

# Kollaborative Planung dezentral gesteuerter Materialflusssysteme in der Intralogistik

## Collaborative Planning of Decentralized Material Flow Control Systems in Facility Logistics

Orthodoxos Kipouridis<sup>1</sup>  
Moritz Roidt<sup>2</sup>  
Willibald A. Günthner<sup>1</sup>  
Michael tenHompe<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Lehrstuhl Fördertechnik Materialfluss Logistik (fml), TU München

<sup>2</sup>Lehrstuhl für Förder- und Lagerwesen (FLW), TU Dortmund

**D**er Beitrag stellt eine Kollaborationssoftware vor, die im Rahmen des AiF-Forschungsprojektes „KoDeMat“ entwickelt wurde. Der Fokus wird auf die Problemfelder der fehlenden Standardisierung und Anpassbarkeit im Bereich von fördertechnischen Anlagen gerichtet. Ziel ist, unter Zuhilfenahme von standardisierten, kollaborativen Engineeringprozessen, eine unternehmensübergreifende Planung, Realisierung und einen Umbau von komplexen dezentral gesteuerten Intralogistiksystemen sowie deren Betrieb effizient zu ermöglichen. [Schlüsselwörter: Dezentrale Materialflussteuerung, Collaborative Engineering, Projektplanung]

**D**espite the great advances in the area of decentralized and cellular transport systems, the vast majority of today's material handling systems are build according to manufacturer-specific standards and their transport capabilities, operation and error handling are therefore driven by individual solutions. As a result, an integration of various systems built by different manufacturers is currently a complex task that requires a cooperation on all sides of a project. This paper presents a software platform for better supporting the collaboration between partners at planning and integrating material flow systems in the field of facility logistics.

[Keywords: Distributed Material Flow Control, Collaborative Engineering, Project Planning]

### 1 EINLEITUNG

Die Entwicklung dezentraler Steuerungskonzepte hat sich in den letzten Jahren als ein Schwerpunkt der angewandten Forschung im Bereich automatisierter Materialflusssysteme etabliert (vgl. [HW07]; [FM09]; [OVF+10]). Mittlerweile existieren erste industrielle Produkte dezentral gesteuerter Intralogistiksysteme (z.B. Dematic Multi-shuttle, Lanfer THINGtelligence). Durch eine verbesserte

Skalierbarkeit, Anpassungsfähigkeit und Wiederverwendbarkeit von Systemkomponenten sollen verkürzte Inbetriebnahmezeiten und eine aufwandsarme Erweiterbarkeit der Materialflussteuerung erzielt werden, was zu wirtschaftlichen Vorteilen führen kann.



Abbildung 1. Vergleich der projektspezifischen Aufwände für Planung, Realisierung und Test bei Materialflusssystemen mit zentraler Steuerung (l.) und dezentral gesteuerten Anlagen (r.) ([KUZI0], S.9)

Das „Internet der Dinge“ (IdD) bezeichnet eines dieser neuartigen, dezentralen Steuerungsparadigmen für innerbetriebliche Materialflusssysteme [GtH10]. Das Konzept des IdD wirkt sich auch auf den Entwicklungsprozess fördertechnischer Anlagen aus: Die Aufwände für Planung, Realisierung und Test reduzieren sich im Vergleich zu heutigen Materialflusssystemen (siehe Abbildung 1), dafür fällt bei der projektunabhängigen Entwicklung von Hardware- und Softwaremodulen ein erhöhter Aufwand an. Die Gründe für diese Verschiebung liegen in der hohen Wiederverwendbarkeit der modularen Mechanik und Steuerungslogik sowie im Einsatz moderner und flexibler Kommunikationstechnologien und Protokolle, welche Parametrierung, Inbetriebnahme und Test solcher Systeme erleichtern.



Abbildung 2. Beispielhaftes heterogenes Großprojekt (Bildquellen: IFL, Fraunhofer IML)

Auch beim Umbau oder bei der Erweiterung einer Logistikanlage lässt sich der Aufwand dank des modularen Aufbaus verringern. Gerade für heterogene Großprojekte (vgl. Abbildung 2), in welchen durch mehrere Hersteller neue Fördertechniksysteme in ein beim Kunden existierendes Materialflusssystem integriert werden, bedarf es jedoch geeigneter kollaborativer Engineeringkonzepte, um diese Einsparpotenziale zu erreichen. Einerseits besteht die Gefahr, dass durch Systembrüche und unzureichende Transparenz die Zusammenarbeit der beteiligten Unternehmen behindert wird. Zum anderen kann der Grad der Wandlungsfähigkeit der eingesetzten Subsysteme bei der Integration in das Gesamtsystem verloren gehen (vgl. [GCK08a]).

Die aktuelle Bearbeitung gemeinschaftlicher Intralogistikprojekte findet unter Zuhilfenahme einer vielfältigen Menge von Medien statt und ist nicht zuletzt geprägt von einer großen Anzahl an E-Mails, die zwischen verschiedenen Projektbearbeitern verschickt werden. Dies führt zu Medienbrüchen: die Informationen zur Entwicklung der Materialflusssteuerung finden sich in Textverarbeitungsdateien, Quelltexten, speziellen Simulationsprojekten, usw. Der daraus folgenden fehlenden Transparenz kann nur mit einem erhöhten organisatorischen Aufwand begegnet werden, der zu den hohen Kosten der Softwareentwicklung beiträgt. Dieser Effekt verstärkt sich naturgemäß mit einer höheren Anzahl an Projektbeteiligten, einem größeren räumlichen Abstand der Projektgruppen und einem zeitlichen Versatz in der Durchführung der Arbeitsschritte.

