

Handbuch „ÖkoLogistik“

Teil 1: Grundlagen

Teil 2: Methoden

Teil 3: Maßnahmen-Katalog (Stand: 31.03.2011)

Teil 4: Quellenverzeichnis

Teil 5: Projektbeispiele

Herausgeber: Prof. Dr.-Ing. Günter Kummetsteiner
<http://www.haw-aw.de/kummetsteiner>

Autorenverzeichnis: siehe Anhang



Hochschule **Amberg-Weiden**
für angewandte Wissenschaften
University of Applied Sciences (FH)

Dieses Handbuch dient ausschließlich zur Dokumentation der entsprechenden Projekt- und Forschungsarbeiten an der Hochschule Amberg-Weiden und ist nicht für kommerzielle Zwecke bestimmt. Es hat den Charakter einer sukzessive zu verfeinernden und zu erweiternden Ausarbeitung und erfüllt somit keinen Anspruch nach Vollständigkeit. Aufgrund der sukzessiven Erweiterung kann auch die Aktualität der bereits in früheren Versionen beschriebenen Inhalte nicht immer sichergestellt werden: diesbezüglich ist auch das Datum der aufgeführten Quellenangaben zu beachten. Die Verwendung von Materialien bestimmter Firmen o.ä. erfolgt rein exemplarisch (auch Zahlenwerte etc.) und stellt keine Wertung dar.

Trotz gewissenhafter Erarbeitung der Inhalte können Lücken oder Fehler auftreten. Eine Haftung für mögliche aus der Nutzung dieser Unterlagen resultierende Folgen ist ausgeschlossen.

Hinweise auf falsche oder fehlende Angaben werden vom Herausgeber gerne entgegengenommen und ggf. bei der nächsten Überarbeitung berücksichtigt.

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis VI

1 Einleitung 1

1.1 Zielsetzung 1

1.2 Struktur der Dokumentation 1

1.2.1 Grundsätzliche Aufteilung 1

1.2.2 Themenfelder 2

1.2.3 Aufbau der Maßnahmenbeschreibung 3

1.3 Detaillierungsgrad 4

1.4 Ergänzende Erläuterungen 5

2 Ökologische Maßnahmen in der Logistik 6

2.1 Verkehrstechnik (Straßenfahrzeuge) 6

2.1.1 Reduzierung Luftwiderstand 6

2.1.1.1 Dachhauben 6

2.1.1.2 Chassisverkleidungen 6

2.1.1.3 Aerodynamischer Sattelaufleger 6

2.1.2 Antriebstechnik 7

2.1.2.1 Dieselelektrischer Hybrid-LKW 7

2.1.2.2 Start-Stopp-Automatik 9

2.1.2.3 Elektroantrieb 10

2.1.3 Doppelstockbeladung 10

2.1.4 Abgasreinigung 14

2.1.4.1 Oxidationskatalysator 14

2.1.4.2 Partikelfilter 14

2.1.4.3 SCR-Katalysator mit AdBlue 16

2.1.5 Reifentechnik 17

2.1.5.1 Reifen mit reduziertem Rollwiderstand 18

2.1.5.2 Reifen mit reduzierter Luftdurchlässigkeit 20

2.1.5.3 Reifendruck-Kontrollsysteme 20

2.2 Innerbetriebliche Fördertechnik 22

2.2.1 Manuell bediente Flurförderfahrzeuge 22

2.2.1.1 Diesel-elektrischer Antrieb 22

2.2.1.2 Hybridstapler 23

2.2.1.3	Hydrostatischer Direktantrieb	26
2.2.1.4	Elektromotorische Direktantriebe	28
2.2.1.5	Lithium-Ionen- bzw. Lithium-Polymer-Batterie	28
2.2.1.6	Drehstrom-Antriebe	31
2.2.1.7	Batterie-Ladegeräte	31
2.2.1.8	Energiesparender Betriebsmodus	33
2.2.1.9	Brennstoffzellen-Antrieb	33
2.2.2	Automatische Regalbediensysteme	33
2.2.2.1	Sanftanlauf	33
2.2.2.2	Energierückgewinnung bei Regalbediengeräten	34
2.2.2.3	Lastabhängige Fahrwerte-Anpassung	35
2.2.2.4	Energieeffiziente Antriebstechnik	35
2.2.2.5	Reduzierung bewegter Massen	35
2.2.2.6	Shuttle-Systeme	35
2.2.3	Stetigfördertechnik	39
2.2.3.1	Automatische Antriebs-Abschaltung	39
2.2.3.2	Getriebelose Antriebe	39
2.2.3.3	Reibungsreduzierte Transportbänder	39
2.2.3.4	Energiesparender Quergurtsorter	40
2.3	Transportorganisation	41
2.3.1	Elektronische Frachtbörsen	41
2.4	Verpackung	43
2.4.1	Verpackungsgrößen-Optimierung	43
2.4.2	Mehrwegbehältnisse	43
2.5	Sonstiges Verbrauchsmaterial	43
2.6	Umgang mit Rückständen	43
2.6.1	Einsatz des Wechselverfahrens	43
2.7	Mitarbeiter	44
2.7.1	Eco-Fahrtraining	44
2.7.2	Fahrzeug-Überwachung durch Telematik	45
2.7.3	Fahrertraining im Simulator	48
3	Sonstige ökologische Maßnahmen	51
3.1	Baukörper	51
3.2	Haustechnik	51
3.2.1	Beleuchtung	51
3.2.2	Heizung	51
3.2.3	Abwärme-Nutzung	51

3.3 Büro-Ausstattung	52
3.4 Dienstreisen	52
Anhang	53

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1	Themenfelder.....	2
Abb. 2	Hybrid-LKW-Antriebsstrang [VOL-10].....	8
Abb. 3	Doppelstockfahrzeug mit Einzelradaufhängung und Außenlift [KRA-10]	12
Abb. 4	Antriebstechnologien im Vergleich [JUN-09].....	22
Abb. 5	Antriebskonzept eines diesel-elektrischen Staplers [STI-10b]	23
Abb. 6	Antriebskonzept Still RX 70 Hybrid (Standbild-Ausschnitt aus [STI-09]).....	24
Abb. 7	Vergleich Hydrostatik-Antrieb mit herkömmlichem Antrieb [JUN-10a].....	27
Abb. 8	Beewen-Shuttle zur Bedienung mehrerer Ebenen [BEE-10a]	37
Abb. 9	Blick in die Fahrerkabine eines Simulators [DBT-10b].....	49

1 Einleitung

1.1 Zielsetzung

Das Thema „ÖkoLogistik“ tritt immer stärker in das Blickfeld von Unternehmen und vielfach ist auch das Bestreben erkennbar, die Logistik nachhaltiger zu gestalten. Jedoch fehlen häufig noch **konkrete Ansätze und Beispiele**, wie dieses Ziel in der Praxis erreicht werden kann. Dieser dritte Teil des Handbuchs „ÖkoLogistik“ soll daher gleichsam als „Ideengeber“¹ sukzessive einen **strukturierten Katalog** möglicher Maßnahmen für die Umsetzung einer „grünen Logistik“ in den Unternehmen zur Verfügung stellen.

Primär werden Ansätze für Produktions-, Handels- und Speditions-Unternehmen aus der Region Ostbayern betrachtet. Generell stehen somit Maßnahmen zur Optimierung beispielsweise der Luft- oder Seetransporte nicht im Fokus. Zielgruppe sind Logistikleiter und ähnliche Funktionsträger.

1.2 Struktur der Dokumentation

1.2.1 Grundsätzliche Aufteilung

Der Schwerpunkt dieser Dokumentation liegt auf speziellen ökologischen Maßnahmen für logistische Prozesse: diese werden im Kapitel 2 „**Ökologische Maßnahmen in der Logistik**“ systematisch beschrieben.

Im Kapitel 3 „**Sonstige ökologische Maßnahmen**“ werden ergänzend exemplarisch und ohne kritische Prüfung einige weitere ökologische Maßnahmen behandelt, welche keinen ausschließlichen Logistikbezug aufweisen, weil sie sowohl in der Logistik als auch in anderen Unternehmensbereichen zur Anwendung kommen können.

¹ Ziel ist es nicht, fertige Lösungen zu präsentieren, sondern vielmehr mögliche Ansätze und Informationsquellen darzustellen, welche durch interessierte Unternehmen vertiefend weiterverfolgt und firmenspezifisch bewertet werden können.

1.2.2 Themenfelder

Aufgrund des erforderlichen Logistikbezugs werden folgende potentielle ökologische Handlungsfelder nicht betrachtet, da sie zwar im betrieblichen Umfeld, aber **außerhalb des direkten Einflussbereichs der Logistik** liegen:

- **Produkt und Produktbestandteile** ← Forschung und Entwicklung u.a.
- **Rückstandsarten und -mengen** ← Fertigung u.a.
- **Auswahl der Lieferanten (-standorte)** ← Einkauf
- **Kundenstruktur und -standorte** ← Vertrieb u.a.
- **Auftragsvolumen** ← Kunden

Zur Strukturierung der vielen möglichen Maßnahmen wird der Hauptteil „Ökologische Maßnahmen in der Logistik“ in folgende **Themenfelder** untergliedert (**Abb. 1**):

Themenfelder		
Verkehrstechnik	z.B.	- Antriebstechnik
Innerbetriebliche Fördertechnik	z.B.	- FFZ-Technik - RBG-Technik
Transportorganisation	z.B.	- Wahl Verkehrsmittel; Routenplanung - Innerbetriebliche Wege-Optimierung
Verpackung	z.B.	- Materialien, Menge - Mehrweg
Sonstiges Verbrauchsmaterial	z.B.	- Etiketten, Belege
Umgang mit Rückständen	z.B.	- Sicherheitsmaßnahmen bzgl. Lagerung & Transport - Bessere Trennung der Rückstände
Mitarbeiter	z.B.	- Fahrstil (LKWs)

Maßnahmen „ÖkoLogistik“
Stand: 07.10.2010

Folie 1

Abb. 1 Themenfelder

Anmerkung: Mit so genannten **Kompensationsmaßnahmen**² für CO₂-Emissionen wird versucht, „Treibhausgasemissionen durch Klimaschutzmaßnahmen an einem anderen Ort zu neutralisieren“ (z.B. Aufforstung zur CO₂-Einbindung); vermittelt werden diese Projekte verstärkt durch Non-Profit-Organisationen und kommerziell arbeitende Agenturen [OEF-10]. Da derartige Kompensationsmaßnahmen nicht an der Ursache von Emissionen oder Ressourcenverbrauch ansetzen, sondern „nur“ versuchen den Ausstoß von Treibhausgasen z.B. durch Anpflanzung von Bäumen auszugleichen³, werden sie im Rahmen dieses Handbuchs als „zweite Wahl“ betrachtet und somit nicht detaillierter dargestellt.

1.2.3 Aufbau der Maßnahmenbeschreibung

Bei der Beschreibung der einzelnen Maßnahmen werden systematisch folgende Aspekte berücksichtigt:

- Zu Beginn wird bei jeder Maßnahme der prinzipielle **Grundgedanke** aufgezeigt, d.h. die mit der Maßnahme verbundene ökologische Zielsetzung.
- Anschließend folgt eine kompakte **Beschreibung**, welche aber noch keine Bewertung beinhaltet.

² Vgl. auch begrifflich „Ausgleichs- und Ersatzmaßnahmen“ im Bundesnaturschutzgesetz [BUN-10]

³ „Bäume absorbieren sehr unterschiedlich CO₂ abhängig von der Baumart, der Lichtintensität, dem Breitengrad, der Vegetationsdauer, der Bodenbeschaffenheit und vielem mehr.“ Deshalb sind die Angaben zur **CO₂-Aufnahme von Bäumen Durchschnittswerte**. [NAT-10]

Folgende recherchierte Absorptions-Werte sollen als grobe Orientierung dienen:

- „Ein Baum durchschnittlicher Größe absorbiert etwa 6 kg CO₂ pro Jahr, nimmt also im Laufe von 40 Jahren ca. 250 kg CO₂ auf.“ [ECE-10]
- „Pro Jahr bindet die Buche 12,5 Kilo des Treibhausgases.“ [HAN-10]
- „Ein durchschnittlicher europäischer Baum lagert circa 10 kg CO₂ pro Jahr ein“ [TUD-10]
- „... in Mitteleuropa ein Laubbaum durchschnittlich 10 kg CO₂ pro Jahr absorbiert“ [NAT-10]
- „im tropischen Mittelamerika ... wird konservativ mit einer Absorption pro Baum von 30 kg CO₂ pro Jahr für die Dauer von 20 Jahren gerechnet“ [NAT-10]

- Falls erkennbar, werden **Voraussetzungen** für die Umsetzung der Maßnahme erläutert.
- Anschließend werden die **Nutzenpotentiale**, die sich bei einer erfolgreichen Umsetzung ergeben können, beschrieben (soweit möglich quantifiziert) und optional durch Beispiele belegt.
- Weiterhin wird auf **Aufwand und Risiken** eingegangen. Dies beinhaltet insbesondere auch die mit der jeweiligen Maßnahme verbundenen Kosten.
- Da in diesem Handbuch neben bereits verfügbaren auch neue und zukunftsweisende Ansätze aufgenommen werden, wird zuletzt der „**Reifegrad**“ eingeschätzt.

1.3 Detaillierungsgrad

Die in diesem Dokument enthaltenen Maßnahmen sind unterschiedlich detailliert beschrieben. Die weniger ausführlich beschriebenen Maßnahmen sollen aber nicht als minder wichtig eingestuft werden. Der Umstand der teilweise noch recht kurzen Beschreibungen ist auf eine projektbezogene Fokussierung auf bestimmte Maßnahmen zurückzuführen und soll somit keine Aussage über die Bedeutung der einzelnen Maßnahmen beinhalten.

Bei den **weniger ausführlich beschriebenen Maßnahmen** werden primär nur die Punkte „Grundgedanke“ und „Beschreibung“ aufgeführt – in Einzelfällen ergänzt durch erste Informationen oder Stichworte bzw. offene Fragen z.B. zu „Nutzenpotentiale“, „Aufwand und Risiken“ oder „Reifegrad“. Dies bedeutet insbesondere auch, dass noch keine vertiefende Analyse der Maßnahme erfolgt ist (das Fehlen des Gliederungspunktes „Aufwand und Risiken“ heißt z.B. nicht, dass es keine Risiken gibt, sondern nur, dass noch keine recherchiert wurden). Die „Idee“ an sich ist aber somit im Maßnahmenkatalog schon mit erfasst.

Auch bei den **ausführlich dokumentierten Maßnahmen** wird im Allgemeinen keine abschließende Bewertung oder Empfehlung abgegeben, da diese von den unternehmensspezifischen Randbedingungen abhängig zu machen wäre. Es werden lediglich „Nutzenpotentiale“ und der Punkt „Aufwand und Risiken“ möglichst detailliert aufgezeigt und gegenübergestellt.

Um möglichst viele mögliche Maßnahmen bereits in der ersten Version dieses Handbuchs zumindest anzusprechen, werden einzelne Ansätze zunächst nur als **Stichwort** mit einem ersten Quellenverweis in die Struktur integriert, aber noch nicht näher erläutert.

1.4 Ergänzende Erläuterungen

Die beschriebenen Maßnahmen (insbesondere die im Stil „Kurzbeschreibung“) sind generell weniger als verifizierte und abschließend beurteilte Empfehlungen sondern vielmehr im Sinne der Reproduktion recherchierter Ansätze und Informationen zu verstehen, da sich die aktuelle Version des Handbuchs teilweise erst auf einzelne Quellen stützt und das kritische Hinterfragen oftmals noch aussteht. Außerdem können die meisten (z.B. Hersteller-) Angaben im Rahmen der Erarbeitung dieses Handbuchs nicht geprüft werden.

2 Ökologische Maßnahmen in der Logistik

2.1 Verkehrstechnik ⁴ (Straßenfahrzeuge)

2.1.1 Reduzierung Luftwiderstand

2.1.1.1 Dachhauben

(vorläufig: siehe z.B. [MEG-11])

2.1.1.2 Chassisverkleidungen

(vorläufig: siehe z.B. [SCB-10])

2.1.1.3 Aerodynamischer Sattelaufleger

Grundgedanke – Verwendung eines aerodynamisch optimierten Auflegers anstatt herkömmlicher kastenförmiger Aufleger um durch die Reduzierung der Turbulenzen Treibstoff einzusparen.

