

# Softwaregestützte, integrierte Produktionsterminierung und Transportplanung

## Vorgehensmodell und Ansätze zur Implementierung

Felix Zesch\*, Kati Brauer\*\*, Christian Schwede\*\*\*

\* 4flow AG, Bereich 4flow research, E-Mail: f.zesch@4flow.de

\*\* 4flow AG, Bereich 4flow research, E-Mail: k.brauer@4flow.de

\*\*\* Fraunhofer Institut für Materialfluss und Logistik, Abteilung Supply Chain Management, Email: Christian.Schwede@iml.fraunhofer.de

### Abstract

Die Integration von Produktionsterminierung und Transportplanung birgt ein großes Potenzial zur Erhöhung der Auslastung von Transporten, Reduktion von Fertigwarenbeständen und Einsparung von Logistikkosten. Bisher werden Produktions- oder Montageterminierung und Transportplanung organisatorisch, planerisch und softwaretechnisch isoliert betrachtet. Dies führt zu voneinander unabhängigen lokalen Optimierungen, die aus Sicht eines globalen Optimums vorhandene Potenziale nicht ausnutzen.

Das Projekt InTerTrans ([www.in-ter-trans.eu](http://www.in-ter-trans.eu)) untersucht Möglichkeiten der Integration von Produktionsterminierung und Transportplanung. Ziel des Projekts ist es, den transportbedingten CO<sub>2</sub>-Ausstoß durch eine erhöhte Auslastung der Transportmittel um 10% zu senken. Kern der Arbeit ist die Entwicklung eines die Transport- und Produktionsplanung unterstützenden Software-Prototypen, der auf den bereits bestehenden Programmen 4flow vista und OTD-NET basiert. 4flow vista ist eine von der 4flow AG entwickelte Standardsoftware zur Planung und Optimierung logistischer Netzwerke. OTD-NET ist ein vom Fraunhofer Institut für Materialfluss und Logistik entwickeltes Modellierungswerkzeug zur dynamischen Evaluierung von Kundenauftragsabwicklungsprozessen und Produktionsnetzwerken mittels ereignisdiskreter Simulation.

Der angestrebte Prototyp setzt 4flow vista zur Transportplanung auf taktischer und operativer Ebene und OTD-NET zur dynamischen Evaluierung der operativen Planungsergebnisse und zur Optimierung der Produktionsterminierung ein. Durch die Kopplung der beiden Werkzeuge sollen Produktionsterminierung und Transportplanung integriert geplant und die Potenziale dieses Ansatzes bewertet und nachgewiesen werden. Die praktische Evaluierung erfolgt in Zusammenarbeit mit der Volkswagen AG und der Schenker Deutschland AG.

Dieser Beitrag fasst bisherige Vorarbeiten zum Thema integrierte Produktionsterminierung und Transportplanung zusammen. Dabei werden sowohl ein

Vorgehensmodell als auch die auftretenden technischen Herausforderungen bei der Implementierung des Prototypen diskutiert. Insbesondere werden auszutauschende Daten und Möglichkeiten der Interaktion zwischen Produktionsterminierung und Transportplanung untersucht. Abschließend wird der derzeitige Arbeitsstand des Prototypen vorgestellt.

*Keywords: Produktionsterminierung, Transportplanung, Integrierte Planung, Simulation*

## **1 Einleitung**

Heute bestimmt in der Automobilindustrie die langfristige Transportgestaltung das Transportnetzwerk eines Herstellers für einen Zeitraum von ein bis zwei Jahren. Aufgrund der Dynamik des Umfeldes werden die einmal gewählten Strukturen und Prozesse rasch ineffizient. Im kurzfristigen Horizont bestimmt die Einplanung der Produktionsaufträge die notwendigen Transporte. Jedoch wird die Einplanung im Tages- bis Wochenhorizont ausschließlich von produktionsrelevanten Kriterien wie der Kapazitätsauslastung der Werke bestimmt und nicht für eine Optimierung der Transportprozesse genutzt.

Diesen Herausforderungen stellt sich das InTerTrans Konsortium, dem die Volkswagen AG, die Schenker AG, das Fraunhofer-Institut für Materialfluss und Logistik, die Technische Universität Wien und die 4flow AG als Konsortialführer angehören. Das Projekt wird durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie und die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft mbH im Rahmen der Initiative „Intelligente Logistik im Güter- und Warenverkehr“ gefördert.

Durch eine kontinuierliche Überplanung der Transportprozesse sowie die Erweiterung der Produktionsplanung um transportrelevante Kriterien sollen ohne signifikante Erhöhung der Gesamtkosten eine Auslastungserhöhung, weniger gefahrene Kilometer sowie die Verlagerung der Transporte auf Schiene und Wasserwege erreicht werden.

Bisher wurden Anforderungen an eine dynamisierte Transportplanung sowie eine logistikgerechte Produktionsplanung aufgenommen. Die Konzeption integrierter Planungsabläufe und die Entwicklung eines Vorgehensmodells stellen die Grundlage für die Entwicklung des unterstützenden Software-Werkzeugs dar, dessen Basis die Werkzeuge 4flow vista der 4flow AG sowie OTD-NET des Fraunhofer-Instituts für Materialfluss und Logistik bilden.

## **2 Stand der Wissenschaft und Technik**

Die Integration von Produktions- und Distributionsplanung ist seit längerer Zeit ein Thema im Supply Chain Management in verschiedenen Branchen. Zu unterscheiden sind dabei verschiedene Planungsebenen, von denen nicht alle im InTerTrans-Projekt betrachtet werden sollen. Auch wenn das InTerTrans-Projekt ausschließlich

die Automobilindustrie betrachtet, kann es vor allem vor dem Hintergrund der spärlichen Veröffentlichungen in der Kraftfahrzeugbranche zum Thema der integrierten Produktionsterminierung und Transportplanung hilfreich sein, Fortschritte in anderen Branchen zu erfassen.

## 2.1 Strategische Produktions- und Transportplanung

[ESV99] betrachten unter dem Stichwort „*integrated production/distribution planning*“ langfristige Entscheidungen bezüglich des Aufbaus des Logistiknetzwerks, vor allem die Standortplanung, ähnlich [Schi94]. Der Aufbau des Logistiknetzwerks wird im Rahmen des Projekts InTerTrans jedoch als gegeben hingenommen.

## 2.2 Taktische Produktions- und Transportplanung

[Chen04] klassifiziert integrierte Produktions- und Transport-Probleme auf taktischer Ebene. Die dort aufgeführten relevanten Arbeiten berücksichtigen jedoch nicht die Anforderungen der Reihenfolgeplanung an die Produktion und verfolgen nicht den Planungsansatz der Verteilung von herzustellenden Produkten mit gewissen Einbauraten auf bestimmte Zeiträume, wie er für die Erstellung von Wochenprogrammen nötig ist.

