

Wildner, Christian

***Anlaufstrategien für Hochregallager bei Wiederinbetriebnahme
eines ausgefallenen Regalbediengerätes***

Zuerst erschienen in:

Wissenschaftliche Gesellschaft für Technische Logistik :
Tagungsband // 6. Fachkolloquium der Wissenschaftlichen
Gesellschaft für Technische Logistik (WGTL) . - Garbsen : PZH
Produktionstechnisches Zentrum, ISBN 978-3-941416-71-0. - 2010,
S. 163 - 174

Anlaufstrategien für Hochregallager bei Wiederinbetriebnahme eines ausgefallenen Regalbediengeräts

Dipl.-Ing. Christian Wildner
Technische Universität Ilmenau
Fakultät für Maschinenbau
Fachgebiet Fabrikbetrieb

Abstract: Mit den Mitteln der Simulation lässt sich nachweisen, dass der maximal realisierbare Durchsatz in Zeilenregallagern unter dem Regime der beiden üblichen Lagerbetriebsstrategien Querverteilung und FIFO nach Wiederinbetriebnahme einer vorübergehend ausgefallenen Regalgasse zunächst deutlich abfallen kann. Mit Hilfe theoretischer Betrachtungen zu der Verteilung von Lagereinheiten einer Sorte auf die einzelnen Lagergassen werden die sich ergebenden Verteilungsänderungen und damit die zugrunde liegenden Ursachen sowie die sich daraus abzuleitenden Zwangsfolgen für das Betriebsverhalten des Lagers dargestellt. Anhand der Ergebnisse von Simulationsexperimenten wird der Einfluss von Ausfalldauer und Sortimentsbreite auf die Folgen eines Gassenausfalls aufgezeigt und eine allgemeine These über mögliche Bedingungsbeziehungen formuliert. Eine Möglichkeit zur Verhinderung der beschriebenen negativen Ausfallfolgen stellt die Bestimmung einer entsprechenden Ersatz-Auslagerreihenfolge dar.

1 Sortenspezifische Gassenverteilung bei Querverteilung und FIFO

Querverteilung und first-in-first-out (FIFO) stellen zwei Betriebsstrategien dar, die häufig miteinander kombiniert in automatischen Zeilenregallagern (also insbesondere Hochregallager und automatische Kleinteilelager) zum Einsatz kommen. Die jeweilige Wirkungsweise dieser Betriebsstrategien lässt sich durch die Betrachtung der Veränderungen der auf die Regalgassen (oder auch: Regalgänge/-stiche) verteilten Bestände von Lagereinheiten (LE) einer im Lager geführten Sorte (oder auch: Artikelart) veranschaulichen.

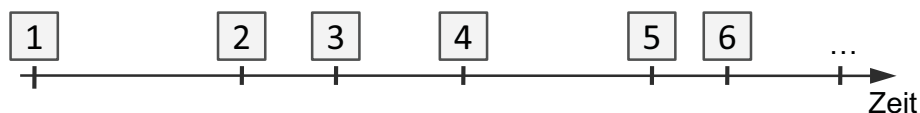


Abbildung 1: Nummerierung der LE einer Sorte nach der Reihenfolge ihrer Einlagerung

Hierfür bietet es sich an, die im Lager vorkommenden LE einer Sorte nach der Reihenfolge der Zeitpunkte ihrer Einlagerungen zu nummerieren (siehe Abbildung 1: „Nummerierung der LE einer Sorte nach der Reihenfolge ihrer Einlagerung“).

Nach ihren jeweiligen Regalstandorten im Lager lassen sich die LE einer Sorte darüber hinaus auch den einzelnen Gassen zuordnen, in die sie eingelagert wurden, wie dies in Abbildung 2: „Beispiel sortenspezifischer Gassenverteilung“ für ein

dreigassiges Zeilenregallager dargestellt ist. Die LE mit den Nummern 1 und 5 befinden sich hierbei in den Regalen, welche die Gasse 0 bilden, die LE mit den Nummern 3 und 4 in der Gasse 1, und in Gasse 2 die LE 2 und 6.

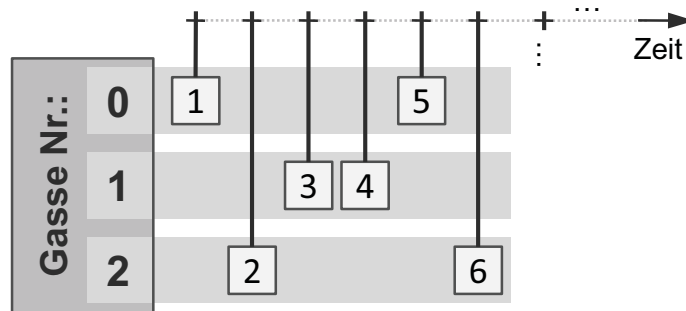


Abbildung 2: Beispiel sortenspezifischer Gassenverteilung

Abbildung 3: „sortenspezifisches FIFO-Auslagern und querverteiltes Einlagern“ soll drei verschiedene Verteilungssituationen („Situation I“, „Situation II“ und „Situation III“) der LE einer betrachteten Sorte in einem dreigassigen Zeilenregallager darstellen, wobei sich Situation II aus Situation I durch Auslagerung eines LEs ergibt, während Situation III sich aus Situation II ableitet, wenn ein zusätzliches LE eingelagert wird.

