

BHM (2016) Vol. 161 (5): 212–220
 DOI 10.1007/s00501-016-0476-4
 © The Author(s) 2016. Dieser Artikel ist auf
 SpringerLink mit Open Access verfügbar

BHM Berg- und
 Hüttenmännische
 Monatshefte

Innovationen in der Technischen Logistik

Dirk Jodin, Christian Landschützer und Norbert Hafner

Institut für Technische Logistik, Technische Universität Graz, Graz, Österreich

Eingegangen 1. März 2016; angenommen 5. April 2016; online publiziert 2. Juni 2016

Zusammenfassung: Der vorliegende Beitrag stellt Entwicklungen und Innovationen der Technischen Logistik dar. Fortgeschrittene Simulationstechniken ermöglichen eine virtuelle (Vor-)Beurteilung des Geräteverhaltens und unterstützen die Geräteentwicklung. Integrierte Messtechnik und ein Kennzahlenwerk stellen ein Instrumentarium zur Beurteilung der Energieeffizienz beim Fördern dar.

Schlüsselwörter: Gewinnungsmaschine, Simulation, Stetigförderer, Energieeffizienz, Energieeffizienz-Kennzahlen

Innovation in Technical Logistics

Abstract: This paper introduces technical innovations in logistics engineering. Advanced simulation methods provide virtual insights in machinery behavior and support engineering development. Lab tests leading to efficiency indices help to seriously describe energy efficiency in conveying processes.

Keywords: Continuous miner, Simulation, Conveyor, Energy efficiency, Energy efficiency indicators

1. Technische Innovationen der Logistik im Zeitverlauf

Die industrielle Logistik ist in den fünfziger Jahren in den USA aus der Militärlogistik heraus entstanden. In den siebziger Jahren kam sie nach Europa und hat sich hier sehr rasch weiterentwickelt. Heute ist die Logistik ein entscheidender Wettbewerbsfaktor für Handel, Produktion und Dienstleistungsbetriebe. Die Entwicklung wurde 2008 durch Baumgarten in [1] treffend dargestellt (Abb. 1).

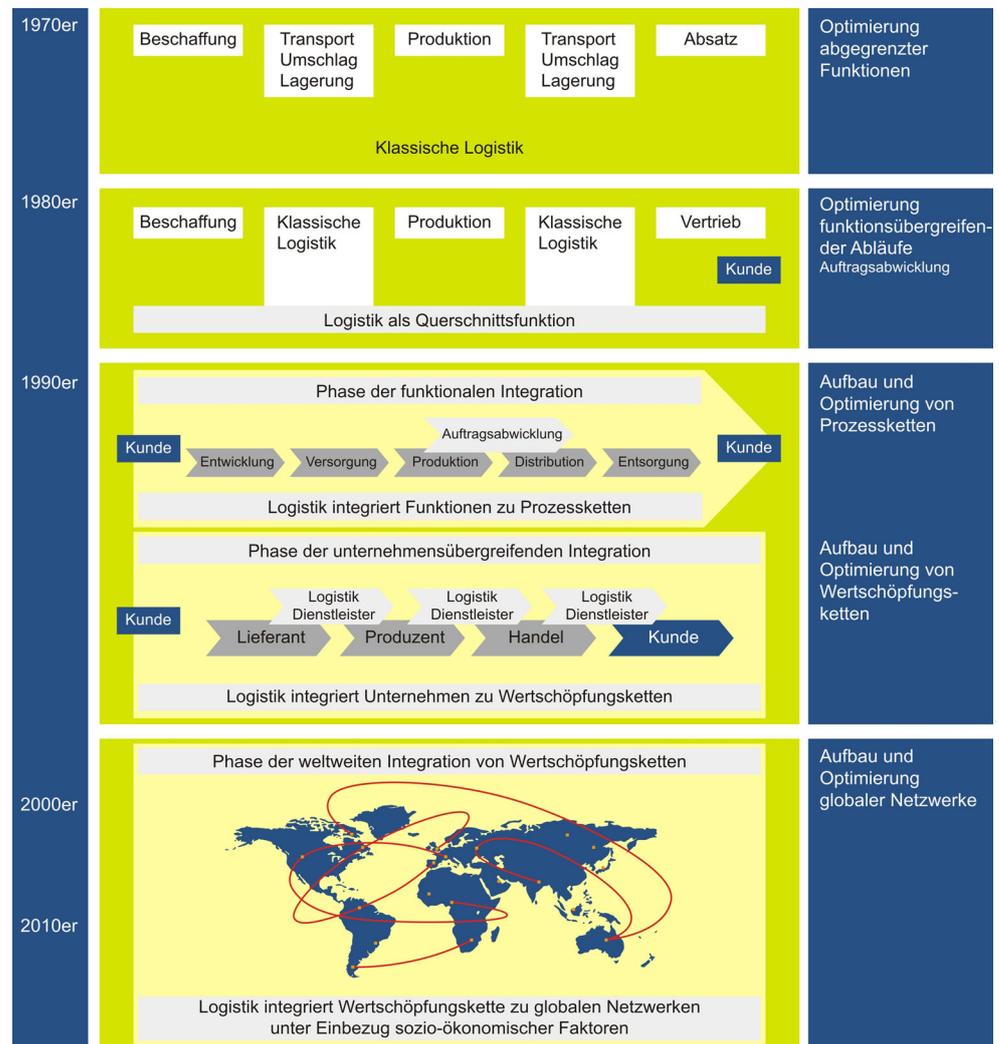
D. Jodin (✉)
 Institut für Technische Logistik,
 Technische Universität Graz,
 Inffeldgasse 25e,
 8010 Graz, Österreich
 E-Mail: dirk.jodin@tugraz.at

