

Kapitel 10

Assistenzsysteme für die Entscheidungsunterstützung

Doris Blutner, Stephan Cramer, Sven Krause, Tycho Mönks, Lars Nagel,
Andreas Reinholz und Markus Witthaut

10.1 Einleitung

Assistenzsysteme finden in unterschiedlichsten Arbeitsbereichen zunehmend Verwendung. Die wachsende Bedeutung von Assistenzsystemen als Mensch-Maschine-Schnittstellen nicht zuletzt in der Logistik legt es nahe, Assistenzsysteme zu klassifizieren. Als Ergebnis eines disziplinübergreifenden Diskurs zwischen Informatik, Logistik und Soziologie legen wir mit diesem Beitrag eine Taxonomie von Assistenzsystemen vor. Der dazu erforderliche konzeptionelle Rahmen wird in Kap. 10.2 vorgestellt, einer ersten Erprobung in Kap. 10.3 unterzogen und danach auf sechs Assistenzsysteme für die Entscheidungsunterstützung in der Logistik, die den einzelnen Forschungsfeldern der Autoren entnommen sind angewandt. Abschließend vergleichen wir unterschiedliche Varianten der Entscheidungsunterstützung.

10.2 Konzeptioneller Rahmen

Dieser konzeptionelle Rahmen dient dazu, unterschiedliche Assistenzsysteme unabhängig von ihrer Aufgabe und ihrem Einsatzgebiet zu vergleichen und einzuordnen. Damit wollen wir gleichzeitig einen Beitrag zur Analyse und Gestaltung von Mensch-Maschine-Schnittstellen leisten.

10.2.1 Fokus: Entscheidungsunterstützung

Die Vielfalt von Mensch-Maschine-Schnittstellen ist unübersehbar. Sie reicht von einfachen Bedienungen einer Maschine oder eines Rechners bis hin zu autonom

M. Witthaut (✉)
Fraunhofer-Institut Materialfluss und Logistik (IML)
Joseph-von-Fraunhofer-Str. 2-4
44227 Dortmund, Deutschland
e-mail: markus.witthaut@iml.fraunhofer.de

agierenden Agenten, die unabhängig von Entscheidungen des Menschen ihre Aufgaben erledigen. Unsere besondere Aufmerksamkeit gilt dem menschlichen Entscheidungsfindungsprozess, der durch Maschinen unterstützt wird. Diese Fokussierung ist zweifach motiviert:

1. Entscheidungsfindungsprozesse und „bounded rationality“: Unter einer Entscheidung verstehen wir eine bewusste und rationale Auswahl zwischen mindestens zwei Alternativen [Els89], wobei die subjektive Erwartung am antizipierten Nutzen die Wahl der Alternative dominiert [Ess91].
2. Aussageziel: Der konzeptionelle Rahmen soll dabei helfen, Assistenzsysteme hinsichtlich ihrer Entscheidungsqualität und Leistungsfähigkeit bei der Simulation, der Produktion und der Logistik zu bewerten und Vorschläge zu ihrer Gestaltung abzuleiten.

10.2.2 Assistenzsysteme zur Entscheidungsunterstützung: Definition und Merkmale

Assistenzsysteme sind rechnerbasierte Systeme, die den Menschen bei der Entscheidungsfindung und -durchführung unterstützen. Sie sind ein integraler Bestandteil der Mensch-Maschine-Systemtechnik, die durch die informationelle Verkopplung von Maschinen und Operateuren gekennzeichnet ist [TJü02, S. 345]. Dabei werden den Operateuren nicht nur Fakten geliefert, sondern auch Hilfen bei der Lösung von Problemen und beim Treffen von Entscheidungen geboten [TJü02, S. 345]. Der Beitrag der Arbeitsgruppe fokussiert demnach Assistenzsysteme zur Entscheidungsunterstützung, die dazu geeignet sind, Handlungsalternativen hervorzubringen oder dazu einen Beitrag zu leisten. Diese spezifische Leistungsfähigkeit unterscheidet derartige Systeme – in Anlehnung an Timpe und Kolrep – von Unterstützungssystemen, die keine Alternativen generieren. Der gesamte Entscheidungsprozess lässt sich in die drei Teilprozesse der Entscheidungsvorbereitung, des Entscheidens – im Sinne der Auswahl zwischen mehreren Alternativen – sowie der Entscheidungsausführung gliedern. Assistenzsysteme zur Entscheidungsunterstützung umfassen Aufgaben der Entscheidungsvorbereitung und/oder der Alternativauswahl, können aber auch Funktionen zur Entscheidungsausführung und -überwachung bereitstellen.

Ein Assistenzsystem zur Entscheidungsunterstützung ist demnach durch die Merkmale Identifikation einer Lösungsmenge, Auswahl und Bewertung von Alternativen sowie autonomes Agieren gekennzeichnet. Sein Leistungspotential bezieht es aus der Fähigkeit, intelligente Prozeduren durchzuführen, bei deren Ausführung die Menschen angesichts hoher Schwierigkeitsgrade und (System-)Komplexitäten aufgrund ihrer begrenzten kognitiven Fähigkeiten systematisch scheitern.

Zur terminologischen Klärung sei hinzugefügt, dass der Terminus des Decision Support Systems (DSS) nach Bloech und Ihde (vgl. [BJh97]) synonym mit dem des Entscheidungsunterstützungssystems verwendet werden kann, zumal auf das Ideal einer auf Mensch und Rechner verteilten Problemlösung hingewiesen wird. Varianten von DSS bieten zudem Ausdifferenzierungsmöglichkeiten: So dienen

dem Topmanagement Executive Support Systems. Extended Decision Support Systems integrieren qualitatives Expertenwissen und Group Decision Support Systems unterstützen gruppenförmig organisierte Prozesse. Abgesehen von den a priori gegebenen Unschärfen dieser Kategorisierung – ein System für die Unterstützung von Führungsaufgaben schließt die Integration von Expertenwissen nicht aus – boten die Fragestellung und die Auswahl der Fallbeispiele Anlass dazu, eine eigene Taxonomie zu entwerfen. Welche Taxonomien bereits existieren und welche Modifikationen vorgenommen wurden, wird im folgenden Kapitel zusammengefasst.

10.2.3 *Vorhandene Taxonomien für Assistenzsysteme, Automatisierungsstufen und die Verteilung von Entscheidungen zwischen Menschen und Rechnern*

Sheridan und Verplank erarbeiteten bereits 1978 eine Skala von zehn Automatisierungsstufen und ordneten diesen Systemmerkmale zu, die mit verschiedenen Aufgabenverteilungen zwischen Menschen und Rechnern korreliert wurden (Vgl. [SVe78] und [HTi02, S. 48]):

- 1. keine Unterstützung durch C (Computer), H (Human) macht alles,
- 2. C bietet Handlungsalternativen an,
- 3. und schränkt Auswahl ein,
- 4. Vorschlag einer Alternative,
- 5. Ausführung Vorschlag nach Bestätigung durch H,
- 6. H nur noch Vetorecht, sonst Ausführung,
- 7. automatische Ausführung und Information von H,
- 8. Information nur nach Anfrage durch H,
- 9. Info nur nach Entscheidung von C,
- 10. C entscheidet und handelt autonom, H wird ignoriert.

Endsley schlug 1997 zehn Automatisierungsstufen vor, die sich auf vier Aufgabenbereiche – Überwachen des Systemzustandes, Generieren von Wahlmög-

| Level of control | Monitoring | Generating | Selecting | Implementing |
|--------------------------|------------|------------|-----------|--------------|
| 1. Manuel Contr. | H | H | H | H |
| 2. Action Support | HC | H | H | HC |
| 3. Batch Processing | HC | H | H | C |
| 4. Shared Control | HC | HC | H | HC |
| 5. Decision Support | HC | HC | H | C |
| 6. Blended Dec. making | HC | HC | HC | C |
| 7. Rigid system | HC | C | H | C |
| 8. Automated Dec. Making | HC | HC | C | C |
| 9. Supervisory Control | HC | C | C | C |
| 10. Full Automation. | C | C | C | C |

lichkeiten und Strategien der Zielerreichung, Auswählen von Alternativen und Strategien, Durchführen und Umsetzen bezogen [HTi02, S. 46 f.].

Bei der Anwendung dieser Taxonomien auf die zu untersuchenden Einzelfälle ergaben sich Probleme, die es erforderlich machten, eine spezifisch zugeschnittene Taxonomie zu entwerfen. Die Ausdifferenzierung von zehn Automatisierungsstufen erwies sich als zu detailliert und zu wenig trennscharf. Im Einzelfall blieben Zuordnungen von Systemleistungen zu einzelnen Automatisierungsstufen zweifelhaft. Andererseits erwies sich die Unterscheidung von vier Aufgabenbereichen als zu grob: Die Informationserzeugung und -aufbereitung und die Überwachung und Kontrolle der Entscheidungsausführung galt es hinzuzufügen. Die Taxonomie der Arbeitsgruppe definiert daher sechs Teilleistungen bei der Entscheidungsunterstützung und kombiniert diese mit der Frage der Arbeitsteilung bzw. Kooperation zwischen Operateuren und Rechnern. Hier wird die techniksoziologische Frage nach der Entwicklung hybrider Systeme zwischen Menschen und Maschinen verteilten Handelns und Entscheidens aufgegriffen (vgl. [RSc02]).

10.2.4 Art der Entscheidungsunterstützung

Der Vergleich und die Einordnung unterschiedlicher Assistenzsysteme für die Entscheidungsfindung erfordert eine Systematisierung der Arten der Entscheidungsunterstützung, von denen sechs Varianten unterschieden werden:

1. Erzeugen und Aufbereiten (inkl. Filtern) von Informationen,
2. Erzeugen von Alternativen (Transformation von Daten in Entscheidungsalternativen.),
3. Bewerten von Alternativen (Bewertungskriterien durch den Menschen festgelegt),
4. Auswählen von Alternativen (Entscheidung),
5. Überwachen der Entscheidungsausführung (Einhaltung Zielkriterien),
6. Kontrollieren der Entscheidungsausführung.