## 2 STAND DER FORSCHUNG

Die Prozesse von der Planung bis hin zum Betrieb von Materialflussanlagen lassen sich grob in vier Phasen einteilen: Planung, Realisierung, Inbetriebnahme und Betrieb. In jeder dieser Phasen fallen spezifische Tätigkeiten an, welche auf Herstellerseite unterschiedliche Anforderungen an Technik und Personal stellen.

Für Anlagen, die nach dezentralen Steuerungsgrundsätzen konzipiert und entwickelt wurden, lassen sich in der Planungsphase verschiedene Arbeitsinhalte vereinfachen und somit Bearbeitungszeiten verkürzen. Der Grund

dafür liegt in einem hohen Wiederverwendungsgrad einmal entwickelter Software- und Technikmodule. Durch die frühzeitige Kenntnis technischer Details der Module verringern sich die Aufwände für Kalkulation und Angebotserstellung.

Mit der Vielzahl an durchzuführenden Tests und dem hohen Integrationsrisiko stellt die Inbetriebnahme-/Hochlaufphase für Anlagenhersteller meist die aufwändigste Projektphase dar. Hersteller mechatronischer IdD-Module nehmen diese bereits „Inhouse“ in Betrieb, so dass Aufwand und Fehlerrisiko vor Ort sinken. Dies begünstigt auch einen früheren Start des Probetriebs für einzelne Anlagenteile und auch für die Gesamtanlage.

Kommt es in der Betriebsphase zur Erweiterung bzw. Modernisierung einer bisher zentral gesteuerten Anlage mit IdD-Modulen, so ist dies mit speziellen Herausforderungen an die mechanische, elektrische und softwaretechnische Integration der neuen Fördertechnik verbunden. Gerade dieses Integrationsszenario ist von zentraler Bedeutung, da es einen realistischen Anwendungsfall für einen kollaborativen Engineeringprozess darstellt und somit die Anforderungen an die zu entwickelnde Kollaborationsplattform mitbestimmt.

### 2.1 KOLLABORATIVE ENGINEERINGPROZESSE

Kollaborative Engineeringprozesse bezeichnen die Zusammenarbeit verschiedener Unternehmen in verteilten Netzwerken mit evtl. unterschiedlicher IT-Infrastruktur bei Entwicklungs-, Planungs- und/oder Realisierungsprojekten. Meist wird dieser Prozess durch Internettechnologien unterstützt. Um das Projektziel einer unternehmensübergreifenden Planung und Realisierung komplexer, dezentral gesteuerter Intralogistiksysteme zu erreichen, gilt es, eine effektive und reibungslose Zusammenarbeit zwischen Unternehmen zu ermöglichen (vgl. [GAB11]). Arbeitsteilige Engineeringprozesse in räumlich getrennten Teams wurden im Rahmen der Globalisierung und Unternehmensvernetzung seit den 1990er Jahren verstärkt erforderlich (vgl. [CTG96]). Gleichzeitig bot das World Wide Web neue Möglichkeiten, eben diesen Anforderungen zu begegnen. Aktuell werden Prozesse des Collaborative Engineering durch Projektmanagementsoftware unterstützt. Bestehende Softwarelösungen eignen sich jedoch nicht für die Planung und Inbetriebnahme heterogener, dezentral gesteuerter Materialflusssysteme.

### 2.2 VERTEILTE UND KOLLABORATIVE SOFTWAREENTWICKLUNG

Die Entwicklung von Software erfordert stets die Zusammenarbeit von mindestens zwei Personen (Auftraggeber und Auftragnehmer). Bei komplexeren, über mehrere Teams oder Organisationen verteilten Softwareprojekten besitzen zusätzlich sogenannte Gruppenprozesse erheblichen Einfluss auf Projekterfolg bzw. -misserfolg. Neben den Prozessen Kooperation, Koordina-

tion und Kommunikation sind hierbei auch menschliche Faktoren von Bedeutung, die durch die umgebende Organisation sowie die persönliche Motivation und Kompetenz geprägt werden. Die Beteiligung mehrerer, fachlich sehr unterschiedlicher Stakeholder führt zu speziellen Anforderungen an die jeweilige Werkzeugunterstützung der relevanten Aktivitäten im Prozess. Es müssen daher sowohl die einzelnen Disziplinen und/oder Aktivitäten mit entsprechenden Werkzeugen individuell unterstützt werden, als auch eine zentrale „Kollaborationsplattform“ zur Projektkoordination bereitstehen. Im Open-Source-

Bereich wird diese Funktion im Wesentlichen von Projektplattformen wie SourceForge bzw. den entsprechenden Komponenten für Versionskontrolle (Subversion, CVS etc.) und Gruppenkommunikation (Mailinglisten, Issue-Tracker, Foren etc.) erfüllt. Auch Hersteller von kommerziellen Entwicklungswerkzeugen bieten Teamfunktionalitäten an und unterstützen damit vermehrt kollaborative Softwareerstellungsprozesse. Die Frage, welche Funktionen für welche Aktivitäten in der intralogistischen Projektplanung geeignet bzw. essenziell sind, ist bisher hingegen noch weitestgehend ungeklärt.

