Dynamische Gutzusammenführung (Merge) auf Stetigförderern

Dirk Jodin

TU Graz- Institut für Technische Logistik; Austria

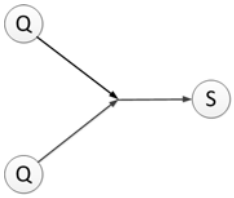
Kurzfassung

Die Logistik ist erneut im Aufwind, die weltumfassenden Waren- und Personenströme kommen wieder in Fahrt. Die Transportmengen steigen, wie auch die Anforderungen der Kunden nach kurzen Lieferzeiten, hoher Flexibilität und Effizienz bei Kosten und Ressourcenverbrauch. Neben ausgefeilten Strategien, neuen Kooperationen, leistungsfähigen Informationsnetzen und Lieferketten steigen auch für die technischen Systeme der Logistik die Anforderungen an Durchsatz, Anpassungsvermögen und Ressourceneffizienz. Gleichzeitig nehmen die Ausdehnung und Komplexität der Topologie zu und zunehmend werden verschiedene Technologien integriert. Zunehmende Ausdehnung und Komplexität der Topologie bedeutet eine steigende Zahl an Quellen, Senken, Knoten und Kanten dieser Systeme.
In diesem Umfeld erweisen sich Materialflussknoten bei Stetigförderern mit klassischen Stop-and-Go Steuerungen an Zusammenführungen für einen hohen Durchsatz hinderlich und leistungsmindernd. Zur Leistungssteigerung können die Zusammenführungen jedoch dynamisiert werden, um ohne Stillstand eines Zweiges zwei oder mehrere Gutströme mit höherem Durchsatz zusammenführen zu können. Geregelte Antriebe steuern Geschwindigkeiten und Abstände derart, dass die Güter im Fluss Lücken finden, in die sie ohne Stillstand eines Teilstroms eingeschleust werden. Mit zunehmender Geschwindigkeit derartiger Prozesse steigt die Notwendigkeit einer absolut präzisen Gutführung und –positionierung. Insbesondere die Einschleusung auf schnelllaufende Sortierkreisläufe ist eine besondere Herausforderung. Das bedeutet, dass sämtliche durch Schlupf oder Fremdeinwirkung (z. B. stehende Führungselemente) verursachten Abweichungen des Gutes vom idealen Bewegungsablauf erfasst und kompensiert werden müssen, um eine definierte Position und Orientierung in der Endposition des Stückguts zu erreichen.
Hierzu werden zwei Ansätze vorgestellt. Zum einen die mathematisch-mechanische Modellierung und Simulation des Bewegungsablaufs, um hieraus Abweichungen zu errechnen und korrigieren zu können, zum anderen eine formschlüssige Variante der Einschleusung zur exakten Führung der Güter im kritischen Merge-Bereich.

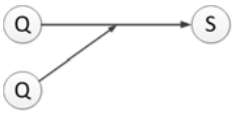
1 Zusammenführungen im stetigen Materialfluss

Mit zunehmender Komplexität der Materialflusstopologie mit vielen Quellen, Senken und Bearbeitungsstationen steigt die Anzahl von Einzelstrecken und Knoten. Die Knoten stellen Konfliktbereiche in Form von Verzweigungen und Zusammenführungen dar. Zusammenführungen können auf unterschiedliche Art auftreten. Neben der Topologie (Anzahl der zu sammelnden Teilströme, Winkel der Zusammenführung) sind die Abfertigungsregeln zu beachten (Gleichberechtigt, Absolute Vorfahrt, Eingeschränkte Vorfahrt).

– Einfache Zusammenführungen entstehen, wenn zwei gleichberechtigte Förderstrecken auf eine Strecke führen. Diese finden wir beispielsweise vor Einschleusungsbereichen von Sortern zur Erhöhung der Gutdichte oder wenn aus mehreren Bereichen kommende Gutströme gesammelt werden, um zu einer gemeinsamen Weiterbearbeitung zu gelangen.

