

# **Exposé: Digital Twins für die persönliche Entscheidungsfindung**

Wie virtuelle Modelle dem Menschen helfen, seine Zukunft zu gestalten

Eine Bachelorarbeit für den Bachelor of Science

*verfasst von*

**Tom Brauns**

Angewandte Informatik (B.Sc.)

Matrikelnummer: 676672

*Betreut von*

Prof. Dr. Jens Kohler



**Hochschule Worms**  
**Fachbereich der Angewandten Informatik**  
**Worms, 67549**

October, 2023

# *Gender-Hinweis*

Die in diesem Exposé verwendeten Personenbezeichnungen beziehen sich immer gleichermaßen auf weibliche und männliche Personen. Auf eine Doppelnennung und auf gegenderte Bezeichnungen wird zugunsten einer besseren Lesbarkeit verzichtet [1].

# *Abstract*

Es handelt sich bei dieser Version um ein Exposé der eigentlichen Bachelorarbeit, welche zunächst nicht veröffentlicht wurde. Sollte Interesse an der vollständigen Version dieser Bachelorarbeit bestehen, so kann Zugriff zu dieser gewährt werden bei Nachfrage.

**Hierfür senden Sie bitte eine E-Mail an [tomalexanderbrauns@gmail.com](mailto:tomalexanderbrauns@gmail.com)**

Im Verlauf dieser Bachelorarbeit wird das Konzept der Digital Twins angewandt, um Menschen bei dem Berufsfindungsprozess zu unterstützen. Diesbezüglich wird zunächst die Problemlage in der Gesellschaft geschildert, um dann zu präsentieren, wie Digitale Zwillinge den Menschen unterstützen können, dieses Problem zu lösen.

Hierfür wird zunächst das benötigte Grundwissen geklärt bezüglich der Thematiken die für das Verständnis der Digital Twin Thematik notwendig sind, bevor das Konzept der Digital Twins erörtert wird und die weiterführenden Formen der Digital Twins präsentiert werden (so zum Beispiel der Cognitive Digital Twin und der Enhanced Digital Twin). Weiter werden Digital Twin-Software Architekturen als Vergleichsmodelle vorgestellt und differenziert.

Der Fokus dieser Bachelorarbeit liegt auf der Erstellung einer Architektur eines solchen Digital Twins, welcher den Nutzer bei der Entscheidungsfindung unterstützt. Diesbezüglich werden die Daten, welche für eine Digital Twin Nutzung notwendig sind, um die Empfehlungen zu generieren, differenziert. Zuletzt wird die Software-Architektur dieser Anwendung erklärt, bevor das Vorhaben evaluiert und ein Fazit, bezogen auf die Zukunft dieser Thematik, abgegeben wird.

## Abkürzungsverzeichnis

- SA = Software Architektur
- IoT = Internet of Things
- KI = Künstliche Intelligenz
- AI = Artificial Intelligence
- ML = Machine Learning
- DT = Digital Twin

# Inhaltsverzeichnis

<b>Gender-Hinweis</b>	<b>i</b>
<b>Abstract</b>	<b>iii</b>
<b>Abkürzungsverzeichnis</b>	<b>iv</b>
<b>Abbildungsverzeichnis</b>	<b>vi</b>
<b>1 Exposé</b>	<b>1</b>
<b>2 Digital Twins</b>	<b>3</b>
2.1 Digital Model . . . . .	3
2.2 Digital Shadow . . . . .	3
2.3 Digital Twin . . . . .	3
2.4 Fazit über Nutzung des Digital Twins . . . . .	4
<b>3 Software-Architektur-Schichten</b>	<b>5</b>
3.1 Datenerhebung . . . . .	6
3.2 Datenübermittlung . . . . .	6
3.3 Datenbanken - Cloud . . . . .	6
3.4 Simulation . . . . .	7
<b>Literatur</b>	<b>12</b>

## Abbildungsverzeichnis

1	Einordnung der Digital Twins Thematik . . . . .	1
2	Unterschiede: Digital Model, Digital Shadow und Digital Twin [3] . . . . .	3
3	Digital Twin-Bestandteile visualisiert . . . . .	4
4	Die vier Schichten dieser Architektur . . . . .	6
5	Beispiel eines euklidischen Abstands . . . . .	8
6	Ergebnisse einer Empfehlungsgenerierung grafisch . . . . .	9
7	Der Prozess des Bestärkenden Lernens basierend auf Feedback . . . . .	10

# 1 Exposé

In der heutigen Zeit gibt es unzählige Optionen für jeden Studierenden, sich weiterzubilden und verschiedenste Berufe auszuüben. Sei es nun eine Ausbildung oder das duale Studium, die Menge an Möglichkeiten neigt dazu, viele Studenten zu überfordern, da eine genaue Orientierung selbst gewählt werden muss. Zwar gibt es verschiedenste Beratungsgespräche oder Jobmessen, aber letztlich liegt die Entscheidung bei dem Individuum selbst. Ob es nun die Wahl des Studiums, die Wahl der Ausbildung oder gar die Wahl des Arbeitgebers ist, irgendwann müssen solche Entscheidungen getroffen werden.

