

# Graphbasierte Visualisierung von Produktdaten der Technischen Gebäudeausrüstung

Erich Dierkes<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Lehr- und Forschungsgebiet für Computergestütztes Entwerfen (DC), RWTH Aachen University, Aachen, Deutschland

E-mail(s): dierkes@dc.rwth-aachen.de

**Abstract:** Die Digitalisierung der Technischen Gebäudeausrüstung (TGA) erfordert standardisierte, maschinenlesbare Produktdaten. Obwohl DIN EN ISO 16757 einen internationalen Standard vorgibt, liegen Herstellerkataloge häufig weiterhin in VDI-3805-Strukturen vor. Der Beitrag adressiert diese Lücke durch eine systematische Analyse von VDI 3805-1 (Grundlagen) und VDI 3805-22 (Wärmepumpen) sowie durch eine prototypische, graphbasierte Aufbereitung der Daten. Methodisch werden Satzarten und Hierarchien formal modelliert und validiert; eine interaktive Graphvisualisierung macht Klassifikation, Berechnungsfunktionen, Zubehörabhängigkeiten und Geometrie transparent. Als Anwendungsfall dient ein Wärmepumpen-Datensatz. Die Untersuchung identifiziert wiederkehrende Struktur- und Abhängigkeitsmuster und erläutert die Rolle der TGA-Nummer bei Variantenführung und Referenzen. Sie zeigt außerdem, wie Funktionen virtuelle Datensätze erzeugen und dynamische Merkmale parametrisieren. Der Prototyp hebt Regelverweise hervor, deckt Inkonsistenzen und unvollständige Relationen frühzeitig auf und beschleunigt die Navigation sowie das Mapping relevanter Merkmale. Damit entsteht eine belastbare Grundlage für die Transformation nach DIN EN ISO 16757, inklusive Vorstrukturierung von Datenwörterbüchern und Ableitung von Austauschobjekten.

**Keywords:** Produktdaten, TGA, VDI3805, DIN EN ISO 16757, IFC



DOI: 10.18154/RWTH-CONV-254880. Published in the conference proceedings of the 36. Forum Bauinformatik 2025, Aachen, Germany, © 2025 The copyright for this article lies with the authors. This publication, except for quotations and otherwise indicated parts, is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0) license.

## 1 Einleitung

Die Digitalisierung der technischen Gebäudeausrüstung erfordert interoperable, strukturierte Produktdaten. Trotz der internationalen Norm DIN EN ISO 16757 dominieren in vielen Herstellerkatalogen weiterhin VDI-3805-Strukturen. VDI 3805 Blatt 1 stellt hierfür eine einheitliche Datenorganisation bereit (technische, geometrische, mediale Aspekte) [1]. Ein tiefes Verständnis dieser Datenstrukturen ist Voraussetzung für Migration, Automatisierung und eine belastbare Einbindung in BIM-Workflows.

Dieser Beitrag berichtet aus einem laufenden Forschungsprojekt zur Übersetzung von VDI 3805 in DIN EN ISO 16757. Im Fokus stehen die Analyse und Aufbereitung der Richtlinien VDI 3805-1 (Grundlagen) [1] und VDI 3805-22 (Wärmepumpen) [2]. Die zentrale Forschungsfrage lautet: Wie können VDI 3805-Strukturen systematisch analysiert und visualisiert werden, um eine fundierte Grundlage für die Transformation zu DIN EN ISO 16757 zu schaffen? Ziel ist es, Datenstruktur und

Modellierungslogik der VDI-Kataloge zu verstehen, zu dokumentieren und mittels graphbasierter Visualisierung zugänglich zu machen; die daraus gewonnenen Erkenntnisse bilden die Basis für spätere Modelltransformation und Konfiguration im Kontext von DIN EN ISO 16757.