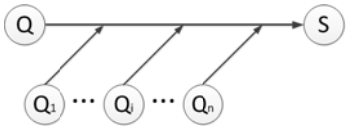


– Von der Topologie adäquat aber mit Priorisierung einer Strecke (Vorfahrtregelung) sind Einschleusungen von Nebenströmen in Hauptströme zu sehen. Dieses sind beispielsweise Einschleusungen auf Sorterkreisläufe, in allgemeine Rundläufe (Loop) oder aus Puffer- und Sortierbereichen heraus. Hier darf nur eingeschleust werden, wenn der Hauptstrom nicht beeinträchtigt wird.



– Komplexer sind Zusammenführungen von mehr als zwei Gutströmen

oder kaskadierte Zusammenführungen, bei denen in kurzem Abstand Einschleusungen von Nebenstrecken auf eine Hauptstrecke erfolgen.



Unabhängig von ihren topologischen und vorfahrttechnischen Ausprägungen handelt es sich bei Zusammenführungen in der Regel um durchsatzreduzierende Konfliktzonen. Eine oder mehrere Förderstrecken werden gestoppt, Stoppelemente werden hin und her geschaltet und Gutströme müssen abgebremst und wieder beschleunigt werden.

1.1 Durchsatzbetrachtungen

Im Gegensatz zu verteilenden Knoten in denen die Schaltdauer und –frequenz für Verluste sorgen, sind bei der Zusammenführung Abfertigungsregeln mit unterschiedlichen Prioritäten möglich, die den schaltungsbedingten Verlust der Zusammenführung reduzieren können.
Bei Abfertigungen ohne Priorität werden die Güter in der Reihenfolge ihres Eintreffens durch die Konfliktzone geführt (Reißverschluss Prinzip). Das folgende Gut muss ggfs. warten bis die Zone frei ist. Die Durchsatzbedingung ist in diesem Fall von den Auslastungsgraden der Teilströme $\frac{\lambda_i}{\gamma_i}$, den Schaltfrequenzen $\boldsymbol{\nu}$ und Schaltzeiten t_s der Weichen, Stopper oder Staustrecken abhängig.

$$\sum_{i=1}^{n} \frac{\lambda_i}{\gamma_i} + \sum_{i,l}^{n} \nu_{i,l} \cdot t_{s_{i,l}} \leq 1 \tag{1}$$

Die Zusammenhänge werden für zwei gleichberechtigte Teilströme mit gleichen Grenzdurchsätzen in folgender Grafik dargestellt.

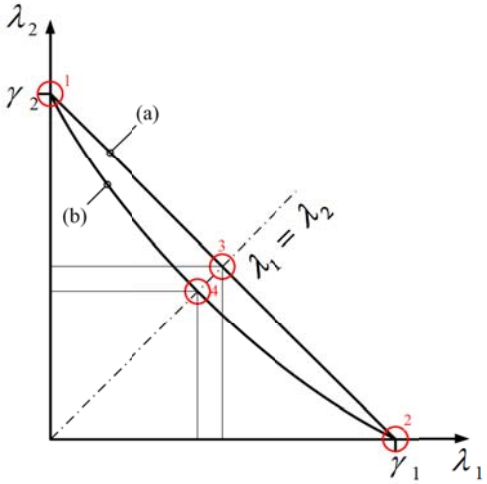


Abbildung 1: Durchsatzdiagramm einer gleichberechtigten Zusammenführung von zwei Teilströmen a) ohne Durchsatzverluste b) mit Durchsatzverlusten durch Schaltvorgänge

In diesem Diagramm sind vier relevante Punkte markiert, die eine konvexe Fläche einschließen:

1. Nur der Teilstrom 2 ist aktiv, keine Schaltvorgänge
2. Nur der Teilstrom 1 ist aktiv, keine Schaltvorgänge
3. Beide Teilströme sind identisch, es wird nach jedem Einzelgut umgeschaltet. Ohne Schaltverluste.
4. Beide Teilströme sind identisch, es wird nach jedem Einzelgut umgeschaltet. Mit Schaltverlusten. Die Verluste entsprechenden den Abständen der Projektionslinien auf den jeweiligen Achsen.

Für die Schaltfrequenz gilt:

$$\nu = 2 \frac{\lambda_1 \cdot \lambda_2}{(\lambda_1 + \lambda_2)} \tag{2}$$

Das bedeutet, dass die Schaltverluste neben der Schaltzeit $t_{s_{i,j}}$ von den betrieblichen Durchsätzen λ_i der Teilströme abhängen. Mit zunehmendem Ungleichgewicht der Durchsätze verringert sich die Schaltverlustzeit bis ein Teilstrom auf null sinkt und damit die Schaltfrequenz und der Schaltverlust null werden. Dann fließt nur noch ein Teilstrom, die Zusammenführung ist praktisch funktionslos.

