

WISSEN • TECHNIK • LEIDENSCHAFT

TU  
Graz

**Forschungsansatz zur Bestimmung der Energieeffizienz von Fördermitteln der Intralogistik**

Logistikwerkstatt  
Graz, 24.-25.05.2018  
Andreas Rücker  
Lehrstuhl für Fördertechnik Materialfluss Logistik

► [www.tugraz.at](http://www.tugraz.at)

TUM

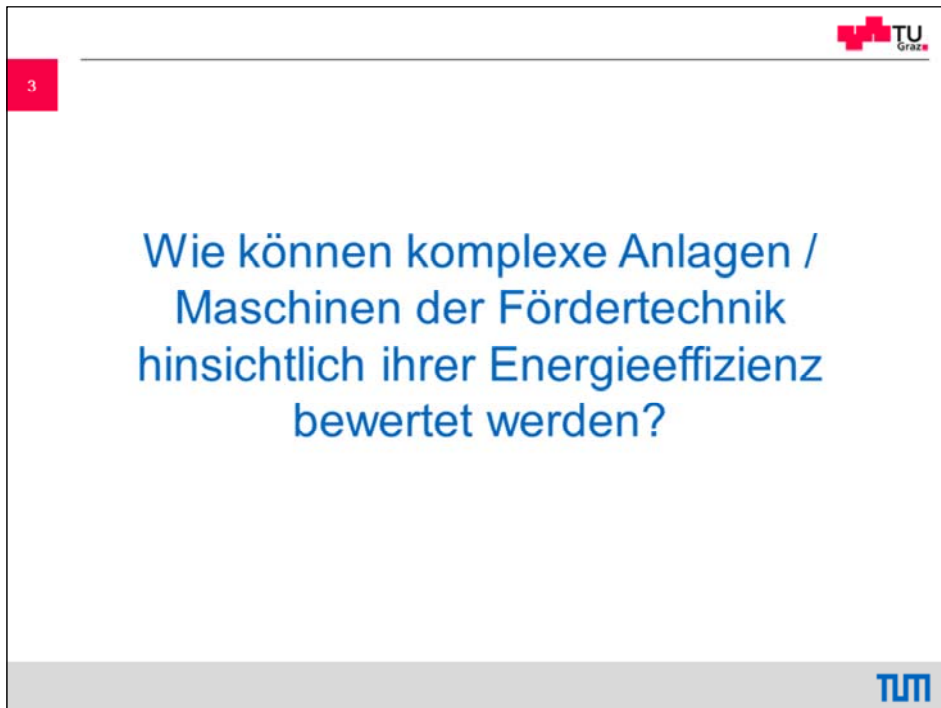
Dieser Vortrag befasst sich mit der aktuellen Fragestellung der Bestimmung der Energieeffizienz von Fördermitteln der Intralogistik. Der Vortrag entstand im Rahmen des Forschungsprojekts „Entwicklung einer Bewertungsmethodik für die Energieeffizienz von Regalbediengeräten“. Dieses Projekt wird gefördert durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages.



## Vortragender

Andreas Rücker, M.Sc.

Ich bin seit 2016 wissenschaftlicher Mitarbeiter am Lehrstuhl für Fördertechnik Materialfluss Logistik der Technischen Universität München. In meiner Forschung beschäftige ich mich hauptsächlich mit Energieeffizienz in der Intralogistik. Aktuell bearbeite ich das Forschungsprojekt „Entwicklung einer Bewertungsmethodik für die Energieeffizienz von Regalbediengeräten“.



3

Wie können komplexe Anlagen /  
Maschinen der Fördertechnik  
hinsichtlich ihrer Energieeffizienz  
bewertet werden?

TUM

Die Hauptfrage die ich in diesem Vortrag diskutieren möchte ist: Wie können komplexe Maschinen und Anlagen der Fördertechnik hinsichtlich ihrer Energieeffizienz bewertet werden? Die folgenden Folien sollen einen Einblick in dieses Thema geben und mögliche Antworten auf diese Frage aufzeigen. Ein möglicher Lösungsweg wird am Beispiel der Bewertung von Regalbediengeräten (RBG) aufgezeigt.

4

## Inhalt des Vortrags

1. Aktuelle Energieeffizienzklassifizierungen
2. Ansatz für allgemeine Energieeffizienzklassen für Fördermittel der Intralogistik
3. Forschungsprojekt „Energieeffizienzklassen für Regalbediengeräte“
4. Aktuelle Forschungsergebnisse aus dem Projekt
5. Ausblick auf die weitere Forschung in diesem Feld



1. Aktuelle Energieeffizienzklassifizierungen (EEK)  
Wie sehen EEK heute aus, was wird an ihnen kritisiert und welche Verbesserungsvorschläge gibt es?
2. Ansätze für allgemeine Energieeffizienzklassen für Fördermittel der Intralogistik  
Welche neuen Ansätze für EEK werden verfolgt?
3. Forschungsprojekt „Energieeffizienzklassen für Regalbediengeräte“  
Welche Inhalte werden im Forschungsprojekt bearbeitet?
4. Aktuelle Forschungsergebnisse aus dem Projekt  
Was gibt es für aktuelle Ergebnisse in diesem Projekt?
5. Ausblick auf die weitere Forschung in diesem Feld  
Welche Ergebnisse sind in der Zukunft zu erwarten?

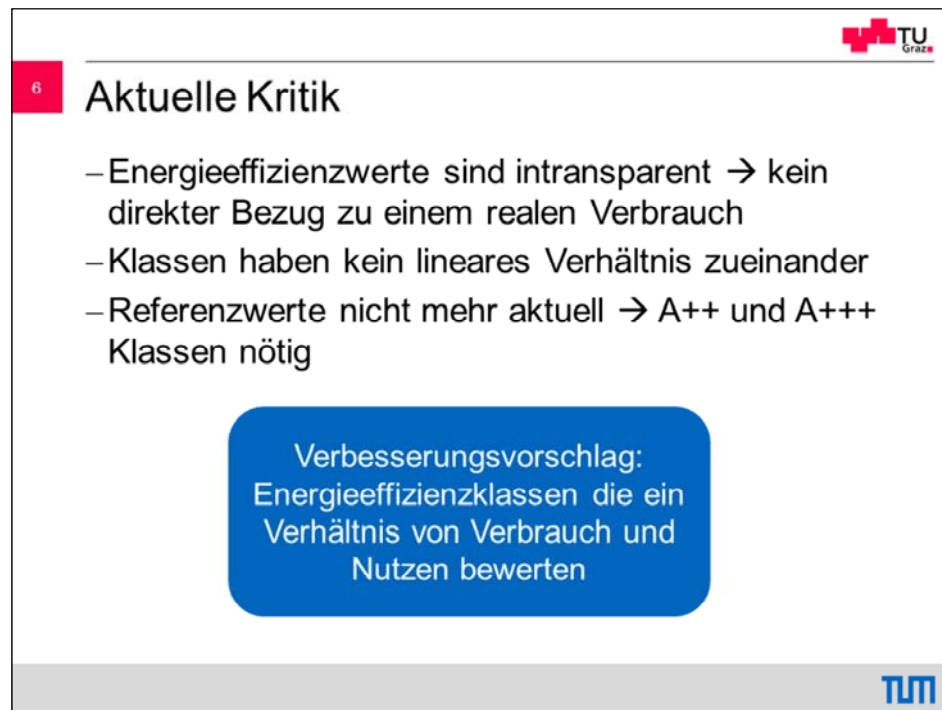
5

TU  
Graz

# Aktuelle Energieeffizienzklassifizierungen

TUM



In diesem Abschnitt werden aktuelle Energieeffizienzklassifizierungen und ihre Probleme vorgestellt. Diese Energieeffizienzklassifizierungen basieren häufig auf dem Vergleich des Energiebedarfs eines Gerätes, mit dem Energiebedarf eines fiktiven Referenzgerätes. Viele Bewertungen der sogenannten weißen Ware (Waschmaschinen, Kühlschränke, etc.) sind in dieser Art gestaltet.



