



Gebäude 4.0 – Vision oder Wirklichkeit?

Neue Sensor- und Datentechnik plus Cloudanbindung integrieren das Gebäude in das Internet der Dinge (IoT)



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

Für die Bauwirtschaft lag der Focus der Digitalisierung in den vergangenen Jahren auf der Methode „Building Information Modeling – BIM“. Der digitale Zwilling ist das Synonym für einen effizienten, schlanken und reibungsfreien Bauprozess mit dem Ziel, das Gebäude „gebaut wie geplant“ umzusetzen. Die Baubeteiligten ringen noch um Schnittstellen und Datenstandards für einen reibungslosen Austausch der Daten aller beteiligten Gewerke. Der Betrieb des Gebäudes mit Hilfe des digitalen Datenmodells ist der nächste folgerichtige Schritt, sozusagen die Kür der Nutzung der BIM-Methode über den Lebenszyklus des Gebäudes.

Parallel zur Einführung von BIM werden Gebäude aktuell technisch von innen heraus digitalisiert. Das ist sowohl im Neubau als auch nachträglich in der Sanierung möglich.

Treiber sind Projektentwickler, Gebäudehalter und -betreiber und nicht zuletzt die Nutzer, die nach neuen Möglichkeiten und Geschäftsmodellen suchen, um Gebäude attraktiver und wertiger zu machen. Von vielen Anbietern wird die Entwicklung preisgünstiger technischer Komponenten zur Datengenerierung und für den Datenaustausch vorangetrieben, beispielsweise von Multisensoren, Beacons, Mini-Controllern und einfach konfigurierbaren Netzen sowie neuen Dienstleistungen wie Verwaltungs-Apps, Datenhosting und -analyse in der Cloud. BIM und die zunehmende Digitalisierung der Raumnutzung werden sich in der Zukunft für den Gebäudebetrieb ergänzen.

Die Digitalisierung der Gebäudetechnik mit internet-basierten Anwendungen hat sich in den vergangenen Jahren zuerst im Home-Bereich durchgesetzt. Die Gründe sind sicher zum einen in der geringen Größe der Systeme mit wenigen beteiligten Räumen, Nutzern, Sensoren, Aktoren und klassischen Komponenten vorwiegend aus der Heizungs- oder Elektrotechnik zu suchen, zum anderen in der klaren rechtlichen Situation: Nur der Hausbesitzer oder Wohnungsnutzer muss für seinen Lebensbereich entscheiden, ob Daten über das Netz ausgetauscht werden. In großen Nichtwohngebäuden war das Denken der Betreiber bisher in den meisten Fällen von Sicherheit geprägt. Um die kom-

plexe Versorgungstechnik vor fehlerhaften Eingriffen von außen zu schützen und datenschutzrechtlichen Bestimmungen sicher zu genügen, wurde bisher der Austausch automatisierter Datenerfassungen mit der Außenwelt meist gemieden. Gerade bei jungen Menschen und insgesamt in der Gesellschaft wandelt sich inzwischen das Bewusstsein zur eigenen Sichtbarkeit der Daten im Internet – in Kombination mit den neuen technischen Möglichkeiten, Anlagen, Geräte und Sensoren zu vernetzen.

Ausschreibungen für anspruchsvolle aktuelle Bauprojekte zeigen diese Entwicklung. Von vornherein werden Cloud- und Cloud-to-Cloud-Lösungen gefordert. Gebäudehalter und -betreiber sind an den dynamischen Daten des Gebäudebetriebs interessiert. Das Gebäude verwandelt sich in einen Teil des Internets der Dinge (IoT). Die riesige Datenfülle aus großen Nichtwohngebäuden wird als potenzielle Quelle für erweitertes Wissen für einen effizienteren und profitableren Gebäudebetrieb verstanden. Wird die Entwicklung vom Mobiltelefon zum Smartphone als Vergleich herangezogen, wurden die klassischen Dienste „Telefonie“ und „SMS“ durch die Möglichkeiten des intelligenten Telefons um eine unüberschaubare Anzahl neuer Geschäftsmodelle ergänzt, die über das Smartphone abgewickelt werden. Das Umsatzvolumen der über das Telefon abgewickelten