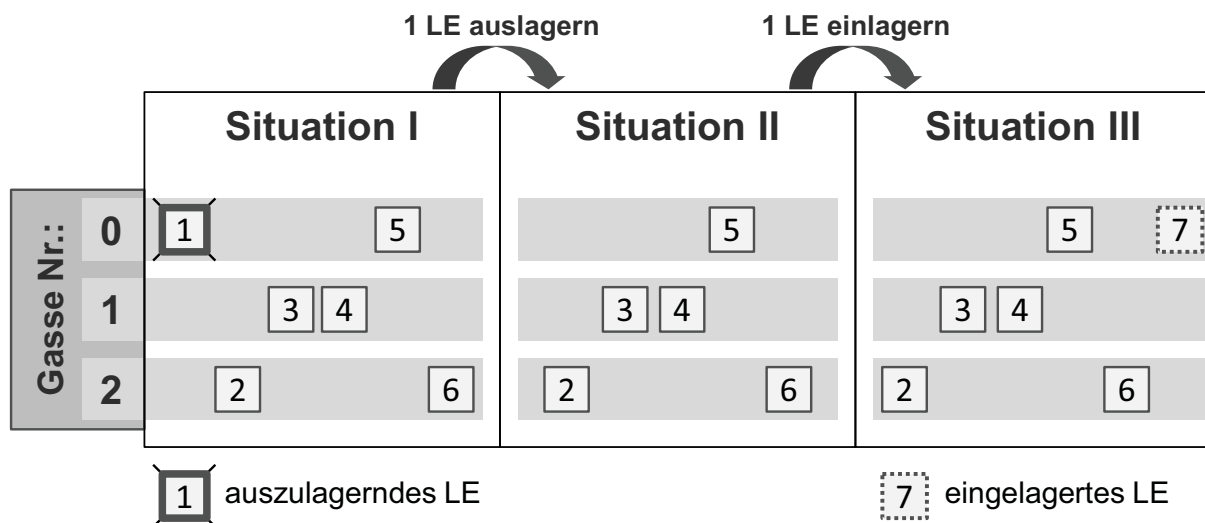


Abbildung 3: sortenspezifisches FIFO-Auslagern und querverteiltes Einlagern

Geht man von Situation I für die Gassenverteilung von sechs LE einer Sorte in einem dreigassigen Zeilenregallager aus, bewirkt die Ausführung eines auf die betrachtete Sorte bezogenen Auslagerauftrags bei Anwendung des FIFO-Prinzips die Auslagerung des LE Nr. 1, denn diese ist diejenige der sechs in Frage kommenden Einheiten, deren Einlagerzeitpunkt am längsten zurückliegt (vgl. Abbildung 1). Ist die Auslagerung des LEs Nr. 1 erfolgt, ergibt sich die Verteilung der verbliebenen LE entsprechend Situation II: In Gasse Nr. 0 befindet sich anders als vorher nur mehr das LE 5. Diese Gasse weist damit einen Bestand der Größe eins auf, während die beiden anderen Gassen jeweils über einen Bestand von zwei verfügen.

Geht man von dieser Bestandsverteilung aus, wenn eine Einlagerung eines LEs der betrachteten Sorte (LE Nr. 7) durchgeführt werden soll, so muss dies in Gasse 0 geschehen (siehe Situation III), falls die Querverteilungsstrategie für Einlagerungen ins abgebildete Lager gelten soll, da es in Situation II in Gasse 0 weniger LE der betrachteten Sorte gibt, als in jeder der beiden anderen Gassen.

2 Ausfall einer Gasse und die Gassenverteilung einer Sorte

Verfügt ein automatisches Zeilenregallager ausschließlich über gassengebundene Regalbediengeräte, so können auftretende Störungen dazu führen, dass einzelne Gassen auch für längere Zeit vorübergehend nicht befahren werden können. Kommt in einem solchen Lager zudem sowohl die Querverteilungsstrategie als auch das FIFO-Prinzip üblicherweise – also auch während eines Gassenausfalls – zum Einsatz, so entwickeln sich im Verlauf der Dauer eines Gassenausfalls unweigerlich Ungleichgewichte in der Verteilung der Einheiten über die Lagergassen.

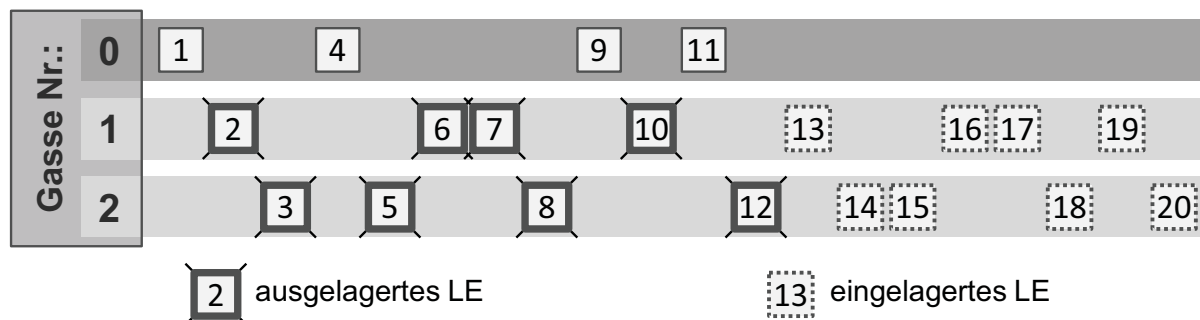


Abbildung 4: sortenspezifische Zu- und Abgänge während eines Gassenausfalls

In Abbildung 4: „sortenspezifische Zu- und Abgänge während eines Gassenausfalls“ ist die Verteilung von LE einer Sorte vor und nach dem Ausfall der Gasse Nr. 0 in einem dreigassigen Lager dargestellt. Mit den Nummern 1 bis 12 sind diejenigen LE bezeichnet, die vor dem Gassenausfall eingelagert worden waren. Während des Ausfalls bestand keine Möglichkeit, Einheiten in Gasse 0 einzulagern oder von dieser auszulagern. Die acht im Zuge der Ausfallsdauer einzulagernden LE werden deshalb in die Gassen 1 und 2 verteilt (LE Nummer 13 bis 20). Diesen beiden Gassen entnommen werden die im selben Zeitraum nach dem FIFO-Prinzip auszulagernden LE Nr. 2, 3, 5, 6, 7, 8, 10 und 12 der betrachteten Sorte. Befänden sie sich nicht in der ausgefallenen Gasse 0, so wären hierbei eigentlich die LE 1 und 4 bevorzugt worden (insgesamt LE 1 bis 8).

