Ein konzeptioneller Rahmen zur mehrdimensionalen Klassifikation von Datenobjekten in Daten- und Wissensräumen

Andreas Fornefett, Anatol Reibold

Version 2026-10-07

Abstract

Die fortschreitende Digitalisierung von Wissenschaft, Technik, Wirtschaft und Gesellschaft führt zur Entstehung zunehmend komplexer Daten- und Wissensräume, in denen heterogene Datenobjekte integriert, ausgetauscht und wiederverwendet werden müssen. Klassische Datentypen beschreiben jedoch ausschließlich die formale Struktur von Datenobjekten und erfassen weder physikalische Größenarten noch semantische Bedeutungen, systemische Zusammenhänge oder organisationale Funktionen.

Die vorliegende Arbeit entwickelt einen konzeptionellen Rahmen zur mehrdimensionalen Klassifikation von Datenobjekten in Daten- und Wissensräumen. Dazu werden fünf komplementäre Beschreibungsräume identifiziert: der Strukturraum (formaler Aufbau), der Dimensionsraum (physikalische Größenart), der semantische Raum (fachliche Bedeutung), der systemische Raum (Einbettung in dynamische Systeme und Prozesse) sowie der organisationale Beschreibungsraum (organisatorische Funktion, basierend auf dem Multi-Quadranten-Modell M-Q-M). Der Rahmen integriert etablierte Ansätze aus Informatik, Physik, Ontologie – insbesondere der General Formal Ontology –, Systemtheorie und Organisationswissenschaft, ohne neue Datentypen oder Ontologien zu entwickeln.

Die Arbeit zeigt, dass eine konsistente Beschreibung von Datenobjekten in Daten- und Wissensräumen mehrere komplementäre Kategorien erfordert, die sich gegenseitig ergänzen und gemeinsam eine umfassendere Charakterisierung ermöglichen als der klassische Datentypbegriff allein. Der wissenschaftliche Beitrag besteht in der systematischen Integration dieser Kategorien zu einem gemeinsamen Klassifikationsrahmen. Grenzen bestehen in der fehlenden mathematischen Axiomatisierung und empirischen Validierung; zukünftige Forschung sollte die formale Ausarbeitung und praktische Umsetzung in Referenzarchitekturen adressieren.

Schlagwörter: Datenobjekte, Datenräume, Wissensräume, mehrdimensionale Klassifikation, Beschreibungsraum, Strukturraum, Dimensionsraum, semantischer Raum, systemischer Raum, organisationaler Beschreibungsraum, Multi-Quadranten-Modell (M-Q-M), Ontologie, General Formal Ontology (GFO), Systemtheorie, Interoperabilität, Wissensgraph, Digitaler Zwilling

Kapitel 1 – Einleitung

1.1 Motivation

Die fortschreitende Digitalisierung von Wissenschaft, Technik, Wirtschaft und Gesellschaft führt zur Entstehung zunehmend komplexer Daten- und Wissensräume. Moderne Informationssysteme verarbeiten nicht nur numerische Messwerte oder Zeichenketten, sondern integrieren Simulationsmodelle, Sensordaten, Wissensgraphen, Prozessinformationen sowie Ergebnisse datengetriebener Verfahren der Künstlichen Intelligenz. Gleichzeitig entstehen domänenübergreifende Datenräume, in denen Daten unterschiedlicher Herkunft gemeinsam gespeichert, ausgetauscht und ausgewertet werden.

Mit dieser Entwicklung wächst die Bedeutung einer konsistenten Beschreibung von Datenobjekten. Daten müssen heute nicht nur technisch verarbeitet, sondern auch fachlich interpretiert, organisationsübergreifend verstanden und langfristig wiederverwendet werden. Die Qualität eines Datenraums hängt daher wesentlich von der Qualität der Beschreibung seiner Datenobjekte ab.

1.2 Problemstellung

Die Informatik stellt mit dem Begriff des Datentyps seit Jahrzehnten ein leistungsfähiges Konzept zur Beschreibung der formalen Struktur von Daten bereit. Parallel dazu existieren in Physik, Ontologie, Systemtheorie und Organisationswissenschaft eigenständige Ansätze zur Beschreibung weiterer Eigenschaften von Datenobjekten. Diese Perspektiven werden bislang überwiegend getrennt betrachtet.

Daraus ergibt sich die zentrale Forschungsfrage dieser Arbeit:

Wie können Datenobjekte so klassifiziert werden, dass ihre strukturellen, dimensionalen, semantischen, systemischen und organisationalen Eigenschaften in einem gemeinsamen konzeptionellen Rahmen beschrieben werden können?

1.3 Forschungslücke

Obwohl für die einzelnen Eigenschaften von Datenobjekten ausgereifte Modelle existieren, fehlt bislang ein integrierender Rahmen, der diese unterschiedlichen wissenschaftlichen Perspektiven systematisch zusammenführt. Insbesondere fehlt eine Einordnung, welche die verschiedenen Ansätze als komplementäre Beschreibungsräume desselben Datenobjekts interpretiert.

1.4 Zielsetzung und wissenschaftlicher Beitrag

Ziel der vorliegenden Arbeit ist die Entwicklung eines konzeptionellen Rahmens zur mehrdimensionalen Klassifikation von Datenobjekten in Daten- und Wissensräumen.

Die Arbeit identifiziert fünf komplementäre Beschreibungsräume:
• Strukturraum,
• Dimensionsraum,
• semantischer Raum,
• systemischer Raum,
• organisationaler Beschreibungsraum.

Der wissenschaftliche Beitrag besteht nicht in der Entwicklung neuer Datentypen oder Ontologien, sondern in der Integration etablierter Ansätze zu einem gemeinsamen Klassifikationsrahmen.

