

Strukturbasierte Ähnlichkeitssuchen zur Verbesserung der Komponentenwiederholung im Anlagenbau

Structure-based Similarity Searches for Improving Component Repetition in Plant Engineering

Lorenz Krüger^{1,*}, Bernhard Saske², Sebastian Schwoch², Kristin Paetzold-Byhain²

¹ Engineering Department, VON ARDENNE GmbH Dresden

² Chair of Virtual Product Development, Technische Universität Dresden

* *Korrespondierender Autor:*

VON ARDENNE GmbH

Lorenz Krüger

Am Hahnweg 8, 01328 Dresden-Weißig

☎ 0351/2637658

✉ Krueger.Lorenz@vonardenne.biz

(ab Okt. 2023 via .com)

Abstract

In plant engineering, all products are unique. Nevertheless, it should be possible to find and reuse as many repeat parts as possible. Existing search tools in PDM systems are not suitable for this purpose, since they are too uneconomical in terms of data maintenance in view of the small quantities of plant products, or they are originally designed for retrieving individual parts, but not building structures. This paper proposes the approach of performing repeated searches on the basis of similar building structures and combines concepts of fuzzy searches with the traversal of product structures for this purpose.

Keywords

plant engineering, part search, PDM, product structure, large assemblies

1. Motivation

Bei kundenspezifischen Produkten, insbesondere bei industriellen Anlagen, gleicht keine Produktstruktur (d.h. Baustruktur, Stückliste) der anderen. Aufgrund hochvarianter Anforderungen und Randbedingungen kommen von Produktinstanz zu Produktinstanz zahlreiche Baugruppen und Bauteile hinzu, fallen weg, müssen geändert oder umkonfiguriert werden.

Zugleich gibt es viele potenzielle Wiederholkomponenten, die projektübergreifend eingesetzt und bei einer späteren Wiederverwendung in den Datenmanagementsystemen gefunden werden sollen [vgl. 1, 2].

Das Unternehmen *Von Ardenne GmbH* mit Sitz in Dresden ist ein Komplettanbieter von Vakuumbeschichtungsanlagen. Das Portfolio erstreckt sich auf ein breites Anwendungsspektrum für die Bereiche Energy, Automotive, Packaging, Architecture, Optics und Semiconductor in allen Skalierungsstufen vom Laborumfeld bis hin zur Großserienfertigung. Jede Beschichtungslösung ist im Prozesskern einmalig, die Anlagenprodukte damit einzigartig. Da aber alle Produkte *Vakuumanwendungen* sind, können durchaus etwa 80% der Teilstrukturen von Anlage zu Anlage direkt oder geringfügig modifiziert wiederverwendet werden.

Beim Übergang von einer Anlagenstruktur auf das Folgeprojekt wird (siehe Bild 1) zunächst eine vorhandene Basisstruktur (zum Beispiel die Plattformstruktur) dupliziert und dann die kundenspezifischen Komponenten eingefügt. Um hierbei anhand struktureller, funktionaler, technologischer und geometrischer Kriterien auf bereits im Bestand vorhandene („ähnliche“) Komponenten zurückgreifen zu können, werden Suchfunktionen benötigt, die solche ähnlichen Strukturen bzw. Komponenten finden, im Folgenden kurz „Ähnlichkeitssuche“ genannt.

Ein gängiger Suchfall in der Vakuumtechnik sind Durchführungs- und Flanschbaugruppen, die für Bewegungs-, Prozessmedien-, Energie- und Signalaufgaben verschiedene Prozessbereiche miteinander, oder das Vakuum mit der Atmosphäre verbinden. Diese haben oft die gleiche Funktion und enthalten einen hohen Anteil derselben Einzel- und Zukaufteile, sind aber in ihrer Gesamtausführung anlagenspezifisch und können nicht standardisiert werden. Mit Blick auf Bild 1 soll eine Baugruppe Bx gesucht werden, die z.B. zwei Flansche aus Edelstahl und ein Ventil DN100 enthält, um diese wiederzuverwenden.

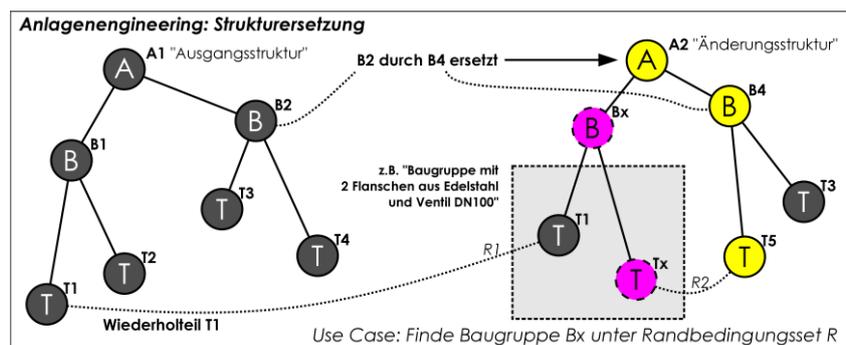


Bild 1: Durch spezifische Entwicklungen an der Komponente B2 ergibt sich die Suchanforderung Bx unter R.

Mit einem Verwendungsnachweis können im ersten Schritt zwar alle relevanten Baugruppen, die als Wiederholteil beispielsweise das Ventil enthalten, gefunden werden. Diese müssen im Anschluss alle einzeln auf das Vorhandensein eines passenden Flanschs durchsucht werden, was sehr aufwendig ist. Soll die Struktur noch weitere Randbedingungen erfüllen, wird der Suchaufwand gegenüber einer Neuanlage zu hoch.

