

ANALYSE DER WECHSELWIRKUNGEN ZWISCHEN GEBÄUDE, HAUSTECHNIK UND INTRALOGISTIK ZUR STEIGERUNG DER ENERGIEEFFIZIENZ VON LOGISTIKZENTREN

Dipl.-Wi.-Ing. Julia Freis, Dipl.-Ing. Philipp Vohlidka, Dipl.-Ing. Architekt Oliver Zadow, Prof. Dr.-Ing. Dipl.-Wi.-Ing. Willibald A. Günthner, Prof. Dr.-Ing. Dr. h. c. Gerhard Hausladen

1 Einleitung

Steigende Energiepreise und ihr Einfluss auf die Lebenszykluskosten von Anlagen und Immobilien sowie verschärfte energie- und klimapolitische Reglementierungen nehmen auch Logistikunternehmen in die Pflicht, sich verstärkt mit dem Thema Energieeffizienz auseinanderzusetzen. Zudem sieht die im Mai 2010 verabschiedete EU-Richtlinie über die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden (2010/31/EU) vor, dass ab 2021 alle Neubauten Niedrigstenergiegebäude sein müssen [1]. Demnach müssen auch Logistikgebäude zukünftig eine sehr hohe Gesamtenergieeffizienz aufweisen und ihren geringen Energiebedarf zu einem wesentlichen Teil durch Energie aus erneuerbaren Quellen decken.

Bei einer Optimierung von Logistikgebäuden hinsichtlich der Energieverbräuche ist sowohl der Bereich Gebäude samt Haustechnik als auch der Bereich Materialflusstechnik inklusive der Wechselwirkungen untereinander als auch zwischen den Bereichen zu betrachten. Erst dann kann ganzheitlich die Gesamtenergieeffizienz gesteigert werden

2 Gesamtenergieeffizienz von Logistikzentren

In den Bereichen Gebäude, Haustechnik und Intralogistik leisten schon heute unterschiedlichste Lösungen einen Beitrag zur Reduzierung des Energieverbrauchs von Anlagen oder Komponenten, wie z. B. die Dämmung der thermischen Hüllfläche, der Einsatz tages-

lichtabhängiger Leuchtensteuerung oder die Rekuperation in der Materialflusstechnik. Die Wechselwirkungen und die gegenseitige Beeinflussung von bestimmten Maßnahmen innerhalb und besonders zwischen den genannten Bereichen werden bislang nicht betrachtet. Im IGF - Forschungsprojekt "Das CO₂-neutrale Logistikzentrum - Entwicklung von ganzheitlichen Handlungsempfehlungen für energieeffiziente Logistikzentren" sollen diese Wechselwirkungen analysiert und ganzheitliche Handlungsempfehlungen zur Konzeption von energieeffizienten Logistikzentren abgeleitet werden.

Um erste Vergleichswerte hinsichtlich der Umsetzung energieeffizienter Maßnahmen aufzunehmen, wurden Mieter, Betreiber und Nutzer bestehender Logistikzentren zum Thema Energieeffizienz mittels einer Online-Umfrage befragt. Dabei bewerteten 91% der Teilnehmer das Thema Energieeffizienz für Logistikzentren als wichtig, 50% davon als sehr wichtig. Wie in Abbildung 1 dargestellt, wurden bei 23% der Befragten keine Maßnahmen zur Effizienzsteigerung ergriffen. Dies betrifft alle Umfrageteilnehmer mit einer Nutzfläche kleiner als 3.000 m². Als Hemmnisse bei der Umsetzung von Energiesparmaßnahmen werden der hohe Aufwand und fehlendes Know How mit 80% sowie fehlende Wirtschaftlichkeit und hohe Komplexität mit jeweils 60%, genannt. Bei 68% der Teilnehmer sind Kostensenkungen und Effizienzsteigerungen mit 93% der Auslöser für die Durchführung von Maßnahmen zur Energieeffizienzsteigerung. Kundenerwartungen werden von 53% der Befragten als Grund für die Umset-