Bei unstetigen oder teilstetigen Zusammenführungen, die wir bei Haupt- und Nebenströmen vorfinden, fällt der Term mit den Schaltzeiten weg, dafür werden die Verluste bei der Berechnung der partiellen Grenzleistungen berücksichtigt. Hier spielen die Zeitlücken im Hauptstrom die entscheidende Rolle. Eine Zusammenführung ist nur möglich, wenn eine

genügend große Lücke im Hauptstrom vorhanden ist. Das entsprechende Zeitfenster muss alle Zeitanteile berücksichtigen, bis die Konfliktzone wieder frei ist. Das bedeutet, dass insgesamt drei Zeitanteile betrachtet werden müssen (siehe Abbildung 2). Neben der reinen Schaltzeit (1), die Zeit für das Beschleunigen des freigegebenen Teilstroms (2) und die Zeit zum Passieren der Konfliktzone für das Gut (3). Erst bei freier Konfliktzone kann eingeschleust werden.

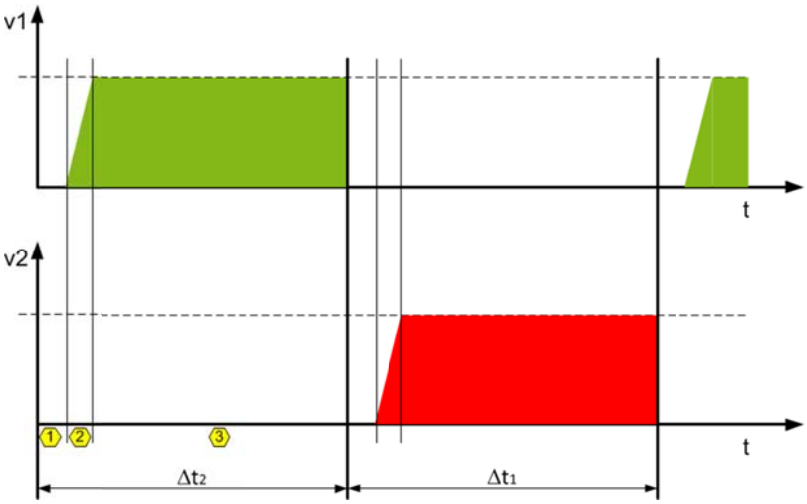


Abbildung 2: Darstellung der Schaltzeitanteile für zwei Teilströme

Die Zeitfenster Δt_i sind also neben der Betätigungszeit des Schaltelements von den mittleren Gutabständen (Abstand der Gutvorderkanten), den Fördergeschwindigkeiten wie auch der Beschleunigungsfähigkeit des stehenden Gutstroms abhängig.
Aus den Zeitfenstern ergeben sich die Grenzdurchsätze.

$$\gamma_i = \frac{1}{\Delta t_i} = \frac{v}{x_i} \tag{3}$$

So werden die erwartenden Lücken in den Teilströmen zum entscheidenden Durchsatzkriterium. Durchsatzminimierend sind die Zeiten eins und zwei. Die in dieser Zeit entstehende zusätzliche Lücke ist der durchsatzreduzierende Faktor. Bei gleichberechtigten Teilströmen gilt die Regel „first come – first serve“. Das bedeutet Stopp, sofern die Lücken im jeweils anderen Teilstrom nicht ausreichen. Bei Vorfahrtregelungen wird der Nebenstrom solange angehalten bis eine genügend große Lücke vorhanden ist. Bei absoluter Vorfahrt kann die Nebenstrecke dadurch sogar komplett blockiert sein. Der Durchsatz ist letztlich von der Anzahl genügend großer Lücken im Hauptstrom anhängig. Die Materialflusslehre hält hier entsprechende Erwartungswertberechnungen für das Auftreten entsprechender Lücken bereit ([1]; [2] S.39-40). Ohne hierauf tiefer einzugehen kann festgehalten werden, dass man hinsichtlich einer Durchsatzoptimierung passiv von den Auslastungsgraden der Teilstrecken abhängig ist.

