

Forschungsbericht

Analyse und Quantifizierung der Umweltauswirkungen von Fördermitteln in der Intralogistik

Rainer Bruns (Herausgeber Lehrstuhl MTL)
Willibald A. Günthner (Herausgeber Lehrstuhl fml)
Kai Fumans (Herausgeber Institut IFL)

Timo Schilling, Alexander Frenkel (Lehrstuhl MTL)
Matthias Amberger, Gabriel Fischer (Lehrstuhl fml)
Meike Braun, Peter Linsel (Institut IFL)

1 Management Report

An increasing ecological awareness in the population and the trend towards more sustainability lead to an increasingly intensive investigation of the environmental performance of different product groups. In this regard within this research project the analysis, quantification and evaluation of environmental aspects in means of material handling equipment in intralogistics is conducted. For this based on an extensive research a comprehensive list of environmental aspects is created which can be expected from these means of conveying. The environmental aspects can emerge directly at the machines or via the corresponding upstream chains at the supply of energy or the resources. The identified environmental aspects do not only refer to the utilization of these means of conveying but also to all other stages of life. For this a general definition of the product life cycle is conducted in which the environmental aspects are quantified and evaluated. The main components of this cycle refer to the selection and supply of the raw material, the manufacturing, distribution, installation and maintenance, the utilization and the end of life. The environmental aspects are divided into five overriding categories:

- Emissions into the air
- Emission into water
- Emissions into the ground
- Consumption of resources
- Creation of waste

Within this list, the emissions into the air have the highest numerical proportion. This especially means the emission of greenhouse gases as well as pollutants such as sulfur dioxide, organic compounds and hydrocarbons. Based on this, a primary evaluation of the environmental aspects is conducted to be able to determine which environmental aspects have the greatest relevance using firmly defined criteria. Thereby especially greenhouse gases and energy demands are identified as decisive environmental aspects. Both operators and manufacturers of means of conveying and conveying mechanisms therefore get to know the environmental aspects coming from these machines and can estimate which ones have the highest relevance.

Due to the significantly different initial situations the quantification of the environmental aspects and the analysis of the deduced optimization approaches are conducted specifically for the product groups rider-controlled trucks, cranes and lifting gear as well as storage technology.

The investigation of the product group rider-controlled trucks is conducted for the total stock of all rider-controlled trucks in Europe and especially their greenhouse gas emission in one year. To calculate the fleet size of all rider-controlled trucks in Europe, the sales figures of rider-controlled trucks in Europe of the last few years supplied by the VDMA are used. With an estimated average durability over the tax deductibility of eight years the result is the total stock of rider-controlled trucks in Europe.

The life phases of rider-controlled trucks are investigated in different ways concerning their greenhouse gas emissions. On the one hand to calculate the production phase the rider con-

trolled trucks produced in one year are investigated by three exemplary plants for their Co₂ emissions and the proportion and usage at for this environmental aspect. For this manufacturers participating in this project provide data on their production facilities (energy source consumption as well as type and quantity of produced rider-controlled trucks).

On the other hand in a further method the greenhouse gas emissions of all rider-controlled trucks manufactured in one year are calculated (production phase) via material proportions and the previously calculated rider-controlled truck fleet (utilization phase) via the VDI consumption (see below). Furthermore in the realizations obtained from the aforementioned two methods are examined with the help of the EcoReport Tool [Kem11a]. Thereby it must be determined that the results can be classified as plausible and comparable.

The total consumption in the utilization phase of the corresponding observed rider-controlled trucks are in all cases calculated via the so-called VDI-Cycle [VDI02]. This operating cycle is standardized in the VDI guideline 2198 and can in general be taken from the data sheet of every rider-controlled truck.

In conclusion it can be determined that the utilization phase in the life of a rider-controlled truck basically has the highest proportion of the environmental aspects (esp. greenhouse gas emissions and energy demand). The scale is to be tendentially classified higher as in the other two sub-projects.

