



**FACHHOCHSCHULE  
WIENER NEUSTADT**  
Austrian Network for Higher Education

# Möglichkeiten zur Verarbeitung von Sensordaten im Projekt Dataskop mittels Digital Twins

## Bachelorarbeit 1

Eingereicht von:

**Sebastian Szvetecz**

Matrikelnummer:

**1810276061**

am

Fachhochschul-Bachelorstudiengang Informatik

Begutachter (intern):

**Mag. Thomas Woltron**

Begutachter (extern):

**DI (FH) Michael Kollegger**

Wiener Neustadt, 27.01.2021



## EIDESSTATTLICHE ERKLÄRUNG

Ich erkläre an Eides statt, dass diese Arbeit ausschließlich von mir selbst verfasst wurde und ich diese Arbeit nicht zuvor an einer anderen Bildungseinrichtung zum Zwecke der Erlangung eines akademischen Grades vorgelegt habe.

Insbesondere wurden Beiträge anderer Personen entsprechend kenntlich gemacht sowie die in dieser Arbeit verwendeten Daten entsprechend der dargestellten Verfahren gewonnen und richtig wiedergegeben.

Wiener Neustadt,

27.01.2021

Datum

S. Sramek

Unterschrift

## **Kurzzusammenfassung:**

Das Projekt *Dataskop* hat das Ziel Daten sichtbar zu machen. Es sollen Messdaten von Sensoren erhoben, verarbeitet, gespeichert und über eine Schnittstelle zur Verfügung gestellt werden. Diese Arbeit zielt darauf ab, die Möglichkeit der Umsetzung von *Digital Twins* und Sensordatenfusion für das Projekt *Dataskop* mittels Recherche zu evaluieren. Außerdem wird versucht herauszufinden, welche bestehenden Produkte im Bereich *Digital Twin* bereits existieren. Für das Projekt *Dataskop* ist die Implementierung von *Digital Twins* in Kombination mit Sensordatenfusion unter Einhaltung gewisser Bedingungen sinnvoll. Bei *Digital Twins* kann für das Projekt *Dataskop* aus zwei Levels unterschieden werden. Die Verwendung von *Digital Twins* kann die Verständlichkeit und Wartbarkeit großer Projekte erhöhen.

## **Schlagworte:**

Digital Twin, Dataskop, Sensordatenfusion

## **Abstract:**

The Dataskop project aims to make data visible. Measurement data from sensors are to be collected, processed, stored and made available via an interface. This work aims to evaluate the possibility of implementing Digital Twins and sensor data fusion for the Dataskop project using research. It also researches what existing products already exist in the field of digital twins. For the Dataskop project, the implementation of Digital Twins in combination with sensor data fusion is reasonable under certain conditions. For Digital Twins, two levels can be distinguished for the Dataskop project. The usage of Digital Twins may increase the comprehensibility and maintainability of large projects.

## **Keywords:**

Digital Twin, Dataskop, Sensor Data Fusion

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>1</b>
1.1	Problem . . . . .	1
1.2	Anwendungsgebiete . . . . .	1
1.2.1	Landwirtschaft . . . . .	1
1.2.2	Katastrophenschutz . . . . .	1
1.2.3	Öffentliche Dienstleistungen und Infrastruktur . . . . .	2
1.2.4	Tourismus . . . . .	2
<b>2</b>	<b>Ziele</b>	<b>3</b>
<b>3</b>	<b>Forschungsfragen</b>	<b>4</b>
<b>4</b>	<b>Methoden</b>	<b>5</b>
4.1	Digital Twin . . . . .	5
4.2	Sensordatenfusion . . . . .	5
<b>5</b>	<b>Digital Twin</b>	<b>6</b>
5.1	Digital Twin Levels . . . . .	7
5.1.1	Pre-Digital Twin . . . . .	7
5.1.2	Digital Twin . . . . .	7
5.1.3	Adaptive Digital Twin . . . . .	7
5.1.4	Intelligent Digital Twin . . . . .	8
5.2	Machine Learning . . . . .	8
5.3	Topologien . . . . .	8
5.3.1	Sterntopologie . . . . .	9
5.3.2	Hierarchische Topologie . . . . .	9
5.3.3	Kombination . . . . .	10
<b>6</b>	<b>Azure Digital Twins</b>	<b>10</b>
6.1	Modellierung . . . . .	10
6.1.1	Interface . . . . .	11
6.1.2	Telemetry . . . . .	11
6.1.3	Property . . . . .	11
6.1.4	Command . . . . .	11
6.1.5	Relationship . . . . .	11
6.1.6	Component . . . . .	11
6.2	Eingaben . . . . .	12
6.3	Ausgaben . . . . .	12
<b>7</b>	<b>Sensordatenfusion</b>	<b>13</b>
<b>8</b>	<b>Resultate</b>	<b>14</b>
<b>9</b>	<b>Diskussion</b>	<b>16</b>

# 1 Einleitung

Niederösterreich ist ein flächenmäßig großes Bundesland. Es gibt Regionen, in denen Landwirtschaft eine große Rolle spielt.

Die Nutzung von Sensordaten und *Internet of Things (IoT)* spielt eine immer größere Rolle, womit auch die Produktivität in der Landwirtschaft erhöht werden kann [1], [2].

## 1.1 Problem

Allerdings ist die Funkabdeckung von Sensoren durch traditionelle Technologien teilweise problematisch. Der Aufbau und der Erhalt von Kommunikationskanälen zwischen den Sensornetzwerkkomponenten kann bei der Verwendung von traditionellen Übertragungstechnologien sowohl technisch als auch finanziell zu einem Problem werden [3].

Das Projekt *Dataskop* soll mit der Erforschung von Technologien wie moderne *Low-Power Wide Area Networks (LPWAN)* dazu beitragen, Sensordaten über weite Strecken mit einem niedrigen Energiebedarf übermitteln zu können [4].

## 1.2 Anwendungsgebiete

IoT und das Projekt *Dataskop* haben viele Anwendungsgebiete. Einige davon werden nachfolgend angeführt.

### 1.2.1 Landwirtschaft

Landwirtschaftlichen Betrieben ist der sparsame Einsatz von Ressource wichtig. Dies spielt gerade in Zeiten des Klimawandels auch beim Thema Umweltschutz eine essentielle Rolle [1], [2].

