

Prozesse auf dem Prüfstand

Wasserstoffbetriebene Flurförderzeuge versprechen schnelle Betankungen anstelle von zeit- und ressourcenaufwendigen Batteriewechseln. Wissenschaftliche Untersuchungen hierzu fehlen jedoch gänzlich. Infolgedessen werden in diesem Beitrag verschiedene Batteriewechselmethoden sowie Wasserstoffbetankungen zeitlich bewertet und gegenübergestellt. Abschließend werden die physischen Belastungen des Mitarbeiters durch die Handhabungsprozesse untersucht.

■ Robert Micheli
■ Willibald A. Günthner

Batteriebetriebene Flurförderzeuge (FFZ) sind seit Jahren fester Bestandteil der Intralogistik. Die Kapazität der dabei eingesetzten Batterien ist aufgrund fest definierter Batterietrog-Abmessungen z. B. nach DIN 43531 beschränkt und somit für einen durchgängigen Zwei- oder Dreischichtbetrieb der FFZ meist nicht ausreichend. Batteriewechsel (BW) während des Betriebes sind die Folge. Hingegen wird bei wasserstoffbetriebenen FFZ die Antriebsbatterie durch ein sog. Brennstoffzellensystem ersetzt. Dieses wird regelmäßig mit Wasserstoff (H₂) befüllt. Ein aufwendiger Batterie- oder Komponentenwechsel am H₂-FFZ ist somit nicht mehr notwendig.

Bei einer Betrachtung von Expertenaussagen sowie Literaturangaben zu Batteriewechselzeiten mit H₂-Betankungszeiten wird schnell ersichtlich, dass sich die angegebenen Zeiten zum Teil deutlich unterscheiden. So stehen für Batteriewechselzeiten Aussagen von 5 bis 15 min und mehr im Raum. Bei der H₂-Betankung sprechen Experten hingegen von einer Betankungsdauer von wenigen Minuten. Als konkreter Wert wird oft 3 bis 5 min genannt. Ein objektiver Vergleich zwischen Batteriewechsel und H₂-Betankung gestaltet sich daher schwierig, weswegen im Folgenden verschiedene Batteriewechselmethoden und eine H₂-Betankung am Beispiel eines 3,5-t-Gegengewichtstaplers und eines 3-t-Routenzugschleppers untersucht werden. Die zeitliche Bewertung erfolgt zum einen durch Messwerte aus verschiedenen Bat-

teriewechselmethoden bei unterschiedlichen Anwendern (Logistikdienstleister und Automobilbranche), zum anderen mit Hilfe der Methods-Time Measurement-(MTM)-Methode. Für die Bewertung durch MTM werden standardisierte Rahmenbedingungen für die unterschiedlichen Batteriewechselmethoden und der H₂-Betankung definiert und anschließend die jeweiligen anfallenden manuellen Handhabungsschritte mit Hilfe von MTM bewertet. Abschließend wird die physische Belastung des Mitarbeiters während der einzelnen Batteriewechselmethoden und der H₂-Betankung mit Hilfe der Leitmerkmalmethode bewertet.

Ablauf des Batteriewechsels bei Flurförderzeugen

Batteriewechselmethoden können grundlegend anhand der räumlichen Aufteilung in zentrale (eine Batterieladestation pro Werk oder Halle) sowie dezentrale (mehrere Batterieladestation oder Einzelladepunkte pro Halle) Batteriewechsel unterteilt werden. Ausgehend von derselben Anzahl an Batterien innerhalb einer Halle, umfasst eine zentrale Batterieladestation immer mehr Batterien als eine einzelne dezentrale und ist somit in ihren Abmessungen größer, wodurch der Mitarbeiter längere Wege für einen Batteriewechsel zurücklegen muss. Neben der räumlichen Auftei-