In the subproject cranes and lifting equipment based on the European production statistics Prodcom a classification of cranes and lifting equipment is conducted in serious lifting equipment and industrial cranes, tower cranes and mobile cranes as only using this basis an estimation of the stocks is possible. The quantification of the environmental aspects in the utilization phase is conducted in the depicted product life cycle with the help of the EcoReport [Kem11a] for the selection of material, the production and the end of life. The quantification of the environmental aspects in the utilization phase is conducted with crane-specific concepts due to the significantly different scenarios of application.

In the field of industrial cranes, data from the inspection book resp. planning documents is used as base sizes for material proportions in the EcoReport. The utilization of series lifting equipment and thus of industrial cranes is characterized by standardized load spectrums for the assessment of the drives. Using power consumption measurements, information on the efficiency of single engines are gained which are used as a base for a simulation model in MATLAB/Simulink. This simulation model enables the calculation of energy needs under defined conditions. From this energy demand all further environmental aspects are depicted using publicly accessible databases such as ProBas [Öko12a] or the EcoReport based on the MEErP study [Kem11a]. As a decisive life phase the use phase for a large quantity of environmental aspects is identified.

The analysis and quantification of environmental aspects of tower cranes is also based on the introduced concept but is adjusted to the specific properties of this type of crane construction. Based on parcel lists the material proportions are estimated and the level of environmental aspects in the product life cycles selection of material, manufacturing and end of the durability are estimated with the EcoReport [Kem11a]. To quantify the environmental aspects in the utilization phase power consumption measurements at tower cranes are conducted from which the energy consumption is estimated. Based on the determined energy

demand the level of all further decisive environmental aspects is deduced. The decisive life phase is the utility phase of the crane according to this observation.

To quantify the environmental aspects of the mobile crane in the life cycles selection of material, manufacturing and the end of life the EcoReport [Kem11a] is accessed. Base data on the material fractions are determined in an inquiry of manufacturers. In the use phase to quantify the greenhouse gas emissions and the primary energy demand, fuel consumption values of the manufacturing industry are used which are determined according to defined cycles. It was revealed that the use phase of the crane is the decisive phase of line concerning the size of environmental aspects.

In conclusion it can be established that the environmental aspects of cranes in the use phase, which are decisively determined by final energy consumption, do not attain a relevant quantity in comparison to the total values in the European Union.

In the subproject material handling equipment for the storage and retrieval process at first a full approach is shown which enables an observation of many different intralogistic systems which include different material handling equipment. To however conduct an observation of the total system in a first step it is necessary to analyze individual material handling equipment concerning their environmental capability. Therefore in the subproject material handling equipment for the storage and retrieval process, the analysis of the most frequently used means of automated AS/RS, shuttle systems as well as rotary rack stocks is conducted.

Similar to the approach in the other subprojects the quantification of the most important environmental aspects is conducted on the complete life cycle for material handling equipment with the help of the EcoReport [Kem11a]. The results clearly show that in the use phase the size of the environmental aspects dominates. Using the help of the EcoReport representative figures are determined for the life phases production, distribution, and disposal. To however depict improvement potential for the use phase only a limited statement can be obtained with the help of the EcoReport. For this reason simulation models are created in MATLAB/Simulink which quantify the size of environmental aspects in the use phase especially the final energy consumption. Based on the determined performance history and energy consumption many further environmental aspects are determined with the help of conversion factors from accessible databases such as ProBas [Öko12a] or Eurostat [Eur13]. The created models are validated with the help of real applied systems.

In summary it can be also be stated for means of conveying in warehouse technology that the size of environmental aspects is highest decisively in the use phase. In comparison to total values of other product groups, e.g. electric motors or household washing machines, the means of conveying stacker cranes, shuttle systems and rotary rack stocks did also not attain relevant sizes with reference to this.

Based on the conducted investigations manufacturers of intralogistical facilities are able to recognize potentials for improvement concerning the size of occurring environmental aspects and optimize the machines. In this case elements for improvement are not limited to the design of the machines but also take into consideration the processes concerning product groups which are incorporated into means of conveying in intralogistics. Furthermore the manufacturers of intralogistics facilities are provided with information concerning the relevance of environmental aspects in comparison to other product groups to better evaluate the

environmental performance of the observed products. In this respect, Tabelle 1 shows the energy demands of selected means of material handling equipment in intralogistics and the comparison with the total demand for electrical energy in the European Union.

