

Enterprise Knowledge Graphs (EKGs)

«Logic will get you from A to B. Imagination will take you everywhere.»

Albert Einstein

Emanuele Laurenzi

Dieses Kapitel bietet einen grundlegenden Überblick über Enterprise Knowledge Graphs (EKGs) einschliesslich ihrer wichtigsten Merkmale, Vorteile und Herausforderungen. Zudem wird erörtert, wie EKGs einen Mehrwert für Unternehmen schaffen können. Das Ziel dieses Kapitels ist es, KMU mit grundlegendem Wissen auszustatten, um die EKG-Technologie und ihr transformatives Potenzial zu verstehen.

Warum sollten sich KMU für Enterprise Knowledge Graphs interessieren?

Enterprise Knowledge Graphs (EKGs) stellen einen Paradigmenwechsel dar, wie Unternehmen Daten, Informationen und Wissen verwalten und nutzen.

Da Unternehmen kontinuierlich grosse Mengen an Daten über verschiedene Systeme hinweg generieren – von Kundeninformationen und Produktkatalogen bis hin zu Lieferkettendetails und Betriebsprozessen – bleibt es eine Herausforderung, den vollen Wert dieser Daten freizusetzen. Ohne richtige Integration und ohne richtigen Kontext bleiben Daten oft fragmentiert, was ihr Potenzial einschränkt, Geschäftseinblicke und Innovationen zu fördern, während die Unternehmensgewinne maximiert und Kosten gesenkt werden.

EKGs bieten einen transformativen Ansatz für das Unternehmensdatenmanagement, indem sie sowohl (1) Informationen über Datensilos hinweg als auch (2) externe Datenquellen effizient verbinden und kontextualisieren – unabhängig von ihren zugrunde liegenden Datenformaten und Modellen.

Im Gegensatz zu traditionellen Datenbanken, die Daten in isolierten Tabellen oder Systemen speichern, modellieren EKGs Informationen als ein dynamisches Netzwerk von miteinander verbundenen Entitäten und Beziehungen, das die Komplexität der realen Welt widerspiegelt. Indem sie alle relevanten Daten und Informationen sinnvoll verbinden, ermöglichen EKGs den Geschäftsbutzer:innen, den vollständigen Kontext zu sehen und schnell das gesamte Bild zu erfassen.

Beispiel:

Nehmen wir eine Schweizer Bank, die ihre Kundendaten zur Identifizierung von hochriskanten Kund:innen nutzen möchte, um die Einhaltung regulatorischer Anforderungen sicherzustellen und so Sanktionen zu vermeiden. Dies ist eine wiederkehrende wissensintensive Aufgabe (KIT) im «Know Your Customer» (KYC)-Prozess von Banken.

Diese KIT erfordert eine gründliche Analyse von Kundendaten (d. h. persönliche Details, Transaktionshistorien, Geschäftsbeziehungen, Quellen der Mittel und die Identifizierung sogenannter politisch exponierter Personen, um die Legitimität finanzieller Aktivitäten zu überprüfen und potenzielle Risiken oder verdächtiges Verhalten zu erkennen, während die Einhaltung lokaler und internationaler Vorschriften (z. B. Geldwäschegesetz, FINMA-Richtlinien, VSB-Vorschriften) sichergestellt wird. Weiterhin umfasst eine solche Analyse verschiedene Teams wie Relationship Manager, Compliance Officers, Risikoanalysten, und es ist wünschenswert, Links zu den relevanten Informationsquellen sicherzustellen, um Konsistenz zwischen den Abteilungen zu gewährleisten.

Durch die Verwendung eines Enterprise Knowledge Graphs kann die Bank alle relevanten Kundeninformationen, Risikodimensionen und Vorschriften, die für ihr spezifisches Ziel von Bedeutung sind, an einem Ort sehen, miteinander verknüpft und basierend auf ihrer Bedeutung für eine tiefgehende Analyse.

Durch seine dreifache Struktur – Subjekt-Prädikat-Objekt – erfassen EKGs Wissen in menschenähnlichen Sätzen. Zum Beispiel macht die Aussage «CustomerX – has Yearly Income In CHF – 100 000» Informationen für Geschäftsanwender:innen leicht verständlich. In dieser Struktur sind Subjekte und Objekte Knoten (Entitäten), während das Prädikat eine Kante (Beziehung) ist, die sie verbindet. Jede Triple verbindet sich mit anderen und bildet eine graphähnliche Struktur. Zum Beispiel: «CustomerX – hasResidenceIn – Zurich». Zusätzlich gilt «Zurich – isPartOf – Switzerland», was impliziert, dass für CustomerX die schweizerischen Bundesvorschriften gelten. Neben den schweizerischen Bundesvorschriften gelten auch die EU-Vorschriften und globale Vorschriften. Abbildung 1 stellt dieses Szenario in einem Enterprise Knowledge Graph visuell dar. Die roten Knoten repräsentieren Entitätstypen, während die grünen die einzelnen Entitäten oder Daten darstellen.

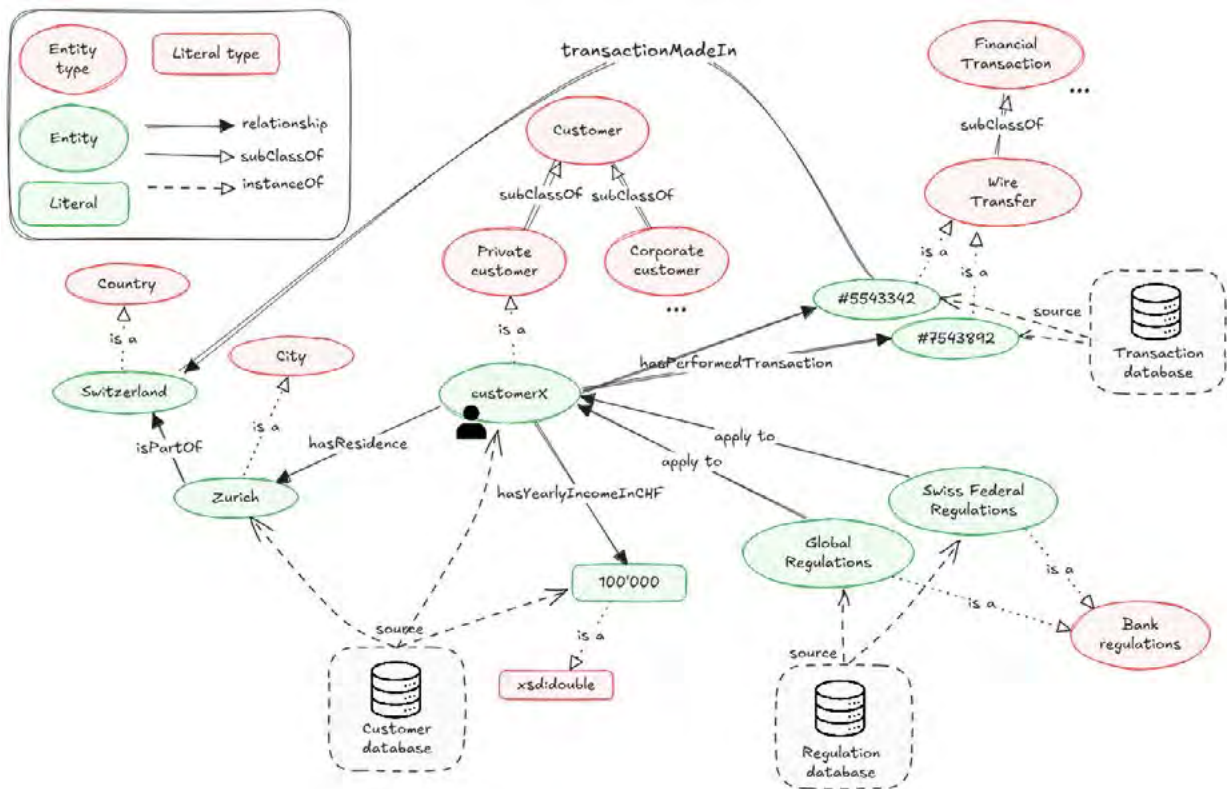


Abbildung 1: Ein Beispiel für einen visuellen Enterprise Knowledge Graph

EKGs ermöglichen es Unternehmen auch, verborgene Erkenntnisse zu entdecken und Beziehungen zwischen verschiedenen Datenpunkten zu verstehen, um fundierte Entscheidungen zu treffen.

