

Risikomanagement für selbststeuernde logistische Transportprozesse

Boris Bemeleit¹ (bem@biba.uni-bremen.de)

Jannicke Baalsrud Hauge¹ (baa@biba.uni-bremen.de)

Klaus-Dieter Thoben¹ (tho@biba.uni-bremen.de)

¹ *BIBA - Bremer Institut für Produktion und Logistik GmbH*

Abstract

Die Logistikbranche muss auf zunehmende Globalisierung der Märkte sowie eine Verkürzung der Produktlebenszyklen reagieren. Dies wird durch einen vermehrten Einsatz von vernetzten Logistiksystemen ermöglicht. Die logistischen Systeme werden jedoch immer dynamischer und komplexer und sind mit gängigen zentralistisch orientierten Methoden nicht mehr ausreichend und effizient zu steuern. Abhilfe schaffen hier selbststeuernde logistische Prozesse, die sich durch ein teilautonomes Handeln von Objekten auszeichnen. Dabei können jedoch Störungen oder Fehler auftreten, da nicht alle Möglichkeiten und Einflüsse für eine Planung im Voraus bekannt sind. Um auf mögliche Störungen und Fehler reagieren zu können wird in diesem Beitrag das Konzept eines Risikomanagements vorgestellt, welches selbststeuernde logistische Systeme robust und unanfällig macht.

1 Situation und Entwicklungen in der Logistik

Wertschöpfungsprozesse erfolgen zunehmend in verteilten Unternehmensnetzwerken, in denen Produkte nicht mehr an nur einem Ort hergestellt werden. Durch die verteilte Produktion von teilweise immer komplexeren Produkten sowie verkürzten Produktlebenszyklen entstehen neue Herausforderungen für die Logistik (Pfohl 2002; Windt 2006). Diese Herausforderungen entstehen u.a. durch ein erhöhtes Transportvolumen bei gleichzeitiger Verkleinerung der Ladungen und einem Anstieg der Lieferfrequenzen. Eine Übersicht über den Anstieg liefert die folgende Abbildung:

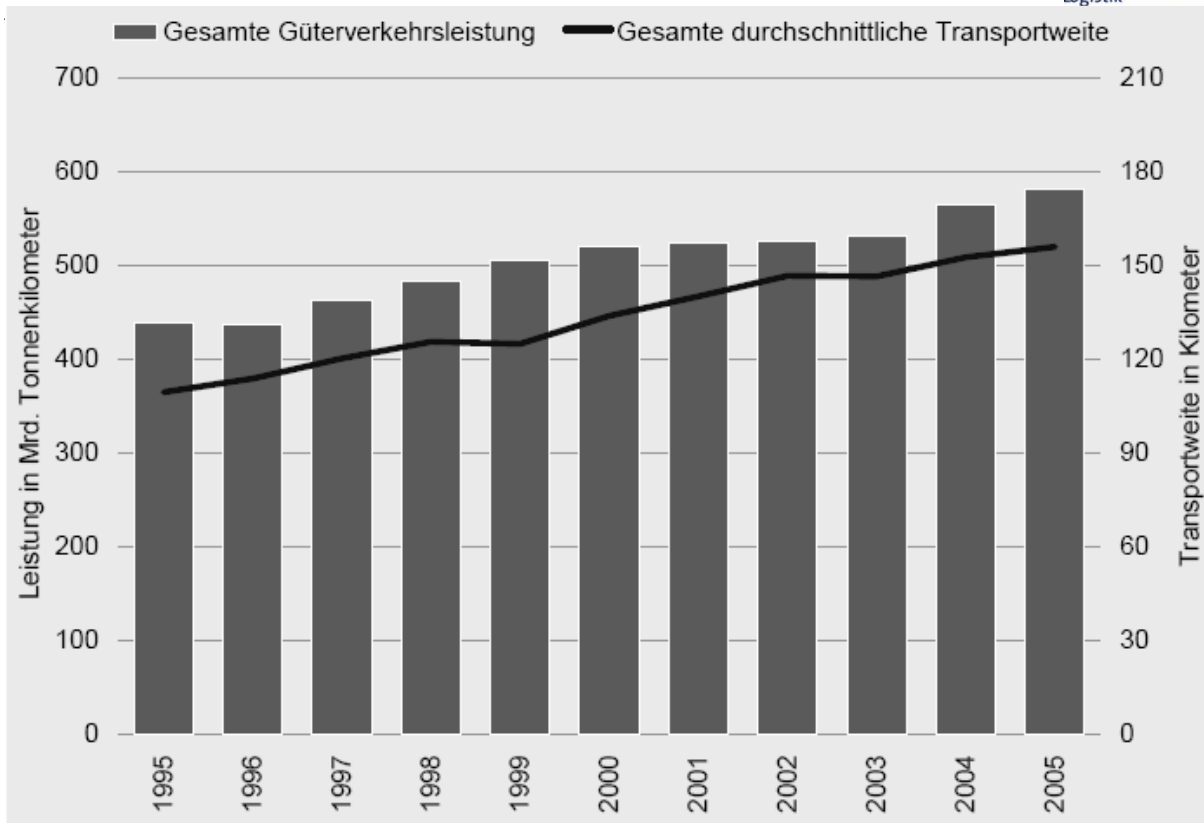


Abbildung 1: Entwicklung der gesamten Güterverkehrsleistung und der durchschnittlichen Transportweite (Ickert et al. 2007)

Die gestiegene Güterverkehrsleistung und die erhöhte Transportweite, wie aus Abbildung ersichtlich, führen zu einer höheren Belastung der logistischen Infrastrukturen und einem stark ansteigenden Planungs- und Steuerungsbedarf für die logistischen Abläufe (Wannenwetsch 2004; Huth 2003). Aufgrund dieser Entwicklung wird in der Zukunft die Planung und Steuerung der Logistik mit herkömmlichen Konzepten und Methoden an ihre Grenzen stoßen, da diese für eine so große Anzahl logistischer Prozesse und damit verbundener Informationen nicht entwickelt wurden. Deshalb müssen neue Methoden und Konzepte zur Planung und Steuerung logistischer Prozesse entwickelt und implementiert werden (Scholz-Reiter 2004). Für die Transportlogistik, als einen Teilbereich der Logistik, ergibt sich hierbei ein interessantes Anwendungsfeld, denn die Planung, Organisation und Durchführung von Prozessen der Güterverteilung zur jeweils nachgelagerten Wirtschaftsstufe ist ein dynamisches und komplexes System mit vielen Optimierungsmöglichkeiten (Klaus & Krieger 2004).

1.1 Selbststeuerung als Ansatz für die Logistik

Eine Möglichkeit zur Lösung von Problemen hoch belasteter logistischer Infrastrukturen bezüglich der Planung und Steuerung stellt das Konzept der Selbststeuerung dar. Selbststeuerung bedeutet, dass von logistischen Objekten Entscheidungen selbstständig getroffen und umgesetzt werden. Die selbststeuernden logistischen Objekte durchlaufen Prozesse, die durch die Realisierung eines Ablaufs von Zuständen in einem logistischen Sys-

tem gekennzeichnet sind. Diese Prozesse werden als selbststeuernde logistische Prozesse bezeichnet. Da die logistischen Objekte in selbststeuernden logistischen Prozessen autonom agieren, wird im Folgenden der Begriff „autonome Objekte“ für selbststeuernde logistische Objekte und selbststeuernde logistische Prozesse verwendet.

1.2 Herausforderungen durch den Einsatz von Selbststeuerung

Durch Selbststeuerung erfolgt eine Übertragung der Verantwortung und Entscheidungskompetenzen von einer zentralen Instanz auf autonome Objekte (z. B. intelligente Transportgüter wie Pakete oder Transportobjekte wie LKWs, Züge oder Flugzeuge), die selbstständig Entscheidungen über ihr Vorgehen treffen. Des Weiteren verändert sich die Kommunikation, da jetzt die autonomen Objekte entscheiden und untereinander kommunizieren. Durch eine Übertragung von Verantwortung und Entscheidungskompetenzen auf die autonomen Objekte, sowie einer veränderten Kommunikation sollen die autonomen Objekte die selbstständige Realisierung eines Ablaufs von Zuständen in einem logistischen System ermöglichen.

