

Studie „Concept 08“

# Schwerpunkte: Energieeffizienz und

Innovative und energieeffiziente Produkte sind gerade in der sich anbahnenden Wirtschaftskrise ein Garant für die Zukunftsfähigkeit eines Unternehmens. Flurförderzeughersteller Jungheinrich stellt sich mit der auf der CeMAT 2008 vorgestellten Studie „Concept 08“ für die Zukunft sehr gut auf. Eindrucksvoll wird darin gezeigt, wie durch den Einsatz von kompakten Lithium-Ionen-Akkumulatoren und kraftvollen Direktantrieben nicht nur ein Mehrwert in der Energieeffizienz, sondern auch in der gesamten Fahrzeuergonomie geschaffen wird. Erstmals vereinigt ein Daumen-Joystick intuitiv die Funktionen Fahren und Lenken in einem Bedienelement, das sich aufgrund seiner kompakten Abmessungen sowohl auf der Antriebs- als auch auf der Gabelseite des Fahrzeuges integrieren lässt.



② Zwischenlademöglichkeit durch Einfahren der Gabelspitzen in eine Docking-Station

■ Christoph Weber  
■ Andreas Knie

## Betreiberwünsche und Konzeptstudie

In der Staplertechnik gewinnt das Thema Energieeffizienz zunehmend an Bedeutung. Ein Grund hierfür sind u. a. die steigenden Rohstoffpreise für fossile Brennstoffe. Mittelfristig ist abzusehen, dass die Kosten für Öl und Erdgas im Kraftfahrzeugbereich stärker steigen werden als bei der Stromerzeugung. Insofern werden in Zukunft batteriebetriebene Fahrzeuge sowohl aus ökologischer als auch aus ökonomischer Sicht eine größere Rolle spielen.

Für die Betreiber steht außerdem die Verfügbarkeit des Fahrzeuges im Vordergrund. Traditionelle Speichertechnologien wie die klassische Blei-Säure-Batterie weisen eine Reihe von Nachteilen auf:

- ▶ Die Kapazität der Blei-Säure-Batterie kann nicht voll genutzt werden.
- ▶ Die Batteriekapazität lässt sich aufgrund der niedrigen Energiedichte und der

zur Verfügung stehenden Einbauräume nicht steigern.

- ▶ Lange Ladezeiten müssen in Kauf genommen werden. Im Mehrschichteneinsatz sind Wechselbatterien notwendig. Der Wunsch nach energieeffizienten Antriebs- und Energiekomponenten, gepaart mit einer gleichzeitig hohen Verfügbarkeit, wird in der Studie „Concept 08“ der Jungheinrich AG in Hamburg aufgegriffen. Mit einigen Innovationen stellt „Concept 08“ mögliche geeignete Lösungen heraus. Deren gemeinsames Merkmal besteht darin, dass sie Platz sparend sind, was unmittelbaren Einfluss auf die Konstruktion des Fahrzeuges hat. Die Vorteile sollen nachfolgend näher erläutert werden.

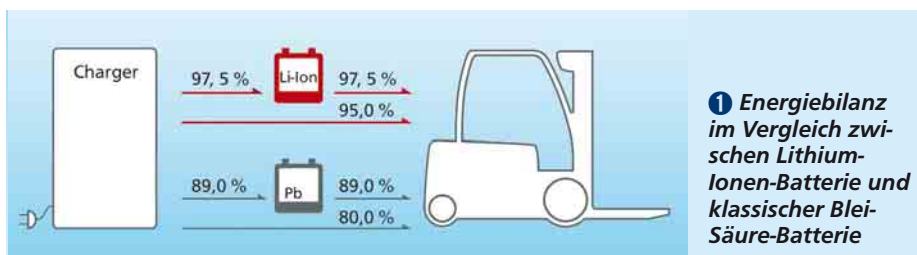
## Lithium-Ionen-Energiespeicher

Lithium-Ionen-Batterien haben mittlerweile in einem breiten Markt von Konsumelektronikgütern Einzug gehalten. Eingesetzt in Laptops, Mobiltelefonen und Pocket-PC, sind diese Batterien als kompakte

