

Dokumentation, Vergleich und Aufbereitung von Demonstrationsergebnissen zum Thema „Digitaler Gebäude Zwilling“

D. Jähnig, F. Hengel,
C. Moser, R. Pertschy

Berichte aus Energie- und Umweltforschung

65/2023

Impressum

Medieninhaber, Verleger und Herausgeber:

Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie
Radetzkystraße 2, 1030 Wien

Verantwortung und Koordination:

Abteilung für Energie- und Umwelttechnologien

Leiter: DI (FH) Volker Schaffler, MA, AKKM

Autorinnen und Autoren:

Dipl.-Ing. Dagmar Jähnig, Dipl.-Ing. Franz Hengel,

Dipl.-Ing. Christoph Moser, Dipl.-Ing. Reinhard Pertschy

AEE – Institut für Nachhaltige Technologien

Wien, 2023

Dokumentation, Vergleich und Aufbereitung von Demonstrationsergebnissen zum Thema „Digitaler Gebäude Zwilling“

Dipl.-Ing. Dagmar Jähnig, Dipl.-Ing. Franz Hengel, Dipl.-Ing. Christoph Moser,
Dipl.-Ing. Reinhard Pertschy
AEE – Institut für Nachhaltige Technologien

Gleisdorf, Mai 2023

Ein Projektbericht im Rahmen des Programms



des Bundesministeriums für Klimaschutz, Umwelt, Energie,
Mobilität, Innovation und Technologie (BMK)

Vorbemerkung

Der vorliegende Bericht dokumentiert die Ergebnisse eines Projekts aus dem Forschungs- und Technologieprogramm „Stadt der Zukunft“ des Bundesministeriums für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie (BMK). Dieses Programm baut auf dem langjährigen Programm „Haus der Zukunft“ auf und hat die Intention, Konzepte, Technologien und Lösungen für zukünftige Städte und Stadtquartiere zu entwickeln und bei der Umsetzung zu unterstützen. Damit soll eine Entwicklung in Richtung energieeffiziente und klimaverträgliche Stadt unterstützt werden, die auch dazu beiträgt, die Lebensqualität und die wirtschaftliche Standortattraktivität zu erhöhen. Eine integrierte Planung wie auch die Berücksichtigung aller betroffener Bereiche wie Energieerzeugung und -verteilung, gebaute Infrastruktur, Mobilität und Kommunikation sind dabei Voraussetzung.

Um die Wirkung des Programms zu erhöhen, sind die Sichtbarkeit und leichte Verfügbarkeit der innovativen Ergebnisse ein wichtiges Anliegen. Daher werden nach dem Open Access Prinzip möglichst alle Projektergebnisse des Programms in der Schriftenreihe des BMK publiziert und elektronisch über die Plattform www.NachhaltigWirtschaften.at zugänglich gemacht. In diesem Sinne wünschen wir allen Interessierten und Anwender:innen eine interessante Lektüre.

DI (FH) Volker Schaffler, MA, AKKM
Leiter der Abt. Energie und Umwelttechnologien
Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie,
Mobilität, Innovation und Technologie (BMK)

Inhaltsverzeichnis

1	Kurzfassung	7
2	Abstract	9
3	Ausgangslage	11
4	Projekthalt	12
	4.1. Gemeinsamkeiten und Unterschiede der beiden Demogebäude	12
	4.2. Vergleich der Umsetzungsergebnisse der beiden Demogebäude.....	13
	4.3. Verallgemeinerung der Ergebnisse	14
5	Ergebnisse und Schlussfolgerungen	15
	5.1. Erstellung eines digitalen Zwillings:	15
	5.2. Koppelung von GLT und digitalem Zwilling.....	15
	5.3. Gebäudemodell.....	16
	5.4. Anlagenmodell	17
	5.5. Anzahl Sensoren.....	17
6	Ausblick und Empfehlungen	19
7	Verzeichnisse	20

1 Kurzfassung

In den letzten Jahren wurden zwei Projekte zur Entwicklung und ersten Umsetzung eines digitalen Zwillings an realen Gebäuden in Österreich abgeschlossen. Dieser digitale Zwilling ist ein detailliertes Simulationsmodell mit der Software IDA ICE, das in Echtzeit mit Messdaten aus einem realen Gebäude abgeglichen wird. Dadurch existiert ein Modell, das zu jedem Zeitpunkt den realen Zustand des Gebäudes und seiner Anlagentechnik darstellt. Dieses Modell kann dann zur automatisierten Fehlererkennung oder zur Optimierung der Regelung genutzt werden. Ziel ist ein reduzierter Energiebedarf und ein besserer Nutzerkomfort.

Die eigentliche Arbeit an den Demonstrationsobjekten sowie die Entwicklung der Software (sog. Building Tracker) geschah innerhalb der folgenden zwei Projekte.

- EU Projekt „Arrowhead Tools“ (2019 – 2022). In diesem Projekt wurde als einer von vielen Use Cases einerseits die Software für den digitalen Zwilling weiterentwickelt, andererseits am neuen Forschungsgebäude von Infineon Austria in Villach eingesetzt. Hier lag der Schwerpunkt auf der Abbildung von mehreren Büro- und Besprechungsbereichen mit dem Ziel, den Betrieb von Heizung, Kühlung und Lüftung zu optimieren.
- „Stadt der Zukunft“-Projekt „Digitaler Zwilling“ (2019 - 2023). Hier wurde dieselbe Methode im Bürohochhaus H2 in Wien angewendet. Hier ging es hauptsächlich darum, die Kälteanlage abzubilden, um den Betrieb optimieren zu können.

