Ganzheitliche Ansätze und Methoden zur nachhaltigen Neuplanung einer energieeffizienten Fabrik mit besonderem Schwerpunkt auf die Automobilmontage

Dissertation

zur Erlangung des akademischen Grades

Doktoringenieur

(Dr.-Ing.)

vorgelegt

der Fakultät für Maschinenbau der

Technischen Universität Chemnitz

von	Dipl.-Ing. (MBA) Christian Imgrund
geboren am	12. Oktober 1974 in Aschaffenburg
eingereicht am	02.05.2014

Gutachter:	Prof. Dr.-Ing. habil. Bernd Platzer
	Prof. Dr. Joachim Knappe

Greenville/USA, den 02.05.2014

Bibliographische Angaben und Referat

Imgrund, Christian

Thema

Ganzheitliche Ansätze und Methoden zur nachhaltigen Neuplanung einer energieeffizienten Fabrik mit besonderem Schwerpunkt auf die Fahrzeugmontage

Dissertation an der Fakultät für Maschinenbau der Technischen Universität Chemnitz, Institut für Mechanik und Thermodynamik, Greenville/USA, 02.05.2014

Seitenzahl:	174
Anzahl der Abbildungen:	67
Anzahl der Tabellen:	12
Anzahl der Literaturquellen:	106

Referat

Die bisherigen Untersuchungen zum Thema Nachhaltigkeit und Energieeffizienz konzentrierten sich nicht auf die speziellen Anforderungen einer Fahrzeugmontage. Bei der Neuplanung einer Fahrzeugmontage spielte bisher die Energieeffizienz eine untergeordnete Rolle. Mit der zunehmenden Bedeutung von Nachhaltigkeit und der Energieeffizienz in Politik und Öffentlichkeit wachsen auch diesbezüglich die Erwartungen an die Automobilindustrie. Aus diesem Grund wurden ganzheitliche Ansätze und Methoden entwickelt, um einen Neubau eines Fahrzeugwerkes, im Speziellen die Fahrzeugmontage, energieeffizient und nachhaltig zu gestalten. Die Nutzung von natürlichen Ressourcen stand hierbei im Vordergrund. Der Einsatz von fossilen Energien sollte hierbei weitestgehend vermieden werden. Beginnend mit der Standortauswahl über die Festlegung der Werksstruktur sowie der Fahrzeugmontage- und Logistikstruktur wurden hier die wichtigsten Bereiche der Fabrikplanung abgedeckt. Zusätzlich wurde noch die Gebäudekonstruktion unter den Prämissen der Energieeffizienz untersucht.

Schlagworte

Energieeffizienz, Fabrikplanung, Automobilindustrie, Fahrzeugmontage, Energiemanagement, Energiesparpotential, Methoden, Nachhaltigkeit, Greenfield

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis ..... **I**

Abbildungsverzeichnis ..... **III**

Tabellenverzeichnis ..... **VII**

Abkürzungsverzeichnis ..... **VIII**

Definitionen ..... **XI**

Vorwort ..... **XIII**

1 Einleitung **1**

1.1 Endliche Ressourcen und Energieeffizienz 4
1.2 Aufbau der Arbeit 7
1.3 Politischer und gesellschaftlicher Stellenwert der Energieeffizienz 10
1.4 Stand der Wissenschaft 15
1.5 Abgrenzung des Betrachtungsrahmens 18

2 Grundlagen **22**

2.1 9+1 Verschwendungsarten im industriellen Sektor 22
2.2 Energieverbrauchsstruktur der Fahrzeugmontage 26
2.3 Fabrikplanung 30
2.3.1 Aufgaben und Ziele der Fabrikplanung 31
2.3.2 Der Fabriklebenszyklus 32
2.3.3 Planungsphasen 34
2.4 Allgemeine Struktur eines Automobilwerkes 36
2.4.1 Technologie Presswerk 37
2.4.2 Technologie Karosseriebau 38
2.4.3 Technologie Lackiererei 39
2.4.4 Technologie Montage 40
2.4.5 Montage-Logistik 42
2.5 Gesetze und Normen 46
2.5.1 Das Energieeinsparungsgesetz (EnEG) 47
2.5.2 EU-Richtlinie und Energieeinsparverordnung (EnEV) 48
2.5.3 Erneuerbare Energien Gesetz (EEG) 50
2.5.4 Stromsteuergesetz (StromStG) 53
2.5.5 DIN ISO 50001 - Energiemanagementsysteme 55

2.6 EMAS – Eco-Management and Audit Scheme 57
2.7 Gebäudestandards zur Nachhaltigkeit 58

3 Planungsprämissen Werksneubau 62

3.1 Standortauswahl 62
3.1.1 Drei-Phasen-Auswahlprozess 63
3.1.2 Die Standortfaktoren 66
3.1.3 Die Trinkwasserverfügbarkeit 67
3.1.4 Die Umweltrahmenbedingungen 70
3.1.5 Der Klimaeinfluss 75
3.2 Werksstruktur / Gebäudestruktur 85
3.2.1 Werksstrukturlayout 85
3.2.2 Montagestrukturlayout 98
3.2.3 Logistikstrukturlayout (Montage) 108
3.3 Gebäudekonstruktion 115
3.3.1 Materialien 117
3.3.2 Dachformen und Belichtung 121

4 Energiemanagement und Verbrauchsmonitoring 130

4.1 Versorgungskonzepte 130
4.2 Energiebeschaffung und Preiszusammensetzung 131
4.3 Effiziente und nachhaltige Energienutzung 138

5 Wichtigste Ergebnisse und Empfehlungen 143

5.1 Die wichtigsten Ergebnisse 143
5.2 Empfehlungen 145

6 Quellenverzeichnis 148

6.1 Literaturverzeichnis 148
6.2 Verzeichnis der Internetquellen 151
6.3 Verzeichnis der Gesetze und Normen 156
6.4 Verzeichnis der Diplom- und Masterarbeiten 158
6.5 Gesprächsverzeichnis 159

Eidesstattliche Erklärung 174

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1-1: Entwicklung von Weltrohöl- und Einfuhrpreisen in Deutschland 1

Abbildung 1-2: Energieumwandlungsprozess [BMW interne Darstellung] 6

Abbildung 1-3: Strukturierung der Vorgehensweise 7

Abbildung 1-4: Übersicht der wichtigsten Meilensteine zum Klimaschutz 11

Abbildung 1-5: Beschlossene Reduktionsziele Kyoto-Protokoll 12

Abbildung 1-6: Hauptstoßrichtungen ressourceneffizienter Fabrikplanung 20

Abbildung 2-1: Verschwendungsartenrondell 24

Abbildung 2-2: 5S-Methode (in Anlehnung an Liker, J. K. (2004)) 25

Abbildung 2-3: Energieverteilung Energiearten nach Technologien (BMW) 27

Abbildung 2-4: Energieverteilung Automobilwerk und Fahrzeugmontage 28

Abbildung 2-5: Energiekostenverteilung Fahrzeugmontage 29

Abbildung 2-6: Hauptverbraucher Fahrzeugmontage (BMW Werk Leipzig 2012) 29

Abbildung 2-7: Beeinflussbare und festgelegte Kosten im Planungsverlauf 30

Abbildung 2-8: Planungsphasen des Fabriklebenszyklus 32

Abbildung 2-9: Fabriklebenszyklus mit Verlauf des Saldos aus Erlösen und Kosten (in Anlehnung an Müller) 33

Abbildung 2-10: Servo-Pressen-Anlage BMW Werk Leipzig (links), Coil (rechts) 37

Abbildung 2-11: Karosseriebauanlage BMW X1, Werk Leipzig 38

Abbildung 2-12: Tauch-Lackierung (KTL), Pulverklarlack, BMW Werk Leipzig 40

Abbildung 2-13: Prinzipdarstellung klassischer Montagefluss bei BMW (in Anlehnung an Grüneisl) 41

Abbildung 2-14: Gliederung der Montagehalle Werk Leipzig (BMW Leipzig (2013)) 42

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 2-15: Schema Planzeitspreizung Fahrzeugmontage 43

Abbildung 2-16: Gesamtlayout BMW Werk Leipzig 2011....45

Abbildung 2-17: Übersicht Energieverordnungen (in Anlehnung an: Oelmann, S. (2009), S.10....46

Abbildung 2-18: Strommix in Deutschland im Jahr 2012 (in Anlehnung an BMU (Stand 03/2013) 51

Abbildung 2-19: PDCA-Zyklus eines Energiemanagementsystems (in Anlehnung an DIN EN ISO 50001) 56

Abbildung 2-20: Endenergieverbrauch nach Sektoren in 2010....59

Abbildung 3-1: Drei-Phasenmodell der Standortanalyse (in Anlehnung an BMW interne Dokumente)....65

Abbildung 3-2: Regenwassernutzung in der Industrie....69

Abbildung 3-3: Übersicht regenerative Energiearten 74

Abbildung 3-4: OEM Standorte weltweit....76

Abbildung 3-5: OEM Standorte in Klimazonen weltweit (Klimazonen nach Neef)....77

Abbildung 3-6: Das Klimadiagramm nach Köppen / Geiger und seine Elemente 78

Abbildung 3-7: Vergleich Klimadiagramm Shenyang – Sao Paulo 79

Abbildung 3-8: 3-Energie-Effizienz-Zonen Klimadiagramm 83

Abbildung 3-9: Vergleich 3-EE-Zonen Klimadiagramm Shenyang – Sao Paulo....84

Abbildung 3-10: Vergleich 3-EE-Zonendiagramm Los Angeles und Eureka Californien / USA 85

Abbildung 3-11: Prozess-, Personal und Materialflusskonzept 87

Abbildung 3-12: Flexibilität- und Erweiterungskonzept 88

Abbildung 3-13: Mitarbeiterorientierung und Kommunikationskonzept....90

Abbildung 3-14: Energieeffizienz- und Nachhaltigkeitskonzept 92

Abbildung 3-15: Kompakte Bauweise – Einfluss auf die Fassadenoberfläche (in Anlehnung an BMW) 93

Abbildung 3-16: Prinzipdarstellung Input-Output-Analyse....95

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 3-17: Checkliste Prinzipien Werkslayout 96