6 **Aktuelle Kritik**

- Energieeffizienzwerte sind intransparent → kein direkter Bezug zu einem realen Verbrauch
- Klassen haben kein lineares Verhältnis zueinander
- Referenzwerte nicht mehr aktuell → A++ und A+++ Klassen nötig

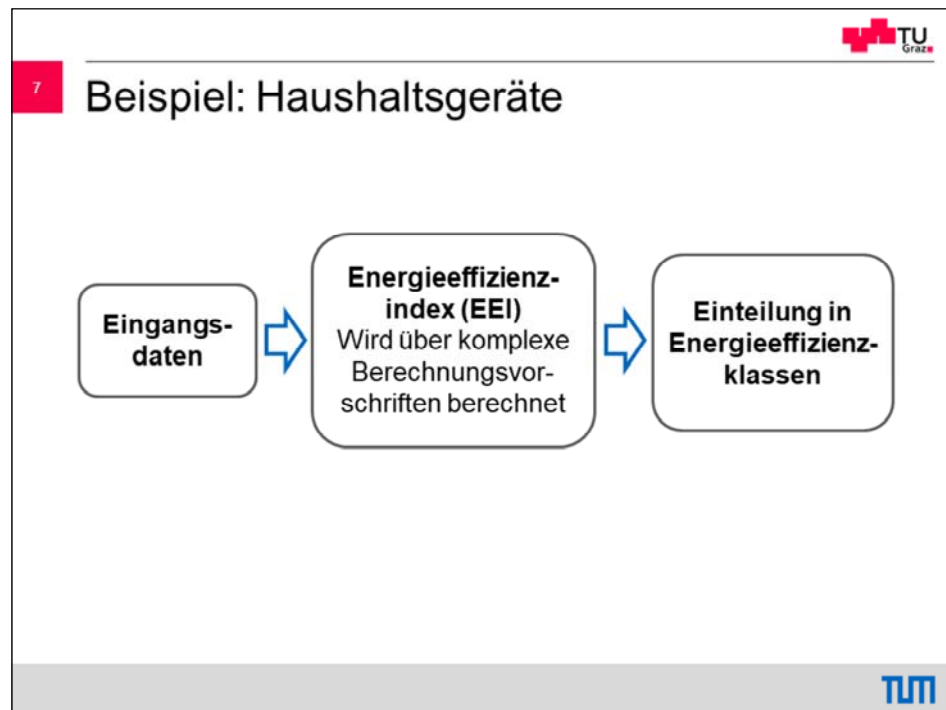
Verbesserungsvorschlag:  
Energieeffizienzklassen die ein  
Verhältnis von Verbrauch und  
Nutzen bewerten



Die heutigen Energieeffizienzklassen werden oft aus mehreren Gründen kritisiert. Ein Kritikpunkt ist dabei, dass aus der Klasse nicht direkt auf einen realen Verbrauch geschlossen werden kann. Das trifft für einige EEK zwar nicht zu, aber es ist trotzdem ein häufig vorgebrachter Kritikpunkt. Die Klassen weisen zudem kein lineares Verhältnis zueinander auf. Abhängig vom Gerätetyp, sind die Unterschiede im Verbrauch zwischen den einzelnen Klassen unterschiedlich groß.

Die Verbrauchswerte der fiktiven Referenzgeräte die als Vergleich dienen, sind nicht mehr aktuell. Problem bei Hausgeräten: Momentan fallen viele Geräte schon in den Bereich von A bis A+++. Dieser Umstand verschleiert für den Verbraucher die Tatsache das zwischen A+ und A++ oftmals noch eine Halbierung des Verbrauchs liegt. Die EU hat an dieser Stelle schon reagiert und hat die Grenzwerte der Klassen angepasst.

Ein bessere Lösung stellen Energieeffizienzklassen dar, deren Effizienz mit einem Vergleich von Verbrauch und Nutzen bewertet wird. Eine Bewertung dieser Art wird zum Beispiel schon bei Leuchtmitteln angewendet. Auch für Aufzüge findet eine Bewertung mit Hilfe von Nutzen und Energiebedarf statt. Aufzüge werden zusätzlich noch in verschiedene Nutzungsklassen eingeteilt. Die detaillierte Bewertung ist in der VDI 4707 Richtlinie [VDI-4707] festgelegt. Bei Aufzügen wird zusätzlich zwischen Betriebsphase und Stillstandsphase unterschieden.



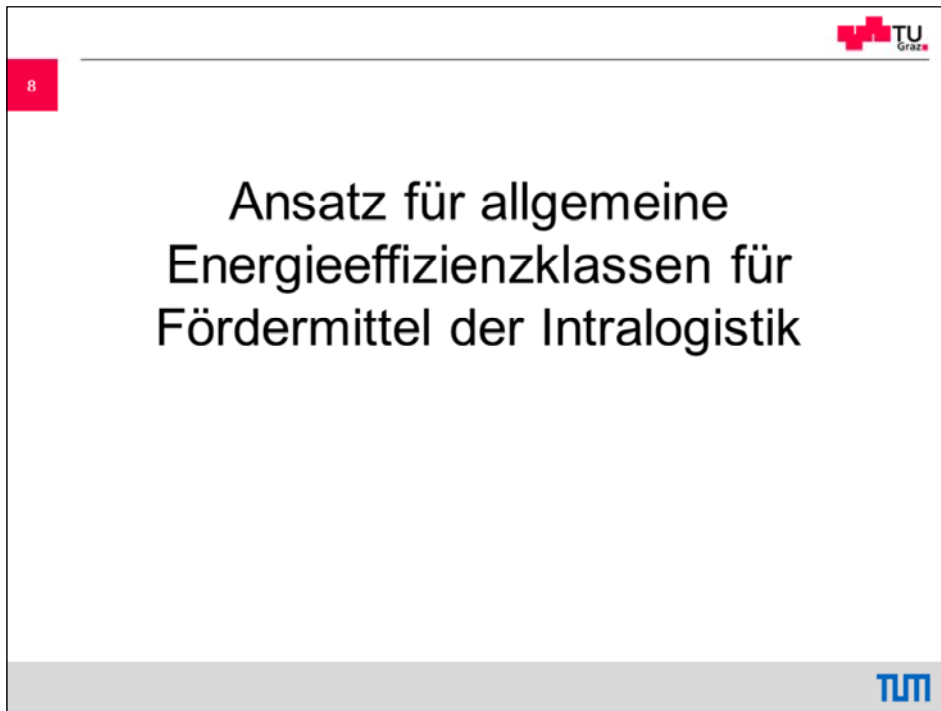
Bei Haushaltsgeräten erfolgt die Einteilung häufig über die Berechnung eines Energieeffizienzindex (EEI). Dieser Index wird auf Basis von komplexen Berechnungsvorschriften ermittelt. Mit Hilfe des EEI werden die Geräte dann in einzelne Klassen eingeteilt. Die Grenzwerte dieser Klassen sind jeweils in Richtlinien festgelegt.

Auf dem Energielabel, mit dem die Geräte gekennzeichnet werden müssen, sind noch weitere Informationen verzeichnet. Für einen Geschirrspüler sind unter anderem folgende Daten auf dem Label zu finden:

- Energieeffizienzklasse
- Energiebedarf pro Jahr (280 Standard Spülgänge)
- Wasserverbrauch pro Jahr (280 Standard Spülgänge)
- Menge an Geschirr (als Anzahl von Maßgedecken nach EN 50242) die er aufnehmen kann
- Angabe zur Geräusentwicklung

Die Kritik an den Energielabeln ist also nur zum Teil berechtigt. Die Angabe der Energieeffizienzklasse alleine lässt noch keine Aussage zum tatsächlichen Energiebedarf zu. Die Zusatzangaben ermöglichen allerdings eine realistische Einschätzung des tatsächlichen Bedarfs.

Die allgemeinen Rahmenbedingungen für diese Klassifizierungen sind in den EU Richtlinien und Verordnungen [Eur-2010, Eur-2017] festgeschrieben.



