

# Energieeffizienz für Regalbediengeräte: Entwicklung einer Bewertungsmethodik

In einem neuen Forschungsprojekt an der Technischen Universität München wird zurzeit eine Bewertungsmethodik für die Klassifizierung der Energieeffizienz von Regalbediengeräten entwickelt. Diese Methode soll insbesondere den Vergleich von Geräten unterschiedlicher Bauart ermöglichen.

## Einleitung

Die Kombination aus politischen Entscheidungen, ökonomischen und ökologischen Aspekten sowie Marketingstrategien rücken die Energieeffizienz stärker in den Fokus. Insbesondere im Bereich der automatisierten Intralogistik werden viele Ansätze zur Verbesserung der Effizienz untersucht, weil diese Systeme großes Optimierungspotenzial bieten. Regalbediengeräte (RBGs) zählen wegen ihres weit verbreiteten Einsatzes zu den wichtigen Fördermitteln in der Intralogistik und haben gleichzeitig hohe Anschlussleistungen. Gerade deswegen ist hier mit effizienteren Geräten auch ein finanzieller Vorteil erzielbar. Vom Gesetzgeber werden durch Reglementierungen, wie der „Öko-Design-Richtlinie“ [Eur-2009], bzw. ihrer jeweiligen Umsetzung in den Ländern, Rahmenbedingungen für die Umsetzung von Energieeffizienzmaßnahmen geschaffen. Auch wegen steigender Energiepreise sind sowohl Hersteller als auch Betreiber angehalten Verbesserungen der Energieeffizienz umzusetzen.

Mit der Energieeffizienzbewertung von RBGs befasst sich das aktuelle Forschungsprojekt „Entwicklung einer Bewertungsmethodik für die Energieeffizienz von RBGs“ am Lehrstuhl für Fördertechnik Materialfluss Logistik (fml) der TU-München. In diesem Projekt erfolgt eine umfassende Untersuchung und Bewertung von Möglichkeiten die Energieeffizienz verschiedener RBG Bauarten zu untersuchen. Für einen objektiven Vergleich ist neben dem Energiebedarf auch eine Bewertung des Nutzens wichtig. Auf dem Gebiet der Energiebedarfsermittlung von RBGs sind schon einige Forschungsarbeiten entstanden, allerdings sind viele Bauvarianten noch nicht ausreichend untersucht worden. Unter Nutzen kann man im weitesten Sinne den logistischen Nutzen für den Betreiber verstehen. Fördermittelgeber des Projekts ist die Bundesvereinigung Logistik im Rahmen der Allianz Industrieforschung und des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie (Forschungsvorhaben 18839N). Das Forschungsprojekt hat eine Laufzeit von zwei Jahren und findet in Zusammenarbeit mit mehreren Herstellern und Betreibern von RBGs und Hochregallagern statt.

Energieeffizienzklassen, wie sie aktuell bei Hausgeräten Verwendung finden, verzichten weitestgehend auf den

Vergleich zwischen Energiebedarf und Nutzen. Bei ihnen wird der Energiebedarf eines Gerätes mit dem Bedarf eines fiktiven Referenzgerätes verglichen. Diese Art der Bewertung wird nicht angestrebt, weil sie keinen objektiven Vergleich zwischen Geräten verschiedener Bauart erlaubt.

Eine Effizienzbewertung, die Energiebedarf und Nutzen vergleicht, wird bereits bei Glühbirnen verwendet. Bei diesen wird die Lichtausbeute mit ihrer elektrischen Leistungsaufnahme verglichen. Eine differenziertere Bewertung findet auch bei Luftfiltern statt, deren Klassifizierung findet nach [ECC-RS4] auf Basis der [DIN-779] statt.