Rüstkosten werden in vielen bei [Chen04] berücksichtigten Modellen betrachtet; allerdings spielen sie in der Variantenfließfertigung eine untergeordnete Rolle, und sind somit für ein auf diese Industrie zugeschnittenes Modell vernachlässigbar.

In zahlreichen Branchen ist die Integration von Produktionsplanung und Transportplanung auf taktischer Ebene seit längerem ein Thema. [GJK+79] berichten über eine erfolgreiche Anwendung in der chemischen Industrie, [Chen04] gibt weitere Fallstudien an. Die Umsetzung auf taktischer Ebene in der Automobilindustrie scheint der Anzahl diesbezüglicher Publikationen nach zu urteilen noch nicht weit fortgeschritten.

## 2.3 Operative Produktions- und Transportplanung

Im Unterschied zur taktischen Ebene, auf der vorwiegend auf Basis von Prognosen geplant wird, arbeitet die operative Ebene auf Grundlage konkreter Aufträge. Hier ist die integrierte Produktionsreihenfolge- und Transportplanung angesiedelt.

Die Integration von Beschaffungslogistik und Produktion findet über Ansätze des „*Level Scheduling*“ statt, die einen gleichmäßigen Materialfluss als übergeordnetes Ziel setzt. Hierbei werden allerdings alle Restriktionen der Fertigung außer Acht gelassen. Hybride Ansätze streben daher nach einer Vereinigung des „*Level Scheduling*“ mit dem „*Car Sequencing*“ [BFS07].

[Chen08] gibt einen umfassenden Überblick über das „*Integrated Production and Outbound Distribution Scheduling*“-Problem (IPODS), in dem er die in der Literatur behandelten Probleme klassifiziert und deren Komplexität analysiert. Er erwähnt zwei Arbeiten, die modellhaft die Vorteilhaftigkeit einer integrierten Produktions-Distributions-Sequenzierung bestätigen. Beschaffungsaspekte werden dabei nicht

betrachtet. [SBD+08] geben einen Weg an, wie Anforderungen aus der Distributionslogistik (z.B. Termine, Kapazitäten, Lose) in der Produktionsplanung berücksichtigt werden können.

Die einzige den Autoren bekannte Veröffentlichung zur integrierten Reihenfolge- und Distributionsplanung in der Automobilindustrie ist [JLE07]. Anstelle eines sequenziellen verfolgt [JLE07] einen integrierten Ansatz, um die Produktionskosten eines Flaschenhalses in der Produktion und die Kosten der Distribution (Bestand, Lieferterminverletzung, Transport) zu minimieren. Sie vereinfachen das integrierte Problem durch eine speziellen Sequenzierungsregel und weisen Einsparungen gegenüber der sequenziellen Lösung von rund 7,5 % aus.

BMW gibt distributionsseitige Blockung als Anforderung an die Reihenfolgeplanung in der Produktion aus. Jedoch beschränkt sich diese auf Lkw-Ladungen für kleinere Märkte, so dass auf Grund des geringen Volumens keine Einschränkungen der Produktion und Beschaffung anzunehmen sind [Deck09].

## **2.4 Weiterer Forschungsbedarf**

Eine umfassende integrierte Betrachtung von Produktion, Beschaffung und Distribution auf operativer Ebene fehlt bislang in der Literatur. Insbesondere die Auswirkungen der Blockung von Aufträgen für gleiche Zielmärkte auf die Produktion und Beschaffung wurden bisher noch nicht wissenschaftlich untersucht. Da Fahrzeuge, die für den gleichen Markt bestimmt sind, oft ähnliche Eigenschaften ausweisen, kann die distributionsseitige Blockung zu Engpässen bei Lieferanten, im Lager und in der Produktion führen. Mit Hilfe des in InTerTrans entwickelten Prototypen soll es möglich werden, diese Wechselwirkungen zu untersuchen und zu bewerten.

Für die Integration von Transport- und Produktionsplanung werden nichtlineare Transportkosten, variierende Transportzeiten und die Berücksichtigung von Standard- und Notbelieferungswegen (z. B. Schiff/Flugzeug) sowie die Betrachtung stochastischer Nachfrage als besondere Herausforderungen genannt [SN99], [Chen04].

Neben Fortschritten in der Forschung ist vor allem der Transfer dieser Ergebnisse in die industrielle Praxis notwendig. Ein wesentlicher Erfolgsfaktor hierbei ist die Stabilität der geplanten Reihenfolge. Algorithmen der Reihenfolgeplanung müssen die in der Praxis vorkommende Störungen so behandeln, dass die geplanten Transporte davon möglichst wenig berührt werden.

## **3 Methodische Grundlagen**

[Gude05] stellt für die Planung und Optimierung von Systemen und Prozessen geeignete Lösungs- und Optimierungsverfahren gegenüber und nennt dabei die analytische Lösungskonstruktion und Modellrechnungen, die Lösungsfindung und Optimierung mit Hilfe von OR-Verfahren (Operations Research) und die Simulation

als wesentliche Methoden [Gude05, S. 125 ff.]. Seidel nimmt eine ähnliche Einteilung vor und identifiziert u.a. den statischen Szenariovergleich, die mathematische Optimierung und die dynamische Simulation als in der heutigen Logistikplanung weit verbreitete Methoden für die Gewinnung von Kosten- und Leistungskennzahlen zur Entscheidungsfindung [Seid08]. Diese Methoden werden im Folgenden kurz charakterisiert.

### **3.1 Analytische Lösungskonstruktion und Modellrechnungen**

Verfahren der analytischen Lösungskonstruktion und Modellrechnungen weisen einen starken Praxisbezug auf und werden oft mit Hilfe von Tabellenkalkulationsprogrammen oder unter Anwendung von Standardsoftware zur Logistikplanung (z.B. [4flo09-ol]) umgesetzt. Sie sind besonders geeignet, um mit geringem Aufwand möglichst rasch eine Lösung zu finden, deren Gesamtkosten deutlich niedriger sind als die Ist-Kosten. Aufgrund der Nachvollziehbarkeit der Einzelmaßnahmen und daraus resultierender Einsparungen haben sich diese Verfahren für die Optimierung der Unternehmenslogistik bewährt und in der Beratungspraxis etabliert [Gude07].

In einem ersten Schritt wird der strukturelle Aufbau eines betrachteten Systems in einem Modell erfasst, das die Elemente des Netzwerks als Knoten und Kanten abbildet, über die Güter fließen. Zudem lassen sich an Knoten und Kanten Restriktionen und Bewertungsfaktoren abbilden, die die Kapazität der Elemente beschränken oder die Auswertung von Kennzahlen erlauben. Die Materialflussrechnung eignet sich für die Bewertung alternativer Strukturen und Prozesse und die Ermittlung deren Auswirkungen auf Kosten, Durchlaufzeiten und Bestände [AF07].