Beschreibung – Der Teardrop-Aufleger des englischen Herstellers DON-BUR verdankt seinen Namen dem tropfenförmigen Design. Dadurch ergeben sich geringere turbulente Strömungen am Dach sowie am Heck des Teardrop-Auflegers und ein reduzierter Luftwiderstandsbeiwert. [DON-10] Aufgrund der Angaben „Beginning at a standard 3800 or 4000mm height at the front, the roof gradually curves upwards ...“ und “To maintain load height and space for a single deck trailer, we had to increase the trailer height at its highest mid-point by 500mm; increasing internal cubic volume by 10%.” [DON-10] ist speziell für den Einsatz auf deutschen Straßen noch zu prüfen, ob und wie der Konflikt mit der maximal zulässigen Höhe von Sattelzügen von 4,00 m gemäß StVZO §32(2) [STV-10] lösbar ist.

⁴ Unter Berücksichtigung der primären Zielgruppe dieses Handbuchs (siehe Abschnitt 1.1) werden technische Ansätze bzgl. der Verkehrsmittel Binnenschiff und Eisenbahn (vorerst) nicht einbezogen.

MAN stellte auf der IAA Nutzfahrzeuge 2010 die LKW-Studie Concept S vor, die „...mit einem cW-Wert von 0,3 in Pkw-Bereiche vordringt.“ Die Studie ist nicht höher oder breiter als herkömmliche Sattelzüge, überschreitet aber zur Gewährleistung der gleichen Transportkapazität die gesetzlich zulässige Länge von 16,50 m. [AUT-10]

Nutzenpotentiale – Die Aerodynamik ist ein wichtiger Faktor für den Treibstoffverbrauch [DON-10]. DHL Exel Supply Chain setzt diese Teardrop-Anhänger seit 2007 ein (inzwischen mehr als 200 Stück) und damit konnte „im Durchschnitt im Vergleich zu herkömmlichen Anhängern über zwölf Prozent an Treibstoff eingespart werden.“ [DHL-09]

Das Sattelzug-Komplettpaket (Zugmaschine und Auflieger) Concept S von MAN „...soll so rund 25 Prozent an Kraftstoff und CO₂-Emissionen gegenüber einem konventionellen 40-Tonnen-Zug einsparen können.“ [AUT-10]

Reifegrad – Allgemein scheint derzeit für deutsche Straßen das Abstimmungsproblem zwischen vergleichbarer Transportkapazität und Einhaltung der gesetzlich zulässigen Abmessungen ungelöst.

2.1.2 Antriebstechnik

2.1.2.1 Dieselelektrischer Hybrid-LKW

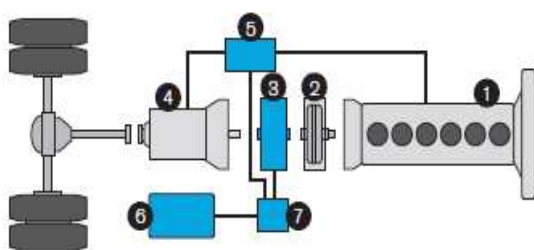
Grundgedanke – Die Kombination von Diesel- und Elektromotor soll Kraftstoffverbrauch und Abgasemissionen reduzieren.

Beschreibung – Ein dieselelektrischer Hybrid-LKW verfügt zusätzlich zu dem herkömmlichen Verbrennungsmotor über einen Elektromotor (siehe auch **Abb. 2**). Diese Hybridtechnik ermöglicht es einen kleineren Verbrennungsmotor zu verbauen. Die Unterstützung durch den Elektromotor wirkt vor allem

- a) beim Anfahren (und Rangieren; vgl. [VOL-10]): da bei einem Elektromotor bereits beim Start das volle Drehmoment verfügbar ist
- b) im Fahrbetrieb zur Leistungssteigerung (bergauf oder beim starken Beschleunigen): hier wirkt der Elektromotor abhängig vom Ladezustand der Batterien kurzzeitig als „Booster“

Die benötigte Energie für den Elektromotor wird in Lithium-Ionen-Batterien gespeichert und durch Rekuperation aufgeladen: beim Abbremsen und im Schubbetrieb beim Rollen mit eingelegtem Gang wirkt der Elektromotor als

Generator. Daimler nennt eine „Haltbarkeit der elektrischen Komponenten von mindestens 450 000 km“. [DAI-09a]



- (1) Dieselmotor
- (2) Kupplung
- (3) I-SAM
(mit Wechselstrom betriebener Permanentmagnetmotor, der gleichzeitig als Generator fungiert)
- (4) I-Shift-Getriebe
- (5) PMU-Steuergerät
- (6) Batterien
- (7) Energiewandler

Abb. 2 Hybrid-LKW-Antriebsstrang [VOL-10]

Voraussetzungen – Die Vorteile eines dieselektrischen Hybrid-LKW wirken sich primär bei Einsatzfeldern mit häufigen Anfahr- und Beschleunigungsvorgängen aus: z.B. im Verteilerverkehr oder bei der Abfallentsorgung (vgl. [DAI-09a],[VOL-10]).

Nutzenpotentiale – Daimler nennt für den Mercedes-Benz Atego BlueTec Hybrid mit 11,99 t zulässigem Gesamtgewicht ein Einsparpotential im Verteilerverkehr von 10-15% an Kraftstoff und CO₂-Emmisionen im Vergleich zu konventionell angetriebenen LKWs. Des Weiteren wird durch das Anfahren mit Elektromotor die Lärmemission stark reduziert. [DAI-09a]

Volvo nennt für den Volvo FE Hybrid mit 26 Tonnen Gesamtgewicht eine Kraftstoffeinsparung von 15 – 30 % je nach Einsatzart. [VOL-10]

Aufwand und Risiken – Die Anschaffungskosten sind im Verhältnis zu einem konventionellen dieselbetriebenen LKW hoch. Derzeit geht man davon aus, dass diese um ein Drittel höher sein werden [DAI-09b].

In Japan werden die Mitsubishi Fuso Canter Eco Hybrid mit ca. 8.000 Euro vom Staat gefördert. Die Anschaffungskosten liegen aber weitere 13.000 Euro höher. Bei ca. 70.000 km Jahresleistung kann sich das nach zwei bis drei Jahren auszahlen. [WIR-10]

In diesem Zusammenhang bleibt zu klären, ob und in welcher Form in Deutschland eine für einen wirtschaftlichen Einsatz ggf. erforderliche öffentliche Förderung erfolgen wird (vgl. [DAI-09b]).

Reifegrad – Der Mercedes-Benz Atego BlueTec Hybrid wurde im November 2007 öffentlich vorgestellt. Mit Stand Dezember 2009 fahren bereits fünf Fahrzeuge im

Kundenversuch bei DHL. Ab Ende 2010 soll für weitere Kunden die Möglichkeit zu Praxistests bestehen. [DAI-09a]

„In Nordamerika wird Freightliner in den nächsten zwei Jahren 1.500 Hybrid-Lkw M2 an Kunden ausliefern“ und „Im August 2008 wurde in London mit zehn Fuso Canter Eco Hybrid Europas größter Flottentest mit Hybrid-Lkw gestartet.“ [DAI-09b]

Vom Modell Mitsubishi Fuso⁵ Canter Eco Hybrid (5,5-Tonner mit 2 to Nutzlast) wurden bereits 1.000 Stück in vier Jahren verkauft, vor allem in Japan, Australien, Hongkong und Irland. [WIR-10]

Volvo testet seit Ende 2009 eine neue Version des Hybrid-LKWs zusammen mit dem Unternehmen Veolia Environmental Services im Stadtzentrum von London. Vorher wurden frühere Versionen bereits 18 Monate in Stockholm und Göteborg getestet. „Die Kleinserienfertigung ... wird ... frühestens 2012 ... beginnen.“ [ATZ-09]

2.1.2.2 Start-Stopp-Automatik

Grundgedanke – Reduktion des Kraftstoffverbrauchs und der Umweltmissionen durch Abstellen des Motors im Fahrzeug-Stillstand.

Beschreibung – Die z.B. für den Mercedes-Benz Sprinter erhältliche Start-Stopp-Automatik „stellt den Motor ab, wenn das Fahrzeug mit Leerlaufdrehzahl länger als 3 Sekunden ohne eingelegten Gang steht“. Der Motor springt automatisch wieder an, wenn der Fahrer die Kupplung tritt. [DAI-10]

Nutzenpotentiale – „Speziell im dichten Verkehr mit viel Stop-and-go-Betrieb lassen sich damit Kraftstoffeinsparungen von 5 bis 8 Prozent erzielen. Je nach Einsatz und Verkehrsdichte kann das Fahrzeug sogar mit bis zu 20 Prozent weniger Kraftstoff auskommen.“ (bzgl. Mercedes-Benz-Sprinter nach [DAI-10])

„Ergebnis ist eine Reduzierung des Kraftstoffverbrauchs um bis zu drei Prozent, im reinen Stadtverkehr liegt die Einsparung noch höher.“ (bzgl. Mercedes-Benz Atego nach [NFM-09])

Aufwand und Risiken – Mehrpreis Anschaffung ? erhöhter Verschleiß z.B. am Anlasser (vgl. z.B. [MOT-10]) ?

⁵ Mitsubishi Fuso gehört Daimler zu 85 Prozent [WIR-10]

Reifegrad – Für verschiedene (primär leichte⁶) Nutzfahrzeuge als Erstausrüstung ab Werk erhältlich: z.B. Mercedes-Benz Sprinter [DAI-10], VW Crafter [VWC-10], Mercedes-Benz Atego⁷ [NFM-09], DAF LF Hybrid [DAF-10]. „2010 liefern wir etwa 10 000 Start-Stopp-Systeme für leichte Nutzfahrzeuge aus – 2012 werden es bereits mehr als 100 000 sein“, erklärte Bernd Bohr, Chef des Bereichs Kraftfahrzeugtechnik der Bosch-Gruppe.“ [VDI-10]

2.1.2.3 Elektroantrieb

(vorläufig: siehe z.B. [VRS-11a])

2.1.3 Doppelstockbeladung

Grundgedanke – Ausnutzung einer maximalen Ladekapazität pro Fahrzeug trotz nicht stapelbarer Ladeeinheiten (vgl. [OPT-11],[IND-05],[TRA-11b]).

Beschreibung – Der grundlegende Ansatz besteht darin, in einem Sattelaufleger, Anhänger o.ä. zwei Ebenen mit Ladeeinheiten übereinander zu transportieren, und zwar ohne dass diese Ladeeinheiten mit Gewichtsbelastung der unteren direkt aufeinander stehen. Die Umsetzung dieses Grundkonzeptes kann unterschiedlich erfolgen, wie z.B.:

- (a) Balken-System für konventionelle Auflieger⁸, z.B.: An den Seitenwänden sind vertikale Rungen mit Schlüssellochprofilen angebracht, in welche je nach Bedarf Längsbalken eingehängt werden können. In die Schlüssellochprofile der Längsbalken bzw. der Rungen können dann die erforderlichen Ladebalken zur Aufnahme der Paletten eingehakt werden. Die zulässige Last je Palette

⁶ vgl. [TEC-10]:
leichte Nutzfahrzeuge: 3,5 – 12 t zulässige Gesamtmasse
schwere Nutzfahrzeuge: über 12 t zulässige Gesamtmasse

⁷ Varianten von 6,5 – 15 t [DAI-10a]

⁸ Für Planenfahrzeuge sind spezielle Rungen erforderlich (siehe z.B. [ANC-10]), bei Kofferaufbauten können die vertikalen Schienen flächenbündig in die Seitenwände integriert werden (siehe z.B. [SCB-10]); auch für „Megatrailer“ mit erhöhter lichter Innenhöhe von ca. 3,00 m (siehe z.B. [WIB-09]).

hängt von der Länge der Längsbalken ab. Die Ware kann zusätzlich z.B. durch horizontal angebrachte Sperrbalken oder Gurte in Verbindung mit Zurrprofilen gegen Verrutschen gesichert werden. [ANC-10],[ASG-10]

(b) Heb-/senkbarer Zwischenboden in konventionellem Auflieger: über die gesamte Ladelänge oder zwei- bzw. dreigeteilt (z.B. Westfalia DoubleLoader [WES-08])

(c) Spezielle Auflieger mit Einzelradaufhängung (Tiefbett-Ausführung): Durch ein Fahrwerk ohne durchgehende Achsrohre liegt das Niveau der unteren Ladefläche knapp über der Fahrbahn. Dadurch entstehen variable lichte Innenhöhen von bis zu ca. 2 x 1,80 m⁹. Der Zwischenboden ist fest oder automatisch ¹⁰ verfahrbar ¹¹. [KRA-10],[WES-07],[OPT-11],[ZEY-11] Unterschiede in der herstellereigenen Ausführung bestehen u.a. hinsichtlich der Be-/Entlademöglichkeiten:

- Eigener Ladelift außen am Heck (**Abb. 3**; z.B. Kramer Fahrzeugtechnik [KRA-10] oder Westfalia Multiloader [WES-07],[NFM-07] oder Flexliner der Langendorf GmbH [LAN-11a])
- Innenlift im Heck des Trailers (z.B. OPTISPACE® der Engljähringer GmbH [OPT-11])
- Außen- und Innenlift (z.B. Eckstreme Twin Deck Box Trailer der Van Eck Group [VAN-11b])
- Vier Hubstützen heben gesamten Trailer an, so dass das untere Ladendeck auf Rampenniveau kommt; das obere Ladendeck ist heb-/senkbar und damit ebenfalls an Rampenniveau anpassbar (Multi-Trailer der Spedition Zeyer [ZEY-11])

⁹ In [LOL-09] wird sogar eine spezielle Ausführung mit drei Ebenen (jeweils 1,15 m zzgl. integrierter Fördertechnik) beschrieben: An der Entwicklung „kd-tri-deck-concept“ waren u.a. die Spedition Karldischinger GmbH und die Langendorf GmbH beteiligt. Wert pro Auflieger: rund 200.000 Euro.

¹⁰ elektrisch [WES-07] oder hydraulisch [OPT-11]

¹¹ Je nach Ausführung reicht der Hubboden z.B. vom Heck bis zum Beginn des Sattelhalses, die Ladefläche über dem Sattelhals ist fix (mit Ladehöhe bis ca. 2,80 m). Der Hubboden kann bis auf das Niveau der Sattelhalsfläche abgesenkt werden. [KRA-10],[ZEY-11],[LAN-11b]



Abb. 3 Doppelstockfahrzeug mit Einzelradaufhängung und Außenlift [KRA-10]

Voraussetzungen – Die einzelnen Ladeeinheiten dürfen nicht zu schwer sein, da sonst aufgrund des max. zulässigen Gesamtgewichts die hinsichtlich des Ladevolumens möglichen Kapazitäten überhaupt nicht ausgenutzt werden können (vgl. auch [IND-05]).

Nutzenpotentiale – Mit den Bauformen (a) und (b) können im optimalen Fall 100% mehr Paletten transportiert werden: 66 Europaletten im Sattelaufleger, 76 im Hängerzug [WES-08],[IND-05]. Bei den Bauformen (c) steht im Unterdeck (Tiefbett) aufgrund der Aussparungen für die Räder und des Sattelhalses nur eine eingeschränkte Stellplatzkapazität zur Verfügung (z.B. 18 bis 20 Europaletten), so dass bei voller Ausnutzung der beiden Ladeebenen gegenüber einem konventionellen Trailer pro Transport bis zu 60 % mehr Paletten transportiert werden können (z.B. 50 bis 54 Europaletten vs. 34) [KRA-10],[LAN-11],[WES-07],[OPT-11],[ZEY-11]. Über diese reine Flächenbetrachtung hinaus sind natürlich zusätzlich die jeweils unterschiedlichen möglichen Höhen der Ladeeinheiten zu beachten.

Diese Steigerung der Ladekapazität je Transport führt neben einer deutlichen Reduzierung der CO₂-Emissionen auch zu Einsparungen bzgl. Zugmaschinen- und Personal-Bedarf sowie bei den Mautgebühren [KRA-10],[VAN-11a].

Aufwand und Risiken – Für die technisch aufwendigen Bauformen (c) finden sich folgende Investitionssummen pro Auflieger: „100.000,- bis 180.000,- Euro“ (je nach Ausstattung) [KRA-10] bzw. „... für einen MultiLoader mit einfacher Ausstattung ... rund 100.000 Euro. Die Kühlausführung schlägt mit rund 135.000 Euro zu Buche.“ [MYL-04].