Wie wird nun aber eine so schwere Entscheidung getroffen? Hierfür wurde im Verlauf dieser Bachelorarbeit ein Konzept vorgestellt, wobei durch die Verwendung von Digital Twins Empfehlungen für Nutzer generiert werden können, basierend auf hochgeladenen Daten von dem Nutzer.

Wie Abb. 1 darstellt, fällt diese Forschung in den Sektor der Digital Twins. Insbesondere die Sektoren Medizin, Industrie und Internet of Things(IoT) sind in der Regel die Hauptanwendungsgebiete der Digital Twins. Die Grundidee ist hierbei, dass Nutzer Daten wie Persönlichkeitstests

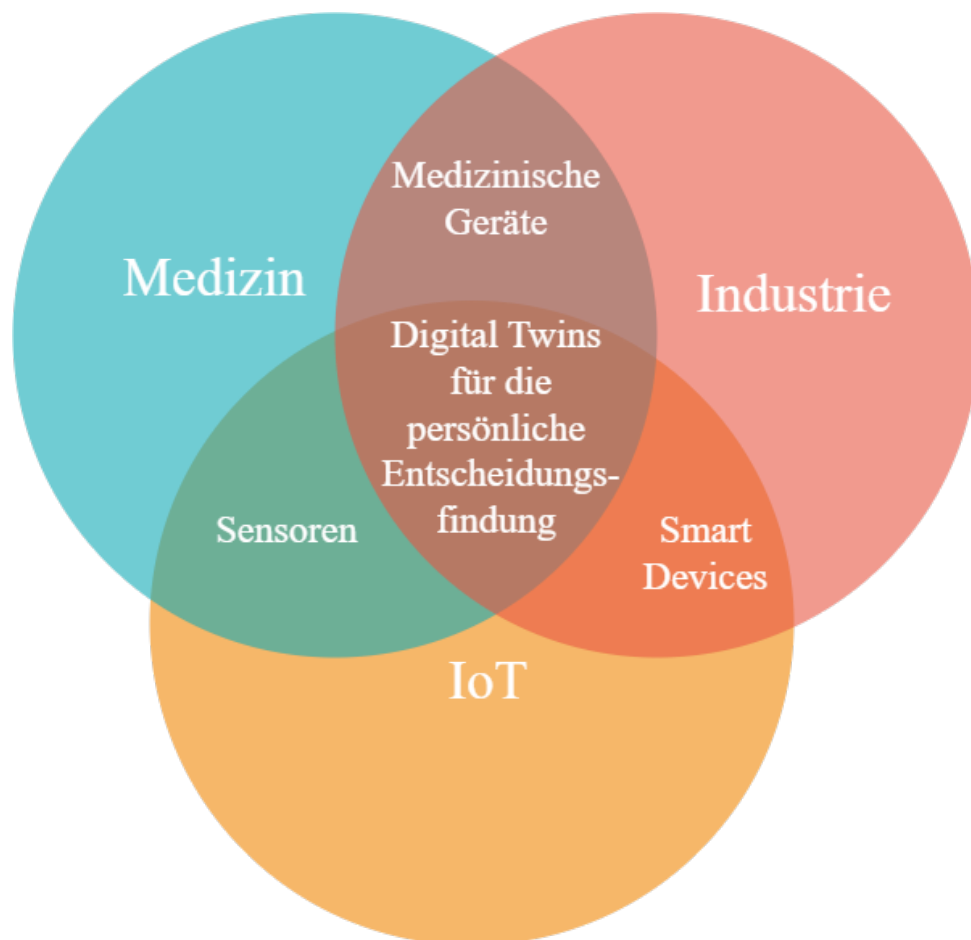


Abbildung 1: Einordnung der Digital Twins Thematik

oder Berufstests hochladen und anhand dieser Daten dann eine Empfehlung für interessante Berufe generiert werden kann.

Das Konzept des maschinellen Lernens und der Schlussfolgerung als Unterstützung zur Entscheidungsfindung spricht für die Verwendung von Digitalen Zwillingen für die Zukunftsplanung.

Je mehr Informationen dem Digitalen Zwilling zur Verfügung gestellt werden, desto vielversprechender könnten die Resultate sein.



