

DIGITALE PATIENT:INNEN-ZWILLINGE



© pixabay.com/PublicDomainPictures

ZUSAMMENFASSUNG

Das Konzept der Digitalen Zwillinge (digital twins) beschreibt eine Repräsentanz eines realen Objekts in der virtuellen Welt und kann als Weiterentwicklung bestehender Modellierungen verstanden werden, die es ermöglicht, den Zustand des realen Objekts in Echtzeit zu überwachen und nötigenfalls steuernd einzutragen. Darüber hinaus können an Digitalen Zwillingen die Auswirkungen von Veränderungen am realen Objekt getestet werden. Dazu gibt es bereits viele Anwendungen, etwa in Laboren, der Stadt- und Verkehrsplanung oder der Logistik. Während in diesen Bereichen die Digitalen Zwillinge in einem frühen Entwicklungsstand schon seit einigen Jahren im Einsatz sind, wird ihre Anwendung nunmehr zunehmend für medizinische Zwecke erforscht. Dort gibt es schon länger Digitale Zwillinge bestimmter Organe, wie Herz oder Leber. Die Vision für die Zukunft ist jedoch die Modellierung des gesamten menschlichen Organismus.

*Digitale Zwillinge
als Instrument zur
Bewältigung vieler
komplexer
Herausforderungen*

ÜBERBLICK ZUM THEMA

Digitale Zwillinge sind ein Konzept zur Modellierung realer Objekte in digitalen Systemen. Sie sollen eine gesamte oder auf Teilbereiche fokussierte Darstellung der Realität ermöglichen. Das Ziel ist, die relevanten Aspekte der Wirklichkeit möglichst detailgetreu wiederzugeben, um in weiterer Folge Veränderungen oder Anpassungen zunächst am Modell auszuprobieren zu können, bevor man (kostspielige oder riskante) Veränderungen in der Realität vornimmt. Auch eine Steuerung des realen Objekts über den Zwilling auf Basis von Sensordaten über das reale Objekt ist oft Teil dieser Beziehung zwischen Objekt und Digitalem Zwilling. In manchen Definitionen spielt auch ein zeitlicher Faktor eine Rolle, demzufolge man erst von einem Digitalen Zwilling spräche, wenn das Modell über den gesamten Lebenszyklus des realen Objekts bestehen bliebe und Daten mit diesem austauschte (siehe dazu auch: Singh et al 2021).

Das Konzept findet in verschiedenen Bereichen Anwendung: in der Medizin¹, in der Stadtplanung, in industriellen Fertigungsprozessen u.v.m. Der wichtigste Unterschied zu bisher genutzten Modellen besteht in dem in (nahezu) Echtzeit erfolgenden Datenaustausch mit dem realen Objekt, dessen Darstellung der Digitale Zwilling ist. In herkömmlichen, statischen Modellen werden zwar die Eigenschaften aus der Realität übernommen, es erfolgen aber keine (bidirektionalen) kontinuierlichen Updates der Parameter; auch ist eine Steuerung des realen Objekts über ein statisches Modell nicht vorgesehen. Im Vergleich dazu beschreibt der Begriff des Digitalen Schattens eine virtuelle Darstellung eines realen Objekts, das nur unidirektional, von der Realität zum Modell, mit Daten versorgt wird.² Allein das Messen von Parametern eines Objekts oder Prozesses und deren anschließende Visualisierung genügen jedoch nicht, um von einem Digitalen Zwilling zu sprechen, da es sich hierbei um kein Modell handelt. Der Unterschied zu einer Simulation mag fließend sein, wird jedoch meist über den Maßstab bestimmt. So spezialisiert sich eine Simulation auf einen ganz bestimmten, veränderlichen Aspekt, wohingegen Digitale Zwillinge umfassender sein sollen, also auch unterschiedliche oder mehrere Simulationen parallel durchführen könnten.³

Aktuell werden Digitale Zwillinge häufig in der Medizin diskutiert (Digitale Patient:innen-Zwillinge oder Human/Health Digital Twins, HDT) und erforscht. Hier geht es vor allem um das digitale Abbild einer Person, mit der Möglichkeit, komplexe Zusammenhänge und Wechselwirkungen zu simulieren; es geht freilich im Gegensatz zur Definition für andere Anwendungsfelder jedoch nicht darum, dass das Modell die reale Person steuert (siehe Sun et al 2023). Sehr wohl ist jedoch ein gezielter Eingriff in bestimmte Systeme, wie Herzschrittmacher oder Insulinpumpen, vorstellbar.

