

Konzepte zur Nutzung von Knowledge-based Engineering in der Planung intralogistischer Systeme

Concepts for the use of knowledge-based engineering in intralogistics system planning

Alexander Ortner-Pichler
Christian Landschützer

Institut für Technische Logistik (ITL)
Fakultät für Maschinenbau und Wirtschaftswissenschaften
Technische Universität Graz

Im vorliegenden Beitrag wird die Entwicklung einer neuen Methode aus dem Bereich des Knowledge-based Engineerings dargestellt, die gezielt die Spezifika und Randbedingungen der Planung intralogistischer Systeme adressiert. Durch die Nutzung der Methode wird die Möglichkeit eröffnet intralogistische Systeme effizient zu planen und dabei eine breite Informationsbasis zu nutzen. Technische Informationen werden dadurch in einer frühen Planungsphase zugänglich gemacht. Abschließend zeigt der Beitrag prototypische Implementierungen der Methode, die eine dreidimensionale Planung intralogistischer Systeme in einer web-basierten Umgebung ermöglichen.

[Schlüsselwörter: Intralogistik, Systemplanung, Knowledge-based Engineering, Methodenentwicklung, CAD]

This contribution shows the development of a new Knowledge-based Engineering method addressing the specifics and boundary conditions of the planning of intralogistic systems. By the use of this methodology the possibility arises to efficiently plan and design intralogistic systems using a broad information base, thus making technical information accessible in an early phase of the planning process. In the end of this contribution prototypical implementations of the method are introduced, showing a web based system enabling the planning of an intralogistic system within a three dimensional environment.

[Keywords: Intralogistics, system planning, Knowledge-based engineering, method development, CAD]

1 EINLEITUNG

Wie allgemein bekannt stiegen die Umsätze in der KEP-Branche (ca. 5% nach [BIEK]) und vor allem in der e-Commerce Branche (ca. 14% nach [ENE19]) in den letzten Jahren über dem durchschnittlichen Wachstum der Wirtschaft (unter 2,5% seit 2012 nach [DIW20]¹). Auch die Investments in Logistikimmobilien sind analog dazu gestiegen [BNP19]. Neben den hohen prozentualen Steigerungsraten, befinden sich auch die absoluten Größen in beachtlichen Höhen. Die Steigerungen in den Zahlen der getätigten Investments lassen sich dahingehend interpretieren, dass die Anzahl der neu gebauten Logistikanlagen analog steigt. Abgeleitet von der Höhe der absoluten Zahlen lässt sich daraus folgern, dass Effizienzsteigerungen in der Planung und Umsetzung dieser Anlagen positive Effekte hinsichtlich der aufzuwendenden Kosten und der zu investierenden Zeit nach sich ziehen.

Die Systemplanung intralogistischer Anlagen ist ein vielschichtiges Thema: komplexe wechselseitige Abhängigkeiten in Hinsicht auf Materialfluss, Kostenkalkulation, Prozessoptimierung ([YBJWG14], [Win15], [Cro08], [SBH17]) und vielem mehr zeigen sich zwischen den verschiedenen Systembestandteilen und müssen in der Planung berücksichtigt werden. Diese Komplexität auf der Ebene des Gesamtsystems trifft auf einen tendenziell wenig aufwändigen Entwicklungsprozess auf Maschinenebene (im Vergleich zu z.B. der Automobilindustrie). Dieser Entwicklungsprozess beschränkt sich oft auf die Adaption oder gar nur Auswahl bestehender Maschinen und zeigt sich in den, verglichen zu anderen Industriebereichen, langen Produktlebenszyklen ([Lan16], [OPL19]).

Die dargestellte Arbeit zeigt einen Ausschnitt eines Forschungsbereichs des Instituts für Technik Logistik der Technischen Universität Graz, der sich mit dem Thema

¹ Die Wachstumswahlen beziehen sich auf Deutschland.

wissensbasierte Konstruktion auseinandersetzt. Im Rahmen einer Dissertation wird an der Steigerung der Effizienz des Planungsprozesses intralogistischer Systeme geforscht. Hauptansatzpunkt hierbei ist der Versuch den Einsatz von 3D-CAD-Planungswerkzeugen² besser auf die Rahmenbedingungen der Intralogistik zu fokussieren, da es diese im Moment nicht vollumfänglich eingesetzt werden ([EH12], [JT12]).

1.1 FORSCHUNGSFRAGE, FORSCHUNGSMETHODE UND STAND DER TECHNIK

Die erwähnte Dissertation folgt einem abduktiven Forschungsprozess deren Ausgangspunkt ((1) in Abbildung 1) die Beobachtung darstellt, dass sich die theoretisch konstatierten Planungsprozesse³ (z.B. nach [AF07], [HSN07] [Gud05], [VDI2498]) von den in der Praxis umgesetzten teilweise unterscheiden ([JW13], [SKIH16] mit Verweis auf [WS14], [Lan16]). Ein Unterschied kann darin gesehen werden, dass die Grobplanungsphase durch die Kombination existierender Maschinen zur Erfüllung einer logistischen Aufgabe oder Leistung unter der Berücksichtigung einer Vielzahl an Randbedingungen zusammengefasst werden kann. Innovative Produkte oder Systeme finden dadurch nur wenig Integration⁴. Die Phase der Idealplanung (nach [AF07] und [VDI2498]) findet in der praktischen Umsetzung oftmals nur wenig Beachtung [AF07], wodurch Potentiale für alternative Systemgestaltungen ungenutzt bleiben. Die Planung in ihrer praktischen Umsetzung erfolgt im Regelfall auf Basis des Erfahrungsschatzes ([JW13] mit Verweis auf [Weh10], [Weh12], [Job13]) des Planers und kann durch diese subjektive Betrachtungsweise zu Fehleinschätzungen ([JW13] mit Verweis auf [Job13], [JDP89]) im Planungsprozess führen.

Diese Beobachtungen sollen allerdings keine Falsifizierung der etablierten Planungsprozesse in der Auffassung Poppers (siehe hierzu [Pop35]) darstellen. Die Forschungsarbeit stellt den ausreichenden Einsatz computergestützter Technologien in Frage und lässt sich zur Forschungsfrage subsumieren, ob eine Steigerung der Effizienz im Planungsprozess durch einen breiteren oder gezielteren Einsatz momentan verfügbarer Technologien erzielbar ist. Im

kreativen Prozess ((2) Theory Matching in Abbildung 1) werden daher bestehende Technologien auf ihre Einsatztauglichkeit analysiert (vgl. [KS05] mit Verweis auf [TFD02] und [Wig03]).

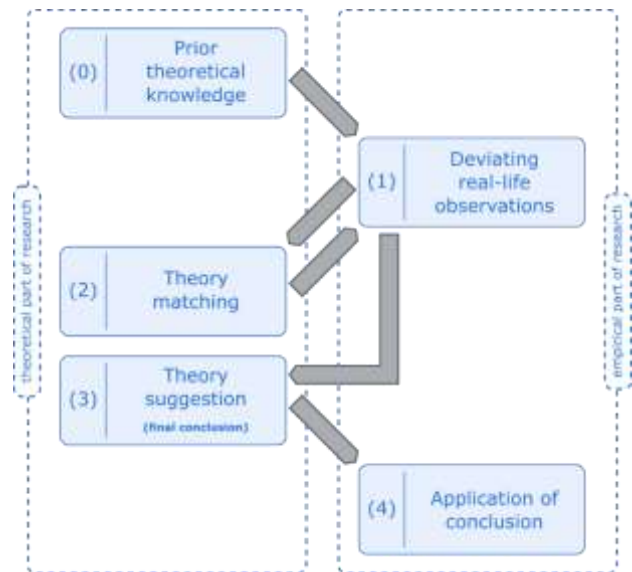


Abbildung 1. Abduktiver Forschungsprozess (vgl. [KS05])

Die Kombination existierender Informationen und existierendem Wissens in einem durch wechselseitige Abhängigkeiten geprägten System - vor allem, wenn die Domäne des Computer-aided Designs Anwendung findet - kann durch die Nutzung Knowledge-based Engineerings (KBE)⁵ unterstützt werden ([Van18], Roc12). Da diese Randbedingungen auf die Systeme der Intralogistik, die im Rahmen der Forschungsarbeit analysiert werden, zu weiten Teilen zutreffen, liegt das Hauptaugenmerk beim Auffinden passender Technologien in diesem Bereich. KBE kann neben zahlreichen anderen Definitionen als die "Kombination des Computer-aided Design Prozesses mit Wissen aus Regel, Formeln und Datenbanken" [JL12]⁶ oder die "Nutzung von Wissensverarbeitungssystemen in der Produktentwicklung" [Van18]⁷ beschrieben werden. Im teilweise Widerspruch zu einigen⁸ dieser Definitionen wird allerdings eine beachtliche Quelle bestehenden Wissens von full

² Unter der Bezeichnung Computer-aided Design (CAD) werden in diesem Zusammenhang nicht nur allein die geometriebezogenen Aufgaben der Erzeugung und Manipulation der Bauteilgeometrie verstanden, sondern die Nutzung IT-basierter Lösungen für alle Aufgaben, die im Konstruktions- und Entwicklungsprozess bearbeitet werden, inklusive verschiedener Aspekte der Produktkonfiguration und der Integration von PLM-Systemen ([Pah90], [IAV13]).