Im Umfeld des Produktdatenmanagements (PDM) gibt es bereits Ähnlichkeitssuchen für Wiederholteile anhand der Geometrie, z.B. [3, 4]. Bei Anlagen ist aber die Geometrie der Teile nicht vorrangig relevant, da diese meistens von sehr einfacher Gestalt (Blechteile, Profileile) oder Zukaufteile sind. Im Kontext des Anlagenbaus ist daher die korrekte Umsetzung der Ge-

samt- und Teilfunktionen des technischen Systems (bzw. von Teilsystemen) wichtiger und damit die Möglichkeit gegeben, Aussagen über die strukturelle Ähnlichkeit der Komponenten zu erhalten. Des Weiteren bestehen Anlagen aus sehr vielen Teilen in tief verschachtelten Strukturen, relevante Informationen über Komponenten sind, wie aus dem Beispiel in Bild 1 hervorgeht, nicht nur in den Teilelementen selbst enthalten, sondern vor allem in den umfangreichen Baustrukturen. *Anlagengerechte* Wiederholungen müssen daher *strukturbasierte* Ähnlichkeitssuchen sein. Im vorliegenden Beitrag wird zunächst dargestellt, welche diesbezüglichen Möglichkeiten im Produktdatenmanagement bestehen. Es wird ein neuer Ansatz für anlagengerechte Wiederholungen im PDM-Kontext vorgeschlagen.

2. Hintergrundinformationen zu strukturbasiertem Suchen und Finden

Das Suchen und Finden in Datenbeständen ist in der Informatik ein häufig beleuchtetes Thema, auch gibt es mit der Bilderkennung oder der Dokumentsuche Verfahren, die ganz offensichtlich auf der Auswertung von Strukturen basieren [vgl. 5, 6].

In diesem Abschnitt wird daher untersucht, welche Methoden zur Teilwiederholung im PDM existieren und inwieweit diese für strukturbasierte Ähnlichkeitssuchen angewendet werden können. Zudem werden, aufgrund der Themenbreite von „Suchen und Finden“, vorab einige Arbeitsdefinitionen für die im Weiteren verwendete Grundbegriffe getroffen.

2.1. Grundlegende Definitionen

Ähnlichkeit ist die minimale Abweichung von Merkmalen zwischen Vergleichsobjekten [7, 8]. Komponenten sind Teile in Produktstrukturen und ähnliche Komponenten sind Komponenten, die sich in bestimmten Merkmalskombinationen minimal voneinander unterscheiden.

Strukturbasierte Ähnlichkeit ist dementsprechend die minimale Merkmalsabweichung von Struktureigenschaften und Merkmalen von Unterkomponenten in der jeweiligen Struktur.

Im PDM beschriebene Komponenten werden als n -dimensionale Merkmalsvektoren $\vec{k} = (k_1, k_2, \dots, k_n)$ aufgefasst, zum Beispiel mit den Merkmalen k_1 für den Werkstoff oder k_2 für die Masse der jeweils betrachteten Komponente. Eine Gesamtaufstellung eines PDM-Teilebestands ergibt dann die Teilematrix

$$\underline{K} = \begin{bmatrix} k_{11} & \dots & k_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ k_{m1} & \dots & k_{mn} \end{bmatrix} = (k_{ij}) \quad (1)$$

mit den Ausprägungen aller j Merkmale über alle i Komponenten. Eine Ähnlichkeitssuche liefert unter beliebiger Ausprägung s^* eines Suchmerkmals $j = s$ die Trefferliste aller Elemente k_i aus \underline{K} , für die unter der Merkmalsvariation q (sog. „Unschärfe“) $k_i = q \circ s^*$ zutrifft. Die Unschärfe ist mit $q = q(s, r_1, r_2, \dots)$ vom vorliegenden Merkmalstyp s (so wird z.B. eine Werkstoffähnlichkeit anders zu formulieren sein als die Masseähnlichkeit) und weiteren Parametern (z.B. Mindest- und Maximalwerte des Suchmerkmals) abhängig.

Eine Ähnlichkeitssuche ist also grundsätzlich ein Vorgang, der aus einem PDM-Teilebestand alle jene Komponenten auflistet, bei denen das Komponentenmerkmal einem Suchmerkmal in einer geforderten Unschärfe genügt. Für strukturbasierte Ähnlichkeitssuchen besteht die Anforderung: Gib (sortiert) alle Elemente an, die eine Kombination bestimmter Struktureigenschaften bzw. Merkmale unterliegender Komponenten (bis zu einem gewissen Grad) erfüllen. Im Weiteren wird anhand des Beispiels aus Kap.1 der Fokus auf die Artikelstruktur „an sich“ gelegt, da das Vorhandensein, die Stückzahl von Teilen und die Kombination von Teileigenschaften bereits von hoher Aussagekraft in funktionaler und technologischer Hinsicht sind, eine für Funktionsstrukturen dedizierte Behandlung von Ähnlichkeitssuchen wird in diesem Beitrag aber nicht vorgenommen.

2.2. Vorhandene Instrumente zur Wiederholteilsuche in PDM-Systemen

In Auswertung der einschlägigen Literatur zum Produktlebenszyklusmanagement (PLM), z.B. in [9] oder [10], und in der Praxis befindlichen PDM-Systemen finden sich verschiedene Werkzeuge, die eine Wiederholteilsuche ermöglichen:

Zuvorderst sind **Benennungssuchen** anzutreffen. So kann z.B. eine Suchabfrage nach „Vakuumsystem“ im PDM alle Komponenten auflisten, die so genannt worden sind. Eine Vergleichsauswahl in unterliegenden Strukturen kann aber damit nicht getroffen werden. Es ist keine Aussage möglich, ob in dem Vakuumsystem zum Beispiel ein bestimmter Pumpentyp enthalten ist. Kontrollierte Vokabulare, Verschlagwortung oder eine hierarchische Benennungsstruktur (Thesauri) verbessern sicher die Suchqualität nach Benennungen, strukturelle Eigenschaften von Komponenten können damit aber nicht erfasst werden.

