

# **Entwicklung eines integrierten Ansatzes für das Störungsmanagement in komplexen Transportnetzen unter Berücksichtigung variabler Störungsdauern**

## ***Integrated disruption management approach in complex transport networks considering variable duration of disruptions***

Daniel Dreßler, Ulrike Beißert, Fraunhofer IML, Dortmund (Germany),  
daniel.dressler@iml.fraunhofer.de, ulrike.beissert@iml.fraunhofer.de

**Abstract:** Increasing interdependencies in global production, supply and transport networks result in growing complex planning situations through increasing demands which is sensitive to disruptions. An integral planning and disruption management approach is necessary to ensure an efficient utilization of resources and to supply a stable plan in case of disruptions. In practice, measures against disruption are often implemented locally and ignore the effects on the global network. In this paper an integrated disruption management approach is proposed to reschedule a plan in case of a disruption and to evaluate measures regarding plan stability under variable disruption times.

## **1 Problemstellung**

Die zunehmende weltweite Vernetzung in Produktions-, Versorgungs- und Transportketten sorgt mit dem ihr inhärenten Anstieg der Komplexität in den Netzwerkstrukturen und der stärkeren Verkettung der Prozessbeteiligten sowie ihrer Abhängigkeiten untereinander für erhöhte Anforderungen an die Planung der Transporte ebenso wie an das operative Management von Störungen. Mit dem Grad der Vernetzung der Wertschöpfungspartner steigt auch die Sensitivität innerhalb dieses Netzwerkes, d. h. die Empfindlichkeit gegenüber Störungen in den Prozessen. Gerade in Produktionsverbänden mit lokal verteilten Produktionskapazitäten bzw. Standorten ist daher eine ganzheitliche Transportplanung ebenso wie ein integriertes Störungsmanagement über alle Standorte zwingend erforderlich, um eine effiziente Ressourcenauslastung zu erreichen sowie im Störfall die aktuelle Netzwerkplanung stabil zu halten.

In der Praxis werden bei Eintritt von Störungen häufig basierend auf dem Erfahrungswissen der Mitarbeiter oder vorhandener Leitfäden Ad-hoc-Maßnahmen ergriffen, um Störungsdauern oder entstehende Kosten zu reduzieren. Insbesondere

in sensitiven Produktionsverbänden ist jedoch vielmehr der Einfluss der Maßnahmen im Hinblick auf die aktuell in Ausführung befindliche Planung zu betrachten. Um die Akzeptanz der Beteiligten in die Planung zu gewährleisten, sollte die gewählte Maßnahme bzw. Umplanung mit der größtmöglichen Planstabilität für die Prozessbeteiligten bezogen auf den Ursprungsplan einhergehen, d. h. einer geringen Anzahl an Anpassungen. Neben der Planstabilität sind verstärkt mögliche Änderungen der angenommenen Umgebungsbedingungen zu beachten z. B. Verlängerung der Störungsdauer. So ist die Berücksichtigung der Varianz der Störungsdauer im Rahmen des Störungsmanagements sinnvoll, um zu Umplanungen zu gelangen, die auch bei anhaltender Störungsdauer stabil reagieren. Die integrierte Bewertung der Handlungsalternativen im Störfall unter Berücksichtigung variabler Störungsdauer mit dem Ziel minimaler Anpassungen bei den Prozessbeteiligten wird aktuell nicht vorgenommen. Aufgrund der Vielzahl an gültigen Zuordnungen von Vorgängen auf Ressourcen in den verfügbaren Zeitfenstern ist die Untersuchung des Lösungsraums mittels Materialflusssimulation sinnvoll, um zeitnah gute und gültige Lösungen zu ermitteln.

In Kooperation mit der ThyssenKrupp Steel Europe AG wird ein Konzept für ein integriertes Transportleitsystem entwickelt, welches in einem Produktionsverbund übergreifend die Transportbedarfe auf unterschiedliche Verkehrsträger plant und die Wirkungen von Störungen und Gegenmaßnahmen transparent bewerten lässt. In dem vorliegenden Beitrag wird das Konzept zum Störungsmanagement des integrierten Transportleitsystems vorgestellt und exemplarisch anhand eines Ausschnitts des innerwerklichen Transportnetzwerkes in Plant Simulation demonstriert.