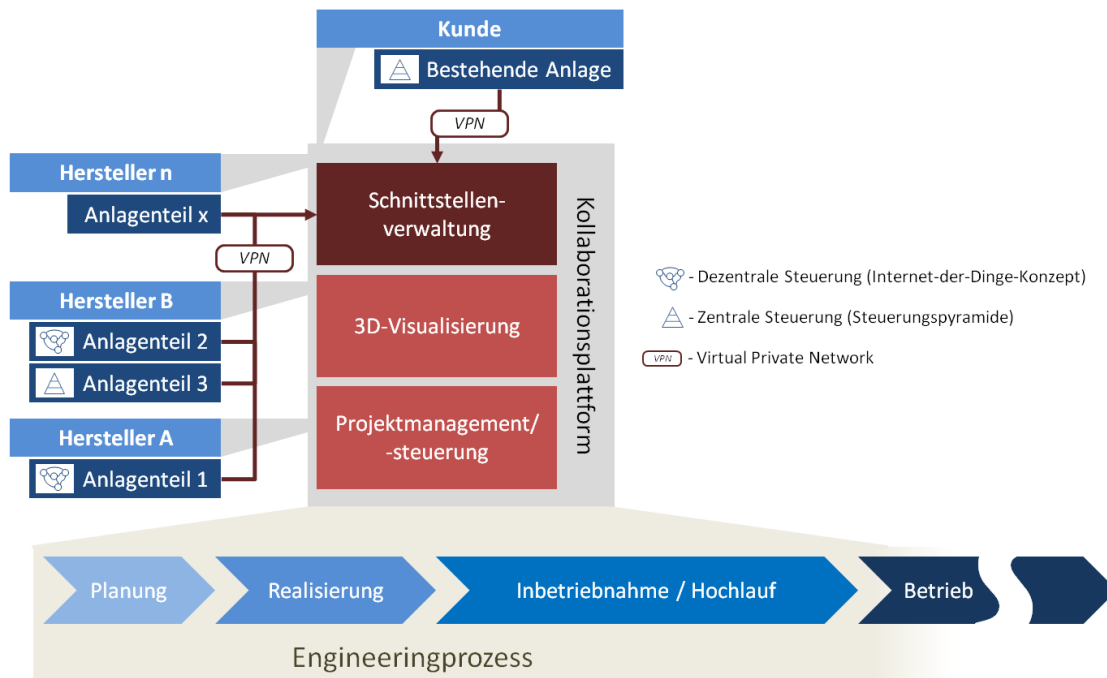


Abbildung 3. Kollaborationsplattform als zentrales Element eines herstellerübergreifenden Engineeringprozesses

### 3 ANFORDERUNGEN AN INTRALOGISTISCHE KOLLABORATIONSSYSTEME

Das Ziel der Arbeiten im Forschungsprojekt „KoDeMat“ liegt im Entwurf und der Entwicklung eines spezialisierten Kollaborationssystems für die intralogistische Planung und Inbetriebnahme. Es werden standardisierte kollaborative Engineeringprozesse gestaltet, welche eine unternehmensübergreifende Planung, Realisierung und Inbetriebnahme von komplexen, dezentral gesteuerten Intralogistiksystemen sowie deren Betrieb effizient ermöglichen. Zur Prozessunterstützung wird darüber hinaus eine leistungsfähige Kollaborationsplattform entwickelt, implementiert und iterativ optimiert.

#### 3.1 GRUNDVORAUSSETZUNGEN

Neue Engineeringprozesse müssen sich an bereits existierenden Prozessen orientieren, um eine erfolgreiche Integration in die Praxis sicherzustellen. Daher ist eine der Voraussetzungen für ein Kollaborationssystem die naht-

lose Integration in existierende IT-Strukturen, insbesondere in den relevanten Bereichen der Kommunikation, Koordination und Kooperation. Ein maßgebliches Ziel der Forschungsarbeiten ist die gezielte Unterstützung bei spezifischen Aufgaben in der Entwicklung intralogistischer Systeme, wie zum Beispiel in der Entwicklung von Schnittstellenspezifikationen.

Eine zweite Voraussetzung, die teilweise durch die Nutzung existierender IT-Strukturen gegeben ist, liegt in der Antizipation zukünftiger, allgemeiner Kollaborationssysteme. Eine Entwicklung kollaborativer Textverarbeitung kann daher nicht Ziel der Forschungsarbeiten sein, da ein solches System einerseits den Rahmen der Forschungsarbeiten sprengen würde, und andererseits durch Angebote kommerzieller Anbieter bereits abgedeckt wird.

Eine dritte Voraussetzung ist die Ausrichtung des Systems auf dezentrale Steuerungsarchitekturen. Erst durch die konsequente Verteilung der Materialflusststeuerung kann auch eine effektive Verteilung der Entwicklungs-

arbeiten erfolgen, die über das entwickelte Kollaborationssystem abgewickelt werden.

Zusammengefasst lassen sich die Grundvoraussetzungen wie folgt formulieren: Es werden ausschließlich spezifische Problemstellungen der Intralogistik betrachtet, die bei der Entwicklung von dezentral gesteuerten Systemen auftreten und es wird dabei von einer IT-Umgebung ausgegangen, in der bereits nicht-spezialisierte Werkzeuge zur Kollaboration eingesetzt werden.