Tabelle 1: Overview of energy demand of selected means of material handling equipment in intralogistics

Means of conveying	Final energy demand [TWh]
Electric counterbalance truck	4,0
Reach truck	1,3
Industrial cranes	0,8
Serious lifting equipment	0,09
tower cranes	0,75
AS/RS	0,12
European Union [Eur12c]	ca. 2850

Generally the project also provides the user with information of the size of the individual environmental aspects which he can further use for his own means such as e.g. marketing.

8 Zusammenfassung der Forschungsergebnisse und Ausblick

Abschließend werden die in diesem Forschungsprojekt erzielten Ergebnisse zusammengefasst. In einem kurzen Ausblick wird dargelegt, wie die Ergebnisse angewendet werden können und an welchen Stellen weiterer Forschungsbedarf besteht.

8.1 Zusammenfassung

Im Rahmen des durchgeführten Forschungsprojekts werden die Unstetigförderer in der Intralogistik hinsichtlich ihrer Umweltaspekte untersucht. Aufbauend auf einer Vielzahl von Normen, Gesetzen und Richtlinien, die vor allem von der Legislative erlassen werden, wird eine weitreichende Liste mit den Umweltaspekten erstellt, die von diesen Fördermitteln zu erwarten sind. Diese Umweltaspekte werden in fünf übergeordnete Kategorien eingeteilt:

- Emissionen in die Luft
- Emissionen in das Wasser
- Emissionen in den Boden
- Verbrauch von Ressourcen
- Entstehung von Abfällen

In einer ersten Bewertung wird aufbauend auf dieser Liste eine relativ abstufende Bewertung der Umweltaspekte durchgeführt. Dieses Bewertungsvorgehen ist dabei an Bewertungsmethoden aus dem Bereich der Produktentwicklung angelehnt und wird auf die hier vorliegende Problemstellung angepasst. Zur Quantifizierung der Umweltaspekte werden von jeder Forschungsstelle Methoden für die untersuchten Produktgruppen Flurförderzeuge, Krane und Hebezeuge sowie Lagertechnik entwickelt bzw. angewandt. Die Quantifizierung der maßgeblichen Umweltaspekte erfolgt auf dem gesamten Produktlebenszyklus, so dass die Untersuchung von Optimierungspotenzialen hinsichtlich der Höhe der Umweltaspekte in den zentralen Lebensphasen erfolgen kann. Für die Quantifizierung der Umweltaspekte werden neben selbstentwickelten Simulations- und Hochrechnungsmodellen auch öffentlich zugängliche Datenbanken wie ProBas oder die MEERP-Studie verwendet.

Dabei wird festgestellt, dass für eine Vielzahl von Fördermitteln in der Intralogistik die Nutzungsphase der maßgebliche Lebensabschnitt ist, in dem die Höhe der auftretenden Umweltaspekte dominiert. Basierend auf den entwickelten Methoden werden Abschätzungen über die Höhe der jährlich anfallenden Umweltaspekte in der Nutzungsphase getroffen.

Ausgangspunkt dafür ist der Endenergiebedarf, aus dem alle weiteren Umweltaspekte abgeleitet werden. Dieses Vorgehen bietet die Möglichkeit, Aussagen über die Relevanz der Höhe der Umweltaspekte von Fördermitteln in der Intralogistik auf Bestandesebene im Vergleich zu anderen Produktgruppen zu treffen und die Fördermittel untereinander zu vergleichen. Verglichen mit den jährlichen Gesamtenergiebedarfen in der Europäischen Union und mit anderen Produkten, die bereits von der Ökodesign-Richtlinie tangiert werden, spielen die Energiebedarfe der Fördermittel in der Intralogistik nur eine untergeordnete Rolle.

Zur Schaffung einer kennzahlbasierten Bewertungsmöglichkeit wird ein erster Ansatzpunkt vorgestellt, die den Energiebedarf hinsichtlich der logistischen Aufgabe aller untersuchten Fördermittel relativiert. Möglichkeiten zur Darstellung einer Kennzahl, die dieser Anforderung unter vorgegebenen Randbedingungen gerecht wird, wird an dieser Stelle diskutiert.

