

Ökologische Logistikgebäude

Ein Leitfaden für ein umweltorientiertes Lager - von der Planung bis zum Bau

Ronja Ege, Maximilian Kornmann, Clemens Stöver und Dieter Uckelmann, Hochschule für Technik Stuttgart

Wie selbstverständlich sind viele Flächen neben unseren Autobahnen mit Logistikgebäuden besiedelt; doch in der ökologischen Diskussion tauchen häufig "nur" die LKWs auf der Straße auf. So ist die Transportlogistik mit rund 87 % der durch Logistik global freigesetzten Treibhausgasemissionen der Hauptverursacher. Doch auch die 13 %, die auf Logistikimmobilien entfallen, und etwa den jährlichen Emissionen Polens [1] entsprechen, bieten reichlich Verbesserungspotenzial [2]. Auf Basis einer umfangreichen Literaturrecherche, liefert der folgende Beitrag einen Einblick in den aktuellen Stand der Wissenschaft zum Thema ökologische Logistikgebäude.

Ausgehend von der Einordnung in die Supply-Chain-Strategie über Aspekte der grünen Standortplanung, werden Möglichkeiten für vor, während und nach dem Bau dargestellt, um die ökologischen Auswirkungen zu minimieren (Bild 1).

Geht es um Konzepte zur Minimierung der Umweltauswirkungen in der Logistik, beginnen viele Veröffentlichungen zu grünen Lagern (z. B. [3, 4]) sinngemäß mit dem Verweis auf die Unterrepräsentiertheit des Themas im Vergleich zur Transportlogistik. Dabei sind Logistikimmobilien oftmals einer der langlebigsten Vermögenswerte einer Unternehmung: Werden die richtigen Weichenstellungen bei der Lagerkonzipierung vorgenommen, können wertvolle Ressourcen im Laufe des Lagerlebenszyklus gespart werden. So bestimmt schon die gewählte Bauweise, wie hoch der Energieverbrauch während des Betriebs für Beleuchtung, Heizung und Klimatisierung sowie Fördertechnik sein wird. Neben den global wirkenden Treibhausgasemissionen (THG-Emissionen) gibt es zudem eine Reihe weiterer, lokaler Umwel-

bilien oftmals einer der langlebigsten Vermögenswerte einer Unternehmung: Werden die richtigen Weichenstellungen bei der Lagerkonzipierung vorgenommen, können wertvolle Ressourcen im Laufe des Lagerlebenszyklus gespart werden. So bestimmt schon die gewählte Bauweise, wie hoch der Energieverbrauch während des Betriebs für Beleuchtung, Heizung und Klimatisierung sowie Fördertechnik sein wird. Neben den global wirkenden Treibhausgasemissionen (THG-Emissionen) gibt es zudem eine Reihe weiterer, lokaler Umwel-

Green Warehouses - A Guideline From Planning to Construction

As transportation is accountable for around 87 % of total logistics emissions globally, scientific focus in the past laid on the moving elements of the supply chain and not the stop points in between, namely the warehouses. However, responsible for 13 % of emissions, logistics real estate should not be neglected. Thus, based on an extensive literature research, the article summarizes the current state of science in green logistics buildings. By discussing certain aspects of supply chain strategy development, location planning and warehouse construction, possibilities aiming to minimize the ecological lifecycle footprint are elaborated.

Keywords:

