

Integrierte Produktions- und Transportplanung in der Automobil- industrie zur Steigerung der ökologischen Effizienz

Ansgar Hermes
(Volkswagen AG, Wolfsburg)

Meino Preuß
(Schenker AG, Essen)

Dr.-Ing. Axel Wagenitz
(Fraunhofer Institut für Materialfluss
und Logistik, Dortmund)

Prof. Dr.-Ing. Bernd Hellingrath
(Westfälische Wilhelms-
Universität Münster /
Fraunhofer Institut für Material-
fluss
und Logistik, Dortmund)

1 Zusammenfassung

Ein wesentliches Ziel der Verkehrspolitik besteht in der Sicherstellung der Nachhaltigkeit des Verkehrs. Zur Verfolgung dieses Ziels wurde das Forschungsprojekt InTerTrans (<http://www.in-ter-trans.eu/>) initiiert, welches vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie, der österreichischen Forschungsförderungsgesellschaft und der europäischen Forschungsinitiative EUREKA gefördert wird.¹ Das Projekt befasst sich am Beispiel der Automobilindustrie mit der Integration von Produktions- und Transportplanung, um die verkehrliche Umweltwirkung zu verbessern.

In der Automobilindustrie wird nach dem Prinzip der variantenreichen Fließfertigung produziert (vgl. Freye 1997, S.25f.). Hierbei erfolgt eine Optimierung des Produktionsprogramms und der Sequenz mit Hinblick auf produktionsrelevante Kriterien: Die maximale Auslastung der Produktionsressourcen in der Montage, insbesondere des Personals, steht im Vordergrund der Optimierung. Logistische Anforderungen werden dagegen nicht berücksichtigt. Die Integration dieser Anforderungen der Logistik in die Programm- und Reihenfolgeplanung stellt ein mögliches Potenzial zur Steigerung der ökologischen Effizienz der Logistik dar.

An dieser Hypothese ansetzend werden in dieser Arbeit zunächst Strategien für die Steigerung der ökologischen Effizienz definiert und in Restriktionen für die Produktionsplanung übersetzt. Da bereits zahlreiche Restriktionen in der Programm- und Reihenfolgeplanung Berücksichtigung finden, wurde ein quantitativer Nachweis durchgeführt, inwieweit zusätzliche Restriktionen der Logistik in ein Praxiszenario eingebracht werden können. Darauf folgend wird ein Planungsprozess vorgestellt, mit dessen Hilfe solche Restriktionen generiert und unter den Supply Chain-Partnern abgestimmt werden können.

¹ Das Projektkonsortium umfasst Forschungsinstitute, Softwareentwickler und Industriepartner mit unterschiedlichen Rollen in der Lieferkette. Namentlich handelt es sich neben den Praxispartnern VW AG und Schenker AG um das Fraunhofer Institut für Materialfluss und Logistik, die TU Wien und die 4flow AG.

2 Motivation und Einordnung

Scholz-Reiter (2008) stellt am Beispiel der Distribution fest, dass eine Möglichkeit zur Verbesserung logistischer Zielgrößen in der Veränderung der Produktionsreihenfolge besteht. Diese allgemeine Feststellung wird folgend zur Verbesserung der Umweltverträglichkeit der Transporte der Automobilindustrie erörtert und konkretisiert. Ziel ist es, in der Programm- und Reihenfolgeplanung neben den Anforderungen der Produktion sowohl die der In- als auch der Outboundlogistik in Bezug auf die ökologische Effizienz zu berücksichtigen. Folgende Abbildung zeigt schematisch das Prinzip der Integration der Anforderungen.

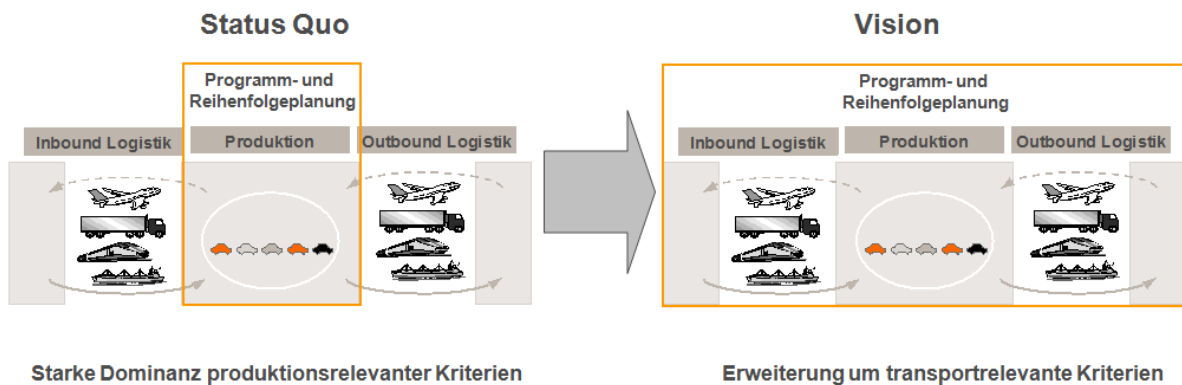


Abbildung 1: Status Quo und Vision der Integration von Terminierung und Transportplanung

Zur Berücksichtigung der Anforderungen der Logistik in der Programm- und Reihenfolgeplanung, ist zunächst eine Einordnung der Aufgabenstellung in den Auftragsabwicklungsprozess der Automobilindustrie notwendig. Toth (2008, S.15) definiert den Auftragsabwicklungsprozess in Anlehnung an Kuhn und Hellingrath (2002, S.152) wie folgt: „Der moderne Auftragsabwicklungsprozess beinhaltet alle Aufgaben zur Planung, Steuerung und Überwachung von Informations-, Material- und Geldflüssen, die mit der Erfüllung von Kundenaufträgen zu tun haben.“ Folgende Darstellung in Anlehnung an Toth (2008, S.15) und Wagenitz (2007, S.13) stellt den Auftragsabwicklungsprozess der Automobilindustrie dar.