Methodisch werden die Produktdaten formal mit *Pydantic* beschrieben und validiert, um Satzarten und Hierarchien maschinenlesbar und prüfbar abzubilden. Für die explorative Darstellung der Beziehungen wird ein interaktiver Graph-Viewer auf Basis von *Dash Cytoscape* eingesetzt, der die semantische Struktur der Daten veranschaulicht. Als exemplarische Anwendung dient ein Datensatz nach VDI 3805, der die hierarchische Struktur und die logischen Beziehungen innerhalb eines Wärmepumpenprodukts beschreibt.

## 2 Stand der Technik

Die Planung, Konstruktion, Berechnung und Simulation im Bereich der Technischen Gebäudeausrüstung (TGA) erfordert zunehmend den Austausch von Produktdaten in maschinenlesbarer Form. Um die Effizienz in der rechnergestützten Planung zu steigern und eine einheitliche Datenverarbeitung zu gewährleisten, wurden verschiedene Normen und Richtlinien etabliert. Diese zielen darauf ab, herstellerspezifische Produktinformationen, die traditionell in Katalogen mit Tabellen, Diagrammen und Zeichnungen vorlagen, in strukturierter und interoperabler Form bereitzustellen. Zwei zentrale Normenwerke prägen den aktuellen Stand der Technik im Bereich des Produktdatenaustauschs für TGA: die DIN EN ISO 16757-Reihe und die VDI 3805-Reihe.

### 2.1 DIN EN ISO 16757 - Datenstrukturen für elektronische Produktkataloge der Technischen Gebäudeausrüstung

Die Normenreihe DIN EN ISO 16757 legt Datenstrukturen für elektronische Produktkataloge der Technischen Gebäudeausrüstung fest [3]. Sie wurde vom Technischen Komitee ISO/TC 59 „Buildings and civil engineering works“ der Internationalen Organisation für Normung (ISO) erarbeitet und durch das Technische Komitee CEN/TC 442 „Building information modelling (BIM)“ als Europäische Norm übernommen.

Die Normenreihe (aktuell u.a. Teil 1 Konzepte [3], Teil 2 Geometrie [4]) definiert ein generisches Referenzmodell für Produktkataloge und deren Geometriedaten. Entwürfe für Skriptsprache, Datenwörterbücher und Austauschformat (Teile 3-5) liegen vor [5], [6]. Kernziel ist die interoperable, automatische Nutzung herstellerneutral beschriebener Produkt- und Geometriedaten in BIM-Werkzeugen.

### 2.2 VDI 3805 - Produktdatenaustausch in der Technischen Gebäudeausrüstung

Die VDI 3805-Richtlinienreihe hat sich in Deutschland als etablierter Standard für den digitalen Produktdatenaustausch in der Technischen Gebäudeausrüstung (TGA) etabliert. Ihr übergeordnetes Ziel ist es, die Effizienz in der Planung, Konstruktion, Berechnung und Simulation im TGA-Bereich durch die Bereitstellung maschinenlesbarer Produktdaten deutlich zu steigern. Hierzu standardisiert die VDI 3805 den Austausch herstellerspezifischer Informationen, die früher in gedruckten Katalogen bereitgestellt wurden, und überführt sie in eine strukturierte, digitale Form. Dadurch erhalten gleichartige Produkte eine einheitliche Datenstruktur, was die Weiterverarbeitung in Softwarelösungen erheblich erleichtert.

Trotz dieser etablierten Standards bestehen erhebliche Herausforderungen: VDI 3805 weist als 'statisches, nicht maschinenlesbares Datenformat' den wesentlichen Nachteil auf, dass es "von Modellierungs- und Simulationssoftware nicht individuell und flexibel verarbeitet werden kann"[7]. Gleichzeitig ist VDI 3805 als nationaler Standard begrenzt, weshalb DIN EN ISO 16757 entwickelt wurde, um die Produktdatenabbildung auf ein internationales Niveau zu heben und die Zugänglichkeit zu erweitern"[7]. Diese Transformation erfordert jedoch ein tiefes Verständnis der komplexen VDI-Datenstrukturen, deren hierarchische Abhängigkeiten und semantische Beziehungen bisher nur schwer zugänglich sind. Hier setzt der vorliegende Beitrag an.