Um Selbststeuerung erreichen zu können, sollen die einzelnen Objekte die Fähigkeit zum selbstständigen Treffen von Entscheidungen besitzen und eingehende Informationen selbstständig verarbeiten und speichern können. Auch sollen die autonomen Objekte mit anderen Objekten kommunizieren und Informationen austauschen können, sowie Pläne zum Erreichen vorgegebener Ziele für die autonomen Objekte erstellen können, die sie zu bewältigen haben. Solche Fähigkeiten und Kompetenzen der einzelnen autonomen Objekte wirken sich auf das logistische System aus. So steigt die Komplexität (Anzahl der involvierten Objekte sowie deren Relationen) bedingt durch Wechselwirkungen von getroffenen Entscheidungen der einzelnen autonomen Objekte und deren Auswirkungen stark an. Zusätzlich bewirkt Selbststeuerung der autonomen Objekte eine schnelle und fortlaufende Veränderung der Systemzustände und Entwicklung neuer Systemzustände durch eine ständige Zunahme des Informationsaustausches (Heitmann 2005). Dies wird bedingt durch die verteilte Entscheidungskompetenz und durch die dazu benötigten Informationen. Ein weiterer Grund für die Veränderung der Systemzustände und Entwicklung neuer Systemzustände sind die Reaktionen und Gegenreaktionen auf getroffene Entscheidungen.

Durch die zu realisierenden Anforderungen an die autonomen Objekte und die Veränderungen für das logistische System ergeben sich neue Herausforderungen für die Planung und Steuerung der logistischen Prozesse. Um die Verteilung von Verantwortung und Entscheidungskompetenz zu realisieren, wird eine Verteilung der Intelligenz zum Analysieren der Informationen und Treffen von Entscheidungen notwendig. Eine Verteilung der Intelligenz hat jedoch zur Folge, dass ein einzelnes autonomes Objekt nicht über so eine große Kapazität der Informationsverarbeitung verfügt wie eine zentrale Planungsinstanz, die normalerweise die Informationsverarbeitung übernimmt und die Entscheidungen für die einzelnen autonomen Objekte trifft.

Eine weitere, durch Selbststeuerung bedingte Veränderung ist die bisher nicht vorhandene Reaktionsfähigkeit der einzelnen autonomen Objekte, die nun direkt und schnell reagieren und handeln können. Diese Reaktionsfähigkeit existiert u.a. weil lokale Veränderungen zeitnah berücksichtigt werden können und nicht unbedingt ein Informationsaustausch zwischen den einzelnen autonomen Objekten notwendig ist. Die Verwendung von autonomen Objekten bedingt zudem einen Wandel in der Planung und Steuerung der Prozesse innerhalb eines logistischen Systems, da durch den Verzicht auf eine zentrale Instanz und menschliche Entscheider andere Möglichkeiten vorhanden sind, bestimmte Fähigkeiten aber nicht mehr zur Verfügung stehen. Aus diesem Grund werden für autonome Objekte andere Mechanismen und Verarbeitungskapazitäten für die Planung und Steuerung benötigt. Die relevanten Unterschiede zwischen einer zentralen Planungsinstanz mit menschlichen Entscheidern und autonomen Objekten liegen in ihren Fähigkeiten zum Umgang mit Informationen. So kann eine zentrale Planungsinstanz mit menschlichen Entscheidern abstrahieren und assoziieren, was autonome Objekte trotz mentalistischer Fähigkeiten nicht können (Wooldridge & Jennings 1995).

Durch die Dezentralisierung der Informationsverarbeitung und Entscheidungsfindung bei Selbststeuerung ergeben sich Vorteile, denn Ausfälle einer einzelnen entscheidenden Instanz führen nicht zum Ausfall des Gesamtsystems. Obendrein beeinflusst ein lokaler Informationsmangel das Gesamtsystem nicht mehr in so hohem Maße, da nicht alle Informationen von jedem autonomen Objekt benötigt werden. Zusätzlich besteht für die autonomen Objekte die Möglichkeit bzgl. möglicherweise eintretender Ereignisse auf veränderte Situationen oder einen veränderten Informationsstand schnell reagieren zu können. Dies hat zur Folge, dass durch Selbststeuerung Nachteile der Fremdsteuerung in Bezug auf prozessbeeinflussende Ereignisse schneller ausgeglichen werden können (z. B. schnelle Reaktion durch Entscheidung auf lokaler Ebene) und sich somit eine neue bzw. veränderte Situation in Bezug auf Ereignisse, welche die autonomen Objekte beeinflussen können, ergibt.

Die Verwendung von autonomen Objekten verändert auch die Kommunikation, da die autonomen Objekte untereinander Informationen austauschen können und somit nicht alle autonomen Objekte unbedingt über den gleichen Informationsstand verfügen. Dieser erhöhte Kommunikationsaufwand stellt aber auch einen Nachteil dar, weil dadurch mehr Fehler in der Informationsübertragung entstehen können.

2 Risikomanagement für selbststeuernde logistische Transportprozesse

Mit unvorhergesehenen Ereignissen umgehen zu können ist Teil des unternehmerischen Handelns. Die mit solchen Ereignissen verbundenen Chancen und Verlustmöglichkeiten bilden das Potential für Wachstum und Gewinn. Dies gilt sowohl in der Logistik, als auch in anderen Wirtschaftsbereichen. Um unternehmerische und logistische Ziele verfolgen und ggf. auch erreichen zu können sind zu treffende Entscheidungen und zu realisierende Prozesse und Aktivitäten stets mit Unsicherheiten und Risiken verbunden.

Diese Veränderungen und mögliche Auswirkungen von Ereignissen stellen Risiken für die autonomen Objekte dar. Risiken sind Abweichungen von angestrebten oder erwarteten Systemzuständen. Risiko bzw. Risiken entstehen, wenn bestimmte zukünftige Zustände von Faktoren, welche sich möglicherweise auf die autonomen Objekte auswirken, nicht exakt bestimmt werden können. Aufgrund dessen wird Risikomanagement überwiegend als Gestaltung, Lenkung und Entwicklung eines produktiven Systems unter Berücksichtigung von Störprozessen verstanden (Grünig 1996).

Um Risiken bzw. deren Auswirkungen beeinflussen zu können, wurden je nach Einsatzzweck unterschiedliche Risikomanagementmethoden und Konzepte entwickelt. So gibt es unterschiedliche Risikomanagementmethoden und Konzepte. (Finke 2005), deren Einsatzzweck in der Akzeptanz, Vermeidung, Verringerung, Kompensation, Diffusion und dem Transfer von Risiken besteht. In Bezug auf Unternehmensentwicklung wird häufig unternehmerisches Risikomanagement zur Vermeidung von Gefahren und der Eröffnung von Chancen eingesetzt, wo hingegen in der Entwicklung von technischen Produkten Sicherheitsanalysen zur Minimierung von Ausfällen und Auswirkungen von Störungen angewendet werden. Im Projektmanagement wird Risikomanagement zur Minimierung von Projektrisiken genutzt. Die bereits existierenden Risikomanagementmethoden und Konzepte dienen teilweise nur zur Kompensation von bereits existenten Schäden (z. B. Transportversicherungen), die aus Risiken resultieren. Häufig angewendete Risikomanagementmethoden wurden für die Verwendung nur vor Prozessbeginn hin entwickelt (z. B. Logistik-FMEA) und benötigen überwiegend für jedes mögliche Ereignis eine zugehörige Eintrittswahrscheinlichkeit (z. B. Fault Tree Analysis). Zudem wurden diese Methoden für die Benutzung durch Menschen entwickelt, die über assoziative Fähigkeiten zur Problemlösung verfügen, so dass sie sich nicht für eine Nutzung durch autonome Objekte eignen (Bemeleit et al. 2005). Risikomanagementmethoden und Konzepte, welche die Besonderheiten der autonomen Objekten ausreichend berücksichtigen existieren bisher nicht, so dass Risiken für autonome Objekte nicht hinreichend vermieden oder verringert werden können.

Trends und Entwicklungen (z. B. technologischer und/oder organisatorischer Art) sowie organisatorische Auswirkungen dieser Entwicklungen wirken sich auch auf Risiken in Supply Chains und der Logistik aus (Pfohl 2002). Insbesondere im Bereich der Logistik hat sich durch Entwicklungen steigender Kundenanforderungen, wachsender Globalisierung, technologischer Möglichkeiten (bspw. RFID und Ubiquitous Computing) und rechtlicher Entwicklungen ein großes Potential an unvorhergesehenen Ereignissen gebildet.

