

„Green by IT“ – Nachhaltiger Gütertransport durch Entscheidungsunterstützungssysteme

Tim A. Rickenberg
Hans-Jörg von Mettenheim
Michael H. Breitner

Veröffentlicht in:
Multikonferenz Wirtschaftsinformatik 2012
Tagungsband der MKWI 2012
Hrsg.: Dirk Christian Mattfeld; Susanne Robra-Bissantz



Braunschweig: Institut für Wirtschaftsinformatik, 2012

„Green by IT“ – Nachhaltiger Gütertransport durch Entscheidungsunterstützungssysteme

Tim A. Rickenberg

Leibniz Universität Hannover, Institut für Wirtschaftsinformatik, 30167 Hannover,
E-Mail: rickenberg@iwi.uni-hannover.de

Hans-Jörg von Mettenheim

Leibniz Universität Hannover, Institut für Wirtschaftsinformatik, 30167 Hannover,
E-Mail: mettenheim@iwi.uni-hannover.de

Michael H. Breitner

Leibniz Universität Hannover, Institut für Wirtschaftsinformatik, 30167 Hannover,
E-Mail: breitner@iwi.uni-hannover.de

Abstract

Der Beitrag stellt ein Software Artefakt vor, das Disponenten beim Routing von Aufträgen in einem Transportnetzwerk unterstützt. Grundlage ist ein problembezogenes Modell zur Beschreibung der Transportprozesse in intermodalen Netzstrukturen. Ein hybrider Routingalgorithmus zur Lösung des operativen Transportproblems setzt darauf auf. Dieser führt das Routing der Transportaufträge in einem Netzwerk aus Knoten und Kanten aus. Unser Ansatz optimiert den Mobilitätsmix und trägt zu effizienterem und nachhaltigerem Gütertransport bei.

1 Einleitung

Während erneuerbare Energien und ökologische Betrachtungen im Personenverkehr, sowohl im Individualverkehr als für auch öffentliche Verkehrsmittel, in aller Munde ist, hat sich im Logistiksektor dieser Trend noch nicht vollständig durchgesetzt. Zweifelsohne werden im Transportwesen Konzepte und Methoden zu Effizienzsteigerungen wissenschaftlich erforscht und auch praktisch eingesetzt. Die Motivation dieser Verbesserungsansätze ist, unter anderem durch hohen Wettbewerbsdruck, größtenteils monetär behaftet und nicht ökologisch getrieben. Gerade die Gütertransportbranche hat durch die hohe Transportleistung in Verbindung mit großem Energieverbrauch und hohen Emissionswerten das Potential und die Pflicht einen Teil zum Umweltschutz beizutragen, vgl. [5]. Dies kann durch zukunftsorientierte Logistik, neue Mobilität und ökologische Ansätze im Güterverkehr geschehen.

Die zunehmende Relevanz von grüner Logistik wird durch langfristige Prognosen bestätigt: Das BMU (Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit) prognostiziert

einen Zuwachs des Güterverkehrs bis 2025 gegenüber 2004 um 71%, wobei der Straßen-güterverkehr sogar um 79% ansteigen soll [7]. Dabei werden Logistikdienstleistungen immer individueller, also weniger ein Massenprodukt, vgl. [17]. Auch bezüglich des Energieverbrauchs wird der Stellenwert des Verkehrssektors deutlich: In der EU entfällt heute bereits ein Drittel des Endenergieverbrauchs auf diesen Sektor, vgl. [9].

Nachhaltigkeit im Güterverkehr ist, analog zu den Dimensionen des Drei-Säulen-Modells, gleichermaßen wissenschaftlich, wirtschaftlich und ökologisch von Interesse, siehe auch [5]. Aus theoretisch, wissenschaftlicher Sicht sind Transportprobleme komplexe Optimierungsaufgaben, die i.d.R. durch Modelle dargestellt werden und durch bestimmte Lösungsverfahren berechnet werden. Im Allgemeinen sind diese Probleme schwer lösbar, also NP-schwer. Wirtschaftlich betrachtet sind besonders Effizienzsteigerungen, Kostensenkungen und die Einsparung von Kraftstoff von Interesse. Durch die Knappheit der fossilen Kraftstoffe und deren Verteuerung besteht Handlungsbedarf. Aus ökologischer Sicht sind vor allem die Luftbelastung und der Energieverbrauch, die daraus resultierende Klimawirkung, sowie die allgemeine Belastung von Mensch und Umwelt durch Verkehr und Transport zu nennen. Dazu zählen auch nicht internalisierte externe Kosten wie Lärm und andere Umweltschäden, die oft außer Acht gelassen werden, siehe auch [6].

Eine Herausforderung für die Transportbranche ist demnach die umweltverträgliche Gestaltung des Güterverkehrs trotz steigender Verkehrsleistung. Nachhaltigkeit, Klima- und Umweltschutz bei geringen Kosten und hohem Serviceniveau sind anzustreben. Ein möglicher Ansatz dazu sind Entscheidungsunterstützungssysteme, auch Decision Support Systems (DSS) genannt. Diese Informationssysteme ermöglichen die Verarbeitung großer Mengen von Informationen um dann, unter Einbezug des Nutzers, optimierte Entscheidungsvorschläge zu generieren. Vor allem in komplexen Bereichen, wie im Transportwesen, ist der Einsatz von DSS zur Steigerung der Effizienz, aber auch zum Schutz der Umwelt ratsam.

Wir schlagen ein integriertes, ganzheitliches Entscheidungsunterstützungssystem zur Planung des Strecken- und Flächenverkehrs mit gebrochenen Transportketten vor. Im Rahmen unserer gestaltungsorientierten Forschung entwickelten wir Artefakte zur IT-unterstützten Tourenplanung für Frachtgüter mit Vor- und Nachlauf bzw. Abholung und Zustellung. Dieses DSS trägt zur Verschlankeung des zeitintensiven, manuellen Planungsprozesses bei. Dementsprechend wird die automatisierte Generierung von optimierten Transportketten in komplexen Transportnetzen ermöglicht. Der Mobilitätsmix durch kombinierten bzw. intermodalen Verkehr trägt zur Nachhaltigkeit und zum Klimaschutz bei. Die Minimierung der Kosten bzw. der Transportstrecke, aber auch die Reduktion von Energieverbrauch und Emissionen, wurde angestrebt. Wir zeigen auf, dass analog zum Konzept „Green by IT“ ein Beitrag zur Optimierung des Güterverkehrs, als auch zum Umweltschutz geleistet werden kann.

