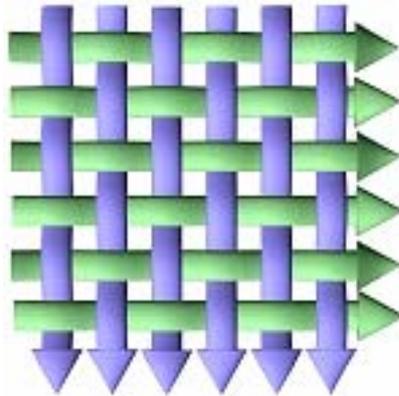


Technical Report 07003

ISSN 1612-1376

Standardisierte Modelle zur Systemlastbeschreibung

Jochen Bernhard, Kay Hömberg, Lars Nagel, Iwo Riha,
Christoph Schürmann, Harald Sieke, Marcus Völker



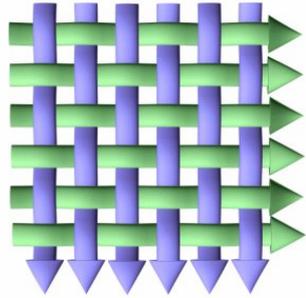
Sonderforschungsbereich 559
Modellierung großer Netze in der Logistik

Universität Dortmund
44221 Dortmund



Sonderforschungsbereich 559

**Modellierung großer
Netze in der Logistik**



Technical Report 07003

ISSN 1612-1376

Standardisierte Modelle zur Systemlastbeschreibung

SFB-Arbeitsgruppe 2:

Bernhard, Jochen	M9
Hömberg, Kay	M9
Nagel, Lars	A4
Riha, Iwo	A2
Schürmann, Christoph	M9
Sieke, Harald	A5
Völker, Marcus	M1

Dortmund, den 24. Januar 2007

Inhalt

1	Einleitung und Motivation	3
2	Die Systemlast in der Analyse von GNL	4
2.1	Der Begriff der Systemlast in der Literatur	4
2.1.1	Systemlast in der VDI 3633 [VDI96].....	4
2.1.2	Systemlast im Prozesskettenmanagement nach [Kuh95].....	5
2.1.3	Systemlast in der Materialflussanalyse nach [Gud05], [Gro84]	5
2.1.4	Systemlast in der Bedientheorie nach [AIK+02].....	5
2.1.5	Systemlast als Eingangsdaten für die Simulation nach [Pro98].....	5
2.2	Festlegung des Begriffs der Systemlast.....	5
2.3	Beschreibung der Systemlast	6
3	Systemlastbeschreibungen aus den Anwendungsprojekten des SFB 559....	7
3.1	Systemlastbeschreibungen der Simulationsmodelle.....	7
3.1.1	A2 „Simulation eines Regionallagerkonzeptes“	7
3.1.2	A3 „Untersuchung von Supply Chain-Strategien und -Strukturen“	9
3.1.3	A4 „Beispielmodellierung eines Güterverkehrszentrums“	11
3.1.4	A5 „Simulation des Frachtumschlages im Flugverkehrsnetz“	12
3.1.5	A11 „Behälterkreisläufe“.....	13
3.2	Systemlastbeschreibungen der Analysemodelle zur Optimierung.....	14
3.2.1	A7 „Service-Netze“	14
3.3	Systemlastbeschreibungen der numerischen Analysemodelle	14
3.3.1	A2 „Beschaffungskanäle“	14
3.3.2	A11 „Behälterkreisläufe“.....	14
4	Klassifikation der Information zur Systemlastbeschreibung	15
4.1	Klassifikationsschema zur Beschreibung von Leistungsobjekten in GNL.....	15
4.2	Klassifikation der Leistungsobjekte am Beispiel des A5-Flugnetzes	17
4.3	Klassifikation weiterer Leistungsobjekte	17
5	Modellierung der Systemlast in ProC/B.....	19
5.1	A3 „Untersuchung von Supply Chain-Strategien und -Strukturen“	19
5.2	A4 „Beispielmodellierung eines Güterverkehrszentrums“	19
5.3	A5 „Simulation des Frachtumschlages im Flugverkehrsnetz“	21
5.4	A11 „Behälterkreisläufe“.....	24
6	Zusammenfassung und Ausblick.....	24
7	Literatur.....	25

1 Einleitung und Motivation

Der Einsatz der Simulation in der Planung logistischer Systeme beinhaltet i. d. R. eine detaillierte Analyse der Systemzusammenhänge und die Bildung eines aufgabenadäquaten Modells. Die Komplexität dieser Modelle und auch der dazu notwendige Modellierungsaufwand nehmen mit der Größe sowie der Komplexität des abzubildenden Systems signifikant zu. Das Gestaltungs- und damit das Modellierungsverständnis für Logistiknetze in Wissenschaft und Praxis orientiert sich zurzeit maßgeblich an Netzstrukturen und den darauf aufbauenden Funktionen. Der Sonderforschungsbereich 559 „Modellierung großer Netze in der Logistik“ (SFB 559) hat es sich zur Aufgabe gemacht, solche komplexen Systeme zu beherrschen und einen neuen, prozessorientierten Gestaltungsweg aufzuzeigen, um eine strukturelle und funktionelle Ausgestaltung von Logistiknetzwerken zu ermöglichen. Die bisherigen Forschungsergebnisse stützen die Annahme, dass erst mit der Definition von Leistungsobjekten und der daraus resultierenden Systemlast sowie ihre Verbindung zu den funktionellen Prozessketten und ihrer Leistungsdimensionierung entsprechende Strukturfragen beantwortet werden können. Aus den innerhalb des SFB 559 entstandenen Simulationsmodellen sind unterschiedliche Systemlastbeschreibungsverfahren, z. B. für Beschaffungsnetze, Güterverkehrszentren, Luftfrachtknoten und Redistributionsnetze, hervorgegangen. Werden diese Erkenntnisse mit Hilfe von Methoden der Informationsgewinnung und denen effizienter Analyseverfahren zusammengeführt, erhält man einen allgemeingültigen, neuartigen, formalen Beschreibungsvorrat für Systemlasten von Logistiknetzen.

Ausgehend von der Systemlast als Eingangsstrom mit funktionalen und quantitativen Anforderungen sowie zeitlichem Bezug an ein zu untersuchendes System ist zunächst eine zielgerichtete Bestimmung und Aufbereitung der für die Modellierung von großen Netzen in der Logistik (GNL) benötigten Systemlastdaten notwendig. Voraussetzung dafür ist eine systematische und standardisierte Klassifizierung, Beschreibung und Bewertung der Daten. Dazu wird eine prozessunabhängige und standardisierte Beschreibung sowie eine Klassifizierung der systemlastbeschreibenden Daten vorgestellt, wozu sowohl auf eine Klassifizierung aus dem Bereich der Simulation von Logistik-, Materialfluss- und Produktionssystemen als auch auf eigene Vorarbeiten zur Definition eines Logistikdatensatzes zur Parametrisierung von logistischen Standardprozessen zurückgegriffen werden kann. Zudem werden die im Rahmen des SFB 559 entstandenen Simulations- und Analysemodelle hinsichtlich der dort verwendeten Daten analysiert und mit einbezogen. Die generelle Klassifizierung der Systemlast erfolgt dabei anhand der jeweils vorliegenden Eigenschaften und der zugehörigen Darstellungsform sowie möglicher Abhängigkeiten zwischen verschiedenen Eigenschaften einer Systemlast.

Für eine standardisierte Modellierung der Systemlast wird die auf dem Prozesskettenparadigma aufbauende formalisierte Modellierungsmethodik ProC/B eingesetzt. Aufgrund des Prozessansatzes erfordert eine Modellierung mit ProC/B zunächst die Definition der Quellen-Senken-Beziehungen, d.h. der Leistungsobjekte, in Form einer Systemlast sowie der dazwischen stattfindenden Prozesse zur Transformation der Leistungsobjekte, wodurch sich dieser Ansatz insbesondere zur Modellierung von Logistiknetzen eignet. Durch eine automatisierte Schnittstelle zu verschiedenen Analyse- und Simulationswerkzeugen wird die zu erbringende Systemleistung ermittelt, welche wiederum als Vorgabe für notwendige Ressourcen und Strukturen dient.

Der vorliegende Technical Report entwickelt einen Lösungsweg für diese Problemstellung der richtigen Auswahl und Beschreibung von Systemlasten. Zunächst wird der Begriff der Systemlast aus der Literatur hergeleitet und für die Arbeiten im SFB 559 abschließend definiert. Danach werden die Fallbeispiele aus den Anwendungsprojekten zusammengestellt und analysiert. Von dieser Auflistung werden wichtige Informationen über die Art und Beschreibung von Systemlasten aus praxisnahen Simulationsprojekten sowie den analytischen Untersuchungsmodellen abgeleitet. Abschließend wird eine allgemeingültige

Anleitung zur Systemlastmodellierung mit ProC/B zur standardisierten Beschreibung einer Systemlast vorgestellt.

2 Die Systemlast in der Analyse von GNL

2.1 Der Begriff der Systemlast in der Literatur

Gemäß Brockhaus [Bro06] ist eine *Last* die „...Benennung einer Größe von der Art einer Masse (z.B. Traglast eines Krans), einer Kraft oder Gewichtskraft (z.B. in der Bautechnik die auf ein Bauwerk wirkenden Kräfte Eigengewicht, Nutzlast, Windlast, etc.) oder einer Leistung (v.a. in der Elektrotechnik, z.B. Blindlast); auch Bezeichnung für einen zu transportierenden Gegenstand.“

Die Systemlast stellt grundsätzlich den Eingangsstrom von Objekten in ein System dar. Als „Eingangsstrom“ wird eine Menge Objekte pro Zeiteinheit definiert.

[Bro06, Begriff Elektrizität] erklärt:

Definition elektrischer Strom: "[...] Ladungstransport, dessen Stärke, die in der Sekunde durch den Leiter fließende Ladungsmenge, als elektrische Stromstärke I bezeichnet und in Ampere ($1 \text{ A} = 1 \text{ C/s}$) gemessen wird."

Weiterhin gilt [Bro06, Begriff Stromdichte]:

Definition Stromdichte: "[...] ist die elektrische Ladung oder die elektrische Stromstärke je Flächeneinheit eines durch ein Flächenelement tretenden elektrischen Stroms".

Von der physikalischen Definition ausgehend, haben Strom und Stromdichte also folgende Eigenschaften, die die beiden Begriffe vollständig beschreiben:

- Menge
- Zeiteinheit
- Querschnittsfläche, eine Bezugsfläche für die Dichte
- Eigenschaften der Menge, z.B. elektrischer Ladungen

Strom und Stromdichte hängen über den Querschnitt voneinander ab und beschreiben damit vollständig einen Eingangsstrom in ein physikalisches System.

Der Begriff Systemlast und deren Abbildungsmöglichkeiten werden hauptsächlich im Umfeld der Simulation von Produktions- und Logistiksystemen sowie der Warteschlangen- bzw. Bedientheorie verwendet, entsprechende Definitionen sind in den folgenden Unterkapiteln nachzulesen.

2.1.1 Systemlast in der VDI 3633 [VDI96]

Systemlast: Abzuarbeitende Aufträge eines Systems.

Systemlastdaten:

- Auftragseinlastung (Produktionsaufträge, Transportaufträge, Menge, Termin)
- Produktdaten (Arbeitspläne, Stücklisten)

System: Abgegrenzte Anordnung von Komponenten, die miteinander in Beziehung stehen. Es ist gekennzeichnet durch

- Systemgrenze, Systemeingangs- und Ausgangsgrößen
- Subsysteme
- Aufbaustruktur

- Ablaufstruktur
- Ablauflogik
- Zustandsübergänge

Systemgrenze: Grenze des Systems gegenüber seiner Umwelt, mit der es über Schnittstellen Materie, Energie und Information (Systemein- und -ausgangsgrößen) austauschen kann.

2.1.2 Systemlast im Prozesskettenmanagement nach [Kuh95]

Die Systemlast wird bestimmt durch die Gesamtheit des Quelle-Senke-Verhaltens eines logistischen Systems (Umwelt-, Kunden-, Lieferanteneinflüsse). Es handelt sich bei der Beschreibung im Fall von Quellen üblicherweise um Durchsatzwerte in Anzahl Basiseinheiten pro Zeiteinheit.