In Folge des Ausfalls einer Gasse kommt es also zwangsläufig zu Veränderungen in der Auslagerreihenfolge – die LE können nicht, wie der FIFO-Grundsatz eigentlich vorsieht, entsprechend der Reihenfolge ihrer Einlagerungszeitpunkte ausgelagert werden. Es stellt sich vielmehr eine veränderte reale Auslagerreihenfolge ein, wie sie in Abbildung 5: „Aufgrund Gassenausfalls veränderte Auslagerreihenfolge einer Sorte“ beispielhaft in grau ausgefüllten Kästchen dargestellt ist. Den während des Gassenausfalls aus den Gassen 1 und 2 ausgelagerten Einheiten 2, 3, 5, 6, 7, 8, 10

und 12 werden darin gemäß der real ausgeführten Auslagerungsreihenfolge die Nummern 1 bis 8 zugeordnet.

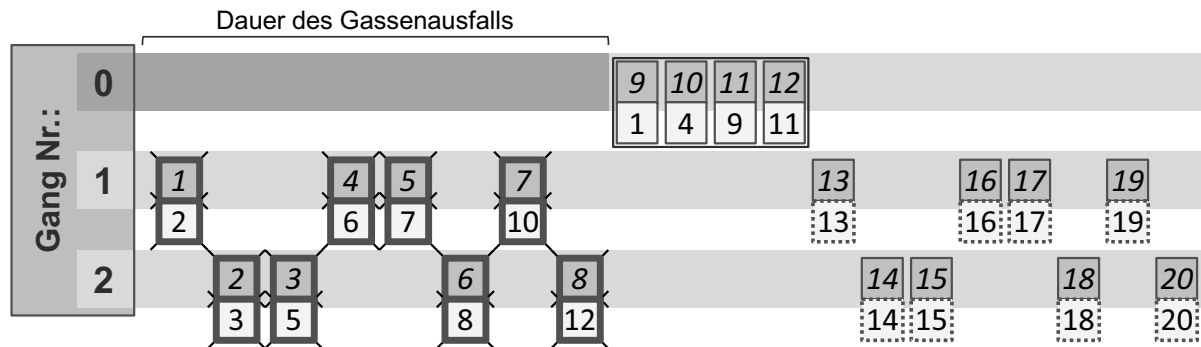


Abbildung 5: Aufgrund Gassenausfalls veränderte Auslagerreihenfolge einer Sorte

Die nach dem Ende des Gassenausfalls als nächstes auszulagernden LE 1, 4, 9 und 11 aus Gasse 0 werden im Sinne dieser Zählweise an 9ter, 10ter, 11ter und 12ter Stelle ausgelagert. Für die Einheiten 13 bis 20 ändert sich nichts: ihre Stellung in der sich real ergebenden Auslagerreihenfolge entspricht ihrer Position in der ursprünglichen Reihenfolge der Zeitpunkte aller Einheiten-Einlagerungen: 13 bis 20.

Offensichtlich werden in Abbildung 5 die sich in Folge des Ausfalls einer Gasse einstellenden Ungleichgewichte in der Einheiten-Verteilung auf die Lagergassen in Bezug auf die betrachtete Sorte. Im dargestellten Beispiel beziehen sich diese Ungleichgewichte in der Einheiten-Verteilung dabei keineswegs auf die Bestandssummen in den einzelnen Gassen. Laut Abbildung befinden sich zum Zeitpunkt der Wiederinbetriebnahme der ausgefallenen Gasse jeweils vier Einheiten in jeder Lagergasse. Ob sich im Verlauf eines Gassenausfalls Unterschiede in den sortenspezifischen Bestandssummen der einzelnen Gassen entwickeln, hängt davon ab, in welchem Verhältnis die Anzahl während des Gassenausfalls durchgeführter Ein- und Auslagerungen steht. An dieser Stelle wird für die Zeit während und nach einem Gassenausfall von einem Verhältnis von eingehenden Ein- und Auslageraufträgen von etwa 1:1 ausgegangen.

Unter dieser Voraussetzung ergeben sich also keinerlei Unterschiede in den Bestandssummen der einzelnen Lagergassen nach dem Ausfall und der Wiederinbetriebnahme einer Gasse, was für durchzuführende Einlageraufträge im Vergleich zum Lagerbetrieb in der Situation vor einem Gassenausfall zunächst zu keinerlei veränderten Bedingungen führt: die Summen der sortenspezifischen Gassenbestände weisen keine unüblichen Unterschiede zueinander auf. Ein Ungleichgewicht in der Einheiten-Verteilung stellt sich jedoch im Zuge eines Gassenausfalls in Bezug auf die reale Auslagerreihenfolge bei Einhaltung der FIFO-Regel ein. Im in Abbildung 5: „Aufgrund Gassenausfalls veränderte Auslagerreihenfolge einer Sorte“ dargestellten Beispiel sind es vier LE, die hintereinander aus der zuvor ausgefallenen Gasse 0 bei entsprechender Sortennachfrage auszulagern sind (LE 1, 4, 9, 11 mit Positionen 9, 10, 11, 12 in realer Auslagerreihenfolge). Der Gassenausfall führt also bei uneingeschränktem

FIFO zu einer einseitigen und erhöhten Zuweisung von Auslageraufträgen an die ausgefallene Gasse im Anschluss an den Ausfall. Zudem ergibt sich hieraus folgende Implikation: Jede durchgeführte Auslagerung aus einer Gasse reduziert ihren Gassenbestand um eins. Die Ausführung mehrerer Auslagerungen aus einer Gasse hintereinander bewirkt damit bei Einhaltung der Querverteilungsstrategie folglich auch den Zwang zur Ausführung mehrerer Einlagerungen in dieselbe Gasse.