Der vorliegende Artikel gliedert sich folgendermaßen: Anschließend an die Einleitung wird im zweiten Kapitel der Begriff der Nachhaltigkeit in Bezug auf den Güterverkehr dargelegt sowie Ansätze zur Steigerung der Nachhaltigkeit skizziert. Im dritten Kapitel werden dann die entwickelten Artefakte und das implementierte Entscheidungsunterstützungssystem ausführlicher beschrieben. Im vierten Kapitel werden anhand von Realdaten in einer Fallstudie die möglichen Einsparpotentiale und Limitationen des DSS aufgezeigt. Der Artikel schließt mit einem Fazit und einem Ausblick.

2 Mobilitätsmix für nachhaltigen Güterverkehr

Nicht zuletzt nachdem die Bundeskanzlerin Angela Merkel das Wissenschaftsjahr 2012 als „Jahr der Nachhaltigkeitsforschung“ getauft hat [11], ist der Begriff der Nachhaltigkeit zum Modewort geworden. Doch was ist Nachhaltigkeit? Nachhaltigkeit und nachhaltige Entwicklung steht für tragfähige und zukunftsfähige Entwicklung im Hinblick auf ökonomische, ökologische und soziale Gesichtspunkte, vgl. [2][10]. Diese drei Gesichtspunkte spiegeln auch die drei gleichberechtigten Dimensionen des Drei-Säulen-Modells wider [1]. In diesem Kapitel wird Nachhaltigkeit im Hinblick auf Güterverkehr und Transport betrachtet.

Konkrete Vorgaben der Politik sollen zur Steigerung der Nachhaltigkeit beitragen. Laut der europäischen Richtlinie zur Förderung der Nutzung von Energie aus erneuerbaren Quellen ist die Treibhausgasemission in der EU bis 2020 um 20% gegenüber 1990 zu reduzieren [7]. Weiterhin wird ein Anteil von 20% an erneuerbaren Energien am Gesamtenergieverbrauch bis 2020 angestrebt, wobei im Verkehrssektor mindestens 10% angesetzt sind [7][9]. Gerade durch steigende Verkehrs- und Transportmengen ist die umweltverträgliche Gestaltung des Verkehrs eine Herausforderung, vgl. [7]: Von 1991 bis 2008 hat sich die Verkehrsleistung des deutschen Güterverkehrs bereits um 67% erhöht [7]. Wie bereits im vorherigen Kapitel beschrieben, wird für den Güterverkehr weiterhin ein Anstieg der Verkehrsleistung von 71% bis 2025 gegenüber 2004 prognostiziert [7].

Eine Möglichkeit zur umweltgerechteren und nachhaltigeren Mobilität im Transportsektor sind alternative Kraftstoffe. Biokraftstoffe aus Biomasse stellen erneuerbare Energien dar und sind eine zukunftsweisende Alternative zu Kraftstoffen fossiler Herkunft. Herkömmlicher Diesel kann durch Biodiesel (B100) und Pflanzenöle substituiert werden, Ottokraftstoffe können durch Bioethanol ersetzt werden. Weiterhin kann Biogas als Ersatz für fossile Kraftstoffen genutzt werden. Diese alternativen Kraftstoffe haben, neben bzw. durch ihre Erneuerbarkeit, weitere Vorteile: Aufgrund von knapp werdenden Ressourcen und der damit verbundenen Preissteigerung, ist die verstärkte Nutzung alternativer Kraftstoffe neben ökologischen auch aus ökonomischen Aspekten anzustreben. Auch die Importabhängigkeit Deutschlands und Europas, sowie die Abhängigkeit von konventionellen Kraftstoffen kann durch nachwachsende Rohstoffe gesenkt werden [9] und die Versorgungssicherheit gesteigert werden. Außerdem sind Biokraftstoffe klimafreundlich durch CO₂-Neutralität und werden aus diesem Grund teilweise staatlich gefördert, vgl. [8]. Die Atmosphäre wird durch die Verwendung von erneuerbaren Energien statt fossiler Kraftstoffe weniger durch Treibhausgase und andere Schadstoffe verunreinigt. Bei der Berechnung der Ökobilanz sind die spezifischen Vermeidungs- und Emissionsfaktoren der verschiedenen Kraftstoffe zu beachten, siehe auch [9], und die Emissionen über den gesamten Lebenszyklus (Erzeugung, Nutzung, Entsorgung) zu berücksichtigen, vgl. [8]. Laut dem BMU sind als monetärer Schätzwert für jede somit vermiedene Tonne CO₂ ausbleibende Klimaschäden im Wert von 70 Euro anzusetzen [9]. Besonders Biokraftstoffe der zweiten Generation, wie bspw. BtL (Biomass-to-Liquid), stellen einen wichtigen Aspekt zur Nachhaltigkeit bei, siehe auch [8].

Neben alternativen Kraftstoffen wird nachhaltige Mobilität der Zukunft durch die Wahl umweltfreundlicher Transportmittel bestimmt. Für einen ökologischen Güterverkehr, wie auch im Personenverkehr, sind Verkehrsträger und Verkehrsmittel zu wählen, die für die jeweilige Verkehrsleistung die besten spezifischen Eigenschaften aufweisen. Dadurch resultiert ein intermodaler Mobilitätsmix, der für den Güterverkehr i. A. durch die Verkehrsträger Straße,

Schiene, Wasser trimodal ausgeprägt ist. Die wesentlichen Charakteristika der Verkehrsträger und ihrer Transportmittel werden im Folgenden beschrieben, vgl. [10][18][20]:

Straßengebundener Güterverkehr ist das führende Transportmittel. Die wesentlichen Vorteile liegen in der zeitlichen und örtlichen Flexibilität. Als Nachteil sind die hohen CO₂ Emissionen und die zunehmende Auslastung des Straßennetzes zu nennen. Insbesondere durch die dominierende Rolle im Gütertransport und die hohen spezifischen Emissionswerte liegt beim Verkehrsträger Straße das größte ökologische Potenzial.