10.2.5 Arbeitsteilung zwischen Mensch und Maschine

Der Vergleich und die Einordnung unterschiedlicher Assistenzsysteme für die Entscheidungsfindung erfordert neben der Systematisierung der Arten der Entscheidungsunterstützung eine genaue Betrachtung der Arbeitsteilung zwischen Mensch und Maschine (i. S. degrees of automations, [She88]), die durch die Pole „vollständig durch den Menschen durchgeführt“ und „vollständig durch die Maschine durchgeführt“ markiert wird. Für die in Kap. 10.2.3 definierten Arten der Entscheidungsunterstützung ergibt sich folgendes (Abb. 10.1):

| | Rechner | Verteilt | Mensch |
|--|---|--|--|
| Erzeugen und Aufbereitung von Informationen | Automatische Datenübernahme aus anderen Systemen | Datenübernahme durch den Rechner und manuelle Korrektur | Manuelle Dateneingabe |
| Erzeugen von Alternativen | Betrachtung aller Alternativen des Lösungsraums | Rechnergestützte Alternativerzeugung, Mensch schränkt Lösungsraum ein | Konstruktion von wenigen Alternativen |
| Bewerten von Alternativen | Ranking aller Alternativen | Automatische Alternativenbewertung Mensch spezifiziert Kriterien | Manuelle Bewertung (z.B. Priorisierung) der Alternativen |
| Auswählen von Alternativen | Automatische Auswahl aus Ranking | Auswahl einer Alternative, Mensch legt Kriterien fest | Manuelle Auswahl |
| Überwachen der Entscheidungsausführung | Automatische Überwachung festgelegter Zielkriterien | Manuelle Dateneingabe ¹ mit rechnergestützter Überwachung der Zielkriterien | Manuelle Datenerfassung von Zustandsdaten |
| Kontrollieren der Entscheidungsausführung | Automatische Revision der ausgewählten Entscheidung | Ablehnung der vom Mensch gewählten Entscheidung, Vorschlag Alternative | Manuelle Revision der ausgewählten Entscheidung |

Abb. 10.1 Beispiele für die Arbeitsteilung zwischen Mensch und Maschine

10.2.6 Einsatzzweck

Die Einsatzgebiete von Assistenzsystemen für die Entscheidungsunterstützung in großen Netzen der Logistik sind vielfältig. Eine Übertragung von Erkenntnissen über ein Assistenzsystem auf andere Systeme ohne Berücksichtigung des Einsatzgebietes birgt die Gefahr von Fehlschlüssen.

Um die Vergleichbarkeit von Assistenzsystemen für die Entscheidungsfindung zu ermöglichen, ist daher grundsätzlich eine Systematisierung des Einsatzgebietes erforderlich. Hierbei nehmen wir – basierend auf Hellingrath und Kuhn [HKu02, S. 142 ff.] – eine Unterteilung in drei Einsatzgebiete vor:

- Gestaltung
z. B. Standortplanung, Gestaltung von Transportnetzen,
- Taktische Planung
z. B. Absatzplanung, Produktionsplanung, Beschaffungsplanung,
- Operative Steuerung
z. B. Auftragsabwicklung, Transportüberwachung, Behältermanagement.

10.2.7 Qualität und Quantität der Entscheidung

Der Vergleich und die Einordnung unterschiedlicher Assistenzsysteme für die Entscheidungsfindung erfordert Aussagen über die Qualität und Quantität des zu unterstützenden Entscheidungsprozesses:

1. Die besondere Qualität eines Assistenzsystems zur Entscheidungsunterstützung sehen wir vor allem in den Merkmalen der Gestaltung (Wirtschaftlichkeit) und Stabilisierung (Sicherheit, Zuverlässigkeit) von komplexen Systemen sowie darin, mögliche Folgen menschlicher Entscheidungen für das System abbilden zu können [Par00, S. 290].
2. Eng verbunden mit dem oben benannten Einsatzzwecken rücken quantitative Aspekte derartiger Systeme in den Vordergrund, nämlich die Zeitnähe der Entscheidung und die Entscheidungsfrequenz.

10.3 Fallbeispiele

In diesem Kapitel werden sechs Assistenzsysteme für die Entscheidungsunterstützung in der Logistik vorgestellt. Diese Fallbeispiele sind den einzelnen Forschungsfeldern der Autoren entnommen.

10.3.1 Beladung von Frachtflugzeugen

10.3.1.1 Institutionelle Voraussetzungen und wirtschaftliche Entwicklung der Luftfracht

Luftfrachttransporte sind fester Bestandteil von internationalen Produktions- und Distributionsketten. Ihre Leistungsfähigkeit zeigt sich in kurzen Beförderungszeiten, termingerechten Transporten und hoher Transportsicherheit. Eine Vielzahl von Decision Support Systems (DSS) unterstützt Piloten wie Disponenten dabei, den hohen Sicherheitsanforderungen gerecht zu werden. Das DSS „Beladen und Trimmen eines Flugzeugs“ ist dafür ein Beispiel. Es dient dazu, die Beladung eines Flugzeugs virtuell vorwegzunehmen, um zu überprüfen, dass das Flugzeug bei realer Beladung zu jedem bewegten wie ruhendem Zeitpunkt keine Gefahr für Personen oder Ladung darstellt. Die sicherheitsrelevanten Parameter werden durch das Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung festgelegt und kontinuierlich aktualisiert. Die wesentlichen Festlegungen sind: Der Luftfrachtunternehmer hat vor jedem Flug Unterlagen über Masse und Schwerpunktlage zu erstellen, in denen die Ladung und deren Verteilung angegeben sind. Diese Unterlagen muss der Pilot überprüfen. Er sowie jene Person, die die Unterlagen über

Masse und Schwerpunktlage des Flugzeugs überwacht, bestätigen per Unterschrift die Übereinstimmung der Ladung und deren Verteilung mit den Unterlagen über Masse und Schwerpunktlage [JAR06, S. 105, JAR-OPS 1.1055(a)(12)]. Das Luftfahrtunternehmen ist dafür verantwortlich, dass die Beladung unter Aufsicht von qualifiziertem Personal und anhand der berechneten Daten erfolgt [JAR06, S. 108]. Die Unterlagen über Masse und Schwerpunktlage müssen folgende Angaben beinhalten [JAR06, S. 111 ff.]: Flugzeugkennzeichen und -nummer; Flugnummer und Datum; Identität des Piloten; Identität der Person, die die Unterlagen erstellt hat; die Betriebsleermasse und die dazu gehörige Schwerpunktlage des Flugzeuges; die Kraftstoffmasse beim Start und die Masse des Kraftstoffs für die Flugphase; die Masse von Verbrauchsmitteln außer Kraftstoff; die Ladung, unterteilt in Fluggäste, Gepäck, Fracht, Ballast etc.; die Abflug-, Lande- und Leertankmasse; die Verteilung der Ladung; die zutreffenden Flugzeugschwerpunktlagen sowie die Grenzwerte für Masse und Schwerpunktlagen.

10.3.1.2 Systembeschreibung des Assistenzsystems: Beladen und Trimmen eines Flugzeuges

Vor Einführung des DSS musste der Disponent die erforderlichen Angaben verschiedenen IT-Systemen und Dokumenten entnehmen und mittels eines „LOAD & TRIM SHEET“ – Bogens die Beladung und den Trimm des Flugzeuges manuell ausrechnen. Ein durchgängiger Zugriff auf die notwendigen Daten ist erst seit Einführung des DSS möglich. Einzig die Spritwerte erhält der Disponent nicht per automatischen Dateninput. Diese übermittelt ihm der Pilot. Das Berechnen der Beladung und Trimmung per Hand dauert nach Einschätzung der Disponenten 20 bis 25 Minuten, wenn sie diese Aufgabe spontan, also im ungeübten Zustand, erledigen müssten.

Das DSS ist so konzipiert, dass es alle Vorgaben des Luftrechts berücksichtigt. Der Disponent belädt das Flugzeug virtuell mit den im DSS angezeigten Containern. Schlägt er eine bestimmte Beladung vor, kann er sofort erkennen, ob die Kriterien „Zero Fuel Weight“ (ZFW = Beladung des Flugzeugs ohne Sprit), „Take off Weight“ (TOW = Gewicht bei Start des Flugzeugs) und „Landing Weight“ (LDG = Gewicht des Flugzeuges bei Landung), erfüllt sind. Diese drei Kriterien spiegeln das „Operational Limit“ der Beladung wider, in dem das Flugzeug gehalten werden muss.

Das rechnergestützte Assistenzsystem zur Beladung und zum Trimmen der Frachtflugzeuge wurde von der Softwareabteilung desselben Unternehmens erstellt, welches auch die Luftfrachtdienstleistungen anbietet und durchführt. Dieses Assistenzsystem ist so angelegt, dass es den Vorgaben des Luftrechts gerecht wird [JAR06] und die oben genannten Angaben (Abb. 10.2) beinhaltet. Der Leitstandsmitarbeiter belädt das Flugzeug virtuell mit den im Assistenzsystem angezeigten, zu ladenden Containern. In diesem Moment kommt der entscheidungsunterstützende Charakter des Assistenzsystems ins Spiel. Schlägt der Leitstandsmitarbeiter eine bestimmte Beladung vor, ist es für ihn sofort ersicht-

Balance Conditions**Abb. 10.2** Balance Conditions

lich, ob die Kriterien „Zero Fuel Weight“ (ZFW = Beladung des Flugzeugs ohne Sprit), Startmasse (TOW = Gewicht bei Start des Flugzeugs) und Landing Weight (LDG = Gewicht des Flugzeuges bei Landung), die durch eine konkrete Beladung des Flugzeugs beeinflusst werden können, im sicheren Bereich liegen. Das Ziel des Leitstandsmitarbeiters, der das Flugzeug (virtuell) belädt und trimmt, ist es demzufolge, das Flugzeug unter Berücksichtigung dieser drei Kriterien im „Operational Limit“ zu halten, um einen sicheren Flug zu gewährleisten. Das IT-System bildet den aktuellen Beladungszustand entlang der drei Kriterien durch eine Reglerschiebergrafik ab (Abb. 10.3, FWD und AFT bezeichnen Grenzwerte). Ein gestrichelter Strich auf der obersten Reglerschiene (ZFW) kennzeichnet den optimalen Trimm unter den gegebenen Bedingungen.

Das DSS bildet mittels einer Reglerschiebergrafik den aktuellen Beladungszustand anhand dieser drei Kriterien (Abb. 10.2, FWD und AFT bezeichnen Grenzwerte). Ein gestrichelter Strich auf der obersten Reglerschiene (ZFW) kennzeichnet den optimalen Trimm unter den gegebenen Bedingungen. Die Abstimmung dieser Werte führt zu einem Gesamtwert, dem Total Traffic Load (TTL), dessen Wert dem Disponenten sofort durch das DSS sichtbar gemacht wird. Der Disponent greift beim virtuellen Beladen und Trimmen des Flugzeuges zunächst auf seine Erfahrungen hinsichtlich des Flugzeugtyps, der Ladung und der Destination zurück. Sobald der Pilot die Spritdaten an den Disponenten weitergibt, trägt dieser diese Informationen in die Maske des DSS ein und überprüft mittels des DSS, ob die Beladung und der Trimm unter den aktualisierten Bedingungen (Flugroute, Wetter) noch den Sicherheitsvorgaben entsprechen.