1 Batteriewechsel mit Kran bei einem Gabelstapler (Bild: Linde MH)

lung werden Batteriewechselmethoden anhand des Wechselequipments unterschieden. Bei Gegengewichtstaplern werden Batterien vorwiegend mit einem Hubwagen oder, wie in Bild 1 ersichtlich, mit einem Brückenkran gewechselt. Für beide Methoden muss vor dem eigentlichen Entfernen der Batterie eventuell eine Fahrerkabine geöffnet, der Fahrersitz nach oben geklappt, die Batterietür geöffnet sowie die Batterie vom Fahrzeug abgeklemmt werden. Anschließend wird beim Batteriewechsel mit Hubwagen dieser unter dem Stapler bzw. der Batterie platziert und die leere Batterie mit Hilfe des Hubwagens aus dem Fahrzeug gehoben. Nach dem Abstellen auf einem leeren Ladeplatz kann eine volle Batterie mit Hilfe des Hubwagens in das Fahrzeug eingesetzt werden. Beim Wechsel mit einem Kran, der aufgrund der höheren Investition meist nur in größeren Ladestationen eingesetzt wird, wird je nach Ausführung des FFZ die Batterie durch einen seitlichen Batterieauschub aus dem Fahrzeug geschoben. Anschließend wird diese z. B. mit einer pneumatischen Spannvorrichtung, die am Kran befestigt ist, arretiert und mit dem Kran aus dem Fahrzeug auf den leeren Ladeplatz gehoben. Die volle Batterie wird auf dieselbe Weise in umgekehrter Reihenfolge in das Fahrzeug bewegt. Abschließend wird die volle Batterie am Fahrzeug angesteckt, der Fahrersitz nach unten geklappt und eventuell die Fahrerkabine verschlossen. Bei Routenzugschleppern ist neben einem Wechsel mit Hubwagen inkl. Wechselgestell oder Kran auch ein Batteriewechsel mit Hilfe eines sog. Verschiebewagens möglich. Dabei wird der Schlepper vor dem Verschiebewagen positioniert, die Batterie abgeschlossen und seitlich auf den Verschiebewagen geschoben. Anschließend kann mit Hilfe des Verschiebewagens, der entweder geführt oder frei verfahrbar ist, die leere Batterie auf den Ladeplatz befördert werden. Danach wird eine volle Batterie mit Hilfe des Verschiebewagens an einem anderen Ladeplatz entnommen und in den Schlepper eingeführt.

Ablauf der Wasserstoffbetankung bei Flurförderzeugen

H₂-Betankungen können wie Batteriewechsel zentral oder dezentral durchgeführt werden. In beiden Fällen wird ein identischer Dispenser, mit dessen Hilfe

das FFZ betankt wird, aufgebaut. Die eigentliche H₂-Infrastruktur, bestehend aus Betankungsanlage und H₂-Speicher, steht außerhalb der Halle im Freien. Für eine Betankung des FFZ mit H₂ muss eventuell eine kleine Tankklappe am FFZ geöffnet werden. Dadurch werden die benötigten Anschlüsse für H₂-Befüllung, Kondensatabsaugung sowie Kommunikationsschnittstelle freigelegt. Anschließend kann der Mitarbeiter die H₂-Füllkupplung und bei Bedarf den Schlauch für die Kondensatabsaugung sowie das Kabel für die Kommunikation anschließen. Nachdem alle notwendigen Verbindungen hergestellt sind, muss der Mitarbeiter, z. B. durch eine PIN-Eingabe an einem Touchpanel, das Fahrzeug am Dispenser anmelden und dadurch die Betankung freischalten. Durch die Betätigung des Start-Knopfes beginnt anschließend die Betankung sowie bei Bedarf die Absaugung des Kondensatwassers. Abschließend werden alle Verbindungen zwischen FFZ und Dispenser gelöst und das Fahrzeug ist wieder einsatzfähig.

Zeitliche Bewertung mit Hilfe der MTM-Analyse

Die MTM-Analyse wird für die Planung und Analyse von manuellen Arbeitsabläufen genutzt, diese werden mit Hilfe von zeitlich und inhaltlich vordefinierten Prozessbausteinen bewertet. Eine Bewertung kann anhand der drei MTM-Prozesstypen erfolgen. Für jeden Prozesstyp können speziell auf ihn zugeschnittene Bausteinsysteme verwendet werden, welche sich ausschließlich anhand ihres Detaillierungsgrades unterscheiden [Bok-2006]. Im Folgenden wird die Bewertung mit Hilfe von MTM-UAS, welches für die Bewertung von sich wiederholenden und gleichbleibenden Arbeitsinhalten mit Zykluszeiten von rd. 3 min eingesetzt wird, durchgeführt [Ben-2014].