Als nächstes gibt es Suchabfragen nach **Artikeltypnummern** und anderen semantisch vorgelegten („sprechenden“), vorrangig numerischen Zugriffsschlüsseln. Diese können nach beliebigen Fachkriterien aufgebaut werden und daher prinzipiell auch strukturbasierte Informationen über die Teile enthalten. In der Praxis funktioniert das gut für grobe Wiederholtsuchen (Plattformstrukturen, Hauptbaugruppen), gerade im Anlagenbau sind aber durch die projektspezifischen Nummernkreise keine strukturellen Detailaussagen realisierbar.

Eine weitere Möglichkeit der Unterstützung der Wiederholteilsuche ist die **Klassifizierung** von Komponenten. Dabei werden auch anhand von vorrangig numerischen Zugriffsschlüsseln funktionale, fertigungstechnische oder beliebige andere (d.h. also prinzipiell auch strukturbasierte) Merkmalsausprägungen an den Komponenten aufgestellt und sind dann auf diese Weise suchbar. Dieses Instrument kann sehr leistungsfähig sein, unterliegt aber einem hohen Datenpflegeaufwand und ist daher für unikatige Produkte unwirtschaftlich.

Um Struktursuchen zu ermöglichen, sollen nicht mehr Merkmale geschaffen, sondern bereits in der Struktur vorhandene zugänglich gemacht werden.

In dieser Richtung könnten die **Geometriesuchen** als geeigneter Ansatz erscheinen. In unterschiedlichen Ausbaustufen können damit, von Ansichtsvorschauen (Viewing) bis hin zu Ähnlichkeitssuchen, Teilstämme anhand geometrischer Merkmale umfassend durchsucht werden. Gerade diese Suchen haben im Vergleich zu den bisher genannten zwei zentrale Vorteile: Sie basieren auf *strukturellen* Eigenschaften und sie nutzen Merkmale, die (z.B. aus dem CAD) bereits vorhanden sind [vgl. 4, 11]. Einziger, aber entscheidender Nachteil für den Anlagenbau, wie oben angesprochen: Die Geometrie hat für Anlagen nur geringe Aussagekraft. In [12 – 15] finden sich zahlreiche Ansätze zum Wiederfinden von Baugruppen, die vorrangig auf der Geometrie (CAD Data) basieren. So wird auch in [12] vorgeschlagen, bei der Ähnlichkeitsbetrachtung in Baustrukturen zukünftig auch die Produktstruktur und die semantischen Teileinformationen vermehrt einzusetzen.

Zuletzt sind noch die **Stücklistensichten** als Suchinstrument zu nennen. Hierüber kann ein produkt- oder plattformbezogenes Wiederfinden von Komponenten erfolgen, je nach Ausbaustufe im Zugriff mehrerer Verwendungssichten (Multi BOM) bzw. als Konfigurationsstruktur (150% BOM). Sie können auch durchsucht werden, z.B. nach dem Werkstoff, zudem gibt es Stücklistenvergleiche. Das ermöglicht zwar, bekannte Strukturen hinsichtlich der Merkmale ihrer Komponenten auszuwerten, nicht aber die Strukturen selbst im Datenbestand („Abfrage gegen X“) zu identifizieren. Im Anlagenbau sind o.g. Stücklisteninstrumente dann nicht einsetzbar, da häufig unklar ist, was überhaupt womit verglichen werden soll.

3. Forschungsproblem und Forschungsziel für anlagengerechte Wiederholtsuchen

Aus dem vorangegangenen Überblick gängiger Suchinstrumente zur Teilwiederholung im PDM werden, unter den für Anlagenprodukte geltenden Kriterien, nochmal die wesentlichen Einschränkungen für die Verwendung im Anlagenengineering herausgestellt und daraus entsprechende Handlungsbedarfe abgeleitet.

Anlagenprodukte sind kundenspezifische Unikate und bestehen meistens aus sehr vielen Teilen in verschachtelter Anordnung. Bedingt durch die hohe Teilezahl (oft mehrere Tausend), die Vielgestaltigkeit und Arbeitsteilung bei Anlagenprojekten ist es bereits innerhalb einzelner Projekte herausfordernd, Doppelentwicklungen zu vermeiden. Eine plattformübergreifende Wiederverwendung, nur auf Grundlage des Fachwissens, ist praktisch unmöglich.

Durch die kunden- und ortsspezifische Ausführung unterliegen sie von Produktinstanz zu Produktinstanz zahlreichen Änderungen an der Produktstruktur. Aufgrund der zahlreichen Änderungen besteht zudem eine unvorteilhafte Quote zwischen vorstrukturierten und projektspezifischen Produktdaten. Eine vorausschauende (Ähnlichkeits-)datenpflege, z.B. die Teileklassifizierung, wie in [16] oder [17] beschrieben, ist für typische Anlagenkomponenten mit moderatem Wiederholgrad viel zu aufwändig im Vergleich zu Massenkomponten und kann daher nur für sehr häufig verwendete Wiederholteile wie Schrauben u.ä. eingesetzt werden.