warehouse, lifecycle footprint, emissions, logistics real estates

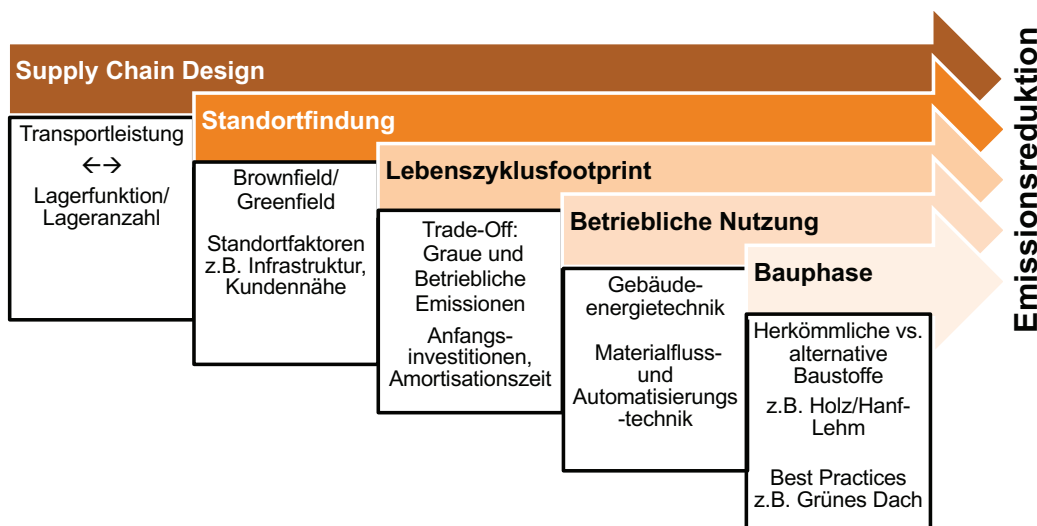


Bild 1: Aufbau und Kernthemen des Beitrags.

Ronja Ege, Maximilian Kornmann und Clemens Stöver studieren im Masterstudiengang „Umweltorientierte Logistik“ an der Hochschule für Technik in Stuttgart.

Prof. Dr. Ing. Dieter Uckelmann ist Studiendekan des Bachelorstudiengangs Informationslogistik an der Hochschule für Technik in Stuttgart.

dieter.uckelmann@hft-stuttgart.de
www.hft-stuttgart.de

tauswirkungen, für die ein Logistikgebäude verantwortlich ist: Die Flächennutzung verdrängt Natur und Tierwelt; Regenwasser muss aufgefangen und abgeleitet werden; und auch die visuelle Einschränkung durch die Fassade kann als Emission betrachtet werden [3, 5].

Als ökologische Logistikgebäude werden im Folgenden solche Logistikimmobilien betrachtet, die durch das Design und sonstige bauliche Maßnahmen die möglichst energieeffiziente Ausführung der – im und unmittelbar vor dem Gebäude stattfindenden – logistischen Prozesse (Lagerung, Umschlag, VAS) ermöglichen. Ziel ist dabei, über den Lebenszyklus der Immobilie die Auswirkungen auf das Klima und die Umwelt zu minimieren.

Supply Chain Design

In einer ganzheitlichen Supply-Chain-Sicht können ökologische Logistikgebäude nicht losgelöst von der Transportlogistik betrachtet werden. Denn den größten Einfluss auf die Emissionen einer Supply Chain stellt die Reduzierung der Transportleistung und der Modal Share, also die Wahl der Transportmittel dar. Betrachtet man exemplarisch die Distributionsseite einer Supply Chain, so besteht ein Trade-off zwischen der Anzahl an Lägern und der entstehenden Transportleistung [5]. Mehr Läger bedeuten, dass lange, im Schnitt schlechter ausgelastete Kundendirektbelieferungen vom Zentrallager durch effizientere Transporte zu den einzelnen Lägern weitgehend ersetzt werden können. Die Transportkilometer der Kundenbelieferungen von den Regionallägern aus können dann durch die geografische Nähe zu den Kunden minimiert werden. Eine Dezentralisierung der Lagerhaltung hätte demnach einen ökologischen Vorteil bezüglich der THG-Emissionen. Doch es besteht auch die Möglichkeit, den Nachteil einer Bestandszentralisierung - den Anstieg der Tonnenkilometer – anderweitig zu kompensieren: beispielsweise durch Sendungsbündelung, Verlagerung auf Schiene und Schiff und eine Reduzierung von Notfalllieferungen [6]. Je nach Produkten, Beschaffungs- und Fertigungsstrategie sowie Kundenstruktur können demnach unterschiedliche Supply Chain Designs die ökologischen Auswirkungen am effektivsten reduzieren. Hierfür muss zunächst die Funktion eines Lagers – konventionelles Warenlager, Distributionslager oder Umschlagslager – sowie die Gebäudeart – Flach-, Etagen- oder Hochregallager – definiert werden [7]. Wurde eine Supply-Chain-Strategie erarbeitet (z. B. orientiert an einer mehrdimensionalen Optimierungslösung von Kosten und Ökologie

[6]) und die Anzahl und Funktion der benötigten Läger definiert, kann auf die Mikroebene gewechselt und für jedes Lager der optimale Standort nach ökologischen Gesichtspunkten gesucht werden.