Als Säulen der Logistik galten schon damals die Technik, die Betriebswirtschaft und die Informatik. Nachdem die Ingenieure in der Nachkriegszeit hauptsächlich Einzelgeräte der Fördertechnik entwickelt und konstruiert hatten, erfolgte in den siebziger Jahren mit dem Wandel vom Hersteller zum Käufermarkt die Hinwendung zu den Anwenderproblemen des Materialflusses und der Logistik. Bei den Anwendern standen nun die Anlagensysteme und Transportketten im Mittelpunkt. Die Automation wurde massiv vorangetrieben. Neben neu entwickelten Fördermitteln wurden Fragen der Planung und der Leit- und Steuerungstechnik für solche Anlagen und Systeme immer wichtiger. Typische Beispiele in dieser Entwicklung stellen die Hochregallagertechnik mit den Regalbediengeräten und die Warenverteilsysteme dar.

Die Forschungen widmeten sich beispielsweise den Fördersystemen in Krankenhäusern (AWT – Automatische Warentransport-Anlagen), der Entwicklung von Computersprachen für Förderprozesse für die Simulation und der Entwicklung der Bedientechniken in Stückgutlagern. Verstärkt spielten die Integration systemtheoretischer Ansätze (wie z.B. die Gestaltung mehrgliedriger Transportketten), die Integration der Umschlag- und Handhabungstechnik (mobile Roboter und Kommissioniersysteme) in den Materialfluss und die Integration der jeweils neuesten Generation der Automatisierungstechnik in die Anlagen und Systeme eine Rolle. Es entstanden Fahrerlose Transportfahrzeuge und -systeme sowie Elektrohängebahnen. Heute verfügt die Technische Logistik über Materialflussmittel mit hochentwickelter Sensorik, Aktorik und Kommunikationstechnik. Die Geräte und Anlagen kommunizieren untereinander und mit den Gütern, die mittels RFID-Technologien ihre Ziele und alle zum Routing erforderlichen Informationen kennen. Die Intralogistik ist heute in der Lage, komplexe Distributionszentren mit kilometerlanger Fördertechnik und hunderten Steuerungen zu entwickeln und mit Leistungen von über 10.000 Packstücken pro Stunde bei einer hohen Verfügbarkeit zu betreiben.

Doch Innovationen finden nicht nur in diesen „Leuchtturmprojekten“, sondern auch in klassischen Fördermitteln und Schlüsselkomponenten statt. Dieser Beitrag widmet sich diesen Innovationen anhand exemplarischer Beispiele

Abb. 1: Logistik im Zeitverlauf [1]



aktueller Forschungen an Kettenfahrwerken und Stetigförderern. Auslöser und Ziele dieser Forschungen sind neben Funktionsverbesserungen Effizienzsteigerungen und Ressourcenschonung.

2. Lafoptimierung eines Kettenfahrwerks

Maschinen für den Untertageeinsatz sind einerseits besonderen Anforderungen durch Schmutz, eingeschränktem Bauraum und Staub ausgesetzt, andererseits bestehen höchste Anforderungen an Zuverlässigkeit und Sicherheit [2].

Eine funktionskritische Baugruppe ist das Kettenfahrwerk, das als Rollen- oder Gleitkettenfahrwerk ausgeführt sein kann. Neben dem zuverlässigen und sicheren Verfahren und Manövrieren schlagen auch jeder Ausfall und die folgende Instandsetzung mit hohen Reparatur- und Ausfallkosten zu Buche.