Weiterhin sind die je nach technischer Ausführung variierenden Möglichkeiten insbesondere zur Be-/Entladung zu beachten (vgl. z.B. [OPT-11],[ZEY-11],[TRA-11b],[WES-08],[VAN-11b]):

- Eignung für bestimmte Ladeeinheiten ?
- Variabilität der Ladehöhen ?
- Beladung heckseitig, seitlich, ... ?
- Andocken an Rampen möglich ?
- Winddichtes Andocken an Rampe möglich ?
- Beschädigungsrisiko für z.B. Wärmeschutz-Vorbauten an Rampe ?
- Entladen ohne Rampe möglich ?
- Abkoppeln Zugmaschine erforderlich ?
- Be-/Entladedauer ?
- Ergonomie für Mitarbeiter bei Be-/Entladung der beiden Ebenen ?
- ...

Reifegrad – In verschiedenen Ausführungen¹² am Markt verfügbar (s.o. „Beschreibung“¹³).

¹² In [ZEI-02] wird auch eine Version mit jeweils separatem Verdampfer für untere und obere Ladeebene beschrieben, so „dass im oberen Ladebereich Tiefkühl- oder Kühlprodukte und im unteren Raum Trocken- oder Kühlwaren kombiniert transportiert werden können.“

¹³ Nach [ZEY-11] kommt der Zeyer Multi-Trailer „zur Zeit ausschließlich in unserm Hause zum Einsatz“.

2.1.4 Abgasreinigung

Nach Euro V (gültig für Serienprüfung ab 01.10.2009) werden Abgaswerte für CO, HC, NO_x, Partikelmasse und Rauchtrübung überwacht. Mit Serienprüfung ab 31.12.2013 gilt Euro VI. Zugehörige Grenzwerte findet man hierzu in der Tabelle für LKW und Busse unter [UMW-10].

Zur umfassenden Abgasreinigung werden verschiedene Komponenten eingesetzt: Oxidationskatalysator, Partikelfilter und SCR-Katalysator (vgl. [CHE-10],[EBE-10]).

2.1.4.1 Oxidationskatalysator

Grundgedanke – Weitgehende Reinigung der Abgase von HC und CO und auch Reduzierung der Feinstaubpartikelmasse [HJS-10],[BOS-10a],[WAL-10].

Beschreibung – Oxidation unverbrannter Kohlenwasserstoffe (HC) und von Kohlenmonoxid (CO) zu Wasser (H₂O) und Kohlendioxid (CO₂) [HJS-10]. Dabei wird NO zu NO₂ oxidiert [BOS-10a],[CHE-10].

Reifegrad – Serieneinsatz [BOS-10a].

2.1.4.2 Partikelfilter

Grundgedanke – Ziel ist es, durch den Einsatz von Partikelfiltern eine Feinstaubreduzierung (Rußpartikel u.a.) zu erreichen (vgl. auch [BMU-10d],[HJS-09])

Beschreibung – „Im nachgeschalteten Partikelfilter reagiert das NO₂ mit dem abgelagerten Ruß zu NO und CO₂. Die Ablagerungen werden abgebaut – das System regeneriert sich. Anschließend wandelt die katalytische Schicht des Partikelfilters das bei der Rußverbrennung entstandene NO wieder in NO₂ um, sodass neuer Rußbrennstoff verfügbar ist.“ [EBE-10]

Der Filter-Hersteller HJS empfiehlt unbeschichtete (für Einsatz im Fernverkehr) bzw. beschichtete (für Einsatz im Nahverkehr) Sintermetallfilter, welche im Vergleich zu herkömmlichen Keramikfiltern eine drei- bis viermal längere Laufleistung bis zur ersten Reinigung des Filters aufweisen („Reinigungsintervalle von mehr als 250.000 km Laufleistungen sind keine Seltenheit.“) und somit zu reduzierten Wartungs- und Stillstandszeiten führen. Auch die Kosten für Wartung und Service betragen bei

einem Sintermetallfilter ca. 1/7 der Kosten bei einem Keramikfilter. Ein Reinigungsbedarf wird dem Fahrzeugführer automatisch angezeigt. [HJS-09]
Weitere Informationen finden sich u.a. beim Hersteller TWINTEC [TWI-10a].

Voraussetzungen – Nach [VCD-02] und [DAI-04] ist schwefelfreier Kraftstoff Voraussetzung für die optimale Funktion von Ruß-Partikelfiltern bei Dieselfahrzeugen. Schwefelfreier Dieseldieselkraftstoff mit maximal 10 ppm Schwefelgehalt (Nachweisgrenze) wird in Deutschland bereits seit 2003 auf freiwilliger Basis flächendeckend angeboten [STU-10], wird allerdings (Stand 2004) „...beispielsweise in Osteuropa mittelfristig nicht zur Verfügung stehen ...“ [DAI-04].

Nutzenpotentiale – Mit (nachrüstbaren) Diesel-Partikelfiltern kann bei LKW insbesondere schlechterer Schadstoffklassen (EURO I – III) eine Partikelabscheiderate von über 99 % erreicht werden. Durch die bessere Plaketteneinstufung wird auch die freie Zufahrt zu städtischen Umweltzonen möglich. Zudem kann sich durch die veränderte Einstufung eine Einsparung bei den Mautkosten ergeben. [HER-09] Aufgrund der möglichen Mautkosten-Einsparung werden von HJS Amortisationszeiten dargestellt, die bestenfalls bereits innerhalb des ersten Jahres liegen sollen (abhängig von der Schadstoffklasse und der jährlichen Laufleistung). [HJS-09] Staatliche Fördermöglichkeiten im Rahmen des Förderprogramms „De-minimis“ bestehen sowohl für leichte Nutzfahrzeuge mit einer zulässigen Gesamtmasse bis zu 3,5 Tonnen (vorerst begrenzt bis Ende 2010; vgl. [BMU-10e],[BMU-10d]) als auch für schwere Nutzfahrzeuge mit einem zulässigen Gesamtgewicht von mindestens 12 t (vgl. [BAG-10],[TWI-10b]).

Aufwand und Risiken – Nach [HJS-09] betragen die Kosten für Filter inkl. Einbau bei einem MB Actros Euro III ca. EUR 5.700,-- netto, die Kosten pro Wartung EUR 240,-- bei 4 h Stillstandszeit (Stand 10.03.2009). Hinsichtlich Erhöhung des Kraftstoffverbrauchs gibt es widersprüchliche Angaben: Nach Herstellerangaben [HJS-09] tritt ein messbarer Einfluss auf den Kraftstoffverbrauch nicht auf, an anderer Stelle [DAI-04] heißt es „Partikelfiltersysteme ... erhöhen aber den Kraftstoffverbrauch.“

Reifegrad – Von verschiedenen Herstellern am Markt verfügbar (vgl. z.B. [HJS-09],[TWI-10a]).

2.1.4.3 SCR-Katalysator mit AdBlue

Grundgedanke – Weitgehende Reinigung der Abgase von Stickoxiden NO_x durch Zufuhr von Harnstoff (vgl. [EBE-10])

Beschreibung – In den SCR-Katalysator (Selective Catalytic Reduction) wird als Reagenzstoff eine 32,5-prozentige Wasser-Harnstofflösung mit dem Handelsnamen „AdBlue“¹⁴ eingespritzt, die sich dann bei über 200°C zu Ammoniak¹⁵ (NH_3) und Kohlendioxid (CO_2) zersetzt. Das Ammoniak reagiert mit den Stickoxiden (NO und NO_2) zu harmlosen Stickstoff und Wasser. Die AdBlue-Harnstoff-Lösung befindet sich in einem separaten Tank im Fahrzeug. Sie wird verbraucht und muss nachgetankt werden. [ARA-06],[CHE-10],[EBE-10]

Optional kann nach dem SCR-Katalysator noch ein kleiner Oxidationskatalysator vorgesehen werden: dieser würde aus evt. nach dem SCR-Prozess vorhandenen überschüssigen Ammoniak wieder Stickstoff und Wasser erzeugen. [AUT-08b]

Neben der Erstausrüstung von Neufahrzeugen ist auch die Nachrüstung möglich, wodurch Euro III-Nutzfahrzeuge die Norm Euro V einhalten können (vgl. z.B. [TWI-08]).

Nutzenpotentiale – Zur Erreichung der EURO 5-Norm setzt die Mehrheit der europäischen LKW- und Bushersteller auf die bewährte SCR-Technologie. „Der Anteil der Stickoxide in den Abgasen wird auf diese Weise um über 85% gesenkt.“ [BAS-10] Gegebenenfalls ergeben sich dadurch auch reduzierte Mautgebühren (vgl. [TOL-10]). Im Vergleich zu der NO_x -Reduzierungs-Alternative „Abgasrückführung (AGR) ohne SCR“ sinkt der Dieserverbrauch bei LKW mit SCR ohne AGR um bis zu 8 %. Die durch die Vermeidung der Abgasrückführung entstehende Verbrennungsverbesserung bedingt zusätzlich eine Reduktion der Partikel. [ARA-06]

Aufwand und Risiken – Wenn ein LKW mit einem SCR-System ohne AdBlue betrieben wird, kann die SCR-Ausrüstung Schaden nehmen und die Emissionen nicht den gesetzlichen Vorschriften entsprechen. Bei Temperaturen unter -11 °C

¹⁴ „AdBlue® ist eine eingetragene Marke des VDA (Verband der Automobilindustrie)“ [VDA-10]

¹⁵ Der dem eigentlichen SCR-Katalysator vorgeschaltete Hydrolyse-Katalysator erzeugt aus der zudosierten Harnstoff-Lösung den Ammoniak [WAL-00].

gefriert das AdBlue. Sobald es wieder aufgetaut ist, kann es weiter verwendet werden. Teilweise verfügen die LKWs deshalb über entsprechende Heizsysteme. [VDA-10]

Um nach seiner Herstellung die Norm-Anforderungen¹⁶ mindestens für 12 Monate zu erfüllen, beträgt die empfohlene Lagertemperatur maximal 25°C. Wird diese Temperatur überschritten, verkürzt sich der Zeitraum. [BAS-10]

Der AdBlue-Verbrauch beträgt etwa 5 % des Dieselkraftstoffverbrauchs [ARA-06]. Der Preis von AdBlue ist u.a. abhängig von der Abnahmemenge, „er liegt aber ungefähr bei der Hälfte des Dieselpreises pro Liter“. [ADB-09] Die Förderfähigkeit z.B. der Adblue-Betriebsmittel nach De-minimis-Programm sollte geprüft werden (vgl. [GOO-10]). Als Beispiel für die Investitionskosten bzgl. SCR-Technologie (Neukauf, nicht Nachrüstung) findet sich in [KFZ-06] die Aufpreis-Angabe für einen Mercedes Actros 1851 in Bluetec 5-Version in Höhe von EUR 2.849,-- (netto).

Reifegrad – Nach [WIK-10o] „...hat sich die SCR-Technologie mit AdBlue-Tank, SCR-Katalysator und Einspritzregelung bei nahezu allen großen LKW-Herstellern zur Erreichung der Euro-5-Abgasnorm durchgesetzt.“

Der Bezug von AdBlue ist möglich bei Transportunternehmen, an Tankstellen, Servicestationen oder Hersteller- und Handelsunternehmen. Die Belieferung kann „auf der Straße“ (mit Kanistern oder Pumpen z.B. an Tankstellen) oder direkt in die Niederlassung des Frachtunternehmens (Lagerung in 1000-Liter-IBCs¹⁷ oder in Minilagern mit einer Kapazität von 4000 bis 7000 Litern) erfolgen. Europaweit gibt es laut <http://www.findadblue.com> über 6000 Bezugsorte (davon über 5000 für Kanisterware). [FIN-10]

2.1.5 Reifentechnik

Zur Reduzierung des Kraftstoffverbrauchs über die Reifen gibt es nach [GOO-10b] folgende Ansätze:

- Rollwiderstandsoptimierte Reifen

¹⁶ ISO-Normen 22241-1 bis 4 [VDA-10]

¹⁷ IBC = Intermediate Bulk Container [FIN-10]

- Optimierter Reifenfülldruck
- Vermeidung von Spurfehlern^{18 19}

Pro Monat kann ein LKW-Reifen²⁰ bis zu 2 psi²¹ Druck verlieren [BRI-03]. Ein Druckverlust wirkt sich negativ auf den Rollwiderstand und somit auf den Kraftstoffverbrauch aus. Zudem verschlechtert sich das Fahrverhalten und der Reifenverschleiß steigt an. [UMW-09] „Ein Unterschreiten des Nominaldrucks um 1 bar kann bis zu 5% mehr Rollwiderstand und erheblich gesteigerten Kraftstoffverbrauch verursachen ...“ [GOO-10b].

Als Ergebnis verschiedener Tests wird in [TRU-10] bilanziert: „Die Reifenwahl kann den Verbrauch um ganze 11 Prozent senken, der richtige Reifendruck sorgt für eine Reduktion um 1 Prozent und die richtige Spureinstellung macht weitere 2,5 Prozent aus.“

2.1.5.1 Reifen mit reduziertem Rollwiderstand

Grundgedanke – Einsatz von rollwiderstandsarmen Reifen um den Kraftstoffverbrauch zu reduzieren und Umweltauswirkungen zu mindern (vgl. [GOO-10b]).

Beschreibung – Ansatzpunkte zur Reduzierung des Rollwiderstands sind u.a. die Gummimischung²², Profildesign und –tiefe, Reifenquerschnitt²³ sowie die Reduzie-

¹⁸ Falsch justierte Achsen können primär durch die dadurch bedingte Erhöhung des Rollwiderstands einen großen Einfluss auf den Treibstoffverbrauch haben. Je nach Art des Spurfehlers kann so der Kraftstoffverbrauch um 4,5 oder 18,5 % steigen. [GOO-10b].

¹⁹ „... sind zwei Drittel der Lastzüge in Europa mit falscher Spureinstellung unterwegs.“ Sicheres Zeichen für eine falsche Spureinstellung ist ein ungleichmäßiger Reifenverschleiß. [TRU-10]

²⁰ Fülldruck bei LKW-Reifen nach [COR-09]: 8 bis 10 bar

²¹ Nach [CHE-10b] gilt: 1 psi = 0.06894757 bar; somit 2 psi = ca. 0,13 bar

²² siehe auch [IWV-07]

²³ Niederquerschnittsreifen haben meist einen geringeren Rollwiderstand. [GOO-10b]

rung von Verformungen durch einen entsprechenden Reifenaufbau [MIC-10, GOO-10b].

Nutzenpotentiale – Der Rollwiderstand der Reifen ist ein wesentlicher Einflussfaktor auf den Kraftstoffverbrauch von LKWs: er kann bis zu einem Drittel der gesamten Treibstoffkosten beeinflussen²⁴. Im Gegensatz zum exponentiellen Anstieg des Einfluss des Luftwiderstands steigt der Einfluss des Rollwiderstands der Reifen „nur“ linear an – d.h. der anteilige Einfluss des Rollwiderstands nimmt bei höheren Geschwindigkeiten ab. [GOO-10b].

Nach [MIC-10] kann man mit rollwiderstandsarmen Reifen durchschnittlich über die Lebensdauer²⁵ eines Reifens ca. 1 l Kraftstoff pro 100 km sparen, an anderer Stelle [MIC-10b] heißt es sogar „...bis zu 6% Treibstoffersparnis im Vergleich zu traditionellen Reifen“. [CON-10b] nennt eine Kraftstoffersparnis von ca. 4 % (Reifentyp für Transporter wie Mercedes Vito). In [TRU-10] wird als Ergebnis verschiedener Testfahrten genannt: „Die Reifenwahl kann den Verbrauch um ganze 11 Prozent senken ...“.

Aufwand und Risiken – Aus Erkenntnissen der Entwicklung bei PKW-Reifen kann der Hinweis abgeleitet werden, dass eine zu einseitige Optimierung des Rollwiderstands eine Verschlechterung des Bremsverhaltens bei Nässe zur Folge haben kann. Folglich ist auf eine ausgewogene Abstimmung aller relevanten Eigenschaften zu achten. (vgl. [AUT-08])

Reifegrad – Bei vielen Herstellern verfügbar (siehe z.B. [GOO-10c],[MIC-10b],[CON-10b]).

