

Öffnen der „Black Box“

Das Ebenbuild-Forschungsprogramm zielt darauf ab, Ärzten zum allerersten Mal personalisierte digitale Zwillinge der menschlichen Lunge zur Verfügung zu stellen. Der Ebenbuild-Prototyp hat das Potenzial, die mechanische Beatmungstherapie zu verändern und könnte so die Überlebens- und Erholungsraten von Patienten mit akutem Atemnotsyndrom (Acute Respiratory Distress Syndrome, ARDS) verbessern.

Autoren Kurzfassung

Dr. Jonas Biehler
CTO und Mitgründer von
Ebenbuild

Dr. Kei W. Müller
CEO und Mitgründer von
Ebenbuild

Die Covid-19-Pandemie hat die Aufmerksamkeit der Weltöffentlichkeit auf die wertvolle Arbeit der Ärzte auf den Intensivstationen gelenkt. Ohne die mechanische Beatmungstherapie wären viel mehr Patienten mit akutem Atemnotsyndrom (ARDS) aufgrund von Covid-19-Komplikationen und anderen Ursachen verstorben.

Angesichts der Geräte, die den Ärzten für die Beatmungstherapie zur Verfügung stehen, ist ihr Erfolg bei der Behandlung der Patienten umso beeindruckender. Derzeit haben Ärzte und Pflegepersonal kaum eine Möglichkeit, die Auswirkungen der mechanischen Beatmung auf die verschiedenen Teile der Lunge eines Patienten zu verstehen. Sie stützen sich bei der Behandlung auf einfache schriftliche Formeln, ihre Erfahrungen und in vielen Fällen auf Versuch und Irrtum.

Dank eines bahnbrechenden Forschungsprogramms von Ebenbuild, bei dem Patientendaten mit komplexen Algorithmen des maschinellen Lernens und physikalischen Computersimulationen kombiniert werden, könnte die ARDS-Behandlung jedoch revolutioniert werden. Durch das Öffnen der „Black Box“ – die menschliche Lunge – könnten Ärzte die Beatmungstherapie personalisieren, um deutlich mehr ARDS-Patienten zu einer vollständigen Genesung zu verhelfen.

Unternehmerische Herausforderung: Verbesserung der Überlebens- und Genesungschancen von ARDS-Patienten

Erkrankungen der Atemwege sind auf dem Vormarsch. Die chronisch obstruktive Lungenerkrankung (COPD), zu der chronische Bronchitis und Emphyse gehören, ist die vierthäufigste Todesursache in den USA¹. Auch Fälle von Tuberkulose, Bronchiektasie und Mukoviszidose nehmen zu. Zusammen mit der Covid-19-Pandemie hat diese Welle an Lungenerkrankungen Intensivmediziner, die Atemwegserkrankungen behandeln, überrollt.

2020 litten schätzungsweise acht Millionen Menschen an ARDS – einem lebensbedrohlichen Zustand, bei dem Flüssigkeit in die Lunge eintritt. Weitere 40 Prozent der Fälle blieben unerkannt². Diese Fälle von ARDS stellen eine enorme Belastung für die Intensivstationen dar, da alle ARDS-Patienten mechanisch beatmet werden müssen. Und leider ist die Sterblichkeitsrate bei ARDS trotz aller Bemühungen der Intensivmediziner weiterhin hoch. Mehr als zwei Millionen erfasste ARDS-Patienten sterben jedes Jahr³. Von den Überlebenden werden weitere zwei Millionen an chronischen Krankheiten leiden, unter Umständen für den Rest ihres Lebens⁴. Und einige werden lang anhaltende physische und psychische Nebenwirkungen haben und nicht mehr arbeiten können⁵.



Snapshot der Simulation eines digitalen Lungenzwillings. Die Einfärbung zeigt verschiedene Abstufungen der Luftströmungsgeschwindigkeit und der Gewebedehnung an.