Zugleich gibt es bereits strukturbasierte Wiederholsuchen für die Geometrie, über die Ähnlichkeitsaussagen ohne zusätzlichen Datenpflegeaufwand wie bei der manuellen Klassifizierung ermöglichen. Die Geometrie ist aber für die Teilwiederholung im Anlagenbau allein nicht aussagekräftig genug, die Funktion des Systems Anlage (damit die Teil- und Nebenfunktionen der Komponenten) hat Vorrang vor der Geometrie seiner Einzelteile. Andere Ansätze, die anstelle von geometrischen mit funktionalen Merkmalen arbeiten [18, 19], sind entweder auf Einzelteile ausgelegt oder nicht zum Erstellen von Suchabfragen geeignet. Vorhandene *strukturbasierte* Suchinstrumente für Bildsuchen und Dokumentsuchen wiederum sind im Webumfeld etabliert, nicht aber im Produktdatenmanagement [vgl. 20].

Allen im PDM etablierten Suchwerkzeugen ist gemein, dass diese einzelne Entitäten zurückgeben und keine Aussagen über Merkmale darunterliegender Komponenten liefern. Es gibt zwar Suchmöglichkeiten innerhalb von Stücklisten, dafür müssen aber konkrete Komponenten bekannt sein, die zu durchsuchen bzw. miteinander zu vergleichen sind, Direktsuchen gegen die Datenbank sind nicht möglich.

Um zu anlagengerechten Wiederholsuchen zu kommen, muss also im Produktdatenmanagement der Suchraum auf Strukturen erweitert werden. Strukturbasierte Wiederholsuchen sollen damit eine systemische Unterstützung bei der Teilwiederholung leisten, aber keine zusätzlichen bzw. vorgelagerten Datenpflegeaufwände (als ohnehin zur Projektabwicklung erforderlich) generieren. Einerseits sind damit Komponenten zu finden, die bestimmten strukturellen Merkmalen genügen, und andererseits ein nach der Merkmalsähnlichkeit (sortiertes) Trefferspektrum zu erhalten, um ähnliche Komponenten mit minimalem Aufwand für Folgekonstruktionen umarbeiten zu können.

Forschungsfrage

Mit welchem Verfahren kann im Kontext der Anlagenentwicklung in PDM-Systemen zu einer Komponente anhand der unterliegenden Artikelstruktur eine möglichst ähnliche Komponente gefunden werden?

4. Verwendete Methoden bzw. Vorgehensweisen

Es wurden vorhandene Suchmethoden in PDM-Systemen ermittelt, auf ihre Eignung für Struktursuchen hin untersucht und einer qualitativen Bewertung (deskriptives Benchmarking) unterzogen. Im Ergebnis zeigte sich, dass kein gängiges Verfahren für Ähnlichkeitssuchen in Artikelstrukturen in PDM-Systemen existiert.

Im Weiteren wird eine Methode für strukturbasierte Ähnlichkeitssuchen für das PDM entwickelt und maßgebliche Aspekte hierzu diskutiert.

Die entwickelte Methode wird nachfolgend auf reale Artikelstrukturen angewandt und sowohl auf Konsistenz als auch Eignung innerhalb eines Industriebetriebs validiert.

5. Ergebnisse und Diskussion

5.1. Grundkonzeption unscharfer Wiederholsuchen im Anlagenbau

Im Folgenden wird die unscharfe Baugruppenwiederholsuche als Beispiel für eine strukturbasierte Wiederholsuche im Anlagenbau herangezogen, um die Herangehensweise an dieses Suchverfahren zu erläutern. Grundkonzept ist die Auswertung einer traversierten Artikelstruktur mit unscharfen (fuzzy) Parametern. Die Suchaufgabe war, zu einem durch das Randbedingungsset R (bestimmte Merkmalskombination) charakterisierten Einbau eine *ähnliche*, bereits vorhandene Baugruppe zu finden, um diese wiederzuverwenden.

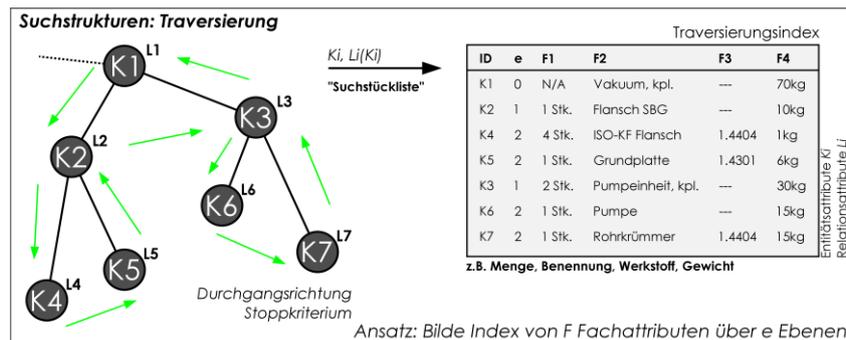


Bild 2: Grundansatz struktureller Wiederholsuchen ist das Traversieren und Bilden eines Merkmalsindex.

In Bild 2 ist die Traversierung [vgl. 21] und Indexbildung dargestellt. Die Struktur einer Komponente K_1 wird durchlaufen, für Abfragen benötigte Attribute werden in einem Verzeichnis nach der ID der Komponente abgelegt. Es wird deutlich, welche Einflüsse bei der Traversierung bestehen. Einerseits ist die Anzahl der zu durchlaufenden Ebenen (in diesem Fall zwei) (Ebenenzähler), andererseits die Durchlaufreihenfolge (K_1, K_2, K_3 oder K_1, K_2, K_4 usw.) festzulegen, um den Index nachher für Suchabfragen interpretierbar zu halten.