²⁴ [MIC-10] nennt auch „1/3“, [CON-10] nennt sogar Anteile „Zwischen 35% und 60% ...“.

²⁵ „Abgefahrenere Reifen haben einen geringeren Rollwiderstand als Neureifen.“ [GOO-10b]

2.1.5.2 Reifen mit reduzierter Luftdurchlässigkeit

Grundgedanke – Reduzierung von Druckverlusten in LKW-Reifen durch spezielle Zusatzstoffe bei der Reifenherstellung. (vgl. [UMW-09]).

Beschreibung – Bei der Herstellung der Innerliner von Reifen werden dem Kautschuk spezielle Rußsorten beigemischt, um so die Luftdurchlässigkeit und einen Druckverlust zu reduzieren. [UMW-09] Weitere Details siehe [COR-09].

Nutzenpotentiale – Durch eine neu entwickelte Rußsorte (ECORAX S 206 von Evonik) wird der Reifenluftdruck bis zu 50 Prozent länger auf dem optimalen Level gehalten. Im Vergleich zu anderen bereits bisher eingesetzten Rußsorten soll ECORAX S 206 den Druckverlust nochmals um 25% reduzieren. Der so gleichzeitig verbesserte Schutz gegen das Eindringen von Feuchtigkeit bewirkt auch eine längere Lebensdauer. [UMW-09]

Reifegrad – ECORAX S 206 ist verfügbar (siehe [EVO-10]), Mitte 2008 waren die ersten 1.000 Tonnen an LKW-Reifenhersteller verkauft [UMW-09].

2.1.5.3 Reifendruck-Kontrollsysteme

Grundgedanke – Durch den Einsatz von Reifendruckkontrollsystemen (TPMS²⁶) soll der Fahrer bei einem Druckverlust in einem Reifen unmittelbar alarmiert werden.

Beschreibung – Grundsätzlich ist zu unterscheiden zwischen direkt und indirekt messenden Systemen [CON-08, NTV-09, NIS-08, GOL-10]:

- Direkt messende Systeme arbeiten mit Reifendrucksensoren²⁷, welche die Daten drahtlos an ein Erfassungsgerät²⁸ übertragen; sie melden bereits eine

²⁶ Tire-pressure monitoring system [GOL-10]

²⁷ Die Sensoren werden auf den Ventilschaft der Reifen aufgeschraubt (siehe [PRE-10])

²⁸ Bei einem Gerät mit integriertem Datenspeicher ist es zusätzlich möglich, die Reifendruckdaten inklusive der Uhrzeiten via RS232 in die Reifenmanagementsoftware, PDA's oder Laptops herunter zu laden. „Der Flottenmanager kann somit die Zuverlässigkeit seiner Fahrer mit überwachen ...“ [PRE-09]

Abweichung von 0,2 bar (bei PKW) und 0,4 bar (bei Lkw) gegenüber dem Solldruck; optional: zusätzliche Plausibilitätsprüfung über das indirekte Verfahren

- Indirekt messende Systeme errechnen den Reifenluftdruck aus Messwerten der ABS-Sensoren; sie reagieren langsam (ab einem Minderdruck von 25 bis 30 Prozent). Diese Systeme können nicht den absoluten Druck messen sondern nur einen Druckabfall registrieren (über die Differenzdrehzahlen der Räder): nach dem Befüllen der Reifen muss jeweils neu kalibriert werden.

Nutzenpotentiale – siehe oben (Einführung zu 2.1.5); und „Bei einem Dieselpreis von 1,50 Euro pro Liter würde eine kontinuierliche Reifendruck-Überwachung bei schweren Lkw zu einer Kosteneinsparung von rund 1.000 Euro pro Jahr und Fahrzeug führen.“ [CON-08]

Aufwand und Risiken – Die Anschaffungskosten belaufen sich für einen Sattelzug mit festem²⁹ Anhänger und insgesamt 12 Reifen z.B.

- beim System PressurePro auf ca. EUR 1.300,-- (Monitor, Halterung, Autoladekabel, Antenne, 12 industrielle Sensoren) inkl. MwSt. zzgl. Versandkosten und Montage (auf Basis der Einzelpreise in [PRE-10]),
- beim System Atrium auf ca. EUR 580,-- (Monitor, Halterung, Stromkabel, 12 Sensoren inkl. Diebstahlsicherung) inkl. MwSt. [AUT-10b]

Mögliches Risiko, da es sich bei einem TPMS um das erste drahtlose Kommunikationssystem innerhalb des Autos handelt: „Wissenschaftlern der Universität des US-Bundesstaates South Carolina in Columbus und der Rutgers Universität in Piscataway im US-Bundesstaat New Jersey ist es gelungen, über das Reifendruckkontrollsystem das elektronische Steuersystem (Electronic Control Unit, ECU) eines Fahrzeuges zu manipulieren.“ Die Wissenschaftler empfehlen u.a. die Kommunikation zu verschlüsseln. [GOL-10]

Reifegrad – Auf dem Markt von verschiedenen Herstellern zur Nachrüstung verfügbar (siehe oben).

²⁹ Zum komfortablen An-/Abkoppeln verschiedener Auflieger sind weitere Komponenten erforderlich (siehe [PRE-10],[AUT-10b])

2.2 Innerbetriebliche Fördertechnik

2.2.1 Manuell bediente Flurförderfahrzeuge

In **Abb. 4** werden verschiedene Antriebstechnologien hinsichtlich bestimmter Kriterien verglichen. Ökologisch interessante Ansätze werden in den folgenden Abschnitten ausführlicher vorgestellt.

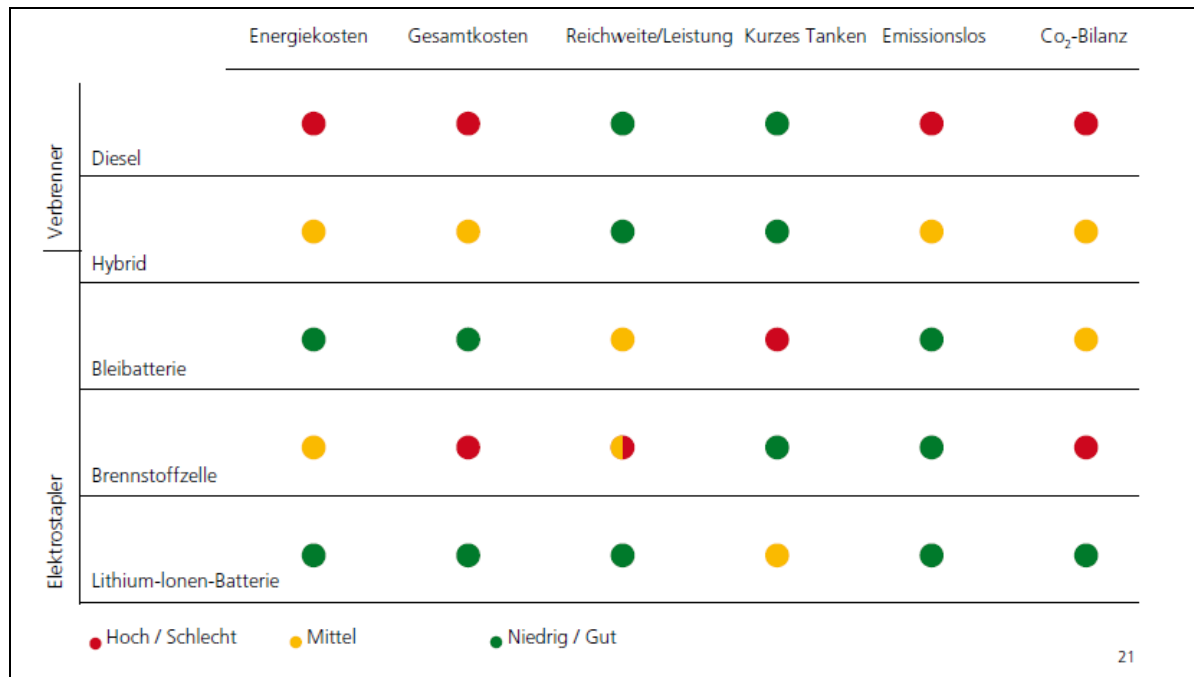


Abb. 4 Antriebstechnologien im Vergleich [JUN-09]

2.2.1.1 Diesel-elektrischer Antrieb

Grundgedanke – Durch die Kombination von Verbrennungs- und Elektromotor (ohne Speicherung elektrischer Energie) sollen Kraftstoffverbrauch und Schadstoffemissionen gegenüber einem reinen Dieselstapler reduziert werden.

Beschreibung – Ein sparsamer Dieselmotor treibt einen Drehstromgenerator an (**Abb. 5**). Über eine Steuereinheit wird der erzeugte Strom „geregelt und nach Bedarf an den elektrischen Fahrmotor weitergeleitet.“ [STI-10b, STI-10c]



Abb. 5 Antriebskonzept eines diesel-elektrischen Staplers [STI-10b]

Nutzenpotential – „Diese innovative Antriebstechnik macht es möglich es, dass STILL Dieselstapler weltweit den geringsten Verbrauch und den geringsten CO₂-Wert aufweisen. ... gilt für RX 70-25: 2,5l Diesel/Std. nach VDI 2198 neu. Dank dieses geringen Verbrauchs wird der CO₂-Ausstoß um bis zu 60% reduziert (gegenüber Vergleichsmodellen).“ [STI-10b]

Reifegrad – Still RX 70 am Markt verfügbar [STI-10d].

2.2.1.2 Hybridstapler

Grundgedanke – Durch die Kombination von Verbrennungs- und Elektromotor (inklusive Rückspeisung und Speicherung elektrischer Energie) wird der Einsatz kleinerer Dieselmotoren ermöglicht, wodurch Kraftstoffverbrauch und Schadstoffemissionen gegenüber einem reinen Dieselstapler reduziert werden sollen ³⁰.

Beschreibung – Je nach Hersteller gibt es unterschiedliche Realisierungskonzepte: Still treibt mit dem Dieselmotor über einen Drehstromgenerator einen elektrischen

³⁰ Hybridkraftfahrzeug (vgl. [EUR-07]): „ein Fahrzeug mit mindestens zwei verschiedenen Energiewandlern und zwei verschiedenen Energiespeichersystemen (im Fahrzeug) zum Zwecke des Fahrzeugantriebs“

Fahrmotor an, bei Bedarf (z.B. beim Beschleunigen) wird ergänzend Energie aus den Hochleistungs-Doppelschicht-Kondensatoren (Super- bzw. Ultra Caps) zugeführt (**Abb. 6**). Aufgeladen werden die Super-Caps mit der beim Abbremsen des Fahrzeugs freiwerdenden Energie. [STI-09, STI-10a].

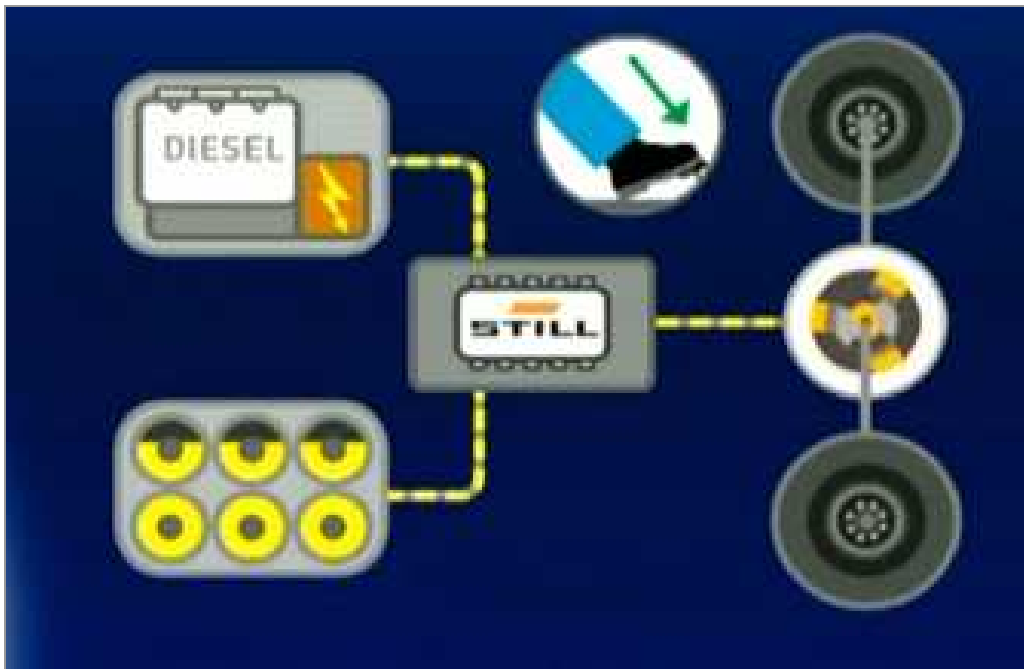


Abb. 6 Antriebskonzept Still RX 70 Hybrid (Standbild-Ausschnitt aus [STI-09])

Toyota kombiniert „einen Dieselmotor mit 2,5 Liter Hubraum, einen Elektromotor/ Generator und einen Nickelhydrid-Akkumulator“. Zum Fahren wird ein serielles³¹ Hybridsystem genutzt: dabei „treibt der Dieselmotor einen Generator an, dessen Leistung dann über eine Steuerung zum Antrieb des Staplers und gleichzeitig zur Ladung der Batterie verwendet wird“. Zur Lastaufnahme wird dagegen ein

³¹ **Seriellles Hybridsystem:** hierbei „hat der Verbrennungsmotor keinerlei mechanische Verbindung mehr zur eigentlichen Antriebsachse, er treibt lediglich einen elektrischen Generator an, der die E-Maschinen mit Strom versorgt oder die Traktionsakkus lädt. Es kann ein schwächerer Verbrennungsmotor eingesetzt werden, da die Akkus bei Leistungsbedarfsspitzen zusätzlichen Strom liefern ...“ [WIK-10p]

paralleles³² Hybridsystem genutzt: dieses „bietet die Möglichkeit, die Hydraulikpumpe wahlweise direkt über den Dieselmotor oder aber auch über die in der Batterie gespeicherte Energie elektrisch zu betreiben.“ Durch ein Energierückgewinnungssystem wird z.B. beim Abbremsen Energie erzeugt. [FLU-09] Beim Toyota-Stapler lädt sich die Batterie „während des Betriebs von selbst wieder auf und kann den Stapler auch bei abgeschaltetem Verbrennungsmotor kurzzeitig allein antreiben.“ [TOY-08]

Bei Mitsubishi besteht das Konzept „aus einer Lithium-Ionen Batterie mit hoher Kapazität, einem kompakten Dieselmotor mit geringen Emissionen, zwei Induktionsmotoren und einem Wechselrichter“. [MML-10a]

Linde Material Handling bevorzugt ein Mild-Hybrid-Konzept³³: dabei „bildet der Verbrennungsmotor weiterhin die Basis des Antriebsstranges“. Zusätzlich verfügt der Stapler über einen Elektromotor (Synchronmotor), der gleichzeitig als Starter und Generator fungieren kann sowie eine 400 Volt Lithium-Ionen-Batterie. Zudem verfügt der Stapler über eine Start & Stopp-Automatik für den Verbrennungsmotor und eine Energierückgewinnung. Die Verstärkung des Verbrennungsmotors durch den Elektromotor kommt insbesondere dann zum Einsatz, „wenn das Fahrzeug viel Leistung benötigt, wie dies beim Beschleunigen oder dem Anheben mit Nennlast aus dem Stand der Fall ist.“ [LIN-08a]

Nutzenpotentiale – Im idealen Einsatzfall (häufige Brems- und Beschleunigungsvorgänge z.B. beim Be- und Entladen von LKWs in der Getränkeindustrie) beträgt die „Einsparung von Energie ... je nach Intensität der unterschiedlichen Arbeitsspiele bis zu 11 Prozent.“ [STI-10a] Bei Mitsubishi konnten „die Dieselmotoren für die Hybridstapler mit rund 30% weniger Hubraum ausgelegt werden, als die Dieselmotoren für normale verbrennungsmotorische Gabelstapler vergleichbarer Tragfähigkeitsklassen. Das bedeutet eine erhebliche Reduzierung der CO₂-

³² **Paralleles Hybridsystem:** hier wirken „der oder die Elektromotor(en) gemeinsam mit dem Verbrennungsmotor auf den Antriebsstrang. In mindestens einem Betriebszustand sind die Kräfte oder Drehmomente der einzelnen Antriebe gleichzeitig verfügbar.“ [WIK-10p]