## 2 Digital Twins

Da es eine Vielzahl an Definitionen und Interpretationen bezüglich des Digital Twins gibt [2], unterscheiden Fuller et al. hierbei zwischen drei Formen des Digital Twins: dem Digital Model, Digital Shadow, und dem Digital Twin (siehe Abb. 2)

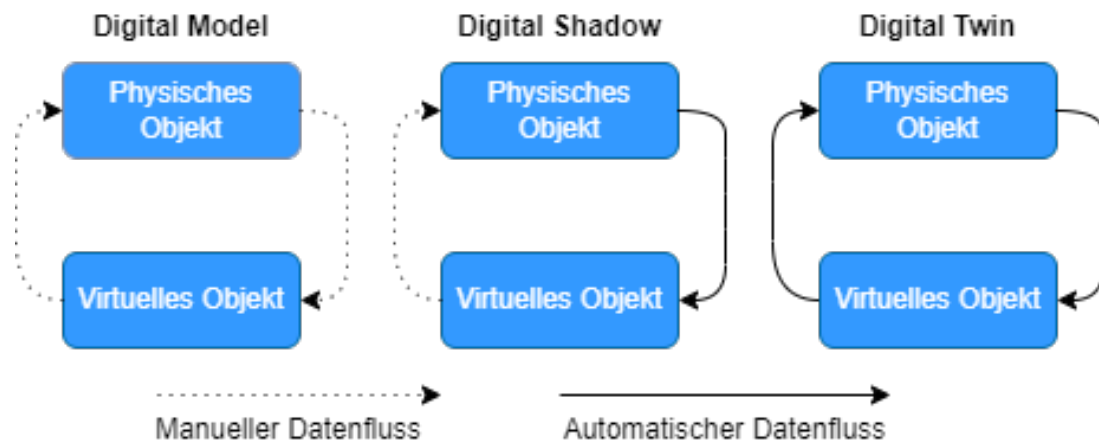


Abbildung 2: Unterschiede: Digital Model, Digital Shadow und Digital Twin [3]

### 2.1 Digital Model

Unter Digital Model versteht man eine digitale Version eines bereits existierenden physischen Objektes, wobei das Modell und das physische Objekt jedoch hierbei **keinen automatischen Datenaustausch** vollziehen können [3]. Als Folge dessen würden jegliche Änderungen an dem physischen Objekt nach der Modellierung des Digitalen Modells keinen Einfluss mehr auf letzteres haben [3].

Beispiele eines solchen Modells sind unter anderem Blaupausen für Gebäude oder Mobiliar.

### 2.2 Digital Shadow

Ein Digital Shadow ist eine digitale Repräsentation eines Objektes mit einem unidirektionalen Datenfluss zwischen dem physischen Objekt und dem digitalen Objekt. So würde eine **Änderung in dem physischen Objekt** zu einer **Änderung in dem digitalen Objekt** führen, aber nicht anders herum [3].

### 2.3 Digital Twin

Digital Twins bestehen essentiell aus 3 Komponenten, wie in Abb. 3 dargestellt ist:

1. Einer physischen Repräsentation in der echten Welt

2. Einer virtuellen Repräsentation in der virtuellen Welt
3. Einer Verbindung der physischen und virtuellen Repräsentation

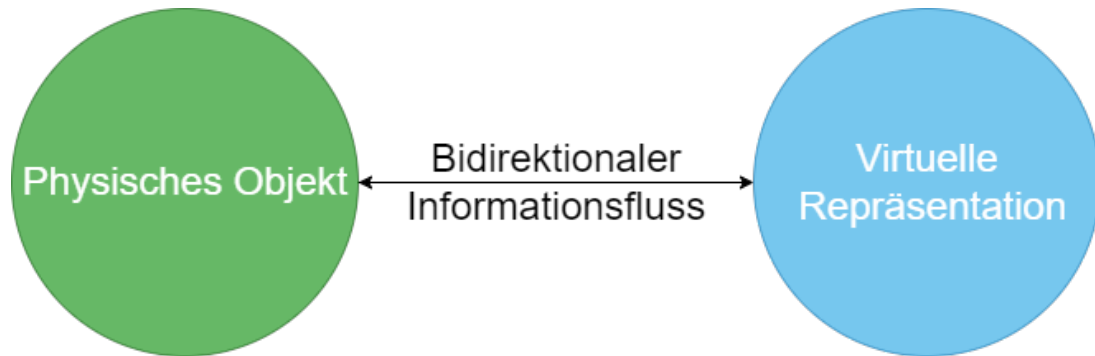


Abbildung 3: Digital Twin-Bestandteile visualisiert

Wenn es einen **automatisierten Datenfluss** gibt zwischen der **physischen Repräsentation** und der **virtuellen Repräsentation** (siehe Abb. 2), dann spricht man von einem Digital Twin [3],[4],[5],[2],[6],[7].

## 2.4 Fazit über Nutzung des Digital Twins

Wie bereits in Abb. 2 geschildert, ist ein Digital Twin ein Modell, bei welchem ein physisches Objekt, ein digitales Objekt, sowie eine bidirektionale Verbindung zwischen den beiden Objekten existiert. Wohingegen diese Systematik meist in dem Kontext der physischen Komponente oder der Definition des Systems gilt, ist in diesem Kontext der Mensch das physische Objekt. In das System werden Daten von diesem Menschen gesendet, bei welchen es sich um 'Komponenten' seiner Selbst handelt, so unter anderem der Farbtyp, ein Persönlichkeitstest, Berufstest oder gar Qualifizierungen.

Diese Daten werden an das digitale Objekt gesendet und es werden, durch die Verwendung von Algorithmen, Empfehlungen generiert. Diese Empfehlungen werden zurück an das physische Objekt gesendet, woraufhin dieses Anpassungen vornehmen kann bezüglich der Daten und es möglicherweise für neue Analysen an das virtuelle System.