1.5 Aufbau der Arbeit

Nach der Einleitung werden zunächst Daten- und Wissensräume als Motivation betrachtet. Anschließend werden der Strukturraum, Dimensionsraum, semantische Raum und systemische Raum eingeführt. Darauf aufbauend wird der organisationale Beschreibungsraum auf Grundlage des Multi-Quadranten-Modells (M-Q-M) entwickelt. Die Arbeit schließt mit einer Diskussion der Ergebnisse sowie einem Fazit und Ausblick.

Kapitel 2 – Daten- und Wissensräume als Motivation

2.1 Datenräume als Grundlage moderner Informationssysteme

Die Digitalisierung nahezu aller wissenschaftlichen, technischen und organisatorischen Anwendungsbereiche hat zur Entstehung umfangreicher Datenbestände geführt, die zunehmend organisations- und domänenübergreifend genutzt werden. Daten entstehen heute in Sensoren, Simulationssystemen, Geschäftsprozessen, wissenschaftlichen Experimenten, Verwaltungsverfahren sowie durch Verfahren der Künstlichen Intelligenz. Diese Daten unterscheiden sich hinsichtlich ihrer Herkunft, Struktur, Qualität und Bedeutung, sollen jedoch innerhalb gemeinsamer Informationsinfrastrukturen integriert und gemeinsam genutzt werden.

Vor diesem Hintergrund hat sich das Konzept des Datenraums etabliert. Ein Datenraum beschreibt eine technische und organisatorische Infrastruktur, welche den sicheren, interoperablen und kontrollierten Austausch sowie die gemeinsame Nutzung verteilter Datenbestände ermöglicht. Die Leistungsfähigkeit eines Datenraums hängt dabei wesentlich von der konsistenten Beschreibung der enthaltenen Datenobjekte ab.

2.2 Wissensräume als Erweiterung von Datenräumen

Während Datenräume die Verwaltung und Bereitstellung von Daten unterstützen, verfolgen Wissensräume ein weitergehendes Ziel. Sie beschreiben nicht nur Daten selbst, sondern auch deren fachliche Bedeutung, Beziehungen, Modelle, Regeln und Schlussfolgerungen.

Hierzu werden insbesondere Ontologien, Wissensgraphen, Terminologien und Regelwerke eingesetzt.

Datenräume und Wissensräume stehen somit in einem komplementären Verhältnis: Daten bilden die Grundlage des Wissens, Wissen ermöglicht die Interpretation und Nutzung der Daten.

2.3 Warum Wissensräume konsistente Datenräume voraussetzen

Die Qualität eines Wissensraums hängt unmittelbar von der Qualität der zugrunde liegenden Daten ab. Inkonsistente oder unzureichend beschriebene Datenobjekte führen zu fehlerhaften Interpretationen und erschweren die Interoperabilität zwischen unterschiedlichen Informationssystemen.

Eine konsistente Beschreibung von Datenobjekten ist daher eine wesentliche Voraussetzung für den Aufbau leistungsfähiger Daten- und Wissensräume.

2.4 Grenzen klassischer Datentypen

Die Informatik beschreibt Datenobjekte traditionell durch Datentypen. Datentypen definieren Wertebereiche, Datenstrukturen und zulässige Operationen. Für die Integration heterogener Datenräume genügt diese Sichtweise jedoch nicht.

Ein Datentyp beschreibt ausschließlich die formale Struktur eines Datenobjekts. Aussagen über physikalische Größenarten, semantische Bedeutungen, systemische Zusammenhänge oder organisationale Funktionen werden dadurch nicht erfasst.

2.5 Motivation für einen mehrdimensionalen Beschreibungsrahmen

Aus diesen Überlegungen ergibt sich die zentrale Motivation dieser Arbeit. Datenobjekte besitzen mehrere voneinander unabhängige Eigenschaften, die durch unterschiedliche wissenschaftliche Disziplinen beschrieben werden.

Daraus folgt die zentrale Hypothese der Arbeit:

Eine konsistente Beschreibung von Datenobjekten in Daten- und Wissensräumen erfordert mehrere komplementäre Beschreibungsräume, die unterschiedliche Eigenschaften desselben Datenobjekts erfassen.

Im weiteren Verlauf werden Strukturraum, Dimensionsraum, semantischer Raum, systemischer Raum und organisationaler Beschreibungsraum als Bestandteile dieses konzeptionellen Rahmens entwickelt.

Kapitel 3 Der Strukturraum als erster Beschreibungsraum von Datenobjekten

3.1 Motivation

Im vorhergehenden Kapitel wurde gezeigt, dass Datenobjekte in modernen Daten- und Wissensräumen gleichzeitig unterschiedliche Eigenschaften besitzen. Diese Eigenschaften werden in verschiedenen wissenschaftlichen Disziplinen untersucht und mit jeweils eigenen Begriffen und Methoden beschrieben. Die Informatik konzentriert sich auf die formale Struktur von Datenobjekten, während andere Disziplinen physikalische, semantische, systemische oder organisationale Eigenschaften betrachten.

Den Ausgangspunkt bildet die formale Beschreibung eines Datenobjekts. Ohne eine eindeutige strukturelle Repräsentation können Daten weder gespeichert noch verarbeitet oder zwischen Informationssystemen ausgetauscht werden. Der Strukturraum beschreibt daher die strukturellen Eigenschaften von Datenobjekten und bildet den ersten Beschreibungsraum des vorgeschlagenen Klassifikationsrahmens.

3.2 Der Begriff des Beschreibungsraums

Zur systematischen Einordnung unterschiedlicher wissenschaftlicher Perspektiven wird der Begriff des Beschreibungsraums eingeführt.