Ein Beispiel für eine Schlussfolgerung zur Unterstützung fundierter Entscheidungsfindung:

Stellen wir uns das Szenario vor, in dem unser CustomerX ein Konto in den Britischen Jungferninseln eröffnet und CHF 500 000 auf sein Bankkonto überweist, mit der Angabe «Investitionszwecke», aber keine unterstützenden Verträge oder Steuererklärungen vorlegt. In diesem Fall müssen alle Bedingungen der beiden Regulierungsquellen (bundes- und global) überprüft werden, um den Kunden zu bewerten.

Ein Beispiel für eine Regel lautet wie folgt:

Wenn ein privater Kunde ein nicht deklariertes Vermögen auf einem Offshore-Konto in einer Hochrisikoregion hält und versucht, mehr als CHF 100 000 auf das Bankkonto zu überweisen, ohne einen klaren wirtschaftlichen Zweck anzugeben, wird er als hochriskant in Bezug auf mögliche Steuerhinterziehung und Geldwäsche eingestuft.

Daher wird unser CustomerX als «high risk» eingestuft.

Abbildung 2 zeigt eine Erweiterung des zuvor beschriebenen EKGs mit der neu abgeleiteten Aussage «High Risk – Assigned-To – CustomerX».

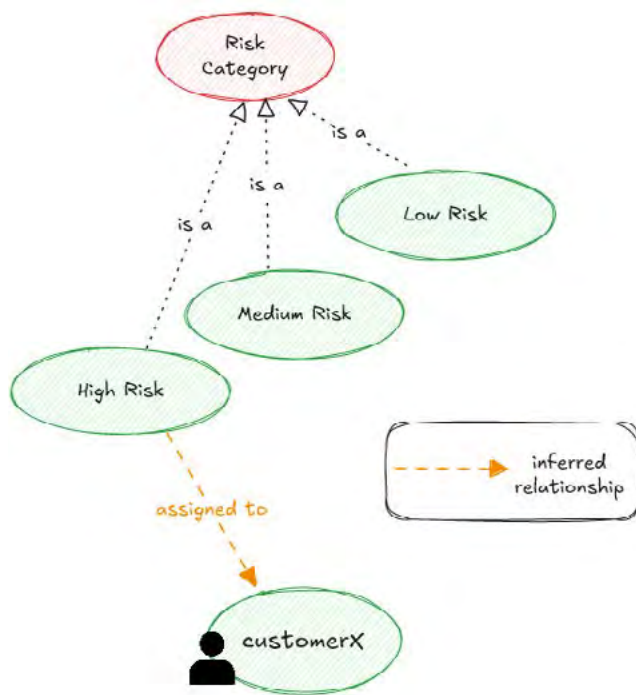


Abbildung 2: abgeleitete Beziehung

Das Ableiten neuen Wissens auf logische Weise ist eine weitere Fähigkeit von Enterprise Knowledge Graphs, die mit Inferenzmaschinen erreicht wird. Diese Denkfähigkeit ist auch nützlich, um Daten gegen bestimmte Einschränkungen zu validieren. Zum Beispiel kann man Einschränkungen aus den Compliance-Richtlinien, die das bereits erwähnte KYC regeln, entwickeln, um automatisch zu überprüfen, inwieweit ein Kunde oder eine Kundin diesen Vorschriften entspricht. Einige der neuesten Technologien, die ein solches logisches Schliessen ermöglichen, werden in Abschnitt 6 beschrieben.

Das vorherige Beispiel zeigt auch, dass EKGs es ermöglichen, menschliches Fachwissen (d. h. in Form von Fakten und Regeln) zu erfassen und mit Daten zu integrieren. Dies ist eine nützliche Fähigkeit für Unternehmen, die beispielsweise das Potenzial hat, die Herausforderung der Wissensbewahrung anzugehen – ein zunehmend kritisches Thema für Unternehmen heutzutage.

Schliesslich bringen EKGs Struktur und Kontext in daten-gesteuerte und KI-Systeme, wodurch deren Ausgaben genauer, erklärbarer, transparenter und zuverlässiger werden – was letztlich das Vertrauen in sie erhöht. Dasselbe gilt für generative KI-Anwendungen und agentische KI-Workflows, bei denen EKGs KI-Modelle unterstützen, faktisch korrekte, kontextbewusste Ausgaben zu erzeugen und gleichzeitig Halluzinationen zu reduzieren. Sie ermöglichen eine bessere Personalisierung, effiziente retrieval-augmented generation (RAG) und dynamische Wissensaktualisierungen, wodurch sichergestellt wird, dass KI-Agenten aktuell und relevant bleiben.

Vertrauenswürdige KI-Systeme sind nicht mehr nur eine Priorität für hochregulierte Branchen wie Banken, Versicherungen und das Gesundheitswesen, in denen Entscheidungen schwerwiegende Konsequenzen haben. Mit dem EU KI-Gesetz (2025) – dem ersten umfassenden rechtlichen Rahmen für die KI-Regulierung – ist die Entwicklung und Nutzung von ethischer, vertrauenswürdiger KI auch für Unternehmen zwingend erforderlich, was auch die Schweiz betrifft. Wie die Europäische Kommission (2025) erklärt: «Die europäische KI-Strategie hat zum Ziel, die EU zu einem weltweiten Zentrum für KI zu machen und sicherzustellen, dass KI menschenzentriert und vertrauenswürdig ist.»

Gartner, ein führendes globales Forschungs- und Beratungsunternehmen in den Bereichen Technologie, Wirtschaft und IT, das die Reife und Akzeptanz neuer Technologien verfolgt, hat Knowledge Graphs als eine der einflussreichsten aufkommenden Technologien für Unternehmen anerkannt (2024). Abbildung 3 zeigt einen Auszug aus dem Gartner Impact Radar 2024, auf dem Knowledge Graphs im Zentrum positioniert sind, was ihr höchstes Potenzial zur Umgestaltung einer breiten Palette von Märkten anzeigt.

Definitionen und eine kurze Geschichte der Knowledge Graphs

Der Begriff «Knowledge Graph» wurde erstmals 2012 von Google als semantische Erweiterung der Suchmaschine eingeführt (Singhal, 2012). Seitdem hat der Begriff sowohl in der Wirtschaft als auch in der Wissenschaft an Popularität gewonnen. Inzwischen, wie von führenden Expert:innen für künstliche Intelligenz der AAAI-Vereinigung Chaudhri et al. (2022) and for improving the predictions of AI systems by giving them knowledge expressed in KGs as input. The goals of this article are to (a hervorgehoben, haben sich Knowledge Graphs zu einer ausgereiften Technik entwickelt, die zunehmend von Unternehmen übernommen wird, um Wissen zu strukturieren, dieses anschliessend zu analysieren und

Schlussfolgerungen zu ziehen sowie Informationen aus verschiedenen Datenquellen zu integrieren.

Kern eines Knowledge Graphs ist ein gerichteter, beschrifteter Graph, in dem domänenspezifische Bedeutungen mit Knoten und Kanten verknüpft sind. Während ein Knoten eine reale Entität darstellt, erfasst das Kantenlabel die relevante Beziehung zwischen zwei Knoten. Knoten und Beziehungen können nach Typen kategorisiert werden, die ihnen zusätzliche Bedeutung verleihen. Kanten erfassen auch die Subklassenbeziehung zwischen Entitätstypen, die als Taxonomie bekannt ist. Entitätstypen und ihre Beziehungen bilden das Schema eines Knowledge Graphs und können als Ontologie definiert werden (Peng et al., 2023). «Eine Ontologie ist eine formale, explizite Spezifikation einer gemeinsamen Konzeptualisierung» (Studer et al., 1998). Diese Definition wurde von der Arbeit von Gruber (1993) beeinflusst und später weiter ausgearbeitet in (Guarino et al., 2009) und jüngst in (Guizzardi & Guarino, 2024).

In diesem Kapitel werden die Begriffe «Knowledge Graph» und «Ontologie» als Synonyme behandelt, wobei beide (1) Daten (auch als Instanzebene bekannt) und (2) Entitätstypen, Beziehungen zwischen ihnen und Taxonomien (auch als Schemabene bekannt) umfassen.