Hierzu werden Arbeitsabläufe in sog. Grundvorgänge, wie z. B. Aufnehmen und Platzieren, unterteilt. Jedem Grundvorgang ist durch MTM eine feste Anzahl an sog. Time Measurement Units (TMU) hinterlegt. Nachdem alle Arbeitsabläufe und Grundvorgänge analysiert und bewertet sind, kann am Ende die Summe der TMUs mit Hilfe eines Faktors in Sekunden umgerechnet werden. Ein TMU entspricht dabei 0,036 s [Bok-2006]. Für die Bewertung des Bat-

teriewechselprozesses werden zunächst standardisierte Betriebsmittel ausgewählt. Als FFZ werden der Gegengewichtstapler E35 sowie der Elektro-Schlepper P30C der Linde Material Handling (Linde MH) herangezogen. Für den Batteriewechsel mit Hubwagen wird ein Elektro-Deichselhubwagen sowie ein Wechselgestell für 2 x 24-V-Batterien für den Batteriewechsel beim P30C verwendet. Der Batteriewechsel per Kran wird mit Hilfe eines Deckenlaufkrans und einer Hebetraverse mit pneumatischer Klemmvorrichtung durchgeführt. Zudem wird beim zentralen Batterietausch des P30C mit Verschiebewagen ein Wechselwagen von Hoppecke verwendet. Anschließend werden standardisierte Batterieladestationen für den zentralen sowie den dezentralen Batteriewechsel ausgewählt und die für den Batteriewechsel notwendigen Arbeitsabläufe und Zeiten analysiert. Hierfür werden u. a. für jede Batteriewechselmethode die Laufwege des Mitarbeiters mit Hilfe von Spaghettidiagrammen, wie in Bild 2 zu sehen, bestimmt.

Für die Bewertung der H₂-Betankung werden der Gegengewichtstapler E35FC mit Kondensatabsaugung sowie der Elektro-Schlepper P30FC ohne Kondensatabsaugung von Linde MH herangezogen. Beide Betankungen erfolgen ohne Kommunikation zwischen FFZ und Infrastruktur. Die durchschnittlichen Betankungsmengen liegen bei 1,37 kg (E35FC) bzw. 0,56 kg (P30C) H₂ (Messwerte aus der realen Anwendung im BMW-Werk Leipzig), wobei eine maximale Durchflussrate nach SAE-J2600-Norm von 28 g/sek möglich ist. Eine detaillierte Analyse des Ablaufs der Betankung ist in Bild 3 zu sehen.

Ergebnisse der zeitlichen Bewertung im Vergleich

In der Ergebnisdarstellung werden die Mittelwerte der realen Messwerte sowie die durch MTM ermittelten Zeiten für die verschiedenen Batteriewechselmethoden und die H₂-Betankung gegenübergestellt, wobei von einer funktionierenden Technik ausgegangen wird. Zudem werden bei den gemessenen Werten der minimale und maximale Wert mit angeführt. Die dargestellte Zeit ist als Dauer zwischen dem Zeitpunkt des Anhaltens des FFZ an der Ladestation oder am Dispen-



„Ich hab was gegen Ruß!“ Wir auch!

Ob beim Verbrennen von Öl, Holz oder Kohle – immer entsteht Ruß, der unsere Umwelt belastet und vor allem die Gesundheit unserer Mitmenschen gefährdet.

Bei Abgasen von Flurförderzeugen, Baumaschinen und bei vielen anderen dieselbetriebenen Anwendungen beginnt sinnvoller Schutz mit den von uns entwickelten Rußpartikelfiltern. Denn die absorbieren Rußpartikel am Ort des Entstehens und tragen damit zu einer effektiven Verbesserung des

Arbeitsklimas bei. Sie sind in vielen Größen und Ausführungen standardmäßig bei uns erhältlich.

Senden Sie uns eine E-Mail oder ein Telefax.

Wir reagieren umgehend und senden Ihnen weitere Informationen.

Oder rufen Sie gleich an ... 06196 703813.

Wir freuen uns auf das Gespräch mit Ihnen.