8

## Ansatz für allgemeine Energieeffizienzklassen für Fördermittel der Intralogistik

TUM

The slide features a white background with a red square containing the number '8' in the top-left corner. The title is centered in a large, black, sans-serif font. In the top-right corner, there is a red logo consisting of three squares forming a cross, with 'TU Graz' written next to it. In the bottom-right corner, the 'TUM' logo is displayed in blue. A horizontal line is positioned above the title, and a grey horizontal bar is located at the bottom of the slide area.

In diesem Abschnitt wird ein Forschungsansatz für allgemeine Energieeffizienzklassen in der Intralogistik vorgestellt.



9 Einleitung

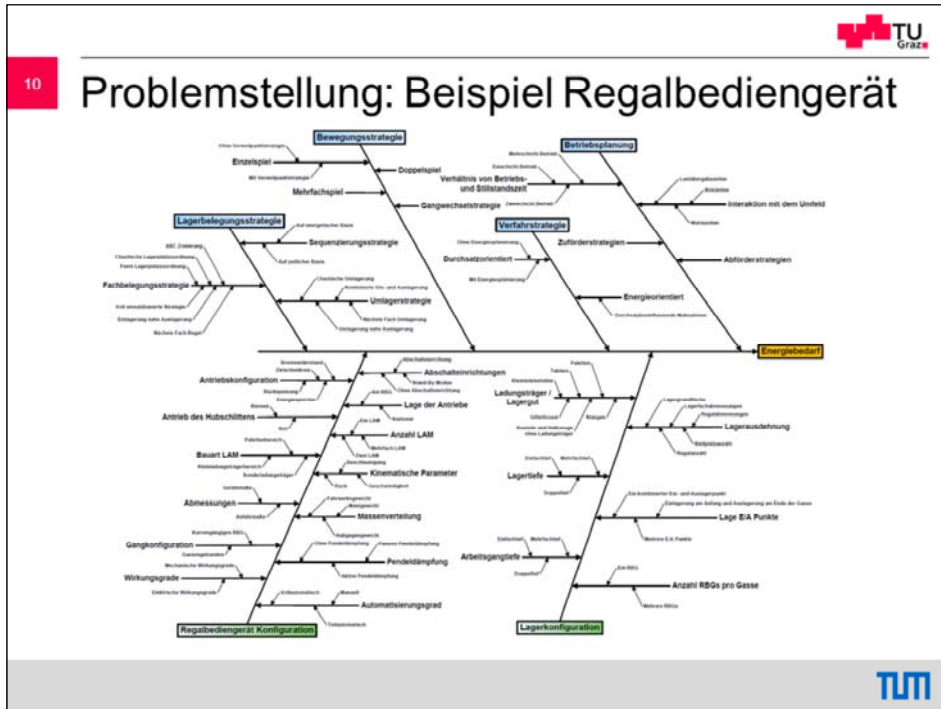
**Forschungsfrage**  
Wie können komplexe Anlagen / Maschinen der Fördertechnik ganzheitlich hinsichtlich ihrer Energieeffizienz bewertet werden?



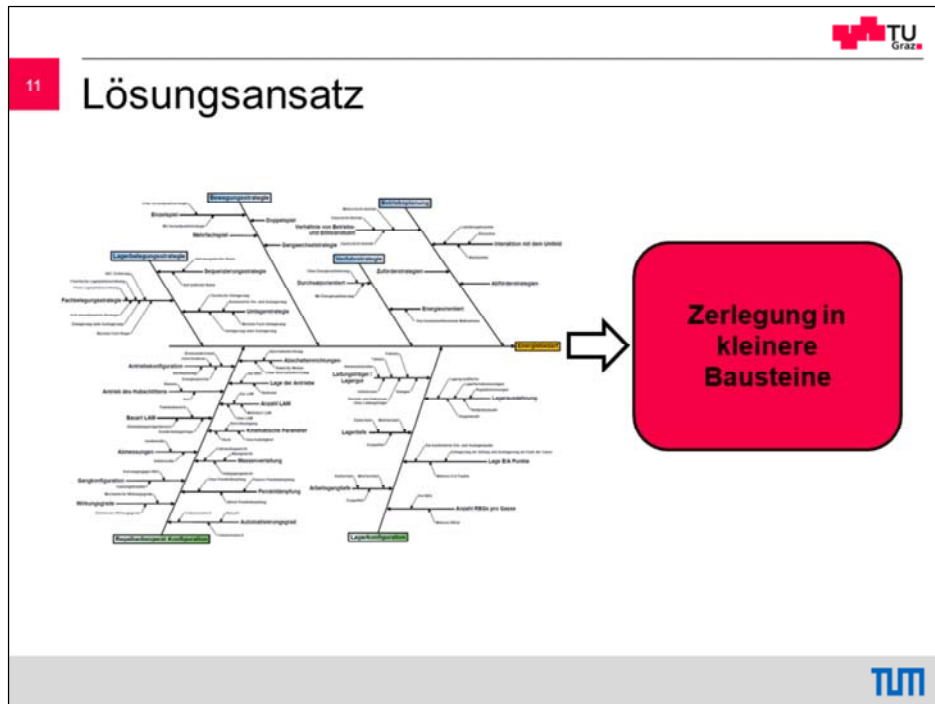
TUM

The illustration shows a blue pallet on the left, an orange forklift in the center, a stack of blue pallets on the right, and a 3D perspective view of a warehouse layout with several blue pallets and a forklift on the far right. The TUM logo is in the bottom right corner of the slide.

Die Forschungsfrage wurde bereits vorgestellt. Wie können jetzt verschiedene Fördermittel wie Rollenförderer, RBG, Stapler und andere Fördermittel bewertet werden?



Wenn man als Beispiel für die Problemstellung ein RBG heranzieht, dann gibt es eine große Anzahl an physikalischen und strategischen Einflussgrößen die einen Einfluss auf den Energiebedarf und damit auf die Energieeffizienz haben. Strategische Einflussgrößen beziehen sich auf Einflüsse, die mit den Prozessen im Lager zu tun haben. Diese Einflüsse stehen mitunter zueinander in komplexen Wechselwirkungen und sind deswegen schwer in einer einzigen Bewertung zu berücksichtigen.



Auf Grund der Komplexität des Zusammenhangs aller Einflussgrößen wurde als Lösungsansatz eine Zerlegung der Bewertung in kleinere Bausteine gewählt. Grundsätzlich besitzen viele Fördermittel Baugruppen und Elemente, die sich ähneln. Deswegen können Bausteine einer solchen Bewertung, die für einzelne Geräte entwickelt wurden, mit kleinen Änderungen auch bei anderen Fördermitteln benutzt werden.



12

## Wie könnten diese Bausteine aussehen?

Bewertung  
Hauptantriebe

Bewertung  
Grundlast

Bewertung  
von ?