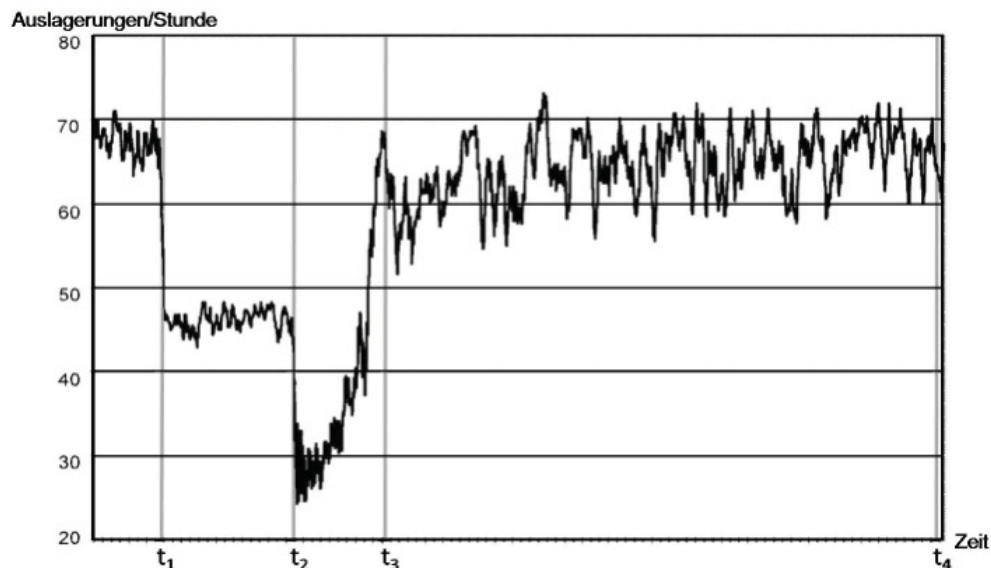
In diesem Zusammenhang ist allerdings auch daraufhin zu weisen, dass nicht nur die Einheiten-Verteilung in der ausgefallenen Gasse ein Ungleichgewicht darstellt – auch die einseitige Verteilung in den beiden anderen Gassen stellt eine Belegungsstruktur dar, die im Vergleich zu den Belegungen, die im ungestörten Lager auftreten, besondere zwangsläufige Verkettungen von Ein- und Auslagerungen bedingt. Hierauf wird in dieser Ausführung bis auf einen entsprechenden Verweis weiter unten allerdings nicht weiter eingegangen.

Die sich in Folge eines Ausfalls einer Gasse einstellenden Ungleichgewichte in der Einheiten-Verteilung auf die Lagergassen können also dazu führen, dass sich auch die Zuweisungsfolgen der im Anschluss an den Gassenausfall auszuführenden Aus- und Einlagerungen auf die RBG der unterschiedlichen Gassen von den Zuweisungsfolgen unterscheiden, die im ungestörten Lagerbetrieb üblicherweise gebildet werden. Es stellt sich also die Frage, unter welchen Umständen und in welcher Form mögliche Auswirkungen dieser Unterschiede sich im Betrieb eines Zeilenregallagers bemerkbar machen.

3 Simulation des maximalen Durchsatzes nach einem Gassenausfall

[Gei98] hat hierzu ein in C/C++ implementiertes Simulationsmodell eines dreigassigen Hochregallagers erstellt. Die einfach-tiefen Regalzeilen des abgebildeten Lagers verfügen jeweils über 100x20 Lagerplätze und weisen einen mittleren Füllungsgrad von etwa 80% auf. Im Lager sollen ausschließlich sortenreine Ladeeinheiten umgeschlagen werden, wobei die Breite des homogenen Lagersortiments 100 beträgt. Um stets den zu jedem Zeitpunkt im Simulationslauf maximal realisierbaren Durchsatz ausweisen zu können, werden im Modell unbegrenzt lange Warteschlangen von Ein- und Auslageraufträgen – jeweils bezogen auf eine zufällig ermittelte LE-Sorte (gleichverteilt) – angelegt, die schnellstmöglich der Reihe nach abgearbeitet werden. Das Steuerungs- und Verwaltungssystem des modellierten Lagers (auch: Warehouse Managementsystem) sieht bei dynamischer Lagerplatzvergabe für Einlagerungen die Querverteilungsstrategie sowie das FIFO-Prinzip für Auslagerungen vor.

Aufgrund einer Störung bei einem der drei gassengebundenen Regalbediengeräte komme es in diesem Lager zum Ausfall einer Regalgasse. [Gei98] stellt die Auswirkungen dieses Ausfalls in Form eines Diagramms dar (siehe Abbildung 6: „Verlauf der Auslagerleistung bei Gassenausfall (geglättete Darstellung)" [Gei98]), welches den kombinierten Auslagerdurchsatz Q_{KA} nach [VDI98] im zeitlichen Verlauf abbildet.



