



# Energie und Energieeffizienz im Überblick

Leitfaden für Logistikbetriebe



# Energie und Energieeffizienz im Überblick

Leitfaden für Logistikbetriebe

**Herausgeber** Industrie- und Handelskammer  
Region Stuttgart  
Jägerstraße 30, 70174 Stuttgart  
Postfach 10 24 44, 70020 Stuttgart  
Telefon 0711 2005-0  
Telefax 0711 2005-1354  
www.stuttgart.ihk.de  
info@stuttgart.ihk.de

**Konzeption** Abteilung Industrie und Verkehr

**Autoren** Prof. Dr. Dirk Lohre  
Viktoria Poerschke, M.A.  
Forlogic  
Steinbeis-Beratungszentrum Forwarding  
and Logistics Center  
Frankfurt am Main

**Redaktion** Götz Bopp  
Tobias Knayer  
Steffen Koci  
Jörg Schneider  
Eckhard Zimmermann

**Satz und Druck** Druckerei W. Kohlhammer GmbH + Co. KG

**Projektmanagement Print** Sybille Wolff, IHK Region Stuttgart

**Titelbild** getty images

**Stand** Februar 2019

**© 2019** Industrie- und Handelskammer  
Region Stuttgart  
Alle Rechte vorbehalten.  
Nachdruck oder Vervielfältigung auf  
Papier und elektronischen Datenträgern  
sowie Einspeisungen in Datennetze nur  
mit Genehmigung des Herausgebers.  
Alle Angaben wurden mit größter Sorgfalt  
erarbeitet und zusammengestellt. Für die  
Richtigkeit und Vollständigkeit des Inhalts  
sowie für zwischenzeitliche Änderungen  
übernimmt die Industrie- und Handels-  
kammer Region Stuttgart keine Gewähr.

<b>Vorwort</b>	5
<b>1. Management Summary</b>	6
<b>2. Energie und Energieeffizienz im Überblick</b>	9
2.1 Grundlagenwissen zu Energie und Energieeffizienz	9
2.1.1 Was ist das Ziel dieses Leitfadens?	9
2.1.2 Logistikbranche	9
2.1.3 Was bedeutet überhaupt Energieeffizienz?	9
2.1.4 Spezifischer Energieverbrauch und Gesamtenergieverbrauch	11
2.1.5 Wie misst und vergleicht man Energieverbräuche?	14
2.1.6 Energieträgerarten und ihre Bedeutung	15
2.2 Politisch-rechtliche Rahmenbedingungen	18
2.2.1 Klimaziele	18
2.2.2 Einige wichtige gesetzliche Auflagen und steuerliche Entlastungsmöglichkeiten	20
<b>3. Potenziale zur Steigerung der Energieeffizienz in Gebäuden</b>	22
3.1 Effizienzmaßnahmen – Grundsätzliche Herangehensweise	22
3.2 Effizienzmaßnahmen lohnen sich	24
3.3 Ausgangssituation in Logistikunternehmen	25
3.4 Managementsystem und organisatorische Maßnahmen	27
3.4.1 Die Zeiten ändern sich	28
3.4.2 Gebäudeautomation	29
3.5 Gebäudehülle	29
3.5.1 Energetische Grundlagen	29
3.5.2 Bestandsgebäude	30
3.5.3 Neubauten	31
3.6 Beleuchtung	31
3.6.1 Energetische Grundlagen und Marktsituation	31
3.6.2 Bestandsgebäude	32
3.6.3 Beleuchtungsanforderungen für Arbeitsbereiche, Arbeitsplätze	33
3.7 Heizung	33
3.7.1 Energetische Grundlagen	33
3.7.2 Hallenheizsysteme – Vor und Nachteile	34
3.7.3 Bestandsgebäude	35
3.8 Klimatisierung und Kältetechnik	37
3.8.1 Energetische Grundlagen	37
3.8.2 Bestandsgebäude	37
3.9 Druckluft	38
3.9.1 Energetische Grundlagen	38
3.9.2 Bestandsgebäude	38
3.10 Mitarbeitersensibilisierung	40
3.11 Energieeigenerzeugung	41
3.12 Contracting	42

<b>4. Potenziale zur Steigerung der Energieeffizienz im Lager</b>	43
4.1 Ausgangssituation	43
4.2 Flurförderzeuge	44
4.2.1 Energieeffiziente Stapler und alternative Antriebe	44
4.2.2 Routenzüge	46
4.3 Lagertechnik	46
4.4 Informations- und Kommunikationstechnologie und restliche Verbraucher	48
<b>5. Potenziale zur Steigerung der Energieeffizienz im Fuhrpark</b>	51
5.1 Alternative Antriebstechnologien und ihre Effizienzabstufungen	51
5.1.1 Aktueller Stand	51
5.1.2 Elektroantriebe	53
5.1.3 Hybridantriebe	57
5.1.4 Alternative Kraftstoffe	57
5.2 Vergleich der alternativen Antriebe und Kraftstoffarten	59
5.3 Lang-LKW	61
5.4 Mitarbeitersensibilisierung	63
<b>6. Transport und Verkehrsverlagerung</b>	65
6.1 Verkehrsträger und politische Handlungsstrategien im Überblick	65
6.2 Effizienzgewinne durch Verkehrsverlagerung und alternative Logistikkonzepte	66
6.2.1 Ausgangssituation	66
6.2.2 Aktuelle Projekte in der Region Stuttgart	67
6.2.3 Ein Blick über den Tellerrand – Projekte aus anderen Städten	68
6.2.3.1 Einsatz alternativer Antriebe und Logistikkonzepte	69
6.2.3.2 Ansätze zur Vermeidung vergeblicher Zustellversuche	70
<b>7. Anlage: Energiearten</b>	72
<b>8. Anlage: Arbeitshilfe</b>	73
<b>9. Anlage: Berichtsmöglichkeiten zum Energieaudit</b>	75
<b>10. Literaturverzeichnis</b>	76

Mit dem vorliegenden Leitfaden soll es vor allem den kleinen und mittelständischen Unternehmen ermöglicht werden, Anregungen für Optimierungspotenziale aufzunehmen und den Fokus auf die effektivsten und effizientesten Maßnahmen zur Einsparung von Energie-ressourcen zu legen. Die IHK Region Stuttgart hat bereits im Jahr 2011 mit der Studie „Grüne Logistik – Ein Gewinn für Verlader und Logistikdienstleister“ Impulse für Energieeinsparungen gesetzt. Die hier dargestellten Maßnahmen sind insoweit als Fortführung der Hilfestellung der IHK für die Unternehmen zu verstehen. Im Rahmen des Förderprojekts „Kompetenzstellen Energieeffizienz“ (KEFF) besteht für die in der Region Stuttgart ansässigen Unternehmen zudem die Möglichkeit, sich von den KEFF-Moderatoren direkt vor Ort kostenlos informieren zu lassen und eine erste Einschätzung zu den konkreten individuellen Einsparpotenzialen zu erhalten. Nutzen Sie dieses Angebot und legen Sie damit den Grundstein für Ihren Beitrag zu einer energieeffizienteren Logistik.

Besonderer Dank gilt den Unternehmen aus den IHK-Ausschüssen Energie und Verkehr, die Beispiele und Erfahrungen aus dem betrieblichen Alltag in den Leitfaden eingebracht haben und dadurch einen hohen Praxisbezug sicherstellen.

Stuttgart, im Februar 2019



Marjoke Breuning  
Präsidentin



Johannes Schmalz  
Hauptgeschäftsführer

Der Umgang mit dem Thema Energie hat für Unternehmen in den vergangenen Jahren deutlich an Bedeutung gewonnen. Dabei geht es zum einen um die Reduzierung des Energieverbrauchs und zum anderen um die Frage der (optimalerweise) eingesetzten Energie. Der insbesondere durch die Verwendung fossiler Energieträger verursachte Klimawandel „befeuert“ zudem die Bestrebungen, erneuerbare Energieträger zu nutzen.

Im Zusammenhang mit dem Energieverbrauch steht die Energieeffizienz. Unter Effizienz wird das Verhältnis vom jeweiligen Output zum jeweiligen Input verstanden. Somit lässt sich die Energieeffizienz in einem Unternehmen auf zwei Wegen beeinflussen. Zum einen kann die Leistung, welche mit der Energie erbracht wird (entspricht dem Output), erhöht werden, ohne dass der dafür erforderliche Energieverbrauch (entspricht dem Input) steigt. Viele der Maßnahmen, die Logistikunternehmen zur Steigerung ihrer Produktivität ergreifen, tragen zugleich auch zu einer Steigerung der Energieeffizienz bei. Dies entspricht allerdings weniger dem klassischen Verständnis von „Energieeffizienzmaßnahmen“. Darunter ist vielmehr die Reduzierung des Energieverbrauchs bei gleichbleibender Leistung zu verstehen. Darauf zielen die Maßnahmen im vorliegenden Leitfaden primär ab.

Dass die Verbesserung der Energieeffizienz in der Zielhierarchie der Logistiker mehr und mehr an Bedeutung gewinnt, hat viele Gründe. Sie lassen sich in umweltbezogene, politische, gesellschaftliche und ökonomische einteilen. Umweltbezogen kommt insbesondere der Diskussion um den Klimawandel und die Fahrzeugemissionen eine große Bedeutung zu. In der Gesellschaft werden diese Entwicklungen aufgenommen und führen zu einer verbreitet kritischen Einstellung gegenüber dem Güterverkehr. Hinzu kommt die allgegenwärtig wahrgenommene Verkehrsbelastung. Die Politik hat diese Entwicklungen zum Anlass genommen und auf allen Ebenen, von der EU bis zu den Kommunen, Regelungen geschaffen, die von den Unternehmen bei Ihren Entscheidungen zu berücksichtigen sind.

Der Energieverbrauch im Bereich Güterverkehr und Logistik ist, anders als in anderen Sektoren, in der Vergangenheit insgesamt angestiegen. Allerdings hat zugleich auch die Leistung des Verkehrssektors signifikant zugenommen. Das heißt, dass zwar der Gesamtenergieverbrauch gestiegen, der Energieverbrauch pro Leistungseinheit, zum Beispiel pro Tonnenkilometer, aber gesunken ist. Dies wird auf gesamtwirtschaftlicher Ebene als Energieintensität und auf betrieblicher Ebene als spezifischer Energieverbrauch bezeichnet. Im Zeitraum von 1995 bis 2014 konnte die Energieintensität im Straßengüterverkehr tatsächlich um über 25 Prozent reduziert werden. Diese markante Verbesserung wird in der Öffentlichkeit und auch in der Politik aber oftmals nicht wahrgenommen. Vielmehr werden weitere Reduzierungen, insbesondere des Gesamtenergieverbrauchs, eingefordert.

### Beratung und systemischer Ansatz als Erfolgsfaktoren

Welche Ansatzpunkte zur Steigerung der Energieeffizienz gibt es? Für Logistikunternehmen sind diese im Wesentlichen bei den Gebäuden (Lager und Büro), bei den Lagerhaltungssystemen sowie beim Transport zu finden. Unabhängig davon, in welchen Bereichen Maßnahmen ergriffen werden sollen, kann übereiltes Handeln mit Risiken oder gar negativen Ergebnissen aufgrund von unerwünschten Wechselwirkungen einzelner Maßnahmen verbunden sein. Es gilt also, die richtigen Maßnahmen unternehmensindividuell auszuwählen und diese auf die richtige Weise umzusetzen. Besonders wichtig ist dabei, sich vor der Umsetzung von Maßnahmen eingehend zu informieren und systematisch vorzugehen. Dabei helfen die regionalen Kompetenzstellen des Netzwerks Energieeffizienz (KEFF) in Baden-Württemberg. Als unabhängiger Ansprechpartner unterstützt KEFF vor allem kleine und mittlere Unternehmen bei den ersten Schritten zur Identifikation von Energieeinsparpotenzialen. Auch Unternehmen, die schon einzelne Maßnahmen umgesetzt haben, können von KEFF profitieren. Da sich die KEFF-Effizienzmoderatoren im Rahmen von Betriebsbegehungen („KEFF-Checks“) stets ein Gesamtbild verschaffen, erhalten die Unternehmen Hinweise infolge einer ganzheitlichen Betrachtung. KEFF besitzt auch den Überblick über den Fördermitteldschungel und unterstützt dabei, den richtigen Energieberater für vertiefte Untersuchungen und die Umsetzung komplexerer Maßnahmen zu finden.

### Effizienzpotenziale in Gebäuden realisieren

Wenn Energieeffizienzmaßnahmen angegangen werden, muss die Wirtschaftlichkeit des Vorhabens belegt sein. Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen sind ein erfolgskritischer Faktor und sollten deshalb stets fixer Bestandteil in einer frühen Entscheidungsphase jeder Maßnahme sein. Zu lange Amortisationszeiten zählen hier zu den größten Hemmnissen.

Im Gebäudebereich besteht aufgrund der langen Nutzungsdauer die besondere Herausforderung, dass viele Maßnahmen zur Steigerung der Energieeffizienz langfristiger Investitionen bedürfen und teilweise nur dann wirtschaftlich sinnvoll umsetzbar sind, wenn es sich um einen Neubau handelt. Insofern muss zwischen Maßnahmen für Bestandsgebäude und für Neubauten unterschieden werden. Doch auch bei Bestandsgebäuden gibt es eine Vielzahl von Ansatzpunkten, um die Energieeffizienz zu steigern. Diese lassen sich systematisieren nach Ansatzpunkten an der Gebäudehülle, der Beleuchtung, der Heizungsanlage, der Klimatisierung, bei Druckluftanlagen sowie der Eigenenergieversorgung.

Die Gebäudehülle ist gleichzeitig auch die sogenannte thermische Hülle des Gebäudes. Die Beschaffenheit der Gebäudehülle ist ein entscheidender Faktor für den Heizenergiebedarf.

Energieverluste einzugrenzen, zum Beispiel durch Schnelllauftore an Logistikhallen, ist eine in aller Regel lohnenswerte Investition. Weitere Maßnahmenvorschläge sind im Kapitel 3.5 hinterlegt.

Die Beleuchtung macht in einer typischen Logistikhalle etwa ein Drittel des Energieverbrauchs aus. Dementsprechend hoch ist auch das Einsparpotenzial. Die Ansatzpunkte reichen vom Austausch der vorhandenen Leuchtmittel über eine Neukonzeptionierung der Beleuchtungsanlage bis hin zu einem zentral gesteuerten Beleuchtungssystem. Insbesondere die LED-Technik hat sich stark weiterentwickelt und für einen Umbruch im Beleuchtungsmarkt gesorgt. Die Energieeffizienz (Lichtausbeute bezogen auf den Stromverbrauch) guter LED-Leuchten ist mehr als doppelt so hoch wie die von Kompakt-Leuchtstoffröhren. Weiterführende Informationen und auch eine Wirtschaftlichkeitsberechnung zu LED-Leuchtmitteln werden im Kapitel 3.2 dargestellt.

Ein Heizungssystem besteht aus den drei Komponenten Wärmeerzeugung, Wärmeverteilung und Wärmeverbraucher. Vor allem bei Logistikhallen bestehen Herausforderungen durch die Gebäudehöhe und die mit Wärme zu versorgende Fläche. Hier haben sich dezentrale Systeme, bei denen Wärmeerzeuger und Wärmeverteiler in einer Einheit zusammengefasst sind, als vorteilhaft erwiesen. Details werden im Kapitel 3.7 erläutert.

Druckluft ist aufgrund des Einsatzes elektrischer Energie zu ihrer Erzeugung eine der teuersten Energieformen. Besonders kostenintensiv sind die häufig auftretenden Leckagen. Etwa 25 bis 60 Prozent der erzeugten Druckluft gehen durchschnittlich in den Unternehmen durch Undichtigkeiten verloren. Daher ist es äußerst wichtig, die Druckluftleitungen regelmäßig auf Dichtigkeit hin zu prüfen und Undichtigkeiten zu beseitigen. Nicht selten sind auch aufgrund ihres Alters oder ihrer Größe unwirtschaftliche Kompressoren verbaut, die ersetzt werden sollten. Beispiele zur Optimierung des Druckluftnetzes werden im Kapitel 3.9 beschrieben.

**Selbsterzeugung von Energie** kann für viele Unternehmen die Kostenbilanz positiv beeinflussen. Denkbar sind vor allem Photovoltaik-, Solarthermie- oder Kraft-Wärme-Kopplungs-Anlagen. Die Vor- und Nachteile sowie Rahmenbedingungen, die für den Einsatz derartiger Anlagen vorliegen sollten, werden im Kapitel 3.11 dargestellt.

### Effizienzpotenziale in Logistikprozessen

In einer komplexen Supply-Chain sind **Güterumschlag und -lagerung** prozessbestimmende Faktoren. Die eingesetzte Lagertechnik, (automatisierte) Fördertechnik sowie Flurförderzeuge tragen mit etwa einem Viertel wesentlich zum Energieverbrauch in einem Lager bei. Im Kapitel 4 sind Beispiele

und Anregungen für Optimierungen in diesen Bereichen dargestellt.

Auf **Informations- und Kommunikationstechnologien** sowie die restlichen Verbraucher entfällt etwa ein Drittel des Energieverbrauchs im Lager. Wichtiger Bestandteil ist die IT-Infrastruktur mit den benötigten Servern und den dazugehörigen PC-Arbeitsplätzen. Durch Virtualisierung können hier, je nach Auslastung des Servers, bis zu 80 Prozent des Energiebedarfs eingespart werden. Details sind im Kapitel 4.4 erläutert.

Der **Transport von Gütern** ist für viele Logistikunternehmen nach wie vor der Schwerpunkt ihrer Tätigkeit. Bei den eingesetzten Kraftstoffen dominiert weiterhin der fossile Dieselmotor. Ansatzpunkte zur Steigerung der Energieeffizienz bestehen in der Fuhrparkmodernisierung, dem Einsatz emissionsarmer Fahrzeuge oder in Maßnahmen zur Optimierung der Transportprozesse, wie der Bündelung von Sendungen, der Vermeidung von Leerfahrten oder im Einsatz von Telematiksystemen. Trainings zur Reduzierung des Kraftstoffverbrauches sind in vielen Betrieben Standard. Diese klassischen Maßnahmen zur Energieeffizienz im Fuhrpark wurden bereits in der Studie zur „Grünen Logistik“ der IHK Stuttgart ausführlich vorgestellt. Daher konzentrieren sich die Ausführungen in diesem Leitfaden im Kapitel 5 auf den Einsatz alternativer Antriebe und deren Leistungsmerkmale im Vergleich zum konventionellen Fahrzeug.

Im Jahr 2018 beträgt der Bestand an LKW in Deutschland insgesamt drei Millionen Fahrzeuge. 95 Prozent davon werden durch einen herkömmlichen Verbrennungsmotor mit Dieselmotor angetrieben und vier Prozent mit Ottomotor. Damit liegt der Anteil der LKW mit alternativen Antrieben beziehungsweise Kraftstoffen erst bei rund einem Prozent. Alternative Kraftstoffarten werden derzeit zudem fast ausschließlich im niedrigen Nutzlastbereich eingesetzt. Die Dynamik im Bereich der alternativen Antriebe ist aktuell jedoch hoch. Für die nächsten Jahre ist daher eine deutliche Zunahme zu erwarten.

Als Impulsgeber werden im Kapitel 5.2 **Vergleiche zwischen Elektroantrieb und konventionellem Dieselantrieb** für verschiedene Fahrzeugkategorien und Einsatzbereiche angestellt. Die Kosten werden nach dem sogenannten „Total Cost of Ownership“-Ansatz (TCO) für 2015 und 2030 abgeschätzt. Gegenwärtig besteht bei leichten Nutzfahrzeugen ein Kostenunterschied von etwa 60 Prozent und bei schweren Nutzfahrzeugen von etwa 180 Prozent zwischen elektrisch und konventionell angetriebenen Fahrzeugen. Mit anderen Worten: Der Elektroantrieb ist aktuell noch die gravierend teurere Variante. Für das Jahr 2030 hingegen zeichnet sich ab, dass bei der Elektrovariante sogar leichte Kostenvorteile vorliegen könnten.

Die Eignung der verschiedenen Antriebskonzepte für die unterschiedlichen Einsatzbereiche im Stadtverkehr, im Regional- oder Flächenverkehr und im Fernverkehr hängt direkt mit den zurückzulegenden Distanzen, der Charakteristik der Touren und der benötigten Nutzlast zusammen. Verteilerverkehre in den Ballungsräumen können gut mit vollelektrischen Fahrzeugen abgewickelt werden. Regionalverkehre bedingen gegenwärtig häufig noch den Einsatz von Hybridantrieben, teilweise genügen die Reichweiten und Nutzlasten vollelektrischer Fahrzeuge aber auch in diesem Transportsegment. Im Fernverkehr sprechen die nötigen Reichweiten und Nutzlasten gegenwärtig bei der Masse der Unternehmen gegen den Einsatz von Elektro-LKW.

Neue Ansätze in der Logistik sind insbesondere bei der **Versorgung urbaner Zentren** erforderlich. Der Innenstadtverkehr und die „letzte Meile“ stellen große Herausforderungen dar. Logistiker stehen hier in einem Spannungsfeld von steigendem Waren- und Transportvolumen, schon heute ausgelasteter beziehungsweise überlasteter Verkehrsinfrastruktur, steigenden Kundenanforderungen, politischer und gesellschaftlicher Anforderungen hinsichtlich Klima- und Umweltschutz sowie der eigenen Wirtschaftlichkeit. Hinzu kommt ein massiver Fahrermangel. Die Bandbreite der möglichen Lösungen ist groß und immer von den individuellen Rahmenbedingungen der betreffenden Stadt- wie etwa Topologie, Flächenverfügbarkeit, Verkehrsbelastung oder auch der Zusammenarbeit der Stakeholder von Wirtschaft und Verwaltung – abhängig. Im Kapitel 6.2 werden Projekte in der Region Stuttgart und in anderen Regionen dargestellt.

Hier ist die Dynamik ebenfalls hoch, so dass einige Ansätze mit Blick auf die Energieeffizienz wie auch auf die ökonomische Tragfähigkeit noch nicht abschließend beurteilt werden können. Wichtig erscheint aber, dass sich die Unternehmen hier aktiv einbringen.

Insgesamt zeigt der Leitfaden auf, dass auch kleinen und mittleren Unternehmen in der Logistikbranche eine Fülle an Maßnahmen zur Verfügung steht, um die Energieeffizienz zu steigern.

### 2.1. Grundlagenwissen zu Energie und Energieeffizienz

#### 2.1.1 Was ist das Ziel dieses Leitfadens?

Der sorgsame Umgang mit Energie wird für Unternehmen immer bedeutsamer. Das hat viele Ursachen. Sowohl aus politischen, als auch aus gesellschaftlichen und aus wirtschaftlichen Gesichtspunkten erscheint es geboten, den Energieverbrauch im Unternehmen permanent zu hinterfragen. Damit wiederum sind viele Fragen verbunden, die insbesondere für kleine und mittlere Unternehmen (KMU) zur Hürde werden können. Sie müssen sich zunächst einen Überblick über das Thema allgemein und speziell zur Situation im Unternehmen verschaffen. Auf dieser Basis gilt es dann, ein Konzept für das Unternehmen zu entwickeln und dieses umzusetzen.

Zum großen Strauß der zu klärenden Fragen gehört, welche Energiearten aktuell eingesetzt werden und ob diese auch zukünftig noch eingesetzt werden sollen, wie der Verbrauch der Energie gemessen und einzelnen Leistungen zugeordnet werden kann, welche Potenziale zur Einsparung sich eröffnen, wenn man Energie „managed“ und letztlich auch, welche politischen Zielsetzungen und/oder rechtlichen Vorgaben es zu berücksichtigen gilt.

Wenn von einem sorgsamem Umgang mit Energie die Rede ist, so ist damit vor allem die Vermeidung von Energieverschwendung das Ziel, aber auch die Wahl der Energie, die mit möglichst geringen Konsequenzen für die Umwelt verbunden ist. Wird der Verbrauch von Energie gesenkt, führt dies regelmäßig zu einer Steigerung der Effizienz im Umgang mit Energie. Das ist das wesentliche Thema dieses Leitfadens.

Im Vergleich zu anderen Branchen stehen der Güterverkehr und die Logistik in der öffentlichen Energie- und noch mehr in der Umweltdiskussion unter besonderer Beobachtung. Der Verkehr ist schließlich der Sektor, der im Gegensatz zu anderen Bereichen bisher keine Beiträge zur Reduktion des gesamtwirtschaftlichen Energieverbrauchs leisten konnte. Hinzu kommt, dass Fahrzeuge mit konventionellem Antrieb das Straßenbild bestimmen. Das Verbrennen fossiler Energieträger, vor allem von Dieselmotoren, hat negative Auswirkungen auf unsere Umwelt. Neben der aktuellen Diskussion um Stickoxide und Feinstaub gilt dies vor allem für den Ausstoß des Treibhausgases CO<sub>2</sub>. Dieser Leitfaden informiert daher auch darüber, wie es um die aktuellen Alternativen bestellt ist und ob sich deren Einsatz wirtschaftlich darstellen lässt.

Die öffentliche Exponiertheit und die restriktiven rechtlichen Regelungen eröffnen speziell für diejenigen Unternehmen Chancen, die die Herausforderungen erkennen, sich damit systematisch auseinandersetzen, Handlungsmöglichkeiten entwickeln und die in vielen Fällen bestehenden Potenziale zu ihren Gunsten nutzen.

Für Unternehmen des Güterverkehrs und der Logistik bieten sich als Ansatzpunkte zur Reduzierung des Energieverbrauchs vor allem der Transport und die Lagerhaltung sowie die erbrachten Mehrwertdienstleistungen im Lager an. Hinzu sollten Gebäudehülle und -einrichtung einer kritischen Betrachtung unterzogen werden.

Dabei soll dieser Leitfaden vor allem kleinere und mittelgroße Unternehmen (KMU) unterstützen.

#### 2.1.2 Logistikbranche

Die Logistik umfasst Transport, Umschlag, Kommissionierung und Lagerung von Gütern und Materialien in Industrie, Handel und Dienstleistung. Das Umsatzvolumen der gesamten Logistikwirtschaft in Deutschland betrug im Jahr 2015 rund 253 Milliarden Euro. Nach der Erholung von der weltweiten Finanz- und Wirtschaftskrise liegt das jährliche Wachstum bei etwa zwei Prozent. Während einige Teilmärkte, beispielsweise der durch den wachsenden Online-Handel getriebene Kurier-, Express- und Paket Markt (KEP) stärker wachsen, gelten andere Teilmärkte, etwa Bulk-Verkehre, als gesättigt. Generell gilt der Markt für Logistikdienstleistungen als ein Markt mit niedrigen Renditen und einer hohen Wettbewerbsintensität. Insbesondere in solchen Märkten sind Effizienzsteigerungen von großer Bedeutung und müssen durch Unternehmen permanent identifiziert und umgesetzt werden, sofern diese erfolgreich am Markt bestehen wollen.

Die Logistik ist für die Beschäftigung in Baden-Württemberg ein bedeutender Wirtschaftszweig. An der Gesamtbeschäftigung Baden-Württembergs beträgt der Anteil der Logistik mittlerweile 7,8 Prozent.<sup>1</sup>

#### 2.1.3 Was bedeutet überhaupt Energieeffizienz?

Zunächst soll geklärt werden, was in diesem Leitfaden unter Energieeffizienz verstanden wird.

Der Begriff Effizienz wird oft in Abgrenzung zur Effektivität verwendet. Der bekannte Soziologe und Management-Berater Peter Drucker hat dieses Begriffspaar so voneinander abge-

<sup>1</sup> Vgl. Schwemmer, M. (2016), S. 35, 47, 48, 53, 54, 55

## 2. Energie und Energieeffizienz im Überblick

grenzt, dass es bei der Effektivität darum gehe, die richtigen Dinge zu tun und bei der Effizienz, die Dinge richtig zu tun.<sup>2</sup> Und weiter hat er ausgeführt, dass es nahezu nichts Sinnloseres gibt, als die falschen Dinge mit hoher Effizienz zu tun.

### Beispiel:

Ein Unternehmen, das im Bereich der Kurier-, Express- und Paketdienste tätig ist, würde nicht auf die Idee kommen, den Hauptlauf mit dem Binnenschiff durchzuführen, da dies den Marktanforderungen bezüglich Laufzeiten nicht genügen würde. Dieses Unternehmen würde die falschen Dinge tun und wäre auch dann nicht effektiv, wenn es diese Hauptläufe mit besonders hoher Auslastung abwickeln würde und damit die (falschen) Dinge richtig tun würde.

Betrachtungen der Effektivität stehen im Rahmen dieses Leitfadens nicht im Mittelpunkt, auch wenn sie an manchen Stellen quasi zwangsläufig mit angestellt werden.

Die Dinge richtig zu tun, also effizient zu handeln, heißt letztlich nichts anderes, als das Verhältnis zwischen der erbrachten Leistung des Unternehmens und dem dafür erforderlichen Mitteleinsatz zu vergrößern. Bezeichnet man die vom Unternehmen erbrachten Leistungen als Output und den dafür erforderlichen Mitteleinsatz als Input, so lässt sich die Effizienz als Verhältnis von Output zu Input ausdrücken:

$$\text{Effizienz} = \frac{\text{Output}}{\text{Input}}$$

Für Effizienzsteigerungen existieren damit grundsätzlich zwei Ansatzpunkte: Erstens kann im Zähler die Leistung des Unternehmens erhöht werden, ohne dass im Nenner der dafür erforderliche Mitteleinsatz erhöht wird. Zweitens kann im Nenner der Mitteleinsatz reduziert werden, ohne dass die erbrachte Leistung im Zähler reduziert wird.

Übertragen auf den Kontext des effizienten Umgangs mit Energie bedeutet dies, dass die Effizienz der eingesetzten Energie dadurch erhöht werden kann, dass mit gleichem

Energieeinsatz (= Mittelverbrauch) die Leistung gesteigert wird oder dass die gleiche Leistung mit reduziertem Energieeinsatz erbracht wird.

### Beispiel:

Ein Logistikunternehmen ist in der Beschaffungslogistik für Automobilhersteller tätig und setzt dabei sogenannte Megatrailer ein, die auf den Transport voluminöser Güter ausgelegt sind. Durch die lichte Innenhöhe von drei Metern haben diese Fahrzeuge ein Volumen von 100 Kubikmetern und können Gitterboxen dreilagig fahren. Insgesamt beträgt die Kapazität 96 Gitterboxen.

Die Ausgangssituation ist folgende: Die durchschnittliche Auslastung beträgt 76 Gitterboxen pro Transport und der durchschnittliche Kraftstoffverbrauch beträgt 29 Liter pro 100 Kilometer. Die Effizienz des eingesetzten Diesels beträgt damit:

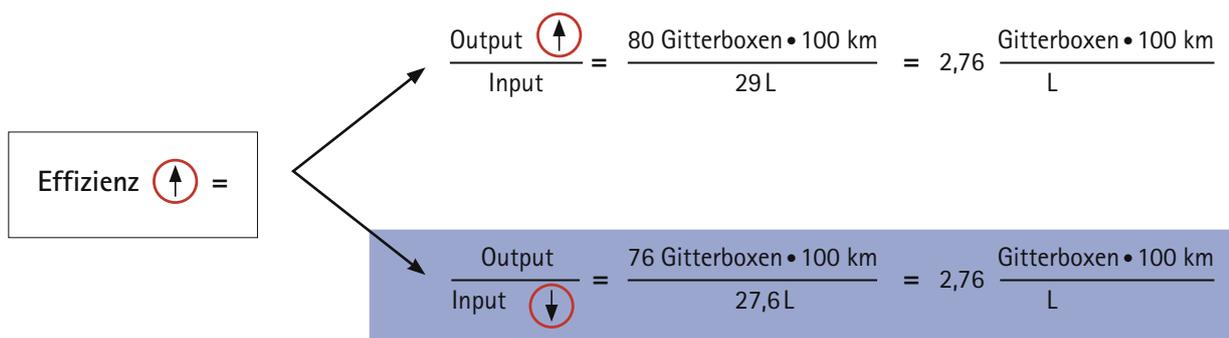
$$\text{Effizienz} = \frac{\text{Output}}{\text{Input}} = \frac{76 \text{ Gitterboxen} \cdot 100 \text{ km}}{29 \text{ L}} = 2,62 \frac{\text{Gitterboxen} \cdot 100 \text{ km}}{\text{L}}$$

Mit anderen Worten: Mit einem Liter Diesel werden 2,62 Gitterboxen über 100 Kilometer befördert.

Die Effizienz der Energie lässt sich nun, wie oben dargestellt, auf zwei Wegen erhöhen. Gelingt es, die Auslastung zu erhöhen, ohne dass der Energieverbrauch (deutlich) steigt, wird die Effizienz erhöht. Können durch bessere Abstimmungen zwischen Auftraggeber und Logistikdienstleister beispielsweise durchschnittlich 80 Gitterboxen befördert werden, so steigt die Effizienz der eingesetzten Energie auf 2,76 Gitterboxen je Liter Diesel.

Andererseits führt eine Reduktion des durchschnittlichen Kraftstoffverbrauchs von 29 auf 27,6 Liter zur gleichen Steigerung der Effizienz der eingesetzten Energie.

Abbildung 1: Effizienz als Verhältnis von Output zu Input



<sup>2</sup> Vgl. Drucker (1963), S. 54.

Die Erhöhung der Leistung steht üblicherweise im Fokus sämtlicher Bemühungen zur Optimierung der Produktion oder Erhöhung der Auslastung in Logistikunternehmen. Ansatzpunkte mit hoher Relevanz für die Energieeffizienz werden hier zwar dargestellt, im Mittelpunkt dieses Leitfadens allerdings steht das sogenannte „Nenner-Management“, also die gezielte Suche und Nutzung von Potenzialen zur Verringerung des Energieverbrauchs, welcher zur Erbringung der Logistikleistungen in Transport und Lagerhaltung aufgebracht werden muss.

Das Wuppertal Institut für Klima, Umwelt und Energie definiert Energieeffizienz als „Verhältnis von erzieltm Nutzen und eingesetzter Energie.“<sup>3</sup> Für die Europäische Union „bedeutet Energieeffizienz, dass weniger Energie bei gleichbleibendem Niveau der Wirtschaftstätigkeit oder Dienstleistung eingesetzt wird.“<sup>4</sup> Diesem Begriffsverständnis wird auch hier gefolgt.

### 2.1.4 Spezifischer Energieverbrauch und Gesamtenergieverbrauch

Verkürzt ausgedrückt kann man unter dem sogenannten spezifischen Energieverbrauch den Kehrwert der Energieeffizienz verstehen. Steigt die Energieeffizienz, nimmt der spezifische Energieverbrauch ab. Er drückt den Energieverbrauch aus, der erforderlich ist, um eine Leistungseinheit erstellen zu können. Der spezifische Energieverbrauch hat damit den Charakter von Stückkosten in der Kostenrechnung, da er die gesamte verbrauchte Energiemenge auf eine Leistungseinheit bzw. ein Stück bezieht.

#### Beispiel:

Das oben angesprochene Unternehmen kann seinen spezifischen Energieverbrauch ermitteln, indem es den Kehrwert aus der Energieeffizienz bildet: Für den Transport einer Gitterbox über 100 Kilometer fallen 0,38 Liter Diesel an.

Gelingt dem Unternehmen die oben beschriebene Reduktion des Kraftstoffverbrauchs, so sinkt der spezifische Energieverbrauch auf 0,36 Liter Diesel.

Der spezifische Energieverbrauch ist damit in der Lage, die Bemühungen und Erfolge eines Logistikunternehmens auszudrücken, die es unternommen hat, um die benötigte Energie pro Leistungseinheit zu reduzieren. Er ist eine wichtige Vergleichsgröße, beispielsweise zwischen Unternehmen und zwischen Verkehrsträgern, aber auch im Zeitablauf.

Verlässt man die betriebliche Ebene und betrachtet aggregierte Größen auf volkswirtschaftlicher Ebene, so spricht man statt vom spezifischen Energieverbrauch auch von der Energieintensität. Sie stellt den Energieverbrauch pro erbrachter Verkehrsleistung dar. Die Verkehrsleistung im Güterverkehr wird auf volkswirtschaftlicher Ebene üblicherweise in Tonnenkilometern (tkm), also als Produkt aus transportiertem Gewicht und zurückgelegter Entfernung, gemessen. Die Energieintensität des Güterverkehrsbereichs ist in der Vergangenheit deutlich gesunken. Im Zeitraum von 1995 bis 2014 beispielsweise konnte die Energieintensität im Straßengüterverkehr um über 25 Prozent reduziert werden.<sup>5</sup> Im Umkehrschluss bedeutet dies, dass die Energieeffizienz in entsprechendem Ausmaß gestiegen ist.

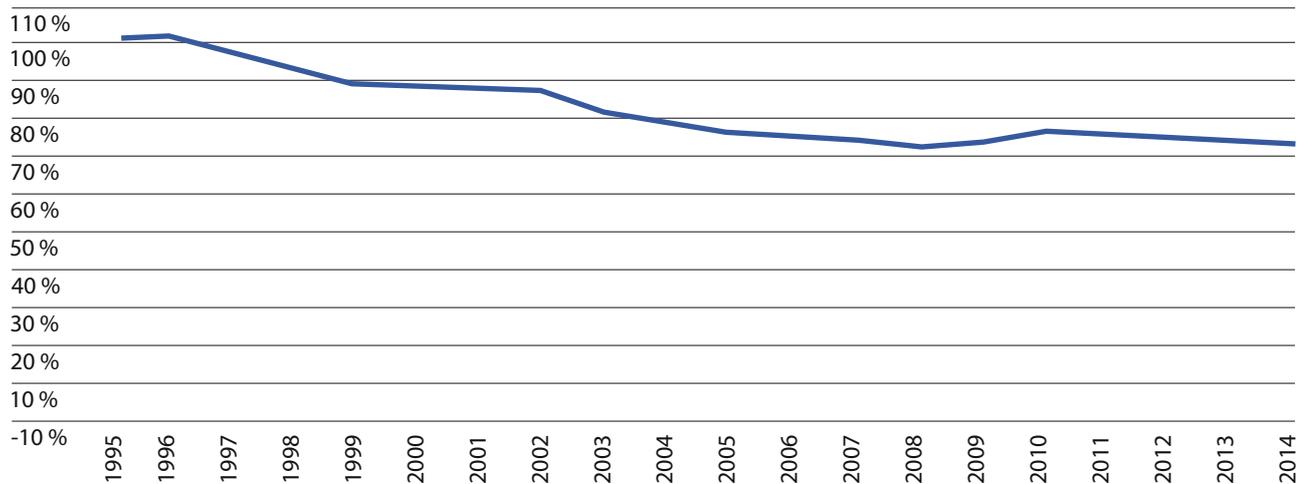
Abbildung 2: Spezifischer Energieverbrauch als Verhältnis von Input zu Output

$$\begin{aligned} \text{Spezifischer Energieverbrauch} &= \frac{\text{Input}}{\text{Output}} = \frac{29\text{L}}{76 \text{ Gitterboxen} \cdot 100\text{km}} = 0,38 \frac{\text{L}}{\text{Gitterbox} \cdot 100\text{km}} \\ \text{Spezifischer Energieverbrauch} \downarrow &= \frac{\text{Input} \downarrow}{\text{Output}} = \frac{27,6\text{L}}{76 \text{ Gitterboxen} \cdot 100\text{km}} = 0,36 \frac{\text{L}}{\text{Gitterbox} \cdot 100\text{km}} \end{aligned}$$

<sup>3</sup> Irrek, W. et al. (2008), S. 1 <sup>4</sup> Europäische Kommission (2011), S. 2 <sup>5</sup> Vgl. BWWi (2017), S. 26.

## 2. Energie und Energieeffizienz im Überblick

Abbildung 3: Entwicklung des spezifischen Energieverbrauchs des Straßengüterverkehrs von 1995 bis 2014<sup>6</sup>



Ungeachtet dessen wird in der verkehrspolitischen Diskussion aber meist auf den Gesamtenergieverbrauch abgestellt. Obwohl sich die Energieeffizienz deutlich erhöht hat, ist der Gesamtenergieverbrauch des Güterverkehrs dennoch im selben Zeitraum um knapp 30 Prozent gestiegen.<sup>7</sup> Die Steigerung des Gesamtenergieverbrauchs liegt daran, dass die Verkehrsleistung im betrachteten Zeitraum deutlich gestiegen ist.

Auch auf betrieblicher Ebene können sich spezifischer und gesamter Energieverbrauch in unterschiedliche Richtungen entwickeln.

### Beispiel:

Das bereits eingeführte Logistikunternehmen bindet aktuell einen Lieferanten an, der 150 Kilometer entfernt liegt. Eine Gitterbox wiegt beladen 180 Kilogramm und leer 70 Kilogramm. Der Lieferant wird in zwei Umläufen pro Woche an den Automobilhersteller angebunden. Die Verkehrsleistung und der Gesamtenergieverbrauch ergeben sich wie folgt (sind in Tabelle 1 dargestellt):<sup>8</sup>

Angenommen, das Logistikunternehmen kann, wie in Tabelle 2 dargestellt bei einer Ausschreibung des Automobilherstellers eine zusätzliche Relation der Beschaffungslogistik gewinnen. Der anzubindende Lieferant liegt in einer Entfernung von 200 Kilometer zum Automobilhersteller. Aus-

lastung des Fahrzeugs in Gitterboxen und Gewicht der Gitterboxen sind identisch mit dem anderen Lieferanten. Der Lieferant muss ebenfalls zweimal wöchentlich angebunden werden. Durch Fahrpersonalschulungen und Modifikationen an der Aerodynamik des Fahrzeugs gelingt es dem Logistik-

Tabelle 1: Zusammenhang zwischen spezifischem und Gesamtenergieverbrauch am Beispiel

Lieferant A		
Umläufe Lieferant A pro Woche	2	
Entfernung Lieferant A	150	km
Ladungsgewicht Hinfahrt	14400	kg
Ladungsgewicht Rückfahrt	5600	kg
tkm Hinfahrt	2160	tkm
tkm Rückfahrt	840	tkm
tkm pro Umlauf	3000	tkm
tkm Lieferant pro Woche	600	tkm
Kraftstoffverbrauch Lieferant A	174,0	L
Spez. Energieverbrauch	0,029	L/tkm

<sup>6</sup> Eigene Darstellung mit Daten aus [www.umweltbundesamt.de/daten/verkehr/endenergieverbrauch-energieeffizienz-des-verkehrs](http://www.umweltbundesamt.de/daten/verkehr/endenergieverbrauch-energieeffizienz-des-verkehrs) <sup>7</sup> Vgl. [www.umweltbundesamt.de/daten/verkehr/endenergieverbrauch-energieeffizienz-des-verkehrs](http://www.umweltbundesamt.de/daten/verkehr/endenergieverbrauch-energieeffizienz-des-verkehrs) [06/2018]. <sup>8</sup> Zur Vereinfachung wird ein gleichbleibender Durchschnittsverbrauch unabhängig von der konkreten Zuladung für den gesamten Umlauf unterstellt.

unternehmen allerdings, den durchschnittlichen Verbrauch pro/tkm 100 Kilometer in seinem gesamten Fuhrpark von 29 Litern auf die bereits oben verwendeten 27,6 Liter/tkm zu reduzieren.

Aufgrund der gestiegenen Transportleistung ist zwar auch der Gesamtenergieverbrauch gestiegen, allerdings ist es dem Logistikunternehmen gelungen, seinen spezifischen Energieverbrauch bzw. seine Energieintensität zu reduzieren.

**Tabelle 2: Erhöhung des Gesamtenergieverbrauchs trotz reduzierten spezifischen Energieverbrauchs am Beispiel**

Lieferant A			Lieferant B		
Umläufe Lieferant A pro Woche	2		Umläufe Lieferant B pro Woche	2	
Entfernung Lieferant A	150	km	Entfernung Lieferant B	200	km
Ladungsgewicht Hinfahrt	14400	kg	Ladungsgewicht Hinfahrt	14400	kg
Ladungsgewicht Rückfahrt	5600	kg	Ladungsgewicht Rückfahrt	5600	kg
tkm Hinfahrt	2160	tkm	tkm Hinfahrt	2880	tkm
tkm Rückfahrt	840	tkm	tkm Rückfahrt	1120	tkm
tkm pro Umlauf	3000	tkm	tkm pro Umlauf	4000	tkm
tkm Lieferant pro Woche	6000	tkm	tkm Lieferant pro Woche	8000	tkm
Kraftstoffverbrauch Lieferant A	165,3	L	Kraftstoffverbrauch Lieferant A	220,4	L
Spez. Energieverbrauch	0,028	L/tkm	Spez. Energieverbrauch	0,0276	L/tkm
Verkehrsleistung	14000	tkm			
Gesamter Energieverbrauch	385,7,0	L			
Spezifischer Energieverbrauch	0,029	L/tkm			
Entwicklung Verkehrsleistung	133%				
Entwicklung ges. Energieverbrauch	122%				
Entwicklung spez. Energieverbrauch	-5%	L/tkm			

## 2. Energie und Energieeffizienz im Überblick

### 2.1.5 Wie misst und vergleicht man Energieverbräuche?

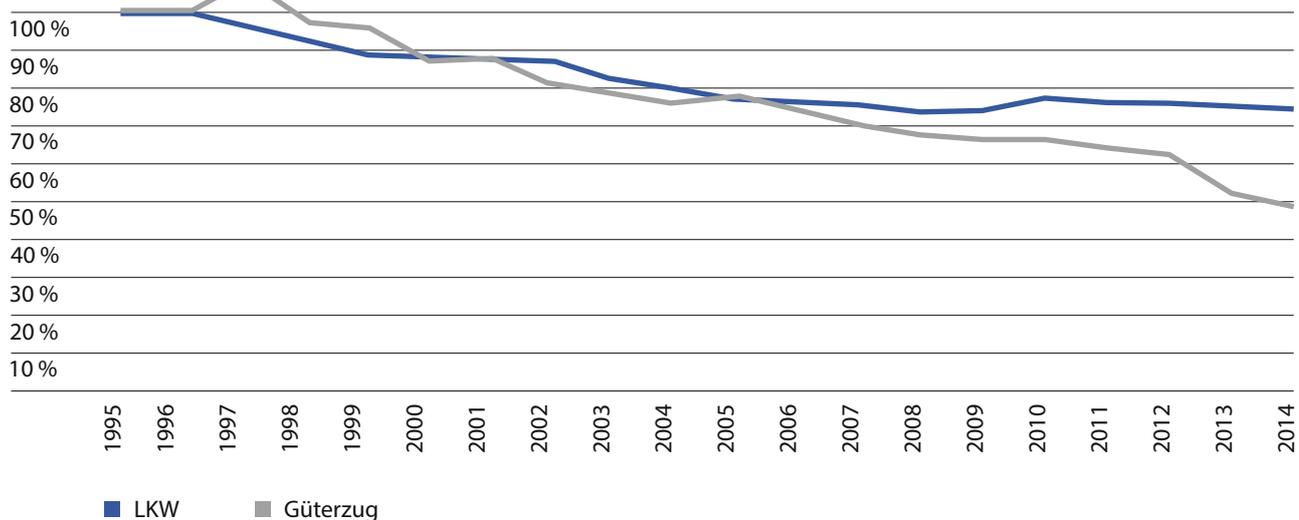
Vergleicht man die Entwicklung des spezifischen Energieverbrauchs von Güterzügen mit dem spezifischen Energieverbrauch von LKW so können die entsprechenden Entwicklungen ohne größere Probleme separat dargestellt werden: Der spezifische Energieverbrauch des LKW ist, wie oben dargestellt im Zeitraum von 1995 bis 2014 um etwa 25 Prozent gesunken. Der spezifische Energieverbrauch der Bahn hingegen ist im gleichen Zeitraum sogar um gut 50 Prozent gesunken. Diesen Vergleich zeigt auch Abbildung 4.

Die Zusammenfassung dieser Entwicklungen ist allerdings mit Herausforderungen verbunden. LKW verbrauchen üblicherweise Energie in Form des Diesels, Güterzüge benötigen ebenfalls Energie, fahren allerdings teilweise mit Diesel, aber eben auch mit Strom-Traktion. Wie bringt man die unterschiedlichen Energiearten nun auf einen Nenner bzw. rechnet den Energieverbrauch in vergleichbare Einheiten um?

Die Zusammenhänge zwischen einzelnen Energiebegriffen von der Gewinnung bis zur Nutzung (vgl. ergänzend Anlage: 6) können in einem Energieflussschema dargestellt werden. Dies kann Abbildung 5 entnommen werden.

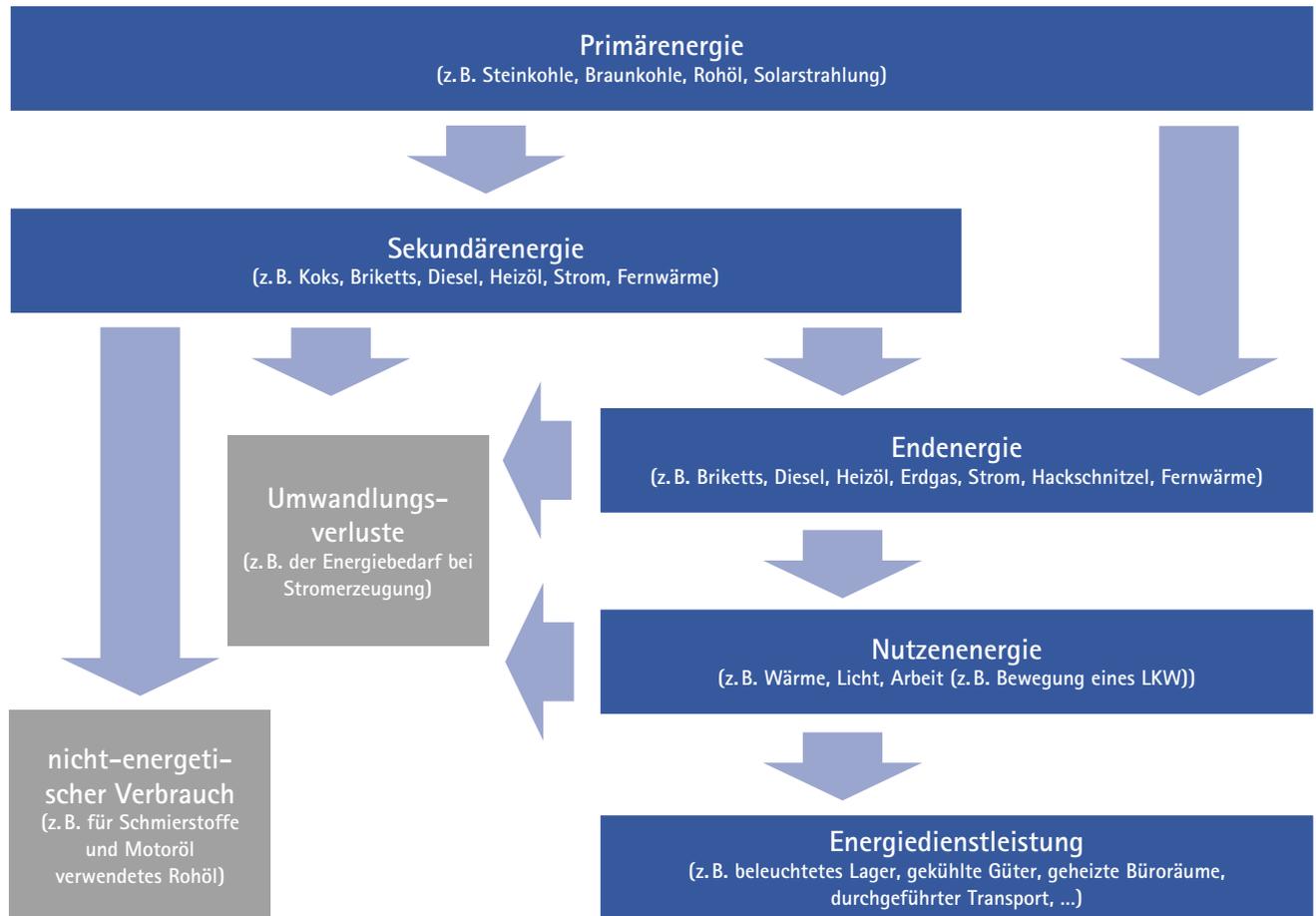
Je nachdem, aus welchem Energieträger die Nutzenergie stammt, sind damit höhere oder geringere Umwandlungsverluste verbunden. Unabhängig davon, woher die Energie nun stammt und wofür sie verwendet wird, sollte der Energieverbrauch quantifiziert werden. Dies ist allein schon aus Gründen der Kostentransparenz anzuraten. In einem Fuhrpark kann dies beispielsweise die verbrauchte Anzahl Liter Diesel sein, bei einem Elektro-Stapler, der in einem Lager eingesetzt wird, könnte dies der verbrauchte Strom in Kilowattstunden (kWh) sein. Die Wahl dieser Einheiten zur energieträgerbezogenen Quantifizierung (Liter für Diesel, kWh für Strom etc.) ist für die Praxis der übliche und auch sinnvolle Weg. Und wahrscheinlich würde kein Logistikunternehmen die verbrauchte Heizenergie für das Bürogebäude oder den verbrauchten Diesel für den Fuhrpark in Joule messen.