## 2 Ansätze zum Störungsmanagement und Plankriterien

Der hier vorgestellte Ansatz ist dem reaktiven Störungsmanagement zuzuordnen (u.a. Schwartz 2004; Fischer 2009). Dieser kann grob in drei Phasen unterteilt werden:

- Störungsidentifikation und -kommunikation,
- Analyse der Störung und Auswirkung auf die aktuelle Planung und
- Ermittlung und Bewertung einer Maßnahme und ihrer Plananpassung.

Die beiden erstgenannten Phasen stehen nicht im Fokus dieses Beitrags. Zur Vertiefung sei hier exemplarisch auf die Arbeiten von Fischer (2009) und Hinrichs (2009) verwiesen, die den Fokus ihrer Arbeit auf Störungsidentifikation und -kommunikation legen. Demgegenüber entwirft Fischhäder (2007) ein Modell zur Bewertung der Auswirkungen von Störungen in Produktionssystemen und eine Methodik zur Planung von Anpassungs- und Abwehrmaßnahmen in den Systemen, welche eine Analyse von Störungen und deren Auswirkungen auf die bestehende Planung ermöglicht.

Der Fokus des vorliegenden Beitrags liegt auf der Ermittlung einer Maßnahme und ihrer Plananpassung (1) sowie der Bewertung (2). In den vergangenen Jahren wurden bereits vielfältige Ansätze und Methoden zur Plananpassung entwickelt. Beim *Total oder Complete Rescheduling* werden alle verbleibenden Aufträge beim Auftreten der Störung neu eingeplant (Yamamoto und Nofs 1985). Der Ursprungsplan wird dabei nicht berücksichtigt sondern bei jeder Störung entsteht

mit den verbleibenden Aufträgen ein neuer Plan. Im Gegensatz dazu werden beim *Right Shifting* verbleibende Aufträge um die Stördauer nach hinten verschoben (Yamamoto und Nofs 1985). Eine spezielle Erweiterung hierfür stellt das Projekt LogoTakt dar. In multimodalen Transportketten werden im Störfall im Rahmen der Umplanung zunächst vorhandene Pufferzeiten bei den Umschlagsvorgängen der einzelnen Verkehrsträger genutzt und der Auftrag verschoben, bevor alternative Transportressourcen eingesetzt werden, um das System zu entstoren (Pulter et. al. 2010). Andere Verfahren wie der *Affected Operations Rescheduling* (AOR) Algorithmus von Abumaizar und Svestka (1997) behalten den Ursprungsplan bei und Planen nur Aufträge um, die direkt und indirekt von einer Störung betroffen sind. Die Methode des *Matchup* oder *Turnpike Scheduling* haben zudem das Ziel, ab einem bestimmten Zeitpunkt wieder auf den Ursprungsplan zurück zukommen (Bean und Birge 1991; Belz 1993). Der Vorteil liegt in dem geringeren Rechenaufwand sowie, dass die mögliche Abweichung zum Ursprungsplan von vornherein verringert wird. Bockholt (2012) entwirft ein umfassendes Referenzmodell um Störungen in globalen Lieferketten zu bewerten und gezielt Maßnahmen auszuwählen.

Neben einem geeigneten Algorithmus zur Umplanung sind auch geeignete Zielkriterien zur Bewertung der Umplanungen und damit einer Maßnahme sowie ihrer Plananpassung zu identifizieren. Zur Bewertung der Planung in einem Logistiksystem werden i. d. R. monetäre Zielgrößen wie Betriebs- und Leistungskosten und nicht monetäre Zielgrößen wie Leistungssteigerung und Qualitätssicherung herangezogen (Gudehus 2011; Rixen 1997). Mit Hinblick auf die anfangs gestellten Anforderungen an den Ansatz bleibt festzuhalten, dass sich diese Kriterien im Allgemeinen nicht zur Bewertung der Umplanung im integrierten Störungsmanagement eignen aufgrund ihrer mangelnden Aussagefähigkeit zur Sensitivität und Stabilität der Planungen z. B. ggü. variabler Störungsdauer. Eine Alternative bietet hier Scholl (2001), der sechs Kriterien definiert, um die Stabilität von Plänen hinsichtlich sich ändernden Umweltbedingungen bewertbar zu machen:

- Ergebnisrobustheit: Das Ergebnis eines Zielkriteriums verändert sich nicht.
- Optimalitätsrobustheit: Der Plan liefert immer das optimale Ergebnis bezogen auf einen Zielwert.
- Zulässigkeitsrobustheit: Der Plan ist unter den geforderten Restriktionen immer zulässig.
- Bewertungsrobustheit: Ein Plan ist unempfindlich gegenüber unscharfen Bewertungsansätzen und die Gesamtpräferenz für diesen Plan bleibt bestehen.
- Planungsrobustheit: In einem zeitlich dynamischen System bleibt der Plan für die folgenden Planungsperioden stabil.
- Informationsrobustheit: Auch bei sich ändernder Informationslage ist der Plan stabil.