Standortfindung und -erschließung

Die Bundesregierung setzt sich in ihrer Nachhaltigkeitsstrategie das Ziel, die neu versiegelte Verkehrs- und Siedlungsfläche von 62 (2013-2016) auf unter 30 ha pro Tag bis 2030 zu reduzieren [8]. Zu den Vorreitern zählt das Rhein- und Ruhrgebiet: Durch die Folgenutzung ehemaliger Bergbau- und Schwerindustrieflächen liegt der Brownfield-Anteil bei rund 80 % (2010 bis 2014) – deutschlandweit jedoch nur bei 20 % [9]. Brownfield bezeichnet dabei eine Brachfläche, die – im Gegensatz zu einem Greenfield-Ansatz – keine Flächenneuersiegelung bedeutet.

Einen der wichtigsten Standortfaktoren für grüne Logistikimmobilien stellt die vorhandene Infrastruktur dar. Eine Anbindung an multimodale Verkehrsträger mit Nähe zu Ballungszentren sowie Drehkreuzen sollte für einen klimafreundlichen Transport vorhanden sein, um einem Flächenverbrauch durch Aus- oder Neubau entgegenzuwirken [10]. Als weiterer entscheidender Faktor gilt eine nachhaltige Versorgung mit Wasser, Strom und Wärme durch die Nutzung erneuerbarer Energien, welche nachfolgend noch thematisiert wird. Entlang der Wertschöpfungskette sollte auch die Nähe zu Rohstoffen, Lieferanten und den Kunden als Einflussfaktor Beachtung finden, um die Transportleistung aller ein- und ausgehenden Materialströme zu minimieren.

Neben den dargestellten Standortfaktoren mit ökologischem Bezug, gilt es auch, die sonstigen Standortfaktoren wie Personalverfügbarkeit oder politische Vorschriften zu berücksichtigen. Ist der Standort gefunden, kann auf der nächsten Mikroebene die Planung des physischen Lagergebäudes beleuchtet werden.

Prinzip des Lebenszyklusfootprints

Im Sinne einer optimalen Ressourcenauslastung ist es in erster Linie sinnvoll, wenn möglich, Bestandsimmobilien zu nutzen. Maßnahmen wie eine energiesparsamere Beleuchtung können Verbesserungen erzielen, doch ist der Handlungsspielraum für technische Nachbesserungen – auch aus ökonomischen Gründen – begrenzt. Eine gut durchdachte Planungsphase eines Logistikgebäudes kann dabei helfen, Nachbesserungen zu vermeiden und die Le-

benszyklusemissionen des Gebäudes zu minimieren. Der Lebenszyklus-Ansatz bezieht sich dabei insbesondere auf die THG-Emissionen, bei denen man zwischen zwei Arten unterscheidet: den 'verkörperten' oder grauen Emissionen, die durch den Bau, die Instandhaltung und den Abriss des Gebäudes entstehen; sowie den betrieblich-bedingten Emissionen, die durch die logistischen Aktivitäten in und um das Lager verursacht werden [11]. Diese Unterscheidung hilft einen CO₂-Lebenszyklusfootprint zu ermitteln und zu minimieren [11, 12]. Hierfür ist es notwendig, bereits während der Planungsphase die künftigen, betrieblich bedingten Emissionen zu prognostizieren [12]. Diese setzen sich aus den Faktoren Energieintensität der Prozesse und der antizipierten Nutzungsdauer des Gebäudes bis zum Abriss zusammen. Mit den grauen Emissionen ergibt sich ein Verhältnis aus den Emissionsarten, das je nach Bauweise (Baumaterialien, Dämmung etc.) und Funktionsweise (nötiges Raumtemperaturniveau, Automatisierungsgrad etc.) unterschiedlich ausfallen kann. Die Emissionen in der Bauphase stehen dabei mit den betrieblichen Emissionen in einem Trade-off. So erhöhen sich beispielsweise durch eine stärkere Dämmung die Emissionen während des Baus, doch können diese über Einsparungen beim Heizen im täglichen Betrieb über die Nutzungsdauer wieder eingespart werden [5].

Somit funktioniert dieser Trade-off über die Betrachtung der Energieverbräuche in den beiden Phasen. Da Einsparungen beim Energieverbrauch in der Regel bedeuten, dass auch weniger Kosten für die Energiebereitstellung entstehen, kann analog zum Emissions-Trade-off auch eine ökonomische Betrachtung erfolgen. So kann die Annahme getroffen werden, höhere Investitionskosten während der Bauphase durch Energieeinsparungen im Betrieb über die Nutzungsdauer der Immobilie zu amortisieren. Unternehmerische Anforderungen an eine kurze Amortisationsdauer und geringe Investitionskosten können dies behindern. Einen CO₂-Lebenszyklusfootprint in der Planung zu berücksichtigen ergänzt somit einen Total-cost-of-ownership-Ansatz [13] und könnte so die Akzeptanz schaffen, dass eine Minimierung der Gesamtemissionen auch zur Minimierung der Gesamtkosten beiträgt.