Auf Basis dieser Grundvoraussetzungen kann ein Anwendungsszenario entwickelt werden, aus dem schließlich Anwendungsfälle bestimmt werden.

### 3.2 SZENARIO

Im Rahmen der Forschungsarbeiten wurden die Erfahrungen und Potenziale aus dem BMBF-Projekt „Internet der Dinge“ (vgl. [GtH10]) auf den Planungs- und Inbetriebnahmeprozess intralogistischer Anlagen übertragen. Insbesondere stellt sich hier die Frage, wie die technischen Vorteile einer dezentral gesteuerten Anlage auch in verteilten Projekten realisiert werden können. Als Referenzszenario wurde aus dieser Überlegung das Szenario eines heterogenen Großprojekts entwickelt. In einem solchen Projekt (vgl. Abbildung 2) arbeiten mehrere Anbieter von dezentral gesteuerten Materialflusssystemen zusammen und erstellen ein dezentral gesteuertes Gesamtsystem.

Im Unterschied zu einem Projekt mit einer homogenen Softwarearchitektur für das Gesamtsystem werden hier in den einzelnen Subsystemen unterschiedliche Ansätze dezentraler Steuerung angenommen. Es kann daher nicht mehr von einer standardisierten Schnittstelle ausgegangen werden. Vielmehr müssen für jede Subsystem-zu-Subsystem-Verbindung die Schnittstellen spezifiziert, abgestimmt und implementiert werden. Im Szenario eines heterogenen Großprojekts besteht die Möglichkeit, dass die Vorteile der dezentralen Steuerungssysteme, die sich üblicherweise aus der Verlagerung von projektbezogenen Arbeitsschritten in das Projektvorfeld ergeben, stark abgeschwächt werden. Einerseits besteht die Gefahr, dass durch unzureichende Transparenz die Zusammenarbeit der beteiligten Unternehmen behindert wird. Zum anderen kann der Grad der Wandlungsfähigkeit der eingesetzten Subsysteme bei der Integration in das Gesamtsystem verloren gehen.

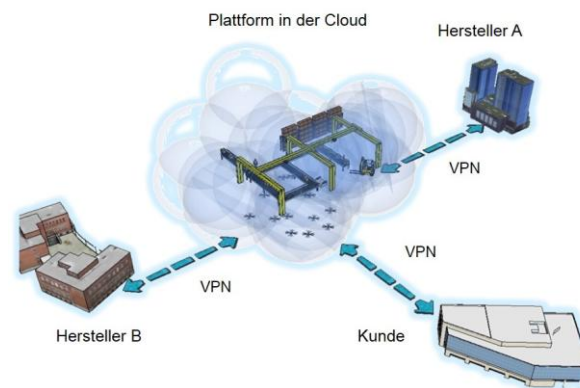


Abbildung 4. Szenario einer verteilten Kollaborationsumgebung.

Mit diesen Rahmenbedingungen für die Zusammenarbeit von mehreren projektbeteiligten Unternehmen eignet sich das Referenzszenario für die Spezifikation von Anwendungsfällen und Anforderungen an eine Kollaborationssoftware. Dabei wird gemäß der Grundvoraussetzungen von einer aktuellen IT-Umgebung ausgegangen, wie sie in Industrieunternehmen im Bereich der Materialflusssteuerung üblich ist. Folgende Annahmen werden getroffen:

- Es existiert ein Virtual Private Network (VPN) zwischen allen beteiligten Partnern, so dass die direkte Netzwerkkommunikation zwischen Subsystemen schon vor Projektbeginn möglich ist.
- Jeder beteiligte Partner hat Zugriff auf eine Simulation bzw. Emulation seiner autonomen intralogistischen Fördermodule, so dass ein virtueller Test des Gesamtsystems ohne Aufbau der Fördertechnik möglich ist.
- Allgemeine Kollaborationsinstrumente, wie etwa ein Videokonferenzsystem, eine verteilte Textverarbeitung und ein System zum Austausch von Dateien, stehen zur Verfügung.
- Es wird ein System zur Versionskontrolle von Text- und Binärdaten verwendet.

Das Szenario beschreibt ein Neu- oder Umplanungsprojekt eines Intralogistiksystems, welches von mehreren Firmen durchgeführt wird, die nicht-kompatible dezentrale Steuerungen einsetzen. Im Rahmen des Projekts sollen die Subsysteme im Vorfeld soweit zusammenschaltet und als Gesamtsystem getestet werden können, dass die Inbetriebnahmephase beim Kunden weitgehend die vorteilhafte zeitliche Verkürzung beibehält, die im Fall eines homogenen Systems zu erwarten wäre (siehe Abbildung 4).

Es wird von einer großen räumlichen Entfernung der Entwicklungsstandorte ausgegangen, die einer dauerhaf-

ten, direkten Zusammenarbeit entgegensteht. Die Projektpartner sollen gemeinsam eine Simulation und Visualisierung des Gesamtsystems erstellen und betreiben können, die auch gegenüber dem Kunden zur Präsentation des Projektfortschritts dient. Diese Visualisierung wird insbesondere die separaten Ausgaben der Simulationsumgebungen zusammenfassen und damit der visuellen Validierung der Funktionalität des Gesamtsystems dienen.