In diesem Bericht werden diese beiden Demonstrationsvorhaben eines digitalen Gebäudezwillings miteinander verglichen und erste Betriebserfahrungen dokumentiert.

In den beiden Projekten wurden unterschiedliche Schwerpunkte gesetzt, so dass jetzt einerseits Erfahrungen in der Abbildung von Räumen und dem dazugehörigen Nutzerkomfort vorliegen. Andererseits wurden auch Erkenntnisse bei der Erstellung eines digitalen Zwillings eines bestimmten Teils der Anlagentechnik gesammelt.

Die Architektur des digitalen Zwillings war unterschiedlich. In einem Fall wurde das Simulationsmodell in einer Cloud mit Daten aus dem Gebäude versorgt, im anderen Fall wurde auf eine rein lokale Lösung gesetzt.

Als ein wichtiger Faktor wurden die Wetterdaten identifiziert. Auch hier gibt es verschiedene Lösungen, die bei den beiden Gebäuden umgesetzt und erprobt wurden. Zusätzlich wurde eine Studie zum Vergleich von verschiedenen Messmethoden und deren Genauigkeit im Vergleich mit Online-Wetterdaten durchgeführt.

Der günstigste Fall für die Erstellung eines digitalen Zwillings ist, wenn in der Planungsphase des Gebäudes bereits eine Gebäude- und Anlagensimulation durchgeführt wurde, um Gebäude und Haustechnik zu optimieren. In diesem Fall kann das bestehende Modell für die Echtzeitsimulationen einfach übernommen werden. Gegebenenfalls muss es noch in einigen Punkten an die tatsächliche Umsetzung angepasst und mit Messdaten validiert werden. Auch eine Dokumentation des Gebäudes im Rahmen von BIM könnte die Erstellung des Modells deutlich vereinfachen.

Die entscheidende Frage ist aber nicht nur, ob ein BIM Modell für ein Gebäude existiert, sondern vor allem, ob die hinterlegten Daten auch geeignet sind, um in ein Simulationsmodell überführt zu werden. Auch wenn beispielsweise ein IFC-Modell vom Architekten erstellt wurden, heißt das nicht, dass dort alle Angaben hinterlegt sind, die für das Simulationsmodell erforderlich sind.

Des Weiteren wird weiterer Forschungs- und Entwicklungsbedarf, der notwendig ist, um die neue Technologie zu einer breiten Umsetzung zu verhelfen, aufgezeigt.

Dies betrifft einerseits eine standardisierte Erstellung des Simulationsmodells für den digitalen Zwilling, wodurch Zeit und Kosten eingespart werden könnten. Ebenso müssen für die Anbindung an bestehende Gebäudeleittechnik standardisierte Lösungen gefunden werden. Besonders bei bestehenden Gebäuden kann dies sehr kostenintensiv sein.

Ziel weiterer Entwicklungen sollte es sein, aus den im Gebäude verfügbaren Messdaten wie Temperatur möglichst viele Phänomene wie z.B. Fensteröffnungen abzuleiten und damit auf weitere Sensoren verzichten zu können. Kombifühler, die neben der Temperatur auch die CO₂ Konzentration und evtl. die Luftfeuchtigkeit erfassen, können dabei hilfreich sein, um z.B. auch die Personenanwesenheit in Räumen zu detektieren.

Der nächste Schritt wäre dann, die Echtzeitsimulation für eine optimierte Regelungsstrategie zu nutzen. Dafür ist es notwendig, geeignete Optimierungsalgorithmen zu entwickeln, mit deren Hilfe für das jeweilige Gebäude z.B. optimierte Solltemperaturen für Heizen und Kühlen oder eine entsprechend der Wettervorhersage optimierte Verschattungssteuerung ermittelt werden könnten. Zu diesem Zweck könnte das Simulationsmodell dazu genutzt werden, in sogenannten Was-wäre-wenn-Studien Simulationen mit Vorhersagedaten für das Wetter durchzuführen.

2 Abstract

In recent years, two projects for the development and initial implementation of a digital twin on real buildings in Austria have been completed. This digital twin is a detailed simulation model with the software IDA ICE, which is validated in real time with measurement data from a real building. As a result, there is a model that always represents the real condition of the building and its system technology. This model can then be used for automated error detection or to optimize the control. The aim is to reduce energy consumption and improve user comfort.

The actual work on the demonstration objects and the development of the software (the so-called Building Tracker) took place within the following two projects.

- EU project "Arrowhead Tools" (2019 - 2022). In this project, as one of many use cases, the software for the digital twin was further developed on the one hand and used on the other in the new research building of Infineon Austria in Villach. Here the focus was on the mapping of several office and meeting areas with the aim of optimizing the operation of heating, cooling and ventilation.
- "City of the Future" project "Digital Twin" (2019 - 2023). The same method was used here in the H2 office building in Vienna. The main focus here was to map the refrigeration system in order to be able to optimize operation.

In this report, these two demonstration projects of a digital building twin are compared with each other, and the first operational experiences are documented.

Different focal points were set in the two projects, so that on the one hand experience is now available in the mapping of rooms and the associated user comfort. On the other hand, knowledge was also gained when creating a digital twin of a certain part of the system technology.

The architecture of the digital twin was different. In one case, the simulation model was supplied with data from the building in a cloud, in the other case a purely local solution was used.

Weather data was identified as an important factor. Here, too, there are various solutions that have been implemented and tested in the two buildings. In addition, a study was carried out to compare different measurement methods and their accuracy in comparison with online weather data.

