

## Energiebedarfsermittlung in der Grobplanungsphase

Welche Ansätze eignen sich?

***Innerhalb eines Forschungsprojekt<sup>1</sup> werden am Lehrstuhl für Fördertechnik Materialfluss Logistik (fml) der Technischen Universität München Möglichkeiten untersucht, wie der Energiebedarf bei der Planung von intralogistischen Systemen berücksichtigt werden kann. Neben verschiedenen Fördermittel sollen auch die Auswirkungen der unterschiedlichen Betriebsstrategien auf den Energiebedarf abgebildet werden.***

Steigende Strompreise, gesetzliche Vorgaben bzgl. Energieeffizienz und ein verstärktes öffentliches Interesse an Nachhaltigkeit rücken das Thema „Energieeffizienz“ auch bei Planern, Herstellern und Betreibern von intralogistischen Anlagen immer stärker in den Fokus. Aktuell gehen zahlreiche Experten und Institute von deutlich steigenden Strompreisen aus. Ein erster Eingriff der Gesetzgebung sind z. B. die Vorgaben von Mindestwirkungsgraden bei Motoren [1]. Die Hersteller sind bereits mit Kundenforderungen konfrontiert, die eine vertragliche Fixierung des erwarteten jährlichen Energiebedarfs betreffen. Eine Grundvoraussetzung, um künftig verstärkt energieeffiziente Lösungen einsetzen zu können, ist die Kenntnis der Höhe des Energiebedarfs der geplanten Anlage.

### **Einflussgrößen auf den Energiebedarf**

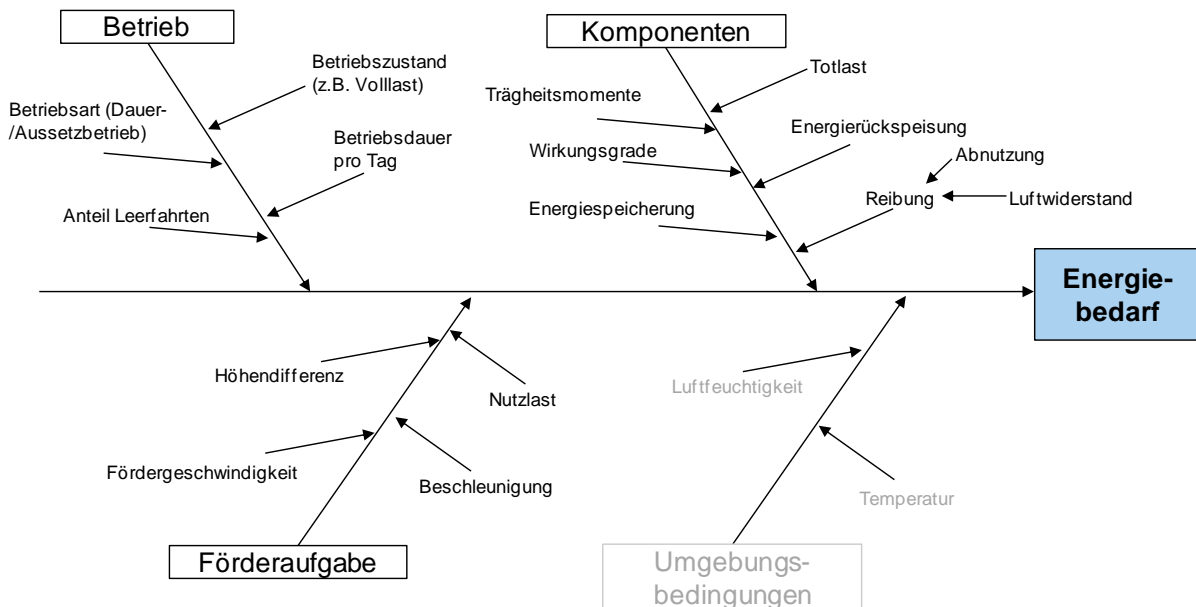
Im ersten Schritt der Untersuchung werden die Einflussgrößen auf den Energiebedarf bestimmt. Sie lassen sich folgenden Gruppen zuordnen (Bild 1):

- Betrieb,
- Komponenten,
- Förderaufgabe und
- Umgebungsbedingungen.

Zu den Umgebungsbedingungen ist anzumerken, dass diese lediglich die Höhe des Luftwiderstands bestimmen und somit nur für einige Fördermittel von Bedeutung sind, beispielsweise für Regalbediengeräte (RBG). *Voß* und *Verl* [2] berichten von einem Anteil des Luftwiderstands von unter 5 % an der Leistungsaufnahme bei der Konstantfahrt eines Paletten-RBG.