Abbildung 1: Das akute Atemnotsyndrom ist ein lebensbedrohlicher Zustand, bei dem sich die Lunge stark entzündet und den Körper nicht mehr ausreichend mit Sauerstoff versorgen kann.

Obwohl Covid-19 derzeit die häufigste Ursache für ARDS ist – bis zu 67 Prozent der Intensivpatienten mit Covid-19 entwickeln diese Erkrankung⁶ – gibt es viele andere Gründe, warum Patienten ARDS entwickeln. Dazu gehören Lungenentzündungen, Lungenblutungen, Traumata, Verbrennungen, Schockzustände, Transfusionen, Sepsen und Aspirationen. Eine der überraschendsten Ursachen von ARDS ist jedoch die Behandlung selbst – die mechanische Beatmung. Etwa einer von vier mechanisch beatmeten Patienten entwickelt aufgrund unzureichender Behandlung ARDS⁷. Die Ursache liegt in erster Linie nicht beim Arzt, sondern bei den Geräten.

Ärzte in der klinischen Versorgung tun das Beste, was sie mit den ihnen zur Verfügung stehenden Mitteln tun können. Allerdings fehlt ihnen oft die Ausrüstung, die ihnen Aufschluss darüber gibt, wie die Lunge des Patienten auf die Beatmung reagiert. Derzeit stützen sie sich meist auf einfache Formeln, um zu berechnen, wie viel Luft ein Patient zum Atmen braucht, und stellen das Beatmungsgerät dementsprechend ein. Davon ausgehend verlassen sich Ärzte oft auf ihre Erfahrung und das Versuchs-Irrtums-Prinzip, um die Einstellungen des Beatmungsgeräts iterativ auf die Bedürfnisse des Patienten abzustimmen. Die Auswirkungen ihrer Behandlung auf das Innere der Lunge sind für sie kaum sichtbar. Diese fehlende Sichtbarkeit der durch das Beatmungsgerät verursachten Überdehnung der Lunge kann zu Lungenschäden, Entzündungen und sogar zum Tod führen.

Ärzte in der klinischen Versorgung benötigen dringend eine Bildgebungslösung, die ein klares Bild vom Inneren der Lunge liefert, damit sie die mechanische Beatmung jedes einzelnen Patienten verbessern können. Durch die Verringerung der durch das Beatmungsgerät verursachten Lungenschäden könnten Ärzte die Überlebens- und Genesungsraten von ARDS-Patienten erhöhen.

Präzise Beatmungstherapie

Ebenbuild, ein Anbieter von Gesundheitstechnologie, hat ein Forschungsprogramm gestartet, um die Überlebens- und Heilungschancen von Menschen zu erhöhen, die aufgrund von ARDS künstlich beatmet werden müssen. Bislang hatten Ärzte in der klinischen Versorgung nur wenig Einblick in das Innere der Lunge eines Patienten. Die Lunge war in jeder Hinsicht eine „Black Box“. Nach dem Forschungsprogramm hofft Ebenbuild, dass dies nicht mehr der Fall sein wird. Ebenbuild möchte Ärzten präzise Informationen und Daten aus dem Inneren der Lunge zur Verfügung stellen, damit sie das bestmögliche Beatmungsprotokoll für jeden einzelnen Patienten festlegen können. Nicht nur in Fachkliniken, sondern zu jeder Zeit in jedem Krankenhaus.

