

Knowledge Graphen

Skalierbare Architektur für komplexe Digital Twins



Digital Twin © iStock/zssp, Lizenz erworben von Neo4j

Digitale Zwillinge gelten als Schlüsselkonzepte der Industrie 4.0. Doch mit steigender Komplexität von Anlagen und Systemen wachsen auch die Anforderungen an die Datenarchitektur. Graphtechnologie und Knowledge Graphen bieten hier Skalierbarkeit, Performance und Flexibilität sowie den nötigen Datenkontext.

Digitale Zwillinge sind digitale Abbilder oder Repräsentationen realer Assets und Prozesse. Dabei kann es sich um Produkte, Maschinen oder komplexe Systeme handeln, die in ein virtuelles Modell übertragen werden, um Optimierungspotenziale zu identifizieren. Mit ihrer Hilfe können Produktionsabläufe effizienter gestaltet, Anlagen kontinuierlich überwacht und vorausschauend gewartet werden. Durch die Simulation von Lieferketten lassen sich Engpässe und Störungen aufdecken, während Entwickler im virtuellen Produktdesign an Innovationen arbeiten.

Laut einer Bitkom Umfrage [1] sind 63 Prozent der Industrieunternehmen davon überzeugt, dass der digi-

tale Zwilling für ihre internationale Wettbewerbsfähigkeit unverzichtbar ist. In 44 Prozent der Unternehmen kommt bereits ein Digital Twin zum Einsatz.

Vernetzte Daten als Bausteine

Die Grundvoraussetzung für einen realitätsnahen digitalen Zwilling ist eine umfassende Datenbasis. Hersteller müssen heterogene Daten aus einer Vielzahl von IoT-Systemen und Datenbanken miteinander verknüpfen, fehlende Daten über Sensoren erfassen und einbinden sowie alle Daten in Echtzeit in den Zwilling übertragen. Auch äußere Einflüsse auf das physische Objekt müssen sich im virtuellen Modell wiederfinden.

Je komplexer die Maschinen, Produkte und Anlagen, desto größer sind die Herausforderungen für diese Datenarchitektur. In der Fertigung müssen sich Produktionssysteme und Fertigungslinien innerhalb kürzester Zeit modular umbauen, erweitern und hochskalieren lassen. Zudem wächst das Datenvolumen wie auch die Menge an Metadaten und Datenverbindungen.

Relationale Datenbanken

Herkömmliche relationale Datenbanken stoßen daher bei der Verarbeitung, Verknüpfung und Übertragung der Zwillingdaten schnell an ihre Grenzen. Sie modellieren Daten in Tabellen und Spalten und müssen für Verknüpfungen zeit- und rechenaufwändige Operationen (Joins) durchführen. Um vernetzte Daten – wie sie im Digital Twin vorkommen – mit der nötigen Skalierbarkeit, Performance und Flexibilität zu speichern und abzufragen, fällt die Wahl zunehmend auf Graphdatenbanken.

Datenmodell im Knowledge Graph

Graphdatenbanken sind dafür optimiert, vernetzte Daten abzubilden. Ihr zugrundeliegendes Datenmodell ist intuitiv verständlich: Sie organisieren Daten aus unterschiedlichen

Quellen und stellen sie als Knoten (zum Beispiel: Maschine, Person) dar. Die Knoten sind über Kanten (Beziehungen) verbunden. Sowohl den Knoten als auch den Kanten können beliebige Eigenschaften (Properties) zugeschrieben werden. Neue Daten lassen sich über das Knoten-Kanten-Prinzip einfach integrieren. Dabei bleibt die Performance selbst bei großen Datenvolumen hoch: Bei vielen Abfragen von vernetzten Daten sind Graphdatenbanken 1000-mal schneller als relational Datenbanken.

Knowledge Graphen

speichern dieses Modell aus Daten und Datenbeziehungen nach definierten, anwendungsspezifischen Organisationsprinzipien. Vereinfacht ausgedrückt heißt das: Die Daten werden nach bestimmten Regeln und Kategorien geordnet. Im Gegensatz zu einfachen Wissensdatenbanken mit flachen Strukturen und statischem Inhalt erfasst und integriert ein Knowledge Graph auch benachbarte oder über Kanten verbundene Informationen. So entsteht ein semantischer Kontext, der tiefe Einblicke erlaubt und neue Erkenntnisse zu Tage fördert.

Vielseitig einsetzbar

Knowledge Graphen kommen in einer Vielzahl von Anwendungen zum Einsatz. Sie übernehmen zudem eine wichtige Rolle für GenAI: Sie liefern den Large Language Modells (LLMs) zusätzliche Informationen sowie den nötigen Kontext, um Fragen besser zu beantworten. Die Antworten haben mehr Relevanz, gehen „näher“ auf die eigentliche Frage ein und reduzieren das Risiko von KI-Halluzinationen.