Aus dem Ordnungsschema von RBGs in Abbildung 1, lässt sich die Vielzahl der Bauvarianten ableiten. Wichtige Merkmale sind neben dem Ladehilfsmittel bzw. der Ladung, die Bauart des Lastaufnahmemittels, die Art der Bremsenergienutzung und die Lagertiefe. Bezieht man die restlichen Merkmale mit ein, dann entsteht eine enorme Variantenvielfalt. In Expertengesprächen wurde bestätigt: RBGs werden kundenspezifisch gefertigt und ihre Vielfalt ist eine der größten Herausforderungen einer einheitlichen Bewertungsmethodik. Hinzu kommt eine große Anzahl von Sonderbauformen. Gerade im Schwerlastbereich, oder im Bereich von Lasten mit sehr großem Volumen, sind solche Sondergeräte zu finden.

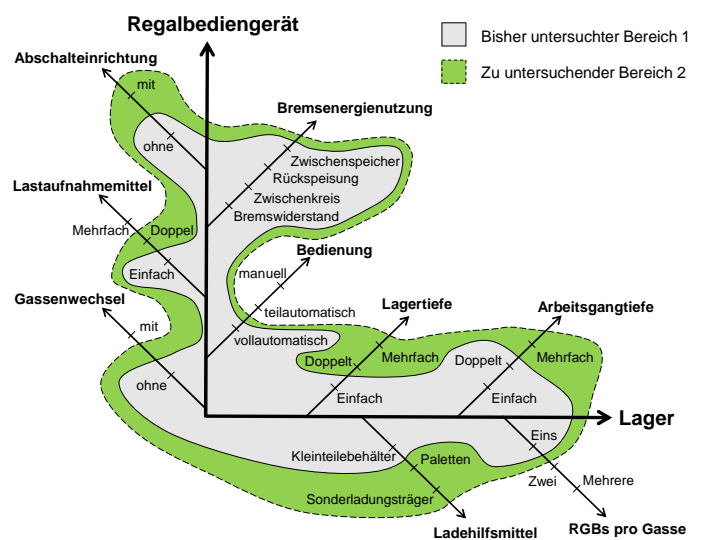


Abbildung 1 Bauformvariation in automatischen Hochregallagern (Abbildung nach [Boy-2016])

In Abbildung 1 sind verschiedene physikalische Merkmale mit ihren Ausprägungen dargestellt. Bereich 1 zeigt den Bereich der bei bisherigen Untersuchungen des Energiebedarfs berücksichtigt wurde. Die wichtigsten im Forschungsprojekt zu untersuchenden Konfigurationen von RBGs und Lagern sind im Bereich 2 dargestellt. Optional zu untersuchende Konfigurationen sind im verbleibenden weißen Bereich zu sehen.

## Stand der Forschung

Lerher *et al.* haben 2013 eine erste Möglichkeit für eine Bewertung der Energieeffizienz von RBGs vorgestellt [Ler-2013]. Sie präsentieren einen Vergleich zwischen dem Durchsatz an Lagergut und dem Energiebedarf bzw. in weiterer Folge dem CO<sub>2</sub> Ausstoß. Bei einem solchen Vergleich ist es allerdings nicht möglich, Geräte mit unterschiedlichen Lagergrößen oder unterschiedlichen Massen des Lagergutes zu vergleichen. Gerade RBGs in kleinen Lagern, die nur leichte Güter transportieren, würden hier automatisch als die effizientesten Geräte gelten. Dies widerspricht dem Konzept einer vergleichenden Bewertung.

Eine weitere Arbeit, die sich mit der Energieeffizienz von Fördermitteln in der Intralogistik befassen, ist von Lottersberger und Jodin verfasst worden [Lot-2015]. In diesem Artikel präsentieren sie den Begriff des „logistischen Ertrages“ – dieser berücksichtigt zusätzlich zum Durchsatz noch die bewegte Masse des Transportgutes. Den Vergleich aus logistischem Ertrag und Energiebedarf benutzen sie für eine Bewertung von Stetigförderern. Die Betrachtung bei verschiedenen Betriebszuständen – Volllast, Teillast, Leerlauf und Standby-Betrieb – entspricht mehr dem Betrieb in einer Realanlage. Dieses Thema hat Lottersberger in seiner Dissertation [Lot-2016] weiter untersucht.