Die folgende Ausführung dokumentiert die Optimierung eines Gleitkettenfahrwerkes für eine im kontinuierlichen Schneidprozess arbeitende Teilschnittmaschine der SAND-

VIK Mining and Construction Systems GmbH in Zeltweg. Diese wird primär zur Gewinnung von Kohle mittels einer mit Meißeln besetzten Schneidwalze im Untertagebergbau eingesetzt (Abb. 2). Die Maschine erreicht eine Abbauhöhe bis 3,1 m, eine Schneidbreite von 3,5 m und verfügt über 600 kW Gesamtleistung und ein Gesamtgewicht von ca. 65 t. Die maximale Fahrgeschwindigkeit von 0,23 m/min wird über einen frequenzgesteuerten elektrischen 60 kW Fahrtrieb erreicht. Im Schneidprozess bringt die Maschine über das Kettenfahrwerk die für das Eindringen der Schneidwalze in die Ortsbrust (Einbruchvorgang) nötige Eindringkraft über das Maschinengewicht und die erreichbaren Reibungsverhältnisse zwischen dem Untergrund und dem Kettenfahrwerk auf. Im Vergleich zu anderen Abbaukonzepten, welche während des Einbruchvorganges das Fahrwerk entlasten, muss bei einem Continuous Miner mit hohen dynamischen Belastungen am Kettentrieb und langen Verfahrestrecken gerechnet werden. Entsprechend der Randbedingungen im Betrieb und der Einsatzdauer unterliegt das Kettenfahrwerk stark verschleißender Beanspruchung.

Hier steht eine Anzeige.



Hier steht eine Anzeige.



Abb. 2: Teilschnittmaschine SANDVIK MC 350

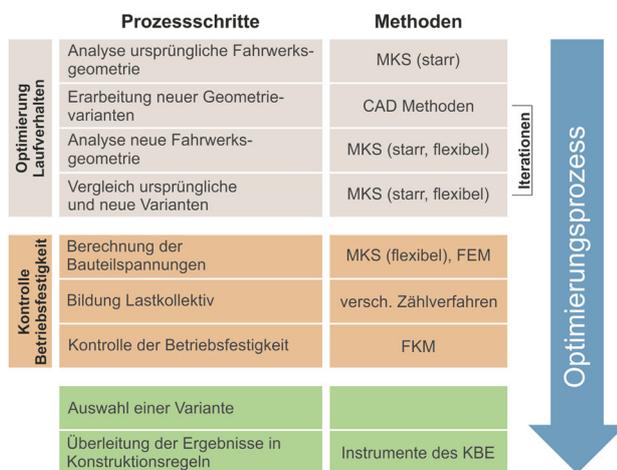


Abb. 3: Vorgehensweise – Optimierung Kettenfahrwerk

2.1 Vorgehensweise

Die Dimensionierung und Auslegung des für den Fahrtrieb nötigen Kraftbedarfs der Fahrkette baut meist auf Erfahrung mit vergleichbaren Anwendungen und Feldmessungen auf. Der Eingriff der Kette in das Antriebsrad (Turas) ist ein dynamischer Vorgang unter stets wechselnden Randbedingungen. Um schon in der Produktentwicklung möglichst viele Betriebszustände zu analysieren, ist die mechanische Simulation von Dynamik und Festigkeit der Fahrwerkskomponenten (CAE mit Mehrkörpersimulation – MKS und Finite-Elemente-Methode – FEM) ein probates Instrument. Die dadurch erhaltenen virtuellen Einblicke in das Zusammenspiel von Turas und Kette ermöglichen eine betriebs sicherere Auslegung jeder beteiligten Geometrie und eine optimierte Kraftwirkungssituation mit höherer Lebensdauer.

Abb. 3 zeigt die Vorgehensweise eines virtuellen Optimierungsprozesses des Kettenfahrwerkes. Die Optimierung des Laufverhaltens, und damit des Zusammenwirkens Kette/Turas, geht einher mit der Bewertung der Optimierungsmaßnahmen, die mittels Betriebsfestigkeitsanalyse durchgeführt wird. Zahlreiche Simulations- und Berechnungsverfahren sind in der Lage, die modellierte Maschine schon in einer frühen Entwicklungsphase ausreichend genau und detailliert zu beschreiben [3].

Mittels starrer Mehrkörpersimulation (MKS) werden in einem ersten Schritt die dynamischen Größen am Fahrwerk und am Turas in verschiedenen Betriebszuständen ermittelt. Eine Optimierung der geometrisch/konstruktiven Gestaltung des Fahrwerkes schließt sich an. Zur Bewertung werden an den funktionskritischen Bauteilen zu jedem Zeitpunkt die Bauteilspannungen in den verschiedenen Betriebszuständen mittels flexibler MKS und, wenn nötig, FEM berechnet. Daran schließen die Auswahl der optimalen Variante und die Ableitung von Konstruktionsregeln an. Die automatische Konstruktion (KBE) im CAD [4] ermöglicht dann zukünftig die effiziente konstruktive Umsetzung der gewonnenen Erkenntnisse.

In Abb. 4 des Mehrkörpersimulationsmodells kann man teilweise die Abstraktion des Dynamikproblems erkennen. Drehgelenke, Solid-Solid-Kontakte, nichtlineare Federn, das dynamische Modell des Antriebsmotors und ein spezielles Bodenkraftmodell stellen die Kernkomponenten des Modells dar [3]. Eine Koppelung der MKS mit der FEM in sogenannten flexMKS-Ansätzen ermöglicht heutzutage die Berechnung der hochkomplexen Mechanikgrößen zusehends in einer Softwareumgebung (MSC.ADAMS) [5].