Die Nutzung der Bahn als Transportmittel stellt, besonders für Massengüter über längere Strecken, eine Alternative zum straßengebundenen Transport dar. Vorteilhaft sind die Emissionswerte dieses Transportmittels, wogegen die auftretende Lärmbelastung negativ ist. Obwohl in den letzten Jahrzehnten der Schienengüterverkehr nicht intensiviert wurde, wird ein Anstieg von Transportmenge als auch Transportleistung vorausgesagt.

Die Binnenschifffahrt mit Wasserstraßen als Verkehrsträger ist besonders geeignet für Massengüter, schwere Güter und zeitunkritische Güter mit langen Transportstrecken. Dabei ist die Transportroute unflexibel und die Geschwindigkeit langsam, jedoch ist der Transport günstig als auch umweltschonend durch niedrige Lärm- und Abgasemissionen. Für die Zukunft wird ein Anstieg des Verkehrsaufkommens und der Verkehrsleistung prognostiziert.

Die kombinierte Nutzung der oben genannten Verkehrsträger wird als kombinierter Verkehr bezeichnet. So können die spezifischen Vorteile der Transportmittel in intermodalen Transportketten ausgenutzt werden. Positive Effekte für die Umwelt ergeben sich durch Einsparungen von Emissionen und Energie, wobei nur Transporte über längere Strecken sinnvoll sind. Auch im Hinblick auf die Entlastung der Straßen ist kombinierter Verkehr auszubauen.

Forschungsinstitute, Unternehmen und Interessensverbände haben die steigende Relevanz von ökologischem Güterverkehr und neuer Mobilität erkannt, und haben aktuell zahlreiche Publikationen veröffentlicht. Zukunftsweisend werden Studien durchgeführt [13], konsistente Szenarien entwickelt [3], Ansätze und Konzepte untersucht und dokumentiert, vgl. [10].

Während „Green IT“ im Allgemeinen für energieeffiziente Informationstechnologie steht, zielt „Green by IT“ auf einen anderen Aspekt ab: „Green by IT“ bezeichnet die direkte und indirekte Einsparung von Ressourcen durch die Nutzung von Informationstechnologien, vgl. [14]. Im vorliegenden Fall handelt es sich um die Einsparung von Energie in Form von Kraftstoff. Dies kann durch intelligente Routenführung, Verringerung von Leerfahrten oder auch durch bessere Auslastung der LKW erfolgen. Oft werden Konzepte rund um „Green by IT“ mit Bezug zum Transportwesen „Smart Logistics“ genannt. Wird besonders auf Nachhaltigkeit abgezielt, wird hingegen der Begriff „Green Logistics“ verwendet.

Trotz aller Bemühungen wird der Einsatz alternativer Kraftstoffe sowie effizienterer und innovativer Antriebstechnologien alleine nicht ausreichen, um Nachhaltigkeit im Verkehrssektor sicherzustellen, siehe auch [7]. Neue Konzepte und Ansätze rund um „Green by IT“ müssen konsequent verfolgt werden. Computergestützte Planung mittels Entscheidungsunterstützungssystemen stellt ein adäquates Mittel zur Steigerung der Nachhaltigkeit des Güterverkehrs dar. Mittels einer geeigneten Softwareumsetzung können intermodale Transportmittel in komplexe bestehende Netzstrukturen eingebunden werden, Leerfahrten durch optimierte Routen reduziert werden sowie Emissionen und Kraftstoffverbrauch gesenkt werden. Ein solcher Ansatz wird im nachfolgenden Kapitel näher dargestellt.

3 Ein Entscheidungsunterstützungssystem zur Unterstützung der operativen Transportplanung: JRouter IS eco

In dem vorliegenden Artikel liegt der Fokus nicht auf der Darstellung des zugrundeliegenden Transportmodells oder auf den implementierten Lösungsverfahren. Vielmehr wird eine Möglichkeit aufgezeigt, den Güterverkehr durch Entscheidungsunterstützungssysteme und intermodalen Verkehr nachhaltiger und ökologischer zu gestalten. Für technische Aspekte der zugrundeliegenden Umsetzung und der dazu verwendeten Literatur wird auf die vorhergehenden Forschungspublikationen [19] und [12] verwiesen.

In Deutschland waren laut Bundesamt für Güterverkehr (BAG) für das Jahr 2004 knapp 100.000 Betriebe tätig, vgl. [20]. Der Großteil dieser Unternehmen ist zu den kleinen und mittelständischen Unternehmen (KMU) zu zählen, vgl. [20]. Der Adressat des vorgestellten Entscheidungsunterstützungssystems sind vor allem KMU, und Allianzen unter ihnen, innerhalb der operativen Logistikbranche, die in der Regel nicht über große Budgets für Forschung und Entwicklung verfügen. Das Open Access Konzept und die allgemeine Verfügbarkeit dieser und vorhergehender Forschungsergebnisse erlaubt eine schnelle Anwendbarkeit und Übertragbarkeit der Optimierungssoftware. Der manuelle Planungsprozess des operativen Transportgeschäfts kann somit effizienter gestaltet werden.

Das DSS hilft Disponenten vor allem bei operativen Planungsaufgaben. Der Planungshorizont der operativen Planung ist kurz und ist auf das tägliche Transportgeschäft ausgerichtet. Dabei werden über ein bestehendes Transportnetz Aufträge abgewickelt, welche exogen durch die Kundennachfrage gegeben sind. Das Transportnetz ist unternehmensspezifisch ausgeprägt und besteht grundsätzlich aus Knoten und Kanten. Primäre Knoten sind Depots und Hubs, wogegen sekundäre Knoten die Kundenstandorte repräsentieren. Die Kanten entsprechen Transportrelationen für den Gütertransport zwischen den Knoten. Durch den intermodalen Charakter des Modells können straßen-, wasserstraßen- und schienengebundene Transportmittel und -wege einbezogen werden.

Die Vorgehensweise bei der Forschung und der Entwicklung der Prototypen erfolgte analog zur gestaltungsorientierten Wirtschaftsinformatik. Demnach wurde die Forschung mit designorientierter Ausrichtung und ingenieurmäßiger Vorgehensweise nach Hevner [16] durchgeführt. Ziel dieser Forschung ist die Implementierung und Evaluierung von IT-Artefakten unter strenger Berücksichtigung von Relevanz und Rigorosität. Dazu wurden die von Hevner vorgeschlagenen Richtlinien, siehe auch [16], zur Design Science stringent angewendet und einhalten. Im Folgenden werden die entwickelten Artefakte vorgestellt. Dabei liegt der Schwerpunkt konkret auf der Instanziierung.