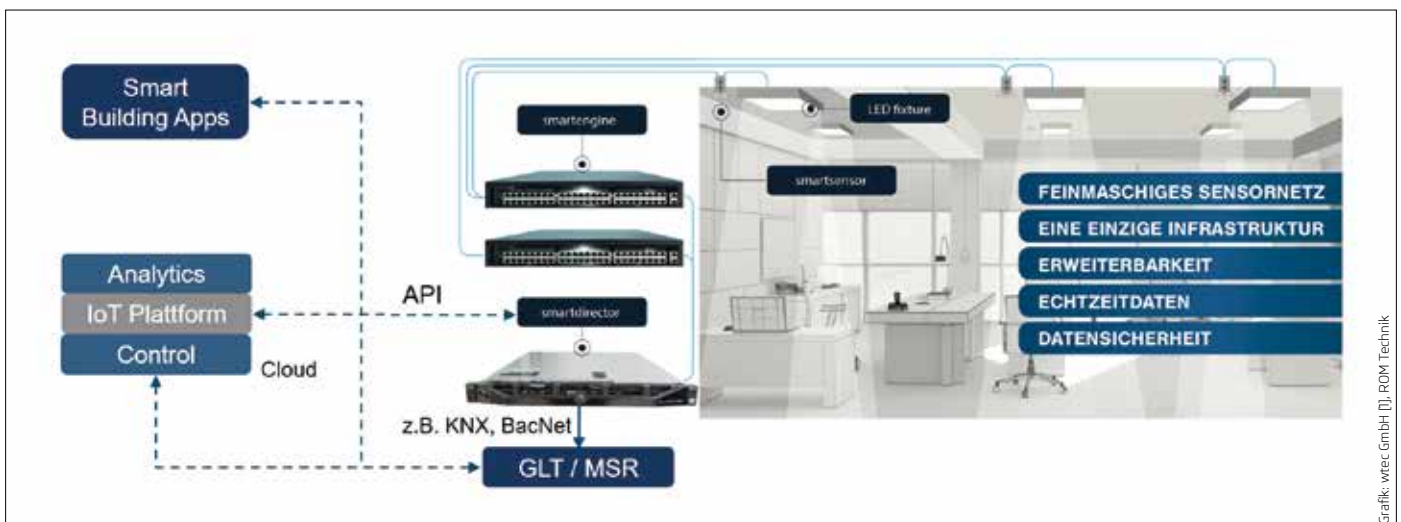
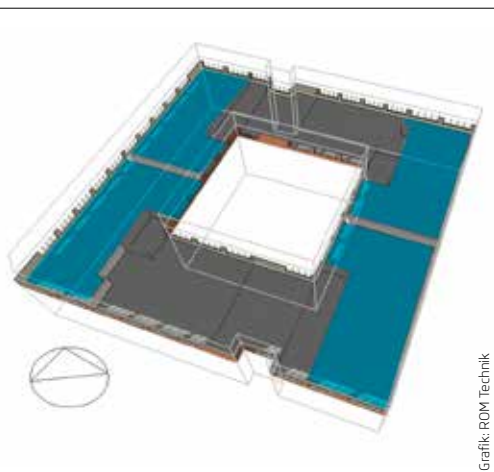


Abbildung 1: Schematische Darstellung PoE-Beleuchtungssystem (smartengine) plus Gebäudeautomation und Cloudanbindung



Grafik: ROM Technik

Abbildung 2: 2-Achs-Büro mit PoE-System im ROM-Labor

Dienste hat sich in den vergangenen zehn Jahren verfünffacht – ohne dass Telefonie und SMS als klassische Dienste nennenswert gewachsen wären. Steht dem Gebäude als Hauptaufenthaltort des modernen Menschen eine ähnliche Entwicklung bevor? Im-

merhin verbringen wir gut 90 Prozent unserer Zeit in Gebäuden. Die neuen Technologien im Gebäude werden neben den klassischen Geschäftsmodellen „Verkauf“, „Vermietung“ und „Verpachtung“ eine Vielzahl von neuen Geschäftsmodellen ermöglichen, die wir uns heute noch nicht ausmalen können.