Will ein Landwirt/eine Landwirtin beispielsweise seine/ihre Felder düngen, bewässern und dabei möglichst wenig Dünger und Wasser verwenden, dann bietet sich die Möglichkeit, Sensoren über die landwirtschaftlichen Flächen verteilt anzubringen. Mit Hilfe der Daten kann analysiert werden, wann und in welchen Bereichen der Felder noch Wasser oder Dünger notwendig ist. Dadurch können Ressourcen effizienter eingesetzt und Kosten gespart werden.

### 1.2.2 Katastrophenschutz

Für den Katastrophenschutz können LPWAN-basierte Sensornetzwerke einen Mehrwert bringen. Bezieht man sich auf den Hochwasserschutz, sind an größeren Gewässern zwar bereits Messstellen installiert, an kleineren Gewässern ist dies allerdings nicht der Fall. Bringt man auch an kleineren Gewässern Sensoren an, können dadurch bessere Informationen und längere Vorwarnzeiten geboten werden, wodurch in weiterer Folge Schäden geringer gehalten werden können [5], [6].

### **1.2.3 Öffentliche Dienstleistungen und Infrastruktur**

Kommt es zu einem raschen Wintereinbruch, kann es für flächenmäßig große Gemeinden schwierig sein, Streu- und Räumdienste schnell und effizient einzusetzen. Mit Hilfe von modernen Sensornetzwerken ist es möglich, die Gemeinden bei der Koordination der Streu- und Räumfahrzeuge zu unterstützen.

### **1.2.4 Tourismus**

Auch der Tourismus bietet sich als Anwendungsgebiet für Sensornetzwerke an. So können mittels verschiedener Sensoren unter anderem Wassertemperatur, Lufttemperatur und Luftqualität gemessen werden. Diese Messwerte können Touristen zugänglich gemacht werden [7].

## 2 Ziele

Ein Ziel des Projektes *Dataskops* ist, mittels neuartiger Technologie wie LP-WAN, Sensornetzwerke auch in Gegenden mit schlecht ausgebauter Netzwerkinfrastruktur zu installieren. Dadurch könnte auch aus Daten, welche in ländlichen Gegenden gesammelt werden, ein wirtschaftlicher Nutzen gewonnen werden, ohne teure Netzwerkinfrastruktur installieren zu müssen.

Das Ziel dieses Papers ist zu evaluieren, wie die in Abbildung 1 dargestellten Komponenten *Dataskop Gateway* und *Dataskop Service* umgesetzt werden können.

Bezüglich der Architektur ist herauszufinden, inwiefern die Implementierung von *Digital Twins* im Projekt *Dataskop* umsetzbar ist, beziehungsweise welche Vor- und Nachteile dies in diesem Projekt bietet. Bei einem *Digital Twin* handelt es sich um das virtuelle Gegenstück eines physischen Objekts. In dem Fall dieses Projektes hätte ein Sensor einen digitalen Zwilling. *Digital Twins* werden oft in Kombination bei einer *Cloud-Based Cyber-Physical System Architecture (C2PS)* implementiert [8]–[11].

Ein weiteres Ziel ist herauszufinden, ob die Umsetzung von Sensordatenfusion sinnvoll ist und inwieweit dadurch die Qualität der Daten verbessert werden kann. Die Sensordatenfusion beschreibt generell die Zusammenlegung mehrerer Sensoren. Es wird also aus den Messwerten mehrerer Sensoren ein Wert ermittelt. Dies kann zu einer besseren Qualität der Daten führen, da Abweichungen einzelner Sensoren ausgeglichen werden können [12]–[14].





## 4 Methoden

Die Ziele werden in dieser Arbeit mit Hilfe von Recherchen evaluiert.

### 4.1 Digital Twin

Mittels Recherche wird in dieser Arbeit evaluiert, ob die Umsetzung und Implementierung eines *Digital Twin* zur Erschaffung des Projekts *Dataskop* hilfreich ist. Außerdem gilt es herauszufinden, ob es bereits Implementierungen von *Digital Twins* gibt, die als Vorbild herangezogen werden können.

### 4.2 Sensordatenfusion

Es wird die Implementierung von Sensordatenfusion in Erwägung gezogen und herausgefunden, ob mit einer Verbesserung bezüglich der Qualität der Daten zu rechnen ist, wenn diese verwendet wird und welche Nachteile dies mit sich bringt.

## 5 Digital Twin

Digital Twins wurden bereits 2002 an der *University of Michigan* thematisiert. Mit dem Aufstreben von IoT gewann auch das Konzept Digital Twins weiter an Bedeutung [9].

Die Idee von *Digital Twins* ist, die physische Welt mit der digitalen Welt zu verbinden, indem für physische Objekte ein digitales Modell, also der digitale Zwilling/*Digital Twin*, erzeugt wird. Die Daten dieser digitalen Zwillinge können in weiterer Folge zur Überwachung, Analyse und Prognose verwendet werden. Der digitale Zwilling verarbeitet die Daten, die der physische Zwilling erfasst und liefert. Gegebenenfalls kann der physische Zwilling anschließend über die Ergebnisse dieser Verarbeitung informiert werden oder es können Steuerbefehle an ihn gesendet werden. Grundsätzlich ist das Senden von Daten vom physischen zum digitalen Zwilling von größerer Bedeutung als das Senden von Daten an den physischen Zwilling. Das Senden der Daten muss nicht zwingend in Echtzeit geschehen. Auch die Verbindung muss nicht permanent aufrecht sein [9], [15].

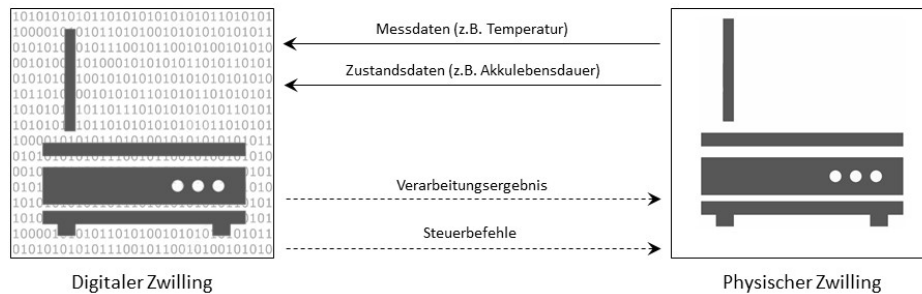


Abbildung 2: Diese Abbildung repräsentiert die grundsätzliche Abbildung eines physischen Objekts als *Digital Twin*.