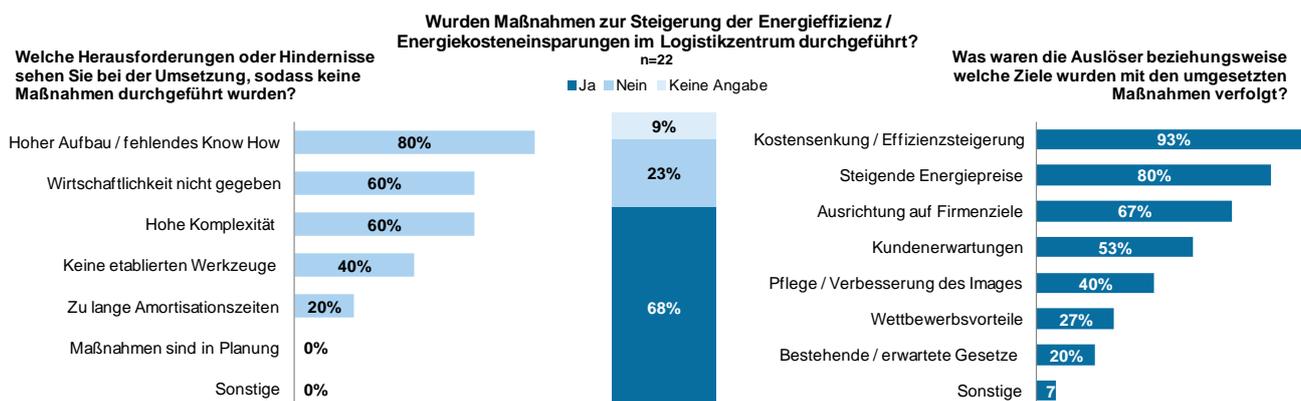


Abbildung 1: Ergebnisse der Online-Umfrage "Energieeffizienz-Benchmarking für Logistikzentren" zum Thema Umgesetzte Maßnahmen zur Steigerung der Energieeffizienz (Quelle: fml)

zung angegeben. Die Nutzfläche der Logistikzentren, in denen mindestens eine Maßnahme in den Bereichen Intralogistische Anlagen, Gebäudetechnische Anlagen und Gebäudehülle durchgeführt wurden, liegt nach Angaben der Befragten zwischen 3.000 und 70.000 m². Der Einsatz regenerativer Energien im Logistikzentrum, wie Bezug von "Grünem Strom" oder die Nutzung von Umweltwärme in Verbindung mit Wärmepumpen, erfolgt bei 41% aller Teilnehmer.

Die durchgeführte Online-Umfrage dient weiterhin der Verifikation der im Projekt erarbeiteten Gruppierung von Logistikzentren sowie der identifizierten funktionellen Grundelemente, aus denen sich prinzipiell Varianten von Logistikzentren konzipieren lassen.

3 Vorgehen zur Analyse der Wechselwirkungen

3.1 Gesamtsystem Logistikzentrum

Das Logistikzentrum wird als ein System betrachtet, welches einen Gesamtbedarf an Energie als Inputgrößen für Strom, Gas, etc. aufweist und durch Wandlung von Energie einen bestimmten Output als mechanische Arbeit, Wärme usw. generiert. Um Energiebedarfe für unterschiedliche Arten von Logistikzentren abzubilden, wird eine Gruppierung vorgenommen.

Die Einteilung erfolgt dabei nach den Anforderungen des Gutes:

- Temperaturgeführt
- Luftfeuchtigkeit
- Gefahrstoff
- keine Anforderung

und nach der Art der Nutzung:

- Lagerhaus (manuell)
- Umschlagszentrum (halbautomatisch)
- Distributionszentrum (vollautomatisch)

Die Anforderungen des Gutes wie die Kühlung oder der Automatisierungsgrad bei der Art der Nutzung eines Logistikzentrums haben einen signifikanten Einfluss auf den Energieverbrauch und weisen somit ein entsprechend höheres Optimierungspotenzial auf. Weiterhin ergeben sich aus den Anforderungen des Gutes spezielle Anforderungen an das Gebäude wie beispielsweise mehrere getrennte räumliche Bereiche für unterschiedliche Temperaturzonen. Nicht betrachtet werden im Projekt Güter mit speziellen Anforderungen wie Gefahrstoffe oder Langgüter, da diese sehr spezifische Anforderungen an das Gebäude sowie die Materialflusstechnik stellen.