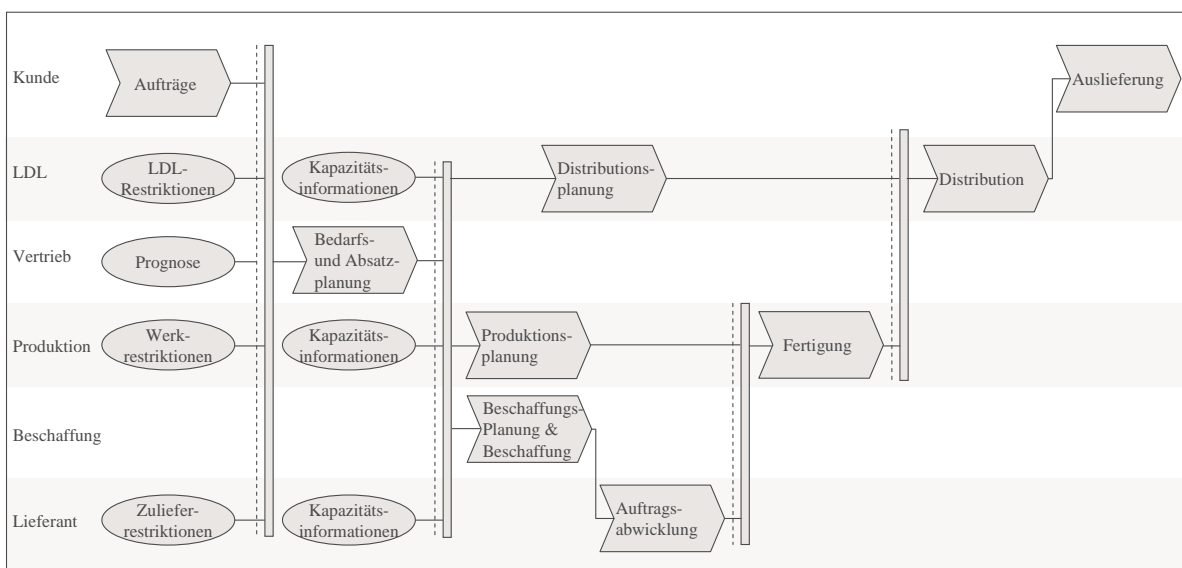


Abbildung 2: Der Kundenauftragsprozess der Automobilindustrie

Der für die Integration neuer Restriktionen der Logistik relevante Abschnitt des Auftragsabwicklungsprozesses ist die Produktionsplanung. Innerhalb der Produktionsplanung sind vor allem die Prozesse der Wochen- und Tagesprogrammplanung und die Produktionssteuerung, die für die Reihenfolgeplanung und –erhaltung verantwortlich ist, relevant.

Die Erstellung des Produktionsprogramms ist nach Boysen (2006) ein mehrstufiger Prozess bei dem es gilt, für einzelne Perioden, z.B. eine Woche oder einen Tag, eine Menge an zu bauenden Fahrzeugen auszuwählen. In der Automobilindustrie werden beispielsweise aus einem Auftragsbestand für einen Monat rollierend mehrere Wochen-, Tages- und Schichtprogramme erstellt. Die Auswahl der Aufträge erfolgt anhand von Kapazitätsrestriktionen der Zulieferer, der Komponentenwerke und der Fahrzeug produzierenden Werke sowie Terminanforderungen des Kunden. Ziel ist es, die Kapazitäten möglichst hoch und gleichmäßig auszulasten. (Vgl. Wagenitz 2007, S.9)

Im nächsten Schritt, der Reihenfolgeplanung, wird bis auf den Takt herunter die genaue Produktionssequenz geplant. Die Reihenfolgeplanung bewegt sich somit innerhalb des vorgegebenen Rahmens der Programmplanung. Dieser Planungsprozess ist hierarchisch. Bei der Reihenfolgeplanung werden vor allem Restriktionen der Produktion, bestehend aus den drei Gewerken Rohbau, Lackiererei und Montage (Ihme 2004), beachtet. Man kann drei Verfahren der Reihenfolgeplanung unterscheiden:

- Level Scheduling
- Mixed Model Sequencing
- Car Sequencing.

Das *Level Scheduling* verfolgt das Ziel, Auslastungs- und Bedarfsspitzen zu minimieren. Um Spitzen zu vermeiden, werden die Eigenschaften möglichst gleichmäßig über die Sequenz verteilt. Die anderen beiden Lösungsstrategien fokussieren noch stärker auf eine Vermeidung von Überlastungen der einzelnen Arbeitsstationen der Montagelinie (Takte). Beim *Car Sequencing* werden z.B. einzelne Ausstattungsvarianten über sogenannte $H_0:N_0$ Regeln gesteuert. So kann eine Regel von 1:2 die Ausstattungsvariante Navigationsgerät steuern. In einer Sequenz von zwei Fahrzeugen darf immer nur ein Fahrzeug über diese Ausstattungsvariante verfügen.

Anhand der Beschreibungen von Programm- und Reihenfolgeplanung wird deutlich, dass bislang keinerlei Anforderungen der Logistik berücksichtigt werden. Damit wurde ein Bedarf für einen Planungsprozess zur Integration solcher Kriterien festgestellt. Aufgrund der aktuell hohen Relevanz soll dies der Steigerung der ökologischen Effizienz dienen.

3 Bestimmung von Strategien der Transportlogistik zur Steigerung der ökologischen Effizienz

Voraussetzung für eine Steigerung der ökologischen Effizienz ist die Bestimmung von relevanten Zielgrößen in der Transportlogistik. Die Messung der ökologischen Effizienz erfolgt anhand der verursachten externen² Effekte des Verkehrsmittelbetriebes durch Emissionen an CO₂, Schadstoffen und Lärm, sowie durch Verkehrsunfälle und Stauungen (vgl. Aberle 2003, S.582). Transportszenario A ist genau dann ökologisch effizienter, wenn es weniger externe Effekte verursacht als Transportszenario B. Die ökologische Effizienz hängt nach Souren (2000, S.155) damit wesentlich von der Wahl des Verkehrsträgers sowie der zurückgelegten Strecke im Leer und Lastlauf und der Auslastung ab (siehe folgende Abbildung).