Das hier vorgestellte Forschungsprojekt baut maßgeblich auf der Dissertation von Ertl [Ert-2016] an der TUM auf. In der Dissertation wird aufgezeigt, dass eine geeignete Nutzenkennzahl den Vergleich zwischen verschiedenen RBGs ermöglicht. Diese Nutzenkennzahl enthält neben dem Durchsatz auch die Lagergröße und die Masse des einzulagernden Gutes. Zusätzlich wurden die in Abbildung 2 mit A bis E dargestellt repräsentativen Fachpositionen vorgestellt. Auf Basis dieser fünf Fachanfahrten lässt sich der mittlere Energiebedarf eines Einzelspiels, für eine große Zahl verschiedener Geräte, zuverlässig ermitteln.

Mit repräsentativen Fächern hat sich auch Braun in ihrer Dissertation [Bra-2016] am Karlsruher Institut für Technologie beschäftigt. Die Dissertation befasst sich mit der Bestimmung des Energiebedarfs von RBGs durch Messungen. Im Rahmen dieser Arbeit entstand ein Referenzzyklus, der die Bestimmung des mittleren Energiebedarfs mit Hilfe eines Fahrzyklus ermöglicht. In Abbildung 2 ist dieser Fahrzyklus qualitativ mit den Bewegungen 1 bis 6 dargestellt.

Die Positionen A-E in Abbildung 2 sind exakt angeordnet – die Fahrbewegungen 1 bis 6 sind hingegen nur schematisch dargestellt.

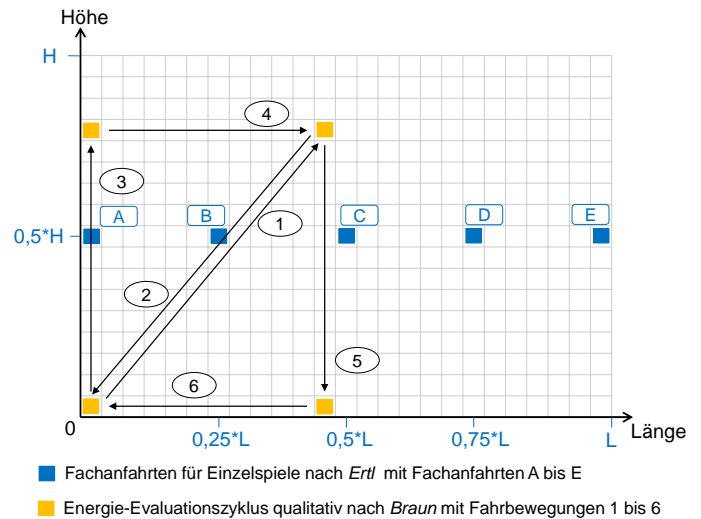


Abbildung 2 Fachanfahrten für den mittleren Energiebedarf der Lagerfront; vgl. [Ert-2016, S. 166] und [Bra-2016, S. 171]

In verschiedenen weiteren Arbeiten wurden repräsentative Fachanfahrten oder Referenzzyklen nicht nur hinsichtlich des Energiebedarfs untersucht. Die Arbeit von Azzi *et al.* [Azz-2011] befasst sich mit der Ermittlung der mittleren Spielzeit. In dieser werden, auf Basis von Monte Carlo Simulationen, Untersuchungen zur Bestimmung von repräsentativen Fachanfahrten gezeigt. Es konnten die aus der FEM 9.851 [FEM-9851] bekannten repräsentativen Fahrten, um Neue erweitert werden. Damit kann die Berechnungsmethode aus der FEM auch bei Geräten mit Doppel-Lastaufnahmemittel und den damit verbundenen Vierfach-Spielen verwendet werden.