### 3 Methodik

Das Vorgehen gliedert sich in (1) systematische VDI-Analyse, (2) Pydantic-Modellierung und (3) Dash Cytoscape-Visualisierung. Die Richtlinien VDI 3805-1 und VDI 3805-22 wurden nach Satzart-Mustern und Hierarchiebeziehungen analysiert. Pydantic wurde für Typ-Validierung gewählt, Dash Cytoscape für interaktive Graphdarstellung.

Die VDI 3805 nutzt zeilenorientierte Austauschdateien (Endung .VDI) mit Semikolon als Trennzeichen.

#### 3.1 Datenstruktur und Merkmale (VDI 3805 Blatt 1)

Die Produktstruktur basiert auf einer Hierarchie (Hauptgruppen → Merkmalsstufen → Produktelemente). Zentral ist die TGA-Nummer als ein rein EDV-mäßiges Konstrukt; Platzhalter ('???' , '000') ermöglichen flexible Tiefe [1]. Funktionen und Algorithmen zur Berechnung von Produkteigenschaften können in den Datensatzarten 600 (Deklarationen) und 610 (Definitionen) angegeben werden. Diese Funktionen ermöglichen die Interpretation und direkte Nutzung der Auslegungsalgorithmen durch Berechnungsprogramme und können auf interne Datensätze zur Datenablage zugreifen [1].

Die Funktionen selbst ermöglichen die Zuweisung von Berechnungsformeln und Algorithmen zur Auslegung und Berechnung des Produkts. Sie unterstützen einfache Kontrollstrukturen (IF, DO WHILE) und Unterprogrammstrukturen (FUNCTION). Weiterhin sind spezifische implizite Dateistrukturfunktionen wie VDIINDEX, VDIAKTUELL, VDIFOLGE, VDIVORHER, VDIERSTER, VDILETZTER zum Zugriff auf die Datensätze vorgesehen [1].

#### 3.2 Geometrie und Zubehör (VDI 3805 Blatt 1)

Die Geometriedaten (Satzarten 970 ff.) beschreiben eine TGA-Einheit für Darstellung, Kollisions- und Anschlussprüfung. Sie umfassen allgemeine Geometriedaten (970); Anschlussdaten (970.01), die Lage, Richtung, Art und Abmessungen eines Anschlusses im Raum sowie die Zugehörigkeit definieren und damit automatisierte Installation und geometrische Prüfung ermöglichen; Gestaltdaten (970.02, 970.03) zur Beschreibung der sichtbaren Produktgestalt mit 3D-Bausteinen wie Quadern, Zylindern und speziellen Kanal- und Rohrformen; Materialdaten (970.04) zur Definition von Oberflächenfarben und -strukturen; Symboldaten (970.05, 970.06) zur Beschreibung der Symbolgeometrie; sowie Raumgestaltdaten (970.11-970.14) für Produkt-, Bedien-, Einbring- und Montageraum.

Die Geometriedaten nutzen lokale Koordinatensysteme und können sich auf andere Bausteine beziehen, um komplexe Formen darzustellen. Zubehör kann über Querverweise (Satzarten XX0.01, 760.01, 920, 930) zugeordnet werden. Die Abhängigkeit von Zubehör wird in einem Abhängigkeitsbaum

beschrieben (Satzarten 930 bis 930.04), der auch als Auswahlbaum dienen kann. Bedingungen für die Wählbarkeit von Zubehör basieren auf Produkteigenschaften oder Anlagenparametern [1].