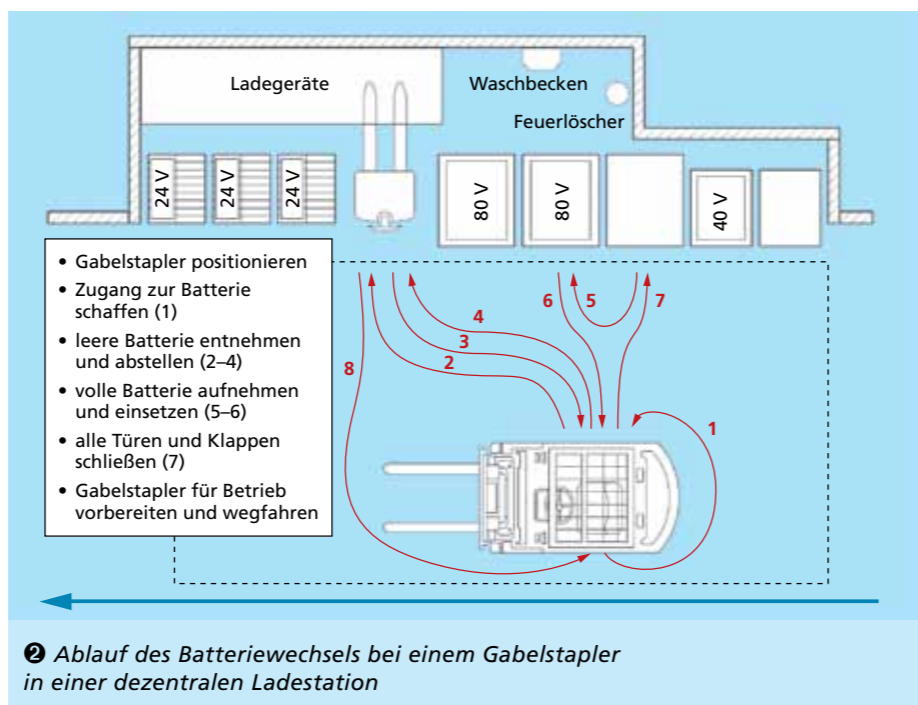


Johnson Matthey GmbH & Co. KG
Otto-Vogler-Straße 9 D-65843 Sulzbach/Ts.
Tel. +49 6196 703813 Fax +49 6196 72450
nonroad@matthey.com www.jmdpf.de

ser bis zum Wiederlosfahren nach dem durchgeführten Batteriewechsel oder der Betankung zu verstehen. Wie in Bild 4 ersichtlich, unterscheiden sich die gemessenen realen Zeiten bei den unterschiedlichen Batteriewechselmethoden deutlich. So ist der maximale Wert beim zentralen Batteriewechsel mit Kran rd. fünfmal höher als der minimale Wert. Gründe hierfür liegen in unterschiedlichen Rahmenbedingungen bzw. in suboptimal geplanten Batteriewechselprozessen. So kann z. B. eine zu geringe Deckenhöhe beim Batteriewechsel mit Kran verhindern, dass eine Batterie über die andere gehoben werden kann oder ruckartig anfahrens und stoppende Krane zu einem unkontrollierten Schwingen der Batterie führen. Ferner benötigen schlecht geschulte Mitarbeiter wesentlich mehr Zeit für den Batteriewechsel als geschulte.

Einfluss des Faktors Mensch auf die Betankungsdauer

Bei der H₂-Betankung hingegen ist der maximale Messwert nur 1,7-mal höher als der Minimale. Dies ist vor allem den unterschiedlichen Betankungsmengen geschuldet. Demzufolge nimmt der Faktor Mensch einen wesentlich geringeren Einfluss auf die Betankungsdauer. Bei der Gegenüberstellung der minimalen Messwerte und der durch MTM ermittelten Zeiten wird ersichtlich, dass die Werte annähernd deckungsgleich sind. Somit entsprechen die MTM-Zeiten der Realität und gelten dadurch als validiert. Der Unterschied von 0,6 min zwischen den minimalen Messwerten und der MTM-Zeit bei der H₂-Betankung ergibt sich aufgrund der wesentlich geringeren Betankungsmenge bei der zeitlichen Messung im Vergleich zu den durchschnittlichen 1,37 kg in der Anwendung bei BMW, welche für die MTM-Zeitermittlung herangezogen werden. Für eine objektive Gegenüberstellung zwischen H₂-Betankung und Batteriewechsel können daher die validierten MTM-Zeiten verwendet werden. So können durch die H₂-Betankung (2,6 min) im Vergleich zum zentralen Batteriewechsel mit Hubwagen, welcher mit 3,3 min den schnellsten Batteriewechsel ermöglicht, 22 % der Zeit eingespart werden. Vergleicht man für dieses Szenario die mittleren Messwerte, so können im Mittel 64 % der Zeit (5,1 min) eingespart werden. Bei einer Gegenüber-