Im Folgenden wird beschrieben, wie die Lösung von Ebenbuild, die auf einem digitalen Zwilling basiert, funktionieren könnte. Der Arzt erfasst am Krankenbett des Patienten eine Abfrage über eine Webanwendung– siehe Abbildung 2. Bei dieser Abfrage werden die elektronischen Krankenakten, CT-Scans und andere medizinische Bilder des Patienten automatisch über einen so genannten VPN-Kanal (Virtual Private Network) in die Cloud hochgeladen. An dieser Stelle würde die Ebenbuild-Lösung diese Daten mit Algorithmen des maschinellen Lernens verarbeiten, um einen personalisierten digitalen Zwilling der Lunge des Patienten zu erstellen. Die Technologie, die hinter diesem digitalen Zwilling steckt, nutzt erweiterte numerische Simulationsalgorithmen. Mechanisch verhält sich dieser Zwilling genau wie sein reales Gegenstück und liefert den Ärzten ein detailliertes Bild vom Zustand der Lungenfunktion und -mechanik des Patienten. Zurzeit dauert es etwa 30 Minuten, bis die Lösung, die noch verbessert wird, diese Informationen liefert. Langfristig wird eine Lösung angestrebt, die diese Ergebnisse nahezu in Echtzeit an das Patientenbett liefert. Mithilfe des digitalen Zwillings könnten die Ärzte die erkrankten Lungenregionen schnell identifizieren und das Ausmaß der durch das aktuelle Beatmungsmuster verursachten Lungenschäden quantifizieren. Der Arzt könnte diese Informationen dann nutzen, um die Einstellungen des Beatmungsgeräts entsprechend den Bedürfnissen des Patienten zu optimieren.

Ziel des Forschungsprogramms: eine effektivere und effizientere Behandlung

Zum ersten Mal könnten Ärzte schnell reagieren, um die Beatmungstherapie zu personalisieren und so die Lungenschäden bei ARDS-Patienten zu minimieren. Weniger Lungenschäden und eine wirksamere Beatmung könnten es den Ärzten ermöglichen, die Patienten schneller wieder vollständig zu heilen. Eine wirksamere Behandlung könnte die Überlebenschancen erhöhen und die langfristigen physischen und psychischen Nebenwirkungen von ARDS für die Patienten und die Gesellschaft als Ganzes minimieren. So können beispielsweise allein in Deutschland schätzungsweise 25.000 Menschen nach einer mechanischen Beatmung aufgrund von ARDS nicht an ihren Arbeitsplatz zurückkehren⁵. Die Wiedereingliederung dieser Menschen in das Erwerbsleben könnte für ihr Wohlbefinden von großem Nutzen sein und dazu beitragen, den Druck auf das Sozialwesen zu verringern.