Um die Lebensdauer einer Logistikimmobilie auszuschöpfen, sollte bereits bei der Planung auf eine einfache Erweiterbarkeit, flexible Teilbarkeit, gute Modifizierbarkeit sowie hohe Drittverwendbarkeit (d. h. für einen Nutzerwechsel geeignet) geachtet werden [7, 10, 13]. Darüber hinaus kann bei der Lagerplanung die

Rückführung und Wiederverwertung der Baustoffe berücksichtigt werden, um später einen umweltverträglichen Abriss zu ermöglichen [13].

Energetische Überlegungen für betriebliche Nutzung

Seit 2016 setzt die Energiesparverordnung für Neubauten einen um 25 % verminderten Höchstwert für den Primärenergiebedarf sowie einen um 20 % reduzierten Wärmeverlust-Grenzwert fest [14]. Bild 2 zeigt die Möglichkeiten einer energetisch effizienten Nutzung zur Minimierung der betrieblichen Emissionen durch die zwei Kategorien Gebäudeenergie-technik und Materialfluss- und Automatisierungstechnik. Dabei ist zu betonen, dass die Anteile der jeweiligen Elemente am Energieverbrauch je nach Automatisierungsgrad, Lagergröße und Personalintensität stark variieren [4]. So stellt die Heizung bei wenig automatisierten Lagern häufig den mit Abstand größten Energiekonsumenten dar [15], während diese Rolle in vollautomatischen Hochregallagern von der Lager- und Fördertechnik eingenommen wird [16]. Dem höheren Energieverbrauch durch Automatisierungstechnik steht ein hoher Raumnutzungsgrad durch enge Gänge und hohe Regale gegenüber, der das zu temperierende Volumen verringert und somit wiederum viel Energie spart [13].

Die aufgeführten Maßnahmen zeigen, dass mit relativ einfach zu installierenden Lösungen wie beispielsweise Schnelllauftoren oder LED-Lampen (s. o.) bereits die Energieeffizienz sowie der damit verbundene Energieverbrauch deutlich verbessert werden können. Ein unerlässliches Mittel ist dabei die Sensibilisierung der Mitarbeiter, denn diese stellen sicher, dass Maschinen und Lampen nur zu den benötigten Zeiten in Betrieb sind [15]. In diesem Zusammenhang ist der Gebrauch von erneuerbaren Energien nochmals zu erwähnen, da auch ein geringer Energieverbrauch bei dem aktuellen deutschen Strommix immer noch zu rund 64 % auf fossilen Energieträgern basiert [19]. Unternehmen sollten daher die Möglichkeiten nutzen, ihren eigenen Strombedarf weitestgehend THG-neutral mit Photovoltaikanlagen, Biogasanlagen oder Geothermie zu decken. So hat das VW-Werk in Emden zwölf Windkraftanlagen und einen 40 ha großen Energiewald für die Wärmegewinnung aus Biomasse [13].

Baustoffe und Anwendungsbeispiele

Die Bauphase, die verwendeten Baustoffe und die entstehenden grauen Emissionen stellen

Literatur

- [1] European Environment Agency: EEA greenhouse gas – data viewer. URL: www.eea.europa.eu/data-and-maps/data/data-viewers/greenhouse-gases-viewer, Abrufdatum: 22.05.2019
- [2] World Economic Forum: Supply Chain Decarbonization – the role of logistics and transport in reducing supply chain carbon emissions. URL: www3.weforum.org/docs/WEF_LT_SupplyChainDecarbonization_Report_2009.pdf, Abrufdatum 22.05.2019.
- [3] Baker, P.; Marchant, C.: Reducing the environmental impact of warehousing. In: McKinnon, A., Browne, M., Piecyk, M., Whiteing, A. (Hrsg): Green Logistics – Improving the environmental sustainability of logistics, 3. Auflage. London 2015.
- [4] Fichtinger, J., Ries, J. M., Grosse, E. H., Baker, P.: Assessing the environmental impact of integrated inventory and warehouse management. In: International Journal of Production Economics 170 (2015), S. 717-729.
- [5] Taurims A.: Sustainable warehousing. In: Grant, D.; Trautrim, A.; Wong, C.: Sustainable Logistics and Supply Chain Management: Principles and Practices for Sustainable Operations and Management, 1. Auflage, London 2013.
- [6] Harris, I.; Sanchez-Rodrigues, V.; Naim, M.; Mumford, C.: Restructuring road freight networks within supply chains. In: McKinnon, A., Browne, M., Piecyk, M., Whiteing, A. (Hrsg): Green Logistics – Improving the environmental sustainability of logistics, 3. Auflage. London 2015.
- [7] Dippold, R.: Bewertung von Lager- und Logistikimmobilien. In: Bienert, S., Wagner, K.: Bewertung von Spezialimmobilien, 2. Auflage. Wiesbaden 2018.
- [8] Umweltbundesamt: Siedlungs- und Verkehrsfläche. URL: www.umweltbundesamt.de/daten/flaechen-boden-land-oekosysteme/flaechen-siedlungs-verkehrsflaechen/text-part-2, Abrufdatum 12.05.19.