*Digital Twins* sind ein integraler Bestandteil von *Cyber-Physical-Systems (CPS)*, in denen jedes physische System bzw. jede physische Komponente einen digitalen Zwilling hat [8], [9].

Außerdem werden *Digital Twins* auch mehr und mehr in der Industrie verwendet, um sogenannte *Smart Factories* zu betreiben [16]. Diese Verwendung von *Digital Twins* stellt für das Projekt *Dataksop* allerdings keine besondere Relevanz dar.

Minerva et al. [15] beschreiben, dass *Digital Twins* viele Vorteile bieten. Er beschreibt unter anderem deren Fähigkeit, physische Objekte zu repräsentieren und diese mittels einer großen Anzahl an Werten und Attributen zu beschreiben, als Vorteil. Außerdem besteht die Möglichkeit, *Digital Twins* in Verbindung zu bringen und Kommunikation zwischen ihnen herzustellen. Für *Digital Twins* gibt es eine Vielzahl von Anwendungsmöglichkeiten. Allerdings kann die Implementierung von *Digital Twins* zu mehr Komplexität führen, weswegen es bei

kleinen Projekten besser sein kann, keine *Digital Twins* zu verwenden.

Die Anwendung von *Digital Twins* bietet die Möglichkeit, mehrere kleine *Digital Twins* zu einem Größeren zusammenzufügen. Diese größeren *Digital Twins* können wiederum zu einem noch größeren *Digital Twin* zusammengefügt werden. Dies nennt man Aggregation. Das bietet die Möglichkeit, ein ganzheitliches System zu verwalten und zu analysieren. Außerdem kann Einblick in einzelne, kleine Komponenten gewährt werden. Dies ist für das Verständnis der Zusammenarbeit von kleinen Komponenten in einem großen System hilfreich. Der Nachteil hierbei ist jedoch, dass diese Aggregation von *Digital Twins* zu einem größeren Aufwand bei der Modellierung führen kann [15].

## 5.1 Digital Twin Levels

Hier werden Levels von *Digital Twins* erläutert, wie sie Madni et al. [9] beschrieben haben.

### 5.1.1 Pre-Digital Twin

Das erste Level kann als traditioneller virtueller Prototyp gesehen werden. Es dient nicht der Kopplung mit einem physischen Zwilling in Echtzeit und daher auch nicht der Datenerhebung oder Steuerung. Der eigentliche Sinn eines *Digital Twin* dieses Levels ist, noch vor der Erschaffung des physischen Objekts Erkenntnisse zu gewinnen, die bei der Entscheidungsfindung bezüglich der Entwicklung bzw. Konstruktion helfen. So können Fehler schon vor der Konstruktion des physischen Zwillings gefunden und behoben werden bzw. erst gar nicht begangen werden, was zu Kostenersparnis führt. Wie auch bei traditionellen, physischen Prototypen kann auch ein *Pre-Digital Twin* als Wegwerfprototyp verwendet werden, der nur bei der Planung, Entscheidungsfindung und vorzeitigen Fehlersuche eingesetzt wird. Es ist aber auch möglich, diesen als Basis für weitere Systeme zu verwenden. Dies macht Sinn, wenn man vor hat, diesen *Digital Twin* im produktiven System einzusetzen [9].

### 5.1.2 Digital Twin

Bei einem *Digital Twin* des zweiten Levels sendet der physische Zwilling dem digitalen Zwilling Daten. Diese Daten können Messdaten (z.B. die Wasserqualität in einem See), Performancedaten (z.B. die bisherige Laufzeit) und Zustandsdaten (z.B. die Lebensdauer oder die restliche Laufzeit des Akkus) beinhalten. Der digitale Zwilling kann nach der Verarbeitung wiederum Ergebnisse oder Steuerbefehle gesendet bekommen, um das weitere Verhalten zu optimieren oder zu ändern [9].

### 5.1.3 Adaptive Digital Twin

Bei diesem Level passt sich die Benutzeroberfläche den Vorlieben des Benutzers/der Benutzerin an. Das System lernt dies mittels *Machine Learning* [9].

Für diese Arbeit stellt diese Form des *Digital Twin* allerdings kaum Relevanz dar, da sich diese Arbeit nicht mit der Benutzeroberfläche auseinandersetzt.

#### 5.1.4 Intelligent Digital Twin

Das vierte und letzte Level ist der *Intelligent Digital Twin*.

Ein *Digital Twin* dieses Levels ist, zusätzlich zu den Fähigkeiten des dritten Levels, auch in der Lage, unter anderem Performancedaten und Zustandsdaten mittels *Machine Learning* zu analysieren und daraus zu lernen. Ein *Intelligent Digital Twin* besitzt daher einen hohen Grad an Autonomie, ist allerdings auch dementsprechend aufwändiger [9].

### 5.2 Machine Learning

*Machine Learning* kann in Kombination mit *Digital Twins* gut eingesetzt werden. Bei einfachen Einsatzgebieten, bei denen lediglich eine überschaubare Menge an Daten und Sensoren beteiligt ist, können Systeme auch ohne *Machine Learning* ihren Zweck gut erfüllen. Handelt es sich um ein System mit einer großen Menge an Daten bzw. einer großen Anzahl an Sensoren, kann *Machine Learning* einen Vorteil bringen. Mittels *Machine Learning* können komplexe Analysen durchgeführt und Zusammenhänge in den Daten hergestellt werden, die anderen falls eventuell nicht gefunden werden würden [9].

Mittels *Machine Learning* wäre es also möglich, eine große Menge an Daten zu abstrahieren. Dieser unübersichtlichen Datenmenge kann eine verständliche Bedeutung gegeben werden.