³ Betrachtet werden (vorrangig) die Prozessschritte der Grob- und Idealplanung nach [AF07] und [VDI2498].

⁴ Den Autoren ist bewusst, dass dies auch andere Gründe wie z.B. Versorgungs- und Ausfallsicherheit hat.

⁵ Unter der Bezeichnung Knowledge-based Engineering werden in diesem Zusammenhang auch artverwandte Methodiken wie z.B. wissensbasierte Konstruktion oder Konstruktionsautomatisierung zusammengefasst.

⁶ Im englischen Original: "KBE combines the Computer Aided Design Process (CAD) with knowledge out of rules, formula and databases."

⁷ Im englischen Original: "use of knowledge processing systems in product development"

⁸ siehe unter anderem auch [Roc12], [Lov00], [JSP15]

KBE⁹ Methodiken unbeachtet gelassen: Die existierenden full KBE Methodiken bieten keine Möglichkeit bestehende 3D-CAD Modelle zur Erstellung eines Gesamtsystems zu nutzen (z.B. [VBDC12], [JSP15], [Sto01], [Lov00], [CVTL10]) - siehe hierzu auch Abschnitt Randbedingungen (Wiederverwendung bestehender Informationen).

Durch die Integration von KBE in den Entwicklungsprozess können jedoch trotz dieser Restriktionen Vorteile erwirkt werden. So lassen sich Varianten oder Adaptionen bestehender Konstruktionen schneller und weniger fehleranfällig im Vergleich zur manuellen Bearbeitung generieren [JL12]. Personen die die Planung ausführen können dadurch auch von zeitraubenden Routinetätigkeiten entlastet werden und können ihre Zeitbudgets kreativen Tätigkeiten widmen [JT12].

Die sich erschließende Forschungslücke wird an der einen Seite durch die Forschung der Nutzbarmachung von KBE Methoden in der Intralogistik und auf der anderen Seite durch die Forschung an der Wiederverwendung bestehender 3D-CAD Konstruktionen und dem Einsatz parametrischer 3D-CAD Modelle begrenzt. Auf der Seite der Intralogistik sind hier unter anderem Arbeiten erwähnenswert, die Methoden basierend auf den folgenden Ansätzen nutzen.

- auf Basis der Graphentheorie (z.B. [JW13] mit Verweis auf [Job13])
- auf Basis einer progressiven Simulationsmethode (z.B. [HKHK13])
- auf Basis agentenbasierte Systeme (z.B. [EH12], [MR10])
- kennzahlenbasierte/entscheidungsbasierte Systeme (z.B. [FUG04], [Pot95])
- auf Basis von Fuzzy-Logic (z.B. [Kul05], [MW09])

Diese Forschungsarbeiten haben einen starken Bezug zur technischen Umsetzung der intralogistischen Systeme, berücksichtigen allerdings Aspekte der 3D-CAD Konstruktion und die daraus ableitbaren Informationen wenig bis gar nicht.

Die Arbeiten ohne direkten Bezug zur Intralogistik und Logistik sind breit gefächert und können zu großen Teilen unter den folgenden Oberbegriffen zusammengefasst werden:

- Parametric Modelling Method

- Parametric Modification Method Modelling
- Assembly based Design

Durch den Einsatz von Datenbanksystemen (z.B. Kopplung von MS Access und SolidWorks [YCZD11]), constraint-basierten CAD Systemen ([BRC14], [CCC16]), erweiterter Parametrik (z.B. [Her06], [RR18]), Konfigurationssystemen (z.B. [MH01]) oder matrix-basierten Systemen [SM11] können große Erfolge bei der Adaption, Manipulation und Wiederverwendung bestehender 3D-CAD Konstruktionen erzielt werden. Auch Systeme auf Basis des Assembly based designs (z.B. [ZDQ01], [JHR16]) zeigen gute Erfolge bei der Entwicklung einer intelligenten Baugruppenkonstruktion. Diesen Ansätzen ist jedoch gemein, dass sie durch den fehlenden Bezug zur Intralogistik keine Möglichkeit zur Weiterverwendung der generierten Modelle auf Basis der Netzwerkinformation (d.h. die Generierung der Netzwerkinformation im Rahmen der Systemgenerierung) ermöglichen.

Eine Arbeit, die sich weitgehend dieser Kategorisierung entzieht, wurde von Mehdi Ghoffrani [Meh07] auf Basis der Produktkonfiguration verfasst. Durch die Nutzung dieser Methode lassen sich unter anderem Netzwerke aus Stetigförderern unter Berücksichtigung einer Vielzahl technischer Randbedingungen generieren. Die Methode berücksichtigt eine weitergehende Verwendung der Informationen der generierten Netzwerke nicht und lässt dadurch das Potential zur Rückkopplung dieser Informationen (siehe Abschnitt Netzwerkdesign und Netzwerkanalyse) in den Planungsprozess ungenutzt.

Das Bestreben die aufgespannte Forschungslücke zu füllen, wird durch die in Abschnitt Methodenentwicklung gezeigten Methode, dargestellt und lässt sich in den kreativen Prozess ((2) Theory Matching in Abbildung 1) einordnen. Die entwickelte Methode ist hierbei analog zur abschließenden Folgerung ((3) Theory suggestion in Abbildung 1) zu verstehen, deren Anwendung ((4) Application of conclusion in Abbildung 1) exemplarisch im Abschnitt Auszug prototypischer Implementierungen gezeigt wird.

Im Gesamtkontext der Arbeit wird die Forschungsfrage kontradiktorisch formuliert und versucht diese Hypothese durch die Verwendung (und im Weiteren durch die Entwicklung) einer entsprechenden Methode widerlegt. Durch diese *reductio ad absurdum* wird hierbei allerdings nicht der Beweis des Zutreffens der eigentlichen Forschungsfrage erzielt, da es sich nicht um eine zweiwertige Logik¹⁰ handelt. Vielmehr wird durch dieses Vorgehen die Unmöglichkeit einer Lösung ausgeschlossen - unabhängig der Spezifika der Lösung, was dem Charakter der zugrunde

⁹ [JL12] zeigt eine Unterscheidung zwischen full-KBE und augmented CAD-KBE.

¹⁰ [Pop35] formuliert in einer ähnlichen Sichtweise bei der deduktiven Folgerung wahr und falsch nur als Grenzen des möglichen Lösungsraums.

liegenden Heuristik (siehe Abschnitt Methodenentwicklung und Abbildung 2), die zur Entwicklung der Methode genutzt wird, entspricht.

2 METHODENENTWICKLUNG

Bei der Entwicklung technischer Systeme spannt sich durch die Vielzahl an Möglichkeiten in der technischen Gestaltung a priori ein großer Lösungsraum auf. Dieser vervielfacht sich bei der Entwicklung einer Methode, die das Vorgehen zur Findung und Präzisierung einer oder mehrere dieser Lösungen darstellt. Auf Grund dieses großen Lösungsraums liegt die Annahme nahe, dass zur Generierung einer entsprechenden Lösung Heuristiken zielführende Möglichkeiten darstellen. In weiterer Folgerung bietet sich daher auch die Verwendung einer Heuristik zur Entwicklung der Methode, die die Generierung der gesuchten Lösung unterstützt, an.