1.2 Dynamische Zusammenführung

Zur aktiven Durchsatzerhöhung ist daher die Beeinflussung der Teilströme erforderlich. Durch die Verfügbarkeit preiswerter Drehzahlsteuerungen für Drehstromantriebe sind

heutzutage mit geringem Aufwand nahezu beliebige, individuell einstellbare Geschwindigkeiten für Stetigförderer realisierbar. Mit derart geschwindigkeitsgeregelten Förderelementen vor den Konfliktzonen können die Gutabstände beeinflusst werden, ohne den Teilstrom komplett zu unterbrechen. Während ein Teilstrom durch Geschwindigkeitskorrekturen eine ausreichende Lücke schafft, wird im anderen Teilstrom ein Gut so beeinflusst, dass es ohne Stopp in diese Lücke eingeschleust werden kann (Abbildung 3).

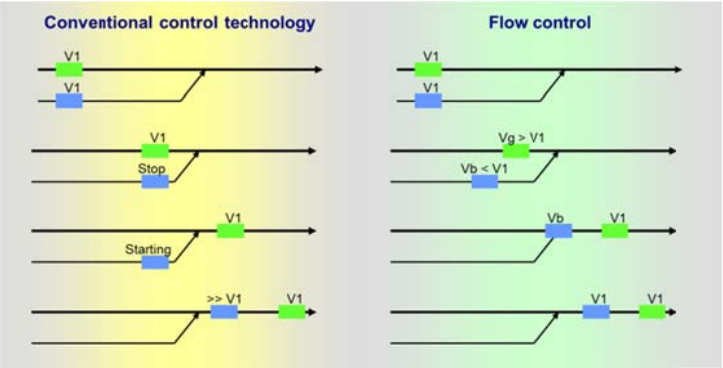


Abbildung 3: Vergleich der Stop-and-Go Einschleusung mit der dynamischen Einschleusung [3]

So ist es möglich, die durchsatzreduzierende Verlustzeit zu verringern. Im Diagramm der Abbildung 1 verringert sich die Fläche zwischen den Punkten eins bis vier, Punkte vier rückt näher an Punkt drei. Im Optimum können die Teilströme so beeinflusst werden, dass eine verlustfreie Zusammenführung erfolgt. Der Durchsatz der Zusammenführung berechnet sich dann nach

$$\frac{\lambda_1}{\gamma_1} + \frac{\lambda_2}{\gamma_2} \leq 1 \quad . \tag{4}$$

Die dynamische Zusammenführung funktioniert aber nur in den Fällen optimal, wenn im nachfolgenden Gutstrom insgesamt genügend Abstände vorhanden sind, um eine ausreichende Lücke zu schaffen. Mit zunehmendem Auslastungsgrad der Förderstrecken werden die Gutzwischenräume weniger und kleiner, so dass die Möglichkeit den Gutstrom entsprechend zu beeinflussen sinkt. Je geringer die Abstände, desto mehr muss der nachfolgende Gutstrom zum Erzeugen eines ausreichenden Abstands verlangsamt werden.
Der Grenzdurchsatz liegt je nach Auslastungsgrad der Teilstrecken innerhalb der Fläche 1-2-3-4 im Diagramm der Abbildung 1.
Erfahrungen aus der Untersuchung industrieller Anwendungen dynamischer Zusammenführungen zeigen, dass der Durchsatz nicht nur steigt, sondern auch über die Zeit gleichmäßiger wird und insgesamt die Belastung der Güter sinkt [3].

1.3 Dynamische Zusammenführung (Einschleusung) in der Stückgutsortierung

In der Stückgutsortierung mit Einzelplatzzuordnung existieren spezielle Rahmenbedingungen. Die Einschleusung erfolgt waagerecht unter einem Winkel von 25-45 Grad. Die Abfertigung erfolgt mit absoluter Vorfahrt des Sorters und die Gutabstände (in dem Fall die Abstände der Fahrwagen) sind konstant. Die Zusammenführung kann daher bei freiem Platz