Zusätzlich wird ein Logistikzentrum in Flächen eingeteilt, welche sich nach dem Materialfluss richten und folgende Gebäudezonen darstellen:

- Wareneingang
- Lager
- Umschlag
- Kommissionierung
- Sortierung
- Verpackung
- Warenausgang
- Büro / Sozialräume

Dabei können die Zonen räumlich getrennt von einander sein, wie z. B. ein Hochregallager oder aber zwei oder mehrere Funktionen in einer Zone erfüllen, wie z. B. ein manuelles Lager mit breiten Gängen zur Kommissionierung aus dem Lager. Jede dieser Zonen hat definierte Abmessungen für die Breite, Länge und Höhe. Die logistischen Anforderungen stellen weiterhin spezifischen Parameter für ein Nutzungsprofil an die einzelnen Zonen. Dazu gehören beispielsweise die Nutzungsdauer, abhängig von den Betriebsstunden, die Temperaturanforderung bei Personenbelegung oder beim Lagern von temperaturgeführten Gütern oder die Beleuchtungsstärke, abhängig von der durchzuführenden Arbeit durch die Mitarbeiter.

3.2 Grundelemente von Logistikzentren

Zur Identifikation von wiederkehrenden Grundelementen eines Logistikzentrums wurden im Forschungsprojekt sieben Distributionszentren besichtigt. Diese teilten sich auf in vier Zentrallager, zwei Verteilzentren und ein Zentrallager mit Kühlzellen. Mit dem Ziel der energetischen Optimierung von Logistikzentren wurden bei den Besichtigungen einzelne wiederkehrende Verbraucher im Gesamtsystem identifiziert. Darauf aufbauend soll untersucht werden, wie deren Energiebedarf durch verschiedene Maßnahmen miniert werden kann und in welchen Wechselwirkungen diese Verbraucher zueinander stehen.

Die identifizierten Energieverbraucher werden als Grundelemente in gebäude- und haustechnische sowie in intralogistische Klassen eingeteilt, aus denen sich Varianten von Logistikzentren, je nach Branche oder Artikelspektrum, konzipieren lassen. Anhand der hinterlegten Größen und der daraus resultierenden Anforderungen an die zu erbringende Leistung des Grundelements kann der Energiebedarf analytisch berechnet werden.

Die Grundelemente der intralogistischen Klassen sind in Tabelle 1, die der gebäude- und haustechnischen Klassen in Tabelle 2 dargestellt. Für eine folgende Optimierung der Grundelemente sowie der Analyse der Wechselwirkungen werden diese in ein ganzheitliches Gebäudemodell eines Logistikzentrums implementiert.

Klasse	Intralogistische Grundelemente			
Fördern	Flurförderzeug	Flurungebundene Förderanlage	Großladungsträger Förderanlage	Kleinladungsträger Förderanlage
Lagern	Manuelles Lager	Automatisches Hochregallager	Automatisches Kleinteilelager	Shuttlelager
Komm. / Sortieren	Mann zu Ware Kommissionierung	Ware zu Mann Kommissionierung	Sortiersystem	Manuelle Arbeitsplätze
Verpacken	Ladesicherungsanlagen		Verpackungsanlagen	Manuelle Arbeitsplätze
Handhaben	Hebezeuge		Palettier- / Depalettier Roboter	Manuelle Arbeitsplätze
Be- / Entladen	Heckentladung / -beladung		Seitenentladung / -beladung	
Steuern	Materialflussrechner		Staplerleitsystem	