Anhand des Stands der Forschung wird ersichtlich, dass bereits zahlreiche Vorgehensweisen und Methoden für das Störungsmanagement existieren. Für die vorliegende Zielstellung lassen sich die Ansätze jedoch nicht umfänglich anwenden, da Störungen als statisches Ereignis behandelt werden und die Dynamik der Störungsdauer bei der Auswahl von Maßnahmen keine Berücksichtigung findet. Obwohl einige Ansätze vor dem Hintergrund der Reduzierung des Rechenaufwands die Bestrebung zur Reduzierung des Planungsproblems haben, wird das Total Rescheduling als Umplanungsalgorithmus ausgewählt, damit ggf. potentielle

Lösungen vom Suchraum nicht ausgeschlossen werden. Um die Stabilität der Planung und die Sensitivität des Netzwerks zu berücksichtigen sowie den Einfluss einer variablen Störungsdauer zur Bewertung der Umplanung zu untersuchen, werden als Bewertungskriterien der Umplanung die Kriterien der Ergebnis- und Planungsrobustheit herangezogen.

### 3 Grundlegende Definition und Klassifikation von Störungen

Für den Ansatz des integrierten Störungsmanagement ist ein einheitliches Verständnis über die Abgrenzung des Begriffs der Störung, deren Klassifizierung und den zugehörigen Maßnahmen notwendig. Als Störung wird nach REFA ein Ereignis angesehen, welches

*„unerwartet eintreten und eine Unterbrechung oder zumindest Verzögerung der Aufgabendurchführung zur Folge“*

hat (REFA 1985, S.424). Dieser Definition folgend sind relevante Störungen für das betrachtete Transportnetz

- der Ausfall von Be- und Entladehilfsmittel,
- Ausfall bzw. der Mangel an Transportmitteln,
- fehlender Lagerplatz und Personal,
- beschädigtes Material oder abweichende Auftragsmengen,
- zusätzliche Eiltransporte bzw. externe Transportfahrzeuge.

In der Literatur finden sich verschiedene Klassifizierungsmöglichkeiten von Störungen z. B. in betriebsmittel- und personalbedingte Potentialfaktorstörungen, Repetier-, Informations- und Auftragsstörungen (Bormann 1978; Greve 1970), Primär- und Sekundärstörungen (Schwartz 2004). Vor den Herausforderungen eines integrierten Störungsmanagements wird mit *repulsive* und *remigrierende* Störung eine von bisherigen Ansätzen abweichende Klassifizierung von Störungen in Anlehnung an die Klassifikation der Störungsreaktion von Meyer (2007) und Heil (1995) gewählt. Nach Meyer und Heil beeinflussen repulsive Reaktionen die Störungswirkung aktiv und können ursachenbezogen sein, d. h. sie beheben Störungen direkt oder wirkungsbezogen und zielen auf die Verminderung der Störungswirkung/-folgen ab. Remigrierende Störungsreaktionen wirken passiv auf die Störung und können nur wirkungsbezogen sein. Bspw. erfordert die Störung eines nicht ersetzbaren Betriebsmittels eine remigrierende Maßnahme, da bis zur Beendigung der Störung gewartet werden muss und daher nur unmittelbar die Störungswirkung abgemindert werden kann, z. B. durch planerische Maßnahmen wie die Umverteilung auf andere Ressourcen.

Die Klassifikation in repulsive und remigrierende Störungen ist entscheidend für die Bewertung der Umplanung, da eine remigrierende Störung mit großer Wahrscheinlichkeit mit höheren Abweichungen zum Ursprungsplan einhergeht, als eine Umplanung auf eine repulsive Störung. Dementsprechend müssen verschiedene Kriterien bei der Bestimmung der Stabilität des Plans berücksichtigt werden.