10.3.1.3 Einordnung in den konzeptionellen Rahmen

Art der Entscheidungsunterstützung Das IT-System „Beladen und Trimmen eines Flugzeuges“ ist ein DSS mit eingebauter „Notbremse“. Belädt der Disponent virtuell das Flugzeug unsicher, so verweigert es den Ausdruck des „LOAD & TRIM SHEET“-Formulars, welches Pilot und Disponent unterzeichnen müssen (siehe Abschn. 10.3.1.1). Bedeutet die vorgeschlagene Beladung ein Sicherheitsrisiko, wird dies dem Disponenten durch einen rot eingefärbten Strich visualisiert. In diesem Fall generiert das DSS eine Prüfliste, die der Disponent durchgehen muss und anhand derer er eine neue Beladungsvariante vorschlägt. Diesen Vorgang wieder-

| | Rechner | Verteilt | Mensch |
|---|--|--|---------------------------------------|
| Erzeugen und Aufbereiten von Informationen | | Initiale Datenübernahme durch den Rechner mit anschließender manueller Korrektur: tatsächliche Fracht, erwartetes Wetter | |
| Erzeugen von Alternativen | | | Vorschlag einer Beladungsalternative |
| Bewerten von Alternativen | Bewertung der Alternative mittels vordefinierter, fester Bewertungsgrößen hinsichtlich des Kriteriums Sicherheit | | |
| Auswählen von Alternativen | | | Entscheidung für die sichere Beladung |
| Überwachen der Entscheidungsausführung | Abgleich der eingegebenen Daten mittels einer Prüfliste | | |
| Kontrollieren der Entscheidungsausführung | Ausdruck des „Load & Trim“-Formulars als Ergebnis des Kontrollvorgangs. | | |

Abb. 10.3 Arbeitsteilung zwischen Mensch und Maschine beim Beladen und Trimmen eines Flugzeuges

holt er im Zweifelsfall so oft, bis das DSS ihm eine sichere Beladung des Flugzeuges bestätigt.

Nicht nur theoretisch, sondern ebenso praktisch könnte der Disponent eine vollständig automatische Beladung und Trimmung des Flugzeuges durch das DSS vornehmen lassen. Die Disponenten sehen jedoch davon ab, um die unternehmensbezogenen Effizienzkriterien ‚Erfüllung kundenbezogener Servicewünsche‘ und ‚ökonomisches Fliegen‘ berücksichtigen zu können.

Das DSS unterstützt den Menschen beim Erzeugen und Aufbereiten von Informationen sowie beim Erzeugen und Bewerten von Alternativen. Im automatischen Modus offeriert es genau eine Alternative. Die ausschließliche Unterstützungsfunktion des DSS besteht in der Gewährleistung eines sicheren Flugs. Es interveniert genau dann, wenn die vom Menschen vorgeschlagene Alternative die Sicherheitskriterien nicht erfüllt. In diesem Sinne überwacht und kontrolliert das System die Entscheidungsprozesse zur Festlegung der Beladung des Flugzeuges.

Arbeitsteilung zwischen Mensch und Maschine Folgende Abbildung (Abb. 10.3) fasst die Arbeitsteilung zwischen Mensch und Maschine für das DSS „Beladung und Trimmen eines Flugzeuges“ zusammen:

Einsatzzweck Das Assistenzsystem unterstützt die operative Steuerung des Transportprozesses und dient ausschließlich der Sicherheit im Luftverkehr.

Quantität und Qualität der Entscheidung Die besondere Qualität des Assistenzsystems „Beladen und Trimmen eines Flugzeugs“ besteht in seiner Funktion, die Sicherheit des Frachttransports durch das Transportmittel Flugzeug zu gewährleisten. Obgleich der Mensch innerhalb des Sicherheitsbereichs die Anordnung der Fracht nach den Gesichtspunkten Kundenservice und ökonomisches Fliegen gestalten kann, dient das Assistenzsystem selbst nicht der Gestaltung eines logistischen Systems. Seine quantitative Stärke besteht darin, dass es jederzeit einsatzbereit ist, sofern die notwendigen Daten vorliegen und dass der Trimmvorgang in seiner schnellsten Anwendung nur wenige Minuten beansprucht.

10.3.2 Schiffsführung

10.3.2.1 Anwendungskontext für das Assistenzsystem NARIDAS

Die Entwicklung des Assistenzsystems NARIDAS (Navigational Risk Detection and Assessment System) stellt eine Reaktion auf die zunehmende Komplexität des Schiffsführungsprozesses unter spezifischen nautischen wie logistischen Rahmenbedingungen – Großcontainerschiffe, Besatzungsreduktion, Umweltbedingungen, Einhalten einer definierten ETA (estimated time of arrival) – dar [Bec05]. Um die sich daraus ergebenden Steuerungsaufgaben zu bewältigen, stehen unterschiedliche informations- und automatisierungstechnische [Mae06] Hilfsmittel zur Verfügung, wie z. B.:

- GPS (Global Positioning System, satellitenbasierte Ortung) [Hop02],
- ARPA (Automatic Radar Plotting Aid, Kollisionswarnung) [Ray06],
- ECDIS (Electronic Chart Display and Information System, elektronische Seekarte) [BSH06].

Trotz des massiven Technikeinsatzes gilt die Schifffahrt als Hochrisikosystem [Per87]. Es kommt weiterhin zu katastrophalen Unfällen. Nicht immer gelingt es den Entscheidern an Bord, vorhandene Informationen angemessen zu nutzen um richtige Entscheidungen zu treffen.

10.3.2.2 Systembeschreibung

Einen Lösungsansatz schlägt Diethard Kersandt mit „NARIDAS“ (Navigational Risk Detection and Assessment System) vor. Trotz vereinfachter Abläufe und zuverlässiger Automaten sei die Arbeit der Entscheidungsträger an Bord durch eine Vielzahl von Informationsquellen, wachsende Verantwortung, zunehmenden Entscheidungsdruck, größere Auswirkung von Fehlern, Prozesskomplexität und Zeitmangel geprägt [Ker05]. „Situation awareness“ gehe verloren, wenn die aktu-

elle Situation aufgrund der Anzeigen und vorhandenen Informationen „zusammengebaut“ werden müsse [Ker05].

NARIDAS reduziert deshalb die Komplexität des Schiffsführungsprozesses auf die Veränderungen acht zentraler Parameter [Ker05, S. 3 ff.]:

- | | |
|------------------------|---|
| 1. SPEED | sichere/unsichere Geschwindigkeiten. |
| 2. TRACK | Bahnführungsprobleme, z. B. bei Untiefen. |
| 3. TARGET | gefährliche Annäherung anderer Fahrzeuge. |
| 4. ENVIRONMENT | Umweltbedingungen, z. B. Wellenhöhe. |
| 5. HUMAN | z. B. Wachzeitdauer und Brückenbesetzung. |
| 6. AVAILABILITY | Verfügbarkeit von Ruderanlage und Maschine. |
| 7. TRAFFIC | Verkehrsdichte. |
| 8. ECONOMY | Verhältnis Geschwindigkeit zu Wirtschaftlichkeit. |

Die für diese acht Dimensionen des Schiffsführungsprozesses bereits vorhandenen Eingangswerte versieht NARIDAS mit einer erfahrungsbasierten „Risikokenngröße“: „Diese Kenngröße ist dimensionslos und bringt den Zustand des partiellen Prozesses zwischen den Grenzwerten 0 und 1 zum Ausdruck“ [Ker02, S. 17] (siehe Abb. 10.4).

Folgende Vorgaben sollen, so Kersandt in einem am 29. September 2006 vom Autor durchgeführten Interview mit diesem Assistenzsystem erreicht werden:

- NARIDAS steigert nicht die bereits vorhandene Fülle von Informationen.
- Die Präsentation bewerteter Informationen verbessert Context Awareness.
- Gefahren können erfahrungsbasiert eingeschätzt und gemessen werden.

Die für den Schiffsführungsprozess entscheidenden Parameter sind daher auf einer Benutzeroberfläche zusammengefasst und vermitteln intuitiv einen Eindruck davon, was in welcher Reihenfolge getan werden sollte, um Gefahren abzuwehren und Systemprozesse stabil und leistungsfähig zu halten (siehe Abb. 10.4).



Abb. 10.4 NARIDAS
Quelle: [ZMM06]

In einer an der TU-Berlin, unter Leitung von Klaus-Peter Timpe durchgeführten Evaluationsstudie [Ker05, S.10] konnte mittlerweile der empirische Nachweis erbracht werden, dass die Angaben dieses Assistenzsystems mit den Empfehlungen erfahrener Nautiker übereinstimmen. In Zukunft ist die Ausgabe explizierter Handlungsempfehlungen vorgesehen.

10.3.2.3 Einordnung in den konzeptionellen Rahmen

Art der Entscheidungsunterstützung Ohne NARIDAS muss der Wachhabende zahlreiche „Puzzle-Teile“ umgehend zu einem stimmigen Gesamtbild verknüpfen können. NARIDAS übernimmt einen Teil dieser Deutungsarbeit [Wey97].

Ein Gefahrenwert von fast 1 bei „Target“ (siehe Balkendiagramm oben) markiert zunächst eine eindeutige Handlungspräferenz (Kollisionsgefahr). Der nächst höhere Wert von 0,75 bei „Human“ könnte den Entscheider dazu motivieren, ein Ausweichmanöver sofort vorzubereiten, da z. B. am Ende der Nachtwache mit Übermüdungserscheinungen gerechnet werden muss.

Geboten wird demnach eine mittelbare Entscheidungsunterstützung zur zeitnahen Vergegenwärtigung des Entscheidungskontextes. Das System sammelt und filtert Daten und legt Bewertungen nahe (siehe Abb. 10.5).

Arbeitsteilung zwischen Mensch und Maschine Im Unterschied zu den Einzelsystemen komprimiert NARIDAS Daten auf einem Abstraktionsniveau oberhalb aller Einzelsysteme und wirkt aufgrund der Ausgabe und Anzeige bewerteter Information deutlicher auf die Entscheidungsfindung ein, als dies bei den Einzelsystemen der Fall ist. Alternativen werden verteilt erzeugt.

Einsatzzweck NARIDAS dient der Gefahrenabwehr im Schiffsführungsprozess und unterstützt den Operateur darin, sich einen raschen Überblick über den aktuellen Systemzustand (Kollisionsgefahr!) zu verschaffen, um Entscheidungen zur Gefahrenabwehr (Ausweichmanöver) und damit die Systemstabilisierung konsistent in aktualisiertes Kontextwissen einzubetten.

Quantität und Qualität der Entscheidungsunterstützung Die quantitative Dimension der Entscheidungsunterstützung besteht in der Reduktion vorhandener Daten und Informationen, um in Echtzeit die Grundlage für ggf. unmittelbar zu fällende Entscheidungen anbieten zu können. In qualitativer Hinsicht entlastet das System die Operateure von Teilen der Deutungsarbeit.