Der Datenaustausch ist demnach von **bidirektionaler Natur**, weswegen die Grundbedingung des Digital Twins erfüllt sind, welche notwendig sind, um es als solches zu bezeichnen.

### 3 Software-Architektur-Schichten

Den Hauptteil dieser Bachelorarbeit stellt die **Software-Architektur** dar.

Der Fokus liegt hierbei neben den allgemeinen Informationen dieser Architektur bezogen auf die Stakeholder, Use Cases und Qualitätsanforderungen auf den Schichten dieser Architektur und wie diese Schichten gestaltet sind.

So heisst es unter anderem bei Conde et al., dass es sich bei Digital Twins um „Layered Architectures“ handelt [8]. Die Architekturen können in der Art der Layers häufiger stark variieren, fokussieren sich aber in der Regel auf die **Datenerhebung, Modellierung dieser Daten, Verarbeitung dieser Daten und den Verbrauch der Daten**.

Als Vorlage für diese Architektur bezogen auf die Funktionalitäten dienen die 5-Layer Architektur, wie sie von Qiuchen et al. [9] vorgestellt wurde, und die 6-Layer Architektur, wie sie Redelinghuys et al. [10] präsentierten. Schließend wurde eine sehr ähnliche Digital Twin-Applikation von Kopponen betrachtet - der Citizen Digital Twin [7], welcher als Inspiration gilt, da die angedachte Anwendung sehr ähnlich an der eigenen ist, und viele Inhaltspunkte somit von hoher Relevanz sind.

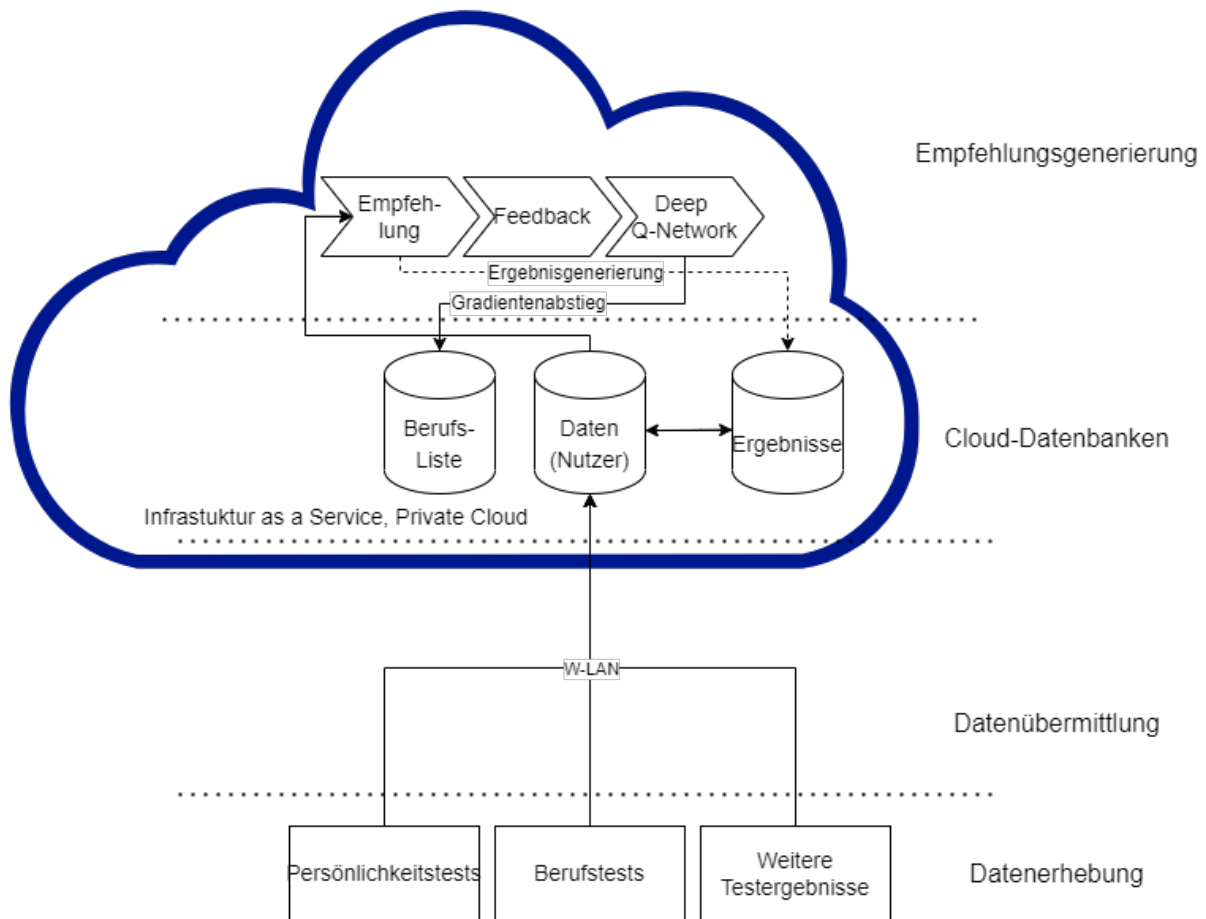


Abbildung 4: Die vier Schichten dieser Architektur

### 3.1 Datenerhebung

Hingegen der Standards bei Digital Twins werden in dieser Architektur keine Daten durch Sensoren erfasst. Die Datenerfassung erfolgt hier über externe Services in Form von Testergebnissen.

