bereiche wie stark ausgelastet sind. In einem Multi-Zonen-Büro kann das dem Corporate Real Estate-Manager wertvolle Erkenntnisse zur (Um-)Gestaltung geben. Wenig genutzte Bereiche können attraktiver gestaltet oder umgenutzt werden, die Größe und Ausstattung von Besprechungsräumen kann an den tatsächlichen Bedarf angepasst werden. In einem Arbeitsplatzkonzept mit nicht fest zugewiesenen Arbeitsplätzen kann ein smartes Gebäude den Nutzern den Weg zu freien Arbeitsplätzen weisen oder verfügbare Besprechungsräume anzeigen – diese könnten beispielsweise auch über eine App direkt gebucht werden. Wenn ein Besprechungsraum gebucht ist, aber nicht genutzt wird, kann diese Ressource automatisch nach Ablauf einer gewissen Frist wieder freigegeben werden. Das steigert die Wirtschaftlichkeit der angemieteten Fläche. Auf Mitarbeiterproduktivität und -zufriedenheit hat ein intelligentes Gebäude ebenfalls einen positiven Effekt.

Durch die Vorteile auf Betreiber- und Nutzerseite wird das intelligente Gebäude für den Eigentümer ebenfalls zu einem Mehrwert: Niedrigere Betriebskosten, bessere Vermietbarkeit, langfristiger Werterhalt und



Abbildung 2: Aufbau und Funktion der smartengine-Technologie

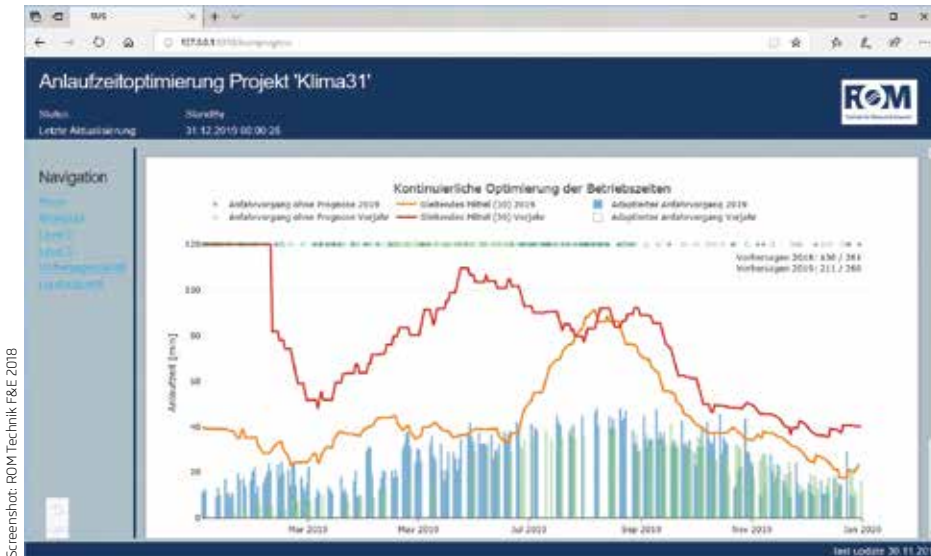


Luftbehandlung von Menerga schafft gutes Klima in vielen Bereichen.



Precision Industry Pool
 Hygiene ^{Pool} Data Center Service
 Service Industry Hygiene

www.menerga.com



Screenshot: ROM Technik F&E 2018

Abbildung 3: Weboberfläche Anlaufzeitoptimierung

Investmentfähigkeit sowie Nachhaltigkeit sind nur einige Gründe von vielen.

Derzeit existieren wenige Beispiele erfolgreich umgesetzter intelligenter Gebäude, jedoch wird sich das rasch ändern. Gebäudetechnik, die das Verhalten des Gesamtsystems „Gebäude - Anlage - Nutzung - Wetter“ lernt und in der Lage ist, durch Prognosen die gewünschten Zustände rechtzeitig einzustellen, wird zu deutlich effizienteren Gebäuden führen. Ein konkreter Anwendungsfall soll nachfolgend dargestellt werden.