I. Gebäude 4.0

Die Bezeichnung „4.0“ stammt ursprünglich aus der Industrie und steht für die vierte industrielle Revolution und das damit einhergehende Organisationsgestaltungskonzept, das auf vier grundlegenden Prinzipien beruht:

- **Vernetzung:** Maschinen, Geräte, Sensoren und Menschen können sich miteinander vernetzen und über das Internet der Dinge oder das Internet der Menschen kommunizieren.
- **Informationstransparenz:** Sensordaten erweitern Informationssysteme digitaler Modelle, um so ein virtuelles Abbild der realen Welt zu erstellen.

- **Technische Assistenz:** Assistenzsysteme unterstützen den Menschen mit Hilfe von aggregierten, visualisierten und verständlichen Informationen als Grundlage fundierter Entscheidungen und schneller gezielter Problemlösungen.
- **Dezentrale Entscheidungen:** Cyberphysische Systeme können eigenständige Entscheidungen treffen und Aufgaben autonom erledigen. Nur bei Störungen oder Zielkonflikten übertragen sie die Aufgaben an eine höhere Instanz.

Die Übertragung dieser Ordnungsprinzipien auf Gebäude benötigt ein hohes Maß an interner Vernetzung der technischen Systeme. Gleichzeitig muss das Gesamtsystem mit hoher Datensicherheit in das IoT integriert sein. Einen Ansatz dafür, den die ROM Technik mit Partnerunternehmen aus der Zech Group entwickelt, wird im Folgenden aufgezeigt.

II. Mit allen Sinnen

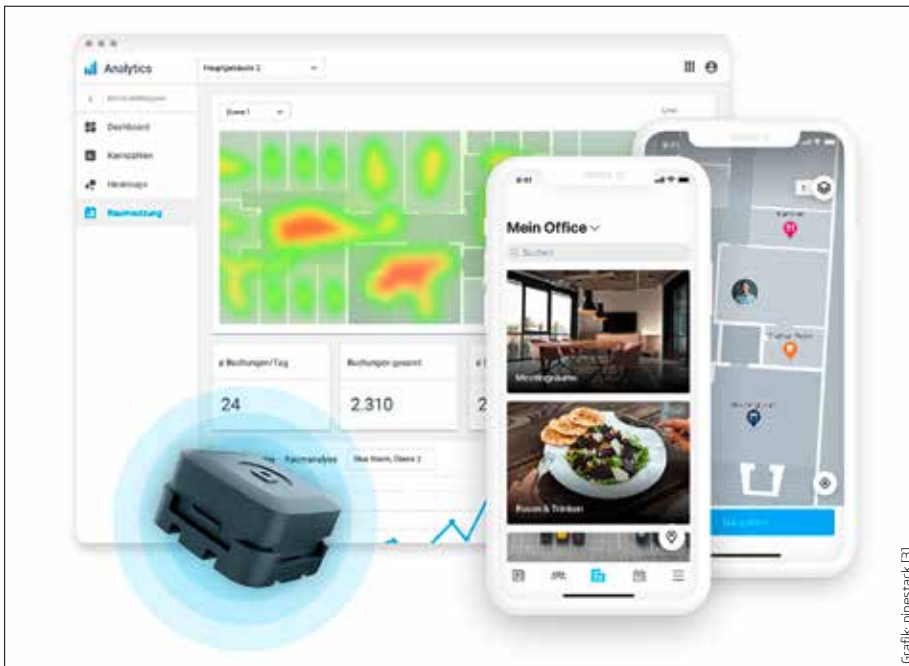
Einem intelligenten Gebäude wird durch die Installation verschiedener Sensoren das Sehen, Hören, Fühlen, Riechen usw. beigebracht. Daten aus technischen Anlagen und aus der Raumnutzung, die über ein Netz von Sensoren im gesamten Gebäude kontinuierlich erfasst werden, können über ein Nervengeflecht aus Daten- oder Buskabeln bzw. über Funktechnologie weitergeleitet und verarbeitet werden, beispielsweise zu Anwesenheit, Temperatur oder Luftqualität. Je nach Aufgabe müssen die Daten in einer ausreichend hohen Granularität und Präzision vorliegen – zum Teil auch in Echtzeit.