### 3.2 Datenübermittlung

In dieser Schicht werden die Daten, welche in der Datenerhebung erfasst wurden, hochgeladen in die Cloud. Diese Hochladung kann beispielsweise via WLAN erfolgen. Nach erfolgtem Upload werden die Daten auf Sicherheitsrisiken, sowie Datenqualität überprüft, bevor sie letztlich für Empfehlungen bereit stehen.

### 3.3 Datenbanken - Cloud

Diese Schicht beinhaltet die cloudbasierten Datenbankserver. Hier werden Informationsrepositories für Informationen des Physischen und des Digital Zwillings angelegt, sowie virtuelle Maschinen betrieben, um die Berechnungen durchzuführen für den Nutzer.

Die Cloud dient als Speicherplatz für diese Web-App.

Die Verwendung von Clouds hat hierbei die Vorteile, dass die Verfügbarkeit der Daten, die Zugänglichkeit zu diesen, sowie die Vernetzung der Digital Twins leichter erfolgen kann.

Genauer handelt es sich bei der verwendeten Dienstleistung um eine **Infrastructure as a Service**, da für diese Anwendung sowohl Speicher benötigt werden, als auch virtuelle Maschinen, welche in der Lage sind, die Algorithmen auszuführen und Empfehlungen zu generieren.

Weiter wird eine **Private Cloud** verwendet, um die sensitiven Daten sicherer zu halten, indem sie nur von einem Unternehmen und somit kein Drittanbieter Zugriff auf die Daten hat.

Neben den angedachten Datenbanken für die Speicherung der Nutzerdaten ist auch eine **Datenbank notwendig, welche die Berufe beinhaltet**. Diese Attribute gelten als Maßstab für die jeweiligen Datenformate für die notwendigen Vektoren, welche die Nutzer hochladen müssen, um eine Empfehlungsgenerierung durchführen zu können.

Notwendig ist hierbei eine initiale Befüllung der Datenbank mit allen Berufen und den jeweiligen Optimalvektoren dieser Berufe (also im Falle eines Persönlichkeitstests den jeweiligen Ausprägungen der Merkmale Extrovertiert, Intuitiv, Logistik-Fokussiert, Planend und Durchsetzungsfähig).

Das Resultat dieser Datenbank sind die Berufe, anhand welcher eine Berufsempfehlung erfolgen kann. **Eine Initialbefüllung kann hierbei über eine bereits vorhandene Datenbank stattfinden, oder muss selbst erarbeitet werden.**

### 3.4 Simulation

In dieser Schicht werden die Funktionalitäten des Digital Twins ausgeführt. Um die Anschaffung von sehr teurer Hardware zu ersparen, werden diese Kalkulationen in Kooperation mit Cloud-Service-Providern durchgeführt. Infolgedessen können Daten, die in Schicht 3 enthalten sind, von dem Nutzer genutzt werden, um basierend auf diesen Daten Simulationen (also der Modellierung der zukünftigen, bzw. des potenziellen Verhaltens) durchzuführen [10].

Bezüglich der Algorithmuswahl wurde sich für das Reinforcement Learning entschieden, da es für diese Anwendung relevant ist, den Algorithmus mit der Zeit zu verbessern.

Reinforcement Learning ist ein Prozess, bei dem ein Software-Agent selbstständig eine Strategie erlernt, um eine Aktion in einer Umgebung auf der Grundlage von Feedback immer genauer auszuführen, mit dem Ziel, das Ergebnis zu maximieren [11] [12]. Hier wird also mit Daten gearbeitet und dann stets Feedback gegeben, welches dazu beiträgt, den Algorithmus akkurater zu gestalten.

Der gewählte Algorithmus für diese Architektur ist das **Deep Q-Network**. Es gilt als Erwei-

terung des Q-Learning Algorithmus, wie er in beiden Quellen ausgeführt wird, arbeitet jedoch mit Netzwerken für die Optimierung.

Verwendung findet dieser Algorithmus insbesondere dann, wenn viele Fälle in Betracht gezogen werden müssen, was bei der großen Anzahl an Berufen der Fall ist.

Zunächst werden die Daten in einen Vektor verwandelt. So würde sich ein Vektor ergeben, der im Beispiel eines Persönlichkeitstests aus den Merkmalen Extravertiert, Intuitiv, Logistik-Fokussiert, Planend und Durchsetzungsfähig besteht.