Ein Beispiel für die analytische Lösungskonstruktion stellt der von [Seid08] beschriebene statische Szenariovergleich dar, dessen sich auch die Standardsoftware 4flow vista bedient. In der Anwendung erfolgt zunächst die Abbildung und Bewertung des Status-Quo-Netzwerks. Unter Ausnutzung der Erfahrungen des Logistikplaners oder mit Hilfe von mathematischen Optimierungsverfahren (vgl. Abschnitt 3.3) werden auf dem Status-Quo-Netzwerk aufbauend alternative Szenarien erzeugt, berechnet, mit-einander verglichen und so Verbesserungspotenziale identifiziert.

Der hier beschriebene Szenariovergleich stellt eine statische, deterministische Sichtweise logistischer Systeme dar und abstrahiert von dynamischen und stochastischen Einflüssen. Die Evaluierung des Systemverhaltens von Produktions- und Logistiknetzwerken erfordert die Bewertung dieser Einflüsse und kann mit Hilfe der im folgenden Abschnitt vorgestellten dynamischen Simulation erfolgen.

### **3.2 Simulation**

Die Simulation wird insbesondere dann eingesetzt, wenn mehrere nebenläufige und sich beeinflussende Prozesse bewertet werden sollen, Mengen- und Terminunsicherheiten auftreten und eine Vielzahl von Parametern zu berücksichtigen sind [Schm05]. Die Auswertung von Zustandsfolgen im Zeitverlauf stellt den

methodischen Vorteil der Simulation dar, weil auf diese Weise komplexe Sachzusammenhänge abgebildet werden können, bei denen die oben beschriebenen analytischen Methoden an ihre Grenzen stoßen [KW08].

Die Vorgehensweise bei der Durchführung einer Simulationsstudie ist in der VDI-Richtlinie 3633 dokumentiert. Nach der Problemanalyse und Zielformulierung erfolgt der Aufbau der Datenbasis. Im weiteren Verlauf wird ein experimentierfähiges Modell erstellt, das nach dem Simulationslauf analysiert wird. Mehrere Iterationsschritte sollen die Validität des Modells sicherstellen und die Ergebnisqualität erhöhen [vgl. VDI00].

Ein Beispiel für Simulation als Planungsunterstützung in der Logistik ist die von [Wage07] beschriebene Modellierungsmethode zur Auftragsabwicklung in der Automobilindustrie, die in dem Software-Werkzeug OTD-NET umgesetzt wurde. OTD-NET wurde vom Fraunhofer-Institut für Materialfluss und Logistik in enger Zusammenarbeit mit der Automobilindustrie entwickelt und wird für die Gestaltung, Planung und Optimierung logistischer Netzwerke und Prozesse eingesetzt. [OTD09-ol].

Im Gegensatz zur im nächsten Kapitel beschriebenen mathematischen Optimierung, die für ein logistisches Problem eine Lösung generiert, dient die Simulation zur Überprüfung der Leistungsfähigkeit und der experimentellen Verbesserung einer bereits existierenden Lösung [Gude05].

### **3.3 Lösungsfindung und Optimierung mit OR-Verfahren**

Optimierungsmethoden des Operations Research finden bei der Lösung komplexer Entscheidungsprobleme Anwendung. Im Gegensatz zu analytischen Methoden und der ereignisdiskreten Simulation, die vorwiegend zur Bewertung von Lösungsalternativen eingesetzt werden, handelt es sich bei der mathematischen Optimierung um eine Methode, die mit bekannten Auswahlverfahren des Operations Research (z.B. Branch and Bound, Simplex) oder Heuristiken aus dem Lösungsraum eines definierten Problems mit einer vorgegebenen Zielfunktion systematisch die optimale oder eine annähernd optimale Lösung sucht [Gude05, S. 125].

Als ein Beispiel sei an dieser Stelle das klassische Transportproblem genannt, welches das Ziel hat für die zu transportierenden Mengen zwischen vorgegebene Angebots- und Nachfragestandorten einen kostenoptimalen Transportplan zu finden [DD07, S. 82]. In seiner einfachsten Form kann dieses Problem als lineares Programm modelliert und mit Hilfe des Simplex-Verfahrens optimal gelöst werden.

Reale Probleme sind allerdings meist zu komplex um sie exakt in vertretbarer Zeit lösen zu können. Hier werden häufig heuristische Lösungsmethoden angewendet, die eine möglichst optimale Lösung in akzeptabler Zeit finden. Ein Indiz dafür, dass eine Problemklasse für reale (i.d.R. große) Instanzen nicht exakt gelöst werden kann, ist die NP-Härte einer Problemklasse. Für die Tourenplanung wurde dies von [BWW06] gezeigt, für die Sequenzierung von Fertigungsaufträgen („*Car Sequencing Problem*“) von [Gent98] und [Kis04].

Da sich die Verfahren der analytischen Lösungskonstruktion, der mathematischen Optimierung und der dynamischen Simulation nicht ausschließen, sondern sich gegenseitig ergänzen [Gude05], stellen sie den Methodenpool dar, aus dem die integrierte Produktionsplanung und Transportplanung schöpfen kann.

In Kapitel 4 werden nun die hier beschriebenen Methoden den im Vorgehensmodell identifizierten Planungsaufgaben zugeordnet. Kapitel 5 geht anschließend auf die prototypische Realisierung ein.

## 4 Vorgehensmodell der integrierten Produktions-terminierung und Transportplanung

### 4.1 Übersicht

Auf Basis aktueller Planungsprozesse und der Ziele des InTerTrans-Projekts wurden von [HPW+09] Anforderungen und Restriktionen für die Produktionsplanung und Transportplanung abgeleitet. Der daraus resultierende Soll-Prozess ist in Abbildung 1 skizziert.