Während die Komponenten der Gebäudetechnik wie Pumpen, Lüftungsanlagen, Kessel usw. in den „Eingeweiden“ des Gebäudes mit einer eigenen Sensorik ausgestattet sind und über die Gebäudeleittechnik gesteuert werden, war die raumseitige Sensorik im Umfeld des Nutzers bisher meist auf das Nötigste begrenzt: Die Temperaturmessung am Raumbediengerät befand sich in der Regel am Eingang der Räume. Damit ist sie nur mehr oder minder geeignet, um die tatsächliche Raumsituation zu erfassen. Eine elegante Möglichkeit, die Sensorik in bestehenden Systemen als flächendeckendes Netz unauffällig zu integrieren, bieten „Power over Ethernet-Systeme“ (PoE-Systeme) für Beleuchtung. Diese Technologie nutzt eine Datenverkabelung zur effizienten Versorgung von LED-Leuchten mit Gleichstrom. In die Decke oder in die Leuchten integrierte Multi-Sensoren können über die Leuchte angeschlossen und mit Energie versorgt werden. Die Daten zu Helligkeit, Temperatur, Anwesenheit und Stromverbrauch, gegebenen-



Grafik: ROM Technik

Abbildung 3: Simulationsmodell Großraumbüros



Grafik: pinestack [3]

Abbildung 4: Visualisierung verschiedener Services auf Mobile Devices

falls auch zu Luftqualität, Feuchte und Luftdruck, werden aus den an jeder Leuchte vorhandenen Sensoren mit den Datenkabeln an eine zentrale Datenerfassung im Gebäude übermittelt.

Dieses Network-Powered-Lighting (NPL) erreicht im Normalfall jede Stelle im Gebäude

de. Im Gegensatz zur kabellosen Übertragung der Daten sind durch die kabelgebundene Datenübertragung jederzeit die volle Datensicherheit und die Datenübertragung in Echtzeit zur Steuerung von Raumfunktionen gegeben. Eine PoE-basierte Lösung mit lokalem offline-Betrieb oder entsprechender

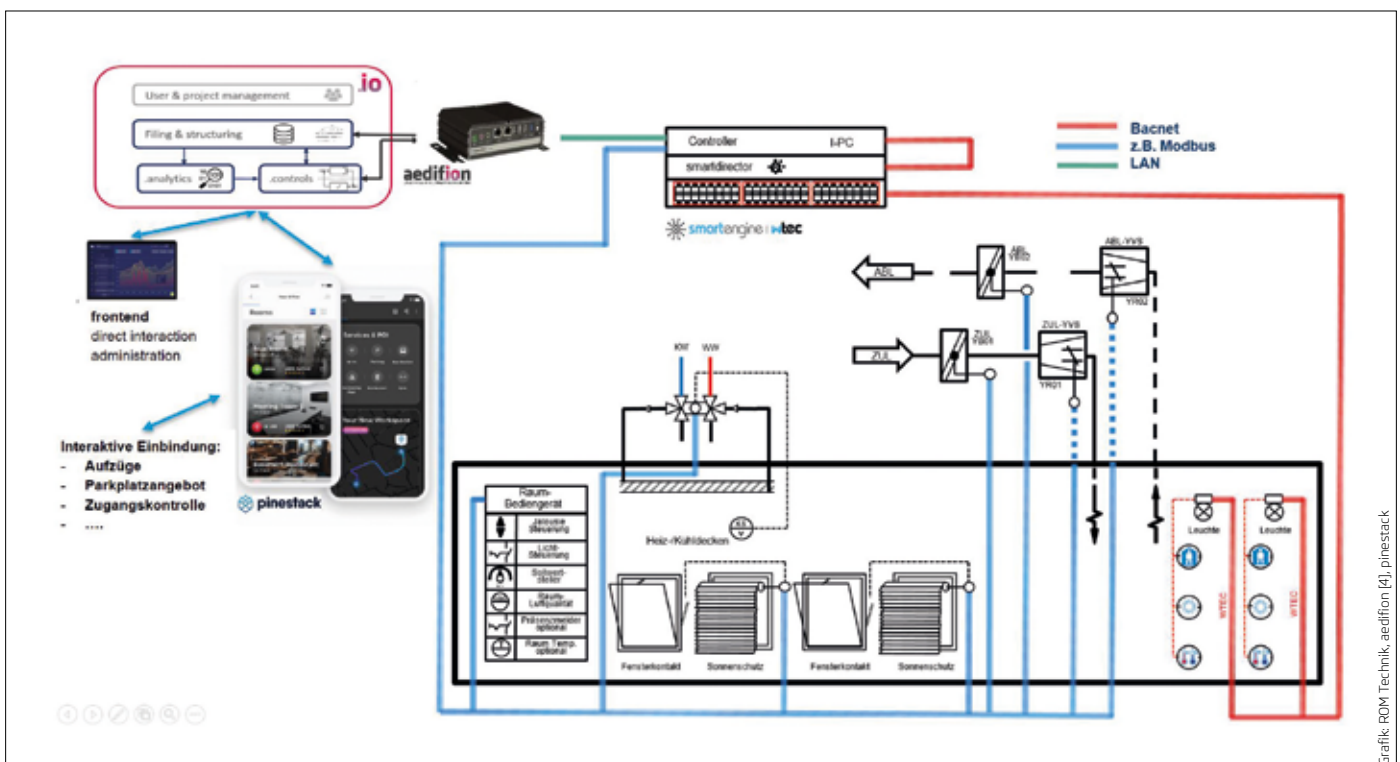
Sicherheitsverschlüsselung der Cloudanbindung bietet die nötige und unverzichtbare Sicherheit für den Betreiber eines smarten Gebäudes.