RBG-Kennndaten:

$a_x = a_y = 0,4\text{m/s}^2$; $v_x = 2\text{m/s}$; $v_y = 0,5\text{m/s}$; $t_z = 12,0\text{s}$ (Be- bzw. Entladezeit);

t_1 : Ausfallzeitpunkt einer Lagergasse

t_2 : Zeitpunkt der Wiederinbetriebnahme

t_3 : erste Leistungsspitze auf vormaligem Leistungsniveau

t_4 : Übergang zu konstantem Ein- und Auslagerverhalte

$t_{12} = 5,6\text{d}$

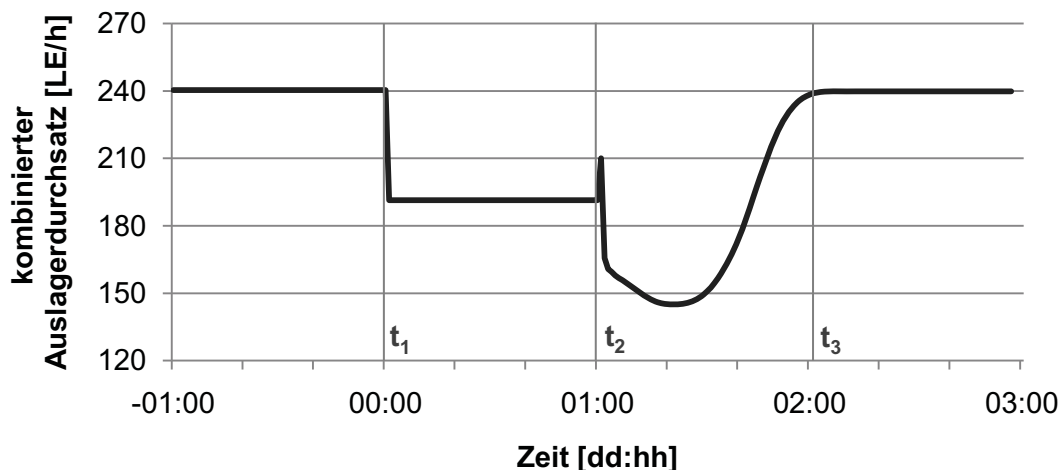
$t_{23} = 4,2\text{d}$

$t_{34} \approx 15\text{d}$

Abbildung 6: Verlauf der Auslagerleistung bei Gassenausfall (geglättete Darstellung) [Gei98]

[VDI98] stellt drei mögliche Arten vor, den Durchsatz je nach Betriebsart eines automatischen Lagers mit gassengebundenen Regalbediensystemen anzugeben: den Auslagerdurchsatz Q_A , den Einlagerdurchsatz Q_E und den kombinierten Durchsatz Q_K . Der kombinierte Auslagerdurchsatz Q_{KA} stellt für sich genommen keine hinreichende Größe zur Bestimmung einer der nach [VDI98] definierten möglichen Durchsatzarten dar. Hierzu lässt sich allerdings mittels eines in Plant Simulation entsprechend nachgebildeten Modells nachweisen, dass sich für den kombinierten Durchsatz unter den beschriebenen Bedingungen ein qualitativ vergleichbarer Kurvenverlauf ergibt (siehe Abbildung 7: „kombinierter Durchsatz bei Gassenausfall (geglättete Darstellung)").

Aus dieser Abbildung geht klar hervor, dass mit dem Ausfall einer Regalgasse zum Zeitpunkt t_1 das erreichbare Durchsatzmaximum erwartungsgemäß auf ein niedrigeres Niveau abfällt. Im Verlauf des Gassenausfalls erfolgen in den beiden funktionstüchtigen Gassen weiterhin Ein- und Auslagerungen gemäß den angewandten Betriebsstrategien. Aufgrund des FIFO-Prinzips werden dabei die jeweils am längsten gelagerten LE nachgefragter Sorten ausgelagert.



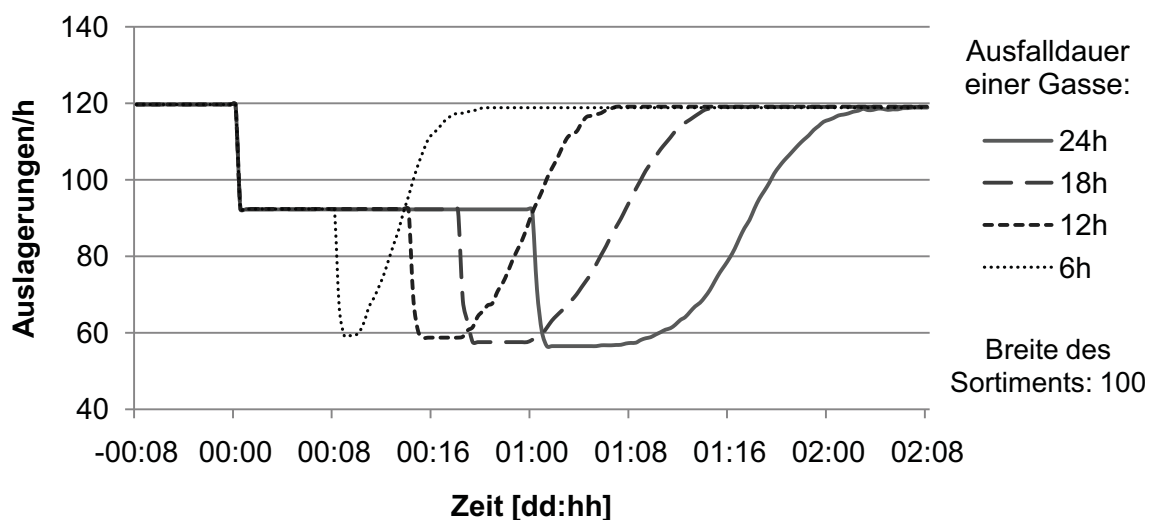
- RBG-Kenndaten:
 $a_x = a_y = 1,0\text{m/s}^2$; $v_x = 5,0\text{m/s}$; $v_y = 2,5\text{m/s}$; $t_z = 2,0\text{s}$ (vollst. Lastübergabe); $t_0 = 0,75\text{s}$
- jeweils ein ‚Pufferplatz‘ vor jeder Gasse:
 befindet sich darauf zum Abschlusszeitpunkt des vorhergehenden Spiels eine passende Kombination aus Ein- und Auslagerauftrag, führt das RBG ein Doppelspiel aus – andernfalls (ohne Wartezeit) ein Einzelspiel.
- Dauer des Gassenausfalls: 1d
- alle übrigen Parameter identisch zum Modell bei [Gei98]