³³ **Mildhybrid:** „Der Elektroantriebsteil unterstützt den Verbrennungsmotor zur Leistungssteigerung. Die Bremsenergie kann in einer Nutzbremse teilweise wiedergewonnen werden. ... Parallel arbeitende Hybridantriebe werden oft als Mildhybrid ausgeführt.“ [WIK-10p]

Vollhybrid: „Vollhybridfahrzeuge sind mit ihrer elektromotorischen Leistung ... in der Lage, auch rein elektromotorisch zu fahren (einschließlich Anfahren und Beschleunigen) und stellen daher die Grundlage für einen Seriell-Hybrid dar.“ [WIK-10p]

Emissionen.“ [MML-10a] Der Hybrid-Stapler von Toyota „senkt die CO2 Emissionen und den Kraftstoffverbrauch um bis zu 50 Prozent“ [FLU-09]. Beim Linde-Stapler (inkl. Start & Stopp-Automatik , s.o.) „ergibt sich je nach Einsatzfall eine Verbrauchsreduzierung um bis zu 25 Prozent“ [LIN-08a]

Reifegrad – Still „testet als nächstes die Marktakzeptanz in Feldversuchen bei Kunden.“ [STI-10a]. Bei Mitsubishi „hat in Japan bereits die Serienproduktion des Gabelstapler mit Hybridantrieb begonnen. 2011 sollen die ersten 4,0- bis 5,0-t-Hybrid-Gabelstapler in den europäischen Markt eingeführt werden.“ [MML-10a] Bei Toyota wurde eine Einführung ab Dezember 2009 zunächst im japanischen Markt geplant. [FLU-09]

2.2.1.3 Hydrostatischer Direktantrieb

Grundgedanke – Bei Staplern mit Verbrennungsmotor soll ein hydrostatischer Antriebsstrang anstelle eines mechanischen Antriebsstrangs zu einem geringeren Verbrauch an Betriebsstoffen, zu einer besseren Ausnutzung der erzeugten Energie und zu einer reduzierten Feinstaubbelastung führen. (vgl. [LIN-10a],[SMM-10],[JUN-10a])

Beschreibung – Bei einem hydrostatischen Antrieb treibt der Motor eine Pumpe an (**Abb. 7**). Die erzeugte Kraft wird stufenlos über einen geschlossenen Ölkreislauf an die beiden Hydraulikmotoren weitergegeben, die direkt an den Antriebsrädern platziert sind³⁴. Über jeweils ein Pedal für Vorwärts- und Rückwärtsfahrt wird die Fahrtrichtung gesteuert, beim Loslassen des jeweiligen Pedals bremst das Fahrzeug ab. Somit sind keine mechanischen Bremsen notwendig, ebenso wenig wie Differential, Getriebe oder Kupplung. [LIN-10a,b]

³⁴ „in die kompakte Antriebsachse sind zwei langsam laufende Hydromotoren integriert, welche die Antriebsräder direkt, d h. ohne Untersetzungsgetriebe, antreiben.“ [SMM-10]

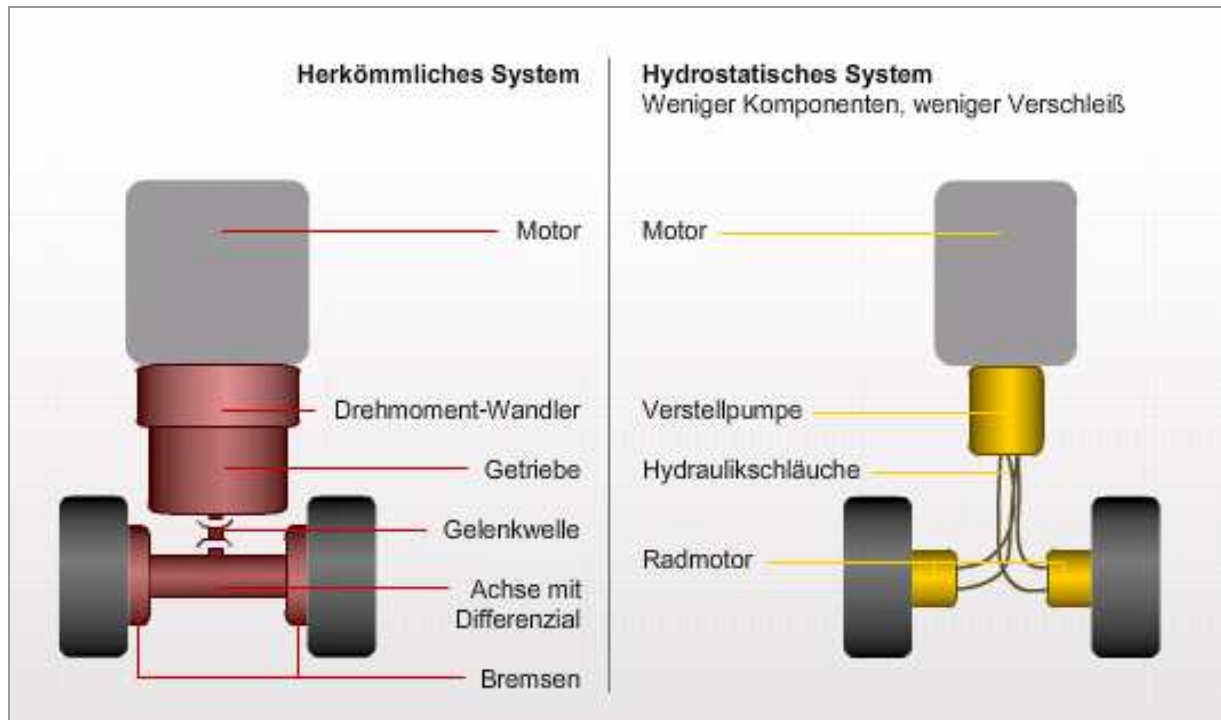


Abb. 7 Vergleich Hydrostatik-Antrieb mit herkömmlichem Antrieb [JUN-10a]

Nutzenpotentiale – Neben einer Erleichterung der Handlingeigenschaften³⁵ werden weniger Ressourcen – in Form von Betriebsstoffen verbraucht und Emissionen teilweise vermieden [LIN-10a,b]:

- kein Getriebe- sowie Differentialöl
- keine Brems- oder Kupplungsbeläge
- keine Feinstaubbelastung durch Abrieb von Bremsbelägen³⁶
- der Wirkungsgrad beträgt 90%³⁷

³⁵ siehe auch [JUN-10b]: „Hydrostatische Fahreigenschaften stehen für viel Fahrkomfort sowie eine hohe Umschlagleistung insbesondere bei intensiven Einsätzen mit vielen Richtungswechseln. In der Praxis bedeutet dies unter anderem schnelles und direktes Beschleunigen sowie rasche, dabei aber sanfte und geschmeidige Richtungswechsel. Damit ist das Fahrzeug besonders geeignet für den so genannten Reversiereinsatz, beispielsweise beim Be- und Entladen von LKW.“

³⁶ Die Feinstaubbelastung einer konventionellen Bremse liegt bei 350 g pro Jahr [LIN-10b].

- Einsparung von bis zu 30 % Kraftstoff
- Halbierung des Reifenverschleiß

Reifegrad – In Kombination mit Diesel- oder Treibgasmotor am Markt verfügbar: siehe z.B. [JUN-10a], [LIN-10a].

2.2.1.4 Elektromotorische Direktantriebe

(vorläufig: siehe z.B. [JUN-09])

2.2.1.5 Lithium-Ionen- bzw. Lithium-Polymer-Batterie

Grundgedanke – Einsatz einer Lithium-Ionen-Batterie anstatt einer Bleibatterie, um insbesondere durch die geringeren Verluste bei Ladung und Entladung Energie einzusparen (vgl. [BEN-10]).

Beschreibung – „Eine Lithium-Ionen-Zelle besteht aus einer Grafit-Elektrode (negativ) und einer Lithium-Metalloxyd-Elektrode (positiv). Das Lithium-Metalloxyd kann Mangan, Nickel oder Kobalt sein. ... Lithium ist das leichteste Metall und reagiert heftig mit Wasser. Deshalb kommt als Elektrolyt ein wasserfreies, aber brennbares Lösungsmittel zum Einsatz. ... Die Elektroden werden durch einen Separator getrennt, um einen Kurzschluss zwischen der Elektroden zu verhindern. Der Separator ist für die Lithium-Ionen durchlässig.“ [ELE-10] Während des Lade- und Entladeprozesses pendeln die Lithium-Ionen (Li^+) zwischen den Elektroden. Beim Laden werden die Lithium-Ionen von dem Grafitgitter der negativen Elektrode absorbiert, beim Entladen wieder freigesetzt. [VAR-10]

„Je nachdem, ob der Elektrolyt flüssig oder fest ist, spricht man von Lithium-Ionen-Akkus oder Lithium-Polymer-Akkus.“ [ITW-10]

³⁷ Die Angaben zum Wirkungsgrad sind noch zu hinterfragen, da z.B. nach [UNI-10]: „Der Nachteil der hydrostatischen Antriebe liegt in ihrem geringen Wirkungsgrad der zu einem relativ hohen Energie- bzw Kraftstoffverbrauch führt. Während ein mechanischer Antrieb einen Wirkungsgrad zwischen Motor und den Rädern von ca. 85% hat liegt ein hydrostatischer Antrieb im Extremfall nur bei ca. 30% - zur Orientierung: von 100 kW Motorleistung kommen nur 30 kW an den Rädern an!“.

Nutzenpotentiale – Bereits in **Abb. 4** schneidet die Lithium-Ionen-Batterie im Vergleich zu anderen Antriebstechnologien sehr gut ab. Darüber hinaus sind als wesentliche Vorteile u.a. zu nennen:

- wartungsfrei [BEN-10, JUN-09]
- doppelte Lebensdauer im Vergleich zur Bleibatterie [BEN-10; JUN-09]
- hohe Energiedichte³⁸ von bis zu 190 Wh/kg [ELE-10; ITW-10]
- konstante Ausgangsspannung über den gesamten Entladezeitraum [ITW-10]
- Zwischenladungen möglich ohne Memory-Effekt oder Kapazitätsschwund [BEN-10, ITW-10]
- Schnellladefähigkeit: „...innerhalb einer Stunde komplett wieder aufladen.“ [BEN-10], z.B. „Nutzung der Mittagspause für eine Zwischenladung“ [CTG-10, S.68]
- „Im Gegensatz zu Bleibatterien, bei denen nur etwa 80 Prozent der Kapazität genutzt werden kann, liegt der Nutzungsgrad der Lithium-Ionen-Akkus bei nahezu 100 Prozent.“ [FUH-10]³⁹
- Geringere Verluste bei Ladung und Entladung [BEN-10]
- „Die Akkus benötigen verglichen mit einem Bleiakkumulator gleicher Kapazität nur ein Drittel des Bauraums und wiegen nur ein Viertel.“ [CTG-10, S.68]⁴⁰ alternativ: bei gleich bleibendem Gewicht bzw. Volumen mehr speicherbare Energie [GET-09]

³⁸ Bleibatterien haben eine Energiedichte von ca. 35 Wh/kg, Nickel-Cadmium-Akkumulatoren (Ni-Cd) 50 Wh/kg, Nickel-Metallhydrid-Akkumulatoren (Ni-MH) 70 Wh/kg. [WIS-10]

³⁹ Ein Teil der bei der Ladung eines Akkus aufgenommenen Kapazität geht durch Nebenreaktionen oder Selbstentladung verloren und steht so nicht für die Entnahme zur Verfügung [IND-09].

⁴⁰ Das im Gegensatz zu Niederhubwagen bei Gegengewichtsstaplern erforderliche Gegengewicht kann preisgünstiger durch Stahlgewichte realisiert werden, die zudem beliebig am Stapler platziert werden können. [CTG-10, S.68; BEN-10]

Insbesondere die Schnellladefähigkeit und der nichtauftretende Memory-Effekt könnten die bisherigen Nachteile „lange Ladezeit“⁴¹ bzw. „Erfordernis eines Batteriewechsels“ der Elektrostapler gegenüber Staplern mit Verbrennungsmotor verschwinden lassen und damit auch einen Einsatz im intensiven Drei-Schicht-Betrieb vereinfachen [BEN-10].

In [BEN-10] ist die Rede von „15 Prozent Einsparung bei den Energiekosten bei gleich bleibenden Leistungsdaten“, [JUN-09] bezieht diesen Prozentwert aber auf ein kombiniertes System mit Direktantrieb⁴².

Risiken und Aufwand – Neben den noch hohen Herstellkosten [BEN-10] ist u.a. noch genauer zu hinterfragen:

- Anzahl der möglichen Ladezyklen⁴³ ausreichend ?
- Umweltverträglichkeit ? (vgl. [ELE-10]: „absolut giftig für die Umwelt“)
- Zukünftige Möglichkeiten zum Recycling ? (vgl. [CTG-10, S.68])⁴⁴
- Sicherheit ?⁴⁵

Reifegrad – Jungheinrich macht einen ersten Feldtest [BEN-10]: „Ausgestattet mit einer Lithium-Ionen-Batterie ist ein Elektro-Gegengewichtsstapler (Typ EFG 216k) seit vergangenem Monat bei einem großen deutschen Automobilhersteller im Einsatz.“ [FUH-10] Seit September 2009 ist ein Stapler mit einem Lithium-Polymer-Akku⁴⁶ des Batterie-Herstellers DBM Energy beim Papierverarbeiter Papstar im Einsatz [BEN-10]. Linde hat einen mit Lithium-Ionen-Batterien ausgestatteten Niederhubwagen T18 vier Wochen in einer Spedition getestet [GET-09].

⁴¹ „Acht Stunden“ [BEN-10]

⁴² „Direktantriebe sind getriebelose, in die Räder integrierte Elektromotoren mit sehr hohem Wirkungsgrad.“ [JUN-09]

⁴³ „rund 60-100 Zyklen“ [MOT-10b] bzw. „deutlich mehr als 500 Ladezyklen“ [ELE-10]; zum Vergleich: „NiMH-Akkus schaffen mehrere tausend Ladezyklen“ [ELE-10]

⁴⁴ Bei Bleiakumulatoren liegt die Recyclingquote bei annähernd 100 Prozent. [CTG-10, S.68]

⁴⁵ „Das Lösungsmittel ist der Grund, warum es gelegentlich Meldungen von explodierenden oder brennenden Notebook-Akkus gibt. Hierbei hat sich das Elektrolyt entzündet.“ [ELE-10]

⁴⁶ Daten des eingesetzten Lithium-Polymer-Akku: 240 Ah, 100 kg [BEN-10]

2.2.1.6 Drehstrom-Antriebe

(vorläufig: siehe z.B. [JUN-09])

2.2.1.7 Batterie-Ladegeräte

Grundgedanke – Durch eine effizientere Technologie soll der Energieverbrauch beim Laden der Flurförderzeug-Batterien reduziert werden.

Beschreibung – Zur Verbesserung der Energieeffizienz gegenüber der konventionellen (ungeregelten oder mikroprozessorgesteuerten) 50-Hz-Trafotechnik⁴⁷ gibt es z.B. folgende Ansätze:

- Pulsladetechnik⁴⁸ [JUN-10],[GBD-10]
- Hochfrequenz (HF)-Technologie [LOG-10; JUN-10]

⁴⁷ **Ungeregelte 50-Hz-Ladegeräte** „...bestehen im Wesentlichen aus einem konventionellen 50Hz Transformator, der die Netzspannung auf die Ladespannung transformiert und einem Gleichrichter, der die Wechselfspannung aus dem Trafo in Gleichspannung umwandelt.“ „Da die 50 Hz Ladetechnik weder auf das Alter der Batterie noch auf ihren Ladezustand eingeht, ist sie nicht mehr zeitgemäß.“ Für die Ausführung mit 1-stufiger Kennlinie gilt: „Das Batterieladegerät schaltet entweder gar nicht (W-Kennlinie) oder erst nach einer definierten Zeit (Wa-Kennlinie) ab. Bei diesen Kennlinien wird das Erreichen der Gasungsspannung nicht erkannt. Das Risiko von Über- oder Mangelladung ist sehr hoch, da die Spannung nicht an das exakt erforderliche Maß ausgeregelt wird.“ und „Netzspannungsschwankungen beeinflussen den Verlauf der Ladekurve sehr stark. Ist die Netzspannung zu niedrig, wird die Batterie nicht vollständig geladen. Es kann jedoch im umgekehrten Fall auch zu einer sehr hohen Ladespannung kommen, das führt zur Überladung, Gasung und Schädigung der Batterie.“ Bei Ausführung mit 2-stufiger Kennlinie (meist als WoWa bezeichnet) erfolgt ab „... dem Erreichen eines bestimmten Wertes ... mittels elektromagnetischem Schalter (=Schütz) eine Umschaltung auf Nachladung. Diese Phase ist zeitlich begrenzt, danach schaltet das Gerät die Ladung automatisch ab. Eine separate Phase der Erhaltungsladung ist nicht vorgesehen. Im Vergleich zu 1-stufigen Kennlinien können deutlich bessere Ladeergebnisse erzielt werden, da durch die Nachladung mehr Kapazität in die Batterie geladen wird.“ [FRO-10a; FRO-10b] Eine Verkürzung der Ladezeit ist durch die Wsa-Kennlinie möglich [OSW-10]. Details zu verschiedenen Lade-Kennlinien finden sich in [ZVE-04].