III. Meilenstein 1: Integration von NPL, konventioneller Gebäudeautomation und Cloudanbindung zu einem System

Ein Ziel war es, die Vorteile der aufgezeigten Möglichkeiten eines PoE-Systems durch Verbindung mit der konventionellen Gebäudeautomation für einen intelligent gesteuerten effizienten Gebäudebetrieb nutzbar zu machen. Der schematische Aufbau des Gesamtsystems ist in Abbildung 1 gezeigt.

Im ROM-Labor in Hamburg wurde ein Testraum als 2-Achs-Büro eingerichtet und mit den entsprechenden Systemen ausgestattet. In einem ersten Schritt wurde die Qualität der Sensorik des smartengine-Beleuchtungssystems [2] mit den genauen Messmethoden des Labors geprüft und beurteilt.

In einem zweiten Schritt wurden über die BACnet-Schnittstelle der smartengine der MSR-Controller für die Funktionen „Heizen“, „Kühlen“, „Lüften“ und „Jalousiesteuerung“ angeschlossen und die Regelung über die Daten der Sensorik erfolgreich auf die dynamische Raumnutzung – das heißt auf die Präsenz im Raum – abgestimmt. Das große Einsparpotenzial an Energie und Betriebskos-



Grafik: ROM Technik, aedifion [4], pinestack

Abbildung 5: Schema „Gesamtsystem Raumautomation“ (smartengine plus Gebäudeautomation), Cloud-Anbindung und web-Services mit Integration weiterer Systeme



Abbildung 6: Grafik Hammerbrooklyn.DigitalCampus

ten dieser Systemintegration wurde durch eine Jahressimulation von Einzel- und Großraumbüros kalibriert an den Messdaten aus dem Labor bewertet.

Der nächste Schritt in die Cloud konnte in überzeugender Weise mit dem jungen Unternehmen aedifion in kurzer Zeit realisiert werden. Alle Daten des Testsystems im Labor können in Echtzeit auf einer IoT-Plattform im Netz visualisiert und analysiert werden. Über einen reverse-SSH-Tunnel wird eine hochsichere und verschlüsselte Datenverbindung zur Cloud aufgebaut und das notwendige Edge-Device wird in Betrieb genommen. Die Interaktion des lokalen Systems mit der Cloud erfolgt im Betrieb über MQTT, einem Standardprotokoll des Internet-of-Things. Insbesondere sind auch steuernde Eingriffe möglich, obwohl dabei die Firewall für eingehende Verbindungen geschlossen bleibt. Das garantiert höchste IT-Sicherheit.

Die zentralen Ergebnisse der aufgezeigten Schritte der Systemintegration sind:

1. Die Präsenz und die Helligkeit im Raum werden durch die über den Arbeitsplätzen positionierten Sensoren genau erfasst.
2. Die Temperaturmessung über die Sensoren gibt die Raumtemperatur sowohl im Heiz- als auch im Kühlbetrieb mit guter Genauigkeit wieder. Die Raumtempera-

tur kann nach den Sensordaten geregelt werden.