Laut Hevner gibt es in Design Science grundsätzlich vier verschiedene Typen von Artefakten [16]: Konstrukte, Modelle, Methoden und Instanziierungen. Im Rahmen der vorliegenden Forschung wurde ein problembezogenes Transportmodell zur Beschreibung der Netzwerkprozesse in Transportnetzen geschaffen. Dabei handelt es sich um ein Modell, welches auf den Stückguttransport ausgelegt ist, jedoch unter anderem durch seinen intermodalen Charakter andere Güter, wie bspw. Schüttgüter, unterstützt. Das ganzheitliche Transportmodell ist auf (mehrfach) gebrochene Transportketten mit Integration des Vor- und Nachlaufs ausgelegt. Somit liegt der Anwendungsbereich im Sammel- bzw. Stückgutverkehr, im intermodalen Systemverkehr, im kombinierten Ladungsverkehr und in Kurier-Express-Paket (KEP) Diensten, im Less-than-Truckload (LTL), aber auch im Truckload Verkehr.

Ein weiteres Artefakt stellt der entwickelte Routingalgorithmus dar, welcher auf Ebene der Methoden der Design Science Artefakte anzusiedeln ist. Der hybride Routingalgorithmus wird zur Lösung der kundeninduzierten Transportaufträge in dem Netzwerk aus Knoten und Kanten auf das Transportmodell angewendet. Der hybride Charakter des Algorithmus ergibt sich aus der Kombination von exakten und heuristischen Verfahren zur Lösung des operativen Transportproblems. Das Routing erfolgt durch eine Umsetzung des deterministischen A* Algorithmus in Verbindung mit problemspezifischen heuristischen Erweiterungen.

Den wichtigsten Forschungsbeitrag stellt das Artefakt auf Ebene der Instanziierungen dar. Hierbei handelt es sich um ein integriertes, einsatzbereites Entscheidungsunterstützungssystem für komplexe operative Transportaufgaben. Die entwickelte Java Applikation JRouter IS eco dient zur Automatisierung der manuellen Disposition unter Berücksichtigung des Nachhaltigkeitsaspekts. Es wird ein intermodaler und umweltverträglicher Ansatz verfolgt, welcher sich auch im Namen widerspiegelt: JRouter Intermodal Sustainable (kurz: IS) eco. Weiterhin verfügt dieses zielgerichtete Artefakt im Bezug auf den Planungshorizont von einem Tag bis zu einigen Tagen über echtzeitnahe Eigenschaften. Laut dem Open Access Konzept kann die internetfähige Applikation direkt zur Optimierung und Visualisierung von Transportaufträgen von der Forschungshomepage gestartet werden. Zur Unterstützung beim Datenimport wurde die Applikation JImport entwickelt, welche aus Office Dokumenten (Access Datenbank, Excel Tabelle) Daten (Knoten, Kanten und Aufträge) importiert und in einem definierten Format ausgibt. Die Architektur und die Zusammenhänge zwischen den Applikationen werden zur besseren Verständlichkeit nachfolgend dargestellt:

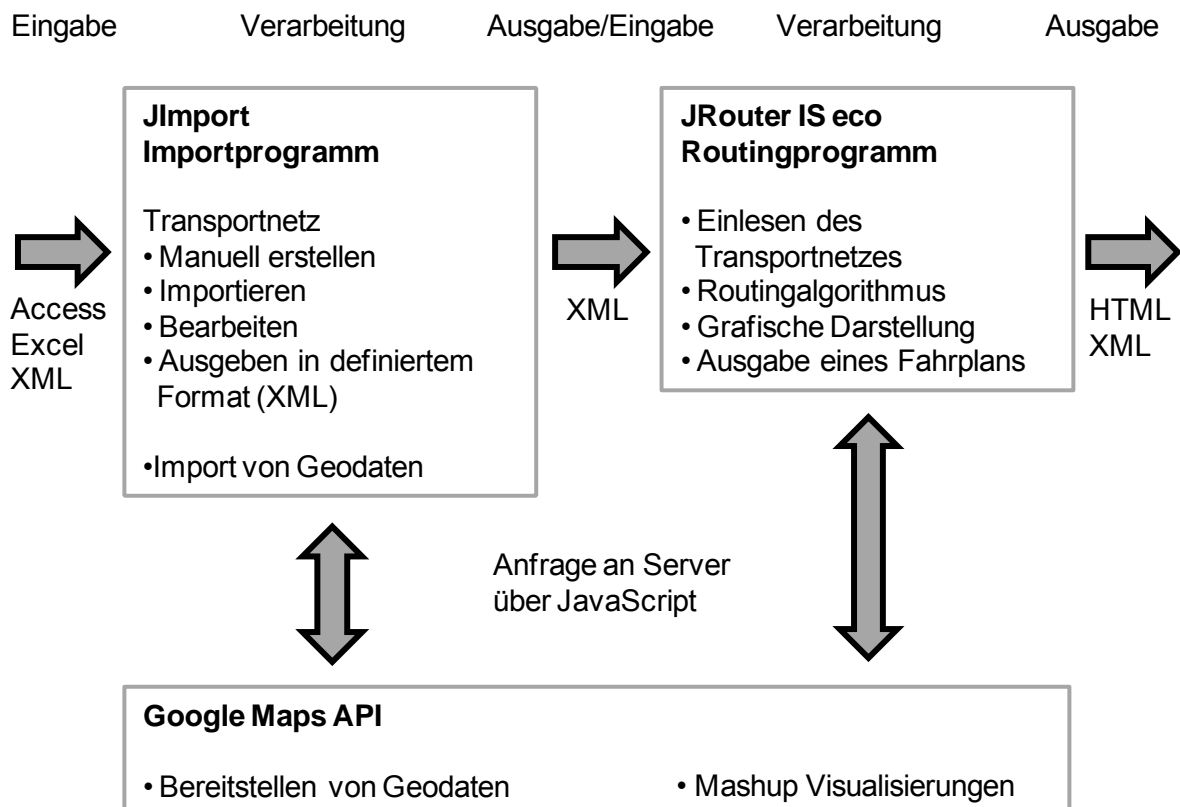


Bild 1: Architektur der entwickelten Applikationen, in Anlehnung an [19]

Zur Kommunikation der Forschungsergebnisse sowie zur Motivation und Unterstützung von KMU wurde eine Forschungswebseite erstellt. Diese funktional gestaltete Webseite kann unter <http://www.iwi.uni-hannover.de/georouting/ISeco/> erreicht werden und wird fortlaufend aktualisiert. Die Webseite dient auch zum Aufrufen der Applikation über Java Web Start. Zum Testen des Routingprogramms JRouter IS eco wird ein fiktiver Datenpool angeboten.