2.2 Ergebnisse

Die Gegenüberstellung der Simulationsergebnisse mit den langjährigen Erfahrungen und Messungen seitens SANDVIK liefert den entscheidenden Funktions-, Sicherheits- und Wettbewerbsvorteil. Daraus wird zu jedem Berechnungszeitpunkt die Kraftsituation an jedem Fahrwerksbauteil berechnet, die für die weiteren Betriebsfestigkeitsanalysen (Abb. 5) zur Verfügung steht. Die flexMKS-Spannungsberechnung bietet gegenüber der FEM-Standalone-Lösung den Vorteil, dass die Auswirkung konstruktiver und antriebstechnischer Änderungen am Modell ohne großen Export-/Importaufwand beurteilt werden können. Während jedes Zeitschritts wird hier ein FEM-Gleichungssystem aufgrund der dynamischen Situation der Maschine gelöst. Das Fehlen einer fortgeschrittenen Berechnungssteuerung (Vernetzung, Elemente, Solver) ermöglicht hier allerdings eher eine qualitative Trendabschätzung. Bei der FEM-Standalone-Lösung muss für den Export der Dynamikgrößen ein effizienter Workflow geschaffen werden bzw. wird durch

Abb. 4: Mehrkörpersimulationsmodell des Raupenkettengerätes

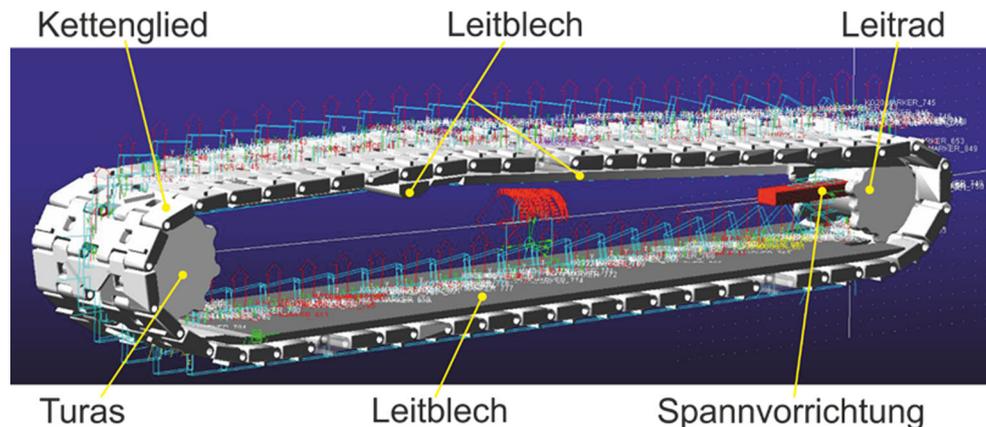
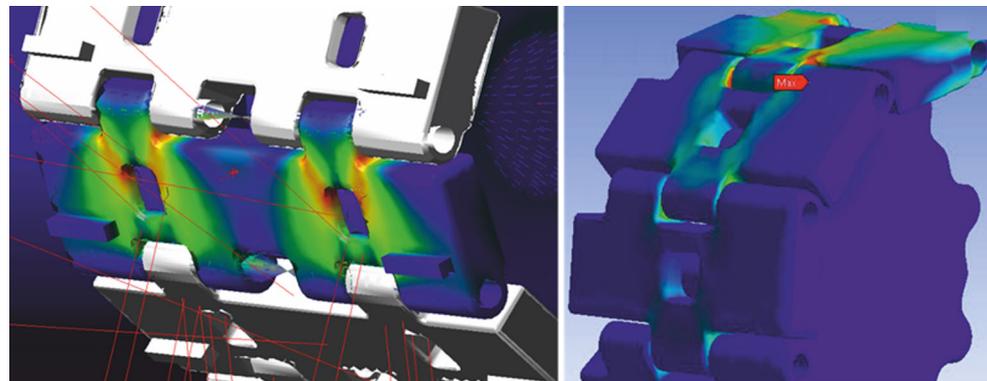


Abb. 5: Spannungsberechnung (FEM) – qualitativer Vergleich flexMKS und FEM-Standalone am Kettenglied (Vergleichsspannung von Mises und idealisierte Kraftwirkungsvektoren)



manche Software bereits unterstützt. Elastische Größenänderungen an Bauteilen der Maschine wirken allerdings dann nicht auf die Dynamik an dadurch veränderter Geometrie zurück.

Im Zuge mehrerer Projekte wurde ein umfassendes Modell- und Simulationsportfolio für die Kettenlaufwerke entwickelt. Die gute Übereinstimmung der Simulationsergebnisse mit den im Feld gemessenen und beobachteten Größen ermöglicht zukünftig eine virtuelle Produktentwicklung und resultiert in konstruktiven Optimierungen hin zu einer sichereren, haltbareren und effizienteren Maschine.