10.3.3 Produktionsprogrammplanung

10.3.3.1 Einsatzfeld des Assistenzsystems

Die Zulieferbranche der Automobilindustrie wird von einer zunehmenden Konsolidierung geprägt. Durch die Konsolidierung unter den Herstellern (OEM) sind auch

| | Rechner | Verteilt | Mensch |
|---|---|---|--|
| Erzeugen und Aufbereiten von Informationen | NARIDAS: Datenzusammenfassung | | |
| Erzeugen von Alternativen | | Mensch entscheidet, NARIDAS legt Alternative nahe. Bsp.: Gefahrenpotential bei Kollisionsverhütung bei 0,95 (höchster Wert): zunächst auszuweichen | |
| Bewerten von Alternativen | NARIDAS bewertet mittelbar Alternativen durch ranking | | |
| Auswählen von Alternativen | | | Wachhabender entscheidet über Ausweichen |
| Überwachen der Entscheidungsausführung | Diese Aufgabe wird nicht durch NARIDAS unterstützt. | | |
| Kontrollieren der Entscheidungsausführung | Diese Aufgabe wird nicht durch NARIDAS unterstützt. | | |

Abb. 10.5 Arbeitsteilung zwischen Mensch und Maschine bei NARIDAS

Lieferanten zunehmend gezwungen die sich ergebenden Skaleneffekte effektiv zu nutzen, um nicht in die Lage versetzt zu werden, ungenutzte Kapazitäten liquidieren zu müssen (vgl. Abb. 10.6).

Im dargestellten Projekt lag die Herausforderung in der Machbarkeitsüberprüfung eines prognostizierten Vertriebsplanes anhand der vorhandenen Belegschaft und des existierenden Maschinen- und Anlagenpools.

Die zentralen Herausforderungen stellten sich wie folgt dar:

- Aufbau einer neuen Fertigungslinie mit angeschlossener Modulmontage im 1-Linien-Betrieb,
- Hohe Variantenvielfalt (Endprodukte) und beschränktes Flächenangebot (Zwischenlagerung).

Darauf basierend wurden folgende Ziele formuliert:

- Entwicklung eines geeigneten Produktionssteuerungs- und Logistikkonzeptes für die Produktion auf Kammlinie sowie Grobdarstellung eines Anlaufszenarios,
- Aufzeigen der Notwendigkeiten und Voraussetzungen zur Realisierung des Konzeptes in Bezug auf Flächenbedarfe und Produktionsparameter (z. B. Rüstzeit und Sicherheitsbestände).

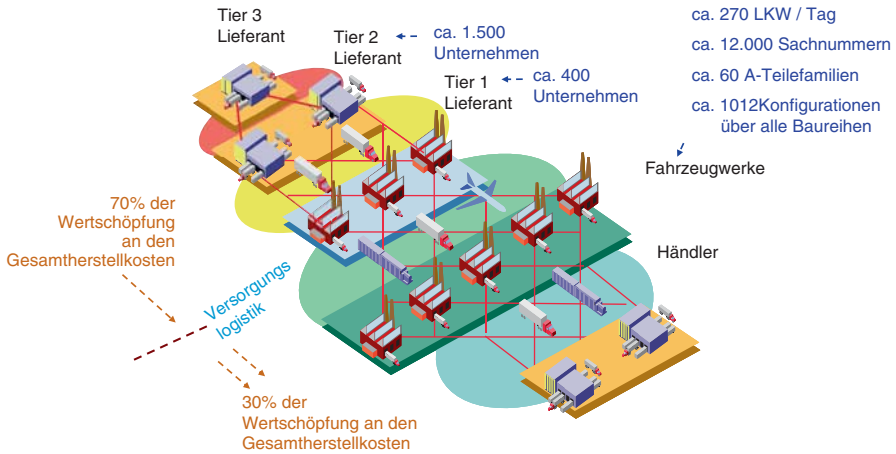


Abb. 10.6 Beispiel eines typischen Fahrzeugproduktionsnetzwerkes Quelle: [HGe07, S. 15]

Somit müssen bei der Programmplanung die folgenden Fragen beantwortet werden:

- Können alle Kundenbedarfe ohne Produktionsstillstand bedient werden?
- Sind die gewählten Sicherheitsbestände (in der Produktion und im Lager) ausreichend dimensioniert?
- Welche Anzahl von Rüstvorgängen ist erforderlich, um die Kundenbedarfe zu erfüllen?

10.3.3.2 Systembeschreibung des Assistenzsystems

Für die Programmplanung und Restrukturierung einer Fabrik wurden zuerst statische Berechnungen durchgeführt. In einer anschließenden Simulationsstudie wurden unterschiedliche Planungsvarianten genauer untersucht. Hierfür wurde mit dem Simulator DOSIMIS ein Simulationsmodell erstellt, das die Fabrik und die Rahmenbedingungen der Programmplanung abbildete. Die Simulationsstudie erfolgte in fünf Schritten: Modellierung, Parametrierung, Simulationsexperimente, Auswertung und Animation. Für die Programmplanung der Fabrik wurde ein DOSIMIS-Modell als Assistenzsystem entwickelt. In diesem Modell wurden die Prozessabläufe auf dem Abstraktionsniveau des Steuerungskonzeptes (vgl. Abb. 10.7) abgebildet.

Der Planer nutzt dieses Assistenzsystem durch Veränderung der Modellparameter und der anschließenden Durchführung von Simulationsexperimenten. Weiterhin unterstützt das DOSIMIS-basierte Assistenzsystem den Planer bei der Auswertung der Simulationsexperimente.

Die Veränderung der Modellparameter (Parametrierung) betrifft Daten zur Systemlast, technische Daten der eingesetzten Betriebsmittel und Ablaufregeln des

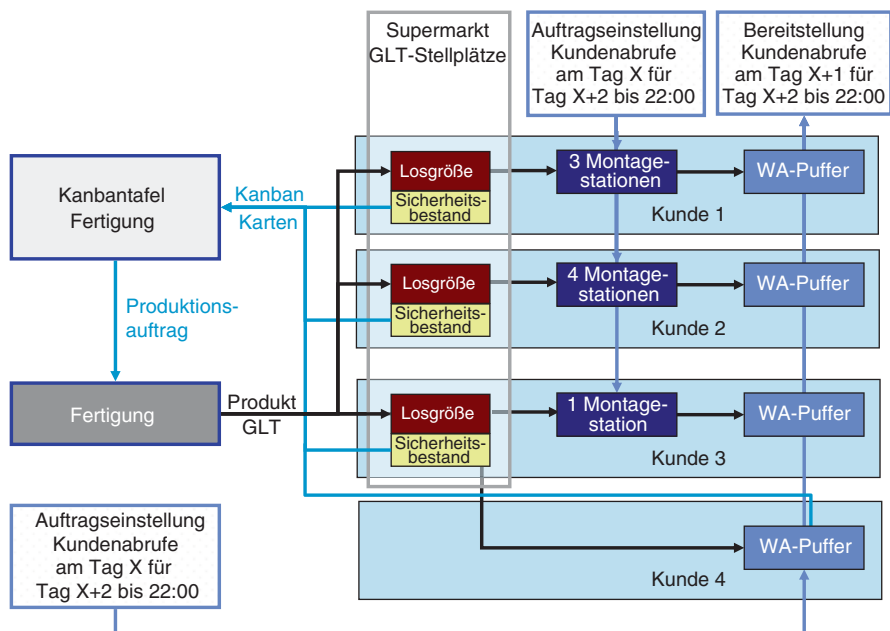


Abb. 10.7 Grundlegendes Steuerungskonzept der Produktion¹

Systems. Zur Darstellung der Systemlast können zufällige Lastprofile generiert oder reale Produktionsprogramme per Datei eingelesen werden. Die technischen Daten umfassen beispielsweise: Geschwindigkeiten, Abholfrequenzen, Bearbeitungs- und Wiederbeschaffungszeiten, Ausschussquoten, Schichtanzahl und -dauer oder Pufferkapazitäten. DOSIMIS bietet zusätzlich die Möglichkeit, manuelle Tätigkeiten wie das Bearbeiten, Rüsten oder Beseitigen von Störungen zu definieren. Die internen Ablaufregeln umfassen Strategien, über die der Materialfluss gesteuert, Transportfahrzeuge disponiert und Werker eingesetzt werden. Dazu können Produktionsprogramme als Darstellung des Prozessablaufes und des Steuerungskonzeptes hinterlegt werden. Zusätzlich können bei der Parametrierung auch noch Stellplatzanzahl, temporäre Lagererweiterungsmöglichkeiten und Auslagerungsmethoden berücksichtigt werden. Die Durchführung von Simulationsexperimenten mit unterschiedlicher Parametereinstellung ermöglicht den Vergleich verschiedener Planungsszenarien.

Vor jedem Simulationsexperiment findet eine Validierung statt, die das Modell auf eventuelle Parametrierungsfehler untersucht. Zur Simulation müssen anschließend der Simulationszeitraum, die Definition der gewünschten Ausgabedaten und der Feinheitsgrad der Ergebnisdarstellung eingegeben werden. Im Rahmen der Auswertung bietet DOSIMIS die Darstellung umfassender Statistiken, z. B. bezüglich

¹ GLT = Großladungsträger; WA = Warenausgang; Kanban ist eine Methode der Materialversorgung in der Fertigung.

Termintreue oder Kapazitätsauslastung, die vom Planer gefiltert und gezielt analysiert werden können.

10.3.3.3 Einordnung in den konzeptionellen Rahmen

Art der Entscheidungsunterstützung

Das Assistenzsystem unterstützt den Planer bei der detaillierten Bewertung von Szenarien für die Produktionsprogrammplanung einer Fertigungsstätte.

Arbeitsteilung zwischen Mensch und Maschine

Folgende Abbildung 10.8 fasst die Arbeitsteilung zwischen Mensch und Maschine beim vorgestellten Assistenzsystem zusammen.

Einsatzzweck

Das Assistenzsystem leistet eine Unterstützung in der Machbarkeitsanalyse bestimmter im Vorfeld definierter Produktionsabläufe in der taktischen Planung.

Qualität und Quantität der Entscheidung

Die Entscheidungsunterstützung durch das Assistenzsystem ist – im Vergleich zu einfachen, statischen Berechnungen – qualitativ hochwertig: Komplexes, sich veränderndes Verhalten der einzelnen Fabrikelemente und der Systemlast (Kundenbedarfe) wird durch das Simulationssystem zuverlässig abgebildet. Die Durchführung der Simulationsexperimente mit der damit verbundenen Möglichkeit, Planungsszenarien zu vergleichen, bildet die quantitative Stärke des Assistenzsystems.