Da ein Nutzer jedoch für diese Anwendung nicht nur den Persönlichkeitstypstest hochgeladen hat, sondern auch Beispielsweise einen Berufstest, würden sich die Kriterien diesbezüglich hinten anhängen. Das Resultat wäre dementsprechend ein ausführlicher Vektor, welcher alle Merkmale beinhaltet.

Bei diesen Merkmalen handelt es sich um normierte, numerische Werte, die in einem Spektrum zwischen null und eins liegen. So hat Beispielsweise die Ausprägung Extravertiert eine Ausprägung von 49 Prozent, also den Wert 0,49.

Nachdem nun ein solcher genormter Vektor erstellt wurde, gilt es, ihn mit den Berufsvektoren zu vergleichen. Hierfür wird die **euklidische Distanz** verwendet.

Hierfür wird im Detail die Differenz der einzelnen Merkmale zwischen den persönlichen Vektoren und den Berufsvektoren summiert. Wir betrachten die Ergebnisse eines Persönlichkeitstests und vergleichen diese mit den Werten eines der Berufsvektoren:

persönlicher Vektor:  $V(\text{persönlicher Vektor}) = \{0.49; 0.43; 0.44; 0.32; 0.22\}$

Berufsvektor (Feuerwehrmann):  $V(\text{Feuerwehrmann}) = \{0.4; 0.35; 0.2; 0.4; 0.6\}$

$$\begin{aligned} & d(\text{persönlicher Vektor}, \text{Feuerwehrmann}) \\ &= (0.49 - 0.4)^2 + (0.43 - 0.35)^2 + (0.44 - 0.2)^2 + (0.32 - 0.4)^2 + (0.22 - 0.6)^2 \\ &= 0.0081 + 0.0064 + 0.0576 + 0.0064 + 0.1444 = 0.2229 \end{aligned}$$

Abbildung 5: Beispiel eines euklidischen Abstands

Dies geschieht für alle Berufsvektoren und es ergibt sich eine euklidische Distanz für jeden einzelnen Beruf.

**Die Ergebnisse der euklidischen Distanz sind so zu betrachten, dass je kleiner die Summe ist, desto geringer die Differenz zwischen dem persönlichen Vektor und dem Berufsvektor.** Also entsprechen die Berufe mit der geringsten euklidischen Summe den besten Berufsempfehlungen.

Die Berufsvektoren können dann geordnet werden in einem Graphen (Bestehend aus x-Ache =

Berufe, y-Achse = euklidische Distanz), und sortiert werden von der niedrigsten euklidischen Distanz bis hin zu der höchsten, wie auch in Abb. 6 zu sehen.

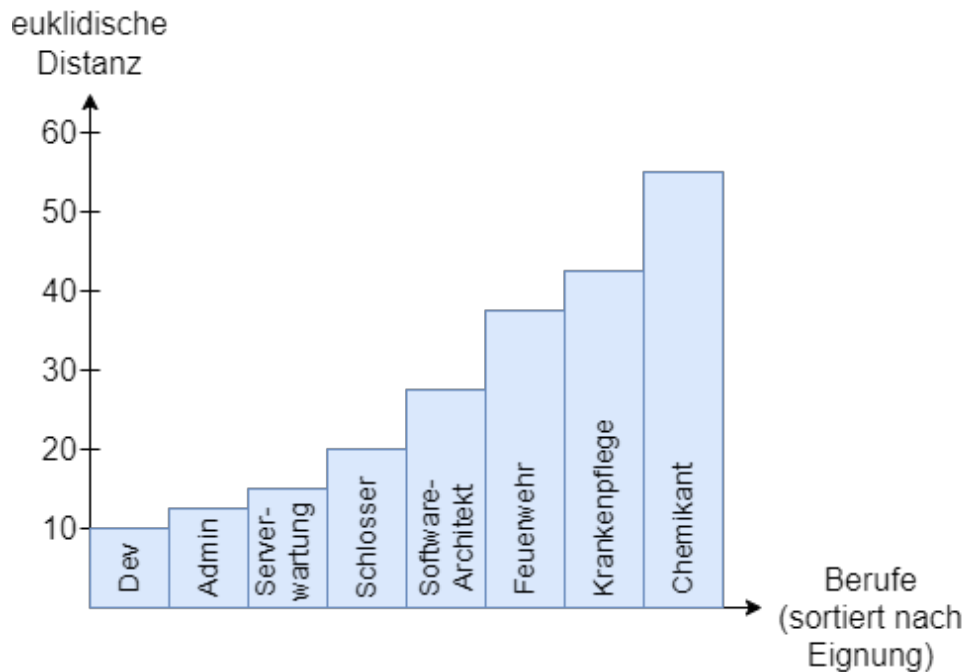


Abbildung 6: Ergebnisse einer Empfehlungsgenerierung grafisch

Nachdem der Nutzer diese Ergebnisse erhalten hat, kann er **Feedback** geben zu den ihm empfohlenen Berufen, und diese bewerten zwischen nicht zutreffend (1 Stern) bis hin zu zutreffend (5 Sterne). Solange es sich bei diesen Bewertungen um skalare Bewertungen handelt, können diese verwendet werden, um Reinforcement Learning zu betreiben [13].