---

<sup>1</sup> Das IGF-Vorhaben 17168 N/1 „Erweiterte Logistiksystemplanung unter Einbeziehung des Energieverbrauchs“ der Forschungsvereinigung Bundesvereinigung Logistik (BVL) e. V. wird über die AiF im Rahmen des Programms zur Förderung der Industriellen Gemeinschaftsforschung und -entwicklung (IGF) vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert.



**Bild 1: Ursache-Wirkung-Diagramm zum Energiebedarf**

Nicht dargestellt im Ursache-Wirkung-Diagramm ist der Einfluss der Planung auf den Energiebedarf. Durch die Planung werden die Förderaufgabe, die Komponentenauswahl sowie die Betriebsweise bestimmt. Somit handelt es sich bei der Planung um den bedeutendsten Stellhebel bei der Energieeffizienzsteigerung.

### Ansätze zur Ermittlung des Energiebedarfs

Prinzipiell kann der Energiebedarf gemessen, berechnet (analytisch oder simulativ) oder geschätzt werden (Bild 2). Beim Schätzen wird der Energiebedarf auf der Basis von Annahmen und Erfahrungswerten ungefähr bestimmt. Eine Möglichkeit ist die Verwendung der Nennleistung der eingesetzten elektrischen Antriebe. Dieser Ansatz wird u. a. im Rahmen einer Wirtschaftlichkeitsanalyse zur Ermittlung der Energiekosten genutzt. Ein Beispiel für Stetigförderer (Rollen- und Bandförderer) ist bei *Furmans et al.* [5] zu finden

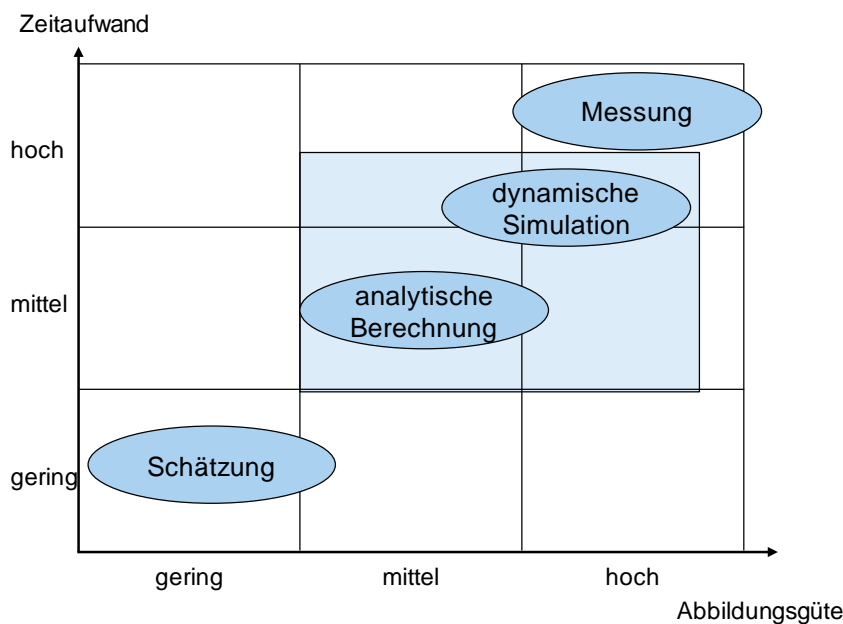
Der Energiebedarf von Fördermitteln kann auch mithilfe analytischer Formeln bestimmt werden. Ein möglicher Berechnungsansatz ist die mechanische Energiebetrachtung unter Berücksichtigung von Wirkungsgraden, der auch für die Bestimmung der benötigten Antriebsleistung der Fördermittel eingesetzt wird. Hierbei wird im ersten Schritt die für die Durchführung der Förderaufgabe benötigte mechanische Arbeit berechnet. Durch die zusätzliche Berücksichtigung der Wirkungsgrade der verschiedenen Komponenten der Fördermittel ergibt sich in Summe die benötigte elektrische Arbeit – der Energiebedarf.

Mithilfe von Simulationsverfahren zur Ermittlung des Energiebedarfs können dynamische Aspekte berücksichtigt werden. Ein Beispiel für dynamische Einflussgrößen ist die Abhängigkeit des Wirkungsgrades der elektrischen Antriebe vom Motordrehmoment sowie von der Motordrehzahl. Des Weiteren lassen sich mithilfe der Simulation verschiedene Bewegungsabläufe ohne großen Aufwand abbilden. Der Energiebedarf kann sowohl durch die Ablaufsimulation als auch durch die Implementierung von mechatronischen Modellen von Maschinen oder Anlagen bestimmt werden.