Definition 3.1 (Beschreibungsraum)

Ein Beschreibungsraum ist ein konsistentes System von Begriffen, Relationen, Regeln und Methoden zur Beschreibung einer bestimmten Klasse von Eigenschaften eines Datenobjekts.

Ein Beschreibungsraum beschreibt niemals das gesamte Datenobjekt, sondern abstrahiert bewusst von allen Eigenschaften, die nicht zu seinem Erkenntnisgegenstand gehören. Mehrere Beschreibungsräume können gleichzeitig auf dasselbe Datenobjekt angewendet werden und ergänzen sich gegenseitig.

3.3 Definition des Strukturraums

Definition 3.2 (Strukturraum)

Der Strukturraum ist der Beschreibungsraum, welcher die strukturellen Eigenschaften eines Datenobjekts beschreibt.

Hierzu gehören insbesondere Datentypen, Datenstrukturen, abstrakte Datentypen, Typensysteme und mathematische Typentheorien.

Der Strukturraum beantwortet die Leitfrage:

„Wie ist ein Datenobjekt formal aufgebaut?“

Aussagen über physikalische Größenarten, semantische Bedeutungen, systemische Zusammenhänge oder organisationale Funktionen gehören ausdrücklich nicht zum Gegenstandsbereich des Strukturraums.

3.4 Historische Entwicklung des Datentypbegriffs

Der Begriff des Datentyps entwickelte sich mit den ersten höheren Programmiersprachen. Bereits in den 1960er Jahren wurde erkannt, dass Programme robuster werden, wenn Variablen nicht nur Speicherbereiche repräsentieren, sondern durch zulässige Wertebereiche und definierte Operationen charakterisiert werden.

Aus elementaren Datentypen entwickelten sich strukturierte Datentypen, abstrakte Datentypen, objektorientierte Klassen sowie generische und polymorphe Typsysteme. Parallel hierzu entstand die Typentheorie als eigenständige mathematische Disziplin.

Trotz dieser Entwicklung verfolgen alle Typkonzepte dasselbe Ziel: Sie beschreiben die formale Struktur von Datenobjekten. Aus Sicht der vorliegenden Arbeit stellen sie unterschiedliche Ausprägungen desselben Beschreibungsraums dar und bilden gemeinsam den Strukturraum.

3.5 Elementare und zusammengesetzte Datentypen

Die einfachste Form der strukturellen Beschreibung bilden elementare Datentypen wie Integer, Float, Boolean, Character und String. Sie definieren zulässige Wertebereiche sowie die darauf anwendbaren Operationen und bilden die Grundlage nahezu aller Programmiersprachen.

Zur Beschreibung komplexer Datenobjekte werden elementare Datentypen zu zusammengesetzten Datentypen kombiniert. Hierzu gehören insbesondere Arrays, Listen, Mengen, Tupel, Records, Bäume und Graphen. Unabhängig von ihrer konkreten Ausprägung beschreiben diese Datenstrukturen ausschließlich des formalen Aufbaus eines Datenobjekts. Sie treffen keine Aussagen über dessen physikalische Größenart, semantische Bedeutung oder organisatorische Funktion.

3.6 Abstrakte Datentypen

Mit zunehmender Komplexität von Softwaresystemen entstand das Konzept der Abstrakten Datentypen (Abstract Data Types, ADT). Ein ADT wird durch seine Operationen und deren formale Eigenschaften beschrieben, nicht durch seine interne Implementierung.

Beispiele hierfür sind Stack, Queue, Set oder Map. Der Strukturraum betrachtet abstrakte Datentypen als formale Spezifikationen struktureller Eigenschaften und abstrahiert bewusst von ihrer technischen Realisierung.

3.7 Typentheorie

Die Typentheorie erweitert den Datentypbegriff zu einer mathematischen Theorie formaler Strukturen. Aufbauend auf den Arbeiten von Alonzo Church und Per Martin-Löf entwickelte sie sich zu einer eigenständigen Disziplin an der Schnittstelle von Mathematik, Logik und Informatik.

Von besonderer Bedeutung sind polymorphe und abhängige Typen. Sie ermöglichen eine präzisere Beschreibung mathematischer Strukturen und bilden die Grundlage moderner funktionaler Programmiersprachen sowie formaler Verifikationsverfahren. Im Kontext dieser Arbeit zeigt die Typentheorie, dass Typen weit mehr sind als technische Programmierkonstrukte: Sie beschreiben strukturelle Eigenschaften von Datenobjekten in mathematisch konsistenter Weise.

3.8 Homotopy Type Theory (HoTT)

Die Homotopy Type Theory verbindet Typentheorie mit Konzepten der algebraischen Topologie. Typen werden dabei als mathematische Räume interpretiert; Gleichheit wird durch strukturelle Äquivalenz beschrieben. Bekannt wurde dieser Ansatz insbesondere durch das Univalence-Axiom von Vladimir Voevodsky.

Für die vorliegende Arbeit besitzt HoTT vor allem konzeptionelle Bedeutung. Sie verdeutlicht die kontinuierliche Weiterentwicklung des Typbegriffs von einfachen Speicherformaten hin zu einem fundamentalen mathematischen Konzept. Trotz dieser Erweiterung bleibt der Gegenstandsbereich unverändert: Beschrieben werden ausschließlich die strukturellen Eigenschaften eines Datenobjekts.

3.9 Moderne Datenstrukturen

Die Entwicklung datenintensiver Anwendungen hat zu einer erheblichen Erweiterung klassischer Datenstrukturen geführt. Neben Arrays, Listen und Bäumen kommen heute DataFrames, Tensoren, Sparse-Matrizen, Graphstrukturen und spaltenorientierte Datenformate zum Einsatz.