und vor allem leistungsfähige Energiespeicher bekannt. Seit wenigen Jahren sind verstärkt Bemühungen in der Automobilindustrie zu beobachten, neue Batterietechnologien zu erproben. Vor allem in Hybridfahrzeugen werden Energiespeichersysteme benötigt, die sich durch Kompaktheit und Leistungsfähigkeit auszeichnen. Im Vergleich zu einer klassischen Blei-Säure-Batterie weisen Lithium-Ionen-Batterien einen erheblich besseren Wirkungsgrad auf. Dieser Wirkungsgrad macht sich im kompletten Lade- und Entladezyklus deutlich bemerkbar. Liegen die Verluste bei einer Blei-Säure-Batterie bei mindestens 20 %, so weisen die meisten Lithium-Ionen-Batterien einen Verlust von maximal 5 % auf (Bild 1). Zudem ist die Lebenserwartung bei einer Lithium-Ionen-Batterie mindestens doppelt so hoch wie bei einer Blei-Säure-Batterie. Weitere Vorteile, die einen hohen Kundennutzen mit sich bringen, sind u. a.:

- ▶ Reduktion des Platzbedarfs für eine Lithium-Ionen-Batterie auf ein Drittel im Vergleich zu einer Blei-Säure-Batterie mit gleicher Kapazität
- ▶ Schnellladefähigkeit ermöglicht das Laden der Batterie innerhalb einer Stunde
- ▶ Kurze Pausen, z. B. die Mittagspause, können zur Zwischenladung genutzt werden, so dass eine erhebliche Steigerung der Verfügbarkeit des Fahrzeuges gegeben ist.

In der Praxis werden beim Einsatz von Lithium-Ionen-Batterien die Zellspannung und die Zelltemperaturen aus Sicherheits-



① Energiebilanz im Vergleich zwischen Lithium-Ionen-Batterie und klassischer Blei-Säure-Batterie

# Ergonomie



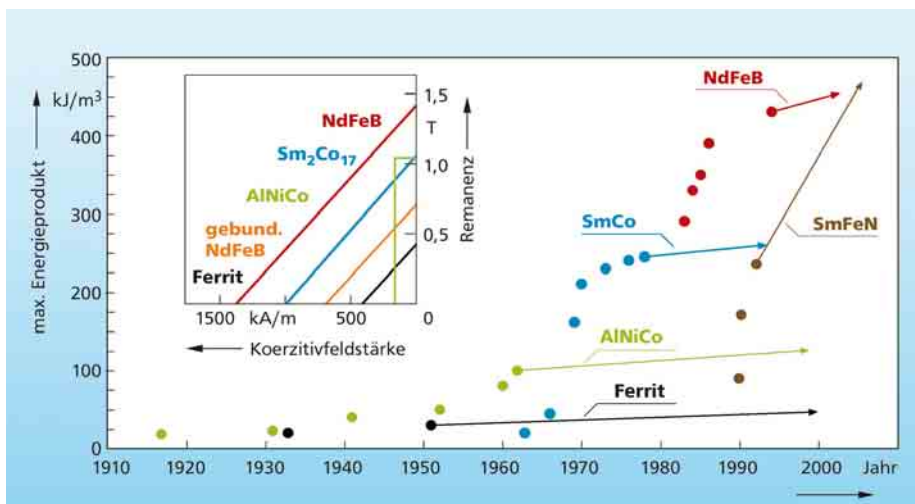
gründen überwacht. Aus diesem Grund findet auch in der Studie „Concept 08“ ein Batteriemanagementsystem Verwendung, das in kritischen Situationen z. B. eine Überladung der Batterie verhindert. Neben weiteren Sicherheitsaspekten protokolliert das Batteriemanagementsystem wichtige Daten zur exakten Berechnung des Ladezustands der Batterie (engl.: State of Charge, SoC) und führt ggf. einen Ausgleich der Spannungen in den einzelnen Lithium-Ionen-Zellen (engl.: Balancing) durch.

Dem Konzept der schnellen Zwischenladungsmöglichkeit bei der Lithium-Ionen-Batterie wird in Form einer speziell entwickelten Ladestation Rechnung getragen. Hierbei fährt der Bediener mit den Gabelspitzen des Fahrzeuges in eine speziell dafür vorgesehene Docking-Station (Bild 2). Über die Gabelspitzen erhält die Lithium-Ionen-Batterie einen automatischen Kontakt zum Ladegerät. Der Ladevorgang wird ebenfalls vollautomatisch gestartet und beendet. So kann der Fahrer beispielsweise in seiner Mittagspause eine Zwischenladung durchführen, was die Reichweite und damit die Verfügbarkeit des Fahrzeuges deutlich erhöht. Für den Bediener entsteht dadurch ein deutlicher Komfort- und Zeitgewinn.