Im Folgenden werden die grafische Benutzeroberfläche (Graphical User Interface, GUI) und die Visualisierungsmöglichkeiten der Applikation JRouter IS eco anhand von Screenshots vorgestellt. Auf der linken Seite des Startfensters werden, nach dem Laden eines Transportnetzes, die verschiedenen Objekte des Transportnetzes dargestellt. Auf der rechten Seite befinden sich Schaltflächen zur Visualisierung von Knoten, Kanten und Aufträgen. Im unteren Bereich des Startfensters können weitere Funktionen aufgerufen werden. So kann dort das Einstellungsfenster aufgerufen werden, Daten geladen werden, das Routing angestoßen werden und die Ergebnisausgabe vorgenommen werden.

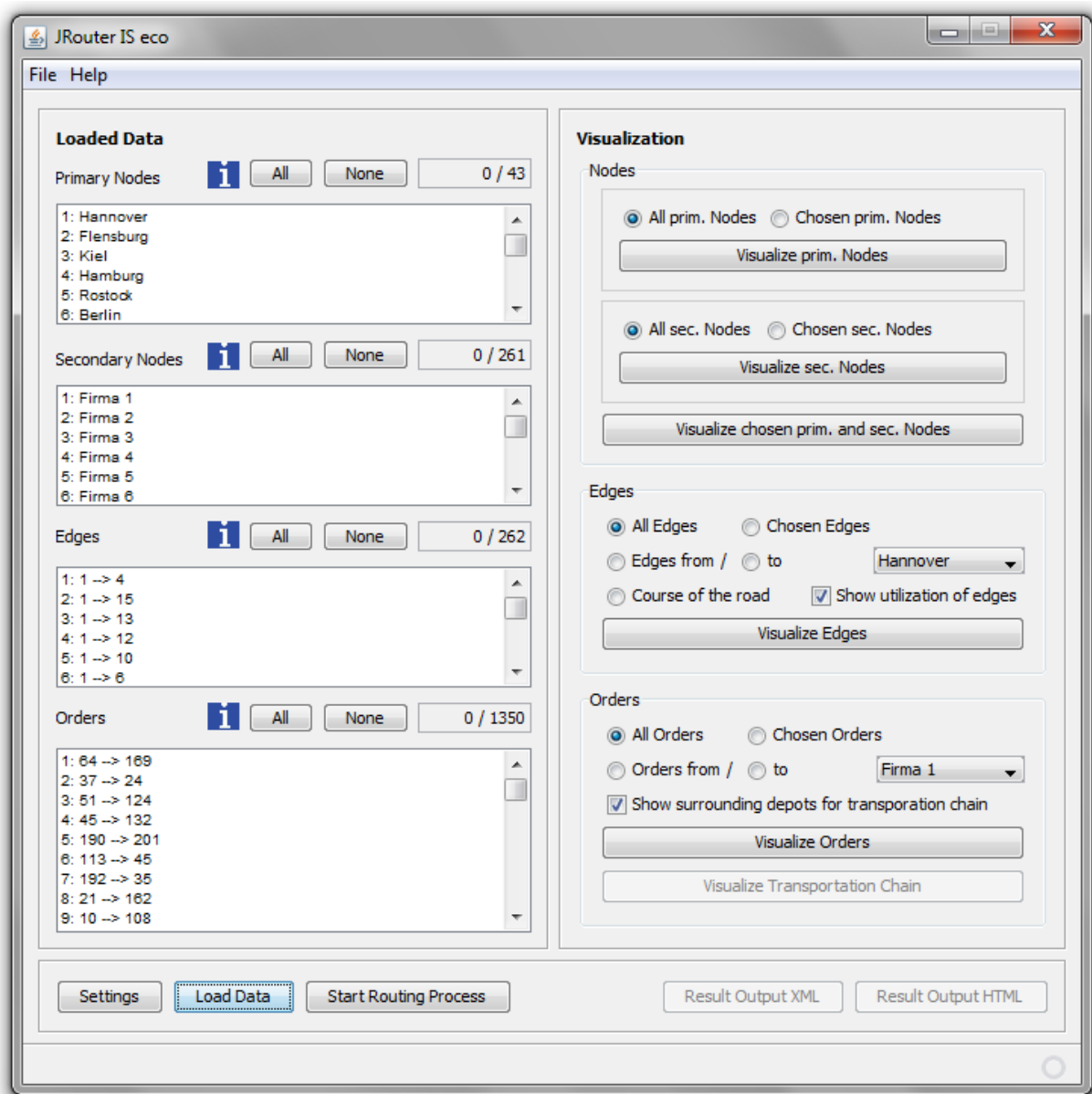


Bild 2: GUI des Routingprogramms JRouter IS eco

Die Visualisierung des Transportnetzes und der Routingergebnisse erfolgt mit Hilfe von Mashup Technologien. Durch eine programmierte Schnittstelle zur Google Maps API können die Visualisierungen direkt in einem Webbrowser plattformunabhängig dargestellt werden. Dementsprechend ist eine direkte Überprüfung der Routingergebnisse als auch der Struktur des Transportnetzes durch den Disponenten möglich. Untenstehend sind Knoten, Kanten, Auslastungsgrade der Transportmittel und eine komplette Auftragsabwicklung abgebildet.