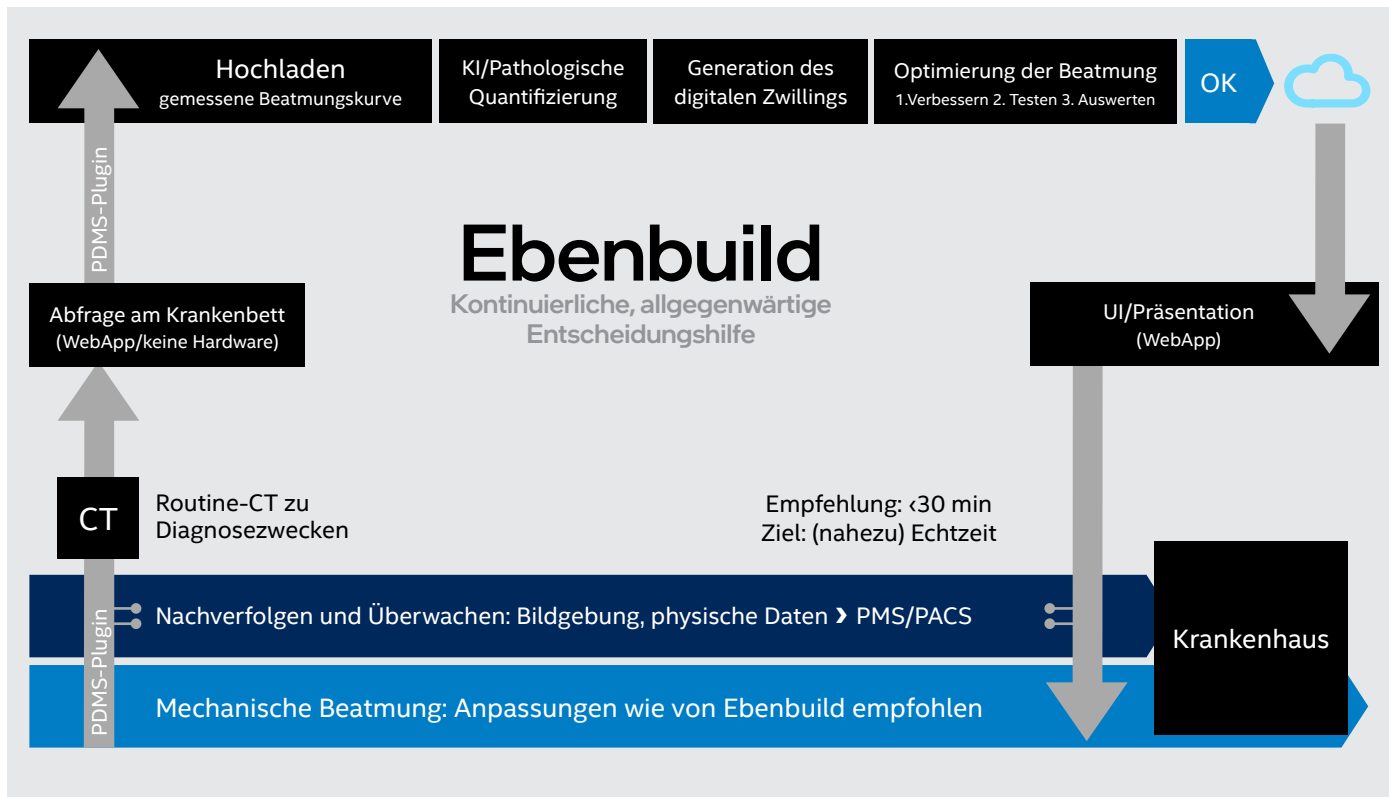


Abbildung 2: Der Prototyp der Ebenbuild-Lösung zielt darauf ab, Ärzten maßgeschneiderte Empfehlungen für die mechanische Beatmung zu geben, um die Behandlung jederzeit und in jedem Krankenhaus zu unterstützen.

Da sie ein Bild von der Lunge des Patienten hätten, könnten Ärzte die Beatmungstherapie im Krankenhaus mit größerer Sicherheit durchführen. Sie könnten effektiver und produktiver arbeiten und klinische Entscheidungen beschleunigen. Ebenbuild geht davon aus, dass die Ärzte die Zeit für die Einrichtung des Beatmungsgeräts verkürzen und die Anzahl der Neueinstellungen des Geräts minimieren könnten.

Für die Leistungserbringer im Gesundheitswesen könnte eine höhere Effizienz Kostensenkungen bedeuten. Je effektiver die Ärzte einen ARDS-Patienten behandeln können, desto schneller können sie die mechanische Beatmung wieder einstellen. Ebenbuild geht davon aus, dass Ärzte und Pflegepersonal die durchschnittliche Beatmungsdauer pro Patient um zwei bis vier Tage verkürzen könnten, was zu Kosteneinsparungen in der Akutversorgung von bis zu 6.000 EUR pro Patient führen könnte⁸. Da Gesundheitsdienstleister in Regionen wie den Vereinigten Staaten (USA) und der Europäischen Union (EU) einen festen Betrag für die Behandlung jedes ARDS-Patienten erstattet bekommen⁹, egal wie lange die Behandlung dauert, könnten sie das übrig gebliebene Geld für die Behandlung anderer Patienten verwenden.

Architektur des Forschungsprogramms: personalisierter digitaler Zwilling

Das Ebenbuild-Forschungsprogramm läuft in der öffentlichen Cloud. Die dynamisch erweiterbare Rechenleistung würde Ebenbuild in die Lage versetzen, jede resultierende Lösung effizient und bedarfsgerecht zu skalieren – ein entscheidender Vorteil, besonders während einer globalen Pandemie.