Abbildung 7: kombinierter Durchsatz bei Gassenausfall (geglättete Darstellung)

Ist die Störung behoben und wird das ausgefallene RBG unter ansonsten unveränderten Rahmenbedingungen wieder in Betrieb genommen (Zeitpunkt t_2), ergibt sich dadurch zunächst keineswegs eine nachhaltige Erholung des Durchsatzes – vielmehr fällt der maximal erreichbare Durchsatz nach einer kurzen Spitze weiter ab, um sich erst mit einer deutlichen Verzögerung von einem noch niedrigeren Niveau wieder auf das ursprüngliche Level einzupegeln (Zeitpunkt t_3).

Zum Zeitpunkt t_2 der Wiederinbetriebnahme der ausgefallenen Gasse sind die sortenspezifischen Bestandssummen zunächst in allen Gassen etwa gleich groß. Durchzuführende Einlageraufträge können dementsprechend querverteilt und mit allen drei Regalbediengeräten bearbeitet werden – womit sich die kleine Spitze auf 210 LE/h im Anschluss an t_2 erklären lässt. Allerdings befinden sich die LE in der zuvor noch gestörten Lagergasse im Mittel um die Zeitspanne $\Delta t_{21} = t_2 - t_1$ länger im

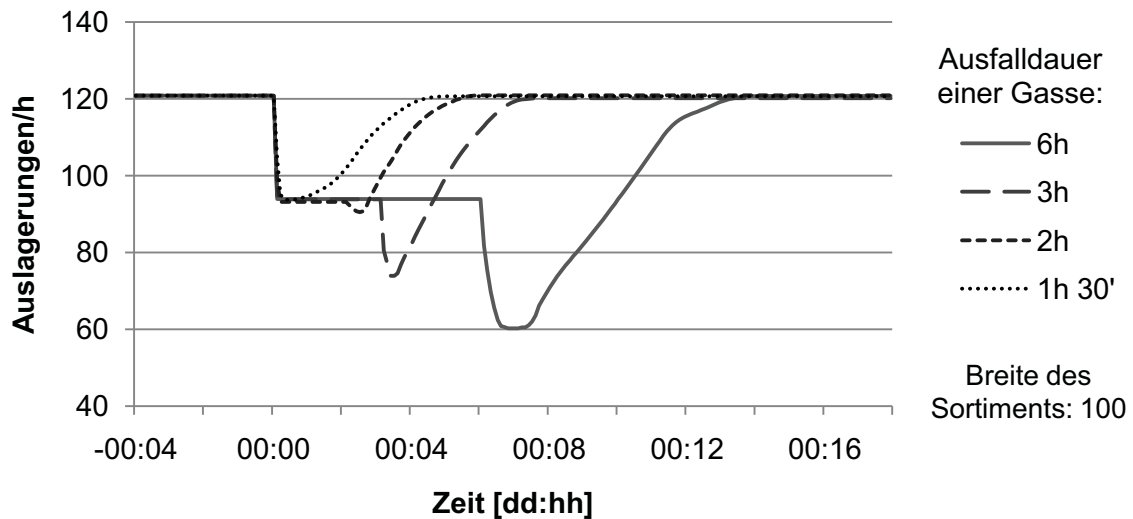
Lager, als die LE der beiden anderen Gassen. Folglich werden zu bearbeitende Auslageraufträge gemäß des FIFO-Prinzips v.a. über die zuvor gestörte Gasse realisiert: das entsprechende Regalbediengerät wird im Vergleich zu den beiden anderen überproportional mit Auslageraufträgen beaufschlagt. Der LE-Bestand besagter Lagergasse sinkt gegenüber den Beständen der beiden anderen Gassen ab, womit sich auch die mittlere Anzahl an LE pro Sorte in dieser Gasse im Vergleich zu den beiden anderen Gassen reduziert. Unter dieser Bedingung führt die Anwendung der Querverteilungsstrategie dazu, dass auch überproportional viele der durchzuführenden Einlagerungsaufträge dem zuvor gestörten Regalbediengerät zugewiesen werden. Das in Betrieb genommene Regalbediengerät wird also in besonders hohem Maße mit Aus- und Einlageraufträgen beaufschlagt, während es für die beiden anderen Regalbediengeräte gleichzeitig zu Zuteilungen von nur wenigen Aufträgen und zu Wartezeiten kommt. Diese Ungleichverteilung von Aufträgen macht das zuvor gestörte Regalbediengerät zu einem ‚bottleneck‘ im Materialfluss des Lagersystems: der Durchsatz des Lagers fällt vorübergehend bis auf das maximale Leistungsniveau des einzelnen Regalbediengerätes ab.