2.1.3 Systemlast in der Materialflussanalyse nach [Gud05], [Gro84]

Nach Gudehus wird die quantitative Systemlast eines Materialflusssystems als Auslaufstrom λ_A einer Quelle bezeichnet. Diese gibt die auslaufenden Objekte in einem oder mehreren Quellströmen λ_{Aj} [LO/h] ab. Der Quellstrom oder die Erzeugungsrate λ wird von der Taktzeit τ [s] des Erzeugungsprozesses und der Pulklänge c [LO], das heißt von der Anzahl Objekte bestimmt, die in einem Schub erzeugt wird.

2.1.4 Systemlast in der Bedientheorie nach [AIK+02]

Grundelement der Bedientheorie sind die Bediensysteme, die aus einer (Einkanalsystem) oder mehreren Bedienstationen (Mehrkanalsystem) und einem Warteraum bestehen. Ressourcenanforderungen werden in der Bedientheorie als Kunden bezeichnet. Die Ankünfte der Kunden erfolgen nach einem Zufallsprozess, der durch die statistische Verteilung der Zeit zwischen 2 aufeinander folgenden Ankünften, der so genannten Zwischenankunftszeit t_{an} , charakterisiert wird. Mit Hilfe des Erwartungswertes der Zwischenankunftszeit $E(t_{an})$ kann auch die Ankunftsrate, also die mittlere Zahl der Ankünfte pro Zeiteinheit, als $\lambda = 1 / E(t_{an})$ ausgedrückt werden.

2.1.5 Systemlast als Eingangsdaten für die Simulation nach [Pro98]

Die Systemlastdaten beschreiben die notwendigen Angaben, die ab dem Start eines Simulationslaufes in das Modell eingelastet werden (z.B. Material, Informationen, Arbeitsinhalte) und zur Erzeugung von Simulationsereignissen führen, d.h., das "Laufen" des Modells ermöglichen. Die Systemlast wird vorwiegend durch die Anzahl und Art der Aufträge mit ihren jeweiligen Arbeitsgängen und Terminen spezifiziert. Daneben umfasst sie auch Angaben zu den einzelnen Produkten sowie Arbeitsplänen, die Aussagen über den Fertigungsablauf eines Produktes enthalten. Vorwiegend gibt es Informationen über Produktions- und Transportaufträge. Produktionsaufträge beinhalten Ecktermine, Arbeitsgänge und Prioritäten, Transporttermine sind gekennzeichnet durch Angabe von Start- und Zielort, Transportgut und dem gewünschten Transportsystem.

2.2 Festlegung des Begriffs der Systemlast

Analog zu physikalischen Systemen können Ströme von Objekten in Simulationsmodellen als Systemlast betrachtet werden. Dabei repräsentieren Systemlasten sowohl physische Einheiten, beispielsweise Produkte und Material oder auch Informationseinheiten, etwa Aufträge oder Bestellungen, die typisch für Produktions-, Materialfluss- und Logistiksysteme sind. In Simulationsmodellen sozio-technischer Systeme werden ebenfalls Objektströme betrachtet. Daher sind auch sozio-technische Systeme mit physikalischen Systemen vergleichbar.

In Analogie zu den physikalischen Begriffen gelten folgende angepasste Begrifflichkeiten bzgl. der Systemlast:

- Menge: Die Stückzahl an Objekten, die in das System einfließen.
- Zeiteinheiten: Für die Beschreibung und Erzeugung von Systemlasten werden in technischen Systemen genaue Zeitpunkte oder Zeitintervalle verwendet. Bei Zeitpunkten ist der explizite Erzeugungszeitpunkt auf einer Zeitskala entscheidend. Bei Zeitintervallen ist der Zeitabstand zwischen zwei aufeinander folgenden Erzeugungszeitpunkten relevant. Dieser Zeitabstand wird als Zwischenankunftszeit bezeichnet.
- Querschnittsfläche: Abweichend von der physikalischen Definition weisen die Quellen der Systemlast keinen physikalischen Querschnitt auf, durch den mehrere Objekte gleichzeitig fließen könnten. Jedoch können mehrere Objekte gleichzeitig erzeugt werden und aus der Quelle heraustreten. Dieses zeitgleiche Erscheinen von Objekten in der Quelle soll mit der Pulklänge beschrieben werden. Die Pulklänge bezeichnet die jeweils in einer gleichen Zeiteinheit erzeugte Menge an Objekten.
- Objekteigenschaften: Die Eigenschaften der Objekte sind entscheidend für das System, sie können in sozio-technischen Systemen verschiedene technologische und soziologische Eigenschaften aufweisen. Häufig weisen sie Attribute wie Abmessungen, Gewichtsdaten, Auftragsnummer, Bestelldatum, Chargennummer oder Haltbarkeitsdaten auf.

Bei der Erzeugung der Systemlast werden nur die Attribute vergeben, die für das System eine Bedeutung aufweisen. Weitere Attribute der Objekte, zum Beispiel systemeigene Objektnummern oder andere interne Informationen, werden im Rahmen der Systemlastbeschreibung nicht betrachtet.

Aufbauend auf den Ausführungen wird die Systemlast wie folgt definiert [BSS+06]:

Die Systemlast bezeichnet die Menge an Objekten, die in einem Betrachtungszeitraum in ein sozio-technisches System eintreten. Der Eintritt der Einzelobjekte erfolgt zu definierten Zeitpunkten oder in Zeitabständen („Zwischenankunftszeit“) in einer definierten Anzahl zum jeweiligen Zeitpunkt („Pulklänge“). Die Objekte besitzen Attribute, die im sozio-technischen System zum Zweck der Information und Transformation verwendet und verändert werden können. Deren Attribute beschreiben diese im Bezug auf das zu betrachtende System und damit auf die Aufgabenstellung.

Neben den im SFB 559 eingesetzten Simulationsmodellen werden auch Optimierungsmodelle verwendet, die z.T. unterschiedliche Eingangsgrößen haben. Diese werden im Weiteren bzgl. der Systemlastklassifikation und Modellierung ebenfalls berücksichtigt.

2.3 Beschreibung der Systemlast

Zur Beschreibung der *Systemlast* kann neben der direkten Nutzung eines oder mehrerer in der Realität vorgegebenen Auftragsvolumina ebenfalls eine theoretische, ggf. statistisch verteilte Systemlast für die Darstellung der Aufträge verwendet werden. Grundsätzlich lassen sich folgende Systemlastbeschreibungen zur Nutzung unterscheiden (vgl. u.a. [WMe93]):

- *Einzelwerte realer Betriebsdaten* können über die mitprotokollierten Aufträge, die mindestens über Start- und Zielpunkt des Auftrags, über einen Generierungszeitpunkt t_i und eine Auftragskennung spezifiziert sein müssen, direkt als Systemlasten verwendet werden.
- *Auftragsmatrizen* erlauben die Beschreibung einer Systemlast auf Basis von Durchschnittskenngrößen für ein betrachtetes Zeitintervall. Beispielsweise kann mit Hilfe einer Transportmatrix die Menge an Objekten für den Transport zwischen definierten Start- und Zielorten für ein betrachtetes Zeitintervall festgelegt werden.

- *Verteilungen* z. B. zur Festlegung der Anzahl zu generierender Aufträge oder der Zwischenankunftszeiten können theoretisch angenommen bzw. durch fachspezifische Kenntnisse über das Auftragsverhalten abgeleitet oder auf der Basis des Gesamtauftragsvolumens, der vorliegenden Auftragsmatrizen mit Dichteschätzungsmethoden berechnet sowie durch die empirische Verteilung approximiert werden.
- Ein weiterer Ansatz stellt die *algorithmische Beschreibung*, z.B. in Form einer mathematischen Formel, der den Systemlasten zugrunde liegenden Gesetzmäßigkeiten und eine daraus resultierend programmtechnische Generierung der Auftragsvolumina dar.

Die aufgezeigten Varianten sind mit unterschiedlichen Genauigkeitsgraden verbunden. Im konkreten Anwendungsfall ist in Abhängigkeit von den system- und aufwandsspezifischen Gegebenheiten abzuwägen, welche Vorgehensweise zu wählen ist. Es ist zu beachten, dass eine statistische Verteilung der Systemlast insbesondere die Betrachtung beliebiger Zeiträume und die beliebige Variationen der Auftragslasten zur Prognose ermöglicht. Für die hier vorgestellten Arbeiten ist die programmtechnische Generierung der Auftragsvolumina zunächst von geringer Relevanz [BBF+03b].

3 Systemlastbeschreibungen aus den Anwendungsprojekten des SFB 559

Das Ziel dieses Kapitels ist es, die Systemlasten der im Rahmen des SFB entstandenen Analysemodelle strukturiert zu dokumentieren. Hierzu werden sowohl Simulationsmodelle, Optimierungsmodelle als auch Modelle zur numerischen Analyse der Anwendungsteilprojekte analysiert. Die Dokumentation des jeweiligen Analysemodells und deren Systemlastbeschreibung gliedern sich in eine kurze Darstellung des Untersuchungsgegenstandes mit Hinweisen auf ausführliche Beschreibungen, beispielsweise in Form eines Technical Reports, die Beschreibung der primären Untersuchungsziele und die Auflistung der benötigten Information zur Systemlastbeschreibung. Letztere Beschreibung gliedert sich in die Eigenschaft der Information sowie die Art des Abbildungstyps im Modell.

3.1 Systemlastbeschreibungen der Simulationsmodelle

In diesem Unterkapitel werden die Simulationsmodelle der Anwendungsteilprojekte A2, A3, A4, A5 und A11 herangezogen um deren vollständige Systemlastbeschreibung zu dokumentieren.

3.1.1 A2 „Simulation eines Regionallagerkonzeptes“

Das Simulationsmodell bildet ein Regionallagersystem ab, das aus Zulieferern, Regionallägern, einer zentralen Disposition und Kunden besteht. Unterschiedliche Strategien der Materialdisposition eines Gebietsspediteurs werden modelliert. Diese Strategien sind für verschiedene Simulationsexperimente frei wählbar und beliebig kombinierbar. Die unterschiedlichen Einfluss- und Kostengrößen sind fest implementiert. Ziel der Modellierung ist es, verschiedene Beschaffungsstrategien zu untersuchen und dabei eine deterministische Systemlast zu verwenden. Das Modell ist in [MRW03] beschrieben.

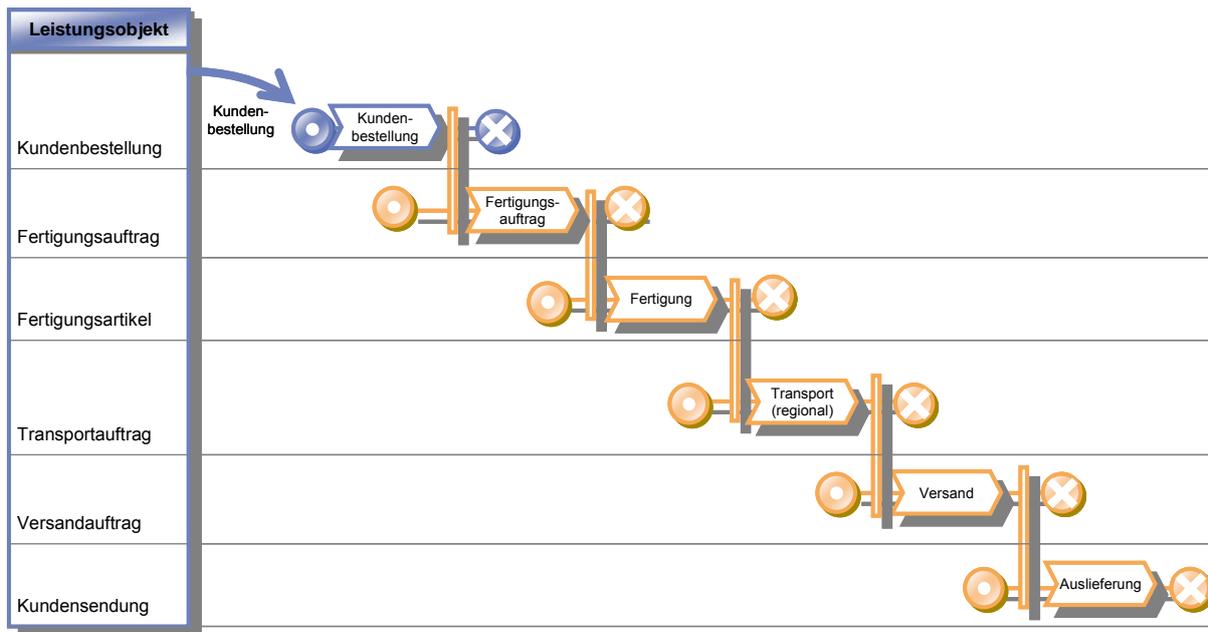


Abbildung 1: Leistungsobjekte und Kernprozesse des A2-Modells.