Im Zuge einer gestiegenen Wertorientierung, einer erhöhten Dynamik und gestiegenen Komplexität von logistischen Systemen ist das Erreichen logistischer Zielgrößen für die Logistik von größerer Bedeutung geworden als bisher. Insbesondere Beschaffung und Distribution auf weltweiten Märkten und die damit verbundene Vernetzung von Partnern einer Supply Chain haben dazu geführt, dass für den Warenfluss und den dazugehörigen Informationsfluss unvorhersehbare Ereignisse weit reichende Auswirkungen in Form von Risiken für die Realisierung der logistischen Prozesse haben können (Grandjot 2006). So

haben empirische Studien belegt, dass Risiken mit zunehmender Dynamik und Komplexität innerhalb eines Systems zunehmen (Klaus & Krieger 2004) und das Risikomanagement darauf reagieren muss. Die gestiegene Komplexität von logistischen Systemen wird von einer komplexeren Planung und Kontrolle von logistischen Systemen und deren Prozesse in Kombination mit einer gestiegenen Sensitivität des gesamten Systems gegenüber Störungen und unvorhergesehenen Ereignissen begleitet. Ziel von Risikomanagement für autonome Objekte in einem selbststeuernden logistischen Systeme ist es, die autonomen Objekte und die von ihnen durchlaufenen logistischen Prozesse robust und unanfällig gegen existente und mögliche weitere Risiken zu machen.

Die Eigenschaften autonomer Objekte und die Auswirkungen von Selbststeuerung stellen somit besondere Anforderungen in Bezug auf das Risikomanagement. Um also ein hinreichendes Risikomanagement für autonome Objekte in logistischen Systemen zu erhalten, muss zunächst das Risiko in selbststeuernden Systemen definiert werden, um dann Maßnahmen zu dessen Identifizierung treffen zu können. Aus diesen Erkenntnissen heraus kann dann eine passende Methode für die Risikoanalyse implementiert und auf ihre Anwendbarkeit hin überprüft werden.

Fraglich ist hierbei, in wie weit existierende Methoden und Konzepte des Risikomanagements erfolgreich auf selbststeuernde logistische Prozesse angewendet und ob sie den an sie gestellten Anforderungen In Bezug auf selbststeuernde logistische Systeme gerecht werden können.

2.1 Risiko in selbststeuernden logistischen Systemen

Um Risiko für selbststeuernde Prozesse zu bestimmen, wurden mehr als 100 existierende Definition von Risiko und Ansätze für Risikomanagement analysiert. Eine ausführliche Analyse und Bestimmung von Risiko in Bezug für autonome Objekte in selbststeuernden logistischen Systemen ist notwendig, da diese Analyse der Ausgangspunkt für die Konzeption eines Risikomanagements darstellt. Der erste Schritt der Analyse von Risiko ist die Differenzierung der Begriffe Risiko, Chance, Unsicherheit und Gefahr, da Risiko und Unsicherheit in manchen Fällen im selben Kontext verwendet werden und die Begriffe Chance und Gefahr in Bezug auf Risiko nicht immer ausreichend differenziert werden.

Sind zukünftige Entwicklungen oder Umweltzustände bekannt, besteht bzgl. der Entscheidungen Sicherheit. In der Regel wird die Unkenntnis über zukünftige Entwicklungen oder Umweltzustände und damit verbundener Entscheidungen als Unsicherheit (im weiten Sinne) bezeichnet. Sind für eine Entwicklung oder dem Eintreten zukünftiger Umweltzustände objektive (durch Auswertung empirischer Studien oder umfangreicher Datensätze) oder subjektive (z. B. durch einfache Schätzung) Eintrittswahrscheinlichkeiten bekannt, so werden Entscheidungen unter Risiko getroffen. Wenn keine Wahrscheinlichkeiten bekannt sind, so werden die Entscheidungen unter Unsicherheit im engen Sinne getroffen (Klaus & Krieger 2004). Unsicherheit im engen Sinn wird vielfach auch als Ungewissheit bezeichnet. Sobald der Begriff Ungewissheit auf mögliche Entscheidungen eines

agierenden und entscheidenden Individuums oder Objektes bezogen ist, wird sie als Unsicherheit bezeichnet und um von der Unsicherheit im weiten Sinn unterscheidbar zu sein, als Unsicherheit im engen Sinn (Helten et al. 2000) bezeichnet. Diese Unterteilung wurde erstmals von Frank Knight vorgenommen und gilt als ökonomischer Standardansatz in Bezug auf Risiko (Schwarz 1996). In der überwiegenden Zahl der Fälle wird aber Unsicherheit unter Risiko subsumiert, so dass leicht Missverständnisse auftreten können. Auch der verwendete und später genauer erläuterte Begriff des Risikomanagements für autonome Objekte in selbststeuernden logistischen Prozessen beinhaltet die Berücksichtigung von Unsicherheiten. Da Risiko und Unsicherheit in Bezug auf die Auswirkungen nicht vor der Realisierung genau bestimmt werden können, ist es hilfreich sowohl positive als auch negative Auswirkungen in Bezug auf die Entscheidungsfindung und Entscheidungsrealisierung zu berücksichtigen. Wenn Risiko positive Möglichkeiten für zukünftige Entwicklungen beinhaltet, wird das Risiko als symmetrisches Risiko bezeichnet. Wenn Risiko jedoch nur in Zusammenhang mit negativen oder positiven Konsequenzen erwartet wird, bezeichnet man es als asymmetrisches Risiko. Eine ausführlichere Differenzierung zwischen symmetrischen und asymmetrischen Risiken findet sich bei Pfohl (Pfohl 2002). Um Risiko in Bezug auf die Ziele autonomer Objekte und logistischer Zielgrößen bestimmen zu können, wird ein symmetrischer Risikoansatz benötigt, da Lieferkosten unterschritten werden können was eine Chance in Bezug auf die Kosten darstellt, aber auch bspw. zu frühe oder zu späte Lieferungen (in beiden Fällen eine Abweichung der Liefertreue) müssen als mögliche Gefahren berücksichtigt werden können. Um bspw. die Abweichungen von Liefertreue oder Lieferzuverlässigkeit individuell durch ein Objekt messen zu können wird Risiko als eine Kombination von Informationsdefiziten und Zielabweichung betrachtet. Ein solches Risikokonzept beinhaltet die Möglichkeit einer Zielabweichung in Form eines neutralen Faktors der sowohl Gefahren als auch Chancen beinhaltet und nicht die realisierte Zielabweichung. Zudem wird Risiko in Situationen, in denen eine Entscheidung getroffen werden muss, auch als ein Fehlen von Informationen charakterisiert (Härterich 1987). Durch die Wahl dieses Risikokonzeptes können autonome Objekte mögliche Zielabweichungen identifizieren, Risiko als eine durchgehend vorhandene Größe dargestellt wird und Informationsdefizite als Teilmenge des Risikos berücksichtigt werden (Bemeleit et al. 2005).

Die Möglichkeit, Risiko während der Planungsphase und der Durchführung von logistischen Prozessen durch autonome Objekte identifizieren und analysieren zu können, ist eine notwendige Eigenschaft für Risikomanagement. Ein solches Risikomanagement soll in der Lage sein Pläne zu erstellen und diese bei Bedarf auch zu ändern. Um dies zu ermöglichen müssen für einen nutzbaren Risikobegriff in selbststeuernden Systemen noch weitere Bedingungen erfüllt sein:

- Der zu definierende Risikobegriff soll es ermöglichen, dass durch die Vorgabe von Zielen die Wertvorstellung bzgl. Gefahren und Chance in Relation zu den Zielen
-

festgelegt ist. Durch die Darstellung als Differenz zu den vorgegeben Zielen wird Risiko für ein autonomes Objekt bewertbar gemacht.

- Das Risiko soll für autonome Objekte in einem selbststeuernden logistischen System für den gesamten Prozess, aber auch für die Teilprozesse und die einzelnen Aktivitäten abbildbar sein.
- Das Gesamtrisiko und das Risiko für ein einzelnes autonomes Objekt sind mit dem selbststeuernden logistischen System verbunden. Dieses ist wichtig, da die Risikobewertung von einem autonomen Objekt ausgeführt wird, welches ein Element des Systems und nicht ein externes Element ist, dass das System nicht durch seine Entscheidungen beeinflusst.
- Risiko muss in Zusammenhang mit systeminternen und systemexternen Einflüssen betrachtet werden. In- und externe Entwicklungen zu betrachten ist notwendig, da ein selbststeuerndes logistisches System mit autonomen Objekten kein geschlossenes System ist (Lorenz et al. 2007).

Existierende Definitionen zu Risiko erfüllen entweder eine der obigen Anforderungen nicht voll, entstammen einem anderen Ansatz zu Risiko (z. B. asymmetrisch) oder verwenden ein anderes Risikokonzept (z. B. Risiko kann auch als Gefahr einer falschen Entscheidung betrachtet werden).