### 3.3 Beispiel: Wärmepumpen (VDI 3805 Blatt 22)

Blatt 22 konkretisiert dies für Wärmepumpen [2] durch spezifische Datenkategorien: Betriebsdaten umfassen Korrekturfaktoren, Temperaturdifferenzen und Füllmenge des Kältemittels. Leistungsdaten beschreiben Heiz- und Kühlleistung, elektrische Leistungsaufnahme, Leistungszahl sowie klimabedingte ErP-Daten. Physikalische Eigenschaften betreffen Schalleistungspegel, Schutzart (IP-Code) und Masse. Anschlüsse werden durch spezifische Bezeichnungen wie ELU (Eintritt Luft) oder HV (Heizungs-Vorlauf) charakterisiert. Steuerungs- und Regelungsaspekte erfassen Anzahl der Betriebsprogramme, Leistungsstufen sowie Integration von Warmwasser-, Solar-, Mischer- oder Kühlregelungen einschließlich BUS-Fähigkeit. Dimensionale Angaben umfassen spezielle Einbring-, Aufstell- oder Kippmaße. Gaswärmepumpen-spezifische Daten beinhalten Gasart, Nennwärmebelastung und Gas-Anschlusswert. Die Betriebsweise wird differenziert nach monovalent, monoenergetisch, bivalent-alternativ, bivalent-parallel oder bivalent-teilparallel.

## 4 Implementierung

Dieser Abschnitt beschreibt Modellierung (Pydantic) und Visualisierung (Dash Cytoscape) anhand eines Wärmepumpen-Datensatzes.

### 4.1 Datenmodellierung und Validierung

Jede VDI-Satzart wird als Pydantic-Klasse implementiert (Algorithm 1). 54 Satzarten wurden modelliert (5 Basisklassen, 33 allgemeine VDI 3805-Klassen aus der Grundlagennorm und 16 wärmepumpen-spezifische Klassen aus VDI 3805-22). Die Implementierung validiert automatisch Typenkonformität beim Einlesen der VDI-Datensätze. Für die strukturierte Modellierung und formale Beschreibung der Produktdaten wird in dieser Arbeit *Pydantic* verwendet. Obwohl *Pydantic* selbst nicht in den vorliegenden Normen referenziert wird, bietet es eine robuste Grundlage, um die komplexen Datenstrukturen der VDI 3805-Richtlinien in maschinenlesbarer und validierbarer Form abzubilden. *Pydantic* ermöglicht die Definition von Datenmodellen mit Typ-Annotationen, wodurch eine automatische Datenvalidierung beim Einlesen der VDI-Datensätze gewährleistet wird. Dies ist entscheidend, um die „syntaktische Richtigkeit und semantische Sinnfälligkeit“ der Daten zu prüfen, wie sie auch für VDI 3805-Dateien gefordert ist. Jede Satzart (010 Vorlauf, 100ff. Klassifikation, 700 Merkmals-/Produktelementdaten, 970 Geometrie) wird als eigene *Pydantic*-Klasse abgebildet (Algorithm 1). Besondere Bedeutung kommt dabei der Abbildung der Hierarchie der Produktstruktur zu, die in VDI 3805 durch die TGA-Nummer exakt wiedergegeben wird. *Pydantic-Modelle* können diese hierarchischen Beziehungen durch geschachtelte oder referenzierende Datenstrukturen abbilden, was die Einhaltung der VDI-Modellierungslogik unterstützt.

### 4.2 Interaktive Graphvisualisierung

Für die explorative Darstellung der zugrunde liegenden Beziehungen der Produktdaten wurde ein interaktiver Graph-Viewer auf Basis von *Dash Cytoscape* implementiert. Die Notwendigkeit einer visuellen Darstellung ist im Kontext des Produktdatenaustauschs hoch, da herkömmliche Kataloge Daten in Tabellen, Diagrammen und Zeichnungen veranschaulichen. Die komplexen hierarchischen Abhängigkeiten und Modellierungsprinzipien in VDI-Daten erfordern eine transparente und zugängliche

---

 Algorithm 1: Beispiel einer Pydantic-Klasse
 

---

```

class MainProductGroup(RecordWithIndex):
    record_type:
        Literal['100', '110'] = Field(alias="1")
    sort_number_for_display_sequence:
        Optional[int] = Field(alias="3", default=None)
    product_name:
        Optional[str] = Field(alias="4", default=None)
    main_product_group:
        Optional[str] = Field(alias="5", default=None)
    product_classification:
        Optional[str] = Field(alias="6", default=None)
    creation_date:
        Annotated[Optional[date], BeforeValidator(a8_to_date), Field(alias="7",
            default=None)]
    comment:
        Optional[str] = Field(alias="8", default=None)
    index_of_the_start_data_record_960_media_data:
        Optional[int] = Field(alias="9", default=None)
  