Abbildung 4: Entwicklung des spezifischen Verbrauchs von 1995 bis 2014 von Güterzug und LKW im Vergleich<sup>9</sup>



<sup>9</sup> Eigene Darstellung mit Daten aus [www.umweltbundesamt.de/daten/verkehr/endenergieverbrauch-energieeffizienz-des-verkehrs](http://www.umweltbundesamt.de/daten/verkehr/endenergieverbrauch-energieeffizienz-des-verkehrs)

Abbildung 5: Energieflussschema<sup>10</sup>



### Beispielrechnung:

Das oben bereits erwähnte Logistikunternehmen erbringt für den Automobilhersteller eine Transportleistung in Höhe von 14.000 Tonnenkilometern und verbraucht dabei 385,7 Liter Diesel. Ein Liter Diesel hat einen Energiegehalt von 35,6 MJ, so dass die Erbringung der Transportleistung zu einem Energieverbrauch in Höhe von

$$\text{Energieverbrauch} = 385,7 \text{ L} * 35,6 \frac{\text{MJ}}{\text{L}} = 13.730,9 \text{ MJ}$$

führt. Diese 13.730,9 MJ entsprechen 3,82 GJ. In kWh ausgedrückt beträgt der Energieverbrauch:

$$\text{Energieverbrauch} = 385,7 \text{ L} * 9,9 \frac{\text{kWh}}{\text{L}} = 3.818,4 \text{ kWh}$$

Dies entspricht 3,82 MWh.

### 2.1.6 Energieträgerarten und ihre Bedeutung

Es wurde bereits darauf hingewiesen, dass es verschiedene Arten von Energieträgern gibt. Diese lassen sich in fossile, erneuerbare und nukleare Energieträger unterteilen. Fossile Energieträger, zu denen Kohle, Erdgas und Erdöl zählen, sind endlich. Der Vorrat dieser Energieträger wird irgendwann erschöpft sein. Hinzu kommt, dass bei der Verbrennung fossiler Energieträger Treibhausgas-Emissionen entstehen, welche für den Treibhauseffekt verantwortlich gemacht werden. Aus beiden Gründen wird angestrebt, den Verbrauch fossiler Energieträger zu reduzieren und sie durch erneuerbare Energien zu ersetzen.

Die damit verbundene Energiewende ist bereits im Gang, was sich auch in den politischen Rahmenbedingungen inklusive der Klima- und Energiezielen, wie sie unten dargestellt werden, zeigt.

<sup>10</sup> Kuder et al. (2013), S. 20 (leicht modifiziert).

## 2. Energie und Energieeffizienz im Überblick

Tabelle 3: Energiegehalt unterschiedlicher Energieträger

Anzahl	Einheit	Energieträger	Energiegehalt in MJ	Energiegehalt in kWh
1	L	Rohöl	37,0	10,3
1	L	Diesel	35,6	9,9
1	L	Benzin	31,0	8,6
1	m <sup>3</sup>	Erdgas	38,0	10,6
1	kg	Kohle	29,3	8,1
1	kg	Brennholz	15,8	4,4
1	kg	Wasserstoff	140,0	38,9
1	L	Bioethanol	21,6	6,0

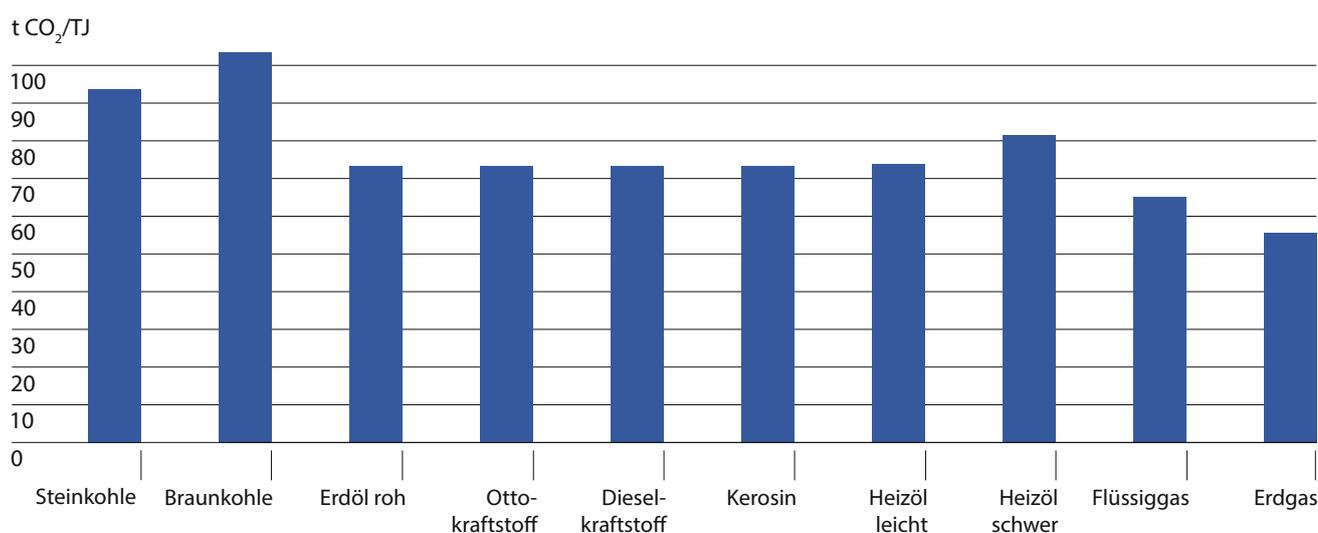
Der Transformationsprozess ist allerdings sehr langwierig, da die seit Jahrzehnten bestehende Abhängigkeit von den fossilen Energieträgern insbesondere im Verkehrsbereich groß ist. Damit werden die fossilen Energieträger auch in der absehbaren Zukunft einen bedeutenden Anteil an der Energieerzeugung haben, bis langfristig die Energiewende vollzogen ist und der Energiemix, also die Anteile der verschiedenen Energieträger an der erzeugten Energie, überwiegend von erneuerbaren Energien geprägt sein wird.<sup>11</sup>

Die Treibhausgas-Emissionen der einzelnen fossilen Energieträger sind in der Abbildung 6 gegenübergestellt. Es wird

deutlich, dass Kohle die höchsten Treibhaus-Emissionen pro TJ verursacht.

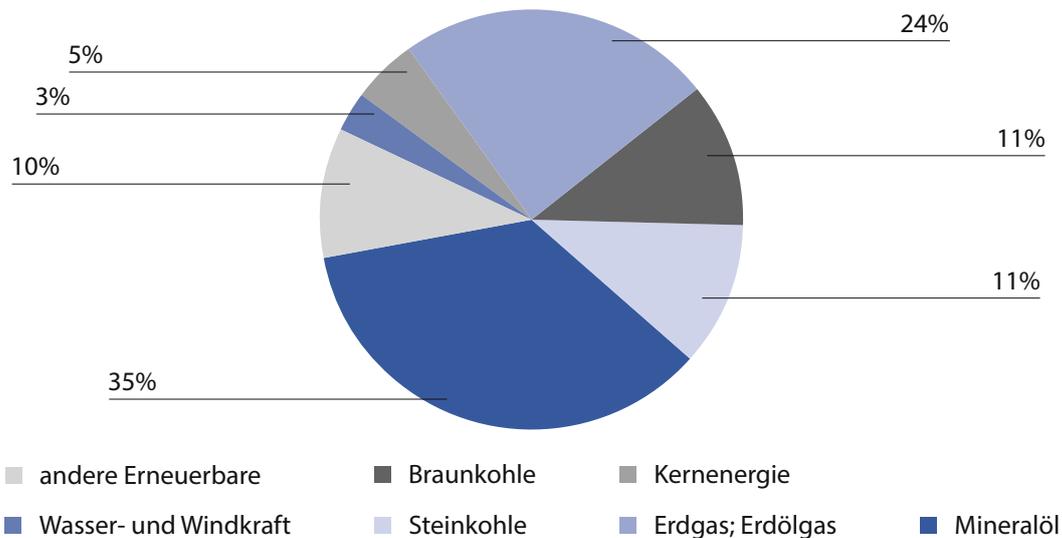
Zwischen der Energieeinheit Joule und den anderen Quantifizierungsgrößen (Liter Diesel, kWh Strom etc.) der Energieträger gibt es Zusammenhänge, die in folgender Tabelle dargestellt sind. Mit Hilfe dieser Umrechnungsfaktoren können Logistikunternehmen die wesentlichen Verbräuche an Energie in eine Einheit (Joule oder kWh) umrechnen, um so auch im Zeitablauf den Energieverbrauch insgesamt beurteilen und darstellen zu können.

Abbildung 6: Treibhaus-Emissionsfaktoren der fossilen Energieträger in Tonnen CO<sub>2</sub> pro Terrajoule<sup>12</sup>



<sup>11</sup> Vgl. BGR (2016), S. 5 <sup>12</sup> Eigene Darstellung nach UBA (2016), S. 45ff.

Abbildung 7: Anteile der einzelnen Energieträger am Primärenergieverbrauch in Deutschland<sup>13</sup>



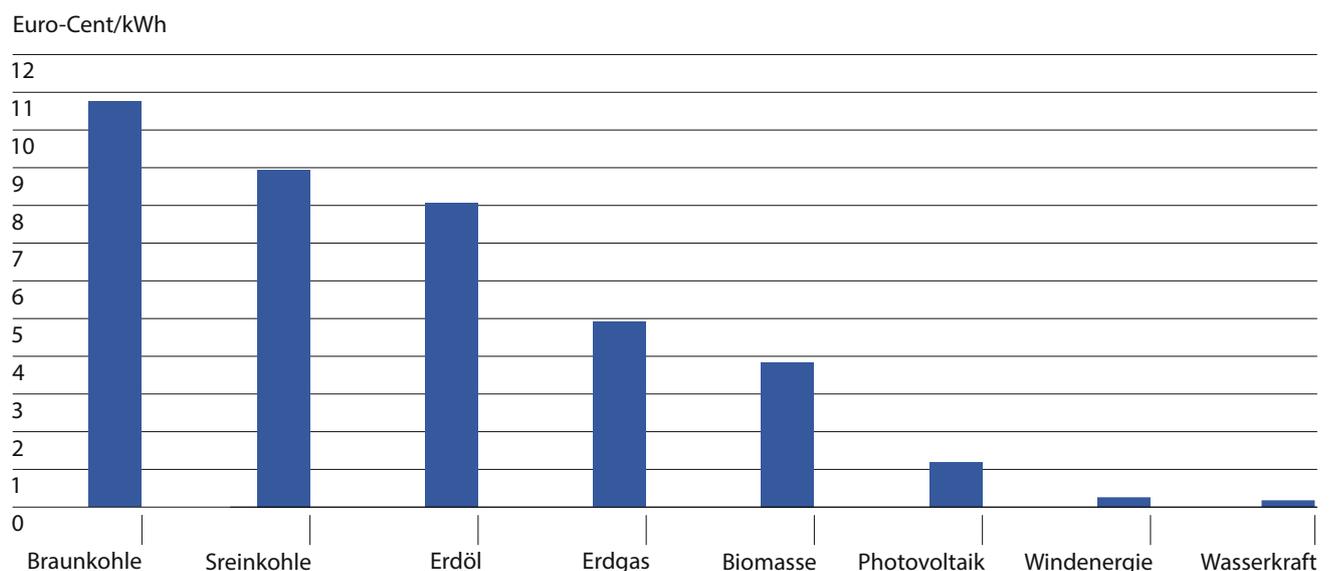
Die Abbildung 7 zeigt die Anteile der einzelnen Energieträger am Primärenergieverbrauch in Deutschland.

Das Umweltbundesamt (UBA) schätzt in regelmäßigen Abständen die Umweltkosten, die unter anderem mit der Stromerzeugung durch verschiedene Energieträgerarten zusammenhängen. Dabei werden die Folgekosten der Klimafolgeschäden durch den Ausstoß von Treibhausgas-Emissionen und Luftschadstoffe berücksichtigt. Hierzu gehören Gesundheitsschäden, Biodiversitätsverluste, Ernte- und Materialschäden. In Abbildung 8 sind die Umweltkosten der Strom-

erzeugung in Deutschland dargestellt. Es wird deutlich, dass die erneuerbaren Energien wesentlich weniger Umweltkosten verursachen als fossile Energieträger.<sup>14</sup>

Vor dem Hintergrund dieser Kostenunterschiede kann auch die politische Stoßrichtung zur Energiewende begründet werden. Insbesondere Logistikunternehmen, die im Transportbereich derzeit noch in hohem Maße von fossilen Energieträgern abhängig sind, dürften von weiteren politischen Vorgaben betroffen sein.

Abbildung 8: Umweltkosten der Stromerzeugung in Euro-Cent je Kilowattstunde<sup>15</sup>



<sup>13</sup> Eigene Darstellung nach BMWi (2018), o.S. <sup>14</sup> Vgl. UBA (2013), S. 4-7 <sup>15</sup> UBA (2013), S. 7; der Wert für Biomasse ist ein Durchschnittswert, da die Kosten herstellungsabhängig zwischen 0,3 und 7,2 Cent pro kWh liegen können.

### 2.2 Politisch-rechtliche Rahmenbedingungen

#### 2.2.1 Klimaziele

Klimaziele und Zielsetzungen zum Anteil erneuerbarer Energien und Energieeffizienzziele gibt es sowohl auf globaler, europäischer, nationaler sowie auf Landesebene. Eine detaillierte Darstellung der Klimaziele auf allen Ebenen findet sich im Anhang. An dieser Stelle werden die zentralen Zielsetzungen als Rahmen aufgeführt.

Wird im Kontext der Klima- und Energieziele über den Logistiksektor gesprochen, so fokussiert sich die Diskussion üblicherweise auf den Verkehr als dem besonders exponierten Leistungsbereich der Logistik. Lager- und Umschlagsleistungen hingegen sind selten Gegenstand der Diskussion.

Aufgrund seiner umwelt- und energiepolitischen Relevanz ist der Verkehrssektor auch einer der vier Sektoren der makroökonomischen Energiebilanz: <sup>16</sup>

- Industrie
- Haushalte
- Gewerbe, Handel, Dienstleistungen
- Verkehr (Personen- wie auch Güterverkehr)

Drei Hauptfaktoren führen dazu, dass vor allem der Güterverkehr mit Forderungen nach weniger Umweltbelastungen und einer höheren Energieeffizienz konfrontiert wird: <sup>17</sup>

- Verbrauch an fossilen Energien
- Emission von umwelt- und gesundheitsgefährdenden Stoffen, wie CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> und Feinstaub (Partikel mit einem maximalen Durchmesser von 10 Mikrometern (µm) (PM10) beziehungsweise 2,5 Mikrometern (PM2,5)) in erheblichem Umfang
- Lärmbelastung der Bevölkerung

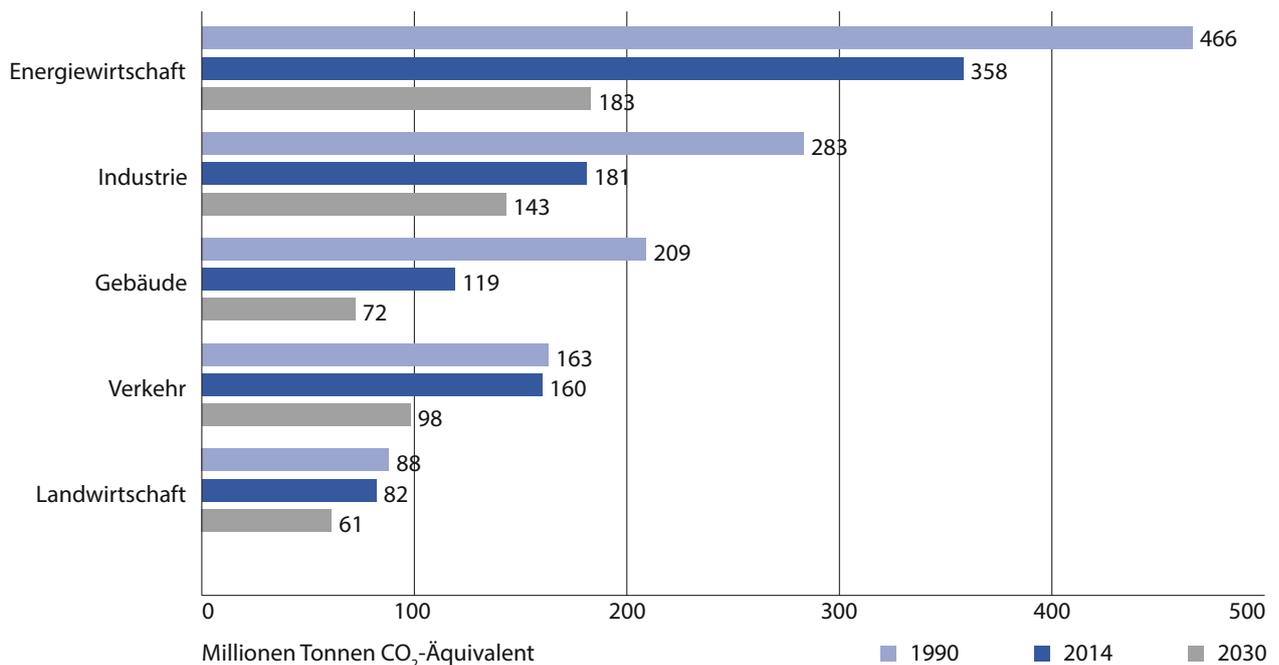
In Abbildung 10 sind die sektorbezogenen Klimaziele für Deutschland für das Jahr 2030 dargestellt.

Abbildung 9: Die Energie- und Klimaziele im Überblick <sup>18</sup>

	EU	Deutschland	Baden-Württemberg
Klimaschutz	Reduktion der THG-Emissionen zu 1990: <ul style="list-style-type: none"> <li>• 2030: 40%</li> <li>• 2050: 80%</li> </ul>	Reduktion der THG-Emissionen zu 1990: <ul style="list-style-type: none"> <li>• 2020: 40%</li> <li>• 2050: 80%</li> </ul>	Reduktion der THG-Emissionen zu 1990: <ul style="list-style-type: none"> <li>• 2030: 25%</li> <li>• 2050: 90%</li> </ul>
Erneuerbare Energien	Anteil erneuerbarer Energien am Endenergieverbrauch in der EU: <ul style="list-style-type: none"> <li>• 2030: mind. 27%</li> </ul>	Anteil erneuerbarer Energien am Bruttostromverbrauch in Deutschland: <ul style="list-style-type: none"> <li>• 2025: 35% – 40%</li> <li>• 2035: 55% – 60%</li> <li>• 2050: mind. 80%</li> </ul> Spezifische Ausbauziele für installierte Leistung: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Wind onshore: 2.500 MW/a</li> <li>• Wind offshore: bis 2020: 6.500 MW; bis 2030: 15.000 MW</li> <li>• Photovoltaik: 2.500 MW/a</li> <li>• Bioenergie: 100 MW/a</li> </ul>	Anteil erneuerbarer Energien am Bruttostromverbrauch in BW: <ul style="list-style-type: none"> <li>• 2020: 36%</li> <li>• 2050: 89%</li> </ul> Spezifische Ausbauziele für Anteile an der Stromerzeugung im Jahr 2020 (insg. 38% EE) durch: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Sonne: 12%</li> <li>• Wind: 10%</li> <li>• Wasserkraft: 8%</li> <li>• Bioenergie: 8%</li> </ul>
Energieeffizienz	Reduktion des Primärenergieverbrauchs: <ul style="list-style-type: none"> <li>• 2030: 27%</li> </ul>	Reduktion des Primärenergieverbrauchs zu 2008: <ul style="list-style-type: none"> <li>• 2020: 20%</li> <li>• 2050: 50%</li> </ul>	Reduktion des Endenergieverbrauchs zu 2010: <ul style="list-style-type: none"> <li>• 2020: 16%</li> <li>• 2030: 32%</li> <li>• 2040: 42%</li> <li>• 2050: 49%</li> </ul>

<sup>16</sup> Vgl. UBA (2016), S. 58 <sup>17</sup> Vgl. BMVI (2017), S. 38 <sup>18</sup> In Anlehnung an Ziegahn, K. et al. (2016), S. 30, Quellen siehe Text

Abbildung 10: Sektorziele im Klimaschutzplan 2050<sup>19</sup>



### Zielsetzung auf der Ebene „Europa“

Im Rahmen des Fahrplans zur CO<sub>2</sub>-armen Wirtschaft 2050 schlägt die EU vor, dass der Verkehrssektor seine Treibhausgas-Emissionen bis 2020 um 20 Prozent und bis 2050 um 60 Prozent im Vergleich zu 1990 senkt. Kurzfristig soll dazu die Kraftstoffeffizienz herkömmlicher Benzin- und Dieselfahrzeuge verbessert werden. Mittel- bis langfristig sollen verstärkt Plug-in-Hybrid- und Elektrofahrzeuge genutzt werden. Für den Luftverkehr und den Schwerlastverkehr, bei denen eine vollständige Umstellung auf Strom nicht möglich ist, ist die verstärkte Nutzung von Biokraftstoffen vorgesehen.<sup>20</sup> Das 60 Prozent-Reduktionsziel wird bereits im Weißbuch der Europäischen Kommission aus dem Jahre 2011 genannt. Dort werden Maßnahmen zur Erreichung eines solchen 60 Prozent-Reduktionsziels im Vergleich zu 1990 genannt.<sup>21</sup>

Um die Strategie hin zu einer emissionsarmen Mobilität in Europa umsetzen zu können, soll beispielsweise auch die Nutzung von Elektrofahrzeugen gefördert werden. Darüber hinaus wird etwa die Richtlinie über die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden dahingehend angepasst, dass eine Vorhaltung einer bestimmten Anzahl an elektrischen Ladestationen für Neubauten und ab 2025 auch für Bestandsbauten gefordert wird.<sup>22</sup>

### Zielsetzung auf der Ebene „Deutschland“

Im nationalen Energiekonzept 2010 für den Verkehr ist vorgesehen, den Endenergieverbrauch bis 2020 um zehn Prozent gegenüber dem Jahr 2005 zu senken und bis 2050 um 40 Prozent.<sup>23</sup> Die Maßnahmen zur Umsetzung sind im Aktionsplan Güterverkehr und Logistik enthalten. Ziel ist es, die Zukunft nachhaltig und effizient zu gestalten.

Ein Handlungsfeld dabei ist die Förderung eines umweltfreundlichen und energieeffizienten Güterverkehrs. Dabei stehen drei Maßnahmen im Fokus:<sup>24</sup>

1. Verbesserung des Lärmschutzes
2. Förderung alternativer Antriebstechnologien
3. Stärkung der städtischen Logistik

Diese Ziele finden sich auch im nationalen Klimaschutzplan 2050. Dort sollen die Treibhausgas-Emissionen des Verkehrs auf der Basis von 1990 bis 2050 168 Millionen auf weniger als 98 Millionen Tonnen CO<sub>2</sub>-Äquivalente, also um etwa 42 Prozent, reduziert werden.

### Zielsetzung auf der Ebene „Baden-Württemberg“

Im Integrierten Energie- und Klimaschutzkonzept sind die Klima- und Energieziele für den Verkehrssektor in Baden-Württemberg festgelegt. Bis 2020 sollen demnach die

<sup>19</sup> Vgl. BMU (2017), S. 22. <sup>20</sup> Vgl. Europäische Kommission (2017b) <sup>21</sup> Vgl. Europäische Kommission (2011), S. 10f. <sup>22</sup> Vgl. Europäische Kommission (2016), S. 6 <sup>23</sup> Vgl. BMWI (2010), S. 5 <sup>24</sup> Vgl. BMWI (2017), S. 40-45

## 2. Energie und Energieeffizienz im Überblick

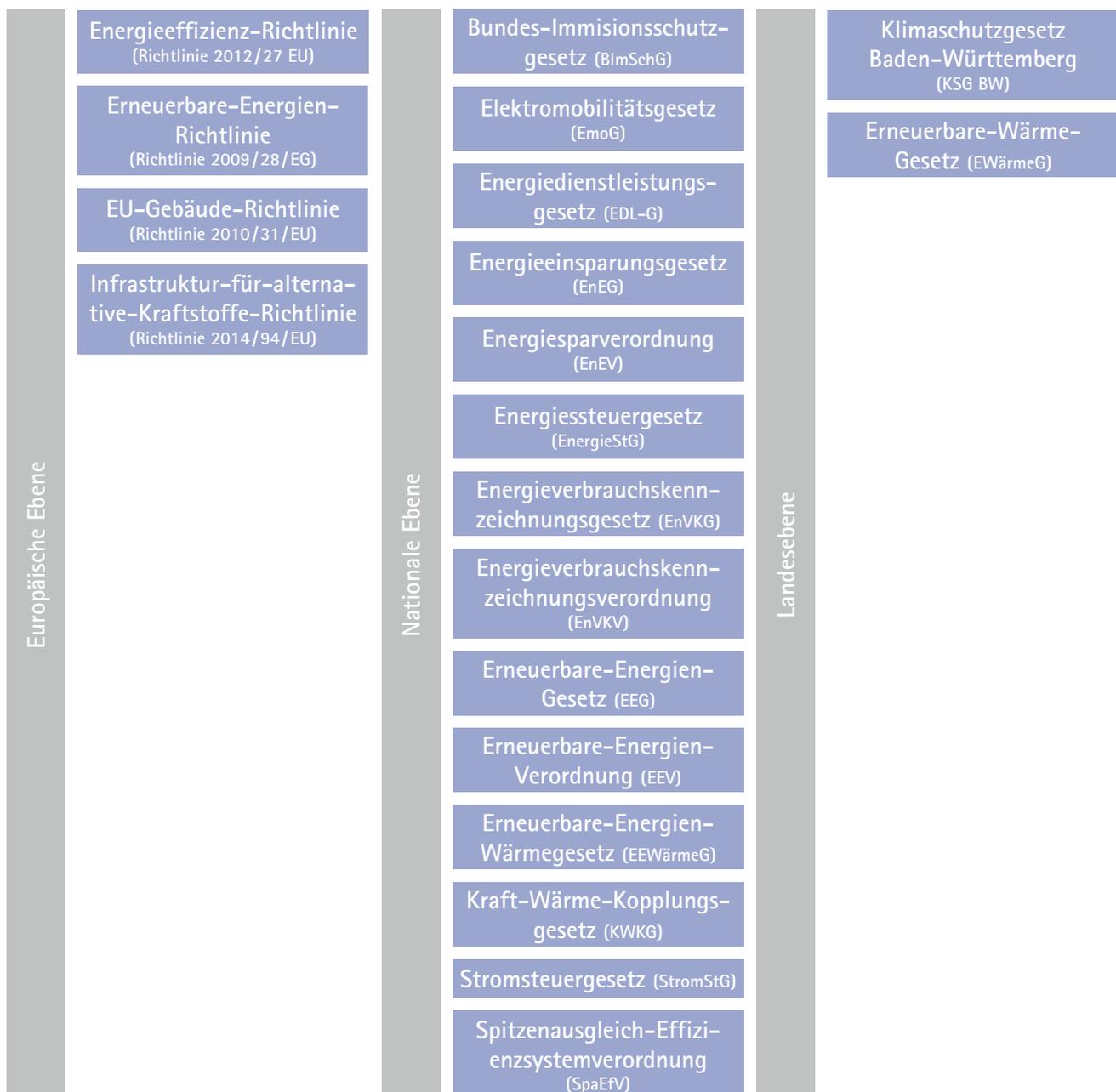
Treibhausgas-Emissionen im Vergleich zu 1990 um 20 bis 25 Prozent gesenkt werden. Bis zum Jahr 2050 sollen über alle Sektoren 90 Prozent der Treibhausgas-Emissionen zu 1990 reduziert werden. Für den Verkehrssektor entspricht dies einer Reduzierung um 70 Prozent. Um dieses Ziel zu erreichen, dienen fünf Ansatzpunkte als Orientierung:

- Verkehrsvermeidung
- Verlagerung auf umweltschonendere Verkehrsträger
- intelligente Vernetzung von Verkehrsströmen
- ökologisch verträglichere Gestaltung des Verkehrs
- Vorbildfunktion der Landesregierung

### 2.2.2 Einige wichtige gesetzliche Auflagen und steuerliche Entlastungsmöglichkeiten

Um die aufgeführten Ziele umsetzen zu können, sind entsprechende Richtlinien, Gesetze und Verordnungen auf den unterschiedlichen Ebenen erlassen worden. Abbildung 11 zeigt eine Auswahl der Gesetze und Verordnungen, welche auf den Ebenen Europa, Deutschland und Baden-Württemberg erlassen wurden.

Abbildung 11: Auswahl relevanter Gesetze und Verordnungen für Logistikunternehmen



### Literatur:

Eine vollständige Übersicht in Form einer Gesetzeskarte für das Energieversorgungssystem, die regelmäßig aktualisiert wird, stellt das BMWI auf seiner Internetseite<sup>25</sup> bereit.

### Steuerentlastung für Unternehmen in Sonderfällen (sogenannter Spitzenausgleich)

Um von Steuerentlastungen nach dem Energiesteuergesetz und dem Stromsteuergesetz<sup>26</sup> profitieren zu können, ist es seit 2013 Voraussetzung für große Unternehmen, das Energiemanagementsystem nach ISO 50001 oder das Umweltmanagementsystem nach EMAS anzuwenden. Für KMU ist der Nachweis eines Energieaudits nach DIN EN 16247 oder alternatives System nach der Spitzenausgleich-Effizienzsystemverordnung (SpaEfV) ausreichend.<sup>27</sup>

Wenn Sie als KMU des produzierenden Gewerbes den sogenannten Spitzenausgleich nach der Spitzenausgleich-Effizienzsystemverordnung wahrnehmen möchten, schaffen Sie mit dem Energie-Audit die Grundlage für den Nachweis durch eine Zertifizierungsstelle.

### Erneuerbare-Energien-Gesetz (Entlastungsmöglichkeiten)

Stromkostenintensive KMU und nicht-KMU mit einem Stromverbrauch von unter 5 GWh pro Jahr können durch einen Nachweis eines alternativen Systems zur Verbesserung der Energieeffizienz die Besondere Ausgleichsregelung (BesAR) nach dem Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG)2017 nutzen, um damit die EEG-Umlage zu reduzieren. Relevant ist dies für produzierende Unternehmen und Unternehmen des Schienenverkehrs. Auch hier spielt die Nachweispflicht eine Rolle. Besonders stromintensive Unternehmen sowie Schienenverkehrsunternehmen mit mehr als 5 GWh pro Jahr müssen für die Ermäßigung der EEG-Umlage das Vorhandensein von ISO 50001 oder EMAS nachweisen.<sup>28</sup>

### Die Qual der Wahl – Energieaudit, Energiemanagement oder EMAS?

Besteht eine Nachweispflicht für das Unternehmen, stellt sich die Frage, wie diese am besten zu erfüllen ist. Ist im Unternehmen noch kein Managementsystem vorhanden, bietet es sich gegebenenfalls an, ein Energieaudit nach DIN EN 16247 durchzuführen. Auch unabhängig von der Nachweispflicht ist ein Energieaudit ein guter Einstieg, um sich mit dem Thema Energie im Unternehmen zu befassen, da es zunächst einmal den Ist-Zustand festhält und als Ausgangspunkt für Energie-

spar- und Energieeffizienzmaßnahmen dienen kann. Darauf aufbauend kann das Energiemanagement nach ISO 50001 eingeführt werden. Besteht schon ein Managementsystem, kommt es darauf an, ob und welche(s) System(e) vorhanden sind. Verfügt das Unternehmen schon über ein Qualitätsmanagementsystem nach ISO 9001, bietet es sich an, zunächst das Energieaudit durchzuführen oder aber, wenn die entsprechenden Ressourcen zur Verfügung stehen, direkt ein Energiemanagementsystem nach ISO 50001 einzuführen. Bestehen schon ein Qualitätsmanagement nach ISO 9001 und ein Umweltmanagementsystem nach ISO 14001, ist es sinnvoll, ein Energiemanagementsystem nach ISO 50001 aufzubauen, da hier auf die Grundstruktur der Normen aufgebaut werden kann und die Integration der Managementsysteme leichter ist.

Ergänzend sei noch das Eco-Management and Audit Scheme – kurz EMAS genannt, das ebenfalls ein Umweltmanagementsystem ist. Jedoch wird EMAS mittlerweile vorwiegend von sozialen und nicht-wirtschaftlichen Trägern eingesetzt, weshalb hier nicht näher darauf eingegangen wird.<sup>29</sup>

<sup>25</sup> Vgl. <http://www.bmwi.de/> <sup>26</sup> Vgl. EnergieStG (2017), § 55 und StromStG (2016), § 10 <sup>27</sup> Vgl. SpaEfV (2014) <sup>28</sup> Vgl. EEG (2017), § 64, Absatz 1, Nummer 3 <sup>29</sup> Vgl. IHK Darmstadt (2017)

### 3.1 Effizienzmaßnahmen – Grundsätzliche Herangehensweise

Wie bereits aufgezeigt, ist es allein vor dem Hintergrund der politischen und rechtlichen Rahmenbedingungen für Logistikunternehmen zwingend erforderlich, sich mit dem Thema Klimawandel und entsprechenden Maßnahmen zur Anpassung beziehungsweise zur Vermeidung von Treibhausgas-Emissionen auseinanderzusetzen. Da ein Großteil dieser Treibhausgas-Emissionen mit dem Energieverbrauch zusammenhängen, kommt auch dem Thema Energieeffizienz in diesem Zusammenhang eine besondere Bedeutung zu. Die ambitionierten Ziele – sei es auf globaler, europäischer, nationaler oder sogar Landesebene – zeigen, welche Bedeutung der Thematik von Seiten der Politik mittlerweile beigemessen wird. Wenn es um die Zielerreichung geht, ist aber jeder Einzelne und jedes einzelne Unternehmen hinsichtlich der Umsetzung konkreter Maßnahmen gefragt und gefordert. Schließlich können durch eingesparte Energie und effizientere Gestaltung von Prozessen auch Kosten reduziert werden.

Mögliche Maßnahmen zur Steigerung der Energieeffizienz werden in den folgenden Kapiteln 3 bis 6 vorgestellt.

#### Das Richtige richtig tun

Purer Aktionismus ist dabei nicht ratsam. Vielmehr sollten die richtigen Maßnahmen unternehmensindividuell ausgewählt und auf die richtige Weise umgesetzt werden. Denn nicht jede Maßnahme ist für jedes Unternehmen geeignet. So sind zum Beispiel die Maßnahmen im Fuhrpark für einen Logistiker mit eigenem Fuhrpark besonders relevant, für einen Kontraktlogistiker stehen eher Maßnahmen zur Optimierung im Gebäude- und Lagerbereich im Vordergrund. Außerdem

können Wechselwirkungen zwischen einzelnen Maßnahmen bestehen, die in Kombination nicht zwingend zum gewünschten Ergebnis führen. So ist es unter Umständen nicht sinnvoll, zunächst einen 20 Jahre alten Heizkessel auszutauschen, um dann ein Jahr später damit anzufangen, die Außenfassade energetisch zu sanieren. Im Zweifel wäre nach der Sanierung ein kleinerer Wärmeerzeuger ausreichend gewesen und es hätten Zeit, Energie und Kosten eingespart werden können. Es ist also wichtig, zunächst das „Große Ganze“ zu betrachten und erst danach die weiteren Maßnahmen abzuleiten.

Generell gilt daher, sich vor der Umsetzung von Maßnahmen eingehend zu informieren und systematisch vorzugehen. Zunächst sollte der Status Quo mit Hilfe einer Ist-Analyse festgehalten und bestehende Stärken und Schwächen ermittelt werden. Darauf basierend gilt es, Potenziale zu ermitteln und entsprechende Maßnahmen abzuleiten, wirtschaftlich zu bewerten und zu priorisieren. Diese lassen sich in einem Energiekonzept zusammenfassen, das als Richtschnur für das weitere Vorgehen dient. Sind die Maßnahmen umgesetzt, ist es ebenso wichtig, den Erfolg (zum Beispiel reduzierter Energieverbrauch, geringere Energiekosten) kontinuierlich zu erfassen, zu überprüfen und – wenn nötig – weitere Maßnahmen zu ergreifen. Dabei kann es hilfreich sein, auf eine externe Beratung durch Experten zurückzugreifen.

#### KEFF – eine erste, wichtige und kostenfreie Anlaufstelle

Eine Anlaufstelle zur kostenfreien Sensibilisierung zum Thema Energieeffizienz in Unternehmen ist das „Regionale Kompetenzstellen Netzwerk Energieeffizienz“ (KEFF) in Baden-Württemberg und wird sowohl vom Land Baden-Württemberg, als auch aus Mitteln des Europäischen Fonds für regionale Entwicklung (EFRE) gefördert.

Abbildung 12: Ansatzpunkte zur Steigerung der Energieeffizienz in Logistikunternehmen



Als unabhängiger Ansprechpartner unterstützt KEFF vor allem kleine und mittlere Unternehmen dabei, Energieeffizienzmaßnahmen erfolgreich umzusetzen. Die KEFF-Effizienzmoderatoren initiieren, starten, unterstützen und begleiten gezielt Effizienzmaßnahmen vom ersten Gespräch, über die Umsetzung im Unternehmen bis zur Feststellung der konkreten Effizienzerfolge.

KEFF arbeitet neutral, unentgeltlich und ausschließlich im nicht-wettbewerblichen Bereich. Ziel ist es, nach der Erfassung möglicher Effizienzpotenziale die Berater, Planer und Umsetzer nach Bedarf mit einzubeziehen.

Die für Sie zuständige KEFF-Stelle sowie weitere Informationen finden Sie im Internet unter [www.keff-bw.de](http://www.keff-bw.de)

#### Erster Schritt: Energiepotenziale mithilfe von KEFF aufspüren

Besonders im Gebäudebereich ist es wichtig, nicht unbedacht loszulegen, sondern ein Energiekonzept zu entwickeln, um Fehlinvestitionen zu vermeiden. Hierzu bietet es sich an, als ersten Schritt kostenfreie Impulse durch die Effizienzmoderatoren einzuholen. Diese informieren und sensibilisieren zur Energieeffizienz im Unternehmen. Bei einem Rundgang durch das Unternehmen wird ein erster Ist-Zustand mit Auffälligkeiten und ersten Potenzialen festgehalten, sodass das Unternehmen eine genauere Vorstellung davon bekommen kann, an welchen Stellen angesetzt werden könnte und sollte. Die ganzheitliche Betrachtung beinhaltet dabei folgende Bereiche:

- Gebäudehülle und -infrastruktur
- Technische Gebäudeausrüstung (Lüftung, Heizzentrale, usw.)
- Querschnittstechnologien (elektrische Antriebe, Druckluft, Beleuchtung, Wärmerückgewinnung, usw.)
- Produktionsprozesse
- Organisatorische Maßnahmen (Energiebeschaffung, Informationen zu Schulungsangeboten)
- Managementsysteme (Energie-/Umweltmanagementsysteme, Spitzenlastmanagement)

#### Zweiter Schritt: Fachexperten einbinden

Als zweiten Schritt können Fachexperten bzw. Energieberater kontaktiert und beauftragt werden, um ein Energiekonzept für das Unternehmen zu entwickeln oder Einzelmaßnahmen detailliert zu analysieren.

#### Tipp: Fachexpertensuche

Bei der Suche nach Fachexperten helfen Ihnen die KEFF-Energieeffizienzmoderatoren gerne weiter. Alternativ können Sie sich zum Beispiel unter [www.consultare-bw.de](http://www.consultare-bw.de), [\[finder.IHK.de\]\(http://finder.IHK.de\) und \[www.energie-effizienz-experten.de\]\(http://www.energie-effizienz-experten.de\) einen passenden Fachexperten suchen](http://www.eco-</a></p></div><div data-bbox=)

#### Literatur:

Was einen guten Energieberater auszeichnet und wie sich das Unternehmen auf die Energieberatung vorbereiten kann, hat die DENA in einem Leitfaden „Energieberatung in Industrie und Gewerbe. Der Schlüssel zum Kostensenken.“ Zusammengefasst. Der Leitfaden ist unter [www.dena.de](http://www.dena.de) abrufbar.

#### Tipp: Förderprogramm „Energieberatung im Mittelstand“

Für die Energieberatung stehen im Rahmen des Förderprogramms „Energieberatung im Mittelstand“ Fördermittel zur Verfügung. Die Höhe der Fördermittel ist von den Energiekosten des Antragstellers abhängig. Maximal können 80 Prozent durch das Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle (BAFA) gefördert werden.

#### Dritter Schritt: Aufnahme des Ist-Zustands – Maßnahmenplan

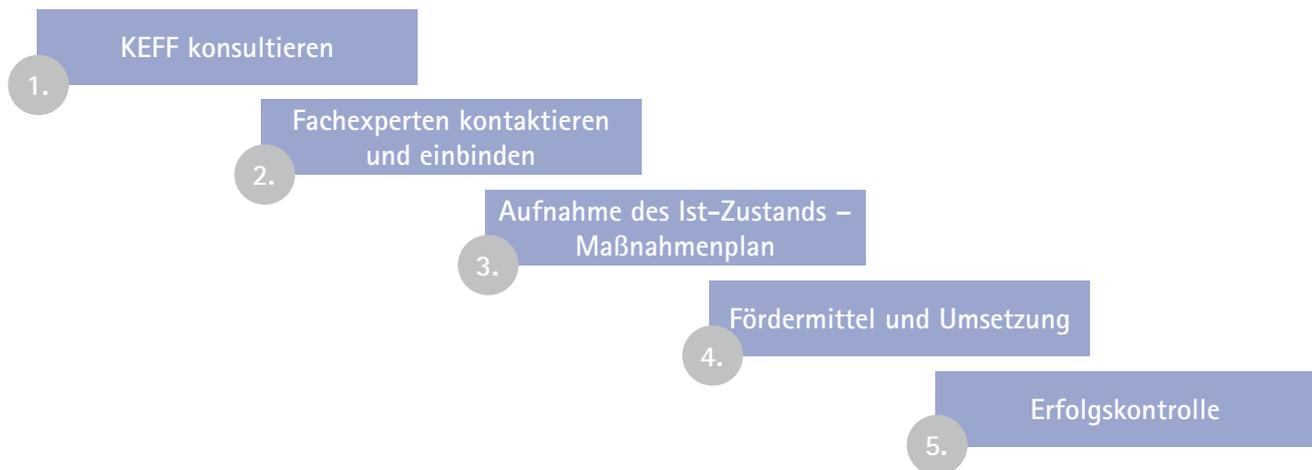
Im dritten Schritt nimmt der beauftragte Fachexperte/Energieberater den **Ist-Zustand** detailliert auf und entwickelt verschiedene **Konzepte**, die auf das Unternehmen individuell zugeschnitten sind. Zum Beispiel können diese im Bereich Beleuchtung von einem Austausch der Leuchtmittel, über ein komplett neues Beleuchtungssystem bis hin zu einem Beleuchtungsmanagementsystem reichen. Der Experte führt außerdem **Wirtschaftlichkeitsrechnungen** für jede mögliche Maßnahme durch, sodass im Anschluss ein **Maßnahmenplan** beschlossen werden kann. Der Berater kann bei der weiteren **Umsetzung** als Ansprechpartner dienen und die verschiedenen Dienstleister koordinieren.

#### Vierter Schritt: Fördermittel und Umsetzung

Ist der Maßnahmenplan auf Basis der entwickelten Konzepte erstellt, sollte sich das Unternehmen auf die Suche nach entsprechenden Förderprogrammen begeben und die mit den Programmen verbundenen Fördermittel beantragen. Bei der Suche und Antragsstellung kann der Energieberater ebenfalls unterstützen. Nach erfolgter Bewilligung von Fördermitteln kann die Umsetzung des Maßnahmenplans beginnen. In Zusammenarbeit mit dem Energieexperten sollte deshalb vor der Umsetzung die Möglichkeit geprüft werden, Fördermittel in Anspruch zu nehmen. Erste Informationen zu möglichen Programmen gibt es unter: [www.foerderdatenbank.de/](http://www.foerderdatenbank.de/)

*Achtung: Bei den meisten Förderprogrammen muss zuerst der Antrag gestellt und die Bewilligung erteilt werden. Erst dann darf mit der Maßnahme begonnen werden.*

Abbildung 13: Ablauf Modernisierungsmaßnahme



### Fünfter Schritt: Erfolgskontrolle

Am Ende geht es im fünften Schritt um die **Erfolgskontrolle**. Nach der Umsetzung von Energieeffizienzmaßnahmen ist es wichtig, den Effizienzprozess nicht einfach enden zu lassen. Vielmehr ist es nötig, den Erfolg der umgesetzten Maßnahmen regelmäßig zu überprüfen. Einerseits können so weitere Potenziale genutzt werden und andererseits wird damit Fehlentwicklungen vorgebeugt. Zum Beispiel muss ein erhöhter Energieverbrauch nicht zwangsläufig auf ein steigendes Auftragsvolumen zurückzuführen sein. Es könnte auch sein, dass eine neue, hocheffiziente Anlage mit nun längeren Betriebszeiten dafür sorgt, dass der Verbrauch steigt. Ein weiteres Beispiel ist eine neu installierte LED-Beleuchtung. Weil diese effizienter ist, könnte dies dazu verleiten, das Licht länger brennen zu lassen als nötig und somit den Energieverbrauch wieder zu steigern, was den gewünschten Einspareffekt zunichtemachen würde.

### 3.2 Effizienzmaßnahmen lohnen sich

Ein wichtiger Faktor bei der Entscheidung für oder gegen die Umsetzung einer Energieeffizienzmaßnahme ist die Wirtschaftlichkeit. Die Frage, ob Maßnahmen „sich rechnen“, ist für jeden Unternehmer zentral. Einer Studie nach sind die größten Hemmnisse zur Umsetzung von Energieeffizienzmaßnahmen zu hohe Amortisationszeiten und fehlende Wirtschaftlichkeit.<sup>30</sup>

Die Amortisationszeit gibt an, wie lange es dauert, bis die getätigte oder geplante Investition wieder zurückgeflossen ist. Sie lässt sich wie folgt berechnen:<sup>31</sup>

$$\frac{\text{Investition in Euro}}{\text{Kosteneinsparung in € pro Jahr}} = \text{Amortisationszeit in Jahren}$$

Allerdings wird bei der Amortisation nicht berücksichtigt, welche Erträge oder Einsparungen nach der Amortisationszeit entstehen.

Als weitere Größe zur Berechnung der Auswirkung auf das Unternehmensergebnis kann auch ein entsprechendes Umsatzäquivalent ermittelt werden. Dabei wird berechnet, wie viel Umsatz bei einer bestimmten Rendite erzielt werden müsste, um den Wert der Einsparung zu erreichen. Folgendes Beispiel aus dem Bereich Beleuchtung dient zur Verdeutlichung.

In dem in Abbildung 14 gezeigten Beispiel hat das Unternehmen als Ausgangspunkt einen jährlichen Energieverbrauch für die Beleuchtung von 39.823 kWh. Dafür entstehen Energiekosten in Höhe von 7.168 Euro. Nach der Umrüstung der Leuchtmittel auf LED-Technik beträgt der jährliche Energieverbrauch nur noch 14.000 kWh. Die Energiekosten belaufen sich entsprechend auf 2.520 Euro. Es werden 25.823 kWh weniger verbraucht und die Energiekosten sinken um 4.648 Euro pro Jahr. Zudem werden 15.468 Kilogramm CO<sub>2</sub> eingespart. Für die Umrüstung müssen insgesamt 12.670 Euro investiert werden. Das Beispiel-Unternehmen erwirtschaftet außerdem bei einer Umsatzrentabilität von fünf Prozent und einem Umsatz von einer Million Euro einen Nettogewinn in Höhe von 50.000 Euro pro Jahr.

Die Amortisationszeit der LED-Leuchtmittel beträgt 2,7 Jahre. Eine Einsparung von 5.000 Euro entspricht dem Nettogewinn, so dass für den gleichen Effekt ein Umsatz von 100.000 Euro generiert werden müsste. Das Beispiel zeigt also, dass es wichtig ist, nicht nur die Amortisationszeit als Entschei-

<sup>30</sup> Vgl. Günthner, A., Freis, J. (2015), S. 8 <sup>31</sup> Vgl. Pape, U. (2015)

### 3. Potenziale zur Steigerung der Energieeffizienz in Gebäuden

Abbildung 14: Beispiel für die Einsparung von Energiekosten durch Leuchtmitteltausch<sup>32</sup>

IST Zustand - Vorhandene Leuchtmittel									
Leuchtmittel	Objektbereich	Stück	Betriebsstunden	Leistung Leuchtmittel	Leistung Starter	Gesamtleistung	Stromverbrauch	Stromkosten	
T8 Leuchtstoffröhre 150cm	Maschinenhalle	160	2.500	58 Watt	13 Watt	71 Watt	28.400 kWh	5.112 €	
T8 Leuchtstoffröhre 150cm	Flure	25	1.800	58 Watt	13 Watt	71 Watt	3.195 kWh	575 €	
T8 Leuchtstoffröhre 150cm	Arbeitsplätze	50	1.800	58 Watt	13 Watt	71 Watt	6.390 kWh	1.150 €	
T8 Leuchtstoffröhre 60cm	Büros	50	1.750	18 Watt	3 Watt	21 Watt	1.838 kWh	331 €	
Der Wechsel der Leuchtmittel wird hierbei vernachlässigt!							<b>39.823 kWh</b>	<b>7.168 €</b>	
SOLL Zustand - Umrüstung auf LED-Technik									
Leuchtmittel	Objektbereich	Stück	Betriebsstunden	Leistung Leuchtmittel	Leistung Starter	Gesamtleistung	Stromverbrauch	Stromkosten	
T8 LED-Röhre, 23 Watt	Maschinenhalle	160	2.500	23 Watt	0	23 Watt	9.200 kWh	1.656 €	
T8 LED-Röhre, 23 Watt	Flure	25	1.800	23 Watt	0	23 Watt	1.035 kWh	186 €	
T8 LED-Röhre, 29 Watt	Arbeitsplätze	50	1.800	29 Watt	0	29 Watt	2.610 kWh	470 €	
LED-Panel, 33 Watt	Büros	20	1.750	33 Watt	0	33 Watt	1.155 kWh	208 €	
							<b>14.000 kWh</b>	<b>2.520 €</b>	
Einsparungen und Amortisationsberechnung									
Leuchtmittel	Kosten der LED-Technik	Montagekosten	Gesamtkosten	Einsparung			Amortisationszeit (ROI)	Strompreis	
T8 LED-Röhre, 23 Watt	5.600 €	1.120 €	6.720 €	19.200 kWh	3.456 €	11.635 kg CO2		0,18 Euro/kWh	
T8 LED-Röhre, 23 Watt	875 €	175 €	1.050 €	2.160 kWh	389 €	1.309 kg CO2			
T8 LED-Röhre, 29 Watt	1.750 €	350 €	2.100 €	3.780 kWh	680 €	2.291 kg CO2			
LED-Panel, 33 Watt	2.200 €	600 €	2.800 €	683 kWh	123 €	414 kg CO2			
Amortisation ohne Fördermittel berechnet			<b>10.425 €</b>	<b>2.245 €</b>	<b>12.670 €</b>	<b>25.823 kWh</b>	<b>4.648 €</b>	<b>15.648 kg CO2</b>	<b>2,7 Jahre</b>

Abbildung 15: Auch kleine Effizienzmaßnahmen lohnen sich<sup>33</sup>

NICHT NUR DIE AMORTISATIONSZEIT IST WICHTIG!