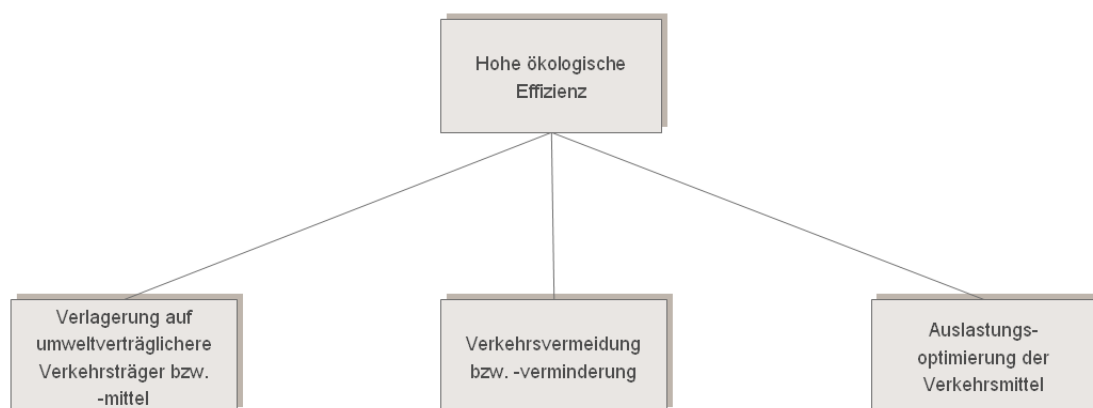


Abbildung 3: Strategien für eine ökologisch effiziente Transportlogistik

Neben ökologischen Kriterien sind auch die traditionellen ökonomischen und Leistungskriterien aus Logistik (vgl. Fleischmann 2008, S.7) und Produktion (vgl. Keller) in einen Entscheidungsprozess mit einzubeziehen. Ökologische Ziele können sich dabei konfliktär zu den traditionellen Zielen verhalten. Das Leistungsziel geringe Losgrößen zu produzieren und transportieren, um die Durchlaufzeiten zu minimieren, steht dem ökologischen Ziel der Verkehrsverlagerung (z.B. von LKW auf Binnenschiff) entgegen. Allerdings können die Ziele auch deckungsgleich sein, denn sowohl aus Sicht der Transportkosten als auch aus ökologischer Sicht ist eine Auslastungserhöhung erstrebenswert.

Eine Herausforderung liegt im Vergleich der Kriterien, da sich monetäre Abschätzungen externer Effekte schwierig gestalten (vgl. UBA 2007). Zudem bewirkt die Externalität, also des fehlenden Kompensationszwanges der Auswirkungen, dass die Kosten aus mikroökonomischer Perspektive nicht zwangsläufig entscheidungsrelevant sein müssen. Allerdings findet momentan in Politik und Öffentlichkeit insbesondere in Bezug auf die Automobilproduktion und Transportlogistik eine intensive Diskussion vor allem der verursachten Emissionen an CO₂ statt, dessen Konzentrationsanstieg in der Atmosphäre als eine wesentliche Ursache für den Klimawandel angesehen wird (vgl. IPCC 2001). Daher wird der CO₂-Ausstoß von Unter-

² Interne Effekte gehen per Definition bereits ins Zielsystem der Organisation ein. Daher werden sie nicht weiter betrachtet.

nehmen zunehmend negativ bewertet. Die Bewertungshöhe variiert dabei je Entscheider bzw. Unternehmens.

4 Ableitung von Restriktionen für die Produktionsplanung und modellbasierte Abschätzung der Umsetzbarkeit

Zur Integration von Programm-, Reihenfolgeplanung und Transportlogistik werden Anforderungen aus der Transportlogistik formuliert und in Restriktionen für die Produktionsplanung übersetzt. Diese Restriktionen müssen der Umsetzung der Strategien aus Abbildung 3 dienen. Abbildung 4 zeigt systematisch auf, wie vom Ziel der ökologischen Effizienz Produktionsrestriktionen für die Distributionslogistik abgeleitet werden können.

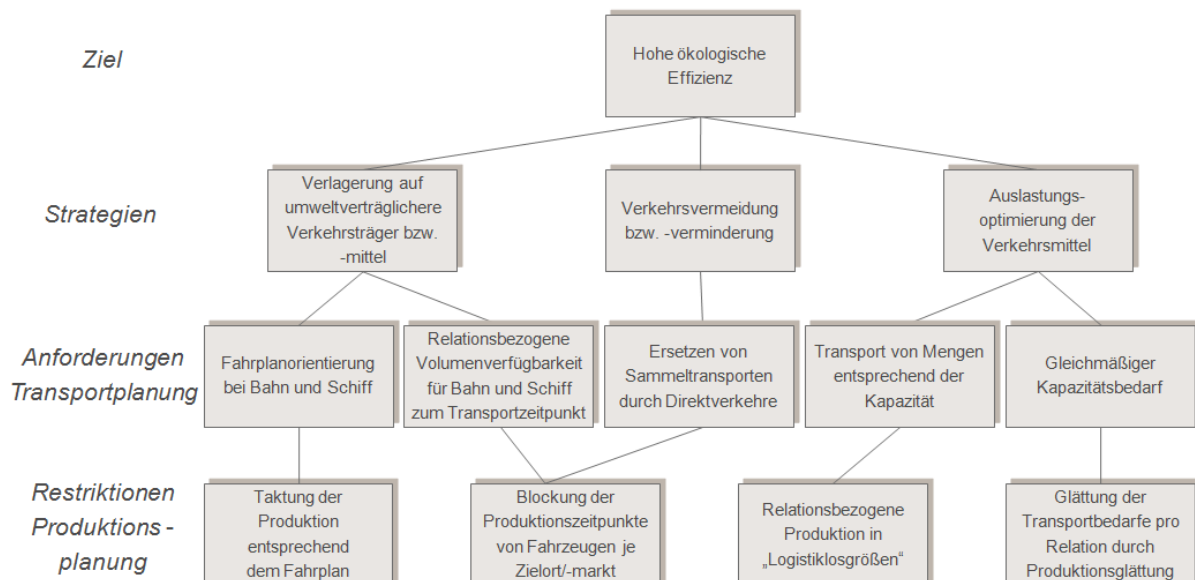


Abbildung 4: Übersetzung von ökologischen Zielen in Restriktionen für die Produktion am Beispiel der PKW-Logistik (Auszug)