Mikroprozessorgesteuerte 50-Hz-Ladegeräte überwachen den Ladeprozess vollautomatisch (Anpassung der Ladezeit an Entladezustand der Batterie, Abschaltung erfolgt über du/dt-Steuerung, automat. Auffrischladungen, ...) [HOP-10a].

⁴⁸ „Erhöhte Ladestromblöcke in der Nachladephase bewirken die Durchmischung der Batteriesäure.“ [JUN-10]

- „Active Inverter⁴⁹ Technology“ von Fronius: „Im ersten Schritt wird ... die Wechselspannung des Netzes in eine Gleichspannung umgewandelt. Hochfrequenz-Schalttransistoren erzeugen aus dieser Gleichspannung eine gepulste Spannung mit Frequenzen von bis zu 100 kHz. Der Vorteil dieser hohen Frequenz ist unter anderem der viel leichtere, kompaktere und effizientere Transformator, der die Spannung transformiert. Nach dem Transformator gelangt die Spannung über den Sekundär-Gleichrichter und über den Sekundär-Filter zur Batterie. Der Sekundär-Filter glättet die Spannung auf eine nahezu ideale Gleichspannung (mit geringster Restwelligkeit).“ [FRO-10c]

Nutzenpotential – Jungheinrich nennt für die Geräte mit Pulsladetechnik „Bis zu 8,5% Energieeinsparung gegenüber herkömmlichen Ladegeräten“, für Geräte mit Hochfrequenztechnologie „Bis zu 30% Energieeinsparung gegenüber herkömmlichen Ladegeräten“ [JUN-10]. Auch Hoppecke formuliert für die HF-Technologie „Reduzierter Energieverbrauch ... um bis zu 30% gegenüber herkömmlichen Ladesystemen“ [HOP-10b]. Bestimmte HF-Fabrikate können auch „onboard“ in das Flurförderzeug integriert werden: „Dadurch lässt sich der Stapler an jeder 230-Volt-CEE-Steckdose ortsunabhängig aufladen ...“ [LIN-10]. Nach [STW-10] ist jedoch das Einsparpotential der HF-Geräte stark von der Vergleichsbasis (z.B. Kennlinie des 50-Hz-Vergleichsgeräts) und den Randbedingungen (z.B. Ladespannung) abhängig: „...die 50-Hz-Technologie kann in vielen Fällen (wie bei den 80-V-Pulslade-Geräten für große Batteriekapazitäten) im Hinblick auf die Energiebilanz und eine schonende Ladung durchaus mit den HF-Ladern mithalten.“⁵⁰

Die Geräte mit „Active Inverter Technology“ von Fronius sollen aufgrund eines Wirkungsgrads⁵¹ von 94% gegenüber alter 50-Hz-Trafotechnik und herkömmlicher HF-Technologie bis 30% Strom einsparen. Zudem lässt sich durch das schonende

⁴⁹ „Ein **Wechselrichter** (auch **Inverter**) ist ein elektrisches Gerät, das Gleichspannung in Wechselspannung bzw. Gleichstrom in einen Wechselstrom umrichtet.“ [WIK-10q]

⁵⁰ Im konkreten Langzeittest: „Die Systemeffizienz des HF-Laders Filon Futur 80V / 80 A beträgt sehr gute 91%. Aber auch der Filon Classic Puls Lader erreicht 89,5%.“ [STW-10]

⁵¹ Der Wirkungsgrad gibt an, wie viel Prozent des Stromes aus der Steckdose auch zum Batterieladen verwendet wird. Der Wirkungsgrad bei der 50-Hz-Trafotechnik und herkömmlicher HF-Technik liegt zwischen 60% und 80%. [LOG-10]

Laden die Lebensdauer der Batterien bis zu 25% verlängern. Diese Batterieladegeräte sind auch bis 70% kleiner und deutlich leichter als Geräte mit 50-Hz-Trafotechnik, was hinsichtlich des Laderaums im Lager vorteilhaft sein kann. [LOG-10]. Zudem erkennt diese Technologie „...den aktuellen Ladestatus der Batterie, den sie permanent kontrolliert und optimiert.“ und verkürzt die Ladezeit [FRO-10d]

Aufwand und Risiken – „HF-Lader können bei korrekter Anwendung und regelmäßiger Wartung eine hohe Lebensdauer von bis zu 15 Jahren erreichen. In der Regel ist die Lebensdauer eines 50-Hz-Laders länger.“ [STW-10]

Reifegrad – Von verschiedenen Herstellern auf dem Markt verfügbar, siehe z.B. [HAW-10],[HOP-10b],[FRO-10e],[JUN-10].

2.2.1.8 Energiesparender Betriebsmodus

(vorläufig: siehe z.B. [STI-11a],[LIN-10c])

2.2.1.9 Brennstoffzellen-Antrieb

(vorläufig: siehe z.B. [PRO-10])

2.2.2 Automatische Regalbediensysteme

2.2.2.1 Sanftanlauf

(vorläufig: siehe z.B. [IND-09])

2.2.2.2 Energierückgewinnung bei Regalbediengeräten

Grundgedanke – Durch Energierückspeisung bei den Antrieben von Regalbediengeräten⁵² (RBG) lässt sich der Stromverbrauch reduzieren.

Beschreibung – Beim Abbremsen⁵³ und beim Absenken der Last kann über die Antriebsmotoren eines RBGs Energie zurückgewonnen werden. „Durch den Einsatz von Servomotoren in Verbindung mit Leistungselektronik wird die Energie, die beim Verzögern der Antriebsachsen entsteht, nicht mit Bremswiderständen in Wärme, sondern in Strom umgewandelt.“⁵⁴. Diese Energie kann zum einen für parallel laufende Bewegungen⁵⁵ genutzt werden, nicht benötigte Übermengen können ins Versorgungsnetz zurückgespeist werden (Nutzung z.B. für die Antriebe der Fördertechnik in der Lagervorzone). „Diese Technik lohnt sich bei einem RBG besonders, denn zum Erreichen der gewünschten hohen Dynamik werden diese Geräte in der Längs- und Hubachse ständig beschleunigt und verzögert.“ [IND-09] Witron steuert die Hub- und Fahrwerksachsen so, „dass das Hubwerk in der Bremsphase des Fahrantriebes angehoben wird und sich in der Beschleunigungsphase des Fahrantriebes senkt.“ [MML-10d].

Nutzenpotentiale – „... Regalbediengeräte sind nachweislich die größten Energieverbraucher in einem AKL oder HRL.“ [PSB-10]. Laut PSB GmbH lassen sich mit der Energierückspeisung bei RBGs bis zu 30 Prozent der Energie zurückgewinnen [IND-09] Zudem: „Die höheren Kosten für das Energie-Rückspeisegerät können durch einen optimierten Schaltschrankaufbau in Verbindung mit einer vereinfachten und standardisierten Projektierung aufgefangen

⁵² [MML-10c] beschreibt diese Maßnahme auch für den auf-/abfahrenden Extraktor der Hänel-Lean-Lifte (Ausführung Ecodrive). Witron setzt auch Heber und Querverschiebewagen mit Rückspeiseeinheiten ein [MML-10d].

⁵³ Die bewegten Massen betragen bis zu zehn Tonnen. [IND-09]

⁵⁴ Technische Details siehe auch [MML-10c]

⁵⁵ [SEW-10a, S.10] beschreibt eine „energetische Kopplung der Fahr- und Hubachse über den Zwischenkreis der Antriebsumrichter MOVIDRIVE®. Somit kann die frei werdende generatorische Energie bei der Abwärtsfahrt des Hubwerks und beim Verzögern des Fahrwerks direkt in der anderen Achse genutzt werden.“ Gemäß [LOG-10a] ist „... die Energienutzung mittels Zwischenkreiskopplung inzwischen Standard.“

werden.“ [IND-09] Witron stellt fest: „Durch den Einsatz von Regalbediengeräten mit Rückspeiseeinheiten konnte deren Energiebedarf um bis zu 60% reduziert werden.“ [MML-10d] Nach SSI Schäfer hängt das Einsparpotential aber stark u.a. vom Gerätetyp ab⁵⁶ [MML-10b].

Reifegrad – Maßnahme wird bereits vielfach umgesetzt: z.B. PSB „rüstet ihre Maschinen inzwischen serienmäßig damit aus“ [IND-09]. „Anlagen mit teilweise mehr als 160 Fahrzeugen an einem Standort werden seit 1999 erfolgreich mit dieser Technik betrieben.“ [MML-10d] Auch eine Nachrüstung von RBGs ist möglich [IND-09].

2.2.2.3 Lastabhängige Fahrwerte-Anpassung

(vorläufig: siehe z.B. [MML-10d])

2.2.2.4 Energieeffiziente Antriebstechnik

(vorläufig: siehe z.B. [MML-10b])

2.2.2.5 Reduzierung bewegter Massen

(vorläufig: siehe z.B. [IND-09])

2.2.2.6 Shuttle-Systeme

Grundgedanke – Systeme mit (mehreren) leichten Fahrzeugen ohne bzw. nur mit stark begrenzter Hubfunktion sollen im Vergleich zu Systemen mit schweren Regalbediengeräten (Hubfunktion über die gesamte Regalhöhe) Energie einsparen.

⁵⁶ „Bei einem Palettenregalbediengerät mit Netzurückspeisesystem, mit Seilhubwerk und Laufrädern aus Stahl liegt die Energierückgewinnung unter Zugrundelegung des FEM-Standarddoppelspieles bei bis zu 50%. Bei Geräten mit Zahnriemenhubwerken oder Kunststoff-Laufrädern ist die Energierückgewinnung unter gleichen Bedingungen wesentlich geringer.“ [MML-10b]

Beschreibung – Kernstück des Systems „Multishuttle®“ von Dematic⁵⁷ sind schienengeführte Transporteinheiten (Shuttle). Die Schienen sind auf jeder Ebene zwischen den Regalen angebracht. Die Schienen dienen außerdem der Stromversorgung. Die Kommunikation mit dem Steuerungssystem erfolgt per WLAN. Dabei kommt entweder (bei hohen Leistungsanforderungen) ein eigenes Shuttle je Regalebene zum Einsatz⁵⁸ (Multishuttle Captive) oder die Shuttles können (bei geringen bis mittleren Leistungsanforderungen) auch über einen ortsfesten Shuttle-Lift zwischen den Ebenen umgesetzt werden (Multishuttle Roaming). [DEM-09]

Ähnliche Konzepte bieten u.a.:

- Knapp mit dem OSR-Shuttle (Kleinteilelagerung): „Die Energierückgewinnung findet insbesondere bei den Hochleistungsliften Verwendung. ... Ein Shuttle wiegt laut Hersteller kaum mehr als die zu transportierende Last.“ [MML-10f]
- die Gebhardt Fördertechnik mit dem „Store-Biter“ (Kleinteillager): „Der per berührungsloser Energieübertragung mit Strom versorgte, für Behälter bis zu 50 kg ausgelegte und auch für doppeltiefe automatische-Kleinteilelager-Mimik ausgelegte Store-Biter 300 ist mit einer Hubeinrichtung sowie einem Multigreifer mit neuester Teleskop-Technologie ausgestattet.“ [MML-10] Die Hubeinrichtung scheint für die Bedienung von ca. 2-3 Regalebenen ausgelegt zu sein (siehe Foto in [GEB-10]).
- das Quickstore HDS (**Abb. 8**) von Beewen (max. Zuladung 50 kg): „Einsatz mehrerer Shuttles pro Regalgasse in übereinander liegenden Regal- und Lifterebenen, in denen jedes Shuttle nur einen Teil dieser Ebenen bedient.“ [BEE-10a,b]

⁵⁷ Die Siemens Dematic AG und das Fraunhofer Institut Materialfluss und Logistik (IML) haben 2004 für die gemeinsame Entwicklung des Multishuttle den VDI-Innovationspreis erhalten. [INN-04]

⁵⁸ Der erforderliche Transport der Behälter zwischen den Regalebenen erfolgt über Behälterlifte an der Stirnseite der Regale. [DEM-09; DEM-10c]



Abb. 8 Beewen-Shuttle zur Bedienung mehrerer Ebenen [BEE-10a]

- psb mit dem vario.sprinter für Behälter o.ä.: „... WLAN- bzw. Bluetooth-Kommunikation, ... Energieversorgung über einen Superkondensator, wodurch die serienmäßig integrierte psb Energie-Rückspeisung besonders effektiv zum Tragen kommt, ...“ [PSB-10a]
- die Ylog GmbH mit dem ISC-System (Kleinteilelager): Das ISC-System arbeitet mit „...sogenannten AIV (autonomous intelligent vehicles), welche Normbehälter oder sonstige Lagerhilfsmittel mit bis zu 40 kg Zuladung transportieren ...Durch um 90° schwenkbare Laufräder können die AIV-Shuttles frei in einem rechtwinkligen Fahrwegraster agieren. ... Die Shuttles sind durch Lasertechnik abgesichert und können sich mit mehreren zugleich auf einer Etage bewegen.“ Die wiederaufladbaren Spezialbatterien der Shuttles haben eine Kapazität von rund einer Stunde, sie werden aber beim Vertikaltransport der Shuttles in den Liften über Schleifkontakte immer wieder aufgeladen. [MML-10e]

- SMB Logistics GmbH mit dem „Truck-Shuttle⁵⁹-System“ (Paletten bis 1200 kg): „Beim neuen SMB-Kompaktlager befindet sich auf einer beliebigen Anzahl von Ebenen je ein Truck mit einem Shuttle, welcher Paletten in die Kanaltiefe transportiert. Das Regalgerüst ist gleichzeitig Stützwerk für die Fördertechnik. Rahmen bestehender Systeme können verwendet werden. Auf jeder Lagerebene sind etwa 25 Doppelspiele pro Stunde möglich. ... Der Vertikalförderer transportiert bis zu 90 Paletten in einer Stunde, und ein Zielkanal verfügt über zwölf Palettenplätze. ... geringe Eigengewicht des Truck-Shuttle-Systems von nur 0,5 Tonnen (im Gegensatz zu herkömmlichen Geräten mit 12 bis 15 Tonnen). „ [LOJ-09]

Nutzenpotentiale – Im Hinblick auf die Energieeffizienz ist das geringe Gewicht eines Shuttle von Bedeutung: Das Dematic-Multishuttle wiegt nur 80 kg und kann Lasten bis 40 kg aufnehmen. „Im Vergleich beträgt bei einem AKL das Verhältnis der Gewichte 20:1.“ [DEM-09] Konkrete Aussagen zu möglichen Einsparungen beziehen sich vielfach auf die Komponenten-Ebene:

- zum Multishuttle von Dematic: „Ein Regalbediengerät in einem AKL benötigt, so Messungen des TÜV SÜD, für einen Transport rund zehnfach mehr Energie als ein Dematic Multishuttle.“ [DEM-09]
- zum Truck-Shuttle-System von SMB: „Die Anlage kommt mit einer Antriebsleistung von 2,5 kW je Truck und Shuttle aus, während bei vergleichbaren schienengebundenen Regalbediengeräten 70 kW Antriebsleistung eingebaut werden müssen.“ [LOJ-09]

Letztlich sollte im konkreten Projektfall ein Vergleich der System-Energiebedarfe (alle Fahrzeuge, Lifte, ...) von Alternativen vergleichbarer Funktion und Leistung geprüft werden.