ohne Prüfung eines vorhandenen Mindestabstands erfolgen. Die Geschwindigkeiten des Hauptstroms sind mit zwei bis vier Metern pro Sekunde relativ hoch.
Die dynamische Einschleusung ist bei diesen Systemen seit Jahren Stand der Technik. Wegen der hohen Leistungen der Sorterkreisläufe von 12-15 Tausend Stück pro Stunde werden in der Regel mehrere parallele Einschleusungen benötigt, die jeweils einen hohen technischen Aufwand und hohe Investitionskosten verursachen.
Bei diesen Zusammenführungen gehen die Anforderungen etwas weiter und in eine andere Richtung als bei den vorher beschriebenen Systemen. Die gewünschte weitere Leistungserhöhung des Sortierprozesses eine Anlage ist nur durch Verringerung der Abstände der Güter bzw. Fahrwagen oder eine weitere Geschwindigkeitssteigerung des Hauptstroms möglich.
Daher muss auch der Durchsatz der Einschleusung gesteigert werden. Gleichzeitig besteht das Ziel, die Anzahl parallel benötigter Einschleusungen zu verringern. Durchschnittliche Leistungen heutiger Einschleusungen liegen bei maximal drei bis viertausend Stück pro Stunde, so dass jeweils drei bis vier Einschleusungen je Einschleusungsbereich erforderlich sind. Etappenziel sind sechstausend Stück pro Stunde und Einschleusung, um mindestens eine Einschleusung einzusparen.
Diese gewünschten Leistungssteigerungen erfordern es, den Bewegungsablauf bei der Zusammenführung (Einschleusung) so zu kontrollieren, um mit höheren Geschwindigkeiten in kleiner werdende Gutabstände einschleusen zu können.

2 Bewegungskontrolle zur Leistungssteigerung bei Zusammenführungen

Trotz der unterschiedlichen Zielgrößen beider beschriebenen Einsatzfälle: Stückgutförderung und Stückgutsortierung mit Stetigfördertechnik ist die Grundvoraussetzung identisch. Zur Leistungssteigerung muss für die Zusammenführung der gesamte Bewegungsablauf der Güter kontrolliert und die Endposition im Hauptstrom exakt erreicht werden. Nur so kann die Geschwindigkeit gesteigert und der Gutabstand reduziert werden.
Hierzu werden am Institut für Technische Logistik an der TU Graz derzeit zwei Ansätze verfolgt.
Zum einen werden durch eine mathematische Modellierung des Bewegungsablaufs mögliche Störeinflüsse zur Abweichung der Güter von einer vorgegebenen Bewegungsbahn detektiert um durch geeignete Korrekturen (Position und Lage) vor der Zusammenführung diese kompensieren zu können[4].
Zum anderen werden technische Möglichkeiten von modifizierten Förderern im Bereich der Zusammenführung untersucht, die durch formschlüssigen Transport die Bewegung der Güter kontrollieren. Beide Forschungsarbeiten sind noch sehr jung und werden folgend nur kurz vorgestellt, um die Ziele und Ansätze zu präsentieren.

2.1 Mathematische Modellierung der Einschleusung

Abbildung 4 zeigt die Übergangsphase eines quaderförmigen Gutes von der Einschleusung mit der Geschwindigkeit v_M auf den Sorter mit der Geschwindigkeit v_S.
Die Kontaktfläche ist in einzelne Quadrate mit der Kantenlänge ge unterteilt, die für eine rechteckige Berührungsfläche über die Indizes i und j aufsummiert werden. Über die Kantenlänge der Einzelflächen lässt sich die Genauigkeit der Simulation skalieren. Im Mittelpunkt jedes Elements wirkt die Normalkraft N_{ij} und die Reibkraft R_{ij}.