Abbildung 3-18: Prinziplayout - energieeffzientes Fahrzeugwerk 97

Abbildung 3-19: Montagestrukturlayout (Darstellung nicht maßstäblich) 100

Abbildung 3-20: Prinzip Flächenkalkulation auf Montagetakt-Basis 102

Abbildung 3-21: Dachbinder-Traglast-Plan (Prinzipdarstellung) 104

Abbildung 3-22: Checkliste Prinzipien Montagelayout 107

Abbildung 3-23: Materialfüsse Fahrzeugmontagewerk (in Anlehnung an Bethke) 108

Abbildung 3-24: Logistikstrukturlayout 111

Abbildung 3-25: Checkliste Prinzipien Logistiklayout 114

Abbildung 3-26: Schema energieeffiziente Gebäudekonstruktion 116

Abbildung 3-27: Checkliste Prinzipien Gebäudekonstruktion 117

Abbildung 3-28: Typische Dachformen für Produktionsgebäude 121

Abbildung 3-29: Ausleuchtung der Raumtiefe (verschiedene Fenster) 122

Abbildung 3-30: Unterschied Tageslichtquotient von Horizont- und Zenitlicht (in Anlehnung an Cornelius) 123

Abbildung 3-31: Shed-Querschittsformen 124

Abbildung 3-32: Shed-Oberlichtformen 125

Abbildung 3-33: Shed-Konstruktionsformen 126

Abbildung 3-34: Beispiele für Lichtkuppeln und Lichtbänder in der Industrie 127

Abbildung 3-35: Hybrid-Oberlicht 128

Abbildung 3-36: Position Shed / Oberlichter auf Montagegebäude 129

Abbildung 4-1: Übersicht Versorgungskonzept 131

Abbildung 4-2: Energiebeschaffungsmodelle 132

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 4-3: Übersicht Energierecht Deutschland....134

Abbildung 4-4: Zusammensetzung Strompreis 2013....135

Abbildung 4-5: Zusammensetzung Gaspreis 2013....138

Abbildung 4-6: Übersicht Bedarfspfade zur Verbrauchserfassung....139

Tabellenverzeichnis

Tabelle 2-1: 6-Phasen-Modell in Anlehnung an Grundig 35

Tabelle 2-2: Anteil der erneuerbaren Energie an der Stromversorgung 51

Tabelle 2-3: Übersicht der EEG-Umlage basierend auf dem Jahresverbrauch[67] 53

Tabelle 2-4: Zielwerte für die zu erreichende Reduzierung der Energieintensität 55

Tabelle 2-5: Hauptkategorien LEED Zertifizierung 60

Tabelle 3-1: Vergleich Durchschnittswasserverbrauch Werke, in l/Fzg 67

Tabelle 3-2: Übersicht Abfallarten (Auswahl) 71

Tabelle 3-3: Übersicht Verbrauch nach Energieträger 2012 73

Tabelle 3-4: Vergleich Klimadaten Shenyang / China und Sao Paulo / Brasilien 80

Tabelle 3-5: Energieeffizienzranking BMW Werke 2012 81

Tabelle 3-6: Auslegungskriterien Montagestruktur 98

Tabelle 4-1: Steuersätze der Ökosteuer (StromStG) 136

Abkürzungsverzeichnis

AbLaV	Verordnung zu abschaltbaren Lasten
ASR	Arbeitsstätten-Richtlinie
AKL	Automatisches Kleinteilelager
A/V	Verhältnis zwischen der wärmeabgebenden Außenfläche A zum beheizten Volumen V
BTS	Bauteil Transportsystem. Ähnlich wie ein FTS, jedoch werden nicht Behälter sondern Einzelteile, Zusammenbauten oder Module transportiert.
COP	Conference of the Parties (Vertragsstaatenkonferenz der Klimarahmenkonvention
DAL	Direktanlieferung
DGNB	Deutsche Gesellschaft für nachhaltiges Bauen
DIN	Deutsche Industrie Norm
EEG	Erneuerbare-Energien-Gesetz
EHB	Elektrohängebahn
EMAS	Eco-Management and Audit Scheme
EnEV	Energieeinspar-Verordnung
EnEG	Energieeinspar-Gesetz
EnMS	Energiemanagementsystem
EnWG	Energie-Wirtschaftsgesetz

FTS	Fahrerloses Transportsystem. Meist ein Elektrofahrzeug zum Transport von Material oder Modulen mit einer induktiven oder Batterie Stromversorgung. Gesteuert werden diese Fahrzeuge über Magnetstreifen oder Datenpunkte auf oder im Boden.
GIBO	Gitterbox
GLT	Gebäudeleittechnik. Alle technischen Einrichtungen zum Steuern und Kontrollieren der Gebäudeparameter. Meist ein übergeordnetes Computersystem in Kombination mit einem Energiemanagementsystem.
HRL	Hochregallager
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
JIS	Just-in-Sequence
JIT	Just-in-Time
KLT	Kleinladungsträger
KTL	Kathodische Tauchlackierung
KWKG	Kraft-Wärme-Kopplungs-Gesetz
LED	Lightemitting Diode
LEED	Leadership in Environmental & Energy Design
MAG	Metall-Aktiv-Gas (Schweißverfahren)
MIG	Metall-Inert-Gas (Schweißverfahren)
OEM	Original Equipment Manufacturer (Automobilindustrie)
OPEC	Organisation erdölexportierender Länder

SA	Sonderausstattung
StromNEV	Stromnetzentgeltverordnung
StromStG	Stromsteuergesetz
Tier-1	Tier-Klassifizierung der Zulieferindustrie. Tier (engl. für Rang) gefolgt von einer Nummer wird benutzt, um Zulieferer in vorrangige und nachrangige Lieferanten zu unterteilen.
TGA	Technische Gebäudeausrüstung wie zum Beispiel: Lüftungsanlagen, Beleuchtungstechnik, Feuerschutzeinrichtungen und GLT
UMS	Umweltmanagementsystem
ÜNB	Übertragungsnetzbetreiber
VOC	Volatile organic compound (flüchtige organische Verbindungen)

Definitionen

Agglomerationseffekte	Agglomeration bedeutet die Verdichtung oder Ansammlung von Unternehmen an einem Standort. Daraus resultieren Effekte, die dann vor- aber auch nachteilig sein können.
Beleuchtung	Unter Beleuchtung versteht man die Nutzung von künstlichem Licht durch zum Beispiel Leuchtmittel wie Glühbirnen, Leuchtstoffröhren oder HQI-Leuchten.
Belichtung	Unter Belichtung versteht man die Nutzung von natürlichem Licht durch zum Beispiel Fensterfronten, Oberlichter oder Sheddachkonstruktionen.
BIG DATA	Ansammlung von großen Datenmengen hier im Zusammenhang mit intelligenten Produktionssystemen (Industrie 4.0).
Brownfield	Bau- oder Umbauvorhaben in vorhandenen Strukturen
Car Set	Mehrere Teilefamilien/Bauteile werden zu einem Set zusammengefasst für ein(en) Auftrag/Fahrzeug. Das spart Zeit und Logistikfläche am eigentlichen Verbauort. Car Sets können auf dem Band mitfahren.
Coil	Aufgerolltes Blechband, mehrere Tonnen schwer zur Verwendung beispielsweise in der Automobilindustrie.

Definitionen

DATA Science	Wissenschaft zur Wissensextraktion aus großen Datenmengen
Greenfield	Neubauvorhaben auf der „grünen Wiese“
HQI-Leuchten	Sind Halogen-Metalldampflampen, die auch als Gasentladungslampen bezeichnet werden. Diese Beleuchtungsform hat einen wesentlich besseren Wirkungsgrad und eine längere Lebensdauer als eine herkömmliche Glühbirne.
Incentive	Anreize, Be- oder Vergünstigungen (meist in finanzieller, materieller oder immaterieller Art)
Industrie 4.0[1]	Vierte industrielle Revolution (Zukunftsprojekt in der Hightech Strategie der Bundesregierung)
Kaskadiert	Stufenweise
Lean Manufacturing	Schlanke Produktion, Vermeidung von Verschwendungen
Sequenzierung	Bildung einer bestimmten Reihenfolge
Treibhausgase	Kohlendioxid CO_2, Methan CH_4, Lachgas NO_2, wasserstoffhaltige Fluorkohlenwasserstoffe FKW, perfluorierte Fluorkohlenwasserstoffe PFC, Schwefelhexalfluorid SF_6

[1] vgl.: Die Bundesregierung (2014), Definition Industrie 4.0.

Vorwort

Im Rahmen verschiedener internationaler Vorträge und Veröffentlichungen habe ich in den letzten Jahren für eine ganzheitliche Nachhaltigkeit und Energieeffizienz in der Industrie geworben. Ich war sehr überrascht über das rege Interesse und die positiven Rückmeldungen, die ich aus unterschiedlichen Industriezweigen weltweit erhalten habe. Ich hoffe, dass mit Hilfe der vorliegenden Arbeit zukünftige Fabrikneubauten energieeffizienter und nachhaltiger gestaltet werden können.

Mein besonderer Dank gilt in diesem Zusammenhang Herrn Prof. Dr.-Ing. B. Platzer, Lehrstuhlinhaber für Technische Thermodynamik der Technischen Universität Chemnitz, für die Betreuung der Arbeit. Er hat mich durch seine Hinweise und Ratschläge, auch über sechs Zeitzonen hinweg, unterstützt und erheblichen Anteil am Gelingen der Arbeit gehabt.

Danken möchte ich auch Herrn Prof. Dr. rer. pol. J. Knappe von der Hochschule Landshut für die Übernahme des Zweitgutachtens im Rahmen dieser Kooperativen Promotion.

Neben der beruflichen Belastung hat die Dissertation viel Freizeit an Wochenenden und unter der Woche in Anspruch genommen. Aus diesem Grund möchte ich diese Dissertation meiner Familie widmen. Mein ganz besonderer Dank gilt Familie für das Verständnis und die Unterstützung über die letzten Jahre hinweg.

Greenville/USA, den 02.05.2014 Christian Imgrund

1 Einleitung

Die Themenbereiche Nachhaltigkeit und Ressourceneffizienz sind in den letzten Jahren vermehrt in den Fokus der Öffentlichkeit getreten. Besonders Deutschland hat dabei eine bedeutende Vorreiterrolle übernommen. Sei es in der Gesetzgebung oder der Subvention von Energiesparmaßnahmen und der Förderung erneuerbarer Energien. Energiesparen hat einen ökologischen und einen ökonomischen Effekt.

> *„Jede Energie, die nicht verbraucht wird, ist eigentlich die sinnvollste Energiepreissenkung."*
>
> *Michael Glos,*
> *(dt. Politiker (CSU))*

Aus der Abbildung 1-1 wird deutlich, dass beispielsweise die Preise für Rohöl in den beiden letzten Jahrzehnten ständig gestiegen sind. Ein Abflachen dieses Anstiegs kann nicht erwartet werden.