Untersuchungsziele:

- Kosten und Lieferzeiten bei unterschiedlichen Dispositionsstrategien im Gebietsspediteursnetz
- Produktions- bzw. Auftragsauslastung bei unterschiedlichen Dispositionsstrategien im Gebietsspediteursnetz
- Untersuchungen der Transporteffizienz

Leistungsobjekt: Kundenbestellung	
Eigenschaft	Abbildungstyp
Bestellzeitpunkt	deterministisch
AuftragsID	deterministisch
KundenID	deterministisch
Wunschlieferant (ID)	deterministisch
Artikelnummer	deterministisch
AnzahlArtikel	deterministisch

Leistungsobjekt: Fertigungsauftrag	
Eigenschaft	Abbildungstyp
Produktionstag	deterministisch / bedarfsabhängig
Artikelnummer	deterministisch / bedarfsabhängig
Produktionslos	deterministisch / bedarfsabhängig

Leistungsobjekt: Artikel Fertigung	
Eigenschaft	Abbildungstyp
Artikelnummer	implizit durch Fertigungsauftrag
Wert	deterministisch
Gewicht	deterministisch

Leistungsobjekt: Bestellung FertigungRegionallager		Leistungsobjekt: Sendung FertigungRegionallager	
Eigenschaft	Abbildungstyp	Eigenschaft	Abbildungstyp
Erzeugungszeitpunkt	deterministisch	Erzeugungszeitpunkt	implizit Artikelverfügbarkeit im Fertigteillager
Regionallager	implizit durch Bestellort	Regionallager	implizit durch Erzeugungsort
Artikelnummer	deterministisch	Artikelnummer	implizit durch Bedarf am RL
Artikelmenge	implizit durch Bedarf am RL	Artikelmenge	implizit durch Bedarf am RL

Leistungsobjekt: Ladung FertigungRegionallager		Leistungsobjekt: Artikel RegionallagerWA	
Eigenschaft	Abbildungstyp	Eigenschaft	Abbildungstyp
Erzeugungszeitpunkt	implizit Artikelverfügbarkeit im WA	Erzeugungszeitpunkt	implizit durch Sendung
Regionallager	implizit durch Erzeugungsort	Artikelnummer	implizit durch Lagerbestand
Liste ArtikelFertigung	implizit durch Bedarf am RL	Wert	deterministisch
		Gewicht	deterministisch
		Daten Kundenbestellung	Kopie

Leistungsobjekt: Sendung Kunde		Leistungsobjekt: Ladung Kundenlieferung	
Eigenschaft	Abbildungstyp	Eigenschaft	Abbildungstyp
Erzeugungszeitpunkt	implizit durch Artikelverfügbarkeit im WA	Erzeugungszeitpunkt	implizit durch Artikelverfügbarkeit im WA
Daten der Kundenbestellung	Kopie	Kunde	implizit durch Erzeugungsort
		Liste Artikel RegionallagerWA	implizit durch Kundenbestellung

3.1.2 A3 „Untersuchung von Supply Chain-Strategien und -Strukturen“

Das Simulationsmodell „Untersuchung von Supply Chain-Strategien und -Strukturen“ des Teilprojektes A3 soll Supply Chain-Strategien und -Strukturen analysieren und bewerten. Grundlage der Untersuchungen ist ein Simulationsmodell eines Vertriebsnetzwerkes. Es sollen zunächst ein zwei- und ein dreistufiger Vertriebsweg in den Supply Chain-Modellen betrachtet werden (siehe Abbildung 2). Des Weiteren können verschiedene Nachbestellstrategien auf allen Ebenen der Supply Chain variiert und untersucht werden. Hierzu stehen das Meldebestandsverfahren, das Zykluszeitverfahren und das Bereitstellverfahren zur Verfügung. Das Modell ist in [KVö03] beschrieben.

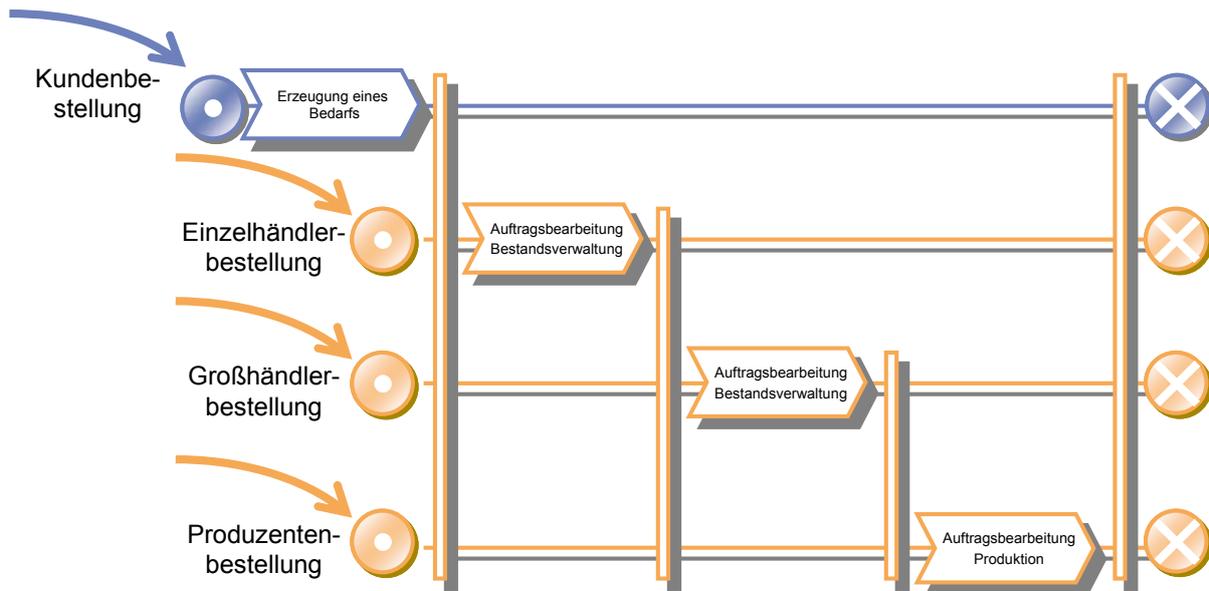


Abbildung 2: Leistungsobjekte und Kernprozesse des A3-Modells.

Untersuchungsziele:

- Eignung von Bestellstrategien
- Ermittlung von bestellmengenfixen Kosten (anhand auftretender Bestellhäufigkeiten)
- Ermittlung von Lager- und Zinskosten (anhand des Lagerbestands)
- Gewährleistung der Lieferfähigkeit

Leistungsobjekt: Kundenbestellung		Leistungsobjekt: Bestellung bei spezifischem Einzelhändler	
Eigenschaft	Abbildungstyp	Eigenschaft	Abbildungstyp
Kundenklasse	Gleichverteilung	ZAZ	Implizit durch Bestellung
ZAZ / Kundenklasse	neg. Exponentialverteilung	Handelspartner	feste Zuordnung (Klasse, Instanz)
Handelspartner	feste Zuordnung (Klasse, Instanz)	Bestellmenge	Vorgabe durch Bestellung
Bestellmenge	Poissonverteilung		

Leistungsobjekt: Bestellung bei spezifischem Großhändler		Leistungsobjekt: Bestellung bei spezifischem Produzenten	
Eigenschaft	Abbildungstyp	Eigenschaft	Abbildungstyp
ZAZ	implizit durch Bestellung	ZAZ	implizit durch Bestellung
Handelspartner	Feste Zuordnung (Instanz)	Bestellmenge	Vorgabe durch Bestellung
Bestellmenge	Vorgabe durch Bestellung		

3.1.3 A4 „Beispielmodellierung eines Güterverkehrszentrums“

Ein Güterverkehrszentrum (GVZ) ist ein logistischer Knoten, in dem Stückgutströme aus Sammelfahrten ankommen, in einzelne Leistungsobjekte aufgebrochen, gelagert, konsolidiert, umgeschlagen und dann in Verteilfahrten ausgeliefert werden, wobei nicht notwendigerweise alle Vorgänge an einem Leistungsobjekt durchgeführt werden müssen. Ein GVZ setzt sich aus verschiedenen Funktionsbereichen bzw. Modulen zusammen. Die GVZ-Grundgestalt bilden die Module Stückgutumschlaghalle und Kombiniertes Verkehr (KV)-Terminal sowie ergänzende Dienstleistungseinrichtungen, wobei die fundamentalen und für die Leistungsbetrachtung eines GVZ relevanten Prozesse wie Umschlag und Lagerung von Leistungsobjekten in den Modulen Stückgutumschlaghalle und KV-Terminal stattfinden.

Ein Güterverkehrszentrum besteht somit aus verschiedenen Subsystemen, die in dynamischen Beziehungen miteinander interagieren. Die einzelnen Subsysteme greifen wiederum auf unterschiedliche Ressourcen zu. Das Modell ist in [DVö03] beschrieben.

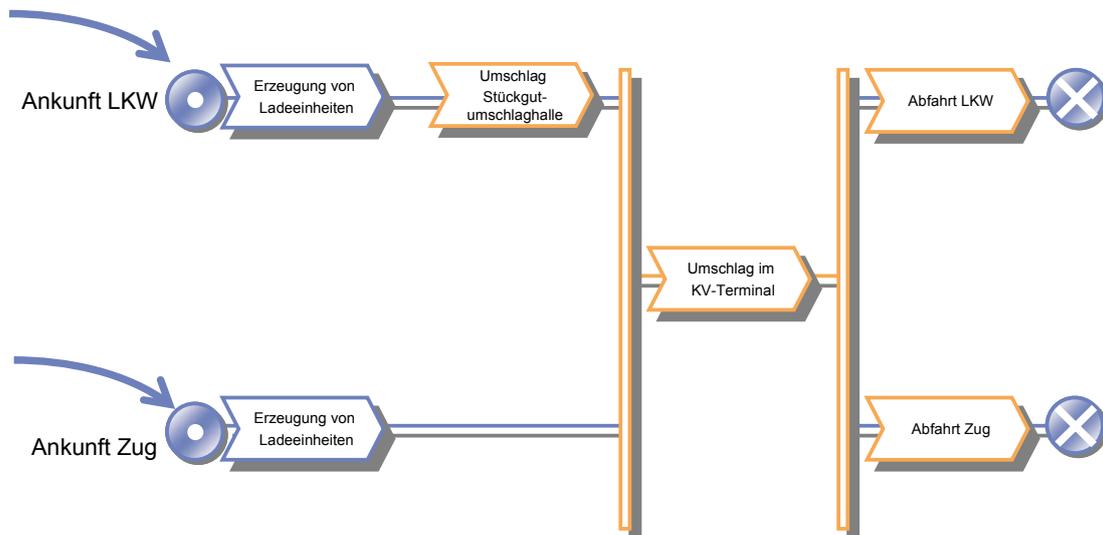


Abbildung 3: Leistungsobjekte und Kernprozesse des A4-Modells.

Untersuchungsziele:

- Abhängigkeiten von Durchlaufzeit, Kosten und Dimensionierung von Ressourcen
- Aussagen über typische Größen von GVZ
- Einfluss von Steuerungsstrategien auf die betrachteten Kennzahlen

Leistungsobjekt: LKW	
Eigenschaft	Abbildungstyp
ZAZ	deterministisch
LKW Typ	deterministisch
Anzahl Paletten	deterministisch
Anzahl Kisten	deterministisch
Vorgangstyp	deterministisch
Anzahl abzuladender Wechselbrücken	deterministisch
Anzahl aufzunehmender Wechselbrücken	deterministisch
Buchungsstatus	deterministisch

Leistungsobjekt: Zug	
Eigenschaft	Abbildungstyp
ZAZ	deterministisch
Anzahl abzuladender Wechselbrücken	deterministisch
Anzahl aufzunehmender Wechselbrücken	deterministisch

3.1.4 A5 „Simulation des Frachtumschlages im Flugverkehrsnetz“

Internationale Luftfracht durchläuft auf ihrem Weg vom Versender zum Empfänger typischerweise eine erste Drehscheibe (Hub B), auf der die Sendungsströme aus den unterschiedlichen Zubringerflughäfen zusammenlaufen, und eine zweite Drehscheibe (Hub C) von der sie auf die einzelnen Zielflughäfen verteilt werden. In einem solchen repräsentativen Teilnetz können die einzelnen Sendungen (Leistungsobjekte) nach unterschiedlichen Strategien durch das System geleitet werden. Diese knotenübergreifenden Dispositionsstrategien eröffnen Einsparpotenziale im Luftfrachttransportsystem. Ziel ist es diese Potenziale zu bewerten. Das Simulationsmodell von A5 dient daher dazu, die Auswirkungen der knotenübergreifenden Dispositionsstrategien auf das Gesamtsystem zu analysieren. Das Modell ist in seinen Grundzügen in [BBF+03a] beschrieben.