(nicht genannte Parameter identisch zum Modell von Abbildung 7)

Abbildung 8: Variationen der Ausfalldauer 24h-6h (geglättete Darstellung)

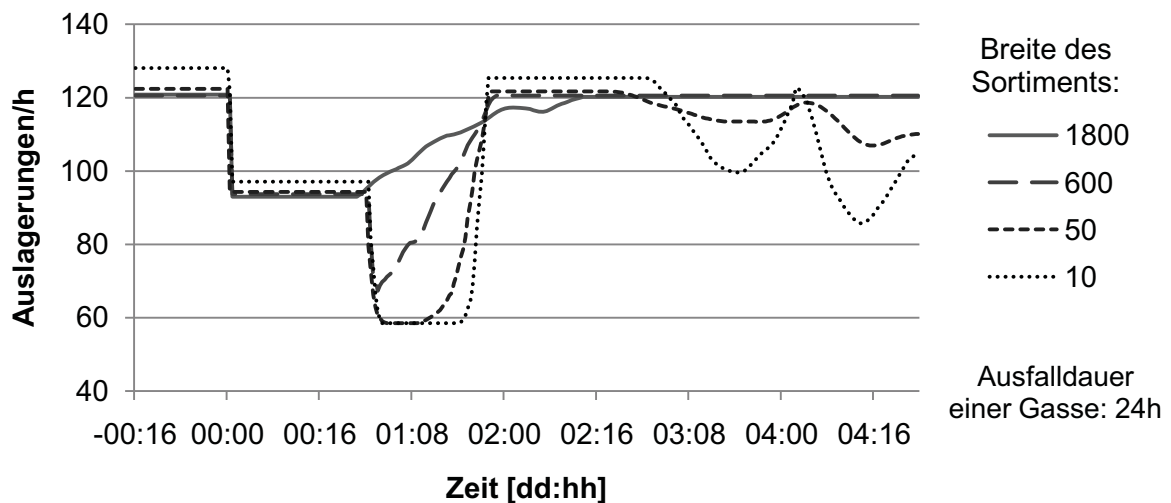
Dieses Phänomen eines sich im Anschluss an einen Gassenausfall einstellenden deutlichen Materialfluss-Engpasses lässt sich auch schon bei geringeren Ausfalldauern beobachten, wie das Diagramm in Abbildung 8: „Variationen der Ausfalldauer 24h-6h (geglättete Darstellung)“ verdeutlicht.



(nicht genannte Parameter identisch zum Modell von Abbildung 7)

Abbildung 9: Variationen der Ausfalldauer 6h-1h30' (geglättete Darstellung)

Abbildung 9: „Variationen der Ausfalldauer 6h-1h30' (geglättete Darstellung)“ zeigt in diesem Zusammenhang die Grenzen des beschriebenen Phänomens bei Gassenausfällen von sechs Stunden und weniger auf.



(nicht genannte Parameter identisch zum Modell von Abbildung 7)

Abbildung 10: Variationen der Sortimentsbreite 10-1800 (geglättete Darstellung)

Aus Abbildung 10: „Variationen der Sortimentsbreite 10-1800 (geglättete Darstellung)“ wird offensichtlich, dass sich negativere Folgen nach Ausfall einer Gasse mit bestimmter Dauer einstellen, wenn ein kleineres Lagersortiment davon betroffen wird. Insbesondere die sich bei den Sortimentsbreiten 50 und 10 ergebenden Linien zeigen, dass sowohl die einseitige Einheiten-Einlagerung während des Gassenausfalls in die beiden durchgängig funktionstüchtigen Gassen, als auch der zwangsläufige Engpassbetrieb im Anschluss an den Gassenausfall in

einem bestimmten zeitlichen Abstand erneute Durchsatzminderungen bewirken können. Dieser bestimmte zeitliche Abstand entspricht jeweils der nötigen Dauer zum vollständigen Umschlag des Lagerinhalts.

Auf Grundlage dieser Simulationsergebnisse deutet sich folgender Zusammenhang an: Werden in einem Zeilenregallager die Lagerbetriebsstrategien Querverteilung und FIFO bei dynamischer Lagerplatzvergabe angewandt, so bestimmen der während eines möglichen Gassenausfalls realisierte Durchsatz, die Ausfalldauer sowie die Sortimentsbreite Auftreten und Ausmaß eines möglichen Durchsatz-Engpasses nach Wiederinbetriebnahme einer ausgefallenen Gasse. Falls diese These in zukünftig durchzuführenden Simulationsexperimenten noch präzisiert wird, dann formuliert sie eine Lücke in bestehenden Methoden der Lagerplanung (z.B. [Gud05]).

4 Anlaufstrategie: Ersatz-Auslagerreihenfolge

Für den Fall, dass der im Einzelfall im Anschluss an einen Gassenausfall tatsächlich nötige, umzusetzende Durchsatz in seinem zeitlichen Verlauf niemals größer und vorübergehend sogar kleiner als der maximal realisierbare ist, können lagerinterne Umlagerungen als Möglichkeit in Betracht kommen, von einem Gassenausfall herrührende Ungleichgewichte in der Verteilung im Lager zu korrigieren. Ist dies nicht der Fall, so müssen andere Möglichkeiten geprüft werden, wie beispielsweise folgende Methode: entgegen der aufgrund des Gassenausfalls geänderten Auslagerreihenfolge (vgl. Abbildung 5) sind sämtliche Einheiten einer Sorte so zu bezeichnen, dass sich eine neue, zyklisch-alternierende Ersatz-Auslagerreihenfolge einstellt. Abbildung 11: „Ersatz-Auslagerreihenfolge einer Sorte nach Gassenausfall“ stellt die Anwendung dieser Methode auf die Situation von Abbildung 5 dar. Die weißen Zahlen auf schwarzem Hintergrund (9-20) stehen für besagte Ersatz-Auslagerreihenfolge.