Abbildung 2. Grobvorgehen bei der Anwendung der Heuristik nach Pappos von Alexandria zur Entwicklung der Methode

Zur Entwicklung der im Weiteren dargestellten Methode wurde eine Heuristik nach Pappos von Alexandria gewählt, die zu Beginn das Problem als gelöst betrachtet ((A1) in Abbildung 2), versucht den Lösungsweg durch

Rückwärtsschreiten (A2) zu finden und durch Vorwärtsschreiten (A3) beweist, dass dieser Lösungsweg zur initialen Lösung führt. Angewendet auf die Entwicklung der Methode lassen sich im Groben die einzelnen Schritte des Vorgehens so beschreiben, dass ein geplantes intralogistisches System als gelöstes Problem (B1) betrachtet wird. Dieses lässt sich in seine Netzwerkinformation und Maschineninformation¹¹ unter der Berücksichtigung entsprechender Randbedingungen in der Dekomposition (B2) zerlegen oder rückwärtsschreitend planen. Werden diese Einzelbestandteile nun wieder in der Komposition (B3) zusammengesetzt lässt sich die Maschineninformation teilweise aus den Randbedingungen ableiten oder zumindest präzisieren und die Netzwerkinformation des Systems lässt sich aus der Summe der einzelnen Maschineninformationen generieren. Werden die gesamten Informationen nun wieder entsprechend verknüpft, lässt sich daraus wieder das initiale Gesamtsystem generieren.

2.1 RANDBEDINGUNGEN

Kombiniert man die Dekomposition ((B2) in Abbildung 2) mit der Forschungslücke, die aus dem dem Stand der Technik (siehe Abschnitt Forschungsfrage, Forschungsmethode und Stand der Technik) abgeleitet wurde, können zur Erreichung des Forschungsziels der Effizienzsteigerung vor allem die folgenden drei Punkte als hauptsächliche Randbedingungen an die Methode identifiziert werden:

2.1.1 WIEDERVERWENDUNG BESTEHENDER INFORMATIONEN

Viele bestehende Informationen (z.B. 3D-Maschinenkonstruktionen, Leistungsdaten der Maschinen) die Verwendung im Planungsprozess finden, werden nicht oder nur unzureichend in einer frühen Phase der Planung berücksichtigt. Diese Informationen stehen in vielen Fällen grundsätzlich zur Verfügung, werden aber, da sie auf verschiedenen Abteilungen verteilt vorliegen und oft von proprietären Softwarelösungen generiert werden, nur unzureichend genutzt. Erschwerend kommt hierbei noch hinzu, dass durch den allgemein zu beobachtenden Wandel der Anbieter von Logistikanlagen hin zu Systemintegratoren die Konstruktionsdaten der verwendeten Maschinen oft in Form statischer (nicht entsprechend interner Konstruktionshandbücher; nicht parametrisiert; nicht assoziativ) 3D-Modelle vorliegen. Diese werden oft nur in Dateiformaten von Lieferanten übermittelt die weder Parametrisierung, noch Assoziativität unterstützen (z.B. STEP, IGES) und dadurch nicht optimal genutzt werden können.

2.1.2 NUTZUNG DREIDIMENSIONALER PLANUNG

Obwohl die Entwicklung und die Konstruktion der verwendeten logistischen Gewerke und Maschinen meist

¹¹ Berücksichtigt wird in einer ersten Ausbaustufe der Methode vor allem Stetigförderertechnologie in Systemen der Intralogistik.

in 3D-CAD Paketen erfolgt, werden zur System- und Anlagenplanung zumeist immer noch 2D-Planungstools oder 2D-CAD verwendet [Lan16]. Bei der Reduktion der 3D-Konstruktionsdaten zu, in der 2D-Planung nutzbaren, Elementen, wird die Informationsqualität jedoch stark verringert. Durch die Nutzung detaillierter 3D-Konstruktionsdaten über den gesamten Planungsprozess hinweg stehen jedoch technische Informationen früher in der Entwicklung zur Verfügung und unterstützen die frühe Phase der Entwicklung, in der ein Großteil der Kosten festgelegt wird (vgl. [VBDC12]).

2.1.3 VERRINGERUNG DER KOMPLEXITÄT

Die Anforderungen an moderne Logistikanlagen steigen stetig. So müssen neben Randbedingungen die durch den Materialfluss, die Kostenbetrachtung oder die Prozessoptimierung entstehen, auch Randbedingungen wie die Bedienung mehrerer Mandanten¹² berücksichtigt werden. Auch müssen Herausforderungen bei der Berücksichtigung der Verkehrswege oder der Verfügbarkeit entsprechender Mitarbeiter, die durch die Entwicklung hin zu größeren Anlagen entstehen, bedacht werden [Win15]. Des Weiteren schlagen sich auch die Einflüsse der produzierenden Unternehmen in den steigenden Anforderungen nieder, indem, bedingt durch die steigende Variantenvielfalt, die Produktvarianz und dadurch die Prozessvielfalt in der Logistik steigt ([WSS19] mit Verweis auf [KKK12] und [Klu10]).

2.2 SCHLÜSSELKONZEPTE

Die entwickelte KBE Methode (siehe auch [OPL19]) bildet die Gewerke und Maschinen der Intralogistik auf Basis eines irreduzierbaren Digraphs ab. Hierbei werden jedoch die Maschinen und Teilsysteme sowohl durch ihre logistische Funktion (z.B. Transport, Lagerung), als auch durch ihre Geometrie (bis hin zur Detailkonstruktion) beschrieben und durch weitere Aspekte (z.B. technische Verfügbarkeit) erweitert. Um dies zu realisieren werden die Gewerke als Black-box abgebildet, die nur durch sich selbst manipuliert werden kann (jedes Element beinhaltet einen Logikkern, der diese Aufgabe erfüllt). Dadurch und durch die objektorientierte Strukturierung der Elemente können die einzelnen Elemente auf einem hohen Abstraktionsniveau (z.B. ein generischer Förderer) erstellt werden und zu einem späteren Zeitpunkt in der Planung konkretisiert (z.B. Rollenförderer) werden. Durch diese Funktionalität können auch einfach und effizient verschiedene Varianten eines geplanten Systems miteinander verglichen werden. Um die entsprechende Detailgeometrie zu generieren wird ein 3D-CAD Paket genutzt (siehe [OPL17]), wel-

ches asynchron verschiedene Geometrien auf Basis unterschiedlicher 3D-Modelle (vollständig parametrisiert & assoziativ oder statisch) konvertiert und bereitstellt.

Die ansonsten vollständig gekapselten Elemente können nur durch Interfaces untereinander kommunizieren und dadurch Informationen (z.B. geometrische Position, verfügbare/genutzte logistische Leistung) austauschen. Durch dieses Konzept der Abkapselung kann die Komplexität der Systeme, bei gleichbleibender Beibehaltung der Abbildungsgenauigkeit, reduziert werden. Weiters wird durch die Verbindung der einzelnen Elemente parallel zur geometrischen Positionierung das, dem System zugrundeliegende, Netzwerk abgebildet. Verschiedene Matrizen (z.B. Distanz-, Adjazenz- oder Transportmatrix) können dadurch einfach von dem System abgeleitet werden.

Die Schlüsselkonzepte (siehe auch [OPL19]) lassen sich durch die folgenden fünf Punkte subsummieren.

2.2.1 EXPORT UND RE-IMPORT

Dieses Konzept trägt der Randbedingung der Wiederverwendung bestehender Informationen Rechnung. Um die verteilte Ablage der Informationen zu bewältigen, wurde der Ansatz gewählt, dass alle notwendige Information (z.B. Geometrieinformation, Leistungsdaten) aus den entsprechenden, teils proprietären Softwarelösungen exportiert und in einer separaten Informationsebene gesammelt werden. Auf dieser Informationsebene werden die Daten aufbereitet (siehe hierzu die nachfolgend gezeigten Schlüsselkonzepte) um sie für die Methode nutzbar zu machen. Nach der Verwendung durch die Methode (d.h. die Systemplanung) werden die neu generierten Informationen (z.B. Netzwerkinformation, Layout) in die entsprechenden Formate exportiert um sie weitergehende Planungsschritte im Rahmen der Real- oder Detailplanung nutzbar zu machen.