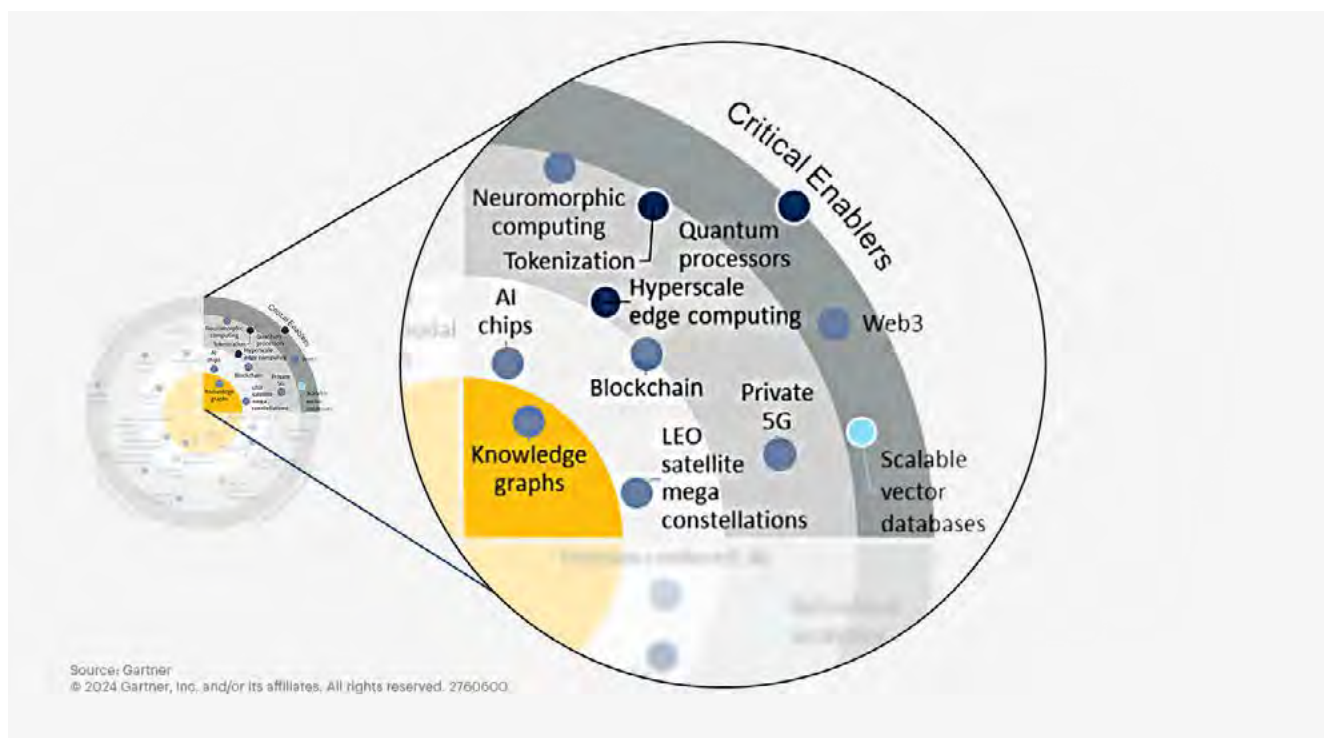


Abbildung 3: Knowledge Graphs als die kritischste fördernde aufkommende Technologie (Gartner, 2024)

Das grundlegende Konzept hinter Knowledge Graphs ist nicht neu und hat eine lange Tradition in der Geschichte der künstlichen Intelligenz. Es begann mit der visionären Idee, intelligente Agenten oder KI-Agenten zu entwickeln, die Systeme oder Programme sind, die autonom Aufgaben im Auftrag eines Benutzers oder eines anderen Systems ausführen. Die beiden Hauptvoraussetzungen für solche KI-Agenten waren die folgenden (Hendler, 2001):

- (1) *Aufrechterhaltung von Darstellungen realer oder simulierter Welten, und*
- (2) *Nutzung der Darstellungen für Schlussfolgerungen im jeweiligen Bereich.*

Die früheste Forschung, die versuchte, diese beiden Fähigkeiten zu erfüllen, waren die sogenannten semantischen Netzwerke, die in den 1960er Jahren eingeführt wurden. Später lieferte Woods (1975) eine formale logische Grundlage für sie. Semantische Netzwerke waren gerichtete, beschriftete Graphen, die je nach den Bedürfnissen einer gegebenen Anwendung angepasst wurden. McCarthy (1989) schlug vor, Wissen für KI-Agenten in der Prädikatenlogik erster Ordnung (FOL) darzustellen. Diese Forschung führte dazu, die Herausforderungen bei der Anwendung von FOL zu entdecken, die hauptsächlich auf die rechnerische Komplexität des automatischen Schliessens zurückzuführen sind. Infolgedessen entstanden Teilmengen von FOL wie Description Logics (Brachman & Levesque, 1984), und auch die logische Programmierung wurde untersucht (Kowalski, 2014). In den 1970er Jahren entstand Prolog als deklarative Logik-Programmiersprache, die in den 80er Jahren weit in Expertensystemen verwendet wurde (Feigenbaum, 1984). Feigenbaum gilt als der Vater der Expertensysteme und definierte sie als intelligente Computerprogramme, die Wissen und Inferenzverfahren nutzen, um Probleme zu lösen, die komplex genug sind, um menschliche Expertise für ihre Lösungen zu erfordern. Unter anderem wurden diese frühen Systeme verwendet, um Kausalitätsregeln, Implikationen von Beziehungen zwischen Entitäten, gesunden Menschenverstand und Expertenregeln zu erfassen, nämlich das Wissen eines intelligenten Agenten.

In gleicher Weise führte Lenat (1995) einige Jahre später die umfangreiche Commonsense-Wissensbasis CYC ein. Letztere war durch zahlreiche komplexe Axiome mit ausgeklügelten Inferenzmechanismen gekennzeichnet, um letztlich das Ziel zu erreichen, mithilfe der Regeln menschliches Denken zu modellieren.

Das Aufkommen des World Wide Web (WWW) in den 90er Jahren brachte die Notwendigkeit für besseren Zugang und die Suche nach Informationen mit sich, was die Idee für das semantische Web von Berners-Lee et al. (2001) hervorbrachte. Dabei handelt es sich um ein Web, das aus maschinenlesbaren Ressourcen besteht, bei dem die Bedeutung der Ressourcen nicht nur zwischen Menschen, sondern auch zwischen Maschinen geteilt wird. In diesem Sinne war es eine Möglichkeit, Semantik zu Suchalgorithmen hinzuzufügen, um effizientere und effektivere Suchergebnisse zu erzielen.

Bis heute wurden verschiedene Standardsprachen aus der Idee des semantischen Webs entwickelt, die von der World Wide Web Community¹ (W3C) unterstützt werden. Abschnitt 6 stellt einige der beliebtesten Standards vor.

Im Gegensatz zu den frühen KI-Systemen liegt der Fokus heutiger Knowledge Graphs auf der Erfassung vieler grundlegender Fakten, die in Anwendungen wie Suche und Analyse verwendet werden, wobei der Schwerpunkt auf komplexer Schlussfolgerung deutlich geringer ist (Chaudhri et al., 2022).

Im Gegensatz zu einem generischen Knowledge Graph beschreiben Enterprise Knowledge Graphs (EKGs) Konzepte und Beziehungen, die für Unternehmen relevant sind und domänenspezifische Probleme ansprechen. Wie in (Laurenzi, 2024) berichtet können EKGs als das Äquivalent einer «leichteren» Enterprise Ontologie betrachtet werden (z. B. siehe [Hinkelmann et al., 2020]), da die logische Ausdruckskraft der entsprechenden Ontologiesprache relativ gering ist, z. B. RDF(S) (W3C, 2004b).

Die Entwicklung von EKGs ist jedoch eine äusserst herausfordernde und zeitaufwendige Aufgabe, da sie sowohl tiefgehende Expertise in der Ontologie-Entwicklung als auch im jeweiligen Anwendungsbereich erfordert. Jüngste Arbeiten, z. B. Laurenzi et al. (2024), haben begonnen, den Einsatz von LLMs zur Unterstützung der Entwicklungsphasen von EKGs zu untersuchen, mit vielversprechenden Ergebnissen.

¹ www.w3.org

Das Verständnis der Rolle von Daten und Wissen

Das Verständnis des wesentlichen Unterschieds zwischen Daten und Wissen ist von grundlegender Bedeutung für Unternehmen, die das volle Potenzial der KI-Fähigkeiten ausschöpfen möchten. Im Folgenden definiere ich sowohl Daten als auch Wissen und hebe ihre zentralen Unterschiede hervor, indem ich mich auf die Theorien des Wissensmanagements (Wallace, 2007) beziehe, insbesondere auf das konzeptuelle Rahmenwerk «Daten – Information – Wissen», das in Abbildung 4 dargestellt ist.