## 4 Konzeptioneller Aufbau des integrierten Störungsmanagements

Im Rahmen der Forschungsarbeit wird ein integriertes Transportleitsystem (TLS) in Zusammenarbeit mit ThyssenKrupp Steel Europe am Standort Duisburg entwickelt. Dieses umfasst Bestandteile zur Grobplanung, Detailplanung, Feinplanung und zum Störungsmanagement (siehe Abb.1). Nachfolgende Ausführungen sind lediglich auf die Vorstellung des Konzepts zum ganzheitlichen Störungsmanagement ausgerichtet.

Grobplanung	Detailplanung	Feinplanung	Störungsmanagement
<ul style="list-style-type: none"> <li>Verteilung des Ressourcenbedarfs (grob) im möglichen Transportzeitraum</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Buchung /Reservierung der Ressourcenbedarfe je Schicht</li> <li>Berücksichtigung von bekannten, geplanten Einflussfaktoren (Bekannte Stillstände, Ausfälle)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Reihenfolgeplanung der Ressourcen auf Basis von verifizierten Kapazitäten</li> <li>Berücksichtigung von extern gebuchten Zeitfenstern</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Prüfung der Auswirkung einer Störung auf die bestehende Feinplanung</li> <li>Ermittlung, Bewertung und Auswahl alternativer Maßnahmen</li> </ul>

*Abbildung 1: Komponenten des integrierten TLS und Aufgabenspezifikation*

Der Entwicklung eines ganzheitlichen Ansatzes für das Störungsmanagement liegt die Annahme zugrunde, dass bei variierender Störungsdauer und Ausmaß der Wirkungen einer Störung auch unterschiedliche Gegenmaßnahmen geeignet sind und mit andersartigen Änderungen an der bestehenden Planung einhergehen. Im Rahmen der Untersuchungen im Störungsmanagement sollte daher auf den Parameter Störungsdauer besonderer Fokus gelegt werden.

### 4.1 Aufbau

Das Störungsmanagement unterteilt sich in drei sukzessiv aufeinander aufbauende Komponenten der Analyse, Planung und Bewertung. Die Komponenten sollen im Nachfolgenden detailliert beschrieben werden.

#### *Analyse*

Die Analyse dient zur Identifikation der Gegenmaßnahmen sowie untersuchungswürdiger Störungsdauern, d. h. relevanter Störfallszenarien. Hierzu ist eine geeignete Datenbasis vorzuhalten, bestehend aus historischen Daten und einem Katalog mit Gegenmaßnahmen zu den Störereignissen.

- Die historische Datenbasis dient der zielgerichteten Bewertung der Störung mit Fokus auf ihrer Dauer. Hierin können Informationen über die vergangenen Störereignisse sowie ihrer Umweltbedingungen abgelegt werden wie Ort und Art der Störung bzw. betroffene Ressource und ebenso die Störungsdauer. Die Auswertung der historischen Daten ermöglicht die Spezifikation untersuchungswürdiger Störfallszenarien. Im einfachsten Fall können diesen Szenarien aus den Min-, Max- und Durchschnittsdauern der vergangenen Störungen abgeleitet werden. Durch die Berücksichtigung zusätzlicher Faktoren wie Ort der Störung oder durch die Verwendung von Prognoseverfahren über die Zeitdauern lässt sich der Grad der Genauigkeit der Untersuchung steigern.

- Neben den historischen Daten umfasst die Datenbasis einen Maßnahmenkatalog, in welchem zu den möglichen Störungen jeweils unterschiedliche Maßnahmen, d. h. Prozesse zu ihrer Auflösung enthalten sind.

### Planung

Die Planungskomponente ermöglicht die Untersuchung einer Vielzahl an gültigen Umplanungen (UP) basierend auf dem erzeugten Experimentplan.