3. Die Integration der Sensoren direkt in den Leuchtenkörper muss so vorgenommen werden, dass die Sensoren bei Leuchtenbetrieb thermisch entkoppelt sind. Bei direkt integrierten Sensoren (ohne thermische Trennung) wurden bis zu fünf Kelvin Temperaturdifferenz zur Raumtemperatur nur durch den Leuchtenbetrieb (Erwärmung des Leuchtenkörpers) gemessen. Die Installation der Sensoren in die Decke außerhalb der Leuchten führt immer zu guten Ergebnissen.
4. Bei Zugrundelegung eines dynamischen Nutzerszenarios unter Berücksichtigung realistischer Abwesenheitszeiten (Urlaub, Dienstreise, Meetings, Mittagspause usw.) wurde durch die Simulation bei Vergleich einer über die Anwesenheit gesteuerten Klimatisierung (Lüften/Kühlen/Heizen) mit einem Standardsystem eine Senkung der Energiekosten zwischen 30 und 40 Prozent durch das im Labor erprobte System errechnet. Hauptfaktoren für die Einsparung sind die intelligent gesteuerte Beleuchtung und die an die Präsenz angepasste Raumbelüftung mit der zugehörigen Luftaufbereitung. Als Referenzfall (Standardfall) wurde ebenfalls ein modernes LED-Beleuchtungssystem, eingeschaltet bei Präsenz

im Raum, übersteuert durch einen Helligkeitssensor und eine konstante zeitgesteuerte Lüftung mit Vor- und Nachlaufzeit herangezogen.

5. Die Ankopplung des Gesamtsystems an eine Daten-Cloud kann im Grunde im Plug-and-Play umgesetzt werden. Die BACnet-Schnittstelle des smartengine-Systems und die Kommunikationsfähigkeit moderner Regelungs-Controller in verschiedene Bussysteme und das Internet schaffen die Voraussetzung, die Anbindung problemlos über ein Edge-Device zu realisieren.
6. Weitere Messgrößen können ergänzend durch eine erweiterte Sensorik geliefert werden, beispielsweise Feuchte, Druck und Luftqualität. Diese Sensorik wird aktuell im Labor geprüft.

IV. Meilenstein 2: Anbindung weiterer technischer Systeme und interaktiver Dienste

Die beschriebene Systemkonfiguration hat sich im Labor als betriebsstabil erwiesen. Für den realen Gebäudebetrieb ist es nun wünschenswert, über die effiziente Vernetzung der Versorgungstechnik hinaus viele weitere Systeme und Dienste über Web-Services und Mobile Devices einzubinden und zentral zu koordinieren und zu steuern.



Aufzugsmanagement, Parkplatzmanagement und automatische Zugangskontrolle sind Systeme, deren Daten in eine zentrale intelligente Datenverarbeitung eingebunden werden können. Diese Datenverarbeitung kann als Backend den gesamten Datenstrom im Gebäude koordinieren, weiterverarbeiten und auswerten. So werden weitere Dienste für Betreiber und Nutzer möglich, die über ein persönliches Frontend mit individuell zugeschnittenen Rechten mit dem Backend kommunizieren können – in der Regel ein Smartphone oder ein PC bzw. Laptop. Abbildung 5 zeigt einige dieser Dienste, die in einem digitalisierten Gebäude direkt zur Verfügung stehen und in ersten Projekten umgesetzt werden:

- Steuerung der Raumfunktionen: Temperatur, Beleuchtung, Jalousien,
- Monitoring, Data Analytics,
- Navigation im Gebäude,
- Heat Mapping,
- Find your colleague,
- Buchen von Meeting-Räumen,
- Finden von Points of Interest,
- Mängelmeldung,
- Bestellen von Services (Catering usw.),
- Anzeige unbesetzter Arbeitsplätze
- u. v. a. m.

Mit dieser Gesamtstruktur entsteht ein digitales Abbild des aktuellen Gebäudezustandes. Aus aufgezeichneten Trends kann gelernt werden, um den Betrieb des Gebäudes für die Zukunft zu verbessern. Methoden des „Machine Learning“ [2] können kontinuierlich angewendet werden, um beispielsweise die Betriebsweise für das Heizen/Kühlen/Lüften nach den Belegungsplänen und den Mustern tatsächlicher Anwesenheit zu optimieren. Gebuchte und trotzdem nicht genutzte Räume können automatisch wieder freigegeben werden. Viele weitere Services sind möglich, ob für das Asset-Management, FM-Dienstleister oder die Nutzer der Gebäude – der Phantasie sind kaum Grenzen gesetzt.