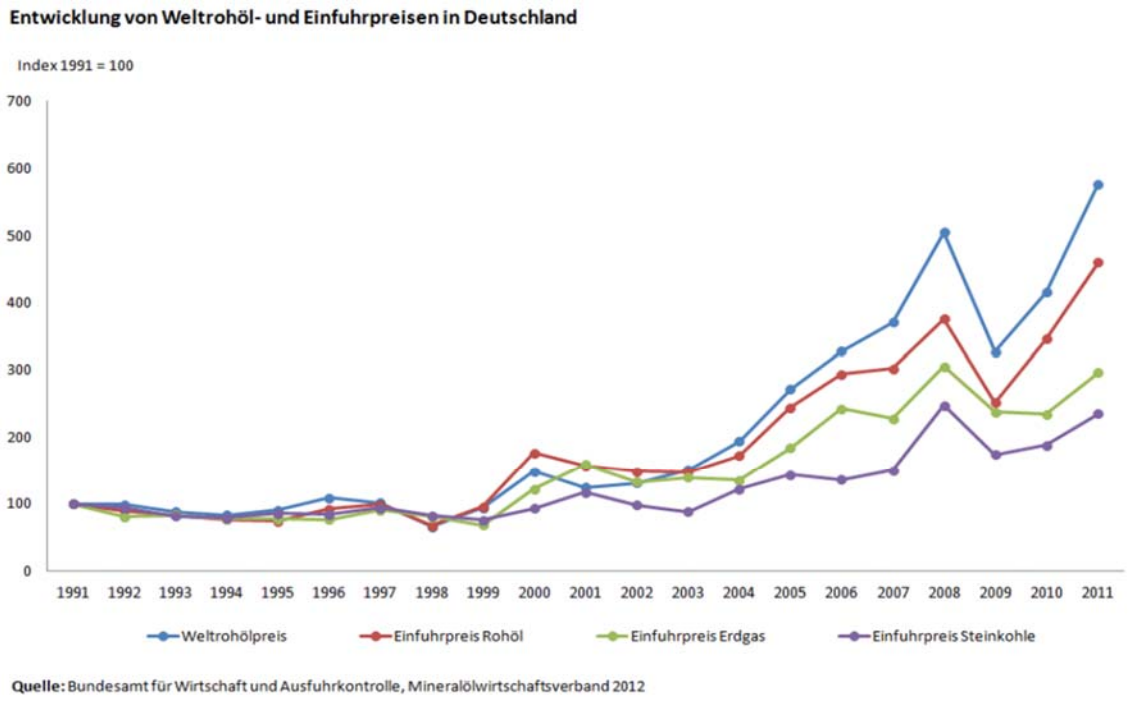


Abbildung 1-1: Entwicklung von Weltrohöl- und Einfuhrpreisen in Deutschland[2]

[2] vgl.: Bundesumweltamt (2012), Entwicklung der Energiepreise.

Auch die weltweite Finanz- und Wirtschaftskriese im Jahre 2009 verursachte nur kurz einen Rückgang der Nachfrage und somit der Preise. Eine überproportionale Verbrauchsreduzierung scheint daher die einzige Lösung für eine Reduzierung der Energiekosten für Unternehmen und Haushalte.

Nachhaltigkeit und Zukunftsfähigkeit werden in der heutigen Zeit zunehmend als Synonyme verwendet. Die Zukunft wird vom Nachhaltigkeitsgedanken geprägt. Wirtschaft und Wissenschaft, Politik und Gesellschaft sowie Unternehmen und Verbraucher bestimmen durch ihren Ressourcenumgang die Zukunft aktiv und nachhaltig mit.[3] Nachhaltigkeit, also ein verantwortungsbewusster und zukunftsorientierter Umgang mit Ressourcen und somit auch Energien, stellt eine der herausforderndsten Zielstellungen im 21. Jahrhundert für Unternehmen und die Industrie dar.

„Ein Unternehmen, das von der Kapitalsubstanz lebt, ist innerhalb kürzester Zeit pleite. Unsere Industriegesellschaft macht das gleiche. Wir leben als Wirtschaft vom Kapital und nicht vom Einkommen, vor allem was unsere Rohstoffe angeht."

Hans A. Pestallozi
(Schweizer Soziologe und Ex-Manager)

Dieses Zitat beschreibt die Problematik der Ressourceneffizienz als ein nachhaltiges Problem unserer Zeit. Weltweit steigende Energienachfrage, absehbare Endlichkeit fossiler Energierohstoffe und daraus resultierend stetig steigende Energiekosten, führen zu Herausforderungen, die in enger Verbindung mit dem Klimaschutz gelöst werden müssen. Energie so sparsam und effizient wie möglich zu verwenden, wird für die Zukunftsfähigkeit von Wirtschaft und Gesellschaft immer wichtiger.[4]

[3] vgl.: BMW Group 01 (2012).

[4] vgl.: Freistaat Sachsen (2008), S. 4.

Besonders in Krisenzeiten mit rückläufiger Nachfrage und schrumpfenden Margen bei gleichzeitig steigenden Energiepreisen ist Energiesparen ein wichtiger Faktor zur Kostenreduzierung. Dies ist nicht nur eine Herausforderung für die BMW Group, vielmehr für die gesamte Automobilindustrie von den Herstellern (OEM) über die Zulieferindustrie (Tier-1,Tier-2...) bis hin zu System- und Servicedienstleistern. Auch andere Industrien bleiben von diesen Entwicklungen zwangsläufig nicht verschont. Um hier eine Vorreiterrolle sicherzustellen, müssen früh die Weichen gestellt werden und alle Anstrengungen unternommen werden, um dies auf lange Sicht zu sichern.

Die Zielsetzung für die Zukunft muss sein, Produktionsstandorte möglichst energieeffizient, flexibel und nachhaltig zu gestalten, um auch zukünftigen Herausforderungen gewachsen zu sein. Dies beinhaltet eine ganzheitliche Neubetrachtung von Produktions- und Fertigungsprozessen als auch von Fabrikplanungsprinzipien inklusive aller internen und externen Wirkzusammenhänge. Die vorliegende Arbeit soll hierbei unterstützen und Anregungen liefern, um bereits im frühen Planungsprozess die richtigen Entscheidungen zur Erreichung der größtmöglichen Energieeffizienz zu treffen. Es wird eine Planungsmethodik ausgearbeitet, die auf den jeweiligen Planungsprämissen aufsetzt und als Entscheidungshilfe dienen kann. Mit Hilfe dieser Methoden und Prinzipien ist es möglich, eine energieeffiziente Automobilfabrik zu planen und zu realisieren. Als Zielwert wird eine deutliche Reduzierung des Energieverbrauches um durchschnittlich 50 Prozent angestrebt. Bei der weiteren Bearbeitung der vorliegenden Problematik sind die folgenden Fragestellungen zu beachten und zu analysieren:

- Welche Anforderungen beziehungsweise Prämissen müssen beachtet werden?
- Welche Zielkonflikte treten auf?
- Gibt es akzeptable Kompromisse?
- Welche Schwerpunkte sind montagespezifisch und welche sind universell abzubilden?

Das Herausarbeiten der Planungsmethodik stellt den Schwerpunkt dieser Untersuchung dar. Damit muss es möglich sein, zukünftige Neubauprojekte (sowohl Brownfield- als auch Greenfieldansätze) unter energetischen Gesichtspunkten zu bewerten und ein Gesamtoptimum bei der Neuplanung zu erreichen. Dieses Gesamtoptimum ist natürlich sowohl unter technischen als auch unter wirtschaftlichen Gesichtspunkten zu betrachten. Der Aspekt der Nachhaltigkeit stellt dabei in allen Bereichen eine wichtige Grundfeste dar.

Zu Beginn wird in diesem Kapitel die Energieproblematik im aktuellen Zusammenhang aufgezeigt. Im weiteren Verlauf wird die Chronologie der wichtigsten Meilensteine zur Reduzierung der Treibhausgase zusammengefasst, um die politische und gesellschaftliche Relevanz des vorliegenden Themas zu untermauern. Anschließend folgt eine Recherche zum Stand der Wissenschaft im Hinblick auf energieeffiziente Fabriken, im speziellen im Automobilsektor und die Abgrenzung des Betrachtungsrahmens. Abschließend wird noch kurz auf die einzelnen Meilensteine und die Vorgehensweise beim Erstellen dieser Arbeit eingegangen.

1.1 Endliche Ressourcen und Energieeffizienz

Der Effizienzbegriff kann aus dem ökonomischen Prinzip (Rationalprinzip) abgeleitet werden, welches die Annahme verfolgt, dass Wirtschaftssubjekte aufgrund der Knappheit von Gütern ein bestimmtes Ziel mit dem Einsatz möglichst geringer Mittel erreichen. Es ist ein rein formales Prinzip und beschreibt keinerlei Motive oder Zielsetzungen.[5] Handlungsmotiv bei Haushalten und Konsumenten ist meist die Nutzenmaximierung, bei Unternehmen hingegen die Gewinnmaximierung, Umsatzsteigerung oder Vergrößerung der Marktanteile.

Zwei Ausprägungen des Prinzips können unterschieden werden. Beim Maximalprinzip soll mit einem vorgegebenen Mitteleinsatz ein hohes Ergebnis erreicht werden.

[5] vgl.: Wöhe, G. (2000), S. 1ff.

Das Minimalprinzip versucht, ein vorgegebenes Ergebnis mit geringstem Mitteleinsatz zu erzielen.[6] Dieses Minimalprinzip gilt es im weiteren Verlauf dieser Arbeit weiterzuverfolgen. Es beschreibt die Grundannahmen der Effizienz. Effektivität und Effizienz werden oft als Synonyme verwendet. Die **Effektivität** stellt den Zielerreichungsgrad dar, einen Abgleich vom erreichten Ziel mit dem Soll. Die **Effizienz** dagegen gibt Aufschluss über das Verhältnis zwischen Mitteleinsatz und der Zielerreichung. Sie spiegelt eine Aufwand-Nutzen-Relation wieder. Frei nach dem ökonomischen Prinzip bedeutet **Energieeffizienz** demzufolge, dass die Herstellung eines Produktes oder einer Dienstleistung mit dem geringsten Einsatz von Energie zu realisieren ist.[7] In der Industrie bezeichnet man damit das Verhältnis von Produktionsergebnis zu den Energiekosten. In der volkswirtschaftlichen Betrachtung wird das Bruttosozialprodukt im Verhältnis zum Energieverbrauch ausgedrückt.[8]

$$Energieeffizienz = \frac{Nutzen}{Energieeinsatz}$$

Die Europäische Union sieht den Energieeinsatz von Mineralöl, Erdgas und festen Brennstoffen als Verursacher von Kohlendioxid-Emissionen. Mit dem Ziel der Steigerung der Effizienz eingesetzter Rohstoffe wurde der Begriff im Zuge des Umweltschutzes international erstmalig geprägt.[9] Werden diese Rohstoffe beispielsweise in Strom umgewandelt, so findet eine Umwandlung der hochwertigen Primärenergieform in Elektroenergie und beispielsweise in Abwärme statt. Hierbei geht nach dem Energieerhaltungssatz keinerlei Energie verloren. Es wird aber Abwärme als geringwertige Energieform erzeugt.