Tabelle 1: Grundelemente der intralogistischen Klassen

Klasse	Gebäude- und Haustechnische Grundelemente			
Gebäudehülle	Transmissioinswärmeverluste	Lüftungswärmeverluste	Solare Gewinne	
Gebäudenutzung	Interne Wärmelasten		Trinkwarmwasser	
Raumkonditionierung Temperatur	Erzeugung	Verteilung	Speicherung	Übergabe
Raumkonditionierung Lüften	Natürliche Lüftung	Volumenstrom	Wärmerückgewinnung	
Raumkonditionierung Beleuchtung	Tageslichtnutzung		Künstliche Beleuchtung	

Tabelle 2: Grundelemente der gebäude- und haustechnischen Klassen

4 Ermittlung des Energiebedarfs

4.1 Grundmodell

Als Basis für die Berechnungen der einzelnen Grundelemente sowie des gesamten Energiebedarfs wird ein Grundmodell für ein Logistikzentrum definiert, an dem anschließend mittels einer Sensitivitätsanalyse die verschiedenen, zuvor definierten Grundelemente untersucht werden.

Die energetischen Berechnungen für das Gebäude werden mit der Bilanzierungssoftware ZUB Helena Ultra [2] mittels einem Monatsbilanzverfahren durchgeführt. Das Gebäudemodell und die Bauteilkennwerte des Basismodells werden auf Grundlage der Forschungsprojekte "Gesamtanalyse Energieeffizienz von Hallengebäuden" [3], "Entwicklung einer Datenbank mit Modellgebäuden für energiebezogene Untersuchungen, insbesondere der Wirtschaftlichkeit" [4] sowie der EnEV 2009 [5] definiert.

Anforderung des Gutes	keine
Art der Nutzung	Lagerhaus
Zone 1	
Breite [m]	100,2
Tiefe [m]	100,2
Höhe [m]	14,3
Fläche [m ²]	10.000
Volumen [m ³]	140.000
Fensterfläche [m ²]	0
Fensterflächenanteil (bez. Grundfläche)	0%
Dachfenster [m ²]	198
Dachfensterflächenanteil (bez. auf Grundfläche)	2%

Tabelle 3: Gebäudeabmessungen

Zur Reduzierung der Komplexität werden die ersten Untersuchungen einfach gehalten, indem das Gebäude als 1-Zonen-Modell ohne Arbeits- und Sozialräume abgebildet wird. Das Grundmodell besitzt eine Netto-Nutzfläche von 10.000 m² und eine lichte Raumhöhe von 14 m. Die wichtigsten Parameter des Gebäudes und der Nutzungsbedingungen sind in den Tabellen 3 und 4 dargestellt

Tägliche Arbeitszeit	2-Schicht-Betrieb, 6 - 22 Uhr
Jährliche Nutzungstage [d/a]	252
Jährliche Nutzungsstunden Tag [h/a]	2.688
Jährliche Nutzungsstunden Nacht [h/a]	1344
Personenbelegung	10
Raum-Solltemperatur Heizung [°C]	17
Minimaltemp. Auslegung Heizung [°C]	17
Raumkonditionierung Temperatur	
Heizsystem: Dezentrale Warmlufterzeugung, Umluftheizung	
Energieträger	Erdgas
Raumkonditionierung Beleuchtung	
Künstliche Beleuchtung: Leuchtstofflampe mit EVG, keine Tageslichtsteuerung	
Beleuchtungsstärke [lx]	150
Raumkonditionierung Lüften	
Keine Lüftungsanlage	
Natürliche Infiltration	0,91/h bei 50 Pa

Tabelle 4: spezifische Parameter der Nutzung, Raumkonditionierung Temperatur, Lüftung und Beleuchtung

Das Grundmodell ist als ein manuelles Lagerhaus ohne besonderen Anforderungen an das Lagergut definiert. Der Materialfluss beschränkt sich auf Wareneingang, Lager und Warenausgang und ist in einer Zone zusammengefasst. Die Nutzungsrandbedingungen basieren auf der DIN V 18599-10 [6], diese werden aber durch Erkenntnisse der durchgeführten Besichtigungen sowie der Online-Umfrageergebnisse ergänzt bzw. abgewandelt.