Im Kapitel 1.2.2 wird das Anwendungsgebiet *Katastrophenschutz* angeführt. Anstatt Sensordaten wie zum Beispiel Windstärke, Wasserstand, Temperatur und weitere Daten einzeln zu betrachten, könnte anhand dieser Analyse das Risiko eines Hochwassers ermittelt werden und übersichtlich in Prozent angegeben werden. Dieses Beispiel zeigt gut, dass anhand dieser Analyse zwischen den Sensordaten ein Zusammenhang hergestellt werden kann und den rohen Daten somit ein Sinn gegeben wird.

Auch für das, im Kapitel 1.2.1 beschriebene Anwendungsgebiet *Landwirtschaft* können *Digital Twins* mit *Machine Learning* einen Vorteil bringen. So wäre es möglich zu analysieren, in welchen Bereichen der Felder es nötig ist zu gießen oder zu düngen, um ein optimales Erntergebnis zu erzielen.

### 5.3 Topologien

Die topologische Anordnung von *Digital Twins* kann mit den Topologien der Netzwerktechnik verglichen werden. Anschließend werden in Frage kommende Topologien angeführt. Es ist darauf zu achten, dass hier die logische Anordnung von *Digital Twins* behandelt wird. Es wird nicht die Anordnung der physischen Objekte behandelt. Ebenso wird hier nicht Netzwerktopologie der beteiligten Netzwerkinfrastruktur thematisiert.

### 5.3.1 Sterntopologie

Bei einer Sterntopologie sind alle *Digital Twins* mit einem zentralen *Digital Twin* verbunden. Der entscheidende Vorteil dieser Topologie ist Ausfallsicherheit. Fällt ein *Digital Twin* aus, stört das die anderen *Digital Twins* bezüglich ihrer Verbindung bzw. Beziehung nicht. Wie man anhand der Abbildung 3 gut sehen kann, kann diese Topologie ab einer gewissen Anzahl an *Digital Twins* unübersichtlich werden.

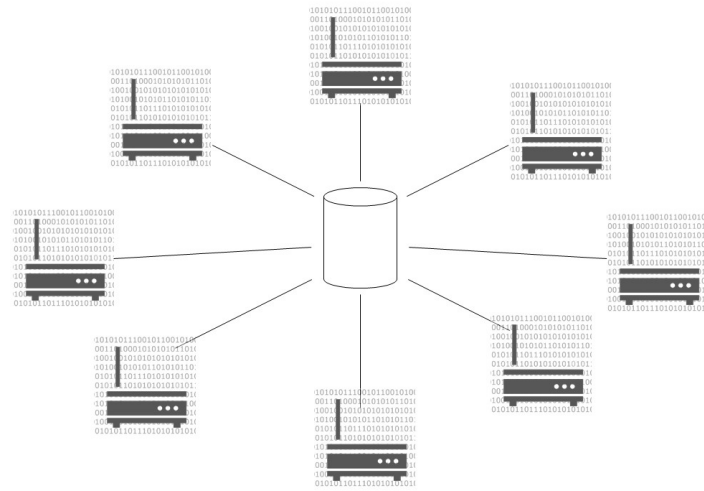


Abbildung 3: Die Sterntopologie von *Digital Twins*, bei der alle *Digital Twins* mit einem zentralen *Digital Twin* verbunden sind bzw. in Beziehung stehen.

### 5.3.2 Hierarchische Topologie

Bei der hierarchischen Topologie gibt es eine Wurzel. An dieser Wurzel sind *Digital Twins* angeschlossen, während mit diesen *Digital Twins* weitere *Digital Twins* verbunden sind. Daraus ergibt sich, wie in der Abbildung 4 übersichtlich dargestellt, eine baumartige Verzweigung. Der Vorteil dieser Topologie ist, dass die *Digital Twins* nach Belangen oder Eigenschaften gruppiert werden können. Diese Anordnung hilft, einer großen Anzahl an *Digital Twins* eine gewisse Übersicht zu verleihen.

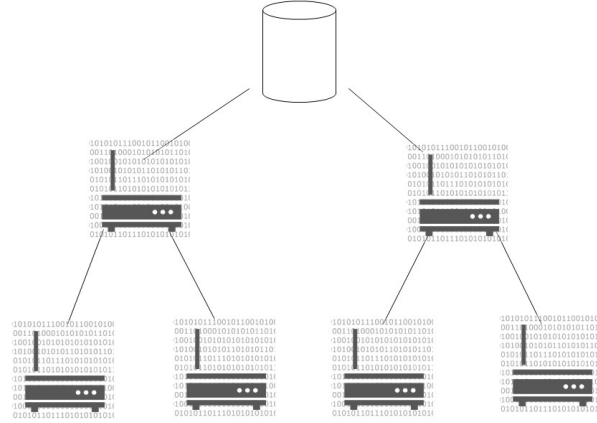


Abbildung 4: Die hierarchische Topologie von *Digital Twins*, bei der sich *Digital Twins* baumartig verzweigen.

### 5.3.3 Kombination

Es ist ebenso möglich, die oben angeführten Topologien zu kombinieren. So haben nicht alle *Digital Twins* die selbe Wurzel. Von der Wurzel können auch mehrere Verbindungen zu *Digital Twins* entspringen, welche sich dann in Hierarchien/Bäume unterteilen können.

## 6 Azure Digital Twins

Microsoft bietet mit *Azure Digital Twins* eine cloud-basiertes Service für *Digital Twins an*. Microsoft bietet dieses Service als *Platform as a Service (PaaS)* an. Da dies ein *Azure Service* ist, ist eine Integration von anderen *Azure Services* möglich. So ist zum Beispiel eine Integration von *Azure IoT Services* möglich. Bei *Azure Digital Twins* kann eine Abfrage-API verwendet werden, um Daten der *Digital Twins* zu erlangen [10], [11].

### 6.1 Modellierung

Um die physische Umgebung in *Azure Digital Twins* zu definieren, wird die *Digital Twins Definition Language (DTDL)* angeboten. Mit dieser Modellierungssprache ist es möglich, digitale Zwillinge mittels Statuseigenschaften, Telemetrieereignissen, Befehlen, Komponenten und Beziehungen zu definieren. Es ist auch möglich, bei der Definition dieser Modelle Vererbung zu verwenden [10].

### 6.1.1 Interface

*Interfaces* (deutsch Schnittstellen) werden in der *Digital Twins Definition Language* verwendet, um die Inhalte von digitalen Zwillingen zu definieren. *Interfaces* können beliebig oft verwendet und auch als Bestandteil in anderen *Interfaces* integriert werden [17].