2.2.2 BLACK-BOX ABBILDUNG

Durch den Versuch die Komplexität des Gesamtsystems zu reduzieren entstand das Schlüsselkonzept der Black-Box Abbildung. Diese Black-Boxen sind nach Außen völlig abgekapselt und beinhalten sämtliche Informationen, die je nach Einsatzzweck (z.B. Geometrie, Leistungsdaten, Informationen zur Verfügbarkeit) zur Beschreibung nötig sind. In der minimalistischsten Form kann dadurch ein Förderer durch seine Breite, Höhe und Länge, sowie den erreichbaren Durchsatz beschrieben werden.

¹² Neben der Unterscheidung verschiedener Unternehmen oder Auftraggeber ist in diesem Zusammenhang auch eine Unterscheidung zwischen verschiedenen Marken und Vertriebswegen eines Unternehmens als Merkmal eines Mandanten zu verstehen.

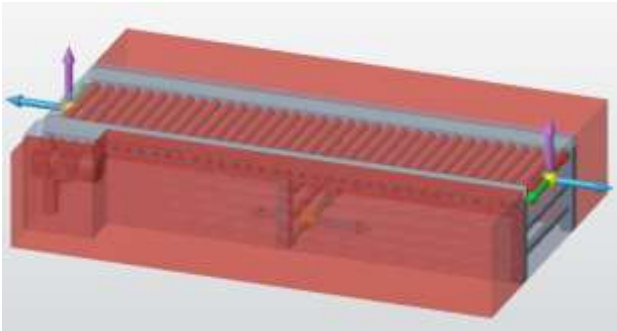


Abbildung 3. Grafische Visualisierung eines Rollenförderers als Black-Box

Wie in Abbildung 3 zu sehen ist, wird die Geometrie eines Förderers auf einem abstrakten Niveau als sein Begrenzungsvolumen (Bounding-Box) dargestellt, das um Volumina die z.B. zum Betrieb oder zur Wartung notwendig sind erweitert wird. Eine detaillierte Systemkonfiguration kann durch ein 3D-CAD Paket basierend auf den Parametern¹³ der Black-Box durchgeführt werden. Dieser Ansatz ermöglicht es die dreidimensionale Planung einfacher in die Systemplanung zu integrieren, da unter anderem, verschiedene Varianten eines Systemlayouts auf hohem Abstraktionsniveau sehr schnell erzeugt und verglichen werden können, aber auch trotzdem die technische Information der 3D-CAD Modelle vollständig erhalten bleibt. Die Black-Boxen beinhalten einen Logikkern, der Zugriff auf alle Parameter hat und diese manipulieren kann. Dadurch werden zum Beispiel die Positionen der geometrischen Interfaces (siehe auch das folgende Schlüsselkonzept) verändert, wenn die Abmessungen eines Förderers verändert werden.

2.2.3 INTERFACES

Da die Black-Boxen als abgekapselte Subsysteme abgebildet werden und dadurch eigentlich keine Verbindung zu anderen Teilen ermöglichen, werden sie um Interfaces¹⁴ erweitert, die eine Kommunikation zwischen den Black-Boxen in einem kontrollierten Ablauf ermöglichen. Durch die Nutzung dieser Interfaces wird die Möglichkeit geschaffen, Parameter der Black-Boxen untereinander abzugleichen. Auf einem grundlegenden Niveau können dadurch z.B. zwei aufeinanderfolgende Förderer (Abbildung 4) geometrisch aneinandergesetzt werden - die Position des folgenden Förderers ist von der Position des ersten Förderers und dessen Geometrie bestimmt¹⁵. Durch die Koppelung der beiden Förderer wird zusätzlich zur Beein-

flussung der Position die entsprechende Netzwerkinformation generiert (siehe hierzu auch Abschnitt Netzwerkdesign und Netzwerkanalyse).

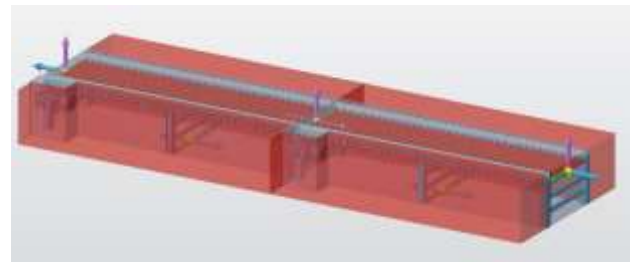


Abbildung 4. Zwei Rollenförderer die durch ihre Interfaces aneinandergesetzt sind

Das Abgleichen der Parameter der Interfaces kann in zwei Varianten erfolgen. Einerseits kann dies rein statisch geschehen (d.h. die Parameter werden nach einer Master-Slave Logik gleichgesetzt) und andererseits können die Parameter durch eine Transformationsfunktion vor dem Gleichsetzen manipuliert werden. Werden zum Beispiel Förderer mit geometrischen Interfaces (Koordinatensysteme zum Positions- und Orientierungsabgleich) abgebildet, deren x-Achse senkrecht zur Ein- und Austrittsebene des beförderten Guts stehen (siehe Abbildung 3), kann die Transformationsfunktion dafür Sorge tragen, dass die Interfaces unter Berücksichtigung einer Rotation von 180° abgeglichen werden und zwei aufeinander folgende Förderer in korrekter Orientierung zueinanderstehen (siehe Abbildung 4).

2.2.4 OBJEKTORIENTIERTE STRUKTURIERUNG

Um einen effizienten Variantenvergleich verschiedener Systeme zu ermöglichen setzt die Methode eine objektorientierte Strukturierung der verwendeten Gewerke ein. Die Wurzelklassen dieser Strukturierung werden hauptsächlich durch zwei Merkmale beschrieben: die Anzahl der Ein- und Austrittspunkte des Materialflusses, sowie die Art der Positionsänderung (1D, 2D oder 3D) die dem Materialfluss aufgeprägt wird. Diese Strukturierung hat den Vorteil, dass z.B. ein Geradenstück eines Gurtbandförderers und eines Rollenförderers durch die selbe Klasse abgebildet werden, wenn man ein entsprechend hohes Abstraktionsniveau in der Strukturierung wählt (siehe auch Abschnitt Netzwerkdesign und Netzwerkanalyse).

¹³ Die Parameter einer Black-Box können abhängig von der abgebildeten Komponente vielfältig ausfallen. Im einfachsten Fall können die Parameter Informationen zur Geometrie und den Leistungsdaten eines logistischen Gewerks abbilden. Die Parameter können jedoch auch dazu genutzt werden die Farbgebung entsprechend der Kundenwünsche abzubilden oder die Qualität einer Kundenbeziehung wiederzuspiegeln.

¹⁴ Zur Visualisierung wurden die Interfaces in den Abbildungen als Koordinatenkreuze dargestellt.

¹⁵ Die Interfaces können auch dazu genutzt werden, um Elemente durch eine absolute Koordinatenreferenz im umgebenden Raum zu platzieren.

2.2.5 GRUPPIERUNG

Das letzte Schlüsselkonzept beschreibt die Möglichkeit zur Gruppierung. Hierbei kann eine Black-Box eine beliebige Anzahl anderer Black-Boxen in seine Abkapselung integrieren. Durch eine entsprechende Wahl verschiedener Interfaces¹⁶ kann der Logikkern dadurch gruppierte Black-Boxen manipulieren oder löschen und auch neue Elemente in seiner Gruppierung erzeugen. Dieses System ermöglicht es z.B. basierend auf einem Algorithmus die Klassen der gruppierten Black-Boxen zu ändern (d.h. zwischen z.B. einem Rollenförderer und einem Gurtbandförderer zu wechseln) oder eine Förderstrecke aufzubauen, indem mehrere Förderer definierter Länge aneinandergesetzt werden und dadurch eine variable Förderstrecke zwischen zwei Punkten zu erzeugen.