Ein prominentes Beispiel ist der DataFrame der Python-Bibliothek Pandas. Er stellt eine tabellarische Datenstruktur bereit, deren Spalten unterschiedliche Datentypen besitzen können und zusätzlich durch Metadaten beschrieben werden. Ähnliche Konzepte finden sich in Apache Arrow, das einen standardisierten spaltenorientierten Speicher für analytische Anwendungen bereitstellt, sowie in Frameworks wie NumPy, TensorFlow oder PyTorch, die mehrdimensionale Tensoren als zentrale Datenstruktur verwenden.

Trotz ihrer hohen Ausdrucksmächtigkeit beschreiben diese Datenstrukturen ausschließlich den formalen Aufbau von Datenobjekten. Sie legen fest, wie Daten organisiert, gespeichert und verarbeitet werden können, treffen jedoch keine Aussagen über deren physikalische Größenarten, semantische Bedeutung oder organisationale Funktion.

3.10 Diskussion

Die Entwicklung von elementaren Datentypen über abstrakte Datentypen und Typentheorien bis hin zu modernen Datenstrukturen zeigt eine kontinuierliche Erweiterung der Möglichkeiten zur Beschreibung formaler Strukturen. Allen Ansätzen gemeinsam ist jedoch derselbe Erkenntnisgegenstand: Sie beschreiben ausschließlich die strukturellen Eigenschaften eines Datenobjekts.

Der in dieser Arbeit eingeführte Strukturraum ersetzt diese Konzepte nicht, sondern ordnet sie in einen gemeinsamen theoretischen Zusammenhang ein. Datentypen, ADT, Typentheorien, HoTT und moderne Datenstrukturen werden als unterschiedliche Ausprägungen eines Beschreibungsraums verstanden, dessen Leitfrage lautet: „Wie ist ein Datenobjekt formal aufgebaut?“ Gerade diese Abgrenzung ermöglicht die klare Trennung zwischen strukturellen, dimensionalen, semantischen, systemischen und organisationalen Eigenschaften eines Datenobjekts.

3.11 Zusammenfassung

Der Strukturraum bildet den ersten Beschreibungsraum des vorgeschlagenen mehrdimensionalen Klassifikationsrahmens. Er umfasst klassische Datentypen, Datenstrukturen, abstrakte Datentypen, mathematische Typentheorien sowie moderne Datenstrukturen der Datenanalyse.

Der wesentliche Beitrag dieses Kapitels besteht darin, diese unterschiedlichen Konzepte als Beschreibungen derselben Eigenschaft – der formalen Struktur eines Datenobjekts – zu interpretieren. Damit wird der Datentypbegriff in einen allgemeineren theoretischen Rahmen eingeordnet.

Im folgenden Kapitel wird mit dem Dimensionsraum ein zweiter Beschreibungsraum eingeführt. Dieser ergänzt die formale Perspektive des Strukturraums um die Beschreibung physikalischer Größenarten und schafft damit die Grundlage für eine mehrdimensionale Klassifikation von Datenobjekten.

Kapitel 4 – Der Dimensionsraum als zweiter Beschreibungsraum von Datenobjekten

4.1 Motivation

Der Strukturraum beschreibt ausschließlich die formale Struktur eines Datenobjekts. In wissenschaftlichen und technischen Anwendungen reicht diese Beschreibung jedoch nicht aus.

Zwei Datenobjekte können denselben Datentyp besitzen und dennoch völlig unterschiedliche physikalische Größen repräsentieren. Ein numerischer Wert kann beispielsweise eine Temperatur, einen Druck, eine Länge oder eine Zeitspanne darstellen. Der Datentyp allein erlaubt diese Unterscheidung nicht.

Der Dimensionsraum ergänzt daher den Strukturraum um die Beschreibung der physikalischen Größenart eines Datenobjekts.

4.2 Der Begriff des Dimensionsraums

Definition 4.1 (Dimensionsraum)

Der Dimensionsraum ist der Beschreibungsraum, welcher die dimensionalen Eigenschaften eines Datenobjekts beschreibt. Hierzu gehören insbesondere physikalische Größenarten, Einheiten, Dimensionsgleichungen und dimensionslose Kennzahlen.

Der Dimensionsraum beantwortet die Leitfrage:

„Welche Größenart wird durch das Datenobjekt repräsentiert?“

4.3 Physikalische Größen und Dimensionen

In den Natur- und Ingenieurwissenschaften werden Größen durch ihren Zahlenwert und ihre Dimension charakterisiert. Das Internationale Einheitensystem (SI) definiert sieben Basisgrößen, aus denen sich alle weiteren physikalischen Größen ableiten lassen.

Für Datenräume bedeutet dies, dass numerische Werte erst durch ihre Zuordnung zu einer Größenart eindeutig interpretierbar werden.

4.4 Dimensionsanalyse

Die Dimensionsanalyse untersucht die Konsistenz physikalischer Gleichungen anhand ihrer Dimensionen. Sie bildet eine wesentliche Grundlage mathematischer Modellbildung und numerischer Simulation. Im Kontext von Datenräumen zeigt sie, dass physikalische Eigenschaften unabhängig von der formalen Datenstruktur beschrieben werden müssen.

4.5 Das Buckingham-Π-Theorem

Das Buckingham-Π-Theorem zeigt, dass physikalische Zusammenhänge durch dimensionslose Kennzahlen beschrieben werden können. Es besitzt grundlegende Bedeutung für Ähnlichkeitsgesetze, Modellbildung und Skalierungsfragen und verdeutlicht die Eigenständigkeit des Dimensionsraums gegenüber dem Strukturraum.