[6] vgl.: Wöhe, G. (2000), S. 1f.

[7] vgl.: Müller, E.; Engelmann J.; Löffler T.; Strauch J. (2009), S. 2.

[8] vgl.: Michelsen, K. (2008).

[9] vgl.: Richtlinie 2002/91/EG Richtlinie 2002/91/EG

Werden mehr hochwertige Energien als absolut notwendig, beispielsweise zur Stromerzeugung eingesetzt, dann spricht man von **Energieverschwendung**.[10] Verschwendung gilt es zu minimieren, bestenfalls zu eliminieren.

Ausgehend vom Rohstoff bis zum Endverbraucher ist in der Abbildung 1-2, der allgemeine Energieumwandlungsprozess dargestellt. Demnach entspricht die wirklich nutzbare Lichtenergie einer Glühlampe nur etwa 3 Prozent der zu Beginn aufgewendeten hochwertigen Energieform. Im bundesdeutschen Durchschnitt erreichen zwei Drittel der bei der Stromproduktion eingesetzten Energiemengen nicht ihren Endverbraucher.[11]

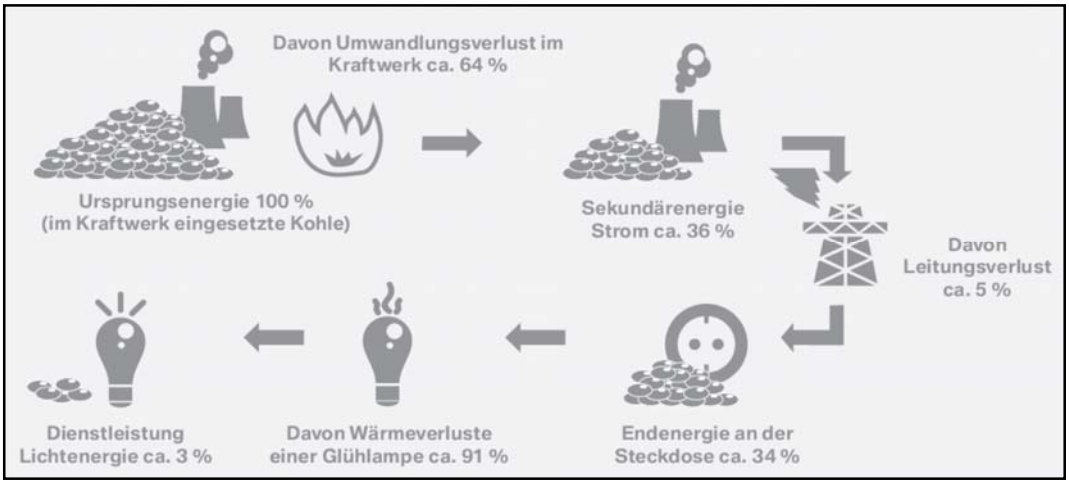


Abbildung 1-2: Energieumwandlungsprozess [BMW interne Darstellung]

Mit Hilfe dieser Grafik wird deutlich, welches Potential in der Energieeffizienz steckt. Die Erkenntnis über endliche Rohstoffressourcen verleiht dem Thema zusätzlich einen hohen Stellenwert. Das Bundesministerium für Umwelt sieht in der Energieeffizienz in allen Sektoren den Schlüssel für eine neue Energiepolitik.[12]

[10] vgl.: BayLfU (2004), S. 4.

[11] vgl.: Gebäude- und Energietechnik (2008a), S. 1.

[12] vgl.: BMU (2008), S. 2.

Nicht zuletzt stellt die Reduzierung von Energieverlusten neben dem Umweltschutzgedanken auch ein hohes wirtschaftliches Potenzial dar. Energieeffizienz ist als eine „**stille Reserve**“ der Unternehmen zu verstehen. Denn die Nutzung der bislang unnötig eingesetzten Energiekosten trägt schnell und zuverlässig zu einer nachhaltigen Verbesserung der Umsatzrendite bei.[13]

1.2 Aufbau der Arbeit

In Abbildung 1-3 wird das Vorgehen bei der Bearbeitung der vorliegenden Problematik dargestellt. Die Abbildung soll helfen, die einzelnen Bearbeitungsschritte zum Erreichen der Ziele anschaulich darzustellen.

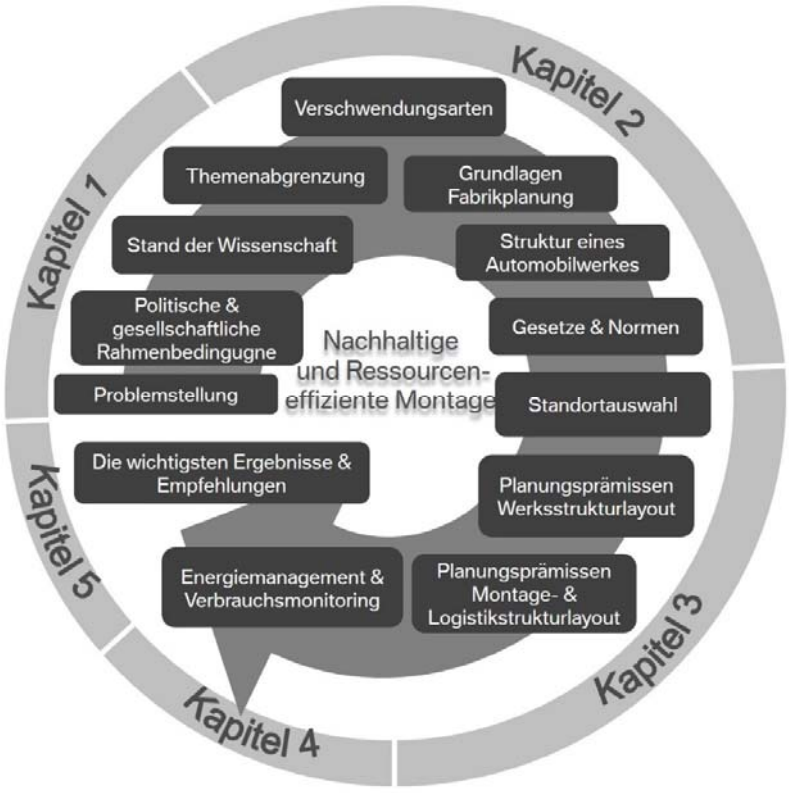


Abbildung 1-3: Strukturierung der Vorgehensweise

[13] vgl.: Voigtmann, M. (2008), S. 36 und Bankovich, D (2008), S. 44.

Nach der Einleitung und der Begriffsdefinition von Energieeffizienz, die bereits im ersten Teil des Kapitel 1 bearbeitet wurden, erfolgt im weiteren Verlauf dieses Abschnittes eine Betrachtung und Analyse der politischen und gesellschaftlichen Rahmenbedingungen zum Themengebiet der Energieeffizienz. Es wird hierbei auf die bundesdeutschen, die europäischen und die internationalen Entwicklungen und Anstrengungen eingegangen. Des Weiteren wird eine fundierte Analyse bezüglich der Problemstellung im Hinblick auf die Nachhaltigkeit und Ressourceneffizienz bei einem Neubau eines Produktionswerkes erstellt. Es wird explizit der aktuelle Stand der Wissenschaft dargestellt und auf mögliche offene Themenfelder hingewiesen. Da die hier aufgegriffene Thematik einen weiten und tief gefächerten Bereich abdeckt, dessen Aktualität ständig zunimmt, ist daher eine differenzierte Betrachtung und Abgrenzung zu Randbereichen sicherzustellen. Das zu bearbeitende Themengebiet wird abschließend klar umrissen und der Neuigkeitsgrad beschrieben.

In Kapitel 2 werden die Grundlagen und weiteren Rahmenbedingungen des vorliegenden Themengebietes analysiert. Zunächst werden die möglichen Verschwendungsarten in der Industrie aufgezeigt und daraus Handlungsbedarfe für die Verbesserung der Energieeffizienz abgeleitet. Eine Analyse der Energieverbrauchsstruktur einer durchschnittlichen Fahrzeugmontage (Bsp. BMW Werk Leipzig) soll den Handlungsbedarf und die Stellhebel für die weitere Bearbeitung verdeutlichen. Im weiteren Verlauf wird das Fundament der Arbeit zunehmend gefestigt, indem kurz auf die Grundlagen der Fabrikplanung und die Struktur eines repräsentativen Automobilwerkes, inklusive aller Kerntechnologien wie Presswerk, Karosseriebau, Lackiererei und Montage, eingegangen wird. Zusätzlich werden in diesem Kapitel die bundesdeutschen rechtlichen Rahmenbedingungen analysiert sowie deren hohe Bedeutung und die Vorreiterrolle Deutschlands, innerhalb der EU sowie im internationalen Vergleich, aufgezeigt. Anschließend wird auf die Normen (DIN EN ISO 14001, DIN EN ISO 50001) und möglichen Entwicklungen im Bereich des Energiemanagements eingegangen. Außerdem wird kurz auf das Gütesiegel der EU für Umweltmanagementsysteme EMAS eingegangen und den deutschen Normen gegenübergestellt.

Den Abschluss der Grundlagenbetrachtung stellt eine Zusammenfassung der wichtigsten Gebäudestandards zum Thema Nachhaltigkeit dar.

Darauffolgend werden in Kapitel 3 die Planungsprämissen für einen Fahrzeugwerksneubau abgehandelt. Beginnend mit der Analyse der Standortfaktoren und der Beschreibung des Auswahlprozesses werden hiermit die Grundsteine für eine nachhaltige, energieeffiziente und zukunftssichere Produktion gelegt. Besonders hervorzuheben sind dabei die Trinkwasserverfügbarkeit, die allgemeinen Umweltrahmenbedingungen und vor allem der Klimaeinfluss, bezogen auf den jeweiligen Standort. Fortführend wird die Werksstruktur beziehungsweise die Gebäudestruktur tiefergehend analysiert und eine Idealstruktur unter den Gesichtspunkten der Energieeffizienz herausgearbeitet. Der Fokus liegt hierbei auf der Montage- und Logistikstruktur, da diese beiden Bereiche eng miteinander verknüpft sind und den Schwerpunkt dieser Arbeit bilden. Das Fahrzeugwerk wird hier zunächst als Gesamtsystem betrachtet und die energetischen Wirkzusammenhänge werden zwischen den einzelnen Technologien (Presswerk, Karosseriebau, Lackiererei und Montage) aufgezeigt und analysiert. Darüber hinaus dürfen die Supportfunktionen in den indirekten Bereichen, wie zum Beispiel Logistik, Energieversorgung und Abfallentsorgung, Büroflächen für Planung etc., nicht vernachlässigt werden. Abschließend wird in diesem Bereich noch auf die Energieeffizienzpotentiale bei der Gebäudekonstruktion eingegangen. Von den verschiedenen Baumaterialien über die Gebäude- beziehungsweise Dachform bis hin zu Konzepten zur Energierückgewinnung und Nutzung von natürlichen Ressourcen werden hier alle Aspekte eines energieeffizienten Produktionsgebäudes aufgelistet und bewertet.