Daten können als atomare Werte definiert werden, die erfasst, verarbeitet und/oder gespeichert werden. Zum Beispiel sind die numerische Zahl 3 und das Substantiv *Olten* Daten.

Wenn Daten mit Bedeutung versehen werden, erhalten wir Informationen, da wir verstehen, worauf sich bestimmte Daten beziehen. Im vorherigen Beispiel kann die Zahl 3 mit der Celsius-Skala (°C) verknüpft werden, sodass wir wissen, dass sie sich auf die Temperatur bezieht. Ebenso wissen wir, dass Olten eine Stadt ist. Indem wir diese Informationen miteinander verknüpfen, können wir feststellen, dass *es heute Morgen in Olten 3°C hat*.

Das Hinzufügen von Kontext zu einzelnen Informationen verwandelt diese in Wissen. Im Gegensatz zu Meinungen und Überzeugungen basiert Wissen auf Fakten, ermöglicht logisches Denken und unterliegt strengen Verifikationspostulaten, z. B. dem Vermeiden von Widersprüchen, dem Ableiten logisch gültiger Schlussfolgerungen auf Basis gegebener Fakten und der Sicherstellung, dass zuvor gezogene Schlussfolgerungen gültig bleiben, wenn neues Wissen hin-

zugefügt wird – oder dass sie sich mit neuen Fakten ändern können. In diesem Sinne ermöglicht Wissen verlässliche und vertrauenswürdige Handlungen.

Bezogen auf unser vorheriges Beispiel können wir nun schlussfolgern, dass ich warme Kleidung tragen sollte, wenn ich nach Olten reisen muss. Diese Handlung ergibt sich aus der Erkenntnis, dass Menschen bei einer so niedrigen Temperatur üblicherweise frieren. Damit haben wir auch eine nachvollziehbare Begründung für eine getroffene Entscheidung.

Ähnlich kann diese Information von wissensbasierten Systemen für automatische Entscheidungen genutzt werden. Ein Heizsystem in einem Haus in Olten kann beispielsweise den Energieverbrauch der Wärmepumpe automatisch anpassen, um ein angenehmes Raumklima zu gewährleisten. Dazu muss das Heizsystem domänenspezifisches Wissen enthalten, wie IF-THEN-Regeln, die die Aussentemperatur mit eingebauten Energiemessern verknüpfen, um die Kilowattstunden entsprechend zu erhöhen oder zu reduzieren.

Falls Mieter oder Hauseigentümer sich fragen, warum der Energiemonitor an einem bestimmten Tag einen höheren Energieverbrauch anzeigt als an anderen Tagen (z. B. bei einer Aussentemperatur von 10°C), sollte ein solches System (oder ein:e Fachexpert:in) in der Lage sein, eine korrekte Erklärung zu liefern.

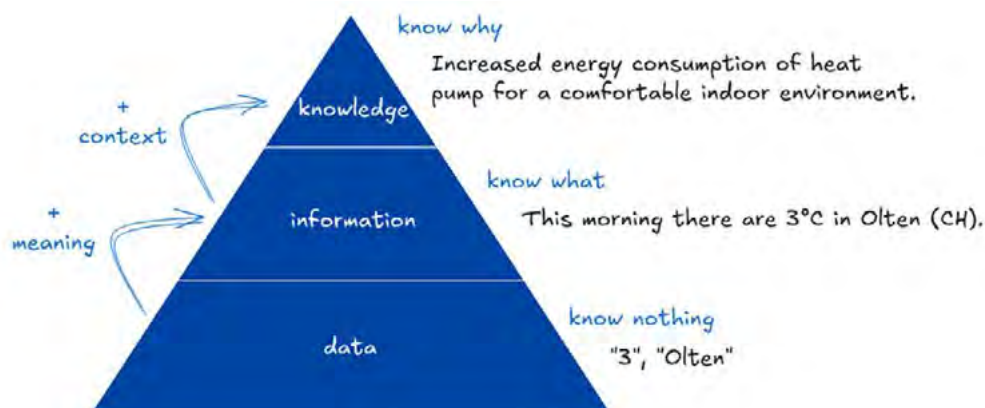


Abbildung 4: Daten – Information – Wissen. Adaptiert von (Wallace, 2007)

Enterprise Knowledge Graphs für semantische Schichten

Enterprise Knowledge Graphs (EKGs) spielen eine entscheidende Rolle dabei, die Kluft zwischen isolierten Informationen und handlungsrelevantem Geschäftswissen zu überbrücken. Indem sie als Bindeglied zwischen IT und Business fungieren, positionieren sie sich als zentrale Komponenten der semantischen Schichten für Unternehmen.

Speziell formalisieren Enterprise Knowledge Graphs (EKGs) das relevante Wissen von Unternehmen und bilden das zentrale Asset dieser Unternehmen. Wie in Abbildung 5 dargestellt befinden sich EKGs in der semantischen Schicht von Unternehmen, die darauf abzielen, Daten und Datenmodelle aus verschiedenen Datenquellen mit Bedeutung zu versehen. EKGs integrieren Geschäftslogik und die zugrunde liegenden Strukturen wie bestehende Geschäftsregeln, Domänenbeschränkungen, Taxonomien sowie Terminologie aus dem Geschäftsglossar. Auch vorhandene Metadaten von Produkten und/oder Dienstleistungen werden häufig in einem Knowledge Graph dargestellt. Als Darstellung der «Ground Truth»

eines Unternehmens werden EKGs dann in verschiedenen Geschäftsanwendungen eingesetzt, wie zum Beispiel Dashboards zur Entscheidungsunterstützung, Empfehlungssystemen, Chatbots, Workflows und/oder in Anwendungen, die für einen domänenspezifischen Zweck massgeschneidert sind. Die Governance des Lebenszyklus der Wissensressourcen (d. h. Erwerb, Nutzung, Speicherung und Wartung) wird in der Regel ebenfalls durch Anwendungen verwaltet und umfasst Komponenten für Verwaltung und Zugriffsrechte.

Als zentrale Komponente der semantischen Schicht fördern EKGs:

- **Komponierbarkeit.** Dies bezieht sich auf die Wechselbeziehungen zwischen den Komponenten. Ein hochgradig komponierbarer EKG bietet Fragmente, die in verschiedenen Kombinationen ausgewählt und zusammengefügt werden können, um spezifische Geschäftsanforderungen zu erfüllen. Zum Beispiel können Produktdaten mit Daten darüber, wie das Produkt verwendet wird, kombiniert werden, um Nutzungsmuster zu identifizieren.

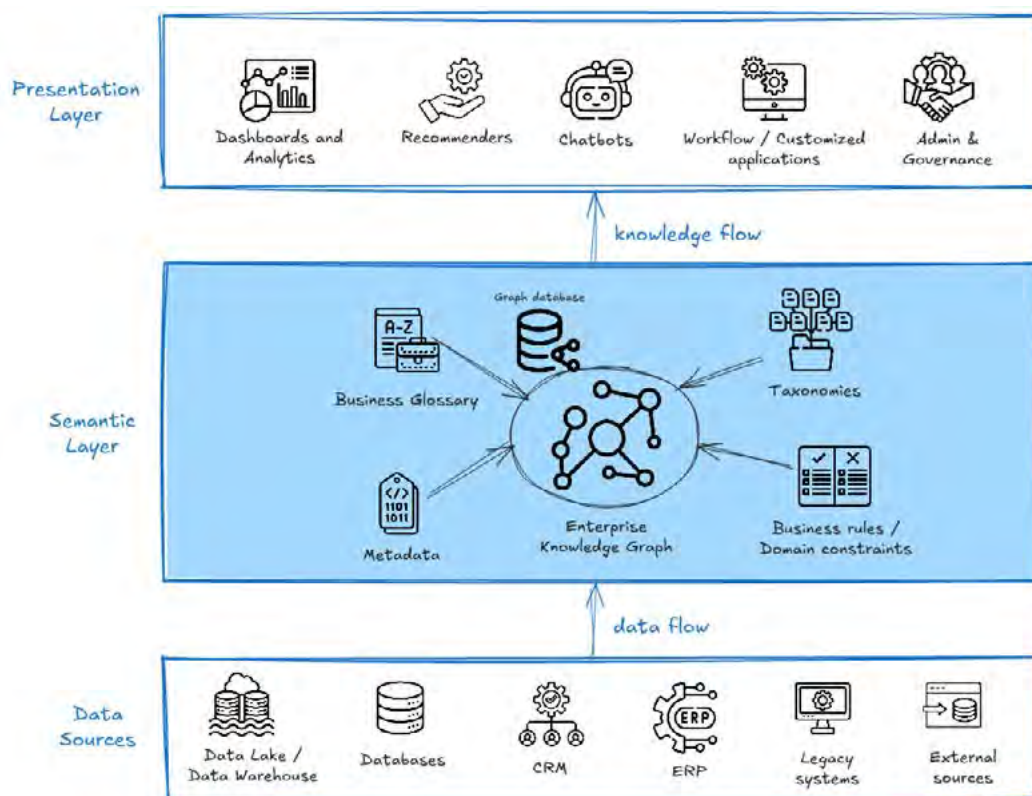


Abbildung 5: Enterprise Knowledge Graphs als zentrale Komponenten der semantischen Schichten