### 6.1.2 Telemetry

Mit *Telemetryfields* (deutsch Telemetriefelder) kann man Ereignisse oder Messungen darstellen. Dies kann also für Messwerte von Sensoren verwendet werden. Im Gegensatz zu *Properties* werden die Daten von *Telemetryfields* nicht im digitalen Zwilling gespeichert, sondern müssen direkt verarbeitet werden. Gerade bei IoT-Geräten tritt dieser Fall häufig ein, dass ein solches Gerät die gemessenen Daten nicht direkt speichern, sondern lediglich an eine übergeordnete Stelle melden will [10], [17].

### 6.1.3 Property

Mit *Properties* (deutsch Eigenschaften) wird der Zustand eines digitalen Zwillings dargestellt. Es können Werte gespeichert und wiederum abgefragt werden. Hier kann man zwischen *read-only Properties* und *read/write Properties* unterscheiden. *Read-only Properties* können zum Beispiel zum Speichern einer Seriennummer verwendet werden, während *read/write Properties* zum Beispiel für die Speicherung der gewünschten Temperatur eines Thermostats verwendet werden können [10], [17].

### 6.1.4 Command

Ein *Command* (deutsch Befehl) repräsentiert eine Funktion, die am digitalen Zwilling ausgeführt werden kann. *Commands* sind derzeit zwar Teil der *Digital Twins Definition Language*, werden von *Azure Digital Twins* momentan dennoch nicht unterstützt [17].

### 6.1.5 Relationship

Eine *Relationship* (deutsch Beziehung) dient dazu, digitale Zwillinge zu verbinden. Mit diesen *Relationships* wird angegeben, wie ein digitaler Zwilling mit anderen digitalen Zwillingen in Verbindung steht. *Relationships* können auch semantische Inhalte repräsentieren, wie zum Beispiel „Raum *enthält* Lichtschalter“ und „Lichtschalter *schaltet* Lampe“ [10].

### 6.1.6 Component

Eine *Component* (deutsch Komponente) beschreibt, was Teil eines digitalen Zwillings ist. Komponenten ermöglichen das Hinzufügen von *Interfaces* in *Interfaces*. So kann ein *Interface* „Raum“ zum Beispiel das *Interface* „Lichtschalter“

mehrmals als Komponenten beinhalten. Ist etwas also ein wesentlicher Bestandteil des digitalen Zwillings, ist eine Komponente zu verwenden. Soll etwas unabhängig vom aktuellen digitalen Zwilling existieren, hat aber dennoch mit dem aktuellen digitalen Zwilling zu tun, ist eine Beziehung herzustellen. Komponenten können auch zur besseren Organisation verwendet werden und als eine Art Ordner gesehen werden. Bei *Azure Digital Twins* wird zur Zeit allerdings nur eine einzelne Schachtelungsebene unterstützt. Das heißt, dass ein Interface, das als Komponente verwendet wird, selbst keine Komponenten beinhalten darf [10], [17].

## 6.2 Eingaben

Um die digitalen Zwillinge mit Daten zu versorgen und somit den aktuellen Zustand der physischen Zwillinge zu repräsentieren, kann *Azure IoT Hub* integriert werden. Es ist auch möglich, andere Datenquellen zu verwenden. So können Daten auch per REST-API eingespeist werden [10].

## 6.3 Ausgaben

Microsoft Azure bietet verschiedene Möglichkeiten Ereignisse zu handhaben. Ereignisse der digitalen Zwillinge können per *Event Hub*, *Event Grid* oder *Service Bus* gefeuert werden. Mit diesen Services können andere *Azure Services* über Ereignisse benachrichtigt werden, um weitere Aktionen auszuführen [10].



## 7 Sensordatenfusion

Sensordatenfusion wird in einiger englischer Literatur *sensor data fusion* oder *multisensor data fusion* genannt. Es ist eine Technologie, die Daten von mehreren Sensoren kombiniert. Sensordatenfusion bietet verschiedene Vorteile. Unter Verwendung von Sensordatenfusion ist es nämlich möglich, die Genauigkeit der Messdaten zu erhöhen und Ausreißer in den Sensordaten zu relativieren. Zusammengefasst kann damit die Qualität der Daten verbessert werden [12]–[14], [18], [19].

Eine naheliegende Vorgehensweise ist, die Daten von Sensoren des selben Typs zu fusionieren. Es wäre allerdings auch möglich, die Daten von Sensoren unterschiedlicher Typen zu fusionieren. So könnte man die Daten eines Lufttemperatursensors mit den Daten einer Infrarotkamera fusionieren. Hierbei würde der Lufttemperatursensor die Temperatur der umgebenden Luft messen, während die Infrarotkamera die Temperatur der sich im Bild befindlichen Oberflächen misst.

Im Kontext des Projekt *Dataskop* und *Digital Twins* stellt sich nun die Frage, wo Sensordatenfusion angewandt werden soll.

Es wäre möglich, dass die Sensordaten alle einzeln an den jeweiligen *Digital Twin* am Server gesendet werden und erst am Server fusioniert werden. Somit hätte jeder dieser Sensoren einen eigenen *Digital Twin*. Dadurch würde der Kommunikationsaufwand zwischen den Sensoren und der Serverinfrastruktur steigen. Allerdings hätte man die Möglichkeit auf einen genaueren, tieferen Einblick in die Sensorinfrastruktur und dessen einzelne Messdaten.

Eine andere Möglichkeit wäre, dass die Daten schon vor dem Senden an den *Digital Twin* am Server fusioniert werden. So können zum Beispiel 5 Temperatursensoren in einem gewissen Umfeld platziert werden, die ihre Daten an eine lokale Komponente, also eine Art „Zwischenserver“, senden. An diesem „Zwischenserver“ würden die Daten fusioniert und anschließend an den *Digital Twin* am Server gesendet werden. Bei dieser Variante würde also für diese 5 Sensoren nur ein *Digital Twin* existieren.