In Kapitel 4 wird auf die drei Hauptbereiche des Energiemanagements: Versorgungskonzepte, Energieverträge und eine effiziente Energienutzung eingegangen. Der Energiebedarf in der Industrie kann durch Fremdbezug und Eigenerzeugung abgedeckt werden. Bei Fremdbezug kann zwischen verschiedene Bezugsmöglichkeiten gewählt werden, die im weiteren Verlauf detailliert werden.

Anschließend wird die Strom- und Gaspreis-Zusammensetzung erläutert. Die Vorteile einer transparenten Energieverbrauchserfassung werden aufgezeigt. Nachfolgend werden ausgewählte Potentiale zur Verbesserung der Energieeffizienz in einer Fahrzeugmontage diskutiert.

Eine Zusammenfassung der wichtigsten Ergebnisse, eine Empfehlung zur weiteren Vorgehensweise und ein Ausblick auf weitere zukünftige Handlungsfelder runden diese Arbeit ab.

1.3 Politischer und gesellschaftlicher Stellenwert der Energieeffizienz

Erdöl ist das Lebenselixier unserer Volkswirtschaft. Täglich werden circa 85 Millionen Barrel Erdöl für Elektrizität, Heizung, Verkehr, die Chemieindustrie und weitere wirtschaftliche Aktivitäten benötigt. Nicht erst seit dem Ölpreis-Peak Mitte 2008 ist bekannt, dass die weltweiten Erdölreserven begrenzt sind und somit der steigenden Nachfrage in Zukunft nicht mehr gerecht werden können.

Eine wachsende Zahl von Experten sagt voraus, dass die weltweite Ölförderung sich nahe ihrem Maximum „Peak-Oil“ befindet und zukünftig zurückgehen wird. Peak-Oil bedeutet nicht, dass in absehbarer Zeit die Erdölvorkommen zu Ende gehen, vielmehr ist damit das Maximum der Erdölförderung erreicht. Das bedeutet, dass mittlerweile die Hälfte des abbaubaren Erdöls bereits gefördert wurde.

Das Verbrennen von fossilen Brennstoffen wie Erdöl begünstigt die Klimaerwärmung und den Klimawandel. Bereits vor einigen Jahrzehnten wurden daher Maßnahmen getroffen, um den Klimawandel zu bremsen oder ganz in den Griff zu bekommen. Der Zeitstrahl in Abbildung 1-4 listet die wichtigsten Beschlüsse und Meilensteine zum Klimaschutz auf.

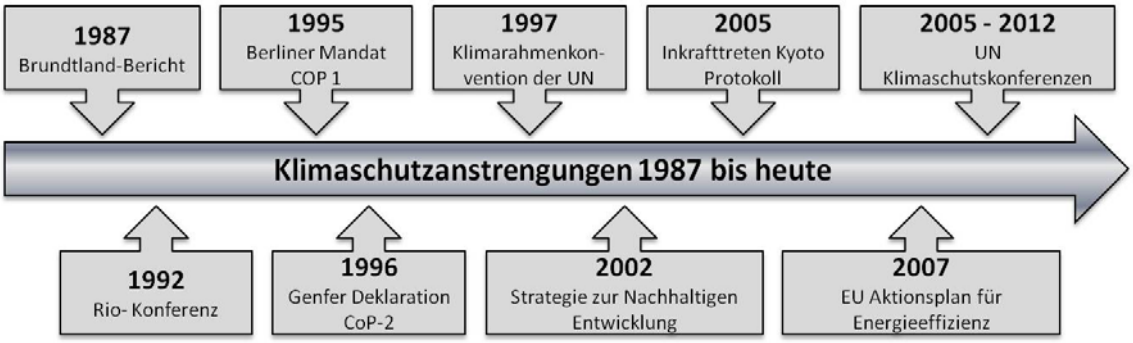


Abbildung 1-4: Übersicht der wichtigsten Meilensteine zum Klimaschutz

Bereits 1987 wurde im sogenannten Brundtland-Bericht der Begriff „Nachhaltige Entwicklung“ durch die Weltkommission für Umwelt und Entwicklung definiert. Die Welt muss bald Strategien entwerfen, die es den Ländern erlauben, aus ihren gegenwärtigen, oft destruktiven Wachstums- und Entwicklungsprozessen zu nachhaltigen Entwicklungswegen überzuwechseln.[14] Nachdem der Brundtland-Bericht veröffentlicht wurde, folgte 1989 die Einberufung der Konferenz der Vereinten Nationen über Umwelt und Entwicklung, auch bekannt als Rio-Konferenz oder Erdgipfel. Diese fand schließlich im Jahre 1992 in Rio de Janeiro statt und brachte die Klimarahmenkonvention hervor. Hintergrund war die Umsetzung des Brundtland-Berichts in internationales Handeln, das letztendlich in der Agenda 21 festgeschrieben wurde.[15]

Ein Jahr nach Inkrafttreten der Klimarahmenkonvention fand die erste UN-Klimakonferenz 1995 in Berlin statt. Auf der sogenannten Vertragsstaatenkonferenz (*Conference of the Parties* COP-1) einigten sich die teilnehmenden Staaten auf das „Berliner Mandat“. Die Zielstellung war die Ausarbeitung eines Protokolls, um die jährlich stattfindenden Klimakonferenzen und die vereinbarten Ziele zu dokumentieren.[16]

[14] vgl.: United Nations (1987), Brundtland Bericht.

[15] vgl.: Lexikon der Nachhaltigkeit (2013), Weltkommission für Umwelt und Entwicklung.

[16] vgl.: Oberthür, S., Ott, H. E. (1999), S. 43.

Die zweite Konferenz der Vertragsstaaten (COP-2) fand 1996 in Genf statt und resultierte in der „Genfer Deklaration“. Gegenstand der Konferenz war die wissenschaftliche Grundlage für den weiteren Prozess der internationalen Klimaschutzpolitik und die anstehende Ausarbeitung einer rechtlich verbindlichen Regelung zur Reduktion von Treibhausgasen. Ferner konnten die Widerstände seitens der USA, Kanadas, Australiens und besonders der OPEC-Staaten gegen ausdrückliche Reduktionsziele damit überwunden werden.[17]

Im Vorfeld zum Weltklimagipfel 1997 in Kyoto (COP-3) fanden acht Sitzungen der Arbeitsgruppe zum Berliner Mandat (AGBM 1 - 8) statt. Ziel war die Erarbeitung von Entwürfen für ein zukünftiges Klimaschutzprotokoll. Letztendlich konnten viele wichtige Punkte und offene Fragen geklärt werden. So wurden beispielsweise die Reduktionsziele der Treibhausgase für die Industriestaaten festgeschrieben und im sogenannten Kyoto-Protokoll verabschiedet.[18] In Abbildung 1-5 sind die beschlossenen Reduktionsziele des Kyoto Protokolls anschaulich dargestellt.

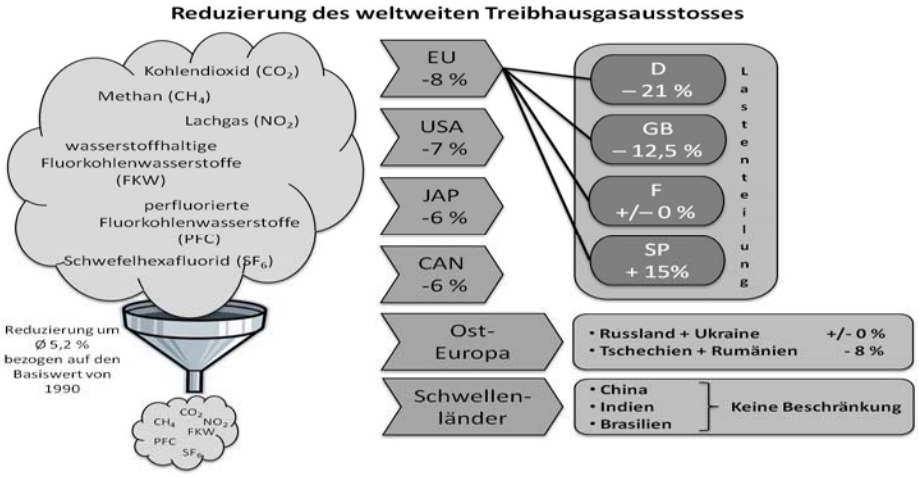


Abbildung 1-5: Beschlossene Reduktionsziele Kyoto-Protokoll

[17] vgl.: Oberthür, S., Ott, H. E. (1999), S. 52-54.

[18] vgl.: Greenpeace (2006), Chronologie der Klimakonferenzen.