Was sind Digitale Zwillinge ...

... und wie werden diese von ähnlichen Konzepten abgegrenzt?

z. B. Digitaler Schatten

z. B. Simulation

Digitale Patient:innen-Zwillinge

¹ Siehe auch: [Datengebundene Medizin](#) und [Automatisiertes Gesundheitsdatenmonitoring](#).

² Bisweilen wird auch die Summe aller über eine Person verfügbaren und in einem Profil gespeicherten Daten als Digitaler Schatten bezeichnet.

³ Zum Verhältnis von Smart Spaces und Digitalen Zwillingen siehe hier: [Smart Spaces und Digital Twins](#).

Man verspricht sich bspw. in der Therapie bestimmter Krebsarten große Erfolge davon, dass Daten über den Tumor, z. B. seine Gewebebeschaffenheit, gemeinsam mit anderen Daten der Patient:innen gemeinsam in einen Digitalen Zwilling eingespeist werden, sodass sich letztendlich im Modell erproben lässt, welche pharmazeutische oder Strahlentherapie den größten Effekt in der Behandlung hätte. Dadurch könnte man den Behandelten beschwerliche Therapieversuche mit schweren Nebenwirkungen ersparen. Nach ersten Ergebnissen aus einem diesbezüglichen Forschungsprojekt wird für ganz bestimmte Krebsarten davon ausgegangen, dass die aktuellen Modelle bereits in der Lage sind, besser als Menschen zu entscheiden, was die passende Therapie ist (75 % zu 53 % Wahrscheinlichkeit, dass die vorgeschlagene Therapie Erfolg hat). Die Forschenden nehmen an, dass bei erfolgreicher Weiterentwicklung der KI-Systeme ein Einsatz in Spitälern bereits in einigen Jahren möglich wäre.⁴ Auch Diabetes-Patient:innen könnten von Digitalen Zwillingen profitieren. So soll es auf Grund individueller Daten möglich werden, Folgeschäden der Krankheit schon frühzeitig erkennen und damit weitere Schädigungen auch vermeiden zu können.⁵ Weitere Hoffnungsgebiete sind Dermatologie und Kardiologie.

Bereits heute kommen Digitale Zwillinge in der Medizin bei der Entwicklung von Medikamenten zur Anwendung, wo sie analog zu Virtual Prototyping in der Industrie den Ressourcenaufwand bei der Entwicklung neuer Produkte, hier pharmazeutische Therapien, senken sollen. Durch den Digitalen Zwilling eines Organs oder Organsystems kann die Wechselwirkung mit dem Medikament vorab unter unterschiedlichen Rahmenbedingungen erprobt werden. Ziel ist es, die Präparate, die in klinische Tests kommen, auf wenige, vielversprechende zu reduzieren, womit die Ablehnungsrate (bspw. durch die Federal Drug Administration in den USA, wo sie bei 90 % liegt), sinken würde. Es ist auch angedacht, in klinischen Studien weniger Personen und mehr Digitale Zwillinge für Kontrollgruppen einzusetzen, sog. „*in silico clinical trials*“ (Venkatesh et al 2024).