Dazu kommen Stopp- oder Übersprungkriterien z.B. für den Fall, dass Komponenten bereits traversiert wurden und auf einen vorhandenen Index zurückgegriffen werden kann. Entitätsbezogene Kriterien (z.B. die Benennung) werden logischerweise unter der entsprechenden ID der Komponente im Index erfasst, für strukturabhängige Merkmale (z.B. Stückzahl) sind entsprechende Definitionen zu treffen, ob diese unter der ID der Komponente anliegend oder unter einer extra ID der Relation auftauchen sollen.

Bei dem im Bild 2 dargestellten Index (Tabelle rechte Bildhälfte) ist anhand des Merkmals „Masse“ zudem ersichtlich, dass je nach Abfrage auch die entitätsbezogenen Merkmale einer Kontextabhängigkeit unterliegen. Wird zum Beispiel nach der Einzelmasse gefragt, dann reicht die alleinige Auswertung nach der (entitätsbezogenen) Masse dieses Teils. Interessiert dagegen die Gesamtmasse, so muss zusätzlich dessen Anzahl im Verbaukontext als Hilfsmerkmal herangezogen und hierfür traversiert werden. So hat Teil K_4 zwar nur die Masse 1kg, ist aber 4x in K_2 enthalten. Wäre K_2 ebenfalls mehrfach in K_1 (Wurzelknoten der Indexstruktur) enthalten, müsste das auch in die Berechnung eingehen.

Würden Komponenten mit gleicher ID in ihrer Stückzahl summiert werden, entspräche der Suchindex des vorliegenden Beispiels in etwa einer sog. Mengenstückliste, wie sie in PDM- oder ERP-Systemen mitunter erstellt wird. Die bekannten Konzepte Struktur-, Mengen- und Baukastenstückliste liefern auch einen ersten wichtigen Anhaltspunkt zur Auswahl von Attributen für strukturbasierte Suchen. In den im vorliegenden Beitrag angegebenen Beispielen wird mit Benennung, Werkstoff, Masse und Stückzahl gearbeitet. Prinzipiell ist aber jedes andere Fachmerkmal (entitäts- oder relationsbezogen) auch denkbar.

Im Abschnitt 2.1 wurden bereits einige Festlegungen für die Ähnlichkeit von Komponenten getroffen. Zur Abbildung von strukturellen Ähnlichkeiten sind zusätzlich zu den traversierten Fachmerkmalen die Merkmale („enthält“ bzw. „ist enthalten in“) mit in den Merkmalsvektor

aufzunehmen. Wie bereits ausgeführt, können das auf systemischer Ebene nicht nur Attribute von Artikeln (d.h. Items), sondern auch von Dokumenten (Datasets) sein, um diese auszuwerten. Die Konzeption strukturbasierter Wiederholungen ist vorrangig in Bezug auf die Produktstruktur gedacht, kann aber auch Dokumentstrukturen einbeziehen.

Grundvoraussetzung für eine Anwendbarkeit ist eine spezifische Festlegung, welche (voneinander unabhängigen) Merkmale innerhalb der Produktstrukturen von Interesse sind. Im Beispiel aus Kap.1 interessierten die Benennung („Ventil“, „Flansch“), die Stückzahl („2 Flansche“) und der Werkstoff („Flansch aus Edelstahl“). Neben der Merkmalsfestlegung ist auch die Strukturtiefe zu definieren. Unter der Voraussetzung, dass jede im Datenbestand befindliche Komponente bereits eine Ebene tief und auf alle für strukturbasierte Ähnlichkeitssuchen benötigten Attribute hin traversiert wurde, kann nach dem Baukastenprinzip jeder andere Index über beliebig viele Strukturebenen hinweg zusammengesetzt werden.

5.2. Umsetzung im PDM-System

Im vorherigen Teilabschnitt wurde das strukturbasierte Suchverfahren zunächst grundsätzlich beschrieben. Abschließend findet in diesem Abschnitt noch eine Einordnung statt, wie der präsentierte Ansatz in PDM-Systemen implementiert werden kann.

Die Traversierung von Suchelementen und das Aggregieren der Attribute aus den unterliegenden Elementen gemäß bestimmter Filter F (z.B. Menge, Benennung usw.) sollte bei einer Festlegung der benötigten Fachattribute und des Traversierungsverfahrens zunächst für alle Komponenten in gleicher Weise erfolgen. Damit kann gewährleistet werden, dass alle strukturbasierten Suchabfragen syntaktisch gleich formuliert werden können.

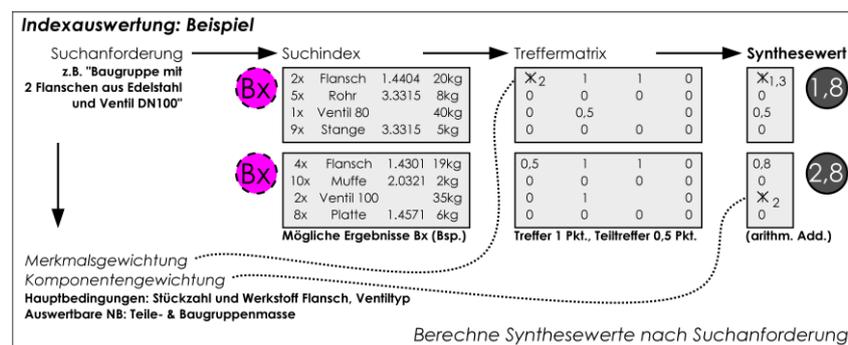


Bild 3: Für die Darstellung der Ähnlichkeit werden Synthesewerte aus den Traversierungsindices gebildet.