Folgend wird die Ableitung pro Strategie anhand von konkreten Beispielen aus der Distributionslogistik erläutert.

Strategie 1: Verlagerung auf umweltverträglichere Verkehrsträger bzw. -mittel

Die im Vergleich mit dem LKW umweltverträglichere Verkehrsträger Bahn und Binnenschiff können nur auf Relationen mit großen Transportvolumina eingesetzt werden. Ein Ganzzug umfasst circa 200 Fahrzeuge, ein LKW hingegen nur 8. Diese Eigenschaft limitiert die Einsatzmöglichkeiten dieser Verkehrsträger in der Distribution. Eine Steigerung der Einsatzmöglichkeiten kann allerdings durch eine schnelle Produktion der Fahrzeuge für eine Relation in einem engen Zeitfenster erreicht werden. Durch die Zusammenfassung der Produktionszeitpunkte für ein Ziel können die für Ganzzug oder Binnenschiff erforderlichen Mengen an Fahrzeugen schnell zusammengestellt werden. Da Ganzzüge, aber auch das Binnenschiff

nach einem Fahrplan verkehren, sollte dieses Zeitfenster auf den Fahrplan ausgerichtet sein, sprich die Produktion der Fahrzeuge entsprechend dem Fahrplan getaktet werden. Durch eine solche **Blockung** mit gleichzeitiger **Taktung** ist es möglich, umweltverträglichere Verkehrsträger wie Bahn und Binnenschiff verstärkt einzusetzen und so Emissionen einzusparen.

Strategie 2: Verkehrsvermeidung bzw. -verminderung

Die Verteilung von Fahrzeugen zum Handel erfolgt national und kontinental über eine zweistufige Transportkette bei dem das Fahrzeug zunächst in einem Vorlauf zu einem Konsolidierungspunkt transportiert, dort umgeschlagen und in einem Nachlauf zum Handel transportiert wird (vgl. ECG 2006). Durch eine einstufige Transportkette direkt vom Werk zum Handel in Form einer Verteilfahrt (Distribution Run) wird der Umschlagvorgang eliminiert und die zu fahrende Transportstrecke reduziert, was den Ausstoß von Emissionen vermindert. Eine solche Organisation der Transporte ist nur dann möglich, wenn das kleine Volumen für eine Gruppe von Händlern möglichst schnell in einem engen Zeitfenster produziert wird. Ansonsten ist die Zeit zur Ladungsbildung zu lang. Somit leitet sich aus der Anforderung der Direktverkehre zum Handel die Restriktion der **Blockung** in der Programm- und Reihenfolgeplanung ab. Folgende Darstellung illustriert das Prinzip der Blockung:

Reihenfolgeplanung *ohne* Berücksichtigung der Distribution



Reihenfolgeplanung *mit* Berücksichtigung der Distribution




 → Fahrzeuge für Transportziel „Essen“

Abbildung 3: Prinzip der Blockung

Strategie 3: Auslastungsoptimierung der Verkehrsmittel

Durch voll ausgelastete Verkehrsmittel lassen sich Transporte einsparen. Somit ist es für eine weitere Reduzierung von Emissionen wichtig, dass die Blockung und Taktung in Kombination mit einer **logistischen Losgröße** erfolgt. Die logistische Losgröße ist als ganzzahliges Vielfaches des Ladefaktors eines Transportmittels, multipliziert mit der Anzahl der eingesetzten Transportmittel definiert. Nur so ist garantiert, dass Ganzzüge oder LKW nicht nur teilausgelastet fahren und es so zu Mehrbedarf an Transporten kommt.

Darüber hinaus führt ein gleichmäßiger Transportkapazitätsbedarf über mehrere Perioden zu einer besseren Planbarkeit und zu einer besseren Auslastung der eingesetzten Transportmittel. Ist ein Ganzzug nach Fahrplan gesteuert und transportiert jeweils einmal pro Woche Fahrzeuge von Quelle zur Senke, dann führen Schwankungen in den Wochenbedarfen zu Transportkapazitätsbedarfsspitzen im Netzwerk des Logistikdienstleisters, welche zu Ineffizienzen und höherem Leerlauf des Transportmittels führen, was wiederum zu erhöhten Emissionen führt. Durch eine **Glättung der Transportbedarfe pro Relation** über mehrere Perioden (z.B. Wo-

chen) hinweg, kann eine Reduzierung von Ineffizienzen und Leerfahrten für den Logistikdienstleister erreicht werden. Die Glättung bezieht sich dabei immer auf eine der Blockung übergeordneten Periode (Blockung von Fahrzeugen pro Tag und Glättung über Wochen).

Durch die Berücksichtigung der Restriktionen zur Taktung, Blockung, logistische Losgröße und Glättung in der Programm- und Reihenfolgeplanung können umweltfreundlichere Transportkonzepte in der Distribution umgesetzt werden und helfen somit Emissionen zu senken.