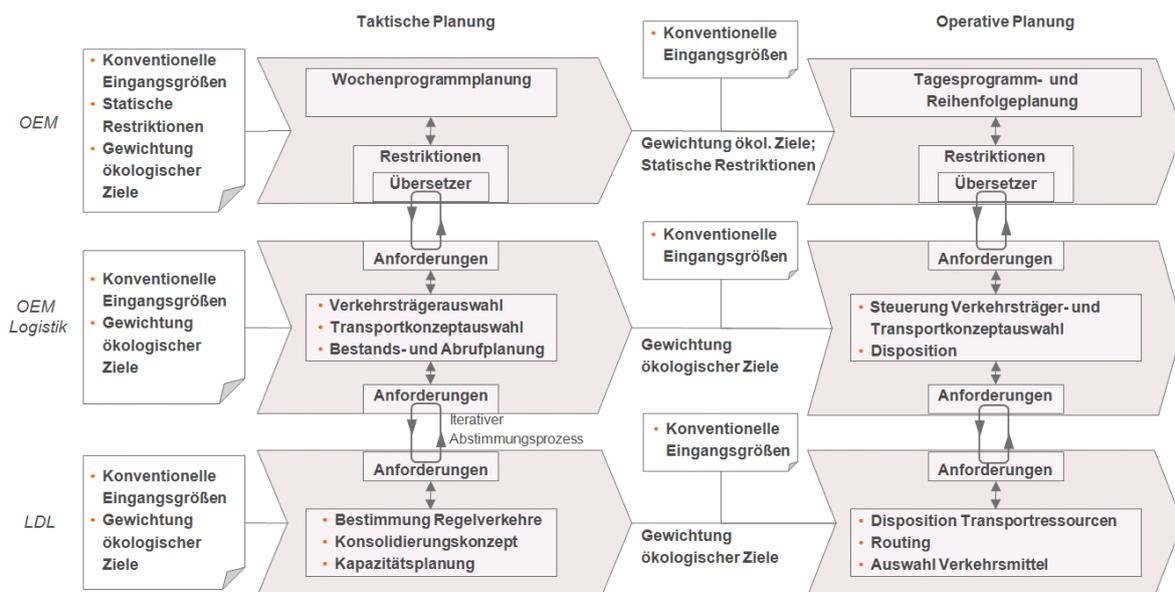


Abbildung 1: Übersicht über den integrierten Planungsprozess, vgl. [HPW+09], S. 10.

Die an der Planung beteiligten Organisationseinheiten, OEM-Produktionsplanung, OEM-Logistikplanung und Logistikdienstleister führen jeweils eine lokale Optimierung innerhalb ihrer Verantwortungsbereiche durch. Eine Abstimmung der Planung erfolgt durch Kommunikationsprozesse und den Austausch von Planungsdaten.

Eine vollständig integrierte Lösung von Produktionsplanung und Transportplanung, wie sie modellhaft in der in Kapitel 2 besprochenen Literatur vorgeschlagen wird, ist auf Grund der Komplexität der einzelnen Planungsprobleme und der mangelnden Bereitschaft, sämtliche relevanten Daten organisationsübergreifend zugänglich zu machen, nicht realisierbar [HPW+09].

Auf der Zeitachse sind taktische und operative Planungsprozesse dargestellt, die auf der unterschiedlichen Informationsverfügbarkeit in den Planungshorizonten und den Handlungsspielräumen im Zeitablauf basieren. Während im taktischen Bereich die Planung auf Prognosedaten basiert, sind Auftragsdaten die Eingangsgröße für die operative Planung. Durch die gemeinsame Betrachtung beider Ebenen können sowohl Effizienzpotenziale im Mittelfristbereich gehoben als auch Verbesserungen im Kurzfristbereich erzielt werden.

In den folgenden Abschnitten werden die einzelnen Planungsprozesse mit ihren Hauptaufgaben erläutert. Der Fokus liegt dabei auf den Planungsprozessen beim OEM (Original Equipment Manufacturer, Automobilhersteller). In einem nächsten Schritt werden dann den einzelnen Planungsaufgaben geeignete Methoden zugeordnet. Diese Zuordnung stellt die Basis für die Identifikation von Anforderungen an einen die Planung unterstützenden Prototypen dar.

## **4.2 Logistkorientierte Programmplanung**

Die im Rahmen des Auftragsmanagements in der Programmplanung einzuplanenden Aufträge sind vollständig spezifizierte Fahrzeuge, aus denen sich ein Materialbedarf ableiten lässt. Gemäß der vom Besteller gewünschten Fertigstellungswoche und den Vorgaben aus der Absatzplanung und Variantenplanung werden die einzelnen Aufträge einer Fertigungswoche zugeordnet und in einem Wochenprogramm freigegeben [Baye03]. Die eingeplanten Aufträge setzen sich aus Aufträgen von Endkunden und prognostizierten Aufträgen zusammen, da zum Zeitpunkt der Wochenprogrammplanung noch nicht alle Fahrzeuge final mit Endkundenaufträgen hinterlegt sind.

Die Hauptaufgabe der Programmplanung ist die Aufteilung vorliegender und prognostizierter Aufträge in Wochenprogramme. Dabei sollen die Kapazitäten möglichst hoch und gleichmäßig ausgelastet werden [Wage07, S. 9]. Ziel ist die Bereitstellung einer ausreichenden Auftragsmasse pro Woche, so dass auf Tagesebene Sequenzen erzeugt werden können, die die Restriktionen der Produktion und gleichzeitig Transportlose einhalten können.

Die logistikorientierte Programmplanung stellt eine Erweiterung der konventionellen Programmplanung dar, wie sie zum Beispiel von [Boys05] beschrieben wird. Zusätzlich zu den dort betrachteten Anforderungen

- Minimierung der Kosten durch Abweichung zwischen Liefer- und Produktionstermin
- Beachtung von Anforderungen aus der Reihenfolgeplanung und
- Ermöglichung von Just-in-Time-Lieferung durch stetigen Materialfluss

werden in der logistikorientierten Programmplanung Anforderungen aus dem Logistiknetzwerk berücksichtigt, ohne das Primat der Produktion in Frage zu stellen.

Diese Anforderungen beinhalten:

- Berücksichtigung der Logistiklosgrößen für Beschaffung und Distribution bereits in der Wochenprogrammplanung, um Transportkosten zu senken und

- Bündelung von Aufträgen, um die Verlagerung von Transporten auf Schiene und Schiff zu ermöglichen.

Neben den konventionellen Eingangsgrößen ist dafür eine Abbildung relevanter Merkmale des Transportnetzwerks nötig, die als weitere Eingangsgröße in die Programmplanung eingehen.

Die logistikorientierte Programmplanung findet bei Vorliegen neuer Informationen, zum Beispiel jeden Monat, statt. Grundlage ist das optimierte Transportnetzwerk der vorherigen Iteration.

Als Lösungsmethoden kommen bei der Programmplanung vor allem Verfahren der analytischen Lösungskonstruktion und der mathematischen Optimierung zum Einsatz.

### 4.3 Taktische Transportplanung

Wesentliche Eingangsdaten für die taktische Transportplanung sind die Daten der Produktionsprogrammplanung und daraus abgeleitete Materialbedarfe bei den Lieferanten. Aus diesen Daten kann ein Mengengerüst bzw. Lastprofil für das Transportnetzwerk erstellt werden, welches im folgenden Schritt mit dem bisherigen Netzwerk abgeglichen wird. Für unterausgelastete oder überlastete Relationen sind Anpassungen im Netzwerk nötig. Aufgrund der Komplexität der Planungsaufgabe empfiehlt sich für die Bearbeitung dieser Aufgabe die Nutzung entsprechender Software. Im weiteren Verlauf wird die Machbarkeit und Wirtschaftlichkeit der Änderungsvorschläge bewertet. Hierbei erfolgt ein Abstimmungsprozess mit dem Logistikdienstleister, der beispielsweise zurückmeldet, ob er zusätzliches Volumen aufnehmen kann oder ob eine Trasse noch verfügbar ist. Wurde eine machbare und lohnenswerte Alternative identifiziert, wird die Änderung intern und extern kommuniziert. An die Produktionsplanung werden neue Logistikanforderungen mitgeteilt (z.B. bei Wechsel des Transportkonzepts oder Verkehrsmittels, Etablierung eines neuen Milkruns).