Adaptive Betriebszeitoptimierung

Die F&E-Abteilung der ROM Technik GmbH & Co. KG hat im Rahmen des Forschungsprojekts „Smart Consumer“ [1] gemeinsam mit Projektpartnern aus Forschung und Industrie Methoden zur automatisierten, simulationsgestützten Koordination und Steuerung von Produktionsprozessen und den dazugehörigen Systemen der technischen Gebäudeausrüstung zum Heizen, Kühlen und Lüften entwickelt. Das Ziel war, die Energieeffizienz von Produktionsbetrieben durch die sich ergebenden Synergieeffekte zu verbessern. Ein Ergebnis der Forschungsarbeiten ist die selbstlernende Anlaufzeitoptimierung

zur nachhaltigen Minimierung der Anlagenbetriebszeiten.

Die Anlaufzeitoptimierung bringt Automation in die Steuerungsebene über den einzelnen Anlagen und kann dort bisher ungenutzte Einsparpotenziale ausnutzen. Die Anlaufzeitoptimierung ist sowohl für den Bestand als auch für den Neubau geeignet.

Potenziale der Betriebszeitoptimierung

In den Gebäuden von Gewerbe, Handel und Industrie wird in der Regel für die Nutzungs- bzw. Arbeitszeit eine Konditionierung der Raumluft innerhalb vorgegebener Grenzwerte durch Heizen, Kühlen und Klimatisieren benötigt. Außerhalb der Betriebszeiten, in der Nacht oder zwischen Produktionsschichten ist es meist nicht nötig, diese Konditionen aufrecht zu erhalten - Lüftung, Heizung und Kühlung können heruntergefahren oder abgeschaltet werden. Da zum nächsten Arbeitsbeginn die geforderten Konditionen wiederhergestellt sein müssen, werden die Versorgungssysteme häufig schon sehr lange bevor die Nutzung, die Schicht oder die Produktion beginnt, eingeschaltet oder laufen gar durchgehend ohne außerhalb der Arbeitszeit einen wirklichen Nutzen zu erbringen.

Tabelle 1: Einsparpotenziale bezogen auf Referenzfall

	Jahr 1	Jahr 2
Betriebszeit	-20%	-24%
Strom	-20%	-24%
Dampf	-26%	-31%
Kälte	-14%	-16%

gen. Die Gründe liegen darin, dass die Anlagenbetriebszeiten meist fest programmiert sind und nicht täglich flexibel an wechselnde Klimabedingungen oder sich ändernde Nutzungszeiten angepasst werden können. Lange vor Betriebsbeginn oder durchgehend laufende Anlagen stellen die geforderten Raumkonditionen sicher – hohe Anlaufzeiten und unnötige Betriebskosten sind der Preis.

Einsparpotenzial am Beispiel einer Produktionshalle

Im Rahmen des Forschungsprojekts wurden Industriebetriebe betrachtet, die eine energieintensive Klimatisierung ihrer Hallen für die Produktion benötigen. Die Konditionierung und Umwälzung großer Luftvolumenströme für die Klimatisierung durch raumluftechnische Anlagen (RLT-Anlagen) macht in der Regel den Großteil der Energiekosten über das Jahr aus. Dabei sind Energieaufwand und die resultierenden Betriebskosten annähernd proportional zu den Betriebsstunden der Anlage.

Für die Validierung der selbstlernenden Anlaufzeitoptimierung wurde eine Produktionshalle in der Lebensmittelindustrie untersucht, die für den Produktionsbeginn auf 18 °C und 50 Prozent Luftfeuchte eingestellt werden muss. Je nach den aktuellen Raumluft- und Umgebungsbedingungen und dem zugrunde gelegten Luftvolumenstrom variiert die benötigte Zeit, um die Raumluft auf den Sollzustand zu bringen. Es soll folgende Annahme gelten: Die Anlaufzeit beträgt im Hochsommer zwei Stunden, im Winter eine Stunde und in der Übergangszeit eine halbe Stunde. Die statische Lösung, also die maximal benötigte Anlaufzeit, beträgt in diesem Fall zwei Stunden. Die mittlere, real benötigte Anlaufzeit beträgt eine Stunde – also nur die Hälfte der für jeden Fall geltenden

sicheren maximalen Vorlaufzeit. In der Praxis sind üblicherweise konservativ eingestellte Vorlaufzeiten anzutreffen: Die wirklich benötigte maximale Anlaufzeit kann nicht ermittelt werden. Sie beruht in der Regel nur auf Erfahrungswerten und wird mit einem „Sicherheitszuschlag“ eher deutlich zu lang eingestellt. Je öfter eine Produktion bzw. ein zu klimatisierender Raum über das Jahr angefahren wird, desto höher ist das Potenzial der Anlaufzeitoptimierung einzuschätzen.