The most favorable case for the creation of a digital twin is when a building and system simulation has already been carried out in the planning phase of the building in order to optimize the building and building services. In this case, the existing model for the real-time simulations can simply be adopted. It may still have to be adapted to the actual implementation in a few points and validated with measurement data. A documentation of the building within the framework of BIM could also significantly simplify the creation of the model.

The decisive question is not only whether a BIM model exists for a building, but above all whether the stored data is also suitable for being transferred to a simulation model. Even if, for example, an IFC model was created by the architect, this does not mean that all the information required for the simulation model is stored there.

Furthermore, further research and development needs, which are necessary in order to help the new technology to be widely implemented, are shown.

On the one hand, this concerns a standardized creation of the simulation model for the digital twin, which could save time and money. Likewise, standardized solutions must be found for the connection to existing building management systems. This can be very expensive, especially for existing buildings.

The aim of further developments should be to derive as many phenomena as possible from the temperature data in the building, such as window openings, and thus to be able to do without additional sensors. Combination sensors, which, in addition to the temperature, also record the CO₂ concentration and possibly the humidity, can be helpful, e.g., to detect the presence of people in rooms.

The next step would then be to use the real-time simulation for an optimized control strategy. For this it is necessary to develop suitable optimization algorithms, with the help of which, for example, optimized set temperatures for heating and cooling or a shading control optimized according to the weather forecast could be determined for the respective building. For this purpose, the simulation model could be used to carry out simulations with forecast data for the weather in so-called what-if studies.

3 Ausgangslage

In den letzten Jahren wurden zwei Projekte zur Entwicklung und ersten Umsetzung eines digitalen Zwillings an realen Gebäuden in Österreich abgeschlossen. Dieser digitale Zwilling ist ein detailliertes Simulationsmodell mit der Software IDA ICE, das in Echtzeit mit Messdaten aus einem realen Gebäude abgeglichen wird. Dadurch existiert ein Modell, das zu jedem Zeitpunkt den realen Zustand des Gebäudes und seiner Anlagentechnik darstellt. Dieses Modell kann dann zur automatisierten Fehlererkennung oder zur Optimierung der Regelung genutzt werden. Ziel ist ein reduzierter Energiebedarf und ein besserer Nutzerkomfort.

Die eigentliche Arbeit an den Demonstrationsobjekten sowie die Entwicklung der Software (sog. Building Tracker) geschah innerhalb der folgenden zwei Projekte.

- das EU Projekt Arrowhead Tools (2019 – 2022). In diesem Projekt wurde als einer von vielen Use Cases einerseits die Software für den digitalen Zwilling weiterentwickelt, andererseits am neuen Forschungsgebäude von Infineon Austria in Villach eingesetzt. Hier lag der Schwerpunkt auf der Abbildung von mehreren Büro- und Besprechungsbereichen mit dem Ziel, den Betrieb von Heizung, Kühlung und Lüftung zu optimieren.
- das „Stadt der Zukunft“-Projekt „Digitaler Zwilling“ (2019 - 2023). Hier wurde dieselbe Methode im Bürohochhaus H2 in Wien angewendet. Hier ging es hauptsächlich darum, die Kälteanlage abzubilden, um den Betrieb optimieren zu können.

Die beiden Demonstrationsgebäude für einen digitalen Gebäudezwilling in Österreich sollten in diesem Projekt dokumentiert und miteinander verglichen werden.

4 Projektinhalt

4.1. Gemeinsamkeiten und Unterschiede der beiden Demogebäude

Das Demonstrationsgebäude „Infineon“ ist ein Bürogebäude, das neben Büro- und Besprechungsräumen auch Laborbereiche enthält. Im Projekt wurde ein definierter Bereich mit Messtechnik ausgestattet. Die Messtechnik wurde so ausgewählt, dass sämtliche Energieflüsse in und aus dem Raum erfasst werden können. Dazu gehören z.B. auch Fensterkontakte und eine Erfassung der Jalousienstellung. Es ist dort also deutlich mehr Messtechnik vorhanden, als das bei einer normalen Gebäudeleittechnik der Fall wäre. Der Grund hierfür war, die Ergebnisse des digitalen Zwillings wissenschaftlich untersuchen zu können. Das Gebäude wird mit Heizkörpern beheizt und mittels Kühlsegele an der Decke gekühlt. Eine Lüftungsanlage sorgt für frische Luft, die in den Büro- und Besprechungsbereichen nicht be- oder entfeuchtet werden kann, sondern nur so beheizt und gekühlt wird, dass die Lufttemperatur in etwa der Ablufttemperatur entspricht.

Verglichen damit war das Demonstrationsgebäude im Projekt „Digitaler Zwilling“ mit nur sehr wenig Messtechnik ausgestattet. Die Büroräume haben auch hier eine Lüftungsanlage, die die Luft zusätzlich auch be- und entfeuchten kann. Es sind aber keine Feuchtigkeitssensoren in den Räumen vorhanden, sondern nur Temperatursensoren. Wie im „Infineon“-Gebäude wird auch hier die Kühlung über Kühldecken und die Heizung über Heizkörper bereitgestellt. Es gibt hier keine außenliegenden Verschattungselemente vor der Glasfassade. Die Fenster können nicht geöffnet werden. Im Projekt wurde der Fokus auf die Bereitstellung der Kühlung gelegt. Ziel war es, den Betrieb der Kühlmaschinen im Zusammenspiel mit freier Kühlung zu optimieren.