4.6 Bedeutung des Dimensionsraums für Datenräume

Bei der Integration heterogener Datenquellen entstehen häufig Fehler durch unterschiedliche Einheiten oder inkonsistente Dimensionsangaben.

Der Dimensionsraum schafft eine eigenständige Beschreibungsebene zur eindeutigen Charakterisierung physikalischer Größen und unterstützt dadurch Interoperabilität und Wiederverwendbarkeit von Daten.

4.7 Diskussion

Strukturraum und Dimensionsraum beschreiben unterschiedliche Eigenschaften desselben Datenobjekts. Während der Strukturraum den formalen Aufbau charakterisiert, beschreibt der Dimensionsraum dessen physikalische Größenart. Beide Beschreibungsräume ergänzen sich und bilden gemeinsam die Grundlage für die konsistente Beschreibung naturwissenschaftlicher und technischer Daten.

4.8 Zusammenfassung

Der Dimensionsraum erweitert den vorgeschlagenen Klassifikationsrahmen um die physikalische Perspektive. Gemeinsam mit dem Strukturraum ermöglicht er eine eindeutige Charakterisierung formaler und physikalischer Eigenschaften von Datenobjekten. Im folgenden Kapitel wird der semantische Raum eingeführt, der die fachliche Bedeutung von Datenobjekten beschreibt.

Kapitel 5 – Der semantische Raum als dritter Beschreibungsraum von Datenobjekten

5.1 Motivation

Die bisherigen Kapitel haben gezeigt, dass Datenobjekte hinsichtlich ihrer formalen Struktur und ihrer physikalischen Größenarten beschrieben werden können. Diese beiden Perspektiven beantworten jedoch nicht die Frage, welche Bedeutung ein Datenobjekt besitzt. Ein numerischer Wert kann beispielsweise eine Temperatur, einen Kontostand oder eine Materialeigenschaft repräsentieren. Erst seine fachliche Interpretation verleiht ihm Bedeutung.

Der semantische Raum ergänzt daher Struktur- und Dimensionsraum um die Beschreibung der Bedeutung von Datenobjekten.

5.2 Der Begriff des semantischen Raums

Definition 5.1 (Semantischer Raum)
Der semantische Raum ist der Beschreibungsraum, welcher die semantischen Eigenschaften eines Datenobjekts beschreibt. Hierzu gehören Begriffe, Klassen, Relationen, Eigenschaften, Axiome und Kontextinformationen, welche die fachliche Interpretation eines Datenobjekts ermöglichen.

Der semantische Raum beantwortet die Leitfrage:
„Was repräsentiert das Datenobjekt?“

5.3 Formale Ontologien als Grundlage

Die systematische Beschreibung fachlicher Bedeutungen ist Gegenstand der formalen Ontologie. Formale Ontologien definieren Begriffe, Relationen und Axiome mit logischer Präzision und ermöglichen dadurch eine konsistente Wissensrepräsentation sowie maschinelle Schlussfolgerungen. Sie bilden die theoretische Grundlage moderner Wissensgraphen und semantischer Informationssysteme.

5.4 Die General Formal Ontology (GFO)

Für den vorgeschlagenen Beschreibungsrahmen besitzt die General Formal Ontology (GFO) besondere Bedeutung. GFO integriert Objekte, Prozesse, Eigenschaften, Zeit und Raum in einem gemeinsamen ontologischen Modell und eignet sich dadurch besonders für die Beschreibung komplexer Daten- und Wissensräume.

Im Unterschied zu rein objektorientierten Ontologien berücksichtigt GFO sowohl persistente Objekte als auch zeitliche Prozesse und Ereignisse. Dadurch bildet sie eine geeignete Referenzontologie für die semantische Beschreibung von Datenobjekten innerhalb des vorgeschlagenen Klassifikationsrahmens.

5.5 Semantik in Daten- und Wissensräumen

Die Integration heterogener Datenquellen erfordert eine eindeutige Beschreibung der fachlichen Bedeutung von Datenobjekten. Ontologien und Wissensgraphen ermöglichen die Verknüpfung unterschiedlicher Begriffe und schaffen damit die Voraussetzung für Interoperabilität und konsistente Wissensrepräsentation.

Der semantische Raum beschreibt daher nicht einzelne Datenwerte, sondern deren Bedeutung innerhalb eines fachlichen Begriffs- und Beziehungssystems.

5.6 Verhältnis zu den bisherigen Beschreibungsräumen

Ein Datenobjekt kann gleichzeitig eine formale Struktur besitzen, einer physikalischen Größenart angehören und eine fachliche Bedeutung repräsentieren. Diese Eigenschaften ergänzen sich gegenseitig. Ein Temperaturmesswert kann beispielsweise als Float im Strukturraum, als Temperatur im Dimensionsraum und als Messwert eines Temperatursensors im semantischen Raum beschrieben werden.

5.7 Diskussion

Der semantische Raum ergänzt die bisherigen Beschreibungsräume um die Ebene der Bedeutung. Er ersetzt weder Datentypen noch physikalische Größenmodelle, sondern erweitert diese um eine explizite semantische Interpretation. Damit bildet er eine wesentliche Grundlage moderner Daten- und Wissensräume.

5.8 Zusammenfassung

Der semantische Raum bildet den dritten Beschreibungsraum des vorgeschlagenen Klassifikationsrahmens. Aufbauend auf formalen Ontologien und insbesondere der General Formal Ontology beschreibt er die fachliche Bedeutung von Datenobjekten. Im folgenden Kapitel wird der systemische Raum eingeführt, der Datenobjekte als Bestandteile dynamischer Systeme und Prozesse betrachtet.