```

---

Darstellung. Der Graph-Viewer bildet die unterschiedlichen Satzarten und ihre Beziehungen als Knoten und Kanten ab. Dies ermöglicht es, die „hierarchischen Abhängigkeiten“ innerhalb der VDI-Daten „visuell darzustellen“. Beispielsweise werden die Produkthauptgruppen und Produktvarianten (Satzarten 100 bis 560) als hierarchisch angeordnete Knoten visualisiert, was die Struktur des Produktdatenmodells gemäß VDI 3805 Blatt 1 nachvollziehbar macht. *Dash Cytoscape* bietet die Möglichkeit, folgende Aspekte interaktiv zu untersuchen:

- **Hierarchische Gliederungen:** Die „logisch entwickelte Nummer, die exakt die Hierarchie der Produktstruktur wiedergibt“ (TGA-Nummer) kann durch die Anordnung von Knoten und Kanten dargestellt werden.
- **Beziehungen zwischen Informationseinheiten:** Die VDI 3805 Blatt 1 definiert Beziehungen wie „Eine Informationseinheit A hat eine Beziehung zu einer oder mehreren Informationseinheiten B“, die im Graphen als gerichtete Kanten visualisiert werden.
- **Abhängigkeiten von Zubehören:** Die in Satzarten 930 bis 930.04 beschriebenen, beliebig tief gestaffelten Abhängigkeitsbäume von Zubehören können als verschachtelte oder verbundene Knotengruppen dargestellt werden.
- **Verweise auf externe Dateien:** Mediendaten (z. B. Fotos, Videos, Tondokumente), die in VDI-Dateien lediglich referenziert und nicht integriert werden, können als Links visualisiert werden, die auf externe Ressourcen zeigen.

### 4.3 Exemplarische Anwendung: VDI 3805 Wärmepumpen-Datensatz

Als exemplarische Anwendung dient ein Wärmepumpen-Datensatz. Die Produktstruktur ist hierarchisch (siehe Abbildung 1). Im Viewer werden folgende Elemente abgebildet:

- **Produkt Hauptgruppen und Varianten:** Die Satzarten 100 (Einsatzbereich), 110 (Typ), 200 (Wärmequelle), 500 (Antriebsenergie) und 550 (Funktionsprinzip) definieren die Hauptklassifikationen einer Wärmepumpe. Diese werden als übergeordnete Knoten dargestellt, unter denen sich die spezifischen Werte (z. B. „Heizung und Trinkwassererwärmung“ für Einsatzbereich, „Luft-Wasser“ für Typ, „Außenluft“ für Wärmequelle oder „elektrischer Strom“ für Antriebsenergie) als untergeordnete Knoten oder Merkmale finden.
- **Technische Merkmale:** Produkte werden durch Merkmalswerte beschrieben. Die Satzarten 700 ff. in VDI 3805 Blatt 22 enthalten detaillierte technische Daten wie Heizleistung, Leistungszahl, elektrische Leistungsaufnahme, Kältemitteldetails, ErP-Daten, Einbringmaße und Steuerungsinformationen. Diese werden als Eigenschaften der Produktknoten oder als eigene Untergraphen dargestellt.
  - **Statische Merkmale:** Repräsentieren konstante Charakteristiken (z. B. Abmessungen wie Länge, Breite, Höhe). Diese Werte sind direkt im Katalog hinterlegt.
  - **Dynamische Merkmale:** Beschreiben das Verhalten des Produkts unter Betriebsbedingungen (z. B. Druckverlust, Schalleistungspegel). Ihre Werte sind nicht fest im Katalog zugeordnet, sondern werden durch Implementierung einer Funktion berechnet, die von bestimmten Parametern abhängt.
- **Funktionen und Algorithmen:** In VDI 3805 Blatt 1 sind Satzarten 600 (Deklarationen) und 610 (Definitionen) vorgesehen, um „Berechnungsformeln und Algorithmen zur Auslegung und Berechnung des Produkts“ zu übermitteln. Im Graphen können diese Funktionen als spezielle Knoten dargestellt werden, die auf die zugehörigen technischen Merkmale verweisen, welche als Parameter dienen. Die Satzart 820 in VDI 3805 Blatt 1 referenziert Funktionen, die virtuelle Datensätze der Satzarten 800 (TGA-Nummer) und 810 (Artikelnummern) generieren, um die Datenmenge zu reduzieren. Diese Generierungslogik kann ebenfalls als Beziehung im Graphen visualisiert werden.
- **Geometriedaten:** VDI 3805 Blatt 1 beschreibt in Satzarten 970 ff. die geometrische Gestalt einer TGA-Baueinheit, einschließlich Störräumen, Anschlussdaten (970.01), Gestaltdaten (970.02, 970.03), Materialdaten (970.04) und Symboldaten (970.05, 970.06). Besonders die Anschlüsse sind für die automatische Installation und geometrische Prüfung im CAD-System relevant. Sie werden mit einer ID, Funktion, Position, Richtung und Maßen beschrieben. Im Graph-Viewer können diese Geometriedaten als spezifische Unterknoten der Produktknoten dargestellt werden, was die detaillierte geometrische und funktionale Konnektivität des Produkts veranschaulicht.