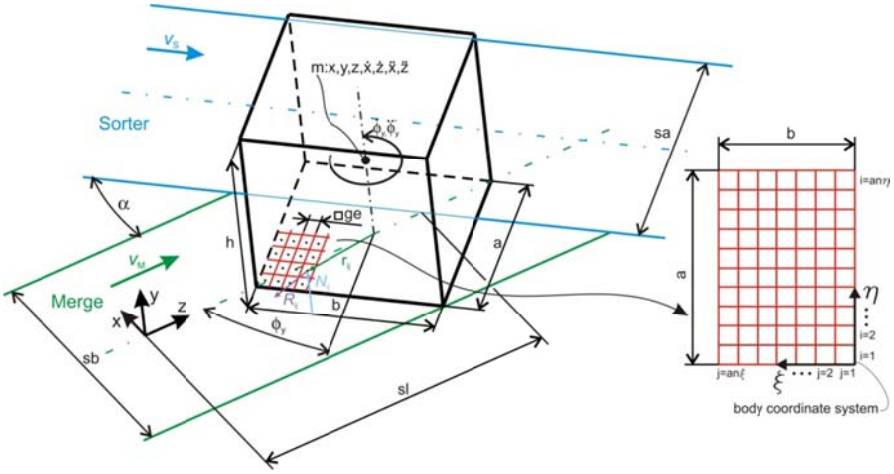


Abbildung 4: MKS Modell der Einschleusung

Die Schwerpunktbeschleunigung des Gutes errechnet sich aus

$$\ddot{x} = \frac{R_x}{m}\ ;\ \ddot{z} = \frac{R_z}{m}\ ;\ \ddot{\phi}_y = \frac{M_y}{J_y} \tag{5}$$

Die Komponenten der Reibkräfte ergeben sich durch Aufsummierung der Reibkräfte R_{ij} der Teilflächen. Ebenso ergibt sich das Drehmoment um die y-Achse aus den Reibkräften und den Wirkabständen zum Gutschwerpunkt.

$$\begin{bmatrix} 0 \\ M_{yij} \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} r_{xij} \\ 0 \\ r_{zij} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} R_{xij} \\ 0 \\ R_{zij} \end{bmatrix}\ ;\qquad M_y = \sum_{i=1}^{an\eta} \sum_{j=1}^{an\xi} M_{yij} \tag{6}$$

Für jedes Flächenelement ergeben sich folgende Geschwindigkeitskomponenten

$$\begin{bmatrix} v_{xij} \\ 0 \\ v_{zij} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \dot{x} \\ 0 \\ \dot{z} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ \dot{\phi}_y \\ 0 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} r_{xij} \\ 0 \\ r_{zij} \end{bmatrix}\ ;\ \begin{bmatrix} v_{rxij} \\ 0 \\ v_{rzij} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} v_{xij} \\ 0 \\ v_{zij} \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} v_{Mx} \\ 0 \\ v_{Mz} \end{bmatrix} \text{ oder } \begin{bmatrix} v_{xij} \\ 0 \\ v_{zij} \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} v_{Sx} \\ 0 \\ v_{Sz} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} v_{rxij} \\ 0 \\ v_{rzij} \end{bmatrix} \tag{7}$$

Die Normalkräfte N_{ij} können bei bekannten Flächenpressungen der Einzelflächen durch Integration über die Fläche errechnet werden.

$$N_{ij} = \int_{bo_\xi}^{bo_\xi + ge} \int_{bo_\eta}^{bo_\eta + ge} p_{(\xi,\eta)} d\eta d\xi\ ;\qquad bo_\xi = ge \cdot (j-1)\ ;\ bo_\eta = ge \cdot (i-1) \tag{8}$$

Zur Berechnung der Reibkräfte R_{ij} wird ebenfalls das Coulomb´sche Reibungsmodell verwendet.

$$\begin{bmatrix} R_{xij} \\ 0 \\ R_{zij} \end{bmatrix} = N_{ij} \cdot \mu_{ij}\left(v_{Slip}\right) \cdot \begin{bmatrix} -v_{rxij} \\ 0 \\ -v_{rzij} \end{bmatrix} \cdot \frac{1}{\sqrt{v_{rxij}^{\ 2} + v_{rzij}^{\ 2}}} \qquad v_{Slip} = \sqrt{v_{rxij}^{\ 2} + v_{rzij}^{\ 2}} \tag{9}$$

Schließlich erhält man die Bewegungsgrößen durch die entsprechenden Ableitungen

$$\dot{x} = \frac{dx}{dt}; \ \ddot{x} = \frac{d\dot{x}}{dt} \qquad \dot{y} = \frac{dy}{dt}; \ \ddot{y} = \frac{d\dot{y}}{dt} \qquad \dot{\phi}_y = \frac{d\phi_y}{dt}; \ \ddot{\phi}_y = \frac{d\dot{\phi}_y}{dt} \tag{10}$$

Dieses Modell wurde in ein Computerprogramm übertragen mit dem bereits einfache aber aussagefähige Bewegungssimulationen durchgeführt werden können. Abbildung 5 zeigt die Benutzerschnittstelle und die diversen Parametervariationen, die möglich sind.