Diese ersten Ziele des Einsatzes von Digitalen Patient:innen-Zwillingen umfassen freilich noch nicht, was sich viele von dem Konzept erhoffen. Die Abklärung in Bezug auf die *geeignete Therapieform bei bestimmten Krebsarten* ist ein Anfang. Letztendlich besteht jedoch die Hoffnung, dass es eines Tages über geeignete Sensoren möglich sein wird, den gesamten Organismus eines Menschen in Echtzeit zu modellieren (Tang et al 2024). Dadurch sollte es möglich sein, genetische Faktoren ebenso zu berücksichtigen wie bspw. Umwelteinflüsse, Vorerkrankungen oder die Wechselwirkungen mit anderen Substanzen. Dazu fehlt jedoch noch in vielen Bereichen ein genaueres Verständnis über die Funktionsweise und die komplexen Zusammenhänge im menschlichen Körper. Es wäre sozusagen das Optimum an personalisierter Medizin – aus Sicht der Patient:innen. Eine andere Vision für die Zukunft wäre bspw. die *Vorbereitung auf komplizierte Operationen*. Arzt oder Ärztin könnten sich anhand der Modelldaten ein Bild von den Spezifika der zu operierenden Person machen, verschiedene Ansätze ausprobieren und z. B. auch Prothesen bereits präzise vorab anfertigen lassen. Damit wären eine höhere Qualität des Operationsausgangs und eine raschere Heilung

*Hoffnungen
in den Bereichen*

Krebsbekämpfung

Diabetes

*Dermatologie und
Kardiologie*

*Medikamenten-
entwicklung*

*Die Umsetzung
des Konzepts in der
Medizin nimmt Fahrt
auf, ist aber länger
noch nicht in der Lage,
alle zugeschriebenen
Verheißen zu
erfüllen*

⁴ science.orf.at/stories/3227296/.

⁵ pwc.de/de/gesundheitswesen-und-pharma/pwc-studie-der-digitale-zwilling.pdf.

zu erwarten. In der *Prävention* könnte der Digitale Zwilling alle verfügbaren Messdaten eines Menschen gemeinsam mit statistischen Bevölkerungsdaten, individuellen Krankheitsverläufen, den Daten zu bestimmten Krankheitsbildern und Informationen über Therapieerfolge bei anderen verbinden und daraus präventive Maßnahmen ableiten, die insgesamt zu deutlich geringeren Behandlungskosten und einer gesünderen Bevölkerung beitragen könnten.⁶

Die Steigerung dessen wäre eine digitalisierte Bevölkerung, die sich aus allen Digitalen Zwillingen der Bewohner:innen eines Landes ergäbe. Davon erhofft man sich bei Krankheitswellen, dem Ausbruch einer Pandemie u.dgl.m. bessere Entscheidungsgrundlagen zu haben, weil neue Erkenntnisse sofort auf die Gesamtbevölkerung umgelegt werden könnten und damit bspw. Vorerkrankungen, Komorbiditäten oder genetische Prädispositionen sichtbar würden, die eine Person zum Mitglied einer vulnerablen Gruppe macht (Venkatesh et al 2024).

Aus der Sicht von Datenschutzexpert:innen ist die Beurteilung nicht ausschließlich positiv. Große Risiken ergeben sich aus der dafür nötigen Menge an sensiblen personenbezogenen Daten sowie der konstanten Überwachung der Körperfunktionen, welche eine breite Palette an missbräuchlichen Verwendungen ermöglichen. Die offenen Fragen in diesem Zusammenhang kreisen vor allem um den Zugriff auf die Daten und die Zweckbindung. Wer speichert die Daten? Bekommen alle „Gesundheitsdienstleister“ darauf Zugriff? Wie wird das zukünftig im European Health Data Space⁷ geregelt? Bekommen auch Versicherungen Zugriff auf die Daten? Dürfen diese basierend darauf zukünftig günstigere Prämien anbieten, wenn man Zugriff auf den eigenen Digitalen Zwilling gewährt? Wird Privatsphäre dadurch zu einem Luxusgut für Reiche? Auch das Prinzip der Datensparsamkeit⁸ wäre in so einem Fall vermutlich kaum mehr zu erfüllen, weil das System aus heutiger Sicht bessere Ergebnisse liefern wird, wenn möglichst umfangreich Daten eingespeist werden – insbesondere so lange, wie die relevanten Prozesse oder die verantwortlichen Kriterien für bestimmte Entwicklungen im menschlichen Körper noch unbekannt sind.