Zudem hat die Bundesregierung 2002 eine Strategie zur nachhaltigen Entwicklung vorgelegt. Darin ist geregelt, wie „Perspektiven für Deutschland“ entwickelt werden können. Zudem orientiert sich diese Strategie an vier Leitlinien: **Generationengerechtigkeit, Lebensqualität, sozialer Zusammenhalt** und **Internationale Verantwortung**. Jeder Leitlinie sind Themenfelder zugeordnet wie etwa Ausstoß von Treibhausgasen, Flächenverbrauch und Artenvielfalt. Die meisten Ziele sind quantitativ und somit messbar, wie zum Beispiel die Verdopplung der Energieproduktivität. In sogenannten „Fortschrittsberichten“ wird der Bundesregierung der aktuelle Zwischenstand aufgezeigt. Der letzte Fortschrittsbericht erschien 2012.[19]

Die Europäische Union hat im Jahre 2006 mit dem Aktionsplan für Energieeffizienz einen ehrgeizigen Plan ins Leben gerufen. Ziel ist eine Reduzierung des Energieverbrauches bis 2020 um 20 Prozent. Hintergrund hierfür ist zum einen die Verminderung der Abhängigkeit Europas vom importierten Öl und Gas und zum anderen die Reduzierung der jährlichen Energiekosten um circa 100 Milliarden Euro. Dies würde ebenfalls eine Verminderung des CO_2-Ausstoßes um 780 Millionen Tonnen bedeuten und ist somit doppelt so viel wie im Kyoto-Protokoll als Ziel für die EU festgelegt wurde.[20] Am 23.08.2007 hat die Bundesregierung in Meseberg auf ihrer Klausurtagung die Eckpunkte des integrierten Energie- und Klimaprogramms (IEKP) beschlossen. Diese Eckpunkte konkretisieren die in der Regierungserklärung vom 26.04.2007 dargestellten Maßnahmen und tragen damit zu zusätzlichen Minderungen der Treibhausgasemissionen Deutschlands bis zum Jahr 2020 bei. Hintergrund hierfür sind die Richtungsentscheidungen im Frühjahr 2007 bezüglich Klimaschutz, unter anderem in den Bereichen Ausbau der erneuerbaren Energien und Steigerung der Energieeffizienz.[21]

[19] vgl.: Lexikon der Nachhaltigkeit (2012), Nationale Nachhaltigkeitsstrategie: Indikatorenbericht 2006.

[20] vgl.: Kommission der Europäischen Gemeinschaften (2006), Aktionsplan für Energieeffizienz.

[21] vgl.: Umweltbundesamt (2007), Wirkung der Meseberger Beschlüsse.

Ende 2007 erschien die Zusammenfassung des Gesamtberichtes („Syntheseband“) des Vierten Sachstandsberichts (AR4) vom Zwischenstaatlichen Ausschuss für Klimaänderungen (Intergouvernemental Panel on Climate Change, IPCC) der Vereinten Nationen. Er beinhaltet den wissenschaftlichen Kenntnisstand über die globale Erwärmung und gilt weithin als Konsensposition innerhalb der klimatologischen Fachwelt. Dieser Bericht kommt unter anderem zu folgenden Schlüssen: Es besteht kein Zweifel an der Klimaerwärmung und es sind bereits erkennbare Auswirkungen auf viele natürliche Systeme feststellbar. Die Ursachen hierfür liegen in dem vom Menschen verursachten Anstieg der Konzentration von Treibhausgasen.

Ohne eine politische Einflussnahme ist dieser Trend nicht aufhaltbar und wird sich in Zukunft noch weiter beschleunigen. Die wichtigsten Technologien im Kampf gegen den Klimawandel sind solche zur effizienten Energienutzung und die Nutzung regenerativer Energiequellen.[22] Die letzte UN-Klimaschutzkonferenz (Welt-Klimagipfel) fand Ende 2012 in Doha (COP-18) statt. Sie war somit die 18. Konferenz der Vertragsstaaten der Klimarahmenkonvention der Vereinten Nationen. Sie endete ohne bemerkenswerte Ergebnisse für den Klimaschutz. Einzig die Kritik an der Wahl des Veranstaltungsortes sorgte für Aufsehen, da Katar das Land mit dem weltweit höchsten CO_2-Ausstoss pro Kopf ist. Allein aus den in diesem Abschnitt aufgezeigten „Meilensteinen“ wird deutlich, dass das Thema Klimaschutz mehr Aktualität denn je besitzt. Die nötigen Anstrengungen zur Reduzierung des Ausstoßes von Treibhausgasen betreffen jeden und in nicht unerheblichem Maße auch die Industrie. Die bestehenden Gesetze und Verordnungen (EEG, EnEV, KWKG…) deuten bereits jetzt in diese Richtung. In Zukunft werden sicherlich weitere, einschneidendere und herausfordernde Bestimmungen hinzukommen. Aus diesem Grund ist es schon jetzt nötig, so schnell wie möglich zu reagieren und sich einen entsprechenden Vorsprung zu sichern beziehungsweise auszubauen. Die Kenntnis der aktuellen Klimaschutzaktivitäten und -anstrengungen ist eine Grundvoraussetzung für die weitere Bearbeitung des vorliegenden Themas.

[22] vgl.: Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) 2009.

1.4 Stand der Wissenschaft

In Industriebetrieben und besonders in der Automobilindustrie hat kontinuierliches Wachstum einen hohen Stellenwert. Durch die immer rascher zunehmende Anzahl von Fahrzeugmodellen und Derivaten stoßen bestehende Produktionsanlagen immer häufiger an ihre Grenzen.

Durch die Erweiterung vorhandener Produktionswerke und den Neubau von kompletten Werken kann mittelfristig die Produktionskapazität erweitert werden. Innerhalb der BMW Group unterscheidet man hierbei zwischen zwei prinzipiellen Ansätzen. Bei einer **Brownfield-Planung** werden bestehende Strukturen mehr oder weniger umfangreich umgebaut. Das heißt, um ein bestimmtes Ziel zu realisieren, zum Beispiel die Erhöhung der Produktionskapazität, zusätzliche Flexibilität oder die Implementierung neuer Produkte werden Teile eines Produktionssystems umgebaut, modernisiert oder komplett ausgetauscht. Hierbei ist das Planungsteam selbstverständlich an verschiedenste Rahmenbedingungen und Wirkzusammenhänge gebunden und muss innerhalb des Planungsprozesses vielerlei Kompromisse eingehen.

Im genauen Gegensatz hierzu steht die **Greenfield-Planung**. Bei dieser Art der Planung hat man die größtmöglichen Planungsfreiheiten. Man ist nicht gezwungen, auf alte, verkrustete Produktions- und Versorgungsstrukturen Rücksicht zu nehmen. Man hat wesentlich mehr Gestaltungsspielräume und kann klarere und effizientere Strukturen realisieren. Wie der Name bereits vermuten lässt, wird hierbei auf der grünen Wiese geplant. In gewisser Weise unterliegt man bei der Planung auch hier einigen Restriktionen wie zum Beispiel Kapazitäten und finanzieller Ressourcen. Dennoch kann hierbei wesentlich umfangreicher frei gestaltet werden. Im Jahr 2001 entschied sich die BMW Group im Leipziger Norden eine neue Produktionsstätte für Premiumfahrzeuge zu errichten. Der Fokus bei der Planung für das neue Werk lag neben einer flexiblen Werksstruktur, idealen Produktionsabläufen und optimalen Materialflüssen auch auf einer nachhaltigen, ressourcenschonenden Energienutzung.[23]

[23] vgl. BMW Group 03 (2009), interne Dokumente Abteilung TP-447.

Dieses Werk ist somit eines der modernsten Komplettwerke (inkl. Presswerk, Karosseriebau, Lackiererei, Montage) innerhalb der BMW Group, aber auch weltweit in der Automobilindustrie. Es ist nach den neuesten Erkenntnissen der Fabrikplanung, Facility Management, Logistik und Produktionstechnik errichtet worden und stellt ein perfektes Beispiel einer **Greenfield-Planung** dar. Seit Inbetriebnahme im Jahr 2005 hat es in vielen dieser Bereiche Weiterentwicklungen gegeben. Ob dennoch ein heutiger Neubau in gleicher Form und Ausprägung angestrebt werden würde, bleibt offen.

Es setzen sich immer mehr die Prinzipien der Energieeffizienz bei der Planung einer neuen Produktionshalle oder gar eines neuen Werkes durch. Hierbei muss bereits in der frühen Phase der Projektplanung Wert auf eine energieeffiziente Auslegung der Struktur von Gebäuden, der Energieerzeugung und -verteilung (Medienversorgung) sowie der Produktionsanlagen beziehungsweise Produktionsendgeräte gelegt werden. Viele Entscheidungen, die in dieser Planungsphase getroffen werden, sind im späteren Projektverlauf oder nach Projektabschluss nicht mehr oder nur mit erheblichem Kostenaufwand zu ändern. Die Einsicht ist vorhanden, allein bei der Umsetzung stehen viele Verantwortliche vor erheblichen Problemen, da es speziell für die Anforderungen in der Automobilproduktion kaum Vorgaben oder Richtlinien gibt. Der Fokus lag bisher hauptsächlich auf Produktivität, Qualität und Auslastung.

Die bisherigen wissenschaftlichen Arbeiten in diesem Bereich bezogen sich zum einen auf die Planung und Gestaltung energieeffizienter Fertigungsprozesse in der Automobilindustrie, wie dies von Engelmann beeindruckend dargestellt wurde[24]. Darin war der Schwerpunkt der Untersuchungen auf den Karosseriebau gerichtet. Auf die spezifischen Prozesse anderer Technologien in der Automobilindustrie wurde dabei nicht weiter eingegangen.

[24] vgl.: Engelmann, J. (2008), (Dissertation).

Zum anderen gibt es eine Vielzahl von Betrachtungen zu Fabrikstrukturen, Gebäudeausstattungen (z. B. Baumaterialien), regenerativen Energieversorgungskonzepten und energieeffizienter technischer Gebäudeausrüstung (TGA). Bei letzterem fehlt wieder der Bezug zur Automobilproduktion beziehungsweise wurden dabei kaum die speziellen Anforderungen dieser Industrie berücksichtigt.

Besonders der Bereich der Fahrzeugmontage wurde bisher nicht in die Betrachtungen einbezogen. Das lag zum einen an dem relativ kleinen Anteil der Fahrzeugmontage am Gesamtenergieverbrauch eines Fahrzeugwerkes und zum anderen an der Differenziertheit der Anlagentechnik wie zum Beispiel verschiedene Fördertechniken, komplexe Prozessanlagen und technischer Gebäudeausrüstung (TGA). Montagegebäude sind bisher relativ einfache ein- oder mehrgeschossige Industriebauten. Auf die speziellen Anforderungen im Hinblick auf die Energie- und Ressourceneffizienz einer modernen und zukunftssicheren Fahrzeugmontage wurde bisher bei der Werks-, Struktur- und Fabrikplanung nicht eingegangen.

Eine ganzheitliche und strukturierte Analyse unter energieeffizienten Planungsprämissen beim Neubau von Industriebauten, vor allem unter Beachtung der speziellen Anforderungen einer Fahrzeugmontage, liegt noch nicht vor. Aus diesen Resultaten könnten Empfehlungen beziehungsweise Handlungsrichtlinien abgeleitet werden, die zudem auch in anderen Industriezweigen Verwendung finden könnten.

1.5 Abgrenzung des Betrachtungsrahmens

Ein Automobilwerk stellt ein hochkomplexes System verschiedener Produktions- und Versorgungsbereiche dar. Eine tiefgehende, ganzheitliche Betrachtung eines Komplettwerkes würde den Rahmen der vorliegenden Dissertation sprengen. Zudem liegen bereits Ergebnisse aus verschiedenen Teilbereichen (z. B. Lackiererei und Karosseriebau) vor.