Für die Berechnung des Energiebedarfs der intralogistischen Anlagen wurde im Gebäudemodell das Grundelement Flurförderzeug (FFZ) in drei Varianten hinterlegt. Die erste Variante stellt den Hochhubwagen für Transport und Lkw Heckbe- und entladung dar, die Zweite einen Kommissionierer und die Dritte einen Schubmaststapler zum Bedienen des Lagers. Bei der Beschreibung dieser Varianten wurden die Typenblätter für Flurförderzeuge nach VDI Richtlinie 2198 [7] verwendet. Für die Berechnung des gesamten Energiebedarfs ab Stromnetz wurden Herstellerangaben zum Energieverbrauch nach VDI-Zyklus [8] sowie Herstellerangaben zu Wirkungsgraden der Batterieladung [9] verwendet. Der Jahresenergiebedarf errechnet sich entsprechend mit den angesetzten jährlichen Nutzungsstunden im Grundmodell. Tabelle 6 zeigt die verwendeten spezifischen Parameter sowie den errechneten Gesamtenergiebedarf für einen Schubmaststapler.

Hierbei wurden leistungsbezogene Einflussgrößen auf den Energieverbrauch, wie Anzahl der Arbeitsspiele und der dabei zurückgelegte Fahr- und Hubweg mit als auch ohne Last sowie das eigentliche Lastgewicht vernachlässigt. Dieses vereinfachte Modell wurde aufgrund der vorhandenen Datenbasis zu Energiever-

FFZ	
Klasse: Fördern	
Art: Schubmaststapler (Jungheinrich ETV 318)	
Variante	Standard
Kenngrößen	
Tragfähigkeit [kg]	1.800
Eigengewicht inkl. Batterie [kg]	3.522
Max. Hubhöhe (1.000 kg) [m]	11.510
Batteriespannung [V/Ah]	48/620
Energiebedarf	
Energiebedarf ab Stromnetz [kWh/h]	5,9
Jahresenergiebedarf gesamt [kWh/a]	23.718
Energieoutput	
Energieverbrauch nach VDI-Zyklus [kWh/h]	4
Verluste Ladegerät und Batterie [kWh/h]	1,9
Einflussgrößen	
Betriebsstunden [h/a]	4.032
Ladetechnologie	HF
Wirkungsgrad Ladegerät und Batterie	68%

Tabelle 5: spezifische Parameter der eingesetzten Fördertechnik

brauchswerten und deren festgelegter Methode nach VDI 2198 gewählt. Der Energieverbrauch des FFZ als Output bildet sich somit aus dem Energieverbrauch inklusive der Verluste am Fahrzeug. Es werden nur die Verluste anhand des Ladegerätwirkungsgrades und des Batterieladewirkungsgrades bilanziert.

5 Parameterstudien Grundelemente

Um das Ziel der Gesamtenergieeffizienz und CO₂-Neutralität zu erreichen, werden im ersten Schritt die Grundelemente selbst optimiert. In der Klasse der Gebäudehülle wird beispielsweise das Grundelement "Transmissionswärmeverluste" untersucht, indem die Dämmstärken der Gebäudehülle variiert werden. In einem zweiten Schritt wird anschließend untersucht, ob die gewählten Maßnahmen wirtschaftlich umgesetzt werden können, ob diese Mehr- oder Minderkosten verursachen und welche Amortisationszeiten sich ergeben.

Parallel dazu werden immer die Wechselwirkungen der Grundelemente bei jeder Optimierungsmaßnahme betrachtet, falls es welche gibt. Energieeffizienzsteigerungen dürfen nicht zu Lasten der logistischen Leistung erzielt werden. Eine Optimierung des Gebäudes oder der intralogistischen Anlagen darf keine Durchsatzeinbußen verursachen.