In Tabelle 1 sind die simulierten Einsparpotenziale gegenüber dem Referenzfall zu erkennen (Einschichtbetrieb, Ein: drei Stunden vor Schichtbeginn, Aus: eine halbe Stunde nach Schichtende). Im zweiten Jahr fallen die Einsparungen durch den Lernfortschritt der Anlaufzeitoptimierung noch höher aus. Je nach Status quo der RLT-Schaltung können die Einsparungen auch noch deutlich höher ausfallen.

Alles im Überblick - die Weboberfläche

Die Anlaufzeitoptimierung wurde mit einer Weboberfläche ausgestattet (Abbildung 3). Sie erlaubt es dem Anwender, die aktuelle Prognose über die Anlaufzeit einzusehen, die Qualität der Prognosen zu überwachen oder Einstellungen vorzunehmen. Je nach Bedarf kann die Weboberfläche nur über eine lokale Netzwerkverbindung aufgerufen werden oder ist auch mobil über das Internet verfügbar.

Kein Eingriff in bestehende Anlagentechnik notwendig

Als übergeordnetes System gibt die Anlaufzeitoptimierung nur zu gegebener Zeit „Ein-“ und „Aus-“Signale an die überwachten und gesteuerten Anlagen. Als zusätzliche Hardware sind gegebenenfalls nur die Sensorik für die relevanten Messgrößen und ein ent-

sprechendes Netzwerk für den Datenaustausch zu ergänzen.

Das Hierarchie-Modell

Die Anlaufzeitoptimierung ist in vier Hierarchie-Ebenen unterteilt, um die Betriebssicherheit in jedem Fall zu gewährleisten. In der untersten Ebene ist bereits die Anlaufzeitoptimierung in die bestehende Regelung integriert. Sollte die Anlaufzeitoptimierung deaktiviert oder gestört sein, wird das Signal zurückgesetzt – die ursprüngliche Steuerung bzw. Regelung der Anlage übernimmt die Kontrolle. Sofern keine bessere Prognose abgegeben werden kann, wird im normalen Betrieb der Anlaufzeitoptimierung in der zweiten Ebene das zuvor eingegebene statische Optimum als Anlaufzeit verwendet. In der dritten Ebene kann durch Gebäude- und Anlagensimulationen die erwartete Anlaufzeit für ein breites Spektrum an Randbedingungen im Voraus berechnet werden. Dieses Vorgehen ist optional und bietet bei Neubauten oder sensiblen Produktionsvorgängen – die keine Lernphase der Optimierung tolerieren – die Möglichkeit, die Datenbank der Optimierung im virtuellen Betrieb zu „füttern“. Die vierte und höchste Ebene der Anlaufzeitoptimierung ist die selbstlernende Adaption. In diesem Modus lernt die Anlaufzeitoptimierung selbstständig aus der Vergangenheit und prognostiziert daraus sicher die den aktuellen Randbedingungen (Zeitplan, Wetter, innere Lasten) entsprechende Anlaufzeit.

Adaption

Das Kernstück der Anlaufzeitoptimierung ist die Adaption. Durch Methoden aus dem Bereich „Machine Learning“ ist die Anlaufzeitoptimierung in der Lage, ohne Vorkenntnisse über die installierte Anlagentechnik nach einigen Anfahrvorgängen Vorhersagen über zukünftige Anfahrvorgänge unter ähnlichen Randbedingungen zu treffen. Im Laufe der Zeit wird das Gebiet der Randbedingungen, bei denen Vorhersagen getroffen werden können, immer vollständiger. Änderungen am Betrieb der Anlagen werden ebenfalls erlernt, entsprechende Anpassungen der Anlaufzeiten werden selbstständig eingearbeitet. Ebenso werden einzelne Ausreißer durch den zugrundeliegenden Algorithmus automatisch erkannt und von der Berechnung ausgeschlossen. Dadurch wird eine hohe Vorhersagequalität sichergestellt.