Neben der Visualisierung steht die gemeinsame Entwicklung von Schnittstellenspezifikationen im Fokus des Szenarios. Im Unterschied zu einer klassischen, rein textuellen Beschreibung soll die Spezifikation auf Basis maschinenverarbeitbarer Datenmodelle basieren. Eine solche Spezifikation kann dann als Ausgangspunkt für die Generierung von Programmen dienen, welche genau dieser Spezifikation entsprechen. Somit entfallen Zeitverzögerungen, die durch fehlerhafte, manuelle Implementierungen von rein textuellen Spezifikationen entstehen. Im Rahmen des Szenarios sollen Telegrammdefinitionen, Protokoll-Abläufe und Zustandsautomaten abgebildet werden, die an den Übergabepunkten zwischen den Subsystemen verwendet werden, um einen reibungslosen Materialfluss zu gewährleisten.

Die Kollaborationssoftware soll ab der Grobplanungsphase eingesetzt werden, also zu einem Zeitpunkt, an dem die unterschiedlichen Subsysteme noch nicht zusammenarbeiten können. Die Nutzung geht dann bis hin zur Inbetriebnahme, in deren Verlauf die Software aus dem System entfernt wird. Eine automatische Ausgabe der gespeicherten Daten über den Kollaborationsprozess dient als Dokumentation der Arbeiten. Im späteren laufenden Materialflusssystem kommt die Software nicht zum Einsatz.

### 3.3 ALLGEMEINE FUNKTIONALE ANFORDERUNGEN

Aus dem beschriebenen Szenario sowie den Grundvoraussetzungen können einige allgemeine funktionale Anforderungen an die Kollaborationsplattform gestellt werden, die sowohl für die Visualisierung als auch die Schnittstellenverwaltung gelten. Die genannten Anforderungen beziehen sich auf einen Objektbegriff aus der Softwareentwicklung. Es wird dabei davon ausgegangen, dass alle fachlichen Inhalte in der Kollaborationsplattform als Objekte modelliert werden. Auf der untersten Ebene der Softwareentwicklung kann daher von einer abstrakten Sichtweise der Kollaborationsaktivitäten ausgegangen werden. Der Fokus liegt hier auf Anforderungen, die für alle Module der Kollaborationsplattform gelten sollen:

- Das System unterstützt mehrere Benutzer, die sich gleichzeitig oder zeitversetzt in der Kollaborationsplattform aufhalten können. Wenn ein Benutzer das System verlässt, können alle ande-

ren weiterarbeiten. Benutzer können nachträglich in ein laufendes System eintreten, wenn schon andere Benutzer dort arbeiten.

- Es werden alle Aktionen, die Benutzer durchführen, so gespeichert, dass für jedes Objekt im System eine vollständige Historie aller Änderungsvorgänge zur Verfügung steht. Diese Historie kann durch Benutzer angezeigt und kommentiert werden.
- Auf Basis der Objekthistorie lässt sich der vorherige Zustand eines Objekts jederzeit wiederherstellen.
- Alle Daten des Systems können von jedem Benutzer in einem standardisierten Datenformat exportiert werden. Zusätzliche Daten können über diese Schnittstelle importiert werden.

Die Zielsetzung der allgemeinen Anforderungen ist, eine Nachvollziehbarkeit für alle beteiligten Akteure herzustellen, die es ermöglicht, einen fachlichen Konsens herzustellen. Im Folgenden werden weitere spezifische funktionale Anforderungen an die Visualisierung beschrieben.

### 3.4 FUNKTIONALE ANFORDERUNGEN AN DIE VISUALISIERUNG

Die Aufgabe der Visualisierung ist die Vereinheitlichung der Darstellung von Daten der Akteure mit einem besonderen Fokus auf visuelle Metaphern, welche die kollaborativen Tätigkeiten unterstützen. Insofern ist die Visualisierung kein Ersatz für die Materialflusssimulation oder Visualisierungsanwendung eines einzelnen Subsystems. Vielmehr sollen die Ergebnisse der Simulationen/Visualisierungen der Subsysteme visuell verknüpft werden, so dass die Gesamtanlage als Ganzes zu sehen und vor allem auch in ihrer Gesamtheit zu verstehen ist. Dazu müssen visuelle Metaphern gefunden werden, die den Kollaborationsprozess selbst veranschaulichen. Aus diesen Überlegungen heraus lassen sich folgende funktionale Anforderungen an die Visualisierung formulieren:

- Es besteht eine Importmöglichkeit für visuelle Modelle (z. B. 3D-Modelle) und Abbildungen (z. B. Grundriss), die es erlaubt, existierende Visualisierungsdaten in die Kollaborationsplattform einzubinden.
- Die Anwesenheit und Position von Akteuren wird mit Hilfe visueller Metaphern dargestellt. Neben den fachlichen visuellen Modellen können sie Markierungen und Kommentare in die visuelle Umgebung einbringen.
- Einfache Editorfunktionen, wie das Laden, Verschieben, Drehen und Löschen von 3D-Modellen und Bildern werden unterstützt.

- Die Schnittstellen zwischen Subsystemen können visualisiert und bearbeitet werden (z. B. Übergabepunkte).
- Es gibt eine standardisierte API-Schnittstelle, die es ermöglicht, eine einfache Anbindung externer Systeme zu erstellen.
- Die Visualisierungssoftware muss 3D-Daten verarbeiten können.