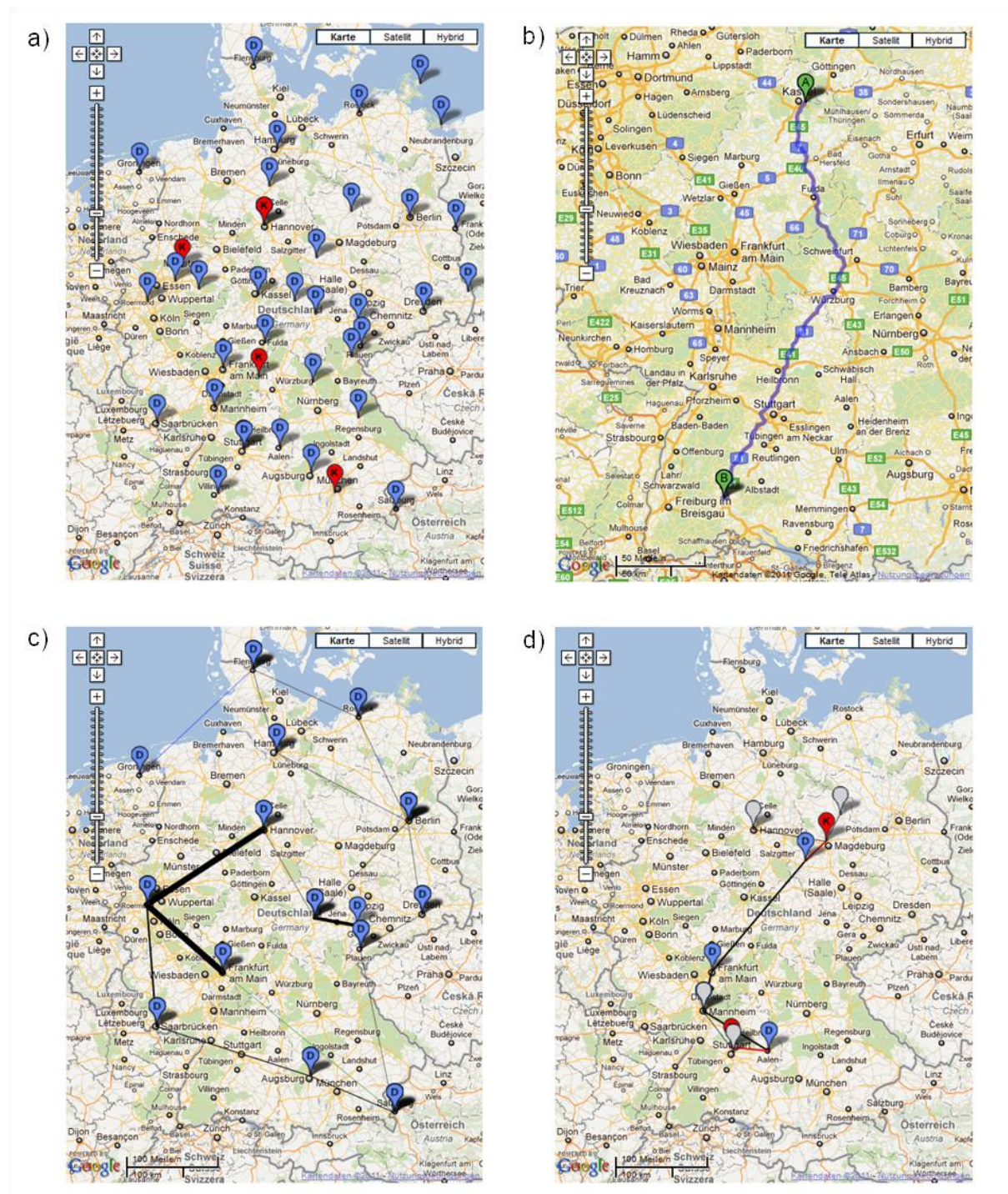


Bild 3: Screenshots der Visualisierungen mit Mashup Technologien

a) Primäre und Sekundäre Knoten

b) Exakte Route einer Kante

c) Auslastungsgrade der Kanten

d) Mehrstufige Auftragsabwicklung

4 Fallstudie: Nachhaltiger Güterverkehr durch JRouter IS eco

Zur Validierung und Verifizierung des implementierten Entscheidungsunterstützungssystems wurden verschiedene Tests in Rahmen einer Fallstudie durchgeführt. Für Funktionstests und zur Sicherstellung der Softwarequalität sowie zur Überprüfung der Performance und der Routingergebnisse des Systems wurde ein intermodales Transportnetz erstellt. Auf dieses Netzwerk wurden verschiedene, zufällig generierte Auftragpools angewendet.

Das intermodale Transportnetz weist für den Fernverkehr Mischstruktur auf und besteht somit aus Direktverkehren und sternförmigen Hub-Verbindungen an den Drehkreuzen. Dabei sind engmaschige, straßengebundene Verbindungen für kürzere Strecken über ein Schienennetz mit längeren Strecken gelegt. Weiterhin sind wassergebundene Transportrelationen, besonders für schwere Transporte über lange Strecken, integriert.

Insgesamt umfasst das Netz 146 straßengebundene, 96 schienengebundene und 20 wassergebundene Relationen. Alle der 20 wassergebundenen Transportrouten sind länger als 300km. Dabei ist die Entfernung dieser Relationen im Durchschnitt 40% höher als vergleichbare Routen auf der Straße. Der Grund dafür ist die variierende Netzdichte: Das Fernstraßennetz ist mehr als siebenmal so lang wie das Wasserstraßennetz, vgl. [6]. Da für die wassergebundenen Relationen kein kostenloses Geoinformationssystem (GIS) zur Verfügung steht, sind die Entfernungen bspw. anhand der Bundeswasserstraßenkarte manuell einzupflegen. Hingegen werden für die Verkehrsträger Straße und Schiene die Entfernungen automatisch bestimmt. Implizit wird hier angenommen, dass vergleichbare straßen- und schienengebundene Entfernungen nicht stark voneinander abweichen. Der Vor- und Nachlauf wird in der Regel über die Straße abgewickelt, es sei denn, der Kundenstandort verfügt über eine direkte intermodale Anbindung.