## Direktantriebe mit Synchronmotoren

Direktantriebe in Form von Synchronantrieben bieten die Möglichkeit, auf ein stark untersetztes Getriebe zu verzichten (Bild 3). Damit entfallen mechanische Verluste (rd. 3 bis 10 %), die durch das Kämmen der Zahnräder verursacht werden. Des Weiteren ergibt sich durch den Wegfall des Getriebes neben dem Kostenvorteil der Ausschluss einer weiteren Ausfallmöglichkeit.

Als Außenläufer, auf dessen Rotor Permanentmagnete befestigt sind, weisen diese Motoren aufgrund des großen Luftspaltdurchmessers hohe Drehmomente über einen weiten Drehzahlbereich auf. In Kombination mit Permanentmagneten von hoher Energiedichte können sog. „High Torque“-Motoren hergestellt werden. Eine hohe magnetische Energiedichte weist darauf hin, dass das magnetische Material auch bei vergleichsweise großen externen magnetischen Feldern kaum entmagnetisiert wird. Damit sind diese Materialien in besonderem Maße für Motoren mit hohen Phasenströmen prädestiniert, wie dies im Normalfall bei batteriebetriebenen Flurförderzeugen der Fall ist.



4 Historische Entwicklung der Energiedichte verschiedener magnetischer Materialien [1]

6 „Concept 08“ – Designzeichnung aus der Entwicklungsphase



8 Daumen-Joystick – Designzeichnung aus der Entwicklungsphase



5 Fahrzeugstudie „Concept 08“



7 Funktionsweise des Daumen-Joysticks



In Synchronmotoren finden häufig „Seltenerd“-Magnete auf Basis von Neodym-Eisen-Bor-Verbindungen Verwendung. Die Energiedichte ist im Vergleich zu Ferriten um ein Vielfaches höher. In den vergangenen 20 Jahren sind enorme Steigerungen in Bezug auf die Energiedichten der verfügbaren Magnetmaterialien zu beobachten. Neben Neodym-Eisen-Bor durchdringen neue Materialien wie Samarium-Eisen-Stickstoff (SmFeN)-Verbindungen als kunststoffgebundene Magnete den Markt. Die gegenwärtige Entwicklung lässt den Schluss zu, dass sich bei diesen Magnetmaterialien weitere Steigerungen ergeben werden (Bild 4) und dadurch weitere Effizienzverbesserungen von Direktantrieben zu erwarten sind.

Im Vergleich zu Asynchronmotoren weisen Synchronmotoren einen erheblich besseren Wirkungsgrad auf. Die Gründe dafür lassen sich deutlich machen, wenn die elektrischen Verluste einer optimiert ausgelegten Asynchronmaschine (mit einem Kupferkäfigläufer) veranschaulicht werden (Tafel 1).

Mit hohen Strömen steigen die Verluste quadratisch an, so dass bei guten Asynchronmaschinen in Flurförderzeugen im besten Fall ein Wirkungsgrad von rd. 85 %

erreicht werden kann. In der permanent-erregten Synchronmaschine entfallen die Rotorverluste nahezu vollständig. Des Weiteren reduzieren sich zusätzliche Stator-kupfer- und Eisenverluste, da für die magnetische Erregung kein flussbildender Strom zur Verfügung gestellt werden muss. Synchronmaschinen weisen daher einen Wirkungsgrad von deutlich mehr als 90 % auf.

**Auswirkungen der Technologien auf die ergonomische Gestaltung eines Flurförderzeugs**

Herausragende Merkmale der Studie „Concept 08“ sind das kürzeste L<sub>2</sub>-Maß von 680 mm, das für ein bisher gebautes Mitfahrer-Flurförderzeug erreicht wurde, sowie die niedrige Einstiegshöhe von 250 mm. Das Konzept-Fahrzeug (Bilder 5 und 6) verfügt über eine komfortable Plattform, auf

welcher der Fahrer eine bequeme Standposition einnehmen kann. Möglich wurde dies dadurch, dass die gesamte Antriebstechnik unter die Plattform integriert werden konnte. Der gesamte Antriebsraum ist zusätzlich durch ein Feder-Dämpfer-System von der Fahrerstandplattform entkoppelt, so dass starke Stoß- bzw. Schwingungseinwirkungen von der Plattform ferngehalten werden können.