10.3.4 Tourenplanung

10.3.4.1 Einsatzfeld des Assistenzsystems

Bei der Tourenplanung werden Transportaufträge Transportmitteln (Fahrzeugen) möglichst optimal zugeordnet. Ziele dieser Optimierung sind kurze Lieferzeiten, hohe Liefertermintreue und geringe Transportkosten. Dabei müssen zahlreiche Restriktionen, wie verfügbare Kapazitäten, gesetzliche Vorschriften, Abhol- und Anlieferzeiten, berücksichtigt werden. Neben der Fahrzeugdisposition wird im Rahmen der Tourenplanung entschieden, wie die zu beliefernden Kunden möglichst kostengünstig zu Touren zusammengefasst werden können und in welcher Reihenfolge die ausgewählten Transportmittel die Nachfragepunkte innerhalb einer Tour anfahren sollen.

Unter dem Begriff Tourenplanung (auch: Vehicle Routing Problem, VRP) werden im Wesentlichen Aktivitäten zur Clusterungsentscheidung und Permutationsfestlegung von Belieferungsprozessen zusammengefasst. Das Standard-VRP ist dabei wie folgt definiert. Ausgehend von einem Depot sind eine Menge von Kunden mit Waren zu beliefern, jeder Kunde hat dabei einen individuellen (abs-

| | Rechner | Verteilt | Mensch |
|---|--|---|--|
| Erzeugen und Aufbereiten von Informationen | | | Manuelle Dateneingabe der Simulationsparameter |
| Erzeugen von Alternativen | | | Erzeugung von Szenarien |
| Bewerten von Alternativen | | Rechnergestützte quantitative Bewertung; qualitative Bewertung durch den Menschen | |
| Auswählen von Alternativen | | | Manuelle Auswahl |
| Überwachen der Entscheidungsausführung | Diese Aufgabe wird nicht durch das System unterstützt. | | |
| Kontrollieren der Entscheidungsausführung | Diese Aufgabe wird nicht durch das System unterstützt. | | |

Abb. 10.8 Arbeitsteilung zwischen Mensch und Maschine

trakten) Warenbedarf. Zur Belieferung stehen homogene Fahrzeuge mit einem definierten Ladevolumen zur Verfügung. Ziel der Tourenplanung ist es nun, eine Zuordnung von Kunden zu Fahrzeugen (Clusterung durch Routenbildung) und eine Reihenfolge der Kunden innerhalb einer Route (Permutation) zu finden, die hinsichtlich eines Bewertungsmaßes möglichst gut ist. Die Bewertungsfunktion basiert dabei prinzipiell auf der Summe aller Distanzen, die von den Fahrzeugen zur Realisierung einer Lösung zurückgelegt werden. Durch die Hinzunahme von Nebenbedingungen, wie beispielsweise Zeitfenstern für einzelne Belieferungen, ergeben sich vielfältige Varianten des VRP. Bereits einfache Tourenplanungsaufgaben sind so komplex, dass nicht mehr der beste Tourenplan bestimmt werden kann.² Zur Erstellung der „besten“ Tourenplänen mit mehr als etwa 50 Kunden mittels deterministischer Algorithmen ist die Berechnungszeit für den Einsatz in der Praxis zu lang.

Eine die Optimierung erschwerende Eigenschaft der Tourenplanung liegt darin, dass eine kostenoptimierte Lösung eine hohe Instabilität aufweist. Eine geringfügige Änderung von zu Grunde gelegten Annahmen kann zu einer Lösung führen, die nicht mehr alle Vorgaben erfüllt: Ein nahe liegendes Beispiel sind Zeitfenstervorgaben für die Kundenbelieferung. Bei unerwarteten Staus wird mehr Fahrzeit benötigt als angenommen. Anlieferzeitfenster können so nicht eingehalten werden und zusätzliche Kosten (z. B. Mehrfahrten oder Vertragsstrafen) entstehen.

² Das VRP ist bereits in seiner einfachsten Form NP-schwierig.

10.3.4.2 Systembeschreibung

Für die Beurteilung der Güte eines Tourenplans bezüglich geringfügiger Änderungen der zu Grunde gelegten Annahmen, nimmt das Assistenzsystem zwei Bewertungen vor. Zum einen werden die Gesamtkosten – unter anderem gefahrene Kilometer und Personalkosten – des Tourenplans bestimmt. Zum anderen wird das Gesamtrisiko³ des Plans ermittelt. Dieses Risiko wird durch eine Wahrscheinlichkeit beschrieben und ergibt sich aus den Risikobewertungen für die Belieferungen der Kunden: Wenn sicher ist, dass ein Kunde nach dem erzeugten Tourenplan pünktlich beliefert wird, hat diese Belieferung ein Risiko von 0%. Ein 30%-iges Risiko bedeutet beispielsweise, dass die Belieferung mit einer Wahrscheinlichkeit von 30% nicht entsprechend der Kundenvorgaben erfolgt. Die Risiken aller Belieferungen eines Tourenplans können dann im nächsten Schritt durch Durchschnittsbildung oder aus dem höchsten Einzelrisiko (für eine Belieferung) berechnet werden.

Wie gezeigt wurde [JSe03], ist eine integrierte Analyse von Kosten- und Risikozielen bei der Tourenplanung mittels multikriterieller Optimierung sinnvoll. Das Assistenzsystem generiert eine Menge von so genannten unvergleichbaren Lösungen. Zur Veranschaulichung dieser Unvergleichbarkeit betrachten wir zwei Tourenpläne: Der erste Plan hat Gesamtkosten von 1.000 € und ein Gesamtrisiko von 10%; der zweite Plan hat Gesamtkosten von 900 € und ein Gesamtrisiko von 15%; keiner der beiden Pläne ist besser als der andere. Jedoch gibt es Tourenpläne, die schlechter als diese beiden „besten“ Pläne sind: So ist ein Plan mit Kosten von 1.200 € und einem Risiko von 15% schlechter als beide Pläne und wird demzufolge nicht vom Assistenzsystem dem Disponenten als mögliche Lösung angeboten.

Das Assistenzsystem unterstützt den Disponenten durch die Aufbereitung von Informationen bereits vor der Bestimmung möglicher Tourenpläne. Über die Benutzerschnittstelle werden alle vorhandenen Aufträge (Lieferanfragen) angezeigt, neue Auftragspositionen lassen sich hinzufügen und bestehende können bearbeitet werden. Mit den bestehenden Stammdaten – z. B. Lokationen, Fahrzeiten, Fahrzeuge und Fahrer – und den zuvor eingespielten Aufträgen erzeugt das Assistenzsystem die Lösungsmenge.

Für die Erzeugung der Lösungsmenge werden Evolutionäre Algorithmen eingesetzt. Hierbei wird eine Menge von „Lösungskandidaten“ zunächst erzeugt und dann schrittweise optimiert. Bei der Optimierung werden schlechte Lösungen (Tourenpläne) durch bessere ersetzt. Ein wichtiger Parameter für die Optimierung ist also die Festlegung der Anzahl der Lösungskandidaten. Ein Beispiel für eine vom Assistenzsystem generierte und bewertete Lösungsmenge ist in Abb. 10.9 dargestellt.

Der Benutzer hat nun die Möglichkeit, die berechnete Lösung manuell zu verändern. So kann beispielsweise ein bedeutender Kunde mit einem hohen Risiko an eine andere Route bzw. in eine abweichende Position der ursprünglichen Route verschoben werden, um so das Risiko eines spezifischen Kunden gezielt zu beeinflussen. Dies führt ggf. zu einem Anstieg des kumulierten Risikos und/oder einem Kostenzuwachs, was jeweils durch das System berechnet und dem Benutzer ange-

³ Durch ein in [Mön06] vorgestelltes Modell ist die Quantifizierung des Risikoaspektes in den Tourenplanungsproblemen realisierbar.

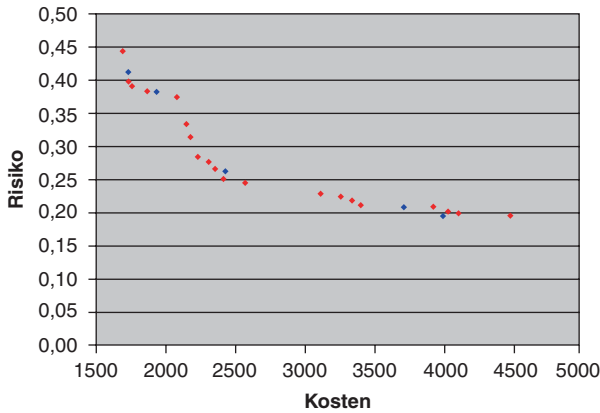


Abb. 10.9 Erzeugte Lösungsmengen.
Aus der angezeigten Lösungsmenge, die Ergebnisse bei einer Beschränkung auf 5 (dunkle Punkte) bzw. 20 (helle Punkte) Lösungen zeigt [Mön06, S. 93], kann der Benutzer nun eine konkrete Lösung auswählen. Das System bietet daraufhin eine detaillierte Darstellung der Lösung. Die Lokationen der Kunden werden auf einer Karte visualisiert und die berechneten Routen eingezeichnet. Weiterhin wird durch eine Farbskala angedeutet, wie hoch das Risiko für jeden einzelnen Kunden ist. Die Risikowerte der Kunden sind farblich hinterlegt, um so einen schnellen Überblick zu ermöglichen [Mön06, S. 98] (siehe Abb. 10.10).

zeigt wird. Dieser kann nun die vorgenommenen Veränderungen auf Basis der Bewertung des Systems übernehmen oder verwerfen. Gleichzeitig verhindert das System, dass durch die Interaktion des Benutzers versehentlich ungültige Lösungen (z. B. durch Überschreitung von Lademengen) generiert werden.

Die weiteren Schritte (Überwachen der Entscheidungsausführung, Kontrollieren der Entscheidungsausführung) werden durch das Assistenzsystem nicht unterstützt.

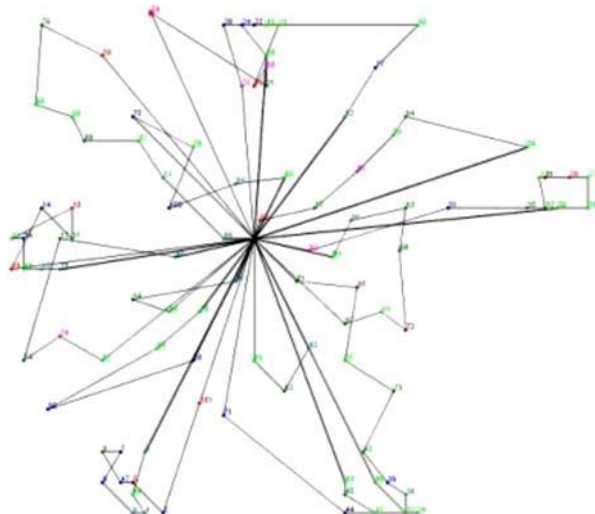


Abb. 10.10 Darstellung der Lösung einer VRP-Instanz

10.3.4.3 Einordnung in den konzeptionellen Rahmen

Art der Entscheidungsunterstützung Das Assistenzsystem unterstützt den Disponenten bei der Erzeugung und Bewertung von Tourenplänen im Rahmen der Transportplanung.