Kapitel 6 – Der systemische Raum als vierter Beschreibungsraum von Datenobjekten

6.1 Motivation

Die bisherigen Beschreibungsräume charakterisieren Datenobjekte hinsichtlich ihrer Struktur, ihrer physikalischen Eigenschaften und ihrer fachlichen Bedeutung. In realen Anwendungen existieren Datenobjekte jedoch nicht isoliert. Sie entstehen in Prozessen, beschreiben Zustände, dokumentieren Ereignisse und wirken innerhalb dynamischer Systeme zusammen. Diese dynamische Perspektive wird durch den systemischen Raum erfasst.

6.2 Der Begriff des systemischen Raums

Definition 6.1 (Systemischer Raum)

Der systemische Raum ist der Beschreibungsraum, welcher die systemischen Eigenschaften eines Datenobjekts beschreibt. Hierzu gehören insbesondere Zustände, Prozesse, Ereignisse, Wechselwirkungen und Rückkopplungen.

Der systemische Raum beantwortet die Leitfrage:
„Welche Rolle übernimmt ein Datenobjekt innerhalb eines Systems?“

6.3 Systeme als Wirkungszusammenhänge

Die Systemtheorie betrachtet Systeme als Mengen miteinander verbundener Elemente, deren Beziehungen das Verhalten des Gesamtsystems bestimmen. Datenobjekte repräsentieren in diesem Zusammenhang häufig Zustände, Prozessgrößen oder Beziehungen zwischen Systemelementen. Der systemische Raum erweitert die Betrachtung daher von isolierten Datenobjekten hin zu ihren Wechselwirkungen.

6.4 Zustände, Prozesse und Ereignisse

Ein Zustand beschreibt die Gesamtheit relevanter Eigenschaften eines Systems zu einem bestimmten Zeitpunkt oder innerhalb eines hinreichend kleinen Zeitintervalls.

Prozesse beschreiben die zeitliche Entwicklung eines Systems und damit die kontinuierliche Folge von Zustandsänderungen. Ereignisse markieren identifizierbare Änderungen oder Übergänge, welche Prozesse auslösen, beeinflussen, strukturieren oder beenden.

Die Unterscheidung zwischen Zustand, Ereignis und Prozess hängt jedoch nicht ausschließlich vom betrachteten Phänomen selbst ab, sondern auch von der zeitlichen Auflösung der Beobachtung. Wird ein Ereignis über ein sehr kurzes Beobachtungsintervall betrachtet, erscheint es näherungsweise als Zustand. Wird dasselbe Geschehen über einen längeren Zeitraum verfolgt, so wird seine zeitliche Entwicklung als Prozess erkennbar. Zustände, Ereignisse und Prozesse stellen daher unterschiedliche zeitliche Perspektiven auf dieselbe dynamische Aktivität dar.

Im systemischen Raum werden Datenobjekte folglich nicht als isolierte Informationen verstanden, sondern als Repräsentationen von Aktivitäten, deren Zuständen, Übergängen und zeitlichen Entwicklungen. Diese Sichtweise verbindet den systemischen Beschreibungsraum mit der aktivitätsorientierten Grundlage des M-Q-M und schafft zugleich den Übergang zum organisationalen Beschreibungsraum.

6.5 Rückkopplungen und Dynamik

Komplexe Systeme zeichnen sich durch Rückkopplungen aus. Ergebnisse wirken auf zukünftige Zustände zurück und beeinflussen weitere Entscheidungen oder Prozesse. Der systemische Raum beschreibt diese dynamischen Beziehungen unabhängig von der technischen Repräsentation der zugrunde liegenden Datenobjekte.

6.6 Bedeutung für Daten- und Wissensräume

Digitale Zwillinge, Simulationssysteme und wissensbasierte Anwendungen benötigen Informationen über Zustände, Prozesse, Ereignisse und deren Wechselwirkungen. Der systemische Raum ergänzt daher die bisherigen Beschreibungsräume um eine dynamische Sicht auf Datenobjekte und unterstützt die Modellierung komplexer Systeme.

6.7 Diskussion

Während Struktur-, Dimensions- und semantischer Raum überwiegend statische Eigenschaften beschreiben, richtet sich der systemische Raum auf dynamische Zusammenhänge. Gemeinsam ermöglichen die vier Beschreibungsräume eine umfassendere Charakterisierung von Datenobjekten als jede einzelne Perspektive für sich.

6.8 Zusammenfassung

Der systemische Raum bildet den vierten Beschreibungsraum des vorgeschlagenen Klassifikationsrahmens. Er beschreibt Datenobjekte als Bestandteile dynamischer Systeme und Prozesse und ergänzt die bisherigen Beschreibungsräume um die Dimension von Zustandsänderungen, Ereignissen und Rückkopplungen. Im folgenden Kapitel wird der organisationale Beschreibungsraum eingeführt.

Kapitel 7 – Der organisationale Beschreibungsraum als fünfter Beschreibungsraum von Datenobjekten

7.1 Motivation

Die bisherigen Beschreibungsräume charakterisieren Datenobjekte hinsichtlich ihrer Struktur, ihrer physikalischen Größenarten, ihrer fachlichen Bedeutung sowie ihrer Einbettung in dynamische Systeme. Für die Beschreibung komplexer Daten- und Wissensräume genügt diese Perspektive jedoch nicht. Offen bleibt die Frage, welche Funktion ein Datenobjekt innerhalb einer Organisation erfüllt bzw. welche funktionale Rolle Datenobjekte innerhalb einer zielgerichteten Aktivität übernehmen. Daten entstehen, werden verarbeitet und bewertet, um organisatorische Entscheidungen zu unterstützen. Diese Perspektive wird durch den organisationalen Beschreibungsraum beschrieben, der auf den Grundprinzipien des Multi-Quadranten-Modells (M-Q-M) aufbaut. Das M-Q-M erlaubt dazu einen grundlegenden Perspektivwechsel: Systeme werden nicht primär durch Objekte beschrieben, sondern durch Aktivitäten und deren Wirkungszusammenhänge. Maschinen, Menschen, Lager, Software-Agenten oder Datenbanken sind daher nicht die primären Beschreibungseinheiten, sondern Träger von Aktivitäten. Diese Aktivitätsorientierung bildet die methodische Grundlage des organisationalen Beschreibungsraums.