Bewertung  
Lastwechsel

Bewertung  
strategischer  
Einflüsse

Bewertung  
logistischer  
Leistung

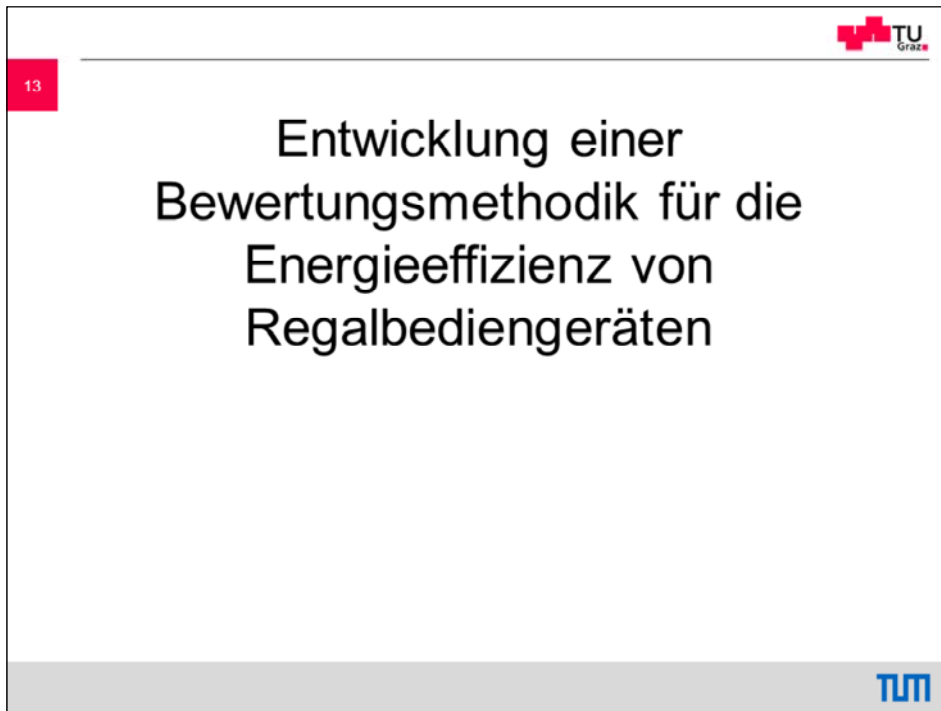


Am Beispiel RBG wurden schon verschiedene Bausteine für Einzelbewertungen entworfen und zum Teil bereits ausgearbeitet.

Die bis jetzt entworfenen Bausteine beinhalten

- Bewertung der Hauptantriebe
- Bewertung der Grundlast
- Bewertung des Lastwechsels
- Bewertung strategischer Einflüsse
- Bewertung logistischer Leistung.

Für andere Fördermittel oder Anlagen sind noch weitere Bewertungsbausteine denkbar. Diese Bausteine sind Gegenstand der weiteren Forschungsarbeit.




13

Entwicklung einer  
Bewertungsmethodik für die  
Energieeffizienz von  
Regalbediengeräten

TUM

TU  
Graz

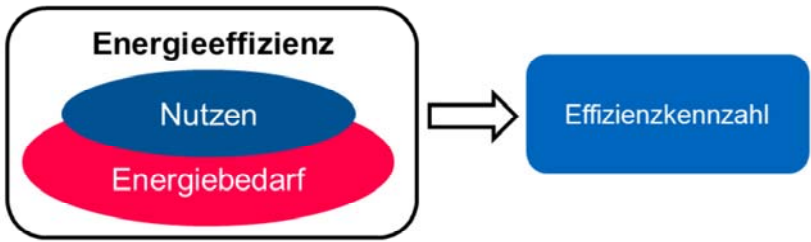
In diesem Abschnitt wird ein kurzer Überblick über das Forschungsprojekt „Entwicklung einer Bewertungsmethodik für die Energieeffizienz von Regalbediengeräten“ gegeben.




14

## Ausgangssituation und Ansatz

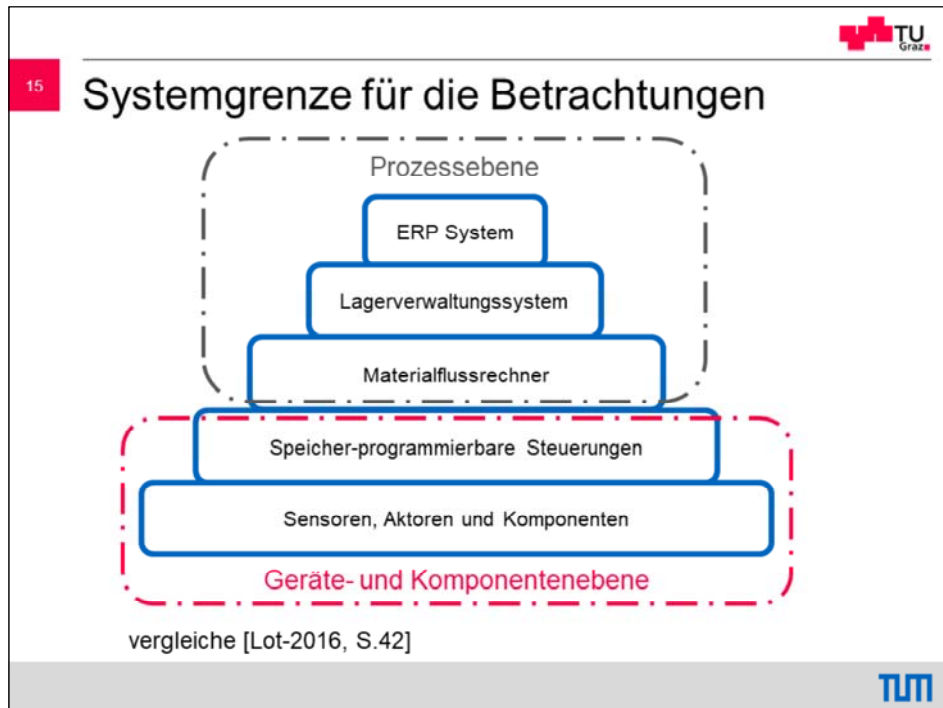
- Nutzen in sehr wenigen / Energiebedarf hingegen in sehr vielen Veröffentlichungen untersucht
- mit einer geeigneten Charakterisierung der logistischen Leistung könnten auch andere Geräte der Intralogistik untersucht werden
- Gegenüberstellung von Nutzen und Energiebedarf liefert vergleichbare Effizienzkennzahl



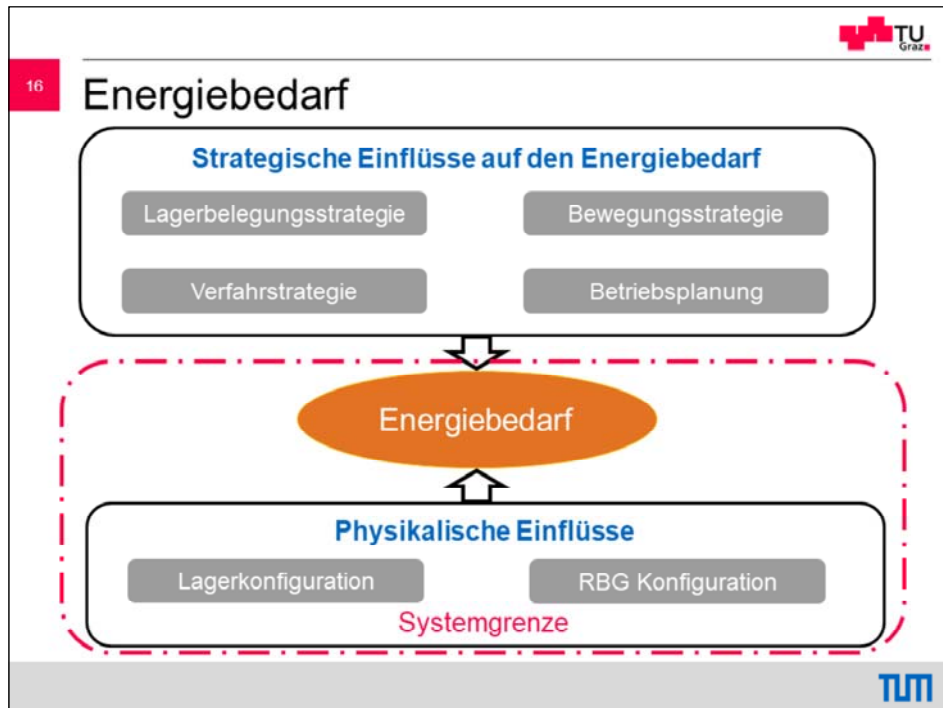
The diagram illustrates the concept of energy efficiency. On the left, a rounded rectangle labeled 'Energieeffizienz' contains two overlapping ovals: a blue one labeled 'Nutzen' (Benefit) on top and a red one labeled 'Energiebedarf' (Energy Requirement) on the bottom. An arrow points from this box to a blue rounded rectangle on the right labeled 'Effizienzkennzahl' (Efficiency Key Figure).