Stromkosten	Einsparung		Amortisationszeit (ROI)	Strompreis	
6.720 €	19.200 kWh	3.456 €		11.635 kg CO2	0,18 Euro/kWh
1.050 €	2.160 kWh	389 €		1.309 kg CO2	
2.100 €	3.780 kWh	680 €		2.291 kg CO2	
2.800 €	683 kWh	123 €		414 kg CO2	
<b>12.670 €</b>	<b>25.823 kWh</b>	<b>4.648 €</b>	<b>15.648 kg CO2</b>	<b>0,606 kg CO2/kWh</b>	

Einsparung ≈ Nettogewinn

$$\text{Nettogewinn} = \text{Umsatz} \times \text{Rentabilität}$$

Nettogewinn	Umsatzrentabilität	(Mehr-) Umsatz
1.000 €	5 %	20.000 €
1.000 €	5 %	100.000 €
10.000 €	5 %	200.000 €
50.000 €	5 %	1.000.000 €

→ Auch kleine Energieeffizienzmaßnahmen lohnen sich!

dungsgrundlage für die Umsetzung einer Maßnahme heranzuziehen. Weiterhin verdeutlicht das Beispiel, dass sich die Investition in Energieeffizienzmaßnahmen, in diesem Fall die Umrüstung auf LED-Technik, oftmals lohnt, da der Aufwand für eine Umsatzsteigerung mit vergleichbarem wirtschaftlichem Nutzen viel höher wäre. Dies verdeutlicht Abbildung 15. Ergänzend kommt gerade bei LED-Beleuchtung hinzu, dass diese weitaus seltener erneuert werden müssen und somit der Wartungsaufwand deutlich verringert wird.

### 3.3 Ausgangssituation in Logistikunternehmen

Etwa 45 Prozent der Kosten der Logistik hängen mit Transporten zusammen, weshalb die meiste Aufmerksamkeit zur Kostensenkung auf diesem Bereich liegt. Weniger im Fokus stehen allerdings die Aktivitäten in Lager und Umschlag. Gerade vor dem Hintergrund ihrer Bedeutung für die Logistikkosten ist

dies schwer nachvollziehbar, machen sie doch einen Anteil von einem Drittel an den gesamten Logistikkosten aus.<sup>34</sup> Und auch bezogen auf die Energieverbräuche bestehen im „stationären Bereich“ erhebliche Potenziale. Auch hier bestehen Ansätze, um den Energieverbrauch und den damit verbundenen Ausstoß von Treibhausgas-Emissionen zu reduzieren.<sup>35</sup> Der Energieverbrauch von Logistikzentren ist dabei auch vom Technisierungsgrad abhängig. Insbesondere bei manuell betriebenen Lagern mit geringem Technikeinsatz zur Prozessabwicklung hat das Gebäude den größten Einfluss auf den Energiebedarf. Dementsprechend hoch sind hier die Potenziale zur Steigerung der Energieeffizienz.<sup>36</sup>

Im Allgemeinen muss ein Gebäude die Nutzerbedürfnisse sowie eine Schutzfunktion gegenüber Witterungseinflüssen (Kälte, Frost, Hitze, Sonneneinstrahlung, Luft- und Bodenfeuchte, Wind) sowie Schall- und Brandschutz, unter Einhaltung der EnEV, erfüllen. In energieeffizienten Gebäuden sollen diese Funktionen mit minimalem Einsatz von Energie erfüllt

<sup>32</sup> Knayer, T., Koci, S. (2017), S. 12, 13 <sup>33</sup> Knayer, T., Koci, S. (2017) <sup>34</sup> Vgl. zu den Zahlen Schwemmer, M. (2016), S. 70

<sup>35</sup> Günthner, A., Freis, J. (2015), S. 6 <sup>36</sup> Vgl. Vohlidka, P., Freis, J. (2014), S. 22,23

Abbildung 16: Ablauf KEFF-Check<sup>37</sup>



→ Aktuelle Beraterdatenbank:

- Baden-württembergischer Energie- und Materialeffizienzberater / innen: [www.consultare-bw.de](http://www.consultare-bw.de)
- Deutsche Energieagentur (Dena): [www.dena.de](http://www.dena.de) / [www.energie-effizienz-experten.de](http://www.energie-effizienz-experten.de)
- Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle (Bafa): [www.bafa.de](http://www.bafa.de)
- IHK Ecofinder: [www.ecofinder.IHK.de](http://www.ecofinder.IHK.de)

werden. Energieeffizienz in Gebäuden umfasst ein breites Spektrum, bedeutet aber vor allem eine „Minimierung des Wärmebedarfs und dessen effiziente Deckung“<sup>38</sup>. Dabei sollte das Gebäude stets als Gesamtsystem betrachtet werden.

Innerhalb der EU werden 40 Prozent des Gesamtenergieverbrauchs für Gebäude aufgewendet. Vor diesem Hintergrund sah bereits die EU-Gebäuderichtlinie (Energy Performance of Buildings Directive, EPBD) aus 2010 vor, dass ab 2021 alle Neubauten die Anforderungen eines Niedrigstenergiegebäudes erfüllen. Demnach müssen (Logistik-) Gebäude zukünftig eine hohe Gesamtenergieeffizienz haben, Energie aus erneuerbaren Energien beziehen und möglichst CO<sub>2</sub>-arm betrieben werden.<sup>39</sup> Dabei sind die ausgestoßenen Emissionen proportional vom Energieverbrauch des Gebäudes abhängig. Daraus folgt, dass mit sinkendem Energieverbrauch nicht nur die Emissionen reduziert, sondern auch Energiekosten eingespart werden können.<sup>40</sup> Im Juni 2018 wurde die EU-Gebäuderichtlinie 2018 (EU 2018/844) veröffentlicht. Sie ist im Juli 2018 in Kraft getreten und die Mitgliedsländer müssen sie innerhalb von 20 Monaten in nationales Recht umsetzen.

Aufgrund der Nutzungsdauer von Gebäuden ist die besondere Herausforderung, dass viele Maßnahmen zur Steigerung der Energieeffizienz langfristiger Investitionen bedürfen und teilweise nur dann wirtschaftlich sinnvoll umsetzbar sind, wenn es sich um einen Neubau handelt.<sup>41</sup> Dies wirkt besonders auf KMU abschreckend. So werden nach einer Umfrage unter Logistikunternehmen Maßnahmen in Mietobjekten selten umgesetzt. Beispielsweise wird die Gebäudehülle von Bestandsgebäuden selten neu gedämmt.<sup>42</sup> Neben wirtschaftlichen Gründen, stellen fehlendes Wissen sowie fehlende Akzeptanz weitere Hemmnisse zur Umsetzung von Maßnahmen zur Energieeffizienzsteigerung im Gebäude dar. Oft fehlen auch geeignete Methoden und Werkzeuge, um den Energiebedarf und die Emissionen und Verbräuche zu messen und festzuhalten. Dementsprechend groß ist der Handlungsbedarf.<sup>43</sup>

Unterstützung finden Betriebe aus der Region Stuttgart bei der regionalen Kompetenzstelle Energieeffizienz (KEFF). Der Ablauf eines KEFF-Checks ist in Abbildung 16 dargestellt.

Wie bereits dargestellt, ist es wichtig, das Unternehmen ganzheitlich zu betrachten, bevor Maßnahmen zur Steigerung der Energieeffizienz ergriffen werden. Bei einer ganzheitlichen Sanierung ist eine Einsparung der Energiekosten von bis zu 80 Prozent möglich.<sup>44</sup>

In diesem Kapitel liegt der Fokus auf den Potenzialen zur Steigerung der Energieeffizienz in Gebäuden. Neben dem technischen Energiemanagement werden die relevanten Gebäudebereiche (Beleuchtung, Heizung, Klimatisierung und Kältetechnik, Druckluft, Energieeigenerzeugung) betrachtet. Es werden dabei jeweils, soweit zutreffend, Maßnahmen für Bestands- und Neubauten sowie Mitarbeitersensibilisierung und Automatisierung berücksichtigt. Maßnahmen innerhalb des Lagers beziehungsweise in der Intralogistik sind in Kapitel 4 zu finden.

#### Unterschied zwischen Eigentum und Mietobjekt:

Eine Besonderheit, die es beim Herangehen an Energieeffizienzmaßnahmen außerdem zu berücksichtigen gilt, ist das Eigentumsverhältnis. Im Gebäudebereich ist es von essenzieller Bedeutung, ob es sich bei der Immobilie um Eigentum oder ein Mietobjekt handelt. Sofern es sich um Eigentum handelt, sind die Gestaltungsmöglichkeiten freier und größer beziehungsweise nur durch das zur Verfügung stehende Budget beschränkt. Bei Mietobjekten ist eine gebäudetechnische Veränderung nicht ohne weiteres möglich. Hier muss der Vermieter einbezogen werden, der als Gebäudeeigentümer verantwortlich ist. Eine Herausforderung dabei ist das sogenannte Mieter-Vermieter-Dilemma, da „eine energietechnische Optimierung vermieteteter Gebäude zu Lasten der investierenden Gebäudeeigentümer und aufgrund der sinkenden Betriebskosten zu Gunsten der Mieter geht. Aus verständlichen Gründen reduziert dies die

<sup>37</sup> Knayer, T., Koci, S. (2017). <sup>38</sup> Jochum, P., Pehnt, M. (2010), S. 197 <sup>39</sup> Vgl. EU (2010a), S. 13, 21 <sup>40</sup> Vgl. Günthner, A., Freis, J. (2015), S. 19 <sup>41</sup> Vgl. Jochum, P., Pehnt, M. (2010), S. 198 <sup>42</sup> Vgl. Günthner, A., Freis, J. (2015), S. 33 <sup>43</sup> Vgl. Günthner, A., Freis, J. (2015), S. 48 <sup>44</sup> Vgl. Knayer, T., Koci, S. (2017), S. 1

Motivation der Vermieter, entsprechende Schritte einzuleiten, was sicherlich eine der Ursachen für die langen Erneuerungs- und Modernisierungszyklen ist.“<sup>45</sup>

Aber auch, wenn Energieeffizienzmaßnahmen umgesetzt werden, können Probleme entstehen. Ein Beispiel ist die Beleuchtung. Bei einem Mietobjekt passt die vorhandene Beleuchtung gegebenenfalls nicht zur Arbeits- und Betriebsweise des Mieters. Werden Änderungen vorgenommen, ist auch hier gegebenenfalls wieder ein Rückbau beim Verlassen des Mietobjektes nötig.

Ebenfalls sollte bei Mietobjekten auf den wirtschaftlichen Anlagenbetrieb geachtet werden. Ein Beispiel dafür ist das Zusammenspiel von Heizung und Kühlung. Es ist wichtig, dass diese aufeinander abgestimmt sind und nicht etwa ein Raum gleichzeitig geheizt und gekühlt wird (häufig bei nachgerüsteter Umluftkühlung in der Übergangszeit). Dies wäre nicht nur Energieverschwendung, sondern ein maßgeblicher Kostenfaktor in der Nebenkostenabrechnung.

#### Literatur:

Das Ministerium für Klima, Umwelt und Energie Baden-Württemberg hat 2014 einen Leitfaden mit zahlreichen Erfolgsbeispielen aus dem Land zum Thema Energieeffizienz in Unternehmen herausgegeben. Dieser deckt alle relevanten Gebäudebereiche ab und ist unter folgendem Link zugänglich: [http://www.kea-bw.de/uploads/tx\\_ttproducts/dataset/88\\_EnEff\\_Unternehmen.pdf](http://www.kea-bw.de/uploads/tx_ttproducts/dataset/88_EnEff_Unternehmen.pdf)

#### 3.4 Managementsystem und organisatorische Maßnahmen

Unabhängig davon, ob es sich bei dem Logistikobjekt um einen Neubau oder ein Bestandsgebäude, ein Mietobjekt oder um Eigentum handelt, sollte in jedem Fall der Energieverbrauch am Standort gemessen, im Zeitablauf beobachtet und möglichst auch gesteuert werden. Mit einem Energiemanagement können beispielsweise die Energiekosten reduziert, die Wettbewerbsfähigkeit verbessert, die Umwelt geschützt und die Außendarstellung verbessert werden. Außerdem erhält man Transparenz über die Energieverbräuche, kann die Energiekosten verursachergerecht zuordnen oder Förderungen und gesetzliche Erleichterungen erhalten. Dabei unterstützt eine Energiemanagementsoftware (Technisches Energiemanagement), die der systematischen Erfassung, der Analyse und der Dokumentation der Energieverbrauchsdaten sowie aller weiteren energierelevanten Unternehmensdaten aus beispielsweise Warenwirtschaft, Betriebsdatenerfassung und Facilitymanagement dient.

Zentrales Thema beim technischen Energiemanagement ist das Lastmanagement. Beim Lastmanagement wird zwischen innerbetrieblichem und übergreifendem Lastmanagement unterschieden.

Viele Unternehmen beachten den Energieverbrauch erst, wenn Auffälligkeiten oder Abweichungen festgestellt werden. Dabei sind Energieeinsparungen auch schon bei konstantem Energieverbrauch möglich. Wird zum Beispiel auch am Wochenende das Büro geheizt, obwohl in dieser Zeit niemand dort arbeitet, fällt dieser Verbrauch nur auf, wenn entsprechende Zähler oder Kontrollsysteme in der Anlage installiert sind.

Auch bei der Ursachenfindung eines höheren Stromverbrauchs sind Unterzähler hilfreich. Wird der erhöhte Stromverbrauch beispielsweise einer höheren Auftragsmenge zugeschrieben oder könnte dieser Mehrverbrauch aber auch an neuen Mitarbeitern liegen, die ein anderes Energieverhaltensverhalten haben. Mit der Hilfe entsprechender Messsysteme kann dies konkret gemessen und überprüft werden.

Ein weiteres Beispiel ist der Austausch einer alten gegen eine neue, energieeffiziente Anlage. Hier sollte der Verbrauch eigentlich sinken. Wird die effiziente Anlage jedoch mit verlängerten Betriebszeiten eingesetzt, beispielsweise weil diese aufgrund eines geringeren Lärmpegels nun auch nachts eingesetzt werden darf, kann der Verbrauch steigen.

#### Tipp: Energieverbrauch beachten<sup>46</sup>

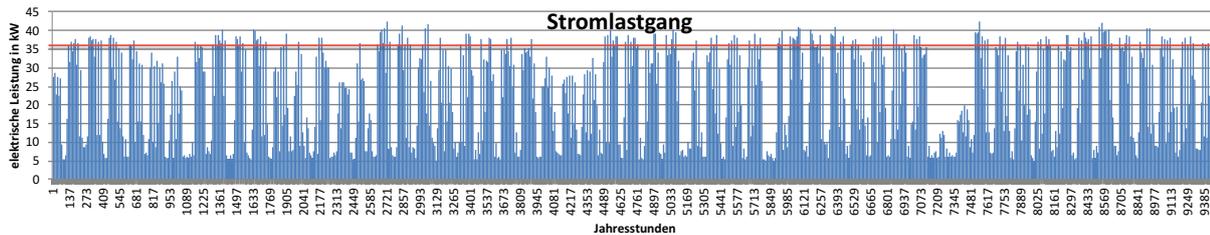
Viele Unternehmen beachten den Energieverbrauch erst, wenn Auffälligkeiten oder Abweichungen festgestellt werden. Dabei sind Energieeinsparungen auch schon bei konstantem Energieverbrauch möglich. Wird zum Beispiel auch am Wochenende das Büro geheizt, obwohl in dieser Zeit niemand dort arbeitet, fällt dieser Verbrauch nur auf, wenn entsprechende Zähler oder Kontrollsysteme in der Anlage installiert sind.

Auch bei der Ursachenfindung eines höheren Stromverbrauchs sind Unterzähler hilfreich. Wird der erhöhte Stromverbrauch beispielsweise einer höheren Auftragsmenge zugeschrieben oder könnte dieser Mehrverbrauch aber auch an neuen Mitarbeitern liegen, die ein anderes Energieverhaltensverhalten haben. Mit der Hilfe entsprechender Messsysteme kann dies konkret gemessen und überprüft werden.

Ein weiteres Beispiel ist der Austausch einer alten gegen eine neue, energieeffiziente Anlage. Hier sollte der Verbrauch eigentlich sinken. Wird die effiziente Anlage jedoch mit verlängerten Betriebszeiten eingesetzt, beispielsweise weil diese aufgrund eines geringeren Lärmpegels nun auch nachts eingesetzt werden darf, kann der Verbrauch steigen.

<sup>45</sup> Jochum, P., Pehnt, M. (2010), S. 199 <sup>46</sup> Vgl. Paschotta, R. (2017).

Abbildung 17: Energiebeschaffung und Spitzenlastmanagement<sup>47</sup>



Mittelwert **13,15 kW**                      Max. Leistung **43,65 kW**

Erreichte Grenzwerte in Stunden pro Jahr	vermeidbare Spitzenleistung	Kosten bereitgestellte Leistung	Bemerkung
8 Viertelstundenwerte größer als 43 kW	0,652 kW	18 €/kW je Monat	141 €/a bei Überschreitung im Januar
28 Viertelstundenwerte größer als 42 kW	1,65 kW	18 €/kW je Monat	357 €/a bei Überschreitung im Januar
199 Viertelstundenwerte größer als 40 kW	3,65 kW	18 €/kW je Monat	789 €/a bei Überschreitung im Januar

#### Tipp: Spitzenlasten vermeiden

Eine Last ist die elektrische Leistung, die dem Stromnetz entnommen wird. Der zeitabhängige Leistungsbedarf wird als Lastgang bezeichnet. Die Zusammenfassung der anfallenden Lastgänge ergibt das Lastprofil des Unternehmens. Unter Spitzenlast ist die Jahreshöchstleistung zu verstehen, die das Unternehmen abrufen. Zur Messung werden die 15 verbrauchsintensivsten Minuten eines Jahres betrachtet. Spitzenlasten sind besonders teuer. Da auf dieser Basis der Strompreis ermittelt wird, ist es ratsam, Spitzenlasten zu reduzieren. Die Abbildung 17 verdeutlicht diesen Zusammenhang.

Das klassische *Lastmanagement* findet innerbetrieblich statt und dient zur Optimierung des Energieverbrauchs. Dabei wird der „Lastgang“ (Lastprofil) eines Unternehmens harmonisiert und gleichmäßig gestaltet, so dass bessere Konditionen im Energieeinkauf erlangt und die Energiekosten gesenkt werden können.<sup>48</sup> Es wird angestrebt, Lastspitzen zu vermeiden, indem zum Beispiel Anlagen kurzfristig abgeschaltet werden, die Leistung reduziert oder auch Elektrostapler nach Schichtende zeitversetzt geladen werden. Durch eine automatische Steuerung kann so der Stromverbrauch gesteuert werden. Die Herausforderung dabei ist, die Prozesse beziehungsweise Verbraucher zu priorisieren und eine Entscheidung zu treffen, welche Prozesse im Fall einer Lastspitze abgeschaltet werden können, ohne den Betriebsablauf zu beeinträchtigen. Um Lastspitzen auszugleichen, ist bei der Energieeigenerzeugung auch die Nutzung von Energiespeichern möglich.

#### Tipp: Stromausfall

Stromausfälle sorgen dafür, dass die Leistungsspitze dramatisch in die Höhe steigt, da nach dem Ausfall alle Systeme und Geräte in der Regel gleichzeitig wieder hochgefahren werden. So wird dann der Jahreshöchstsatz fällig. In diesem Fall ist es

ratsam, den Stromausfall zu dokumentieren und entsprechend beim Versorger einzureichen, um den Höchstsatz zu reduzieren.

Allerdings ist, trotz sinkender Speicherpreise, die Wirtschaftlichkeit derzeit noch immer ein Problem, sodass die Rentabilität im Einzelfall berechnet werden muss.<sup>49</sup>

#### 3.4.1 Die Zeiten ändern sich

Unabhängig davon, ob es sich um ein Mietobjekt oder Eigentum handelt, ist es wichtig, in regelmäßigen Abständen zu überprüfen inwieweit die derzeitigen Bedarfe und die Realität im Hinblick auf sich ändernde Rahmenbedingungen und Entwicklungen übereinstimmen. So haben etwa die Flexibilisierung der Arbeitszeiten, das Streichen oder Hinzufügen von Schichten sowie die Betriebs- und Technikzeiten einen Einfluss auf den Energieverbrauch. Bei einem 1980 erbauten Gebäude etwa, ist es sehr wahrscheinlich, dass die Kernarbeitszeit – somit auch die Zeit, in der es nötig war, die Büros zu heizen oder zu klimatisieren – zwischen 8 und 16 Uhr lag. Aufgrund der heute üblichen Flexibilisierung der Arbeitszeiten kann es sein, dass die Kernzeit zwar immer noch ähnlich ist, sich allerdings die Randzeiten in denen gearbeitet wird etwa auf 6 bis 20 Uhr erweitert haben. Hier ist es nötig zu überprüfen, ob die eingestellten Heizzeiträume mit den tatsächlichen Bedürfnissen übereinstimmen und diese, wenn nötig, anzupassen. Gleiches gilt, wenn sich die Anzahl der Schichten ändert. Auch hier müssen Heizung, Kühlung und Anlagentechnik angepasst werden. Hilfreich ist dabei die Gebäudeautomation, sodass auch einzelne Räume oder Bereiche individuell eingestellt werden können. Ein weiteres Beispiel findet sich im Bereich der Produktion. In Zeiten, in denen keine Druckluft benötigt wird, muss diese auch nicht kontinuierlich zur Verfügung gestellt werden. An Wochenenden, an denen nicht produziert wird, kann die Druckluft auch abgeschaltet werden. Druckluftverluste auf Grund von Undichtigkeiten im Druckluftnetz werden somit minimiert.

<sup>47</sup> Knayer, T., Koci, S. (2017). <sup>48</sup> WEKA (2017) <sup>49</sup> Quelle: Interview mit Herrn Koci, KEFF Energieeffizienzmoderator, am 10.08.2017

Bei jeder Änderung im Betrieb sollten solche Aspekte überprüft werden, um unnötige Verschwendungen zu vermeiden.

### 3.4.2 Gebäudeautomation

Für den Betrieb von Heizungs- und Lüftungsanlagen eines Gebäudes stellt die Regelungstechnik den zentralen Ansatzpunkt dar. Sie beeinflusst zudem die Möglichkeiten zu einem sparsamen Umgang mit Energie. Durch Nutzung der vorhandenen Möglichkeiten sind Einsparungen von durchschnittlich fünf bis 15 Prozent möglich.

So sollte geprüft werden, ob die Möglichkeit besteht, die analogen gegen digitale Regler auszutauschen und über eine Gebäudeleittechnik (GLT) miteinander zu vernetzen. Dadurch können sie zentral überwacht und ausgewertet werden. Somit sind mehrere Regler in der Lage, ein Signal (Beispiel: Außentemperatur) gemeinsam zu nutzen und die Regelprozesse untereinander zu optimieren. Solche digitalen Regelsysteme sind üblicherweise modular aufgebaut. Eine spätere Erweiterung vorhandener Systeme ist dadurch leicht möglich. Somit sind auch Energiesparfunktionen nachträglich nutzbar. Zusätzliche Sensoren (Luftqualitätsfühler, Präsenzmelder) oder Bedarfstaster können beispielsweise in das System integriert werden, um die Regelung stärker am tatsächlichen Bedarf auszurichten.

Digitale Regler können in der Regel frei programmiert werden. Daher kann flexibel auf die individuellen Anforderungen von Anlage und Nutzern reagiert werden. Die Gebäudeleittechnik besteht in der Regel aus einem PC-Bedienplatz, der mit den einzelnen digitalen Reglern über ein BUS-System verbunden ist. Mittels einer grafischen Bedienoberfläche können so alle Anlagen beobachtet und gesteuert werden. Weitere Funktionen sind die Trendaufzeichnung und die Datenarchivierung. Die Gebäudeleittechnik ist daher ein unverzichtbares Instrument, um den Anlagenbetrieb zu optimieren – und um Energie zu sparen. Dazu sollten die Betriebsparameter jedoch regelmäßig überprüft und an den Bedarf angepasst werden. Ferienzeiten beispielsweise sollten zuverlässig aktualisiert werden.<sup>50</sup>

#### Tipp: Stromeinkauf

Energielieferanten sollten jährlich über ein beliebiges Online-Vergleichsportal kritisch geprüft werden. Durch gezielten Energieeinkauf können Kostensteigerungen zum Teil oder komplett neutralisiert werden.

Der Anteil des Strompreises, der beim Stromeinkauf beispielsweise durch einen Anbieterwechsel beeinflusst werden kann, ist allerdings relativ gering. Den größten Teil machen gesetzlich vorgeschriebene Abgaben und Steuern aus. Unter bestimmten Bedingungen können diese reduziert werden.

Ein Merkblatt zu Vergünstigungen bei Steuern und Abgaben hat die IHK Schwaben erstellt:

IHK Schwaben (2017): Vergünstigungen Steuern und Abgaben – Energie, online unter <https://www.schwaben.ihk.de>

## 3.5 Gebäudehülle

### 3.5.1 Energetische Grundlagen

Die Gebäudehülle ist gleichzeitig auch die sogenannte thermische Hülle des Gebäudes. Sie stellt die Grenze zwischen beheizten und unbeheizten Bereichen dar. Zur Gebäudehülle gehören die Außenwände, die Dächer, die erdreichberührenden Flächen sowie die Fenster und Türen.<sup>51</sup>

Die *Beschaffenheit der Gebäudehülle* ist ein entscheidender Faktor für den Heizenergiebedarf des Gebäudes, also die Menge an Energie, die für die Beheizung des Gebäudes aufgebracht werden muss. Entsprechende Energieverluste müssen dabei Berücksichtigung finden. Zu solchen Verlusten gehören **Transmissionsverluste** (Verluste auf Grund der Wärmeleitung durch die Gebäudehülle) und **Lüftungswärmeverluste**. Hier wird zwischen erwünschtem (Versorgung mit Frischluft) und unerwünschtem Luftwechsel (Luftaustausch durch Undichtigkeiten) unterschieden.<sup>52</sup> Je höher die Verluste sind, desto höher ist auch die nötige **Heizlast**.<sup>53</sup>

In der Logistik besteht ein Gebäudekomplex in der Regel aus einem Bürogebäude sowie einer oder mehreren Lager- und/oder Umschlagshalle(n). Handelt es sich um produzierende Unternehmen, kommen noch Produktionshallen hinzu. Beim Neubau ist grundsätzlich darauf zu achten, den aktuellsten Stand der Technik einzusetzen und den Energiebedarf des Gebäudes schon bei der Planung möglichst niedrig zu halten.

Bei der *Ist-Analyse* von Bestandsgebäuden ist jedes Gebäude separat zu betrachten. Wichtige Aspekte bei einer Bewertung des Zustands der Gebäudehülle sind:

- Bauzustand und -standard (wie beispielsweise Dämmung, KfW 40, Passivhaus, Niedrigenergiehaus, etc.)
- Baujahr der einzelnen Gebäude
- Bauweise (zum Beispiel Massivbau, Stahlkonstruktion)
- Fenster (Art der Verglasung, Sonnenschutz manuell / elektrisch / sensorgesteuert)
- Dachform
- Etwaige Schäden an der Gebäudehülle

Bei vielen Gebäuden kann für diese Bewertung der Energieausweis hilfreich sein.

<sup>50</sup> Knayer, T., Koci, S. (2017). <sup>51</sup> Vgl. BMWI (2015), S. 20 <sup>52</sup> Vgl. Jochum, P., Pehnt, M. (2010), S. 205 <sup>53</sup> Vgl. Bohne, D. (2005), S. 5

### 3.5.2 Bestandsgebäude

Bei der Sanierung eines Gebäudes empfiehlt es sich stets, von außen nach innen zu arbeiten. Ist die Gebäudehülle unverehrt und gut gedämmt, entstehen weniger Wärmeeinträge in warmen und Wärmeverluste in kalten Zeiten, wodurch insgesamt weniger Energie zur Klimatisierung und Beheizung benötigt wird.

#### Tipp: Zentrale Maßnahmen im Bestandsgebäude

- Sanierungsarbeiten (zum Beispiel an der Gebäudehülle) müssen gemäß der aktuellen Energieeinsparverordnung durchgeführt werden
- Abdichtung der Gebäudehülle durch Abdichtung der Fenster und Türen/Tore
- Installation von Sonnenschutz vor den Fenstern
- Nachrüstung von Schnellluftoren zur Abtrennung unterschiedlicher thermischer Bereiche

#### Fenster, Türen und Tore

Wenn es um Wärmeverluste geht, sind auch die Fenster ein entscheidender Faktor. Durch den Austausch der Fenster, wie beispielsweise der Ersatz herkömmlicher Fensterscheiben durch eine Wärmeschutzverglasung, kann ein besserer Sonnen- und Wärmeschutz erzielt werden. Dies hat einen positiven Einfluss auf die Heizkosten. Eine weitere Möglichkeit um im Sommer den Wärmeeintrag zu verringern und somit die Einsatzzeit der Klimaanlage zu verkürzen, ist das Bekleben der Bestandsfenster mit Sonnenschutzfolie mit einem erhöhten g-Wert (Energiedurchlassgrad). Abhängig von der Folienart, kann der Wärmeeintrag so um bis zu 80 Prozent gesenkt werden.

Durch undichte Fenster und Türen gehen in der Regel zwei Drittel der Wärme verloren. Damit vor allem im Winter keine kalte Außenluft eindringt und keine Wärme verloren geht, sollten alle Fenster und Außentüren auf ihre Dichtigkeit geprüft werden. Dazu ist es nötig, die Dichtungen regelmäßig zu kontrollieren und gegebenenfalls zu ersetzen.

#### Dämmung

Die Kenngröße für die Effizienz der Gebäudehülle ist der sogenannte U-Wert (angegeben in  $W/(m^2K)$ ). Dabei handelt es sich um den Wärmedurchgangskoeffizienten, der angibt, wie viel Wärme die Gebäudehülle durchdringt. Je niedriger der U-Wert ist, desto besser ist ein Gebäudeteil gedämmt. Der U-Wert ist von dem Temperaturunterschied auf beiden Seiten der Hülle abhängig. Der U-Wert, der bei einer Sanierung er-

reicht werden kann, ist von der vorhandenen Außenwand, der Dicke und der Wärmeleitfähigkeit des eingesetzten Dämmstoffes abhängig. Nach heutigem Stand der Technik und unter Berücksichtigung der Wirtschaftlichkeit, ist maximal ein U-Wert von  $0,1 W/(m^2K)$  zu erreichen.<sup>54</sup>

Durch die Dämmung der Außenwände können bis zu 20 Prozent des Energieverbrauchs eingespart werden. Aufgrund der großen Flächen und dem baulichen Aufwand sind die Kosten jedoch relativ hoch. Es bietet sich also an, Sanierungsarbeiten an der Gebäudehülle mit Arbeiten an der Fassade zu kombinieren, um Kosten zu sparen.<sup>55</sup>

#### Tipp: Ganzheitliche Betrachtung

Die ganzheitliche Betrachtung ist deswegen notwendig, weil sich einzelne Maßnahmen gegenseitig beeinflussen. Es ist beispielsweise wenig sinnvoll, heute die Heizungsanlage einzusparen und im nächsten Jahr die undichte Gebäudehülle zu sanieren. Ist das Gebäude dicht, wird weniger Wärme, und somit auch weniger Heizleistung, benötigt. So wäre in diesem Fall eine kleinere, gegebenenfalls auch kostengünstigere, Heizungsanlage ausreichend gewesen.

#### Tipp: Wärmeverluste identifizieren

Um herauszufinden, an welchen Stellen Wärmeverluste durch fehlende Dichtigkeit oder Wärmebrücken entstehen, kann es sinnvoll sein, die Unterstützung eines Fachexperten heranzuziehen. Dieser kann thermografische Messungen bzw. einen Blower Door Test (Differenzdruck-Messverfahren) durchführen, um Schwachstellen zu identifizieren sowie die Heizenergieersparnis durch die Vermeidung von Wärmeverlusten berechnen.

In den Hallen ist es zudem bedeutsam, die Zeiten zu reduzieren, in denen die Tore offen stehen. Vor allem die gleichzeitige Öffnung gegenüberliegender Tore ist, soweit möglich, zu vermeiden. Diese Querlüftung verursacht einen bis zu 40-fachen Luftwechsel mit sehr großen Wärmeverlusten.<sup>56</sup> Durch den Einbau von Schleusen können Wärmeverluste über Türöffnungen reduziert werden. Dadurch wird auch die Arbeitstemperatur für die Mitarbeiter angenehmer.<sup>57</sup> Eine weitere Möglichkeit ist der Einsatz von Schnellluftoren, die in nur wenigen Sekunden schließen, so dass der Luftwechsel beziehungsweise der Wärmeverlust auf ein Minimum reduziert werden kann. Schnellluftore können nicht nur als Abtrennung zu Verladebereichen eingesetzt werden, sondern auch innerhalb der Halle, um etwa unterschiedlich temperierte Bereiche voneinander abzugrenzen.

<sup>54</sup> Vgl. BMWI (2015), S. 21 <sup>55</sup> Vgl. Knayer, T., Koci, S. (2017), S. 4 <sup>56</sup> Vgl. Knayer, T., Koci, S. (2017), S. 4, 5 <sup>57</sup> Vgl. Günthner, A., Freis, J. (2015), S. 34

### Beispiel: Schnellaufstore

Zentraler Faktor beim Einsparpotenzial durch Schnellaufstore ist die Verkürzung der täglichen Öffnungsdauer. Bei einer Temperaturdifferenz von neun Grad Celsius und ausgehend von einem vier Meter hohen Tor sowie der Erhöhung der Torlaufgeschwindigkeit von 0,2 Meter pro Sekunde auf zwei Meter pro Sekunde, könnten bei jeder Öffnung 36 Sekunden eingespart werden. Hinzu käme eine Ersparnis von 14 Sekunden pro Öffnung durch eine automatisierte Steuerung. Bei 30 Öffnungen am Tag wäre es möglich, die Öffnungsdauer um ca. 30 Minuten zu reduzieren. Ausgehend von einem täglichen Energieverlust von 243 kWh könnten bei einer Gasheizung täglich rund elf Euro eingespart werden. Bei einer 5-Tage-Woche wäre es möglich, über das Jahr 2.860 Euro an Heizkosten zu sparen. Bei Anschaffungskosten von durchschnittlich etwa 5.000 Euro pro Tor, läge die Amortisationszeit bei 21 Monaten. Würden andere Heizungsarten eingesetzt, könnte die Einsparung höher ausfallen. Dieses Beispiel dient der Veranschaulichung, die tatsächlichen Einsparungen sind von den Temperaturunterschieden und der Öffnungsdauer abhängig. Unter [www.hoermann.de](http://www.hoermann.de) können die jeweilige Energieeinsparung sowie die Amortisationszeit berechnet werden:

### 3.5.3 Neubauten

Bei Neubauten ist bereits bei der Planung neben der Funktionalität auf einen möglichst niedrigen Energiebedarf zu achten. Auch hierbei ist eine ganzheitliche Betrachtung notwendig. Die Gebäudeausrichtung ist in der Regel maßgeblich für den Tageslichteintrag sowie die Wärmeeinträge durch Sonneneinstrahlung. Somit beeinflusst die Gebäudeausrichtung auch das Beleuchtungskonzept. Ebenso ist die durchschnittliche Windgeschwindigkeit des neuen Standorts zu berücksichtigen, da auch dieser einen Einfluss auf die nötige Dämmung und Dichtigkeit der Gebäudehülle haben kann.<sup>58</sup>

#### Tipp: Zentrale Maßnahmen im Neubau

- Anpassung und Ausrichtung der Gebäudeform an Tageslicht und Windströmung
- Vermeidung von ganzflächiger Fassadenverglasung
- Einsatz von Gebäudeleittechnik
- Einsatz von hochwertigem Wärmeschutz

Zur Sicherstellung des Wärmeschutzes des Gebäudes muss beim Neubau, neben den gesetzlichen Vorgaben, auch auf den Einsatz einer hochwertigen Dämmung mit einem niedrigen U-Wert geachtet werden. Fenster haben in den meisten Fällen einen schlechteren U-Wert als Außenwände, so dass eine ganzflächige Fassadenverglasung aus energetischer Sicht zu vermeiden ist.<sup>59</sup>

Bei der Fassadenplanung sollte aber auch die Wechselwirkung mit den Einsparpotenzialen im Bereich Beleuchtung berücksichtigt werden. Um die Energieverbräuche der einzelnen Verbraucher messen und zentral steuern zu können, ist bei der Planung eine intelligente Gebäudeleittechnik zu berücksichtigen, sodass die verschiedenen Bereiche (Beleuchtung, Heizung, Klimatisierung, etc.) miteinander verbunden agieren können.<sup>60</sup>

Bei der Planung des Neubaus sollten verschiedene Energiekonzepte überprüft und simuliert werden. Bei der Entscheidungsfindung gilt grundsätzlich, dass die finanziellen Mehraufwendungen für energiesparende Maßnahmen bei Gebäuden und Anlagen vor allem dann Sinn machen, wenn sie innerhalb ihrer voraussichtlichen Nutzungsdauer durch entsprechende Energieeinsparungen kompensiert werden können.

#### Literatur:

Ein Leitfaden zur Planung neuer Hallengebäude unter Berücksichtigung der Vorgaben der Energieeinsparverordnung EnEV sowie des Erneuerbare-Energien-Wärme-Gesetz (EEWärmeG) wurde im Auftrag des BMWi erstellt und findet sich unter <http://systemvergleich-hallenheizung.de>

## 3.6 Beleuchtung

### 3.6.1 Energetische Grundlagen und Marktsituation

Die Beleuchtung macht in einer typischen Logistikhalle etwa ein Drittel des Energieverbrauchs aus.<sup>61</sup> Dementsprechend hoch ist auch das Einsparpotenzial durch die Optimierung der Beleuchtung. Hierbei gibt es unterschiedliche Ansatzpunkte, vom Austausch der vorhandenen Leuchtmittel über eine Neukonzeptionierung der Beleuchtungsanlage bis hin zu einem zentral gesteuerten Beleuchtungssystem.

Die LED-Technik hat sich seit Anfang dieses Jahrzehnts stark weiterentwickelt und für einen Umbruch im Beleuchtungsmarkt gesorgt. Die Energieeffizienz (Lichtausbeute bezogen auf den Stromverbrauch) guter LED-Leuchten ist mehr als doppelt so hoch wie die von Kompakt-Leuchtstoffröhren. Die am Markt angebotenen LED-Leuchten können jedoch große Effizienzunterschiede aufweisen. Weiterhin ist zu beachten, dass neben der Watt-Zahl auch die Lichtfarbe sowie die Dimmbarkeit relevante Auswahlkriterien darstellen. Der Preis war bislang ein limitierender Faktor. In den Jahren 2015 bis 2017 sind die Preise für LED-Technik allerdings um etwa 23 Prozent gesunken.<sup>62</sup>

<sup>58</sup> Vgl. Schnurr, J., Bohne, D. (2008), S. 8, 9 <sup>59</sup> Vgl. BMWi (2015), S. 22 <sup>60</sup> Schnurr, J., Bohne, D. (2008), S. 10 <sup>61</sup> Vgl. Dobers, K. et al. (2012), S. 10  
<sup>62</sup> Vgl. Seifried, D., Seifried, F. (2017), S. 3

### 3.6.2 Bestandsgebäude

Wer noch ineffiziente Leuchtmittel (Niedervolt-Halogenlampen oder Leuchtstoffröhren) verwendet, sollte einen Lampentausch prüfen. Durch die Umstellung auf LED-Technik können etwa 60 Prozent des Energieverbrauchs eingespart werden. Beim Austausch der Leuchtmittel unterscheidet man zwischen einem sogenannten Retrofit (die Leuchtmittel werden eins zu eins ausgetauscht, es werden keine Änderungen am Leuchtkörper vorgenommen) und einem Komplettaustausch (Leuchtkörper inklusive Leuchtmittel). Beim Komplettaustausch wird das gesamte Beleuchtungskonzept überprüft und angepasst. Durch eine geringe Leistung der Leuchten und eine geringere Anzahl an Leuchten können weitere Einsparungen generiert werden. Bei der Entscheidung, ob ein Retrofit oder ein Komplettaustausch erfolgen soll, sind unter anderem das Alter der Beleuchtungsanlage sowie die Brenndauer der Leuchten zu berücksichtigen. Es sollte kritisch hinterfragt werden in welchen Bereichen welches Licht und wann benötigt wird. Um eine qualifizierte Entscheidung treffen zu können, sollte ein Fachexperte hinzugezogen werden.

#### Tipp: Zentrale Maßnahmen im Bestandsgebäude

- Einsatz von LED-Technik
- Einsatz von Reflektoren über den Lampen bei konventioneller Beleuchtung
- Optimierung der Lampenausrichtung für die jeweiligen Arbeitsbereiche
- Regelmäßige Reinigung und Wartung der Lampengehäuse
- Verzicht auf beleuchtete Außenwerbung und Nachtlicht im Gebäude (21 bis sechs Uhr)
- Nachrüstung von Sensoren (Tageslichtsensor, Präsenzmelder)
- Einsatz von Tageslichtlenkssystemen

#### Nachrüstung eines Lichtmanagementsystems

Zur Nachrüstung empfehlen sich außerdem Präsenzmelder, Zeitschaltuhren und Tageslichtsensoren. Räume, die nur zeitweise genutzt werden (Flure, Toiletten, Kopierräume, Aufzüge) sollten mit Präsenzmeldern ausgestattet werden. Die Mischung aus Bewegungsmelder und Dämmerungsschalter sorgt dafür, dass das Licht bei entsprechenden Lichtverhältnissen automatisch eingeschaltet wird, sobald sich eine Person im Raum befindet. In Hallen, die über viel Tageslicht verfügen, sollte die Beleuchtung über Tageslichtsensoren gesteuert werden. Ein permanentes ‚Licht brennen‘ ist nicht nötig. Dabei gibt es zwei Möglichkeiten: entweder gibt es einen vorgegebenen Helligkeitsgrad, der dann aus Tageslicht und gedimmtem Licht hergestellt wird oder aber Licht, das sich mit der Tageszeit ver-

ändert. Auch in Kombination mit Präsenzmeldern lassen sich Tageslichtsensoren einsetzen. Auf diese Weise kann der Energieverbrauch um bis zu 70 Prozent reduziert werden.

Die konkreten Energieeinsparungen durch den Wechsel auf LED-Beleuchtung werden von einem Fachexperten mithilfe einer Lichtberechnung inkl. Wirtschaftlichkeitsberechnung ermittelt.

#### Beispiel: Effizienzsteigerung der Beleuchtung im Bestandsgebäude<sup>63</sup>

Um die Energieeffizienz der Beleuchtung im eigenen Bestandsgebäude zu steigern, hat HTL Messner zunächst einen Beleuchtungsexperten hinzugezogen. Dabei wurde eine klare Entscheidung gegen den sogenannten Retrofit getroffen. Gemeinsam mit dem Experten wurde daher analysiert, welche Lichtstärke in welchen Bereichen überhaupt notwendig ist, um eine optimale und bedarfsgerechte Beleuchtung zu ermöglichen. Darauf basierend wurde ein Lichtplan unter Berücksichtigung welche Leuchtmittel für welchen Hallentyp geeignet sind erstellt. Während LED-Technik in kälteren Bereichen eine praktikable Lösung ist, ist in sehr warmen Bereichen (bspw. ungedämmtes Dach oder Gießerei) der Einsatz von LED nicht unbedingt die erste Wahl, da diese temperaturempfindlicher sind. Alternativ könnten aber aufwendiger gekühlte und somit teurere LED-Leuchten verbaut oder eben auch T5-Leuchten eingesetzt werden. Darüber hinaus wurde die Lichtfarbe angepasst: Um die Produktivität der Mitarbeiter zu fördern, wurde ein kaltweißes Licht (mehr als 5.300 Kelvin) gewählt, das Müdigkeit vorbeugt. Von der Planung bis zur Installation der Maßnahme sind etwa drei Monate vergangen. Die Anpassung konnte im laufenden Betrieb vorgenommen werden.

#### Tipp: Mietobjekt

Soll die Beleuchtung in einem Mietobjekt umgerüstet werden, ist es wichtig, den Vermieter in das Vorhaben einzubeziehen. Dies sollte vorab geschehen und geklärt werden, ob und in welcher Form sich der Vermieter an der Maßnahme beteiligt. Dabei gibt es grundsätzlich drei Möglichkeiten: der Vermieter übernimmt die Investition, Mieter und Vermieter investieren gemeinsam, der Mieter übernimmt die Investition alleine. In letzterem Fall muss geklärt werden, ob der Mieter die Anlage zum Ende der Mietdauer zurückbauen muss oder diese dann vom Nach- oder Vermieter übernommen wird.

<sup>63</sup> Quelle: Telefoninterview mit Herrn Messner, HTL Messner GmbH & Co. KG, am 22.08.2017

### 3.6.3 Beleuchtungsanforderungen für Arbeitsbereiche, Arbeitsplätze

Die gesetzlichen Bestimmungen bezüglich der Arbeitsplätze mit Bildschirmen oder der Arbeitsplätze im Lager- und Produktionsbereich sowie die dazu geforderten Lichtstärken (Arbeitsstätten-Richtlinie Künstliche Beleuchtung § 7 Abs. 3) der Arbeitsstättenverordnung (ASR 7/3) müssen eingehalten werden. Darüber hinaus können Unternehmen die Beleuchtung individuell auf ihre Bedürfnisse abstimmen. Je nach Arbeitsbereich bietet es sich gegebenenfalls an, die Lichtfarbe zu verändern. Eine tageslichtweiße Beleuchtung mit einem höheren Blauanteil wird in der Regel häufiger im Lager oder in der Produktion eingesetzt, während im Bürobereich eher ein neutraleres Licht mit einem höheren ‚Wohlfühlfaktor‘ eingesetzt wird. Gleichzeitig ist darauf zu achten, dass keine Überbeleuchtung erfolgt. In feuchten Arbeitsbereichen, in Arbeitsbereichen mit gefährlichen Stoffen, oder hoher Staubbelastung ist zusätzlich darauf zu achten, die Beleuchtung mit einer speziellen IP-Schutzart auszustatten.

In einem **Neubau** ist dies flexibler und einfacher als im Bestandsbau, insbesondere die Integration einer intelligenten Lichtsteuerungsanlage. Die Grenze wird hier durch das jeweils verfügbare Budget gesetzt. Im **Bestandsbau** sind die vorhandenen Gegebenheiten zu berücksichtigen. Einzelne Maßnahmen mit größerem Veränderungsaufwand könnten sich nicht rechnen. In Lager- und Produktionshallen kann zudem schon eine große Einsparung mit dem Umstieg auf eine neue LED-Leuchtmitteltechnologie erzielt werden.

Die Lebensdauer der Leuchten sollte dabei mindestens zwischen 60.000 bis 70.000 Betriebsstunden betragen. Mit qualitativ hochwertigen LED-Leuchten können heute aber etwa 100.000 Betriebsstunden erreicht werden. Die Garanzzeit der Hersteller sollte zwischen fünf bis zehn Jahren liegen.

#### Beispiel: Berechnung der Einsatzzeit von Leuchten

Wie viele Jahre die Leuchten eingesetzt werden können, bis ein Austausch notwendig wird, ist von der Einsatzzeit abhängig. Bei einer täglichen Brennzeit von zwölf Stunden über 365 Tage im Jahr, ergibt dies eine jährliche Brennzeit von 4.380 Stunden. Bei einer Lebensdauer von 60.000 Stunden liegt die Einsatzzeit somit bei etwa 13,7 Jahren. Auch bei einer kontinuierlichen Beleuchtung halten LED Leuchten zwei bis drei Mal so lange wie herkömmliche Leuchten.

#### Tipp: Von der Planung bis zur Fertigstellung der Beleuchtungsumrüstung

Die Dauer der Umrüstung, von der Planung bis zur Installation, ist von der Projektgröße abhängig. Die Umrüstung eines

Hochregallagers mit einer Fläche von 3.000 bis 3.500 Quadratmetern dauert in etwa sechs bis neun Wochen. Handelt es sich um mehrere Hallen, verlängert sich die Zeit entsprechend, da auch die Planung komplexer wird. In der Regel kann die Umrüstung im laufenden Betrieb erfolgen.

Auch hier ist es wichtig, mit Bedacht vorzugehen und schon bei der Planung verschiedene Leistungen und Abstrahlwinkel der LED-Leuchten in einem Lichtrechnungsprogramm zu simulieren, um die bestmögliche Beleuchtung zu ermöglichen. Gleiches gilt für die Qualität. Vermeintliche Einsparungen durch falsche, unpassende LED-Leuchten oder Fehlbeleuchtungen können am Ende zu höheren Kosten führen.

Die **Potenziale zur Steigerung der Energieeffizienz** durch die LED-Technik sind von der Altbeleuchtung abhängig. Wurden Leuchtstoffröhren oder HQI-Leuchten eins zu eins mit LED-Leuchten ersetzt, sind Energieeinsparungen von bis zu 70 Prozent möglich. Wird mehr Licht benötigt, etwa durch eine höhere Anzahl an Leuchten oder die Steigerung der Lichtstärke, können etwa 50 bis 60 Prozent eingespart werden. Kommt eine intelligente Lichtsteuerung, wie etwa ein Tageslichtsensor, zum Einsatz, können weitere etwa zehn bis 15 Prozent eingespart werden.

Über die entstehenden **Kosten** kann keine pauschale Aussage getroffen werden, da die Höhe von Material, Größe, speziellen Anforderungen (Schutz, Sensoren), gesetzlichen Vorgaben und Kundenwünschen abhängig ist. Im Durchschnitt ist mit einer Amortisationszeit von zwei bis vier Jahren zu rechnen, wobei der Invest mit der Garanzzeit abgedeckt wird. Bei einem reinen Austausch von alt zu neu mit gleichbleibender Lichtstärke sind auch 1,5 bis zwei Jahre möglich. Wird mehr Licht benötigt und sind die Änderungen aufwändiger, sind auch mehr als vier Jahre möglich.

Die Herausforderung bei der Beleuchtung in Hochregallagern ist es, die Lichtstärke aus dieser Höhe auf den Boden zu bringen und die Seiten der Regale entsprechend auszuleuchten. Des Weiteren muss eine Blendung der Staplerfahrer beim nach oben Schauen vermieden werden. Hierzu empfiehlt sich einen Fachexperten einzubeziehen.

## 3.7 Heizung

### 3.7.1 Energetische Grundlagen

Ein Heizungssystem besteht grundsätzlich aus drei Komponenten: Wärmeerzeugung, Wärmeverteilung und Wärmeverbraucher. Bei der Bewertung des Ist-Zustands der Heizungsanlage sind folgende Aspekte wichtig:<sup>64</sup>

<sup>64</sup> Vgl. Knayer, T., Koci, S. (2017) S. 6-9

### Wärmeerzeuger

- Art der Wärmeerzeugung (Kessel, Wärmepumpe, Blockheizkraftwerk (BHKW); Brennstoffzelle)
- Baujahr der Heizungsanlage
- Primärenergie (Brennstoff)

### Wärmeverteilung

- Effizienz der Pumpen
- Rohrsystem
- Steuerung
- Isolierung von Leitungen und Armaturen
- Hydraulik

### Wärmeverbraucher

- Beheizte Räume beziehungsweise Zonen
- Art der Wärmeübergabe (zum Beispiel Umluftheizgeräte, Konvektoren, Heizkörper, Deckenstrahlplatten)
- Zustand der Thermostatköpfe und -ventile
- Art der Warmwassererzeugung
- Prozesswärme
- Steuerung

### 3.7.2 Hallenheizsysteme – Vor und Nachteile

Hallengebäude sind im Gegensatz zu Bürogebäuden üblicherweise durch größere Raumhöhen gekennzeichnet.<sup>65</sup> Die Raumhöhen reichen bei Umschlagshallen von etwa fünf Metern bis zu zwölf bis 15 Metern bei Lagerhallen mit Hochregalausstattung. Auch noch größere Höhen sind möglich. Allein aufgrund der großen Unterschiede bei den Raumhöhen sind allgemein gültige Aussagen zu „idealen“ Heizsystemen nicht möglich. Besondere Herausforderungen neben den Raumhöhen resultieren für die Heizsysteme aus den Lastsituationen durch die häufigen, teils permanenten Toröffnungen für Warenein- und -ausgang sowie Umschlag sowie die teils geringen Nutzungszeiten, beispielsweise bei einem Einschichtbetrieb.

Anders als in Bürogebäuden ist vor diesem Hintergrund auch weniger die Wärmeerzeugung als vielmehr die Wärmeübergabe der wesentliche Ansatzpunkt zur Steigerung der Energieeffizienz. Die angesprochenen Besonderheiten von Hallengebäuden erfordern daher spezielle Systeme der Wärmeübergabe. Heizkörper, wie sie in Bürogebäuden zum Einsatz kommen, kommen hier nicht in Betracht. Stattdessen sind Systeme mit sogenannter Warmluft-Zwangskonvektion<sup>66</sup> oder Wärmestrahler zu bevorzugen.