Die Visualisierung hat neben der reinen Darstellungsfunktion auch die Aufgabe, die Eingaben von Benutzern zu verarbeiten und ist damit auch der Ausgangspunkt für andere Aktivitäten. Abbildung 5 zeigt einen Screenshot der Demonstrationssoftware mit der visuellen Metapher eines Notizzettels in der Bildmitte. Der damit markierte Übergabepunkt bezeichnet gleichzeitig die Position einer Schnittstellendefinition. Hier ergibt sich ein Einstiegspunkt in die Schnittstellenverwaltung, welcher im nächsten Abschnitt genauer beschrieben wird.



Abbildung 5. Darstellung eines Materialflusssystems mit zwei Subsystemen, Elektrohängebahn und Stetigförderanlage. In der Bildmitte wurde durch einen Benutzer des Kollaborationssystems eine Notiz erstellt, die den Übergabepunkt zwischen den Subsystemen markiert.

### 3.5 FUNKTIONALE ANFORDERUNGEN AN DIE SCHNITTSTELLENVERWALTUNG

Bei der Bestimmung von Anforderungen an eine Schnittstellenverwaltung bedarf es zunächst einer Bestimmung der verwendeten Definition einer Schnittstelle. Die Fokussierung der Forschungsarbeiten auf kollaborative Prozesse legt hierbei eine möglichst einfache exemplarische Definition nahe. In Zusammenarbeit mit den Partnern aus der Industrie wurde ein typisches Anforderungsprofil basierend auf intralogistischen Projekten erarbeitet:

- Es werden Schnittstellen zwischen Subsystemen betrachtet. Jedes Subsystem kann ein oder mehrere Schnittstellen zu anderen Subsystemen besitzen.
- Jede Schnittstelle kann im Materialflusssystem verortet werden, d.h. ihr wird eine Position im Materialflusssystem zugeordnet (z. B. Übergabepunkt).

- Eine Schnittstelle besteht aus Telegrammdefinitionen, Protokollfestlegungen und Zustandsautomatenbeschreibungen.
- Die Telegramme bestehen aus einer Sequenz von Zeichen mit einer festen Länge, wobei Subsequenzen zu einzelnen Datenfeldern gruppiert werden.
- Alle Schnittstellendefinitionen werden als programmiersprachenneutrale Datenobjekte gespeichert, für welche die genannten allgemeinen Anforderungen an kollaborative Arbeitsprozesse gelten.
- Zu jeder Schnittstelle können ein oder mehrere Templates gespeichert werden, welche eine automatische Generierung von Quellcode ermöglichen.

Die Schnittstellenverwaltung ermöglicht mit diesen Funktionen einen weitestgehend automatisierten Arbeitsprozess bei der Softwareentwicklung. Insbesondere die automatische Codegenerierung ermöglicht es, Änderun-

gen der Spezifikation direkt in lauffähigen Code zu generieren.

### 3.6 ALLGEMEINE NICHT-FUNKTIONALE ANFORDERUNGEN

Für das hier untersuchte System sind nicht-funktionale Anforderungen insbesondere dann besonders von Bedeutung, wenn sie den Kollaborationsprozess beeinflussen. Da es sich in diesem Szenario um ein vernetztes System handelt, bei dem die Partner über große Entfernungen miteinander arbeiten sollen, spielt das gesamte Zeitverhalten des Systems eine wichtige Rolle:

- Das System muss die synchrone Zusammenarbeit zwischen Akteuren ermöglichen. Dies bedeutet, dass jegliche Änderungen eines Akteurs allen anderen Akteuren zeitnah übermittelt werden muss. Der Zeitfaktor beeinflusst hier direkt die Fähigkeit des Systems, den notwendigen gleichzeitigen Informationsstand herzustellen.
- Das System muss die asynchrone Zusammenarbeit ermöglichen, bei der die Akteure mit zeitlichem Versatz an den gleichen Datenmodellen Veränderungen durchführen.

Im Rahmen dieses Beitrags werden nur nicht-funktionale Änderungen betrachtet, die eine relevante Auswirkung auf den Kollaborationsprozess haben.

### 3.7 AKTEURE

Im Rahmen der Forschungsarbeiten wird von einem intralogistischen Projekt ausgegangen, bei welchem eine Anzahl von verschiedenen Akteuren, wie z. B. der Projektleiter, Kunde und Softwareentwickler, von den beteiligten Projektpartnern, zusammenarbeiten. Aus Sicht des Kollaborationssystems nehmen alle Beteiligten jedoch die gleiche Rolle bei der Zusammenarbeit ein. Das bedeutet, dass die Grundfunktionen des Systems von allen Akteuren gleichermaßen verwendet werden können.

### 3.8 DEMONSTRATIONSSYSTEM UND ANWENDUNGSFÄLLE

Das Demonstrationssystem, welches aus den separaten dezentralen Steuerungssystemen der beteiligten Lehrstühle in Dortmund und München besteht, dient dem praktischen Nachweis der Funktionalität des Kollaborationswerkzeugs (siehe Abbildung 6).

Der beispielhafte Anwendungsfall besteht aus Arbeitsabläufen, wie der Erstellung der Anlagentopologie. Hier wird ein Grundrissplan importiert, auf dessen Grundfläche die vorhandenen 3D-Modelle der beiden Versuchsanlagen angeordnet werden. Über die Kommentarfunktion können Anmerkungen an alle Objekte des Systems gebunden werden.