Verwendet wird für das bestärkende Lernen (Reinforcement Learning) hierbei ein Deep Q-Network (DQN), welches eine Variante des Gradientenabstiegsverfahrens verwendet, um die Gewichte und Bias des neuronalen Netzwerks anzupassen und so die Schätzung der Aktionswerte zu verbessern.



Abbildung 7: Der Prozess des Bestärkenden Lernens basierend auf Feedback

Das Ziel des Deep Q-Networks ist es, eine Schätzung der Aktionswerte (Q-Werte) für verschiedene Zustands-Aktions-Paare (auch als  $Q(s,a)$  betitelt) zu erstellen, um somit herauszufinden, welche Aktionen die optimalen Aktionen sind [14],[15]. Dies wird erreicht, indem das neuronale Netzwerk (Deep Q-Network) so trainiert wird, dass es die optimalen Q-Werte approximiert.

Hierbei wird zunächst ein Neuronales Netz generiert, welches die Zustands-Aktions-Paare enthält. Ein Neuronales Netz besteht hierbei aus Knoten. Diese Knoten sind miteinander verbunden und bauen auf die jeweiligen Knoten der vorherigen Schicht auf, um somit die Vorhersage oder Kategorisierung einzugrenzen und zu optimieren.

Diese Art der Berechnung von Knoten zu Knoten betitelt man als **Vorwärtspropagierung**. Die Eingabe- und Ausgabeschichten eines tiefen neuronalen Netzes werden als sichtbare Schichten bezeichnet. In der Eingabeschicht werden die Daten zur Verarbeitung aufgenommen und in



der Ausgabeschicht wird die endgültige Vorhersage bzw. Klassifizierung vorgenommen [11].

Die Q-Werte werden mithilfe der Bellman-Gleichung<sup>1</sup> dargestellt und verwendet, um die Verlustfunktion zu berechnen. Als nächstes werden die Zustands-Aktions-Paare  $Q(s,a)$  mithilfe des Gradientenabstiegs aktualisiert, indem der Verlust bezüglich der Modellparameter (also der Gewichte und der Bias des neuronalen Netzwerks) minimiert wird [16].

So werden die Gewichte schrittweise, abhängig von dem Einfluss auf den Fehler, angepasst mithilfe des Gradientenabstiegs. Wenn nun eine neue Anlegung des Netzes in einer weiteren Iteration erfolgt, kann sich somit an die gewünschte Ausgabe angenähert werden [17].

Das Resultat ist hierbei, dass das Deep Q-Network über viele Iterationen hinweg mit hoher Wahrscheinlichkeit die Empfehlung mit dem höchsten geschätzten Q-Wert auswählt [15]. Gelegentlich wird hierbei aber auch eine zufällige Empfehlung ausgewählt, um die Exploration, welche ein essentieller Bestandteil des bestärkenden Lernens ist, sicherzustellen [15].

Zusammenfassend wird in diesem Kapitel also die Architektur einer App vorgestellt, welche Beratungsmöglichkeiten für Nutzer generiert. Daten werden erfasst und dann hochgeladen, woraufhin dem Nutzer die Empfehlungen generiert werden, die dem Nutzer dann als Inspiration zählen können für die Berufsorientierung.

Mit solchen Empfehlungen ist es den Nutzern dann möglich, Kontakt aufzunehmen mit Unternehmen, auf Bewerbungsplattformen zuzugreifen, um sich nach offenen Stellen zu informieren, oder diese Empfehlungen zu nutzen, um ein Beratungsgespräch zu vereinbaren, um mehr über das Berufsumfeld zu lernen und um mehr Möglichkeiten der Kontaktaufnahme zu den Firmen zu erhalten.

In diesem Kontext bietet es großes Potential in der Grundversion und ist umso vielversprechender, wenn dieses Grundkonzept ausgeweitet wird auf weitere Datenfelder außerhalb der Berufstests. **Es handelt sich hierbei um eine neuere Thematik, die sich von den bislang angedachten Digital Twin-Anwendungsgebieten unterscheidet und demnach umso vielversprechender ist, insbesondere wenn es um die Zukunft der Berufsberatung geht.**

---

<sup>1</sup>Die Bellman-Gleichung definiert die Beziehung zwischen dem aktuellen Zustands-Aktions-Paars  $(s,a)$ , den Belohnungen (also dem Feedback welches es erhält), sowie die möglichen Nachfolge-Zustands-Aktionspaare [14].