Vorhersagegenauigkeit

Abbildung 5 zeigt die Vorhersagegenauigkeit für eine simulierte Produktionshalle



Abbildung 4: Struktur der Integration der Anlaufzeitoptimierung: Hierarchie- bzw. Rückfallebenen für den sicheren Betrieb



Abbildung 5: Darstellung Vorhersagequalität am Beispiel einer Produktionshalle

im Zweischichtbetrieb. Die Simulation wurde anhand eines ortsgenauen Testreferenzjahrsdatensatzes durchgeführt. Die Simulation deckt einen Zeitraum von zwei Jahren ab, wobei für das erste Jahr die Wetterdaten für ein mittleres Jahr und für das zweite Jahr die Wetterdaten für einen extremen Sommer verwendet wurden. Die Ergebnisse zeigen Abweichungen zwischen Vorhersagen und eingetretenen Anlaufzeiten im Bereich von wenigen Minuten. Über diese Darstellung hat der Anwender die Vorhersagegüte der Anlaufzeitoptimierung jederzeit im Überblick und kann bei Bedarf Anpassungen an Sicherheitszeiten vornehmen.

Beschleunigte Adaption durch Simulation

Die Anlaufzeitoptimierung benötigt zum Lernen einige Anlaufereignisse unter verschiedenen Randbedingungen. In der Praxis kann es bei einem Anlaufvorgang pro Tag mehrere Wochen je Jahreszeit dauern, bis das Systemverhalten über ein ausreichendes Spektrum an Randbedingungen adaptiert ist. Durch Simulationen des Gesamtsystems „Gebäude - Anlage - Nutzung - Wetter“ mit dynamischen Simulationstools der Gebäude- und Anlagensimulation kann die Anlauf-

zeitoptimierung schon vor dem Einsatz im realen Betrieb lernen. So kann sie ab dem ersten Betriebstag valide Vorhersagen treffen, die gewünschten Raumkonditionen „just in time“ herstellen und damit Anlagenlaufzeiten und den Energiebedarf sicher minimieren.

Erprobung in der Praxis

Um noch innerhalb des Forschungsprojekts „Smart Consumer“ einen Praxistest durchzuführen, wurde ein Forschungsunterauftrag an das EBC am EON ERC der RWTH Aachen [2] und die Firma Aedifion vergeben [3]. Das Institutsgebäude des EBC ist als Experimentiergebäude konzipiert und mit vielfachen Möglichkeiten des direkten Zugriffs auf Steuerung, Regelung und Datenerfassung der installierten TGA-Systeme ausgestattet. Hier wurde der Algorithmus über mehrere Wochen bei den RLT-Anlagen zur Versorgung der Besprechungsräume eingesetzt und die Funktionalität der Methode wurde nachgewiesen. Die Firma Aedifion stellte eine Internetplattform zur Verfügung, mit der von Hamburg aus die Meeting-Räume des Aachener Institutsgebäudes aus der Cloud geregelt werden konnten. Somit konnte wahlweise eine Fernwartung der Anlauf-

zeitoptimierung über die mit einem Innovationspreis ausgezeichnete Cloud-Plattform von Aedifion oder lokal über einen einfachen Industrierechner realisiert werden. Das Ziel der Entwicklung einer simulationsgestützten übergeordneten Steuerung zur effizienten Koordination von Arbeitsprozessen und der zugehörigen Versorgungstechnik im Forschungsprojekt „Smart Consumer“ konnte mit dieser Teillösung demonstriert werden.

Danksagung

Die ROM Technik GmbH & Co. KG bedankt sich beim Bundesministerium für Wirtschaft und Energie und beim Projektträger Jülich für die finanzielle Förderung und Betreuung des Forschungsprojekts „Smart Consumer“.

Quellen

- [1] „Smart Consumer“, <https://www.bmwi-energie-wende.de/EWD/Redaktion/Newsletter/2014/35/Meldung/smart-industrie-energiestrome-intelligent-koppeln.html> (zuletzt geprüft am 9. Januar 2019).
- [2] EBC, www.ebc.eonerc.rwth-aachen.de.
- [3] Aedifion, <https://www.aedifion.com/>.