Abbildung 1: Bürogebäude H2 in Wien (links) und F&E Gebäude Infineon, Villach (rechts)

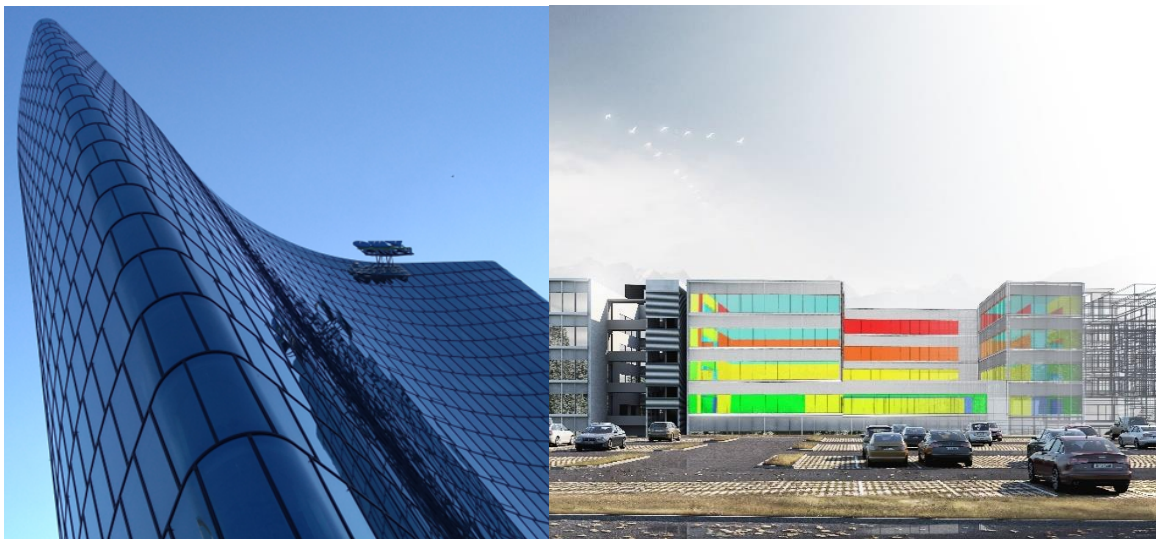


Foto: AEE INTEC (links) und Arrowhead Tools Projekt (rechts)

4.2. Vergleich der Umsetzungsergebnisse der beiden Demogebäude

Beim Demonstrationsprojekt bei Infineon wurde der digitale Zwilling nur auf begrenzte Bereiche des Gebäudes angewendet, so dass hier der Nutzerkomfort und die Energieverbräuche in den Bereichen im Vordergrund standen. Der digitale Zwilling kann hier dabei helfen, den Energieverbrauch zu minimieren bei gleichzeitig erhöhtem Nutzerkomfort. Bei Inbetriebnahme wurden vom Haustechnikplaner hier Standardeinstellungen vorgenommen, die, wie sich im Laufe des Projektes herausstellte, alles andere als optimiert waren. Außerdem gab es auch mehrere Fehler in der Umsetzung, die ohne eine detaillierte Datenanalyse nicht aufgefallen wären, sondern einfach einen erhöhten Energieverbrauch nach sich gezogen hätten. So wurden beispielsweise die Kühlung und Heizung phasenweise nicht miteinander abgestimmt. Das lag daran, dass einerseits bei der Programmierung der Regelung ein Fehler passiert war, andererseits gab es eine Änderung in der Raumaufteilung noch während der Bauzeit. Die Haustechnik wurde darauf aber nicht angepasst. Solche Fehler können immer wieder bei Bauprojekten passieren. Durch die Überwachung mit einem digitalen Zwilling würden solche Fehler aber schnell aufgedeckt.

Es wurde ein detailliertes Gebäude- und Anlagenmodell für die ausgewählten Bereiche erstellt und in Echtzeit mit den Messdaten gekoppelt. Mittels des neu entwickelten State Estimators konnte die Simulation laufend an die Messdaten angepasst werden.

Als besonders interessant für eine Optimierung mit einem digitalen Zwilling haben sich hier die Solltemperaturen für Heizen und Kühlen herausgestellt und die Ansteuerung von Aktoren zum Heizen und Kühlen im Zusammenspiel mit der Einstellung des außenliegenden Sonnenschutzes. Beim Sonnenschutz wird ein besonders großes Potential gesehen, den Heiz- und Kühlbedarf zu senken und gleichzeitig den Nutzerkomfort zu verbessern.

Beim Bürogebäude H2 war die Ausgangslage eine deutlich andere. In den Geschoßen selbst ist recht wenig Sensorik vorhanden. Trotzdem wurde versucht, eine Echtzeitsimulation eines Mustergeschoßes aufzubauen. Leider hat sich hier der Anschluss von einigen Sensoren seitens der beauftragten Firma stark verzögert, so dass dieses Thema nicht bis zu Ende bearbeitet werden konnte. Trotzdem hat sich gezeigt, dass es auch mit wenig Daten (Wetterdaten nicht vom Gebäudestandort selbst, sondern von einer nahegelegenen Wetterstation, Zulufttemperaturen, Luftvolumenströme) möglich war, die gemessene Temperaturverteilung im Geschoß relativ zufriedenstellend abzubilden. Erleichternd kam hier hinzu, dass sich die Fenster nicht öffnen lassen und es keinen außenliegenden Sonnenschutz gibt. Damit fielen einige Einflussgrößen, die man beispielsweise beim Infineon-Gebäude hatte, weg.