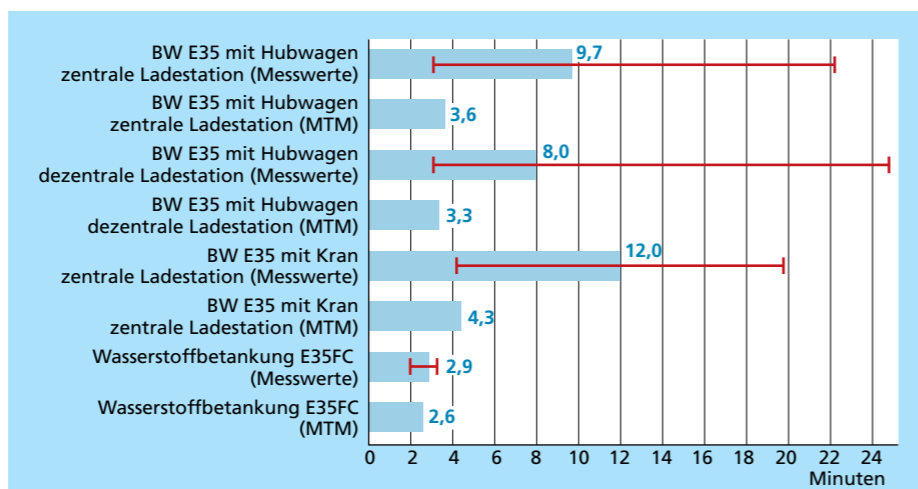


2 Ablauf des Batteriewechsels bei einem Gabelstapler in einer dezentralen Ladestation

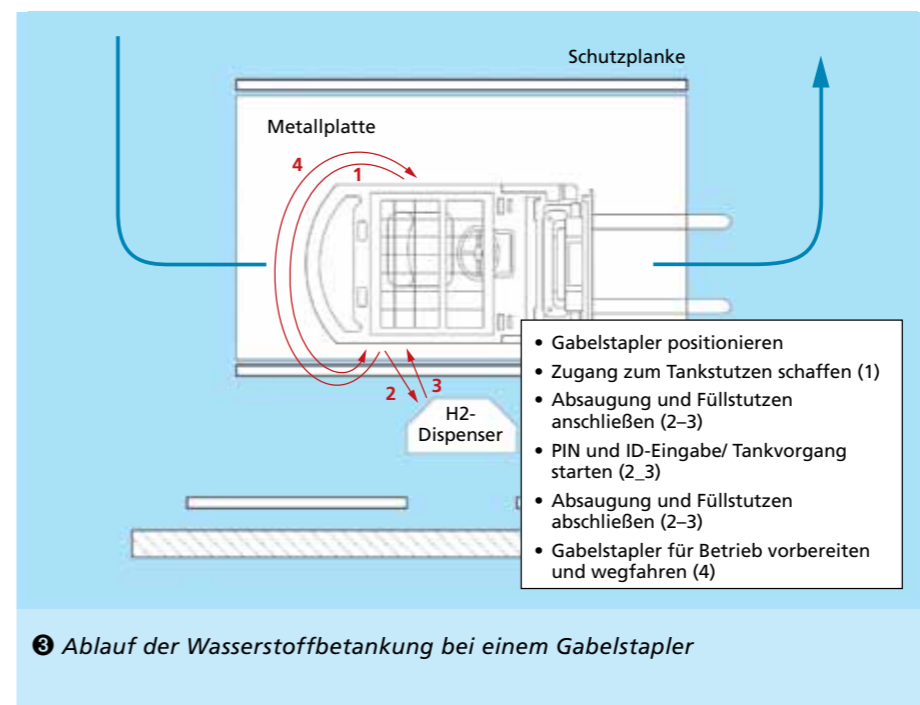
stellung des längsten Batteriewechsels mit der kürzesten Betankung können sogar 92 % der Zeit eingespart werden, was 22,8 min entspricht. Als Schlussfolgerung kann daher abgeleitet werden, dass die H₂-Betankung beim Gabelstapler eine Zeitersparnis gegenüber dem Batteriewechsel mit sich bringt. Diese ist wesentlich von der Qualität des Batteriewechselprozesses, der Batteriewechselmethode und dem Faktor Mensch, wie z. B. Schulungsgrad, abhängig.