In Abhängigkeit der Art, dem Auftrittsort und dem Zeitpunkt an dem die Störung auftritt, ist eine unterschiedliche Anzahl aus der Menge von Transportaufträgen  $A = \{A_1, \dots, A_n\}$  von der Störung betroffen. Jeder Auftrag  $A_i$  ist definiert u. a. durch einen Start- (ST) und Endtermin (ET), einer Auftragsmenge (M) sowie einer zur Ausführung benötigten Ressource (R). Diese müssen auf die aktuell und zukünftig verfügbaren Ressourcen in der Art umgeplant werden, dass die auftragspezifischen Restriktionen wie Anliefertermine bestmöglich erfüllt sind. Da im Rahmen der Umplanung eine isolierte Betrachtung der direkt oder indirekt betroffenen Aufträge im Hinblick auf die fristgerechte Auftragsbefreiung ein geringeres Potential als eine komplette Neuplanung ermöglicht, soll hier der Ansatz des Complete Rescheduling von Yamamoto und Nofs (1985) Anwendung finden. Bei der Problemstellung handelt es sich um ein NP-vollständiges Problem mit einem kombinatorisch großen Lösungsraum. Die Generierung aller möglichen Umplanungen in endlicher Zeit ist nicht möglich (Sauer 2004). Im Störungsfall ist zudem die schnelle Ermittlung einer guten Lösung hinreichend, so dass im vorliegenden Konzept für jede Maßnahme des Experimentplans unter Annahme der repräsentativen Störungsdauer mit Hilfe der Monte Carlo Simulation eine Menge an gültigen Lösungen ermittelt werden soll.

### Bewertung

Die Bewertungskomponente ermöglicht die Bewertung der Lösungen hinsichtlich der Kriterien Planungs- und Ergebnisrobustheit bei variabler Störungsdauer, welche in Anlehnung an Scholl (2001) definiert wurden. Zur Ermittlung der Planungsrobustheit sollen alle Umplanungen  $k$  ( $UP_k$ ) dem Originalplan (OP) gegenübergestellt und die Anzahl der Abweichungen hinsichtlich Ressourcen ( $ABW_R$ ) und Terminen ( $ABW_T$ ) sowie der Dauer der Verschiebungen ( $ABW_D$ ) untersucht werden mit:

$$ABW_{R,k} = \sum_{i=1}^n X_{A_i} \text{ mit } \begin{cases} X_{A_i} = 1 & , \text{ wenn } A_i(R_{UP_k}) \neq A_i(R_{OP}) \\ X_{A_i} = 0 & , \text{ sonst} \end{cases} \quad (1)$$

$$ABW_{T,k} = \sum_{i=1}^n Y_{A_i} \text{ mit } \begin{cases} Y_{A_i} = 1 & , \text{ wenn } A_i(ET_{UP_k}) \neq A_i(ET_{OP}) \\ Y_{A_i} = 0 & , \text{ sonst} \end{cases} \quad (2)$$

$$ABW_{D,k} = \sum_{i=1}^n t_{A_i}, \text{ mit } \begin{cases} t_{A_i} = \Delta ET, & \text{wenn } A_i(ET_{UP_k}) \neq A_i(ET_{OP}) \\ t_{A_i} = 0 & , \text{sonst} \end{cases} \quad (3)$$

$$\text{mit } \Delta ET = |ET_{UP_k} - ET_{OP}|$$

Die Ergebnisrobustheit bei variabler Stördauer soll mittels der Leistungskennzahl Auftragsbefriedigung ( $ERF_A$ ) bewertet werden. Zur Ermittlung der Kennzahl wird die Teilmenge an geplanten Aufträgen (A) herangezogen, die zum Beginn der Störung noch nicht beendet ist. Der Grad der möglichen Auftragsbefriedigung bei repräsentativer Stördauer wird berechnet und stellt in der weiteren Betrachtung die maximal mögliche Ergebnisrobustheit (1,0) dar. Zur weiteren Untersuchung werden die definierten Störfallszenarien betrachtet und ihre relative Ergebnisrobustheit im Bezug zum Szenario mit repräsentativer Stördauer ermittelt. Bei mehreren Störfallszenarien wird der Mittelwert über die  $ERF_A$  gebildet.