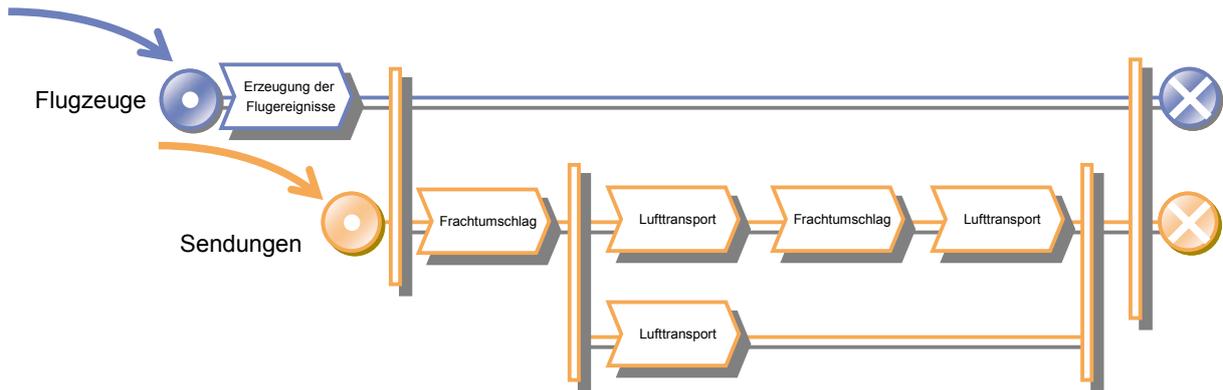


Abbildung 4: Leistungsobjekte und Kernprozesse des A5-Modells

Untersuchungsziele:

- Analyse der Auswirkungen von verschiedenen Dispositionsstrategien auf das Luftfrachttransportnetz
- Verifizierung von Gesetzmäßigkeiten, bezogen auf Kosten, Durchlaufzeit und Termintreue
- Systematische Erkenntnisbasis mit der eine den einzelnen Hubs übergeordnete Gestaltung und Betriebsführung der Luftfrachttransportnetze unterstützt wird

Leistungsobjekt: Flugzeug		Leistungsobjekt: Sendung	
Eigenschaft	Abbildungstyp	Eigenschaft	Abbildungstyp
ZAZ _{AC}	neg. Exponentialverteilung	ZAZ _{Sdg}	implizit durch Flugzeugankunft
Sendungsanzahl	interpolierte klassierte empirische Verteilung	Gewicht	klassierte empirische Verteilung
		Herkunft	diskrete Verteilung
		Ziel	diskrete Verteilung
		Zugesagter Liefertermin	diskrete Verteilung

3.1.5 A11 „Behälterkreisläufe“

Das Simulationsmodell „Behälterkreisläufe“ des Teilprojektes A11 soll das Nutzungspotenzial einer (transponderbasierten) automatisierten Behälter- und Warenverfolgung in einem Automobilunternehmen aufzeigen, indem ihre Wirkung auf die erforderlichen Kapazitäten, die Anzahl der im logistischen Prozess gebundenen Spezialbehälter und die Durchlaufzeit von der Warenanlieferung am Werkstor bis zur Einlagerung auf dem Leerguthof ermittelt wird. Das Modell ist in [KVö00] und die Analyse des Modells in [ABB+00] beschrieben.

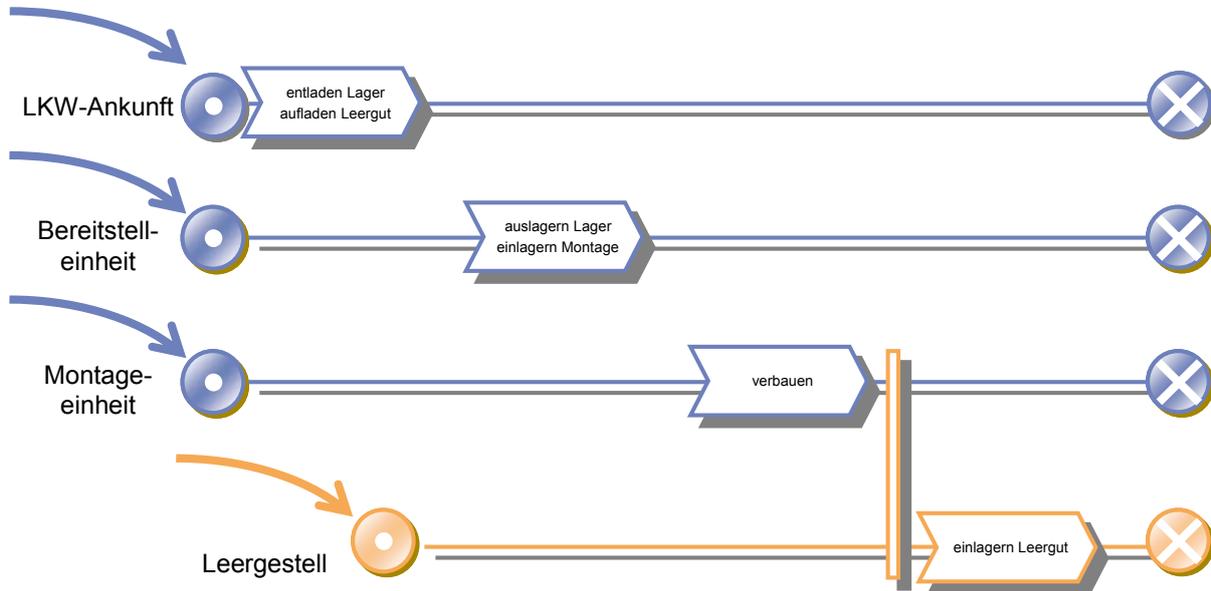


Abbildung 5: Leistungsobjekte und Kernprozesse des A11-Modells

Untersuchungsziele:

- Anzahl und Auslastung der Stapler
- Wartezeiten auf Stapler und LKW
- Gesamtdurchlaufzeiten der LKW

Leistungsobjekt: LKW		Leistungsobjekt: Bereitstell-einheit	
Eigenschaft	Abbildungstyp	Eigenschaft	Abbildungstyp
ZAZ _{LKW}	neg. Exponential- verteilung	ZAZ _{BE}	Gleichverteilung
Anzahl Zuliefeinheiten	diskrete Gleichverteilung	Anzahl Bereitstell-einheiten	diskrete Gleichverteilung
ID Anlieferhalle	diskrete Gleichverteilung		
Mindestlademenge	deterministisch		
Höchstlademenge	deterministisch		

Leistungsobjekt: Montageeinheit		Leistungsobjekt: Leergestell	
Eigenschaft	Abbildungstyp	Eigenschaft	Abbildungstyp
ZAZ _{ME}	Gleichverteilung	ZAZ _{LG}	explizit durch Montageprozess

3.2 Systemlastbeschreibungen der Analysemodelle zur Optimierung

3.2.1 A7 „Service-Netze“

Das Optimierungsmodell „Service-Netze“ des Teilprojektes A7 verfolgt in zwei getrennten Modellen die beiden Untersuchungsziele, einerseits geeignete Hubstandorte zu identifizieren, andererseits sinnvolle Depotstandorte zu lokalisieren. Bei der Hubstandortoptimierung wird in einem vorhandenen Netz von Depots mithilfe einer Transportmatrix untersucht, welche Depots als Hubstandorte im Sinne von Umschlagknoten in Bezug auf Aufkommen und Größe geeignet sind, so dass sich die optimale Netzstruktur ergibt.

Bei der Depotstandortoptimierung wird auf Basis einer Aufkommensmatrix untersucht, an welchem Geoknoten sinnvollerweise ein Depot errichtet werden soll, um eine Region optimal zu ver- und entsorgen. Weiterführende Informationen zu der Aufgabenstellung sind in [HRe03] zu finden.

Untersuchungsziele:

- Standorte für Hubs
- Standorte für Depots

Leistungsobjekt: Transportaufkommen	
Eigenschaft	Abbildungstyp
Startknoten	deterministisch
Zielknoten	deterministisch
Anzahl	deterministisch

3.3 Systemlastbeschreibungen der numerischen Analysemodelle

3.3.1 A2 „Beschaffungskanäle“

Das Modell bildet einen Beschaffungskanal mit einem Lieferanten und einem Transportdienstleister ab. Das Modell und die Analyseergebnisse sind in [ABF+00] beschrieben.

Untersuchungsziele:

- Auslastung, Durchlaufzeit, Population und Durchsatz des Lieferanten
- Auslastung, Durchlaufzeit, Population und Durchsatz des Transportdienstleisters

Leistungsobjekt: Bestellung	
Eigenschaft	Abbildungstyp
ZAZ _{Bestellung}	neg. Exponentialverteilung

3.3.2 A11 „Behälterkreisläufe“

Das Modell „Behälterkreisläufe“ des Teilprojektes A11 soll das Nutzungspotenzial einer (transponderbasierten) automatisierten Behälter- und Warenverfolgung in einem Automobilunternehmen aufzeigen, indem ihre Wirkung auf die erforderlichen Kapazitäten und die Durchlaufzeit von der Warenanlieferung am Werkstor bis zur Einlagerung auf dem Leerguthof ermittelt wird. Das Modell und seine Analyse sind in [ABB+00] beschrieben.

Untersuchungsziele:

- Auslastung der Stapler und des Wareneingangs
- Durchlaufzeiten der LKW

Leistungsobjekt: LKW mit Einlagerung und Rücktransport		Leistungsobjekt: LKW für Ressourcenauslastung (WE, Einsatzstapler)	
Eigenschaft	Abbildungstyp	Eigenschaft	Abbildungstyp
ZAZ _{LKW}	neg. Exponentialverteilung	ZAZ _{LKW}	neg. Exponentialverteilung
Anz. Zuliefereinheiten	deterministisch	Anz. Zuliefereinheiten	deterministisch

Leistungsobjekt: Bereitstelleinheit		Leistungsobjekt: Montageeinheit	
Eigenschaft	Abbildungstyp	Eigenschaft	Abbildungstyp
ZAZ _{BE}	neg. Exponentialverteilung	ZAZ _{ME}	neg. Exponentialverteilung
Menge	deterministisch		

4 Klassifikation der Information zur Systemlastbeschreibung

Ausgehend von obiger Definition der Systemlast ist zunächst eine zielgerichtete Bestimmung und Aufbereitung der für die Modellierung von GNL benötigten Systemlastdaten notwendig. Voraussetzung dafür ist eine systematische und standardisierte Klassifizierung, Beschreibung und Bewertung der Eigenschaften logistischer Leistungsobjekte (LO). Hierzu wurde sowohl auf eine Klassifizierung aus dem Bereich der Simulation von Produktions- und Logistiksystemen [VDI00] als auch auf eigene Vorarbeiten [BBF+03b], [BHJ05] zurückgegriffen. Zudem wurden die im Rahmen des SFB 559 entstandenen Simulations- und Analysemodelle hinsichtlich der verwendeten Daten und Eigenschaften analysiert und einbezogen.

In Anlehnung an [VDI00] hat sich eine Klassifikation der Eingangsdaten für die Simulation nach Systemlastdaten, Organisationsdaten und technischen Daten durchgesetzt, die auch in der logistischen Praxis Anwendung gefunden hat. Wesentlich für eine Übertragung ist jedoch, dass sich die konkreten Inhalte entsprechend des neuen Bezugsrahmens GNL und des mit ihm verbundenen Abstraktionsgrades verändern. In Bezug auf die Systemlast bedeutet dies, dass diese zumeist die beschreibenden Daten einer Auftragseinlastung über Produktions- und Transportaufträge beinhaltet. Weniger relevant sind detaillierte Produktdaten wie Arbeitspläne und Stücklisten.