Zeitunterschied ist auch bedingt durch Größe der Ladestationen

Abschließend gilt es noch hinzuzufügen, dass der zeitliche Unterschied bei den MTM-Werten zwischen zentralem und dezentralem Batteriewechsel mit Hubwagen auf die räumlichen Dimensionen der Ladestationen zurückzuführen ist. Zentrale Ladestationen sind aufgrund der höheren Anzahl an gelagerten Batterien größer als dezentrale. Im Umkehr-



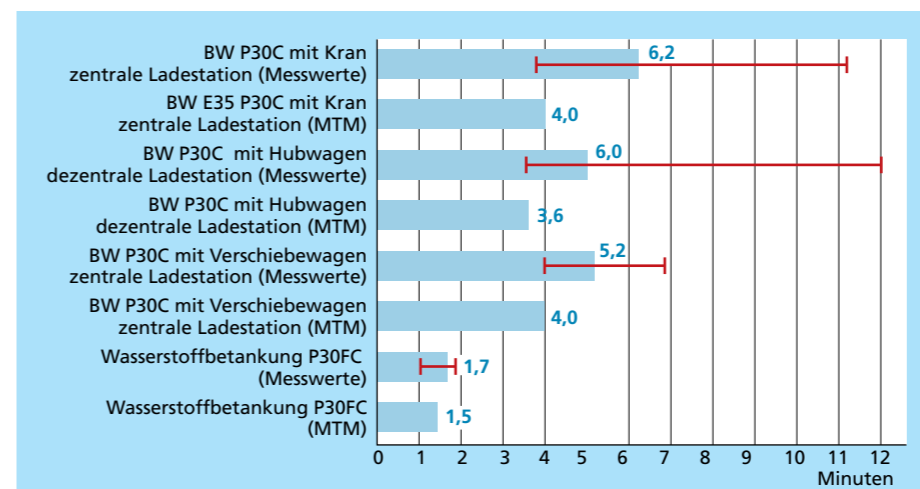
4 Zeitwerte Batteriewechsel vs. Wasserstoffbetankung beim Gabelstapler (Mittelwert sowie min. und max. Werte) (Bilder: FML)



3 Ablauf der Wasserstoffbetankung bei einem Gabelstapler

schluss muss der Mitarbeiter dadurch einen längeren mittleren Weg bewältigen. Durch den Vergleich des Batteriewechsels mit der H₂-Betankung beim Routenzugschlepper in Bild 5 bestätigen sich die bereits genannten Erkenntnisse. Der Faktor Mensch oder eine schlechte Planung der Prozesse können auch hier zu einem deutlichen Anstieg der Batteriewechselzeiten führen, wobei deren Einfluss bei der H₂-Betankung deutlich geringer ausfällt. Ferner können die

durch MTM bestimmten Zeiten mit Hilfe der minimalen Messwerte validiert werden. Im direkten Vergleich der MTM-Zeiten kann beim Einsatz von Routenzugschleppern durch die H₂-Betankung im Vergleich zum zentralen Batteriewechsel mit Hubwagen (schnellster Batteriewechsel) 59 % der Zeit eingespart werden. Bei einer Gegenüberstellung der mittleren Messwerte dieses Szenarios liegt die mittlere Zeitersparnis bei 72 % oder 4,3 min. Im Vergleich der



5 Zeitwerte Batteriewechsel vs. Wasserstoffbetankung beim Routenzugschlepper (Mittelwert sowie min. und max. Werte)

schnellsten H₂-betankung mit dem langsamsten Batteriewechsel können 10 min oder 89 % der Zeit eingespart werden.