Es konnte v.a. das Eingriffsverhalten Kette/Kettenrad unter den gegebenen engen geometrischen Randbedingungen verbessert werden. Mit den konstruktiven Änderungen am Turas führt dies zu einem dynamisch gleichmäßigeren Lauf der Maschine, was sich begünstigend auf die wirkenden Kettenkräfte auswirkt. Diese neue Eingriffsgeometrie ist nun verschleißgünstiger und auch in der Lage, alle am Kettenrad durch Verschmutzung u. ä. anfallenden Betriebszustände zu beherrschen. Eine Erhöhung der Funktionssicherheit der Maschine konnte somit durch die virtuellen Untersuchungen an der Maschine erreicht werden.

3. Energieeffiziente Stetigförderer

Die Anzahl automatisierter Materialflusssysteme stieg in den letzten beiden Jahrzehnten in vielen Industriebranchen stark. Ebenso stiegen die jeweiligen installierten

elektrischen Anschlussleistungen. Für Intralogistik-Anlagen wurden hinsichtlich eines energieoptimalen Betriebs bis vor wenigen Jahren kaum Untersuchungen angestellt. Dennoch besteht in der Logistik besonderer Energieeffizienzbedarf [6]. Große Logistikanlagen erfordern elektrische Gesamtleistungen von 200 kW und mehr.

Am Institut für Technische Logistik der TU Graz werden umfangreiche Untersuchungen zur Steigerung der Energieeffizienz an Materialflussanlagen durchgeführt. Ziel der Projekte sind Maßnahmenkataloge zur Energieverbrauchsminimierung für unterschiedliche Logistikanlagen. Der erste Schwerpunkt lag bei innerbetrieblicher Stückgutförderertechnik. Die nachfolgenden Ausführungen veranschaulichen die konkreten Aufgabenstellungen. Neben den messtechnischen Umsetzungen wurde auch ein Energieeffizienz-Kennzahlensystem erarbeitet, das die Vergleichbarkeit ermöglicht, unabhängig von Förderertyp oder Hersteller.

3.1 Messsystem – Anforderungen, Konzepte, Spezifikationen

Nachfolgend werden der Aufbau eines Tangentialriemenförderers (TRF) (Abb. 6), die benötigten Messpunkte zur Bestimmung der Teilverluste und die wesentlichen Anforderungen an die Messgrößen veranschaulicht. Dargestellt sind die drei Hauptbaugruppen: Drehstrom-Getriebemotor mit Frequenzumrichter, gemeinsamer Antriebsstrang für

Abb. 6: Tangentialriemenförderer – Prinzipskizze des Aufbaus

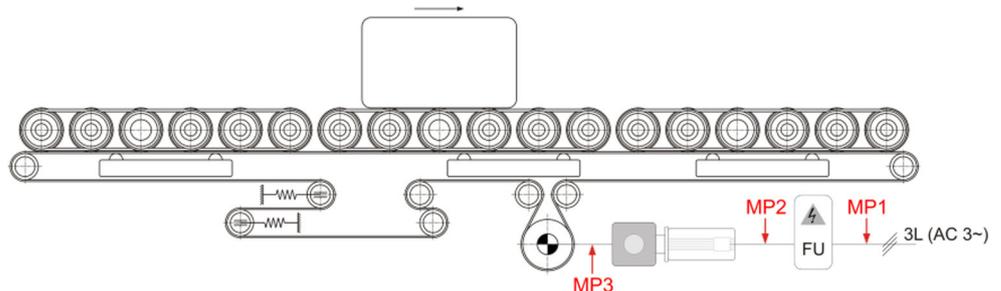
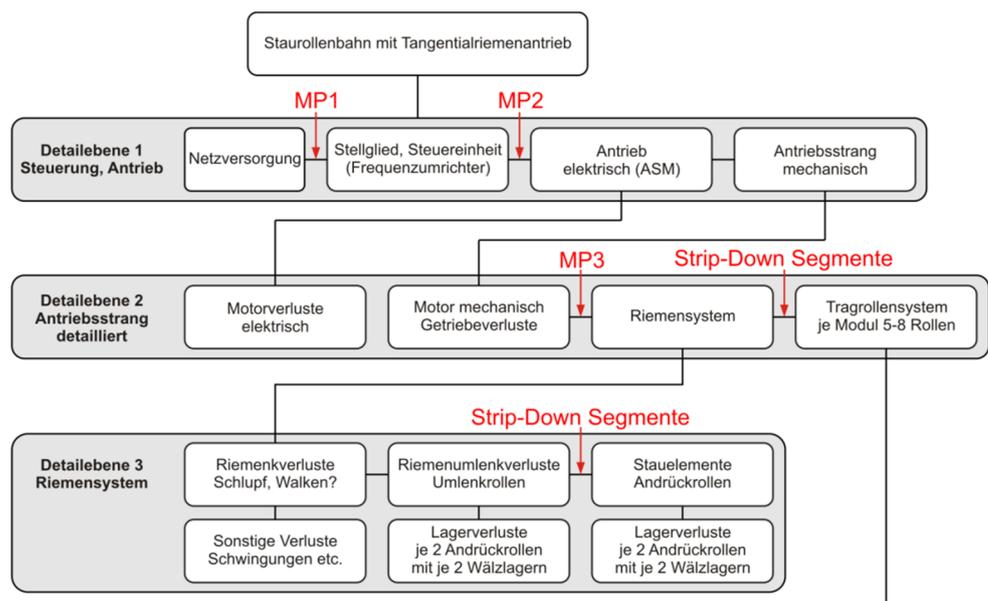