Die Hauptaufgaben der taktischen Transportplanung sind in Tabelle 1 dargestellt.

Tabelle 1: Aufgaben der taktischen Transportplanung

Phase	Aufgabe
Initialer Netzwerkaufbau	- Aufbau und Abbildung des Status-Quo-Netzwerks
Übernahme von Planungsergebnissen	- Übernahme von Daten aus der Produktionsprogrammplanung (ggf. Stücklistenauflösung u. Berechnung von Materialbedarfen) - Durchschnittswerte
Netzwerkanalyse	- Erstellung eines Lastprofils für das Status-Quo-Netzwerk - Durchsatz und Kostenanalyse - Identifikation von Schwachstellen
Taktische Netzwerkoptimierung	- Verkehrsträgerauswahl

	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Transportkonzeptwahl</li> <li>- Milkrun-Bildung</li> <li>- Tarifoptimierung</li> </ul>
Weitergabe von Planungsergebnissen	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Abstimmung von Änderungen am Transportnetzwerk mit LDL (Logistikdienstleister)</li> <li>- Rückmeldung aktueller Logistikanforderungen an die Produktionsprogrammplanung</li> </ul>

In der taktischen Transportplanung kommt vor allem die analytische Lösungskonstruktion als Lösungsmethode zum Einsatz. Für viele Aufgaben wie z.B. die Transportkonzeptwahl oder Milkrun-Bildung ergänzt sich dabei menschliches Urteilsvermögen sehr gut mit computergestützten Heuristiken.

#### 4.4 Logistikatorientierte Reihenfolgeplanung

Basierend auf Auftragsmengen pro Woche aus der taktischen Programmplanung und den Ergebnissen der taktischen Transportplanung beginnt die Sequenzierung im operativen Bereich mit dem Zeitpunkt, an dem für einen bestimmten Tag die konkreten Aufträge feststehen [Wolf95]. Das Ziel der Reihenfolgeplanung ist es einerseits Anforderungen aus Transport- und Produktionsplanung gleichermaßen zu berücksichtigen und andererseits die erstellte Reihenfolge möglichst stabil gegenüber Änderungen zu halten, um die Grundlage für die operative Transportplanung zu erhalten.

Der Optimierungsalgorithmus, der hierzu entwickelt wird, hat zwei Besonderheiten. Er wird als Online-Optimierung umgesetzt und sukzessive bei Änderungen der Auftragsmasse und voranschreitend in der Zeit für mehrere Wochen im Voraus aufgerufen. Der Zeithorizont wird hierbei durch die Vorlaufzeit des Vorliegens konkreter Aufträge bestimmt. Durch diese iterative Überplanung unter Berücksichtigung zukünftiger Veränderungen wird das zweite Kriterium erfüllt, die Auftragsreihenfolge gegenüber der Transportplanung möglichst stabil zu halten. Außerdem wird der Optimierungsalgorithmus in eine Online-Supply-Chain-Simulation integriert um die Möglichkeit zu erhalten, die Ergebnisse dynamisch und im Netzwerkkontext zu bewerten. Online-Simulation bezieht sich hierbei auf eine zur operativen Planung synchron mitlaufende Simulation, die bei neuen Informationen direkt angepasst wird.

Die Anforderungen von Transport- und Produktionsplanung werden in zweierlei Hinsicht aufgenommen. Im Algorithmus passen spezielle Operatoren zur Blockung und Glättung von Aufträgen die Produktionsreihenfolge an. Die Zielfunktion zur Bewertung der Produktionsreihenfolgen beinhaltet sowohl logistische als auch produktionsbezogene Parameter.

## 4.5 Operative Transportplanung

Die operative Planung basiert zum einen auf den im taktischen Planungsschritt ermittelten Transportkonzepten und hat zum anderen aktuelle Lieferabrufe und Produktionssequenzen als Input. Bevor die Lieferabrufe an die Lieferanten kommuniziert werden, erfolgt eine Modellrechnung für das Transportnetzwerk, um festzustellen, ob die Transportmittel gut ausgelastet sind. Unterauslastungen werden an die Produktionsplanung zurückgemeldet, die in einem erneuten Durchlauf versucht diese Potenziale durch eine logistikorientierte Sequenzierung zu heben.

Nachdem von der Produktionsplanung auf Basis der als am besten geeigneten Sequenz Lieferabrufe an die Lieferanten generiert wurden, ist es die Aufgabe der operativen Transportplanung, Versandinformationen an Lieferant und Spediteur zu übermitteln. Der Spediteur kann diese Vorabinformationen für die Einsatzplanung der eigenen Verkehrsmittel und die Beauftragung von externen Frachtführern nutzen.

Die Hauptaufgaben der operativen Transportplanung sind in Tabelle 2 dargestellt:

Tabelle 2: Aufgaben der operativen Transportplanung

Phase	Aufgabe
Übernahme von Planungsergebnissen	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Übernahme von Daten aus der Reihenfolgeplanung (ggf. Stücklistenauflösung und Vorausberechnung von Materialbedarfen)</li> <li>- Tagesbedarfe/Lieferabrufe</li> <li>- Laufende Aktualisierung des Netzwerks nach Maßnahmen der taktischen Transportplanung</li> </ul>
Netzwerkanalyse	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Erstellung eines Lastprofils für das Status-Quo-Netzwerk</li> <li>- Durchsatz und Kostenanalyse</li> <li>- Reale Routenauslastung</li> </ul>
Operative Netzwerkoptimierung	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Frequenzoptimierung</li> <li>- Optimierung in der taktisch festgelegten Struktur (Routing anpassen)</li> <li>- Dynamische Milkrun-Bildung</li> <li>- Bildung von Komplettladungen</li> </ul>
Weitergabe von Planungsergebnissen	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Weitergabe operativer Routen und Transportaufträge an LDL</li> <li>- Rückmeldung aktueller Logistikanforderungen an die Reihenfolgeplanung</li> </ul>

Die angewandten Lösungsmethoden ähneln den der Transportplanung auf taktischer Ebene. Die Laufzeitbeschränkungen für Optimierungen aufgrund des engen Zeithorizonts im operativen Geschäft stellen eine wichtige Nebenbedingung dar.

## 5 Prototypische Umsetzung

### 5.1 Anforderungen an den unterstützenden Prototypen

Auf Grund der bereits herausgestellten Komplexität der Planungsaufgaben, ist eine Softwareunterstützung unabdingbar. Das Vorgehensmodell zeigt, dass die zu entwickelnden IT-Werkzeuge zum einen auf taktischer Ebene auf Basis von prognostizierten Durchschnittswerten und zum anderen auf operativer Ebene auf Basis konkreter Aufträge arbeiten sollen. Detaillierte Anforderungen an den Prototypen ergeben sich aus den im Vorgehensmodell in Kapitel 4 definierten Teilaufgaben.