[9] Bulwiengesa AG: Logistik und Immobilien 2015. URL: https://bulwiengesa.de/sites/default/files/logistik_und_immobilien_2015_de.pdf, Abrufdatum 16.04.19.

[10] Gregori, G.: Grünbuch der nachhaltigen Logistik - Handbuch für die ressourcenschonende Gestaltung logistischer Prozesse. Wien 2011.

[11] Royal Institute of Chartered Surveyors (2010): Redefining Zero; Carbon profiling as a solution to whole life carbon emission measurement in buildings. URL: <http://sturgiscarbonprofiling.com/wp-content/uploads/2010/05/RICS.RedefiningZero.pdf>, Abrufdatum 15.04.2019.

[12] Rai, D.; Sodagar, B.; Fieldson, R.; Hu, X.: Assessment of CO₂ emissions reduction in a distribution warehouse. In: Energy, 36 (2011) 4, S. 2271-2277.

[13] Lochmahr, A.; Boppert, J.: Handbuch der Logistik - Hintergründe und Handlungsempfehlungen. München 2014.

[14] Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg: Energieeinsparverordnung. URL: <https://um.baden-wuerttemberg.de/de/energie/neubau-und-gebaeudesanierung/energieeinsparverordnung/>, Abrufdatum 17.05.2019.

[15] Lohre, D.; Bernecker, T.; Gotthardt, R. (IHK Stuttgart): Praxisleitfaden zur IHK-Studie Grüne Logistik. Stuttgart 2011.

[16] Haut, M.: Nachhaltiges Lagermanagement, In: Deckert, C.: CSR und Logistik - Spannungsfelder Green Logistics und City-Logistik, 1. Auflage. Heidelberg 2016.

[17] Köhler, M.; Schmidt, M.; Grimme, F. W.; Laar, M.; de Assunção Paiva, V. L.; Tavares, S.: Green roofs in temperate climates and in the hot-humid tropics - far beyond the aesthetics. In: Environmental Management and Health 13 (2002) 4, S.382-391.

[18] Vohlidka, P.; Freis, J.: Das CO₂ neutrale Logistikzentrum. In: xia Intelligente Architektur, Ausgabe 88 (2014), S. 22-25.

[19] Bundesministerium für Wirtschaft und Energie: Erneuerbare Energien. URL: www.bmwi.de/Redaktion/DE/Dossier/erneuerbare-energien.html, Abrufdatum 17.05.2019.

[20] Royal Institute of Chartered Surveyors (2012): Methodology to calculate embodied carbon of materials. URL: www.igbc.ie/wp-content/uploads/2015/02/RICS-Methodology_embodied_carbon_materials_final-1st-edition.pdf, Abrufdatum 15.04.2019.