## Literatur

1. *Gender-Hinweis* Zuletzt zugegriffen: 06.09.2023. <https://www.scribbr.de/hausarbeit/gender-hinweis-hausarbeit-vorlage/>.
2. Lacueva-Pérez, F. J. u. a. SHION (Smart tHermoplastic InjectiON): An Interactive Digital Twin Supporting Real-Time Shopfloor Operations. *IEEE Internet Computing* **26**, 23–32. doi:[10.1109/MIC.2020.3047349](https://doi.org/10.1109/MIC.2020.3047349) (2022).
3. Fuller, A., Fan, Z., Day, C. & Barlow, C. Digital Twin: Enabling Technologies, Challenges and Open Research. *IEEE Access* **8**, 108952–108971. doi:[10.1109/ACCESS.2020.2998358](https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.2998358) (2020).
4. Zheng, X., Lu, J. & Kiritsis, D. The emergence of cognitive digital twin: vision, challenges and opportunities. *International Journal of Production Research* **60**, 7610–7632. doi:[10.1080/00207543.2021.2014591](https://doi.org/10.1080/00207543.2021.2014591) (2022).
5. Olivares-Rojas, J. C. u. a. Towards Cybersecurity of the Smart Grid Using Digital Twins. *IEEE Internet Computing* **26**. Chapter: State of the Art, 52–57. doi:[10.1109/MIC.2021.3063674](https://doi.org/10.1109/MIC.2021.3063674) (2022).
6. Wickramasinghe, N. u. a. A Vision for Leveraging the Concept of Digital Twins to Support the Provision of Personalized Cancer Care. *IEEE Internet Computing* **26**, 17–24. doi:[10.1109/MIC.2021.3065381](https://doi.org/10.1109/MIC.2021.3065381) (2022).
7. Kopponen, A. u. a. Empowering Citizens With Digital Twins: A Blueprint. *IEEE Internet Computing* **26**, 7–16. doi:[10.1109/MIC.2022.3159683](https://doi.org/10.1109/MIC.2022.3159683) (2022).
8. Conde, J., Munoz-Arcentales, A., Alonso, Á., López-Pernas, S. & Salvachúa, J. Modeling Digital Twin Data and Architecture: A Building Guide With FIWARE as Enabling Technology. *IEEE Internet Computing* **26**, 7–14. doi:[10.1109/MIC.2021.3056923](https://doi.org/10.1109/MIC.2021.3056923) (2022).
9. Qiuchen Lu, V., Parlikad, A. K., Woodall, P., Ranasinghe, G. D. & Heaton, J. *Developing a dynamic digital twin at a building level: Using Cambridge campus as case study in International Conference on Smart Infrastructure and Construction 2019 (ICSIC) Driving data-informed decision-making* (2019), 67–75. doi:[10.1680/icsic.64669.067](https://doi.org/10.1680/icsic.64669.067).
10. Redelinghuys, A., Basson, A. & Kruger, K. in. Accessible via researchgate, 412–423 (Jan. 2019). doi:[10.1007/978-3-030-03003-2\\_32](https://doi.org/10.1007/978-3-030-03003-2_32).
11. IBM. *Was ist Deep Learning?* Zuletzt zugegriffen: 06.06.2023. <https://www.ibm.com/de-de/topics/deep-learning>.

12. Lemke, C. *Reinforcement Learning: Kompakt erklärt* Zuletzt zugegriffen: 17.08.2023. 2023. <https://www.alexanderthamm.com/de/blog/einfach-erklart-so-funktioniert-reinforcement-learning/>.
13. Lambert, N., Castriato, L., von Werra, L. & Havrilla, A. *Illustrating Reinforcement Learning from Human Feedback (RLHF)* Zuletzt zugegriffen: 02.08.2023. 2022. <https://huggingface.co/blog/rlhf>.
14. Modasara, B. *Reinforcement Learning – Framework und Anwendungsbeispiel* Zuletzt zugegriffen: 20.08.2023. 2023. <https://www.alexanderthamm.com/de/blog/reinforcement-learning-framework-und-anwendungsbeispiel/>.
15. Kaelbling, L. P., Littman, M. L. & Moore, A. W. Reinforcement learning: A survey. *Journal of artificial intelligence research* **4**, 237–285. doi:<https://doi.org/10.1613/jair.301> (1996).
16. Lapan, M. *Deep Reinforcement Learning. Das Umfassende Praxis-Handbuch: Moderne Algorithmen fuer Chatbots, Robotik, Diskrete Optimierung und Web-Automatisierung inkl. Multiagenten-Methoden* ISBN: 9783747500361 (MITP-Verlags GmbH & Co. KG, 2020).
17. *Backpropagation* Zuletzt zugegriffen: 17.08.2023. <https://www.alexanderthamm.com/de/data-science-glossar/backpropagation/>.
18. Eirinakis, P. u. a. *Enhancing Cognition for Digital Twins* in *2020 IEEE International Conference on Engineering, Technology and Innovation (ICE/ITMC)* (2020), 1–7. doi:[10.1109/ICE/ITMC49519.2020.9198492](https://doi.org/10.1109/ICE/ITMC49519.2020.9198492).
19. Liu, Z., Meyendorf, N. & Mrad, N. The role of data fusion in predictive maintenance using digital twin. *AIP Conference Proceedings* **1949**. 020023. ISSN: 0094-243X. doi:[10.1063/1.5031520](https://doi.org/10.1063/1.5031520) (Apr. 2018).