Dennoch haben Anforderungen aus der Logistik zum Teil auch negative Auswirkungen auf das Gebäude. Beispielsweise wird bei der Layoutplanung immer ein geradliniger Materialfluss angestrebt, mit kurzen Strecken und einem verhältnismäßig kleinen Anteil an Kurven und Ein- / Ausschleusungen [10]. Denn zusätzliche Verzweigungen und Materialflussführungen verbrauchen mehr Energie. Fordert das Materialflusslayout einen nicht wie im Grundmodell definierten quadratischen Grundriss, sondern ein längliches, rechteckiges Gebäude, verschlechtert sich das A/V-Verhältnis (Verhältnis von Innenraumvolumen zu umgebender Hüllfläche) und der Primärenergiebedarf steigt im Vergleich zum Grundmodell allein durch die Änderung der Gebäudeform um ca. 5%.

Neben der Optimierung des Gebäudes folgt aufbauend eine Untersuchung der Anlagentechnik. Die Klassen Raumkonditionierung Temperatur, Luft und Licht werden einer Sensitivitätsanalyse unterzogen, indem z. B. die im Grundmodell verbaute Gas - Umluftheizung durch ein System ersetzt wird, das auf regenerativen Energien basiert und so den Primärenergiebedarf deutlich senkt.

Die einzelnen Grundelemente der Intralogistik werden ebenfalls zunächst für sich geschlossen energetisch optimiert. Nach einer Reduzierung des Energiebedarfs durch die Optimierung von Gebäude, Anlagentechnik und Intralogistik werden abschließend Wege aufge-

zeigt, den verbleibenden Energiebedarf in einem möglichst hohen Maße mit regenerativen Energien wie z. B. Photovoltaik bereitzustellen.

5.1 Optimierung am Beispiel von Fassadenfenstern

Das von den beiden Studien definierte Modellgebäude besitzt keine Fassadenfenster, allerdings ist es aus Gründen der Behaglichkeit (Sichtbezug nach Außen, Möglichkeit der Steuerung von natürlichen Luftwechsel) empfehlenswert, Fassadenöffnungen einzubauen. Die Auswirkungen auf den Energiebedarf unterschiedlicher Varianten wird deshalb wie folgt untersucht:

- Variante 1:
an allen vier Fassadenseiten werden jeweils 10 Fenster im Format 4 m auf 2,5 m verbaut, das entspricht einer Gesamtfensterfläche von 400 m² und 4% Fensterflächenanteil bezogen auf die Grundfläche
- Variante 2:
der Fensterflächenanteil wird auf 8% verdoppelt, es werden an allen vier Außenwänden jeweils 15 Fenster des Formats 4,5 m auf 3 m, was einer Gesamtfläche von 810 m² entspricht
- Variante 3:
diese Variante entspricht Variante 2, jedoch wird auf der Nordseite auf Fenster verzichtet, da hier der Vorteil des solaren Eintrags nicht gegeben ist.

Die Ergebnisse zeigen, dass alle untersuchten Varianten beim Primärenergiebedarf eng zusammenliegen, es gibt Unterschiede zwischen +2,3 % bei Variante 2 bis -1,1 % bei Variante 3. Stattet man Variante 3 zusätzlich mit einer Tageslichtsteuerung für die künstliche Beleuchtung aus, wird der Primärenergiebedarf um zusätzliche 2% gesenkt.

Einerseits trägt die solare Einstrahlung im Sommer wie im Winter dazu bei, die Räume zu erwärmen. Andererseits können bei unzureichendem Sonnenschutz besonders im Sommer hohe solare Lasten im Gebäude entstehen. Zudem haben Fenster konstruktionsbedingt einen schlechteren Wärmedurchgangskoeffizienten (U-Wert) und "verlieren" bei niedrigen Außentemperaturen mehr Wärme an die Umgebung als beispielsweise Wände.

5.2 Optimierung am Beispiel von Dachfenster

Die gleiche Vorgehensweise der Variantenbildung der Fassadenfenstern wird mit Dachoberlichtern durchgeführt.

Im Vergleich zum Grundmodell wird der Dachfensterflächenanteil bei jeder Variante verdoppelt. Besitzt das Grundmodell 2% Dachoberlichter (bezogen auf die Grundfläche), steigt der Anteil bei Variante 1 auf 4%, bei Variante 2 auf 8% und auf 16% bei Variante 3.