Der Fokus des digitalen Zwillings lag beim Bürogebäude H2 aber auf der Anlagentechnik (Kälteanlage) und der Optimierung der Regelung des Kälteerzeugers inkl. Peripherie. Es waren Wärmemengenzähler inklusive Vor- und Rücklauftemperaturen und Durchflüssen für alle Kälteverbraucher, die drei Kältemaschinen und den Free-Cooling-Wärmeübertrager vorhanden. Damit konnte gut nachverfolgt werden, bei welcher Kälteleistung welche Maschinen jeweils in Betrieb sind. Ein weiterer interessanter Aspekt sind die benötigten Vorlauftemperaturen für die verschiedenen Kälteabnehmer. Vor allem im Winter und in der Übergangszeit sind nicht alle Kälteabnehmer auch in Betrieb und manche benötigen deutlich höhere Vorlauftemperaturen als andere. Wenn die Kälteverbraucher z.B. Beispiel nicht bei 6°C betrieben werden müssen, sondern

nur bei 16°C, macht es Sinn auch die Solltemperaturen für den Kältespeicher und damit den Betrieb der Kältemaschinen entsprechend anzupassen.

4.3. Verallgemeinerung der Ergebnisse

Es konnte eine ganze Reihe von Erfahrungen gewonnen werden, die für die Weiterentwicklung der Methode bzw. auch für darauf aufbauende Produkte und Dienstleistungen sehr wertvoll sind.

Datenverfügbarkeit: Für die Erstellung eines digitalen Zwilling ist es wichtig, genügend Daten von ausreichender Qualität zur Verfügung zu haben. Idealerweise sind dafür nur die Daten notwendig, die in der Gebäudeleittechnik ohnehin zur Verfügung stehen bzw. in der Gebäudedokumentation vorliegen.

Für das Einlesen der Daten in den digitalen Zwilling ist die **Datenqualität** ein entscheidender Faktor. Lücken in der Datenaufzeichnung oder Ausreißer nach oben oder unten können die Genauigkeit des digitalen Zwilling erheblich stören. Daher ist es nötig, die Daten zunächst zu filtern, so dass völlig unrealistische Werte (Messfehler) ausgeschlossen werden (preprocessing). Kleinere Datenlücken von einer oder wenigen Stunden sind grundsätzlich kein größeres Problem. Hier reicht in den meisten Fällen die Annahme, dass die Messwerte konstant bleiben. Für größere Datenlücken sollte ein Algorithmus entwickelt werden, wie nicht vorhandene Daten durch plausible Werte zum Beispiel von aufgezeichneten Tagen mit ähnlichem Wetter ersetzt werden können.

Wie geht man mit Wetterdaten um? Wetterdaten sind ein essentieller Input in ein Gebäudemodell und sie sind nicht normalerweise Teil einer Gebäudeleittechnik. Für Echtzeitsimulation sind möglichst genaue Wetterdaten wichtig. Es werden sowohl Global- als auch Diffusstrahlungsdaten benötigt, um die Einstrahlung auf die verschiedenen Gebäudeflächen berechnen zu können. Wenn an Gebäuden im Rahmen der Gebäudeleittechnik überhaupt Wetterdaten gemessen werden, sind das meist Globalstrahlungsdaten oder nur Helligkeitssensoren. Manchmal werden diese Sensoren auch verwendet, um Verschattungseinrichtungen zu steuern.

In den beiden Projekten wurden zwei verschiedene Varianten für die Bereitstellung von Wetterdaten getestet. Einmal wurden Wetterdaten einer nahe gelegenen Messstation verwendet. Die Daten wurden mit am Gebäude vorhandenen Helligkeitssensoren verglichen mit dem Ergebnis, dass die Daten der Messstation durchaus geeignet sind. Es ist also möglich, für den digitalen Zwilling in Echtzeit die Messdaten einer relativ nahe gelegenen Wetterstation zu nutzen. Helligkeitssensoren alleine bieten für die Gebäudesimulation nicht genug Informationen, um die Einstrahlung in allen Fensterebenen des Gebäudes zu bestimmen. Beim anderen Projekt gab es eine eigene Wetterstation auf dem Dach des Gebäudes, die aber relativ hohe Kosten (Investitions- und Instandhaltungskosten) verursacht. Eine weitere Option ist die Nutzung von Onlinewetterdaten, die praktisch für jeden Standort auf Basis von Satellitendaten verfügbar sind. Die Nutzung von Online-Wetterdaten bietet hier einen vielversprechenden und vor allem kostengünstigen Ansatz und sollte in weiteren Untersuchungen weiter verifiziert werden.

5 Ergebnisse und Schlussfolgerungen

5.1. Erstellung eines digitalen Zwillings:

Bei der Erstellung eines digitalen Zwillings ist es zunächst wichtig zu identifizieren, welches Ziel mit dem digitalen Zwilling erreicht werden soll. Das kann zum Beispiel die Optimierung der Anlagentechnik sein, um den Energieverbrauch zu minimieren. Ein anderer Aspekt ist der Nutzerkomfort. Durch eine optimale Steuerung von Heizen und Kühlen aber auch von Verschattungseinrichtungen oder der Lüftungsanlage kann der Komfort der Nutzer*innen erheblich verbessert werden. Je nachdem welches Optimierungsziel verfolgt wird, können einzelne Teile des Gebäudes oder der Systemtechnik mehr oder weniger detailliert abgebildet werden.

In den folgenden Abschnitten wird auf einige Aspekte bei der Erstellung des digitalen Zwillings näher eingegangen.

5.2. Koppelung von GLT und digitalem Zwilling

Ein wichtiger Schritt ist die Kopplung von Gebäudeleittechnik GLT und digitalem Zwilling, so dass Daten in Echtzeit übertragen werden können. Eine Herausforderung dabei ist (besonders im Sanierungsbereich) die bestehende GLT einbinden zu können. Unterschiedliche Hersteller von GLT verwenden unterschiedliche Schnittstellen und Protokolle.