Mit der Ablaufsimulation lässt sich die mechanische Arbeit durch die Berücksichtigung der Masse von Transportmitteln und Transporteinheiten vergleichsweise einfach ermitteln [6]. Für die Bestimmung der elektrischen Arbeit (= Energiebedarf) wird jedoch zusätzlich ein Wirkungsgrad-Kennfeld der jeweiligen untersuchten Fördermittel benötigt [6].

Die Simulation eignet sich auch für die detaillierte Abbildung des mechatronischen Verhaltens von Maschinen und Anlagen. Sie untersucht das mechanische Verhalten, um beispielsweise Schwingungen bei der Beschreibung des Bewegungsverlaufs zu berücksichtigen. Als Beispiel für die Untersuchung des Energiebedarfs von Fördermitteln mithilfe der Simulation dient Günthner et al. [7] ein Regalbediengerät (RBG). Das Simulationsmodell wird vor allem zur Untersuchung der Auswirkungen von Geräteparametern und Betriebsstrategien auf den Gesamtenergiebedarf genutzt.

Der Bedarf an elektrischer Energie kann mit einem geringen Aufwand, mit einer hohen Genauigkeit und einer geringen Fehleranfälligkeit gemessen werden [8]. Eine Möglichkeit, die durch Messen erzielten Ergebnisse in der Planungsphase einzusetzen, ist die Sammlung dieser Daten. Als ein Beispiel können die nach der Richtlinie VDI 2198 [9] genormten Typenblätter für Flurförderzeuge angegeben werden. In dieser Richtlinie wird der Energieverbrauch unterschiedlicher Flurförderzeuge anhand eines definierten Zyklus gemessen. Gründe für die Verwendung der Messmethode sind die hohe Verbreitung der Flurförderzeuge sowie die Tatsache, dass der Zyklus als repräsentativ angesehen wird.



**Bild 2: Ansätze zur Ermittlung des Energiebedarfs (in Anlehnung an [3,4])**

### Werkzeuge zur Ermittlung des Energiebedarfs

Neben den Ansätzen zur Ermittlung des Energiebedarfs wurden verschiedene geeignete Berechnungstools, die am Markt erhältlich sind, recherchiert und beurteilt. Prinzipiell können die Tools den Anlagen- und Komponentenebenen zugeordnet werden. Zu den Werkzeugen, die eine Ermittlung des Energiebedarfs auf Anlagen-ebene ermöglichen, gehört die Simulation. Beispielsweise wirbt das Materialfluss-

Simulationsprogramm WirthSim [10] mit der Möglichkeit zum Aufzeigen der Spitzenlasten sowie zur Ermittlung der Energiekosten. Das Institut Inpro beschreibt die Verwendung des Simulators Plant Simulation in Kombination mit dem VDA-Automotive-Bausteinkasten zur Energiebedarfsermittlung [11].

Auf Komponentenebene bieten sog. Projektierungswerkzeuge verschiedener Antriebssystemhersteller die Möglichkeit, auch den Energiebedarf verschiedener Fördermittel zu bestimmen. Dazu gehört beispielsweise das Tool Drive Solution Designer von Lenze. Der Energiebedarf wird mithilfe der mechanischen Energiebetrachtung unter Berücksichtigung von Verlusten berechnet. Der Einsatz des Tools ermöglicht u. a. eine Energiebedarfsbestimmung von Ketten-, Rollen- und Gurtförderern (Stück- und Schüttgut) sowie von Hebezeugen. Zu berücksichtigen ist jedoch, dass detaillierte Eingangsinformationen, wie z. B. die Auswahl eines Motor- und Getriebetyps, benötigt werden.

Bei der Untersuchung der Eignung der einzelnen Tools für den Einsatz in der Grobplanungsphase muss der Zielkonflikt zwischen dem Kenntnisstand des Planers und den benötigten Eingangsinformationen zur Berechnung berücksichtigt werden. Beim Einsatz der Simulationswerkzeuge zur Energiebedarfsermittlung muss oftmals vom Nutzer die zustandsabhängige Leistung der untersuchten Geräte angegeben werden, die aber in den meisten Fällen unbekannt ist. Die Verwendung der Projektierungswerkzeuge zeigt, dass der Anwender der Tools eine große Anzahl von Input-Parametern festlegen muss, die dem Logistiksystemplaner häufig unbekannt sind. Die Ursache liegt darin, dass diese Parameter entweder erst in einer späteren Planungsphase fixiert werden oder die Festlegung kein Teil der Logistikplanung ist. Ein Beispiel für letzteres ist die Dimensionierung des Antriebssystems, die vom Förderer-technikanbieter oder vom Antriebssystemhersteller vorgenommen wird.