## Projektziele und Fortschritt

Aus dem Stand der Forschung ergeben sich einige Forschungslücken, die in diesem Projekt geschlossen werden sollen. Das Hauptziel ist die von Ertl erarbeitete Ermittlung einer Nutzenkennzahl für AKL auf andere RBG Bauarten zu erweitern. Hierbei sollen insbesondere Paletten RBGs, die Verwendung von Mehrfach-LAM und Lager mit Mehrfachtiefer Lagerung betrachtet werden.

Auf Basis einer Literaturrecherche und von Expertengesprächen wurden Anforderungen und Inhalte einer Bewertungsmethodik ermittelt. Zentrale Anforderungen sind:

- die Abdeckung eines großen Spektrums von Regalbediengeräten,
- der quantifizierbare Vergleich durch die Gegenüberstellung von Nutzen und Energiebedarf,
- die Definition welche Geräte als RBG einzustufen sind,
- die Definition der elektrischen Verbraucher die dem RBG zuzuordnen sind,
- die Festlegung der Systemgrenze für die Kennzahlermittlung,
- Regelungen für den Umgang mit Sondergeräten,

- die Berücksichtigung unterschiedlicher Betriebszustände (Volllast, Teillast und Standby-Betrieb).

Danach wurden zunächst alle Einflüsse auf Energiebedarf und Nutzen eines RBG zusammengestellt. Nach der Bewertung der Einflüsse hinsichtlich mehrerer Kriterien stellte sich heraus, dass auf Grund der umfangreichen Wechselwirkungen zwischen den Einflüssen, kaum eine quantitative Bewertung möglich ist. Beispielsweise verändert sich das Einsparpotential beim Energiebedarf durch Nutzung einer Energierückspeisung mit den Fahrgeschwindigkeiten der Antriebe. Deswegen werden die Einflüsse mit qualitativen Methoden bewertet. Beispielsweise stellte sich hierbei heraus, dass folgende Konstruktionsparameter eines Regalbediengerätes großen Einfluss auf dessen Energiebedarf haben:

- die Einzelmassen der Komponenten eines RBG,
- die kinematischen Parameter der Fahrtriebe wie Beschleunigungen und Geschwindigkeiten,
- die Einzelwirkungsgrade der elektrischen und mechanischen Komponenten,
- die Nutzung der Bremsenergie.

Gleichzeitig wurde festgestellt, dass der Einfluss einiger Parameter, wie Schwingungsdämpfungsmaßnahmen oder Abschalteneinrichtungen, noch nicht ausreichend untersucht wurde.

Im nächsten Schritt soll ein Zyklus von Referenzfahrten entwickelt werden mit dessen Hilfe der repräsentative Energiebedarf eines RBG bestimmt werden kann. Die Bestimmung dieses repräsentativen Bedarfs soll einen Vergleich verschiedener Geräte vor der Realisierung einer Anlage möglich machen. Dabei sollen die in der Literatur recherchierten repräsentativen Fachfahrten um weitere ergänzt werden. Anschließend wird deren Eignung zur Bestimmung eines repräsentativen Energiebedarfs untersucht. Dafür werden Simulationsreihen durchgeführt und mittels statistischer Methoden in eine Datenbasis für künftige Messreihen übersetzt. Danach sollen die gewonnenen Erkenntnisse in eine Kennzahl übersetzt werden, die eine vergleichende Bewertung ermöglicht. Für diese Kennzahl werden abschließend geeignete Klassengrenzen festgelegt.

## Fazit

In diesem Forschungsprojekt werden umfangreiche Untersuchungen zur Bewertung der Energieeffizienz von RBGs gemacht. Die Bewertung erfolgt über den Vergleich von Nutzen und Energiebedarf. Die große Herausforderung bei der Entwicklung einer geeigneten Nutzenkennzahl und der Bestimmung des Energiebedarfs liegt in der Variantenvielfalt von RBGs in Hochregallagern. Die Bewertungsmethodik wird mit Hilfe von Simulationen und Messungen entwickelt.