Für das Projekt *Dataskop* wäre eine Mischung dieser Varianten zu bevorzugen. Damit ist gemeint, dass die Daten mehrerer Sensoren durchaus fusioniert werden können und am Server lediglich mit einem *Digital Twin* repräsentiert werden. Für das Projekt *Dataskop* wäre darauf zu achten, dass diese Fusionierung bzw. Zusammenlegung von Sensoren lediglich auf einem niedrigen Level stattfindet. So macht es Sinn, die Daten von sehr nah beisammen liegenden Sensoren zu fusionieren, um die Messgenauigkeit zu erhöhen. Für das Projekt *Dataskop* in Verbindung mit *Digital Twins* wäre es aber nicht zielführend, Daten von weit verteilten Sensoren zu fusionieren. Dies sollte wie in Kapitel 5 beschrieben, mittels Aggregation von *Digital Twins* umgesetzt werden. Damit besteht weiterhin die Möglichkeit, einen tieferen Einblick in kleinere Messgebiete zu gewähren.

## 8 Resultate

Wie im Kapitel 5 bereits ausgeführt, werden *Digital Twins* verwendet, um physisch existierende Systeme und Prozesse in einem digitalen Modell abzubilden. Beim Projekt *Dataskop* können Sensordaten mit Hilfe von *Digital Twins* verarbeitet und verwaltet werden.

Bezüglich der Umsetzbarkeit von *Digital Twins* wurde im Kapitel 6 gezeigt, dass dies möglich ist. Vor allem beim Thema 6.1 zeigt *Azure Digital Twins* gut, wie *Digital Twins* modelliert und miteinander in Verbindung gesetzt werden können.

*Digital Twins* bieten den Vorteil, dass sie die reale Welt abbilden. Außerdem können Beziehungen zwischen *Digital Twins* hergestellt werden, welchen eine semantische Bedeutung gegeben werden kann. Dadurch kann ein großes und komplexes System besser verstanden werden.

*Digital Twins* haben allerdings nicht nur Vorteile. Die Implementierung solcher bedarf eines gewissen Mehraufwandes. Dieser Mehraufwand kann sich bei größeren Systemen bzw. Projekten auszahlen, während bei kleinen Systemen bzw. Projekten der Mehraufwand der Implementierung von dessen den Nutzen dieser übersteigen könnte. Dementsprechend ist dies im Vorhinein genau abzuwägen.

Es ist möglich, *Digital Twins* in verschiedene Levels einzuteilen, wie es im Kapitel 5.1 beschrieben wird. Für das Projekt *Dataskop* sind allerdings nur Level 2 und 4 von Relevanz. Das Level 2 ist in dem Fall ein „klassischer“ *Digital Twin*, während ein *Digital Twin* des 4. Levels ein „intelligenter“ *Digital Twin* ist. Der Vorteil eines „intelligenten“ *Digital Twin* ist, dass dieser dank Nutzung von künstlicher Intelligenz komplexe Zusammenhänge analysieren und erkennen kann.

Die Umsetzung der im Kapitel 7 thematisierten Sensordatenfusion im Projekt *Dataskop* ist bedingt sinnvoll.

Die Umsetzung von Sensordatenfusion ist in diesem Projekt sinnvoll, wenn dies auf einem niedrigen Level, also „nahe am Sensor“ umgesetzt wird. So kann man die Schwankungen der Messdaten reduzieren. Damit wird die Aussagekraft der Sensordaten erhöht. Soll eine Fusion von Sensoren auf hohem Level, also „nahe am Server“ umgesetzt werden, ist es sinnvoller, dies durch Aggregation von *Digital Twins* umzusetzen. Dementsprechend ist die Umsetzung von Sensordatenfusion in Kombination mit *Digital Twins* sinnvoll.

Wie im Kapitel 1.2.1 bereits erwähnt, ist ein Anwendungsgebiet des Projekts *Dataskop* die Landwirtschaft. Landwirtschaftliche Flächen können mit Sensoren ausgestattet werden, die Boden- und Wasserqualität messen. Diese durch die Sensoren gewonnenen Daten werden anschließend von einem oder mehreren *Digital Twins* verarbeitet, wie es in Abbildung 5 dargestellt wird. So kann erkannt werden, welche landwirtschaftlichen Flächen mehr oder weniger gedüngt und bewässert werden müssen. Hier können zusätzlich zu Sensoren auch andere Datenquellen verwendet werden. So können Wettervorhersagen abgefragt werden, um den Bedarf an Bewässerung in Bezug auf den zukünftigen Niederschlag besser bestimmen zu können. Dadurch kann eine Überwässerung

durch die Kombination aus künstlicher und natürlicher Bewässerung vermieden werden. Außerdem kann dadurch Wasser gespart werden. Ein automatisches Bewässerungssystem kann ebenfalls durch *Digital Twins* repräsentiert, verwaltet und gesteuert werden. So können die *Digital Twins*, die Sensordaten verarbeiten, Hand in Hand mit den *Digital Twins* arbeiten, die das Bewässerungssystem steuern. Dies wäre mit *Digital Twins* des Levels 2, beschrieben in Kapitel 5.1.2, umzusetzen.

Werden über längere Zeit Daten erfasst und gespeichert, kann aus dem Einsatz von *Digital Twins* des Levels 4, beschrieben im Kapitel 5.1.4, weiter profitiert werden. So ist es möglich, mittels künstlicher Intelligenz zu analysieren, unter welchen Bedingungen (z.B. Bodenqualität, Wasserqualität, Außentemperatur) das beste Erntergebnis bzw. das beste Verhältnis zwischen Kosten und Erntergebnis erzielt werden kann. Optional kann auch der Faktor Umweltschutz in diese Analyse einbezogen werden. Legt der Landwirt oder die Landwirtin großen Wert auf Umweltschutz, kann auch ein besonderes Augenmerk auf Parameter wie z.B. den Wasserverbrauch gelegt werden.