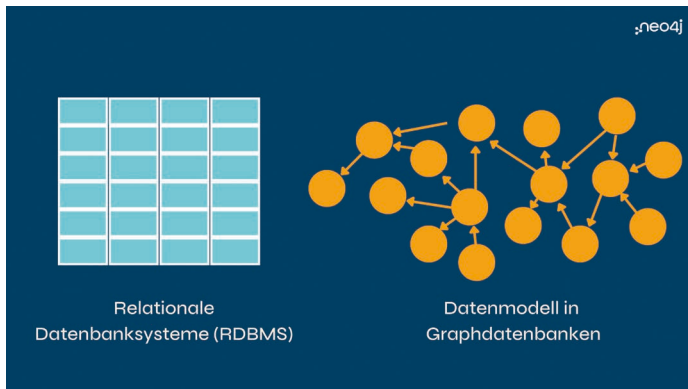
Einsatz in der Praxis

Für den digitalen Zwilling liefern Knowledge Graphen das (Daten) Gerüst, um hochgradig vernetzte Prozesse realitätsnah, ganzheitlich und in Echtzeit abzubilden. Anwendungsfälle finden sich entlang der kompletten Wertschöpfungskette.



Autorenfoto © Heiko Schönfelder

Autor:
Heiko Schönfelder
Head Of Sales DACH
Neo4j
<https://neo4j.com/>



Relationale Datenbanken versus Graphdatenbanken © Neo4j

Designphase

Produkte gewinnen an Komplexität, nicht zuletzt durch den steigenden Anteil an Software. Entwickler brauchen eine einfach zu navigierende Gesamtübersicht, um beispielsweise zu erkennen, wie einzelne Komponenten zusammenhängen und ob Sicherheits- oder Compliance-Lücken bestehen. Entwicklungstools greifen dabei meist auf unterschiedliche Datensätze (zum Beispiel ERP, DAM/PIM) zurück und erhalten nur Teilansichten.

Anders im graphbasierten digitalen Zwilling. Hier lassen sich alle Funktionalitäten und Komponenten eines Produkts mit ihren jeweiligen Abhängigkeiten virtuell abbilden, testen und verbessern. Steht ein Re-Design an, können Teams nachverfolgen, wie sich Änderungen auf die Gesamtfunktionalität, die Time-to-Market, die Kosten oder sogar die Nachhaltigkeit eines Produkts auswirken.

Produktdatenmanagement (PDM)

Die Konsolidierung von Produktdaten in einem Knowledge Graphen verändert das Produktdatenmanagement grundlegend. Entwickler, Produktmanager, Fertigungsingenieure und Supply Chain-Experten können auf eine zentrale Single-Source-of-Truth zurückgreifen – statt sich Stücklisten, CAD-Daten, 2D- und 3D-Daten und Fertigungsanweisungen erst mühsam zusammensuchen. Über vordefinierte Zugriffsrechte erhalten auch Fertigungspartner, Zulieferer und Prüfstellen Zugang. Das beschleunigt Prozesse und vereinfacht die Abstimmung.

Knowledge Graphen unterstützen auf diese Weise zum Beispiel

das Materialmanagement und liefern eine ganzheitliche Sicht auf Materialien, Produktionswerkzeuge, Inhaltsstoffe aber auch Qualitätsstandards und landespezifische Compliance-Vorschriften.

Produktionsplanung

Unternehmen nutzen Knowledge Graphen auch im Rahmen der Ressourcenallokation. Daten rund um Rohstoffe, BOMs, Volumenströme, Material- und Transportkosten sowie Lagerkapazitäten fließen im Graphen zusammen und bilden die Datengrundlage für einen digitalen Zwilling der Prozesskette. Da sich die vielschichtigen Abhängigkeiten zwischen den einzelnen Produktionsschritten im Graphmodell wiederfinden, können Anlagenbetreiber für jede Produktlinie Kosten-Nutzen-Rechnungen durchführen und die Profitabilität eines Produkts berechnen. Das erlaubt es, strategische Entscheidungen zu treffen, Energie- und Ressourceneffizienz sicherzustellen, den Durchsatz von Anlagen zu optimieren und in zunehmend volatilen Märkten dauerhaft wettbewerbsfähig zu bleiben.

Qualitätsmanagement

Batchfertigung, hohe Fertigungstiefe und verzweigte Lieferketten erfordern ein über den ganzen Produktionszyklus integriertes Qualitätsmanagement. In der Realität jedoch konzentrieren sich unterschiedliche Engineering-Teams auf unterschiedliche Komponenten und Subkomponenten und arbeiten nicht selten an verschiedenen Standorten. Die Fehleranalyse bleibt isoliert und ein Wissensaustausch bleibt aus.