Die Ausgangssituation des Projektes ergibt sich im wesentlichen aus dem Stand der Forschung aus dem Jahr 2016. Der Durchsatz und der Energiebedarf von RBG ist bereits Gegenstand vieler Forschungsarbeiten. Der Nutzen ist hingegen in deutlich weniger Veröffentlichungen untersucht worden. Zur Energieeffizienz von Stetigförderern gibt es schon umfassende Untersuchungen, die in der Dissertation von *Lottersberger* [Lot-2016] veröffentlicht wurden. *Ertl* hat in seiner Dissertation [Ert-2016] schon Ansätze für die Energieeffizienzbewertung von RBG vorgestellt. Des Weiteren sind in der Dissertation von *Braun* [Bra-2016] umfassende Untersuchungen zum Energiebedarf von RBG veröffentlicht worden. Aus der vorhandenen Literatur wurde der Projektansatz entwickelt, dass Geräte unterschiedlichster Bauart über einen Vergleich von logistischem Nutzen und Energiebedarf beurteilt werden können. Aktuell beschäftigen sich bereits weitere Forschungsarbeiten der TU-Graz [Haf-2017, Sch-2017] mit der Energieeffizienz in der Intralogistik.

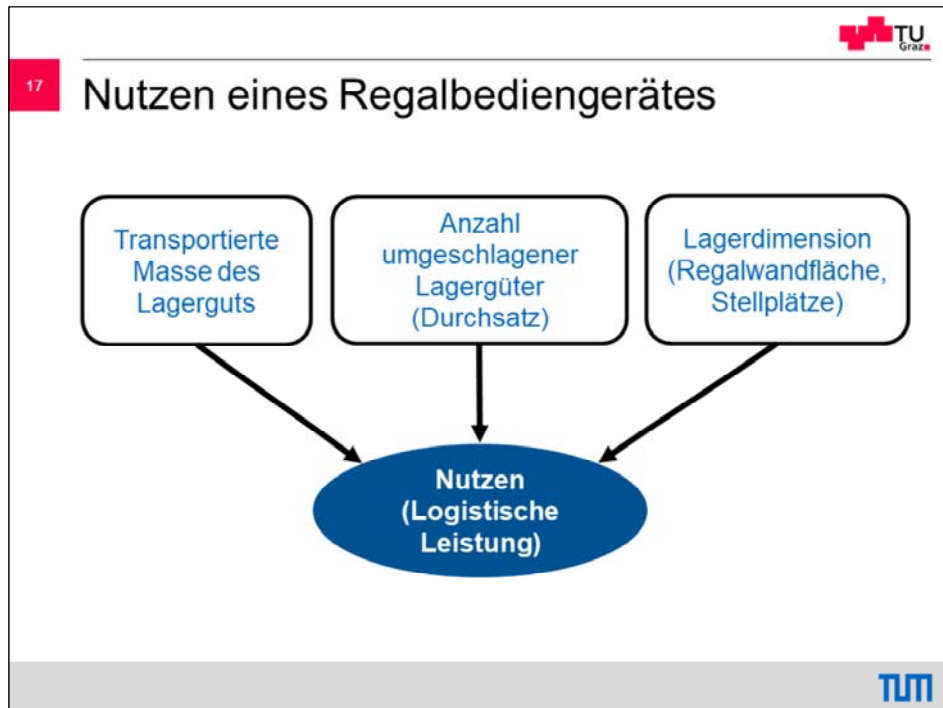


Betrachtet man die einzelnen Ebenen in einem Lagersystem, dann lassen sich zwei grundsätzliche Ebenen unterscheiden, die Prozessebene und die Geräte- und Komponentenebene (vgl. [Lot-2016, S.42]). Im Projekt wurde die Bewertung der Energieeffizienz auf die Geräte- und Komponentenebene beschränkt. Die strategischen Einflüsse sind in der Praxis stark vom Kunden abhängig, der das RBG einsetzen möchte. Die Hersteller können diese Einflussgrößen meist nicht beeinflussen.



Der Energiebedarf wird von vielen Parametern beeinflusst. Die Einflussgrößen lassen sich grob in strategische und physikalische Einflüsse einteilen. Wie bereits vorher beschrieben werden im Projekt hauptsächlich die physikalischen Einflüsse berücksichtigt.





Um den Nutzen eines RBG zu klassifizieren hat *Ertl* [Ert-2016] die Größen:

- Transportierte Masse
- Durchsatz
- und Lagerdimension

Verwendet und entsprechend miteinander verknüpft. Diese Größen eignen sich um Lager und Geräte unterschiedliche Größe miteinander zu vergleichen da der Energiebedarf eines RBG mit ihnen skaliert. Mehr Details der Energieeffizienzbetrachtung von *Ertl* finden sich in [Ert-2016, S.168 ff.].

18

TU  
Graz

## Aktuelle Ergebnisse aus dem Projekt

TUM

In diesem Abschnitt werden einzelne aktuelle Forschungsergebnisse aus dem Projekt vorgestellt. Insbesondere die bereits entwickelten Bausteine der Bewertung werden hier gezeigt.

19


## Umfassende Leistungsmessungen

**Regalbediengerät 1**

- fml Forschungs-RBG
- Zwischenkreiskopplung
  - Automatisches Kleinteilelager (AKL)

**Regalbediengerät 2**


- Schenker HRL
- Rückspeisung
- Automatisches Palettenlager (APL)

**Regalbediengerät 3**

- Stahlgruber HRL
- Rückspeisung
  - AKL

**Regalbediengerät 4**

- Liebherr HRL
- Rückspeisung
  - APL



Im Projekt wurden viele Erkenntnisse durch Leistungsmessungen an RBG gewonnen. Für die Messungen standen das lehrstuhleigene RBG und drei weitere RBG zur Verfügung. Am RBG 1 konnten Konzepte für die Bewertung der einzelnen Bestandteile entwickelt und getestet werden. Diese Bewertungen wurden dann an den Realanlagen RBG 2, 3 und 4 verifiziert. Insgesamt wurden zwei Geräte in automatischen Kleinteilelagern (AKL) und zwei Geräte in automatischen Palettenlagern (APL) untersucht.

20

## Bewertung der Hauptantriebe

Messung von  
Energiebedarfen für  
Fachanfahrten

→

**Wirkungsgradberechnung**

Fahrantrieb	Hubantrieb
Vorgeschwemmgelastet	Vorgeschwemmgelastet
$E_{\text{bedarf, Fahr}} = \frac{1}{2} \cdot (m_{\text{last}} + m_{\text{kg}}) \cdot v_{\text{max}}^2$	$E_{\text{bedarf, Hub}} = (m_{\text{last}} + m_{\text{kg}}) \cdot g \cdot h_f$
Wirkungsgrad	Wirkungsgrad
$\eta_{\text{bedarf, Fahr}} = \frac{E_{\text{bedarf, Fahr}}}{E_{\text{real}} - E_{\text{kg}}}$	$\eta_{\text{bedarf, Hub}} = \frac{E_{\text{bedarf, Hub}}}{E_{\text{real}} - E_{\text{kg}}}$
Transportwirkungsgrad	Transportwirkungsgrad
$\eta_{\text{Fahr}} = \frac{m_{\text{last}} \cdot v_{\text{max}}}{E_{\text{real}} - E_{\text{kg}}}$	$\eta_{\text{Hub}} = \frac{m_{\text{last}} \cdot g \cdot h_f}{E_{\text{real}} - E_{\text{kg}}}$
Wirkungsgrad	Wirkungsgrad
$\eta_{\text{Fahr}} = \frac{m_{\text{last}} \cdot v_{\text{max}}}{2 \cdot (E_{\text{real}} - E_{\text{kg}})}$	$\eta_{\text{Hub}} = \frac{m_{\text{last}} \cdot g \cdot h_f}{E_{\text{real}} - E_{\text{kg}}}$

Bewertung  
Hauptantriebe

**Bestimmung von Kennfeldern für Fahr- und Hubantrieb**

Das Lösungskonzept für die Bewertungsmethodik wurde vorher bereits skizziert. Die Antriebsbewertung wurde bereits in einem Beitrag auf Kranfachtagung 2018 in Dresden vorgestellt [Rüc-2018]. In diesem Baustein wurden Wirkungsgrade für den Fahr- und den Hubantrieb eines RBG entwickelt. Diese wurden mit Hilfe von Messungen am RBG 1 entwickelt und anschließend mit weiteren Messungen verifiziert. Mit Hilfe der Berechnungsvorschriften lassen sich Kennfelder für den Wirkungsgrad eines Antriebs abbilden. In den Kennfeldern ist der Wirkungsgrad über die Nutzlast des RBG und die Fahrgeschwindigkeit des Antriebs aufgetragen.