Unterstützungsgrad/Aufgabenverteilung zwischen Mensch und Maschine

Abbildung 10.11 zeigt die Arbeitsteilung bei der Tourenplanung.

Einsatzzweck

Das Assistenzsystem dient der taktischen Planung und Disposition. Neben der Unterstützung beim Bestimmen eines möglichst guten Tourenplans kann das System auch für folgende Aufgaben eingesetzt werden:

- Bewertung von Servicelevel-Kosten.
- In der logistischen Praxis werden komplexe Lieferaufträge vollständig an externe Dienstleister (Speditionen) ausgelagert. Eine Spedition kann unter Einsatz des Tools in Zusammenarbeit mit dem Kunden verschiedene Risikolevel definieren

| | Rechner | Verteilt | Mensch |
|---|---|---|--------|
| Erzeugen und Aufbereiten von Informationen | Erzeugen und Aufbereitung von Informationen bezüglich Kosten und Risiko einer Lösung. | | |
| Erzeugen von Alternativen | Das Erzeugen alternativer Tourenpläne erfolgt durch ein multikriterielles Optimierungstool. | Manuelle Modifikationen von Lösungen durch den Mensch möglich, der Rechner verhindert jedoch das Erzeugen von fehlerhaften Lösungen. | |
| Bewerten von Alternativen | | Das Assistenzsystem bewertet die Pläne hinsichtlich Kosten und Risiko; der Mensch bewertet die Einhaltung gesetzlicher Regelungen (Lenk- und Ruhezeiten). | . |
| Auswählen von Alternativen | | Der Rechner trifft eine Vorwahl unter den Gestaltungsalternativen. Die endgültige Auswahl eines Tourenplanes erfolgt durch den Disponenten. | |
| Überwachen der Entscheidungsausführung | Diese Aufgabe wird nicht durch das Assistenzsystem unterstützt. | | |
| Kontrollieren der Entscheidungsausführung | Diese Aufgabe wird nicht durch das Assistenzsystem unterstützt. | | |

Abb. 10.11 Arbeitsteilung zwischen Mensch und Maschine bei der Tourenplanung

und Kostenvoranschläge je Risikostufe erstellen. Dem Kunden bleibt dann die Entscheidung überlassen, welches Risikolevel realisiert werden soll.

- Eingrenzung von Belieferungs-Zeitfenstern.
- Bei Vorgabe einer maximalen Versagenswahrscheinlichkeit lassen sich die Zeitfenster für die Kundenbelieferung stark einschränken. Der Kunde bekommt somit eine präzisere Aussage, wann die Anlieferung erfolgen wird. Dies ermöglicht eine bessere Einplanung auf Kundenseite und erhöht insofern das Serviceempfinden.
- Standortplanung.
- Bei der Errichtung von Umschlagplätzen stellte sich die Frage nach einer möglichst optimalen geographischen Positionierung. Durch die Verwendung des Tools können verschiedene Standorte auf der Basis von empirischen Daten miteinander verglichen werden. Für jeden Standort kann der Kosten/Risiko-Tradeoff für repräsentative Belieferungen visualisiert werden. Diese Darstellung ermöglicht eine objektive Bewertung der Alternativen.

Qualität und Quantität der Entscheidung Das Assistenzsystem ermöglicht dem Disponenten eine schnelle Bestimmung und Bewertung guter Tourenplänen bei der täglichen Planung. Hierbei werden komplexe Tourenpläne mit vielen Kunden, Aufträgen und Ressourcen (Fahrer und Fahrzeuge) unter Berücksichtigung von praxisrelevanten Randbedingungen, wie z. B. Zeitfenstern oder Fahrverboten, betrachtet.

Qualitativ bietet das Assistenzsystem dem Benutzer eine visuelle Unterstützung bei der Lösungsauswahl. Weiterhin wird durch ein interaktives Zusammenspiel zwischen Benutzer und System die manuelle Modifikation von Tourenplänen unterstützt.

10.3.5 Rohstoffbeschaffung

10.3.5.1 Systembeschreibung

Die internationale Rohstoffverknappung, die steigenden Frachtraumkosten von Überseetransporten und ein verstärktes Kooperationsbestreben haben zwei deutsche Stahlkonzerne veranlasst, ein gemeinsam zu nutzendes Assistenzsystem für die Rohstoffbeschaffung (hauptsächlich Eisenerz und Koks) für die Roheisenerzeugung zu entwickeln. Der Bezug der Rohstoffe unterliegt einer hohen Komplexität, da die Anzahl der beteiligten Partner hoch ist und sich die Zusammenarbeit recht unterschiedlich gestaltet. Vor Einführung des Assistenzsystems wurden die erforderlichen Daten zur Abwicklung der Beschaffungsprozesse in weiten Teilen dezentral in den beteiligten Organisationseinheiten autonom bearbeitet, vorgehalten und oftmals nur im Rahmen von Teamsitzungen mündlich bzw. in Form von Tischvorlagen ausgetauscht. Ein durchgängiger Zugriff auf die gesamten Daten der Beschaffungskette war so nicht möglich. Daher wurde ein webbasiertes Assistenzsystem entwickelt, welches die beteiligten Organisationseinheiten bei den folgenden Hauptaufgaben unterstützt:

- Bereitstellung von Informationen über aktuelle Zulaufmengen auf die Seelöschhäfen, Bestandshöhen in den Lagern und das aktuelle Produktionsprogramm mit seinen Rohstoffbedarfen.
- Mengendisposition (Erze und Brennstoffe), Einsatzplanung der See- und Binnenschiffe, Modifizierung der Einsatz- und Abrufmengen (Erze und Brennstoff) je Stoff und Zeitraum.
- Dokumentation und Verfolgung verschiedener Planungsstatus sowie Abgleich mit der späteren Umsetzung.
- Frühwarnsystem, das die Mitarbeiter über alle Abweichungen informiert.

Eine wichtige Komponente des Assistenzsystems ist ein Simulator, der zur detaillierten Gegenüberstellung und Bewertung der generierten Planungsvarianten (bspw. Beschaffungsjahresplanung durch verschiedene Anwender oder Anwendergruppen) und zur Untersuchung langfristiger strategischer Aspekte dient. Abbildung 10.12 zeigt die Umsetzung des Umschlaglagers im Umschlagterminal in das Simulationsmodell.

Das im Simulator abgebildete Modell kann bezüglich der Anzahl und der spezifischen Eigenschaften der folgenden Komponenten konfiguriert werden:

- Verlade- und Loschhäfen,
- Umschlaglager,
- Transportmittel und Transportrelationen,
- Rohstoffe,
- beteiligte Partner.

Die Systemlast des Simulators stellen die in der Planungskomponente definierten Bedarfsmengen und Sorten der Einsatzstoffe einer Planungsvariante dar. Unter Beachtung der Ausgangssituation werden vom Simulator in einem ersten Schritt die Seeschiffe disponiert. Dabei werden die zur Verladung verfügbaren Materialsorten

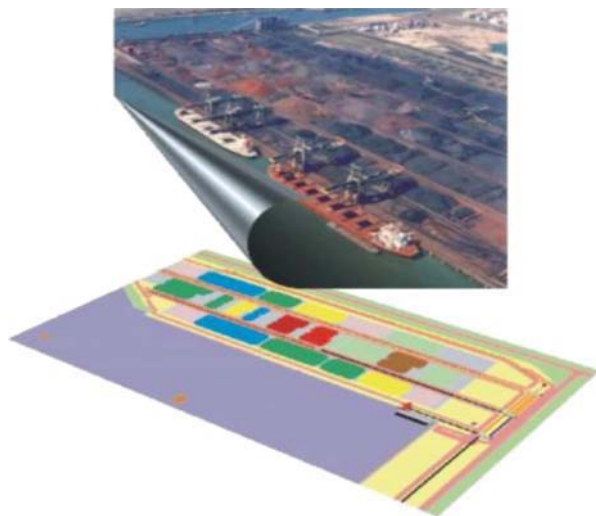


Abb. 10.12 Abbildung des Umschlaglagers im Simulator

in bestandsoptimalem Verhältnis auf den Transporten gebündelt. Dieser „Zulauf“ wird vor der eigentlichen Simulation dem Anwender zur freien Variation wieder bereitgestellt. Während der nachfolgenden Laufzeit werden die sich einstellenden Prozesse detailliert simuliert. Dabei werden bspw. die zur Materiallagerung notwendigen Flächen über die geometrische Form der entstehenden Schüttguthalden berechnet, ebenso wie die notwendigen Binnentransporte auf dem Detailniveau wasserstandsabhängiger dynamischer Kapazitätsvergaben disponiert werden. Die Ergebnisse der Simulation werden in einer vom Anwender definierbaren aufbereiteten Form (Grafiken, Tabellen, Reports, etc.) bereitgestellt.

10.3.5.2 Einordnung in den konzeptionellen Rahmen

Art der Entscheidungsunterstützung Das Assistenzsystem für die Rohstoffbeschaffung unterstützt die Anwender in sehr hohem Maße bei der Erzeugung und Aufbereitung von Informationen bezüglich des aktuellen und geplanten Rohstoffbedarfs sowie bei geplanten Rohstoffzugängen am Umschlagslager und bei den Stahlwerken. Hierbei werden Informationen aus einer Vielzahl unterschiedlicher Systeme gesammelt und für die weitere Nutzung aufbereitet.

Das Assistenzsystem unterstützt die Erzeugung von Alternativen durch Speicherung von „Rezepten“ für die Roheisenerzeugung und dem dadurch gegebenen Bedarf für Erze und Brennstoffe. Die Auswahl dieser Rezepte obliegt jedoch den Disponenten. Entsprechend einer auf Monatsraten basierenden Verteilung werden vom Assistenzsystem somit Transportbedarfe für Erze und Brennstoffe ermittelt.

Diese Pläne (Verbrauchs- und Transportplan) werden im nächsten Schritt durch das Assistenzsystem hinsichtlich der technischen Machbarkeit – insbesondere wird hier die Lager- und Umschlagkapazität des Umschlagslagers berücksichtigt – und der Wirtschaftlichkeit bewertet. Die Unterstützung der Bewertung von Alternativen ist somit sehr hoch.