### 4.2 Zusammenspiel der Komponenten

Abbildung 2 liefert einen Überblick über das Zusammenspiel der Komponenten des integrierten Störungsmanagements. Basierend auf den historischen Daten zu vergangenen Störereignissen und einem Maßnahmenkatalog wird zunächst ein Experimentplan bzw. Untersuchungsplan erzeugt, der die relevanten Gegenmaßnahmen, die repräsentative Störungsdauer sowie weitere Störfallszenarien beinhaltet. Dieser Experimentplan und der bestehende aktuelle Transportplan bilden die Grundlage zur simulationsgestützten Generierung gültiger Umplanungen mittels der Planungskomponente. Als Ergebnis der Planungskomponente wird für jede Maßnahme des Experimentplans eine Menge an gültigen Umplanungen ermittelt. Im nächsten Schritt gilt es diese Lösungsmengen im Hinblick auf ihre Planungssicherheit sowie Ergebnisrobustheit bei variabler Störungsdauer zu bewerten. Hierbei finden die definierten Störfallszenarien des Experimentplans Berücksichtigung. Basierend auf diesen Untersuchungsergebnissen und der Zielpräferenz der Planer kann anschließend die Entscheidung für eine geeignete Umplanung zum neuen gültigen Transportplan erfolgen.

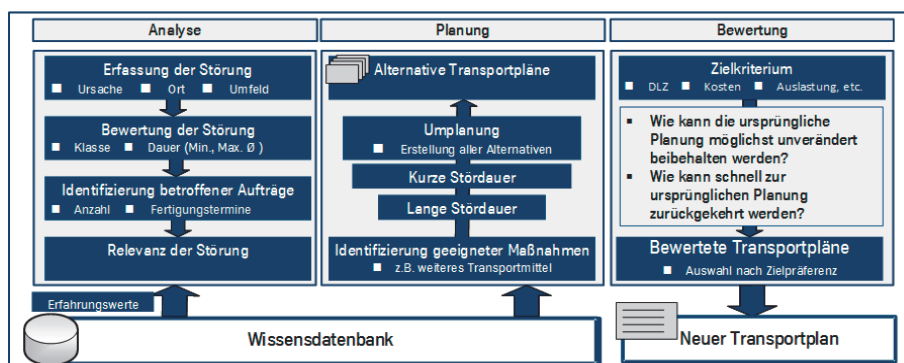


Abbildung 2: Komponenten des integrierten Störungsmanagements

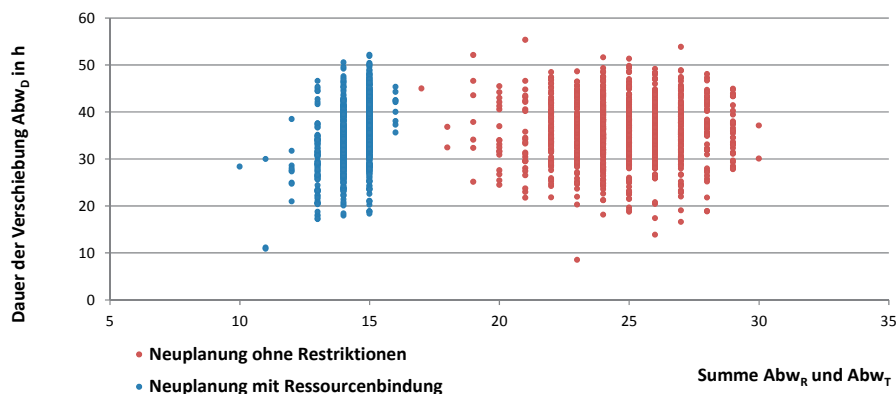
## 5 Fallbeispiel

Im Rahmen dieses Beitrags wurde ein Transportnetzwerk bestehend aus drei Standorten mit je einem Stellplatz für die Be- oder Entladung sowie drei Transportfahrzeugen angenommen. In dem Betrachtungszeitraum von 8 Stunden sollen in 15 Aufträgen insgesamt 100 Materialstücke in diesem Netz transportiert werden. Eine Reihenfolge der Transportaufträge (Originalplan) wurde mit Hilfe von Simulation ermittelt. Darin konnten die Aufträge innerhalb der Schicht vollständig abgearbeitet werden.