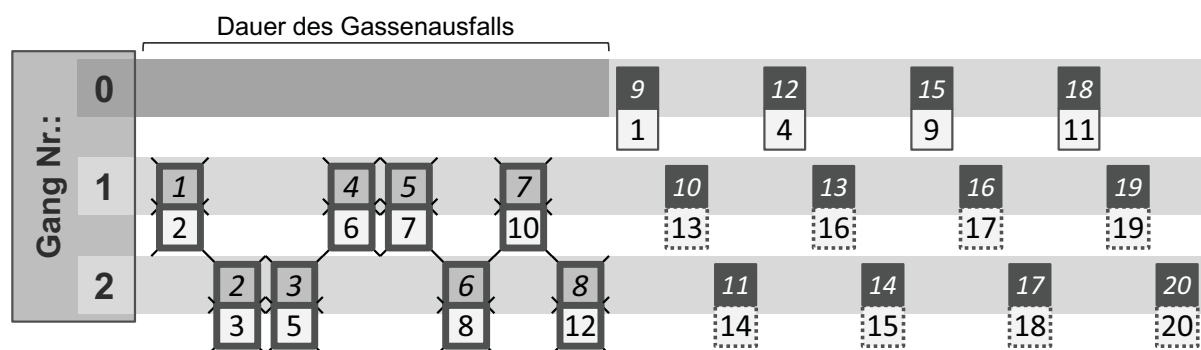


Abbildung 11: Ersatz-Auslagerreihenfolge einer Sorte nach Gassenausfall

Mögliche Minderungen im Vergleich zu dem im Normalbetrieb maximal möglichen Durchsatz im Anschluss an einen Gassenausfall ließen sich auf diese Weise vollständig verhindern. Als hierbei nachteilig muss allerdings angesehen werden, dass es bei Anwendung dieser Methode keine Möglichkeit gibt, die Lagerdauer einzelner Einheiten, wie etwa die im dargestellten Beispiel noch vor dem

Gassenausfall in Gasse 0 eingelagerten Einheiten 1, 4, 9 und 11 (Nummerierung entspr. Ersatz-Auslagerreihenfolge: 9, 12, 15 und 18), auf eine absolute Zeitdauer zu begrenzen. In gewisser Weise bleiben aber relative Vorhersagen über die einzelnen Aufenthaltszeiten der Einheiten im Lager in folgender beispielhaften Form möglich: Die ursprünglich als erste eingelagerte LE wird nun als neunte der insgesamt betrachteten 20 LE ausgelagert werden. Die sich für sie aufgrund des Gassenausfalls zusätzlich ergebende Lagerdauer entspricht der Zeitspanne, in der die acht Auslagerungen vor ihrer eigenen ‚Ersatz-Auslagerung‘ stattfanden. Die ursprünglich als vierte eingelagerte wird nun als zwölfte ausgelagert werden, etc. Die sich auf diese Weise einstellenden Diskrepanzen zwischen erfolgter Einlagerungs- und realisierter Ersatz-Auslagerreihenfolge können v.a. für diejenigen Einheiten, die in der ausgefallenen Gasse lagern, zu einer deutlich verlängerten Gesamtlagerdauer führen. Falls es möglich sein sollte, den zeitlichen Abstand zwischen zwei aufeinanderfolgenden zukünftigen Auslagerungen von Einheiten einer Sorte hinreichend genau allgemein zu bestimmen, ließe sich eine auf beschriebene Weise formulierte relative, d.h. von den tatsächlichen Zeitpunkten noch erfolgender Auslagerungen abhängige Vorhersage über die sich ergebende Gesamtlagerdauer einer Einheit in eine absolute überführen.

Als Antwort auf das dargestellte Problem sind weitere alternative Ansätze denkbar (siehe z.B. [Sch10]). Im Allgemeinen ergibt sich allerdings für diese die Schwierigkeit, implementierbare Zusammenhänge bei bislang analytisch ungeklärten Abhängigkeiten zu formulieren, wie auch ihre Übertragbarkeit mit nicht mehr als dafür angebrachtem Aufwand nachzuweisen.

5 Zusammenfassung und Ausblick

Kommen in einem Zeilenregallager die beiden Betriebsstrategien FIFO und Querverteilung zum Einsatz, so kann der Ausfall einer Lagergasse zu Durchsatzminderungen auch nach Ablauf der Ausfalldauer führen. Grund hierfür sind die während und ggf. auch noch nach dem Gassenausfall in die Struktur der Einheiten-Verteilung eingebrachten Ungleichgewichte und die sich aus diesen bei Aufrechterhaltung von FIFO und Querverteilung zwangsweise ergebenden Verkettungen von Auftragszuweisungen auf eine oder mehrere Lagergassen. Hierfür genannte, aber in ihrem Zusammenhang noch nicht weiter präzisierete Bedingungen sind: der während des Ausfalls realisierte Durchsatz, die Dauer des Gassenausfalls und die Breite des Lagersortiments.

Als eine von mehreren denkbaren Maßnahmen zur Vermeidung von Durchsatzeinbußen nach dem beendeten Ausfall einer Gasse eignet sich die Methode der Bestimmung einer Ersatz-Auslagerreihenfolge zur alternierend-zyklischen Auslagerung. Offene Fragen in diesem Zusammenhang stellen beispielsweise auch der Umgang mit Lagersorten dar, die nur bis zu einer absoluten maximalen Zeitdauer gelagert werden dürfen oder fest einzuhaltende Auslagerauftragsreihenfolgen.

Literatur

- [Gei98] Geinitz, Jens: Unerkannte Abhängigkeiten mindern die Leistungsfähigkeit automatisierter Lager. In: Marktbild Lager, 1998, Bd. 18, S. 16-18.
- [Gud05] Gudehus, Timm: Logistik: Grundlagen – Strategien – Anwendungen. 3. Auflage, Berlin: Springer 2005.
- [Sch10] Scheid, Wolf-Michael: Havarie bei Anlagen der Intralogistik. In: Wolf-Kluthausen, Hanne (Hrsg.): Jahrbuch Logistik, Bd.24, Korschbroich: free beratung 2010, S. 30-33.
- [VDI98] Verein Deutscher Ingenieure VDI: Richtlinie 4480, Blatt 1 – Durchsatz von automatischen Lagern mit gassengebundenen Regalbediensystemen. Berlin: Beuth, 1998.