### 5.2 Verwendete Software

Da, wie im Kapitel 2 gezeigt, das Thema „Integrierte Produktionsterminierung und Transportplanung“ noch nicht umfassend untersucht ist, ist nicht zu erwarten, dass bereits eine vollständige Abbildung der Praxisprobleme in IT-Lösungen stattgefunden hat.

Es fällt schwer, einen Marktüberblick über geeignete Softwaresysteme zur Logistikplanung zu erhalten, der sowohl umfassend als auch realitätsnah ist. Dies hat vor allem zwei Gründe:

1. Die Veröffentlichungen von Unternehmen über den Leistungsumfang ihrer IT-Werkzeuge entsprechen nicht immer in vollem Umfang dem tatsächlich Möglichen, sondern sind zu Werbezwecken an manchen Stellen übertrieben oder ungenau.
2. Viele IT-Werkzeuge sind bisher nicht in wissenschaftlichen Veröffentlichungen beschrieben worden, die zumindest einen gewissen Qualitätsstandard garantieren.

Im Rahmen des InTerTrans-Projekts werden die IT-Werkzeuge 4flow vista und OTD-NET verwendet und weiter entwickelt, da sie innerhalb des InTerTrans-Forschungskonsortiums kostenlos verfügbar sind und die Autoren zudem bereits früher gute Erfahrungen mit diesen Werkzeugen gesammelt haben.<sup>1</sup>

Tabelle 2: Bezug zu Wissenschaft und Praxis von 4flow vista und OTD-NET

Kriterium	4flow vista	OTD-NET
Unternehmen, bei denen die Software eingesetzt wurde bzw. wird.	u.a. Magna Steyr, BMW, Lanxess	u.a. Volkswagen, Audi, Daimler, BMW, BLG

Sie werden im Folgenden kurz vorgestellt.

<sup>1</sup> Im ILIPT-Projekt, dessen Ergebnisse in [PG08] dokumentiert sind, wurden 4flow vista und OTD-NET bereits zusammen eingesetzt.

### 5.2.1 4flow vista

4flow vista ist eine Standardsoftware der 4flow AG zur Logistikplanung. Besonders geeignet ist sie für die lang- und mittelfristige Planung von Logistiknetzwerken auf Grundlage von Durchschnittswerten. 4flow vista vereint Methoden der analytischen Lösungskonstruktion und Modellrechnung mit der mathematischen Optimierung.

In der aktuellen Version 3.6, die Grundlage für die Entwicklung des InTerTrans-Prototypen ist, verfügt 4flow vista unter anderem über folgende, für das Projekt relevante Funktionen:

- Einstufige Milkrun-Optimierung inbound und outbound: Gruppierung geeigneter Standorte zu Milkruns (sowohl distributions- als auch beschaffungsseitig)
- Auswahl der günstigsten Tarife und Verkehrsträger für Rahmentouren in einem Logistiknetzwerk
- Darstellung von intermodalem Verkehr

### 5.2.2 OTD-NET

OTD-Net wurde vom Fraunhofer IML zur Darstellung der Abwicklung des Kundenauftragsprozesses (KAP) entwickelt. Es ist ein ereignisdiskreter Simulator, mit dem der gesamte KAP von globalen Netzwerken der diskreten Fertigung auf Basis einzelner Aufträge, Produkte und Teile dynamisch untersucht werden kann.

In der aktuellen Version, die Grundlage für die Entwicklung des InTerTrans-Prototypen ist, verfügt OTD-NET unter anderem über folgende, für das Projekt relevante Funktionen:

- Simulation von Auftragsdurchläufen durch mehrstufige Produktionsnetzwerke (Kunde-zu-Kunde Prozess)
- Abbildung verschiedener Transportkonzepte (Direktrelation, JIT/JIS, Milkrun, Auf Abruf/Fahrplanbasiert)
- Abbildung verschiedener Zulieferstrategien
- Abbildung von Planungsprozessen der Produktion (Perlenkette, Rückwärtsterminierung, Pulkung)
- Abbildung von Störungen (Produktionsstörungen, Staus,...)
- Auswertung der generierten Durchläufe anhand logistischer Kennzahlen (Durchlaufzeiten, Termintreue, Auslastungen, Bestände, Kapitalbindungskosten, Liefertreue)

## 5.3 Lösungskonzept

Bei der Skizzierung des Vorgehensmodells in Kapitel 4 wurde bereits ausgeführt, dass eine vollständige Integration der Planungsdomänen auf Grund der Komplexität der Planungsaufgabe und Sensibilität der Daten in der Praxis nicht realisierbar ist. Der angestrebte Prototyp ist daher aus einzelnen Teilanwendungen aufgebaut, die die speziellen Bedürfnisse der einzelnen Planungsdomänen abdecken (Abbildung 2).

Für jede der im Vorgehensmodell dargestellten Planungsaufgaben ist ein eigenes Werkzeug geplant:

Tabelle 3: Zuordnung von Planungsaufgaben und Prototypenteil

Planungsaufgabe	Name des Werkzeugs
Logistikorientierte Programmplanung	WEEKOPT
Taktische Transportplanung	NETOPT
Logistikorientierte Reihenfolgeplanung	TEROPT
Operative Transportplanung	TRANSOPT

Die Abstimmung der Pläne erfolgt über standardisierte Schnittstellen. Innerhalb der Produktions- bzw. Transportplanung sollte eine enge Verknüpfung der Werkzeuge WEEKOPT und TEROPT bzw. NETOPT und TRANSOPT erfolgen, da eine große Menge an Daten auszutauschen ist und die Konsistenz der Planung im Zeitablauf sichergestellt werden muss.

Die Abstimmung zwischen der Transportplanung des OEM und der des LDL sollte ebenfalls standardisiert erfolgen. Da ein OEM mehrere LDL beschäftigt, die unterschiedliche, nicht standardisierte Planungswerkzeuge verwenden, ist eine Kopplung über eine gemeinsame Schnittstelle nicht realisierbar. Denkbar wäre eine webbasierte Bereitstellung der Netzwerkdaten und Optimierungsmaßnahmen, wobei dem LDL jeweils Zugriff auf die von ihm verantworteten Relationen gewährt wird. Im operativen Bereich werden Vorschläge für den Disponenten erstellt, der diese nach Freigabe an die LDL kommuniziert.