Unterstützungsgrad/Aufgabenverteilung zwischen Mensch und Maschine Bei der systemgestützten Integration der dezentral erstellten Pläne in einen Gesamtplan können von den Benutzern unterschiedliche Planungsszenarien erzeugt werden, die dann durch das System bewertet werden. Die Entscheidung für ein Szenario erfolgt ausschließlich durch die Anwender. Entsprechendes gilt für Entscheidungen im Betrieb bezüglich der Störungsbeseitigung bzw. Anpassung der Disposition.

Einsatzzweck Das System dient der kurzfristigen Planung und Disposition (Verbrauchsplanung für die nächsten 3 Monate) bei der Rohstoffbeschaffung.

Qualität und Quantität der Entscheidung Das System leistet eine Unterstützung in der Umsetzung von Planungsvergaben aus der Jahresplanung sowie von bestehenden Kontrakten mit Rohstofflieferanten in einen machbaren kurzfristigen Verbrauchsplan. Die mit dem Assistenzsystem erstellten Pläne berücksichtigen hierbei, neben Kostenfaktoren für Transport und Lagerung, auch die Verfügbarkeit knapper Ressourcen: Schiffe für den Seetransport, Lager- und Umschlagkapazität

im Terminal sowie Binnenschiffe für den Transport von den Umschlaghäfen zum Stahlwerk.

Das System wird bei der Planerzeugung durch mehrere Benutzer sehr intensiv genutzt. Die Benutzer benötigen oft mehrere Tage, in denen sie unterschiedliche Planvarianten erstellen, vom System bewerten lassen um sie dann wieder zu verändern. Weiterhin wird der erzeugte Beschaffungsplan rollierend aktualisiert und für die nächsten Wochen täglich aktualisiert.

Die Unterstützung der operativen Prozesse durch die Warnkomponente (Alertsystem) erfolgt ständig während des Betriebs.

10.3.6 Ressourcenplanung von Güterverkehrszentren

10.3.6.1 Einsatzfeld des Assistenzsystems

Eine Lösung der durch die Zunahme des Verkehrs im europäischen Raum auftretenden Verkehrsprobleme verspricht das Konzept des Güterverkehrszentrums (GVZ), welches durch die Bündelung von Güterströmen zur Verkehrsreduzierung und -vermeidung beitragen kann. Ein GVZ bildet die Schnittstelle sowohl für Schiene und Straße als auch für Güterfern- und Nahverkehr.

10.3.6.2 Systembeschreibung

Das Assistenzsystem unterstützt einen Planer in Form eines Generalunternehmers oder einer GVZ-Entwicklungsgesellschaft sowohl bei der Neuplanung eines GVZ als auch bei der Restrukturierung bestehender GVZ hinsichtlich Ressourcendimensionierung und Ressourcenauswahl.

Das Assistenzsystem zur Ressourcenplanung eines Güterverkehrszentrums bezweckt die Bestimmung von leistungsfähigen und wirtschaftlichen Layout- und Betriebsparametern. Ziel ist es, Planungsszenarien für günstige Kombinationen und Dimensionierungen der Betriebsmittel zu finden sowie Auswirkungen von Änderungen der Systemlast vergleichend zu bewerten.

Die bei einem Güterverkehrszentrum auftretenden Aufgaben lassen sich aufgrund der Komplexität und Dynamik des Systems nur mit speziellen Planungs- und Steuerungsmethoden lösen. Die Materialflusssimulation ist eine Methode, die es erlaubt, komplexe dynamische Systeme zu analysieren und zu bewerten. Bei dieser Methode wird mittels einer Simulationssoftware ein auf die Aufgabe angepasstes Simulationsmodell erstellt. Dieses Modell ermöglicht die Durchführung von Experimenten, indem Modellparameter variiert werden. Das Simulationsmodell mit der Simulatorsoftware zur Durchführung der Simulationsexperimente ist somit ein Assistenzsystem. Für die Ressourcenplanung von GVZ wurde mit dem im SFB 559 entwickelten Simulator ProC/B [Tep04] ein entsprechendes Assistenzsystem geschaffen (siehe Abb. 10.13).

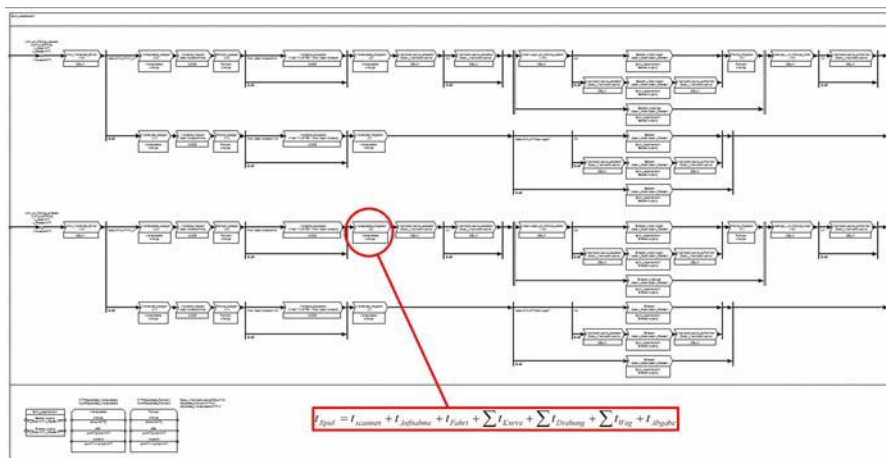


Abb. 10.13 Screenshot Proc/B-Modell – inhärentes Prozesswissen

Das Assistenzsystem für Ressourcenplanung eines GVZ dient folgenden Zwecken:

- Bestimmung der Auftragsdurchlaufzeit,
- Dimensionierung der GVZ-Ressourcen,
- Bestimmung von kritischen Zeitpunkten in GVZ-Prozessen,
- Bestimmung der Tagesgangennlinien der Ressourcen.

Mit dem Assistenzsystem kann ein Planer den aktuellen Systemzustand eines GVZ abbilden und die Reaktion auf eine veränderte Systemlast bewerten oder die Auswirkung von veränderten Prozessen und Ressourcendimensionierungen für eine gegebene Systemlast untersuchen. Untersuchungsziele bei Änderung von Parametern und Systemlasten ermöglichen:

- Aussagen zur Funktionalität der Technik und der Systemorganisation.
- Aussagen zum Vergleich technischer und organisatorischer Alternativen verschiedener Systementwürfe während der Planungs- und Systemfindungsphase.
- Aussagen zur Ermittlung von Leistungsgrenzen bei bestehenden Systemen mit bekannter Ressourcenkonfiguration und
- Aussagen allgemeiner Natur über typische Systemstrukturen bei Variation sowohl der Systemlast als auch der Systemkonfiguration.

10.3.6.3 Einordnung in den konzeptionellen Rahmen

Art der Entscheidungsunterstützung Durch das inhärente Prozesswissen und den Aufbau des Modells (Strategien, Prozessfolgen, Prioritätsregeln und Prozessalternativen) werden Informationen aufbereitet und für den Entscheidungspro-

zess bezüglich der Gestaltung eines GVZ bereitgestellt. Dabei wird der Anwender bei der Generierung der Systemlast und bei der Konfektionierung des Systems im Modell unterstützt. Es findet lediglich die Dimensionierung einzelner Ressourcen und die Festlegung des Routing statt. Die Generierung der Daten für die Simulationsexperimente übernimmt das Assistenzsystem.

Unterstützungsgrad/Aufgabenverteilung zwischen Mensch und Maschine Das Assistenzsystem unterstützt den Anwender beim Erzeugen, Bewerten und Auswählen von Alternativen über die Bestimmung von Kennzahlen (vgl. Abb. 10.14). Das Erzeugen und Aufbereiten von Informationen erfolgt dabei insofern verteilt zwischen Rechner und Mensch, als dass der Mensch Eingangsdaten in Form von Parametern in das Assistenzsystem einspeist und die Systemkonfiguration übernimmt. Der Rechner bereitet die Daten für die Simulationsläufe auf. Als Ergebnisse der Simulationsläufe entstehen Alternativen von Systemkonfigurationen, aus denen der Anwender gemäß seiner Zielformulierungen auswählt.

Hinsichtlich der Umsetzung der Entscheidung kann das Simulationstool keine Hilfestellung leisten, da die kreative Gestaltung des Systems sowie die Realisierung in der Hand des Anwenders liegen. Eine Überwachung der Entscheidungsausfüh-

| | Rechner | Verteilt | Mensch |
|--|---|---|---|
| Erzeugen und Aufbereiten von Informationen | | Der Anwender konfiguriert rechnergestützt das System und gibt den Rahmen der Eingangsdaten vor, der Rechner generiert die Systemlast. | |
| Erzeugen von Alternativen | Der Rechner erzeugt gemäß der Modellogik und dem Experimentierplan das Simulationsergebnis. | | |
| Bewerten von Alternativen | | | Der Anwender bewertet das Simulationsergebnis. |
| Auswählen von Alternativen | | | Der Anwender wählt ein Szenario gemäß seiner Ziele aus. |
| Überwachen der Entscheidungsausführung | Diese Aufgabe wird von einem anderen AS unterstützt. | | |
| Kontrollieren der Entscheidungsausführung | Diese Aufgabe wird von einem anderen AS unterstützt. | | |

Abb. 10.14 Beispiele für die Arbeitsteilung zwischen Mensch und Maschine bei der Ressourcenplanung von Güterverkehrszentren

rung und das Kontrollieren werden von anderen bereits bekannten Systemen übernommen, die nicht Teil des beschriebenen Assistenzsystems sind.

Einsatzzweck Das Assistenzsystem zur Ressourcenplanung von GVZ wird zur Bestimmung wechselseitiger Abhängigkeiten von Durchlaufzeit, Kosten und Dimensionierung von Ressourcen, zur Bestimmung der auf die Leistungsfähigkeit und Wirtschaftlichkeit Einfluss nehmenden Layout- und Betriebsparameter sowie zur Quantifizierung des Einflusses von Steuerungsstrategien auf die betrachteten Kennzahlen eingesetzt.

Qualität und Quantität der Entscheidung Die Anwendung des Assistenzsystems zur Ressourcenplanung von GVZ kann quantitativ die Bewertung von Ressourcen- und Prozessvarianten bei wechselnden Systemlasten unterstützen und Optimierungspotential hinsichtlich der Ressourcendimensionierung bei wechselnder oder statischer Systemlast aufzeigen.

Die Qualität der Entscheidung, liegt in der Unterstützung bei der Gestaltung und Stabilisierung eines Güterverkehrszentrums, da relevante Parameter im Vorfeld bestimmt und bewertet werden können. Zudem lassen sich bei der Bewertung von Planungsvarianten mögliche Konsequenzen menschlichen Entscheidungsverhaltens identifizieren, so dass noch in der Planungsphase Änderungen der Systemkonfiguration vorgenommen werden können.