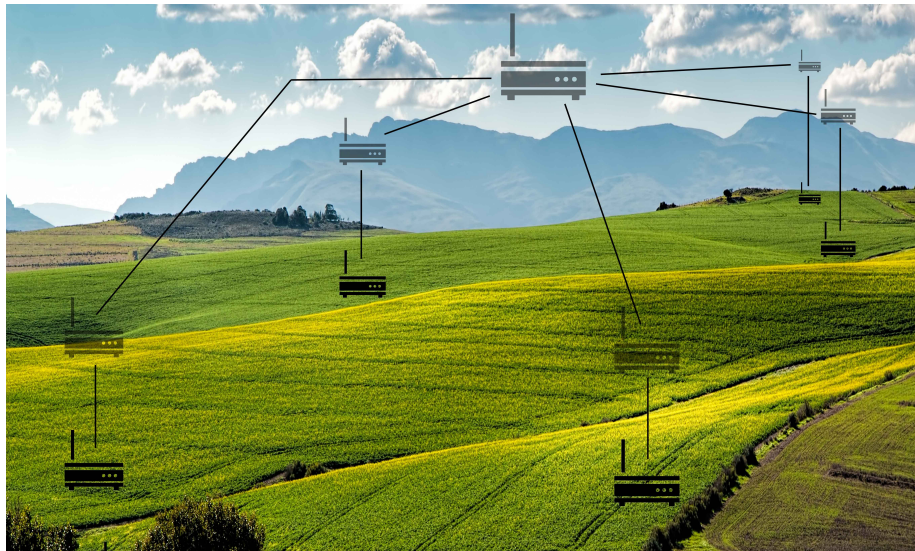


Abbildung 5: Diese Abbildung stellt die Repräsentation der physischen Sensoren (schwarz) durch die *Digital Twins* (transparent) visuell dar. Es ist ersichtlich, dass jeder physische Sensor einen *Digital Twin* hat, die mittels Aggregation zu einem großen *Digital Twin* zusammengefasst werden. Dieser aggregierte *Digital Twin* repräsentiert die gesamte landwirtschaftliche Fläche.

## 9 Diskussion

*Digital Twins* können für das Projekt *Dataskop* einen Mehrwert bringen. Die Implementierung von *Digital Twins* führt zwar zu einem Anstieg an Komplexität, wodurch bei kleinen Projekten der Aufwand der Implementierung den Nutzen übersteigen kann. Das Projekt *Dataskop* ist allerdings ein größeres Projekt, wodurch *Digital Twins* sinnvoll sind. Gerade die Möglichkeit der Aggregation von mehreren kleinen *Digital Twins* zu einem oder mehreren größeren *Digital Twins* ist für das Projekt *Dataskop* wertvoll.

*Azure Digital Twins* kann in der Grundstruktur als Vorbild für die Implementierung von *Digital Twins* im Projekt *Dataskop* gesehen werden. Besonders im Themenbereich der Modellierung von *Digital Twins* kann *Azure Digital Twins* als Vorbild gesehen werden. Bezüglich der Ein- und Ausgaben von Daten ist im Projekt *Dataskop* zu achten, dass bestenfalls keine proprietären Dienste verwendet werden, wie es bei *Azure Digital Twins* der Fall ist.

Bezüglich der im Kapitel 5.1 angeführten Levels von *Digital Twins* sind die Levels 2 (*Digital Twin*) und 4 (*Intelligent Digital Twin*) von Bedeutung. Ein *Digital Twin* des zweiten Levels entspricht einem „klassischem“ *Digital Twin*. Ein *Intelligent Digital Twin* wäre hingegen in der Lage, dank Nutzung von künstlicher Intelligenz komplexe Zusammenhänge zu analysieren und zu erkennen. Ein *Digital Twin* kann beim Projekt *Dataskop* somit ein wertvoller Vorteil sein. Für das Thema *Intelligent Digital Twins* kann herausgefunden werden, inwieweit Microsofts ML.NET verwendet werden kann.

Sensordatenfusion kann für das Projekt *Dataskop* ebenfalls ein Vorteil sein, da die Genauigkeit und Verlässlichkeit der von den Sensoren erfassten Daten erhöht werden kann. Außerdem können verschiedene Sensortypen verwendet werden, um die Genauigkeit weiter zu erhöhen. Auf die genaue Anwendung von Sensordatenfusion im Projekt *Dataskop* kann in Zukunft weiter eingegangen werden.

Durch dieses Paper wurden mit Literatur-Recherche neue Kenntnisse für das Projekt *Dataskop* erlangt.

## Abbildungsverzeichnis

1	Blockdiagramm der im Projekt <i>Dataskop</i> geplanten Hardware und Software . . . . .	4
2	Diese Abbildung repräsentiert die grundsätzliche Abbildung eines physischen Objekts als <i>Digital Twin</i> . . . . .	6
3	Die Sterntopologie von <i>Digital Twins</i> , bei der alle <i>Digital Twins</i> mit einem zentralen <i>Digital Twin</i> verbunden sind bzw. in Beziehung stehen. . . . .	9
4	Die hierarchische Topologie von <i>Digital Twins</i> , bei der sich <i>Digital Twins</i> baumartig verzweigen. . . . .	10
5	Diese Abbildung stellt die Repräsentation der physischen Sensoren (schwarz) durch die <i>Digital Twins</i> (transparent) visuell dar. Es ist ersichtlich, dass jeder physische Sensor einen <i>Digital Twin</i> hat, die mittels Aggregation zu einem großen <i>Digital Twin</i> zusammengefasst werden. Dieser aggregierte <i>Digital Twin</i> repräsentiert die gesamte landwirtschaftliche Fläche. . . . .	15

## Abkürzungsverzeichnis

<b>IoT</b>	Internet of Things
<b>LPWAN</b>	Low-Power Wide Area Network
<b>C2PS</b>	Cloud-Based Cyber-Physical System Architecture
<b>CPS</b>	Cyber-Physical-Systems
<b>REST</b>	Representational State Transfer
<b>API</b>	Application Programming Interface
<b>PaaS</b>	Platform as a Service
<b>DTDL</b>	Digital Twins Definition Language