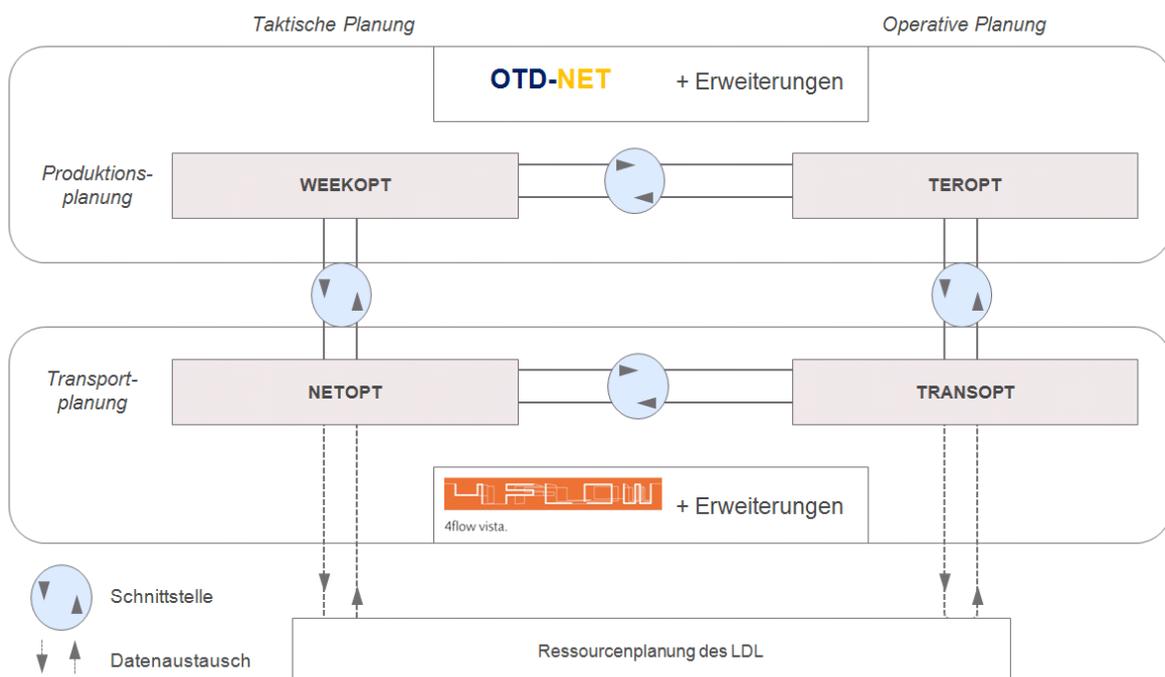


Abbildung 2: Lösungskonzept des Prototypen

## 5.4 Herausforderungen bei der Umsetzung

### 5.4.1 Iteration zwischen Programmplanung und taktische Transportplanung

Die Programmplanung findet bei Automobilherstellern in fest definierten Abständen zu einem bestimmten Regeltermin statt. Programmplanung und taktische Transportplanung werden von unterschiedlichen Abteilungen und teilweise Unternehmen durchgeführt. Dies hat zur Folge, dass Daten nicht allen Beteiligten zugänglich sind und Verhandlungen erfolgen müssen. Vor diesem Hintergrund erscheint eine vollständig integrierte Lösung in der Praxis nicht realisierbar. Eine Alternative zur vollständigen Integration ist die Aufspaltung des Problems und eine Iteration zwischen den Teilproblemen Transportplanung und Programmplanung:

Bei der ersten Iteration zum Regeltermin verwendet die logistikorientierte Programmplanung das Transportnetzwerk der Vorperiode als Grundlage für die Erstellung von Wochenprogrammen.

Nachdem die so entstandenen Wochenprogramme als Eingangsgröße von der taktischen Transportplanung zur Optimierung des Transportnetzwerks verwendet wurden, wird das so entstandene Transportnetzwerk an die Programmplanung zurückgespielt. Das neue Netzwerk dient nun wiederum als Eingangsgröße für die Programmplanung.

Erfolgskritisch ist die Stabilität der der erzielten Lösung in Bezug auf das Transportnetzwerk und die ermittelten Wochenprogramme. Es kann vorkommen, dass diese durch die Kommunikation zwischen den verschiedenen Optimierungen nicht konvergiert. Daher ist ein Abbruchkriterium notwendig, das die Anzahl  $n$  der Iterationen begrenzt. Dies lautet:

Brich ab wenn eine der beiden Bedingungen erfolgt ist:

1. Das Transportnetzwerk der Iteration  $n-1$  ist identisch mit dem Transportnetzwerk der Iteration  $n$  der taktischen Transportplanung.
2. Die Anzahl der Iterationen  $n$  übersteigt eine vorher festgelegte Konstante  $M$ .

Falls Bedingung 2 erfüllt wird, wird anschließend aus allen  $M$  bisher gefundenen Lösung die nach Summe der Kosten von Produktion und Transport günstigste ausgewählt.

Dieses Vorgehen ist eine Heuristik und stellt keine optimale Lösung sicher. Die Flexibilität des Vorgehens und die mögliche modulare Gestaltung der zugehörigen Softwarelösung mit Schnittstellen zu anderen Programmen lässt jedoch den Transfer in die Praxis – das ultimative Ziel jeder angewandten Forschung – als zügig machbar erscheinen.

### 5.4.2 Schnittstellen zwischen den einzelnen Prototyp-Komponenten

Eine besondere Herausforderung bei der Integration liegt in den verschiedenen Paradigmen begründet, die 4flow vista (und damit NETOPT und TRANSOPT) und OTD-NET (und damit WEEKOPT und TEROPT) zu Grunde liegen. Während in 4flow

vista auf Basis von Durchschnittswerten Szenarien erstellt und verglichen werden, basiert OTD-NET auf ereignisdiskreter Simulation.

4flow vista implementiert ein deterministisches Weltbild, das den Zufall bei der Planung nicht berücksichtigt. Dies hat zur Folge, dass zwei gleiche, aufeinander folgende Berechnungen das gleiche Ergebnis haben.

OTD-NET implementiert ein indeterministisches Weltbild, das den Zufall in die Berechnung einschließt, und kann mit Verteilungen von Zufallsgrößen arbeiten. Zwei aufeinander folgende Simulationsläufe kommen dann fast nie zu demselben Ergebnis.

Aus diesen grundverschiedenen, sich jedoch nach [Seid08] sehr gut ergänzenden Ansätzen, folgen unterschiedliche Anforderungen an die zu Grunde liegenden Datenmodelle. Ein in 4flow vista vollständig definiertes Netzwerk enthält nicht alle in OTD-NET für ein vollständiges Netzwerk zu definierenden Parameter und andersherum. Dies führt zu Herausforderungen bei der Definition von Schnittstellen.

Der Lösungsansatz besteht darin, keine vollständigen Netzwerke zwischen den IT-Werkzeugen zu übertragen, sondern nur die für die jeweilige Planungsaufgabe relevanten Ausschnitte.

## **6 Zusammenfassung**

Ziel dieses Beitrags war es, einen Überblick über den Stand der Technik in der integrierten Produktionsterminierung und Transportplanung bereitzustellen. Aus den praktischen Anforderungen der beteiligten Organisationseinheiten wurde ein Vorgehensmodell für die integrierte Planung erarbeitet.