Risiko wird im Rahmen dieser Arbeit wie folgt verstanden: *„Risiko ist die Eventualität, dass das Ergebnis aufgrund von Differenzen nicht den Zielen des Systems oder des Objektes entspricht.“*

Diese Definition beinhaltet Unsicherheit über die Zukunft und zukünftige Vorgänge, in dem die Begriffe Risiko und Eventualität genutzt werden. Risiko in Form von Chance und Gefahren, ist durch den Begriff „Unterschiede“ enthalten, was eine positive oder negative Abweichung in Bezug auf gegebene Ziele erlaubt und außerdem auf in- und externe Risiken anwendbar ist. Die mögliche Abweichung von dem Ziel oder den Zielen kann von den autonomen Objekten ermittelt werden. Auch aufgrund ihrer Einfachheit und Reduktion auf Begriffe, die in einem System mit großer Dynamik und Komplexität benutzt werden, ist diese Definition anwendbar für autonome Objekte in einem selbststeuernden System.

2.2 Elemente des Risikomanagements und ihre Aufgaben

Durch die Verwendung von autonomen Objekten in einem selbststeuernden logistischen System können Nachteile wie der Ausfall einer entscheidenden Instanz sowie eine erhöhte Reaktionszeit durch Informationsübertragung ausgeglichen werden, aber es entstehen zusätzliche Risiken. Diese zusätzlichen Risiken resultieren aus der erhöhten Kommunikation der autonomen Objekte untereinander und daraus dass die Interaktion der autonomen Objekte zu nicht eindeutig vorher bestimmbar Status auf lokaler oder globaler Ebene des Systems. Zusätzlich muss berücksichtigt werden, dass widersprüchliche Infor-

mationen, die von unterschiedlichen autonomen Objekten kommuniziert werden eine weitere Quelle für Risiken in Bezug auf die Erreichung vorgegebener Ziele darstellen und das eine Optimierung auf Ebene der einzelnen autonomen Objekte die Zielerreichung auf der Ebene des Systems beeinträchtigen kann. Unter Berücksichtigung dieser Aspekte kann Risiko in drei Kategorien unterteilt werden (Bemeleit et al., in press). Hierbei handelt es sich um externe Risiken, interne Risiken und Informationsrisiken.

Externe Risiken werden durch Ereignisse verursacht, welche unabhängig von den autonomen Objekten und den von ihnen zu durchlaufenden logistischen Prozessen existieren, aber die Objekte oder aber das selbststeuernde logistische System beeinflussen können. Interne Risiken entstehen durch die Interaktion autonomer logistischer Objekte untereinander und deren Entscheidungsfindung. Die dritte Kategorie stellen Informationsrisiken dar. Informationsrisiken können durch widersprüchliche, inkonsistente, unvollständige oder unglaubwürdige Informationen bzgl. bevorstehender Ereignisse entstehen. Des Weiteren können Informationsrisiken auch durch ein „Informationsgefälle“ durch lokalen, objektbezogenen Informationsaustausch entstehen.

Die Gefahr einer verspäteten Lieferung und ein geringeres Einhalten von Lieferterminen sind Beispiele von Ergebnissen aus komplexen Systemstrukturen und gestiegenen Konsumentenansforderungen. All diese aufgezählten Ereignisse und veränderten Bedingungen verdeutlichen, dass logistische Systeme und autonome Objekte sehr stör anfällig sind. Auf die beinhalteten Gefahren und Chancen muss durch das Risikomanagement reagiert werden, um den Erfolg von logistischen Prozessen zu sichern. Die Aufgabe des Risikomanagements für autonome Objekte in selbststeuernden logistischen Systemen ist es, ihnen zu ermöglichen, ihre Entscheidungen und ihr Verhalten der jeweiligen Situation anzupassen.

Risikomanagement für und in der Logistik beinhaltet die risikobewusste Planung und Realisierung von logistischen Prozessen. Grundlage für ein erfolgreiches logistisches Risikomanagement ist zunächst die Erstellung von risikopolitischen Grundsätzen und risikoorientierten Zielen, welche sich aus den logistischen Zielgrößen herleiten lassen. Darauf aufbauend wird ein Risikomanagementprozess entwickelt, der die einzelnen Elemente des Risikomanagements beinhaltet.

Der Risikomanagementprozess ist ein kontinuierlicher, systematischer Prozess aus mehreren Elementen mit unterschiedlichen Funktionen, der im Sinne eines Regelkreises in die autonomen Objekte integriert wird (vgl. Romeike 2004). Eine weit verbreitete Beschreibung des Risikomanagementprozesses unterteilt das Risikomanagement in drei Elemente:

- Die Risikoidentifikation,
 - die Risikoanalyse und
 - die Risikosteuerung (hier: Variantenermittlung).
-

Diese drei Elemente des Risikomanagements werden sowohl für Risikomanagement im Allgemeinen (Romeike 2004), als auch für Risikomanagement in Supply Chains und der Logistik verwendet, so dass sie, in angepasster Form, auch für Risikomanagement von autonomen Objekten verwendet werden können.

Zu Beginn des Risikomanagementprozesses erfolgt die Identifikation der Risiken. Die Informationen, die im Rahmen der Risikoidentifikation erfasst werden, bilden die Grundlage für alle folgenden Elemente. Bei der Risikoidentifikation sollen alle für das System relevanten Risiken erfasst werden. Nur auf Basis der Risiken, die identifiziert werden, können im Folgenden Risikoanalysen erstellt und die Risikosteuerung in Form einer Variantenermittlung eingeleitet werden. Damit ist eine umfassende und zugleich frühzeitige Identifikation aller relevanten Risiken Voraussetzung für die Umsetzung eines erfolgreichen Risikomanagements. Eine Übersicht der Elemente des Risikomanagements und ihrer Aufgaben zeigt die folgende Abbildung:

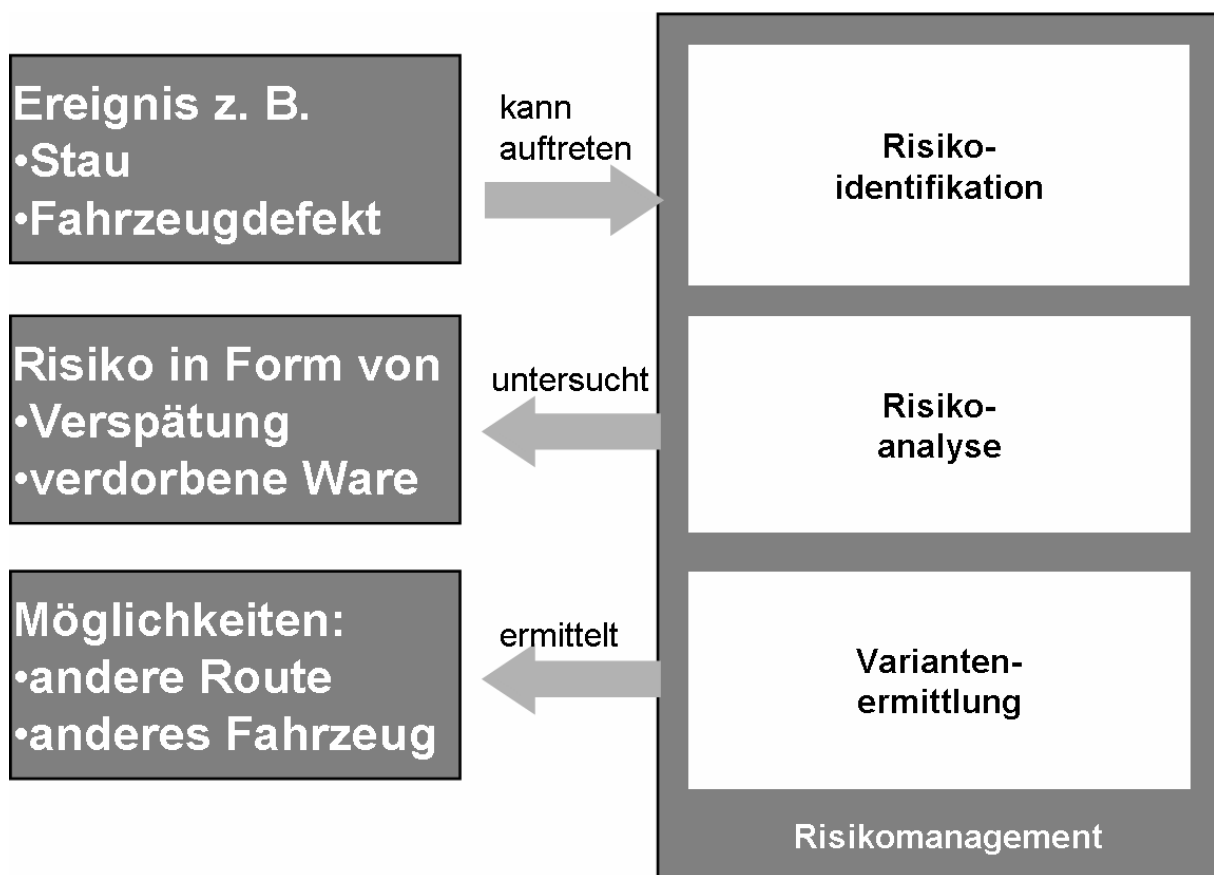


Abbildung 2: Elemente des Risikomanagements und ihre Aufgaben

In dem darauf folgenden Schritt, der Risikoanalyse werden die identifizierten Risiken, wie in Abbildung 2 zusehen, näher untersucht. Hier geht es vor allen Dingen darum die Risiken zu bewerten um sie gemäß ihrer Bedeutung einordnen zu können. Hierfür werden die positiven und negativen Zielabweichungen ermittelt. Dafür werden die Eintrittswahrscheinlichkeiten der Risiken sowie das jeweilige Ausmaß der Zielabweichung zugrunde

gelegt. Zugleich ist es an dieser Stelle sinnvoll die Wirkungen der Risiken, sowie ihre Abhängigkeiten zu untersuchen (Mikus 2001).