Lediglich bei Variante 1 kann ein minimaler Rückgang des Primärenergiebedarfs festgestellt werden. Bei Variante 2 und 3 kann die Einsparung von Kunstlicht dem Anteil der Transmissionswärmeverluste nicht entgegenwirken, der Energiebedarf steigt von ca. 2% (Variante 2) auf über 10% in Variante 3.

5.3 Optimierung am Beispiel der Dämmung

Die Qualität der Gebäudehülle hat einen starken Einfluss auf den Energiebedarf eines Gebäudes. In der Sensitivitätsanalyse werden deshalb die Auswirkungen verschiedener Dämmstärken auf den Energiebedarf untersucht. Die U-Werte des Grundmodells basieren auf den EnEV-Referenzwerte aus Anlage 2 Tabelle 2 "Raum-Solltemperaturen im Heizfall von 12 bis 19°C" und sind in Tabelle 5 dargestellt.

Variante 1 stellt die Referenzwerte der "Raum-Solltemperaturen im Heizfall >= 19°C" dar, in Variante 2 werden eigens definierte, sehr gute U-Werte zur Berechnung herangezogen.

Eine Ausnahme bildet beim Grundmodell und bei Variante 1 die Bodenplatte, die mit einem U-Wert von 3,5 W/m²K die EnEV-Mindestanforderungen nicht erfüllt. Eine vollflächige Dämmung unter der Bodenplatte wird in der Praxis jedoch zumeist nicht umgesetzt, da diese Maßnahme in der Regel nicht wirtschaftlich darstellbar ist, andererseits die Tragfähigkeit der Bodenplatte beeinträchtigt wird [3]. Üblicherweise wird deshalb eine Randdämmung von ca. 5 Metern Breite verbaut, so auch beim Grundmodell und Variante 1. Bei Variante 2 hat die Bodenplatte durchgehend den sehr guten U-Wert von 0,17 W/m²K.

Die Ergebnisse zeigen, dass bei einer Verbesserung der Dämmung wie in Variante 1 der Primärenergiebedarf um ca. 15 % reduziert werden kann. Eine weitere Erhöhung des Dämmstandards wie in Variante 2 reduziert den Primärenergiebedarf lediglich um weitere 1,5 %.

	U-Werte Grundmodell [W/m ² K]	U-Werte Variante 1 [W/m ² K]	U-Werte Variante 2 [W/m ² K]
Außenwand	0,35	0,24	0,19
(Randdämmung) Bodenplatte	0,35	0,3	0,17
Dach	0,35	0,2	0,2
Lichtkuppeln	2,7	2,7	1,3
Fenster	1,9	1,3	0,7
Außentüren / Tore	2,9	1,8	1,8

Tabelle 5: Variantenbildung verschiedener Dämmstärken

5.4 Optimierung am Beispiel Flurförderzeug

Bei der Variantenbildung des FZZ wird zuerst die Auswirkung auf den Jahresenergiebedarf durch den Einsatz einer anderer Batterieladetechnologie untersucht. Wird anstatt der Standard Hochfrequenztechnik (HF-Technik) energieeffiziente HF-Technik mit Ri-Ladeprozess eingesetzt, erhöht sich der Gesamte Wirkungsgrad der Batteriebeladung auf 84% [9]. Das entspricht einem Jahresenergiebedarf des Schubmaststaplers der Variante 1 von 19.200 kWh/a, bzw. einer Senkung des jährlichen Energiebedarfs um ca. 19%.

Weiterhin sollen die analysierten Wechselwirkungen der Varianten des Grundelementes FFZ mit dem Gebäude und der Haustechnik quantifiziert werden. Denn wenn eine Batterie zum Laden aus dem FFZ ausgebaut wird, ist eine Batterieladestation, also ein eigener Raum, zum Beladen vorzusehen. Dieses hat neben der Gebäudekonstruktion auch Auswirkungen auf das Lüftungssystem, weil Batterieladestationen zum Schutz vor Explosionen, durch mögliche Entstehung von Knallgas während der Ladung, ausreichend be- und entlüftet werden müssen [11].