Mithilfe der Intel® Distribution des OpenVINO™ Toolkits optimierten die Entwickler von Ebenbuild die vortrainierten Inferenzmodelle für künstliche Intelligenz (KI), um die Ausführung auf Intel® Hardware zu gewährleisten und dabei die Leistung des Computer-Vision-Clusters

zu beschleunigen.

Für die schnelle Datenverarbeitung und Visualisierung im Simulationscluster verwendete Ebenbuild die Intel® Math Kernel Library (Intel® MKL) und den Intel C++ Compiler, um seine Anwendung für den Intel® Xeon® Platinum 8174 Prozessor zu optimieren.

Confidential Computing, das auf Intel® Software Guard Extensions (Intel® SGX) basiert, ermöglicht es Ebenbuild, Daten aus verschiedenen Quellen zu verarbeiten und in die Cloud zu übertragen, ohne dass diese Daten – selbst für die Cloud-Administratoren – sichtbar sind.

„ Dank Confidential Computing, das auf Intel® Software Guard Extensions läuft, können wir Leistungserbringern im Gesundheitswesen versichern, dass der Datenschutz, die Vertraulichkeit und die Integrität sensibler Patientendaten gewahrt bleiben. “

Dr. Kei W. Müller,
CEO und Mitgründer von Ebenbuild

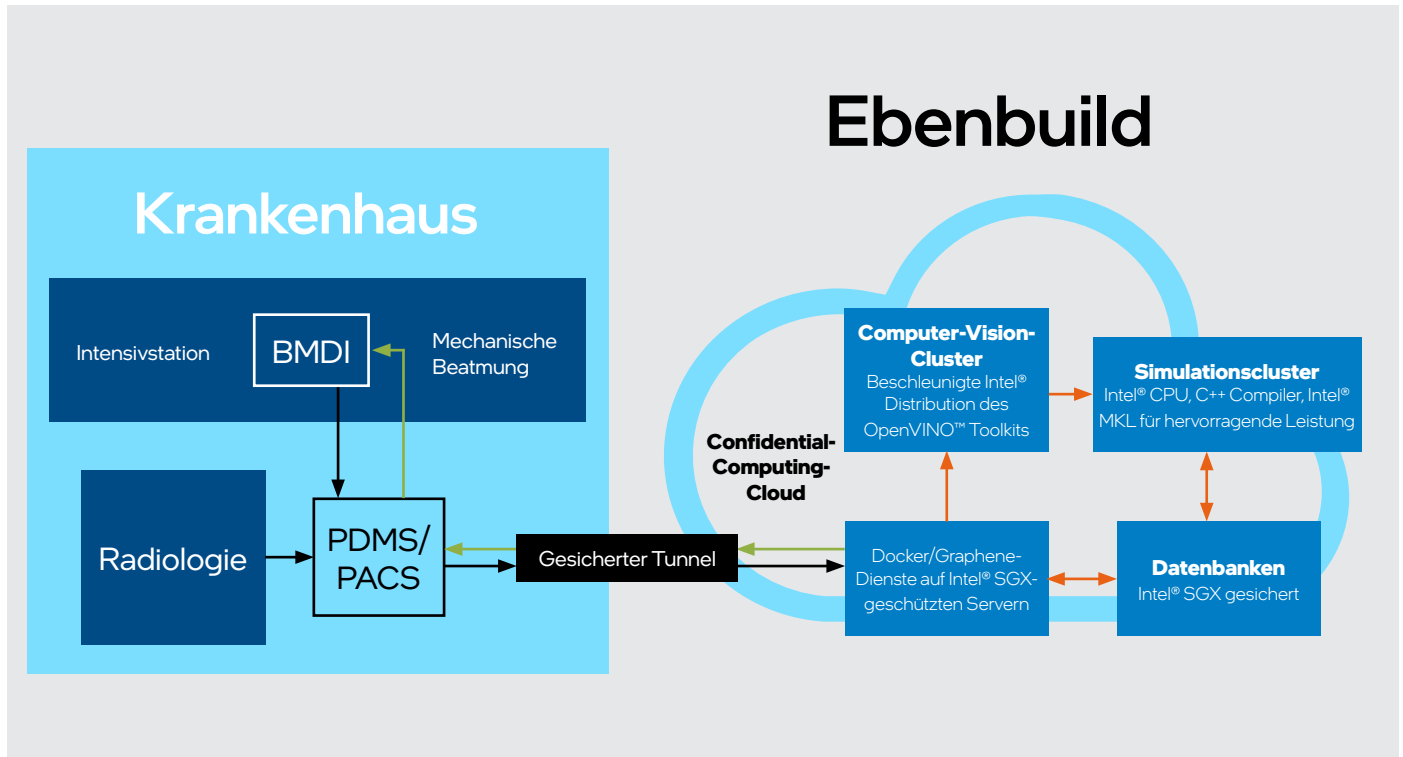


Abbildung 3: Der Prototyp der Software-as-a-Service-Lösung (SaaS) von Ebenbuild läuft in der öffentlichen Cloud und bietet so eine optimierte Leistung und hohe Skalierbarkeit.

Ebenbuild war einer der Begünstigten der „Covid-19 Response and Readiness“-Initiative von Intel. Dank dieser finanziellen Unterstützung konnte Ebenbuild seine Forschung im Bereich des maschinellen Lernens beschleunigen und eine Testumgebung für das Forschungsprogramm zur Quantifizierung der potenziellen Schäden von Covid-19 an der menschlichen Lunge einrichten.

Fazit