Abb. 7: Schematischer Aufbau – Festlegung der Messpunkte (MP) und Strip-Down-Segmente



die Staurollensegmente mit zentral angetriebenem Flachriemen und zuschaltbare Staurollensegmente.

Abb. 7 erläutert die benötigten Messpunkte und die Methodik zur Bestimmung der Einzelverluste. Es wird das sogenannte Strip-Down-Verfahren angewendet.

Das Messsystem ist durch elektrische und mechanische Messgrößen gekennzeichnet. Zur Bestimmung der elektrischen Leistung am Fördersystem ist die messtechnische Ermittlung der Spannungs- und Stromgrößen im dreiphasigen Versorgungssystem erforderlich. Die Messgrößen Spannung und Strom werden für den Messpunkt 1 (MP1) am Eingang des Frequenzumrichters abgegriffen, der Messpunkt 2 befindet sich zwischen Frequenzumrichter und dem gespeisten Antriebsmotor (Drehstrommotor).

Wesentlich ist, alle benötigten Messgrößen auf gleicher Zeitbasis zu erfassen. Ebenso ist die Abtastung der Messsignale mit ausreichender Rate sicher zu stellen. Die am Institut vorhandene leistungsfähige Messtechnik ermöglicht Abstraten bis 500kHz. Die Anforderungen an Messtechnik und Messsoftware zur Berechnung der elektrischen Leistung sind bei Umrichterbetrieb sehr hoch (vgl. [7]). An den Messpunkten 1 und 2 treten Spannungs- und Stromverläufe auf, welche durch einen nicht-sinusförmigen Verlauf gekennzeichnet sind. Diese hochfrequenten Signalanteile können einen wesentlichen Anteil an der Gesamtleistung verursachen und sind daher geeignet zu berücksichtigen. Mittels Fourier Transformation sind erst für die drei Phasen

(Spannungen, Strom) die Harmonischen zu berechnen, weiters die Effektivwerte und resultierenden Einzelleistungsanteile sowie abschließend die Gesamtleistung (1) [8].

$$P_{nh} = U_{nh} \cdot I_{nh} \cdot \cos \varphi_{nh}, \quad P_n = \sum_{h=1}^H P_{nh}, \quad P_{ges} = \sum_{N=1}^3 P_n \quad (1)$$

wobei

- U_{nh} Effektivwert der Spannung der betrachteten Harmonischen;
- n Phasennummer 1, 2 oder 3;
- h Ordnung der Harmonischen (Oberschwingung);
- H Anzahl der Harmonischen;
- P_{nh} Wirkleistung der betrachteten Harmonischen;
- φ_{nh} Phasenverschiebungswinkel der Harmonischen aus FFT-Analyse;
- P_n Wirkleistung einer Phase;
- P_{ges} Wirkleistung des gesamten Signals.

Um den Leistungsbedarf des mechanischen Anlagenteils ohne Antriebseinheit zu bestimmen, ist es notwendig, die mechanische Leistung an der Abtriebswelle der Antriebseinheit zu erfassen (Getriebe oder Direktantrieb). Zur Leistungsberechnung (2) sind die Messgrößen Drehmoment und Drehzahl entsprechend zu bestimmen.