- **Wiederverwendbarkeit.** Dies bedeutet, dass Daten für mehrere Zwecke wiederverwendet werden. Zum Beispiel können Daten über die Nutzung eines Produkts, die von der Kundenservice-Abteilung erfasst wurden, direkt von (1) der F&E-Abteilung genutzt werden, um bestimmte Funktionen zu verbessern, (2) von der Marketingabteilung, um zu bestimmen, welche Produktlinien beworben werden sollen und welche Inhalte am effektivsten sein könnten, und (3) von der Verkaufsabteilung, um die überzeugendsten Anwendungsfälle für potenzielle Kund:innen zu identifizieren.
- **Erweiterbarkeit.** Dies bezieht sich auf die Fähigkeit, neue Datenquellen, Konzepte, Beziehungen und Funktionen nahtlos zu integrieren, ohne die bestehende Struktur zu verändern. Dies gewährleistet Skalierbarkeit, Anpassungsfähigkeit und langfristige Nutzbarkeit, während sich Geschäftsanforderungen und Datenökosysteme weiterentwickeln. Zum Beispiel kann ein Unternehmen seinen Knowledge Graph erweitern, indem es Produktdaten mit regulatorischen Rahmenwerken (z. B. FADP, GDPR) ver-

knüpft, um automatisierte Compliance-Prüfungen zu ermöglichen.

EKGs beseitigen die Notwendigkeit für komplexe Integrationsaktivitäten zwischen verschiedenen Systemen, indem sie eine einheitliche, miteinander verbundene Datenschicht bereitstellen. Anstatt massgeschneiderte Punkt-zu-Punkt-Integrationen zu erstellen, können alle Systeme auf ein gemeinsames Wissensmodell zugreifen und dazu beitragen.

Zusätzlich können Wissensmodelle innerhalb des Graphen wiederverwendet werden, um direkt Key Performance Indicators (KPIs) zu berechnen. Zum Beispiel zeigt Abbildung 6 ein Fragment eines EKGs über ein Gebäudeenergiesystem, das gemeinsam mit Empa NEST entwickelt wurde. Das EKG integriert sowohl Key Performance Indicators als auch Daten aus einer Time-Series-Datenbank für die kontinuierliche Berechnung der KPI-Werte. Weitere Informationen finden Sie in (González et al., 2024).

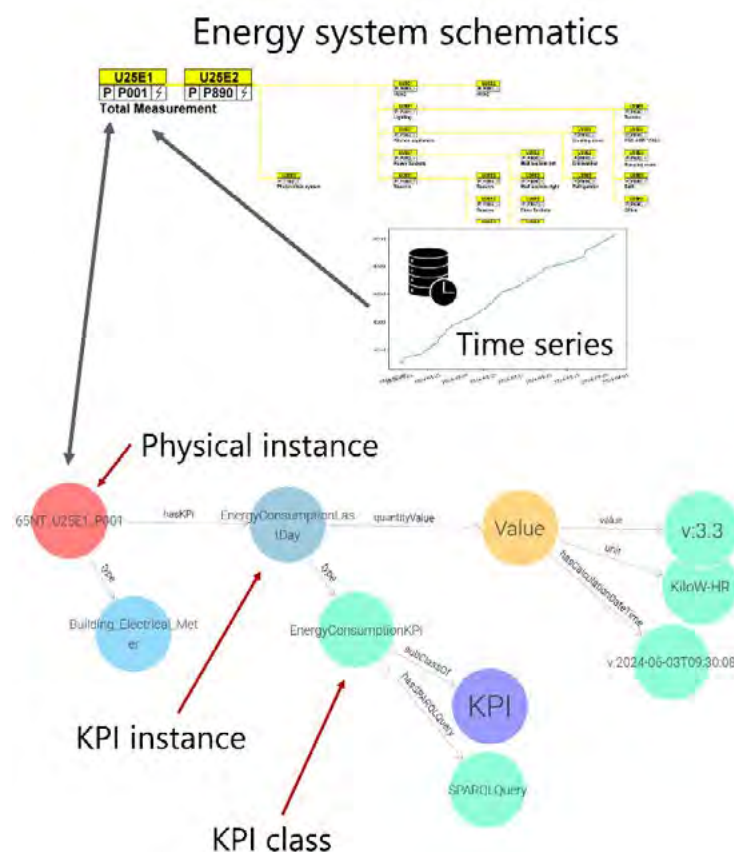


Abbildung 6: Enterprise Knowledge Graphs für KPIs in Energiesystemen (González et al., 2024)

Ähnlich können Unternehmen durch die Nutzung semantischer Beziehungen und Inferenzfähigkeiten wichtige Kennzahlen wie Kundenbindungsraten, Risikowerte oder betriebliche Effizienzen ableiten, ohne Daten zu duplizieren oder kostspielige Datenumwandlungen über mehrere Plattformen hinweg durchführen zu müssen. Dieser Ansatz steigert Effizienz, Konsistenz und Skalierbarkeit, wodurch Organisationen in der Lage sind, Erkenntnisse in Echtzeit zu gewinnen.

Enterprise Knowledge Graphs für teilbare Wissensressourcen

Um einen vollständigen Wettbewerbsvorteil zu erlangen, sollte ein Unternehmen einen Enterprise Knowledge Graph als System zur Darstellung und zum Teilen von Wissen innerhalb der Organisation oder über Tochtergesellschaften hinweg betrachten. Abbildung 7 untermauert die Beschreibung dieses Abschnitts.

Ein Wissensasset kann eigenständig existieren (selbstständig) und mit anderen Wissensassets kombiniert werden, um etwas Komplexeres zu schaffen (komponierbar).

Die Modularisierung von Wissensassets stimmt mit den Prinzipien der Microservice-Architektur überein, da beide die Zerlegung grosser, monolithischer Strukturen in kleinere, unabhängige und wiederverwendbare Komponenten betonen. Dieser Ansatz fördert die Skalierbarkeit, da modulare Wissensassets Flexibilität ermöglichen, einfachere Updates und eine verteilte Nutzung bieten.

Jedes Wissensasset hat eine:n Verantwortliche:n – den Wissensbesitzer oder die Wissensbesitzerin. Von einem Wissensbesitzer wird erwartet, die folgenden Aktivitäten durchzuführen:

- **Wissensgovernance und -qualität.** Standards, Strukturen und Taxonomien für Wissensassets definieren und durchsetzen. Die Genauigkeit, Konsistenz und Relevanz des Wissens im Laufe der Zeit sicherstellen.