4.1 Klassifikationsschema zur Beschreibung von Leistungsobjekten in GNL

Bei der Analyse von GNL wird zumeist zwischen Informations- und Materialfluss unterschieden [Kuh95]. In Analogie zu realen Systemen entspricht dies der Abbildung von Aufträgen auf Informationsebene sowie von physischen Einheiten auf Materialflussebene. Demnach lassen sich zwei grundsätzliche Arten von LO ableiten: Logistikaufträge zur Beschreibung des Informationsflusses und Logistikeinheiten zur Beschreibung des Materialflusses. Beiden sind zentrale Eigenschaften wie Eintrittszeitpunkt und eine eindeutige ID sowie eine optionale Struktur von enthaltenen LO gemeinsam, die durch die Klasse Leistungsobjekt repräsentiert werden. In Anlehnung an [Gud05], ergänzt durch Aspekte der Simulation [RHe01], zeigt Abbildung 6 die grundsätzlichen Eigenschaften eines Leistungsobjektes, eines Logistikauftrags, einer Logistikeinheit sowie beispielhafte Ausprägungen in einem UML-Klassendiagramm.

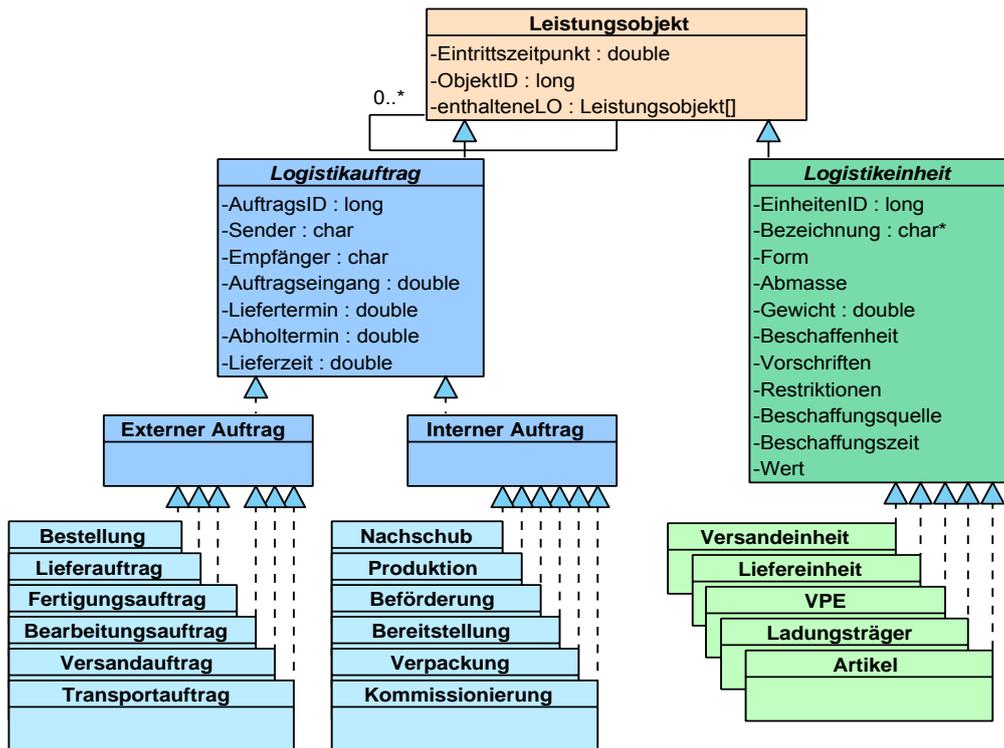


Abbildung 6: Eigenschaften logistischer Leistungsobjekte

Ein logistisches *Leistungsobjekt* definiert sich aus dem Eintrittszeitpunkt und einer eindeutigen ID zur Identifizierung. Die Festlegung des Eintrittszeitpunktes eines Leistungsobjektes erfolgt durch die Definition einer Zwischenankunftszeit im Modell. Eine eindeutige ID wird i.d.R. automatisch durch das Modell bzw. das Analysewerkzeug vergeben. Für die Abbildung von rekursiv verschachtelten Leistungsobjekten dient eine Liste von enthaltenen Leistungsobjekten (vgl. Abbildung 7), die im einfachsten Fall jedoch keine weiteren Objekte enthält.

Der *Logistikauftrag* enthält Attribute zur vollständigen Beschreibung eines Auftrages [Gud05]. Die Klasse beinhaltet die Attribute: eindeutige Auftragsnummer, Sender und Empfänger, Auftragszeitpunkt, Abholtermin, Lieferzeit sowie Zustelltermin. Konkrete Ausprägungen der Aufträge gliedern sich nach [Gud05] in Interne und Externe. Ein externer Auftrag kann beispielsweise eine Kundenbestellung, einen Liefer-, Fertigungs-, Bearbeitungs- oder Versandauftrag repräsentieren. Interne Aufträge beschreiben zumeist Nachschub-, Produktions-, Beförderungs-, Bereitstellungs-, Verpackungs- oder Kommissionieraufträge.

Zur Beschreibung von physischen Objekten in einem Logistiknetzwerk dient die Klasse *Logistikeinheit* als Muster [Gud05]. Diese beschreibt durch ihre Attribute EinheitenID (z. B. eine Artikel- oder Ladungsträgernummer), Bezeichnung, Beschreibung der geometrischen Form (Quader, Zylinder, etc.), Abmaße (Länge, Breite, Höhe, Durchmesser, Volumen), Gewicht, Beschaffenheit (Aggregatzustand, Materialart, Gefahrgutklasse, Brandklasse, etc.), Vorschriften und Restriktionen (Belastbarkeit, Stapelfaktor, Stapelrichtung, etc.), Beschaffungs-

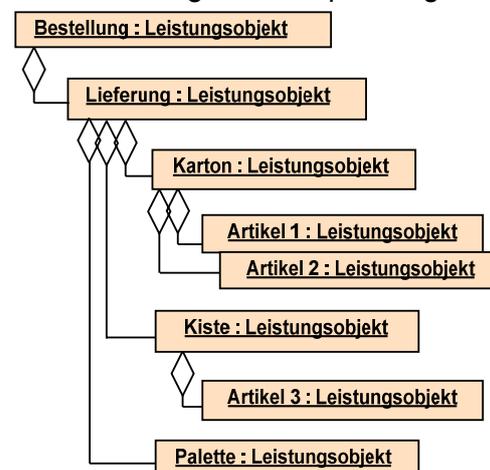


Abbildung 7: Hierarchische Leistungsobjekte

quelle (Lieferant, Lieferquelle), Beschaffungszeit (Produktionszeit, Wiederbeschaffungszeit) und Wert der Einheit konkrete Ausprägungen wie Versand-, Liefer- und Verpackungseinheiten sowie Ladungsträger und Artikel.

Für die Abbildung von zusammengesetzten Logistikeinheiten, z. B. einer Liefereinheit bestehend aus verpackten Artikeln auf einem Ladungsträger (siehe Abbildung 7), dient die in der Klasse Leistungsobjekt enthaltene Aggregation (enthalteneLO). Diese ermöglicht den Aufbau einer hierarchischen Struktur von in einem LO enthaltenen LO, wie sie für die Analyse von GNL typisch ist.

4.2 Klassifikation der Leistungsobjekte am Beispiel des A5-Flugnetzes

Die oben dargestellte Klassifikation von Eigenschaften gibt, aufgeteilt nach typischen Eigenschaften von Logistikaufträgen und Logistikeinheiten, einen vollständigen Überblick möglicher Eigenschaften von logistischen Leistungsobjekten. Abhängig vom konkreten Untersuchungsgegenstand und der Aufgabenstellung muss eine Spezifizierung der Attribute projektspezifisch erfolgen.

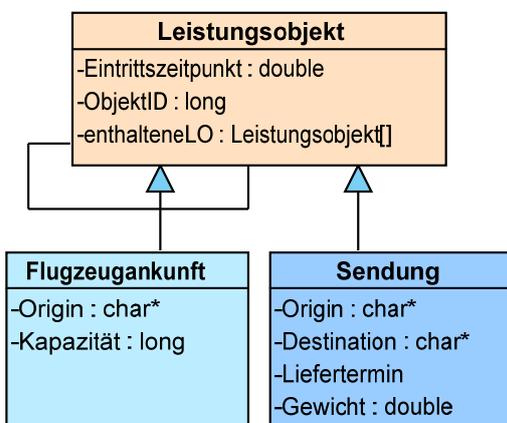


Abbildung 8: A5-Klassenstruktur

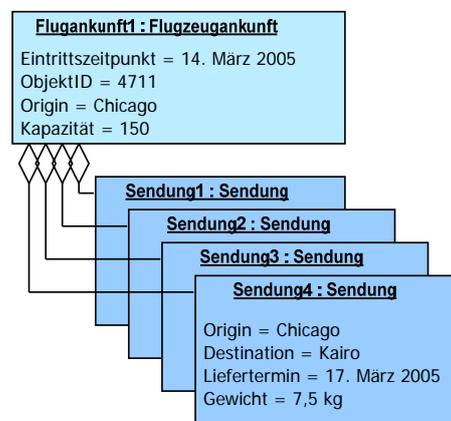


Abbildung 9: A5-Objektstruktur

Basierend auf der Basisklasse Leistungsobjekt, mit den drei zentralen Eigenschaften Eintrittszeitpunkt, ObjektID und der Liste möglicher enthaltener Leistungsobjekte, müssen zunächst weitere relevante Eigenschaften der im Modell zu spezifizierenden Leistungsobjekte identifiziert werden. Sie setzen sich aus den einzelnen Attributen der Klassen Logistikauftrag und/oder Logistikeinheit zusammen. Daraus entsteht ein Entwurf eines Templates bzw. von Leistungsobjektklassen, das so genannte Klassendiagramm. Diese Klassenstruktur ist exemplarisch für das Beispiel Luftfracht (A5) in Abbildung 8 dargestellt. Während der Modelllaufzeit werden Objekte dieser Klassen erzeugt und bei Bedarf in Beziehung gestellt. Abbildung 9 zeigt die hierarchische Beziehung der Leistungsobjekte der Klasse Flugzeugankunft und der Leistungsobjekte der Klasse Sendung. Ein Flugzeug enthält, je nach Kapazität, mehrere Objekte der Klasse Sendung (vgl. auch Kapitel 3.1.4).

4.3 Klassifikation weiterer Leistungsobjekte

Aus der Analyse der existierenden Simulationsmodelle (siehe Kapitel 3.1) wurden sowohl für das Simulationsmodell A3 „Untersuchung von Supply Chain-Strategien und -Strukturen“, das Simulationsmodell A4 „Beispielmodellierung eines Güterverkehrszentrums“ als auch A11 „Behälterkreisläufe“ jeweils ein Klassendiagramm definiert. Alle drei Klassenhierarchien basieren wiederum auf der zentralen Klasse des Leistungsobjektes.

Für das Klassendiagramm des A3-Modells wurde darunter zunächst eine weitere zentrale Klasse, die der Bestellung, mit der LO-übergreifenden Information der Bestellmenge, und des Handelspartners, definiert. Die Leistungsobjekte als Instanzen der Klassen stellen für dieses Modell die Kundenbestellung, BestellungEinzelhändler, BestellungGroßhändler sowie BestellungProduzent dar, die in keinerlei hierarchischer Beziehung zueinander stehen. Die

Kundenbestellung hat zusätzlich das Attribut der Kundenklasse und das Attribut Handelspartner bleibt bei der Klasse BestellungProduzent unbesetzt.