Die oben erläuterten Anforderungen und Restriktionen können im Anwendungsfall entweder statisch oder dynamisch ausgeprägt sein. Statische Anforderungen basieren auf relativ sicheren Informationen und verändern sich im Zeitablauf selten. Sie sind meist auf längerfristige Entscheidungen zurückzuführen. Beispiel: Die Einrichtung eines Pendelverkehrs mit einem Binnenschiff ist eine eher mittel- bis langfristige Entscheidung und verändert sich während des Planungszeitraumes von Programm- und Reihenfolgeplanung in der Regel nicht mehr. Sie geht daher als statische Anforderung in die Programm- und Reihenfolgeplanung ein.

Dynamische Anforderungen verändern sich dagegen im Zeitablauf bzw. sind nur für einen stärker begrenzten Zeitraum gültig und erfordern eine intensivere Abstimmung zwischen den Planungsdomänen. Beispiel: Die Waggonplanung bzw. -disposition für PKW-Transporte über den Bahn-Einzelwagenverkehr resultiert aus stark dynamischen und schlecht prognostizierbaren Bedarfen. Eine statische Integration von Anforderungen, hier einer generellen Glättung, ist nur begrenzt zielführend. Es ist vielmehr eine höhere Planungsfrequenz notwendig, die den aktuellen Zustand der Ressourcen des Logistikdienstleisters sowie die aktuelle Kundenauftragszusammensetzung berücksichtigt.

Modellbasierte Untersuchung der Möglichkeiten zur zusätzlichen Berücksichtigung von Anforderungen der Distributionslogistik in der Programm- und Reihenfolgeplanung

Um die Praxisrelevanz des folgend abgeleiteten Planungskonzeptes zu untermauern, soll nun untersucht werden, inwieweit zusätzliche Restriktionen zur Steigerung der ökologischen Effizienz tatsächlich in der Programm- und Reihenfolgeplanung berücksichtigt werden können. Zur Beantwortung dieser Frage wurde eine modellbasierte Untersuchung mit der Testumgebung eines Produktivsystems zur Tagesprogramm- und Reihenfolgeplanung eines Automobilherstellers durchgeführt. Wesentliche Eingangsgrößen stellen das zu produzierende Wochenvolumen sowie Tagesprogramm- und Sequenzierungsrestriktionen dar. Die wesentliche Funktion der Software besteht in der Verteilung der Wochenmenge auf Tage und der Bildung einer Produktionssequenz unter Einsatz verschiedener, hier nicht weiter erläuterter Verfahren des Operations Research.

Ziel des Experimentes war die Prüfung, inwieweit eine zusätzliche Berücksichtigung von Restriktionen möglich ist. Dies wurde am Beispiel der „Blockung der Produktionszeitpunkte von Fahrzeugen“ (vgl. Abbildung 4) durchgeführt. Dazu wurden zwei Szenarien definiert, die nach Durchführung des Experimentes miteinander verglichen wurden:

1. Ausgangsszenario: *Der modellierte Zeitraum betrug eine exemplarische, repräsentative Woche mit einer Tagesproduktionsmenge von ca. 500 Fahrzeugen und 35 aktuellen Restriktionen dreier unterschiedlicher Kategorien. Die Restriktionen der ersten Kategorie stammten aus der Lackiererei und bezogen sich dabei auf die Farbblockbildung. Die der zweiten Kategorie entsprachen Ho:No-Regeln mit Bezug auf die Montage. Die dritte Kategorie von Restriktionen entstammte kurzfristigen kapazitativen Restriktionen von Kaufteilelieferanten.*
2. Optimiertes Szenario: *Zusätzlich zur Beachtung aller Restriktionen aus dem Ausgangsszenario wurden 10 Restriktionen zur Blockung nach jeweils einer Relation oder einem Zielmarkt bzw. –gebiet integriert, um potenziell ökologische Effizienzvorteile in der Distributionslogistik erschließbar zu machen. Diese Restriktionen betrafen ca. 16% des gesamten Fahrzeugvolumens der betrachteten Woche. Es wurde dabei sichergestellt, dass eine Beachtung der neuen Restriktionen nicht zu einer signifikanten Verletzung der bestehenden Restriktionen führte.*

Das Ergebnis dieser Untersuchung zeigte anhand eines realitätsnahen Modells, dass eine Berücksichtigung zusätzlicher Restriktionen möglich ist. Wesentliche Messgröße für die Beeinflussung des Produktionsprogramms- bzw. der Reihenfolge war der Verdichtungsgrad der Relationen. Der Verdichtungsgrad ist definiert als die Zeitspanne zwischen der Produktion des ersten Fahrzeugs einer Ladung für eine Relation und dem letzten Fahrzeug dieser Ladung. Je höher die Verdichtung, desto größer ist die Wahrscheinlichkeit, dass emissionsarme Transportkonzepte bzw. Verkehrsträger (z.B. Direktverkehre und Ganzzüge) eingesetzt werden können. Der Verdichtungsgrad konnte durchschnittlich über alle Relationen um ca. 42% gesteigert werden.

Zusammenfassend wurde anhand dieses Fallbeispiels gezeigt, dass Restriktionen der Logistik auch unter Praxisbedingungen in der Automobilindustrie berücksichtigt werden können und damit zu einer Reduktion von Emissionen führen können. Offensichtlich können diese Ergebnisse jedoch nicht ohne weiteres generalisiert werden, da die Rahmenbedingungen z.B. von Werk zu Werk stark variieren können.

5 Integrierter Planungsprozess

Der integrierte Planungsprozess erweitert die Programm- und Reihenfolgeplanung um Restriktionen zur Erhöhung der ökologischen Effizienz. Das Design des Prozesses wird dabei von einigen wesentlichen Erkenntnissen bestimmt, die größtenteils in den vorherigen Abschnitten erarbeitet wurden und in der folgenden Tabelle dargestellt werden.

Erkenntnis	Wesentliche Folgerung in Bezug auf das Design des Soll-Prozesses
Ziel ist die Integration von Restriktionen in die Wochen-, und Tagesprogrammplanung sowie Reihenfolgeplanung.	Fokus des Planungsprozesses liegt auf der Wochen-, und Tagesprogrammplanung sowie Reihenfolgeplanung.