Die Abbildung 18 gibt einen Überblick über die im Einsatz befindlichen Hallenheizsysteme, deren Eigenschaften im Folgenden kurz erläutert werden sollen.

**Zentrale Systeme:** In Bürogebäuden ist die Wärmeerzeugung über einen zentralen Wärmeerzeuger üblich. Von dem Ort der zentralen Wärmeerzeugung findet die Versorgung dann über ein Wärmeverteilnetz statt. Hallengebäude können ebenfalls von einem zentralen Wärmeerzeuger mit Wärme versorgt werden. Unterschiede wird es gegebenenfalls bei den Leitungslängen und bei der erforderlichen Leistung des Wärmeerzeugers geben. Aber tatsächlich hallenspezifische Eigenschaften finden sich, wie oben angesprochen, erst bei der Wärmeübergabe. Diese muss mittels spezieller Heizsysteme erfolgen.

Bei Lufterhitzern wird Luft durch einen Ventilator angesaugt, erwärmt und mit erhöhter Temperatur in den Raum geblasen. Deckenstrahlplatten bestehen üblicherweise aus Blechen, in denen sich wasserführende Rohre befinden. Nach oben sind sie gedämmt, um eine Wärmeabgabe nach oben zu minimieren. Die nutzbare Wärmeabgabe erfolgt im Wesentlichen durch Wärmestrahlung. Bei Industriefußbodenheizungen werden Heizrohre aus geeignetem Material in der Bodenplatte verlegt. Die Verlegung muss aus statischen und Befestigungsaspekten verhältnismäßig tief erfolgen.

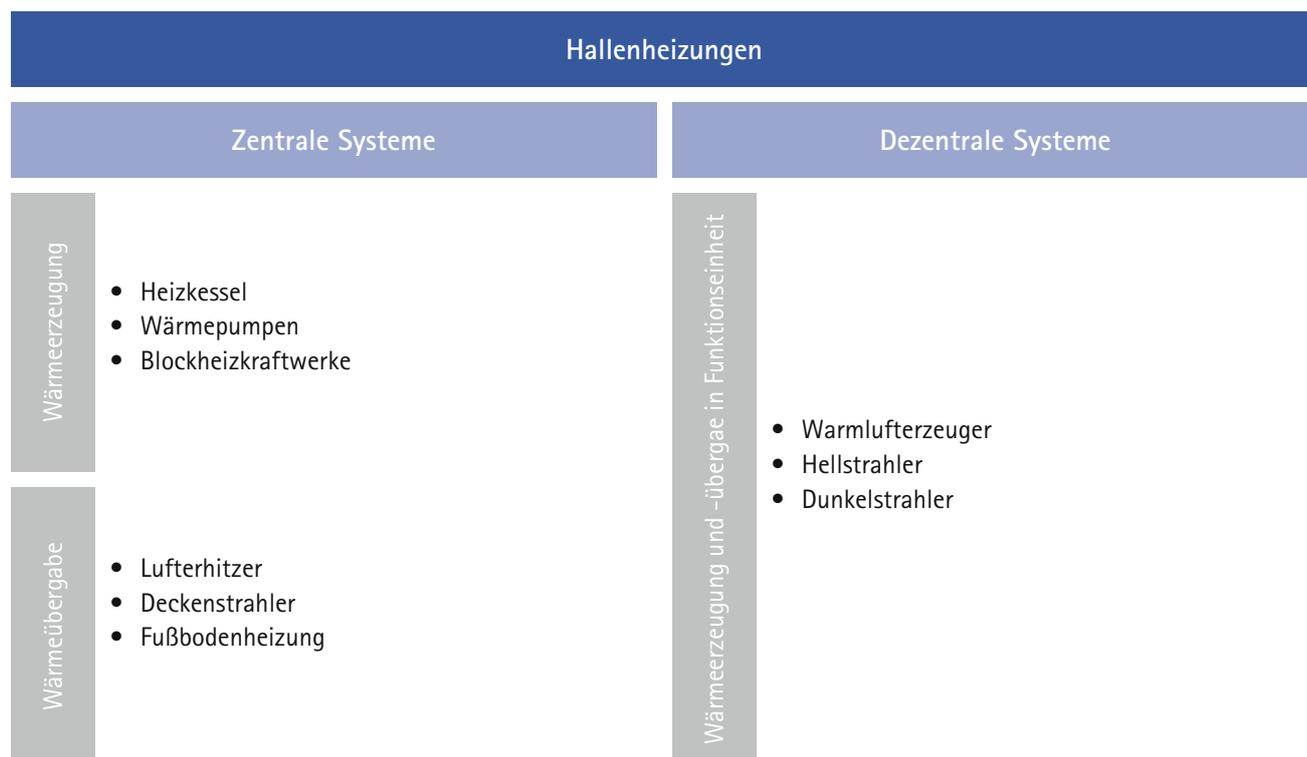
Vorteil der zentrale Heizsysteme ist, dass sie die Möglichkeit bieten, zu einem späteren Zeitpunkt der Gebäudenutzung auf einen anderen Wärmeerzeuger oder Energieträger zu wechseln, so dass auch erneuerbare Energien grundsätzlich genutzt werden könnten.

**Dezentrale Systeme:** Heizsysteme, welche Wärmeerzeugung und Wärmeübergabe in einem Gerät vereinen, werden als dezentrale Systeme bezeichnet. Eine Verteilung der erzeugten Wärme ist nicht erforderlich. Wärmeverteilverluste treten, anders als bei den zentralen Systemen, hier nicht auf. Meist wird bei dezentralen Systemen die Wärme mit Erdgas oder Flüssiggas erzeugt. Die erzeugte Wärme wird durch Strahlung oder Zwangs-Konvektion im Raum verteilt.

Bei Warmlufterzeugern findet die Wärmeerzeugung meist durch einen Gas- oder Ölbrenner statt. Die Brennkammer ist in die Geräteeinheit integriert. Ein Ventilator saugt Luft an, leitet sie über einen Wärmeübertrager und dann in den Raum. Hellstrahler erzeugen Wärme durch flammlose Verbrennung von gasförmigen Brennstoffen. An hochtemperaturbestän-

<sup>65</sup> Vgl. zum Folgenden Oschatz, B., Rosenkranz, J., Weber, K. (2015), S. 38ff. <sup>66</sup> Unter Konvektion versteht man vereinfacht ausgedrückt die Verteilung der Wärme über Teilchen in der Luft, was natürlich oder durch Zwang, also beispielsweise durch Ventilatoren, erfolgen kann.

Abbildung 18: Einteilung typischer Hallenheizsysteme<sup>67</sup>



digen, porösen Brennflächen wird diese in Infrarotstrahlung umgesetzt, welche die angestrahlten Oberflächen direkt erwärmt. Dunkelstrahler führen den Brennstoff in einer langen Flamme durch ein temperaturbeständiges Strahlrohr, das dann die Wärme als Infrarotstrahlung in den Raum abgibt. Bei Hell- wie bei Dunkelstrahlern geschieht die Wärmeübertragung mittels Strahlung, indem angestrahlte Oberflächen direkt erwärmt werden. Die Raumluft wird allerdings nur indirekt durch Konvektion an den angestrahlten Oberflächen so wie am Strahler selbst erwärmt.

Ein späterer Wechsel des Wärmeerzeugers, beispielsweise zur Umstellung auf erneuerbare Energien, ist bei dezentralen Systemen üblicherweise nicht möglich. Allerdings haben sie, wie bereits ausgeführt, den Vorteil der nicht anfallenden Verteilverluste.

#### Ein Ausblick auf das kommende Gebäudeenergiegesetz

Im neuen Gebäudeenergiegesetz (GEG) sollen das Energieeinsparungsgesetz (EnEG), die Energieeinsparverordnung (EnEV) und das Gesetz zur Förderung Erneuerbarer Energien im Wärmebereich (EEWärmeG) zusammengeführt werden. Zweck ist die Schaffung eines einheitlichen Regelungssystems, das die Themen Energieeffizienz und Einsatz erneuerbarer Energien

im Gebäudebereich integriert.<sup>68</sup> Damit wird ein möglichst sparsamer Einsatz von Energie in Gebäuden und eines zunehmenden Einsatzes erneuerbarer Energien verfolgt. Der Referentenentwurf liegt mittlerweile vor. Mit der Verabschiedung und dem Inkrafttreten wird Mitte des Jahres 2019 gerechnet.

#### 3.7.3 Bestandsgebäude<sup>69</sup>

Bevor Energieeffizienzmaßnahmen im Heizungsbereich umgesetzt werden, sollte zunächst überprüft werden, welche Bereiche beheizt werden müssen. Grundsätzlich ist dabei die Arbeitsstättenverordnung (ArbStättV) einzuhalten. Werden beispielsweise Bereiche identifiziert, die aufgrund einer Nutzungsänderung nicht mehr oder nur noch selten genutzt werden, ist darüber nachzudenken, Heizvorrichtungen und Rohre zurückzubauen oder zumindest die nicht genutzten Wärmeverbraucher (zum Beispiel Heizkörper) vom Heizungsnetz zu trennen. Außerdem ist es sinnvoll, verschiedene Bereiche (zum Beispiel Büros, Lager, Kantine, Werkstatt) über einen eigenen Heizkreis zu steuern. So wird für jeden Bereich die Dauer der Beheizung definiert und automatisch zu- oder abgeschaltet. Durch die Erfassung von Wärmemengen über ein separates, nachgelagertes Messsystem (Wärmemengenzähler), lassen sich die Verbräuche der einzelnen Abnehmer genau identifizieren und abrechnen. Unnötige Wärmeverbräuche, wie etwa

<sup>67</sup> Oschatz, B., Rosenkranz, J., Weber, K. (2015), S. 41. <sup>68</sup> Vgl. BMWi (2018). <sup>69</sup> Vgl. Knayer, T., Koci, S. (2017), S. 6-9, 13

am Wochenende, können so leicht identifiziert und beseitigt werden. Durch den Einsatz von intelligenter Mess- und Regelungstechnik können bis zu 30 Prozent der Heizenergie eingespart werden.

### Tipp: Zentrale Maßnahmen im Bestandsgebäude

- Regelmäßige Wartung und Reparatur der Heizungsanlage durchführen
- Hocheffiziente Pumpen einsetzen
- Hydraulischen Abgleich durchführen
- Effiziente Wärmeerzeuger beim Kesseltausch einsetzen
- Leitungs- und Armaturendämmung bei Bedarf erneuern
- Nachtabsenkung auf 15°C wenn möglich einplanen
- Bedarfsgerechte Steuerung der Wärmeverbraucher (Heizflächen) je nach Anwendung (Lager, Kommissionierung, Umschlag, Büro) nachrüsten
- Fernsteuerbare und programmierbare Thermostate einsetzen
- Verbindung der Thermostate mit Fenstersensoren und Präsenzmeldern

### Wärmeerzeuger

Ein wesentlicher Bestandteil der Heizungsanlage ist der Wärmeerzeuger. Alter und Art hängen dabei eng mit der Energieeffizienz zusammen. Je älter die Anlage, desto höher ist die Wahrscheinlichkeit, dass diese nicht effizient ist oder dass es effizientere Anlagen am Markt gibt. Spätestens nach 30 Jahren ist davon auszugehen, dass der Wärmeerzeuger ausgetauscht werden muss. Dabei sind zwei wesentliche Punkte zu beachten:

1. Zunächst sollte ein ganzheitliches Sanierungs- und Energiekonzept für das Unternehmen beziehungsweise die Betriebsstätte erstellt werden. Dabei sollten einerseits möglicherweise geplante oder nötige Sanierungen an der Gebäudehülle berücksichtigt werden. Andererseits sollten verschiedene Heizkonzepte (zum Beispiel Wärmepumpe, BHKW, Brennwertgerät) überprüft und miteinander verglichen werden.
2. Wird der Wärmeerzeuger erneuert, ist darauf zu achten, dass die jeweils geltenden Gesetze eingehalten werden. Gemäß EWärmeG BW muss in Baden-Württemberg beispielsweise beim Kesseltausch 15 Prozent der Energie aus erneuerbaren Energien stammen oder es müssen entsprechende Ersatzmaßnahmen zur Steigerung der Energieeffizienz ergriffen werden. Die Erstellung eines Sanierungsfahrplans wird direkt mit 15 Prozent angerechnet, was eine Erfüllung der Vorgaben zu 100 Prozent ausmacht. Dies gilt für alle Nichtwohngebäude.

### Wärmeverteilung

Die Wärmeverteilung erfolgt mit Hilfe von Pumpen. Bei einem erforderlichen Pumpenaustausch sollten alte Pumpen durch moderne Hocheffizienzpumpen ausgetauscht werden und es ist zudem ein hydraulischer Abgleich vorzunehmen.

Der sogenannte hydraulische Abgleich sorgt dafür, dass die Heizungsanlage bedarfsgerecht arbeitet. Dabei werden die Druckverhältnisse eingestellt und die benötigte Wassermenge im Heizsystem wird auf den Bedarf angepasst und gleichmäßig im Gebäude verteilt. Dadurch wird eine Überheizung der anlagennahen Bereiche vermieden. Durch die auf den Bedarf angepasste Wassermenge, muss weniger Wasser transportiert werden, sodass kleinere Pumpen für die Verteilung ausreichend sind. Durch den hydraulischen Abgleich sind Energieeinsparungen von bis zu 15 Prozent möglich.

Bei einem Pumpentausch sollten drehzahlgeregelte Pumpen eingesetzt werden. Ungeregelte Pumpen arbeiten auch dann mit hoher Leistung, wenn die Heizkörperventile geschlossen sind, während drehzahlgeregelte Pumpen den Volumenstrom dem Bedarf anpassen. Werden nur 25 Prozent weniger Wasser gefördert, sinkt der Elektroenergieverbrauch um bis zu 50 Prozent. Wichtig ist außerdem, die Leitungen und Armaturen, sowohl im Heizungsraum als auch im gesamten Gebäudekomplex, zu isolieren. Auf diese Weise lassen sich Wärmeverluste bei der Wärmeverteilung vermeiden. Bei bestehender Isolierung ist darauf zu achten, dass diese unbeschädigt ist und dem Stand der Technik entspricht.

### Wärmeverbraucher

Im Lager ist darauf zu achten, dass eingesetzte Wärmeverbraucher, wie Deckenstrahlplatten, richtig arbeiten, und die Temperaturen entsprechend dem Bedarf geregelt werden. Im Bürogebäude ist besonders darauf zu achten, dass die Heizkörper nicht mit Möbeln zugestellt werden. Zugestellte Heizkörper können ihre Wärme nicht effizient an den Raum abgeben. Weiterhin sollte regelmäßig überprüft werden, ob die Heizkörper fehlerfrei funktionieren: ob die Heizkörper komplett warm werden, wenn der Thermostatkopf auf ist oder ob die Heizkörper kalt sind, wenn der Thermostatkopf auf null steht. Das Verhalten der Mitarbeiter ist ebenfalls ein wichtiger Faktor für die Energieeffizienz im Heizungsbereich, wenn die Thermostate und Ventile manuell bedient werden. Hier ist es ratsam, Raumthermostate und elektrische Stellantriebe auf den Heizkörperventilen einzusetzen. Diese können dann mit einer Gebäudeleittechnik verbunden und so zentral gesteuert zu werden. Dabei ist es möglich, Nutzungsprofile für einzelne Räume, abhängig von der Nutzungszeit (zum

Beispiel Sekretariat ab sieben Uhr, Konferenzraum ab zehn Uhr) anzulegen, sodass diese nur bei Bedarf geheizt werden. Die automatische Regelung kann ermitteln, wann nach einer kalten Nacht mit dem Aufheizen begonnen werden muss, um die Zieltemperatur zu erreichen. Wird die Regelung zusätzlich mit Fensterkontakten verbunden, kann verhindert werden, dass bei offenem Fenster geheizt wird. Durch die bedarfsabhängige Regelung der Heizungsanlage, kann die durchschnittliche Raumtemperatur gesenkt werden. Ist die Raumtemperatur im Mittel nur ein Grad Celsius niedriger, können bis zu sechs Prozent an Wärmeenergie eingespart werden. In diesem Zusammenhang ist es ebenso sinnvoll, in regelmäßigen Abständen die Betriebszeit der Heizungsanlage mit den Arbeitszeiten im Unternehmen abzugleichen. Finden etwa Änderungen im Schichtbetrieb statt, etwa von drei auf zwei Schichten, sollte die Heizung entsprechend angepasst werden.

### **Tipp: Ermittlung der Kosten der Nachrüstung**

Allgemeingültige Angaben zu den Kosten einer Nachrüstung zur automatischen Regelung der Heizung durch Anbindung einzelner Räume an die Gebäudeleittechnik, sind nicht möglich. Die Kosten sind maßgeblich von der Struktur und dem Zustand der aktuell verwendeten Technik abhängig. Ein Fachexperte kann unter Berücksichtigung der Gegebenheiten im Unternehmen die Kosten ermitteln.

## **3.8 Klimatisierung und Kältetechnik**

### **3.8.1 Energetische Grundlagen**

Insgesamt macht die Kältetechnik in Deutschland einen Anteil von 14 Prozent am Elektroenergiebedarf aus und verursacht etwa fünf Prozent der Treibhausgas-Emissionen.<sup>70</sup> Der Kältebedarf, die sogenannte Kühllast, wird von äußeren (Außentemperatur, Wärmeeintrag durch Fenster, undichte Stellen, etc.) und inneren (Wärmeabgabe von Personen, Beleuchtung, Maschinen, etc.) Faktoren beeinflusst.<sup>71</sup> Aufgrund der klimatischen Bedingungen in Deutschland, aber auch durch eine häufige Überdimensionierung von Klima- und Kälteanlagen, um mögliche Gebäudeerweiterungen abzudecken, werden die Anlagen oft nicht voll ausgelastet. Darüber hinaus sind viele Anlagen veraltet (um die 30 Jahre alt), sodass hier weiteres Energieeffizienzpotenzial besteht.<sup>72</sup>

### **3.8.2 Bestandsgebäude**

Künstliche Kälte ist energie- und kostenintensiv und sollte nur dort eingesetzt werden, wo sie wirklich benötigt wird. Gemäß dem Prinzip „nicht so kühl wie möglich, sondern so

kühl wie nötig“ sollte daher die Reduzierung des Kältebedarfs oberste Priorität haben. Hierzu zählt u.a. die Reduzierung der inneren und äußeren Wärmelasten. Des Weiteren sollten die nötigen Luftmengen betrachtet werden. Denn jeder Kubikmeter Luft, der unnötig bewegt wird, verursacht einen vermeidbaren Energieverbrauch durch den Ventilator. Durch die Messung der Luftmenge kann festgestellt werden, ob in einigen Räumen oder zu bestimmten Zeiten mehr Luft als nötig bereitgestellt wird. Durch die Einrichtung verschiedener Klimazonen im Gebäude können Energie und Kosten eingespart werden. Wichtig ist, dass die Temperaturen nicht zu niedrig eingestellt werden. Im Sommer sollten die Temperaturen mit den Außentemperaturen gleiten. Um die Kälteanlage energieeffizient zu betreiben, sollte regelmäßig ein Soll-Ist-Abgleich stattfinden.

Außerdem ist die regelmäßige Wartung und Reinigung nötig. Dazu gehört der regelmäßige und vor allem rechtzeitige Austausch der Filter. Durch die Installation von Luftsensoren in den Räumen, kann die Luftqualität kontinuierlich überprüft und die Lüftung entsprechend dem tatsächlichen Bedarf angepasst werden. Der Einsatz von Feuchtigkeits- oder CO<sub>2</sub>-Sensoren und lokaler Schaltstellen in den klimatisierten Räumen kann bei der Bedarfsanpassung unterstützend wirken. Um unnötige Druck- und Temperaturverluste zu vermeiden, sollten zudem die Leitungen regelmäßig auf Leckagen und angemessene Wärmedämmung überprüft werden. Ein weiterer Ansatz ist der Antrieb der Ventilatoren. Wenn diese direkt (ohne Keil- oder Flachriemen) über den Motor angetrieben werden, liegt der Wirkungsgrad bei ca. 60 Prozent. Bei älteren Ventilatoren liegt der Wirkungsgrad nur zwischen ca. zehn bis 40 Prozent. Im Betrieb verringert sich dieser ohnehin niedrige Wirkungsgrad durch Abnutzung noch weiter. Insbesondere bei Anlagen im Dauerbetrieb oder langen Betriebszeiten bietet sich daher ein Austausch an. Weiterhin sollte die Motorenleistung überprüft und gegebenenfalls ein kleinerer, effizienterer Motor gewählt werden.

### **Tipp: Zentrale Maßnahmen im Bestandsgebäude**

- Bedarfsgerechte Regelung
- Überprüfung des Kanalsystems (u.a. auf Überdimensionierung)
- Reduzierung der Wärmelasten (energieeffiziente Elektrogeräte, Außenverschattung)
- Wartung und Reinigung von Filtern und Ventilatoren
- Soll-Ist-Abgleich der Luftmengen
- Prüfung der Kältemitteltemperatur und ob genügend Kühlmittel vorhanden ist
- Nachrüstung von Sensoren und Einbindung der Anlage in die Gebäudeleittechnik
- Prüfung auf Wärmerückgewinnung

<sup>70</sup> Vgl. UBA (2014a), S. 24 <sup>71</sup> Vgl. VDI (2015), S. 10, 11 <sup>72</sup> Vgl. BMWI (2015), S. 27

### 3.9 Druckluft

#### 3.9.1 Energetische Grundlagen

Druckluft ist eine der teuersten Energieformen, die in Unternehmen eingesetzt wird. Dies ist auf die benötigte elektrische Energie bei der Erzeugung von Druckluft zurückzuführen. Dabei gilt, dass die Kosten umso höher sind, je mehr die Kompressoren arbeiten müssen, um die Druckluft in der Druckluftanlage auf einem konstanten Niveau zu halten.<sup>73</sup> Besonders kostenintensiv sind dabei die häufig auftretenden Leckagen. Je größer der Durchmesser der Leckage, desto mehr Luft entweicht und desto höher werden die Kosten. Ein Loch von vier Millimetern (vergleichbar mit einem Stecknadelkopf) verursacht bei einem Druck von sechs bar und einem Luftverbrauch von 1,03 m<sup>3</sup>/min, Verluste von etwa 7,42 kW pro Stunde.

Ausgehend von 8.760 Betriebsstunden pro Jahr (bei 365 Tagen pro Jahr und 24 Stunden pro Tag) und einem unterstellten Strompreis von 15 Cent je kWh werden so Kosten von fast 10.000 Euro durch unnötigen Energieverbrauch verursacht.<sup>74</sup>

#### 3.9.2 Bestandsgebäude<sup>75</sup>

Befinden sich Leckagen in den Druckluftleitungen, entweicht Luft. Etwa 25 bis 60 Prozent der erzeugten Druckluft gehen auf diese Weise verloren. Daher ist es äußerst wichtig, die Druckluftleitungen regelmäßig zu kontrollieren und auf Dichtigkeit zu prüfen. Es empfiehlt sich, einen Druckluftbeauftragten zu benennen, der für diese Überprüfung zuständig ist. Da Leckagen nur ab einer gewissen Größe nach Gehör zu identifizieren sind, kann die Anschaffung eines Druckluftleckagemessgerätes, das kleinere Leckagen über Ultraschallmessung identifizieren kann, sinnvoll sein. Es sollte außerdem überprüft werden, ob die vorhandenen Druckluftanschlüsse tatsächlich alle genutzt werden. Anschlüsse, die nicht genutzt werden, sollten zurückgebaut oder vom Druckluftnetz entkoppelt werden.

Steht ein Austausch der vorhandenen Kompressoren an, ist zunächst der benötigte Druckluftbedarf zu ermitteln. Erfolgt ein eins zu eins Austausch, kann die neue Anlage aufgrund der höheren Effizienz moderner Geräte überdimensioniert sein. Daher könnte ein kleinerer Kompressor ausreichend sein. In der Regel ist auf diese Weise eine Einsparung von etwa zehn Prozent des Energieverbrauchs möglich, die Wärmerückgewinnung ist dabei noch nicht berücksichtigt.

Durch die Optimierung des Druckluftverteilnetzes kann der Druck am Kompressor oft reduziert werden. Als Faustregel gilt, dass ein um ein bar zu hoher Druck im Leitungssystem die Energiekosten um sieben Prozent erhöht, ohne dass ein zusätzlicher Nutzen erzeugt wird. Je höher das Potenzial zur Drucksenkungen, desto höher ist somit auch das Einsparpotenzial. Darüber hinaus reduziert die Druckabsenkung auch die Leckageverluste.

Wird die Druckluft zu bestimmten Zeiten, etwa am Wochenende, nicht benötigt, sollte die Druckluftanlage in dieser Zeit ausgeschaltet werden. Ein Fachexperte kann bei der Optimierung des Druckluftnetzes unterstützen und die genaue Energieersparnis ermitteln.

#### Tipp: Zentrale Maßnahmen im Bestandsgebäude

- Regelmäßige Überprüfung auf Dichtigkeit und Wartung des kompletten Systems
- Einbindung hochwertiger Kompressorsteuerung
- Reduzierung von Druckverlusten, Optimierung des Rohrnetzes
- Nachrüstung von Abwärmenutzung
- Abgleich von Soll- und Ist-Druck
- Automatische Trennung vom Netz von nicht benötigten Anlagen durch elektrische Absperrarmaturen

Abbildung 19: Kosten von Leckagen im Druckluftsystem<sup>76</sup>

Lochdurchmesser entsprechende Größe	Luftverbrauch bei 6 bar	Verlust pro Jahr	
		kW	€*
• 1mm	0,065 m <sup>3</sup> /min	0,47 kW	618,00 EUR
• 2mm	0,257 m <sup>3</sup> /min	1,85 kW	2.430,00 EUR
• 4mm	1,030 m <sup>3</sup> /min	7,42 kW	9.750,00 EUR
• 6mm	2,310 m <sup>3</sup> /min	16,66 kW	21.891,00 EUR

\* = Strompreis: 0,15 € pro kWh; Betriebszeit: 8.760 Stunden pro Jahr

<sup>73</sup> Vgl. Energieeffizienz im Betrieb (2017) <sup>74</sup> Vgl. Voortmann (2018) <sup>75</sup> Vgl. Knayer, T., Koci, S. (2017), S. 19-22 <sup>76</sup> Voortmann (2018)

#### Literatur:

Einen umfangreichen Praxisleitfaden für Energieeffizienz und Kosteneinsparung im Druckluftbereich hat die IHK Nürnberg für Mittelfranken erarbeitet. Dieser ist auf der Homepage abrufbar: [www.ihk-nuernberg.de](http://www.ihk-nuernberg.de)

#### Literatur:

Einen übersichtlichen Leitfaden mit allen wichtigen Informationen und Potenzialen zur Abwärmenutzung sowie entsprechende Förderprogramme hat die DENA in einem kurzen Leitfaden „Abwärme nutzen – praxiserprobt und wirtschaftlich“ zusammengefasst. Dieser ist unter folgendem Link zu finden: [shop.dena.de/fileadmin/denashop/media/Downloads\\_Dateien/esd/9189\\_Abwaerme\\_nutzen\\_-\\_praxiserprobt\\_und\\_wirtschaftlich.pdf](http://shop.dena.de/fileadmin/denashop/media/Downloads_Dateien/esd/9189_Abwaerme_nutzen_-_praxiserprobt_und_wirtschaftlich.pdf)

#### Tipp: Anlagendruck prüfen und anpassen

Es sollte geprüft werden, ob der vorhandene Anlagendruck wirklich bei den Endverbrauchern benötigt werden.

Maschinen und Werkzeuge benötigen in der Regel einen Betriebsüberdruck von 6 bis 6.3 bar. Ein zu hohes Druckniveau am Werkzeug (über 6.3 bar) reduziert die Leistung am Werkzeug, senkt die Lebensdauer und reduziert die Versorgungssicherheit, während die Energie- und Betriebskosten steigen.

Benötigen einzelne Maschinen und Geräte ein tieferes Druckniveau, so empfiehlt sich der Einbau von Druckreduzier-Ventilen. Der Einsatz von Druckreduzier-Ventilen ist wirtschaftlich, wenn der notwendige Druck einzelner Verbraucher um 0.5 bar geringer ist als der Betriebsdruck.

Muss im Leitungsnetz nur wegen eines einzigen oder einigen wenigen Verbrauchern ein um mehr als 0.5 bar höheres Druckniveau erzeugt werden, so sind individuelle Druckerhöhungs-Lösungen (zum Beispiel lokaler Booster-Kompressor) für diese Verbraucher zu prüfen.

Liegt der Druck im Leitungsnetz bei allen Verbrauchern über dem notwendigen Betriebsdruck, so kann der Netzdruck schrittweise reduziert werden.

#### Tipp: Leitungsnetz Optimierung

Sollten die Endverbraucher zum Beispiel nur 6 bar benötigen und dennoch ein Versorgungsdruck von 10 bar nötig sein, so ist das Druckluftverteilstück zu überprüfen. Oft kann durch eine Optimierung der Druckluftrohrleitung der Druck am Kompressor reduziert werden. Je höher das Potenzial für eine Absenkung, umso grösser ist das Einsparpotenzial.

Zusätzlich reduzieren sich durch die Druckabsenkung auch die Leckageverluste.

Das Rohrleitungsnetz könnte durch folgende Maßnahmen optimiert werden:

- 90-Grad-Winkel durch 90-Grad-Bogen ersetzen
- Rohrleitungen möglichst gerade verlegen
- Große Rohrdurchmesser wählen
- Ringleitungsnetz bei langen Wegstrecken dem Stichleitungsnetz vorziehen
- Austausch von Sitzventil-Armaturen mit hohem Druckverlust durch moderne Kugelhähne und Klappen
- Auf die Verwendung von Spiralschläuchen (verursachen hohe Druckverluste) sollte wenn möglich verzichtet werden.
- Undichte Druckluftpistolen sollten gegen Druckluftpistolen mit optimierten Düsen ausgetauscht werden.
- Alte Druckluftkupplungen sollten gegen strömungsoptimierte Kupplungen getauscht werden. Aktuelle Kupplungen haben auch einen erhöhten Unfallschutz.
- Alte Schläuche sind konsequent und kontinuierlich durch moderne PU-Schläuche auszutauschen. Dabei sollten die Schläuche nur so lang wie nötig sein, gerade verlegt werden und einen großen Schlauchdurchmesser aufweisen.

#### Beispiel: Mitarbeitersensibilisierung Druckluftpistolennutzung

Neben der regelmäßigen Wartung der Druckluftanlage ist auch die Sensibilisierung der Mitarbeiter im Umgang mit Druckluft nötig, wenn diese Druckluftgeräte nutzen. Bei LSU Schäberle wird beispielsweise in der Containerverladung Druckluft eingesetzt. Die Container werden zur Ladungssicherung mit Luftsäcken gefüllt, sodass an jedem Tor Druckluftanschlüsse vorhanden sind. Um sicherzustellen, dass die Druckluftpistolen nach Gebrauch richtig eingehängt sind und keine Luft durch einen permanent gedrückten Abzugsbügel entweichen kann, werden die Mitarbeiter regelmäßig an die korrekte Nutzung erinnert und daran, die Geräte regelmäßig auf Dichtheit zu kontrollieren.

### 3.10 Mitarbeitersensibilisierung

Der aktuelle Energieeffizienz-Index der deutschen Industrie hat ergeben, dass drei Viertel aller deutschen Industrieunternehmen ihre Mitarbeiter hinsichtlich Energieeffizienz sensibilisieren. Die häufigsten Maßnahmen zur Sensibilisierung sind dabei die persönliche Überzeugungsarbeit bei einzelnen Mitarbeitern, das Angebot von Informationsveranstaltungen oder Schulungen, die Einbindung der Mitarbeiter in das betriebliche Vorschlagswesen, die Aufstellung klarer Regeln zu energiesparendem Verhalten oder die Nutzung geplanter Energieeffizienz-Maßnahmen als Anlass für die Sensibilisierung.<sup>77</sup>

In der folgenden Tabelle sind wesentliche Maßnahmen zum Mitarbeiterverhalten für die einzelnen Gebäudebereiche aufgeführt.

Im Büro spielt die Sensibilisierung der Mitarbeiter für ein energiesparendes Verhalten eine besonders große Rolle. Bei Computerarbeitsplätzen ist darauf zu achten, Monitore, Rechner und Drucker in den Pausen und außerhalb der Bürozeit vom Stromnetz zu trennen. Bildschirmschoner sollten nicht eingesetzt werden, da diese einen höheren Stromverbrauch verursachen, als wenn sich der Monitor abschaltet. Durch eine optimale Konfiguration des Power Managements der Arbeitsplatzrechner (Monitor ausschalten nach fünf bis zehn Minuten, Festplatte ausschalten nie, Stand-by nach zehn bis 15 Minuten, Ruhezustand nach 40 bis 60 Minuten) kann der Energieverbrauch gesenkt werden. Werden neue Geräte beschafft, ist auf den Energieverbrauch beziehungsweise die Energieeffizienz zu achten. Weiterhin ist zu überprüfen, ob Arbeitsplatzdrucker durch einen zentralen Drucker ersetzt werden können. Dadurch können Strom- und Wartungskosten gesenkt und die Vorhaltung verschiedener Druckerpatronen reduziert werden. Im gesamten Büro sollten energieeffiziente Geräte eingesetzt werden. Dies gilt auch für die Teeküche. Alte Kühlschränke etwa sollten durch neue, energieeffiziente Geräte ausgetauscht werden. Sind die bisherigen Geräte mehr als zehn Jahre alt, lohnt sich ein Austausch, wenn das neue Gerät mindestens den Energieeffizienzgrad A++ aufweist. Außerdem ist es hilfreich, die (Tür-) Dichtungen der Kühlgeräte regelmäßig zu reinigen und bei Bedarf zu ersetzen. Die Lüftungsgitter für die Abwärme sollten frei und sauber sein, um einen Wärmestau zu verhindern, denn ein solcher würde den Stromverbrauch deutlich erhöhen. Bei längerer Abwesenheit sollten die Elektrogeräte komplett ausgeschaltet werden.<sup>78</sup>

#### Tipp: Energie Scouts

Bei „Energie Scouts“ handelt es sich um ein Qualifizierungsprogramm für Auszubildende, das von den Industrie- und

Tabelle 4: Maßnahmen zum Mitarbeiterverhalten<sup>79</sup>

Bereich	Maßnahme
Beleuchtung	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bedarfsgerechte Lichtschaltung (Licht nicht unnötig brennen lassen)</li> </ul>
Klimatisierung/Lüftung	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Richtige Bedienung der Klimaanlage</li> <li>• Fenster geschlossen halten</li> <li>• Stoßlüften statt Kippstellung</li> </ul>
Heizung	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Thermostatköpfe abends und bei offenem Fenster zudreuen</li> <li>• Luftströme vermeiden (zum Beispiel Schlupftür verwenden statt Rolltor öffnen)</li> </ul>
Druckluft	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ordnungsgemäße Nutzung (zum Beispiel Druckluftpistolen richtig einhaken)</li> <li>• Bedarfsgerechte Nutzung – nicht Abblasen von Kleidung/oder zur Nutzung der Druckluft zum Abkühlen</li> <li>• Leckagen melden</li> </ul>

Handelskammern angeboten wird. Im Rahmen dieser Qualifizierung werden die Auszubildenden für das Thema Energieeffizienz sensibilisiert. Ein wesentlicher Bestandteil ist auch die Durchführung eines praktischen Energieeffizienzprojektes, das gemeinsam mit Ausbildungsleiter oder dem Umwelt-/Energiebeauftragten im Unternehmen durchgeführt wird.

Weitere Informationen hierzu sind unter [www.ihk-bildungshaus.de](http://www.ihk-bildungshaus.de) zu finden.

#### Beispiel: Mitarbeitersensibilisierung bei Panalpina<sup>80</sup>

Ein wichtiger Faktor bei der Umsetzung von Maßnahmen zur Energieeffizienzsteigerung ist die Akzeptanz und Unterstützung der Mitarbeiter. Dazu müssen die Mitarbeiter entsprechend informiert und geschult werden. Die Sensibilisierung umfasst dabei nicht nur das Thema Energie, sondern auch weitere Themenbereiche der Nachhaltigkeit, wie etwa der schonende Umgang mit Ressourcen.

Bei Panalpina wird einmal im Jahr die sogenannte Sustainability Week durchgeführt. Diese Woche dient als intensive Phase der Reflexion und Sensibilisierung für den eigenen Beitrag im jeweiligen Unternehmensbereich. Aktionen in diesem Rahmen sind unter anderem Treppenlaufen statt Aufzugfahren und die Nutzung von Fahrrädern, ÖPNV oder Fahrgemeinschaften auf dem Weg zur Arbeit. Die Aktionen basieren auf

<sup>77</sup> Vgl. EEP (2017) <sup>78</sup> Vgl. Knayer, T., Koci, S. (2017), S. 27, 28 <sup>79</sup> Eigene Darstellung <sup>80</sup> Quelle: Telefoninterview mit Herrn Kuckenburger, Panalpina, am 15.08.2017

Freiwilligkeit und Eigeninitiative. Bisher wurden diese aber sehr gut angenommen. Auch über die Aktionswoche hinaus werden einzelne Aspekte der Nachhaltigkeit, insbesondere Strom-, Wasser- und Papierverbrauch, regelmäßig thematisiert und die Mitarbeiter werden zum sparsamen Verhalten animiert (unter anderem Licht ausschalten, nicht benötigte Geräte ausschalten, unnötige Kopien vermeiden).

Der Schlüssel zum Erfolg der Mitarbeitersensibilisierung liegt bei der Unternehmensleitung und den Führungskräften. Die Vorbildfunktion durch das Vorleben von energie- und ressourcenschonendem Verhalten ist dabei besonders wichtig. Um die Bedeutung der Nachhaltigkeit hervorzuheben, ist es sinnvoll, technische Änderungen, wie etwa die Installation von Bewegungsmeldern, mit verhaltensbezogenen Maßnahmen zu kombinieren. Schließlich ist ein kooperativer Führungsstil angebracht, um die Mitarbeiter zu motivieren und nicht zu frustrieren (Beispiel: „Schauen Sie mal, wenn wir an dieser Stelle etwas ändern, könnten wir sparen.“ Statt „Sie haben gestern schon wieder vergessen, das Licht auszumachen.“).

### 3.11 Energieeigenerzeugung

Unternehmen können Teile der durch sie benötigten Energie auch selbst erzeugen. Dazu werden hier kurz die Möglichkeiten von Photovoltaikanlagen, Solarthermieanlagen und Blockheizkraftwerken vorgestellt. Große Flächen auf Logistikanlagen bieten sich grundsätzlich für solare Lösungen an. Allerdings müssen einige Voraussetzungen, wie die Tragkraft der Dächer und auch nutzungsrechtliche Fragen bei Mietobjekten, geklärt werden.<sup>81</sup>

#### Photovoltaikanlagen und Batteriespeicher

Kommt der Gedanke an die Installation einer Photovoltaikanlage auf, so gilt es zunächst, die Dachflächen des Gebäudes auf seine Tragfähigkeit zu prüfen.

Die Größe im Sinne der möglichen Leistung einer Photovoltaikanlage wurde in der Vergangenheit meist auf das Maximum der zur Verfügung stehenden Flächen ausgelegt. Die Begründung war, dass die damalige Vergütung zur Netzeinspeisung nach dem Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) sehr hoch war und ein wirtschaftlicher Betrieb der Anlagen dadurch weitgehend gesichert war. Allerdings sind die Vergütungssätze sukzessive gesunken und neue Vergütungsmodelle entstanden. Die reine Einspeisung des produzierten Photovoltaik-Stroms ist mittlerweile nicht mehr die präferierte Variante, da der Vergütungssatz unter den Preis für fremdbezogenen Strom gesunken ist. Modelle, bei denen der Eigenverbrauch des Pho-

tovoltaik-Stroms im Vordergrund steht, haben an Attraktivität gewonnen. Derzeit wird angestrebt, die Autarkie in Bezug auf den Strombezug weiter auszubauen. Dazu sind allerdings Batteriespeicher erforderlich. Solche Lösungen erweisen sich allerdings nur dann als sinnvoll, wenn die produzierte Strommenge größer ist, als der Strombedarf. Zudem wandelt sich der Markt von der maximalen Stromproduktion hin zu der bedarfsgerechten Eigenstromproduktion. Insgesamt führt dies dazu, dass die Größe von Photovoltaik-Anlagen nun in Abhängigkeit des tatsächlichen Bedarfs auslegt wird.

Ob sich die Installation von einer Photovoltaikanlage in Verbindung mit einem Batteriespeicher für ein Unternehmen rechnet, muss individuell berechnet werden. Es kann dabei auch in Stufen vorgegangen werden, so dass zunächst die Photovoltaik-Anlage installiert und dabei ein hoher Eigenverbrauch des Stroms angestrebt wird. Überschüssiger Strom wird in das Netz eingespeist. Zu einem späteren Zeitpunkt können Batteriewechselrichter und Batterien nachgerüstet werden. Die Investitionskosten der „zusätzlichen“ Anlagentechnik sind noch relativ hoch, wobei der Batteriespeicher in den meisten Fällen nur geringfügig Einsparungen erzielen kann. Allerdings könnte der Batteriespeicher je nach Unternehmenssituation auch folgende Vorteile mit sich bringen:

- Substitution des Fremdbezug Strom bei Tag und bei Nacht.
- Ausgleich von Leistungsspitzen (zum Beispiel Senkung Netznutzungsentgelte).
- Stabilisierung des örtlichen Stromnetzes.
- Senkung Grundlast (bei größeren Speichern).
- Batterie als Synergie zur Stromtankstelle

#### Tipp: Solarpotenzial auf Dachflächen

Auf der Internetseite der Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg (LUBW) [www.energieatlas-bw.de](http://www.energieatlas-bw.de) kann eine erste Grobabschätzung über die solaren Gewinne vorgenommen werden.

#### Solarthermie

Eine weitere Möglichkeit, die Sonnenenergie zu nutzen, stellt die Solarthermie dar. Sie ist eine zuverlässige Technologie, bei der Sonneneinstrahlung in Wärme umgewandelt wird. Ein großer Vorteil der Solarthermie besteht darin, dass die verwendete Technik seit langem erprobt ist und sich als effizient erwiesen hat.

In Verbindung mit einem Solarspeicher und dem Heizkessel wird dafür gesorgt, dass jederzeit ausreichend Wärme zur Verfügung steht. Solarthermie dient hauptsächlich der

<sup>81</sup> Vgl. zum Folgenden Knayer, T., Koci, S. (2017).

Trinkwassererwärmung und der Heizungsunterstützung. In Abhängigkeit davon, welche Nutzung der Solarthermie im Vordergrund steht, fallen auch die Größe der Anlage und das Speicherkonzept unterschiedlich aus.

Bei der Trinkwassererwärmung wird die solare Wärme genutzt, um den Bedarf an warmem Wasser in der Zeit von Mai bis September vollständig abzudecken. Die Größe der Kollektorfläche und das Volumen des Speichers hängen vom jeweiligen Wasserbedarf ab.

Eine noch bessere Ausnutzung der Sonnenenergie wird erzielt, wenn diese nicht nur für die Trinkwassererwärmung, sondern zusätzlich auch noch für die Raumheizung genutzt wird. Dafür ist allerdings sowohl eine größere Kollektorfläche als auch ein größeres Speichervolumen erforderlich.

Des Weiteren können mit Solarthermie Adsorptions- oder Absorptionskältemaschinen betrieben werden. Eine Solarbetriebene Sorptionsklimaanlage könnte einen konventionellen Kälteerzeuger, der üblicherweise einen hohen Bedarf an Elektroenergie hat, insbesondere in den Sommermonaten ersetzen und ebenfalls für eine zusätzliche Kühlung des Gebäudes dienen. Die solare Kühlung ist deshalb so naheliegend und effizient, weil die Solarthermie gerade dann, wenn Kälte bzw. Kühlung gewünscht wird (also an heißen Sommertagen mit hoher Solarstrahlung) besonders viel solare Wärme zur Verfügung stellen kann.

### Blockheizkraftwerke

Die Funktionsweise von Blockheizkraftwerken (BHKW) ist bereits aus ihrem Namen ableitbar. Es sind Kraftwerke in denen gemeinsam, also in einem Block, gleichzeitig Wärme und Strom (Kraft) erzeugt werden. Das Prinzip dahinter wird als Kraft-Wärme-Kopplung bezeichnet. Ein Motor erzeugt Strom und dabei fällt gleichzeitig Wärme, die zum Heizen des Gebäudes genutzt werden kann, an. Der Motor kann mit unterschiedlichen Energieträgern betrieben werden.

Ein großer Vorteil von Blockheizkraftwerken liegt in dem hohen gesamten Wirkungsgrad der eingesetzten Energie. Denn der Wirkungsgrad bezüglich der Stromerzeugung und bezüglich der Wärmeerzeugung müssen hier gesamthaft betrachtet werden. Aus dieser Perspektive haben Blockheizkraftwerke häufig einen Wirkungsgrad von 90 Prozent, während reine Kraftwerke zur Erzeugung von Strom einen Wirkungsgrad von etwa 30 bis maximal 60 Prozent erzielen. Auch bezogen auf die erzeugte Wärme treten keine größeren Leitungsverluste auf, da die Blockheizkraftwerke am Ort des Bedarfes installiert werden.

### 3.12 Contracting

Beim Contracting von Energieerzeugungsanlagen werden Anlagen durch den Contractor entweder geplant, finanziert und errichtet oder eine vorhandene Energieerzeugungsanlage übernommen.<sup>82</sup> Für die Dauer des Vertrages trägt der Contractor die volle Anlagenverantwortung. Er ist somit für den Betrieb, die Anlagenwartung, die Instandsetzung und den Energieeinkauf verantwortlich. Der Kunde zahlt während der Laufzeit des meist langfristigen Contracting-Vertrages einen Preis für die Energielieferung (Wärme, Kälte, Strom, Licht), der sich aus einem Fixkosten- und einem verbrauchsabhängigen Anteil zusammensetzt. Bei dieser Lösung spart der Kunde sein eigenes Investitionskapital, bezieht Nutzenergie aus hocheffizienten Energieanlagen und profitiert von der Erfahrung eines professionellen Anlagenbetreibers.

#### Literatur:

Eine ausführliche Darstellung des Contracting mit den Vor- und Nachteilen hat das Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft des Landes Baden-Württemberg in der Broschüre „Contracting im Energiebereich“ zusammengestellt. Die Darstellung ist unter <https://um.baden-wuerttemberg.de/> als Download zur Verfügung.

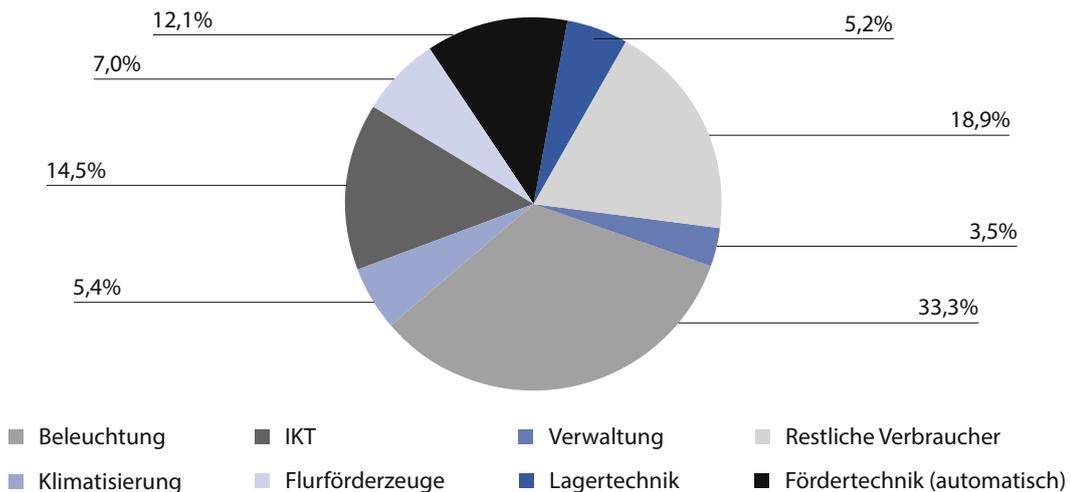
<sup>82</sup> Vgl. Knayer, T., Koci, S. (2017).

### 4.1 Ausgangssituation

Neben der Energieeffizienz des Gebäudes (siehe Kapitel 3), gibt es bei den Tätigkeiten im Lagerbereich weiteres Potenzial, um die Energieeffizienz zu steigern. Der Energieverbrauch ist, wie bereits erwähnt, dabei auch vom Automatisierungsgrad des Lagers abhängig. Je automatisierter ein Lager, desto höher ist tendenziell der Verbrauch. Weitere Einflussfaktoren auf den Energieverbrauch sind der Durchsatz und die Temperaturanforderungen.<sup>83</sup> Eine Studie<sup>84</sup> hat ergeben, dass Lagertechnik, automatische Fördertechnik sowie Flurförderzeuge mit etwa einem Viertel wesentliche Verbraucher im Lager sind. Aber auch Informations- und Kommunikationstechnologie (IKT) sowie restliche Verbraucher, wie etwa Kleingeräte, haben einen relevanten Anteil am Energieverbrauch.

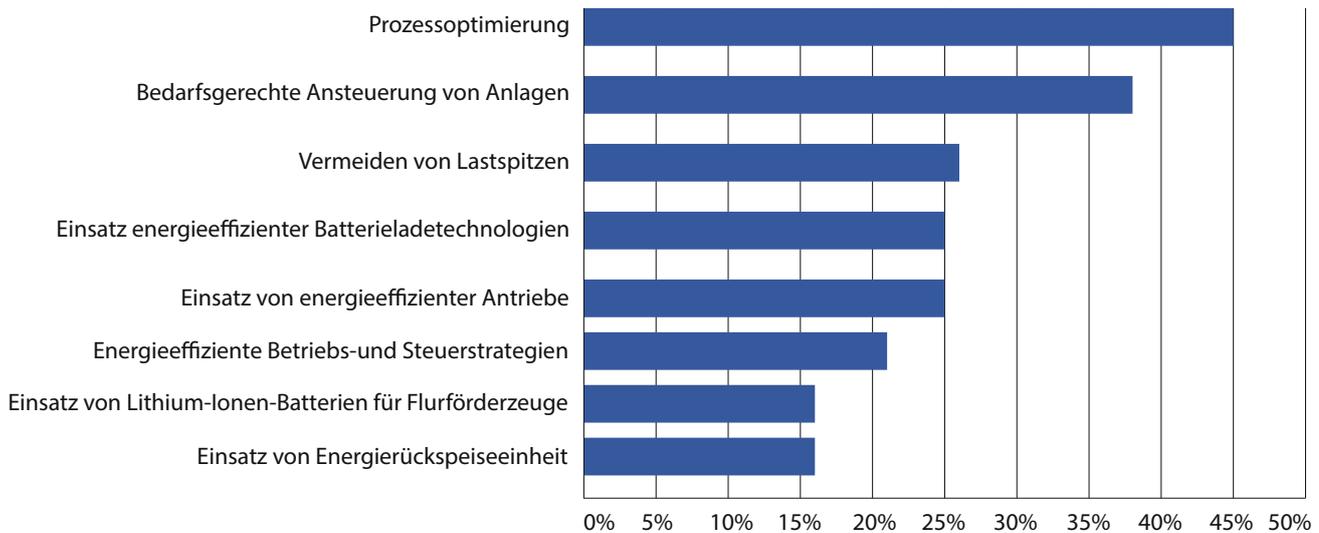
Wie in Abbildung 21 dargestellt, ist die häufigste Maßnahme, die im Lager zur Steigerung der Energieeffizienz umgesetzt wird, die Optimierung der Prozesse. Dazu gehört auch die Nutzung möglichst kurzer Wege, um den Energieverbrauch zu senken. Allerdings ist die Prozessoptimierung dabei vor allem ökonomisch motiviert und bringt einen positiven ökologischen Effekt mit sich. Weiterhin häufig umgesetzt werden die bedarfsgerechte Ansteuerung von Anlagen, das heißt das Abschalten von (Teil-) Anlagen der Fördertechnik, wenn diese nicht genutzt wird, sowie das Vermeiden von Lastspitzen, etwa durch zeitversetztes Schalten der Anlagen sowie zeitversetztes Laden der Batterien für Flurförderzeuge. Energieeffiziente Batterieladetechnologien sowie alternative Antriebe sind bisher weniger verbreitet, ebenso wie der Einsatz von Lithium-Ionen-Batterien für Flurförderzeuge und der Einsatz von Energierückspeiseeinheiten.<sup>85</sup>

Abbildung 20: Energieverbrauch im Lager<sup>86</sup>



<sup>83</sup> Vgl. Günthner, W., Freis, J. (2015), S. 29, 30 <sup>84</sup> Dobers, K. et al (2012). <sup>85</sup> Vgl. Günthner, W., Freis, J. (2015), S. 31 <sup>86</sup> Dobers, K. et al. (2012), S. 10.