21

## Bewertung Grundlast

Grundlast entspricht der Stillstandsleistung eines sich in Betrieb befindlichen RBG.

Bewertung der Grundlast ohne Vergleichsgröße

Tabelle 7-3: Energiebedarfsklassen für die Brachzeit (Geometrische Folge  $a_1=0,3 \text{ kW}$ ;  $a_{i+1}=1,35 \cdot a_i$ )

K <sub>EE,brach</sub> in kW	≤ 0,300	≤ 0,405	≤ 0,547	≤ 0,738	≤ 0,996	≤ 1,345	> 1,345
Klasse	A	B	C	D	E	F	G

Grundlastleistung eingeteilt in Klassen über eine geometrische Reihe (vergleich [Ert-2016] S.169)

Nachdem die Grundlast nicht direkt mit anderen Leistungsparametern eines RBG skaliert, kann diese auch einfach über eine Vergleichsleistung bewertet werden. In der Grundlast sind alle Leistungsverbraucher im stationären und im mitfahrenden Schaltschrank enthalten. Dies betrifft unter anderem folgende Verbraucher:

- Steuerrechner
- Datenlichtschränke
- Beleuchtung
- Lüftung / Klimatisierung der Schaltschränke
- Kühlung der Motoren
- Positionserfassung
- Mechanische Bremsen
- Grundlast der Umrichter
- Weitere Leistungselektronik.

Die Leistung der Antriebsmotoren und etwaige Betriebsverluste der Umrichter sind in der Grundlast nicht enthalten. Die Bewertung der Grundlast eines sich in Betrieb befindlichen Gerätes über Messungen wird auf der nächsten Folie vorgestellt.

22



## Bewertung des laufenden Betriebs

Spitzenlastfaktor

$$n_{SL} = \frac{P_{Max}}{P_{Mittel}}$$

Spitzenlastfaktor =  
 Maximale Leistung /  
 mittlere Leistung

Grundlastfaktor

$$n_{GL} = \frac{P_{Mittel}}{P_{GL}}$$

Grundlastfaktor =  
 Mittlere Leistung /  
 Grundlastleistung



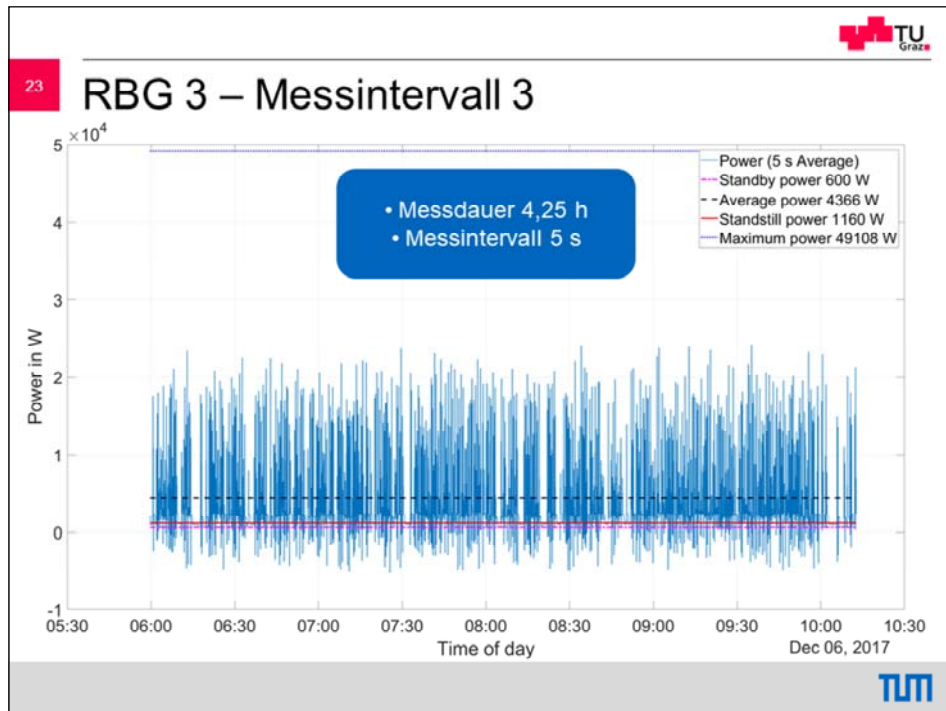
→ Diese beiden Faktoren stellen keine direkten Effizienzkriterien dar, geben aber Aufschluss wie ein RBG aktuell betrieben wird.

→ Beispiel: Gerät mit Rückspeisung, Leistungswerte:  $P_{Max} = 40 \text{ kW}$ ,  $P_{Mittel} = 4 \text{ kW}$ ,  $P_{GL} = 800 \text{ W}$ , Leistungsfaktoren  $n_{SL} = 10$ ,  $n_{GL} = 5$

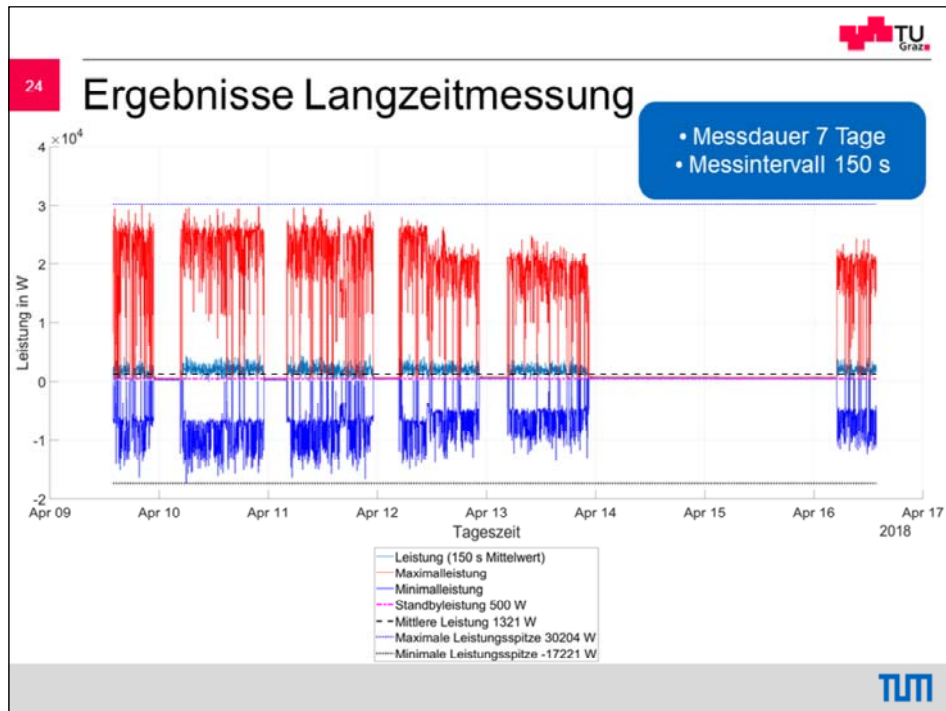


Für die Bewertung eines sich im Betrieb befindlichen RBG wurden zwei Faktoren definiert, die eine Aussage über den elektrischen Leistungsverbrauch eines Gerätes treffen. Diese beiden Faktoren sind der Spitzen- und der Grundlastfaktor. Der Grundlastfaktor trifft eine Aussage wie groß der Energieverbrauch des fahrenden im Vergleich mit dem stillstehenden Gerät ist. Der Spitzenlastfaktor trifft eine Aussage über den maximalen Leistungsverbrauch im Verhältnis zum mittleren Leistungsverbrauch. Im auf der Folie erwähnten Beispiel ist der mittlere Leistungsverbrauch im Verhältnis zur maximalen Leistung relativ gering. Die geringe mittlere Leistung spricht entweder für einen moderaten Einsatz des Gerätes oder für eine effiziente Betriebsweise. Verknüpft man die Informationen noch mit Durchsatzwerten aus der entsprechenden Messung, dann lassen sich auch Aussagen zur Effizienz des Betriebs treffen. Auf den folgenden beiden Folien werden beispielhaft die Ergebnisse von zwei Leistungsmessungen gezeigt und erläutert.