Daher wird der Fokus auf den letzten Produktionsschritt im Entstehungsprozess eines Automobiles, der Fahrzeugmontage, gelegt. Eine grobe Analyse der einzelnen Werkstechnologien wird dennoch durchgeführt, um die Wirkzusammenhänge und Abhängigkeiten innerhalb dieses Systems zu verdeutlichen. Ein Alleinstellungsmerkmal der Fahrzeugmontage ist der relativ hohe Anteil an manuellen Fertigungsprozessen, begründet durch eine Vielzahl von komplizierten, nicht automatisierbaren Teilprozessen, die „Fingerspitzengefühl“ erfordern. Dies macht die Fahrzeugmontage zum Fertigungsbereich mit dem größten Anteil an der Belegschaft, was zu speziellen Anforderungen bei der Planung von energieeffizienten Fertigungsstätten führt. Weiterhin kommen in einer Fahrzeugmontage die unterschiedlichsten und zum Teil hochkomplexe Produktionsanlagen zum Einsatz. Dies wiederum bedingt zusätzliche Gestaltungsfreiräume bei der energieeffizienten Auslegung von Produktionsanlagen.

Der aktuelle Stand von Detailuntersuchungen innerhalb der Fahrzeugmontage unter dem Fokus der Energieeffizienz deckt erhebliche wirtschaftliche und technische Potentiale auf.[25] In einem bestehenden Produktionssystem stößt man sehr schnell an Grenzen, wenn man neben der technischen Machbarkeit auch die wirtschaftlichen Gesichtspunkte nicht aus den Augen verlieren möchte. Aufgrund von strukturellen Rahmenbedingungen kann die Amortisationszeit von Effizienzsteigerungsmaßnahmen unter bestimmten Bedingungen auf über zehn Jahre steigen.

[25] vgl. BMW Group 03 (2009), BMW interne Dokumente Abteilung TP-447.

Bei durchschnittlich sieben Jahren Lebenszyklus einer Produktionsanlage wird deutlich, dass dies nicht wirtschaftlich sein kann. Aus diesem Grund ist insbesondere bei der Planung von neuen Produktionsstätten ein Hauptaugenmerk auf die Nachhaltigkeit und Ressourceneffizienz zu legen. Steht eine Produktionshalle, inklusive der Medieninfrastruktur und der Technischen Gebäudeausrüstung (TGA), sind Änderungen daran sehr kostenintensiv beziehungsweise überhaupt nicht mehr realisierbar. Erkenntnisse aus dem Betrieb von Fabriken, Produktionssystemen und Anlagen müssen selbstverständlich in die Neuplanung einfließen. Weiterhin müssen zukünftige technische Entwicklungen und Trends auf Seite der Produktentstehung sowie der Produktionstechnik berücksichtigt werden.

Neue Fahrzeugkonzepte, innovative Materialien und nicht zuletzt zukünftige Fertigungstechnologien dürfen dabei nicht vergessen werden. Weitere Betrachtungsinhalte stellen die Bereiche Fabrik- und Strukturplanung dar. Darin enthalten sind Themen wie zum Beispiel die Standortauswahl, Bautechnik (Gebäudeausrichtung, Gebäudeform, Baumaterialien etc.), Energiebeschaffung und/oder -erzeugung. Ein weiterer wichtiger Punkt ist die ideale Gebäudeinfrastruktur für die Medienversorgung. Das Problem dabei ist der Spagat zwischen einer möglichst umfangreichen und transparenten Verbrauchserfassung und Reporting bei gleichzeitig möglichst geringen Investitionen. Hierzu sind intelligente Konzepte und Methoden zu entwickeln, um möglichst flexibel auf Veränderungen reagieren zu können.

Eine energieeffiziente Verwendung von Ressourcen durch Vermeidung oder Reduzierung des Energieverbrauches ist eine wichtige Stoßrichtung hin zum **„Ressourceneffizienten Werk der Zukunft“**. Auf der anderen Seite ist es wichtig, über den Einsatz und die Erzeugung von regenerativen Energien vor Ort oder die Lieferung regenerativer Energien nachzudenken. Abhängig vom jeweiligen Verwendungszweck und der jeweiligen Energieart kann ein Einsatz von regenerativen Energien Sinn machen. Auch hier sind bei einem „Brownfield-Ansatz“ die Grenzen schnell erreicht. Diesbezügliche Grundvoraussetzungen müssen definiert und in der frühen Planungsphase bei Neubauten („Greenfield-Ansatz“) berücksichtigt werden.

Erheblichen Einfluss dabei hat zum Beispiel die Standortwahl. In der Abbildung 1-6 sind die vier Stoßrichtungen einer ressourceneffizienten Fabrikplanung dargestellt.

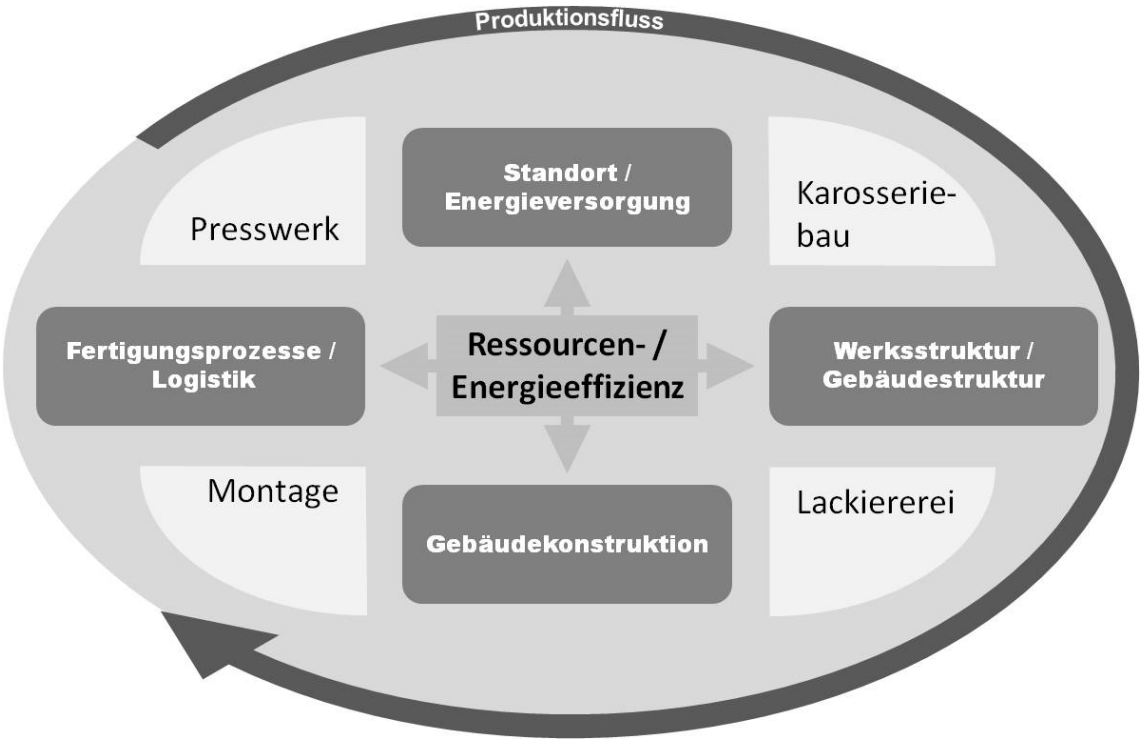


Abbildung 1-6: Hauptstoßrichtungen ressourceneffizienter Fabrikplanung

Neben der energetischen Betrachtung eines Gesamtwerkes inklusive aller Technologien, Versorgungsbereiche (Logistik, Energie, Medien) und Supportbereiche (Planung, Verwaltung, Werkssicherheit) wird hierbei speziell auf die Belange der Fahrzeugmontage eingegangen. Dabei darf ihre Einbindung in das Gesamtsystem „Produktionswerk“ natürlich nicht vernachlässigt werden. Eine Untersuchung möglicher Synergien unter den einzelnen Bereichen im Rahmen einer Input-/Output-Analyse ist hier sicher sinnvoll. So kann zum Beispiel eine „Abfallenergieart“ (Abwärme aus der Lackiererei) als Primärenergie in einer anderen Technologie, zum Beispiel Montage, für das Beheizen des Gebäudes verwendet werden.

Eine Ausweitung des Gesamtsystems auf Bereiche außerhalb des Werkszaunes würde über den Rahmen dieser Dissertation hinausgehen. Das Einbeziehen bereits bestehender Produktionsstandorte innerhalb, aber auch außerhalb der BMW Group zu Analysezwecken ist in diesem Zusammenhang jedoch sinnvoll, um beispielsweise die Energierelevanz bei der Standortwahl genauer betrachten zu können und mögliche Pros und Kontras abzuwägen.

2 Grundlagen

Bei der Bearbeitung der vorliegenden Themenstellung ist zunächst eine umfangreiche Analyse der Grundlagen und bereits vorhandener Methoden durchzuführen. In diesem Abschnitt wird zunächst auf Verschwendungsarten im Sinne von Lean Produktion oder Lean Manufacturing eingegangen. Neben einer Auflistung der Hauptverschwendungsarten wird hierbei auch eine Kategorisierung entwickelt und eine Methodik zur Analyse und Eliminierung dieser Verschwendungsarten aufgezeigt.

Wie bereits unter 1.5 erläutert, beschränkt sich der Betrachtungsumfang auf die Fahrzeugmontage. Daher wird hier zunächst die Energieverbrauchsstruktur einer Fahrzeugmontage aufgezeigt, bevor auf die Grundlagen der Fabrikplanung im Allgemeinen und die typische Struktur eines Automobilwerkes, inklusive einer Analyse der einzelnen Werkstechnologien wie Presswerk, Karosseriebau, Lackiererei, Montage und Logistik, im speziellen eingegangen wird.

Abschließend werden noch auf die verschiedensten Gesetze, Normen und Standards zur Nachhaltigkeit und Energieeffizienz erläutert und der aktuelle Stand aufgezeigt.

2.1 9+1 Verschwendungsarten im industriellen Sektor

Bereits Henry Ford hat in der Beschreibung seiner Grundprinzipien unter anderem die besondere Stellung von Verschwendungen in einem Produktionssystem hervorgehoben. Die Vermeidung aller Formen von Verschwendungen ist die Grundlage für den betrieblichen Erfolg. Jede Form von schlanker Produktion (lean manufacturing) unterbindet oder eliminiert die eine oder andere Verschwendungsart. Man muss Verschwendungen erkennen, bevor man sie eliminieren kann! Diese Fähigkeit war zweifelsohne ein Erfolgsgeheimnis von Henry Ford.[26]

[26] vgl.: Levinson, A. L. (2002), S. 18.