Generell betrachtet ist festzuhalten, dass für das Funktionieren Digitaler Zwillinge viele Daten nötig sind, die bisher noch nicht existieren (abgesehen von dem kleinen Beitrag, der über Fitness-Tracker und Smart Watches anfällt), die also eigens zu diesem Zweck zu erheben wären. Gleichzeitig gibt es verschiedene Akteure, die sehr gerne Zugriff auf die Daten hätten; nicht immer aus hehren Motiven. Wie ist also dieser enorme Datenberg sensibler Gesundheitsdaten vor unbefugtem Zugriff, Missbrauch und unerlaubter Veränderung zu schützen? Die verantwortungsvolle Datenverwendung ist im medizinischen Bereich von entscheidender Bedeutung, damit nicht Grundrechte einer verbesserten Effizienz im Gesundheitswesen geopfert werden. Die Abwägung zwischen datenschutzrechtlichen Eingriffen und möglicherweise gesteigerter Effektivität in der Prävention und Behandlung müsste in einer breiten gesellschaftlichen Diskussi-

Vision: vollständig digitalisierte Bevölkerung

Ist das unter Einhaltung der Datenschutzvorgaben möglich?

Neue Sammlungen sensibler personenbezogener Daten sind zu erwarten

⁶ siemens-healthineers.com/deu/perspectives/digital-patient-twin.

⁷ Europäische Kommission zum EHDS: [European Health Data Space](https://ec.europa.eu/health/european_health_data_space_en).

⁸ Es werden nur so viele Daten erhoben und verarbeitet, wie zur Erreichung des Zwecks unbedingt erforderlich sind.

on erörtert werden. Dabei ist auch auf Aspekte wie Gerechtigkeit und Nicht-Diskriminierung zu achten. Der Zugang zu den Vorteilen Digitaler Zwillinge sollte allen gleichermaßen ermöglicht werden. Darüber hinaus ist dafür Sorge zu tragen, dass sich durch einen Bias in den Trainingsdaten für die KI, bspw. eine Unterrepräsentation bestimmter Bevölkerungsgruppen, der Nutzen nicht nur für die Mehrheitsbevölkerung materialisiert.

Weiters ist zu fragen, wie ein Plan B aussehen könnte und wie man sich darauf vorbereiten würde. Bei einer so weitgehenden Integration dieser Systeme ins Gesundheitswesen ist jedenfalls zu überlegen, was bei unzuverlässigem Funktionieren dieser Systeme die Rückfallebene darstellt.

Neue Abhängigkeiten

RELEVANZ DES THEMAS FÜR DAS PARLAMENT UND FÜR ÖSTERREICH

Österreich kann von den Möglichkeiten Digitaler Zwillinge und deren Entwicklung profitieren. In vielen anderen Bereichen gibt es auch in Österreich schon Anwendungen im produktiven Einsatz. Auch die Forschung dazu wird durch die Forschungsförderungsgesellschaft unterstützt. Das Gesundheitssystem würde bei Erfüllung der hochgesteckten Erwartungen ebenso leistungsfähiger und effizienter wie es auch auf der individuellen Ebene für Patient:innen Vorteile brächte. Ebenso würde der Produktions- und Forschungsstandort Österreich durch hohe Kompetenz auf dem Gebiet attraktiver. Dabei böte sich die Gelegenheit die Kompetenzen im Bereich KI, medizinischer Forschung und Systemmodellierung zusammenzuführen. Eventuell würde im Zuge dieser Arbeiten auch sichtbar, welche Daten vorhanden und nutzbar sind, wo es vielleicht weiterer Erhebungen bedarf oder wo es an Standardisierung bei der Erhebung und Verarbeitung mangelt.⁹ Auch der in Österreich starke Bereich der molekular-biologischen/medizinischen Forschung könnte von einem Fokus auf die Entwicklung Digitaler Zwillinge stark profitieren.

*Mehr Lebensqualität
für Patient:innen und
geringere Kosten im
Gesundheitsbereich*

Das Parlament ist hier auf zwei Ebenen betroffen. Einerseits ginge es darum, die Entwicklung ggfs. stärker zu fördern, Forschungsförderung und Innovationsanreize anzustoßen. Andererseits ist es wichtig darüber zu wachen, dass die Verarbeitung der Daten, die zum Einsatz kommen und von den jeweiligen Akteuren in Entwicklung und Betrieb dieser Systeme genutzt werden, nur unter Einhaltung aller datenschutzrechtlichen Vorgaben erfolgt. Dazu ist es eventuell nötig, Kompetenzen und Ressourcen der überwachenden Behörden zu stärken.