Im Projekt „Digitaler Zwilling“ wurde die bestehende GLT an einen separaten Datenlogger, der auch als OPC-Gateway diente, angeschlossen. Um dies zu ermöglichen, mussten alle benötigten Sensoren der GLT dafür freigeschaltet/konfiguriert werden. Dies war nur durch den Regelungshersteller selbst möglich und sehr kostenintensiv. Für ein Sanierungsprojekt, das nicht im Rahmen eines Forschungsprojekts durchgeführt wird, ist eine solche Lösung sicherlich schwer machbar und umzusetzen (siehe Abbildung 3).

Günstiger ist das Szenario im Neubaubereich, wo die Datenübertragung zum digitalen Zwilling gleich mitgedacht werden kann. Hier sind ein Anschluss und eine Datenübertragung z.B. in eine Cloud oder auch zu einem lokal installierten Rechner, auf dem der digitale Zwilling läuft, nahezu kostenneutral möglich. Dies war beim Neubau des Infineon-Gebäudes der Fall, wobei hier für wissenschaftliche Zwecke im Rahmen des EU-Projekts deutlich mehr Sensoren installiert wurden, also für die reine Gebäudeleittechnik nötig gewesen wären.

Beim Infineon-Demonstrationsgebäude war es aus unternehmensbezogenen Compliance und Datenschutz- und Sicherheitsgründen gefordert, den digitalen Zwilling auf einem lokalen Rechner laufen zu lassen und nicht in einer Cloud. Daher wurde das Setup hier anders gewählt (siehe Abbildung 2). Die in die Gebäudeleittechnik integrierten Sensoren wurden über einen BACnet Modbus Gateway an einen Datenlogger mit OPC-Gateway angeschlossen. Über die OPC UA Schnittstelle wurde dann eine Verbindung zum Rechner, auf dem die Echtzeitsimulation läuft, aufgebaut. Auch dieses Setup funktionierte einwandfrei.

Abbildung 2: Hardware- Architektur des Digitalen Zwillings bei Infineon in Villach

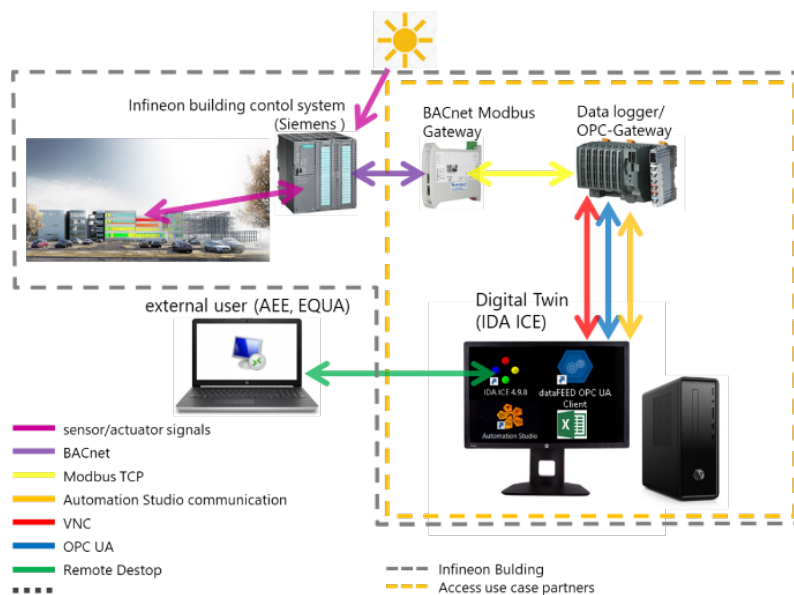
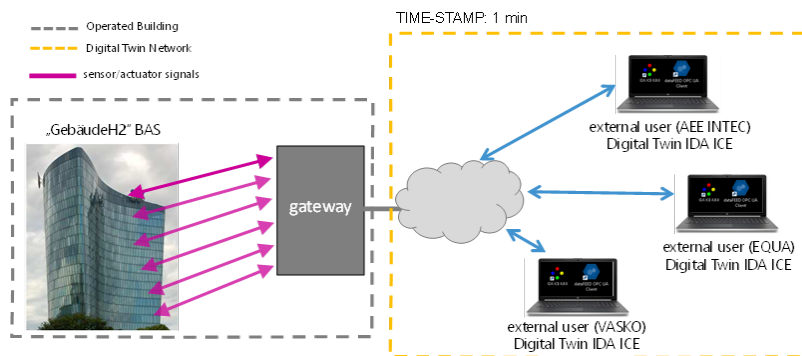


Abbildung 3: Hardware- Architektur des Digitalen Zwillings im Bürogebäude H2 in Wien



Den Sicherheitsbedenken des Gebäudebetreibers kann aber durch geeignete Maßnahmen begegnet werden. Im EU-Projekt Arrowhead Tools wurden gerade für diesen Zweck Softwaretools und Protokolle entwickelt, um einen sicheren Datenaustausch zu gewährleisten. Trotzdem sieht man an diesem Beispiel, dass es nicht einfach ist, die entsprechenden Stakeholder besonders in großen Unternehmen von dieser Technologie zu überzeugen. Das gleiche Feedback gab es innerhalb des Arrowhead Tools Projekts auch von anderen großen Firmen. Hier ist neben einer Weiterentwicklung der IT-Architekturen und der Software auch Überzeugungsarbeit nötig. Andererseits kann die umgesetzte Variante, den digitalen Zwillings lokal zu installieren, auch eine gute Lösung sein. Problematischer wird es allerdings, wenn beispielsweise eine Einbindung von externen Wetterdaten ermöglicht werden soll. Dies ist in der lokalen Variante leider nicht möglich, da hier auf jeden Fall eine Verbindung zu einer externen Datenquelle notwendig ist.