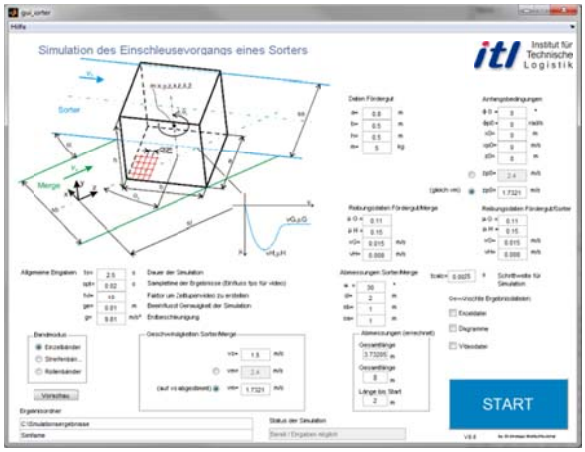


Abbildung 5: Benutzerschnittstelle der Bewegungssimulation

Die relevanten Parameter können eingestellt werden und nach der Berechnung erfolgt eine grafische und tabellarische Ergebnisdarstellung.

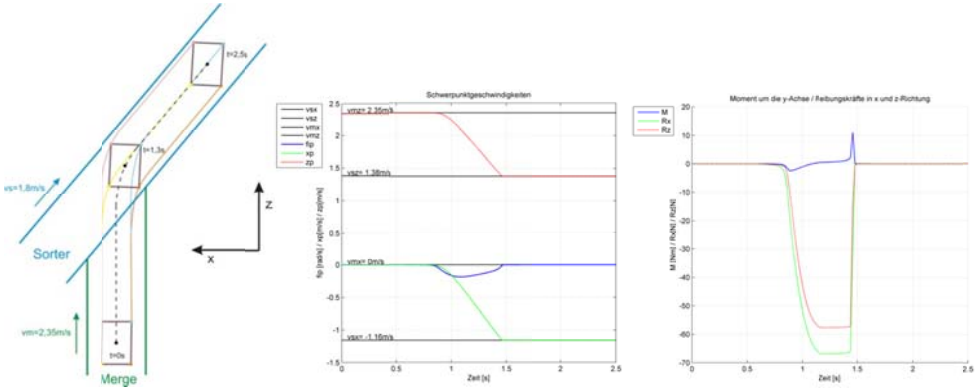


Abbildung 6: Ergebnisdarstellung des Einschleusungsvorgangs (Links) Animation des Bewegungsablaufs; (Mitte) Geschwindigkeitsdiagramm; (Rechts) Momenten- und Kraftverlauf verlauf

Dieses Programm und die zugrunde liegenden Berechnungsgrundlagen stellen eine Basis dar, die im Laufe der nächsten Zukunft verfeinert und erweitert wird, um noch realitätsnäher und

umfassender die möglichen Einschleusungssituationen simulieren und untersuchen zu können.
In der praktischen Umsetzung bei einer Einschleusung würden die relevanten Parameter wie Gutgewicht usw. in der Zuführung gemessen, die zu erwartende Bewegungsbahn berechnet und die Abweichungen korrigiert werden. Hierdurch wäre eine präzise Einschleusung in kleinere Gutzwischenräume auch bei höherer Geschwindigkeit möglich.

2.2 Formschlüssiges Förderprinzip zur Einschleusung

Die formschlüssige Förderung hat insbesondere beim Sorter mit Einzelplätzen entscheidende Vorteile. Die Formelemente können hinsichtlich Geschwindigkeit und Position absolut mit den Sorterplätzen synchronisiert werden. Das bedeutet, dass sobald das Gut an den entsprechenden Formelementen anliegt, eine absolut präzise Zuführung erfolgen kann und das bei hohen Geschwindigkeiten und Beschleunigungen. Die Herausforderung liegt hier in der Entwicklung geeigneter Förderelemente und Prozessschritte.
Ein Lösungsansatz liegt in einem speziellen Geschwindigkeitsprofil entlang der Einschleusungsstrecke und einem integrierten Übergang vom Kraftschluss zum Formschluss. In Abbildung 7 ist der technische Aufbau skizziert.