Auf den nächsten beiden Folien werden zwei exemplarische Messergebnisse aus den vielen Messreihen gezeigt.

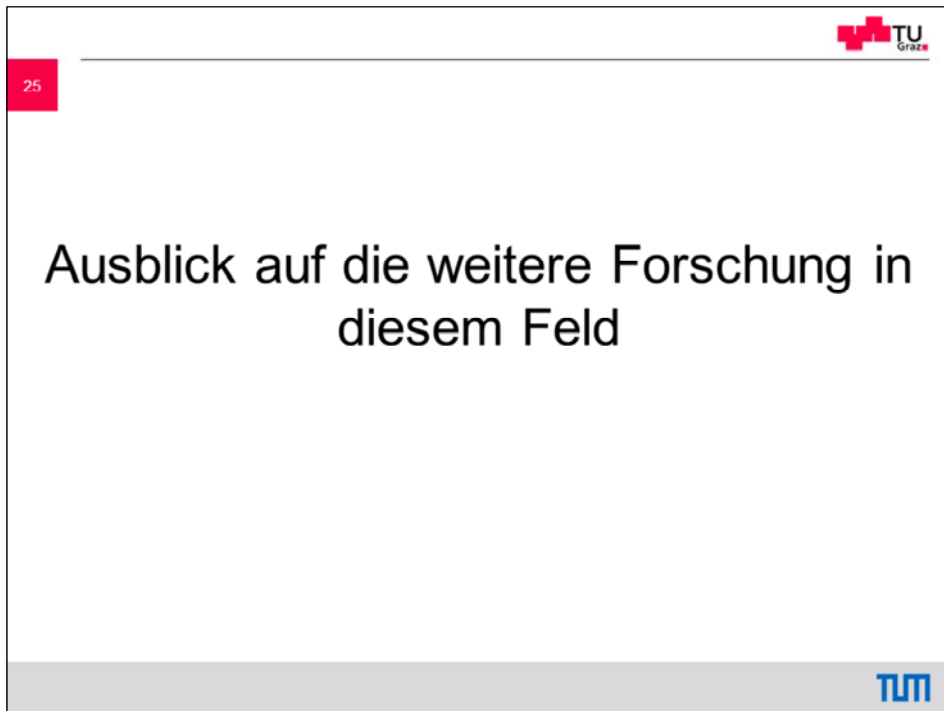


Das erste Beispiel ist das Ergebnis eines 4,5 Stunden Messintervalls des laufenden Betriebs von RBG 3. Dieses arbeitet in einem automatischen Kleinteilelager und ist mit einer Rückspeisung ausgestattet. Das RBG arbeitet mit hohen Geschwindigkeiten und Beschleunigungen, einer geringen maximalen Nutzlast von 60 kg und einer maximalen Antriebsleistung von ca. 50 kW. Die mittlere Leistung im Betrachtungszeitraum lag bei ca. 4400 W. Die gemessene Grundlast lag bei ca. 600 W im mitfahrenden Schaltschrank. Die Grundlast des stationären Schaltschranks ist in den Messergebnissen nicht enthalten. Bei den Messkurven ist zu beachten, dass die gemessene Leistung (blaue Kurve) den fünf Sekunden Mittelwert darstellt. Deswegen liegt die maximal gemessene Leistung deutlich über der Leistungskurve. Bei dem RBG ist die mittlere Leistung im Verhältnis zur Maximalleistung klein. Gleichzeitig stellt die Grundlast einen nicht unerheblichen Teil des Energieverbrauchs dar.



Das zweite Beispiel ist das Ergebnis eines 7 Tage Messintervalls des laufenden Betriebs von RBG 2. Dieses arbeitet in einem Palettenhochregallager und ist auch mit einer Rückspeisung ausgestattet. Das RBG arbeitet mit niedrigen Geschwindigkeiten und Beschleunigungen, einer hohen maximalen Nutzlast von 1000 kg und einer maximalen Antriebsleistung von ca. 30 kW. Das RBG wird im Zweischichtbetrieb betrieben und führt nachts Umlagerungen durch. Dadurch wird die Stillstandszeit auf wenige Stunden in der Nacht begrenzt. Am Wochenende steht das RBG aber komplett und dadurch sinkt die mittlere Leistung im Betrachtungszeitraum auf ca. 1300 W ab. Die Grundlast von ca. 500 W im mitfahrenden Schaltschrank stellt dann einen sehr hohen Anteil am Gesamtenergiebedarf dar. Die Leistungsspitzen von ca. 30 kW sind im Verhältnis zur mittleren Leistung sehr hoch.




A slide with a white background and a grey footer bar. The slide number '25' is in a red box on the left. The title 'Ausblick auf die weitere Forschung in diesem Feld' is centered. Logos for TU Graz and TUM are in the top right and bottom right respectively.

25

## Ausblick auf die weitere Forschung in diesem Feld

TUM

Im letzten Abschnitt soll noch ein kurzer Ausblick auf die weitere Forschung in diesem Feld gegeben werden.


26
Vorschlag zur Kennzahlbildung



**Was wird bereits berücksichtigt:**


- Hauptantriebe
- Lastwechsel
- Massen der Komponenten
- Grundlast

**Was fehlt noch in der Bewertung:**

- Durchsatz
- Transportierte Nutzlastmasse

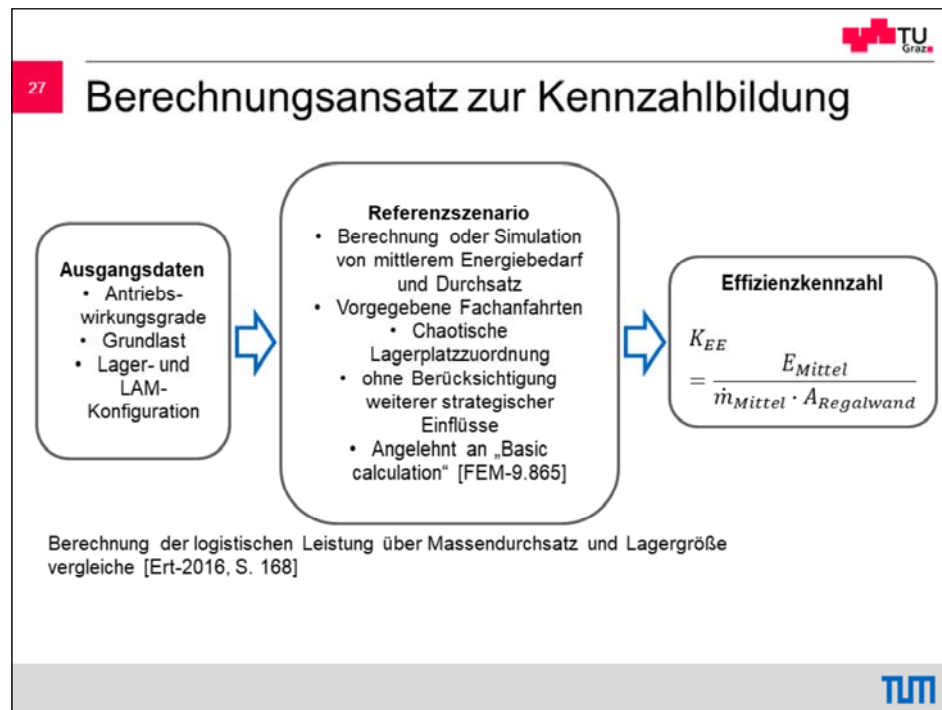






Bis jetzt werden schon einige physikalische Aspekte von RBG in der Bewertung der Energieeffizienz berücksichtigt. Für eine vollständige Bewertung fehlen aber noch wichtige Aspekte.