Abbildung 21: Umgesetzte Maßnahmen zur Steigerung der Energieeffizienz im Lager im Jahr 2015<sup>87</sup>



### 4.2 Flurförderzeuge

Flurförderzeuge werden zum innerbetrieblichen Transport von Gütern eingesetzt. Dabei wird zwischen flurgebundenen Stetigförderern (zum Beispiel Band- und Kettenförderer, Roll- und Kugelbahnen) und Unstetigförderern unterschieden. Letztere werden in gleislose (zum Beispiel Stapler, Hubwagen, Fahrerlose Transportsysteme (FTS), Handwagen) und gleisgebundene (zum Beispiel Regalbediengerät, Verschiebeeinrichtung) Flurfördermittel eingeteilt.<sup>88</sup> Gleisgebundene Unstetigförderer sowie flurgebundene Stetigförderer werden bereits, wie auch die einzusetzende Lagertechnik und die automatische Fördertechnik, grundlegend bei der Planung des Fördersystems festgelegt und sind in der Regel langfristig angelegt, vom Lagertyp abhängig und nicht ohne größere Investitionen anpassbar. Stetigförderer können mechanisch, pneumatisch oder hydraulisch betrieben werden und befördern die Güter auf einem festgelegten Weg durch das Lager oder die Umschlagshalle, wie etwa eine Unterflurkette beim Umschlag von Stückgut. Die Entscheidung, ob und welche Art eingesetzt werden soll, ist unter anderem von der abzuwickelnden Produktart und den dazugehörigen Losgrößen abhängig. Insbesondere pneumatisch betriebene Systeme haben einen hohen Energiebedarf. Bei der Planung sollten dementsprechend auch die Umweltverträglichkeit und Energieeffizienz der einzelnen Komponenten berücksichtigt werden.<sup>89</sup>

Aufgrund des langen Planungshorizonts von Stetigförderern und gleisgebundenen Unstetigförderern, werden im Folgenden nur gleislose Unstetigförderer, wie Stapler, betrachtet. Diese kommen aufgrund ihrer Flexibilität bei unterschiedlichsten Unternehmen zum Einsatz.

#### 4.2.1 Energieeffiziente Stapler und alternative Antriebe

Stapler gehören zu den am häufigsten eingesetzten Flurförderzeugen in der Logistik. Sie können mit Diesel, Gas, Elektro oder als Hybrid angetrieben werden.<sup>90</sup>

Reine *Dieselantriebe* können aufgrund der Schadstoffemissionen ausschließlich im Außenbereich eingesetzt werden. Aufgrund ihrer Technik gehören dieselgetriebene Stapler allerdings zu den stärksten, belastbarsten Staplern. Sie können Lasten bis zu 90 Tonnen bewegen. Im Vergleich zum Dieseltapler haben *Gasstapler* eine geringere Leistungsfähigkeit. Sie sind aufgrund des Gasbetriebs jedoch durchschnittlich günstiger, auch in Bezug auf die Energiekosten. Insgesamt liegen die Vorteile bei beiden Antriebsarten in den flexiblen und langen Einsatzzeiten, der Einsatzmöglichkeit unabhängig von Wetterbedingungen (zum Beispiel Regen) sowie der Unempfindlichkeit gegenüber den Bodenverhältnissen. Nachteilig bei beiden Antriebsarten sind die Betriebslautstärke, oftmals höhere Wartungskosten sowie die Umweltauswirkungen.<sup>91</sup>

Für den Innenbereich bieten sich insbesondere Stapler mit *Elektroantrieb* an. Neben der Emissionsfreiheit bezogen auf Schadstoffe sind sie auch geräuscharm. Stabile und ebene Bodenverhältnisse sind jedoch Voraussetzung für den Einsatz. Die Einsatzzeit ist von der Batterielaufzeit abhängig, sodass ein kontinuierlicher Betrieb nicht möglich ist beziehungsweise dafür ein Zwischenladen oder einen Batteriewechsel erforderlich ist. Das Aufladen der Batterie kann grundsätzlich auch außerhalb der Betriebszeiten erfolgen.<sup>92</sup> Mittlerweile

<sup>87</sup> Günthner, W., Freis, J. (2015), S. 29 <sup>88</sup> Vgl. FML (o.J.) <sup>89</sup> Vgl. Friedrich, A. (2013), S. 54, 238 und Tilke, C. (2012), S. 7, 29 <sup>90</sup> Vgl. Günthner, W., Micheli, R. (2015a), S. 29 <sup>91</sup> Vgl. gabelstaplerkaufen.de (o.J.) <sup>92</sup> Vgl. gabelstaplerkaufen.de (o.J.)

Tabelle 5: Vergleich der CO<sub>2</sub>-Emissionen von Diesel- und Elektrostapler<sup>93</sup>

	Dieselmotor	Elektromotor	Einsparpotenzial
Gegengewichtsstapler 2 – 2,49 t	8,4 – 12,78 t CO <sub>2</sub>	3,64 – 5,88 t CO <sub>2</sub>	53,4 – 56,6 Prozent
Gegengewichtsstapler 4 – 4,99 t	15,33 – 18,98 t CO <sub>2</sub>	7,89 – 0,75 t CO <sub>2</sub>	43,3 – 48,5 Prozent

können auch *Lithium-Ionen-Batterien* verwendet werden. Lithium-Ionen-Batterien haben eine mehr als doppelt so hohe Lebensdauer, als die früher verwendeten Bleisäurebatterien und können mehr als zehn Jahre verwendet werden. Der Wirkungsgrad der Batterien ist aufgrund der höheren Energiedichte effizienter, sodass 90 Prozent der Leistung zum Antrieb genutzt werden können. Lithium-Ionen-Batterien haben zudem eine vergleichsweise kürzere Ladezeit und können in 90 Minuten aufgeladen werden. Zur Ladung werden außerdem keine separaten Ladestationen benötigt, herkömmliche Steckdosen sind ausreichend.<sup>94</sup>

Ausgehend von einer Nutzungsdauer von 1.250 Stunden pro Jahr, zeigt das Beispiel in der folgenden Tabelle die jährlichen Treibhausgas-Einsparpotenziale pro Stapler durch den Einsatz von Elektrostaplern im Vergleich zu Dieselstaplern auf.<sup>95</sup>

### Tipp: Wechsel der Batterietechnologie und Sicherheit

Bei der Frage, ob ein Wechsel von Bleisäure- auf Lithium-Ionen betriebene Stapler sinnvoll ist, sollte neben den technischen Vor- und Nachteilen der jeweiligen Technologie ebenfalls berücksichtigt werden, in welchen Bereichen diese eingesetzt werden und in welcher Häufigkeit. Da die Lithium-Ionen-Batterien nicht „leer gefahren“ werden dürfen und somit immer dann, wenn es möglich ist, geladen werden sollten, kann ein Einsatz im Umschlag mit wenigen Standzeiten (Mehrschichtbetrieb) weniger sinnvoll sein. Im Logistikbereich mit häufigeren Standzeiten (Einschichtbetrieb) könnte ein Technologiewechsel mit weniger Herausforderungen verbunden sein. Hier könnten zudem Lastspitzen durch eine hintereinandergeschaltete Ladung reduziert werden.

### Beispiel: Bereichsspezifische Geschwindigkeitsbegrenzung für Stapler<sup>96</sup>

Eine Möglichkeit, die relativ einfach und kostengünstig umzusetzen ist, stellt die Einrichtung von bereichsspezifischen Geschwindigkeitsbegrenzungen für Stapler dar. Dadurch können sowohl der Energieverbrauch als auch der Materialverschleiß reduziert und die Sicherheit erhöht werden.

Bei Panalpina, Kornwestheim, wurde beispielsweise festgestellt, dass das Nutzerverhalten zwar sehr unterschiedlich ist, generell aber die gefahrenen Geschwindigkeiten mit zunehmendem Arbeits- und Zeitdruck steigen. Auf kurzen Strecken ist es jedoch aufgrund der vielen Start- und Stopp-Vorgänge nur bedingt sinnvoll, schnell zu fahren.

Bei der Einrichtung einer solchen bereichsspezifischen Geschwindigkeitsbegrenzung müssen folgende Aspekte berücksichtigt werden:

- Um welche Art von Lager handelt es sich?
- Wie hoch ist die Frequentierung der Fläche?
- Wie lang sind die durchschnittlichen Distanzen ohne Start-Stopp-Vorgänge und Kurven?

Dementsprechend bieten sich für verschiedene Lagertypen unterschiedliche Geschwindigkeitsgrenzen, unabhängig von der Leistungsfähigkeit des Staplers, an. In einem Umschlagslager, in dem viele Fahrzeuge in hoher Frequenz agieren (zum Beispiel zehn bis 15 Fahrzeuge auf 5.000 m<sup>2</sup>), ist eine niedrigere Geschwindigkeit sinnvoll. In einem Kommissionierlager mit langen Wegen und Gängen sind höhere Geschwindigkeiten zulässig. Hierbei – im Gegensatz zum Umschlagslager – werden der Arbeitsprozess und die Arbeitszeit maßgeblich von der Geschwindigkeit beeinflusst. Wenn eine Erneuerung der Staplergeneration ansteht, ist es besonders sinnvoll, sich mit dieser Thematik auseinanderzusetzen, zumal moderne Geräte, zum Teil standardmäßig, entsprechende Möglichkeiten zur Geschwindigkeitsdrosselung bieten, ohne dass zusätzliche Kosten anfallen.

Ein kritischer Faktor bei der Einrichtung einer solchen Geschwindigkeitsbegrenzung ist allerdings der Mitarbeiter. Es ist daher wichtig, die Mitarbeiter von Anfang einzubeziehen und während des Umstellungsprozesses „mitzunehmen“, um die Akzeptanz zu steigern. In Unternehmen, die über einen Betriebsrat verfügen, sollte dieser ebenfalls einbezogen werden.

Insgesamt gibt es kein allgemeingültiges Patentrezept für die Einführung, da jede Lager- und Umschlagstruktur andere An-

<sup>93</sup> Vgl. Bruns, R. et al. (2012), S. 94 <sup>94</sup> Vgl. Schweikl, T. (2015) <sup>95</sup> Vgl. Bruns, R. et al. (2012), S. 93-94 <sup>96</sup> Telefoninterview vom 15.08.2017 mit Herrn Kuckenburg, Panalpina

forderungen und Eigenschaften hat, sodass eine individuelle Betrachtung der jeweiligen Arbeitssituation nötig ist. Dabei ist es allerdings wichtig, die richtige Balance zwischen Produktivität, Sicherheit sowie Vermeidung von Verschwendung zu finden.

### 4.2.2 Routenzüge

Der Einsatz von sogenannten Routenzügen eröffnet die Möglichkeit, den innerbetrieblichen Transport effizienter zu gestalten, da Einzelbewegungen von Materialien durch den Routenzug ersetzt werden. Denn mithilfe eines Routenzuges können verschiedene Materialien oder Güter mit nur einer Fahrt an unterschiedliche Orte im Lager oder in der Produktion transportiert werden.<sup>97</sup> Der Einsatz bietet sich dabei insbesondere bei vielen anzufahrenden Quellen und Senken sowie großen Entfernungen im Lager beziehungsweise in der Produktion an. Denn hier können die Einsparpotenziale der Transportbündelung besonders gut ausgenutzt werden. Dabei können unterschiedliche Transporteinheiten (Kleinladungsträger, Großladungsträger, Teile ohne Ladungsträger) in einem Routenzug kombiniert werden. Allerdings müssen auch einige Anforderungen erfüllt sein, damit Routenzüge sinnvoll eingesetzt werden können: Es können nur horizontale Transporte vorgenommen werden. Sackgassen können nicht angefahren werden, da Rückwärtsfahren mit einem Routenzug in der Regel nicht möglich ist. Die Beweglichkeit (insbesondere Kurvenradien) des Zuges muss gegeben sein, ebenso wie ausreichende Wegbreiten, um Kollisionen zu vermeiden und Überholvorgänge durch andere Transportmittel zu ermöglichen.<sup>98</sup> In der Automobilindustrie ist der Einsatz von Routenzügen schon seit Jahren üblich. Zunehmend werden diese auch in anderen Branchen eingesetzt. Da es zahlreiche Kombinationsmöglichkeiten eines Routenzuges gibt, sind unterschiedliche Einsatzszenarien möglich. Die auszuwählende Konfiguration ist dabei von den Bedürfnissen des Unternehmens abhängig und muss fallbezogen analysiert und geplant werden.<sup>99</sup>

### Literatur:

Die verschiedenen Möglichkeiten zum Einsatz von Routenzügen sowie die Vorgehensweise zur Planung, Steuerung und zum Betrieb hat der Lehrstuhl für Materialfluss, Fördertechnik und Logistik der Technischen Universität in folgenden Studien ausführlich betrachtet:

Günthner, W., Klenk, E., Galka, S., Dewitz, M., Knössl, T. (2012): Stand und Entwicklung von Routenzugsystemen für den innerbetrieblichen Materialtransport, Ergebnisse einer Studie, fml – Lehrstuhl für Fördertechnik Materialfluss Logistik, Technische Universität München, München.

Lieb, C., Klenk, E., Galka, S., Keuntje, C. (2017): Einsatz von Routenzugsystemen zur Produktionsversorgung, Studie zu Planung, Steuerung und Betrieb, fml – Lehrstuhl für Fördertechnik Materialfluss Logistik, Technische Universität München, München.

### 4.3 Lagertechnik

Wie oben erwähnt, unterliegen die Lagertechnik und die automatische Fördertechnik einem langfristigen Planungshorizont, da diese schon bei der Planung eines Lagers berücksichtigt werden müssen und nicht ohne weiteren Aufwand angepasst werden können. Daher ist es wichtig, von Anfang an die Energieeffizienz des Lagers mit allen einzelnen Komponenten ganzheitlich zu betrachten. Da die Bandbreite der einzusetzenden Lager- und Fördertechnik sehr vielfältig ist und von dem Geschäftsmodell des Unternehmens abhängig ist, werden im Folgenden beispielhaft Regalbediengeräte betrachtet.

#### Regalbediengeräte

Um die Energieeffizienz von Regalbediengeräten (RBG) zu steigern, gibt es verschiedene Ansätze. Diese sind jedoch langfristig angelegt und sind entweder beim Neubau eines Hochregallagers oder bei einem altersbedingten Wechsel der Antriebe zu berücksichtigen:

Bei einem herkömmlichen RBG müssen durchschnittlich etwa 90 Prozent der Energie zur Bewegung für die Bewegung des RBG ohne Last aufgebracht werden. Der Energieanteil zur Bewegung der Last liegt nur bei 10 Prozent. Um die Energieeffizienz zu erhöhen, kann ein Tragwerk aus Leichtbauweise eingesetzt werden.<sup>100</sup>

Auch im Antriebsbereich lassen sich Energieeffizienzpotenziale erschließen. Es gibt drei grundsätzliche Antriebskonfigurationen für ein RBG, deren Einsatz sich bewährt hat. Die herkömmliche Variante ist der Antrieb mit Bremswiderständen ohne Zwischenkreiskopplung, wobei die Stromkreise von Fahr- und Hubantrieb nicht verbunden sind. Die Weiterentwicklung ist der Antrieb mit Zwischenkreiskopplung. Dabei sind die Fahr- und Hubantriebe miteinander verbunden, sodass beispielsweise die Energie, die beim Bremsen eines Antriebs entsteht, von dem anderen Antrieb genutzt werden kann. Bremsst das Fahrwerk, kann das Hubwerk diese Bremsenergie zum Heben nutzen. Hierdurch werden bis zu 15 Prozent des Energiebedarfs im Vergleich zur herkömmlichen Variante eingespart. Wird zusätzlich noch ein Modul

<sup>97</sup> Vgl. Lieb, C. et al. (2017), S. 9, 21, 22, 29 <sup>98</sup> Vgl. VDI (2016), S. 2 <sup>99</sup> Vgl. Lieb, C. et al. (2017), S. 12 <sup>100</sup> Vgl. Ertl, R. et al. (2012), S. 67

zur Energierückspeisung eingesetzt, können bis zu 30 Prozent des Energiebedarfs eingespart werden. Das Rückspeisemodul speist dabei die überschüssige Energie aus den Bremsvorgängen in das Versorgungsnetz zurück.<sup>101</sup>

### Literatur:

Eine ganzheitliche Betrachtung aller Komponenten für verschiedene Lagertypen im Hinblick auf die Energieeffizienz hat die Technische Universität München in einem Forschungsprojekt vorgenommen und in folgendem Bericht festgehalten:

Günthner, W., Hausladen, G., Freis, J., Vohlidka, P. (2014): Das CO<sub>2</sub>-neutrale Logistikzentrum, Entwicklung von ganzheitlichen Handlungsempfehlungen für energieeffiziente Logistikzentren, fml - Lehrstuhl für Fördertechnik Materialfluss Logistik, Technische Universität München, München, online unter <http://gvz-klimabenchmarking.isl.org/>

### Beispiel: (Druckluft-) Kompressoren im Hochregal-lager mit sauerstoffreduzierter Atmosphäre<sup>102</sup>

Bei LSU Schäberle wird ein vollautomatisches Hochregallager mit 13.500 Palettenstellplätzen sauerstoffreduziert betrieben. Das heißt konkret, der Sauerstoffgehalt (O<sub>2</sub>) der Luft wird auf 13 Prozent, im Vergleich zu den üblichen 21 Prozent, reduziert. Dies dient dem Brandschutz: Durch den reduzierten Sauerstoffgehalt besteht auch eine reduzierte Entflammbarkeit der gelagerten Güter. Einfach ausgedrückt wird möglichen Brandherden von vornherein der Sauerstoff entzogen und der verbleibende Sauerstoff ist für ein Feuer nicht mehr ausreichend. Auf diese Weise muss keine CO<sub>2</sub>-Feuerlöschanlage in der Decke installiert oder Wassertanks/Löschteiche vorgehalten werden.

Um die sauerstoffreduzierte Atmosphäre zu schaffen, müssen Sauerstoffmoleküle entzogen werden. Hierzu saugen Kompressoren Luft an, pressen diese durch eine Filtermembran und blasen die Luft mit reduziertem Sauerstoffanteil dann in die Halle. Dazu sind zwei Kompressoren im Einsatz, die mit Strom betrieben werden. Der dauerhafte Betrieb der Kompressoren verursacht einen hohen Stromverbrauch. Da ein Austausch der Kompressoren altersbedingt bevorstand, hat LSU Schäberle dies zum Anlass genommen, die Energieeffizienz des Lagers zu überprüfen und zu steigern. Es wurden energieeffiziente Kompressoren ausgewählt. Um den Sauerstoffgehalt zu halten, wurden die Kompressoren nacheinander ausgetauscht. Außerdem wurde die Schaltung der Kompressoren überprüft und angepasst. Anstelle eines gleichzeitigen Betriebs, laufen

die Kompressoren nun im wöchentlichen Wechsel. Dadurch erhöht sich die Einsatzdauer und die Geräte können länger genutzt werden. Durch diese Maßnahme konnten etwa 20 Prozent des Stromverbrauchs eingespart werden. Der ROI der Anschaffung beträgt 2,5 Jahre.

Weiterhin sollten die Filter regelmäßig gewartet und gereinigt werden, damit keine zusätzliche Energie aufgebracht werden muss, um den Sauerstoff durch einen verschmutzten oder verstopften Filter zu blasen. Zusätzlich wurden die Wartungsintervalle verkürzt und die Wartung kann durch eigene Mitarbeiter vorgenommen werden. Wartungsarbeiten werden in der Regel gebündelt am Wochenende durchgeführt, da der Sauerstoffgehalt aus arbeitsmedizinischen Gründen auf mindestens 15 Prozent erhöht werden muss, damit Mitarbeiter im Lager arbeiten dürfen. Durch die Bündelung wird erreicht, dass die energieintensive Sauerstoffreduktion auf 13 Prozent weniger häufig vorgenommen werden muss.

Prinzipiell ist die Lagerhalle ein luftdichter Kubus. Öffnungen wie Fluchttüren oder Tore für die Warenannahme sind jedoch unverzichtbar. Allerdings kann die sauerstoffreduzierte Luft durch jede dieser Öffnungen entweichen. Dann müssen die Kompressoren mehr arbeiten, um diesen Verlust auszugleichen. Um dies zu verhindern, wurden neue Schnellauftore installiert. Innerhalb von einer Sekunde (vorher drei Sekunden) wird das ‚Leck‘ nun verschlossen und die Luftentweichung reduziert. Alle weiteren, potenziellen Schwachstellen, durch die Luft entweichen könnte, wurden überprüft und neu abgedichtet.

### Tipp: Arbeiten in sauerstoffreduzierter Atmosphäre

Die Brandgefährdung steigt, je höher der Sauerstoffgehalt in der Luft ist. Ab einem Anteil von 21 Prozent sind die meisten Stoffe entzündlich. Aus medizinischer Perspektive sind die Auswirkungen einer sauerstoffreduzierten Umgebung ähnlichen denen in Höhenlagen. Daher sind besondere Maßnahmen zum Schutz der Mitarbeiter nötig. Detaillierte Informationen zu diesen Maßnahmen sind hier zu finden:

DGUV (2013): Arbeiten in sauerstoffreduzierter Atmosphäre, BGI/GUV-I 5162, online unter <http://publikationen.dguv.de/dguv/pdf/10002/i-5162.pdf> [letzter Zugriff: 26.09.2017]

<sup>101</sup> Vgl. Ertl, R. et al. (2012), 68–69; Bruns, R. et al. (2012), S. 186; Günthner, W., Freis, J. (2015), S. 30 <sup>102</sup> Quelle: Telefoninterview mit Herrn Henzler, LSU Schäberle, am 23.08.2017

## 4. Potenziale zur Steigerung der Energieeffizienz im Lager

### 4.4 Informations- und Kommunikationstechnologie und restliche Verbraucher

Auf Informations- und Kommunikationstechnologie (IKT) und die restlichen Verbraucher entfällt etwa ein Drittel des Energieverbrauchs im Lager. Wichtiger Bestandteil der IKT ist die IT-Infrastruktur der Lagerverwaltungstechnik in Form der nötigen Server und der dazugehörigen PC-Arbeitsplätzen. Darüber hinaus sind Scanner, Tablets und Etikettendrucker weitere Energieverbraucher. Zu den restlichen Verbrauchern gehören unter anderem Folienwickler, Kreissägen für den Palettenzuschnitt, Bindegeräte, Waagen, Akkuschauber, Kehrmaschinen, aber zum Beispiel auch die Kaffeemaschine im Pausenraum.

#### Informations- und Kommunikationstechnologie

Wird der Energieverbrauch im Bereich IKT betrachtet, ist zwischen IT-Systemen (zum Beispiel Rechen-, Speicher-, Kommunikationstechnik) und IT-Infrastruktur (zum Beispiel unterbrechungsfreie Stromversorgung (USV), Klimatisierung) zu unterscheiden. Die Anteile am Energieverbrauch sind von der Größe des Rechenzentrums (je nach Unternehmensgröße kann dies von einzelnen Servern oder Serverschränken, über Serverräume bis hin zu größeren Rechenzentren reichen) abhängig. In kleineren Rechenzentren liegt

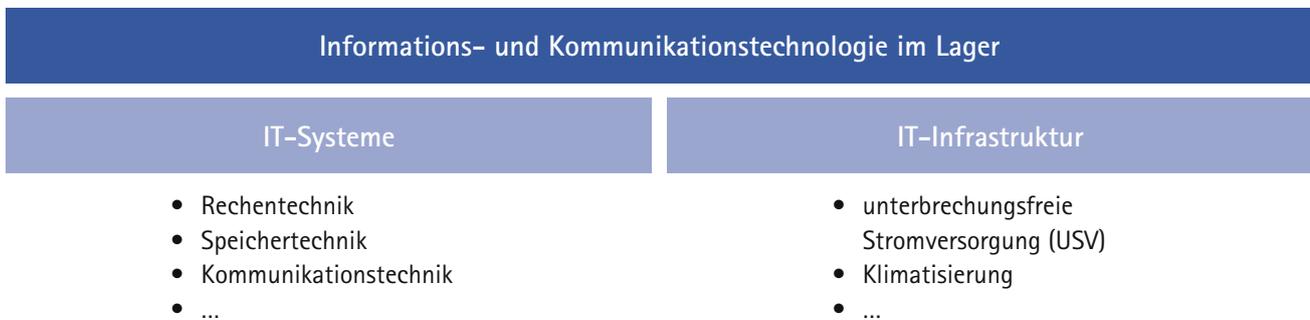
der Anteil des Stromverbrauchs der IT-Infrastruktur oft über 50 Prozent, sodass hier ein großes Energieeffizienzpotenzial besteht.<sup>103</sup>

Hauptverbraucher der IT-Systeme sind die Server. Mit einem steigenden Datenvolumen steigt allerdings auch der Energiebedarf der Speichersysteme. Um die Energieeffizienz der IT-Systeme zu steigern, sollte schon bei der Beschaffung darauf geachtet werden, dass effiziente Geräte ausgewählt werden. Im laufenden Betrieb hilft eine zeitgesteuerte An- und Abschaltung dabei den Energieverbrauch zu senken. Durch den zeitnahen Rückbau nicht mehr benötigter Komponenten kann dieser weiterhin reduziert werden. Da die Anzahl der Server den Energieverbrauch maßgeblich beeinflusst, ist es sinnvoll, die Server zu konsolidieren. Bei der sogenannten Virtualisierung<sup>104</sup> werden mehrere physische Server zu einem Server zusammengefasst. Dabei können dann mehrere Betriebssysteme parallel auf einer Hardware laufen. Durch die Virtualisierung können bis zu 80 Prozent des Energiebedarfs eingespart werden, denn nur ein ausgelasteter Server hat einen hohen Wirkungsgrad. Alternativ kann, sofern technisch möglich, auch eine Cloud genutzt werden. Dabei ist zu beachten, dass zwar der Energieverbrauch im Unternehmen reduziert wird, jedoch aber beim Cloud-Anbieter anfällt, sodass es sich lediglich um eine lokale Energieeinsparung handelt.<sup>105</sup>

Abbildung 22: Ansatzpunkte zur Steigerung der Energieeffizienz im Lager



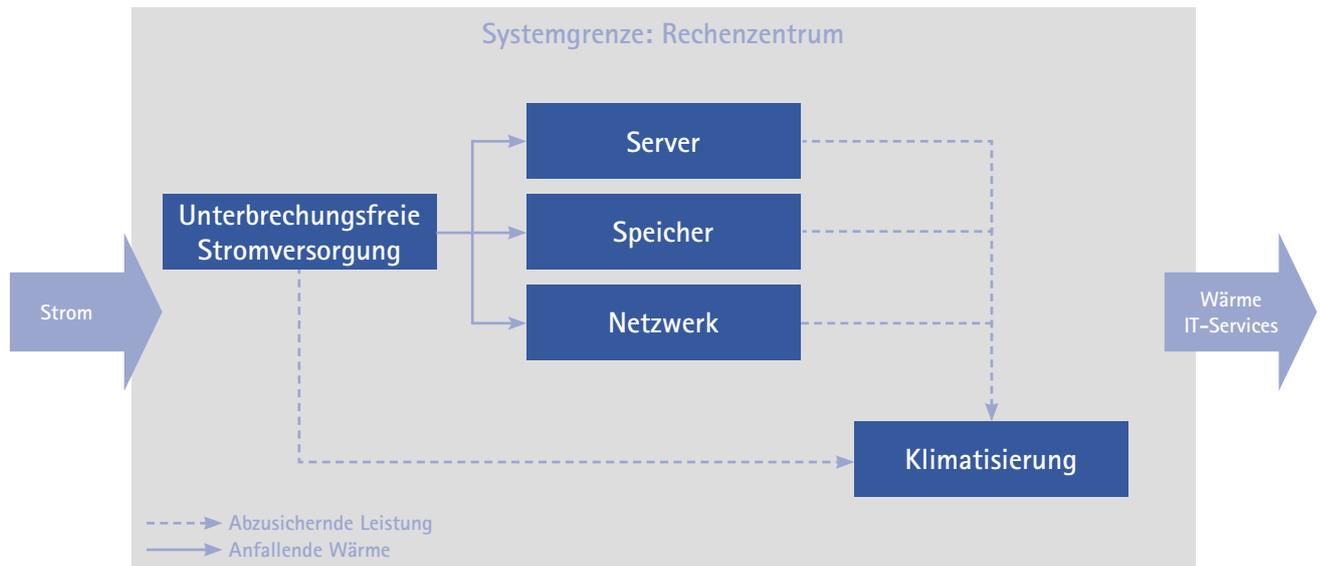
Abbildung 23: Ansatzpunkte zur Reduzierung des Energieverbrauchs der IKT im Lager



<sup>103</sup> Vgl. Miller, M. (2015), S. 6 und EnergieAgentur.NRW (2016) <sup>104</sup> Im Unterschied zur sogenannten Cloud gehört die Hardware dem Unternehmen und nur das Unternehmen hat darauf Zugriff. Bei einer Cloud gehört die Hardware i.d.R. einem Dienstleister und wird von mehreren Unternehmen genutzt.

<sup>105</sup> Vgl. Miller, M. (2015), S. 16 und EnergieAgentur.NRW (2016)

Abbildung 24: Komponenten eines Rechenzentrums<sup>106</sup>



Um den Energiebedarf der Speichertechnik zu reduzieren, sollten unnötige Programme identifiziert und entfernt werden. Außerdem sollte die Datenhaltung effizient gestaltet werden (sogenannte Datendeduplikation). Daten sollten also nur einmal gespeichert werden. Der Speicherbedarf kann dadurch um bis zu 90 Prozent reduziert werden, sodass die benötigte Kühlleistung ebenfalls sinkt. Durch den Austausch der Speicherhardware kann der Energieverbrauch ebenfalls reduziert werden. Während ein herkömmlicher HDD-Speicher (Hard Disk Drive, auch als Festplattenlaufwerk bekannt), dauerhaft in Betrieb ist, selbst wenn keine Daten verarbeitet werden, verbraucht ein moderner SSD-Speicher (Solid State Drive) nur bei der Datenverarbeitung Energie. Die Kosten für einen solchen Speicher sind, je nach Kapazität, allerdings um ein Vielfaches höher.<sup>107</sup>

Bei der IT-Infrastruktur ist die Klimatisierung mit mehr als 50 Prozent der Hauptverbraucher. Ein Ansatz zur Steigerung der Energieeffizienz ist die Nutzung der maximal möglichen Zuluft-Temperatur. Das heißt während in der Vergangenheit Serverräume auf 18 Grad Celsius herunter gekühlt wurden, wird heute eine Raumtemperatur von bis zu 27 Grad Celsius empfohlen. Dadurch kann der Energieverbrauch um bis zu einem Fünftel reduziert werden. Ein weiterer Ansatz ist die sogenannte Freikühlung. Aufgrund der hohen Raumtemperatur, ist im Fall der Serverräume eine Freikühlung mit Außenluft möglich. Allerdings ist bei hohen sommerlichen Temperaturen weiterhin der Einsatz eines Kühlaggregats notwendig. Eine weitere Möglichkeit ist eine Luftführung über einen sogenannten Doppelboden. Dabei wird die gekühlte Luft über

ein Doppelbodenhohlraum zur Luftführung installiert, der die gekühlte Luft zum Server führt, ohne dass diese mit warmer Serverabluft vermischt wird. Um die Vermeidung der Kalt- und Warmluft weiterhin zu vermeiden, sollten die Serverschränke (sogenannte Racks) entsprechend angeordnet werden. Diese werden also so positioniert, dass sich in einem Gang jeweils die Vorderseiten gegenüberstehen und im nächsten Gang die Rückseiten. Über den so geschaffenen Kaltgang (Vorderseite) wird die gekühlte Luft zugeführt. Die warme Abluft kann über die Rückseiten in den Warmgang entweichen. Durch die Kombination der verschiedenen Maßnahmen können bis zu 35 Prozent Energie eingespart werden.<sup>108</sup>

### Tipp: Kühlung von Serverschränken

Statt den kompletten Serverraum zu kühlen ist es ggf. effizienter nur die Serverschränke intern zu kühlen. Mit geringerer Kühlleistung kann eine effektivere Kühlung der Server erreicht werden. Gegebenenfalls ist zusätzlich eine Abwärmennutzung möglich.

### Tipp: Power Management Arbeitsplatzrechner und Drucker

In den Pausen und nachts sollten die Monitore und Rechner sowie Drucker vom Stromnetz getrennt werden. Es sollte auf Bildschirmschoner verzichtet werden, da diese einen höheren Stromverbrauch haben, als wenn sich der Monitor abschaltet. Das Power Management der Arbeitsplatzrechner sollte optimal konfiguriert werden. (Empfehlenswert: Monitor aus-

<sup>106</sup> Miller, M. (2015), S. 8    <sup>107</sup> Vgl. Miller, M. (2015), S. 12 und EnergieAgentur.NRW (2016)    <sup>108</sup> Vgl. EnergieAgentur.NRW (2016) und UBA (2014)

schalten: nach 5–10 Minuten; Festplatte ausschalten: nie; Stand-by: nach 10–15 Minuten; Ruhezustand nach 40–60 Minuten) Bei Neuanschaffungen sollte auch auf den Stromverbrauch geachtet werden. Thin Clients und Laptops haben einen geringeren Stromverbrauch als Desktop-Rechner.

Es sollte geprüft werden, ob die Arbeitsplatzdrucker gegen einen zentralen Drucker ersetzt werden können. Somit können Strom- und Wartungskosten gesenkt und die Vorhaltung verschiedener Druckerpatronen reduziert werden.

### Sonstige Verbraucher

Die wichtigsten Hebel zur Reduzierung des Energieverbrauchs der restlichen Verbraucher, sind die Beschaffung von energieeffizienten Geräten und der energieeffiziente Einsatz dieser: Bevor neue Geräte angeschafft werden, sollte zunächst überprüft werden, welche Leistung für den angedachten Zweck nötig ist. In vielen Fällen erfüllt ein Gerät mit niedriger Leistung den Zweck ebenso gut wie ein Gerät mit höchst möglicher Leistung. Durch solche kleinen Dinge kann Energie eingespart werden. So ist beispielsweise ein Akkuschauber einem Druckluftschauber vorzuziehen, sofern dies das Einsatzgebiet zulässt. Dadurch lässt sich nicht nur energieintensive Druckluft einsparen, sondern auch der Lärm wird reduziert. Bei der Beschaffung ist auf die Energieeffizienz des Gerätes zu achten. Gemäß der Energieverbrauchskennzeichnungsverordnung sind alle Hersteller dazu verpflichtet, die Energieeffizienz auf der Verpackung oder dem Produkt auszuweisen.

Beim Betrieb der Geräte ist darauf zu achten, dass diese auch nur dann eingesetzt werden, wenn sie benötigt werden. Werden sie nicht genutzt, sollten sie abgeschaltet werden. Der Stand-by-Modus sollte bei längeren Phasen des Nichtgebrauchs ebenfalls vermieden werden, um Energie zu sparen. Bestehende Geräte sollten regelmäßig gewartet und defekte Geräte ausgetauscht werden. Die Mitarbeiter sollten entsprechend in regelmäßigen Abständen für das Thema Energieeffizienz sensibilisiert werden, um Energieverbräuche nachhaltig zu reduzieren.

Die Steigerung der Energieeffizienz im Fuhrpark setzt insbesondere an der Reduzierung des Kraftstoffverbrauchs an. Die Ansatzpunkte zur Steigerung der Energieeffizienz bestehen in der Fuhrparkmodernisierung, dem Einsatz emissionsarmer Fahrzeuge mit alternativen Antriebstechnologien und Kraftstoffen sowie in der Verbesserung der Fuhrparkstruktur in Bezug auf Größe und Technik. Auch Maßnahmen zur Optimierung der Transportprozesse, wie Bündelung von Sendungen, Vermeidung von Leerfahrten oder der Einsatz von Telematiksystemen, tragen zur Verringerung der spezifischen Energieverbräuche bei.<sup>109</sup> Diese Maßnahmen sollten allein schon aus betriebswirtschaftlicher Sicht umgesetzt werden. Im folgenden Kapitel liegt der Fokus daher auf alternativen Antriebstechnologien und Kraftstoffen sowie dem Einsatz von Lang-LKW und der Mitarbeitersensibilisierung.

### Literatur:

Umsetzungsbeispiele und Handlungsempfehlungen zur Steigerung der Auslastung und Produktivität, als wichtigem Hebel zur Steigerung der Effizienz, sind im Praxisleitfaden zur IHK-Studie Grüne Logistik (2011) zu finden.

## 5.1 Alternative Antriebstechnologien und ihre Effizienzabstufungen

Um die Klimaziele für den Verkehrssektor erreichen zu können, ist eine deutliche Reduzierung der Treibhausgas-Emissionen notwendig. Der Ausstoß der Treibhausgas-Emissionen korreliert im Straßengüterverkehr sehr stark mit dem Kraftstoffverbrauch. In Deutschland werden jährlich etwa 18 Mil-

lionen Tonnen Kraftstoff für LKW benötigt.<sup>110</sup> Bei der weiteren Nutzung herkömmlicher Antriebe und fossiler Kraftstoffe ist die angestrebte Reduzierung aufgrund der dabei entstehenden Treibhausgas-Emissionen nicht möglich. Daher ist es notwendig, sowohl alternative Kraftstoffe als auch alternative Antriebe in den Fokus zu rücken. Während im PKW-Bereich schon große Fortschritte erzielt wurden und einige Modelle mit alternativen Antrieben auf dem Markt sind, können für den schweren Güter- wie auch Personenverkehr bislang nur manufakturähnlich hergestellte Einzelfahrzeuge oder in Kleinserie produzierte Fahrzeuge (mit mitunter sehr langen Wartezeiten) erworben werden.

### 5.1.1 Aktueller Stand

Im Jahr 2018 beträgt der Bestand an LKW in Deutschland insgesamt 3 Millionen.<sup>111</sup> Die Angaben zu Antriebs- und Kraftstoffarten für Nutzfahrzeuge werden vom Kraftfahrt-Bundesamt (KBA) nicht auf das zulässige Gesamtgewicht bezogen, wie es in der allgemeinen Nutzfahrzeugstatistik üblich ist, sondern auf die Nutzlast.<sup>112</sup> In der Statistik werden die in Tabelle 6 dargestellten Kraftstoffarten unterschieden. Die Tabelle enthält die Anzahl der LKW der jeweiligen Nutzlastklasse mit den einzelnen Kraftstoffarten.

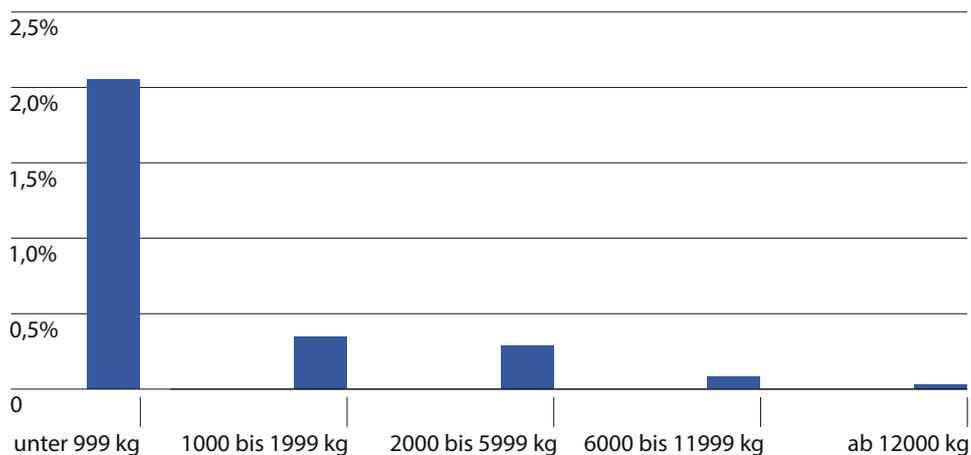
94,7 Prozent der LKW wurden mit einem herkömmlichen Verbrennungsmotor mit Dieselmotorkraftstoff betrieben, 4,1 Prozent mit Benzin und der Rest mit alternativen Antrieben beziehungsweise Kraftstoffen. Alternative Kraftstoffarten werden damit derzeit insgesamt kaum eingesetzt. Wenn sie eingesetzt werden, dann verstärkt im niedrigen Nutzlastbereich, doch auch dort beträgt der Anteil lediglich zwei Prozent.

Tabelle 6: Bestand an Lastkraftwagen in Deutschland am 1. Januar 2018 nach Nutzlast und Kraftstoffarten<sup>113</sup>

Nutzlast		Insgesamt	Davon mit Kraftstoffart						Hybrid		Sonstige
			Benzin	Diesel	Flüssiggas	Erdgas	Elektro	insgesamt	dar. Plug-in		
von	bis										
	999	1765990	113535	1616100	12628	12506	11067	34	7	120	
1000	1999	786692	10256	773561	1044	1325	405	9		92	
2000	5999	259733	890	258006	50	290	332	77	2	88	
6000	11999	98303	71	98108	9	52	8	7		48	
12000	und mehr	118618	63	118403	2	28		4		118	
unbekannt		1803	68	1708	16	2	1			8	
01. Jan 17		2911907	119523	2757365	13021	14752	6595	126	4	525	
Veränderung		4,1%	4,5%	3,9%	5,6%	-3,7%	79,1%	4,0%	125,0%	-9,7%	

<sup>109</sup> Vgl. IHK Region Stuttgart (2011), S. 38 <sup>110</sup> Clausen, U., Rüdiger, D. (2014), S. 7 <sup>111</sup> Dazu zählen alle Fahrzeuge im Güterverkehr, auch diejenigen mit einer Nutzlast von weniger als 999 Kilogramm, wie in Tabelle 6 dargestellt. <sup>112</sup> Vgl. Shell (2016), S. 27. <sup>113</sup> Quelle: KBA (2018), S. 30

Abbildung 25: Anteile alternativer Antriebe in den einzelnen Nutzlastklassen<sup>114</sup>



Ein Grund dafür liegt in der bisher noch geringen Reichweite, so dass diese Fahrzeuge überwiegend im Nah- oder Verteilerverkehr in Städten eingesetzt werden. Das größte Wachstum im Vergleich zum Vorjahr konnte der Elektroantrieb mit 79 Prozent aufweisen. Der Zuwachs erfolgte allerdings hauptsächlich im Nutzlastbereich bis 999 Kilogramm.

Allerdings wird ebenfalls deutlich, dass bisher kein schwerer LKW mit Elektroantrieb in der KBA-Statistik aufzufinden ist.

Im Aktionsplan Güterverkehr und Logistik ist, ebenso wie in der Mobilitäts- und Kraftstoffstrategie der Bundesregierung vorgesehen, zunächst die Elektro- und Hybridantriebe für leichte Nutzfahrzeuge voranzutreiben und dabei auf bereits gewonnene Erfahrungen im PKW-Bereich, insbesondere bezüglich der Kraftstoffinfrastrukturen, zurückzugreifen. Des

weiteren soll kurz- bis mittelfristig die Kraftstoffbasis erweitert werden. Dazu zählen Gasantriebe, der Mischbetrieb von Diesel und Erdgas (Dual-Fuel) sowie die Beimischung von Biomethan. Langfristig sollen Batteriekonzepte sowie die Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie für den schweren Straßengüterverkehr nutzbar gemacht werden. Neben der Durchführung von Studien zum Potenzial dieser Technologien sollen Förderprogramme für energieeffiziente und CO<sub>2</sub>-arme LKW-Antriebe erarbeitet werden.<sup>115</sup>

Bis diese Antriebstechnologien und Kraftstoffalternativen flächendeckend eingesetzt werden können, besteht derzeit noch Forschungs- und Entwicklungsbedarf. Dies gilt insbesondere für die Bereiche Speichertechnologie und Infrastruktur. Gravierende Änderungen der Energiebasis im Verkehr werden daher in den nächsten Jahren noch nicht erwartet.<sup>116</sup>

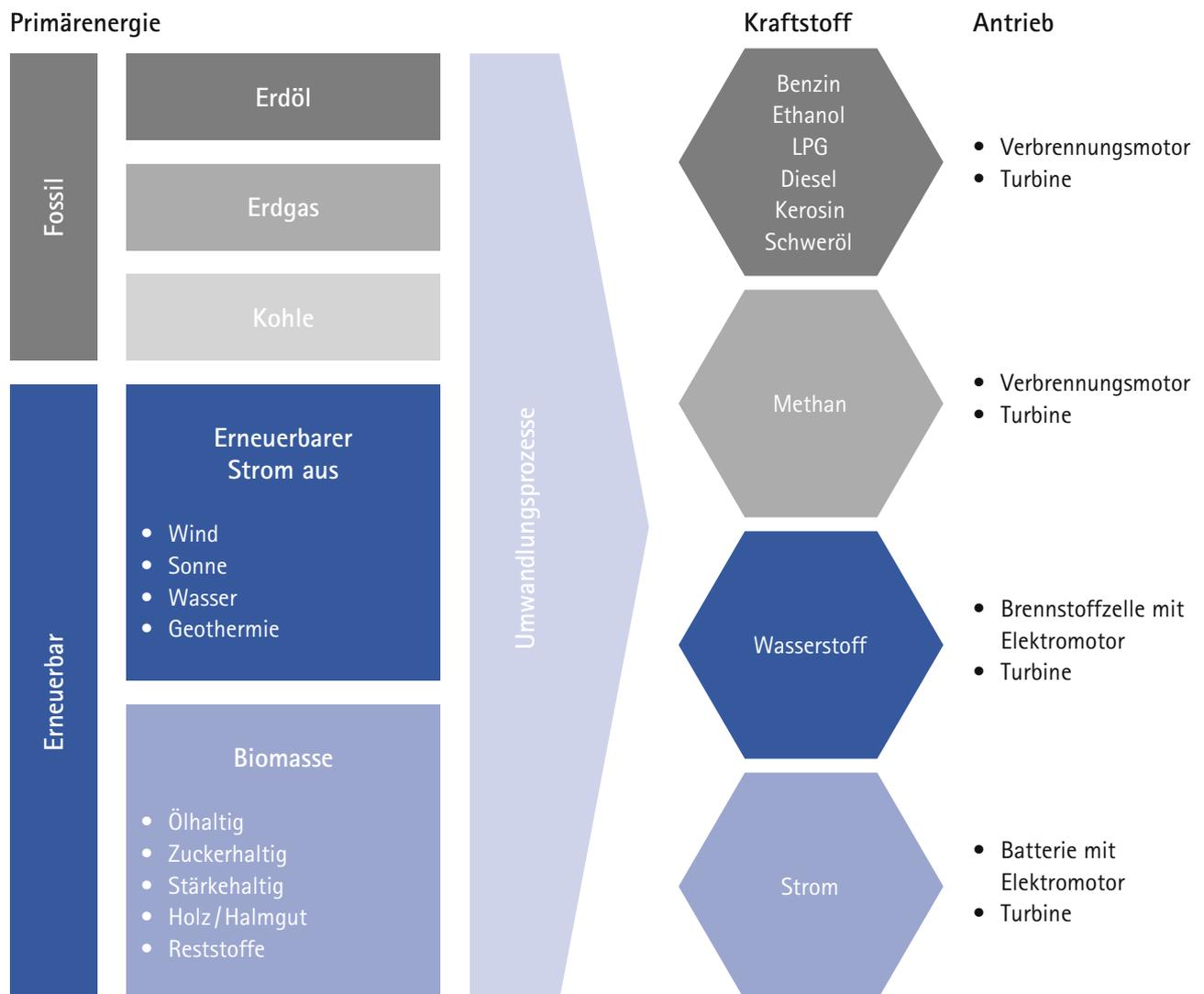
Tabelle 7: Entwicklung der LKW mit Elektroantrieb von 2017 auf 2018<sup>117</sup>

Nutzlast	2017	2018	Entwicklung
Unter 999	5950	11067	86 %
1000 bis 1999	334	405	21 %
2000 bis 5999	304	332	9 %
6000 bis 11999	7	8	14 %
ab 12000			
unbekannt			
<b>Summe</b>	<b>6595</b>	<b>11812</b>	<b>79 %</b>

<sup>114</sup> Eigene Darstellung mit Daten aus KBA (2018), S. 30. <sup>115</sup> Vgl. BMVI (2017), S. 40, 41 und BMVI (2013), S. 9, 10 <sup>116</sup> Vgl. BMUB (2016), S. 113

<sup>117</sup> Eigene Darstellung mit Daten aus KBA (2017), S. 30 und KBA (2018), S. 30.

Abbildung 26: Übersicht Entstehungspfade der Kraftstoff- und Antriebsarten<sup>118</sup> (Quelle: BMVI (2013), S. 81)



Im folgenden Abschnitt werden die heute bereits existierenden alternativen Antriebe und Kraftstoffe sowie deren derzeitiger Entwicklungsstand kurz vorgestellt. Abbildung 26 zeigt dazu die Zusammenhänge zwischen Primärenergie bis zur Antriebsart.

### 5.1.2 Elektroantriebe

Ein Elektroantrieb besteht aus zwei Basiskomponenten, dem Elektromotor und einem Speicher. Nach aktuellem Stand der Technik ist zwischen zwei Technologieformen zu unterscheiden: Die strombasierte Variante mit einer Batterie ist die ursprüngliche Form der Elektroantriebe. Die Energie kann dabei kurzfristig gespeichert werden und eine Rückspeisung (Rekuperation) ist möglich. Der Einsatz der Brennstoffzellentechnik

befand sich noch vor kurzer Zeit im Versuchsstadium.<sup>119</sup> Mittlerweile existieren erste Lösungen, allerdings zunächst im PKW-Bereich. Daher wird darauf in diesem Leitfadens nicht weiter eingegangen.

#### Elektroantrieb mit Batterie

Bei dem batterieelektrischen Fahrzeug (BEV, battery electric vehicle), wird die Antriebsenergie ausschließlich aus der Batterie bezogen. Diese wird am Stromnetz aufgeladen.<sup>120</sup> Sofern der eingesetzte Strom aus erneuerbaren Energiequellen stammt, können CO<sub>2</sub>-Emissionen im Vergleich zu einem herkömmlichen Dieselfahrzeug eingespart werden. Die Luftqualität kann vor allem in Großstädten stark verbessert werden, weil keine direkten Emissionen beim Betrieb entstehen. In

<sup>118</sup> BMVI (2013), S. 81. (modifiziert) <sup>119</sup> Vgl. Shell (2016), S. 48. <sup>120</sup> Vgl. NPE (2017) und IAO (2014), S. 34

Baden-Württemberg werden durch Nutzfahrzeuge 27,5 Prozent der CO<sub>2</sub>-Emissionen, 43 Prozent der Stickstoffoxide und 32 Prozent des Feinstaubes verursacht. Da der Anteil der Nutzfahrzeuge an der Gesamtfahrleistung in Baden-Württemberg nur rund 10 Prozent ausmacht, tragen diese somit überproportional zu den Emissionen bei.<sup>121</sup> Hinzu kommt die geringe Geräuschentwicklung des Antriebs, wodurch die Lärmemissionen wesentlich reduziert werden.

Batterien weisen aktuell noch eine geringe Energiedichte auf. Daher sind die Ladekapazitäten von Batterien nur durch den Einsatz von Batterien mit großem Gewicht zu erhöhen. Dies verschließt den Zugang der Elektromobilität für manche Anwendungsbereiche von vornherein. Im Vergleich zu Dieselantrieben müssen daher geringere Reichweiten und kürzere Einsatzzeiten von BEV einkalkuliert werden.<sup>122</sup> Damit eignet sich der Einsatz von Elektrofahrzeugen insbesondere im Stadt- und Regionalverkehr. Die eingeschränkte Reichweite im Vergleich zum konventionellen Antrieb muss bei der Tourenplanung berücksichtigt werden. Aufgrund der hohen Anzahl an Start-Stopp-Vorgängen im Verteilerverkehr kann die Bremsenergie rückgewonnen und gespeichert werden. Der Wirkungsgrad des Antriebs wird dadurch erhöht und der externe Energiebedarf gesenkt, was einen positiven Einfluss auf die Reichweite hat.<sup>123</sup>

Neben der begrenzten Reichweite sowie einer fehlenden flächendeckenden Ladeinfrastruktur sind die hohen Anschaffungskosten ein wesentlicher Nachteil.<sup>124</sup> Die aktuellen Anschaffungspreise liegen im Durchschnitt bis zu dreimal über denen für konventionelle Dieselfahrzeuge. Für die nähere Zukunft wird auch erwartet, dass die Kosten weiterhin höher bleiben als für einen Verbrennungsmotor. Allerdings wird der Gesamtkostenvorteil des Diesels sinken.<sup>125</sup> Dies liegt auch daran, dass es sich bei den meisten der heute eingesetzten Elektrofahrzeuge um Sonder- oder Einzelanfertigungen für Pilotversuche handelt. Die zunehmende Entwicklung und Reife der entsprechenden Technologien sowie die Forcierung des Themas Elektromobilität seitens der Bundesregierung lassen erwarten, dass über den Einstieg in die Serienproduktion auch die Preise sinken werden.