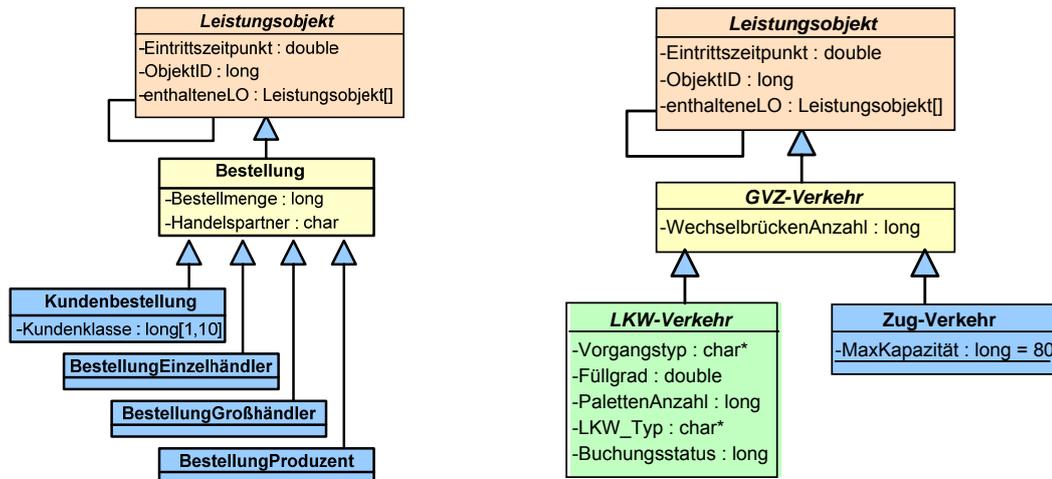


Abbildung 10: A3 und A4-Klassenstruktur

Für das Klassendiagramm des A4-Modells wurde unterhalb der Klasse LeistungsObjekt darunter zunächst eine weitere zentrale Klasse, die des GVZ-Verkehrs, mit der LO-übergreifenden Information der Anzahl transportierter Wechselbrücken, definiert. Die Leistungsobjekte stellen für dieses Modell der Zug sowie der LKW dar, die in keinerlei hierarchischer Beziehung zueinander stehen. Letzterer wird zusätzlich rein logisch über einen Parameter in unterschiedliche LKW-Typen unterschieden.

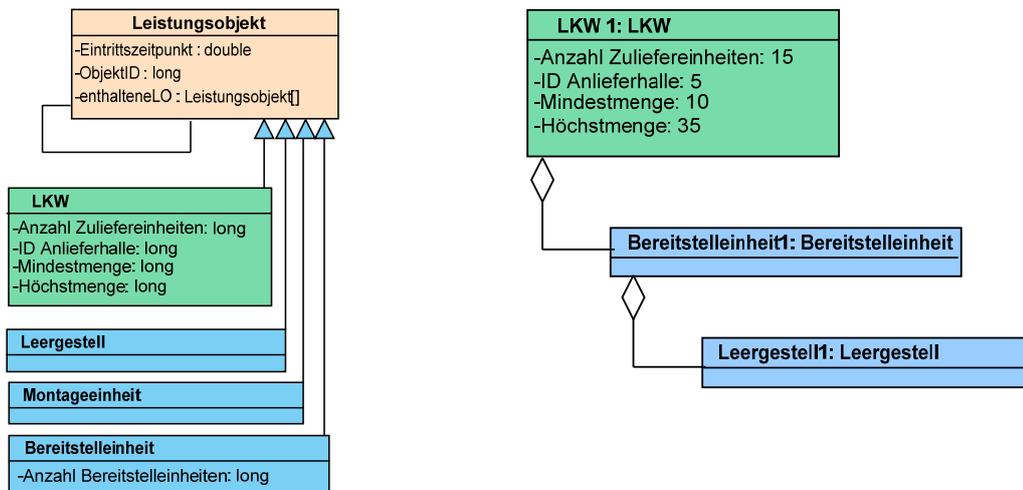


Abbildung 11: A11-Klassen- und Objektstruktur

Die Leistungsobjekte des A11-Modells werden durch die Klasse LKW sowie die Klassen Leergestell, Montageeinheit und Bereitstelleinheit repräsentiert. Die logischen Beziehungen dieser Objekte innerhalb des Modells ergeben sich durch den Umstand, dass ein LKW mehrere Bereitstelleinheiten anliefert, die wiederum implizit ein Leergestell beinhalten. Sobald die an der Montage bereitgestellten Einheiten aufgrund der Bearbeitung verbraucht werden, entstehen Leergestelle, die im Modell wegen der Betrachtung eines Redistributionsnetzes weiter behandelt werden.

5 Modellierung der Systemlast in ProC/B

Im Folgenden wird exemplarisch an den Modellen aus A3, A4, A5 und A11 die Modellierung verschiedener Systemlasttypen mit ProC/B erläutert. Zu beachten ist, dass der Begriff des Prozesses dabei im Sinne der Definition durch ProC/B verwendet wird. Leistungsobjekte werden durch je einen Prozess im ProC/B-Sinne dargestellt.

5.1 A3 „Untersuchung von Supply Chain-Strategien und -Strukturen“

Die 10 Kundenklassen des A3-Modells werden mit je einer eigenen Quelle modelliert. Durch die jeweilige Quelle wird auch die entsprechende Zwischenankunftszeit festgelegt. Der Vorteil in der Nutzung einzelner Quellen liegt in der Möglichkeit, auch Varianten des Modells analysieren zu können, die je Kundenklasse unterschiedliche Zwischenankunftszeit-Verteilungen aufweisen, die sich nicht alternativ oder durch eine gemeinsame Verteilung ausdrücken ließe. Die Bestellmenge wird durch die Verwendung der poisson-Funktion modelliert. Die zugehörigen Elemente einer Kundenklasse sind in Abbildung 12 dargestellt.

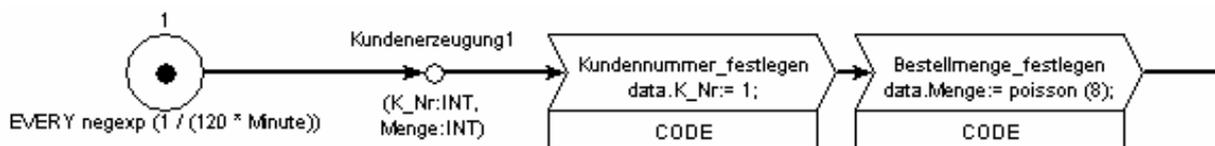
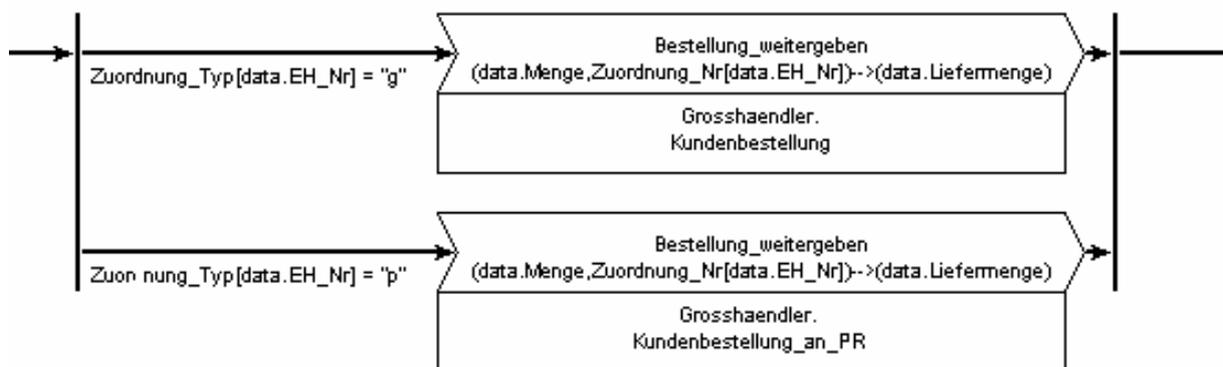


Abbildung 12: Erzeugung der Prozesse einer Kundenklasse und Festlegen der entsprechenden Bestellmenge

Die Handelspartner zwischen Kunden, Einzelhändler, Großhändler und Produzenten werden jeweils durch Parameter festgelegt, die im Verlauf der Prozessketten verwendet werden und auf einfache Weise variiert werden können. Eine exemplarische Festlegung und Benutzung bzgl. der Einzelhändler ist in Abbildung 13 dargestellt.



Zuordnung_Nr:INT[1..10]=[1, 1, 1, 1, 1, 1, 2, 2, 2, 2]
 Zuordnung_Typ:STRING[1..10]=["p", "p", "g", "g", "g", "g", "g", "g", "g", "g"]

Abbildung 13: Festlegung des Handelspartners

Die Zwischenankunftszeiten von Prozessen bei den Einzelhändlern, Großhändlern und Produzenten werden durch Aufrufe entsprechender Dienste durch den jeweiligen Handelspartner impliziert. Die zugehörige Bestellmenge wird dabei als Parameter übergeben.

5.2 A4 „Beispielmodellierung eines Güterverkehrszentrums“

Die verschiedenen LKWs innerhalb des GVZ-Modells werden alle durch eine einzelne Quelle erzeugt. Anhand derer wird in einem Zeitabstand von 5 Tagen (432000 Sekunden) eine

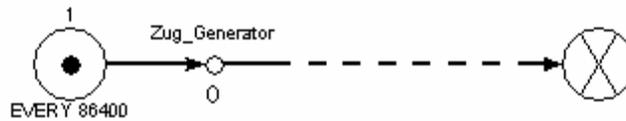


Abbildung 16: Erzeugung der Zug-Prozesse

5.3 A5 „Simulation des Frachtumschlages im Flugverkehrsnetz“

Die Systemlast des A5-Modells hängt von den Ankünften der Flugzeuge und ihrer jeweiligen Zuladung (Sendungen und deren Eigenschaften) ab. Die Ankunftszeiten werden von einem Flugplan bestimmt, der sich über den Tag in einem Halb-Stunden-Raster mit jeweils zugehörigen Negativ-Exponential-Verteilungen abbilden lässt. Dieser Verteilungsaufbau kann nicht mit einer Standard-Verteilung an einer Quelle nachempfunden werden. Stattdessen wird im Modell ein Steuerungsprozess erzeugt, der fortwährend eine Schleife durchläuft und nach einer durch die Intervall-basierte Verteilung festgelegten Zeitspanne neue Prozesse erzeugt, die jeweils einem Flugzeug bzw. der Menge der damit transportierten Pakete entsprechen. Die Prozesskette des Steuerungsprozesses ist in Abbildung 17 und ein Ausschnitt der Modellierung des Flugplans in Abbildung 18 dargestellt. Die Bestimmung der ZAZ zwischen den Flugzeugen erfolgt, indem bei jedem Durchlauf eines Kontroll-Prozesses durch die Steuerungsschleife zunächst die Uhrzeit abgefragt wird, die der jeweils aktuellen Modellzeit entspricht. In einer über einen Konnektor gesteuerten Abfrage wird der Steuerungsprozess anschließend dieser Uhrzeit entsprechend in der Sub- FE „flugplan“ der zugehörigen Verteilung zugeordnet und eine Wartezeit durch die negexp-Funktion zufällig generiert. Diese Wartezeit entspricht der ZAZ zwischen den jeweiligen Flugzeugen. Der Kontrollprozess wird so genau bis zur nächsten Ankunft unterbrochen (vgl. auch [BBF+03b]).