Im zweiten Schritt ist dann die Betrachtung der Ähnlichkeit durchzuführen. Hierzu bedarf es der sog. Synthesewerte als (sortierbare) Ähnlichkeitsmaße. Diese werden entsprechend der für die jeweiligen strukturbasierten Suchabfragen benötigten Merkmalskombination in spezifischer Wichtung aus den Traversierungsindices berechnet, siehe Bild 3 für das obige Anwendungsbeispiel (Baugruppe enthält Flansch und Ventil). Es wird anhand der eingeblendeten Suchindices zudem ersichtlich, welche Detailfragen bei der Übersetzung in sortierbare Ähnlichkeitsmaße berücksichtigt werden müssen.

- Ist die Reihenfolge der aufgelisteten Elemente im Index zu beachten?
- Können Dopplungen zusammengefasst werden oder werden die Instanzen einzeln benötigt?
- Wie definiert sich die Unschärfe bzw. Zuordnung für das jeweilige Merkmal? (Ist z.B. eine Werkstoffnummer mit „1.4“ automatisch „Edelstahl“?)
- Wie wirkt ein geänderter Strukturumfang auf die Unschärfe, wenn die übrigen Angaben identisch sind?

Eine Pauschalaussage kann an dieser Stelle, gerade in der mitunter stark abweichenden Syntax und Semantik unterschiedlicher Fachattribute, nicht getroffen werden und erfordert für die Umsetzung im PDM, neben der fallweisen Definition der benötigten Fachattribute an sich, auch die Festlegung merkmalspezifischer Zugehörigkeitsfunktionen und Wichtungen.

Prinzipiell können aber alle Synthesewerte S , die ggf. auch mit einer Gesamtunschärfe P belegt sind, mit Blick auf die Gln. (1) u.a. im Abschnitt 2.1, als Funktion

$$P \circ S_F = f(F \circ \vec{k}_l) \quad (2)$$

ausgedrückt werden, die den einzelnen Merkmalsvektoren \vec{k}_l in einer traversierten Struktur über den Eigenschaftsfilter F (Auswahl der Fachattribute) und deren Gewichtung einen Gesamtwert *dieser* Struktur zuordnet. Im einfachsten Fall kann das als skalarer Stücklistenindex aufgefasst werden, aber auch mehrdimensionale Synthesemuster sind denkbar.

Verallgemeinert gilt, jeder elementare Synthesewert (bezogen auf *ein* Fachattribut) repräsentiere eine elementare Aussage "Baugruppe Bx enthält Teil Tx mit (strukturabhängigem) Attributwert Fx". Wird zu jeder Baustruktur in der Kombination jedes Attributs mit jedem Teil ein Synthesewert zugeordnet, lassen sich alle komplexen Suchabfragen, d.h. über mehrere Attribute mit jeweils unterschiedlicher Ähnlichkeitsdefinition, als gewichtete Kombination aus elementaren Synthesewerten kommutativ zusammensetzen.

Für das o.g. Beispiel (Bx mit 2 Flanschen aus Edelstahl und Ventil DN100) bedeutet das die Zerlegung in vier elementare Synthesewerte „enthält 2“, „enthält Flansch“, „enthält Edelstahl“ und „enthält Ventil“, die ihrerseits für die Gesamtanfrage kombiniert werden.

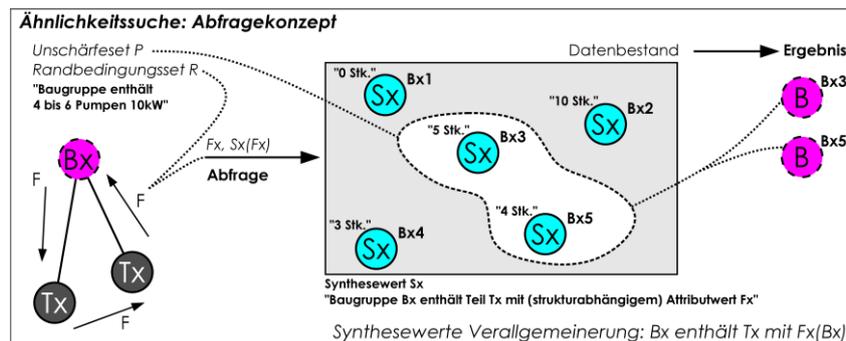


Bild 4: Eine Traversierung der Baustruktur nach Attributfiltern liefert Synthesewerte für die Ähnlichkeitssuche.

Wie im Bild 4 gezeigt, ist mit derselben Abfragelogik auch die Suche nach anderen Attributwerten (Baugruppe enthält 4 bis 6 Pumpen 10kW) möglich, vorausgesetzt diese sind auf allen zu durchsuchenden Strukturen indiziert. Bei kombinierten Abfragen, wie beispielsweise „Baugruppe mit *vielen* Stahlplatten, *bevorzugt* aus 1.4404“ ist zwar ein iteratives Einstellen (Training) der Merkmalsgewichte für im Zielbereich repräsentative Trefferlisten erforderlich, die Synthesewerte aber davon allgemein unabhängig.

Entsprechend einer angegebenen Gesamtunschärfe P , vgl. Bild 4, werden dann aus dem Datenbestand alle jene Elemente E als Suchergebnis ausgegeben, die dem Synthesewert S (Indexierung vorausgesetzt) gemäß des angegebenen Eigenschaftsfilters als Vergleichswert in einer geforderten Unschärfe (siehe Abschnitt 2.1) genügen.