2.3 NETZWERKDESIGN UND NETZWERKANALYSE

Werden die Maschinen und Subsysteme, die zur Planung benötigt werden, basierend auf diesen Schlüsselkonzepten aufbereitet und beschrieben, lassen sich daraus effizient Netzwerke generieren. Wie bereits in der Beschreibung des Schlüsselkonzepts der Verwendung von Interfaces beschrieben, können Maschinen im umgebenden Raum (z.B. ein 3D-Layout einer bestehenden Halle) entweder durch eine absolute Koordinatenreferenz oder relativ zu anderen Bezugspunkten (z.B. eine abstrakte Quelle oder Senke) platziert werden. Werden zwei Förderer mit entsprechend gestalteten Interfaces miteinander verbunden, wird neben der geometrischen Platzierung die Netzwerkinformation generiert, wenn die Parameter eines Interfaces die Richtung oder schlicht das Auftreten eines Materialflusses beinhalten. Aus den einzelnen Verbindungen der Interfaces lässt sich ein Graph ableiten, aus dem in weiterer Folge auch z.B. die Adjazenzmatrix oder die Distanzmatrix des Systems bestimmen lassen. Wird das Netzwerk durch die Informationen der auftretenden oder geforderten Materialflüsse überlagert lässt sich weiters auch die Transportmatrix berechnen.

Die objektorientierte Strukturierung lässt sich dazu nutzen ein Netzwerk aus instanziierten Objekten (z.B. einem Rollenförderer) oder abstrakte Instanzen (z.B. die Beschreibung eines Förderers als eindimensionale Positionsveränderung zwischen dem Ein- und Austrittspunkt der transportierten Güter) zu generieren. Wird ein zu planendes System mit ausreichend hoher Abstraktion modelliert z.B. als simple Aneinanderreihung von 1D, 2D oder 3D Positionsveränderungen, die die verschiedenen Transportstrecken, Abzweigungen und Zusammenführungen im Materialfluss darstellen, lassen sich diese in weiterer Folge

abwärts in der Strukturierung spezialisieren (z.B. Ausgestaltung als Rollenförderer) und dadurch effizient Varianten des Systems ableiten. In diesem Spezialisierungsprozess können fortlaufend Randbedingungen (z.B. eine geometrische Kollision mit dem umgebenden Gebäude), die durch die technische Ausprägung einer Maschine (z.B. der Geometrie) entstehen, berücksichtigt werden.

Als Folgerung aus der Netzwerkanalyse in Kombination mit den Schlüsselkonzepten der Black-Boxen (im Speziellen des Logikkerns) und der Gruppierung lässt sich eine weitere Möglichkeit zur Nutzung der Methode beschreiben: das Network Design Feedback. Hierbei können Informationen auf Netzwerkebene (z.B. aus der Transportmatrix) genutzt werden um die genutzten Maschinen zu parametrisieren oder zu konfigurieren. Auf einem einfachen Level kann dieser Mechanismus dazu genutzt werden, um den Benutzer darüber zu informieren, dass ein Förderer im System eine zu geringe Leistung erbringt und ihn zu einer Modifikation des Systems auffordern. In einer erweiterten Implementierung der Methode kann der Mechanismus dazu genutzt werden die Konfiguration und Parametrisierung ganzer Förderstrecken (semi-)automatisiert durchzuführen.

3 AUSZUG PROTOTYPISCHER IMPLEMENTIERUNGEN

Die vorgestellte Methode wurde in verschiedenen Implementierungen prototypisch eingesetzt. Hierbei wurden lokale Varianten (das gesamte System zur Verwendung der Methode wird auf einem PC ausgeführt - siehe hierzu [OPL17]) und web-basierte Varianten getestet und ihre Vor- und Nachteile analysiert. Tendenziell zu präferieren ist letztgenannte, da sich bei der Implementierung des Benutzerinterfaces in einem Webbrowser die Unabhängigkeit des Betriebssystems als größter Vorteil zeigt. Die verwendete Systemarchitektur und die umzusetzende Implementierung gestaltet sich im Gegensatz zu [OPL17] jedoch aufwändiger, vor allem da die Möglichkeiten der Visualisierung im lokal ausgeführten 3D-CAD Paket fehlen.

3.1 WEB-BASIERTE ARCHITEKTUR¹⁷

Abbildung 5 zeigt die implementierte Architektur in der der Benutzer mit dem System über ein web-basiertes Interface interagiert. Als zentraler Knoten agiert ein Webserver, der einerseits die Aufgabe hat, das Interface an den Benutzer auszuliefern und Teile der Berechnungsaufgaben abzuwickeln und andererseits als Schaltstelle dient um eine

¹⁶ Die Kommunikation zwischen gruppierenden und gruppierten Elementen erfolgt auch hier nur durch die Interfaces um die Integrität der Black-Box nicht zu verletzen.

¹⁷ Zum Zeitpunkt der Publikation dieses Artikels befindet sich eine Publikation mit näheren Details zur web-basierten Architektur in Bearbeitung.

binäre Socketverbindung zwischen dem Benutzerinterface und einem zusätzlichen CAD Computer zu initialisieren.



Abbildung 5. Web-basierte Architektur der Implementierung

Die Trennung dieser beiden Systembestandteile auch auf Ebene der verwendeten Hardware begründet sich vor allem durch die unterschiedlichen Anforderungen des Webservers und des CAD Computers an die Hardware, hat aber auch den Vorteil, dass ein Load-Balancing bei der Verwendung mehrerer CAD Computer durch den Webserver verwaltet werden kann. Auf dem CAD Computer werden zwei Systembestandteile ausgeführt: das CAD Paket (in den Implementierungen wird PTC Creo eingesetzt; die meisten gängigen CAD Pakete wären für eine Implementierung ebenfalls geeignet), das zur Generierung und Manipulation der 3D-CAD Modell verwendet wird und ein x2Creo Server (siehe hierzu auch [OPL17]), der die entsprechenden Befehle durch die Socketverbindung empfängt und mit Hilfe der VB API von PTC Creo das CAD Paket steuert. Die so erstellten CAD Modelle werden in ein für den Einsatzzweck eigens entwickeltes Format konvertiert und an das Benutzerinterface ausgeliefert, in dem in weiterer Folge die dreidimensionale Visualisierung der Modelle durch die Nutzung von WebGL¹⁸ (Web Graphics Library) erzeugt wird. Durch die so umgesetzte Visualisierung ist auch die Verwendung einer binären Socketverbindung begründet, da durch sie die Daten zur Visualisierung übertragen werden können, ohne zusätzliche Konvertierungen auf dem Gerät des Endbenutzers durchführen zu müssen. Dieses Vorgehen verringert die nötige Rechenleistung des Geräts des Endbenutzers auf Kosten zusätzlicher Rechenleistung des CAD Computers und ermöglicht somit auch die Verwendung leistungsschwächerer Geräte auf der Seite des Endbenutzers.

3.2 PERFORMANCETESTS

Als einer der kritischen Faktoren bei der Umsetzung einer 3D-Planungsumgebung in einem Webbrowser kann die Performance der 3D Visualisierung gesehen werden. Auch schon auf lokal ausgeführten Planungswerkzeugen stellt sich diese Visualisierung, bedingt durch die Größe und dadurch der zu visualisierenden Information der zu planenden Systeme, oft als problematisch dar.

Der Stand der momentanen Forschung zeigt jedoch ein optimistisches Bild der erzielbaren Visualisierungsleistung. Abbildung 6 zeigt einen Test der eine ungefähr 350 Meter lange Förderstrecke zeigt, die aus 2 Meter langen Einzelmodellen zusammengesetzt wurde. Das gesamte Modell wird durch über 1,1 Millionen Dreiecksflächen dargestellt und lässt sich aber trotzdem noch auf einem mittelklassigen Desktop Computer oder einem Mobiltelefon mit 60 Frames pro Sekunde flüssig darstellen. Diese Effizienz wird vor allem durch die gezielte Reduktion der Drawing-Calls erreicht, da diese bei der Verarbeitung durch die GPU des Computers einen großen Overhead erzeugen.

¹⁸ Zur Implementierung wurde das WebGL Framework three.js [Cab19] genutzt.