Gebäudetechnik [13,15,16,17]	Materialfluss- & Automatisierungstechnik [13,15,18]
<p>Heizung/Kühlung</p> <ul style="list-style-type: none"> - Dachbegrünung: Natürliche Kühlung & Isolation durch Pflanzen/ Verdunstung - Gebäudedämmung (Wirkung: 2 cm Dämmstoff \approx 105 cm Beton) - Wärmeschutzverglasung - Schnellaufotore bzw. abgetrennte Rampenbereiche - Bereichsspezifische Strahlungsheizung: Effizienz höher durch Erhitzung der Gegenstände statt Luft - Gleichmäßige Wärmeverteilung durch Ventilatoren - -1°C Temp. \approx -6% der Heizkosten [13] <p>Beleuchtung</p> <ul style="list-style-type: none"> - Beste Ausnutzung des Tageslichts: Fensteranordnung optimieren (nach Norden), Oberlichter - LED-Lampen: bis zu 25% Stromeinsparung [13] - Reinigung der Lampen für eine gute Lichtstärke, verschiedene Lichtzonen <p>Wasser</p> <ul style="list-style-type: none"> - Wiederaufbereitung bzw. Regenwasser nutzen z.B. Verdunstungskühlung für Büros - Wasserdurchfluss regulieren 	<p>Energieeffiziente Antriebssysteme</p> <ul style="list-style-type: none"> - Wirkungsgrade beachten z.B. von Elektromotoren - Regelmäßige Wartung z.B. von Heizungsanlagen <p>Energierückspeisung</p> <ul style="list-style-type: none"> - Abwärme von Maschinen via Wärmetauscher zum Heizen nutzen - Verlustwärme von z.B. Bremsvorgängen für Wassererhitzung nutzen <p>Intelligente Steuerungskonzepte</p> <ul style="list-style-type: none"> - Lichtsteuerung durch Bewegungssensoren z.B. in Kommissioniergassen, automatisierten Bereichen - Warehouse-Management-System zur Anlagensteuerung: Stilllegung auf Zeit oder Anpassung der Geschwindigkeit/Nutzlast - Energieeffiziente Bahnen von Regalbediengeräten: dynamische Anpassung der Geschwindigkeit an erforderlichen Durchsatz je h = Energieeinsparung bis zu 37 % [18]

Bild 2: Möglichkeiten zur Senkung der betrieblichen Emissionen.

weitere Bereiche für ökologische Überlegungen dar. Diese ergeben sich aus dem Bauprozess selbst und den Emissionen, die durch die Verwendung der Baustoffe entstehen [5]. Für die Nutzbarmachung eines Baustoffs entstehen bei dessen Produktions- und Verarbeitungsprozessen jedoch deutlich mehr graue Emissionen als während der Bauphase selbst [20].

Bei der Wahl des Baustoffs müssen vor allem seine grauen Emissionen berücksichtigt werden. Die zu erwartende Nutzungsdauer einer Logistikimmobilie beträgt nach Dippold maximal 40 Jahre [7]. Mit über 40 Jahren potenzieller Nutzungsdauer der betrachteten Materialien ist dieser Aspekt zweitrangig [11].

Aufgrund der hohen Energieintensität in der Herstellung bringen die herkömmlichen Baustoffe Beton und Aluminium sehr hohe graue Emissionen mit sich [11]. Bei alternativen Baustoffen wie Holz oder Hanf-Lehm wird während des Pflanzenwachstums CO₂ gebunden. Durch diesen Kohlenstoffbindungseffekt können die bei der Erschließung und beim Bau entstehenden Emissionen teils ausgeglichen, teils sogar

überkompensiert werden (d. h. es wird mehr CO₂ gebunden als in der Bauphase freigesetzt) [12].

So hat bspw. die Firma Alnatura ein komplettes Hochregallager auf Holzbasis gebaut [3]. Durch gute Isolierung und ein Absenken des Lagers um 2,5 m wurde zudem erreicht, dass keine künstliche Klimatisierung benötigt wird [3]. Ähnliches hat sich die englische Brauerei Adnams zu Nutze gemacht: Durch das Errichten ihres Lagers in einer Senke, die Verwendung einer Hanf-Lehm-Konstruktion sowie eines grünen Dachs ist keine künstliche Temperaturregulierung nötig [3]. Ein grünes Dach erhöht durch die Bepflanzung die thermische Masse der Gebäudehülle und verbessert so die Isolierung (Bild 2). Zusammen mit der entstehenden Verdunstungskälte im Sommer, kann so die natürliche Erhaltung der Temperatur im Gebäudeinneren unterstützt werden [17]. Darüber hinaus ersetzt die Bepflanzung die beim Bau zerstörte Flora – zumindest teilweise.

Der Trend zu höherer Automatisierung der Intralogistik führt dazu, dass der Mehrbedarf durch das öffentliche Stromnetz gedeckt werden muss. Dies unterstreicht, dass eine schnelle und erfolgreiche Energiewende auch für ökologische Logistikgebäude zentral ist. Die Ausführungen zeigen zudem, dass Unternehmen, die den Bau einer grünen Logistikimmobilie erwägen, eine langfristige Betrachtungsweise bei der Amortisationszeit ansetzen sollten, um die optimale Energieeffizienz für ihr Unternehmen zu erzielen.

Schlüsselwörter: Lebenszyklusfootprint, Lager, Logistikimmobilie, Emissionen