Abb. 8: Messaufbau zur Bestimmung der mechanischen Leistung

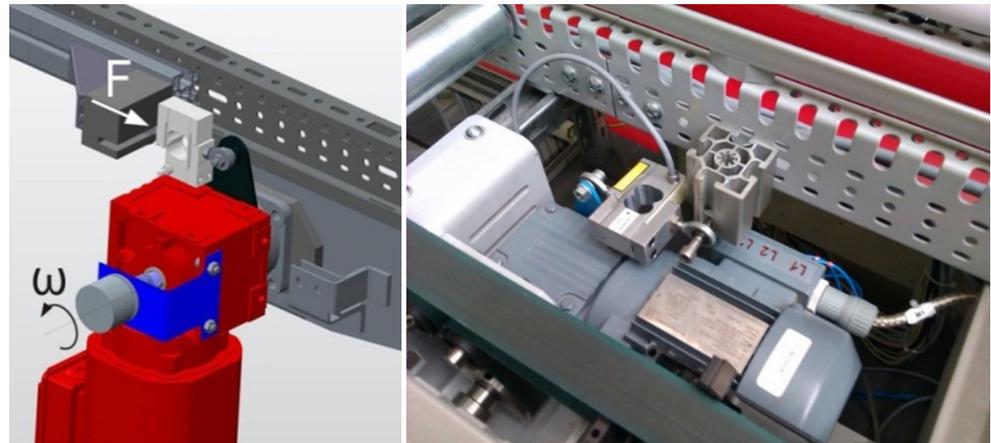
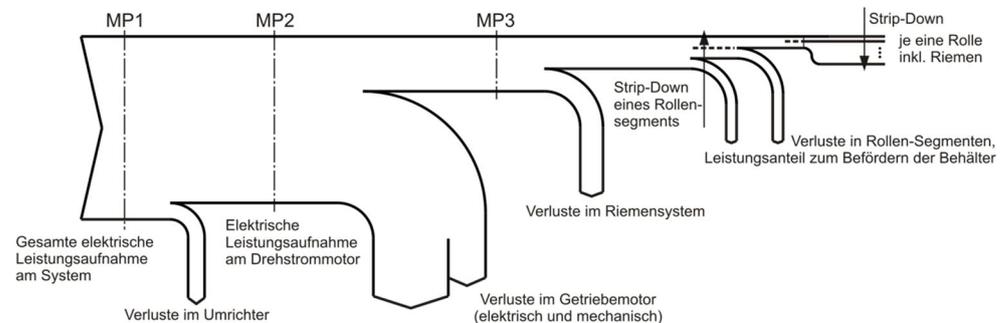


Abb. 9: Exemplarisches Messergebnis – Leistungsflussdiagramm (Sankey-Diagramm)



$$P_{\text{mech}} = M \cdot \omega = F \cdot r \cdot \omega \quad (2)$$

wobei

P_{mech} mechanische Leistung;

M Drehmoment;

F Kraft;

r wirksamer Hebelarm des Kraftangriffspunktes;

ω Winkelgeschwindigkeit.

Konstruktiv befinden sich die Getriebemotoren entweder starr befestigt an einer Konsole oder direkt an der Antriebswelle (Getriebe mit Hohlwelle). Bei der Hohlwellenausführung wird die Aufnahme des Reaktionsdrehmomentes mittels Drehmomentstütze realisiert (Abb. 8). Alternativ kommt ein Drehmomentenmessflansch zum Einsatz (ohne Darstellung). Die Drehzahlerfassung erfolgt direkt an der Getriebeausgangswelle des Antriebsmotors. Zum Einsatz kommen Tachogeneratoren oder alternativ inkrementelle Drehgeber.

Um die Teilleistungen der mechanischen Komponenten (z.B. Tragrollensysteme) zu ermitteln werden Relativmessungen vorgenommen (Abb. 7). Die Einzelkomponenten werden dazu schrittweise abgebaut (Strip-Down).

3.1.1 Exemplarisches Messergebnis

Die Auswertung der Messdaten (Abb. 9), aus einer gesamten Versuchsreihe für den Tangentialriemenförderer, gibt klaren Aufschluss über die erheblichen Optimierungspotenziale. Somit können gezielt Maßnahmen zur Steigerung

der Energieeffizienz durch Verringerung der Verlustleistungen erarbeitet werden.

3.2 Energieeffizienz-Kennzahlensystem Förder-technik

In technischen Anwendungen werden Kennzahlen üblicherweise spezifisch angegeben. Im Fall der Technischen Logistik ist es naheliegend, den „Logistischen Ertrag“ (Nutzen, Output) eines Prozesses als Bezug zu definieren. Es wird ein „Spezifischer Energiebedarf“ eingeführt. Dieser spezifische Energiebedarf bezieht die zugeführte Energie auf den Logistischen Ertrag. Formal bildet sich der spezifische Energiebedarf aus dem Reziprokwert der Energieeffizienz (3), wie folgt

$$E_C = \frac{1}{E_{\text{eff}}} = \frac{E_E}{W_L} \quad (3)$$

wobei

E_C Spezifischer Energiebedarf des Prozesses (Förderung);

E_E Energiebedarf (Input);

W_L Logistischer Ertrag (Output).