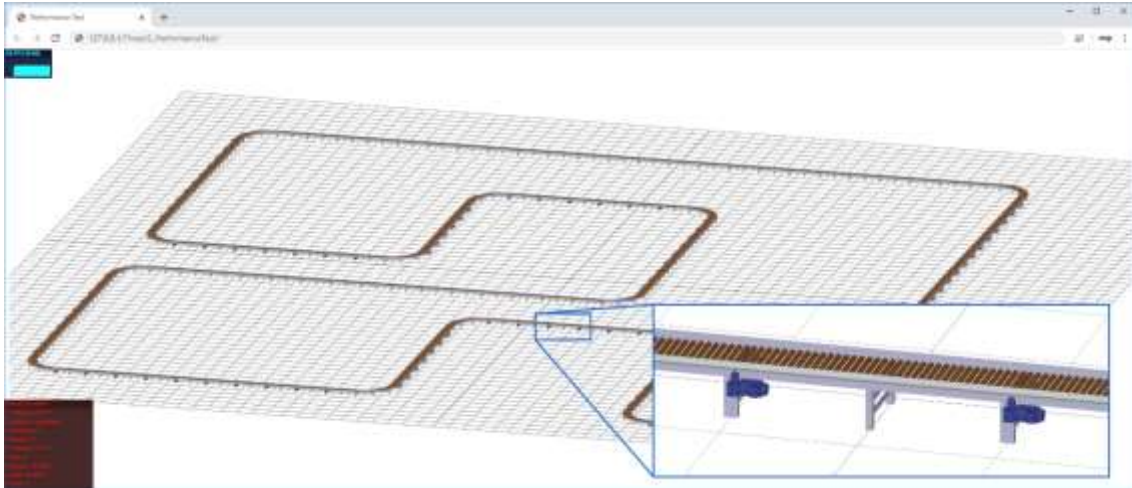


Abbildung 6. Performance Test der 3D-Visualisierung

3.3 PROTOTYPISCHE UMSETZUNG

Abbildung 7 zeigt das web-basierte Benutzerinterface einer Implementierung der Methode. Die Kernbestandteile der Methode wurden mit Hilfe eines objektorientierten Ansatzes in JavaScript umgesetzt. In der Mitte der Abbildung ist eine 3D-Visualisierung eines Teilsystems zu sehen, in der der rot umrahmte Rollenförderer gerade ausgewählt ist. Im linken Teil der Abbildung ist ein Klassenbrowser (verfügbare Systemelemente - z.B. generische Abbildungen verschiedener Stetigförderer) und ein Instanzenbrowser (verwendete Systemelemente) zu sehen. Der rechte Teil der Abbildung zeigt einen Dialog zur Manipulation der Parameter des ausgewählten Förderers, sowie einen Dialog zur Manipulation der vorhandenen Interface Verbindungen.

Das implementierte System setzt auch eine Möglichkeit zur Realtime Collaboration um, das auf Basis der Google Realtime API implementiert wurde. Diese API wird zum momentanen Zeitpunkt nicht mehr von Google angeboten, wodurch diese prototypische Implementierung nur noch bedingt funktionsfähig ist, da diese API zu tief in das Gesamtsystem integriert worden ist. Große Teile des verwendeten Programmcodes sind jedoch weiterhin nutzbar und werden in einer momentan in Entwicklung befindlichen Implementierung genutzt, die zur Umsetzung der Realtime Collaboration Googles Firebase Technologie verwendet.

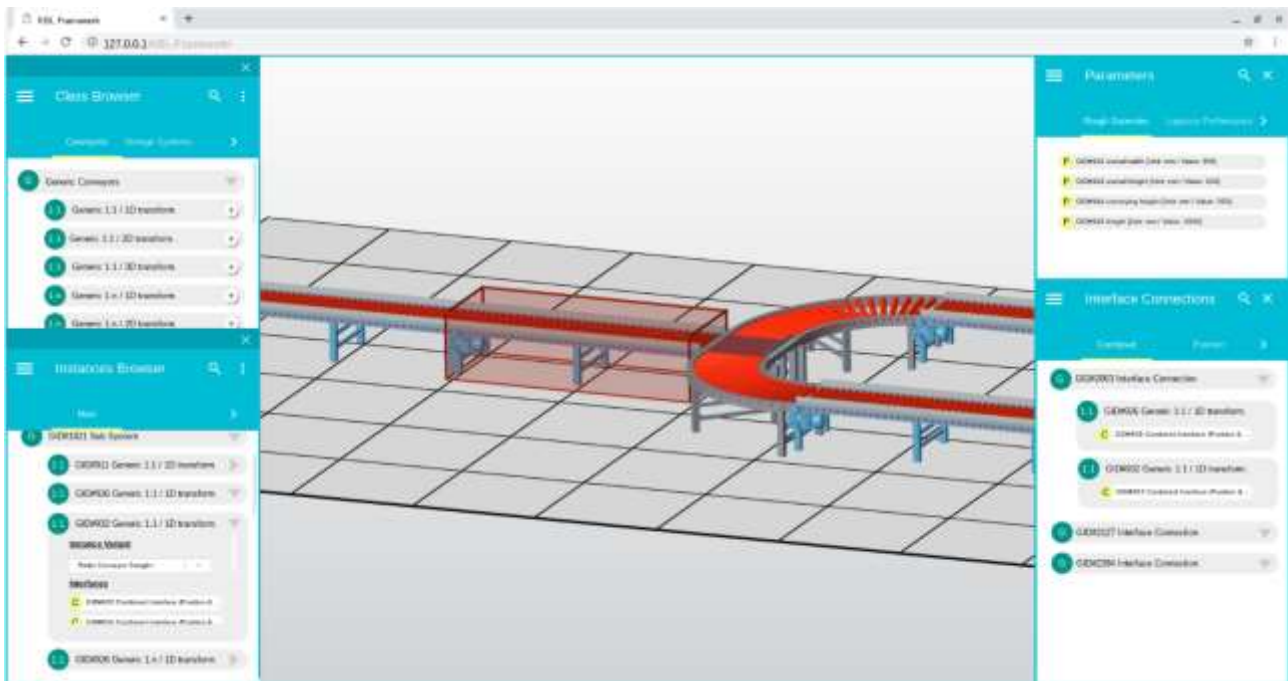


Abbildung 7. Prototypische Implementierung eines web-basierten Interfaces zur Nutzung der entwickelten Methode [OPL19]

LITERATUR

4 ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK

Die dargestellte Arbeit zeigt einen Ausschnitt eines Forschungsbereichs des Instituts für Technik Logistik der Technischen Universität Graz der sich mit dem Thema wissenschaftsbasierte Konstruktion auseinandersetzt. Im Rahmen dieser Arbeit wurde eine neue KBE Methode entwickelt und prototypisch implementiert, die unter Berücksichtigung der Spezifika und Randbedingungen der Intralogistik, die Effizienz des Planungsprozesses intralogistischer Systeme steigern soll. Bei der Überprüfung der Erreichung dieses Ziels muss zwischen operativer Effizienz und Gesamteffizienz hinsichtlich möglicher Kosten- und Zeiteinsparungen unterschieden werden. Die Betrachtung der operativen Effizienz zeigt sich durchaus positiv, da der breitere Einsatz computergestützter Technologien in der Planung einerseits die Prozessabläufe beschleunigt und andererseits dabei helfen kann Fehler in der Planung zu reduzieren. Die Betrachtung der Gesamteffizienz ist hierbei allerdings stark vom Einsatzzweck sowie der Einsatzhäufigkeit (siehe hierzu auch [Lan16]) abhängig. Der Aufwand das gesamte Maschinenspektrum, das zur Planung der Systeme benötigt wird, unter Berücksichtigung der Schlüsselkonzepte der Methode abzubilden ist nur schwer abschätzbar. Eine Steigerung der Gesamteffizienz (hinsichtlich Zeit und Kosten) ist erst durch eine sehr hohe Einsatzhäufigkeit zu erwarten. Die vorliegende Forschungsfrage kann daher teilweise beantwortet werden, die aufgespannte Forschungslücke kann durch die Verwendung der entwickelten Methode und deren Implementierungen zu großen Teilen geschlossen werden.