V. Gebäude 4.0 im Bau

Das beschriebene Gesamtsystem wurde im kleinen Maßstab im Labor installiert und das Zusammenspiel der Teilsysteme und Funktionen wurde im Live-Betrieb geprüft. Noch 2020 wird das Gesamtsystem in zwei richtungsweisenden Bauprojekten in Hamburg und Bremen umgesetzt, beide Gebäude gehen noch in diesem Jahr in Betrieb.

1. Hammerbrooklyn-Pavillon

Der Hammerbrooklyn.DigitalCampus wird der zentrale Innovationsstandort für digi-

tales Transformation in Hamburg. Hier werden Unternehmen, Stadt und Wissenschaft gemeinsam an der Zukunft arbeiten [5]. Mitten in der Stadt entsteht zwischen Deichtorhallen und HafenCity ein technisch hochmodern bebauter Campus, der futuristische Akzente setzt und perfekte Voraussetzungen für eine hochvernetzte Forschungscommunity zum Megatrend „digitale Transformation“ schafft. Etablierte Unternehmen und Startups werden hier zusammengebracht. Im Zentrum steht der Pavillon, der schon Mitte 2020 in Betrieb genommen wird. Der amerikanische EXPO-Pavillon von Mailand wird nach Hamburg transferiert, dort aufgebaut und als vollwertiges Gebäude aufgewertet. Diesem Ansatz trägt das vorgestellte System zur Gebäudedigitalisierung Rechnung: Aus der Zusammenarbeit und Synergie der beteiligten etablierten Firmen der Projektentwicklung und Gebäudetechnik entsteht durch Integration der Impulse und des neuen Know-How der beiden Prop-Tech-Startups eine neue Qualität des digitalisierten Gebäudebetriebs. Ziel und Anspruch des neuen „Digital-Hubs“ Hammerbrooklyn werden so schon in der Bauphase umgesetzt.

2. Handwerkerhaus in Bremen

Der Rohbau des Holz-Hybrid-Hauses mit gut 3.600 m² oberirdischer Bürogeschossfläche wurde in nur zehn Tagen errichtet. Die Holz-Beton-Module erlauben bei der Herstellung eine Einsparung von bis zu 80 Prozent CO₂ gegenüber konventionellerem Betonbau.

Im Handwerkerhaus sollen die Handwerksbetriebe der Bremer Zech-Group an einem Standort zusammenkommen. Der hohe Vorfertigungsgrad der Gebäudeteile anhand eines digitalen Zwillings zeigt beispielhaft die Vorteile der BIM-Methode für den Bauablauf. Gleichzeitig wird auch hier das beschriebene System der Gebäudedigitalisierung umgesetzt – Bauen 4.0 trifft Gebäude 4.0.

VI. Fazit

Das Gebäude als geschlossenes hochvernetztes System oder Teil des IoT ist technisch schon heute auch für große Büro- und Verwaltungsgebäude umsetzbar. Die Möglichkeiten der Vernetzung und Kommunikation werden mit hoher Dynamik verbessert. Bauvorhaben mit hohem Digitalisierungsstandard werden aktuell umgesetzt, wie die beiden Beispiele, aber auch weitere Vorhaben in Europa und weltweit zeigen. Das digitalisierte Gebäude wird den Gebäudebetrieb transparenter machen, Betriebsoptimierungen ermöglichen und zugleich neue Möglichkeiten der Nutzung generieren. Gebäude 4.0 sind auf einem guten Weg in die Wirklichkeit. ◀

Quellen:

- [1] wtec GmbH, www.wtec.ag.
- [2] BTGA-Almanach 2019, S. 59–63.
- [3] Pinestack GmbH, pinestack.io.
- [4] aedifion GmbH, www.aedifion.com.
- [5] Hammerbrooklyn.DigitalCampus, hammerbrooklyn.hamburg.



Abbildung 7: Grafik Handwerkerhaus Bremen