### Beispiel: Emissionsfreier Transport

Die Deutsche Post DHL verfolgt das Ziel, bis 2050 Transporte komplett emissionsfrei durchzuführen. Da hierfür der Fuhrpark vollständig auf emissionsfreie Antriebe umgestellt werden muss, wurde ein den Anforderungen im KEP-Bereich

entsprechendes batterieelektrisches Fahrzeug entwickelt. Mittlerweile sind schon 6.000 ‚StreetScooter‘ deutschlandweit im Einsatz. Derzeit können 20.000 Fahrzeuge jährlich produziert werden.<sup>126</sup> Es gibt zwei Modellvarianten, ‚Work‘ mit 4 Kubikmeter Ladevolumen und 650 Kilogramm Nutzlast und ‚Work L‘ mit acht Kubikmeter Ladevolumen und 960 Kilogramm Nutzlast. Darüberhinaus soll der ‚Work XL‘ mit 20 Kubikmeter Ladevolumen die Flotte ergänzen.<sup>127</sup> Die Reichweite soll, je nach Batteriekonfiguration, 80 bis 200 Kilometer betragen. Im Vergleich zum herkömmlichen Dieselfahrzeug könnten so pro Jahr und Fahrzeug etwa 1.900 Liter Diesel und fünf Tonnen CO<sub>2</sub> eingespart werden.<sup>128</sup>

### Beispiel: Batterieelektrischer LKW

Mit dem „urban eTruck“ hat Daimler einen batterieelektrischen LKW für den schweren Verteilerverkehr entwickelt. Bei dem Dreiaxser mit 26 Tonnen zulässigem Gesamtgewicht und einem Batteriegewicht von 1,7 Tonnen, ist die Nutzlast nur 700 Kilogramm niedriger als die eines herkömmlichen Diesel-LKW<sup>129</sup>. Da die EU Kommission zur Förderung von alternativen Antrieben die Erhöhung des zulässigen Gesamtgewichts um bis zu einer Tonne erlaubt, kann das Batteriegewicht zum Großteil ausgeglichen werden. Die Reichweite beträgt bis zu 200 Kilometer. Ab 2020 soll die Serienproduktion erfolgen.<sup>130</sup> Die Anschaffungskosten sollen dabei maximal 40 Prozent über denen eines herkömmlichen LKW liegen, damit ein wirtschaftlicher Betrieb möglich ist. Bis 2030 sollen weltweit 250.000 solcher E-LKW zum Einsatz kommen.<sup>131</sup>

Der Schweizer Fahrzeughersteller E-Force hat einen 18 Tonnen E-LKW, den ‚E-Force One‘, entwickelt. Das Fahrzeug ist mit einem 408 PS-Elektromotor ausgestattet und hat eine Nutzlast von zehn Tonnen. Die Ladezeit (Vollladung) der Batterie beträgt sechs Stunden. Im Stadt- und Regionalverkehr beträgt die Reichweite bis zu 300 Kilometer, auf Autobahnen bis zu 200 Kilometer. Das Fahrzeug ist somit insbesondere für innerstädtische und regionale Verteilerverkehre geeignet.<sup>132</sup> Im Rahmen eines einjährigen Praxistests zum Einsatzverhalten bei unterschiedlichen Bedingungen (Streckenprofil, Zuladung, Wetter, etc.), könnten ausgehend von den Kraftstoffkosten als einem wesentlichen Bestandteil der Fahrzeugkosten, je Kilometer 55 Prozent beziehungsweise 16 Cent/Kilometer der Kraftstoffkosten eingespart werden.<sup>133</sup>

<sup>121</sup> Vgl. LUBW (2017), S. 29 <sup>122</sup> Vgl. e-mobil BW (2017), S. 56. <sup>123</sup> Vgl. IAO (2014), S. 15, 16 <sup>124</sup> Vgl. Clausen, U., Rüdiger, R. (2014), S.24 <sup>125</sup> Vgl. Hacker, F. et al. (2015), S. 106 <sup>126</sup> Vgl. DPDHL (2018), o.S. <sup>127</sup> Vgl. DHL (2017) und StreetScooter (2017) <sup>128</sup> Vgl. DHL (2017a) <sup>129</sup>: Die Berechnungen von Daimler beruhen auf dem zulässigen Gesamtgewicht eines Kraftfahrzeuges mit drei Achsen, das gemäß § 34 Absatz 5 Nr. 2a StVZO 25 Tonnen beträgt und über, eine Nutzlast von 12 bis 13 Tonnen verfügt.<sup>130</sup> Vgl. Daimler (2017a) <sup>131</sup> Vgl. Eckl-Dorna, W. (2016) <sup>132</sup> Vgl. E-FORCE (2016) <sup>133</sup> Vgl. IAO (2014), S. 38, 39; Diesel = 1,05 € je Liter, Industriestrom = 15,5 Cent/kWh

Tabelle 8: Vergleich der Antriebsarten Diesel und Elektro für einen 7,5-Tonner für das Jahr 2030<sup>134</sup>

Ausblick 2030	Schwer Transporter	
	Diesel	BEV
Zul. Gesamtgewicht (t)	7,5	7,5
FZ-Leergewicht (t)	3,5	3,9
Batteriekapazität (kWh)		82,8
Leistung (kW)	110	115
Gewicht antrieb (kg)	285	201
Energiespeicher	Dieseltank	Li-NMC
Kapazität	100 L	83 kWh
	(entspricht 989 kWh)	
Gewicht energiespeicher (kg)	20	670
Verbrauch 2030 (je 100km)	12 L	40,5 kWh
Reichweite (km)	800	200

### Beispiel: Einsatz eines E-LKW im Verteilerverkehr<sup>135</sup>

Die Hintzen Logistik aus Eschweiler hat im Rahmen eines öffentlich geförderten Projektes im Jahr 2014 gemeinsam mit dem belgischen Unternehmen E-Trucks Europe einen konventionell angetriebenen LKW zu einem E-LKW umgerüstet. Ziel dabei war es vor allem, das Fahrzeug besonders energieeffizient zu gestalten. Eine der größten Hürden musste dabei schon in der Entwicklungsphase genommen werden: da es sich um ein länderübergreifendes Projekt handelte, musste der E-LKW sowohl der EU-Norm und der deutschen Norm entsprechen. Dabei musste das Fahrzeug sowohl von belgischen als auch von deutschen Überwachungsorganisationen überprüft und abgenommen werden. Im Anschluss hat es ein weiteres Jahr gedauert, in dem viele Anpassungen vorgenommen werden mussten, bevor der E-LKW zuverlässig eingesetzt werden konnte.

Heute fährt der E-LKW zuverlässig im Regelbetrieb. Für den Einsatz im Nahverkehr, ist die Reichweite von 150 Kilometer für Hintzen Logistik ausreichend. Dabei ist der Verbrauch im Nahverkehr, aufgrund der Energierückspeisung, um 15 Prozent niedriger als auf der Autobahn. Die Ladung kann an einer herkömmlichen Industriesteckdose erfolgen. Auch die Wartung des E-LKW ist wirtschaftlicher, da manche Betriebsstoffe (zum Beispiel Motoröl) entfallen. Sowohl bei den Kunden als auch bei den Mitarbeitern wird der E-LKW gut angenommen.

### Eigenschaften des E-LKW von Hintzen Logistik

- Gesamtgewicht: 18 Tonnen | Nutzlast neun Tonnen
- Motor: 150 kW (205 PS) | Batterie: 136 Kilowattstunden, acht Stunden Ladezeit, zwei Stunden Schnellladung
- Reichweite: 174 Kilometer (theoretisch), 150 Kilometer (praktisch)
- Energieverbrauch: 80 Kilowatt (circa acht Liter Diesel / 100 Kilometer) Autobahn | 60 Kilowatt (circa sechs Liter Diesel / 100 Kilometer) Stadtverkehr

Eine Umrüstung weiterer Fahrzeuge ist derzeit allerdings nicht geplant, vielmehr wird auf die angekündigten Serienfahrzeuge etwa ab 2020 gewartet. Hauptgrund dafür sind die hohen Umrüstungskosten, die in etwa der einer Einzelfertigung entsprechen. Bis zur Verfügbarkeit marktreifer Fahrzeuge wird Hintzen Logistik sich intensiv mit dem Thema Ladeinfrastruktur auseinandersetzen und die Umstellung auf E-LKW entsprechend vorbereiten. Beispielsweise werden bei der Erweiterung einer Lagerhalle an fünf von neun Toren schon die Kabel für die Ladestationen verlegt. Weiterhin arbeitet Hintzen Logistik an einem Anreizkonzept für die Fahrer. Statt wie gewohnt mit dem Verteilerfahrzeug den Arbeitsweg zurückzulegen, soll den Fahrern in Zukunft ein kleines E-Auto für die Bewältigung der Arbeitswege zur Verfügung gestellt werden. Tagsüber kann das E-Auto in der Firma geladen werden.

<sup>134</sup> Vgl. e-mobil BW (2017), S. 61 (Auszug und leicht modifiziert).

<sup>135</sup> Quelle: Telefoninterview mit Herrn Hintzen, Hintzen Logistik GmbH & Co. KG, am 14.09.2017

**Ladeinfrastruktur:** Konventionelle Ladestationen haben eine Leistung von bis zu 22 bzw. 24 Kilowatt. Diese Voraussetzung dürfte bei den meisten Logistikunternehmen gegeben sein. Betreibt man allerdings mehrere Elektrofahrzeuge, so müssen auch mehrere Anschlusspunkte für das gleichzeitige Laden der Fahrzeuge vorhanden sein. Dazu muss jedes Unternehmen mit seinem Netzbetreiber seinen Anschluss an das Stromnetz überprüfen. Schlimmstenfalls muss dann die Stromversorgung des Betriebsgeländes mittels eines eigenen Transformators aufgerüstet werden. Die damit verbundenen Kosten variieren, können allerdings erheblich sein und addieren sich zu den ohnehin schon höheren Investitionskosten der Fahrzeuge. Die Investition für einen 15-Megawatt-Anschluss, der die gleichzeitige Schnellladung von circa 40 Fahrzeugen mit 220 Kilowatt erlauben würde, wird auf etwa eine halbe Million Euro geschätzt.<sup>136</sup>

### Tipp: Vorbereitung auf den Einsatz von E-LKW

Obwohl derzeit keine E-LKW in größeren Mengen verfügbar sind, die außerhalb des KEP-Bereichs sinnvoll eingesetzt werden können, ist es dennoch wichtig, sich schon heute mit dem Thema E-Mobilität und den Konsequenzen für das eigene Unternehmen auseinanderzusetzen.

Folgende Fragen sollten gestellt werden:

- Wo wollen wir in fünf Jahren stehen? Wie soll E-Mobilität in unserem Unternehmen zum Einsatz kommen?
- Welche Touren eignen sich überhaupt zur Elektrifizierung?
- Können alle Kundenanforderungen mit E-Fahrzeugen befriedigt werden? Welche und wie viele konventionell angetriebene Fahrzeuge werden im Zweifel benötigt?
- Wie viele E-Fahrzeuge werden benötigt? Welche Ladeinfrastruktur muss an welcher Position zur Verfügung gestellt werden?
- Mit welchem maximalen Energiebedarf ist zu rechnen? Kann dieser Energiebedarf von den vorhandenen Leitungen abgedeckt werden? Müssen gegebenenfalls die Anschlüsse in Absprache mit der Kommune erweitert werden?
- Was soll mit den alten Fahrzeugen geschehen?
- Wie werden die Fahrer auf die Umstellung vorbereitet? Wie wird der Arbeitsweg gelöst?

### Elektroantrieb mit Brennstoffzelle

Beim Elektroantrieb mit Brennstoffzelle (FCEV, fuel cell electric vehicle) wird ein Elektromotor von einer oder mehreren Brennstoffzellen mit Energie versorgt. In der Brennstoffzelle findet eine Energieumwandlung statt. Dabei wird in der Regel kom-

primierter oder verflüssigter Wasserstoff eingesetzt, aus dem die Energie für den Elektromotor gewonnen wird. Im Vergleich zum Batteriebetrieb ist die Energie-Umwandlung effizienter. Der Fahrzeugbetrieb an sich ist emissionsarm möglich, jedoch gilt bei der Produktion des Wasserstoffs ebenso, dass dies für eine gute ökologische Gesamtbilanz möglichst klimaneutral geschehen sollte. Wasserstoff ( $H_2$ ) tritt nur in gebundener Form auf (etwa als Wasser ( $H_2O$ ) in Kohlenwasserstoffen), sodass Energie eingesetzt werden muss, um den Wasserstoff freizusetzen. Diese chemischen Prozesse sind aber sehr energieintensiv. Darüber hinaus besteht ein erhöhtes Explosionsrisiko, falls Wasserstoff in geschlossenen Räumen freigesetzt wird. Ebenso wie beim batteriebetriebenen Elektrofahrzeug besteht auch hier die Problematik hoher Anschaffungskosten und einer fehlenden Tankstelleninfrastruktur. Mittel- bis langfristig wird jedoch erwartet, dass diese wasserstoffbasierte Variante des Elektroantriebs für Regionalverkehre eingesetzt werden kann.<sup>137</sup> Bis 2030 soll deutschlandweit ein Netz von etwa 1.000 Wasserstofftankstellen entstehen.<sup>138</sup>

In einer Studie<sup>139</sup> wurde der Elektroantrieb detailliert mit dem konventionellen Dieselantrieb für verschiedene Fahrzeugkategorien und Einsatzbereiche verglichen. Dabei wurden die Kosten nach dem sogenannten „Total Cost of Ownership“-Ansatz (TCO) für 2015 und 2030 abgeschätzt und miteinander verglichen. Ergebnis war bei leichten Nutzfahrzeugen (= schweren Transportern) ein aktueller Kostenunterschied von 60 Prozent und bei schweren Nutzfahrzeugen von 180 Prozent. Mit anderen Worten: Der Elektroantrieb ist aktuell noch die deutlich teurere Variante. Für das Jahr 2030 hingegen wird erwartet, dass leichte Kostenvorteile bei der Elektrovariante liegen werden.

Die Tabelle 8 stellt die Eckdaten der verglichenen Antriebsvarianten für schwere Transporter gegenüber.

### Beispiel: Brennstoffzellenfahrzeug

UPS hat sich zum Ziel gesetzt, ein Brennstoffzellenfahrzeug zu entwickeln, das emissionsfrei die gleiche Strecke wie ein herkömmliches Fahrzeug zurücklegen kann. Das Fahrzeug verfügt über eine Brennstoffzelle mit 32 Kilowatt, einen Batteriespeicher mit 45 Kilowattstunden und einen zehn Kilogramm fassenden Wasserstofftank. Dadurch, dass die Brennstoffzelle kontinuierlich Strom produziert, soll die Reichweite auf mehr als 200 Kilometern erweitert werden. Um repräsentative Ergebnisse bezüglich der Praxistauglichkeit zu erhalten, sollen mindestens 5.000 Betriebsstunden geleistet werden. Testgebiet ist dabei Kalifornien, da hier die Tankstelleninfrastruktur für Wasserstoff gefördert wird.<sup>140</sup>

<sup>136</sup> Vgl. e-mobil BW (2017), S. 69f. <sup>137</sup> Vgl. Clausen, U., Rüdiger, R. (2014), S. 25 und IAO (2014), S. 25 <sup>138</sup> Vgl. BMVI (2013), S. 74 <sup>139</sup> Vgl. e-mobil BW (2017). <sup>140</sup> Vgl. LOGISTIK HEUTE (2017)

### 5.1.3 Hybridantriebe

Hybridfahrzeuge können als Vorstufe zum Übergang zu batterieelektrischen (BEV) und Brennstoffzellen-Fahrzeugen (FCEV) angesehen werden. Bei einem Hybridantrieb werden ein Elektromotor und ein Verbrennungsmotor miteinander kombiniert. Die Batterie wird während der Fahrt über den Motor aufgeladen und kann ebenfalls Bremsenergie speichern. Dabei gibt es weitere Entwicklungsvarianten: den Plug-In-Hybrid (PHEV, „plug-in hybrid electric vehicle“), der ebenso wie das BEV am Stromnetz geladen werden kann und das „Range Extended Electric Vehicle“ (REEV), bei dem ein Verbrennungsmotor über einen Generator Strom für den Elektromotor erzeugt. Hierdurch kann die Reichweite verlängert werden.<sup>141</sup> Grundsätzlich wird bei Hybridantrieben zwischen seriellem und parallelem Hybrid unterschieden.

#### Serieller Hybrid

Beim seriellen Hybrid werden ein Verbrennungsmotor und zwei Elektromotoren in einer Reihe, also in eine Serie, geschaltet. Verbrennungsmotor und Antriebsachse sind dabei nicht miteinander verbunden. Durch den Verbrennungsmotor wird kinetische Energie erzeugt, die dann von einem Generator in elektrische Energie umgewandelt wird. Gespeichert wird diese in einer Batterie, welche den zweiten Elektromotor versorgt. Durch diese zweifache Umwandlung verschlechtert sich der Wirkungsgrad. Allerdings ist ein konstanter Betrieb des Verbrennungsmotors in dessen Effizienzoptimum möglich, was zur Reduktion von Luftschadstoffen führt. Der Elektromotor sorgt dafür, dass insbesondere bei Anfahrt und Beschleunigung das volle Drehmoment genutzt werden kann. Ein zusätzlicher Vorteil ist die Möglichkeit, die Batterie durch Rekuperation mit Bremsenergie zu speisen. Dies ist allerdings vom jeweiligen Einsatzprofil des Fahrzeugs abhängig. Bisher wird der serielle Hybrid besonders im ÖPNV eingesetzt. Für den städtischen Verteilerverkehr mit hoher Stoppdichte ist dieses Modell aufgrund vieler Start- und Stopp-Vorgänge und der dadurch nutzbaren Rekuperation ebenfalls interessant.<sup>142</sup>

#### Paralleler Hybrid

Beim parallelen Hybrid werden Verbrennungsmotor und Elektromotor parallelgeschaltet, beide sind über Kupplungen mit dem Antriebsstrang verbunden. Daher kann ausgewählt werden, welcher der beiden Motoren eingesetzt werden soll. Es können aber auch beide gleichzeitig genutzt werden. Vorteil des parallelen Hybrids ist seine Flexibilität, die einen energieeffizienten Einsatz in verschiedenen Bereichen ermöglicht. Zudem ist hier die Ladeinfrastruktur irrelevant, da der Verbrennungsmotor genutzt werden kann, sobald die Batterie

leer ist. Somit sind größere Reichweiten möglich, sodass ein solches Hybridfahrzeug auch im Fernverkehr eingesetzt werden kann. Auch hier besteht die Möglichkeit der Rekuperation, was insbesondere in bergigeren Regionen die Effizienz steigert. Hybride Fahrzeuge sind bei allen bekannten Nutzfahrzeugherstellern erhältlich, wobei die Anschaffungskosten höher sind als bei einem herkömmlichen Dieselfahrzeug. Die potenzielle Kraftstoffeinsparung liegt zwischen zehn und 15 Prozent.<sup>143</sup>

### 5.1.4 Alternative Kraftstoffe

Neben den verschiedenen Antriebsarten gibt es auch eine Reihe von alternativen Kraftstoffen, die die fossilen, ölbasierten Kraftstoffe (Diesel, Benzin) ersetzen sollen. Bis eine vollständige Substitution möglich sein wird, ist auch eine Kombination von alternativen mit herkömmlichen Kraftstoffen möglich.

#### Erdgas, Flüssiggas, Biogas

Gas kann in verschiedenen Varianten als Kraftstoff eingesetzt werden. Hauptsächlich wird zwischen komprimiertem Erdgas (CNG, bestehend aus Methan), und Flüssiggas (LPG, bestehend aus Propan und Butan, auch als Autogas bekannt), unterschieden. Aus Biomasse kann Biogas gewonnen werden. Um Gas als Kraftstoff einsetzen zu können, wird der herkömmliche Motor angepasst. Die Verbrennung von Gas ist insgesamt sauberer als bei Diesel oder Benzin, sodass die Luftschadstoffemissionen geringer sind.<sup>144</sup>

Durch den Einsatz von CNG können die CO<sub>2</sub>-Emissionen um bis zu 25 Prozent im Vergleich zu einem EURO 6-Dieselfahrzeug gesenkt werden. Fahrzeuge sind in verschiedenen Größen am Markt erhältlich. Da CNG eine geringere Dichte als Diesel hat, muss ein größerer Tank vorgehalten werden, um die gleiche Reichweite zu ermöglichen. Dies beeinflusst jedoch die verbleibende Nutzlast negativ beziehungsweise bei kleineren Druckbehältern entsprechend die Reichweite. Die Anschaffungskosten liegen etwa zehn bis 30 Prozent über denen eines herkömmlichen Dieselfahrzeugs. Die Kraftstoffkosten je Kilometer können allerdings um fünf bis 25 Prozent niedriger sein.<sup>145</sup> Ein Nachteil beziehungsweise eine Einschränkung ist das Verbot des Gefahrguttransportes aufgrund einer geringeren Bremsleistung des Motors. Für volumenauslastende Standardgüter ist der Einsatz von CNG betriebenen Fahrzeugen im nationalen Verkehr jedoch eine umweltschonende Alternative. Im benachbarten Ausland besteht aber ein Tankstelleninfrastrukturproblem.<sup>146</sup>

<sup>141</sup> Vgl. NPE (2017) <sup>142</sup> Vgl. Clausen, U., Rüdiger, R. (2014), S. 27 <sup>143</sup> Vgl. Clausen, U., Rüdiger, R. (2014), S. 27 <sup>144</sup> Vgl. BMVI (2013), S. 64 <sup>145</sup> Vgl. IAO (2014), S. 25 <sup>146</sup> Vgl. Clausen, U., Rüdiger, R. (2014), S. 28

LPG hat im Gegensatz zu CNG eine wesentlich höhere Energiedichte. Eine Einsparung von bis zu 15 Prozent der CO<sub>2</sub>-Emissionen sowie von 15 bis 25 Prozent der Kraftstoffkosten gegenüber einem Dieselantrieb ist möglich. Jedoch fehlt hierzu die nötige Tankstelleninfrastruktur in Deutschland. Bei schweren Nutzfahrzeugen wird diese Technologie daher bisher kaum eingesetzt.<sup>147</sup> Im europäischen Ausland, zum Beispiel Niederlande, Polen und Italien, ist LPG hingegen weiter verbreitet. Da LPG auch als Nebenprodukt bei der Erdöl- und Erdgasförderung anfällt sowie bei der Raffinerie von Rohöl entsteht, besteht ein weiteres Emissionssenkungspotenzial sofern LPG zukünftig vermehrt aus der Erdgasförderung als aus der Erdölförderung entsteht.<sup>148</sup>

Biogas kann schon heute in CNG-kompatiblen Fahrzeugen eingesetzt werden. Bei der Gewinnung aus Abfall- oder Reststoffen können die ausgestoßenen Emissionen weiter gesenkt werden. In Deutschland soll bis 2020 der Anteil von diesem erneuerbaren Methan an Erdgas auf mindestens 20 Prozent steigen. In Zukunft kann auch synthetisches Methan aus thermochemischer Biomassevergasung oder methanisierten Elektrolysewasserstoff genutzt werden. Hierbei muss allerdings zunächst erforscht werden, ob eine verstärkte Gewinnung von Erdgas aus diesen Quellen die gesamte Treibhausgasbilanz von Erdgas im Vergleich zur Gewinnung aus konventionellen Quellen negativ beeinflusst.<sup>149</sup>

### Dual Fuel

Unter Dual-Fuel wird der gleichzeitige Einsatz zweier Kraftstoffe in einem Verbrennungsmotor verstanden. Häufig werden dabei Diesel und Erdgas kombiniert. Durch Dual-Fuel kann eine höhere Motorleistung erreicht werden und das Problem der Tankstelleninfrastruktur entfällt oder wird abgeschwächt. Insbesondere im Fernverkehr ist dies eine praktikable Lösung. Die potenzielle Einsparung ist von dem Anteil abhängig, zu dem Diesel durch Gas ersetzt wird. Mit CNG können bis zu 15 Prozent der Treibhausgas-Emissionen reduziert werden. Für LNG wird eine Einsparung von 60 bis 80 Prozent geschätzt. Jedoch gibt es hierzu noch keine repräsentativen Erfahrungswerte. Zwar wird für Dual-Fuel ein zweiter Tank benötigt, jedoch reduziert sich die Nutzlast im Fernverkehr nur um etwa 200 Kilogramm. In Deutschland ist diese Technologie nicht sehr weit verbreitet. Mit zunehmendem Ausbau der Tankstelleninfrastruktur für LNG könnte sich dies jedoch ändern.<sup>150</sup>

### Biokraftstoffe

Neben der heute schon üblichen Beimischung von Biokraftstoffen zu herkömmlichem Diesel gibt es auch 100-prozentige Biokraftstoffe. Diese können aus verschiedenen biologischen Stoffen gewonnen werden. Allerdings werden in Deutschland hauptsächlich Beimischungen zum Diesel genutzt und kaum Reinstoffe.<sup>151</sup> In Deutschland wird hauptsächlich Biodiesel genutzt, der zu fast 90 Prozent aus Raps gewonnen wird. Weltweit werden auch Soja, Mais und Palmöl eingesetzt. Dies ist in Bezug auf die Konkurrenz zur Nahrungsmittelproduktion, insbesondere in ärmeren Ländern, als kritisch anzusehen. Ebenso fördert eine hohe globale Nachfrage den Bau weiterer Anbauflächen, was unter anderem zur Abholzung von Regenwäldern führt, sodass die Umwelt massiv geschädigt werden kann. Um diesem Effekt entgegenzuwirken, hat die EU eine Verordnung für die Nachhaltigkeit von Biokraftstoffen (Biokraft-NachV) erlassen. Das Potenzial zur Einsparung von Treibhausgas-Emissionen durch den Einsatz von Biodiesel liegt zwischen 40 bis 60 Prozent. Es schwankt aber je nach Herstellungsart stark. Ebenso ist der Verbrauch aufgrund einer geringeren Energiedichte höher als beim konventionellen Diesel. Biodiesel ist etwa 50 Prozent teurer als herkömmlicher Diesel. Darüber hinaus entstehen zusätzliche Kosten durch die Fahrzeuganpassung und den erhöhten Wartungsbedarf.<sup>152</sup>

### Beispiel: Ludwig Meyer Logistik GmbH & Co. KG testet LNG-LKW

Im Großraum Berlin setzt die Ludwig Meyer Logistik GmbH & Co. KG seit April 2017 zwanzig Fahrzeuge vom Typ Iveco Stralis NP 400 LNG ein. Die Fahrzeuge verfügen über einen 400 PS-Motor und sind somit gleichwertig motorisiert wie herkömmliche Dieselfahrzeuge. Ein LNG-LKW verursacht jedoch 70 Prozent weniger Stickoxide, 99 Prozent weniger Rußpartikel und 15 Prozent weniger CO<sub>2</sub>-Emissionen.<sup>153</sup>

<sup>147</sup> Vgl. IAO (2014), S. 25 <sup>148</sup> Vgl. BMVI (2013), S. 64, 66 <sup>149</sup> Vgl. BMVI (2013), S. 66, 67 <sup>150</sup> Vgl. Clausen, U., Rüdiger, R. (2014), S. 29 <sup>151</sup> Vgl. SHELL (2016), S. 39 <sup>152</sup> Vgl. Clausen, U., Rüdiger, R. (2014), S. 30 und IAO (2014), S. 24 <sup>153</sup> Vgl. Ludwig Meyer Logistik (2017)

### 5.2 Vergleich der alternativen Antriebe und Kraftstoffarten

Dass der vermehrte Einsatz von alternativen Antrieben und Kraftstoffen mittel- bis langfristig unumgänglich ist, dürfte außer Frage stehen. Allerdings ist noch nicht abschließend geklärt, welcher Antrieb oder Kraftstoff für den jeweiligen Bedarf am besten geeignet ist.

Einige grundsätzliche Faktoren beeinflussen den Energieverbrauch und haben somit auch einen Einfluss auf die Entscheidung für oder gegen einen Antrieb oder Kraftstoff:

- *Entfernung*: Je weiter die Strecke, desto mehr Energie/Kraftstoff muss mitgeführt beziehungsweise nachgetankt werden (sofern möglich).
- *Topographie*: Je nach Art der Strecke – flach, bergig, hügelig – sowie Anteile im Stadt-, Überland- oder Autobahnverkehr, verändert sich der Energiebedarf.
- *Gewicht*: Je schwerer das Fahrzeug, desto höher ist der Energieverbrauch. Daher steigen zwar mit zunehmendem transportiertem Gewicht die absoluten Emissionen. In Bezug auf die Tonnenkilometer sinken sie jedoch.
- *Fahrstil*: Sowohl die gefahrene Geschwindigkeit als auch das Fahrverhalten des Fahrers haben einen Einfluss auf den Energieverbrauch.

Der Energieverbrauch wiederum hat sowohl Einfluss auf die Umweltauswirkungen als auch die variablen Kosten. In Bezug auf die Umwelt spielt daher der Energiegehalt des Kraftstoffes eine Rolle. Je höher der Energiegehalt in Kraftstoffen ist, desto mehr Strecke kann zurückgelegt werden beziehungsweise ist im Umkehrschluss weniger Energie im Kraftstoff für eine kleinere Strecke notwendig. Weiterhin spielen die ausgestoßenen Emissionen eine Rolle. Maßgeblich sind dabei gemäß DIN EN 16258 besonders die Emissionen von CO<sub>2</sub>, Feinstaub und Lärm während des Transports sowie die bei der Energiebereitstellung in der Vorkette entstehenden Emissionen.<sup>154</sup> Allerdings müssten darüber hinaus auch die Emissionen des Fahrzeuglebenszyklus betrachtet werden. Bei Elektrofahrzeugen würde dies beispielsweise die Herstellung und Entsorgung der Batterien oder die Emissionen der Stromerzeugung einschließen.

Schließlich müssen die Kosten zur Beurteilung der Wirtschaftlichkeit berücksichtigt werden. Die variablen Kosten sind dabei vom Kraftstoffverbrauch abhängig. Je weniger verbraucht wird, desto weniger Kosten entstehen. Darüber hinaus müssen die Investitionskosten für das Fahrzeug beziehungsweise die Kosten für die Fahrzeugumrüstung auf die gewünschte Technologie einbezogen werden.

Maßgeblich für diese Faktoren ist vor allem der Einsatzbereich. Jeder Einsatzbereich stellt andere Anforderungen an das Fahrzeug in Bezug auf Entfernung, Art, Gewicht beziehungsweise Nutzlast und determiniert somit den Kraftstoffverbrauch. Im **Stadtverkehr**<sup>155</sup> mit einer durchschnittlichen Tourlänge unter 50 Kilometern, werden viele kurze Distanzen mit vielen Stopps und entsprechend vielen Brems- und Startvorgängen zurückgelegt. Hauptsächlich werden hierbei leichte und mittelschwere Nutzfahrzeuge für die Zustellung und Abholung eingesetzt. Die Reichweite des Fahrzeuges spielt in diesem Einsatzbereich also nur eine geringe Rolle, sodass der Einsatz reiner E-Fahrzeuge problemlos erfolgen kann, da die Aufladung in aller Regel am Unternehmensstandort erfolgt und eine flächendeckende Ladeinfrastruktur im Stadtbereich nicht zwingend erforderlich erscheint. Eine weitere Substitution der E-Fahrzeuge durch alternative Transportmittel (zum Beispiel Lastenräder), könnte je nach Rahmenbedingungen und Anforderungen zukünftig auch möglich sein. Im **Regional- oder Flächenverkehr** werden kurze bis mittlere Strecken zwischen 50 und 150 Kilometer je Tour zurückgelegt. Es finden hauptsächlich Vor- und Nachläufe in ländlichen Gebieten statt sowie Verbindungen zwischen einzelnen Depots oder Lagern. Je nach Anforderungen an Nutzlast und Reichweite sind reine E-Fahrzeuge gegebenenfalls einsetzbar, in einigen Fällen könnte auch ein Hybridantrieb notwendig sein. Außerdem spielt bei weiteren Strecken auch die Verfügbarkeit der Ladeinfrastruktur eine Rolle. Im **Fernverkehr** mit durchschnittlichen Touren ab 150 Kilometern wird die Reichweite zum Problem. Zudem ist auch die Nutzlast eingeschränkt und somit der wirtschaftliche Betrieb von E-Fahrzeugen bisher nicht möglich. Auch künftig wird der Fernverkehr auf fossile Kraftstoffe angewiesen sein.

Um eine Entscheidung darüber treffen zu können, welcher Kraftstoff beziehungsweise welche Antriebsvariante eingesetzt werden sollte, sind alle oben genannten Faktoren in die Entscheidungsfindung einzubeziehen. Aufgrund der verschiedenen Anforderungen der Einsatzbereiche kommen also einige Kraftstoff- und Antriebsarten von vornherein nicht in Frage. In Tabelle 9 sind die verschiedenen Antriebs- und Kraftstoffarten gemäß ihrer Eignung den unterschiedlichen Einsatzprofilen zugeordnet.

<sup>154</sup> Siehe dazu auch IHK Region Stuttgart (2011) <sup>155</sup> Hierbei werden die typischen Tourlängen nach KBA (2014), S. 40 zugrunde gelegt.

Tabelle 9: Gegenwärtige Eignung der alternativen Kraftstoffe und Antriebsarten für verschiedene Einsatzbereiche<sup>156</sup>

Antriebsart	Stadtverkehr	Regionalverkehr	Fernverkehr
Elektro (BEV)	↑	→	↓
Brennstoffzelle (FCEV)	↑	→	↓
Serieller Hybrid (Plug-in-Hybrid; PHEV)	↑	↑	↓
Paralleler Hybrid Range-Extension; (Plug-in-Hybrid; REEV)	↑	↑	↑
Erdgas (CNG / LNG)	↑	↑	→
Autogas (LPG)	↑	→	↓
Dual Fuel (Diesel und Erdgas)	↑	↑	↑

### Vergleich als Herausforderung

Ein allgemeingültiger Vergleich der verschiedenen Antriebe und Energie- beziehungsweise Kraftstoffarten sowie Vergleichsberechnungen für eine bestimmte Strecke sind nicht möglich, da manche Antriebe und Kraftstoffe infrastrukturbedingt (noch) nicht flächendeckend eingesetzt werden oder nur vereinzelte Demonstrations- und Pilotversuche stattfinden. Bestehende Vor- und Kleinserien sind zudem häufig auf bestimmte Gewichtsklassen beschränkt.<sup>157</sup> Durchschnittliche Verbräuche und Emissionen können für die Alternativen zwar miteinander verglichen werden, sind aber nicht im gleichen Maße belastbar wie etwa Vergleiche zwischen ausgereiften Diesel- und Benzinfahrzeugen. Auch die Kosten sind aufgrund der bisher fehlenden Serienreife nur schwer vergleichbar und dürften zukünftig sinken. Gleichwohl können die bereits zur Verfügung stehenden Werte als Anhaltspunkte für einen Technologievergleich dienen. Auf dieser Basis können Analysen und Berechnungen im Unternehmen durchgeführt werden, um die mögliche Eignung und die potenziellen Einsparpotenziale der verschiedenen Kraftstoff- oder Antriebsarten für das Unternehmen zu überprüfen. In der Praxis können die ermittelten Werte aufgrund der vorgenannten Gründe abweichen.

### Beispiel: Flottenversuch E-Fahrzeuge

Von 2012 bis 2016 fand in Baden-Württemberg unter Beteiligung der Unternehmen DPD (Karlsruhe), DHL (Stuttgart) und UPS (Ludwigsburg) ein groß angelegter Flottenversuch mit E-

Fahrzeugen in der Paketzustellung statt. Ziel dieses Versuchs war es, bis zu zehn Prozent der Flotte durch E-Fahrzeuge zu ersetzen, um über einzelne Pilotfahrzeuge hinaus den Regelbetrieb zu testen.

UPS hatte den Standort Karlsruhe bewusst ausgewählt, da die Topographie hier relativ flach ist und der Standort viele kleinere Touren unter 80 Kilometer Reichweite bedient. In der Stuttgarter Topographie hingegen wäre die Batteriereichweite ein Problem geworden, ebenso wie der hohe Anteil der Subunternehmer in der Zustellung, da deren Fahrzeuge nicht ohne weiteres ausgetauscht werden können. Die von UPS eingesetzten Fahrzeuge wurden von der EFA-S GmbH in Stuttgart umgerüstet und über die Projektlaufzeit betreut. Dabei handelte es sich um Dieselfahrzeuge, die vorher schon rund 750.000 Kilometer Fahrleistung absolviert hatten und für das Projekt zu einem E-Fahrzeug umgerüstet wurden. Da die Batterielebenszeit etwa acht Jahre beträgt, können die Fahrzeuge auch über die Projektlaufzeit hinaus eingesetzt werden. Um die Ausfallzeiten zu verkürzen, wurde auch eine spezialisierte Werkstatt am Standort Karlsruhe eingerichtet und die Mitarbeiter entsprechend geschult. Insgesamt war der Versuch aus Sicht von UPS erfolgreich. Es wurde aber auch festgestellt, dass die Reichweite im Winter, je nach Außentemperatur und Witterung, um bis zu einem Viertel kürzer sein kann, wenn etwa Heizung und Scheinwerfer verstärkt zum Einsatz kommen. Pro Fahrzeug und Jahr konnten circa neun Tonnen CO<sub>2</sub> eingespart werden.<sup>158</sup>

<sup>156</sup> Eigene Darstellung auf Grundlage der dargestellten Zusammenhänge <sup>157</sup> Vgl. SHELL (2016), S. 4 <sup>158</sup> Quelle: Telefoninterview mit Herrn Wunderlin, UPS, am 19.09.2017

Bei DPD wurden fünf Mercedes Vito E-Cell eingesetzt. Die Touren wurden speziell ausgewählt, da sich das Transportvolumen und die Zuladung der Fahrzeuge für die Anforderungen von DPD als zu gering erwiesen hatten. Auch die maximale Reichweite von 120 Kilometern war für die Auswahl der Touren ausschlaggebend. Je nach Wetterlage und Fahrweise hatte sich diese erheblich verkürzt. Insbesondere für Fahrten nach Stuttgart war dies ein kritischer Faktor: Bei jeweils rund 30 Kilometern Wegstrecke, um ins Zielgebiet oder zurück zum Depot zu gelangen, war die verbleibende Reichweite für die eigentliche Tour recht gering. Eine weitere Herausforderung bestand darin, dass die Fahrer die konventionell angetriebenen Fahrzeuge bislang auch für die Fahrtstrecke Wohnung – Arbeitsplatz – Wohnung genutzt hatten, die E-Fahrzeuge nun zum Laden der Batterie über Nacht jedoch im Depot bleiben mussten. Nach Abschluss des Projekts kamen die Fahrzeuge nicht mehr zum Einsatz, da sie den Bedürfnissen von DPD nicht gerecht werden konnten. DPD beschäftigt sich intensiv mit der Planung der nötigen Ladeinfrastruktur sowie dem Zusammenspiel von Subunternehmern und DPD, um eine mögliche Flottenumstellung vorzubereiten, wenn ab 2019/2020 die von der Industrie angekündigten Serienfahrzeuge auf den Markt kommen.<sup>159</sup>

Der Flottenversuch hat gezeigt, dass einige E-Fahrzeuge im Vergleich zu herkömmlichen Diesel-Fahrzeugen heute bereits wirtschaftlich eingesetzt werden könnten, sofern bei der Lebenszyklusbetrachtung die Großflottenrabatte der Hersteller für Dieselfahrzeuge nicht berücksichtigt werden. Wie in Tabelle 12 dargestellt, sind kleinere Fahrzeuge durchaus konkurrenzfähig, wohingegen größere Fahrzeuge wesentlich höhere Kosten aufweisen. Die Anschaffungskosten sind dabei der ausschlaggebende Faktor. Hier entfällt der größte Anteil auf die Batteriekosten. Da zwei verschiedene Generationen des StreetScooters (Pilotfahrzeug, Serie) zum Einsatz kamen, konnte festgestellt werden, dass sich die Kosten bei einem Serienfahrzeug erheblich reduzieren, sodass im Vergleich zum VW Caddy TDI lediglich eine Differenz von 500 Euro über den gesamten Lebenszyklus hinweg besteht. Der MB Vito E-Cell wurde ebenfalls in Kleinserie produziert, sodass auch hier

Auffälligkeiten bezüglich möglicher Kostenreduktionen beobachtet werden konnten. Es ist davon auszugehen, dass sich ähnliche Entwicklungen auch in den größeren Fahrzeugsegmenten ergeben, sobald das Pilot- und Kleinserien-Stadium verlassen wird.<sup>161</sup>

### 5.3 Lang-LKW

Anfangs noch als ‚Gigaliner‘ oder ‚Monstertruck‘ tituliert, hat sich der Lang-LKW mittlerweile als ernstzunehmende Alternative zur Steigerung der Energieeffizienz im Verkehrsbereich erwiesen.

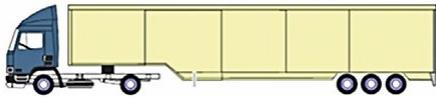
In Deutschland gibt es fünf verschiedene Varianten des Lang-LKW (siehe Abbildung 27).<sup>162</sup> Die Abmessungen und Konfigurationsmöglichkeiten dieser Fahrzeuge sind in der Verordnung über Ausnahmen von straßenverkehrsrechtlichen Vorschriften für Fahrzeuge und Fahrzeugkombinationen mit Überlänge (LKWÜberlStVAusnV) und den bisher acht zugehörigen Änderungsverordnungen festgelegt. Demnach dürfen diese bis 25,25 Meter lang sein. Die zulässigen Gesamtgewichte unterscheiden sich nicht von denen herkömmlicher LKW, also 40 Tonnen im Regelfall und 44 Tonnen beim Einsatz im Kombinierten Verkehr. Grundsätzlich müssen die eingesetzten Fahrzeuge und/oder Ladungsträger für den Einsatz im Kombinierten Verkehr geeignet sein. Flüssige Ladungen, Gefahrgut- oder Tiertransporte sind nicht zulässig. Aber auch an den Fahrer werden zusätzliche Anforderungen gestellt, um ein hohes Sicherheitsniveau zu erreichen. Neben einer speziellen Lang-LKW-Schulung zur Einweisung muss der Fahrer die Fahrerlaubnis seit mindestens fünf Jahren besitzen und zudem eine mindestens fünfjährige Berufserfahrung nachweisen. Auch an die Fahrzeugtechnik werden besondere Anforderungen gestellt. Das Fahrzeug muss über ein elektronisches Fahrdynamiksystem, ein Spurhaltesystem und ein automatisches Abstandsregelsystem oder einen Notbremsassistenten verfügen. Darüber hinaus besteht ein Überholverbot für Fahrzeuge, die schneller als 25 km/h fahren.<sup>163</sup>

Tabelle 10: Ergebnisse des Flottenversuchs<sup>160</sup>

Fahrzeugsegment	zGG	E-Fahrzeug			konventionelles Fahrzeug		
		Modell	Kostenbilanz über Lebenszyklus	Kosten pro Kilometer	Modell	Kostenbilanz über Lebenszyklus	Kosten pro Kilometer
Kastenwagen	3,5 t	StreetScooter	33.786,20 €	0,38 €	VW Caddy TDI	33.241,48 €	0,38 €
Lieferwagen	3,5 t	MB Vito E-Cell	51.508,22 €	0,59 €	MB Vito CDI	49.408,88 €	0,56 €
Lieferwagen Integralkoffer	3,5 t	Iveco Daily Electric	111.200,50 €	1,26 €	MB Sprinter	69.196,58 €	0,79 €
Leichter LKW	7,5 t	UPS P80 Electric	ca. 150.000 €	ca. 1,7 €	UPS P80 Diesel	ca. 118.000 €	ca. 1,33 €

<sup>159</sup> Quelle: Telefoninterview mit Herrn Seber, DPD, am 20.09.2017 <sup>160</sup> Eigene Darstellung auf Basis der Daten von IAO (2016), S. 65–75 <sup>161</sup> Vgl. IAO (2016), S. 74, 75 <sup>162</sup> Aufgrund der Gewichtsbeschränkung auf 40 beziehungsweise 44 Tonnen, kann die Anzahl der Achsen tatsächlich geringer sein als in der Abbildung dargestellt. <sup>163</sup> Vgl. BMWI (2011)

Abbildung 27: Die 5 möglichen Lang-LKW-Typen<sup>164</sup>



1. Sattelzugmaschine mit Sattelanhängen (Sattelkraftfahrzeug) bis zu einer Gesamtlänge von 17,80 Metern (Typ 1)



2. Sattelkraftfahrzeug mit Zentralachsanhänger bis zu einer Gesamtlänge von 25,25 Metern (Typ 2)



3. Lastkraftwagen mit Umsetzachse und Sattelanhängen bis zu einer Gesamtlänge von 25,25 Metern (Typ 3)



4. Sattelkraftfahrzeug mit einem weiteren Sattelanhängen bis zu einer Gesamtlänge von 25,25 Metern (Typ 4)



5. Lastkraftwagen mit einem Anhänger bis zu einer Gesamtlänge von 24,00 Metern (Typ 5)

### Ergebnisse des Feldversuchs

Da zunächst nur vereinzelte Pilotversuche mit dem Lang-LKW erfolgten, hat die Bundesregierung 2010 beschlossen, den Einsatz in einem bundesweiten Feldversuch unter Realbedingungen zu erproben. Seit 2012 wurde ein umfangreicher, wissenschaftlich begleiteter Feldversuch mit dem Lang-LKW in Deutschland durchgeführt. Voraussetzung dafür war, nur längere, nicht jedoch schwerere LKW einzusetzen. Der Versuch wurde Ende 2016 abgeschlossen. Die im Abschlussbericht zum Feldversuch veröffentlichten Ergebnisse sind durchweg positiv. Anfängliche Sicherheitsbedenken haben sich nicht bestätigt. Auch eine Verlagerung von Transportvolumen von der Schiene auf die Straße war nicht zu beobachten. Vielmehr trägt der Lang-LKW zur Effizienzsteigerung der Straße als Hauptverkehrsträger bei. Der Feldversuch wurde zunächst mit 21 Unternehmen gestartet. Zum Ende des Feldversuches waren 60 Unternehmen mit 161 Lang-LKW in 13 Bundesländern beteiligt. Am häufigsten wurde der Fahrzeugtyp 3 (60 Prozent) eingesetzt, gefolgt von Typ 2 (30 Prozent) und Typ 1 (acht Prozent). Der Versuch hat ergeben, dass mit dem Lang-LKW aus drei Fahrten zwei werden können. Durch die eingesparte Fahrt ergeben sich im Schnitt Effizienzgewinne und Kraftstoffeinsparungen zwischen 15 und 25 Prozent. Aufgrund der erweiterten Ladefläche können 16 bis 26 Prozent der Kosten pro Stellplatzkilometer im Vergleich zum herkömmlichen LKW eingespart werden. Diese Kostenvorteile ergeben sich vor allem beim Transport von Volumengütern,

etwa ab Volumenauslastung von 80 Prozent (Stellplätze oder auch Raumvolumen).

Bezogen auf den Durchschnittsverbrauch kann die Transporteffizienz um bis zu 27 Prozent gesteigert werden (je Liter Diesel pro 100 Kilometer und Kubikmeter Ladevolumen). Der sinnvolle Einsatz des Lang-LKW hat allerdings auch seine Grenzen. Er bietet sich vor allem bei Punkt-Punkt-Verkehren mit Volumengütern an. Es wird davon ausgegangen, dass das Marktpotenzial des Lang-LKW (Typ 2 bis 5) zwischen zwei und neun Prozent aller LKW-Fahrten beziehungsweise drei bis sieben Prozent der Fahrleistung der herkömmlichen LKW liegt.

Entgegen der ursprünglichen Bedenken konnte weder ein erhöhter Erhaltungsaufwand für die Infrastruktur noch ein Verlagerungseffekt auf die Straße festgestellt werden. Insbesondere aufgrund des hohen Anteils von (zeitsensiblen) Pendelverkehren und Direktverkehren zwischen Lagern oder Produktionsstätten, des hohen Anteils an Stückgut, der leichtgewichtigen und voluminösen Gütern sowie der Anforderungen an Geschwindigkeit und Flexibilität, eigneten sich die beobachteten Transporte nicht für das Leistungsprofil des Schienengüterverkehrs.<sup>165</sup>

### Lang-LKW im Regelbetrieb

Die Lang-LKW der Typen 3 bis 5 dürfen seit dem 1. Januar 2017 im streckenbezogenen Regelbetrieb fahren. Die Stre-

<sup>164</sup> BASt (2017a) <sup>165</sup> Vgl. BASt (2016), S. 17, 30-34

cken, die befahren werden dürfen, sind im Positivnetz des Bundes festgehalten. Über die Streckeneignung entscheiden die einzelnen Bundesländer, wobei das Netz erweitert werden kann. Das Netz umfasste in 2017 11.600 Kilometer. Dadurch wurden etwa 60 Prozent des gesamtdeutschen Autobahnnetzes abgedeckt. Mit der achten Änderungsverordnung zum Lang-LKW, welche zum 27. Dezember 2017 in Kraft getreten ist, wurden weitere Strecken in Rheinland-Pfalz und dem Saarland aufgenommen. Ein flächendeckender Einsatz ist allerdings auch aufgrund der Infrastruktur nicht möglich und daher nicht zu erwarten. Da aber alle Strecken, die im Positivnetz enthalten sind, auf ihre Tauglichkeit überprüft wurden, ist hier nicht mit Schwierigkeiten zu rechnen.<sup>166</sup>

Für den Typ 1 gelten Sonderregeln. Typ 1, der verlängerte Sattelanhänger mit einer Länge bis zu 17,80 Metern, darf zunächst befristet über die nächsten sieben Jahre eingesetzt werden. Grenzüberschreitende Verkehre sind noch nicht möglich. Dies soll zukünftig geändert werden. Hierzu müssen zunächst bilaterale Abkommen mit den jeweiligen Staaten verhandelt und geschlossen werden.<sup>167</sup>

Um einen Lang-LKW einsetzen zu können, müssen die Anforderungen der Ausnahmereordnung (Fahrzeug, Fahrer, Länge, Gewicht, Strecke) eingehalten und entsprechende Nachweise vorgehalten werden. Eine Anmeldung ist nicht erforderlich (außer Typ 2). Allerdings sind etwaige Unfälle oder Schwierigkeiten mit der Streckenbefahrbarkeit der Bundesanstalt für Straßen (BASt) zu melden. Sollten die Routen, auf denen der Lang-LKW eingesetzt werden soll, noch nicht im Positivnetz enthalten sein, ist es möglich, um eine Aufnahme in dieses beim zuständigen Landesministerium zu bitten. Diese prüfen dann auf Tauglichkeit.<sup>168</sup> Um die Effizienzvorteile des Systems nutzen zu können, wäre es erstrebenswert, bundesweit auf ein möglichst umfassendes Positivnetz zurückgreifen zu können. Ein weiteres Hindernis besteht in der Einschränkung, dass grenzüberschreitende Fahrten gegenwärtig nicht möglich sind.