5.3. Gebäudemodell

Der günstigste Fall für die Erstellung eines digitalen Zwillings ist, wenn in der Planungsphase des Gebäudes bereits eine Gebäude- und Anlagensimulation durchgeführt wurde, um Gebäude und Haustechnik zu optimieren. In diesem Fall kann das bestehende Modell für die Echtzeitsimulationen

einfach übernommen werden. Gegebenenfalls muss es noch in einigen Punkten an die tatsächliche Umsetzung angepasst und mit Messdaten validiert werden. Auch eine Dokumentation des Gebäudes im Rahmen von BIM könnte die Erstellung des Modells deutlich vereinfachen.

Die entscheidende Frage ist aber nicht nur, ob ein BIM Modell für ein Gebäude existiert, sondern vor allem, ob die hinterlegten Daten auch geeignet sind, um in ein Simulationsmodell überführt zu werden. Auch wenn beispielsweise ein IFC-Modell vom Architekten erstellt wurde, heißt das nicht, dass dort alle Angaben hinterlegt sind, die für das Simulationsmodell erforderlich sind.

Prinzipiell kann bereits jetzt eine IFC-Datei in der Software IDA ICE eingelesen werden. Die BIM Daten müssen allerdings auch die richtigen Eigenschaften, Attribute und Klassifizierungen enthalten, die dann auch im Simulationsprogramm IDA ICE benötigt werden. Die Daten, wie sie von Architekten in der Planung eingegeben werden, enthalten aber oft nicht alle Spezifikationen, die von einer Software zur thermischen Gebäudesimulation benötigt werden. Auch geometrisch unsauber definierte Räume (Zonen) können zu Problemen bei der Simulation führen und müssen aufwändig per Hand korrigiert werden.

5.4. Anlagenmodell

Die Haustechnik für Heizung, Kühlung und Lüftung, die in Gebäuden eingesetzt wird, ist deutlich weniger individuell als das Gebäude selbst. Daher macht es hier Sinn, einzelne Teile oder Funktionen, die in vielen Gebäuden vorkommen, vorzudefinieren. Sie müssen dann nur noch individuell kombiniert und auf die tatsächliche Anwendung angepasst werden. Im „Stadt der Zukunft“-Projekt Digitaler Zwilling wurden in IDA ICE beispielsweise sogenannte Makros von Kälteabnehmern erstellt, die dann jeweils für alle anderen Kälteabnehmer kopiert bzw. adaptiert wurden.

Perspektivisch wäre es sinnvoll, eine Art Bibliothek von Modellvorlagen anzulegen, die dann für andere Gebäude jeweils in anderer Kombination neu zusammengestellt werden könnten.

5.5. Anzahl Sensoren

Um die Kosten für einen digitalen Zwilling möglichst gering zu halten, sollte es das Ziel sein, mit möglichst wenig Sensoren ein zuverlässiges Abbild zu erzeugen.

Das Gebäude- und Anlagenmodell des digitalen Zwillings enthält viele detaillierte Informationen für das Gebäude und die verbauten Haustechnikkomponenten. Daher kann bei einer Echtzeitsimulation die Zahl der Sensoren, die mit dem Modell gekoppelt werden müssen, relativ gering sein. Während der Kalibrierung des Modells ist es sinnvoll, temporär einige zusätzliche Sensoren zu installieren. Dies könnte bei einem Bau- oder Sanierungsprojekt durch Sensoren realisiert werden, die nicht mit der Gebäudeleittechnik gekoppelt sind, sondern z. B. durch Funkübertragung Daten an einen Datenlogger liefern. Diese Sensoren könnten nach der Kalibrierungsphase wieder entfernt und für andere Projekte verwendet werden.

Bei der Simulation eines Gebäudes sind Wetterdaten besonders wichtig. Diese können am Gebäude selbst gemessen werden. Erste Untersuchungen im Rahmen des „Stadt der Zukunft“-Projektes haben

aber auch gezeigt, dass online verfügbare Wetterdaten von einer nahegelegenen Wetterstation oder berechnet aus mehreren Wetterstationen durchaus geeignet sein können.

Des Weiteren ist es wichtig, die Raumtemperaturen in möglichst vielen Räumen des Gebäudes zu erfassen. Ob tatsächlich alle Räume erfasst werden müssen, hängt davon ab, wie detailliert bzw. für welchen Zweck man das Gebäude abbilden will. Bei außenliegender Verschattung ist auch eine Erfassung der Jalousienstellung oder der exakten Betriebsweise dieser unbedingt notwendig.

Ziel weiterer Entwicklungen sollte es sein, aus den Temperaturdaten im Gebäude möglichst viele Phänomene wie z.B. Fensteröffnungen abzuleiten und damit auf weitere Sensoren verzichten zu können. Kombifühler, die neben der Temperatur auch die CO₂ Konzentration und evtl. die Luftfeuchtigkeit erfassen, können dabei hilfreich sein z.B. auch die Personenanwesenheit in Räumen zu detektieren.

6 Ausblick und Empfehlungen

Die Entwicklung des digitalen Zwilling mit Building Tracker konnte innerhalb der abgeschlossenen Projekte noch nicht beendet werden. Weitere Projekte, um die Entwicklung fortzusetzen, sind derzeit in Planung. Einige Punkte, an denen noch weiterer Entwicklungsbedarf besteht, werden in den folgenden Abschnitten dargestellt.