Wie bei herkömmlichen Suchabfragen kann durch das Hinzu- oder Wegnehmen von Bedingungen oder eine Unschärferegulierung die Lösungsmenge auf eine übersichtliche Trefferzahl begrenzt werden. Neben der Verwendung konkreter Suchbaugruppen („Query by Example“) sollen über vordefinierte Synthesewerte auch Direktsuchen („Query by Criteria“) gegen die Datenbank möglich sein.

Auch bei den Geometriesuchen, wie z.B. in [4], und anderen Ähnlichkeitssuchen [vgl. 22] werden Merkmalsvektoren auf Basis mehrerer Attribute aufgestellt, was den Synthesewerten gleichkommt. – Es gibt aber keine unscharfen Wiederholungen für Produktstrukturen, daher empfiehlt es sich, hierfür künftig im PDM die Traversierung [vgl. 21] anzuwenden.

Entscheidender Vorteil strukturbasierter Ähnlichkeitssuchen im Vergleich zu den herkömmlichen Suchmöglichkeiten im PDM ist, dass Suchergebnisse nicht nur anhand einzelner Knoten gefunden werden, die eine darunterliegende Artikelstruktur *repräsentieren*, sondern direkt auf den Informationen gewonnen werden, die diese Struktur *sind*.

So kann anhand einer Suchabfrage über einen nach den Attributen Benennung und Werkstoff gebildeten Strukturindex die im Abschnitt 1 erläuterte Baugruppe unter den Randbedingungen „zwei Flansche aus Edelstahl“ und „Ventil DN100“ sehr einfach im Datenbestand gefunden werden, ohne alle etwa infrage kommenden einzeln durchzugehen.

6. Zusammenfassung und Ausblick

Das Engineering kundenspezifischer Produkte und Anlagen ist wesentlich durch die Konfiguration, das Ändern und Suchen in Baustrukturen geprägt. Vorhandene Instrumente in PDM-Systemen sind auf das Abfragen einzelner Elemente ausgelegt und leisten bislang keine Unterstützung für die Komponentenwiederholung auf Basis von strukturellen Merkmalen. Es ist zu prüfen, inwieweit vorhandene Verfahren zur Wiederholungsuche in geometrischen Strukturen, wie z.B. nach [23], auf die Erfordernisse im Anlagenbau hin übertragbar sind. Daneben empfiehlt sich für den Anlagenbau eine systematische Aufstellung typischer merkmalsbezogener Wiederholungsfälle. Um den Suchraum auf Strukturen erweitern zu können, wurde im vorliegenden Beitrag ein Verfahren für die strukturbasierte Ähnlichkeitssuche vorgeschlagen. Der Grundansatz besteht darin, Produktstrukturen zu traversieren und benötigte Fachattribute aus den Komponenten in Indices zu sammeln. Aus diesen können Synthesewerte generiert werden, die ein (möglichst eindimensionales) Ähnlichkeitsmaß darstellen und, wenn im System zu den traversierten Strukturen gespeichert, Treffer performant ausgeben.

Im Weiteren ist dabei zu prüfen, welche Attribute benötigt werden, um alle Fachanforderungen abdecken zu können – und aus kombinatorischer Sicht, für welche Standardabfragen welche Synthesewerte gespeichert werden müssen. Das umfasst neben dem Finden von Parameterkombinationen auch deren Gewichtung. Neben der Produktstruktur können weitere Bereiche einbezogen werden, wie z.B. die Suche in Funktionsstrukturen [18, 19]. Prinzipiell sollte gelten, dass Vorlagebaugruppen (Use Case: Query by Example) dieselben Indices abfragen, wie eine Direkteingabe (Query by Criteria) von Suchkriterien. Gerade für die „Query by Example“ ist aber noch zu klären, inwieweit aus anderen Domänen bekannte Verfahren der Mustererkennung und Clusterbildung auf Produktstruktursuchen übertragen werden können, siehe dazu [24, 25]. Hieraus lassen sich dann neben unscharfen Wiederholungen für einzelne Produktstrukturen auch vertiefte Anwendungsfelder wie eine automatische Klassifizierung des Teilespektrums nach Strukturähnlichkeit usw. erschließen.

Zusatzvermerk

Die vorliegenden Ausführungen erheben keinen Anspruch auf Repräsentativität. Sie spiegeln weiters nicht zwingend die Ansichten des Fallgebers wider.

Literaturverzeichnis

- [1] Grahl, Werner; Lange, Cynthia: Systematisches Teilemanagement in Konstruktion und Fertigung. In: Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb 102 (2007), Nr.1-2, S.60-63.
- [2] Curschmann, Michael; Leidich, Erhard; Grahl, Werner: Teilemanagement als wesentlicher Bestandteil zur Kostenbeeinflussung im Konstruktionsprozess. In: Scharff, Peter; Schneider, Andrea (Hrsg.): Prospects in mechanical engineering. Ilmenau: ISLE, 2008, o.S.