Die Untersuchung und Bewertung der Optimierungspotenziale hinsichtlich der Höhe der Umweltaspekte an den Maschinen erfolgt ebenfalls getrennt nach den Produktgruppen, da die jeweilige technische Ausgangsbasis deutliche Unterschiede aufweist. Innerhalb dieser Untersuchung werden sowohl Ansätze zur technischen Optimierung der Maschinen an sich als auch der Prozesse, in die die Fördermittel eingebunden sind, diskutiert. Da der Energiebedarf als maßgebliche Stellgröße in der Nutzungsphase herausgearbeitet wird, beziehen sich die durchgeführten Untersuchungen im Wesentlichen auf diese Größe. Die Höhe des noch vorhandenen Optimierungspotenzials hängt letztendlich vor allem davon ab, welche Maßnahmen von den Herstellern auf freiwilliger Basis oder durch Vorschriften und Gesetze bereits ausgeschöpft werden.

Flurförderzeuge belasten vor allem in der Nutzungsphase durch den Energie- bzw. Kraftstoffverbrauch die Umwelt. Durch die festgestellte Differenz der minimalen und maximalen Verbrauchsangaben, die im Rahmen des Projektes recherchiert wurden, wird in dieser Hinsicht ein Verbesserungspotential gesehen. Dieses kann allerdings mit den vorliegenden Daten nicht quantifiziert werden.

Für die Produktgruppe Krane und Hebezeuge kann festgestellt werden, dass bereits einige Maßnahmen getroffen werden, den Endenergiebedarf auf einem niedrigen Niveau zu halten. Beispielsweise wird bei Fahrzeugkranen der Leichtbaugedanke sehr stark verfolgt, so dass diese Krane bereits deutlich an Effizienz gewonnen haben. Turmdrehkrane setzen in ihren Hubwerken sehr effiziente Antriebssysteme ein, die die früher üblichen Antriebe in ihrem Wirkungsgrad deutlich übertreffen und damit einen Beitrag zur Energieeinsparung leisten.

Auch für die Fördermittel des Lager- und Kommissioniervorgangs ist die Nutzungsphase die dominierende Lebensphase. Um dort die Umweltaspekte zu beeinflussen, können auf der einen Seite Module zur Energierückgewinnung eingesetzt werden, z.B. über Zwischenkreis-kopplungen oder Energierückspeisemodule, oder auf der anderen Seite energieeffiziente Lagerstrategien für die Betreibung eines Lagers verwendet werden. Insgesamt konnten verschiedene Stellhebel zur Beeinflussung des Energiebedarfs betrachtet und die Energiebedarfe verschiedener Verbesserungsmaßnahmen quantifiziert werden.

8.2 Ausblick

Auf Basis der erzielten Erkenntnisse dieses Forschungsprojekts ist es möglich, den Produktlebensweg von Fördermitteln in der Intralogistik hinsichtlich ihres ökologischen Profils zu betrachten. Aus der bisherigen Untersuchung sind die Stetigförderer in der Intralogistik, wie Rollenförderer oder die Schüttgutfördertechnik noch ausgeklammert. Zwar stehen diese Fördergeräte im Fokus einer wissenschaftlichen Betrachtung hinsichtlich ihrer Energiebedarfe und der Energiebedarfsoptimierung, eine ganzheitliche Untersuchung des Produktlebenszyklus verschiedener Stetigförderer kann auf Basis der hier vorgestellten Methoden aber noch erfolgen.

Der vorgestellte Ansatz zur kennzahlbasierten Bewertung der Energiebedarfe kann im Folgenden zum Aufbau eines Kennzahlensystems genutzt werden, die einen energetischen Vergleich unterschiedlicher Lösungen hinsichtlich einer bestimmten logistischen Aufgabe ermöglichen. Damit hätte der Anwender den Vorteil sehr schnell die energieeffizienteste Lösung aus mehreren Varianten für diese Aufgabe auswählen zu können.