⁹ Vgl. dazu die Situation während der Covid-19-Pandemie: Es ist davon auszugehen, dass auch in einigen anderen Bereichen keine bundesweit einheitliche Strategie zur Datenerfassung besteht, die über das hinausgeht, was von der Statistik Austria erhoben wird.

VORSCHLAG WEITERES VORGEHEN

In einem ersten Schritt könnte das in Österreich zu dem Thema vorhandene Wissen und Potenzial erhoben werden. Eine bessere Vernetzung der relevanten Akteure erscheint ebenfalls sinnvoll.

Im Bereich der Verarbeitung sensibler personenbezogener Gesundheitsdaten aus der Medizin bzw. zu medizinischen Zwecken ist es wichtig, Vorgaben zu erarbeiten, die Entwickler:innen dabei unterstützen, eine datenschutzkonforme Umsetzung ihrer Projekte in marktreife Produkte zu erreichen. Eine Grundvoraussetzung dafür wäre jedoch, zunächst Wege der Umsetzung Digitaler Zwillinge zu erarbeiten, die den gesellschaftlichen Erwartungen und den regulatorischen Rahmenbedingungen entsprechen. Dabei geht es um ethische Fragen, wie bspw. Grenzen des Einsatzes Digitaler Zwillinge, einen gleichberechtigten Zugang aller Menschen zu den Vorteilen dieser Technologie, Datenschutz und Nicht-Diskriminierung. Die konkreten Voraussetzungen, unter denen die grundrechtskonforme Anwendung dieser Konzepte auf Gesundheitsdaten akzeptabel ist, könnten in einer vertiefenden Studie für Österreich unter Einbindung aller Stakeholder erarbeitet werden. Sollte der Gesetzgeber oder die Verwaltung das Thema zu einem Forschungsschwerpunkt in Österreich machen wollen, wäre auch die Erstellung einer Strategie zu Digitalen Zwillingen und einer damit verbundenen Roadmap zur Erreichung der gesteckten Ziele in allen Bereichen sinnvoll.

Ist-Zustandserfassung und Einsatzrichtlinien wären für eine Weiterentwicklung von großer Bedeutung ...

... dazu könnten Faktoren für Effektivität und Akzeptanz Digitaler Zwillinge erforscht werden

Um die Chancen auf Akzeptanz und Erfolg des Konzepts zu erhöhen bedarf es aber nicht nur einer Lösung für das entstehende Datenschutzproblem. Auch eine Standardisierung Digitaler Zwillinge, die Interoperabilität und einen nachhaltigen Betrieb ermöglicht, wäre hierfür wichtig. Der Betrieb und die Entwicklung aktueller KI-Systeme braucht sehr viel Energie. Daher sollte bis zum Erreichen der Vision eines vollständigen Digitalen Zwillingen für alle entweder der Verbrauch drastisch sinken oder die CO₂-neutrale Produktion aus erneuerbaren Quellen entsprechend ansteigen.

ZITIERTE LITERATUR

- Grieves, M.W. (2005). Product lifecycle management: the new paradigm for enterprises. *Int. J. Product Development*, vol. 2:1, 2.
- Singh, M., Fuenmayor, E., Hinchy, E.P., Qiao, Y.; Murray, N., Devine, D. (2021). Digital Twin: Origin to Future. *Appl. Syst. Innov.*, 4, 36., doi.org/10.3390/asi4020036.
- Sun T., He X., Li Z. (2023). Digital twin in healthcare: Recent updates and challenges. *Digital Health* 2023/9. doi:10.1177/20552076221149651.
- Tang, C., Yi, W., Occhipinti, E. et al. (2024). A roadmap for the development of human body digital twins. *Nat Rev Electr Eng* 1, 199–207. doi.org/10.1038/s44287-024-00025-w.
- Venkatesh, K.P., Brito, G., Kamel Boulos, M.N. (2024). Health Digital Twins in Life Science and Health Care Innovation. *Annual Review of Pharmacology and Toxicology*, Vol. 64, 159-170. doi.org/10.1146/annurev-pharmtox-022123-022046.