Die Methode bringt neben einer möglichen Effizienzsteigerung und einer Reduktion der Fehleranfälligkeit jedoch weitere zu berücksichtigenden Aspekte mit sich. Durch die Abbildung der Systeme auf einem hohen Abstraktionsniveau und der einfachen Variantengenerierung lassen sich die Planungsphasen der Ideal- und Grobplanung näher aneinanderrücken und eröffnen die Möglichkeit auch Varianten abseits technischer Restriktionen ohne großen Mehraufwand zu analysieren. Weiters kann die Abbildung der verwendeten Maschinen durch Black-Boxen dabei unterstützend wirken die Handhabung der Komplexität des Systems einfacher zu gestalten.

Durch die Nutzung detaillierter technischer Informationen in einem frühen Planungsstadium lassen sich bereits zu diesem frühen Zeitpunkt umfassende Stücklisten generieren die die Möglichkeit einer genaueren Kostenabschätzung eröffnen.

Die momentane Forschung im Umfeld der entwickelten Methode befasst sich am Institut für Technische Logistik vorrangig mit der methodischen und strukturierten Erfassung und Beschreibung der verwendeten Maschinen und Gewerke, sowie der fortlaufenden Erweiterung prototypischer Implementierungen.

- [AF07] Arnold, D.; Furmans, K.: Materialfluss in Logistiksystemen. 5. Auflage, Springer, Berlin/Heidelberg, 2007.
- [BIEK] Bundesverband Paket und Expresslogistik e. V. (BIEK): Umsatz von Kurier-, Express- und Paketdiensten (KEP) in Deutschland in den Jahren 2000 bis 2018 (in Millionen Euro). In: Statista - Das Statistik-Portal, Zugriff am 03.10.2019, von <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/154823/umfrage/umsatzvon-paket-und-kurierdiensten-in-deutschland/>
- [BNP19] BNP Paribas Real Estate. (n.d.): Investments in Gewerbeimmobilien in Deutschland in den Jahren von 2011 bis 2018 nach Art des Objekts (in Millionen Euro). In: Statista - Das Statistik-Portal, Zugriff am 19.2.2019, von <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/278479/umfrage/investments-in-gewerbeimmobilien-indeutschland-nach-objektart/>
- [BRC14] Bodein, Y.; Rose, B.; Caillaud, E.: Explicit reference modeling methodology in parametric CAD system. In: Computers in Industry, Vol. 65, 2011. S. 136-147
- [Cab19] Cabello, R. (Mr.doob): JavaScript 3D library, In: three.js – JavaScript 3D library, Zugriff am 4.11.2019, von <https://threejs.org>
- [CCC16] Camba, J.D.; Contero, M.; Company, P.: Parametric CAD modeling - An analysis of strategies for design reusability. In: Computer-Aided Design, Vol. 74, 2016. S. 18-31
- [Cro08] Crostack, H.-A.; Mathis, J.; Noll, K.: Components of A Requirement of An Intralogistics Facility. 11th QMOD Conference. Quality Management and Organizational Development: Attaining Sustainability From Organizational Excellence to Sustainable Excellence, Helmingborg, 2008.
- [CVTL10] Curran, R.; Verhagen, W.J.C.; van Tooren, M.J.L.; van der Laan, T.H.: A multidisciplinary implementation methodology for knowledge based engineering: KNOMAD. In: Expert Systems

- with Applications 37, Elsevier, Amsterdam, 2010.
- [DIW20] Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung (DIW) Berlin: Entwicklung des realen Bruttoinlandsprodukts (BIP) in Deutschland von 2008 bis 2019 und Prognose des DIW bis 2021 (gegenüber dem Vorjahr). In: Statista - Das Statistik-Portal, Zugriff am 29.3.2020, von <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/74644/umfrage/prognose-zur-entwicklung-des-bip-in-deutschland/>
- [EH12] Ellinger, M.; ten Hompel, M.: Agentenbasiertes Planungsmodell für die Grobplanung von Kommissioniersystemen. In: Logistics Journal. Proceedings, 2012.
- [ENE19] Ecommerce News Europe: Umsatz im B2CE-Commerce-Markt in Europa in den Jahren 2013 bis 2018 sowie eine Prognose für das Jahr 2019 (in Milliarden Euro). In: Statista - Das Statistik-Portal, Zugriff am 03.10.2019, von <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/881008/umfrage/umsatzim-b2c-e-commerce-markt-in-europa/>
- [FUG04] Fonseca, D.J.; Uppal, G.; Greene, T.J.: A knowledge-based system for conveyor equipment selection. In: Expert Systems with Applications, Vol. 26, Elsevier, 2004. S. 615-623
- [Gud05] Gudehus, T.: Logistik: Grundlagen - Strategien – Anwendungen. Springer-Verlag, Berlin/Heidelberg, 2005.
- [Her06] Barrios Hernandez, C.B.: Thinking parametric design: introducing parametric Gaudi. In: Design Studies, Vol. 27, Issue 3, Elsevier, 2006. S. 309-324
- [HKHK13] Hilbrich S.; Köck H.; Hinckeldeyn J.; Kreutzfeldt J.: Entwicklung einer Simulationsmethodik zur schnellen Dimensionierung komplexer Materialflusssysteme. In: Logistics Journal Vol. 2013, Iss. 10, 2013. - ISSN 2192-9084
- [HSN07] ten Hompel, M.; Schmidt, T.; Nagel, L.: Materialflusssysteme: Förder- und Lagertechnik. Springer-Verlag Berlin/Heidelberg, 2007.
- [IAV13] IAV GmbH Ingenieurgesellschaft Auto und Verkehr (Hrsg.): Virtuelle Produktentwicklung. Vogel, Würzburg 2013. ISBN 978-3-8343-3106-9, S. 24.
- [JDP89] Jünemann, R.; Daum, M.; Piepel, U.; Schwinning, S.: Materialfluss und Logistik - Systemtechnische Grundlagen mit Praxisbeispielen, Berlin/Heidelberg, 1989.
- [JHR16] Jaiswal, P.; Huang, J.; Rai, R.: Assembly-based conceptual 3D modeling with unlabeled components using probabilistic factor graph. In: Computer-Aided Design, Vol. 74, Elsevier, 2016. S. 45-54
- [JL12] Jodin, D., Landschützer, C.: Knowledge-based methods for efficient material handling equipment development. In: Progress in Material Handling Research, MHI, Charlotte, 2012.
- [Job13] Jobi, B.: Entwicklung einer rechnergestützten Systematik zur funktionsbereichsübergreifenden Planung von Distributionszentren durch Einsatz der Graphentheorie, Dissertation an der Universität Stuttgart, Stuttgart, 2013.
- [JSP15] Jayakiran Reddy, E.; Sridhar, C.N.V., Pandu Rangadu, V.: Knowledge Based Engineering: Notion, Approaches and Future Trends. In: American Journal of Intelligent Systems, Vol.5 No.1, Scientific and Academic Publishing, 2015. DOI: 10.5923/j.ajis.20150501.01, S. 1-17
- [JT12] Jodin, D.; Trummer, W.: Zeitaufwand reduzieren - Wissensbasierte Methoden zur Planung von intralogistischen Anlagen und Systemen. In: Fördern und Heben Projektguide Intralogistik, 2012. S. 10-13
- [JW13] Jobi, B.; Wehking, K.-H.: Rechnergestützte Planung von Distributionszentren durch Einsatz der Graphentheorie. In: Logistics Journal Vol. 2013, Iss. 10, 2013.
- [KKK12] Klaus, P.; Krieger, W.; Krupp, M.: Gabler Lexikon Logistik: Management logistischer Netzwerke und Flüsse. Springer-Gabler-Verlag, Wiesbaden, 2012. - DOI: 10.1007/978-3-8349-7172-2_12, S. 283-284