Auf Basis der Risikoanalyse kann im Folgenden die Steuerung der Risiken erfolgen. Dafür werden zunächst risikopolitische Maßnahmen in Form von Handlungsalternativen bzw. unterschiedlichen Varianten ermittelt und anschließend bewertet. Die Bewertung dieser Varianten erfolgt dabei nicht isoliert, sondern nur in Zusammenhang mit den Zielen des Systems (Eberle 2005). Aufbauend auf die Bewertung der Maßnahmen wird eine Auswahl von einer oder mehreren Maßnahmen getroffen, die es zu implementieren gilt. Mit der Umsetzung der risikopolitischen Maßnahmen ist der Prozess des Risikomanagements jedoch noch nicht abgeschlossen. Viel mehr muss Risikomanagement als fortlaufender Prozess verstanden werden und „ist nicht beendet, wenn die letzte Phase durchgeführt ist“ (Huth 2004). Das Risikomanagement verkörpert einen rückgekoppelten Prozess, der eine Zielkontrolle einschließt. Hier wird die Umsetzung der ermittelten Varianten auf ihre Wirksamkeit überprüft und eine erneute Risikoidentifizierung kann bei Bedarf und gewählter Voreinstellung stattfinden.

2.3 Wissensbasis zur Unterstützung des Risikomanagements

Die Basis für den Erfolg des Risikomanagements durch autonome Objekten hängt vom Wissensstand des jeweiligen Objektes ab. Während autonome Objekte durch das Risikomanagement die Risikoidentifikation, Risikoanalyse und Variantenermittlung durchführen, sind sie auf Wissen angewiesen. Das hierfür benötigte Wissensmanagement dient der Beschaffung, Verwaltung und Weitergabe der benötigten Informationen (Lorenz et al. 2005a). Dieses Wissen enthält Informationen über den aktuellen Zustand der Umgebung und über das autonome Objekt. Das Wissensmanagement in Form einer Wissensbasis wird mit dem Risikomanagement zwecks Datenaustauschs verbunden, wie in der folgenden Abbildung dargestellt:

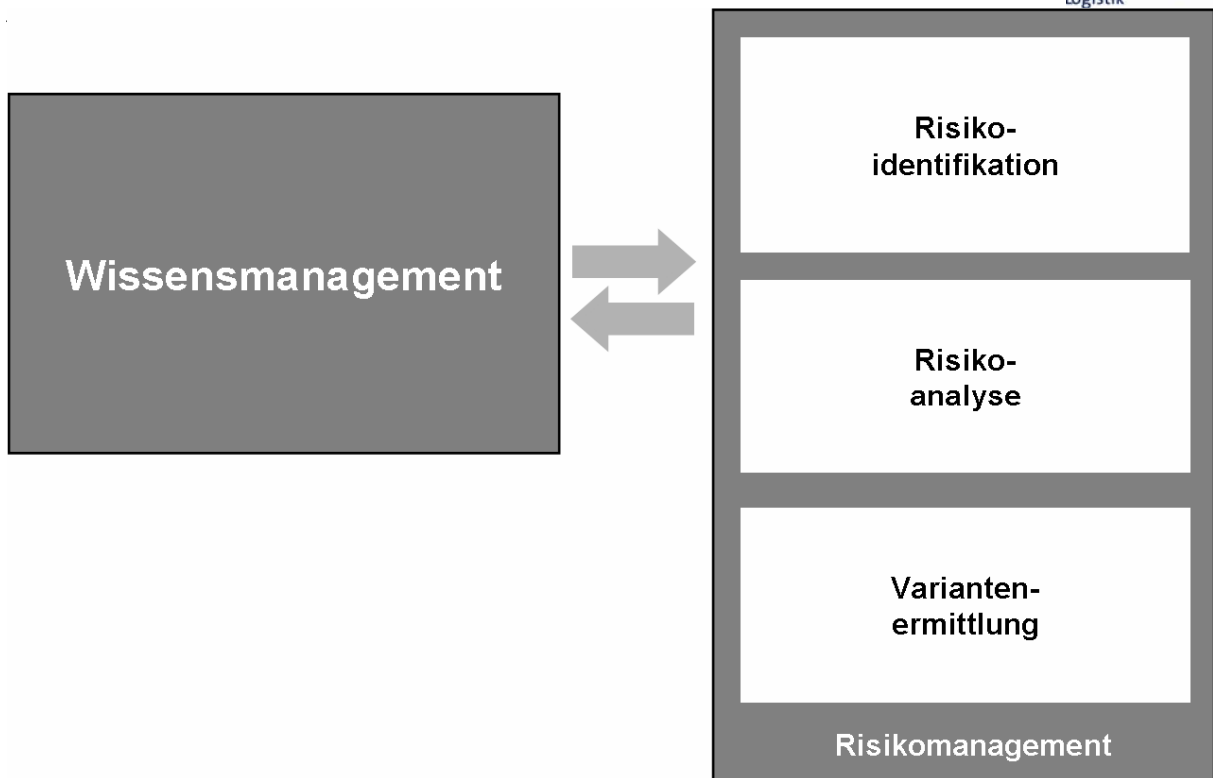


Abbildung 3: Risikomanagement in Verbindung mit Wissensmanagement (vgl. Lorenz et al. 2007)

Für die Verwendung einer Wissensbasis, die wie in Abbildung 2 mit dem Risikomanagement verbunden ist, haben sich Agenten, welche die autonomen Objekte repräsentieren, als geeignet erwiesen, weil sowohl die strategische Ebene der Agenten werden kann, als auch operative Aspekte können und taktische Möglichkeiten (Langer et al. 2007). Die Wissensbasis ist mit dem Risikomanagement verbunden. So ist das Wissen über Risiko für ein autonomes Objekt verfügbar. Des Weiteren kann ein autonomes Objekt sein Wissen zur Identifikation von Risiken nutzen (Lorenz 2005b). Diese Wissensbasis kann bei Bedarf erweitert werden, so dass Risiken, die bis zu einem bestimmten Zeitpunkt nicht berücksichtigt werden konnten, ab der Erweiterung berücksichtigt werden können.

2.4 Risikoidentifikation

Die Identifikation von Chancen und Risiken stellt den Ausgangspunkt des Risikomanagementprozesses dar. Durch die Identifikation werden grundlegende Informationen geliefert, auf denen die nachfolgenden Prozessphasen aufbauen. Die Risikoidentifikation hat die umfassende und systematische Erfassung aller für das autonome Objekt relevanten Chancen und Gefahren zum Ziel. Dies geschieht vor dem Hintergrund, dass eine rechtzeitige bzw. frühzeitige Risikoidentifikation die Voraussetzung für die Einleitung und erfolgreiche Umsetzung der Risikosteuerung ist (Pfohl 2002). Aufgrund der Kontinuität des Risikomanagementprozesses ist auch die Risikoidentifikation eine kontinuierliche Aufgabe zum Erkennen von Veränderungen bestehender Risiken und dem Entstehen neuer Risiken (Eberle 2005). Qualitativ sollte die Risikoidentifikation der Anforderung der Vollständigkeit, Aktualität und wie bereits beschrieben der Kontinuität entsprechen (Grandjot 2006).

Eine unzureichende Risikoidentifikation würde sich somit negativ auf die folgenden Phasen des Risikomanagementprozesses auswirken.