-
- [3] Bickel, S.; Schleich, B.; Wartzack, S.: A Novel Shape Retrieval Method for 3D Mechanical Components Based on Object Projection, Pre-Trained Deep Learning Models and Autoencoder. In: *Computer-Aided Design* 154 (2023), Nr.103417.
- [4] Heczko, Martin; Keim, Daniel A.; Saupe, Dietmar; Vranić, Dejan V.: Verfahren zur Ähnlichkeitssuche auf 3D-Objekten. In: *Datenbank-Spektrum* 2 (2002), Nr.1, S.54-63.
- [5] Fischer, Robert: Virtuelle Methoden für den Entwurf von fokussierten kombinatorischen Bibliotheken basierend auf Feature-Tree-Ähnlichkeit. Hamburg: Staats- und Universitätsbibliothek, 2012.
- [6] Schlieder, Torsten: Fast Similarity Search in XML Data. Schnelle Ähnlichkeitssuche in XML-Daten. Berlin: Freie Universität Berlin, Refubium, 2003.
- [7] Guhlemann, Steffen: Neue Indexingverfahren für die Ähnlichkeitssuche in metrischen Räumen über großen Datenmengen. Dresden: Technische Universität Dresden, Qucosa, 2016.
- [8] Lange, Dustin: Effective and efficient similarity search in databases. Potsdam: Universitätsbibliothek Potsdam, 2013, S.7-10.
- [9] Eigner, Martin; Stelzer, Ralph: Product Lifecycle Management. Ein Leitfaden für Product Development und Life Cycle Management. Berlin, Heidelberg: VDI-Buch, Springer, 2., neu bearb. Aufl., 2009.
- [10] Mechlinski, Thomas: Produktdatenmanagement – Anforderungen und Lösungen. Konzeption, Auswahl, Installation und Administration von PDM-Systemen. Berlin, Heidelberg: Springer Vieweg, 2021.
- [11] Roj, Robin; Sommer, Maxim; Woyand, Hans-Bernhard; Theiß, Ralf; Dültgen, Peter: Classification of CAD-Models Based on Graph Structures and Machine Learning. In: *Computer Aided Design and Applications* 19 (2022), Nr.3, S.449-469.
- [12] Lupinetti, Katia; Pernot, Jean-Philippe; Monti, Marina; Giannini, Franca: Content-based CAD assembly model retrieval. Survey and future challenges. In: *Computer-Aided Design* 113 (2019), o.Nr., S.62-81.
- [13] Lupinetti, Katia; Giannini, Franca; Monti, Marina; Pernot, Jean-Philippe: Multi-criteria retrieval of CAD assembly models. In: *Journal of Computational Design and Engineering* 5 (2018), Nr.1, S.41-53.
- [14] Hua, Shungang; Wang, Xinbao; Xie, Shouguang; Feng, Dan; Dai, Hengzhen: Assembly Model Retrieval Combining Parts-level and Global-level Parameter Descriptions. In: *Computer-Aided Design and Applications* 19 (2022), Nr.1, S.26-37.
- [15] Chen, Xiang; Gao, Shuming; Guo, Song; Bai, Jing: A flexible assembly retrieval approach for model reuse. In: *Computer-Aided Design* 44 (2012), Nr. 6, S.554-574.
- [16] Schilke, Martin: Einsatz von Produktdatenmanagement-Systemen im Sondermaschinenbau für die Automobilindustrie. Saarbrücken: Univ. des Saarlandes, Lehrstuhl für Fertigungstechnik, 2010, S.120-124.
- [17] Guldi, André; Mahl, Alexander; Kusumah, Indra; Grabowski, Hans (Hrsg.): Unternehmensspezifisches Klassifikationssystem zur effizienten Datenverwaltung. Karlsruhe: Universitätsverlag, 2005, S.39.
- [18] Ferrero, V.; DuPont, B.; Hassani, K.; Grandi, D.: Classifying Component Function in Product Assemblies with Graph Neural Networks. In: *ASME. Journal of Mechanical Design* 144 (2022), Nr.021406.
- [19] Han, Zhoupeng; Zhang, Hua; He, Weirong; Ba, Li; Yuan, Qilong: Automatic Annotation of Functional Semantics for 3D Product Model Based on Latent Functional Semantics. In: *Scientific Programming* (2023), Nr.9885859.
- [20] Sauer, Christopher; Schleich, Benjamin; Wartzack, Sandro: Einsatz von Graphdatenbanken für das Produktdatenmanagement im Kontext von Industrie 4.0. In: Stelzer, Ralph H.; Krzywinski, Jens (Hrsg.): *Entwerfen Entwickeln Erleben in Produktentwicklung und Design*. Dresden: TUDpress, 2019, Bd.2, S.393-408.
- [21] Stelzer, Ralph H.; Steger, Wolfgang: *SolidWorks. Grundlagen der Modellierung und des Programmierens*. München: Pearson Studium, 2009, S.241-329.
- [22] Homann, Ingo R.: Fuzzy-Suchmethoden im Information-Retrieval. Bielefeld: Universität Bielefeld, Technische Fakultät, 2004, S.29-50.
- [23] Qiao, Hu; Wang, Xufan; Wang, Zihao; Wang, Liang; Xiang, Ying: Common Structure Mining of 3D Model Assembly Model Based on Frequent Subgraphs. In: *Scientific Programming* (2022), Nr.6829386.
- [24] Gajek, C.; Schiendorfer, A.; Reif, W.: A Recommendation System for CAD Assembly Modeling Based on Graph Neural Networks. In: Amini, M.-R.; Canu, S.; Fischer, A.; Guns, T.; Kralj Novak, P.; Tsoumakas, G. (Hrsg.): *Machine Learning and Knowledge Discovery in Databases. ECML PKDD 2022: Springer, Lecture Notes in Computer Science*, 2023, Nr.13713.
- [25] Shi, X.; Tian, X.; Gu, J.; Yang, F.; Ma, L.; Chen, Y.; Su, T.: Knowledge Graph-Based Assembly Resource Knowledge Reuse towards Complex Product Assembly Process. In: *Sustainability* 14 (2022), Nr.23, Nr.15541.

Title and Abstract: Translated with www.DeepL.com/Translator (free version)