Die für den Fernverkehr hier eingebundenen Transportmittel sind in der anschließenden Tabelle dargestellt. Die Eigenschaften und spezifischen Vor- bzw. Nachteile wurden in Kapitel 2 näher beschrieben. Nach Konsolidierung verschiedener Quellen, insbesondere [6][18][20][21], wurden Richtwerte für diese Fallstudie festgelegt, die wiederum Auswirkungen auf die Dimensionen Kosten, Geschwindigkeit und Nachhaltigkeit aufweisen:

Transportmittel	Eigenschaften	Kraftstoffverbrauch [l/100km]	CO ₂ Emissionen [kg/100km]	Kapazität 1 [t]	Kapazität 2 [m ²]	Geschwindigkeit [km/h]
LKW (klein)	18t Lastkraftwagen	20 (2.00 pro Tonne)	52,4 (5.24 pro Tonne)	10	18	70
LKW (groß)	40t Lastkraftwagen	30 (1.15 pro Tonne)	78,6 (7.86 pro Tonne)	26	32	70
Bahn	Diesellokomotive mit 25 Waggons	500 (0.50 pro Tonne)	1310 (1.31 pro Tonne)	1.000	750	90
Binnenschiff	Frachtschiff der Klasse III	350 (0.35 pro Tonne)	917 (0.92 pro Tonne)	1.000	500	18

Tabelle 1: Übersicht und Eigenschaften eingebundener Transportmittel der Fallstudie

Zur Generierung von Aufträgen wurde ein Zufallsgenerator programmiert, der zufällig Kundenstandorte auswählt und Auftragseigenschaften variiert. Zudem wurden große und schwere Aufträge eingepflegt. Im vorliegenden Auftragspool werden mit unterminierten

Kanten etwa 80-90% der Aufträge automatisch geroutet. Eine Erhöhung der Lieferzeit oder eine zeitliche Terminierung der Kanten würde diese Zahl stark erhöhen. Die Ergebnisse und die Laufzeit des Routingprozesses sind im Allgemeinen abhängig von den vorgenommenen Einstellungen und dem verwendeten Transportnetz (Anzahl Knoten, Kanten und Aufträge).

Als Ergebnis der erfolgreichen Funktionstests ist weiterhin festzuhalten, dass die Verlagerung des Gütertransports von der Straße auf die Schiene und das Wasser möglich ist. Daraus ergeben sich, neben monetären Einsparungen, auch positive Auswirkungen auf die Umwelt: Jedes vollbeladene Binnentransportschiff ersetzt hier über 35 LKW und spart somit alleine auf 100km über 2000 Tonnen CO₂ ein. Jedoch sind die Einsparpotentiale in dieser Fallstudie eher qualitativ bewertbar, da für genauere Aussagen nicht verfügbare Vergleichszahlen von Logistikdienstleistern nötig wären. Die Definition von Referenzwerten für die jeweiligen Strecken bzw. individuellen Transportaufträge wäre sinnvoll, um diese dann mit der hier berechneten Route in Relation setzen zu können.

Limitationen ergeben sich somit aus der Quantifizierbarkeit der Einsparungen bezüglich Kraftstoff und Emissionen. Das genaue Potential ist bspw. in einer Feldstudie zu bestimmen. Weiterhin ist die Genauigkeit des zugrundeliegenden Transportmodells in einigen Punkten noch zu schärfen: Die Umschlagskapazität werden hier als ausreichend angenommen. Außerdem wird untergestellt, dass nur intermodale Kanten an primären Knoten angebunden werden, wenn diese über die entsprechende Suprastruktur für den Umschlag verfügen. Die Umschlagsdauer und -kosten an den Hubs und Depots ist noch global festgelegt und die Kostenstrukturen sind auf einen fixer Anteil plus einen variabler Anteil begrenzt.

5 Fazit

Die Logistikbranche steht vor der Herausforderung, das operative Transportgeschäft nachhaltiger zu gestalten. Durch den prognostizierten Anstieg der Transportleistung, kleinen und individuelleren Aufträgen über größere Entfernung sind Effizienzsteigerungen nötig, um durch die Politik vorgegebene Ziele zu erreichen und gleichzeitig profitabel operieren zu können. Nachhaltiger, also tragfähiger und ökologischer Gütertransport, vereint durch eine ganzheitliche Sichtweise ökonomische, ökologische und soziale Gesichtspunkte.

Als möglicher Ansatz zur Steigerung der Nachhaltigkeit wurde vorliegend die Nutzung alternativer Kraftstoffe aufgezeigt. Gleichmaßen wird die Mobilität der Zukunft, im Personen- als auch im Güterverkehr, durch die Wahl umweltfreundlicher Transportmittel bestimmt. Dabei sind für die Aufträge und Routen die jeweilig optimalen Verkehrsträger und Transportmittel zu wählen, so dass intermodale Transportketten zur Auftragsabwicklung resultieren. Um die daraus resultierenden komplexen Transportprozesse zu planen, können Entscheidungsunterstützungssysteme eingesetzt werden. Analog zum Konzept „Green by IT“ erlaubt computergestützte Planung die Einsparung von Ressourcen durch verschiedene Optimierungsverfahren. Im Falle der operativen Transportplanung sind so unter anderem Einsparungen durch die Einbindung intermodaler Transportmittel in die Netzstrukturen, die Reduzierung von Leerfahrten durch optimierte Routen sowie die Senkung von Emissionen und Kraftstoffverbrauch möglich.

Das Ergebnis der gestaltungsorientierten Forschung sind drei zielgerichtete Artefakte, um Disponenten bei der operativen Transportplanung zu unterstützen. Grundlage ist ein problembezogenes Modell zur Beschreibung und Abbildung der Transportprozesse in gegebenen

Netzstrukturen. Darauf setzt ein hybrider Routingalgorithmus zur Lösung des operativen Transportproblems auf. Dieser führt mittels Operations Research Verfahren ein Routing der kundeninduzierten Transportaufträgen in einem Netzwerk aus Knoten und Kanten aus. Die beschriebenen Artefakte auf Ebene der Modelle und Methoden wurden in Form einer konkreten Instanziierung in ein DSS integriert. Dieses zielgerichtete Artefakt erlaubt die Automatisierung der manuellen Disposition unter Berücksichtigung des Ökologie- und Nachhaltigkeitsaspekts. Neben der Optimierung durch den Routingalgorithmus und der Ausgabe von Fahrplänen erlauben Mashup Technologien die Visualisierung des Transportnetzes und der Routingergebnisse. Durch das Open Access Konzept stellt das System ein Mittel dar, um nicht nur Kosten einzusparen, sondern auch durch Reduktion des Energieverbrauchs und der Emissionen die Nachhaltigkeit der Gütertransporte zu steigern.