7.2 Der Begriff des organisationalen Beschreibungsraums

Definition 7.1 (Organisationaler Beschreibungsraum)

Der organisationale Beschreibungsraum beschreibt die organisationalen Eigenschaften eines Datenobjekts. Er beantwortet die Leitfrage: „Welche organisatorische Funktion erfüllt ein Datenobjekt?“ und abstrahiert bewusst von Struktur, Dimension, Semantik und systemischer Einbettung.

7.3 Organisationen als eigenständiger Erkenntnisgegenstand

Organisationen verfolgen Ziele, treffen Entscheidungen und koordinieren Ressourcen. Datenobjekte besitzen deshalb neben ihrer technischen und fachlichen Beschreibung eine organisatorische Funktion, beispielsweise als Planungsdaten, Ressourcendaten, Prozessdaten oder Bewertungsdaten.

Jedes Aktivitätssystem lässt sich durch vier funktionale Grundkategorien beschreiben: Q3 (Identität, Zweck und Zielsystem), Q2 (Ressourcen- und Flusssystem), Q1 (Transformation und Regelung) sowie Q4 (Ergebnisse, Bestände und Wirkungen). Diese vier Funktionen bilden die funktionale Minimalstruktur komplexer Aktivitätssysteme. Der organisatorische Kontext bildet den Rahmen für die Interpretation dieser Funktionen.

Die vier Quadranten sind keine voneinander unabhängigen Kategorien, sondern systemisch gekoppelte Teilstrukturen eines gemeinsamen Aktivitätssystems. Ihre Bedeutung ergibt sich erst aus ihrem Zusammenwirken.

Der organisationale Beschreibungsraum beschreibt daher keine isolierten Funktionen, sondern deren funktionale Kopplung innerhalb eines zielgerichteten Systems.

7.4 Zyklische Hauptwirkung

Planung erzeugt Ressourcenbedarf, Ressourcen ermöglichen Transformation, Transformation erzeugt Ergebnisse und Bewertungen, deren Wirkungen in die nächste Planungsphase zurückfließen.

Die organisationale Wirkung folgt der zyklischen Reihenfolge:

Q3 → Q2 → Q1 → Q4 → Q3

Q3 definiert Ziele und Planung. Q2 stellt Ressourcen bereit. Q1 realisiert die Transformation. Q4 bewertet Ergebnisse und aktualisiert die Wissensbasis. Die Erkenntnisse aus Q4 fließen in die nächste Planungsphase von Q3 ein. Ein allgemeiner Direktoperator Q1 → Q3 wird dabei nicht vorausgesetzt; Rückkopplungen werden als zeitversetzte Wirkungen modelliert.

7.5 Systemischer und organisationaler Beschreibungsraum

Der systemische Beschreibungsraum beschreibt Aktivitäten, Zustände, Flüsse und Rückkopplungen unabhängig von ihrer Zielsetzung. Der organisationale Beschreibungsraum betrachtet dieselben Aktivitäten unter der Perspektive ihrer funktionalen Rolle innerhalb zielgerichteter Organisationen. Er beschreibt insbesondere Zielbildung (Q3), Ressourcenführung (Q2), Transformation (Q1) und Bewertung (Q4). Damit stellt er keine Alternative zur Systemtheorie dar, sondern deren funktionale Operationalisierung.

7.6 Mehrdimensionale Beschreibung eines Datenobjekts

Ein Datenobjekt kann gleichzeitig strukturelle, dimensionale, semantische, systemische und organisationale Eigenschaften besitzen. Ein Temperaturmesswert kann beispielsweise als Float (Strukturraum), Temperatur (Dimensionsraum), Messwert eines Sensors (semantischer Raum), Zustandsgröße eines Regelkreises (systemischer Raum) und als Bewertungsinformation im M-Q-M (organisationaler Beschreibungsraum) beschrieben werden.

Strukturraum, Dimensionsraum, semantischer Raum, systemischer Raum und organisationaler Beschreibungsraum beschreiben also nicht fünf verschiedene Gegenstände. Vielmehr stellen sie fünf komplementäre Projektionen desselben Aktivitätssystems dar.

Erst ihr Zusammenwirken ermöglicht eine konsistente Beschreibung komplexer Daten- und Wissensräume.

Dieser mehrschichtige Beschreibungsrahmen bildet den zentralen theoretischen Beitrag der vorliegenden Arbeit.

7.7 Diskussion

Ein organisationaler Beschreibungsraum ergänzt die bisherigen Beschreibungsräume um die Perspektive der organisatorischen Funktion. Er beschreibt den Beitrag eines Datenobjekts zu Planung, Ressourceneinsatz, Transformation und Bewertung innerhalb einer Organisation. Womit er den vorgeschlagenen mehrdimensionalen Klassifikationsrahmen vervollständigt. Mit ihm können Datenobjekte nicht nur technisch und fachlich, sondern auch hinsichtlich ihrer organisatorischen Funktion konsistent beschrieben werden.