Dies unterstützt das spätere Mapping Richtung DIN EN ISO 16757.

#### 4.4 Einordnung gegenüber bestehenden Werkzeugen

Es existieren verschiedene Ansätze zur Nutzung technischer Produktdaten:

- **Proprietäre Katalogbrowser / Hersteller-CDs:** Fokus auf tabellarische Listen, eingeschränkte semantische Navigation; meist keine explizite Abbildung von Abhängigkeitsbäumen.

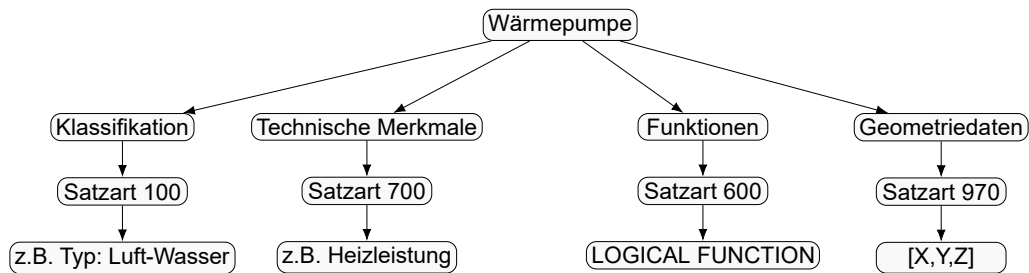


Abbildung 1: Vereinfachte Darstellung der VDI 3805 Wärmepumpen-Datenstruktur mit exemplarischen Satzarten.

- **BIM-/CAD-Familien (z.B. generische Revit-Familien):** Geometrie + wenige Parameter; Variantenexplosion statt regelbasierter Reduktion; semantische Beziehungen implizit.
- **Standard-Datenwörterbücher (z.B. bSDD):** Begriffliche Harmonisierung; keine interaktive Visualisierung konkreter Kataloginstanzen.
- **Graphdatenbank-Demos:** Zeigen Netzwerke, jedoch ohne domänenspezifische Satzart-Semantik von VDI 3805.

Der vorliegende Ansatz kombiniert (i) formale Satzart-Validierung, (ii) explizite Hierarchie- und Funktionsknoten und (iii) dynamische Zubehörabhängigkeiten in einer integrierten Graphsicht. Damit adressiert er eine Lücke zwischen statischer Tabellen-Navigation und generischer Graphvisualisierung.