Im Störfallszenario liegt direkt zu Schichtbeginn eine Störung an einem der Transportfahrzeuge vor. Durch die *Analyse* sollen realistische Störungsdauern ermittelt werden. Im Fallbeispiel seien als repräsentative Störungsdauer 60 Minuten angenommen, d. h. das Fahrzeug ist nach dieser Zeit wieder einsatzbereit. Zwei weitere Störfallszenarien seien hier mit Störungsdauern von 90 (SD1) und 120 Minuten (SD2) gegeben. Folgende Maßnahmen wurden identifiziert und sollen im Experimentplan als mögliche Gegenmaßnahme untersucht werden:

- *Maßnahme 1*: Neuplanung ohne Restriktionen, d. h. Neuplanung aller Aufträge auf allen verfügbaren Transportressourcen
- *Maßnahme 2*: Neuplanung mit Ressourcenbindung, d. h. Neuplanung aller Aufträge unter Beibehaltung der Zuordnung der Transportressourcen

Für jede Maßnahme wurden 1000 Simulationsläufe durchgeführt und die Pläne hinsichtlich der Kriterien Planungsrobustheit und Ergebnisrobustheit bewertet.

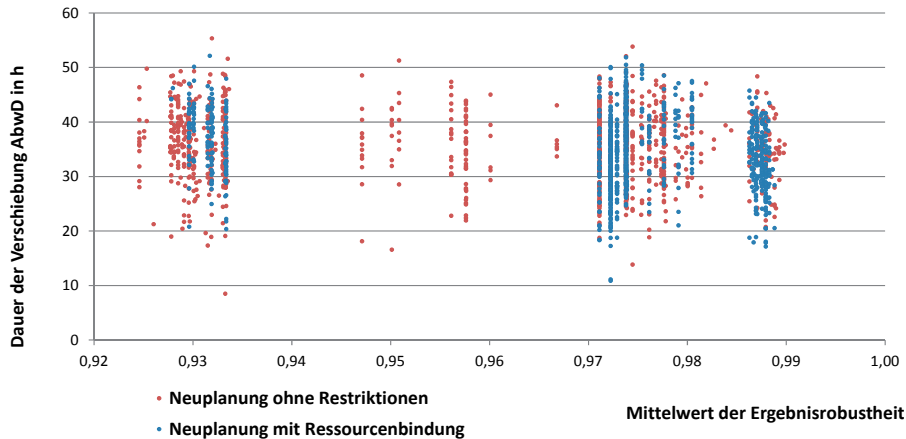


**Abbildung 3:** Anzahl Gesamtänderungen und Dauer der Verschiebung

In Abbildung 3 sind die Ergebnisse der Planungsrobustheit durch Summe der Anzahl an Termin- und Ressourcenabweichung sowie die Dauer der Terminverschiebung je Simulationslauf angegeben. Bei Betrachtung der Anzahl an Änderungen zum Originalplan liefert Maßnahme 2 die besseren Ergebnisse und im Hinblick auf die Terminverschiebung das Experiment mit Maßnahme 1. Da im Experiment mit Maßnahme 2 deutlich weniger Änderungen zugelassen wurden, sind gute Ergebnisse zu erwarten gewesen. Es hat sich jedoch gezeigt, dass bei geänderter Priorisierung der Zielkriterien andere Maßnahmen gute und sogar bessere



Ergebnisse erzielen lassen. Eine intensive Untersuchung aller Maßnahmen ist daher aus planerischer Sicht sinnvoll, um eine objektive Bewertung zu erhalten.



**Abbildung 4:** Ergebnis- und Planungsrobustheit der Maßnahmen 1 und 2

Abbildung 4 zeigt den Vergleich der Ergebnisse beider Maßnahmen hinsichtlich ihrer Planungsrobustheit und Ergebnisrobustheit in den Störfallszenarien SD1 und SD2. Die Ergebnisrobustheit liegt bei Maßnahme 1 zwischen 0,9246 und 0,9898, bei Maßnahme 2 zwischen 0,9278 und 0,9888. D.h. die Leistungserfüllung bei anhaltender Stördauer unterscheidet sich zwischen den einzelnen Planungen um bis zu 7%. Maßnahme 1 geht mit einer höheren Streuung der Ergebnisse einher. Keine der beiden Maßnahmen ist im Hinblick auf die Ergebnisrobustheit als eindeutig besser einzustufen. Das Fallbeispiel zeigt, dass eine Vielzahl von Möglichkeiten zur Umplanung existiert. Im Rahmen des Störungsmanagements sollte auf dem Erfahrungswissen der Planer aufgebaut werden, um eine Auswahl bevorzugter Maßnahmen zu identifizieren. Darüber hinaus sollten jedoch auch intuitiv nicht favorisierte Maßnahmen im Rahmen der Untersuchung Berücksichtigung finden, da sich gezeigt hat, dass in Abhängigkeit der Priorisierung der Zielkriterien solche Maßnahmen sehr gute Ergebnisse liefern können.