Derzeit hängt der Erfolg der mechanischen Beatmungstherapie vom Fachwissen und der Erfahrung des behandelnden Arztes ab. Indem Ebenbuild Ärzten und Pflegepersonal eine Beurteilung des Lungenzustands eines Patienten zur Verfügung stellt, will es die Qualität und das Ergebnis der Behandlung von Patienten verbessern – zu jeder Zeit und in jedem Krankenhaus. Auch die Leistungserbringer im Gesundheitswesen könnten von Effizienzsteigerungen und Kosteneinsparungen profitieren.

Ebenbuild wird demnächst in die klinische Erprobung gehen und bemüht sich um die Zulassung durch die Aufsichtsbehörden. Der Markteintritt ist für Mitte 2023 geplant. Darüber hinaus plant das Unternehmen, die Nutzung seines Forschungsprogramms zum digitalen Zwilling auszuweiten. Erstens, um verschiedene Anwendungen abzudecken, wie z. B. die Optimierung der pulmonalen Medikamentenabgabe durch Inhalatoren und Vernebler. Und zweitens für die prädiktive Modellierung und Visualisierung weiterer Organe, wie z. B. der Leber.

Weitere Informationen

- Personalisierter digitaler Zwilling von Ebenbuild
- Intel® Distribution des OpenVINO™ Toolkits
- Intel® Software Guard Extensions (Intel® SGX)
- Skalierbare Intel® Xeon® Prozessoren

Finden Sie die passende Lösung für Ihr Unternehmen. Wenden Sie sich an Ihren Ansprechpartner bei Intel oder besuchen Sie intel.de/cloud und intel.de/AI.



¹ Chronic Obstructive Pulmonary Disease: An Overview: [https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4106574/#:~:text=Chronic%20obstructive%20pulmonary%20disease%20\(COPD,%2C%20cancer%2C%20and%20cerebrovascular%20disease.](https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4106574/#:~:text=Chronic%20obstructive%20pulmonary%20disease%20(COPD,%2C%20cancer%2C%20and%20cerebrovascular%20disease.)