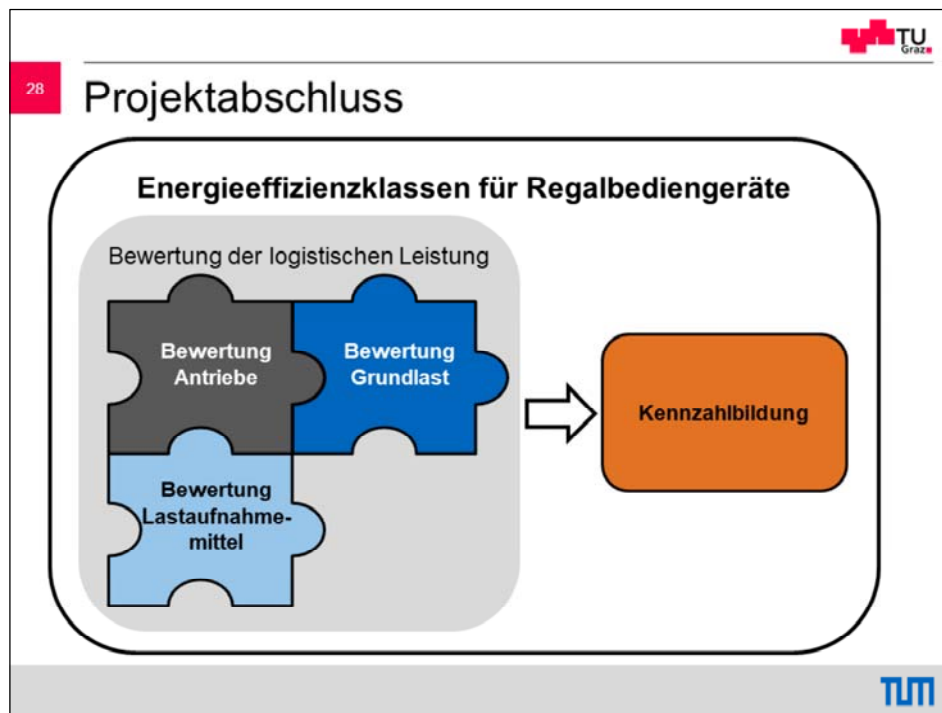
Die logistische Leistung eines RBG wird in den vorhandenen Bausteinen noch nicht betrachtet und soll deswegen im letzten Baustein bewertet werden.





Für die Bewertung der logistischen Leistung wird folgender Ansatz verfolgt:

1. Die Antriebswirkungsgrade, die Grundlast und die Lager- und Lastaufnahmemittelkonfiguration (LAM-Konfiguration) dienen als Ausgangsdaten
2. Die Ausgangsdaten fließen in die Berechnung des mittleren Energiebedarfs und des Durchsatzes ein
3. Vorgegebene Referenzszenarien mit Fachanfahrten dienen als Vergleichsbasis
4. Es wird mit chaotischer Lagerplatzzuordnung gearbeitet
5. Es erfolgt keine weitere Berücksichtigung strategischer Einflüsse
6. Die Berechnung des Energiebedarf und des Durchsatzes kann angelehnt an die FEM-Richtlinie 9.865 [FEM-9.865] oder mittels eines Simulationsmodells erfolgen
7. Die Effizienzkennzahl wird über den mittleren Energiebedarf, den Massenstrom des umgeschlagenen Lagerguts und die Regalwandfläche berechnet.

Mit diesem Berechnungsansatz lassen sich RBG auf Basis ihrer Energieeffizienz vergleichen.




Mit der vorgestellten Methode lässt sich somit aus den bereits erarbeiteten Einzelbewertungen eine Gesamtbewertung bilden. Diese Gesamtbewertung erlaubt die Bildung einer Kennzahl für die Energieeffizienz eines RBG.

  
 **Ausblick**  
  
**Forschungsprojekt**

- Finalisierung der Bewertung für Lastaufnahmemittel
- Abschluss der Kennzahlbildung
- Projektabschluss 31.08.2018 → Abschlussbericht erscheint Ende 2018

**Weitere Forschungsarbeit**

- Bewertung strategischer Einflüsse
- Erweiterung der Betrachtungen auf weitere Fördermittel



Im Forschungsprojekt sind die nächsten Schritte bereits geplant. Es wird zunächst an der Finalisierung der Bewertung von Lastaufnahmemitteln gearbeitet und danach die Kennzahlbildung abgeschlossen. Das Projekt endet am 31.08.2018 und der Abschlussbericht wird Ende 2018 erscheinen.

Die weiteren Forschungsarbeiten beziehen sich auf die Bewertung strategischer Einflüsse auf die Energieeffizienz. Des Weiteren wird daran gearbeitet die Bewertung auf andere Fördermittel auszudehnen.

30



## Zeit für Ihre Fragen





Bundesvereinigung  
Logistik



ALLIANZ  
INDUSTRIE  
FORSCHUNG  
18839 N



Gebäude 140  
Bundesministerium  
für Wirtschaft  
und Energie  
aufgrund einer Beschlussung  
des Österreichischen Bundeskongress

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

Andreas Rücker, M.Sc.  
[ruecker@fml.mw.tum.de](mailto:ruecker@fml.mw.tum.de)

fml - Lehrstuhl für Fördertechnik Materialfluss Logistik  
Technische Universität München







## Literaturverzeichnis 1/2

- [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.
- [Ert-2016] Ertl, R.: Energiebedarfsermittlung und Energieeffizienzbewertung von Regalbediengeräten in automatischen Kleinteilelagern. Dissertation. Lehrstuhl für Fördertechnik Materialfluss Logistik, Technische Universität München, München, 2016.
- [Eur-2010] Europäisches Parlament: Richtlinie über über die Angabe des Verbrauchs an Energie und anderen Ressourcen durch energieverbrauchsrelevante Produkte mittels einheitlicher Etiketten und Produktinformationen – 2010/30/EU, 2010.
- [Eur-2017] Europäisches Parlament und Rat: Verordnung zur Festlegung eines Rahmens für die Energieverbrauchskennzeichnung und zur Aufhebung der Richtlinie 2010/30/EU – 2017/1369/EU, 2017.
- [FEM-9865] Federation Europeenne de la Manutention: Energy consumption - determination methods (ECoDeMISE). FEM Nr. 9865, 2017.
- [Haf-2017] Hafner, N.; Stöhr, T.: Antriebsprüfstand zur energieeffizienz-optimierten Antriebssystemwahl. In: Tagungsband der 5. Tagung Innovation Messtechnik (2017), S. 59–64.





## Literaturverzeichnis 2/2

- [Lot-2016] Lottersberger, F.: Beitrag zu einer energieeffizienten Materialflusstechnik - Grundlagen zur Ermittlung, zum Vergleich und zur Steigerung der Energieeffizienz, Graz, 2016.
- [Rüc-2018] Rucker, A.; Fottner, J.: Bestimmung spezifischer Wirkungsgrade von Hub- und Fahrtrieb eines Regalbediengerätes. In: Schmidt, T. (Hrsg.): 26. Kranfachtung. TU Dresden, 2018, S. 43–60.
- [Sch-2017] Schädler, M.; Stöhr, T.; Hafner, N.: Energy efficiency benchmarking concept for diverse automated storage and retrieval systems. In: Zrnica, N.; Bosnjak, S.; Kartnig, G. (Hrsg.): XXII International Conference on "Material Handling, Constructions and Logistics" - MHCL 2017, 2017, S. 133–138.
- [VDI-4707] Verband Deutscher Ingenieure: Aufzüge - Energieeffizienz von Komponenten Blatt 2. VDI Nr. 4707, 2013.