Eine aktuelle Zielsetzung in der Produktionsplanung der Automobilindustrie (und damit auch dem Intertrans-Projekt) besteht in der Sequenzierung über mehrere Tagesprogramme hinweg.	Tagesprogrammplanung sowie Reihenfolgeplanung werden zu einem Planungsschritt zusammengefasst.
Der Planungsprozess setzt auf dem bestehenden Kundenauftragsprozess auf.	Konventionelle Ziele und Restriktionen (Eingangsgrößen) bleiben erhalten. Sie werden erweitert durch ökologische Zielgrößen bzw. Restriktionen.
Es existieren drei an Produktion und Logistik beteiligte Planungsdomänen: Die Produktion des Automobilherstellers (OEM), die Logistik des OEM und der beauftragte Logistikdienstleister (LDL). Eine vollständig integrierte Lösung von Produktions- und Transportlogistik ist daher nicht realisierbar. Wesentliche Gründe dafür liegen in der enormen Komplexität der Problemstellung und der fehlenden Bereitschaft, sämtliche relevanten Daten organisationsübergreifend zugänglich zu machen. Eine Kommunikation zwischen Produktion und LDL besteht nicht.	Jeweils lokale Optimierung innerhalb der Planungsdomänen. Synchronisation der Pläne durch Abstimmungsprozess. Restriktionen zur Steigerung der ökologischen Effizienz können aus der Logistik des OEM sowie dem LDL entstammen.
Es existieren statische und dynamische Anforderungen.	Neben der Abstimmung dynamischer Restriktionen im Prozess soll es möglich sein, statische Restriktionen als Eingangsgröße einfließen zu lassen.
Die Bewertung ökologischer Zielgrößen hängt stark von den Präferenzen der jeweiligen Entscheider ab.	Ökologische Zielgrößen müssen individuell gewichtet werden. (Aufgrund der seltenen Anpassung der Gewichtung gehen sie in der folgenden Übersicht als Input in den Prozess ein. Offensichtlich müssen sie jedoch zunächst selber Ergebnis eines Prozesses sein.)
Es besteht ein Unterschied zwischen Anforderungen aus der Transportplanung und davon abgeleiteten Restriktionen der Produktionsplanung.	Anforderungen aus der Transportplanung müssen in Restriktionen für die Produktion übersetzt werden.
Lokale Entscheidungen, die zu einer Verbesserung ökologischer Zielgrößen führen, sind im Zeitablauf und je Planungsdomäne unterschiedlich.	Bestimmung relevanter Entscheidungen je Zeitscheibe und Planungsdomäne.
Entscheidungen der Wochenprogrammplanung stellen einen Handlungsrahmen für die Tagesprogrammplanung bzw. Reihenfolgebildung dar.	Übergabe der Informationen bzgl. ökologischen Zielen, statischen Restriktionen und Entscheidungen an nachgelagerte Planungsschritte.
Produktionskosten sind ca. fünfmal so hoch sind wie die gesamten Logistikkosten (Summe von Inbound- und Outbound-Logistikkosten) (vgl. Holweg 2003, S. 68).	Produktionsrestriktionen werden priorisiert beachtet, indem sie den Ausgangspunkt des Abstimmungsprozesses darstellen.

Tabelle 1: Ableitung des Prozessdesigns von bisher gewonnenen Erkenntnissen

Abbildung 5 stellt den resultierenden integrierten bzw. abgestimmten Planungsprozess dar. Er hat eine zeitliche und eine organisatorische Unterteilung. Zeitlich wurde zwischen der Wochenprogramm- und der zusammengefassten Tagesprogramm- bzw. Reihenfolgeplanung unterschieden; organisatorisch zwischen OEM Produktion, OEM Logistik und LDL. Je Zeithorizont und Planungsdomäne ist der Planungsinhalt unterschiedlich. In den Planungsprozess finden neben den bekannten konventionellen Zielgrößen und Restriktionen (z.B. Fertigstellungstermine oder Kapazitätsrestriktionen der Lieferanten) auch gewichtete ökologische Zielgrößen Eingang. Unter Berücksichtigung der ökologischen (aber auch der konventionellen) Zielgrößen werden aus der Logistikplanung des OEM sowie der Transportplanung des LDL Anforderungen generiert, die in Restriktionen (Blockung, Taktung, Glättung und logistische

Losgröße) für die Produktionsplanung übersetzt werden. Da jede Planungsdomäne sich zunächst lokal optimiert, existiert ein iterativer Abstimmungsprozess mit dessen Hilfe die Pläne synchronisiert werden. Ergebnis ist also ein über die Domänen abgestimmter Plan, der zusätzlich Kriterien der ökologischen Effizienz berücksichtigt.