² Definition and Epidemiology of Acute Respiratory Distress Syndrome: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5537110/>

³ Epidemiology, Patterns of Care, and Mortality for Patients with Acute Respiratory Distress Syndrome in Intensive Care Units in 50 Countries: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/26903337/>

⁴ Hochgerechnet mit den Inzidenzen und Berechnungen in „Epidemiology of Acute Lung Injury“ <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/12682453/> und „Incidence and Outcomes of Acute Lung Injury“ <https://www.nejm.org/doi/full/10.1056/NEJMoa050333>

⁵ Long-term Outcome After the Acute Respiratory Distress Syndrome: Different From General Critical Illness? <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/29189296/>

⁶ Risk Factors Analysis of COVID-19 Patients with ARDS and Prediction Based on Machine Learning: <https://www.nature.com/articles/s41598-021-82492-x>

⁷ Acute respiratory distress syndrome in mechanically ventilated patients with community-acquired pneumonia: <https://erj.ersjournals.com/content/51/3/1702215#:~:text=They%20reported%20that%20ARDS%20occurred,moderate%20and%20severe%20ARDS%2C%20respectively>

⁸ Die durchschnittliche Beatmungsdauer auf der Intensivstation bei ARDS beträgt etwa 14–17 Tage: <https://www.nejm.org/doi/full/10.1056/nejmoa050333>. Beim Einsatz von Entscheidungshilfesystemen bei der Beatmung von Patienten wurde eine Verkürzung um zwei bis vier Tage (oder um 12 bis 25 Prozent) festgestellt: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32878764/>. Die zusätzlichen Kosten für die Beatmung hängen vom Standort ab, liegen aber zwischen 1.000 und 2.000 EUR pro Tag: https://journals.lww.com/ccmjournal/Abstract/2005/06000/Daily_cost_of_an_intensive_care_unit_day__The.13.aspx. Legt man die durchschnittlichen Kosten von 1.500 EUR zugrunde, so entspricht eine Verkürzung der durchschnittlichen Beatmungsdauer auf der Intensivstation um zwei bis vier Tage einem Betrag von bis zu 6.000 EUR.

⁹ In allen wichtigen Gesundheitsversorgungsregionen, z. B. in den Vereinigten Staaten (USA) oder der Europäischen Union (EU), werden Behandlungen kodiert, z. B. durch Operations- und Prozedurenschlüssel (OPS) oder die internationale statistische Klassifikation der Krankheiten und verwandten Gesundheitsprobleme (ICD-10), die zu diagnosebezogenen Fallgruppen (DRGs) zusammengefasst werden. Welche Prozeduren in einer DRG enthalten sind, variiert von Region zu Region, aber das Prinzip ist dasselbe. Die Erstattungsbeträge werden auf der Grundlage einer (jährlich aktualisierten) Liste der kodierten Prozeduren/Behandlungen berechnet und auf einen bestimmten Betrag festgesetzt. In Fällen, in denen ein Patient in die eine oder andere DRG eingestuft werden kann, erhält das Krankenhaus einen Erstattungsbetrag.

Die digitale Zwillinglösung von Ebenbuild wird erst nach der Genehmigung durch die zuständige(n) Zulassungsbehörde(n) verfügbar sein.

Intel hat keinen Einfluss auf und keine Aufsicht über die Daten Dritter. Sie sollten andere Quellen heranziehen, um die Richtigkeit zu beurteilen.

Intel® Technik kann entsprechend geeignete Hardware, Software oder die Aktivierung von Diensten erfordern.

Kein Produkt und keine Komponente bietet absolute Sicherheit.

Kosten und Ergebnisse können variieren.

© Intel Corporation. Intel, das Intel Logo und andere Intel Markenbezeichnungen sind Marken der Intel Corporation oder ihrer Tochtergesellschaften. *Andere Marken oder Produktnamen sind Eigentum der jeweiligen Inhaber.