Für autonome Objekte in selbststeuernden logistischen Systemen, die zwar über mentalistische Fähigkeiten verfügen, jedoch nicht abstrahieren können oder über assoziative Fähigkeiten verfügen, stellt die Risikoidentifikation eine besondere Herausforderung dar. Aus diesem Grund wird ein ergänzbares Risikoinventar für die autonomen Objekte erstellt, welches dann von ihnen für die Risikoidentifikation genutzt wird. Dieses Risikoinventar enthält Informationen über Risikofaktoren. Zur Erstellung eines Risikoinventars für die Risikoidentifikation durch autonome Objekte werden unterschiedliche Methoden kombiniert, die auch für Risikoidentifikation in Unternehmen oder technischen Systemen eingesetzt werden. Hierbei handelt es sich um eine Kombination aus Kollektionsmethoden, analytischen und kreativen Suchmethoden (z. B. Risikoidentifikationsmatrix, Brainstorming, FMEA). Das für die Risikoidentifikation erstellte Risikoinventar wird strukturiert, so dass daraus eine Taxonomie zur Klassifikation von Risiko und Risikofaktoren entsteht, die von den autonomen Objekten genutzt werden kann. Diese Taxonomie stellt eine Wissensrepräsentation eines formal definierten Systems von Begriffen und Relationen in Bezug auf Risiko für autonome Objekte in selbststeuernden logistischen Systemen dar. Sie beinhaltet aufgrund seiner Struktur Wissen für die auf Agententechnologie basierenden autonomen Objekte. Dieses Wissen ist Bestandteil der Wissensbasis, die dem autonomen Objekt zur Entscheidungsfindung und Realisierung der Prozesse zur Verfügung steht.

Um die Risikoidentifikation durchführen zu können, werden die einzelnen Risikofaktoren als Risikomuster in der Wissensbasis gespeichert. Risikomuster (risk pattern) werden als eine abstrakte Beschreibung einer Situation betrachtet, in der andere Objekte oder Ereignisse ein autonomes Objekt beeinflussen können. Komplexe Muster können aus verschiedenen Grundeigenschaften einfacherer Muster bestehen. Komplexe Risikomuster erweitern einfache Muster von Risikofaktoren zu Risiko durch die Definition von Risikovariablen und den entsprechenden Risikowerten.

Um aus diesen Risikomustern Informationen für die Risikoidentifikation zu gewinnen werden eingehenden Daten von einem Musterabgleichsmodul ausgewertet. Bei Übereinstimmung mit Faktoren aus der Wissensbasis wird die Risikoanalyse ausgelöst. Dies geschieht durch einen Musterabgleich (pattern matching). Beim Musterabgleich wird durch einen Suchalgorithmus ermittelt, ob sich ein in der Wissensbasis existentes Muster (Pattern) in den analysierten Informationen oder Daten wieder finden lässt. Dieser Abgleich wird durch eine Abfrage bzgl. einer Übereinstimmung in der Wissensbasis durchgeführt (vgl. Lee & Cho 2001). Allen Informationen, die in Verbindung mit einem Risikomuster als risikobehaftet identifiziert wurden, wird ein Risikowert zugeordnet. Wenn mehr als ein Risikomuster zu einer Information passt, wird der Risikowert berechnet, indem alle Werte der passenden Muster miteinbezogen werden. An dieser Stelle wird eine einfache Risikofunktion verwendet, indem das maximale Risiko aller passenden Muster für eine einzelne Information genutzt wird, z. B. wenn eine Information mehreren Mustern zu folge risikobehaftet ist, wird ihm der höchste Risikowert zugeschrieben. Für die Risikoanalyse ver-

gleich die Wissensbasis kontinuierlich Informationen mit bestehenden Risikomustern und löst weitere Aktionen für jedes gefundene Risikomuster aus. Das Ergebnis dieses Vergleichs ist eine Liste von Ereignissen, die das jeweilige autonome Objekt mit ihren jeweiligen Risikowerten beeinflussen können (Lattner et al. 2005). Aufbauend auf der Risikoidentifikation kann ein autonomes Objekt die Risikoanalyse durchführen.

2.5 Risikoanalyse und Variantenermittlung

Im Anschluss an die Risikoidentifikation erfolgt die Risikoanalyse indem die möglichen Risiken und Chancen in Bezug auf ihre Eintrittswahrscheinlichkeit analysiert werden und mögliche Auswirkungen auf die Ziele des autonomen Objektes oder des selbststeuernden Systems ermittelt werden. Ziel der Risikoanalyse ist die Abbildung der Risiken für ein autonomes Objekt sowie die Darstellung der Interdependenzen zwischen einzelnen Risikofaktoren (Romeike 2003). Während der Risikoanalyse werden die identifizierten Risikofaktoren gemäß ihrer Eintrittswahrscheinlichkeit und der anzunehmenden Auswirkungen auf das autonome Objekt analysiert. Um eine passende Methode oder Kombination von Methodenelementen zu finden, werden existierende Verfahren analysiert, ob sie eine Ermittlung von Auswirkungen potentieller Ereignisse ermöglichen, ob sie sich in agentenbasierte Objekte integrieren lassen und ob sie in einem dynamischen Umfeld, wie einem selbststeuernden logistischen System, anwendbar sind. Ergebnis dieser Analyse ist, dass eine Kombination von Methoden oder Methodenelementen bessere Ergebnisse erzielen wird als eine Methode alleine. Ziel der Kombination von Methoden bzw. Methodenelementen ist es, die Stärken der Methoden zu nutzen und gleichzeitig ihre Schwächen zu kompensieren. Eine Untersuchung von möglichen Methoden für das Risikomanagement von autonomen Objekten ergab, dass die Nutzung von Bayesschen Netze in Verbindung mit der Dempster-Shafer-Theorie eine Risikoanalyse ermöglicht, bei der den Risikofaktoren die Eintrittswahrscheinlichkeiten zugeordnet werden können. Die Bayesschen Netze sind aufgrund der Möglichkeiten, kausale Zusammenhänge zu repräsentieren, Verkettungen von Risiken zu berücksichtigen und einer relativ einfachen Integration in agentenbasierte autonome Objekte eine viel versprechende Methode für eine Risikoanalyse. Bayessche Netze ermöglichen auch eine Risikoanalyse auch in einem dynamischen System. Als Ergänzung zu den Bayesschen Netzen bietet sich die Dempster-Shafer-Theorie an, da durch sie unterschiedliche Informationen zu einem Sachverhalt oder einem bestimmten möglichen Systemzustand zu einer Aussage zusammengeführt werden können, die durch die autonomen Objekte für die Risikoanalyse verwendet wird. Ausgehend von der Risikoanalyse kann das autonome Objekt Varianten ermitteln deren Umsetzung die Einhaltung logistischer Zielgrößen wie Lieferkosten und Liefertreue ermöglicht.

2.6 Strategien für den Umgang mit Risiko

Um durch die Nutzung von Risikomanagement vorgegebene Ziele zu erreichen können unterschiedliche Strategien eingesetzt werden. In der Praxis haben sich vier Strategien für den Umgang mit Risiko etabliert (Grandjot 2006):

- Vermeidung
- Verminderung
- Akzeptanz und
- Übertragung

Die Risikovermeidung zielt darauf ab, eine risikobehaftete Entscheidung zu vermeiden, während die Risikoverminderung versucht, die Wahrscheinlichkeit für Risiken zu schwächen. Eine Form der Versicherung stellt die Risikoübertragung dar, indem ein Unternehmen wirtschaftliches Risiko auf einen externen Träger überträgt. Trägt das Unternehmen übrig gebliebene Risiken selbst, spricht man von der Risikoakzeptanz. Zuletzt sei noch die Risikoteilung genannt, was die Aufteilung risikobehafteter Aktivitäten auf verschiedene Risikoträger beinhaltet.

Nicht alle von diesen Strategien sind durch ein autonomes Objekt anwendbar. Die Möglichkeit der Vermeidung, Verminderung und zum Teil der Übertragung von Risiken durch das Risikomanagement sind Strategien, die in die autonomen Objekten im Voraus implementiert und während der Realisierung der Prozesse umgesetzt werden.