## 5 Ergebnisse

Die Anwendung auf einen konkreten Wärmepumpen-Datensatz mit über 23.000 Zeilen demonstrierte die erfolgreiche vollständige Validierung aller VDI-Datensätze mittels der 54 implementierten Pydantic-Satzarten. Der generierte Graph umfasste entsprechend über 23.000 Knoten, wobei jede validierte Zeile als separater Knoten dargestellt wurde. Die aktuelle Implementierung zeigt alle Datensätze als isolierte Knoten ohne Kanten-Verbindungen, da die automatische Ableitung der semantischen Beziehungen zwischen VDI-Satzarten noch in Entwicklung ist. Die Navigation erwies sich aufgrund der schiereren Anzahl gruppierter Knoten als herausfordernd, was die Notwendigkeit fortgeschrittener Layout-Algorithmen und Filterungsmechanismen verdeutlicht.

## 6 Diskussion und Ausblick

Die Validierung von über 23.000 VDI-Datensätzen demonstriert die Praktikabilität des Pydantic-basierten Ansatzes für große Datenmengen. Jedoch zeigt die Erfahrung mit der Graphvisualisierung, dass die reine Abbildung aller Datensätze als isolierte Knoten ohne semantische Kanten-Verbindungen die Navigierbarkeit stark einschränkt. Diese Erkenntnis unterstreicht die zentrale Herausforderung: die automatische Ableitung hierarchischer und semantischer Beziehungen aus VDI-Strukturen.

**Nächste Schritte:** Implementierung von Kanten-Generierung basierend auf Hierarchien durch die TGA-Nummern und Satzart-Referenzen, fortgeschrittene Layout-Algorithmen (Clustering, Lazy Loading), halbautomatisches Mapping zu DIN EN ISO 16757. **Erkannte Limitationen:** Skalierungsproble-

me bei großen Graphen, fehlende semantische Kanten-Ableitung, Navigation in dichten Knotengruppen.

## 7 Fazit

Das Konzept zeigt die erfolgreiche formale Validierung großer VDI 3805-Datensätze und identifiziert gleichzeitig kritische Herausforderungen bei der Visualisierung komplexer Produktdatenstrukturen. Die Arbeit leistet einen wichtigen Beitrag zur Strukturanalyse von VDI-Daten und schafft eine solide Grundlage für die Entwicklung verbesserter Visualisierungs- und Transformationsansätze. Zukünftige Arbeiten fokussieren auf die Lösung der Skalierungs- und Navigationsherausforderungen sowie die automatisierte Ableitung semantischer Beziehungen für das Mapping zu DIN EN ISO 16757.

## Acknowledgements

Diese Arbeit entstand im Rahmen des Projekts "Parametrisches BIM für die Wärmewende", gefördert durch das BBSR im Programm Zukunft Bau. Besonderer Dank gilt den Projektpartnern für die bereitgestellten Produktdaten sowie Malte Junge, Noemi Kremer und Prof. Jakob Beetz für ihre Unterstützung.

## Literatur

- [1] *Produktdatenaustausch in der technischen Gebäudeausrüstung - Grundlagen*, Düsseldorf: Verein Deutscher Ingenieure (VDI), 2022.
- [2] *Produktdatenaustausch in der technischen Gebäudeausrüstung - Wärmepumpen*, Düsseldorf: Verein Deutscher Ingenieure (VDI), 2019.
- [3] *Datenstrukturen für elektronische Produktkataloge der Technischen Gebäudeausrüstung - Teil 1: Konzepte, Architektur und Modelle*, Berlin: Deutsches Institut für Normung (DIN), Okt. 2019.
- [4] *Datenstrukturen für elektronische Produktkataloge der Technischen Gebäudeausrüstung - Teil 2: Geometrie*, Berlin: Deutsches Institut für Normung (DIN), Feb. 2019.
- [5] *Datenstrukturen für elektronische Produktkataloge der Technischen Gebäudeausrüstung - Teil 4: Datenwörterbücher für Produktkataloge*, Berlin: Deutsches Institut für Normung (DIN), Apr. 2024.
- [6] *Datenstrukturen für elektronische Produktkataloge der Technischen Gebäudeausrüstung - Teil 5: Austauschformat für Produktkataloge*, Berlin: Deutsches Institut für Normung (DIN), Mai 2024.
- [7] N. Kremer, J. Beetz und E. Hjelseth, »Identification and exploration of data resources in product configuration processes«, 2024.