Bewertung der physischen Belastung des Mitarbeiters

Die Bewertung der physischen Belastung des Mitarbeiters während eines Batteriewechsels oder der H₂-Betankung wird mit Hilfe der Leitmerkalmethode (LMM) durchgeführt. Sie ist ein „Werkzeug der Arbeitsanalyse, um eine praxiserprobte Untersuchung der objektiv vorhandenen Arbeitsbelastung [...] durchzuführen“ [Ben-2014]. Dabei werden Arbeitstätigkeiten mit Hilfe unterschiedlicher Wichtungen für die Bereiche „zu bewegend Lasten“, Zeitdauer/Häufigkeit, Körperhaltung und „Ausführungsbedingungen in Risikobereichen“ eingeordnet. Diese geben anschließend Auskunft darüber, ob eine Tätigkeit aus ergonomischer Sicht unbedenklich ist oder ob sie langfristig zu einer Überbeanspruchung des Mitarbeiters mit evtl. gesundheitlichen Schäden führen kann. Die Risikobereiche und deren Bedeutung sind in Bild 6 dargestellt.

Für die Bewertung der physischen Belastung des Mitarbeiters werden die standardisierten Batteriewechselmethoden sowie die H₂-Betankung herangezogen, wobei von einer Durchführungshäufigkeit von 40-mal pro Schicht ausgegangen wird. Dies entspricht einer durchschnittlichen Auslastung des Mitarbeiters an der zentralen Ladestation von 71 % bei zu Grunde gelegten sieben Nettoarbeitsstunden und einer durchschnittlichen Batteriewechselzeit von 7,5 min. Durch die angenommene Durchführungsanzahl von 40-mal pro Schicht erhält die Arbeitstätigkeit im Bereich Häufigkeit eine Wichtung von vier oder Faktor vier. Würde der Fahrer selbst den Batteriewechsel oder die H₂-Betankung durchführen, so würde die Durchführungsanzahl nur noch ein- bis zweimal pro Schicht betragen. Im Rahmen der LMM entspricht dies einer Wichtung von 1 oder Faktor 1. Dieser Faktor gilt ab einer Häufigkeit von ein- bis maximal neunmal pro Schicht. Infolgedessen kann für eine Bestimmung der physischen Belastung des Fahrers bei einem selbst durchgeführten Batteriewechsel oder H₂-Betankung der in Bild 6 angegebene Risikowert durch vier dividiert werden. Bei Betrachtung der Ergebnisse der LMM-Analyse in der

Risikobereich	Punktwert	Beschreibung
1	< 10	Geringe Belastung, Gesundheitsgefährdung durch körperliche Überlastung ist unwahrscheinlich.
2	10 bis < 25	Erhöhte Belastung, eine körperliche Überlastung ist bei vermindert belastbaren Personen möglich. Für diesen Personenkreis sind Gestaltungsmaßnahmen sinnvoll.
3	25 bis < 50	Wesentlich erhöhte Belastung, körperliche Überbeanspruchung ist auch für normal belastbare Personen möglich, Gestaltungsmaßnahmen sind angezeigt.
4	≥ 50	Hohe Belastung, körperliche Überbeanspruchung ist wahrscheinlich. Gestaltungsmaßnahmen sind erforderlich.

⑥ Risikobereiche bei LMM für Ziehen und Schieben

(Bild: BAuA)

ab als der Batteriewechsel. Eine körperliche Überbeanspruchung für den Mitarbeiter ergibt sich unter allen untersuchten Batteriewechselmethoden und H₂-Betankung lediglich durch den zentralen Batteriewechsel mit Verschiebwagen ab einer Durchführungshäufigkeit von 40-mal pro Schicht.