2.7 Konzept des Risikomanagements

Um eine hohe Effektivität im Hinblick auf die Zielerreichung der autonomen Objekte zu ermöglichen, wird das zu entwickelnde Konzept drei verschiedene Komponenten (strategisch, taktisch, operativ) zur risikoorientierten Planung und Steuerung in sich vereinen. Das Konzept besteht aus drei Komponenten, um vor Prozessinitiierung eine ausführliche Risikoanalyse erstellen zu können (strategische Komponente) und nach der Initiierung flexibel auf neue Informationen und unvorhergesehene Ereignisse reagieren zu können (taktische Komponente). Eine operative Komponente soll in das Konzept eingebunden werden, um im Falle eines nicht ausreichenden Risikomanagements durch das autonome Objekt, eine Möglichkeit der externen Unterstützung zu schaffen. Ein Konzept, das aus diesen drei Komponenten besteht, ermöglicht ein durchgehendes Risikomanagement durch autonome Objekte, welches, wenn notwendig, durch zusätzliche Maßnahmen ergänzt werden kann. Die Anordnung der drei Komponenten und ihrer Einsatzbereiche wird in der folgenden Abbildung dargestellt:

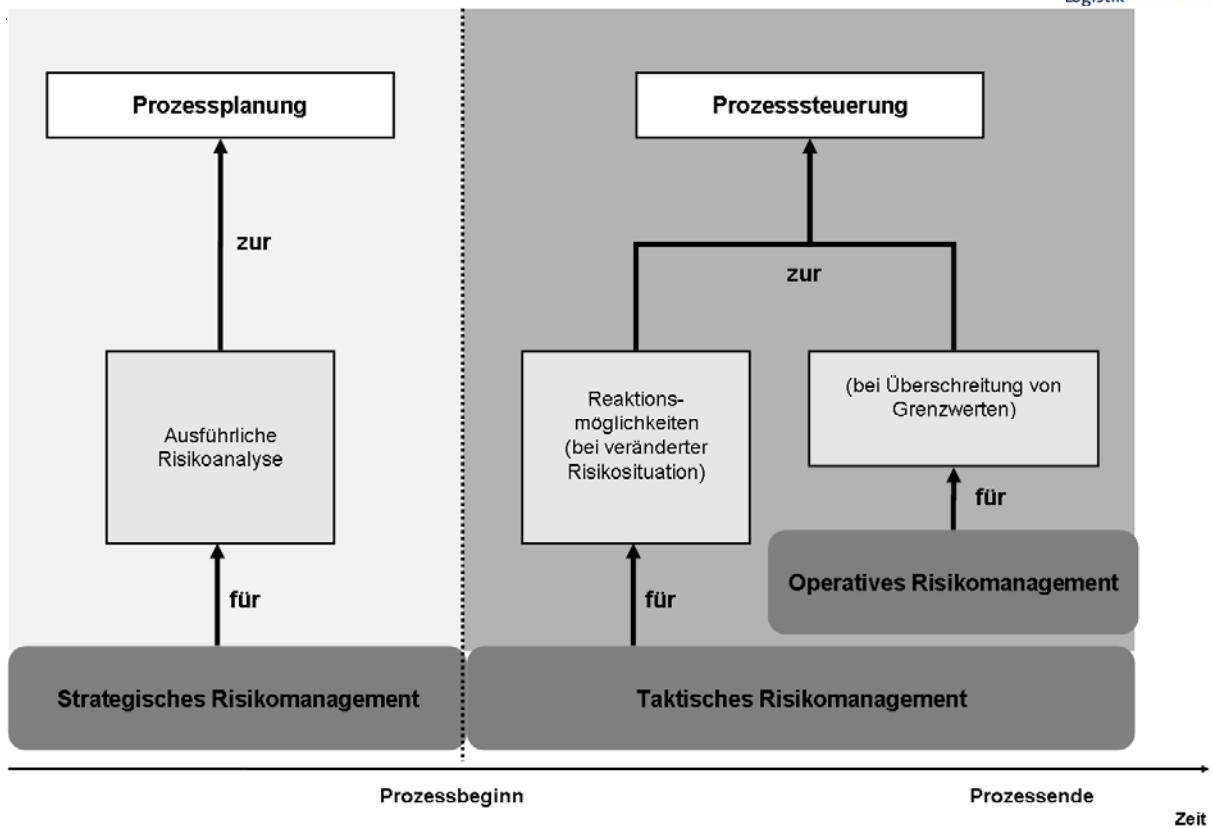


Abbildung 4: Einzelne Komponenten des Risikomanagements

Wie in der obigen Abbildung dargestellt, bilden die drei Komponenten zusammen das Risikomanagement für autonome Objekte in einem selbststeuernden logistischen System. Für die Planung selbststeuernder logistischer Prozesse wird die strategische Komponente entwickelt, welche eine ausführliche Evaluation von Risiken und Unsicherheiten ermöglicht. Dadurch kann dann für die autonomen Objekte vor Prozessinitiierung die Ausführungsvariante mit dem geringsten Risiko in Bezug auf die vorgegebenen Ziele ermittelt werden. Zur Steuerung der initiierten selbststeuernden logistischen Prozesse wird eine taktisch ausgerichtete Komponente des Risikomanagement verwendet. Diese wird die durchgehende Evaluation neu verfügbarer Informationen bzgl. auftretender Risiken und Unsicherheiten im Rahmen des Prozessverlaufs ermöglichen. Im Falle des Eintretens einer veränderten Situation, welche sich durch veränderte Risiken und Unsicherheiten ausdrückt, kann das autonome Objekt Maßnahmen zur Einhaltung der vorgegebenen Ziele auf Basis der aktuellen Informationen treffen. Führt eine Risikoanalyse nach Prozessinitiierung zu dem Ergebnis, dass die vorgegebenen Ziele unter den aktuellen Bedingungen nicht eingehalten werden können, so soll ein operatives Risikomanagement die Initiierung von zusätzlichen Maßnahmen signalisieren, um den autonomen Objekten noch eine größtmögliche Einhaltung der vorgegebenen Ziele zu ermöglichen.

3 Auswirkungen des Risikomanagements und Ausblick

Um Prozesse in der Transportlogistik robuster gegenüber Störungen und ungeplanten Ereignissen zu machen wurde die Konzeption eines Risikomanagements für autonome Objekte in einem logistischen System vorgestellt. Mit Hilfe des Risikomanagements wird es den transportlogistischen Prozessen ermöglicht, trotz einer veränderten Umweltsituation ihre vorgegebenen Ziele bspw. in Bezug auf Kosten und Zeit einzuhalten. Im vorgestellten Konzept für Risikomanagement sollen den autonomen Objekten für den Transport Ziele bspw. in Bezug auf Zeit und Kosten vorgegeben werden. Durch Verwendung von Zielen bzw. Zielgrößen kann eine mögliche Abweichung von diesen zu erreichenden Zielgrößen durch das Risikomanagement ermittelt werden. Die Zielgrößen bilden die Ausgangsbasis zu Erstellung von Plänen, welche durch die Entscheidungen (und die Realisierung dieser Entscheidungen) von den autonomen Objekten umgesetzt werden sollen. Risiko soll, in dem zu entwickelndem Risikomanagement, als eine konstant vorhandene Größe von den autonomen Objekten angesehen werden. Durch die Analyse von Informationen bezüglich des Risikos wird den autonomen Objekten die Möglichkeit gegeben entsprechend den vorgegebenen Zielgrößen auf das Risiko zu reagieren. Das Risikomanagement ermöglicht es den autonomen Objekten von Prozessinitiierung bis zum Prozessende Situationsveränderungen berücksichtigen und Pläne im Sinne der Zielerreichung anpassen zu können.

Ein weiterer Vorteil, der durch den Einsatz dieses Konzeptes zu Risikomanagement erreicht wird, ist das im Gegensatz zu einem traditionell reagierenden Risikomanagement die Möglichkeit zur Nutzung zusätzlicher Handlungsspielräume besteht, die aus veränderten Umgebungsbedingungen resultieren. Das Vermeiden von unnötigen Gefahren und die Chance, diese Handlungsspielräume zu nutzen, wird ermöglicht durch:

- Evaluation von jeglichen vorhandenen Informationen
- Untersuchung von neuen Informationen betreffend der Gültigkeit und Relevanz für den Prozess
- Interpretation von neuen Information in Bezug auf gegebene Risikofaktoren
- Analyse von möglichen Risikofaktoren und
- Evaluation vom gesamten Risiko für den ganzen Prozess

Mit diesem Konzept zu Risikomanagement wurden Möglichkeiten zur Verminderung oder Vermeidung von bspw. Verspätungen oder Beschädigungen von Lieferungen durch autonome Objekte geschaffen. Risikomanagement mit den Elementen Risikoidentifikation, Risikoanalyse und Variantenermittlung ist in dieser Form ein viel versprechender Ansatz für einen kontrollierten Umgang mit Risiko für autonome Objekte in der Transportlogistik, aber auch der Produktionslogistik. Es hilft, die autonomen Objekte und die von ihnen durchlaufenen logistischen Prozesse robust und unanfällig gegenüber unvorhergesehenen Ereignissen zu machen, welche nicht während der Planungsphase berücksichtigt werden

konnten. Der Umgang mit Informationen aus der realen Welt stellt für die autonomen Objekte eine große Herausforderung dar.