Die einzelnen Lithium-Ionen-Zellen konnten aufgrund ihrer kompakten Abmessungen nahezu vollständig in den Mastraum integriert werden. Das Fahrzeug verfügt sowohl auf der Antriebs- als auch auf der Gabelseite über zwei Festhaltegriffe, so dass auch bei schneller Kurvenfahrt ein sicherer Stand des Bedieners gewährleistet wird. Zum Lenken und Fahren wird lediglich der Daumen benötigt. Möglich wird dies mit Hilfe eines Daumen-Joysticks, der die beiden Funktionen in einem Bedienele-

Tafel 1 Elektrische Verluste einer Asynchronmaschine [2]

Verlustart	Größenordnung der Verluste, bezogen auf die Nennleistung
Statorkupferverluste $P_{Cu,1}$	4 bis 6 % $P_N$
Eisenverluste im Stator $P_{Fe}$	3 % $P_N$
Rotorwiderstandsverluste $P_{Cu,2}$	3 bis 6 % $P_N$



9 Beidseitiger Bedienstand; rechter Griff mit den Funktionen Fahren und Lenken, linker Griff mit den Funktionen Heben, Senken und Hupen



10 Detail der lastseitigen Bedienelemente

ment vereinigt (Bilder 7 und 8). Durch geschickte Auswerterroutinen werden die Signale des Daumen-Joysticks durch eine Koordinatentransformation in für den Fah-

rer als angenehm empfundene Fahr- und Lenkwinkelvorgaben umgerechnet. Der Fahrer erhält damit das Gefühl einer sehr direkten und intuitiven Bedienung. Die Kompaktheit des Bedienelementes ermöglicht die Anordnung des Daumen-Joysticks sowohl für die Antriebs- als auch für die Gabelseite, wodurch ein weiterer ergonomischer Mehrwert geschaffen wird. Der Fahrer kann die Bedienungsrichtung in Abhängigkeit von der Lastsituation frei wählen, ohne dass das Bedienelement dabei im Wege steht.

Im zweiten Festhaltegriff sind jeweils Tasten für die Hupe, die Heben- und Senken-Funktion integriert (Bilder 9 und 10). Der Fahrer kann auf diese Weise alle Bedienfunktionen bequem mit seinen beiden Daumen erreichen. Die Bewegungen, die der Fahrer dabei ausführen muss, sind auf ein Minimum beschränkt.

### Resümee und Ausblick

Die Studie „Concept 08“ demonstriert eindrucksvoll, dass innovative, effiziente Technologien nicht nur einen Mehrwert in der Steigerung der Wirtschaftlichkeit von Flurförderzeugen mit sich bringen, sondern sich auch in der konstruktiven Gestaltung und damit verbunden in der Verbesserung der gesamten Ergonomie widerspiegeln. Jungheinrich hat diesen Trend erkannt und weist mit dem „Concept 08“ eine Vision von Fahrzeugen aus, die den Anforderungen von morgen schon heute gerecht wird. □

### Literatur

- [1] Gehrling, D.: Elektrische Maschinen und Antriebe I. Universität der Bundeswehr München, Institut für elektrische Antriebstechnik und Aktorik, Vorlesungsskript 2008.
- [2] Hanitsch, R.,: Energieeffiziente Antriebe – Ein Aspekt beim Energiemanagement. TU Berlin, Institut für Energie- und Automatisierungstechnik, Veröffentlichung 2004.

**Prof. Dr.-Ing. Christoph Weber**  
verantwortet die Fachgebiete Antriebstechnik und Schaltungsentwicklung im Institut für Mechatronik der Fachhochschule Kiel<sup>1)</sup>



**Dipl.-Ing.-Des. Andreas Knie**  
ist selbstständiger Produktdesigner in Hamburg<sup>2)</sup>



- 1) **Christoph Weber** war mehrere Jahre in der Grundlagenentwicklung der Hamburger Jungheinrich AG tätig und verantwortete als Projektleiter die technische Umsetzung der Studie „Concept 08“. Im April 2008 wurde er an die Fachhochschule Kiel berufen.
- 2) **Andreas Knie** hat für „Concept 08“ die Fahrzeug- und Bedienkonzepte mitentwickelt und ist für das Design der Studie verantwortlich.