Wasserstoffbetankung bietet auch einen räumlichen Vorteil

Abschließend gilt es noch, den räumlichen Vorteil der H₂-Betankung gegenüber dem Batteriewechsel zu nennen. Dieser wurde zwar im Rahmen der Untersuchungen nicht im Detail quantitativ analysiert, jedoch sind für die Errichtung und spätere Betankung mit Hilfe eines Dispensers meist 15 m² ausreichend. Diese können zudem zum Teil als Fahrstrecke genutzt werden. Dadurch ergibt sich eine wesentliche Einsparung gegenüber der für Ladestationen notwendigen Flächen. Vor dem Hintergrund des geringen Platzbedarfs pro Dispenser können bei Bedarf weitere errichtet werden und somit längere Anfahrtswege für die FFZ vermieden werden. □

Literaturverzeichnis

- [Ben-2014] Bengler, K.; Senner, V.; Rausch, H.; Bortot, D.: Produktionsergonomie. Vorlesungsskriptum: Lehrstuhl für Ergonomie. Technische Universität München. 2014.
- [Bok-2006] Bokranz, R.; Landau, K.: Produktivitätsmanagement von Arbeitssystemen – MTM-Handbuch. Schäffer-Poeschel Verlag, Stuttgart: 2006. ISBN-13: 978-3791021331.

Tabelle wird deutlich, dass die H₂-Betankung den geringsten Risikowert und die geringste physische Belastung für den Mitarbeiter aufweist. Hauptgründe hierfür sind das nicht notwendige Handling von schweren Batterielasten sowie kurze zurückzulegende Wege. Eine erhöhte Belastung für den Mitarbeiter ergibt sich beim zentralen Batteriewechsel am Schlepper mit Verschiebwagen mit einem Risikowert von 30. Der dezentrale Batteriewechsel mit Hubwagen beim Schlepper weist denselben Risikowert auf, wobei sich der Wert auf eine Häufigkeit von 40-mal pro Schicht bezieht. Im realen Betrieb wird ein dezentraler Batteriewechsel mit Hubwagen jedoch durch den Fahrer selbst durchgeführt und fällt infolgedessen deutlich weniger oft als 9-mal pro Schicht an. Somit beläuft sich die reale Belastung des Mitarbeiters auf einen Risikowert von 7,5 und kann als unkritisch angesehen werden. Der Unterschied zwischen dezentralem Batteriewechsel mit Hubwagen beim Gabelstapler und Schlepper ergibt sich aus dem zusätzlichen Handling des Wechselgestells beim Schlepper, welches samt Batterien mehrmals bewegt werden muss.

Wasserstoffbetankung im Mittel deutlich schneller

Die in diesem Beitrag beschriebenen Untersuchungen zeigen, dass eine H₂-Betankung bei Gabelstaplern im Mittel mit 2,6 min und bei Routenzugschleppern mit 1,5 min deutlich schneller als ein Batteriewechsel durchgeführt werden können. Dabei ist die effektive Zeitersparnis von der zu vergleichenden Batteriewechselmethode und den am

Tabelle: Ergebnisse LMM-Analyse

Arbeitsprozess	Risikowert
Stapler BW mit Hubwagen dezentrale Ladestation	12
Stapler BW mit Kran zentrale Ladestation	8
Stapler BW mit Hubwagen zentrale Ladestation	12
Stapler H ₂ -Betankung	4
Schlepper BW mit Hubwagen dezentrale Ladestation	30
Schlepper BW mit Kran zentrale Ladestation	8
Schlepper BW mit Verschiebwagen zentrale Ladestation	30
Schlepper H ₂ -Betankung	4

Einsatzort vorherrschenden Rahmenbedingungen abhängig. Diesbezüglich sind die Planungsqualität des Batteriewechselprozesses sowie die Erfahrung des Mitarbeiters, der den Batteriewechsel durchführt, die entscheidenden Einflussfaktoren. Diese können z. B. dazu führen, dass ein Batteriewechsel mit 24,8 min bei einem Gabelstapler rd. 10-mal so lange dauert wie eine H₂-Betankung. Verglichen hierzu spielt der Faktor Mensch bei der H₂-Betankung eine untergeordnete Rolle, da der Prozess bis auf das einfache An- und Abschließen von Kupplungen voll automatisiert abläuft.

Im Vergleich der physischen Belastung des Mitarbeiters schneidet die H₂-Betankung aufgrund des nicht mehr notwendigen Handlings mit schweren Batterien sowie kürzeren Laufwegen besser

Robert Micheli
ist wissenschaftlicher
Mitarbeiter am Lehrstuhl
für Fördertechnik
Materialfluss Logistik
(FML) der Technischen
Universität München.



**Prof. Dr.-Ing.
Willibald A. Günthner**
ist Ordinarius
des Lehrstuhls für
Fördertechnik
Materialfluss Logistik
(FML).