Ein darauf aufbauender Lösungsansatz für die Softwareunterstützung umfasst vier Werkzeuge, welche auf taktischer und operativer Ebene die Prozesse der Produktions- und Transportplanung unterstützen. Die Basis für die Umsetzung dieses Lösungsansatzes stellen die anwendungserprobten Softwarewerkzeuge OTD-NET und 4flow vista dar, welche die Methoden der ereignisdiskreten Simulation, der statischen Szenarioberechnung und mathematischen Optimierung in sich vereinen.

Herausforderungen bei der Implementierung stellen neben der Entwicklung der Einzelalgorithmen die Schnittstellen zwischen den Werkzeugen und deren iteratives Zusammenspiel dar. Auf Grund der Fülle an Funktionen einerseits und der beabsichtigten Anwendung in der industriellen Praxis ist zudem die Effizienz des Prototypen von großer Bedeutung für den Erfolg des Forschungsvorhabens.

## 7 Literatur

- [4flo09-ol] Internetpräsenz 4flow vista, Online-Quelle, <http://www.4flow.de/logistikberatung/4flow-vista>, Abruf 30.01.09.
- [AK07] Arnold, D.; Furmans, K.: Materialfluss in Logistiksystemen, 5., erw. Aufl., Berlin 2007.
- [BFS07] Boysen, N.; Fliedner, M.; Scholl, A. (2007): Sequencing mixed-model assembly lines: Survey, classification and model critique. In: European Journal of Operational Research, Jg. 192, H. 2, S. 349–373.
- [BWW06] Bankhofer, U.; Wilhelm, M.; Williner, G.: Modelle und Methoden der Tourenplanung. In: Ilmenauer Beiträge zur Wirtschaftsinformatik, H. 5., 2006.
- [Baye03] Bayer, Johann (2003): Simulation in der Automobilproduktion. Berlin: Springer (Engineering online library).
- [Boys05] Boysen, Nils (2005): Variantenfließfertigung. 1. Aufl. Wiesbaden: Dt. Univ.-Verl. (Betriebswirtschaftliche Forschung zur Unternehmensführung, 49).
- [Chen04] Chen, Z. L. (2004): Integrated Production and Distribution Operations: Taxonomy, Models, and Review. In: Simchi-Levi, D.; Wu, S. D.; Shen, Z. J. (Hg.): Handbook of quantitative supply chain analysis: modeling in the e-business era: Kluwer, S. 711–746.
- [Chen08] Chen, Z. L. (2008): Integrated Production and Outbound Distribution Scheduling: Review and Extensions. Online verfügbar unter <https://ssme.rhsmith.umd.edu/faculty/zchen/papers/chen-IPODS-OR-mainbody.pdf>, zuletzt geprüft am 02.10.2008.
- [DD07] Domschke, W.; Drexl, A.: Einführung in Operations Research, 7., überarb. Aufl., Berlin, 2007.
- [Deck09] Decker, Franz (27.01.2009): Build for Distribution. Chancen und Risiken bei der Berücksichtigung von Distributionsansforderungen in der Produktionsplanung. Veranstaltung vom 27.01.2009. Wolfsburg. Veranstalter: Bundesvereinigung Logistik.
- [ESV99] Erengüç, S. S.; Simpson, N. C.; Vakharia, A. J. (1999): Integrated production/distribution planning in supply chains: An invited review. In: European Journal of Operational Research, Jg. 115, H. 2, S. 219–236.
- [Gent98] Gent, I. P.: Two results on car-sequencing problems. In: Report University of Strathclyde, APES-02-98, Jg. 7.
- [GJK+79] Glover, F.; Jones, G.; Karney, D.; Klingman, D.; Mote, J. (1979): An Integrated Production, Distribution, and Inventory Planning System". In: Interfaces, H. 9, S. 21–35.
- [Gude05] Gudehus, T.: Logistik. Grundlagen, Strategien, Anwendungen. 3. Aufl., Berlin, 2005.
- [HPW+09] Hermes, A.; Preuss, M.; Wagenitz, A.; Hellingrath, B.: Integrierte Produktions- und Transportplanung in der Automobilindustrie zur

- Steigerung der ökologischen Effizienz, Magdeburger Logistiktagung, 2009.
- [JLE07] Jin, M.; Luo, Y.; Eksioglu, S. D. (2007): Integration of production sequencing and outbound logistics in the automotive industry. In: International Journal of Production Economics.
- [Kis04] Kis, T.: On the complexity of the car sequencing problem. In: Operations Research Letters, Jg. 32, H. 4, S. 331–335.
- [KW08] Kuhn, A.; Wenzel, S: Simulation Logistischer Systeme. In: Arnold, D.; Kuhn, A.; Furmans, K.; Isermann, H.; Tempelmeier, H.: Handbuch Logistik. 3. Aufl., Berlin, 2008, S. 73-94.
- [OTD09-ol] Internetpräsenz OTD-NET, Online Quelle, <http://www.otd-net.de/index.php?id=18&L=0>, Abruf 30.01.09.
- [PG08] Parry, Glenn; Graves, Andrew (2008): Built To Order. The Road to the 5 Day Car. 1. Ed. Guildford, Surrey: Springer London.
- [SBD+08] Scholz-Reiter, B.; Böse, F.; Dizdar, C.; Windt, K. (2008): Transportorientierte Reihenfolgeplanung. Verbesserte Abstimmung zwischen Produktion und Distribution. In: PPS Management, Jg. 13, H. 4, S. 15–17.
- [Schi94] Schildt, B. (1994): Strategische Produktions- und Distributionsplanung. Betriebliche Standortoptimierung bei degressiv verlaufenden Produktionskosten. Dissertation. Betreut von W. Domschke. Darmstadt. Technische Hochschule.
- [Schm05] Schmitz, M.: Modellierung und Simulation von Gebietsspediteurnetzen in der Automobilindustrie, Dortmund, 2005.
- [Seid08] Seidel, T.: Rapid Supply Chain Design by Integrating Modelling Methods. In: Parry, G.; Graves, A. (Hg.): Built To Order. The Road to the 5 Day Car, London, 2008, S. 277–295.
- [SN99] Sarmiento, A. M.; Nagi, R. (1999): A review of integrated analysis of production–distribution systems. In: IIE Transactions, Jg. 31, H. 11, S. 1061–1074.
- [VDI00] VDI (Hg.): Simulation von Logistik-, Materialfluss-, und Produktionssystemen – Grundlagen, Richtlinie 3633, Blatt 1, Düsseldorf, 2000.
- [Wage07] Wagenitz, A.: Modellierungsmethode zur Auftragsabwicklung in der Automobilindustrie, Dortmund, 2007.
- [Wern08] Werners, B.: Grundlagen des Operations Research,. 2. Aufl., Berlin, Heidelberg, 2008.
- [Wolf95] Wolff, S.: Zeitoptimierung in logistischen Ketten : ein Instrumentarium zum Controlling von Liefer- und Durchlaufzeiten bei kundenspezifischer Serienproduktion, Huss, München, 1995.