## Förderhinweis

Gefördert durch Bundesministerium für Wirtschaft und Energie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages.

## Autoren

### Andreas Rücker, M.Sc.

ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am Lehrstuhl für Fördertechnik Materialfluss Logistik (fml) der TU München.

### Prof. Dr.-Ing. Johannes Fottner

ist seit 2016 Leiter des Lehrstuhls für Fördertechnik Materialfluss Logistik der Technischen Universität München.

Lebenslauf Prof. Fottner (Langversion):

*Nach seinem Studium „Maschinenwesen“ und seiner Promotion im Jahr 2002 an der TUM, arbeitete er von 2002 bis 2008 in verschiedenen Managementfunktionen bei der Schweizer Swisslog Gruppe. 2008 übernahm er die Geschäftsführung der MIAS Group. Im Verein Deutscher Ingenieure (VDI) ist er seit 2015 Landesverbandsvorsitzender Bayern und stellvertretender Vorsitzender der Fachgesellschaft Produktion und Logistik. In seiner Forschung beschäftigt er sich vorrangig mit neuen technischen Lösungen und Systemansätzen zur Optimierung logistischer Abläufe.*

## Literaturverzeichnis

- [Azz-2011] Azzi, A.; Battini, D.; Faccio, M.; Persona, A.; Sgarbossa, F.: Innovative travel time model for dual-shuttle automated storage/retrieval systems. In: Computers & Industrial Engineering, Jg. 61 (2011) Nr. 3, S. 600–607.
- [Boy-2016] Boysen, N.; Stephan, K.: A survey on single crane scheduling in automated storage/retrieval systems. In: European Journal of Operational Research, Jg. 254 (2016) Nr. 3, S. 691–704.
- [Bra-2016] Braun, M.: Entwicklung, Analyse und Evaluation von Modellen zur Ermittlung des Energiebedarfs von Regalbediengeräten. Dissertation. Institut für Fördertechnik und Logistiksysteme, Karlsruher Institut für Technologie, Karlsruhe, 2016.
- [DIN-779] Deutsches Institut für Normung: Partikel-Luftfilter für die allgemeine Raumlufttechnik – Bestimmung der Filterleistung. DIN EN Nr. 779, 2012.

- [ECC-RS4] Eurovent Certita Certification: Rating Standard for the Certification of Air Filters. ECC Nr. RS4/C/001-2015, 2015.
- [Ert-2016] Ertl, R.: Energiebedarfsermittlung und Energieeffizienzbewertung von Regalbediengeräten in automatischen Kleinteilelagern. Dissertation. Lehrstuhl für Fördertechnik Materialfluss Logistik, Technische Universität München, München, 2016.
- [Eur-2009] Europäisches Parlament: EG-Verordnung 640/2009 zur Durchführung der Richtlinie 2005/32/EG des Europäischen Parlaments und des Rates – 640/2009. Europäisches Parlament, 2009.
- [FEM-9851] Federation Europeenne de la Manutention: Leistungsnachweis für Regalbediengeräte - Spielzeiten. FEM Nr. 9851, 1997.
- [Ler-2013] Lerher, T.; Edl, M.; Rosi, B.: Energy efficiency model for the mini-load automated storage and retrieval systems. In: Advanced Manufacturing Technology (2013)
- [Lot-2015] Lottersberger, F.; Jodin, D.: Energieeffizienz im Materialfluss untersucht – Stetigfördertechnik stand im Fokus. In: F+H Fördern und Heben (2015) Nr. 1-2, S. 20–23.
- [Lot-2016] Lottersberger, F.: Beitrag zu einer energieeffizienten Materialflusstechnik - Grundlagen zur Ermittlung, zum Vergleich und zur Steigerung der Energieeffizienz. Dissertation. Institut für Technische Logistik, TU Graz, Graz, 2016.