7.8 Zusammenfassung

Der organisationale Beschreibungsraum ergänzt den systemischen Beschreibungsraum nicht um weitere Objekte oder Kategorien, sondern um eine funktionale Sicht auf zielgerichtete Aktivitäten. Dadurch entsteht ein integrierter mehrschichtiger Beschreibungsrahmen, in dem Struktur-, Dimensions-, semantischer, systemischer und organisationaler Raum unterschiedliche Erkenntnisperspektiven desselben Aktivitätssystems darstellen.

So bildet er den unmittelbaren Übergang zur abschließenden Diskussion der Arbeit.

Kapitel 8 – Diskussion

8.1 Vom Datentyp zum mehrdimensionalen Datenobjekt

Der klassische Datentyp beschreibt die formale Struktur eines Datenobjekts. Für moderne Daten- und Wissensräume genügt diese Perspektive jedoch nicht. Datenobjekte besitzen darüber hinaus dimensionale, semantische, systemische und organisationale Eigenschaften. Die vorliegende Arbeit schlägt daher vor, Datentypen als Beschreibung struktureller Eigenschaften zu verstehen und sie in einen umfassenderen mehrdimensionalen Beschreibungsrahmen einzuordnen.

8.2 Komplementarität der Beschreibungsräume

Die fünf eingeführten Beschreibungsräume besitzen unterschiedliche Erkenntnisgegenstände und ergänzen sich gegenseitig. Der Strukturraum beschreibt den formalen Aufbau, der Dimensionsraum die physikalische Größenart, der semantische Raum die fachliche Bedeutung, der systemische Raum die Einbettung in dynamische Zusammenhänge und der organisationale Beschreibungsraum die Funktion innerhalb organisatorischer Prozesse.

8.3 Bedeutung für Daten- und Wissensräume

Die Trennung der unterschiedlichen Eigenschaften von Datenobjekten erleichtert die Integration heterogener Datenquellen und unterstützt den Aufbau interoperabler Daten- und Wissensräume.

Datenobjekte können dadurch gleichzeitig formal verarbeitet, physikalisch interpretiert, semantisch verstanden, systemisch eingeordnet und organisatorisch bewertet werden.

8.4 Grenzen des vorgeschlagenen Ansatzes

Die Arbeit entwickelt einen konzeptionellen Klassifikationsrahmen. Eine vollständige mathematische Theorie der Beschreibungsräume, ihre formale Axiomatisierung sowie empirische Validierungen bleiben Gegenstand zukünftiger Forschung. Ebenso sind Verfahren zur automatischen Klassifikation von Datenobjekten weiter zu untersuchen.

8.5 Wissenschaftlicher Beitrag

Der wissenschaftliche Beitrag besteht nicht in der Entwicklung neuer Datentypen oder Ontologien, sondern in der Integration etablierter Konzepte zu einem gemeinsamen Rahmen komplementärer Beschreibungsräume. Dadurch werden unterschiedliche wissenschaftliche Perspektiven auf Datenobjekte systematisch miteinander verbunden.

8.6 Ausblick

Die vorgeschlagene Theorie eröffnet Perspektiven für die Weiterentwicklung interoperabler Daten- und Wissensräume, Digitaler Zwillinge, Wissensgraphen und simulationsgestützter Informationssysteme. Ein nächster Schritt besteht in der mathematischen Formalisierung der Beschreibungsräume und ihrer Beziehungen sowie in ihrer praktischen Umsetzung in Referenzarchitekturen.

Kapitel 9 – Fazit

9.1 Zusammenfassung der Ergebnisse

Ausgangspunkt der Arbeit war die Frage, wie Datenobjekte in modernen Daten- und Wissensräumen konsistent beschrieben werden können. Hierzu wurde ein mehrdimensionaler Klassifikationsrahmen entwickelt, der fünf komplementäre Beschreibungsräume unterscheidet: den Strukturraum, den Dimensionsraum, den semantischen Raum, den systemischen Raum sowie den organisationalen Beschreibungsraum. Gemeinsam ermöglichen sie eine umfassendere Charakterisierung von Datenobjekten als der klassische Datentypbegriff allein.

9.2 Beantwortung der Forschungsfrage

Die Arbeit zeigt, dass Datenobjekte gleichzeitig unterschiedliche Klassen von Eigenschaften besitzen. Diese Eigenschaften lassen sich durch komplementäre Beschreibungsräume systematisch voneinander trennen und dennoch gemeinsam betrachten. Dadurch entsteht ein konsistenter konzeptioneller Rahmen für Daten- und Wissensräume.

9.3 Wissenschaftlicher Beitrag

Der wissenschaftliche Beitrag besteht in der Einführung eines integrierenden Beschreibungsrahmens. Bestehende Konzepte aus Informatik, Physik, Ontologie, Systemtheorie und Organisationswissenschaft werden nicht ersetzt, sondern entsprechend ihres jeweiligen Erkenntnisgegenstands eingeordnet und miteinander verbunden.

9.4 Grenzen der Arbeit

Die vorliegende Arbeit entwickelt einen konzeptionellen Rahmen. Eine formale mathematische Axiomatisierung, empirische Evaluationen sowie die praktische Umsetzung in Referenzarchitekturen und Werkzeugen bleiben Gegenstand zukünftiger Forschung.

9.5 Ausblick

Die vorgestellten Beschreibungsräume bilden eine Grundlage für zukünftige Arbeiten zu interoperablen Daten- und Wissensräumen, Digitalen Zwillingen, Wissensgraphen und simulationsgestützten Informationssystemen. Perspektivisch kann der entwickelte Ansatz zu einer allgemeinen Theorie von Datenräumen komplexer Systeme ausgebaut werden. Dabei erscheint insbesondere die Untersuchung von Ereignissen als grundlegenden Einheiten komplexer Systeme als vielversprechende Forschungsrichtung.