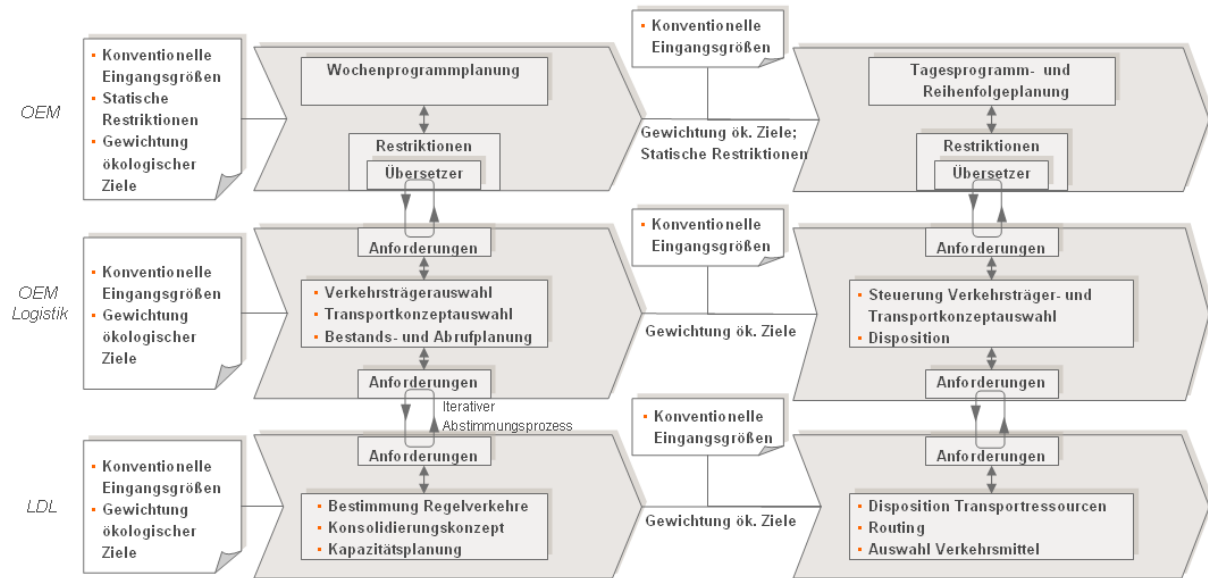


Abbildung 5: Übersicht über den integrierten Planungsprozess

Ein wesentlicher Bestandteil des Gesamtprozesses ist die Abstimmung zur Synchronisation der Pläne, die durch die Existenz unterschiedlicher Planungsdomänen erforderlich ist. Folgende Abbildung illustriert einen iterativen Prozess für die relevanten drei Planungsdomänen. Er erweitert den Verhandlungsmechanismus von Dudek (2005), der lediglich zwei unterschiedliche Planungsdomänen synchronisiert.

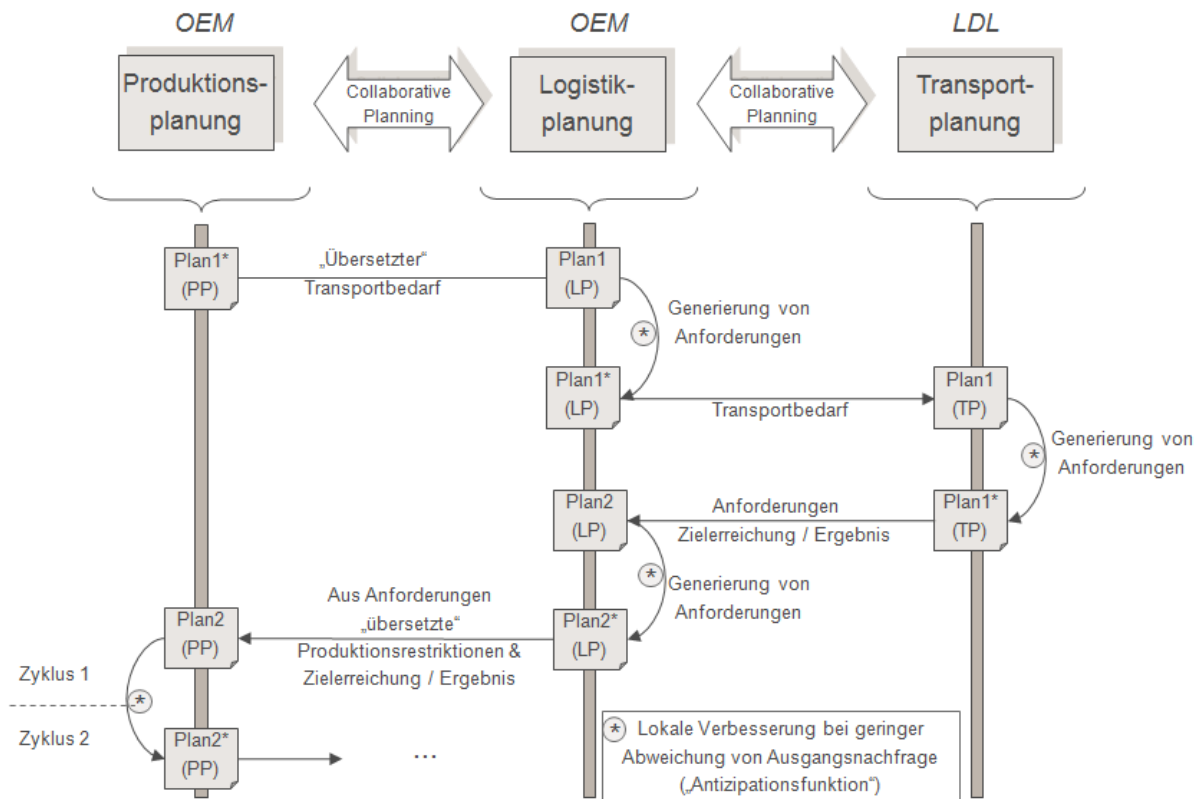


Abbildung 6: Verhandlungsmechanismus zur Koordination der Planungsdomänen

Nach Bestimmung des initialen Produktionsplans (z.B. Wochenprogramm) werden Transportbedarfe abgeleitet und an die Logistikplanung übermittelt. Die Logistikplanung optimiert die Transportbedarfe zunächst lokal unter Berücksichtigung sämtlicher Restriktionen. Im zweiten Schritt wird geprüft, inwiefern durch eine Umsetzung von Anforderungen (vgl. Abschnitt 4), also einem Verschieben der Transportbedarfe auf der Zeitachse zur Verfolgung einer Strategie zur Steigerung der ökologischen Effizienz, eine Verbesserung der ökologischen Effizienz möglich wäre. Dabei werden Restriktionen der Produktionsplanung über eine Antizipationsfunktion berücksichtigt, die sicherstellt, dass die Abweichung vom Planungsergebnis der Produktionsplanung sich in moderaten Grenzen bewegt. Der resultierende Vorschlag (inkl. Zielerreichung bzgl. Ökologie, Ökonomie und Leistung) wird an die Transportplanung übertragen, die analog verfährt und das Ergebnis an die Logistikplanung zurückgibt. In der Logistikplanung wird wiederum analog verfahren; die letztendlichen Anforderungen werden in Produktionsrestriktionen übersetzt und an die Produktionsplanung übermittelt. Dort wird geprüft, welche Konsequenzen eine Berücksichtigung der Restriktionen hätte. Da die Zielerreichung bzgl. konventionellen und ökologischen Zielgrößen jeweils ausgetauscht wird, kann nach Abschluss eines solchen Zyklus das Gesamtergebnis bewertet werden. Bei Bedarf können weitere Zyklen folgen; nach Beendigung des letzten Zyklus wird die „beste“ Alternative ausgewählt. Eine zusätzliche Entscheidungsalternative besteht offensichtlich im Szenario ohne Abstimmung bzw. Formulierung von Anforderungen.³