5.4 **Mitarbeitersensibilisierung**

Neben Ansätzen zur Optimierung der Fahrzeugtechnik und dem Einsatz alternativer Antriebe zur Steigerung der Energieeffizienz im Fuhrpark sollte auch beim Fahrpersonal das Bewusstsein für einen sparsamen Umgang mit Ressourcen geschärft werden. Kernelement der Mitarbeitersensibilisierung im Fuhrpark ist die Schulung der Fahrer zum energiesparenden Fahrverhalten mit dem Ziel, Kraftstoff und somit auch CO<sub>2</sub>-Emissionen einzusparen. Ein positiver Nebeneffekt ist dabei, dass auf diese Weise die Kraftstoffkosten gesenkt und die Verkehrssicherheit erhöht werden können. Das Einsparpotenzial durch die Fahrerschulungen liegt bei etwa fünf bis zehn Prozent im Vergleich zum bisherigen Kraftstoffverbrauch.<sup>169</sup>

**Tabelle 11: Streckenfreigabe für Lang-LKW<sup>170</sup>**

Bundesland	Streckenfreigabe
Bayern, Brandenburg, Hamburg, Hessen, Niedersachsen, Sachsen, Schleswig-Holstein, Thüringen	Vollständige Zulassung auf geeigneten Strecken. Mit dem Lang-LKW Typ 1 (17,80 m) darf das gesamte Streckennetz befahren werden.
Bremen	Lang-LKW dürfen nur auf den eingetragenen Autobahnstrecken fahren und diese nicht verlassen.
Baden-Württemberg, Mecklenburg-Vorpommern	Nur Teilstrecken sind für den Lang-LKW freigegeben.
Sachsen-Anhalt	Einzelne Lückenschlüsse auf der Autobahn sind freigegeben. Die Autobahn darf aber nicht verlassen werden.
Nordrhein-Westfalen, Rheinland-Pfalz, Saarland	Erste Strecken werden für die nächste Erweiterung des Positivnetzes erwartet, die jedoch noch nicht terminiert ist. Ausnahme ist der Lang-LKW Typ 1 (17,80 m) – hier darf jetzt schon das gesamte Streckennetz genutzt werden.
Berlin	In diesen Ländern sind keine Strecken für den Lang-LKW freigegeben.

<sup>166</sup> Vgl. BASt (2016), S. 19 <sup>167</sup> Vgl. BASt (2017) <sup>168</sup> Vgl. BASt (2017) <sup>169</sup> Vgl. Wittenbrink, P. (2013), S. 16-17 und UBA (2010), S. 62

<sup>170</sup> Eigene Darstellung nach BASt (2016), S. 18-19; ergänzt um Pressemitteilung BMVI vom 22.12.2017, Lang-Lkw: Streckennetz auf Wunsch der Länder erweitert.

Damit die Fahrerschulungen nachhaltig wirken, sollten diese möglichst jährlich durchgeführt werden. Außerdem ist es hilfreich, wenn in regelmäßigen Abständen ein Ausbilder oder auch der Fuhrparkleiter im normalen Arbeitsalltag mitfährt. Damit wird verhindert, dass der Fahrer in alte Verhaltensmuster verfällt. Telematiksysteme können eingesetzt werden, um eine Auswertung des Fahrverhaltens und eine entsprechend gezielte Schulung des Fahrers zu ermöglichen. Gleichzeitig kann ein Wettbewerb unter den Fahrern, etwa in Form einer „Fahrerliga“, bei der es darum geht, den Fahrer mit der effizientesten Fahrweise im Unternehmen zu ermitteln und entsprechend zu belohnen, ebenfalls sinnvoll sein.

Darüber hinaus bietet die Drosselung der Geschwindigkeit Potenzial für Einsparungen und kann die umweltschonende Fahrweise unterstützen. Bei einer Reduzierung von 90 km/h auf 80 km/h lassen sich bis zu 20 Prozent des Kraftstoffs im Vergleich zu einer herkömmlichen Fahrweise einsparen.<sup>171</sup>

Ferner sollte für einen optimalen Rollwiderstand der Reifendruck regelmäßig überprüft werden. Für eine verbesserte Aerodynamik sollten auch die Seiten- und Dachspoiler immer wieder richtig eingestellt werden.<sup>172</sup>

### Literatur:

Umfangreiche Informationen, Handlungsempfehlungen und Praxisbeispiele zu den Themen Geschwindigkeitsreduzierung, Reifendruck und Aerodynamik sind im „Praxisleitfaden Grüne Logistik“ der IHK Region Stuttgart enthalten.

<sup>171</sup> Vgl. UBA (2010), S. 62 <sup>172</sup> Quelle: Telefoninterview mit Herrn Messner, Geschäftsführer HTL Peter Messner GmbH, am 22.08.2017

### 6.1 Verkehrsträger und politische Handlungsstrategien im Überblick

Auf allen politischen Ebenen, von der EU bis zu den Kommunen, werden verkehrspolitische Programme definiert. In Abbildung 28 sind Beispiele verkehrspolitischer Programme der verschiedenen Ebenen sowie das Jahr ihrer Veröffentlichung aufgeführt.

Als Treiber für die Notwendigkeit von verkehrspolitischen Maßnahmen spielt die Steigerung der Energieeffizienz im Verkehr eine zentrale Rolle. Im Mittelpunkt der Maßnahmen steht dann oft das Konzept der sogenannten Co-Modalität, das heißt ein sich ergänzendes Neben- und Miteinander der Verkehrsträger. Die wichtigste Kennzahl zur Beschreibung des Verkehrsträger-Mixes ist der Modal Split. Er eignet sich gut, um verkehrspolitische Ziele zu formulieren.

Wenn es nicht zu erheblichen gestaltenden Eingriffen in den Markt kommt, wie sie zum Beispiel in der aktuellen Studie der Landesstiftung „Mobiles Baden-Württemberg“<sup>173</sup> beschrieben werden, wird im Zeithorizont bis 2030 die Arbeitsteilung zwischen den Verkehrsträgern in Deutschland im Wesentlichen von zwei Trends geprägt sein:

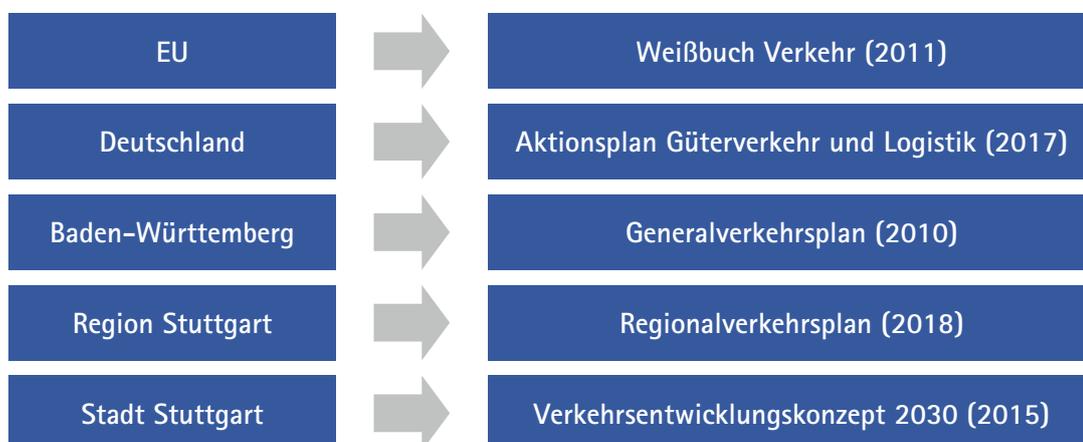
- Der Modal Split bleibt grundsätzlich unverändert. Demnach entfallen auch künftig auf die Straße rund 80 Prozent und auf Schiene und Wasserstraße gemeinsam rund 20 Prozent der Transportleistung im Güterverkehr.
- In absoluten Zahlen entfällt der größte Teil des Wachstums auch bis 2030 auf den Straßengüterverkehr. Die Wachstumsraten sind hingegen bei der Schiene, und dort insbesondere im Kombinierten Verkehr, am höchsten.

Für den Schienengüterverkehr insgesamt wurde landesweit ein Verlagerungspotenzial von bis zu drei Millionen Tonnen bis 2025 ermittelt, was einem Wachstum von acht Prozent beziehungsweise einer Verschiebung des Modal Split um 0,04 Prozent zu Gunsten der Schiene entspräche. Für den Kombinierten Verkehr wurde bis 2025 ein Potenzialaufkommen von rund acht Millionen Tonnen ermittelt, was zu einer Verschiebung des Modal Split von 1,3 Prozent in Richtung des Schienengüterverkehrs und der Binnenschifffahrt führen würde.<sup>174</sup>

Auf die Region Stuttgart bezogen wird dabei im Jahr 2025 eine Umschlagmenge im Kombinierten Verkehr von rund 375.000 Ladeeinheiten<sup>175</sup> erwartet. Die Stadt Stuttgart ist darauf bedacht, bestehende Anschlüsse an das Schienennetz aufrecht zu erhalten und reaktivierbare Anschlüsse nicht zu verbauen. Außerdem wird darauf geachtet, dass bei der Neuansiedlung von Unternehmen bei der Gebietswahl berücksichtigt wird, ob Bedarf bezüglich einer Nutzung des Kombinierten Verkehrs besteht.<sup>176</sup>

Auch im multimodalen Verkehr mit Beteiligung des Binnenschiffs ist die Infrastruktur ein wichtiger, da einschränkender Faktor. Um weiteres Wachstum zu erreichen beziehungsweise das Potenzial ausschöpfen zu können, müssten neue Lager- und Umschlagsflächen entstehen, die Anbindung an die Autobahnen A8 und die A81 verbessert und vor allem die Schleusen verlängert werden. Dieser Ausbau ist nötig, damit auch die neueren, größeren Rheinschiffe die öffentlichen Häfen Stuttgart und Plochingen anfahren können. Die Zuständigkeit für den Ausbau liegt jedoch beim Bund. Ausbau und Sanierung der vorhandenen Schleusen werden in den nächsten Jahren umgesetzt.<sup>177</sup>

Abbildung 28: Beispiele für verkehrspolitische Programme auf unterschiedlichen politischen Ebenen



<sup>173</sup> Vgl. Landesstiftung BW (2017) <sup>174</sup> Vgl. TCI (2014), S. 2-3 <sup>175</sup> Ladeeinheit, das heißt die im Kombinierten Verkehr umgeschlagene Einheit (z. B. Container, Wechselbrücke, Trailer), unabhängig von der Größe. <sup>176</sup> Vgl. Stuttgart (2014), S. 79 <sup>177</sup> Vgl. Stuttgart (2014), S. 79-80

### 6.2 Effizienzgewinne durch Verkehrsverlagerung und alternative Logistikkonzepte

#### 6.2.1 Ausgangssituation

Trotz der politischen Handlungsstrategien, die Verlagerung des Verkehrs auf die Schiene oder den Kombinierten Verkehr zu unterstützen, eignen diese Verkehrsträger sich besonders für den Hauptlauf von schweren Gütern oder Containerladungen auf langen Strecken. Insbesondere für kleinteilige Sendungen und kürzere Strecken sowie die Zustellungen auf der „letzten Meile“ zum Empfänger müssen andere Lösungen gefunden werden.

Besonders der Innenstadtverkehr und die „letzte Meile“ stehen vor Herausforderungen, die zunehmend dringlicher zu lösen sind. Der Logistiker steht hier in einem Spannungsfeld von steigendem Waren- und Transportvolumen, schon heute ausgelasteter beziehungsweise überlasteter Infrastruktur, steigenden Kundenanforderungen, politischen und gesellschaftlichen Anforderungen hinsichtlich Klima- und Umweltschutz sowie der eigenen Wirtschaftlichkeit. Die zu findenden Lösungen müssen innovative Logistikkonzepte sein, die sowohl marktseitig umsetzbar sind, als auch von der Gesellschaft angenommen werden.

Der Online-Handel als Wachstumsmotor der Handelsbranche ist ein wesentlicher Einflussfaktor für diese Veränderungen mit enormen Zuwachsraten in den vergangenen Jahren: Allein von 2015 auf 2016 ist der Umsatz der Waren im Online-Handel von 46,9 Milliarden Euro um rund 12,5 Prozent auf 52,7 Milliarden Euro angewachsen.<sup>178</sup> Im Jahr 2009 lag der Umsatz noch bei nur 15,5 Milliarden Euro.<sup>179</sup>

Diese veränderte Nachfrage beeinflusst vor allem die Logistik. Sendungen werden kleinteiliger und häufiger und zudem steigt der Anspruch, dass die Lieferung immer schneller, wenn nicht sogar am Tag der Bestellung (Same Day Delivery), zu erfolgen hat. Zusätzlich findet zunehmend eine Re-Urbanisierung statt und Handelsunternehmen, selbst solche, die klassischer Weise außerhalb auf der grünen Wiese zu finden waren (zum Beispiel Möbelhäuser, Baumärkte), drängen in die Innenstädte. Das Zusammenspiel von Online- und Offline-Angeboten seitens der Händler sorgt für weiteres Transportaufkommen in die meistens ohnehin schon mit hohem Verkehrsaufkommen belasteten Innenstädte von Ballungszentren.<sup>180</sup> Der zunehmende Lieferverkehr ist vor allem in gemischten und in Kerngebieten schwierig. Da oft für die Warenanlieferung nötige Flächen fehlen oder die vorhande-

nen Flächen durch andere Verkehrsteilnehmer (zum Teil widerrechtlich) genutzt werden, erfolgt die Anlieferung „über“ den öffentlichen Raum (Lieferfahrzeuge werden in der dritten Reihe oder auch auf Rad- und Gehwegen abgestellt). Dadurch wird der fließende Verkehr gestört und auch andere Verkehrsteilnehmer gefährdet.<sup>181</sup> Der Versuch, die „letzte Meile“ zu verkürzen, um näher an die Endkunden zu rücken, steht zudem im Widerspruch mit der gesellschaftlichen Forderung nach weniger Verkehrslärm und Luftverschmutzung.

In Stuttgart hat der Wirtschaftsverkehr einen Anteil von etwa 26 Prozent am gesamten Verkehr. Bezogen auf den Talkessel sind es 22 Prozent. Der Schwerlastverkehr am Wirtschaftsverkehr macht rund sechs Prozent beziehungsweise im Talkessel knapp drei Prozent aus. Der LKW-Verkehr ist für die Hälfte der Stickoxidemissionen sowie ein Drittel der Feinstaubemissionen verantwortlich. Aufgrund der hohen Feinstaubbelastung wurde 2010 ein Durchfahrtsverbot für Fahrzeuge schwerer als 3,5 Tonnen zulässiges Gesamtgewicht eingerichtet. Seitdem ist insgesamt eine Verlagerung vom Schwerlastverkehr (in diesem Zusammenhang: mehr als 3,5 Tonnen zulässiges Gesamtgewicht) auf leichte Nutzfahrzeuge (bis 3,5 Tonnen zulässiges Gesamtgewicht) festzustellen, sodass diese einen Anteil von etwa 12 Prozent am Wirtschaftsverkehr haben. Der restliche Wirtschaftsverkehr verteilt sich im wesentlichen auf Handwerker und Dienstleister.<sup>182</sup>

Die aktuelle Feinstaub- und Stickoxiddebatte und die Diskussion über Diesel-Fahrverbote für Innenstädte stehen exemplarisch für einen zunehmenden gesellschaftlichen Druck auf die Logistik. Dieser Handlungsdruck wird durch Urteile aus jüngster Zeit nochmals verstärkt.<sup>183</sup>

Die Bandbreite der möglichen Lösungen ist groß und immer von den individuellen Rahmenbedingungen der betreffenden Stadt, wie etwa Topologie, Flächenverfügbarkeit, Verkehrsbelastung, Baustellen oder auch der Zusammenarbeit der Stakeholder, abhängig. Nicht immer sind Lösungsansätze praktikabel oder wirtschaftlich umsetzbar. In Stuttgart wurde die Mitbenutzung von Busspuren für den Schwerlastverkehr aufgrund der engen Taktung der Buslinien sowie der niedrigen Anzahl an Busspuren in der Stadt verworfen.

Die ersten Erfahrungen mit der Logistik in Ballungszentren haben unter dem Titel „City Logistik“ zu ernüchternden Erfahrungen geführt, da die Entlastungsziele durchweg verfehlt wurden. Bei den heutigen Konzepten konzentriert man sich aufgrund dieser Erfahrungen zunächst auf einzelne Stadtteile oder spezifische Branchen. Dafür werden dann vielfältige

<sup>178</sup> Vgl. BEVH (2017), Abbildung 3 <sup>179</sup> Vgl. BEVH, Boniversum (2017), S. 13 <sup>180</sup> Vgl. ZF, IML (2016), S. 4, 17, 20-22

<sup>181</sup> Vgl. Stuttgart (2014), S. 77 <sup>182</sup> Vgl. Stuttgart (2014), S. 73, 76, 83 <sup>183</sup> Vgl. Verwaltungsgericht Stuttgart (02.10.2017) und Bundesverwaltungsgericht (Urteil vom 27.02.2018).

Konzepte zur Lösung der bestehenden Probleme entwickelt.<sup>184</sup> Vorteilhaft ist in diesem Zusammenhang der zwischenzeitlich vorhandene hohe Grad der Vernetzung.

### 6.2.2 Aktuelle Projekte in der Region Stuttgart

Bei Projekten zur Innenstadtlogistik ist es wichtig, dass die Kommune involviert ist und eng mit den Unternehmen zusammenarbeitet. Hierdurch können Fehlentwicklungen vermieden und rechtliche sowie ordnungstechnische Fragestellungen konstruktiv gelöst werden.

Die Stadt Stuttgart hat dazu 2016 die Position des Wirtschaftsverkehrsbeauftragten geschaffen. Dieser betreut auch den ursprünglich von der IHK Region Stuttgart eingerichteten „Arbeitskreis Innenstadtlogistik“, in dem neben betroffenen Unternehmen, Wissenschaft und Verbänden auch Vertreter mehrerer städtischer Behörden Mitglied sind. Mit der Fortschreibung des Aktionsplans ‚Nachhaltig mobil in Stuttgart‘ wurden neue Maßnahmen für den Wirtschaftsverkehr festgehalten. Dazu gehören unter anderem die Erweiterung der Verkehrsinformationen und -lenkung zur optimalen Routenplanung, die Weiterentwicklung der Liefer- und Zugangsbedingungen für den Innenstadtbereich, den Einsatz von emissionsarmen (Elektro-)Fahrzeugen, Entwicklung und Pilotierung für neue Konzepte in der City-Logistik sowie der Versuch von Privilegierung von emissionsfreien Lieferverkehren im Fußgängerzonenbereich.<sup>185</sup> Projekte, die bisher in Stuttgart umgesetzt oder initiiert wurden, werden im Folgenden vorgestellt.

#### LKW-Empfehlungsnetz

Ziel des LKW-Empfehlungsnetzes ist es, den LKW-Verkehr auf möglichst unempfindliche Strecken zu bündeln, um etwa Wohn-, Grün- und Erholungsgebiete zu schonen.<sup>186</sup> Außerdem sollen die anzufahrenden Zielgebiete wie Gewerbegebiete, Einzelhandelsschwerpunkte sowie Anschlüsse zu den Autobahnen und Bundesstraßen, auf möglichst kurzen Strecken ohne Beschränkungen erreicht werden. Das Vorhaben wurde im Rahmen des von der EU geförderten Projektes 2MOVE2 realisiert. Das Empfehlungsnetz dient als Planungsgrundlage für die Disposition in den Unternehmen sowie zu verkehrstechnischen Zwecken der Stadt.<sup>187</sup>

#### Lastenräder

Während etwa Fahrrad-Kuriere für Briefsendungen schon seit langem etabliert sind, werden mit Ausweitung der Elektromobilität zunehmend Lastenräder entwickelt, getestet und

zum Teil bei der Zustellung auf der „letzten Meile“ regulär eingesetzt. Der große Vorteil von Lastenrädern ist ihre lokale Emissionsfreiheit und Geräuschlosigkeit. Wurden die infrastrukturellen Grundlagen geschaffen (Umschlag- und Zwischenlagerflächen, Abstellplätze und Ladestationen), kann bei der Lastenradlogistik eine hohe Produktivität erreicht werden. Das Land Baden-Württemberg verfolgt das Ziel, dass bis 2020 etwa fünf Prozent der innerstädtischen Liefervorgänge in Großstädten mit Lastenrädern abgewickelt werden.<sup>188</sup> Zur Erreichung dieses Ziels wurde ein Förderprogramm eingerichtet, das den Einsatz von E-Lastenrädern für Unternehmen, Körperschaften und gemeinnützige Organisationen mit bis zu 3.000 Euro je Fahrrad unterstützt.<sup>189</sup>

Eine Untersuchung im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr und digitale Infrastruktur hat ergeben, dass das Potenzial zur Verlagerung auf das Fahrrad im deutschen Wirtschaftsverkehr zwischen acht bis 13 Prozent aller Fahrten, abhängig von der Weiterentwicklung der Einsatz- und Rahmenbedingungen, beträgt. Bis 2030 wären sogar bis zu 23 Prozent denkbar. Bezogen auf die Fahrleistung besteht ein Verlagerungspotenzial zwischen ein bis vier Prozent.<sup>190</sup>

In Stuttgart wurde unter anderem ein Experiment im Rahmen des Reallabors für Nachhaltige Mobilitätskultur durchgeführt, um ein Lastenrad-Verleihsystem für die nicht kommerzielle Nutzung zu entwickeln. Dieses System basiert auf Spendenbasis (für die Nutzung) sowie ehrenamtlichen Einsatz (für den „Betrieb“ der Lastenradstationen). Mittlerweile wurde aus dieser Initiative ein Verein „Lastenrad Stuttgart“ gegründet. Zukünftig sollen auch über das interkommunale und regionale Fahrradverleihsystem RegioRadStuttgart in den Stuttgarter Innenstadtbirken Lastenräder ausgeliehen werden können.<sup>191</sup>

Weiterhin ist geplant, im Rahmen eines von der EU geförderten Projektes unter Mitwirkung der Stadt Stuttgart den Einsatz von mit Brennstoffzellen betriebenen Lastenrädern unter verschiedenen Bedingungen zu testen und ein Konzept zur bestmöglichen Einbindung in bestehende Lieferketten zu entwickeln. Darüber hinaus sollen Maßnahmen abgeleitet werden, die dieses Konzept im Radverkehr unterstützen können.<sup>192</sup>

#### veloCARRIER

Ein Beispiel für die erfolgreiche Umsetzung eines Geschäftsmodells mit Lastenrädern ist das Unternehmen veloCARRIER. Bei veloCARRIER handelt es sich um eine ‚Fahrradspedition‘. Gegründet im Jahr 2015 in Tübingen, ist das Unternehmen

<sup>184</sup> Vgl. Stuttgart (2014), S. 76 <sup>185</sup> Vgl. Forderer, W. (2017), S. 2 <sup>186</sup> Vgl. Stuttgart (2014), S. 77 <sup>187</sup> Vgl. Stuttgart (2017a) und Forderer, W. (2017)

<sup>188</sup> Vgl. BMVI (2012), S. 48 und MVI BW (2016), S. 96, 100 <sup>189</sup> Vgl. BW (2017) <sup>190</sup> Vgl. DLR (2016), S. 51, 52 <sup>191</sup> Vgl. Forderer, W. (2017), S. 3

<sup>192</sup> Vgl. Forderer, W. (2017), S. 3

heute unter anderem in Tübingen, Stuttgart, Esslingen, Ulm, Gießen, Bochum sowie Würzburg vertreten und nach eigenen Angaben mit etwa 30 Städten in Gesprächen. In Stuttgart ist veloCARRIER seit 2016 aktiv. Gestartet mit zwölf elektrisch betriebenen Lastenrädern eines baden-württembergischen Herstellers und vier Verteilzentren, sollen es in den nächsten Jahren mindestens 50 Räder und elf Zentren werden. Mit den eingesetzten Rädern können Sendungen bis zu 250 Kilogramm transportiert werden. Das Leistungsangebot umfasst neben Same Day Delivery zum Wunschtermin auch Lösungen für die erste und letzte Meile. Auf der ersten Meile (Vorlauf) werden die Sendungen beim Verloader abgeholt und dann in einem City-Hub gebündelt. Dort werden diese dann an Speditionen und Paketdienstleister übergeben (wenn sie über die Stadtgrenzen hinausgehen) beziehungsweise wiederum als Eingangssendungen zur Verteilung auf der letzten Meile (Nachlauf) empfangen. Darüber hinaus unterstützt und berät das Unternehmen andere Dienstleister bei der Entwicklung und Umsetzung neuer Konzepte zur Innenstadtbeförderung.<sup>193</sup>

### logSPACE<sup>194</sup>

Seit 2016 läuft „logSPACE“, ein von der Stadt Stuttgart gefördertes und vom Fraunhofer IAO durchgeführtes Projekt. Die Idee ist, im Rahmen des Projektes verschiedene, alternative Zustellkonzepte in der Stuttgarter Innenstadt, insbesondere durch KEP-Dienstleister, entwickeln und vor allem in der Praxis testen zu können. Dabei fungiert Fraunhofer IAO als Vermittler zwischen Unternehmen und Stadt. Zunächst wird die Konzeptplanung mit dem interessierten Unternehmen analysiert und weiterentwickelt, bevor das Projekt Vertretern der Stadt präsentiert wird. Anschließend erfolgt die Entscheidung, ob eine Umsetzungsförderung seitens der Stadt erfolgt.

Im Herbst 2017 starteten zwei Konzepte zum Einsatz von Lastenrädern in den Praxistest. Für beide ist eine Laufzeit von einem Jahr vorgegeben, um saisonale Schwankungen – hinsichtlich des Wetters (Hitze, Schnee) und des Aufkommens (Weihnachtsgeschäft, Sommerloch) – überprüfen zu können. Das Fraunhofer IAO evaluiert dabei, wie die Transportmengen beeinflusst werden und ist ebenso für das Krisenmanagement, also etwa für den Fall, dass eine für einen Mikro-Hub reservierte Fläche von Dritten sachfremd genutzt wird, als auch das Beschwerdemanagement (gegebenenfalls Parkplatzwegfall für Anwohner) verantwortlich.

### Park up<sup>195</sup>

Die Flächenproblematik wird auch in einem weiteren Projekt aufgegriffen. Hierbei arbeiten das Fraunhofer IAO und veloCARRIER gemeinsam an einem Konzept für eine flexible Nutzung und Bepreisung von innenstadtnahen Parkflächen und testen dieses in Stuttgarter Parkhäusern. Ziel ist es, vorhandene Parkflächen in der Innenstadt möglichst effizient zu nutzen.

### BahnhofsBox

Gemeinsam haben DB Regio Süd-West, Edeka Südwest und emmasbox am Stuttgarter Hauptbahnhof ein einjähriges Pilotprojekt gestartet, das bei Erfolg in ganz Deutschland umgesetzt werden soll. In der BahnhofsBox werden Lebensmittel bereitgestellt, die vorher online bestellt wurden. Die Box zielt insbesondere auf Pendler und Fahrgäste ab, die im Hauptbahnhof umsteigen und wenig Zeit zum Einkaufen haben. Vorteil ist, dass die Einkäufe ohne Umweg eingesammelt werden können und im Anschluss die Heimfahrt angetreten werden kann. Dabei wird gleichzeitig eine Einkaufsfahrt eingespart. Die Nutzer können zwischen verschiedenen Abholzeitfenstern wählen. Der Vorlauf zwischen Bestellung und Abholzeitraum beträgt vier Stunden. In dieser Zeit wird die Box von einem Stuttgarter Einzelhändler beliefert. Die BahnhofsBox verfügt über 52 Fächer mit drei unterschiedlichen Temperaturzonen, die von minus 20 Grad für Tiefkühlprodukte bis hin zu Raumtemperatur für temperaturunsensible Produkte reichen. So können die Lebensmittel bis zur Abholung sachgerecht gelagert werden. Zur Abholung erhält der Kunde einen QR-Code und kann alternativ auch die Bestellnummer eingeben, die Bezahlung erfolgt entweder online oder direkt an der Box.<sup>196</sup>

### 6.2.3 Ein Blick über den Tellerrand – Projekte aus anderen Städten

Auch in anderen Städten werden neue Logistikkonzepte in der Innenstadtlogistik ausprobiert. Im Folgenden werden einige Projekte aus deutschen<sup>197</sup> Städten vorgestellt. Dabei wird zwischen dem Einsatz alternativer Antriebe und Lieferkonzepte sowie Ansätzen zur Vermeidung von vergeblichen Zustellversuchen zur Effizienzsteigerung unterschieden.

<sup>193</sup> Vgl. veloCARRIER (2017) und LOGISTRA (2016) <sup>194</sup> Quelle: Telefoninterview mit Herrn Raiber, Projektleiter logSPACE, vom 08.08.2017 <sup>195</sup> Quelle: Telefoninterview mit Herrn Raiber, Projektleiter logSPACE, vom 08.08.2017 <sup>196</sup> Vgl. DB (2017) <sup>197</sup> Die Stadt Stuttgart hat eine eigene Studie zum Status Quo der Innenstadtlogistik im internationalen Vergleich in Auftrag gegeben. Die Studie „Screening City Logistik“ stellt Ansätze aus mehreren europäischen Regionen vor und leitet daraus auch Ansatzpunkte für eine City-Logistik in Stuttgart ab. Vgl. dazu Bienzeisler, B. et al. (2018). Daher werden internationale Projekte an dieser Stelle nicht betrachtet.

### 6.2.3.1 Einsatz alternativer Antriebe und Logistikkonzepte

#### Geräuscharme Nachtlogistik

GeNaLog steht für geräuscharme Nachtlogistik. Im Rahmen des Förderprogramms „Dienstleistungsinnovationen für Elektromobilität“ haben zwei Fraunhofer Institute, ein Softwareentwicklungsunternehmen, drei Städte (Dortmund, Karlsruhe, Köln) und drei Unternehmen (DOEGO Fruchthandel, REWE, Tedi) über vier Jahre Konzepte für eine geräusch- und emissionsarme Innenstadtbelieferung zu Nachtzeiten mit dem E-LKW entwickelt und in der Praxis getestet. Durch die Verlagerung der Transporte in die Nacht soll die Anlieferung effizienter werden. Eine leise Fahrzeug- und Umschlagstechnik trägt dazu bei, dass die strengen Grenzwerte der Lärmemissionen eingehalten werden können. Vorteile ergeben sich dadurch für alle Stakeholder: die Logistikunternehmen können Stoßzeiten umgehen, auf diese Weise die Lieferzeiten reduzieren und die Fahrzeuge besser auslasten. Durch den Einsatz von E-LKW kann der Energieverbrauch deutlich reduziert werden. Für Anwohner entfällt der Störfaktor LKW, der je nach Innenstadtgegebenheit auch zum Verkehrshindernis werden kann. Die Reduzierung des Verkehrs zu Stoßzeiten wie auch der Lärm- und Luftschadstoffe ist für die Kommunen besonders positiv. Allerdings erfordert diese Lösung die Erteilung von Ausnahmegenehmigungen, sodass die Mitwirkung der Kommune zwingend notwendig ist.<sup>198</sup>

#### SMILE in Hamburg

SMILE steht für „Smart Last Mile Logistics“. Dabei sollen Wirtschaft, Wissenschaft, Politik und Verwaltung gemeinsam an Konzepten und Pilotprojekten arbeiten, um Hamburg zur Modellregion für City Logistik zu entwickeln. Im Fokus liegen neue Zustellpunkte und -prozesse, virtuelle Marktplätze, alternative Transportmittel, neue Logistikkonzepte für neue Quartiere sowie alternative Antriebe.<sup>199</sup> Bisher initiierte Projekte umfassen das Mikro-Hub-Projekt von UPS, den Robotertest von Hermes (siehe unten) und den Einsatz der StreetScooter von DHL. Weitere Projekte sind in Planung. Gleichzeitig ist Hamburg auch Modellregion für Elektromobilität. Das neu entstehende Quartier „Mitte Altona“ wird als Idealtyp für die Logistik der Zukunft geplant. Als Modellquartier soll hier auto- und verkehrsreduziertes Wohnen ermöglicht werden. Dazu werden zum einen die Stellplätze auf 0,4 pro Wohneinheit<sup>200</sup> begrenzt. Zum anderen werden

Car-Sharing-Stellplätze gefördert sowie eine gute Anbindung an Radwege (inklusive der Abstellflächen für Fahrräder) und den ÖPNV sichergestellt. Außerdem werden Ladestationen für Elektrofahrzeuge installiert und das Mobilitätsverhalten der Bewohner analysiert.<sup>201</sup>

#### Zustellroboter bei Hermes

In Hamburg wurden die Roboter von Starship Technologies bereits erfolgreich durch Hermes im Praxiseinsatz getestet. Dabei sind drei Roboter in drei Hamburger Stadtteilen im Einsatz, um von den Paketshops aus die Kunden im Umkreis von bis zu zwei Kilometer zu bedienen. Bis zu sieben Touren absolvieren die Roboter täglich. Auch wenn die Roboter autonom fahren können, werden sie in der Testphase von einem menschlichen Lotsen begleitet, da sich die Robotertechnik zunächst mit der Umgebung vertraut machen muss. Zudem informiert der Lotse interessierte Passanten über den Roboter. Die bisherigen Reaktionen waren neutral bis positiv. Daher wurde die Testphase verlängert und eine neue Herausforderung gestellt: die Roboter nehmen jetzt auch Retouren an und liefern sie an die Paketshops. Die Transportkosten sollen zukünftig bei etwa einem Euro pro Lieferung liegen.<sup>202</sup> Der Preis des Roboters liegt momentan allerdings noch im mittleren fünfstelligen Bereich. Langfristig sollen die Preise aber sinken. Probleme beim Roboter-Einsatz entstehen bislang in erster Linie im Zuge der Genehmigungserteilung seitens der Kommunen. Da jede Kommune individuell entscheidet, entsteht beim Logistiker ein hoher bürokratischer Aufwand. Vorbehaltlich der kommunalen Genehmigungen ist für 2018 *der Einsatz der Zustellroboter* in fünf bis zehn deutschen Städten. Weitere Meldungen zum Umsetzungsstand gab es bis zum Redaktionsschluss allerdings nicht. Mittelfristig wird erwartet, dass die Roboter etwa zehn Prozent aller Zustellungen übernehmen können.<sup>203</sup>

#### Elektro-Trike TRIPL

Hermes testet in Göttingen einen elektrisch angetriebenen, emissionsfreien dreirädrigen Roller (Trike), das TRIPL. Dieses wird für die Zustellung von kleineren Paketen und Tütensendungen in der Innenstadt eingesetzt. Es hat ein Ladevolumen von 750 Litern und fasst zwischen 40 bis 60 Sendungen und kann somit mehr Sendungen in einer Tour transportieren als ein Lastenrad. Die Reichweite beträgt 100 Kilometer, sodass ein zweitägiger Einsatz ohne Ladung der Batterien möglich ist. Neben der hohen Reichweite birgt die geringe Stellflä-

<sup>198</sup> Vgl. Stockmann, M. (2016), S. 10 <sup>199</sup> Vgl. LIHH (2017) <sup>200</sup> Bisher üblich waren 0,6–0,8 Stellplätze pro Wohneinheit in Hamburg. Seit 2013 ist die Stellplatzpflicht für Wohngebäude aufgehoben. Die Stellplatzregelung ist jedoch von Bundesland zu Bundesland verschieden, i.d.R. ist aber von 1 bis 2 Stellplätzen je Wohnung auszugehen. Vgl. dazu Hamburg (2013). <sup>201</sup> Vgl. Mitte Altona (2017) <sup>202</sup> Vgl. Daimler (2017) <sup>203</sup> Vgl. Nicolai, B. (2017)

che und die Wendigkeit des Fahrzeugs Vorteile bei der innerstädtischen Feinverteilung. Aufgrund der vergleichsweise geringen Abmessungen können außerdem Straßen befahren werden, die für Transporter gesperrt sind. Insbesondere in der Göttinger Altstadt ist das ein großer und zeitsparender Vorteil.<sup>204</sup>

### Drohnen

Drohnen rücken zunehmend in den Fokus als mögliches Transportmittel in der Logistik. Besonderes Potenzial bietet etwa die Zustellung in ländlichen Gebieten und bei schwer erreichbaren Zielen, ebenso die Zustellung eiliger Güter in Innenstädten. Die Reichweite der Drohnen ist unter anderem von der Steuerungsart abhängig. Bei manueller Steuerung beträgt diese maximal ein bis zwei Kilometer. Autonom fliegende Drohnen hingegen können sich mehrere Kilometer von ihrer Basisstation entfernen. Die Fluggeschwindigkeiten liegen zwischen 30 und 80 km/h. Je nach Modell können 0,5 bis fünf Kilogramm schwere Sendungen transportiert werden. Bestehende Hindernisse für den Regeleinsatz sind insbesondere sicherheitstechnische und rechtliche Aspekte. Luftverkehrsteilnehmer müssen das Luftverkehrsgesetz einhalten und auch entsprechende Aufstiegserlaubnisse vorweisen können. Derzeit muss eine Drohne immer in Sichtweite des Bedieners sein. Flugverbotszonen wie Flughäfen oder auch Regierungsgebäude dürfen nicht überflogen werden. Ein möglicher Ladungsverlust, ein zum Absturz führender Vogelschlag oder auch die Manipulation der Navigation stellen Sicherheitsrisiken für Mensch und Tier dar.<sup>205</sup>

Verschiedene (Logistik-) Unternehmen haben angefangen, Drohnen zu testen. Eines der prominentesten ist Amazon. Mit der „Amazon Prime Air“-Drohne will Amazon langfristig kleine, leichte Sendungen im Umkreis von seinen Logistikzentren innerhalb von 30 Minuten ausliefern können. Nach Schätzungen könnten die Kosten pro Lieferung dann unter einem Euro liegen. Bei Amazon wären etwa 90 Prozent aller Sendungen drohnenfähig, sodass ein Volumen von jährlich etwa 400 Millionen Paketen möglich wäre.<sup>206</sup> Dies würde mengenmäßig etwa 25 Prozent aller 2016 in Deutschland an Privatempfänger versendeten Paketen entsprechen.<sup>207</sup>

In Deutschland testet DHL seit 2013 den „Paketkopter“ und entwickelt ihn stetig weiter. Angefangen mit kurzen Flügen über den Rhein über Flüge auf die Insel Juist hin zu der au-

tomatisierten Zustellung an eine Packstation mit „SkyPort“ in den Alpen hat DHL mehrere Einsatzbereiche getestet. Im letzten Szenario können innerhalb von acht Minuten Pakete auf eine Alm geliefert werden. Eine herkömmliche Zustellung hätte im Winter mindestens 30 Minuten in Anspruch genommen. Aufgrund der erreichten Fortschritte soll diese Lieferoption langfristig auch im urbanen Raum getestet werden.<sup>208</sup>

### 6.2.3.2 Ansätze zur Vermeidung vergeblicher Zustellversuche

Fehlgeschlagene Zustellversuche sind für den Endkunden ärgerlich und zudem für den Logistikdienstleister kosten- und zeitintensiv. Zudem verursachen mehrere Zustellversuche vermeidbare Transporte und Treibhausgas-Emissionen. Im Folgenden werden einige Konzepte vorgestellt, die einen Ansatz zur Lösung dieser Problematik bieten.

#### pakadoo

Über pakadoo können private Sendungen gebündelt und am Arbeitsplatz zugestellt werden. Die Bestellung im Online-Shop erfolgt dabei wie gewohnt und unabhängig vom eingesetzten Logistikdienstleister. Die Privatsendungen werden durch eine „PAK ID“ gekennzeichnet und gemeinsam mit den B2B-Sendungen an das Unternehmen zugestellt. Aufgrund der Kennzeichnung können die Privatsendungen mithilfe der pakadoo-Software erfasst werden. Der Mitarbeiter bekommt daraufhin eine E-Mail-Bestätigung über den Eingang seiner Sendung(en) und kann diese abholen. Der Service ist sowohl für Unternehmen als auch Mitarbeiter kostenlos. Jedoch profitieren beide: das Unternehmen steigert die Zufriedenheit und Motivation der Mitarbeiter; der Mitarbeiter – und auch die Logistikdienstleister – sparen im Vergleich zur konventionellen Zustellung Wege ein, wodurch der Kraftstoffverbrauch und die damit verbundenen Emissionen reduziert werden können.<sup>209</sup>

#### CiDo

CiDo steht für „Come in and Drop off“ und setzt ebenfalls bei den fehlgeschlagenen Zustellversuchen an. Das Hamburger Start-Up Unternehmen hat hierzu einen Barcodescanner, der an der Haustür eines Mehrfamilienhauses installiert wird, entwickelt. Die Sendungsnummer kann mit diesem Scanner ausgelesen werden und es findet ein Abgleich mit den Hausbewohnern statt. Stimmt der Empfänger der Sendung mit ei-

<sup>204</sup> Vgl. Reichel, J. (2017) <sup>205</sup> Vgl. ZF, IML (2016), S. 39–40 <sup>206</sup> Vgl. Keeney, T. (2015) <sup>207</sup> Vgl. ZF, IML (2016), S. 40 <sup>208</sup> Vgl. DHL (2016) <sup>209</sup> Vgl. Pakadoo (2016)

nem Hausbewohner überein, wird dem Zusteller automatisch die Tür geöffnet, sodass dieser die Sendung zustellen kann. Wohnungen werden dabei nicht betreten.<sup>210</sup>

### **PaketButler**

Der PaketButler ermöglicht die Zustellung direkt an der Haustür, ohne dass der Empfänger zu Hause sein muss. Es handelt sich dabei um einen flexiblen, faltbaren und mit einem elektrischen Schloss gesicherten Behälter, der mithilfe eines Sicherheitsgurtes außen an der Wohnungstür angebracht werden kann, wenn ein Paket erwartet wird. Der Zusteller kann die Sendung dann in dem Behälter ablegen und ihn wieder verschließen. Auch Retouren oder der Versand von Paketen gegen Gebühr sind mit dem PaketButler möglich. Der PaketButler kann entweder gekauft oder monatlich gemietet werden. Obwohl PaketButler ein Kooperationspartner von DHL ist, kann das System von allen Logistikdienstleistern genutzt werden, sodass es bei der Warenbestellung keine Rolle spielt, welcher KEP-Dienstleister die Sendung zustellt.<sup>211</sup>

---

<sup>210</sup> Vgl. Hamburg Startup Monitor (2017) <sup>211</sup> Vgl. PaketButler (2017)

- **Primärenergie:** Betrachtet man Energie, wie sie in der Natur vorkommt, so spricht man auch von Primärenergie. Diese Primärenergie kann als fossiler Energieträger in Form von Kohle, Erdgas oder Erdöl vorkommen. Hinzu kommen erneuerbaren (Solarenergie, Windkraft, Wasserkraft, Erdwärme) und die nuklearen Energieträger (Uran). Durch Logistikunternehmen kann Energie in dieser Form nicht genutzt werden.
- **Sekundärenergie:** Vielmehr muss die Primärenergie umgewandelt werden in nutzbare Energie. Die Umwandlungsprozesse finden üblicherweise in der Energiewirtschaft statt. Zu den Sekundärenergieträgern zählen zum Beispiel Strom, Fernwärme, Diesel, oder Heizöl. Während der Umwandlung entstehen Verluste, die den Energiegehalt der Sekundärenergie im Vergleich zur Primärenergie vermindern. Je nach Energieträger und nach Umwandlungsform sind diese Verluste unterschiedlich groß.
- **Endenergie:** Die Sekundärenergie muss noch an den Ort des Bedarfs transportiert werden. Kann der Endverbraucher, also auch das Logistikunternehmen, die Energie dann bei sich bzw. für seine Zwecke nutzen, so spricht man von der Endenergie. Ein Beispiel ist der Diesel, der in der Betriebsstanzstelle lagert. Bei diesem Transport können wiederum Energieverluste eintreten.
- **Nutzenergie:** Wird diese Endenergie dann auch tatsächlich durch das Logistikunternehmen eingesetzt, um einen Transport durchzuführen oder eine Lagerhalle zu beleuchten, so spricht man von Nutzenergie. Hierzu zählen dann zum Beispiel Transport (bzw. Bewegungsenergie, kinetische Energie), Heizwärme und Licht. Nutzenergie wird mithilfe von sogenannten Energiewandlern (zum Beispiel Motoren, Lampen) aus Endenergie erzeugt.<sup>212</sup>
- **Energiedienstleistung:** Der durchgeführte Transport, das beleuchtete Lager oder die geheizten Büroräume sind dann die erbrachte Energiedienstleistung.<sup>213</sup>
- **Wirkungsgrad:** Auf dem Weg von der Primärenergie bis zur dadurch realisierten Energiedienstleistung entstehen umwandlungs- und transportbedingte Verluste. Der Wirkungsgrad drückt aus, wieviel von der ursprünglichen Primärenergie noch für die Energiedienstleistung (also auch den Transport oder die Lagerhaltung) zur Verfügung steht.

<sup>212</sup> Vgl. VDI (2014), S. 11f. und Pehnt, M. (2010), S. 22    <sup>213</sup> Vgl. VDI (2014), S. 13

Diese Arbeitshilfe soll eine Hilfestellung zur Steigerung der Energieeffizienz im Unternehmen sein. Alle relevanten Bereiche werden mithilfe von Checklisten und Übersichten abgedeckt. Auf dieser Basis können bei einer ersten Bestandsaufnahme mögliche Potenziale zur Energieeinsparung und zur Steigerung der Energieeffizienz im Unternehmen oder in der Logistikabteilung identifiziert werden.

**Herangehensweise**

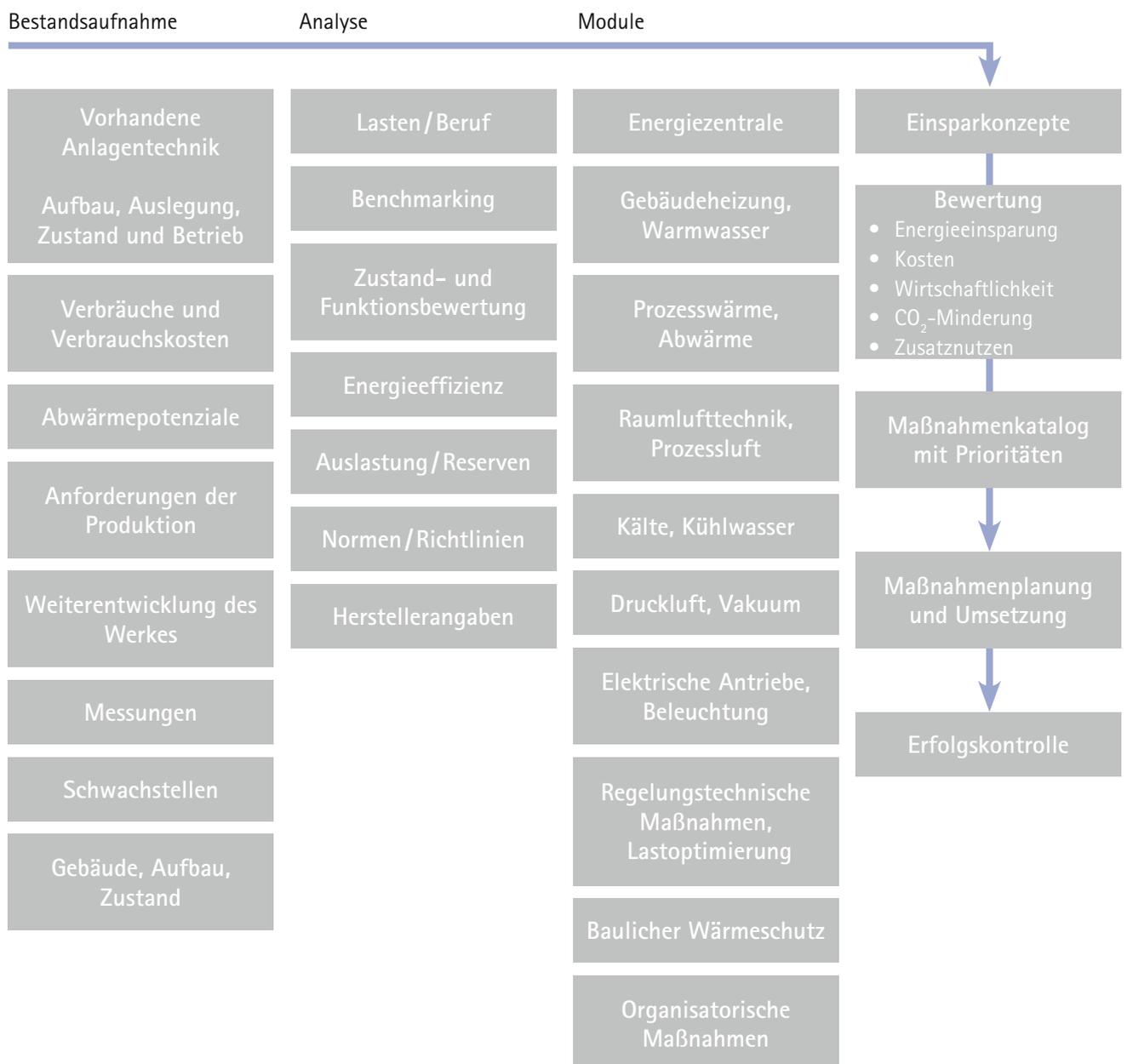
- Das Unternehmen und die Prozesse im Unternehmen sollten ganzheitlich betrachtet werden. Auch die Planung zukünftiger Maßnahmen sollte frühzeitig berücksichtigt werden.

- Bei baulichen Maßnahmen ist es ratsam, Fachexperten hinzuziehen, um unnötige Fehler und Kosten zu vermeiden.

Zentrale Fragestellungen bei der ganzheitlichen und systematischen Vorgehensweise sollten sein:

- Wie hoch ist der aktuelle Energieverbrauch? Welche Kosten entstehen hierfür?
- Wo befinden sich im Unternehmen die Hauptverursacher? Können diese identifiziert und gemessen werden?
- Wieso sind diese die Hauptverursacher? Liegt es an der Produktionsweise des Unternehmens oder ist die Anlage oder ein Gerät defekt?

**Abbildung 29: Ganzheitliches Vorgehen bei der Umsetzung von Energieeffizienzmaßnahmen<sup>214</sup>**



<sup>214</sup> In Anlehnung an ÖKOTEC, Modell Hohenlohe (o.J.), S. 8

- Wie kann der Energieverbrauch gesenkt werden? Wo liegen die größten Einsparpotenziale? Welche Investitionen sind hierfür nötig?

Um den Energieverbrauch regelmäßig überprüfen zu können und den Erfolg der umgesetzten Maßnahmen messen zu können, ist die Einführung von Kennzahlen<sup>215</sup> sinnvoll. Beispiele hierfür sind:

- Anteil der Energiekosten an den Gesamtkosten
- Anteil der verschiedenen Energieträger am Gesamtenergieverbrauch
- Anteil erneuerbarer Energien
- Energieverbrauch pro Mitarbeiter
- Energieverbrauch pro m<sup>2</sup>
- Energieverbrauch pro produzierte Einheit
- Energieverbrauch pro Anlage/Prozess (zum Beispiel pro m<sup>3</sup> Druckluft)
- Energieverbrauch pro Arbeitstag/bei Betriebsruhe

### Gebäude

#### Technisches Energiemanagement

- Ist ein zentrales, technisches Energiemanagement (zum Beispiel eine Energiezentrale) vorhanden?
- Existiert ein Lastmanagement? Werden Lastspitzen reduziert/vermieden?

#### Gebäudehülle

- Wird die Gebäudehülle regelmäßig auf Schwachstellen/Dichtheit überprüft?
- Welchen Zustand haben die Fenster? Entsprechen sie dem aktuellen Stand der Technik? (Dämmung/Dichtigkeit)
- Sind Türen und Tore dicht?
- Wird die Entstehung von Durchzug vermieden?
- Werden Schnellauftore eingesetzt, um Wärmeverluste zu vermeiden?

#### Beleuchtung

- Welche Beleuchtungstechnologie wird verwendet?
- Werden Präsenz-/Bewegungsmelder und Zeitschaltuhren eingesetzt?
- Werden die Mitarbeiter dazu angehalten, nicht unnötig das Licht brennen zu lassen?
- Ist die Beleuchtung bedarfsgerecht auf die Arbeitsplätze ausgerichtet?
- Gibt es nur so viel Beleuchtung, wie nötig? Wurde überprüft, ob einige Bereiche ohne/mit weniger Licht(stärke) auskommen?

#### Heizung

- Wie alt ist die Heizungsanlage? (Falls 30 Jahre oder älter, ist es nötig, einen Austausch vorzunehmen)
- Welcher Brennstoff wird genutzt?
- Wird eine Wärmerückgewinnungstechnik eingesetzt?
- Sind die Heizkörper funktionstüchtig, sauber und nicht zugestellt?
- Funktionieren die Thermostate?
- Werden die Mitarbeiter dazu angehalten, die Heizung abzudrehen, wenn diese nicht mehr benötigt wird?
- Kann die Heizung zentral gesteuert werden? Beispielsweise durch zeitschaltbare Thermostate oder zentrale Steuerung der gesamten Heizungsanlage?
- Findet regelmäßig ein hydraulischer Abgleich statt?

#### Klimatisierung

- Wird darauf geachtet, nicht gleichzeitig zu heizen und zu kühlen?
- Wird nur stoßgelüftet?
- Wird eine unnötige Klimatisierung vermieden?
- Wird die Klimaanlage regelmäßig gesäubert?
- **Druckluft**
- Wird das Druckluftsystem regelmäßig auf Leckagen überprüft?
- Wird Druckluft nur dort eingesetzt, wo sie wirklich nötig ist?