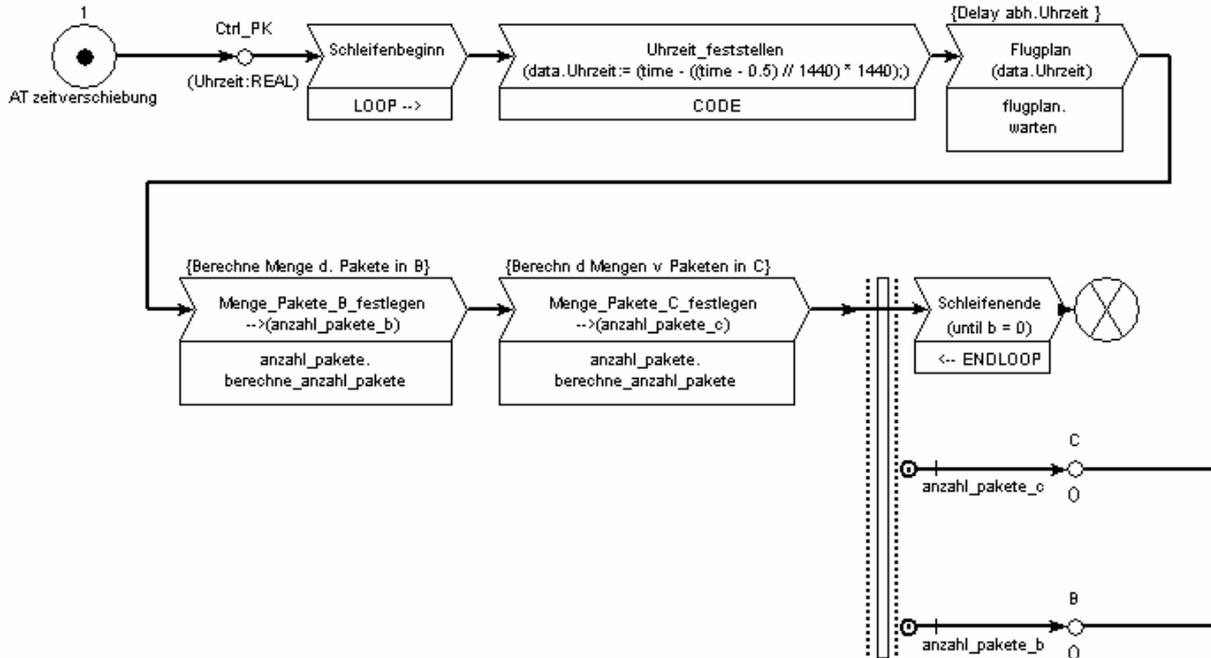


Abbildung 17: Steuerung der Flugzeug-Ankünfte und implizite Festlegung der Sendungs-Herkunft

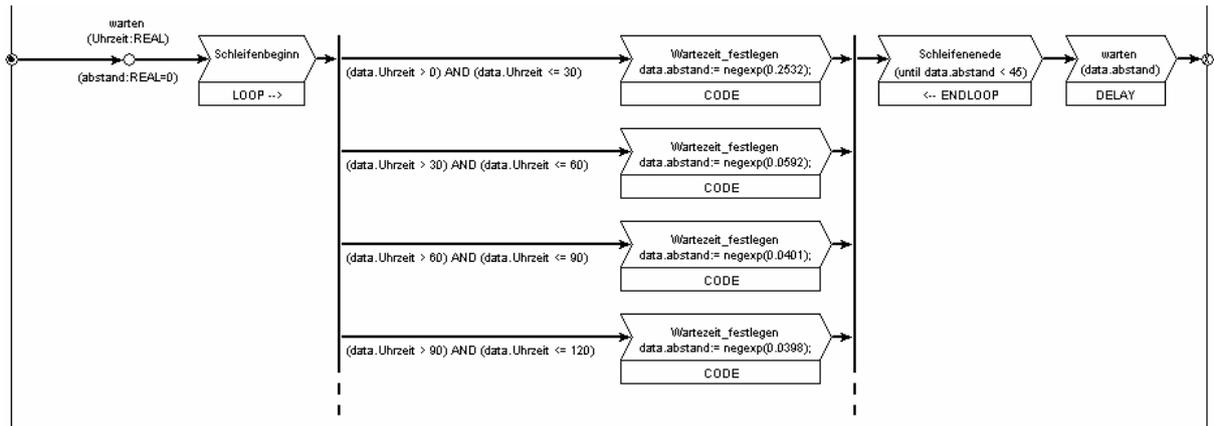


Abbildung 18: Modellierung des Flugplans mittels Intervall-basierter Verteilung

Die Anzahl der transportierten Sendungen wird für jede halbe Stunde durch eine spezifische, jeweils stückweise linear definierte Verteilungsfunktion ermittelt. Diese insgesamt 48 Verteilungen sind durch in Parametern gespeicherte Stützpunkte im Modell hinterlegt (vgl. Ausschnitt der entsprechenden Funktionseinheit in Abbildung 19), zur Ziehung eines Wertes wird die linear-Funktion verwendet. Die Auswahl aus den zu verwendenden Stützpunkten erfolgt in Abhängigkeit von der ermittelten Modellzeit. Der so ermittelte Wert wird im weiteren Verlauf der Modellausführung an spezielle Tagesschwankungen durch Addition von Tagesaufschlägen angepasst und auf ganzzahlige Werte gerundet.

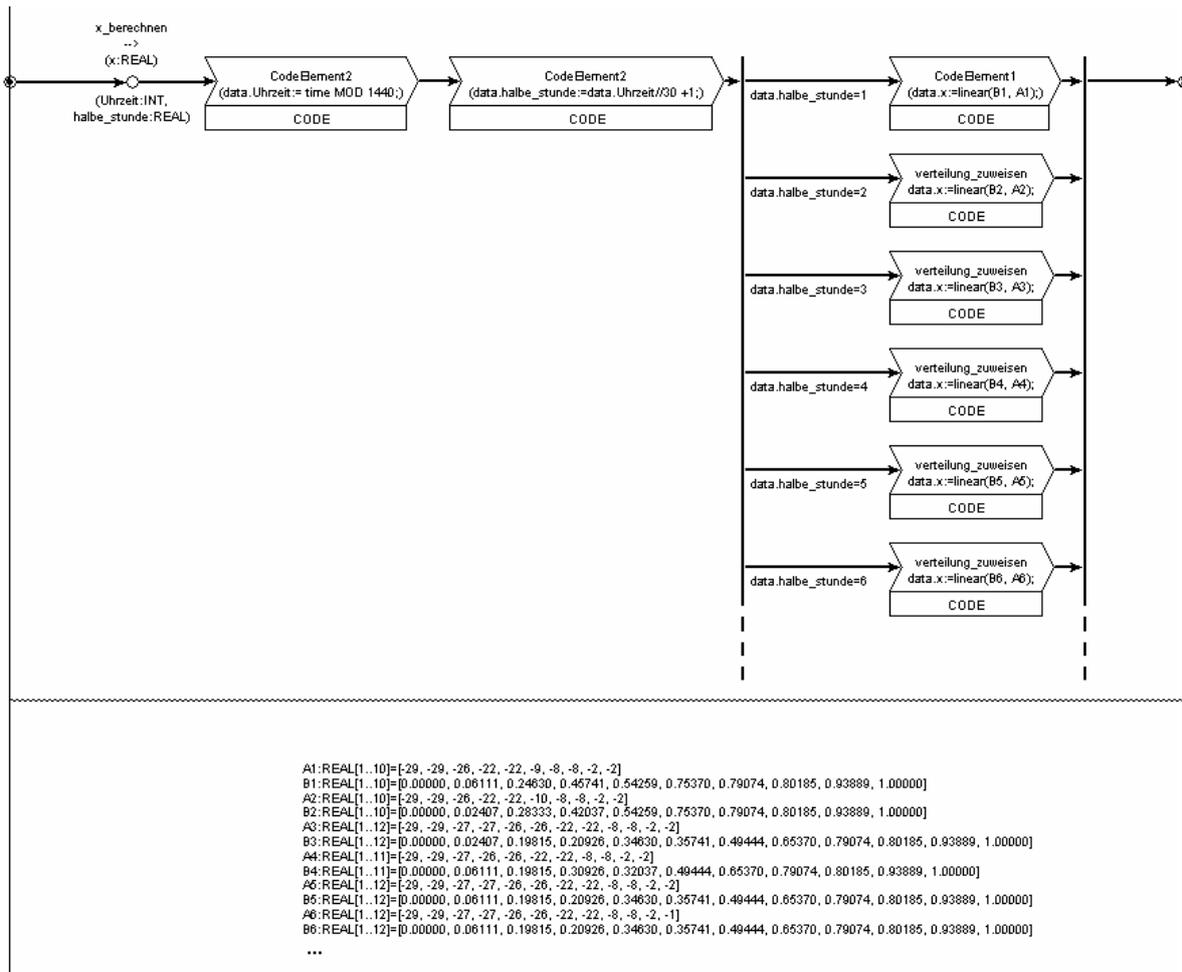


Abbildung 19: Modellierung der Sendungs-Anzahl durch Interpolation der Verteilungen

Die Gewichte der Sendungen werden über Interpolationen durch linear-Verteilungen zeitunabhängig festgelegt (vgl. Abbildung 20).

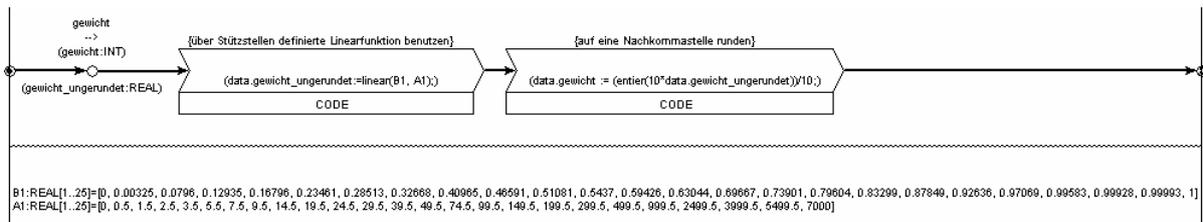


Abbildung 20: Modellierung des Sendungs-Gewichts durch Interpolation der Verteilungen

Die Zuweisung der Sendungs-Ziele erfolgt durch eine diskrete bzgl. des Zielflughafens spezifische Verteilung. In ProC/B erfolgt die entsprechende Zuweisung mit Hilfe zweier Alternativ-Konnektoren, die mit den jeweiligen Wahrscheinlichkeiten versehen sind (vgl. exemplarisch die Zuweisung der Ziele der mit Flügen in Hub B angekommenen Sendungen in Abbildung 21).

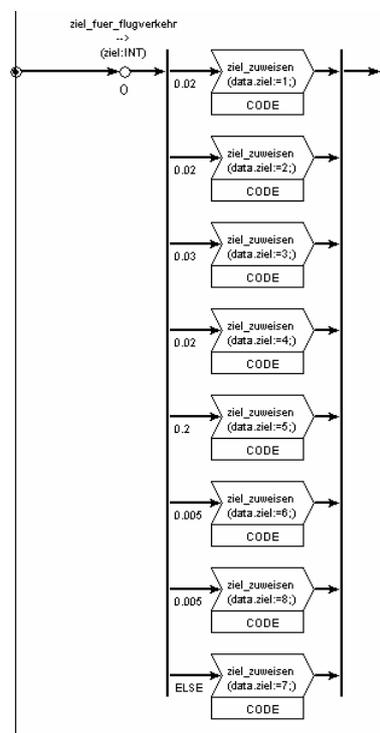


Abbildung 21: Zuweisung der Routingziele der an Hub B ankommenden Sendungen

Die zugesagten Liefertermine werden durch die maximale Durchlaufzeit der Sendungen festgelegt. Dies erfolgt durch Verwendung eines Standard-Zufallszahlen-Generators, um die entsprechende ganzzahlige Gleichverteilung nachzubilden (vgl. Ausschnitt aus der Prozesskette für mit Flügen in Hub C angekommenen Sendungen in Abbildung 22).

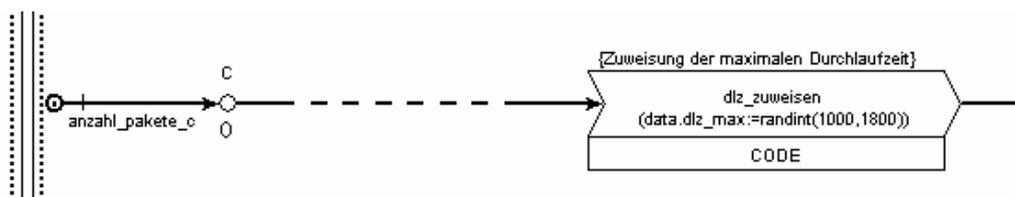


Abbildung 22: Zuweisung des spätesten Liefertermins anhand der maximalen Durchlaufzeit für die in Hub C angekommenen Sendungen

5.4 A11 „Behälterkreisläufe“

Die Verteilung der Zwischenankunftszeiten der LKW, die Anzahl der Zuliefeinheiten (LE) sowie die Hallennummer für die LKW werden mit unterschiedlichen Verteilungen einem Standard-Zufallszahlen-Generator unmittelbar an der entsprechenden Quelle angegeben. Abbildung 23 zeigt einen Ausschnitt aus der entsprechenden Prozesskette. Die deterministischen Mindest- und Höchstlademengen spiegeln sich in einfachen Zuweisungen bzw. konstanten Ausdrücken innerhalb des Modells wider.