In diesem Papier wurde eine Übersicht über die unterschiedlichen Möglichkeiten und Ausprägungen des Risikomanagements zur Planung und Steuerung transportlogistischer Prozesse gegeben. Des Weiteren wurde ein grundlegendes Konzept für Risikomanagement vorgestellt und Ansätze für dessen technische Realisierung erörtert. Um das Risikomanagement zu vervollständigen wird noch eine Planungskomponente benötigt, denn in dieser Form kann das Risikomanagement nur die aktuelle Situation evaluieren, aber noch keine zukünftigen Umweltzustände ermitteln. Dies stellt eine weiterführende Aufgabe zur Realisierung autonomer Objekte in selbststeuernden logistischen Systemen dar.

4 Acknowledgement

Diese Arbeit wurde durch die Deutsche Forschungsgemeinschaft im Rahmen des Sonderforschungsbereichs 637 "Selbststeuerung logistischer Prozesse – Ein Paradigmenwechsel und seine Grenzen" sowie durch die Europäische Union im Rahmen des Projekts EURIDICE „European Interdisciplinary research on Intelligent Cargo for Efficient, Safe and environment-Friendly Logistics“ unterstützt.

Literatur

- Bemeleit, B., Lorenz, M., Schumacher, J., Herzog, O. (2005): Methods of Risk Assessment and their Suitability in a Logistic Environment. In Proceedings of 2nd Symposium on Risk Management and Cyber-Informatics: RMCI '05 in the Context of the 9th Multi-Conference on Systemics, Cybernetics and Informatics: SCI 2005, Orlando, S. 425 – 431.
- Bemeleit, B., Lorenz, M., Schumacher, J., Herzog, O. (2007): Risk Management in Dynamic Logistic Systems by Agent based Autonomous Objects, In: proceedings of First International Conference on Dynamics in Logistics - LDIC'07, Bremen, in press.
- Eberle, A. O. (2005): Risikomanagement in der Beschaffungslogistik - Gestaltungsempfehlungen für ein System. Dissertation, Hochschule für Wirtschafts-, Rechts- und Sozialwissenschaften, St. Gallen, St. Gallen.
- Finke, R. (2005): Grundlagen des Risikomanagements: quantitative Risikomanagement-Methoden für Einsteiger und Praktiker, Wiley Verlag, Weinheim.
- Grandjot, H. H. (2006): Risikomanagement aus betrieblicher Sicht in einem Logistikunternehmen, In: Riskmanagement in der Logistik. Hector, B. (Ed.), Deutscher Verkehrs-Verlag, Hamburg, S. 19 - 30.
- Grünig, R. N. (1996): Risiko-Management in einem vernetzten Ansatz bei mittelgrossen Unternehmen, Grundlagen, Methode und praktische Umsetzung, Dissertation Nr. 1843, Stehle Druck AG, St. Gallen.
- Härterich, S. (1987): Risk Management von industriellen Produktions- und Produktrisiken, Präzis-Druck GmbH, Karlsruhe.
- Helten, E., et al. (2000): Versicherung von Risiken, In: Praxis des Risikomanagements - Grundlagen, Kategorien, branchenspezifische und strukturelle Aspekte. Dörner, D., Horváth, P. und Kagermann, H. (Eds.) Stuttgart, Schäffer-Poeschel Verlag, S. 153 - 192.
- Heitmann, P. (2005): Beitrag zur Zuverlässigkeitsanalyse komplexer Systeme bei Ungewissheit am Beispiel eines autonom fahrenden Fahrzeugs, Dissertation, Shaker Verlag, Aachen.
- Huth, M. (2003): Risikomanagement in der Logistik, in Risk News 01/2003, ISSN 1616-0045, S. 57 – 68.
- Huth, M. (2004): Risikomanagement der Gefahrgutbeförderung, Deutscher Universitäts-Verlag, Wiesbaden.
- Ickert, L., Matthes, U., Rommerskirchen, S., Weyland, E., Schlesinger, M., Limbers, J. (2007): Abschätzung der langfristigen Entwicklung des Güterverkehrs in Deutschland bis 2050. Basel, Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung.
- Klaus, P. und Krieger, W. (2004): Gabler Lexikon Logistik - Management logistischer Netzwerke und Flüsse, Gabler Verlag, Wiesbaden.
- Langer, H., Gehrke, J. D., Herzog, O. (2007): Distributed Knowledge Management in Dynamic Environments, In: Understanding Autonomous Cooperation and Control in Logistics - The Impact of Autonomy on Management, Information, Communication and Material Flow. Hülsmann, M. und Windt K. (Eds.), Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, S. 215 - 232.
- Lattner, A. D., Timm, I. J., Lorenz, M., Herzog, O. (2005): Knowledge-based Risk Assessment for Intelligent Vehicles, In Proceedings of International Conference Integration of Knowledge Intensive Multi-Agent Systems KIMAS05. Modeling, Evolution and Engineering, IEEE Press, Boston, S. 191 - 196.
- Lee, S. I., Cho, S. B. (2001): An intelligent agent with structure pattern matching for a virtual representative. In: Proceedings of 2nd Asia-pacific Conference on IAT - Intelligent Agent Technology: Research and Development, Maebashi City, S. 305 – 314.
-

Lorenz, M., Gehrke, J. D., Langer, H. Timm, I. J., Hammer, J. (2005a): Situation aware Risk Management in Autonomous Agents, In: Proceedings of 14th ACM International Conference on Information and Knowledge Management (CIKM), ACM Press, New York City, S. 363 - 364.

Lorenz, M., Gehrke, J. D., Hammer, J., Langer, H. Timm, I. J. (2005b). Knowledge Management to Support Situation-aware Risk Management in Autonomous, Self-managing Agents, In: Self-Organization and Autonomic Informatics I - Frontiers in Artificial Intelligence and Applications. Czap, H., Unland, R., Branki, C. und Tianfield, H. (Eds.), IOS Press, USA: S. 114 - 128.

Lorenz, M., Bemeleit, B., Herzog O. Schumacher, J. (2007): Proactive Knowledge-Based Risk Management, In: Understanding Autonomous Cooperation and Control in Logistics - The Impact of Autonomy on Management, Information, Communication and Material Flow, Hülsmann, M. und Windt, K. (Eds.), Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, S. 233 - 254.

Mikus, B. (2001): Risiken und Risikomanagement – ein Überblick in: Risikomanagement (Götze, Uwe et al), Physica Verlag, Heidelberg.

Pfohl, H. C. (2002): Risiko- und Chancenmanagement in der Supply Chain: proaktiv, ganzheitlich-nachhaltig, Erich Schmidt Verlag, Berlin.

Romeike, F. (2003): Bewertung und Aggregation von Risiken. In: Erfolgsfaktor Risiko-Management, Romeike, F. und Finke, R (Eds.), Gabler Verlag, Wiesbaden, S. 183 - 198.

Romeike, F. (2004): Lexikon Risiko-Management, Romeike, F. (Ed.)Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KgaA, Köln.

Scholz-Reiter, B., Windt, K., Freitag, M. (2004): Autonomous logistic processes: New demands and first approaches. In: Proceedings of the 37th CIRP International Seminar on Manufacturing Systems, Budapest, Ungarn, S. 357-362.

Schumacher, J. und Bemeleit, B. (2004): Risk Management in Self Controlled Logistic Processes, In: Proceedings of Symposium on Risk Management and Cyber-Informatics: RMCI '04 in the Context of the 8th Multi-Conference on Systemics, Cybernetics and Informatics: SCI 2004, Orlando, S. 340 – 345.

Schwarz, R. (1996): Ökonomische Ansätze zur Risikoproblematik, In: Risikoforschung zwischen Disziplinarität und Interdisziplinarität - von der Illusion der Sicherheit zum Umgang mit der Unsicherheit. Banse, G. (Ed.) Berlin, Rainer Bohn Verlag, S. 125 - 132.

Wannenwetsch, H. , Nicolai, S. (2004): E-Supply-Chain-Management, Grundlagen-Strategien-Praxisanwendungen , Gabler Verlag, Wiesbaden.

Windt K. (2006): Selbststeuerung intelligenter Objekte in der Logistik. In: Vec, M. , Hütt, M. , Freund, A. (Hrsg.): Selbstorganisation – Ein Denksystem für Natur und Gesellschaft. Böhlau Verlag, Köln, S. 271-314.

Wooldridge, M., Jennings, N. R. (1995): "Intelligent Agents - Theory an Practice." Knowledge Engineering Review 10(2), S. 115 - 152.