#### Lager

- Welche Flurförderzeuge werden eingesetzt?
- Welche Batterietechnologie wird für die Stapler eingesetzt?
- Wird daran gedacht, diese nacheinander zu laden (zum Beispiel über Zeitschaltuhren), um Lastspitzen zu vermeiden?
- Sofern ein Neubau in Planung ist und ein Hochregallager zum Einsatz kommt, wird über die Art des Regalbediengeräts nachgedacht und Energierückgewinnung in Betracht gezogen?

#### Fuhrpark

- Wie sieht der derzeitige Fuhrpark aus? (Anzahl, Größe, Gewichtsklassen, Schadstoffklassen, Alter)
- Welche Einsatzgebiete dominieren? (nah, regional, fern)
- Werden schon Fahrzeuge mit alternativen Antrieben oder Kraftstoffen eingesetzt? Wenn ja, kann der Anteil ausgebaut werden? Wenn nein, wurde schon geprüft, ob entsprechende Alternativen umsetzbar sind?

<sup>215</sup> Vgl. Löffler, T. (2011), S. 6, 7

### DIN EN 16247

Bei der DIN EN 16247 handelt es sich nicht um ein Managementsystem. Es ist der europäische Rahmen für das Energieaudit. Der Aufbau einer Struktur im Sinne eines Managementsystems ist dabei nicht notwendig. Es dient lediglich einer Bestandsaufnahme der energetischen Situation im Unternehmen. Es eignet sich sowohl als Einstieg für alle Unternehmen, als auch zur Erfüllung der Nachweispflicht im Rahmen des EDL-G sowie für den Spitzenlastausgleich gemäß den Energie- und Stromsteuergesetzen. Die Norm dient als Leitfaden zur Durchführung des Audits, von der Auswahl des Auditors bis hin zum Umfang der Berichterstattung. Die Systemgrenzen werden gemeinsam mit dem Energieauditor abgestimmt. Energieeinsatz und Energieverbrauch werden durch den Energieauditor systematisch analysiert und mögliche Einsparpotenziale ermittelt.<sup>216</sup>

### ISO 50001

Die ISO 50001 ist eine internationale Norm zum Aufbau und zur Umsetzung eines Energiemanagementsystems. Dieses basiert auf einem ganzheitlichen Ansatz gemäß dem Plan-Do-Check-Act-Zyklus und zielt auf die kontinuierliche Verbesserung ab, wodurch eine Integration mit bestehenden Systemen nach gleichem Prinzip, vereinfacht wird. Die Norm gibt Anforderungen, zur Einführung, Umsetzung, Aufrechterhaltung und Verbesserung vor. Die energetische Bewertung, als Kern des Energieaudits nach DIN EN 16247, geht hier über die detaillierte Energieanalyse hinaus und gibt Anforderungen vor, die für alle Prozesse im Unternehmen berücksichtigt werden müssen. Allerdings legt das Unternehmen den Anwendungsbereich und die Systemgrenzen, basierend auf einer Wesentlichkeitsanalyse, selber fest. Die Zertifizierung erfolgt durch einen externen, akkreditierten Zertifizierer.<sup>217</sup>

### EMAS

Eco-Management and Audit Scheme (EMAS) ist das von der EU entwickelte System zum Umweltmanagement im Unternehmen. EMAS richtet sich an Unternehmen aller Größen und verfolgt einen ganzheitlichen Ansatz zur kontinuierlichen Verbesserung der Umweltleistung im Unternehmen. Im Kern basiert EMAS auf der ISO 14001, der internationalen Norm für Umweltmanagementsysteme. Im Unterschied zu den ISO-Normen, wird EMAS nicht zertifiziert, sondern durch einen zugelassenen Umweltgutachter validiert. Dazu muss das Unternehmen eine Umwelterklärung verfassen und veröffentlichen, in der die zentralen Umweltauswirkungen und Maßnahmen zur Verbesserung offengelegt werden.<sup>218</sup>

<sup>216</sup> Vgl. DIN (2012) <sup>217</sup> Vgl. DIN (2011) <sup>218</sup> Vgl. UGA (2015)

## 10. Literaturverzeichnis

BAST (2016): Feldversuch mit Lang-LKW Abschlussbericht, online unter [http://www.bast.de/DE/Verkehrstechnik/Fachthemen/v1-lang-lkw/v-lang-lkw-abschluss.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&t=2](http://www.bast.de/DE/Verkehrstechnik/Fachthemen/v1-lang-lkw/v-lang-lkw-abschluss.pdf?__blob=publicationFile&t=2) [letzter Zugriff: 28.08.2017]

BAST (2017): Lang-LKW, online unter <http://www.bast.de/DE/Verkehrstechnik/Fachthemen/v1-lang-lkw-einsatz.html?nn=605096> [letzter Zugriff: 28.08.2017]

BAST (2017a): Mögliche Fahrzeuge und Fahrzeugkombinationen mit Überlänge (Lang-LKW), online unter <http://www.bast.de/DE/Verkehrstechnik/Fachthemen/v1-lang-lkw/v1-lang-lkw-kombinationen.html?nn=605096> [letzter Zugriff: 28.08.2017]

BEVH (2017): Aktuelle Zahlen zum interaktiven Handel, online unter <https://www.bevh.org/markt-statistik/zahlen-fakten> [letzter Zugriff: 23.08.2017]

BEVH, Boniversum (2017): Die Wirtschaftslage im deutschen Interaktiven Handel B2C 2016/2017, online unter [https://www.bevh.org/uploads/media/170706\\_Trendauswertung\\_Boniversum\\_bevh\\_B2C\\_16\\_01.pdf](https://www.bevh.org/uploads/media/170706_Trendauswertung_Boniversum_bevh_B2C_16_01.pdf) [letzter Zugriff: 23.08.2017]

BGR (2016): Energiestudie 2016 – Reserven, Ressourcen und Verfügbarkeit von Energierohstoffen, online unter [https://www.bgr.bund.de/DE/Themen/Energie/Downloads/Energiestudie\\_2016.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&t=3](https://www.bgr.bund.de/DE/Themen/Energie/Downloads/Energiestudie_2016.pdf?__blob=publicationFile&t=3) [letzter Zugriff: 31.07.2017]

BMUB (2016): Endbericht Renewability III, Optionen einer Dekarbonisierung des Verkehrssektors, online unter [http://www.renewability.de/wp-content/uploads/ Renewability\\_III\\_Endbericht.pdf](http://www.renewability.de/wp-content/uploads/ Renewability_III_Endbericht.pdf) [letzter Zugriff: 21.09.2017]

BMVI (2011): Verordnung über Ausnahmen von straßenverkehrsrechtlichen Vorschriften für Fahrzeuge und Fahrzeugkombinationen mit Überlänge (LKWÜberlStVAusV), online unter [http://www.bast.de/DE/Verkehrstechnik/Fachthemen/v1-lang-lkw/v1-Ausnahme-VO.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&t=1](http://www.bast.de/DE/Verkehrstechnik/Fachthemen/v1-lang-lkw/v1-Ausnahme-VO.pdf?__blob=publicationFile&t=1) [letzter Zugriff: 28.08.2017]

BMVI (2012): Nationaler Radverkehrsplan 2020 – Den Radverkehr gemeinsam weiterentwickeln, online unter [http://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Publikationen/G/nationaler-radverkehrsplan-2020.pdf?\\_\\_blob=publicationFile](http://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Publikationen/G/nationaler-radverkehrsplan-2020.pdf?__blob=publicationFile) [letzter Zugriff: 23.08.2017]

BMVI (2013): Die Mobilitäts- und Kraftstoffstrategie der Bundesregierung (MKS), online unter [https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Anlage/MKS/mks-strategie-final.pdf?\\_\\_blob=publicationFile](https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Anlage/MKS/mks-strategie-final.pdf?__blob=publicationFile) [letzter Zugriff: 30.08.2017]

BMVI (2017): Aktionsplan Güterverkehr und Logistik, Berlin 2017.

BMVI (2017a): Ethik-Kommission automatisiertes und vernetztes Fahren, online unter [http://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Anlage/Presse/084-dobrindt-bericht-der-ethik-kommission.pdf?\\_\\_blob=publicationFile](http://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Anlage/Presse/084-dobrindt-bericht-der-ethik-kommission.pdf?__blob=publicationFile) [letzter Zugriff: 30.08.2017]

BMW (2010): Energiekonzept für eine umweltschonende, zuverlässige und bezahlbare Energieversorgung, online unter [https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Downloads/E/energiekonzept-2010.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&t=3](https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Downloads/E/energiekonzept-2010.pdf?__blob=publicationFile&t=3) [letzter Zugriff: 31.07.2017]

BMW (2015): Energieeffizienzstrategie Gebäude – Wege zu einem nahezu klimaneutralen Gebäudebestand, online unter [https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Publikationen/Energie/energieeffizienzstrategie-gebaeude.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&t=15](https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Publikationen/Energie/energieeffizienzstrategie-gebaeude.pdf?__blob=publicationFile&t=15) [letzter Zugriff: 20.09.2017]

BMW (2018): Ein modernes Energieeinsparrecht , online unter: <https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Dossier/energieewende-im-gebaeudebereich.html> [letzter Zugriff: 20.07.2018]

Bohne, D. (2005): Heizlast von Gebäuden, online unter [http://www.unics.uni-hannover.de/tarsb/downloads/SS2005/SS05\\_04\\_Heizlast.pdf](http://www.unics.uni-hannover.de/tarsb/downloads/SS2005/SS05_04_Heizlast.pdf) [letzter Zugriff: 20.09.2017]

Bruns, R., Günthner, W., Furmans, K. et al. (2012): Analyse und Quantifizierung der Umweltauswirkungen von Fördermitteln in der Intralogistik, Hamburg.

- BW (2017): Baden-Württemberg will E-Lastenräder fördern, online unter <https://www.baden-wuerttemberg.de/de/service/presse/pressemitteilung/pid/foerderung-von-e-lastenraedern/> [letzter Zugriff: 23.08.2017]
- Clausen, U. (Hrsg.), Rüdiger, D. (2014): Studie zu alternativen Antriebsformen im Straßengüterverkehr – Status Quo und Entwicklungsperspektiven 2014, Fraunhofer Verlag, Stuttgart.
- Daimler (2017): Wenn der autonome Starship-Roboter Pakete bringt, online unter <https://www.daimler.com/innovation/next/rollende-lieferboxen.html> [letzter Zugriff: 23.08.2017]
- Daimler (2017a): Mercedes-Benz Elektro-Lkw, online unter <https://www.daimler.com/produkte/lkw/mercedes-benz/mercedes-benz-elektro-lkw.html> [letzter Zugriff: 02.09.2017]
- DB (2017): „Einkaufen von unterwegs“ mit der BahnhofsBox – Deutsche Bahn startet Pilotprojekt in Stuttgart, online unter [http://www.deutschebahn.com/presse/stuttgart/de/aktuell/presseinformationen/13684460/2017-100\\_pm\\_banhofsbox.html](http://www.deutschebahn.com/presse/stuttgart/de/aktuell/presseinformationen/13684460/2017-100_pm_banhofsbox.html) [letzter Zugriff: 25.08.2017]
- DHL (2016): Einbindung des DHL-Paketkopters in die Lieferkette erfolgreich getestet, online unter [http://www.dpdhl.com/de/presse/pressemitteilungen/2016/einbindung\\_dhl\\_paketkopter\\_logistikkette\\_erfolgreich\\_getestet.html](http://www.dpdhl.com/de/presse/pressemitteilungen/2016/einbindung_dhl_paketkopter_logistikkette_erfolgreich_getestet.html) [letzter Zugriff: 24.08.2017]
- DHL (2017): Deutsche Post baut StreetScooter-Produktion aus, online unter [http://www.dpdhl.com/de/presse/pressemitteilungen/2017/deutsche\\_post\\_baut\\_streetscooterproduktion\\_aus.html](http://www.dpdhl.com/de/presse/pressemitteilungen/2017/deutsche_post_baut_streetscooterproduktion_aus.html) [letzter Zugriff: 02.09.2017]
- DHL (2017a): Erfolgreicher Start der Vorproduktion: Deutsche Post DHL Group und Ford stellen E-Transporter StreetScooter WORK XL vor, online unter [http://www.dpdhl.com/de/presse/pressemitteilungen/2017/dhl\\_ford\\_streetscooter\\_work\\_xl.html](http://www.dpdhl.com/de/presse/pressemitteilungen/2017/dhl_ford_streetscooter_work_xl.html) [letzter Zugriff: 02.09.2017]
- DIN (2011): Energiemanagementsysteme – Anforderungen mit Anleitung zur Anwendung (ISO 50001:2011); Deutsche Fassung EN ISO 50001:2011, Beuth Verlag, Berlin.
- DIN (2012): Energieaudits – Teil 1: Allgemeine Anforderungen; Deutsche Fassung EN 16247-1:2012, Beuth Verlag, Berlin.
- DLR (2016): Untersuchung des Einsatzes von Fahrrädern im Wirtschaftsverkehr (WIV-RAD), online unter [https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Anlage/VerkehrUndMobilitaet/Fahrrad/wiv-rad-schlussbericht.pdf?\\_\\_blob=publicationFile](https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Anlage/VerkehrUndMobilitaet/Fahrrad/wiv-rad-schlussbericht.pdf?__blob=publicationFile) [letzter Zugriff: 25.08.2017]
- Dobers, K., Schneider, M., Guba, U., Könneker, A. (2012): Strommessungen an Logistikstandorten, Ermittlung von verbrauchsspezifischen Stromkennzahlen, online unter [http://www.effizienzcluster.de/files/1/16/635\\_stromverbrauchsmessungen\\_an\\_logistikstandorten.pdf](http://www.effizienzcluster.de/files/1/16/635_stromverbrauchsmessungen_an_logistikstandorten.pdf) [letzter Zugriff: 07.09.2017]
- Eckl-Dorna, W. (2016): Elektro-Truck für die Stadt – Daimlers großes, leises Ding, online unter <http://www.manager-magazin.de/unternehmen/autoindustrie/etruck-wie-daimlers-elektro-lkw-den-stadtverkehr-umkrepeln-soll-a-1105296-3.html> [letzter Zugriff: 02.09.2017]
- EDL-G (2016): Gesetz über Energiedienstleistungen und andere Energieeffizienzmaßnahmen (EDL-G), online unter <http://www.gesetze-im-internet.de/bundesrecht/edl-g/gesamt.pdf> [letzter Zugriff: 31.07.2017]
- EEG (2017): Gesetz für den Ausbau erneuerbarer Energien (Erneuerbare-Energien-Gesetz – EEG 2017), online unter [http://www.gesetze-im-internet.de/bundesrecht/eeg\\_2014/gesamt.pdf](http://www.gesetze-im-internet.de/bundesrecht/eeg_2014/gesamt.pdf) [letzter Zugriff: 31.07.2017]
- EEP (2017): Der Energieeffizienz-Index der deutschen Industrie, online unter <http://www.eep.uni-stuttgart.de/eei/index.html> [letzter Zugriff: 27.09.2017]

## 10. Literaturverzeichnis

EEV (2016): Verordnung zur Durchführung des Erneuerbare-Energien-Gesetzes und des Windenergie-auf-See-Gesetzes (Erneuerbare-Energien-Verordnung – EEV), online unter [https://www.gesetze-im-internet.de/ausglmechv\\_2015/BJNR014610015.html](https://www.gesetze-im-internet.de/ausglmechv_2015/BJNR014610015.html) [letzter Zugriff: 31.07.2017]

EEWärmeG (2015): Gesetz zur Förderung Erneuerbarer Energien im Wärmebereich (Erneuerbare-Energien-Wärmegesetz – EEWärmeG), online unter [http://www.gesetze-im-internet.de/bundesrecht/eew\\_rmeg/gesamt.pdf](http://www.gesetze-im-internet.de/bundesrecht/eew_rmeg/gesamt.pdf) [letzter Zugriff: 31.07.2017]

EmoG (2015): Gesetz zur Bevorrechtigung der Verwendung elektrisch betriebener Fahrzeuge (Elektromobilitätsgesetz – EmoG), online unter <http://www.gesetze-im-internet.de/bundesrecht/emog/gesamt.pdf> [letzter Zugriff: 31.07.2017]

EnEG (2013): Gesetz zur Einsparung von Energie in Gebäuden (Energieeinsparungsgesetz – EnEG), online unter <http://www.gesetze-im-internet.de/bundesrecht/eneg/gesamt.pdf> [letzter Zugriff: 31.07.2017]

EnergieAgentur.NRW (2016): Energieeffizienz in Rechenzentren, online unter [http://www.energieagentur.nrw/energieeffizienz/energieeffizienz-nach-branchen/energieeffizienz\\_in\\_rechenzentren](http://www.energieagentur.nrw/energieeffizienz/energieeffizienz-nach-branchen/energieeffizienz_in_rechenzentren) [letzter Zugriff: 21.09.2017]

Energieeffizienz im Betrieb (2017): Heimlicher Kostenfresser: Druckluft, online unter <http://www.energieeffizienz-im-betrieb.net/energiesparen-unternehmen/druckluft-kosten-senken.html> [letzter Zugriff: 20.09.2017]

EnergieStG (2017): Energiesteuergesetz (EnergieStG), online unter <http://www.gesetze-im-internet.de/bundesrecht/energie-stg/gesamt.pdf> [letzter Zugriff: 31.07.2017]

EnEV (2015): Verordnung über energiesparenden Wärmeschutz und energiesparende Anlagentechnik bei Gebäuden (Energieeinsparverordnung – EnEV), online unter [http://www.gesetze-im-internet.de/bundesrecht/enev\\_2007/gesamt.pdf](http://www.gesetze-im-internet.de/bundesrecht/enev_2007/gesamt.pdf) [letzter Zugriff: 31.07.2017]

EnVK (2015): Gesetz zur Kennzeichnung von energieverbrauchsrelevanten Produkten, Kraftfahrzeugen und Reifen mit Angaben über den Verbrauch an Energie und an anderen wichtigen Ressourcen (Energieverbrauchskennzeichnungsgesetz – EnVK), online unter [http://www.gesetze-im-internet.de/bundesrecht/envkg\\_2012/gesamt.pdf](http://www.gesetze-im-internet.de/bundesrecht/envkg_2012/gesamt.pdf) [letzter Zugriff: 31.07.2017]

EnVKV (2016): Verordnung zur Kennzeichnung von energieverbrauchsrelevanten Produkten mit Angaben über den Verbrauch an Energie und an anderen wichtigen Ressourcen (Energieverbrauchskennzeichnungsverordnung – EnVKV), online unter <http://www.gesetze-im-internet.de/bundesrecht/envkv/gesamt.pdf> [letzter Zugriff: 31.07.2017]

Ertl, R., Günthner, W., Fischer, G., Hahn-Woernle, P. (2012): Energieeffiziente Intralogistik auf Geräteebene – Beispiel Regalbediengerät, S.65-72 in Schenk, M. et al. (Hrsg.) (2012): 17. Magdeburger Logistiktage – Sichere und nachhaltige Logistik, online unter <https://www.iff.fraunhofer.de/content/dam/iff/de/dokumente/publikationen/iff-wissenschaftstage-2012-logistik-tagungsband-fraunhofer-iff.pdf> [letzter Zugriff: 21.09.2017]

EU (2006): Richtlinie 2006/32/EG des Europäischen Parlamentes und des Rates vom 5. April 2006 über Endenergieeffizienz und Energiedienstleistungen und zur Aufhebung der Richtlinie 93/76/EWG des Rates, online unter <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:32006L0032&rid=2> [letzter Zugriff: 31.07.2017]

EU (2009): Richtlinie 2009/28/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 23. April 2009 zur Förderung der Nutzung von Energie aus erneuerbaren Quellen und zur Änderung und anschließenden Aufhebung der Richtlinien 2001/77/EG und 2003/30/EG, online unter: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2009:140:0016:0062:de:PDF> [letzter Zugriff: 31.07.2017]

EU (2009a): Richtlinie 2009/125/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 21. Oktober 2009 zur Schaffung eines Rahmens für die Festlegung von Anforderungen an die umweltgerechte Gestaltung energieverbrauchsrelevanter Produkte (Neufassung), online unter: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2009:285:0010:0035:de:PDF> [letzter Zugriff: 31.07.2017]

EU (2010): Richtlinie 2010/31/EU des Europäischen Parlaments und des Rates vom 19. Mai 2010 über die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden (Neufassung), online unter:

EU (2012): Richtlinie 2012/27/EU des Europäischen Parlaments und des Rates vom 25. Oktober 2012 zur Energieeffizienz, zur Änderung der Richtlinien 2009/125/EG und 2010/30/EU und zur Aufhebung der Richtlinien 2004/8/EG und 2006/32/EG, online unter <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2012:315:0001:0056:DE:PDF> [letzter Zugriff: 31.07.2017]

EU (2014): Richtlinie 2014/94/EU des Europäischen Parlaments und des Rates vom 22. Oktober 2014 über den Aufbau der Infrastruktur für alternative Kraftstoffe, online unter <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:32014L0094&qid=1460996941049&from=DE> [letzter Zugriff: 31.07.2017]

Europäische Kommission (2011): Energieeffizienzplan 2011, online unter <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2011:0109:FIN:DE:PDF> [letzter Zugriff: 31.07.2017]

Europäische Kommission (2011a): Fahrplan zu einem einheitlichen europäischen Verkehrsraum – Hin zu einem wettbewerbsorientierten und ressourcenschonenden Verkehrssystem, Weißbuch zum Verkehr 2011, Brüssel 2011.

Europäische Kommission (2016): Mitteilung der Kommission an das Europäische Parlament, den Rat, den Wirtschafts- und Sozialausschuss, den Ausschuss der Regionen und die Europäische Investitionsbank: Saubere Energie für alle Europäer, online unter [http://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:fa6ea15b-b7b0-11e6-9e3c-01aa75ed71a1.0003.02/DOC\\_1&format=PDF](http://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:fa6ea15b-b7b0-11e6-9e3c-01aa75ed71a1.0003.02/DOC_1&format=PDF) [letzter Zugriff: 01.08.2017]

Europäische Kommission (2017): Klima- und Energiepaket 2020, online unter [https://ec.europa.eu/clima/policies/strategies/2020\\_de](https://ec.europa.eu/clima/policies/strategies/2020_de) [letzter Zugriff: 01.08.2017]

Europäische Kommission (2017a): Klima- und Energiepaket 2030, online unter [https://ec.europa.eu/clima/policies/strategies/2030\\_de](https://ec.europa.eu/clima/policies/strategies/2030_de) [letzter Zugriff: 01.08.2017]

Europäische Kommission (2017b): CO<sub>2</sub>-arme Wirtschaft bis 2050, online unter [https://ec.europa.eu/clima/policies/strategies/2050\\_de](https://ec.europa.eu/clima/policies/strategies/2050_de) [letzter Zugriff: 01.08.2017]

EVPG (2015): Gesetz über die umweltgerechte Gestaltung energieverbrauchsrelevanter Produkte (Energieverbrauchsrelevante-Produkte-Gesetz – EVPG), online unter <http://www.gesetze-im-internet.de/bundesrecht/ebpg/gesamt.pdf> [letzter Zugriff: 31.07.2017]

EVPGV (2017): Verordnung zur Durchführung des Gesetzes über die umweltgerechte Gestaltung energieverbrauchsrelevanter Produkte (EVPG-Verordnung – EVPGV), online unter <http://www.gesetze-im-internet.de/bundesrecht/evpgv/gesamt.pdf> [letzter Zugriff: 31.07.2017]

FML (o.J.): Transportmittel, Lehrstuhl für Fördertechnik, Materialfluss, Logistik, online unter [http://www.fml.mw.tum.de/fml/index.php?Set\\_ID=945&letter=T&title=Transportmittel](http://www.fml.mw.tum.de/fml/index.php?Set_ID=945&letter=T&title=Transportmittel) [letzter Zugriff: 07.09.2017]

Forderer, W. (2017): Innenstadt-Logistik in der Landeshauptstadt Stuttgart, Referat Strategische Planung und Nachhaltige Mobilität.

Friedrich, A. (2013): Hybrides Vorgehensmodell der innerbetrieblichen Fördersystemwahl, Universität Leipzig, Books on Demand.

gabelstaplerkaufen.de (o.J.): Gabelstapler Kaufberatung, online unter <http://gabelstaplerkaufen.de/> [letzter Zugriff: 11.09.2017]

Günthner, W., Freis, J. (2015): Energieeffiziente und CO<sub>2</sub>-neutrale Logistikanlagen und –gebäude, Umsetzungsstand und Handlungsbedarf, Lehrstuhl für Fördertechnik Materialfluss Logistik, Technische Universität München, München.

## 10. Literaturverzeichnis

Günthner, W., Micheli, R. (2015): Leitfaden für den Einsatz von wasserstoffbetriebenen Flurförderzeugen, Am Beispiel H2IntraDrive, Lehrstuhl für Fördertechnik Materialfluss Logistik, Technische Universität München, München.

Günthner, W., Micheli, R. (2015a): H2IntraDrive – Einsatz einer wasserstoffbetriebenen Flurförderzeugflotte unter Produktionsbedingungen, online unter: [http://www.fml.mw.tum.de/fml/images/Publikationen/Forschungsbericht\\_H2IntraDrive\\_03BS112B.pdf](http://www.fml.mw.tum.de/fml/images/Publikationen/Forschungsbericht_H2IntraDrive_03BS112B.pdf) [letzter Zugriff: 11.09.2017]

Hacker, F., Waldenfels, R., Mottschall, M. (2015): Wirtschaftlichkeit von Elektromobilität in gewerblichen Anwendungen – Betrachtung von Gesamtnutzungskosten, ökonomischen Potenzialen und möglicher CO<sub>2</sub>-Minderung, Öko-Institut e.V., Berlin, online unter <https://www.oeko.de/fileadmin/oekodoc/Gesamtbericht-Wirtschaftlichkeit-von-Elektromobilitaet.pdf> [letzter Zugriff: 01.09.2017]

Hamburg (2013): Neue Stellplatzregelung: Senat beschließt weitere Erleichterungen für den Wohnungsbau, online unter <http://www.hamburg.de/pressearchiv-fhh/4128858/2013-10-29-bsu-wohnungsbau/> [letzter Zugriff: 21.09.2017]

Hamburg Startup Monitor (2017): Startup-Profil: CiDO, online unter <https://monitor.hamburg-startups.net/cido> [letzter Zugriff: 25.08.2017]

IAO (2014): Elektrischer Schwerlastverkehr im urbanen Raum – Potenzialanalyse am Fallbeispiel des Wirtschaftsraums Mannheim, Stuttgart, online unter <http://www.muse.iao.fraunhofer.de/content/dam/iao/muse/de/documents/Verbundprojekte/ElektrischerProzent20SchwerlastverkehrProzent20Abschlussbericht.pdf> [letzter Zugriff: 31.08.2017]

IAO (2016): Urbaner Logistischer Wirtschaftsverkehr, Projektabschlussbericht, Stuttgart.

IAO (2017): LogSPACE – Stuttgarter Pilotprojekt zu alternativen Zustellkonzepten, Stuttgart 2017.

IHK Darmstadt (2017): Energieaudit ist Pflicht – Was sind die nächsten Schritte aus Sicht der Unternehmen?, online unter [https://www.darmstadt.ihk.de/produktmarken/Beraten-und-informieren/Umwelt\\_Energie/Energie/Energieaudit-Energie/2539090#titleInText1](https://www.darmstadt.ihk.de/produktmarken/Beraten-und-informieren/Umwelt_Energie/Energie/Energieaudit-Energie/2539090#titleInText1) [letzter Zugriff: 21.08.2017]

IHK Region Stuttgart (2011): Grüne Logistik – Ein Gewinn für Verlagerer und Logistikdienstleister, online unter [https://www.stuttgart.ihk24.de/blob/sihk24/Branchen/Verkehrswirtschaft/downloads/672308/64e8f1bf75f5636dc7c4fd1bfc05a4b5/Grundlagenteil\\_der\\_IHK\\_Studie\\_Gruene\\_Logistik-data.pdf](https://www.stuttgart.ihk24.de/blob/sihk24/Branchen/Verkehrswirtschaft/downloads/672308/64e8f1bf75f5636dc7c4fd1bfc05a4b5/Grundlagenteil_der_IHK_Studie_Gruene_Logistik-data.pdf) [letzter Zugriff: 30.08.2017]

IHK Region Stuttgart (2012): Innenstadtlogistik mit Zukunft – Maßnahmen für einen funktionierenden Wirtschaftsverkehr in der Stadt Stuttgart, online unter [https://www.stuttgart.ihk24.de/blob/sihk24/presse/Publikationen/Branchen/669346/3faea0610f6fb56755585a8b935f8f52/Innerstaedischer\\_Wirtschaftsverkehr\\_INTERNET-data.pdf](https://www.stuttgart.ihk24.de/blob/sihk24/presse/Publikationen/Branchen/669346/3faea0610f6fb56755585a8b935f8f52/Innerstaedischer_Wirtschaftsverkehr_INTERNET-data.pdf) [letzter Zugriff: 21.08.2017]

Irrek, W., Thomas, S., Böhrer, S., Spitzner, M. (2008): Definition Energieeffizienz, Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie GmbH, online unter [https://wupperinst.org/uploads/tx\\_wupperinst/energieeffizienz\\_definition.pdf](https://wupperinst.org/uploads/tx_wupperinst/energieeffizienz_definition.pdf) [letzter Zugriff: 28.07.2017]

Jochum, P., Pehnt, M. (2010): Energieeffizienz in Gebäuden, S. 197-226, in Pehnt, M. (Hrsg.) (2010): Energieeffizienz – Ein Lehr- und Handbuch, Springer, Heidelberg.

KBA (2014): Verkehr deutscher Lastkraftfahrzeuge (VD) Inlandsverkehr Jahr 2014, online unter [https://www.kba.de/Shared-Docs/Publikationen/DE/Statistik/Kraftverkehr/VD/2014/vd3\\_2014\\_.pdf.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&tv=2](https://www.kba.de/Shared-Docs/Publikationen/DE/Statistik/Kraftverkehr/VD/2014/vd3_2014_.pdf.pdf?__blob=publicationFile&tv=2) [letzter Zugriff: 30.08.2017]

KBA (2017): Fahrzeugzulassungen (FZ), Bestand an Kraftfahrzeugen nach Umweltmerkmalen, Flensburg 2018.

KBA (2018): Fahrzeugzulassungen (FZ), Bestand an Kraftfahrzeugen nach Umweltmerkmalen, Flensburg 2018.

- Keeney, T. (2015): How Can Amazon Charge \$1 for Drone Delivery?, online unter <https://ark-invest.com/research/drone-delivery-amazon> [letzter Zugriff: 24.08.2017]
- KEFF (2017): Über die regionalen Kompetenzstellen des Netzwerks Energieeffizienz (KEFF), online unter <http://keff-bw.de/de/ueber-die-regionalen-kompetenzstellen-des-netzwerks-energieeffizienz-keff> [letzter Zugriff: 03.07.2017].
- Knayer, T., Koci, S. (2017): Protokoll-Vorlage KEFF-Check, Stuttgart.
- Kuder, R., Blesel, M., Fahl, U., Voß, A. (2013): Energieeffizienz – Diskussion der aktuellen Begriffsverwendung und Herleitung eines erweiterten Verständnisses, Arbeitsbericht Nr. 12, Universität Stuttgart, Institut für Energiewirtschaft und Rationelle Energieanwendung, online unter [http://www.ier.uni-stuttgart.de/publikationen/arbeitsberichte/downloads/Arbeitsbericht\\_12.pdf](http://www.ier.uni-stuttgart.de/publikationen/arbeitsberichte/downloads/Arbeitsbericht_12.pdf) [letzter Zugriff: 28.07.2017]
- KWKG (2016): Gesetz für die Erhaltung, die Modernisierung und den Ausbau der Kraft-Wärme-Kopplung (Kraft-Wärme-Kopplungsgesetz – KWKG), online unter [http://www.gesetze-im-internet.de/bundesrecht/kwkg\\_2016/gesamt.pdf](http://www.gesetze-im-internet.de/bundesrecht/kwkg_2016/gesamt.pdf) [letzter Zugriff: 31.07.2017]
- Landesstiftung BW (2017): Mobiles Baden-Württemberg – Wege der Transformation zu einer nachhaltigen Mobilität, Stuttgart.
- Lieb, C., Klenk, E., Galka, S., Keuntje, C. (2017): Einsatz von Routenzugsystemen zur Produktionsversorgung, Studie zu Planung, Steuerung und Betrieb, fml – Lehrstuhl für Fördererzeugung Materialfluss Logistik, Technische Universität München, München.
- LIHH (2017): SMILE – Smart Last Mile Logistics, online unter <http://www.hamburg-logistik.net/veranstaltungen-und-projekte/projekte/eigenprojekte/smile-smart-last-mile-logistics/> [letzter Zugriff: 24.08.2017]
- LOGISTIK HEUTE (2017): Urbane Logistik: UPS fährt bald mit Wasserstoff, online unter <http://www.logistik-heute.de/Logistik-News-Logistik-Nachrichten/Markt-News/16849/Logistikdienstleister-testet-Prototyp-eines-Brennstoffzellenfahrzeugs-Urbane> [letzter Zugriff: 01.09.2017]
- LOGISTRA (2016): Per Lastenrad in die City: Wir sind Logistiker!, online unter <http://www.logistra.de/fachmagazin/nfz-fuhrpark-lagerlogistik-intralogistik/fachartikel-city-check/8867/lastenrad-die-city-wir-sind-logistiker> [letzter Zugriff: 24.08.2017]
- Löffler, T. (2011): Energiekennzahlen für Betriebsvergleiche, online unter [http://www.saena.de/download/Unternehmen/11\\_01\\_31\\_Endbericht.pdf](http://www.saena.de/download/Unternehmen/11_01_31_Endbericht.pdf) [letzter Zugriff: 29.09.2017]
- LUBW (2017): Luftschadstoff-Emissionskataster Baden-Württemberg 2014, online unter [http://www4.lubw.baden-wuerttemberg.de/servlet/is/267731/luftschadstoff\\_emissionskataster\\_2014.pdf?command=downloadContent&filename=luftschadstoff\\_emissionskataster\\_2014.pdf](http://www4.lubw.baden-wuerttemberg.de/servlet/is/267731/luftschadstoff_emissionskataster_2014.pdf?command=downloadContent&filename=luftschadstoff_emissionskataster_2014.pdf) [letzter Zugriff: 19.09.2017]
- Ludwig Meyer Logistik (2017): 20 IVECO LNG in Betrieb genommen, online unter <http://www.meyer-logistik.com/nachhaltigkeit/verantwortung/#p106> [letzter Zugriff: 01.09.2017]
- McKinnon, A. (2012): Mapping a Decarbonization Path for Logistics, S. 144–149, in Deutsche Post (Hrsg.) (2012): Delivering Tomorrow: Logistics 2050 A Scenario Study, Bonn.
- Miller, M. (2015): Potenziale und Maßnahmen von Green-IT in Rechenzentren, online unter [http://www.ier.uni-stuttgart.de/publikationen/vortraege/downloads/2\\_Michael\\_Miller.pdf](http://www.ier.uni-stuttgart.de/publikationen/vortraege/downloads/2_Michael_Miller.pdf) [letzter Zugriff: 18.09.2017]
- Miller, M., Bubeck, S., Hufendiek, K. (2016): Zur Methodik von Effizienzbewertungen im energiewirtschaftlichen Kontext, in Zeitschrift Energiewirtschaft, September 2016, Volume 40, Issue 3, S. 105–125, DOI <https://doi.org/10.1007/s12398-016-0180-9>

- Mitte Altona (2017): Mobilität, online unter <http://quartier-mittealtona.de/mobilitaet/> [letzter Zugriff: 25.08.2017]
- MVI BW (2016): Radstrategie Baden-Württemberg – Wege zu einer neuen Radkultur für Baden-Württemberg, online unter [https://www.fahrradland-bw.de/fileadmin/user\\_upload\\_fahrradlandbw/Downloads/RadSTRATEGIE\\_Baden-Wuerttemberg\\_web.pdf](https://www.fahrradland-bw.de/fileadmin/user_upload_fahrradlandbw/Downloads/RadSTRATEGIE_Baden-Wuerttemberg_web.pdf) [letzter Zugriff: 23.08.2017]
- Nicolai, B. (2017): Hermes kündigt Roboterzustellung in der Stadt an, online unter <https://www.welt.de/wirtschaft/article162433959/Hermes-kuendigt-Roboterzustellung-in-der-Stadt-an.html> [letzter Zugriff: 25.08.2017]
- NPE (2017): Erfahren Sie mehr über Motivation und Ziele – Der Ansatz, online unter <http://nationale-plattform-elektromobilitaet.de/hintergrund/der-ansatz/#tabs> [letzter Zugriff: 01.09.2017]
- Oschatz, B., Rosenkranz, J., Weber, K. (2015): Leitfaden zur Planung neuer Hallengebäude nach Energieeinsparverordnung EnEV 2014 und Erneuerbare-Energien-Wärmegesetz 2011, online unter <http://www.mark.de/wp-content/uploads/2015/11/eeeh-leitfaden1.pdf> [letzter Zugriff: 27.09.2017]
- ÖKOTEC, Modell Hohenlohe (o.J.): EnergieEffizienz-Tische – Vorgehen und Erfolge, Energieeffizienz steigern, Energiekosten senken, Klimaschutz verbessern, online unter [https://www.leipzig.ihk.de/fileadmin/user\\_upload/Dokumente/luU/Energie/Energieeffizienz/Veranstaltungen/EnergieEffizienz-Tisch\\_Leipzig.pdf](https://www.leipzig.ihk.de/fileadmin/user_upload/Dokumente/luU/Energie/Energieeffizienz/Veranstaltungen/EnergieEffizienz-Tisch_Leipzig.pdf) [letzter Zugriff: 20.09.2017]
- Pakadoo (2016): Benefit für Mitarbeiter und Umwelt: Mit pakadoo Pakete direkt ins Büro liefern lassen, online unter [https://www.pakadoo.de/fileadmin/user\\_upload/20161123\\_Unternehmensportraet\\_pakadoo.pdf](https://www.pakadoo.de/fileadmin/user_upload/20161123_Unternehmensportraet_pakadoo.pdf) [letzter Zugriff: 25.08.2017]
- PaketButler (2017): Funktionsweise – Der PaketButler: bequem und einfach, online unter <https://www.paketbutler.com/funktionsweise> [letzter Zugriff: 25.08.2017]
- Pape, U. (2015): Investitionsrechnung, online unter <http://wirtschaftslexikon.gabler.de/Archiv/54836/investitionsrechnung-v12.html> [letzter Zugriff: 31.07.2017]
- Paschotta, R. (2017): Last, online unter <https://www.energie-lexikon.info/last.html> [letzter Zugriff: 20.09.2017]
- Pehnt, M. (2010): Energieeffizienz – Definitionen, Indikatoren, Wirkungen, S. 1-34, in Pehnt, M. (Hrsg.) (2010): Energieeffizienz – Ein Lehr- und Handbuch, Springer, Heidelberg.
- Pkw-EnVKV (2015): Verordnung über Verbraucherinformationen zu Kraftstoffverbrauch, CO<sub>2</sub>-Emissionen und Stromverbrauch neuer Personenkraftwagen (Pkw-Energieverbrauchskennzeichnungsverordnung – Pkw-EnVKV), online unter <http://www.gesetze-im-internet.de/bundesrecht/pkw-envkv/gesamt.pdf> [letzter Zugriff: 31.07.2017]
- Reichel, J. (2017): City-Logistik: Hermes testet Elektro-Trike Tripl in Göttingen, online unter <http://www.logistra.de/news-nachrichten/nfz-fuhrpark-lagerlogistik-intralogistik/8992/maerkte-amp-trends/city-logistik-hermes-testet-elektro-trike-trip> [letzter Zugriff: 23.08.2017]
- Schnurr, J., Bohne, D. (2008): Leitfaden Nachhaltige Gebäudesysteme, online unter [https://www.uni-hannover.de/fileadmin/luh/content/webredaktion/universitaet/publikationen/gebaeudesysteme/leitfaden\\_gebaeudesysteme.pdf](https://www.uni-hannover.de/fileadmin/luh/content/webredaktion/universitaet/publikationen/gebaeudesysteme/leitfaden_gebaeudesysteme.pdf) [letzter Zugriff: 20.09.2017]
- Schwemmer, M. (2016): Die TOP 100 der Logistik, DVV Media Group, Hamburg.
- Seifried, D., Seifried, F. (2017): Marktentwicklung von LED-Lampen, online unter [http://www.oe2.de/fileadmin/user\\_upload/LED\\_Marktentwicklung\\_final\\_mit\\_Referenzen.pdf](http://www.oe2.de/fileadmin/user_upload/LED_Marktentwicklung_final_mit_Referenzen.pdf) [letzter Zugriff: 20.09.2017]
- SHELL (2016): Shell Nutzfahrzeug-Studie: Diesel oder alternative Antriebe – womit fahren LKW und Bus morgen? Fakten, Trends und Perspektiven bis 2040, Hamburg, online unter [http://www.dlr.de/dlr/Portaldata/1/Resources/documents/2016/PDF\\_Shell\\_Nutzfahrzeugstudie\\_2016.pdf](http://www.dlr.de/dlr/Portaldata/1/Resources/documents/2016/PDF_Shell_Nutzfahrzeugstudie_2016.pdf) [letzter Zugriff: 31.08.2017]

- SpaEfV (2014): Verordnung über Systeme zur Verbesserung der Energieeffizienz im Zusammenhang mit der Entlastung von der Energie- und der Stromsteuer in Sonderfällen (Spitzenausgleich-Effizienzsystemverordnung – SpaEfV), online unter <https://www.gesetze-im-internet.de/spaefv/SpaEfV.pdf> [letzter Zugriff: 21.08.2017]
- StaLa (2017): Umwelt- und Verkehrsdaten und Regionaldaten des Statistischen Landesamts Baden-Württemberg, online unter <https://www.statistik-bw.de> [letzter Zugriff: 23.08.2017]
- Stockmann, M. (2016): GeNaLog – Geräuscharme Nachtlogistik, online unter [https://fiap-ev.org/wp-content/uploads/2016/11/7\\_GerProzentC3ProzentA4uscharme-Nachtlogistik-GeNaLog-Martin-Stockmann-ProzentE2Prozent80Prozent93-Fraunhofer-IML.pdf](https://fiap-ev.org/wp-content/uploads/2016/11/7_GerProzentC3ProzentA4uscharme-Nachtlogistik-GeNaLog-Martin-Stockmann-ProzentE2Prozent80Prozent93-Fraunhofer-IML.pdf) [letzter Zugriff: 25.08.2017]
- StreetScooter (2017): Work – Echte Power rein elektrisch, online unter <https://www.streetscooter.eu/produkte/work> [letzter Zugriff: 21.09.2017]
- StromStG (2016): Stromsteuergesetz (StromStG), online unter [http://www.gesetze-im-internet.de/bundesrecht/kwkg\\_2016/gesamt.pdf](http://www.gesetze-im-internet.de/bundesrecht/kwkg_2016/gesamt.pdf) [letzter Zugriff: 31.07.2017]
- Stuttgart (2014): VEK 2030 – Das Verkehrsentwicklungskonzept der Landeshauptstadt Stuttgart, online unter <http://www.stuttgart.de/img/mdb/item/521819/110256.pdf> [letzter Zugriff: 23.08.2017]
- Stuttgart (2015): Stuttgarter Verkehrsdaten 2015, Stuttgart 2015.
- Stuttgart (2017): Umschlagzahlen im Hafen Stuttgart, Stuttgart 2017.
- Stuttgart (2017a): Lkw-Empfehlungsnetz, online unter <http://www.stuttgart.de/lkw-empfehlungsnetz> [letzter Zugriff: 23.08.2017]
- TCI (2014): Konzeption zur Stärkung des Kombinierten Verkehrs in Baden-Württemberg, Waldkirch 2014.
- Tilke, C. (2012): Methodische Entwicklung von Stetigförderern am Beispiel eines neuen Fördergeräts für Agrarrohstoffe, online unter <http://www.fml.mw.tum.de/fml/images/Publikationen/Tilke.pdf> [letzter Zugriff: 07.09.2017]
- UBA (2010): CO<sub>2</sub>-Emissionsminderung im Verkehr in Deutschland, Mögliche Maßnahmen und ihre Minderungspotenziale, Ein Sachstandsbericht des Umweltbundesamtes, online unter <https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/461/publikationen/3773.pdf> [letzter Zugriff: 28.08.2017]
- UBA (2013): Schätzung der Umweltkosten in den Bereichen Energie und Verkehr, Empfehlungen des Umweltbundesamtes, August 2013, online unter [https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/378/publikationen/hgp\\_umweltkosten\\_0.pdf](https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/378/publikationen/hgp_umweltkosten_0.pdf) [letzter Zugriff: 15.09.2017]
- UBA (2014): Energieverbrauch von Rechenzentren – keine Peanuts, online unter <https://www.umweltbundesamt.de/themen/energieverbrauch-von-rechenzentren-keine-peanuts> [letzter Zugriff: 21.09.2017]
- UBA (2014a): Nachhaltige Kälteversorgung in Deutschland an den Beispielen Gebäudeklimatisierung und Industrie, online unter [https://www.researchgate.net/profile/Andreas\\_Hantsch/publication/264244157\\_Nachhaltige\\_Kalteversorgung\\_in\\_Deutschland\\_an\\_den\\_Beispielen\\_Gebäudeklimatisierung\\_und\\_Industrie/links/53d62fb20cf228d363ea40cb/Nachhaltige-Kaelteversorgung-in-Deutschland-an-den-Beispielen-Gebäudeklimatisierung-und-Industrie.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Andreas_Hantsch/publication/264244157_Nachhaltige_Kalteversorgung_in_Deutschland_an_den_Beispielen_Gebäudeklimatisierung_und_Industrie/links/53d62fb20cf228d363ea40cb/Nachhaltige-Kaelteversorgung-in-Deutschland-an-den-Beispielen-Gebäudeklimatisierung-und-Industrie.pdf) [letzter Zugriff: 20.09.2017]
- UBA (2016): Klimaschutzbeitrag des Verkehrs bis 2050, online unter [https://www.ifeu.de/verkehrundumwelt/pdf/texte\\_56\\_2016\\_klimaschutzbeitrag\\_des\\_verkehrs\\_2050.pdf](https://www.ifeu.de/verkehrundumwelt/pdf/texte_56_2016_klimaschutzbeitrag_des_verkehrs_2050.pdf) [letzter Zugriff: 21.08.2017]
- UGA (2015): In 10 Schritten zu EMAS – Ein Leitfaden für Umweltmanagementbeauftragte, online unter [http://www.emas.de/fileadmin/user\\_upload/06\\_service/PDF-Dateien/EMAS-Leitfaden-Umweltmanagementbeauftragte.pdf](http://www.emas.de/fileadmin/user_upload/06_service/PDF-Dateien/EMAS-Leitfaden-Umweltmanagementbeauftragte.pdf) [letzter Zugriff: 21.08.2017]

## 10. Literaturverzeichnis

VDI (2014): VDI-Richtlinie 4661 – Energiekenngrößen Grundlagen-Methodik, Beuth-Verlag, Berlin.

VDI (2015): VDI-Richtlinie 2078 – Berechnung der thermischen Lasten und Raumtemperaturen (Auslegung Kühllast und Jahressimulation), Beuth-Verlag, Berlin.

VDI (2016): VDI-Richtlinie 5586 – Routenzugsysteme, Planung und Dimensionierung, Beuth-Verlag, Berlin.

veloCARRIER (2017): Über uns, online unter <https://www.velocarrier.de/#ueber-uns> [letzter Zugriff: 24.08.2017]

Verwaltungsgericht Stuttgart (2017): Klage der Deutschen Umwelthilfe e.V. gegen das Land Baden-Württemberg wegen Fortschreibung des Luftreinhalteplanes/Teilplan Landeshauptstadt Stuttgart erfolgreich, online unter [http://www.vgstuttgart.de/pb/Lde/Klage+der+Deutschen+Umwelthilfe+e\\_V\\_+gegen+das+Land+Baden+Wuerttemberg+wegen+Fortschreibung+des+Luftreinhalteplanes\\_Teilplan+Landeshauptstadt+Stuttgart+erfolgreich/?LISTPAGE=1217876](http://www.vgstuttgart.de/pb/Lde/Klage+der+Deutschen+Umwelthilfe+e_V_+gegen+das+Land+Baden+Wuerttemberg+wegen+Fortschreibung+des+Luftreinhalteplanes_Teilplan+Landeshauptstadt+Stuttgart+erfolgreich/?LISTPAGE=1217876) [letzter Zugriff: 23.08.2017]

Vohlidka, P., Freis, J. (2014): Das CO<sub>2</sub>-neutrale Logistikzentrum, S. 22-25, in xia intelligente architektur, Zeitschrift für Architektur und Technik, Ausgabe 07-09/14, online unter [https://www.klima.ar.tum.de/fileadmin/w00bky/www/Publikationen/07-09\\_14.pdf](https://www.klima.ar.tum.de/fileadmin/w00bky/www/Publikationen/07-09_14.pdf) [letzter Zugriff: 27.09.2017]

Voortmann (2018): Drucklufttechnik, online unter <https://www.voortmann.de/drucklufttechnik/druckluft-service/> [letzter Zugriff: 22.07.2018]

WEKA (2017): Lastmanagement, online unter <http://www.energiemanagement-und-energieeffizienz.de/energie-lexikon/lastmanagement/> [letzter Zugriff: 20.09.2017]

Wittenbrink, P. (2013): Flottenpotenzialanalyse: kleine Kosten – große Wirkung, S. 16-19, in Logistikcluster Region Basel (2013): Einstieg in die grüne Logistik, online unter [http://www.hwh-transport.eu/fileadmin/hwh/content/downloads/studien/2013\\_HKBB\\_Flottenpotenzialanalyse.pdf](http://www.hwh-transport.eu/fileadmin/hwh/content/downloads/studien/2013_HKBB_Flottenpotenzialanalyse.pdf) [letzter Zugriff: 28.08.2017]

ZF, IML (2016): ZF-Zukunftsstudie 2016 – Die letzte Meile, online unter [https://www.zf-zukunftsstudie.de/wp-content/uploads/2016/11/ZF-Studie\\_IML\\_24\\_11\\_16\\_E-Book\\_gesamt.pdf](https://www.zf-zukunftsstudie.de/wp-content/uploads/2016/11/ZF-Studie_IML_24_11_16_E-Book_gesamt.pdf) [letzter Zugriff: 23.08.2017]

Ziegahn, K. et al. (2016): Die Weiterentwicklung der Energiewirtschaft in Baden-Württemberg bis 2025 unter Berücksichtigung der Liefer- und Preissicherheit im Auftrag des Baden-Württembergischen Industrie- und Handelskammertages, Karlsruher Institut für Technologie.



#### **Industrie- und Handelskammer Region Stuttgart**

Jägerstraße 30, 70174 Stuttgart  
Postfach 10 24 44, 70020 Stuttgart  
Telefon 0711 2005-0, Telefax -1354  
www.stuttgart.ihk.de  
info@stuttgart.ihk.de

#### **Bezirkskammer Böblingen**

Steinbeisstraße 11, 71034 Böblingen  
Telefon 07031 6201-0, Telefax -8260  
info.bb@stuttgart.ihk.de

#### **Bezirkskammer Esslingen-Nürtingen**

Fabrikstraße 1, 73728 Esslingen  
Postfach 10 03 47, 73703 Esslingen  
Telefon 0711 39007-0, Telefax -8330  
info.esnt@stuttgart.ihk.de

#### **Geschäftsstelle Nürtingen**

Mühlstraße 4, 72622 Nürtingen  
Postfach 14 20, 72604 Nürtingen  
Telefon 07022 3008-0, Telefax -8630

#### **Bezirkskammer Göppingen**

Jahnstraße 36, 73037 Göppingen  
Postfach 6 23, 73006 Göppingen  
Telefon 07161 6715-0, Telefax -8484  
info.gp@stuttgart.ihk.de

#### **Bezirkskammer Ludwigsburg**

Kurfürstenstraße 4, 71636 Ludwigsburg  
Postfach 6 09, 71606 Ludwigsburg  
Telefon 07141 122-0, Telefax -1035  
info.lb@stuttgart.ihk.de

#### **Bezirkskammer Rems-Murr**

Kappelbergstraße 1, 71332 Waiblingen  
Telefon 07151 95969-0, Telefax -8726  
info.wn@stuttgart.ihk.de