- [Klu10] Klug, F.: Logistikmanagement in der Automobilindustrie: Grundlagen der Logistik im Automobilbau. Springer, Berlin/Heidelberg, 2010. - DOI: 10.1007/978-3-642-05293-4
- [KS05] Kovács, G.; Spens, K.M.: Abductive reasoning in logistics research. In: International Journal of Physical Distribution & Logistics Management, Vol. 35 Iss. 2, Emerald, Bingley, 2005. S. 132-144
- [Kul05] Kulak, O.: A decision support system for fuzzy multi-attribute selection of material handling equipments. In: Expert Systems with Applications, Vol. 29, Elsevier, 2005. S. 310-319
- [Lan16] Landschützer, C.: Methoden und Beispiele für das Engineering in der Technischen Logistik (Habilitationsschrift). Schriftenreihe des Instituts für Technische Logistik, Verlag der Technischen Universität Graz, Graz, 2016.
- [Lov00] Lovett, P.J.; Ingram, A.; Bancroft, C.N.: Knowledge-based engineering for SMEs - a methodology. In: Journal of Materials Processing Technology 107, MHI, Charlotte, 2000.
- [Meh07] Ghoffrani, M.: Entwicklung und Einführung eines flexiblen Softwaresystems zur Konfiguration virtueller Produkte. Dissertation an der Ruhr-Universität Bochum, Bochum, 2007.
- [MR10] Miyashita, K.; Rajesh, G.: Multiagent coordination for controlling complex and unstable manufacturing processes. In: Expert Systems with Applications 37 (3), 2010. S. 1836-1845
- [MW09] Hamid, S.; Mirhosseini, L.; Webb, P.: A Hybrid Fuzzy Knowledge-Based Expert System and Genetic Algorithm for efficient selection and assignment of Material Handling Equipment. In: Expert Systems with Applications, Vol. 36, Elsevier, 2009. S. 11875-11887
- [OPL17] Ortner-Pichler, A.; Landschützer, C.: Improving Geometry Manipulation Capabilities of knowledge-based Engineering Applications by the versatile Integration of 3D-CAD Systems. In: The Publications of the MultiScience - XXX.
- [OPL19] Ortner-Pichler, A.; Landschützer, C.: Concepts for the use of Knowledge-based engineering in intralogistics system planning. In: MHCL 2019: XXIII International Conference on "Material Handling, Construction and Logistics". Faculty of Mechanical Engineering, Belgrade University, 2019. S. 235-238
- [Pah90] Pahl, G.: Konstruieren mit 3D-CAD Systemen. Grundlagen, Arbeitstechnik, Anwendungen. Springer, Berlin/Heidelberg, 1990. ISBN 3-540-52234-4, S. 5.
- [Pop35] Popper, K.: Logik der Forschung - Zur Erkenntnistheorie der modernen Naturwissenschaft. Springer-Verlag, Wien, 2013.
- [Roc12] La Rocca, G.: Knowledge based engineering: Between AI and CAD. Review of a language based technology to support engineering design. In: Advanced Engineering Informatics 26, Elsevier, Amsterdam, 2012. S. 159-179
- [RR18] Jayakiran Reddy, E.; Pandu Rangadu, V.: Development of knowledge based parametric CAD modeling system for spur gear - An approach. In: Alexandria Engineering Journal, Vo. 57, Elsevier, 2018. S. 3139-3149
- [SBH17] Schuhmacher, J.; Baumung, W.; Hummel V.: An Intelligent Bin System for Decentrally Controlled Intralogistic Systems in Context of Industrie 4.0. In: Procedia Manufacturing, Volume 9, Elsevier, Amsterdam, 2017. S. 135-142
- [SKIH16] Schieweck S.; Kern-Isberner, G.; ten Hompel, M.: Intralogistik als Anwendungsgebiet der Antwortmengenprogrammierung – Potenzialanalyse. In: Logistics Journal: Proceedings Vol. 2016, 2016.
- [SM11] Salehi, V.; McMahon, C.: Development and Application of an Integrated Approach for Parametric Associative CAD Design in an Industrial Context. In: Computer-Aided Design & Applications, 8(2), 2011. - DOI: 10.3722/cadaps.2011.225-236, S. 225-236
- microCAD International Multidisciplinary Scientific Conference University of Miskolc, Miskolc, 2017.

- [Sto01] Stokes, M. (Hrsg.): Managing engineering knowledge. MOKA: methodology for knowledge based engineering applications. Professional Engineering Publishing, 2001.
- [TFD02] Taylor, S.S.; Fisher, D.; Dufresne, R.L.: The aesthetics of management storytelling: a key to organizational learning. Management Learning, Vol. 33 No. 3, Sage Publications, London, 2002. S. 313-330
- [Van18] Vajna S.; Weber C.; Zeman K.; Hehenberger P.; Gerhard D.; Wartzack, S.: CAx für Ingenieure: Eine praxisbezogene Einführung. Springer-Verlag, Berlin/Heidelberg, 2018.
- [VBDC12] Verhagen, W.J.C.; Bermell-Garcia, P.; van Dijk, R.E.C; Curran, R.: A critical review of Knowledge-Based Engineering: An identification of research challenges. In: Advanced Engineering Informatics 26, Elsevier, Amsterdam, 2011. - DOI: 10.1016/j.aei.2011.06.004, S. 5-15
- [VDI2498] Verein Deutscher Ingenieure: VDI 2498 Vorgehen bei einer Materialflussplanung. Blatt 1 & 2, Beuth Verlag GmbH, Düsseldorf, 2008.
- [Weh10] Wehking, K.-H.: PInLog - Entwicklung einer Planungsplattform für intralogistische Systeme, Abschlussbericht des Instituts für Fördertechnik und Logistik der Universität Stuttgart zu dem durch das Ministerium für Wissenschaft, Forschung und Kunst Baden-Württemberg in Kooperation mit dem IntralogistikNetzwerk in Baden-Württemberg e.V. geförderten Vorhaben 32-729.85/151, Stuttgart, 2010.
- [Weh12] Wehking, K.-H.: PInLog II - Entwicklung einer Planungsplattform für intralogistische Systeme - Phase II, Abschlussbericht des Instituts für Fördertechnik und Logistik der Universität Stuttgart zu dem durch das Ministerium für Wissenschaft, Forschung und Kunst Baden-Württemberg in Kooperation mit dem Intralogistik-Netzwerk in Baden-Württemberg e.V. geförderten Vorhaben 32-729.85/282, Stuttgart, 2012.
- [Wig03] Wigblad, R.: Praktiktheori - en möjlig forskningsstrategi?. In: SIRA Conference "Interaktiv forskning – utmaningar för akademien", Abrufbar unter: www.ehv.vxu.se/forskn/utb/kurser/3fei014/forelasningsmat/p-wigblad18_0.pdf, Zugriff durch [KS05] am 17.3.2004.
- [Win15] Winkler, M.: Grenzen des Wachstums für Distributionszentren. In: Intralogistik 4.0?! Logistikwerkstatt Graz 2015 (Jodin, D. Hrsg.), Verlag der Technischen Universität Graz, Graz, 2015. - ISBN: 978-3-85125-400-6, S. 193-199
- [WS14] Wunderle, A.; Sommer, T.: Planung von Intralogistiksystemen: Erfahrung und Augenmaß zählen. In: Hebezeuge Fördermittel 54, HUSS, 2014.
- [WSS19] Weindl, S.; Schubel A.; Schneider, M.: Regelbasiertes Assistenzsystem zur Logistikplanung. ZWF Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb Nr. 114, Carl Hanser Verlag GmbH, 2019. - DOI: 10.3139/104.112078, S. 260-263
- [YBJWG14] Yousefifar, R.; Beyer, T.; Jazdi, N.; Wehking, K.-H.; Göhner, P.: Dezentrale selbstorganisierte Grobplanung von Intralogistiksystemen mit Hilfe eines Software-Agentensystems. In: Logistics Journal: Proceedings Vol. 2014, 2014.
- [YCZD11] Du Yao; Zhiyong Chang; Jie Zhao; Yangliu Dou: Study on Key Techniques of Parametric Design System Based on Solid Works and KBE. In: Applied Mechanics and Materials Vols. 71-78, Trans Tech Publications, Schweiz, 2011. S. 3861-3867
- [ZDQ01] Zha, X.F.; Du, H.J.; Qiu, J.H.: Knowledge-based approach and system for assembly oriented design, Part I the approach. In: Engineering Applications of Artificial Intelligence, Vol. 14, Pergamon, 2001. S. 61-75

Dipl.-Ing. Alexander Ortner-Pichler, wissenschaftlicher Projektmitarbeiter am Institut für Technische Logistik
Tel: +43 316 873-7328
E-Mail: alexander.ortner-pichler@tugraz.at

Assoc.Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Christian Landschützer, stellv. Institutsleiter am Institut für Technische Logistik
Tel: +43 316 873-7325
E-Mail: landschuetzer@tugraz.at