## Literatur

- [1] N. Ahmed, D. De und I. Hussain, „Internet of Things (IoT) for Smart Precision Agriculture and Farming in Rural Areas,“ *IEEE Internet of Things Journal*, Jg. 5, Nr. 6, S. 4890–4899, Dez. 2018, Conference Name: IEEE Internet of Things Journal, ISSN: 2327-4662. DOI: 10.1109/JIOT.2018.2879579.
- [2] T. Ojha, S. Misra und N. S. Raghuwanshi, „Wireless sensor networks for agriculture: The state-of-the-art in practice and future challenges,“ *Computers and Electronics in Agriculture*, Jg. 118, S. 66–84, 1. Okt. 2015, ISSN: 0168-1699. DOI: 10.1016/j.compag.2015.08.011. Adresse: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0168169915002379> (besucht am 20.11.2020).
- [3] A. Ghosh und S. K. Das, „Coverage and connectivity issues in wireless sensor networks: A survey,“ *Pervasive and Mobile Computing*, Jg. 4, Nr. 3, S. 303–334, Juni 2008, ISSN: 15741192. DOI: 10.1016/j.pmcj.2008.02.001. Adresse: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1574119208000187> (besucht am 23.10.2020).
- [4] J. Gubbi, R. Buyya, S. Marusic und M. Palaniswami, „Internet of things (IoT): A vision, architectural elements, and future directions,“ *Future Generation Computer Systems*, Including Special sections: Cyber-enabled Distributed Computing for Ubiquitous Cloud and Network Services & Cloud Computing and Scientific Applications — Big Data, Scalable Analytics, and Beyond, Jg. 29, Nr. 7, S. 1645–1660, 1. Sep. 2013, ISSN: 0167-739X. DOI: 10.1016/j.future.2013.01.010. Adresse: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167739X13000241> (besucht am 19.10.2020).
- [5] P. P. Ray, M. Mukherjee und L. Shu, „Internet of Things for Disaster Management: State-of-the-Art and Prospects,“ *IEEE Access*, Jg. 5, S. 18 818–18 835, 2017, Conference Name: IEEE Access, ISSN: 2169-3536. DOI: 10.1109/ACCESS.2017.2752174.
- [6] S. A. Shah, D. Z. Seker, S. Hameed und D. Draheim, „The Rising Role of Big Data Analytics and IoT in Disaster Management: Recent Advances, Taxonomy and Prospects,“ *IEEE Access*, Jg. 7, S. 54 595–54 614, 2019, Conference Name: IEEE Access, ISSN: 2169-3536. DOI: 10.1109/ACCESS.2019.2913340.
- [7] E. Balandina, S. Balandin, Y. Koucheryavy und D. Mouromtsev, „IoT Use Cases in Healthcare and Tourism,“ in *2015 IEEE 17th Conference on Business Informatics*, ISSN: 2378-1971, Bd. 2, Juli 2015, S. 37–44. DOI: 10.1109/CBI.2015.16.
- [8] K. M. Alam und A. E. Saddik, „C2PS: A Digital Twin Architecture Reference Model for the Cloud-Based Cyber-Physical Systems,“ *IEEE Access*, Jg. 5, S. 2050–2062, 2017, Conference Name: IEEE Access, ISSN: 2169-3536. DOI: 10.1109/ACCESS.2017.2657006.

- [9] A. M. Madni, C. C. Madni und S. D. Lucero, „Leveraging digital twin technology in model-based systems engineering,“ *Systems*, Jg. 7, Nr. 1, S. 7, März 2019, Number: 1 Publisher: Multidisciplinary Digital Publishing Institute. DOI: 10.3390/systems7010007. Adresse: <https://www.mdpi.com/2079-8954/7/1/7> (besucht am 20.11.2020).
- [10] Microsoft. (2020). „Azure digital twins documentation - tutorials, API reference,“ Adresse: <https://docs.microsoft.com/en-us/azure/digital-twins/> (besucht am 25.11.2020).
- [11] —, (2020). „Digital twins — microsoft azure,“ Adresse: <https://azure.microsoft.com/en-us/services/digital-twins/> (besucht am 25.11.2020).
- [12] L. Xiao, S. Boyd und S. Lall, „A scheme for robust distributed sensor fusion based on average consensus,“ in *IPSN 2005. Fourth International Symposium on Information Processing in Sensor Networks, 2005.*, Apr. 2005, S. 63–70. DOI: 10.1109/IPSN.2005.1440896.
- [13] W. Li, Z. Wang, G. Wei, L. Ma, J. Hu und D. Ding. (22. Okt. 2015). „A survey on multisensor fusion and consensus filtering for sensor networks,“ *Discrete Dynamics in Nature and Society*. ISSN: 1026-0226 Pages: e683701 Publisher: Hindawi Volume: 2015, Adresse: <https://www.hindawi.com/journals/ddns/2015/683701/> (besucht am 25.11.2020).
- [14] R. Olfati-Saber und J. S. Shamma, „Consensus Filters for Sensor Networks and Distributed Sensor Fusion,“ in *Proceedings of the 44th IEEE Conference on Decision and Control*, ISSN: 0191-2216, Dez. 2005, S. 6698–6703. DOI: 10.1109/CDC.2005.1583238.
- [15] R. Minerva, G. M. Lee und N. Crespi, „Digital Twin in the IoT Context: A Survey on Technical Features, Scenarios, and Architectural Models,“ *Proceedings of the IEEE*, Jg. 108, Nr. 10, S. 1785–1824, Okt. 2020, Conference Name: Proceedings of the IEEE, ISSN: 1558-2256. DOI: 10.1109/JPROC.2020.2998530.
- [16] Q. Qi und F. Tao, „Digital Twin and Big Data Towards Smart Manufacturing and Industry 4.0: 360 Degree Comparison,“ *IEEE Access*, Jg. 6, S. 3585–3593, 2018, Conference Name: IEEE Access, ISSN: 2169-3536. DOI: 10.1109/ACCESS.2018.2793265.
- [17] Microsoft. (11. Dez. 2020). „Azure/opendigitaltwins-dtdl,“ GitHub, Adresse: <https://github.com/Azure/opendigitaltwins-dtdl> (besucht am 12.01.2021).
- [18] D. L. Hall und J. Llinas, „An introduction to multisensor data fusion,“ *Proceedings of the IEEE*, Jg. 85, Nr. 1, S. 6–23, Jan. 1997, Conference Name: Proceedings of the IEEE, ISSN: 1558-2256. DOI: 10.1109/5.554205.



- [19] B. Khaleghi, A. Khamis, F. O. Karray und S. N. Razavi, „Multisensor data fusion: A review of the state-of-the-art,“ *Information Fusion*, Jg. 14, Nr. 1, S. 28–44, 1. Jan. 2013, ISSN: 1566-2535. DOI: 10.1016/j.inffus.2011.08.001. Adresse: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1566253511000558> (besucht am 03.01.2021).