6 Ausblick

Das bestehende Grundmodell wird erweitert, um mittels weiterer Parameterstudien Wechselwirkungen zu analysieren. Dazu wird der Automatisierungsgrad des Grundmodells sukzessive erhöht, um weitere intralogistische Grundelemente in Zusammenhang mit dem Gebäude zu untersuchen. Das Ziel des Forschungsprojektes ist, auf Basis der gewonnenen Erkenntnisse ganzheitliche Handlungsempfehlungen zur Konzeption von energieeffizienten und CO₂-neutralen Logistikzentren bereitzustellen. Ein zu entwickelndes Planungstool soll Planer in der Grobplanung unterstützen, ein energetisches Optimum zwischen eingesetzten intralogistischen Anlagen, energieeffizienter Bauweise, Haustechnik und regenerativer Energiebereitstellung zu erreichen.

7 Danksagung

Das IGF-Vorhaben 398 ZN der Forschungsvereinigung Intralogistik / Fördertechnik und Logistiksysteme e.V. (FG IFL) wird über die AiF im Rahmen des Programms zur Förderung der Industriellen Gemeinschaftsforschung und -entwicklung (IGF) vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert.

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

8 Literatur

- [1] Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung - Info Portal Energieeinsparung: <http://www.bbsr-energieeinsparung.de/EnEVPortal/DE/Europa/Gesamtenergieeffizienz/energieeffizienz>, Aufruf am 21.04.2013
- [2] ZUB Helena 2012 Ultra v6.18; Zentrum für umweltbewusstes Bauen e.V.
- [3] Rosenkranz, J. et al: Gesamtanalyse Energieeffizienz von Hallengebäuden. ITG Institut für Technische Gebäudeausrüstung Dresden Forschung und Anwendung GmbH; Universität Kassel Fachgebiet Bauphysik, Dresden, 2011
- [4] Klauß, M.; Maas, T.: Entwicklung einer Datenbank mit Modellgebäuden für energiebezogene Untersuchungen, insbesondere der Wirtschaftlichkeit, Zentrum für für umweltbewusstes Bauen e.V., Kassel, 2010
- [5] Bundesregierung: Energieeinsparverordnung (EnEV), 29. April 2009
- [6] DIN V 18599 Teil 10: Energetische Bewertung von Gebäuden - Berechnung des Nutz-, End- und Primärenergiebedarfs für Heizung, Kühlung, Lüftung, Trinkwarmwasser und Beleuchtung, Tabelle A.43 - Nutzung Lagerhallen, Logistikhallen. Stand: Februar 2007
- [7] VDI Richtlinie 2198: Typenblätter für Flurförderzeuge, VDI Gesellschaft für Produktion und Logistik, Beuth, Berlin: 2012
- [8] Jungheinrich AG: Technisches Datenblatt ETV 318 Elektro-Schubmaststapler, http://www.jungheinrich.de/uploads/jh_importer/ciflang.dv.intranet.jungheinrich.com_test.php_rest_v1.0_assets_product_5757, Download am 21.04.2013
- [9] o. V.: Ladesystem spart Strom und CO₂ ein. In: Materialfluss, 4/2013
- [10] Dullinger, K.-H.: Modernisierung der Logistik zur Steigerung der Energieeffizienz. In: Zadek, H., Schulz, R. (Hrsg.): Sustainable Logistics : Nachhaltigkeit von Logistikzentren durch Emissionsbewertung, Ressourcenschonung und Energieeffizienz. DVV Media Group, Dt. Verkehrs-Verl, Hamburg: 2011
- [11] Berufsgenossenschaft Handel und Warendistribution (BGHW): Einsatz von Flurförderzeugen - Batterieladestationen für Flurförderzeuge: http://medien-e.bghw.de/bge/pdf/sp_02.pdf, Stand: 2010, Download 16.12.2012