Reifegrad – Shuttle-Systeme sind bereits vielfach im Einsatz, siehe z.B.: „Dematic verkauft 1.000stes Multishuttle“ [DEM-09], „Eine Referenzanlage mit etwa 5.500 Palettenplätzen hat SMB für ein westfälisches Unternehmen errichtet.“ [LOJ-09] und „Die mehr als 5000 weltweit eingesetzten Shuttles von Knapp ...“ [MML-10f].

⁵⁹ Begrifflich zu beachten: Beim SMB-System scheint der „Truck“ funktional dem „Shuttle“ der anderen Systeme zu entsprechen.

2.2.3 Stetigfördertechnik

2.2.3.1 Automatische Antriebs-Abschaltung

(vorläufig: siehe z.B. [IND-09])

2.2.3.2 Getriebelose Antriebe

(vorläufig: siehe z.B. [MML-10d])

2.2.3.3 Reibungsreduzierte Transportbänder

Grundgedanke – Reduzierung der Reibung zwischen Transportband-Unterseite und Gleittisch soll Einsparungen bei der erforderlichen Antriebsenergie bewirken.

Beschreibung – Die Transportbänder Amp Miser™⁶⁰ der Forbo Siegling GmbH besitzen einen Polyestergewebe-Zugträger und eine spezielle permanente Gleitschicht an der Unterseite. Diese Gleitschicht⁶¹ wirkt wie ein „trockenes Schmiermittel“ und reduziert die Reibung zwischen Bandunterseite und Gleittisch. Dadurch können kleinere Antriebsmotoren eingesetzt werden oder auch längere Förderstrecken mit einem einzigen Antrieb realisiert werden. [FOR-08; FOR-10; LOG-10b]

Voraussetzungen – „Die Transportbänder der Amp Miser™-Serie eignen sich für nahezu alle Anwendungsbereiche im Stückgut-Transport mit Ausnahme der Lebensmittelindustrie.“ [FOR-08]

Nutzenpotentiale – „Mehrere unabhängige Unternehmen untersuchten die Wirtschaftlichkeit der Amp Miser™-Transportbänder bei deren Testeinsatz auf diversen Flughäfen in den USA. Dabei wurden Energieeinsparungen von bis zu 37 Prozent im Vergleich zu herkömmlichen Transportbändern attestiert. ... Natürlich ist der Einsparungseffekt in solchen Anwendungen am größten, in denen viele

⁶⁰ „Amp Miser™ ist eine Wortschöpfung aus den Begriffen "Ampere" und dem englischen Wort für Geizhals, "Miser".“ [FOR-08]

⁶¹ „... Ausrüstung des Laufseitengewebes mit dem patentierten Texglide ...“ [FOR-10]

Transportbänder im Einsatz sind, also neben Flughäfen insbesondere in Logistik- oder Verteilzentren.“⁶² Des Weiteren haben diese Transportbänder gegenüber herkömmlichen Transportbändern eine um durchschnittlich 3 dB geringere Geräuschemission. [FOR-08] „Schon für eine kurze Bandstrecke von 10 m und eine durchschnittliche Beladung von 250 kg senkt das Band die Energiekosten um rd. 150 Euro im Jahr.“ [LOG-10b]

Nach [FOR-10] gilt: „Maximale Einsparungen sind zu erwarten bei:

- langen Förderern
- hoher Beladung
- Gleittischen aus Stahl oder Holz
- hohen, konstanten Geschwindigkeiten
- Horizontaltransport “

Reifegrad – „Zwei Jahre lang testeten namhafte Betreiber von Förderanlagen in Logistikzentren und von Flughäfen die innovativen Bänder ...“ [LOG-10b] „Forbo Siegling bietet derzeit vier Amp-Miser™-Bandtypen aus europäischer Produktion an. Davon sind zwei schwer entflammbar, wie auf Flughäfen gefordert.“ [HBF-10]

2.2.3.4 Energiesparender Quergurtsorter

(vorläufig: siehe z.B. [LOG-10c])

⁶² „Im Verteilzentrum Kingsbury (England) des Logistikkonzerns TNT wurde beispielsweise mit einem Amp-Miser™-Band auf einem rd. 16 m langen Horizontalförderer für Pakete eine Energieeinsparung von 39,8 % erzielt. Der Flughafen Düsseldorf testete Amp Miser™ als rd. 45 m langes Sammelband hinter dem Check-In und senkte dadurch den Energiebedarf um 32,4 %.“ [HBF-10]

2.3 Transportorganisation

2.3.1 Elektronische Frachtbörsen

Grundgedanke – Optimierung der Auslastung von Transportfahrzeugen⁶³ insbesondere durch Vermeidung von Leerfahrten (vgl. [IMC-02],[TCW-09]).

Beschreibung – Bei einer elektronischen Frachtbörse handelt es sich um eine Internet-Plattform für Verlader und Frachtführer zur Vermittlung von Fracht bzw. Laderaum. Die Verlader können den günstigsten Frachtführer wählen, die Frachtführer können ihren Leerfahrtanteil reduzieren. Frachtbörsen stellen so bzgl. dieser Vermittlertätigkeit eine Alternative zu den Speditionen als der klassischen Form der Frachtvermittlung dar – allerdings eher für kurzfristige Aufträge und nicht für längerfristige Kontrakte⁶⁴. [IMC-02],[TCW-09]

Es können folgende Geschäftsmodelle unterschieden werden [IMC-02],[TRA-11]:

- „Schwarzes Brett“⁶⁵: reine Informationsplattformen mit Angaben zu Art, Menge bzw. Volumen, Abhol-/Zustellzeiten, Abhol-/Zustellort etc. für die Fracht bzw. den verfügbaren Laderaum; i.d.R. keine Angabe von Preisen, diese werden „außerhalb der Börse“ durch direkte Kontaktaufnahme ausgehandelt
- „Festpreis-Modell“: die in der Frachtbörse platzierten Angebote zu Fracht bzw. Laderaum sind mit einem nicht verhandelbaren Preis versehen
- „Auktions-Modell“: Verlader geben für Ihre Fracht einen Maximalpreis an, die Frachtführer können diesen innerhalb einer festgesetzten Frist unterbieten (Reverse Auction); alternativ versteigern Frachtführer ihre Laderäume in umgekehrter Weise gegen Höchstgebot.

Die verschiedenen Frachtbörsen können sich hinsichtlich verschiedener Aspekte unterscheiden: z.B. Anzahl der ausgeschriebenen Frachtaufträge, Kosten-Modell und -Höhe, abgedeckte Länder, verfügbarer Frachtführerstamm, verwendete

⁶³ primär für LKW-Frachten; tw. auch für See- oder Luftfracht u.a. [IMC-02]

⁶⁴ Es gibt aber auch z.B. das Unternehmen „milkRUN.info“, das sich auf die Vermittlung im Zusammenhang mit festen, regelmäßigen Touren konzentriert [MZ-10a].

⁶⁵ Auch als „Bulletin Board“ bezeichnet [IMC-02]

Technologien⁶⁶, Komfort und Möglichkeiten der Suchfunktionen, automatische Benachrichtigung z.B. per Email oder SMS, Maßnahmen zur Sicherung der Qualität der Teilnehmer, Schnittstellen zu den IT-Systemen der Disponenten [TRA-11],[TCW-09],[IMC-02].

Nutzenpotentiale – Nach [TCW-09] können sich für die beteiligten Unternehmen grundsätzlich folgende Vorteile ergeben:

- für Verlager: hinsichtlich Reduzierung der Fracht- und Prozesskosten
- für Logistikdienstleister: u.a. hinsichtlich einer besseren Kapazitätsauslastung

Auf Basis von in der Baumaschinen-, Chemie- und Zulieferindustrie durchgeführten Beratungsprojekten nennt [TCW-09] durchschnittliche Kosteneinsparpotenziale aus Sicht der Verlager in Höhe von 15 Prozent für Transportleistungen und von 25 Prozent für die Prozesskosten.

Aufwand und Risiken – Benutzungsgebühren können für die Frachtführer und ggf. auch für die Verlager anfallen, wobei Gebühren für den Verlager eigentlich dem Ziel widersprechen, möglichst viele Frachten anbieten zu wollen [IMC-02].

Mögliche Varianten nach [TRA-11]:

- monatlicher Pauschalbetrag
- Kombination aus einem monatlichen Festbetrag zzgl. variable Kosten je Transaktion
- nur Kosten nach Transaktion und Umsatz
- völlig kostenfrei⁶⁷

Zudem kann je nach Frachtbörse nicht ausgeschlossen werden, dass auch „Schwarze Schafe“ teilnehmen: als Folge drohen z.B. Unpünktlichkeit bei Be- bzw. Entladungen, Zahlungsschwierigkeiten, Unauffindbarkeit von Verladern oder Frachtführern, Fehlerhaftigkeit von Lieferungen. Als mögliche Gegenmaßnahme kann entweder bereits der Frachtbörsen-Anbieter oder z.B. der jeweilige Verlager bei

⁶⁶ „Während einige Anbieter komplett Internet-basierte Lösungen offerieren, bieten andere Anbieter spezielle Software an.“ [TCW-09]

⁶⁷ „die Finanzierung erfolgt hier meist über Sponsoren bzw. Bannerwerbung“ [IMC-02]

seiner konkreten Ausschreibung den Kreis der zulässigen Teilnehmer einschränken. Dabei kann aber wiederum ein Zielkonflikt mit dem Vermittlungserfolg entstehen, der u.a. stark von der Anzahl der Teilnehmer abhängig ist. Je nach verfügbaren Schnittstellen zu den IT-Systemen der Disponenten und nach Komfortabilität der Such- und Benachrichtigungsfunktionen können sich auch gewisse Mehraufwände für die Disponenten ergeben. [IMC-02]

Reifegrad – „... haben sich am Markt bereits zahlreiche Anbieter von elektronischen Frachtbörsen etabliert. ...Allein im deutschsprachigen Raum existieren über 20 etablierte Anbieter ...“ [TCW-09] Übersichten zu ausgewählten Frachtbörsen finden sich z.B. unter [TRA-10] und bei „Wer liefert was?“ (www.wlw.de, Stichwort „Frachtbörse“).

2.4 Verpackung

2.4.1 Verpackungsgrößen-Optimierung

(vorläufig: siehe z.B. [LOG-10a])

2.4.2 Mehrwegbehältnisse

(vorläufig: siehe z.B. [IFC-09], aber auch [RES-08])

2.5 Sonstiges Verbrauchsmaterial

2.6 Umgang mit Rückständen

2.6.1 Einsatz des Wechselverfahrens

Grundgedanke – Durch Wechsel ganzer Behälter Vermeidung möglicher Umweltbelastungen bei umweltgefährdenden Rückständen.

Beschreibung – Prinzipiell existieren in der entsorgungslogistischen Umschlagorganisation zwei unterschiedliche Möglichkeiten: Das Wechselverfahren und das Umleerverfahren. Beim Umleerverfahren wird der Inhalt des vollen Behältnisses

umgefüllt. Beim Wechselverfahren dagegen werden „nicht die Rückstände an sich, sondern die Behälter umgeschlagen.“ [SCH-99]

Nutzenpotentiale – Da bei geschlossenen und gesicherten Behältern die Rückstände die Behälter beim Umschlagen nicht verlassen können, ist das Wechselverfahren vorteilhaft hinsichtlich der Vermeidung von Umweltbelastungen. [SCH-99]

Aufwand und Risiken – Das Wechselverfahren ist u.a. mit „relativ hohen Investitionen in die Behälter und Umschlagtechnik“ verbunden. [SCH-99]

2.7 Mitarbeiter

2.7.1 Eco-Fahrtraining

Grundgedanke – Mit einem Eco-Fahrtraining für LKW-Fahrer⁶⁸ soll der Kraftstoffverbrauch und die Beanspruchung von Verschleißteilen reduziert werden (vgl. [EUB-10c]).

Beschreibung – Durch theoretische und/oder praktische Schulungseinheiten⁶⁹ werden Kenntnisse vermittelt (siehe [FLE-10],[TUV-10]) z.B. bzgl.

- technische Wartung als Voraussetzung
- vorausschauende Fahrweise
- Aerodynamik
- Reifendruck

⁶⁸ Eco-Fahrtrainings werden auch für PKW (siehe z.B. [STM-10b]) und Flurförderzeuge (z.B. [ERN-10]) angeboten.

⁶⁹ Siehe z.B. „In der Praxis begleiten wir Ihre Fahrer auf deren Touren mit deren LKW ...“ [FLE-10], „Das Modul beinhaltet einen Theorieteil mit den notwendigen Kenntnissen für ökonomisches Fahren als auch einen Praxisteil in Form eines Fahrtrainings.“ [ADA-10] oder auch „Simulatortraining“ [DBT-10b].

Die Schulungen können ggf. auch für die erforderliche Weiterbildung nach dem Berufskraftfahrer-Qualifikations-Gesetz (BKrFQG) angerechnet werden (vgl. z.B. [TUV-10],[FLE-10]).

Nutzenpotentiale – „Mit Eco-Trainings können erhebliche Einsparpotentiale realisiert werden (bis zu 12% der Kosten für Kraftstoff, Reifen und Reparaturen).“ [EUB-10c] Auch nach [DBT-10b] ist eine Reduzierung der Spritkosten um 10 – 25% möglich. Mit der Reduzierung des Kraftstoffverbrauchs ist auch eine Reduzierung der CO₂-Emissionen und weiterer verkehrsbedingter Luftschadstoffe verbunden [STM-10a].

Aufwand und Risiken – Beispiele für Schulungsgebühren: Die TÜV Rheinland Akademie GmbH bietet eine Schulung von 10 Unterrichtseinheiten (insgesamt 7 h) zu einem Preis von 99 € an [TUV-10]. Der ADAC verlangt für eine Schulung (Durchführung mit Kundenfahrzeugen) inkl. Seminarunterlagen 259 € netto pro Person [ADA-10]. Bei MAN beträgt die Seminargebühr z.B. für das „Economy Training – TGL“ 240 € exklusive Mehrwertsteuer [MAN-10].

Reifegrad – Ein Eco-Fahrertraining wird bereits von zahlreichen Dienstleistern (z.B. TÜV Rheinland Akademie GmbH [TUV-10] oder ADAC [ADA-10]), aber auch von Fahrzeugherstellern wie MAN [MAN-10] angeboten. Weitere mögliche Anbieter findet man u.a. in der Liste der Partnerorganisationen der Aktion "Umweltschonend Fahren - Kraftstoff sparen" auf der Seite des Bayerischen Staatsministeriums für Umwelt und Gesundheit [STM-10a].

2.7.2 Fahrzeug-Überwachung durch Telematik⁷⁰

Grundgedanke – Durch Erfassung, Funkübertragung und Auswertung von Fahrzeugdaten soll eine Treibstoffreduzierung und dadurch eine Minimierung der CO₂ - Emissionen erzielt werden.