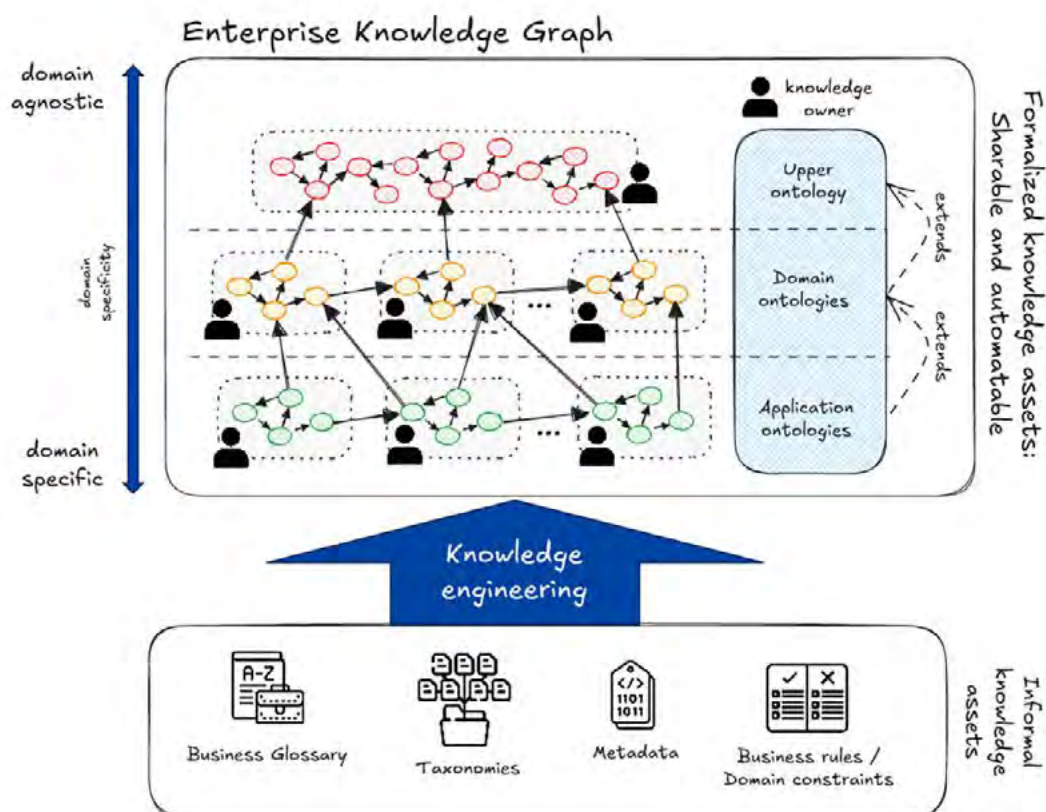


Abbildung 7: Teilbares und automatisierbares Unternehmenswissen

- **Wissensschaffung und -pflege.** Wissen aus verschiedenen Quellen identifizieren, sammeln und pflegen. Wissen klassifizieren und mit Tags versehen, um eine einfache Abrufbarkeit zu ermöglichen.
- **Wissenslebenszyklus-Management.** Wissensassets durch Updates, Überprüfungen und Ausmusterungen pflegen. Sicherstellen, dass veraltete oder fehlerhafte Informationen entfernt oder überarbeitet werden.
- **Ermöglichung und Zugänglichkeit.** Sicherstellen, dass Wissen von relevanten Nutzer:innen entdeckbar, wiederverwendbar und zugänglich ist. Wissensaustauschpraktiken über Teams und Abteilungen hinweg fördern.
- **Ausrichtung an Geschäft und Technologie.** Mit Unternehmensarchitekt:innen, KI-Teams und Produktverantwortlichen zusammenarbeiten, um Wissen in Geschäftsprozesse und Systeme zu integrieren. Wissensassets mit den organisatorischen Zielen und Strategien in Einklang bringen.
- **Sicherheit und Compliance.** Sicherstellen, dass die Anforderungen an Datenschutz, Vertraulichkeit und gesetzliche Vorschriften eingehalten werden.
- **Kontinuierliche Verbesserung.** Die Nutzung überwachen und Feedback sammeln, um das Wissensasset zu verbessern. Strategien umsetzen, um die Zugänglichkeit des Wissens zu erhöhen, z. B. Graph RAG Continuous Improvement. (Ontotext, 2025).

Beim Betrachten der Wissensassets innerhalb eines Enterprise Knowledge Graphs können wir zwischen den folgenden unterscheiden:

- **Upper Ontologies:** (auch bekannt als Top-Level-Ontologie oder Fundamentale Ontologie) ist eine Ontologie, die aus sehr allgemeinen Begriffen besteht (wie «Objekt», «Eigenschaft», «Beziehung»), die in allen Bereichen üblich sind, sowie generischen Begriffen der Welt wie «Zeit», «Ort» und «Ereignis». Eine wichtige Funktion einer oberen Ontologie ist die Unterstützung einer breiten semantischen Interoperabilität zwischen einer grossen Anzahl von domänenspezifischen Ontologien, indem ein gemeinsamer Ausgangspunkt für die Formulierung von Definitionen bereitgestellt wird. Beispiele für solche Ontologien finden sich in (Ontology4, 2025), z. B.: Schema.org² ist die obere Ontologie, die von grossen Suchmaschinen wie Google, Bing, Yahoo und Yandex anerkannt wird. Der Inhalt der Webseiten kann entsprechend strukturiert werden, um

den Nutzer:innen zu helfen, passende Webseiten leichter zu finden.

- **Domain Ontologies:** Eine Domain-Ontologie stellt Konzepte dar, die zu einem bestimmten Bereich der Welt gehören, wie beispielsweise Biologie oder Politik. Jede Domain-Ontologie modelliert typischerweise domänenspezifische Definitionen von Begriffen. Beispiele für Domain-Ontologien sind die folgenden:

- **FIBO³:** Die Financial Industry Business Ontology (FIBO) definiert die Dinge, die in finanziellen Geschäftsapplikationen von Interesse sind, sowie die Arten, wie diese Dinge miteinander in Beziehung stehen können. Auf diese Weise kann FIBO jedem Datensatz (z. B. Tabellenkalkulationen, relationale Datenbanken, XML-Dokumente), der das Geschäft der Finanzbranche beschreibt, Bedeutung verleihen.

- **SNOMED⁴:** Die Systematisierte Nomenklatur der Medizin (SNOMED) ist eine systematische, computerverarbeitbare Sammlung medizinischer Begriffe in der Human- und Veterinärmedizin. Sie stellt Codes, Begriffe, Synonyme und Definitionen bereit, die Anatomie, Krankheiten, Befunde, Verfahren, Mikroorganismen, Substanzen usw. abdecken. Sie ermöglicht eine konsistente Methode, medizinische Daten über verschiedene Fachgebiete und Versorgungseinrichtungen hinweg zu indexieren, zu speichern, abzurufen und zusammenzuführen.

- **Application Ontologies:** Anwendungsontologien werden für eine spezifische Anwendung entwickelt und können Konzepte sowohl aus oberen als auch aus Domain-Ontologien enthalten. Eine Liste von Anwendungsontologien wird in (Hinkelmann et al., 2020) beschrieben. Ein Beispiel dafür ist die Ontologie Business Process as a Service (BPaaS). Ein weiteres Beispiel ist die Anwendungsontologie, die von (Düggelin & Laurenzi, 2024) für resiliente Lieferkettennetzwerke entwickelt wurde.

² schema.org

³ spec.edmcouncil.org/fibo

⁴ www.snomed.org

Standardsprachen und Technologien für Enterprise Knowledge Graphs (EKGs)

Dieser Abschnitt beschreibt einige der bekanntesten Standard-Ontologiesprachen und einige der neuesten Technologien, die die Erstellung, Speicherung und Nutzung von Enterprise Knowledge Graphs ermöglichen.

Wie Abbildung 8 zeigt, enthält der Technologie-Stack des semantischen Webs gängige Standards. Erwähnenswert sind die folgenden vier:

- The Resource Description Framework Schema (**RDFS**) (W3C, 2004b) wird verwendet, um grundlegende Mechanismen für die Definition und Strukturierung von Beziehungen zwischen Daten in RDF-Diagrammen bereitzustellen.
- Die Web Ontology Language (**OWL**) (W3C, 2012) baut auf RDF(S) auf und ermöglicht die Definition komplexer ontologischer Strukturen, einschliesslich Klassen, Eigenschaften und Einschränkungen, um Schlussfolgerungen über Daten zu unterstützen.

- Die Semantic Web Rule Language (**SWRL**) (W3C, 2004a) ermöglicht die Formulierung logischer Regeln, um zusätzliche Fakten aus bestehenden Daten abzuleiten.
- Die Shapes Constraint Language (**SHACL**) (W3C, 2017) bietet einen robusten Rahmen zur Validierung von RDF-Diagrammen gegen definierte Einschränkungen, um die Datenqualität und -konformität sicherzustellen.
- Die Protocol and RDF Query Language (**SPARQL**) (W3C, 2008) ist die offizielle Abfragesprache, die verwendet wird, um Ressourcen aus den Wissens- und Datendiagrammen abzurufen. Sie kann auch verwendet werden, um Teilgraphen abzurufen und neues Wissen logisch abzuleiten.

Gemeinsam ermöglichen diese Technologien eine präzise, maschinenlesbare Darstellung und Validierung von Unternehmenswissen und -regeln.