## 6 Zusammenfassung und Ausblick

In diesem Beitrag wurde ein Konzept zum Störungsmanagement für Transportnetzwerke vorgestellt, das die Berücksichtigung variabler Störungsdauern ermöglicht. An einem Fallbeispiel wurde veranschaulicht, dass mit Hilfe des Ansatzes Planer befähigt werden, gezielt die Auswirkung von Maßnahmen zu betrachten und aufbauend hierauf transparent und objektiv Entscheidungen zu treffen. Für die zukünftige Arbeit muss das Simulationsmodell um zusätzliche Restriktionen erweitert werden z. B. Zeitfenster für Transporte. Ebenso sollten neben repulsiven Störungen auch remigrierende in dem Konzept Berücksichtigung finden. Remigrierende Störungen gehen zwingend mit einer Vielzahl an Planänderungen einher. Hier steht vielmehr die Suche nach einem geeigneten

Netzzustand im Vordergrund, der eine schnelle Rückkehr zur ursprünglichen Planung ermöglicht.

## Literatur

- Abumaizar, R. J.; Svestka, J. A.: Rescheduling job shops under random disruptions. *International Journal of Production Research* 35 (1997) 7, S. 2065–2082.
- Bean, J. C.; Birge, J. R.; Mittenthal, J.; Noon, C. E.: Matchup Scheduling with Multiple Resources, Release Dates and Disruptions. *Operations Research* 39 (1991) 3, S. 470–483.
- Belz, R.: Entscheidungsunterstützung auf Leitstandebene durch wissensbasierte Simulation. Dissertation. Univ. Erlangen (1993).
- Bockholt, F.: Operatives Störungsmanagement für globale Logistiknetzwerke. Ökonomie- und ökologieorientiertes Referenzmodell für den Einsatz in der Automobilindustrie. Dissertation. Dortmund: Praxiswissen (2012).
- Bormann, D.: Störungen von Fertigungsprozessen und die Abwehr von Störungen bei Ausfällen von Arbeitskräften durch Vorhaltung von Reservepersonal. Berlin: Marchal und Matzenbacher (1978).
- Fischäder, H.: Störungsmanagement in netzwerkförmigen Produktionssystemen. Wiesbaden: Dt. Univ.-Verl. (2007).
- Fischer, S.: Entwicklung eines Referenzmodells zur Entscheidungsunterstützung im reaktiven Störungsmanagement in KMU. Dissertation. TU Dortmund: Praxiswissen (2009).
- Greve, J.: Störungen im Industriebetrieb. Dissertation. Techn. Hochsch., Darmstadt, Darmstadt (1970).
- Gudehus, T.: Logistik. Grundlagen, Strategien, Anwendungen. 4. Aufl. Berlin, Heidelberg: Springer (2011).
- Heil, M.: Entstörung betrieblicher Abläufe. Techn. Univ., Wiesbaden, München: Dt. Univ. Verl. (1995).
- Hinrichs, J. A.: Unterstützung des dispositiven Störungsmanagements. Dissertation. TU Dortmund: Praxiswissen (2009).
- Meyer, C. M.: Integration des Komplexitätsmanagements in den strategischen Führungsprozess der Logistik. Techn. Univ., Institut für Logistik und Unternehmensführung, Bern, Stuttgart, Wien: Haupt (2007).
- Pulter, N.; Nimis, J.; Lockemann, P. C. (2010): Störungsmanagement in offenen, getakteten Logistiknetzen. In: *Künstliche Intelligenz* 24 (2010) 2, S. 131–136.
- REFA Bundesverband e.V.: Methodenlehre der Planung und Steuerung. 4. Aufl.: München: Hanser (1985).
- Rixen, I.: Maschinenbelegungsplanung mit evolutionären Algorithmen. Wiesbaden: DUV, Dt. Univ.-Verl. (1997).
- Scholl, A.: Robuste Planung und Optimierung. Heidelberg: Physica (2001).
- Schwartz, F.: Störungsmanagement in Produktionssystemen. Aachen: Shaker (2004).
- Yamamoto, M.; Nof, S. Y.: Scheduling/rescheduling in the manufacturing operating system environment. In: *International Journal of Production Research* 23 (1985) 4, S. 705–722.