## **Zusammenfassung und Ausblick**

Im Beitrag werden verschiedene Einflussgrößen auf den Energiebedarf von intralogistischen Systemen vorgestellt sowie unterschiedliche Ansätze und Tools zur Ermittlung des Energiebedarfs beschrieben. Die am Markt bereits erhältlichen Tools sind für den Einsatz in der Grobplanungsphase jedoch ungeeignet, da die dafür benötigten Parameter noch nicht bekannt sind. Innerhalb des laufenden Forschungsprojekts soll deshalb ein praxistaugliches Tool zur Energiebedarfsermittlung in der Grobplanungsphase erarbeitet werden.

## **Literatur**

[1] Verordnung (EG) Nr. 640/2009 der Kommission zur Durchführung der Richtlinie 2005/32/EG des Europäischen Parlaments und des Rates im Hinblick auf die Festlegung von Anforderungen an die umweltgerechte Gestaltung von Elektromotoren.

[2] Voß, M.; Verl, A.: Konzepte zur energieeffizienten Steuerung von Regalbediengeräten. In: Brecher, C.: Ressourceneffiziente Produktion. Düsseldorf: VDI-Verlag 2012.

- [3] *Schönung, F.*: Green Logistics – Bedeutung für die Intralogistik. Vortrag auf dem 4. Logistikkongress Baden-Württemberg, Stuttgart, 10. November 2011.
- [4] *Rall, B.*: Analyse und Dimensionierung von Materialflußsystemen mittels geschlossener Warteschlangennetze. Karlsruhe: TH Karlsruhe, Dissertation 1998.
- [5] *Furmans, K.*; Mayer, S.; *Berbig, D.*; *Stryja, C.*: Entwicklung eines flexiblen Fördersystems auf Basis baugleicher Einzelmodule. [http://www.bvl.de/misc/filePush.php?mimeType=application/pdf&fullPath=http://www.bvl.de/files/441/481/522/578/Schlussbericht\\_15732.pdf](http://www.bvl.de/misc/filePush.php?mimeType=application/pdf&fullPath=http://www.bvl.de/files/441/481/522/578/Schlussbericht_15732.pdf); zuletzt geprüft am 06.12.2012.
- [6] *Schmidt, T.*; *Schulze, F.*: Simulationsbasierte Entwicklung energieeffizienter Steuerungsstrategien für Materialflusssysteme. Logistics Journal: Proceedings, Vol. 07 (2011).
- [7] *Günthner, W. A.*; *Schipplick, M.*; *Ertl, R.*; *Hahn-Woernle, P.*: Wettbewerbsfaktor Energieeffizienz – Teil I; Simulationsmodell für Entwicklung und Betrieb von automatischen Regalbediengeräten. f+h Report, Mainz (2011).
- [8] Bundesamt für Konjunkturfragen: Strom rationell nutzen. Zürich: vdf Verlag der Fachvereine an den schweizerischen Hochschulen und Techniken 1992. <http://www.energie.ch/phocadownload/HANDBUCH.pdf>; zuletzt geprüft am 06.12.2012.
- [9] Richtlinie VDI 2198 Typenblätter für Flurförderzeuge. Berlin: Beuth-Verlag 2002.
- [10] WirthLogistik GmbH: Übersicht WIRTHSIM. [http://www.wirthsim.com/cms/upload/downloads/Short\\_WirthSim\\_v1.4.2\\_german.pdf](http://www.wirthsim.com/cms/upload/downloads/Short_WirthSim_v1.4.2_german.pdf); zuletzt geprüft am 06.12.2012.
- [11] *Berger, U.*; *Wolff, D.*; *Kulus, D.*: Einsatz digitaler Techniken zur Steigerung der Energieeffizienz in der Automobilindustrie. Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb, München 107 (2012) 9, S. 587-590.

## **Autoren**

Dipl.-Ing. Sebastian Habenicht ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am Lehrstuhl Fördertechnik Materialfluss Logistik (fml) der Technischen Universität München

Prof. Dr.-Ing. Dipl.-Wi.-Ing. Willibald A. Günthner ist Inhaber des Lehrstuhls Fördertechnik Materialfluss Logistik (fml) der Technischen Universität München