Knowledge Graphen helfen Produkt-, Fertigungs- und Prozessdaten in einer Gesamtansicht zu

verknüpfen. Hersteller erkennen Produktfehler so nicht nur frühzeitig. Sie können die Fehlerursache dank des Knoten-Kanten-Prinzips auch bis auf die jeweilige Charge, das Material und so weiter zurückverfolgen. Graph-Analytik ermöglicht zudem tiefgehende Einblicke in die Daten. So können Unternehmen zum Beispiel Risk-Scores rund um die Fehleranfälligkeit von Komponenten oder Werkstoffen berechnen und eine Null-Fehler-Produktion sicherstellen.

Supply Chain Management

Globale Lieferketten sind dynamisch, störungsanfällig und oft wenig transparent. Werden Produktionsstandorte, Zulieferer, Logistikpartner und Transportwege in eine virtuelle „Landkarte“ übertragen, lassen sich unterschiedliche What-If-Szenarien simulieren und die Supply Chain optimieren. Umfassende Informationen über die jeweiligen Zulieferer fließen dabei genauso in den Graphen ein wie extern verfügbare, aktuelle Daten (wie wetterbedingte Störungen, politische Konflikte).

Komplexe Abfragen

Graph-Algorithmen erlauben komplexe Abfragen. Pathfinding-Algorithmen beispielsweise berechnen alternative Transportwege und berücksichtigen dabei anfallende Kosten, Dauer oder CO₂-Emissionsvolumen. Einkäufer und Supply Chain-Manager können dank der 360-Grad-Ansicht auf das Lieferantennetzwerk einfacher dem

wachsenden Compliance-Katalog (beispielsweise dem Lieferkettengesetz) nachkommen und ihre Supplier Discovery deutlich beschleunigen.

Fazit

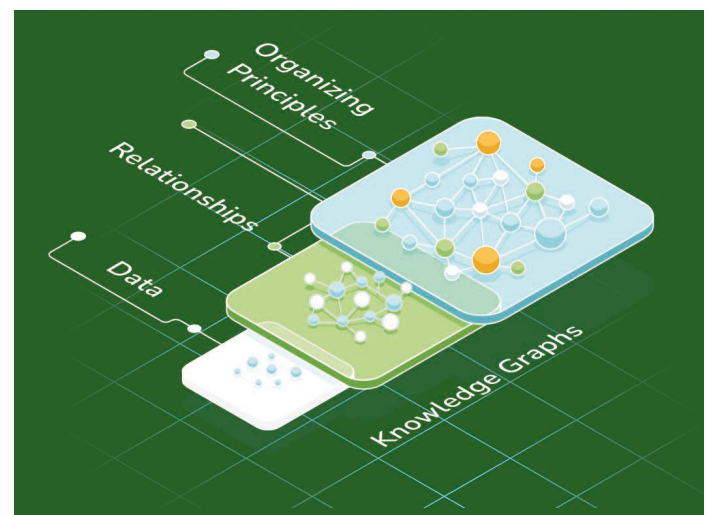
Digitale Zwillinge entwickeln sich in der Industrie zum Standard, um Abläufe zu optimieren, Kosten zu senken und Ressourcen zu schonen. Auch wenn der Weg zur komplett virtuellen Produktionsanlage vielleicht noch dauert – Konzepte und Use Cases liegen bereits vor. Viel hängt dabei auch von Fortschritten in der Computerleistung und Datenübertragungstechnik ab. Knowledge Graphen übernehmen hier eine zentrale Rolle, um physische Objekte und Prozesse in eine virtuelle Kopie zu überführen.

Quellenangaben

[1] Bitkom e. V.: <https://www.bitkom.org/Presse/Presseinformation/Digitale-Zwillinge-Industrie-Standard>

Wer schreibt:

Heiko Schönfelder ist Head Of Sales DACH bei Neo4j. Mit seinem Team unterstützt er Kunden dabei, Datenbank-Lösungen zu ersetzen und zu erweitern, Kosten einzusparen und mit der Graphdatenbank Neo4j echten Mehrwert aus Daten zu gewinnen. Er ist seit über 15 Jahren in der IT-Branche unterwegs und hat in verschiedenen Sales-Positionen in Unternehmen wie Elastic, Tibco, Jaspersoft und Liferay detailliertes Fachwissen im Bereich Open Source und NoSQL aufgebaut. ◀



Graphdatenbanken sind dafür optimiert, vernetzte Daten abzubilden © Neo4j