Das Ziel ist die Definition einer Lastübergabenschnittstelle zwischen Elektrokatzenhängebahn und Staurollenförderer. Dabei soll die Schnittstelle jeweils in die existierenden dezentralen Anlagensteuerungen integriert werden.

Zum virtuellen Test werden beide Anlagensteuerungen per VPN über die „KoDeMat“-Plattform zusammengeschaltet und visualisiert. So kann im Vorfeld die Funktionalität der Anlage geprüft werden.

## 4 SOFTWAREARCHITEKTUR

Für das Demonstrationssystem wurde eine Softwarearchitektur entwickelt, die auf zwei verschiedene Systemkerne setzt, welche miteinander in Beziehung stehen. Das Unterscheidungsmerkmal ist hier die zeitliche Synchronität der Abläufe sowie die jeweilige Dauer der Nutzung.

Der synchrone Systemkern wird für jede Sitzung neu gestartet und erhält seine Daten zu Beginn vom Systemkern für die asynchrone Bearbeitung, der als klassischer Server langfristig verfügbar ist und alle Projektstände als Versionen bereithält. In der synchronen Sitzung können die Benutzer die Daten kollaborativ bearbeiten. Bei Beendigung der Sitzung werden die Daten wieder in den langfristig verfügbaren asynchronen Systemkern zurückgespeichert.

Für die synchrone Bearbeitung von kollaborativen Aufgaben wird eine Clusterarchitektur verwendet, bei der die Daten auf verschiedene Rechner verteilt, redundant gespeichert werden. Dies bedeutet, dass bei dem Ausfall eines Rechnerknotens die Daten nicht verloren gehen. Ein solche aus Rechenzentren bekannte Architektur ermöglicht es, die Vorteile einer zentralen Datenhaltung, wie sie im klassischen Client-Server-System anzutreffen ist, mit der Flexibilität von verteilten Systemen zu verbinden.

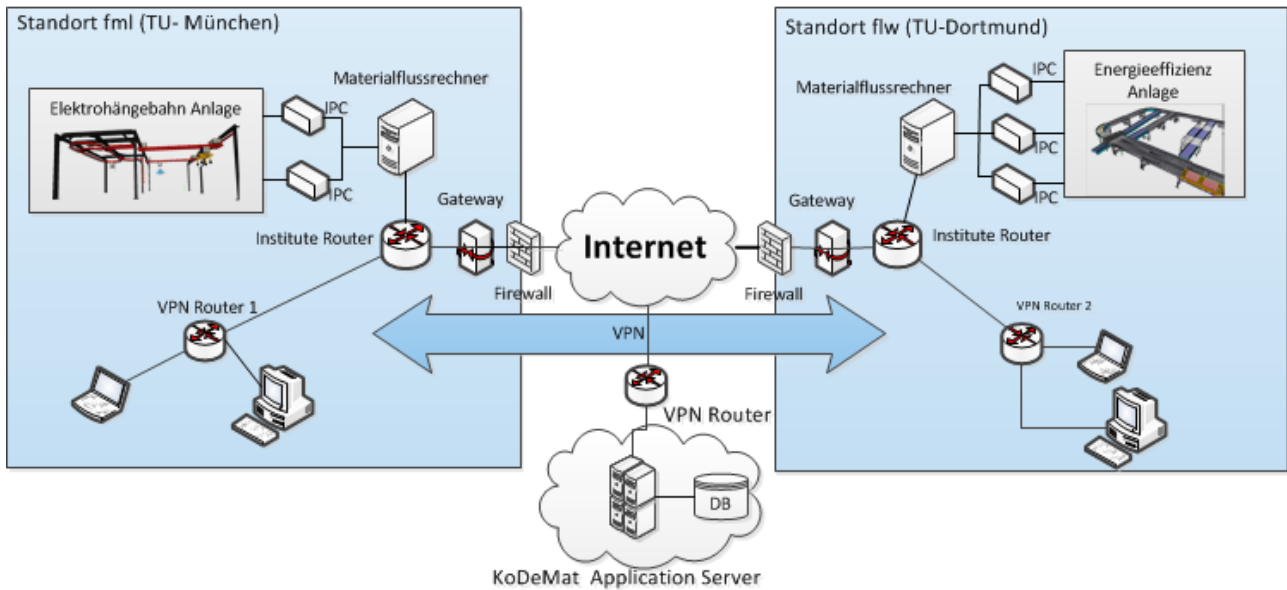


Abbildung 6. Architekturdiagramm des Demonstratorsystems.

Die Visualisierung verwendet eine Open-Source-Grafikengine, die auf dem Standard OpenGL aufbaut. Die 3D-Modelldaten werden über die Clusterarchitektur jeweils mit allen beteiligten Knotenrechnern synchronisiert. So werden lokale Änderungen in einem Clientrechner zeitnah an alle weiteren Rechner verschickt.

Der zweite Systemkern ist für die asynchrone Bearbeitung der Schnittstellendefinitionen und Visualisierungsmodelle zuständig. Dieses System ist für die langfristige Speicherung aller Projektdaten zuständig.

Für Schnittstellendefinitionen wird derzeit die Eignung eines Datenmodellversionierungssystems geprüft. Im Unterschied zu bekannten Textversionierungssystemen, können in einem solchen System Datenobjektänderungen detailliert nachverfolgt werden. Auf Basis der Modellspezifikationen, ist eine Codegenerierung der Schnittstellen mit Hilfe frei verfügbarer Bibliotheken einfach zu erstellen.