Für eine gültige Bestimmung des spezifischen Energiebedarfs ist es wesentlich, geeignete repräsentative Arbeitsspiele zu definieren. Es müssen die für den Einsatz entsprechenden realen Lastverhältnisse (Volllast, Teillast, Leerlauf) berücksichtigt werden. Eine reine Nennpunkt Betrachtung ist in den meisten Fällen nicht ausreichend [8]. Eine nähere

Betrachtung des Logistischen Ertrags, im Bereich der Fördertechnik, legt einerseits die Normierung auf einen Meter Förderstrecke und andererseits die Fallunterscheidung Stückgut (Ladungseinheit) bzw. Schüttgut (Masse) nahe. Damit ergeben sich die beiden nachfolgenden Energieeffizienz-Kennzahlen (4), (5).

$$E_{C/(LU,s)} = \frac{E_E}{W_L} = \frac{\sum_{i=1}^n P_i \cdot t_i}{\Lambda_N \cdot L_F \sum_{i=1}^n \lambda_i \cdot t_i} \left[\frac{Ws}{LU \cdot m} \right] \quad (4)$$

$$E_{C/(M,s)} = \frac{E_E}{W_L} = \frac{\sum_{i=1}^n P_i \cdot t_i}{\Lambda_N \cdot M_N \cdot L_F \sum_{i=1}^n \lambda_i \cdot t_i \cdot m_i} \left[\frac{Ws}{kg \cdot m} \right] \quad (5)$$

wobei

P_i, t_i Leistungs- bzw. Zeitanteil des Arbeitsspielanteils i ;

L_F Länge des Förderers;

Λ_N, M_N gesamter Durchfluss bzw. gesamte Masse des Arbeitsspiels;

λ_i, m_i relativer Durchfluss bzw. relative Masse des Arbeitsspielanteils i .

Zur Vergleichbarkeit der Ergebnisse der Effizienzkennzahlen war es unerlässlich, einerseits den Ablauf und die Einzelschritte, andererseits die spezifischen Messbedingungen eindeutig festzulegen [9], [10].

4. Conclusio

Die Logistik befindet sich in einem rasanten Wandel. Treiber sind unter anderem Unternehmen des Online-Handels, wie auch der Produktion, auf ihrem Weg zur Industrie 4.0 und zunehmend die Gesellschaft, einmal als Endverbraucher, aber auch als umweltbewusster Bürger.

Die Logistik antwortet mit Lösungen und Innovationen entlang der Wertschöpfungskette vom Rohprodukt bis zum Endverbraucher, ermöglicht durch technische Entwicklungen, durch Informations- und Kommunikationstechnologi-

en und neue Geschäftsmodelle wie Multi-Channel-Distribution. Viele dieser Innovationen finden mehr oder weniger von der Öffentlichkeit unbeachtet statt, wie die Beispiele zeigen, führen dennoch ebenso zu Verbesserungen im Sinne der oben genannten Anforderungen.

Open Access This article is distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided you give appropriate credit to the original author(s) and the source, provide a link to the Creative Commons license, and indicate if changes were made.

Literatur

1. Baumgarten, H.: Das Beste in der Logistik – Auf dem Weg zu logistischer Exzellenz, Berlin (u.a.): Springer, 2008, S. 14
2. Scheffler, M.; Pajer, G.; Kurth, F.: Grundlagen der Fördertechnik, Berlin (u.a.): VEB Verlag Technik, 1975
3. Haberer, C.; Landschützer, C.; Wolfschluckner, A.: Auslegung und Simulation eines Kettenfahrwerkes, in: Schlecht, B. (Hrsg.): Dresdner Maschinenelemente-Kolloquium, Dresden: TUD-press, 2015, S. 631–641
4. Landschützer, C.; Jodin, D.: Knowledge-based methods for efficient material handling equipment development, in: MHIA (Hrsg.) Progress in Material Handling Research 2012 – International Material Handling Research Colloquium, Gardanne: Eigenverlag, 2012
5. MSC Software (Hrsg.): Adams/Flex & Adams/Viewflex, <http://www.mscsoftware.com/de/product/adams> (08.02.2016)
6. Günthner, W. A.: Change to Green, Wege zu einer energieeffizienten Logistik, in: 1. Symposium Energieeffizienz und Klimawandel – C.L.I.M.A.T.E., München: Eigenverlag, 2009
7. VDI 4707 Teil 1, Aufzüge – Energieeffizienz, in: VDI-Handbuch Technische Gebäudeausrüstung, Band 5: Aufzugstechnik, Düsseldorf: Beuth, 2009
8. Hafner, N.; Lottersberger, F.: Messsystem zur Verbesserung der Energieeffizienz in automatisierten Materialflussanlagen, in: 3. Tagung Innovation Messtechnik, Wien: Eigenverlag, 2013, S. 8–13
9. Hafner, N.; Lottersberger, F.: Energy Efficiency in Material Flow Systems (effMFS), in: FME Transactions Volume 40 No 4, Belgrad: Eigenverlag, 2012, S. 181–186
10. Lottersberger, F.; Hafner, N.; Jodin, D.: Efficiency indicators for benchmark and improvement of energy efficiency on automated material flow systems, in: 22nd International Conference on Manufacturing Systems, ICMaS 2013, Bukarest: Eigenverlag 2013