⁷⁰ Telematik: „(zusammengesetzt aus den Begriffen Telekommunikation und Informatik) Mittel der Informationsverknüpfung von mindestens zwei EDV-Systemen mit Hilfe eines Telekommunikationssystems sowie einer speziellen Datenverarbeitung“ [DTB-09]

Beschreibung – In den zu überwachenden Fahrzeugen wird eine kombinierte Navigations- und Kommunikationsbox eingebaut, welche sowohl einen GPS-Empfänger zur Navigation bzw. Ortung als auch ein GSM-Modul zur bidirektionalen⁷¹ Kommunikation beinhaltet. So kann eine Vielzahl von aktuellen Daten (wie z.B. Position, Geschwindigkeit, Motordrehzahl, Kilometerstand, Fahr- und Standzeiten, Reifendruck, Achslasten, Laderaum-Kühltemperatur, Kraftstoffverbrauch, Protokollierung der Türöffnungen oder des Hoch-/Herunterfahrens der Ladebordwand) gesammelt und nahezu in Echtzeit übertragen werden. Durch den Fleetmanagement⁷² -Diensteanbieter werden die Daten an die Disponenten weitergeleitet, dem die Fahrzeug-Positionen auch in einer Karte angezeigt werden können. Durch diese Datenerfassung werden auch weitergehende Auswertungen ermöglicht (z.B. Kraftstoffverbrauch, Überschreiten von Höchstgeschwindigkeiten, heftige Bremsvorgänge, Tagesstrecken, Überstunden). Auch kann das Fahrverhalten verschiedener Fahrer verglichen werden. [DTB-09]

Durch Überwachung und Evaluierung des Fahrstils der LKW-Fahrer soll auch verhindert werden, dass die Fahrer nach erfolgter Öko-Schulung „wieder in ihre alten Gewohnheiten verfallen“. Um den Fahrern auch im täglichen Praxiseinsatz ein entsprechendes Hilfsmittel an die Hand zu geben, hat der belgische Flottenmanagement-Spezialist Transics in sein Produkt TX-ECO einen Fahrstilassistenten integriert. [PRP-10]

Voraussetzungen – Fahrzeuge „mit entsprechender Fahrzeugelektronik (z. B. standardisierte FMS-Schnittstelle)“ [FLE-10a]⁷³

Nutzenpotentiale – Van Dievel Transport arbeitet schon seit einigen Jahren mit Transics und dem Fahrertrainingsinstitut Key Driving Competences zusammen und

⁷¹ Vom Disponenten können Nachrichten (z.B. „Halt Pause machen“ oder „Fahrzeit überschritten“) oder Aufträge an den Bordcomputer geschickt werden. [WDR-10]

⁷² Fleetmanagement: „(deutsch: Flottenmanagement oder Flottensteuerung) Verwalten, Planen, Steuern und Kontrollieren von Fuhrparks“ [DTB-09]

⁷³ „Die Flotten-Management-Schnittstelle (FMS) ist eine standardisierte Schnittstelle zu einigen Fahrzeugdaten schwerer Nutzfahrzeuge. Die sieben europäischen Hersteller Daimler, MAN, Scania, Volvo, Renault Trucks, DAF Trucks und IVECO haben sich 2002 zum sogenannten FMS-Standard zusammengeschlossen, um so markenübergreifende Anwendungen der Telematik zu ermöglichen.“ [WIK-10r] Ausführliche Informationen hierzu: siehe z.B. [WIK-10r] und [NTT-10].

bestätigt als Auswirkung eines ökologischen Fahrverhaltens eine „Einsparung von 250 Euro pro Fahrzeug und Monat“ bzw. bzgl. des Treibstoffverbrauchs einen „Rückgang von fast zehn Prozent bezogen auf die gesamte Flotte.“ [PRP-10] Auch die Daimler FleetBoard GmbH spricht im Zusammenhang mit Fahrzeugmanagementdiensten von einer „Verbrauchsreduktion von 10% und mehr!“ [FLE-10a]. Edeka Rhein-Ruhr hat sich nach entsprechenden Tests für die Einführung von FleetBoard entschieden: „In einem Erprobungstest mit fünf Fahrzeugen konnte durch das FleetBoard Fahrzeugmanagement aufgezeigt werden, welche Möglichkeiten bestehen, die Kraftstoffverbräuche zu reduzieren. Durch begleitendes Fahrertraining wurden die durchschnittlichen Verbräuche um ca. 10% gesenkt, in einzelnen Fällen sogar um bis zu 6 l/100km.“ [FLE-09]

Aufwand und Risiken – Kosten⁷⁴ können je nach Verrechnungsmodell anfallen für die Telematik-Boxen, den Datentransfer und den Zugriff über ein Webportal: Die Firma routecontrol bietet z.B. ein System – allerdings mit Schwerpunkt Fahrzeug-Ortung – an und verlangt je nach Tarif 249,- EUR für die Black-Box, ab 18,90 EUR/Monat für den Datentransfer und 49,90 EUR p.a. für das Webportal oder für eine Flatrate 600,00 Euro im ersten Jahr (199,90 EUR in den Folgejahren). Der Einbaupreis für eine Black-Box beträgt 60,00 Euro. [ROU-10] Gegebenenfalls muss auch noch eine FMS-Schnittstelle nachgerüstet werden (siehe [NTT-10]).

Zudem sind arbeits- und datenschutzrechtliche Fragen zu klären. In Unternehmen mit Betriebsrat sind die „GPS-Boxen“ mitbestimmungspflichtig gemäß § 87 BetrVG, in Unternehmen ohne Betriebsrat ist auf die AGBs der Telematik-Hersteller zu achten, welche eine informierte Einwilligung der Arbeitnehmer fordern können. Ein verdeckter Einbau derartiger Geräte ist in Deutschland grundsätzlich unzulässig. Auch im Falle geleaster LKW mit bereits installierter Telematik-Technik sollten diese Fragen geprüft werden. Diesbezüglich ist zu beachten, dass die Erfassungsfunktionen auch einzeln (de)aktiviert werden können. [DTB-09]

⁷⁴ Die Kosten für verschiedene Komponenten (Fahrzeugtelematik, Disponentenarbeitsplätze) von Telematik-Lösungen sowie für die laufenden Kommunikationskosten sind unter bestimmten Voraussetzungen im Rahmen des Förderprogramms "De-minimis" förderfähig. [BAG-10a,b]

Reifegrad – „Circa 8 Prozent der deutschen LKW sind mit einem Telematik-System ausgestattet. In den Niederlanden oder Belgien sind es dagegen bereits rund 90 Prozent. Doch auch in Deutschland steigt die Nachfrage. Etwa 90 Anbieter gibt es auf dem deutschen Markt.“ [WDR-10] Telematik-Systeme sind also bereits am Markt verfügbar (auch als Nachrüstung, siehe z.B. [FLE-10b]), z.B.

- Transics: „Die Zahl der inzwischen an rund 1.000 Kunden ausgelieferten Telematikeinheiten liegt bei über 64.000.“ [PRP-10].
- Daimler FleetBoard GmbH: „Das nach DIN ISO 9001:2000 zertifizierte Unternehmen stattete seit Markteinführung der FleetBoard Dienste im Jahr 2000 über 50.000 Lkw bei mehr als 1.100 Speditionen aus.“ [FLE-09] und „Für LKW aller Hersteller in mehr als 50 Ländern verfügbar“ [FLE-10b]

2.7.3 Fahrertraining im Simulator

Grundgedanke – Die Durchführung von Aus-/Weiterbildungsmaßnahmen für Berufskraftfahrer⁷⁵ im Simulator anstelle eines realen LKW soll Ressourcenverbrauch und CO₂-Emissionen senken.

Beschreibung – In mobilen ⁷⁶ LKW-Fahrsimulatoren werden virtuelle Übungsstrecken⁷⁷ realitätsnah als 180°-Sicht projiziert (**Abb. 9**). Der Fahrer sitzt

⁷⁵ „Das Berufskraftfahrer-Qualifikations-Gesetz (BKrFQG) regelt die Aus- und Weiterbildung von Berufskraftfahrern neu. Es fußt auf der Richtlinie 2003/59/EG und ist am 1. Oktober 2006 in Kraft getreten.“ [EUB-10a] „Seit 10. September 2008 (Personenverkehr) beziehungsweise seit 10. September 2009 (Güterverkehr) sind Bus- und Lkw-Fahrer verpflichtet, alle 5 Jahre an einer Weiterbildung gemäß dem Berufskraftfahrer-Qualifikations-Gesetz (BKrFQG) teilzunehmen. Diese gesetzliche Verpflichtung betrifft alle Fahrer, die gewerbliche Fahrten durchführen und mit Fahrzeugen der Klassen C/CE, C1/C1E, D1/D1E, D/DE unterwegs sind.“ [EUB-10b] Siehe hierzu auch [GES-06]. Gemäß Verordnung zur Durchführung des Berufskraftfahrer-Qualifikations-Gesetzes (Berufskraftfahrer-Qualifikations-Verordnung - BKrFQV) kann ein Teil der Fahrstunden zum Erwerb der beschleunigten Grundqualifikation und zur Weiterbildung „in einem leistungsfähigen Simulator“ durchgeführt werden [GES-06a].

⁷⁶ Der Fahrsimulator Trust3000 der Firma Thales ist in einem (seitlich ausziehbaren) Sattelaufleger transportabel (siehe Foto in [DBT-10a]) und „Die DEKRA Akademie kommt mit ihrem mobilen Fahrsimulator in die Betriebe. ... Der DEKRA Aufleger ... Eine steile Treppe führt ins Fahrzeuginnere, wo sich der Fahrsimulator der DEKRA Akademie verbirgt.“ [DEK-10a].

beim Training in einer (Original-) Fahrerkabine, die mit allen Bedienelementen und Anzeigen ausgestattet ist. Auch die entsprechende Geräuschkulisse und die Bewegungsdynamik beim Bremsen oder bei Kurvenfahrt etc. wird nachgebildet. [DBT-10a; THA-10] Weitere Optionen nach [DEK-10b] u.a.: unterschiedliche Fahrzeugtypen, Handschaltung oder Automatik, moderne Assistenzsysteme (ESP, Spurhalteassistent,...). Mögliche Trainingsbausteine nach [THA-10]: „Defensives Fahren, Ladungssicherung, Rangieren, Fahrzeugbeherrschung bei kritischen Wetter und Straßenverhältnissen, Kraftstoff sparende und wirtschaftliche Fahrweisen“. Auch „brenzlige Situationen wie Blitzeis, Personen auf der Fahrbahn oder ausfallende Bremsen“ können simuliert werden [DEK-10a].



Abb. 9 Blick in die Fahrerkabine eines Simulators [DBT-10b]

⁷⁷ „... sowohl innerstädtische Straßen als auch Landstraßen und Autobahnen verschiedener Regionen mit verschiedenen Witterungsverhältnissen.“ [DBT-10a]

Nutzenpotentiale – „Der LKW-Simulator bietet Ihnen die Chance, das Fahrertraining ohne Treibstoffkosten und Verschleiß zu absolvieren – beispielsweise an den Reifen bei trainingsbedingten Vollbremsungen.“ Zudem wird der trainingsbedingte durchschnittliche CO₂-Ausstoß reduziert: Der durch den Verbrauch von 10 kWh pro Stunde bedingte CO₂-Ausstoß des Simulators liegt bei 6 kg pro Stunde; im Vergleich hierzu verursacht das Fahrtraining im realen LKW eine Emission von 80 kg CO₂ pro Stunde. Außerdem: „Im direkten Trainingsvergleich zeigte ein 40-Minutentraining im Simulator den Effekt eines 60-Minutentrainings im LKW.“ [DBT-10a]

Reifegrad – Wird bereits von verschiedenen Dienstleistern angeboten, z.B. DEKRA [DEK-10b,c] oder DB Training, Learning & Consulting [DBT-10b].

3 Sonstige ökologische Maßnahmen

3.1 Baukörper

- Geringerer Energiebedarf durch möglichst kompakte Bauweise, insbesondere z.B. in Tiefkühlägern (siehe z.B. [MML-10d],[IND-09])
- Reduzierung von Wärmeverlusten infolge Zugluft und Wärmeleitung durch optimierte Verlade- und Tortechnik (siehe z.B. [LOG-10e])
- Gute Wärmedämmung zur Reduzierung erforderlicher Heizenergie (siehe z.B. [MML-10g])

3.2 Haustechnik

In diesem Abschnitt sollen einige allgemeine Ansätze aus der Gebäudetechnik (z.B. Energieversorgung, Beleuchtung) aufgeführt werden: eine Anwendung dieser Maßnahmen ist ggf. auch für Gebäude mit logistischer Nutzung sinnvoll.

3.2.1 Beleuchtung

- Moderne Leuchtstoffröhren mit automatischem Sparmodus anstelle Quecksilber-Dampflampen (siehe z.B. [LOG-10d])
- Bereichsweise Beleuchtung in Kombination mit Bewegungsmeldern (siehe z.B. [LIS-08b])
- Tageslichtanpassung (siehe z.B. [LIS-08b])

3.2.2 Heizung

- Einsatz von unter dem Hallendach montierten Dunkelstrahlern (Infrarotstrahler) anstelle Luftheritzern (siehe z.B. [LIS-08b])

3.2.3 Abwärme-Nutzung

- Nutzung der Abwärme der Server-Klimaanlage zur Warmwasser-Aufbereitung (siehe z.B. [LOG-10d])
- Nutzung der Abwärme aus Kühlregalen für die Heizung (siehe z.B. [LID-11])

3.3 Büro-Ausstattung

- zentrale Multifunktionsgeräte statt vielen Einzelplatzdruckern (siehe z.B. [MAI-08])

3.4 Dienstreisen

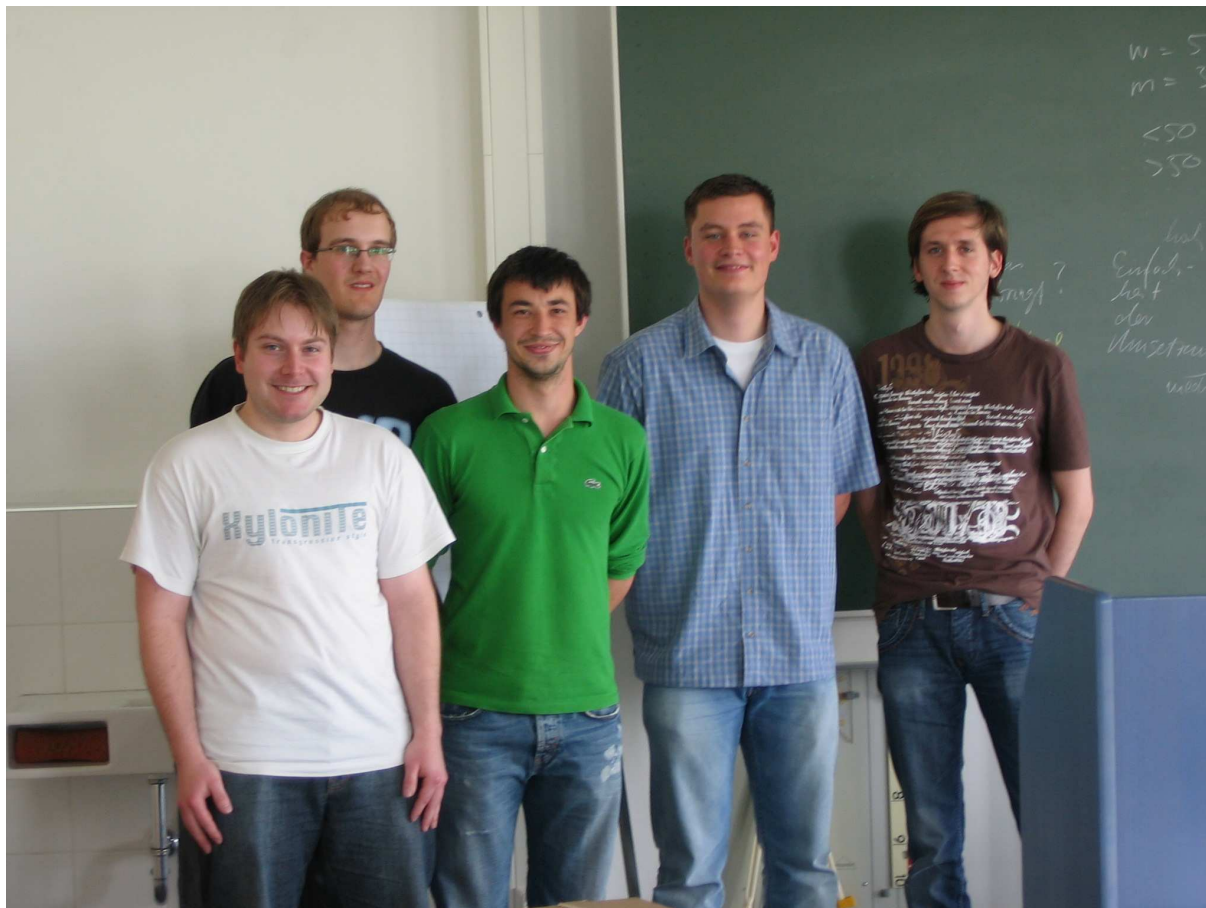
- Videokonferenzen (siehe z.B. [IFK-08])

Anhang

Anhang 1	Autoren (Stand 23.06.2010)	54
Anhang 2	Autoren (Stand 31.03.2011)	55

Anhang 1 Autoren (Stand 23.06.2010)

Studierende des Team B (Projektarbeit im SS 2010)



Team B (von links nach rechts):

Andreas Holl
Harald Schäffler
Christian Ferstl
Ralf Dotzler
Thomas Rachny

Anhang 2 Autoren (Stand 31.03.2011)

Prof. Dr.-Ing. Günter Kummelsteiner

Prüfung, Überarbeitung und Erweiterung des Standes der Projektarbeit vom SS 2010