In der zukünftigen Forschung ist eine umfassendere Evaluierung des hier vorgestellten Artefakts anzustreben. Dabei ist die Ergebnisqualität gegenüber manueller Disposition zu prüfen. Analog zum Design Science von Hevner stellt dies einen weiteren Durchlauf des Relevanz-Zyklus dar, siehe auch [15]. Durch diesen Anstoß und Weiterentwicklungen im Entwicklung-Zyklus kann die Rigorosität mittels des Rigorosität-Zyklus gesteigert werden.

Weiterhin können die Ergebnisse dieser operativ ausgerichteten Studie auf taktischere Transportprobleme übertragen werden. Statt dem Routing von Aufträgen in einem gegebenen Transportnetz, kann auf der taktischen Planungsebene der Verlauf der Kanten bzw. Routen optimiert werden. Die Implementierung einer multi-kriteriellen Zielfunktion in den Optimierungsalgorithmus, sowohl auf operativer als auch taktischer Ebene, eröffnet neue Möglichkeiten. So könnten, neben dem Kostenaspekt, der Emissionsausstoß und der Kraftstoffverbrauch als Größen in die Zielfunktion aufgenommen werden und dadurch weiter reduziert werden, siehe auch das Pollution-Routing Problem [4]. Eine Herausforderung für die neue Mobilität im Güterverkehr bleibt die Übertragung und Weiterentwicklung von bestehenden Konzepten der Elektromobilität auf den Transportsektor.

6 Literatur

- [1] Aachener Stiftung Kathy Beys (2011): Lexikon der Nachhaltigkeit - Drei-Säulen-Modell. http://www.nachhaltigkeit.info/artikel/1_3_a_drei_saeulen_modell_1531.htm. Stand 30.08.2011.
- [2] Aachener Stiftung Kathy Beys (2011): Lexikon der Nachhaltigkeit - Nachhaltigkeit. http://www.nachhaltigkeit.info/artikel/nachhaltigkeit_1398.htm. Stand 30.08.2011.
- [3] Acatech (Deutsche Akademie der Technikwissenschaften) (2006): Mobilität 2020. Perspektiven für den Verkehr von morgen - Schwerpunkt: Straßen und Schienenverkehr. Fraunhofer IRB Verlag, Stuttgart.
- [4] Bektaş, T, Laporte, G (2011): The Pollution-Routing Problem. *Transportation Research Part B: Methodological* 45 (8): 1232-1250.
- [5] Bretzke, WR; Barkawi, K (2010): Nachhaltige Logistik - Antworten auf eine globale Herausforderung, Springer, Berlin.
- [6] Bundesanstalt für Gewässerkunde; PLANCO Consulting GmbH (2007): Verkehrswirtschaftlicher und ökologischer Vergleich der Verkehrsträger Straße, Schiene und Wasserstraße. Schlussbericht zur Forschungsstudie.

- [7] Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (2010), Umweltbericht 2010 - Umweltpolitik ist Zukunftspolitik. Referat Öffentlichkeitsarbeit, Berlin.
- [8] Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (2010), Erneuerbare Energien - Innovationen für eine nachhaltige Energiezukunft. Referat Öffentlichkeitsarbeit, Berlin.
- [9] Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (2010), Erneuerbare Energien in Zahlen. Referat Öffentlichkeitsarbeit, Berlin.
- [10] Deutsche Post AG (2010): Delivering Tomorrow. Zukunftstrend Nachhaltige Logistik. Deutsche Post AG Konzernzentrale, Bonn.
- [11] FONA - Forschung für Nachhaltigkeit (2011): Forschung für Nachhaltigkeit. <http://www.fona.de>. Abgerufen am 30.08.2011.
- [12] Gerasch, M (2010): Transportplanung in Sammelladungsnetzwerken: Flexibilisierung und Automatisierung der Disposition. Shaker Verlag, Aachen.
- [13] Göpfert, I; Wellbrock, W (2011): Zukunftsorientierung in der Logistik. In: Tiberius, V (Hrsg.), Zukunftsorientierung in der Betriebswirtschaftslehre. Gabler, Wiesbaden.
- [14] Heng, S.; Klusmann, B.; Koenig, F. (2011): Green IT: More than a Passing Fad!. Deutsche Bank Research Paper No. 81.
- [15] Hevner, AR (2007): A Three Cycle View of Design Science Research. Scandinavian Journal of Information Systems. 19 (2): Article 4.
- [16] Hevner, AR; March, ST; Park, J; Ram, S (2004): Design Science in Information Systems Research. MIS Quarterly 28 (1): 75-105.
- [17] Hülsmann, M; Grapp, J (2007): Nachhaltigkeit und Logistik-Management. In: Müller-Christ, G; Arndt, L; Ehnert, I (Hrsg.), Nachhaltigkeit und Widersprüche - Eine Managementperspektive. LIT Verlag, Hamburg.
- [18] Knörr, W; Kutzner, F (2008): Verbrauch, Emissionen, Materialeinsatz und Kosten von Binnenschiffen, Flugzeugen und Schienenfahrzeugen. Forschungsbericht, Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg GmbH, Heidelberg.
- [19] Rickenberg, T; von Mettenheim, HJ; Breitner, MH (2010): Plattformunabhängiges Softwareengineering eines Transportmodells zur ganzheitlichen Disposition von Strecken- und Flächenverkehren. In: IWI Discussion Paper #38, Institut für Wirtschaftsinformatik, Leibniz Universität Hannover.
- [20] Schmied, M; Havers, K; Zimmer, W (2007): Nachhaltige Mobilität durch Innovationen im Güterverkehr. Forschungsbericht, Öko-Institut e.V., Lehrstuhl für Verkehrssysteme und -logistik der Universität Dortmund und Fraunhofer-Institut für Materialfluss und Logistik.
- [21] Zimmer, W.; Fritsche, U. R.; Hacker, F.; Hochfeld, C.; Hünecke, K.; Jenseit, W.; Rausch, L.; Schmied, M. (2009): Stoffwertanalyse nachhaltige Mobilität im Kontext erneuerbarer Energien bis 2030. Endbericht, Öko-Institut e.V.; DLR - Institut für Verkehrsforschung.