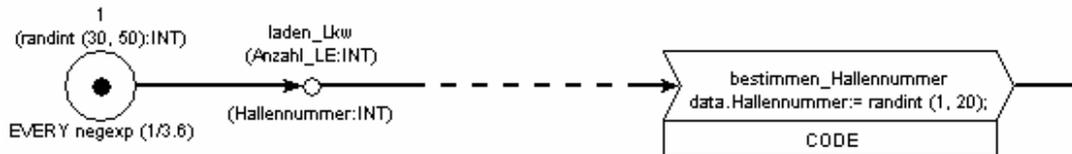


Abbildung 23: Zuweisung des spätesten Liefertermins anhand der maximalen Durchlaufzeit für die in Hub C angekommenen Sendungen

Entsprechend der Eigenschaften des LKW werden auch die Zwischenankunftszeiten der Bereitstell- und Montageeinheiten an den entsprechenden Quellen sowie die Anzahl der Bereitstellereinheiten durch Zuweisung modelliert.

Die Modellierung der Leergestell-Ankünfte durch Beenden der Montage ist in Abbildung 24 dargestellt. Mit jedem 15. Montageprozess wird ein Leergestell auf der Kette „einlagern_Leerguthof“ erzeugt.

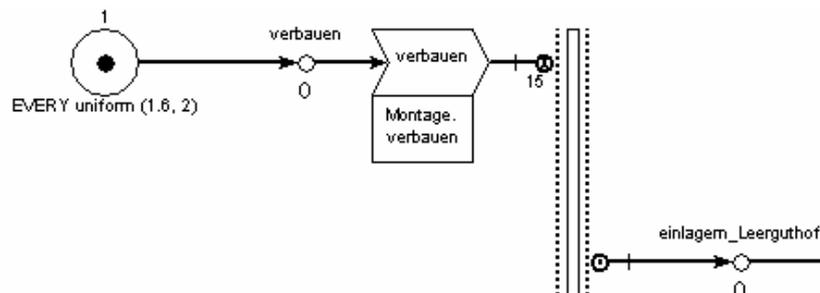


Abbildung 24: Zuweisung des spätesten Liefertermins anhand der maximalen Durchlaufzeit für die in Hub C angekommenen Sendungen

6 Zusammenfassung und Ausblick

Die Arbeiten zur standardisierten Systemlastbeschreibung zeigen, dass eine Klassifikation für die Systemlast in GNL definiert werden kann und die Modellierung der Eigenschaften und Abhängigkeiten der Systemlast durch das auf dem Prozesskettenparadigma aufbauende Werkzeug Proc/B unterstützt wird. Die Klassifikation dient dabei direkt der Unterstützung des Anwenders zur Bestimmung der systemrelevanten Eigenschaften und vollständigen Formulierung der Systemlast. Um die Vollständigkeit der Systemparameter bzgl. des zu untersuchenden Gesamtsystems zu gewährleisten, müssen in weiteren Arbeiten auch für die Organisationsdaten und technischen Daten entsprechende Klassifikations schemata sowie Abbildungsvorschriften erstellt werden. Dies führt letztendlich zu einer vollständigen Beschreibung der Systemparameter von GNL in Form eines Logistikdatensatzes. Die Bestimmung des typischen Informationsbedarfs sowie der daraus abzuleitenden Eingangsdaten für zu identifizierende Standardprozesse auf unterschiedlichstem Abstraktionsniveau in GNL ist ein weiteres Forschungsziel, was letztendlich zu einem durchgängigen und umfassenden Referenzmodell für die Analyse von GNL führen kann.

7 Literatur

- [AIK+02] Arnold, D.; Isermann, H.; Kuhn, A.; Tempelmeier, H.: Handbuch Logistik. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg New York, 2002.
- [ABB+00] Arns, M.; Bause, F.; Beilner, H.; Fischer, M.; Völker, M.: Beispielmodellierung von Behälterkreisläufen im B1-Paradigma – Analyse. Interner Bericht – Sonderforschungsbereich 559 „Modellierung großer Netze in der Logistik“ 00013, 2000.
- [ABF+00] Arns, M.; Beilner, H.; Fischer, M.; Kemper, P.; Völker, M.: Beispielmodellierung von Beschaffungskanälen im B1-Paradigma – Analyse. Interner Bericht – Sonderforschungsbereich 559 „Modellierung großer Netze in der Logistik“ 00014, 2000.
- [BBF+03a] Baum, N.; Bernhard, J.; Fender, T.; Hömberg, K.; Wenzel, S.; Clausen, U.; Frye, H.; Quick, A.; Sieke H.: Kooperation A5, M9 – Simulation des Frachtumschlages im Flugverkehrsnetz. Technical Report – Sonderforschungsbereich 559 „Modellierung großer Netze in der Logistik“ 03003, 2003, ISSN 1612-1376.
- [BBF+03b] Bause, F.; Bernhard, J.; Fender, T.; Hömberg, K.; Völker, M.; Wenzel, S.: Standardisierte Beschreibung von Eingangsdaten für die Simulation auf Basis des Prozesskettenparadigmas. Technical Report – Sonderforschungsbereich 559 „Modellierung großer Netze in der Logistik“ 03004, 2003, ISSN 1612-1376.
- [BHJ05] Bernhard, J.; Hömberg, K.; Jodin, D.: Standardprozesse als Grundlage für die Informationsbedarfsanalyse zur Modellierung von Großen Netzen der Logistik. In: Magdeburger Schriftenreihe zur Logistik – Logistikprozesse entwerfen, führen, bewerten. Wissenschaftliche Themenhefte des Lehrstuhls für Logistik der Universität Magdeburg; Heft 21, 2005, S. 3-14. ISSN 1436-9109.
- [Bro06] Brockhaus - Die Enzyklopädie: in 30 Bänden. 21., neu bearbeitete Auflage. Leipzig, Mannheim: F.A. Brockhaus 2005-06. Online-Ausgabe über tanto.de. Zugriff am 06.12.2006.
- [BSS+06] Bernhard, J.; Schürmann, C.; Sieke, H.; Völker, M.: Standardisierte Systemlastbeschreibung für die Modellierung großer Netze der Logistik. In: Wenzel, S. (Hrsg.): Simulation in Produktion und Logistik 2006, Tagungsband zur 12. Fachtagung in Kassel, Society for Modeling and Simulation International: SCS Publishing House e.V., Erlangen, 2006, S. 115-124.
- [DVö03] Dilling, C.; Völker, M.: Beispielmodellierung eines Güterverkehrszentrums im ProC/B-Paradigma. Technical Report – Sonderforschungsbereich 559 „Modellierung großer Netze in der Logistik“ 03016, 2003, ISSN 1612-1376.
- [Gro84] Großeschallau, W.: Materialflussrechnung, Modelle und Verfahren zur Analyse und Berechnung von Materialflusssystemen. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, 1984.
- [Gud05] Gudehus, T.: Logistik – Grundlagen Strategien Anwendungen. 3., neu bearbeitete Auflage. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, 2005.
- [HRe03] Heinrichmeyer, H.; Reinholz, A.: Entwicklung eines Bewertungsmodells für die Depotstandortoptimierung bei Servicenetzen, Technical Report – Sonderforschungsbereich 559 „Modellierung großer Netze in der Logistik“ 03029, 2003, ISSN 1612-1376.

- [Kuh95] Kuhn, A.: Prozessketten in der Logistik – Entwicklungstrends und Umsetzungsstrategien. Verlag Praxiswissen, Dortmund, 1995.
- [KVö00] Krabs, A.; Völker, M.: Beispielmodellierung von Behälterkreisläufen im B1-Paradigma. Interner Bericht – Sonderforschungsbereich 559 „Modellierung großer Netze in der Logistik“ 00004, 2000.
- [KVö03] Kaczmarek, M.; Völker, M.: Entwicklung von Simulationsmodellen für die Analyse von Supply Chain-Strategien und -Strukturen im ProC/B-Paradigma. Technical Report – Sonderforschungsbereich 559 „Modellierung großer Netze in der Logistik“ 03020, 2003, ISSN 1612-1376.
- [MRW03] Motta, M.; Riha, I.; Weidt, S.: Simulation eines Regionallagerkonzeptes. Technical Report – Sonderforschungsbereich 559 „Modellierung großer Netze in der Logistik“ 03032, 2003, ISSN 1612-1376.
- [Pro98] Proflex: BMBF-gefördertes Forschungsprojekt „PROFLEX – Geschäftsprozesse flexibel abbilden“. Definition der Systemlast. Universität Magdeburg, <http://isgwww.cs.uni-magdeburg.de/projects/proflex/systemlast.html>, 1998.
- [RHe01] Rabe, M.; Hellingrath, B.: Handlungsanleitung Simulation in Produktion und Logistik. SCS Verlag, San Diego, 2001.
- [VDI96] VDI 3633 Begriffsdefinition: Simulation von Logistik-, Materialfluss- und Produktionssystemen – Begriffsdefinitionen, Entwurf. Verein Deutscher Ingenieure, Düsseldorf, Beuth Verlag, Berlin, 1996.
- [VDI00] VDI 3633 Blatt 1: Simulation von Logistik-, Materialfluss- und Produktionssystemen, Entwurf. Verein Deutscher Ingenieure, Düsseldorf, Beuth Verlag, Berlin, 2000.
- [VDI01] VDI 3600: Prozesse und Prozessorientierung in der Produktionslogistik am Beispiel der Automobilindustrie. Verein Deutscher Ingenieure, Düsseldorf, Beuth Verlag, Berlin, 2001.
- [WMe93] Wenzel, S.; Meyer, R.: Kopplung der Simulation mit Methoden des Datenmanagement. In: Kuhn, A.; Reinhardt, A.; Wiendahl, H.-P. (Hrsg.): Handbuch Simulationsanwendungen in Produktion und Logistik. Fortschritte der Simulationstechnik. Vieweg Verlag, Braunschweig, 1993, S. 347-368.

Sonderforschungsbereich 559

Bisher erschienene Technical Reports

- 05004 Dirk Jodin, Andreas Mayer: Automatisierte Methoden und Systeme der Datenerhebung
- 05005 Thomas Fender, Anne Krampe, Sonja Kuhnt: Kriterien für die Kategorisierung statistischer Methoden im Rahmen eines Methodennutzungsmodells zur Informationsgewinnung in GNL
- 05006 Kay Hömberg, Dirk Jodin, Maik Langenbach, Christian Kellner: Konzept einer logistischen Informationsbedarfsanalyse mit Hilfe von Basisprozessen und standardisierten Logistikdaten
- 05007 Hans-Werner Graf: Festlegung der Abfahrts- und Ankunftszeiten (Fahrplangestaltung)
- 06001 Iwo Riha: Grundlagen des Cost-Benefit-Sharing
- 06002 Jens Finzel, Michael Hierweck, Andreas van Almsick, Jan Sören Kriege, Mathias Schwenke: ProC/B-Editor – Handbuch
- 06003 Mirko Eickhoff, Michael Hierweck, Mathias Schwenke: Hands On ProC/B-Tools – Eine beispielorientierte Einführung in die Anwendung der ProC/B-Tools
- 06004 Doris Blutner, Stephan Cramer, Tobias Haertel: Der Mensch in der Logistik: Planer, Operateur und Problemlöser
- 06005 Tobias Haertel: UsersAward: Ein Beitrag zur optimalen Gestaltung von Mensch-Maschine-Systemen in der Logistik
- 06006 Falko Bause, Tim Geißen, Anne Meinke, Veye Tatah, Marcus Völker: Performance Evaluation for Cost Calculation of Business Processes
- 06007 Peter Kemper, Carsten Tepper: Trace Analysis – Gain Insight through Modelchecking and Cycle Reduction
- 07001 Falko Bause, Tobias Hegmanns, Stefan Pietzarka, Veye Tatah, Markus Witthaut: Ergebnisbericht der Arbeitsgruppe Neues Problemverständnis: Ergänzung des Modellierungsparadigmas
- 07002 Arnd Bernsmann, Peter Buchholz, Stephan Kessler, Andreas Reinholz, Britta von Haaren, Markus Witthaut: Bewertungs- und Dimensionierungsmethoden im Sonderforschungsbereich 559
- 07003 Jochen Bernhard, Kay Hömberg, Lars Nagel, Iwo Riha, Christoph Schürmann, Harald Sieke, Marcus Völker: Standardisierte Modelle zur Systemlastbeschreibung

Alle Technical Reports können im Internet unter
<http://www.sfb559.uni-dortmund.de/>
abgerufen werden. Für eine Druckversion wenden Sie
sich bitte an die SFB-Geschäftsstelle
e-mail: andrea.grossecappenberg@iml.fraunhofer.de