Als Herausforderung bei der Erstellung der Softwarearchitektur hat sich die Modellierung der Änderungsverwaltung herausgestellt, die einerseits bei gleichzeitiger Bearbeitung echtzeitnahe Leistungen erbringen muss und andererseits im gesamten Projektverlauf auch die Verfolgung von Änderungen über größere Zeiträume ermöglichen soll. Keine der untersuchten Softwareframeworks konnte diese Aufgabe lösen, so dass der oben genannte hybride Weg sich als am erfolgversprechendsten herausgestellt hat.

## 5 FAZIT UND AUSBLICK

Die Zielsetzung dieses Forschungsvorhabens liegt in der effizienten Gestaltung der Zusammenarbeit mehrerer Partner in Projekten der Intralogistik im Rahmen der ver-

änderten Projektgestaltung bei Verwendung dezentraler Steuerungen. Insbesondere die Verlagerung von Entwicklungsprozessen in die Planungs- und Implementierungsphase, die möglichst „Inhouse“ und nicht beim Kunden stattfinden soll, erfordert neue Planungswerkzeuge. Im Rahmen dieses Beitrags wurde ein Szenario vorgestellt, in welchem das Potenzial einer auf Intralogistik spezialisierten Kollaborationsplattform dargestellt wird, Großprojekte mit mehreren Partnerfirmen effizient durchzuführen.

Zukünftig kann mit einer wachsenden Bedeutung kollaborativer Prozesse und Werkzeuge in der Intralogistik gerechnet werden. Die Ergebnisse dieses Forschungsvorhabens werden es kleinen und mittleren Unternehmen möglich machen, an den Vorteilen solcher Systeme teilzuhaben.

Mit der Marktdurchdringung von logistischen Serviceplattformen, wie etwa der Logistics Mall, die eine Vielzahl von Anbietermodulen bereitstellen, wird es auch einen Bedarf an kollaborativen Funktionen geben. Der bisherige Ansatz solcher Plattformen betrachtet nur die kundenseitigen Vorteile von lose-gekoppelten Servicemodulketten. Die herstellereitige Verknüpfung dieser Softwarebausteine untereinander sowie mit der physischen Fördertechnik wird Ansätze erforderlich machen, wie sie in diesem Forschungsvorhaben entwickelt werden. Es ist daher naheliegend, die Integration kollaborativer Entwicklungswerkzeuge in solche Smart-Ecosystem-Plattformen vorherzusagen.

*Das IGF-Vorhaben 17391 der Forschungsvereinigung BVL wurde über die AiF im Rahmen des Programms zur Förderung der Industriellen Gemeinschaftsforschung (IGF) vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert.*



## LITERATUR

- [CTG96] Cutkosky, M. R.; Tenenbaum, J. M.; Glicksman, J.: Madefast – Collaborative Engineering over the Internet. In: Communications of the ACM 9/1996, S. 78-87.
- [FM09] Furmans, K.; Mayer, S.: Vollständig dezentraler und autonomer Flexförderer – Neun Module im Versuchsbetrieb. In: Hebezeuge Fördermittel 49 (2009) 6, S. 308-309.
- [GAB11] Gabler Wirtschaftslexikon: Begriff „Collaborative Engineering“. <http://wirtschaftslexikon.gabler.de/Definition/collaborative-engineering.html>, Gabler Verlag, Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH, zuletzt aufgerufen am 16.03.2011.
- [GCK08a] Günthner, W. A., Chisu, R., Kuzmany, F.: Internet der Dinge – Zukunftstechnologie mit Kostenvorteil. Fördern und Heben 8/2008, S. 556-558.
- [GtH10] Günthner, W. A., ten Hompel, M. (Hrsg.): Internet der Dinge in der Intra-logistik. Springer-Verlag, 2010.
- [HW07] Hülsmann, M.; Windt, K.: Understanding Autonomous Cooperation and Control in Logistics – The Impact of Autonomy, Management, Information, Communication and Material Flow. Berlin Heidelberg, 2007.
- [KUZ10] Kuzmany, F.: Konzeption und Entwicklung von Modulen für das Internet der Dinge. Dissertation, Lehrstuhl für Fördertechnik Materialfluss Logistik, Technische Universität München, Garching, 2010.
- [OVF+10] Overmeyer, L.; Ventz, K.; Falkenberg, S.; Krühn, T.: Interfaced multidirectional small scaled modules for interlogistics operations. In: Logistics Research 2 (2010) 2, S. 123-133.
- 
- Dipl.-Ing. Orthodoxos Kipouridis**, Wissenschaftlicher Angestellter am Lehrstuhl Fördertechnik Materialfluss Logistik (fml), TU München
- Prof. Dr.-Ing. Dipl.-Wi.-Ing. Willibald A. Günthner**, Inhaber des Lehrstuhls Fördertechnik Materialfluss Logistik (fml), TU München
- Dipl.-Inform. Moritz Roidl**, Wissenschaftlicher Mitarbeiter am Lehrstuhl für Förder- und Lagerwesen, TU Dortmund
- Prof. Dr. Michael ten Hompel**, Inhaber des Lehrstuhls für Förder- und Lagerwesen, TU Dortmund