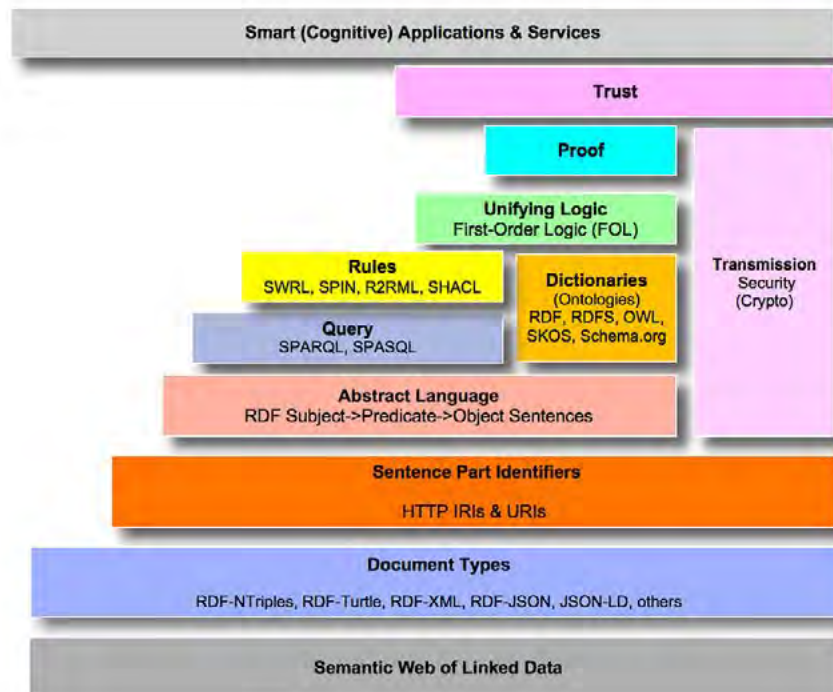


Abbildung 8: Tweaked Semantic Web Technology Layer Cake (Idehen, 2017)

Technologien für Enterprise Knowledge Graphs (EKGs)

Abbildung 9 zeigt eine aktualisierte Technologie-Landschaft für Enterprise Knowledge Graphs, gruppiert nach gemeinsamen Merkmalen.

Unter diesen Tools ermöglichen Anwendungen wie metaphactory von metaphacts⁵, Stardog⁶ und PoolParty⁷ von Semantic Web Company Wissensingenieur:innen die Erstellung von EKGs durch visuelle Editoren. Letzteres integriert

den Editor mit verschiedenen leistungsstarken Graph-Datenbanken, die auf dem Markt erhältlich sind, wie RDFox⁸, Amazon Neptune⁹, und GraphDB¹⁰ von Ontotext. Einige reale Anwendungen dieser Technologien umfassen:

- Smart Manufacturing Planung & Ausführung¹¹,
- EKGs zur Verbesserung von virtuellen Bibliothekserfahrungen,
- Einblicke in F&E-Biopharmazie zu identifizieren¹²,
- Maschinenanpassung in der Fertigung¹³.

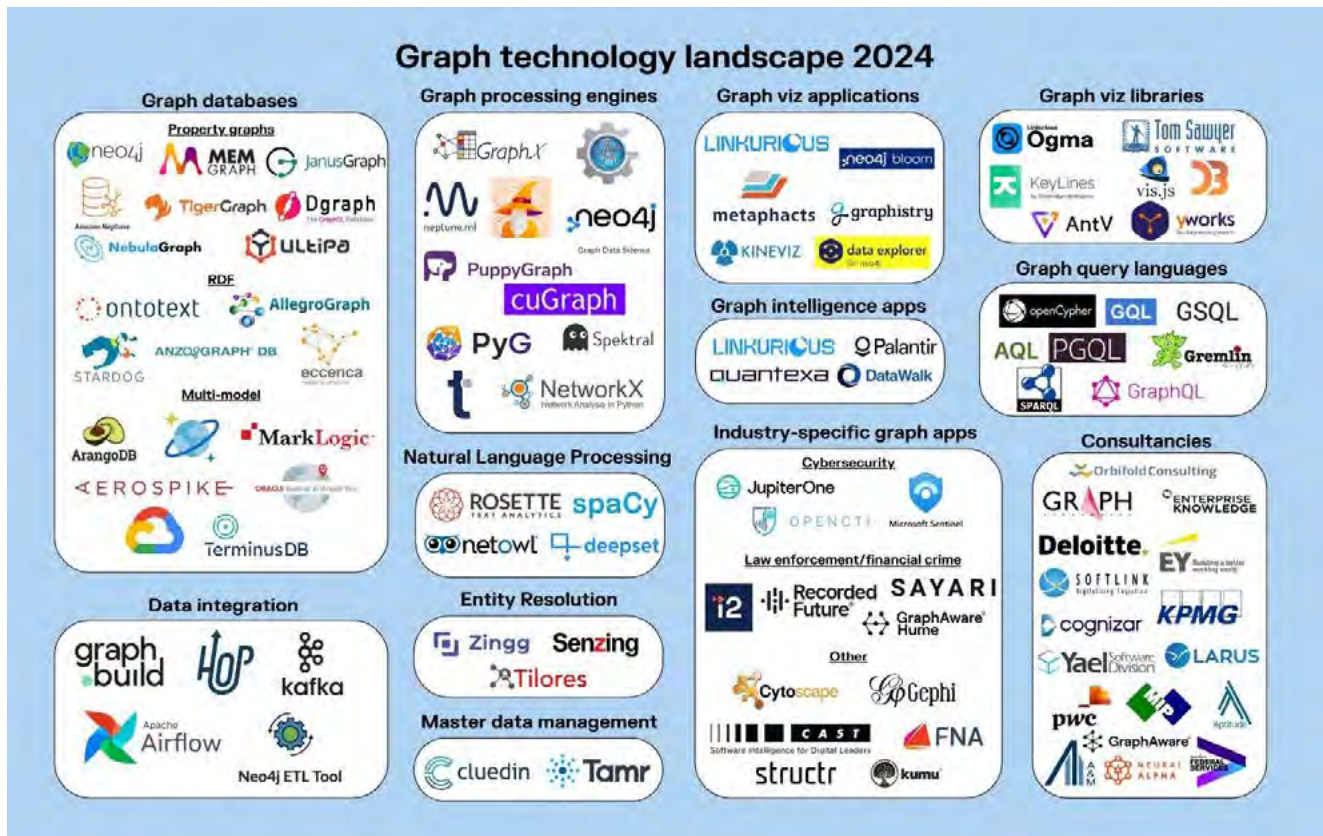


Abbildung 9: Graph-Technologien-Landschaft¹⁵

⁵ metaphacts.com

⁶ www.stardog.com

⁷ www.poolparty.biz/poolparty-grapheditor

⁸ www.oxfordsemantic.tech/rdfbox

⁹ aws.amazon.com/de/neptune

¹⁰ graphdb.ontotext.com

¹¹ Smart manufacturing planning & execution at Siemens

¹² Knowledge Democratization with an Enterprise Knowledge Graph at Boehringer Ingelheim

¹³ metaphacts_20_Case-Study_2_RZ.indd

¹⁵ linkurious.com/blog/introduction-graph-technology-landscape

Weitere prominente Anwendungsfälle finden sich in den folgenden Bereichen: Medien, Forschung und Wissenschaft, Gesundheitswesen und Life Sciences, Logistik und Supply Chain Management, Industrie 4.0 und Fertigung, IoT-Datenintegration und -management, Gebäudeenergieverwaltung, intelligente Städte, Kriminalfälle, Netzwerk-/IT-/Cloud-Resourcenoptimierung und -wartung, Verkehrsmanagement, geospatiale Analysen, Netz- und Dienstgütequalität, Cybersicherheit.

Fazit

Wissen ist das wertvollste Gut eines Unternehmens, doch es ist über verschiedene Systeme und Einzelpersonen verteilt. Die dezentrale Natur von Wissen erschwert das Verständnis und fügt den Organisationen eine zusätzliche Komplexität hinzu.

Dieses Kapitel führte Enterprise Knowledge Graphs ein, einen transformierenden Ansatz, der es Unternehmen ermöglicht, Wissen auf sinnvolle Weise zu vereinheitlichen und in einem maschinenlesbaren Format zu erfassen. Dies ermöglicht Automatisierung, vertrauenswürdigen Schliessen, effektive Informationsabrufe und die Austauschbarkeit von Wissensressourcen.