Eine Komponente des Building Trackers, deren Entwicklung in diesem Projekt noch nicht abgeschlossen werden konnte, ist der sog. Publisher, eine Schnittstelle zwischen dem Building Tracker und externen Datenbanken. Verschiedene Anbindungen sind möglich, um Daten des Building Trackers zu veröffentlichen und anderen Beteiligten zur Verfügung zu stellen. Der Publisher stellt eine frei konfigurierbare Kommunikationsschnittstelle zu diversen Anbietern von Diensten auf unterschiedlichen Ebenen (z.B. lokal, lokale Cloud, Cloud, World Wide Web) dar, die entweder Daten für den digitalen Zwilling zur Verfügung stellen oder Daten der beiden Zwillinge weiter nutzen. Der Publisher ist mit Templates konfigurierbar und mehrere Verbindungen können gleichzeitig aufgebaut werden. Der Publisher ist eine Art „Dirigent“ der Datenströme.

Bei Laborversuchen hat sich außerdem gezeigt, dass Methoden zur Qualitätssicherung (QS) der Mess-Signale aus der Gebäudeleittechnik erforderlich sind, um zu verhindern, dass der Building Tracker bei fehlerhaften Eingabedaten ins Stocken gerät. Anhand erster aufgezeichneter Daten konnte eine solche QS-Funktionalität unter Verwendung einfacher statistischer Filter sowie von Methoden des maschinellen Lernens in Offline-Experimenten entwickelt werden, welche als Signal-QS-Tool den Building Tracker ergänzen können.

Für die Echtzeitkopplung von digitalem Zwilling und Gebäudeleittechnik werden Lösungen gebraucht, die bei jeder GLT egal welchen Anbieters umsetzbar sind. Denkbar wäre auch, möglichst kostengünstige (idealerweise) Funksensoren einzusetzen, die unabhängig von der GLT Daten bereitstellen können. Wenn aber auch eine Rückkopplung des Digitalen Zwilling an die GLT möglich sein soll, um beispielsweise optimierte Sollwerte oder Regelungssignale zu übertragen, bleibt die Koppelung an die GLT unumgänglich.

Eine standardisierte Methode, die für eine Gebäude- und Anlagensimulation benötigten Daten bereits in der Planungs- und Bauphase in BIM Modellen zu integrieren, sodass sie ohne großen Aufwand in der Betriebsphase in ein Simulationsprogramm importiert werden können, fehlt bisher und würde den Aufwand, einen digitalen Zwilling zu erstellen, erheblich reduzieren.

Aufbauend auf einen digitalen Zwilling, der in Echtzeit an die Messdaten von einem Gebäude angepasst wird, ist die Entwicklung von Regelungsalgorithmen wichtig, die einerseits mit im Modell verfügbaren virtuellen Sensoren arbeiten, andererseits aber auch Prognosedaten wie Wettervorhersagen oder Belegungspläne von Büro- oder Besprechungsräumen einbinden und einen oder mehrere Tage im Voraus eine optimale Regelungsstrategie ermitteln, die dann vom digitalen Zwilling an die Gebäudeleittechnik übermittelt werden könnte.

7 Verzeichnisse

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Bürogebäude H2 in Wien (links) und F&E Gebäude Infineon, Villach (rechts).....	12
Abbildung 2: Hardware- Architektur des Digitalen Zwillinges bei Infineon in Villach.....	16
Abbildung 3: Hardware- Architektur des Digitalen Zwillinges im Bürogebäude H2 in Wien.....	16

Literaturverzeichnis

Dagmar Jähnig, Franz Hengel, Barbara Beigelböck, Katharina Eder, Sven Moosberger, Daniel Ruepp (2023): In: nachhaltige technologien, Ausgabe 01/2023, Gleisdorf

Reinhard Pertschy, Dagmar Jähnig, Christina Haagen, Franz Hengel (2022): Vergleich von Methoden zur solaren Diffus- und Direktstrahlungserfassung, BauSIM 2022 September 20-22, Weimar, Deutschland

Ruepp, Daniel; Ollander, Simon; Sahlin, Per; Hogberg, Markus; Moosberger, Sven; Jähnig, Dagmar (2022): On the track of optimized building operation, ISEC 2022 – 2nd International Sustainable Energy Conference, Graz, Austria, April 4-7 2022

F. Hengel, D. Jähnig, P. Nageler, R. Pertschy, T. Weiss (2020): Building model calibration methods for building applications, BauSIM 2020 September 23-25, Online Conference DOI: 10.3217/978-3-85125-786-1-80.

Dagmar Jähnig, Franz Hengel, Daniel Ruepp, Daniel Donesch (2020): Das neue Forschungsgebäude von Infineon Austria und sein digitaler Zwilling, nachhaltige technologien, Ausgabe 04/2020, Gleisdorf

Abkürzungsverzeichnis

BIM	Building Information Modelling
GLT	Gebäudeleittechnik
IDA ICE	Integrated Design and Analysis - Indoor Climate and Energy (Simulationssoftware)
IFC	Industry Foundation Classes
IT	Informationstechnologie
VNC	Virtual Network Computing
OPC UA	Open Platform Communications, Unified Architecture
BACnet	Building Automation and Control Networks
QS	Qualitätssicherung

Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie

Radetzkystraße 2, 1030 Wien

+43 800 21 53 59

servicebuero@bmk.gv.at

bmk.gv.at