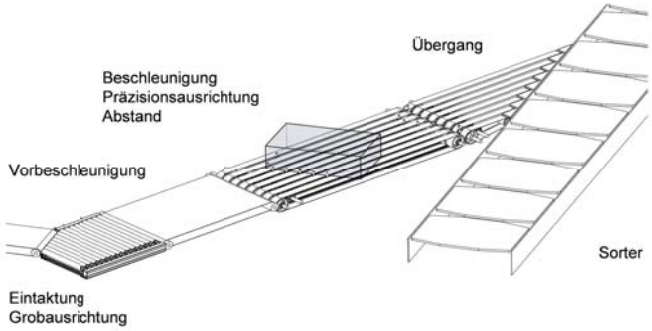


Abbildung 7: Formschlüssige Hochleistungseinschleusung

Sobald dem Gut ein freier Platz auf dem Sorter zugewiesen wird, gelangt es grob orientiert auf die Vorbeschleunigungseinheit. Der Übergang vom Kraft- auf den Formschluss findet daran anschließend statt. Das Gut wird zunächst auf die segmentierte Fördereinheit gebracht. Die Geschwindigkeit ist geringer als beim Sorter. Im Verlauf der Strecke erreichen die schneller laufenden Mitnehmer das Gut und bringen es entsprechend ihrer Anordnung in die Soll Orientierung und in eine präzise Position zu den Sortereinheiten. Die Mitnehmergeschwindigkeit entspricht der Einschleusungsgeschwindigkeit und ihre Position ist synchron zum Sorter. Erst beim Übergang zum Dreiecksförderer werden die Mitnehmer abgesenkt und das Gut gelangt präzise ausgerichtet und positioniert auf den Sorter. Entscheidender Vorteil gegenüber den kraftschlüssigen Einschleusungen ist, dass die durch die hohen erforderlichen Beschleunigungen schlupfbedingten Abweichungen auf der Vorbeschleunigungsstrecke keine Rolle mehr spielen. Daher kann auf relativ kurzer Strecke beschleunigt werden und die Anforderungen an einen hohem Durchsatz und einen präzisen Bewegungsablauf werden erfüllt.

3 Fazit

Die Geschwindigkeiten und die Dynamik bei Stückgutstetigförderern werden durch wachsende Anforderung an die Prozesse der Technischen Logistik steigen. Die kraftschlüssige Verbindung zwischen Fördergerät und Fördergut gelangt an ihre physikalischen

Grenzen – Es gelingt kein determinierter Bewegungsablauf. Für leistungsfähige Zusammenführungen auf engem Raum sind jedoch präzise Bewegungen notwendig, um durch kleine Gutabstände und hohe Geschwindigkeiten den Durchsatz zu steigern.
Hierzu sind grundlegende Forschungsarbeiten notwendig, die sich in verschiedene Ansätze unterteilen. Die Materialflusslehre hilft, die vorhandenen Potenziale verschiedener Strategien, Technologien und Topologien zu quantifizieren. Mathematische Modelle erlauben Bewegungsabläufe unter verschiedenen Parameterkonstellationen zu untersuchen und Maßnahmen abzuleiten. Systemtechnische Entwicklungen, Ergänzungen und Variationen ermöglichen neue und leistungsgerechtere Einsatzfelder bekannter und erprobter Technologien wie beispielsweise der Stückgutstetigfördertechnik.

Literatur

[1] ARNOLD, Dieter; FURMANS, Kai: **Materialfluss in Logistiksystemen**. Berlin [u.a.]: 4. akt. Aufl. Springer, 2005.

[2] GUDEHUS, Timm: **Grenzleistungen bei absoluter Vorfahrt.** Zeitschrift für Operations Research, Band 20, 1976, S: B127-B160. Physika Verlag Würzburg.

[3] Winkler, Max: **Flow control (FT-FLC**). Vortrag von SSI Schäfer-Peem. Graz. 2010

[4] JODIN, Dirk; WOLFSCHLUCKNER, Andreas: **Merge problems with high speed sorters.** In: Material Handling Institute (Hrsg.): Progress in Material Handling Research: 2010. USA : 2010. Im Druck.