Nach der Diskussion der Fähigkeiten von EKGs führte dieses Kapitel kurz in ihre Geschichte ein. Anschliessend wurde der Unterschied zwischen Daten und Wissen erläutert, um das grundlegende Verständnis für EKGs zu schaffen. Im nächsten Schritt untersuchten wir, wie ein EKG als semantische Schicht einer Organisation dienen kann, und hoben dessen Vorteile hervor. Danach analysierten wir die gängige Struktur von EKGs und zeigten auf, wie sie modular bleiben können – in Übereinstimmung mit einer Microservice-Architektur – für teilbare Wissensressourcen. Abschliessend wurden die Standards für EKGs vorgestellt und es wurde ein Überblick über die aktuelle Landschaft der Graph-Technologien gegeben, wobei einige zentrale Anwendungsfälle hervorgehoben wurden.

In naher Zukunft werden Enterprise Knowledge Graphs eine Schlüsselrolle in der Entwicklung der kollektiven Intelligenz spielen – einer gemeinsamen Intelligenz, die durch die Zusammenarbeit, Kooperation und den Wettbewerb von Individuen oder Systemen entsteht. Diese kollektive Fähigkeit ermöglicht es Gruppen, Probleme zu lösen, Entscheidungen zu treffen und Innovationen in einer Weise voranzutreiben, die für Einzelpersonen allein unmöglich wäre.

Organisationen, die in der KI-Innovation führend sein wollen, können erheblich von der Integration von Enterprise Knowledge Graphs in ihre Betriebsabläufe profitieren. Diese Technologie steigert die Betriebseffizienz, verbessert die Entscheidungsfindung und fördert eine Kultur der kontinuierlichen Innovation.

Bibliografie

- AI Act | *Shaping Europe's digital future*. (2025, March 12). digital-strategy.ec.europa.eu/en/policies/regulatory-frame-work-ai
- Berners-Lee, T., Hendler, J., & Lassila, O. (2001, May 1). The Semantic Web. *Scientific American*. www.scientificamerican.com/article/the-semantic-web
- Brachman, R. J., & Levesque, H. J. (1984). The tractability of subsumption in frame-based description languages. *Proceedings of the Fourth AAAI Conference on Artificial Intelligence*, 34–37.
- Chaudhri, V. K., Baru, C., Chittar, N., Dong, X. L., Genesereth, M., Hendler, J., Kalyanpur, A., Lenat, D. B., Sequeda, J., Vrandečić, D., Wang, K., & Diego, S. (2022, March 1). Knowledge graphs: Introduction, history, and perspectives. *AI Magazine*, 43(1), 17–29. doi.org/10.1002/AAAI.12033
- Düggelin, W., & Laurenzi, E. (2024). A Knowledge Graph-Based Decision Support System for Resilient Supply Chain Networks. In J. Araújo, J. L. de la Vara, M. Y. Santos, & S. Assar (Eds.), *Research Challenges in Information Science* (pp. 66–81). Springer Nature Switzerland. doi.org/10.1007/978-3-031-59465-6_5
- EU. (2025). *European approach to artificial intelligence | Shaping Europe's digital future*. digital-strategy.ec.europa.eu/en/policies/european-approach-artificial-intelligence
- Feigenbaum, E. A. (1984). Knowledge engineering. The applied side of artificial intelligence. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 426, 91–107. doi.org/10.1111/j.1749-6632.1984.tb16513.x
- Gartner. (2024). *Emerging Technologies and Trends for Tech Product Leaders*. Gartner. www.gartner.com/en/industries/high-tech/topics/emerging-tech-trends
- González, S. A., Birahjakli, H., Laurenzi, E., Willuhn, W., Munoz, E., Stoller, S., & Allan, J. (2024). The development of an application layer connected to a knowledge graph for the continuous calculation of energy performance indicators. *Proceedings of the 12th Linked Data in Architecture and Construction Workshop*, 3824. linkedbuildingdata.net/ldac2024/files/posters/LDAC2024_Paper_28.pdf
- Gruber, T. R. (1993). A translation approach to portable ontology specifications. *Knowledge Acquisition*, 5(2), 199–220. doi.org/10.1006/knac.1993.1008
- Guarino, N., Oberle, D., & Staab, S. (2009). What Is an Ontology? In S. Staab & R. Studer (Eds.), *Handbook on Ontologies* (pp. 1–17). Springer. doi.org/10.1007/978-3-540-92673-3_0
- Guizzardi, G., & Guarino, N. (2024). Explanation, semantics, and ontology. *Data & Knowledge Engineering*, 153, 102325. doi.org/10.1016/j.datak.2024.102325
- Hendler, J. (2001). Agents and the Semantic Web. *IEEE Intelligent Systems*, 16(2), 30–37. IEEE Intelligent Systems. doi.org/10.1109/5254.920597
- Hinkelmann, K., Laurenzi, E., Martin, A., Montecchiari, D., Spahic-Bogdanovic, M., & Thönssen, B. (2020). ArchiMEO: A Standardized Enterprise Ontology based on the ArchiMate Conceptual Model. *8th International Conference on Model-Driven Engineering and Software Development*, 424. doi.org/10.5220/0009000204170424
- Idehen, K. U. (2017, July 24). Semantic Web Layer Cake Tweak, Explained. *OpenLink Software Blog*. medium.com/openlink-software-blog/semantic-web-layer-cake-tweak-explained-6ba5c6ac3fab
- Kowalski, R. (2014). Logic Programming. In J. H. Siekmann (Ed.), *Handbook of the History of Logic* (Vol. 9, pp. 523–569). North-Holland. doi.org/10.1016/B978-0-444-51624-4.50012-5
- Laurenzi, E. (2024). An Agile and Ontology-based Meta-Modelling Approach for the Design and Maintenance of Enterprise Knowledge Graph Schemas. *Enterprise Modelling and Information Systems Architectures (EMISAJ)*, 19. doi.org/10.18417/emisa.19.6
- Laurenzi, E., Adrian, M., & Martin, A. (2024). An LLM-Aided Enterprise Knowledge Graph (EKG) Engineering Process. *Proceedings of the AAAI Symposium Series*, 3(1), 148–156. doi.org/10.1609/aaais.v3i1.31194
- Lenat, D. B. (1995). CYC: A large-scale investment in knowledge infrastructure. *Commun. ACM*, 38(11), 33–38. doi.org/10.1145/219717.219745
- McCarthy, J. (1989). Artificial Intelligence, Logic and Formalizing Common Sense. In R. H. Thomason (Ed.), *Philosophical Logic and Artificial Intelligence* (pp. 161–190). Springer Netherlands. doi.org/10.1007/978-94-009-2448-2_6
- Ontology4. (2025). *Ontology4—Plattform fuer die Entwicklung und Anwendung von Ontologien*. www.ontology4.us/Ontology4-Top-Ontology-Ontology.html
- Ontotext. (2025). *What Is Graph RAG?* Ontotext. www.ontotext.com/knowledgehub/fundamentals/what-is-graph-rag/
- Peng, C., Xia, F., Naseriparsa, M., & Osborne, F. (2023). Knowledge Graphs: Opportunities and Challenges. *Artificial Intelligence Review*, 56(11), 13071–13102. doi.org/10.1007/s10462-023-10465-9
- Singhal, A. (2012, May 16). *Introducing the Knowledge Graph: Things, not strings*. Google. blog.google/products/search/introducing-knowledge-graph-things-not/
- Studer, R., Benjamins, V. R., & Fensel, D. (1998). Knowledge engineering: Principles and methods. *Data & Knowledge Engineering*, 25(1), 161–197. doi.org/10.1016/S0169-023X(97)00056-6
- W3C. (2004a). *SWRL: A Semantic Web Rule Language Combining OWL and RuleML*. www.w3.org/submissions/SWRL/

- W3C. (2004b, January 10). *RDF Vocabulary Description Language 1.0: RDF Schema (RDFS)—Semantic Web Standards*.
www.w3.org/2001/sw/wiki/RDFS
- W3C. (2008). *SPARQL Query Language for RDF*.
- W3C. (2012). *OWL – Semantic Web Standards*.
www.w3.org/OWL
- W3C. (2017). *Shapes Constraint Language (SHACL)*.
- Wallace, D. P. (2007). *Knowledge Management: Historical and Cross-Disciplinary Themes* (2nd ed. edition). Libraries Unlimited.
- Woods, W. A. (1975). WHAT'S IN A LINK: Foundations for Semantic Networks. In D. G. Bobrow & A. Collins (Eds.), *Representation and Understanding* (pp. 35–82). Morgan Kaufmann.
doi.org/10.1016/B978-0-12-108550-6.50007-0