³ Opportunistisches Verhalten oder eine m:n-Beziehung zwischen den Partnern soll hier nicht weiter betrachtet werden.

In Bezug auf die Produktion können im besten Fall bestehende Freiräume für eine verbesserte Umweltwirkung ausgenutzt werden. Dies bedeutet, dass neben Einhaltung der bestehenden Restriktionen der Produktion zusätzlich die Anforderungen aus der Transportplanung erfüllt werden. In diesem Fall ergibt sich auf Supply Chain-Ebene offensichtlich eine verbesserte Performance. Sollte für die Erfüllung der Anforderungen eine Verletzung der Produktionsrestriktionen erforderlich sein, stellt der Abstimmungsprozess sicher, dass der entstehende Nutzen in punkto ökologischer Effizienz nicht durch zusätzliche Kosten in der Produktion überkompensiert wird. Das Ergebnis der Bewertung hängt offensichtlich stark von der Gewichtung der einzelnen Zielgrößen (Ökologie, Ökonomie, Leistung) ab.

6 Ausblick

Wesentlicher nächster Schritt des Forschungsprojektes Intertrans ist die modellbasierte Validierung des Konzeptes mit Hilfe einer Fallstudie. Gegenstand der Fallstudie ist ein bereits definierter Ausschnitt aus dem bestehenden Geschäft der Praxispartner. Technische Plattform wird ein Software-Prototyp darstellen, dessen Säulen die Software-Werkzeuge OTD-NET vom Fraunhofer IML sowie 4flow vista der 4flow AG bilden. Der Fokus von OTD-NET liegt dabei auf der Produktionsplanung, der Fokus von 4flow vista auf der Transportplanung. Mit Hilfe des Prototyps wird der Betrachtungsgegenstand der Voruntersuchung aus Abschnitt 4 erweitert und die tatsächliche Umweltwirkung der Integration zusätzlicher Restriktionen durch Abbildung der Transporte messbar gemacht.

Literaturverzeichnis

- | | |
|------------------|--|
| Aberle 2003 | Aberle, G.: Transportwirtschaft - Einzelwirtschaftliche und gesamtwirtschaftliche Grundlagen, 4. Auflage, Oldenbourg Wissenschaftsverlag, München 2003. |
| Boysen 2006 | Boysen, N., Fliedner, M., Scholl, A.: Produktionsplanung bei Variantenfließfertigung: Planungshierarchie und Hierarchische Planung, Jenaer Schriften zur Wirtschaftswissenschaft, 22/2006, Jena. |
| Dudek 2005 | Dudek, G., Stadtler, H.: Negotiation-based collaborative planning between supply chain partners, European Journal of Operations Research 2005, Volume 163, S. 668-687. |
| ECG 2006 | ECG: 2006 - Survey on Vehicle Logistics, European Car-Transport Group of Interest, Brussels 2006. |
| Fleischmann 2008 | Fleischmann, B.: Begriffliche Grundlagen. In: Handbuch Logistik. Arnold, D. u.a. 3.Auflage, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, S.4-12. |
| Freye 1997 | Freye, D.: Reihenfolgeplanung in einem variantenreichen Fließfertigungssystemen, Dissertation Universität Göttingen 1997. |

- Holweg 2003 Holweg, M., Miemczyk, J.: Delivering the '3-day car'- the strategic implications for automotive logistics operations. *Journal of Purchasing & Supply Management*, 2003, 9, S. 63–71.
- IFEU 2008 IFEU: TREMOD: Transport Emission Model, http://www.ifeu.org/index.php?bereich=ver&seite=projekt_tremod, Ab-ruf: 22.09.2008.
- IPCC 2001 Houghton, J.T., et al.: *Climate Change 2001: The Scientific Basis*. Cambridge University Press, New York 2001.
- Keller 2006 Keller, M.: 8.4.1b kpi-based evaluation system, Technical Report, ILIPT Projekt, Public Deliverable des ILIPT Projekts, 2006.
- Kuhn 2002 Kuhn, A., Hellingrath, B.: *Supply Chain Management – Optimierte Zusammenarbeit in der Wertschöpfungskette*, Springer, Berlin 2002.
- Scholz-Reiter 2008 Scholz-Reiter, B., u.a.: Transportorientierte Reihenfolgeplanung, *PPS Management* 13 (2008) 4, S. 15-17.
- Souren 2000 Souren, R.: Umweltorientierte Logistik. In: Dyckhoff, H.: *Umweltmanagement. Zehn Lektionen in umweltorientierter Unternehmensführung.*: Springer 2000, Berlin, Heidelberg, New York, S. 151-168.
- Toth 2008 Toth, M.: *Eine Methode für das Bedarfs- und Kapazitätsmanagement in Engpasssituationen*, Verlag Praxiswissen, Dortmund 2008.
- UBA 2007 Schwermer, S., u.a.: *Ökonomische Bewertung von Umweltschäden. Methodenkonvention zur Schätzung externer Umweltkosten*. Hrsg.: Umweltbundesamt, Dessau 2007.
- Wagenitz 2007 Wagenitz, A.: *Modellierungsmethode zur Auftragsabwicklung in der Automobilindustrie*, Dissertation Universität Dortmund 2007.