10.4 Fazit und Ausblick

Aus einer vergleichenden Betrachtung der untersuchten Assistenzsysteme gehen folgende, grundlegende Aussagen hervor:

- Der Rechner ist in über 80 Prozent der betrachtenden Szenarien an der Erzeugung und Aufbereitung von Informationen beteiligt,
- der Mensch ist bei der Alternativerzeugung immer beteiligt,
- die Bewertung von Alternativen wird von beiden „Akteuren“ getragen,
- die Auswahl von Alternativen wird nur vom Menschen getroffen.

Eine systemseitige Unterstützung im Bereich der Überwachung und Kontrolle von Entscheidungsausführungen konnte nur in einem Fallbeispiel festgestellt werden. Somit lässt sich keine allgemeingültige Aussage bzgl. dieser Unterstützungsfunktion determinieren (vgl. Abb. 10.15).

Auf Grundlage des entwickelten, konzeptionellen Rahmens, der auf Befunden der Logistik, der Entscheidungstheorie, der Soziologie und der Informatik beruht, konnte ein Klassifizierungsansatz von Assistenzsystemen für die Entscheidungsunterstützung in der Logistik auf Basis der Analyse von sechs Assistenzsystemen erstellt werden.

Die vergleichende Betrachtung zeigt die überwiegende Unterstützung von Assistenzsystemen im Anwendungsfeld der Logistik im Bereich der Aufbereitung von Informationen sowie der Erzeugung von Alternativen. Im Rahmen der Bewertung

| | Erzeugen und Aufbereiten von Informationen | Erzeugen von Alternativen | Bewerten von Alternativen | Auswählen von Alternativen | Überwachen der Entscheidungsausführung | Kontrollieren der Entscheidungsausführung | Unterstützungsniveau (R/M/R/M) | Einsatzzweck |
|-------------------------------|--|---------------------------|---------------------------|----------------------------|--|---|--------------------------------|-------------------|
| Produktionsprogrammplanung | M | M | M/R | M | - | - | 0/1/3 | Gestaltung |
| GVZ-Planung | M/R | M/R | M | M | - | - | 0/2/2 | Gestaltung |
| Rohstoffbeschaffung | R | M/R | M | M | - | - | 1/1/2 | taktisch-operativ |
| Tourenplanung | R | M/R | M/R | M | - | - | 1/2/1 | taktisch |
| Schiffsführung | R | M/R | R | M | - | - | 2/1/1 | operativ |
| Beladung von Frachtfahrzeugen | M/R | M | R | M | R | R | 3/1/2 | operativ |

Legende:

- R Überwiegend vom Rechner ausgeführt
- M/R Zwischen Mensch und Rechner verteilt
- M Überwiegend vom Menschen ausgeführt
- Diese Aufgabe wird nicht durch das Assistentsystem unterstützt

Abb. 10.15 Art der Entscheidungsunterstützung

ist in vielen Beispielen der Rechner am Prozess beteiligt, die Art der Bewertung beschränkt sich jedoch oftmals auf rein quantifizierbare Ergebnisse. Im Kontext von qualitativen Bewertungserfordernissen ist eine Involvierung des Menschen zwingend erforderlich.

Zur Überprüfung dieser These wäre eine umfassende Erhebung einer repräsentativen Stichprobe von Assistenzsystemen für die Entscheidungsunterstützung in der Logistik erforderlich. Sollte sich dieser Befund bestätigen, dann erfordert der Einsatz dieser Assistenzsysteme immer ausreichend qualifizierte Anwender. Die notwendigen Kompetenzen des Anwenders werden dabei wahrscheinlich von der jeweiligen logistischen Aufgabe abhängen.

Für die Weiterentwicklung von Assistenzsystemen stellt somit die Integration einer Bewertungssystematik von zum einen nicht stringent quantitativ und zum anderen rein qualitativen bewertbare Aspekten den zentralen Forschungsbedarf dar. Die dazu erforderliche Transparenz dieser Bewertungsmaßstäbe ist darüber hinaus eine zusätzliche Herausforderung. Die Entwicklung von Methoden zur Überführung qualitativer Aspekte in quantifizierbare Bewertungsschemen ist ein erster Lösungsansatz der jedoch um eine selektive Risiko- und Fehlerbewertung erweitert werden muss, um subjektive Bewertungseinflüsse und anwenderspezifische Kompetenzunterschiede zu egalisieren. Zur Überprüfung ist eine umfassende Erhebung einer repräsentativen Anzahl von Assistenzsystemen für die Entscheidungsunterstützung in der Logistik erforderlich und könnte in Folge dessen den Forschungsbedarf weiter spezifizieren.

Literatur

- [Bec05] Becker (2005) Herr Becker Leiter Operations auf dem EUROGATE-Containerterminal, Bremerhaven in einem vom Autor geführten Interview am 22. September 2005
- [BJh97] Bloech J, Jhde GB (Hrsg) (1997) Vahlens großes Logistikleikon. Beck, München
- [BSH06] Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie (2006) ECDIS. <http://www.bsh.de/de/Produkte/Karten/Elektronische%20Seekarten/356.jsp>, Stand 12. Dezember 2006
- [Els89] Elster J (1989) Nuts and bolts. University Press, Cambridge
- [Ess91] Esser H (1991) Alltagshandeln und Verstehen. Zum Verhältnis von erklärender und verstehender Soziologie. J.C.B. Mohr (Paul Siebeck), Tübingen
- [HGe07] Hellingrath B, Gehr F (2007) Logistik in der Automobilindustrie – Innovatives Supply Chain Management für wettbewerbsfähige Zulieferstrukturen. Springer Verlag, Berlin
- [HKu02] Hellingrath B, Kuhn A (2002) Supply Chain Management – Optimierte Zusammenarbeit in der Wertschöpfungskette. Springer Verlag, Berlin
- [Hop02] Hoppe M (2002) Fachstelle der WSV für Verkehrstechniken. Funknavigationstechnik. Grundlagen der Satellitennavigation: http://www.wsv.de/fvt/funknavi/gpsvt_1/gpsvt_1.html, Stand 12. Dezember 2006
- [HTi02] Hauss Y, Timpe KP (2002) Automatisierung und Unterstützung im Mensch-Maschine-System. In: Timpe K-P, Kolrep H (Hrsg) Mensch-Maschine-Systemtechnik. Konzepte, Modellierung, Gestaltung, Evaluation. Symposium Verlag, Düsseldorf, S 41–62
- [JAR06] JAR-OPS 1625 (2006) Unterlagen über Masse und Schwerpunktfrage. In: Bekanntmachung der Bestimmungen über die gewerbsmäßige Beförderung von Personen und Sachen in Flugzeugen (JAR-OPS 1 deutsch) stammt vom 10. April 2006 (BAnz Nr. 131a vom 15. Juli 2006). www.luftrecht-online/regelwerke/pdf/JAR-PPS1.pdf, Stand 29. November 2006
- [JSe03] Jin J, Sendhoff B (2003) Trade-off between performance and robustness: An evolutionary multiobjective approach. EMO, 237–251, Springer-Verlag, Heidelberg
- [Ker02] Kersandt D (2002) Schiffsführungsprozesse. In: Hansa, Dezember 2002, S 14–18
- [Ker05] Kersandt D (2005) NARIDAS: Assistenzsystem zur Erkennung und Abschätzung von Risiken in der Schiffsführung. In: Hansa, Mai 2005. <http://www.hansa-online.de/print.asp?artikelID=540>, Stand 29. November 2006
- [Kuh99] Kuhn A (1999) Prozesskettenmanagement: Erfolgsbeispiele aus der Praxis. Verlag Praxiswissen, Dortmund
- [KWe02] Kuhn A, Wenzel S (2002) Simulation logistischer Systeme. In Arnold et al (Hrsg) Handbuch der Logistik, Kap A2.4. Springer Verlag, Berlin, S A2.59
- [Mae06] Maersk (2006) Maersk Line takes delivery of EMMA MÆRSK – the world's largest container vessel. <http://www.maerskline.com/link/?page=news&path=/news/news20060901>, Stand 12. November 2006
- [Mön06] Möncks T (2006) Risikomanagement und Kostenoptimierung bei Vehicle Routing Problemen mit hybriden EMOA. Diplomarbeit, Universität Dortmund, Lehrstuhl für Algorithm Engineering, November 2006
- [Par00] Parasuraman R et al (2000) A model of types and levels of human interaction with automation. IEEE Trans Syst Man Cybern 30(3):286–297
- [Per87] Perrow C (1987) Normale Katastrophen – Die unvermeidlichen Risiken der Großtechnik, 1. Aufl. Campus Verlag, New York
- [Ray06] Raytheon-Anschütz (2006) ARPA radar system NSC 25. <http://www.raytheon-marine.de/highseas/pdf/brochures/RadarNSC25NSC34.pdf>, Stand 12. Dezember 2006
- [RSc02] Rammert W, Schulz-Schaeffer I (2002) Können Maschinen handeln? Soziologische Beiträge zum Verhältnis von Mensch und Technik. Campus, Frankfurt/M.
- [She88] Sheridan TB (1988) Task allocation and supervisory control. In: Helander M (Hrsg) Handbook of human-computer-interaction. Elsevier Science Publishers, Amsterdam, S 159–177
- [SVe78] Sheridan TB, Verplank W (1978) Human and computer control of undersea teleoperators. Man-Machine Systems Laboratory, Department, of Mechanical Engineering, MIT, Cambridge, MA

- [Tep04] Tepper C (2004) Prozessablauf-Visualisierung von ProC/B-Modellen. Technical Report – Sonderforschungsbereich 559 „Modellierung großer Netze in der Logistik“, 04003, ISSN 1612-1376
- [TJü02] Timpe K-P, Jürgensohn T (2002) Perspektiven der Mensch-Maschine-Systemtechnik. In: Timpe K-P, Kolrep H (Hrsg) Mensch-Maschine-Systemtechnik. Symposium, Düsseldorf, S 337–347
- [Wey97] Weyer J (1997) Die Risiken der Automationsarbeit. Mensch-Maschine-Interaktion und Störfallmanagement in hochautomatisierten Verkehrsflugzeugen. In: Zeitschrift für Soziologie 4 (26):239–257
- [Wit04] Wittig W (2004) So Kapt. Willi Wittig, Dozent im Fachbereich Nautik der Hochschule Bremen in einem von Autor geführten Interview am 02. September 2004
- [ZMM06] Zentrum Mensch-Maschine-Systeme (2006) Technische Universität Berlin. http://www.zmms.tu-berlin.de/de/grafik/NARIDAS_GUI.jpg, Stand 12. Dezember 2006