Das klassische Toyota Produktions System (TPS) nach Taiichi Ohno kennt sieben Arten der Verschwendung **T-I-M-W-O-O-D**[27]:

1) **Transport =** Transport
2) **Inventory =** Bestände
3) **Motion =** Bewegung
4) **Waiting =** Warten
5) **Over-Production =** Überproduktion
6) **Over-Engineering =** Falsche Technologie/Prozesse
7) **Defects =** Ausschuss/Nacharbeit.

Diverse Quellen definieren zusätzlich auch das ungenutzte **Mitarbeiterpotential**[28] (Know How) und schlechte **Ergonomie**[29] als zusätzliche Verschwendungsarten. Innerhalb der BMW Group wird zwischen Verschwendungen im direkten, wertschöpfenden Produktionsbereich und in indirekten, nicht wertschöpfenden Bereichen wie zum Beispiel Planung, Verwaltung und Einkauf unterschieden.

Abbildung 2-1 verdeutlicht anschaulich die Differenzierung beziehungsweise Kategorisierung der Verschwendungsarten. Dabei wird unterschieden zwischen offenen- und verdeckten Verschwendungen. **Offene Verschwendungen** sind leicht identifizierbar und lassen sich relativ schnell vermeiden. Bei **verdeckten Verschwendungen** sind meist kostenintensive Veränderungen oder Optimierungen durchzuführen.

[27] vgl.: Lean Production Expert (2013), Die 7 Verschwendungsarten.

[28] vgl.: Widmann, K., Maier, M., Pralle, M. (2012), selbstVerständlich Six Sigma, S. 213.

[29] vgl.: Volkswagen AG (2012), Autogramm Ausgabe 10/2012.



Abbildung 2-1: Verschwendungsartenrondell

Energieressourcenverschwendung wurde hierbei bisher weder bei Toyota noch bei BMW, berücksichtigt. Die Verschwendung von Ressourcen hat natürlich neben dem negativen betriebswirtschaftlichen Effekt auch gesellschaftspolitische Folgen wie zum Beispiel ein negatives Image. Man unterscheidet zwischen immateriellen und materiellen Ressourcen. In die Kategorie **immaterielle Ressourcen** fallen zum Beispiel Know-how (Forschung, Patente, Ausbildung), Dienstleistungen, Prestige und Zeit**. Materielle Ressourcen** sind im Allgemeinen Rohstoffe, Betriebsmittel, Boden, Kapital und Energie. Daher sind Energieressourcen unabdingbar in der Betrachtung von Verschwendungen und somit als zusätzliche, **10. Verschwendungsart**, im Lean Production Gedanken zu verankern. Nicht erst seit Einführung des wertschöpfungsorientierten Produktionssystems (WPS) findet dieser Ansatz bei der BMW Group durch eine nachhaltige Ressourcenpolitik Anwendung.

Hiroyuki Hirano, ein weiterer japanischer Lean-Manufacturing-Spezialist, hat die sogenannte 5S-Methode entwickelt. Diese Methode beinhaltet mehrere Schritte, um Verschwendungen, die zu Fehlern, Defekten oder gar zu Verletzungen führen könnten, sichtbar zu machen und zu eliminieren.

Im deutschen Sprachraum wird auch von der 5A-Methode gesprochen. Abbildung 2-2 ist eine graphische Darstellung der 5S- beziehungsweise 5A-Methode.[30]

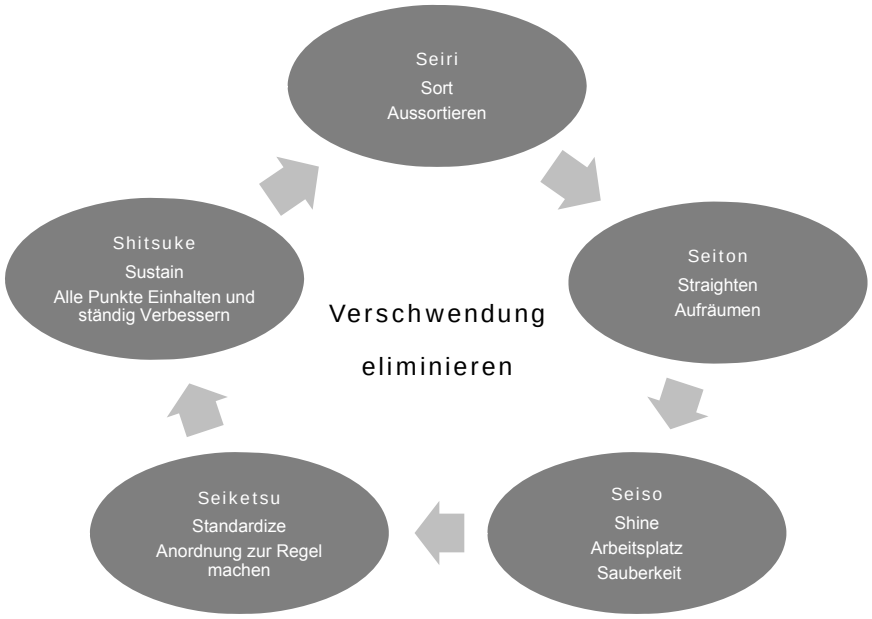


Abbildung 2-2: 5S-Methode (in Anlehnung an Liker, J. K. (2004))

Innerhalb der BMW Group spricht man zusätzlich auch von einem sechsten S, der Safety oder Arbeitsplatzsicherheit. Bezugnehmend auf die 9+1 Verschwendungsarten sollte hierbei allerdings auf jeden Fall die Ressourcenverschwendung mit berücksichtigt werden.

Somit kann man in diesem Zusammenhang letztendlich von einem **7. Element,** also einem weiteren **S** (**S**ustainable use of Ressources) beziehungsweise einem weiteren **A** (**A**chte auf Ressourcenverschwendung) sprechen.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, um eine ganzheitliche Erfassung von Verschwendungen sicherzustellen, muss in Zukunft von 10 Verschwendungsarten gesprochen werden.

[30] vgl.: Liker, J. K. (2004), S.150-152.

1. **Transport**
2. **Bestände**
3. **Bewegung**
4. **Warten**
5. **Überproduktion**
6. **Falsche Technologie / Prozesse**
7. **Ausschuss / Nacharbeit**
8. **Ungenutztes Mitarbeiterpotential**
9. **Schlechte Ergonomie**
10. **Energieressourcen**

Als Werkzeug für eine nachhaltige Eliminierung von Verschwendungen muss demzufolge die 7S- oder 7A-Methodik in Unternehmen verankert werden und aktiv gelebt werden.

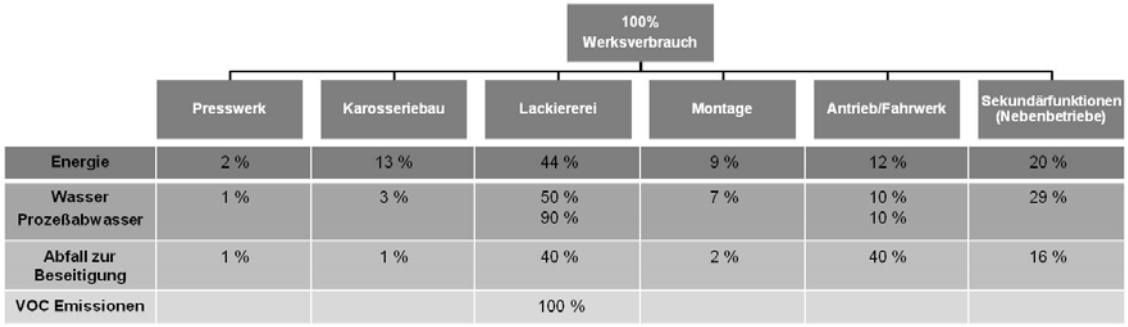
2.2 Energieverbrauchsstruktur der Fahrzeugmontage

Die Fahrzeugmontage zählt zu den flächengrößten Bereichen in einem Automobilwerk. Sie stellt zudem den personalintensivsten Prozessabschnitt während der Fahrzeugproduktion dar. Mit Blick auf die Energienutzung und den Energieverbrauch ist dies ein wesentlicher Faktor. Die Einflussgröße Mensch ist als Bestandteil und mögliche Fehlerquelle im energetischen Gesamtsystem zu berücksichtigen. Am Beispiel des BMW-Werkes Leipzig, eines der modernsten Automobilwerke weltweit, wird im Folgenden die Energieverbrauchsstruktur der Fahrzeugmontage erläutert.[31]

Bei der Analyse der Verbrauchsstruktur in der Montage ist besonders auffällig, dass in diesem Bereich grundsätzlich eine andere Verteilung der Energiearten herrscht als im gesamten Werk (vgl. Abbildung 2-4).

[31] Wie bereits im Abschnitt 1.4 erläutert, bestehen bereits Untersuchungen für den Bereich der Lackiererei und dem Karosseriebau. Im weiteren Verlauf wird auf die Technologie Montage fokussiert.

Die Fahrzeugmontage hat, abhängig von der jeweiligen Fertigungstiefe, einen relativ geringen Anteil am Gesamtenergieverbrauch eines Automobilwerkes. Wie aus der folgenden Abbildung deutlich wird, ist die Lackiererei der größte Einzelenergieverbraucher gefolgt vom Karosseriebau und Antrieb/Fahrwerk. Die Fahrzeugmontage belegt mit neun Prozent den vierten Platz. Das Presswerk hat den geringsten Energieverbrauch im Vergleich der Kerntechnologien.



	Presswerk	Karosseriebau	Lackiererei	Montage	Antrieb/Fahrwerk	Sekundärfunktionen (Nebenbetriebe)
Energie	2 %	13 %	44 %	9 %	12 %	20 %
Wasser Prozeßabwasser	1 %	3 %	50 % 90 %	7 %	10 % 10 %	29 %
Abfall zur Beseitigung	1 %	1 %	40 %	2 %	40 %	16 %
VOC Emissionen			100 %			

Abbildung 2-3: Energieverteilung Energiearten nach Technologien (BMW)

Während werksweit die Nutzung von Erdgas und Elektroenergie den Verbrauch dominiert, stellen im Bereich der Montage die erzeugte Wärme und die Nutzung von Elektroenergie die Hauptverbraucher dar. Die Primärenergien Elektroenergie und Erdgas werden auf dem Werksgelände in der Energiezentrale anteilig genutzt, um Sekundärenergien wie Druckluft und Wärme zu erzeugen.

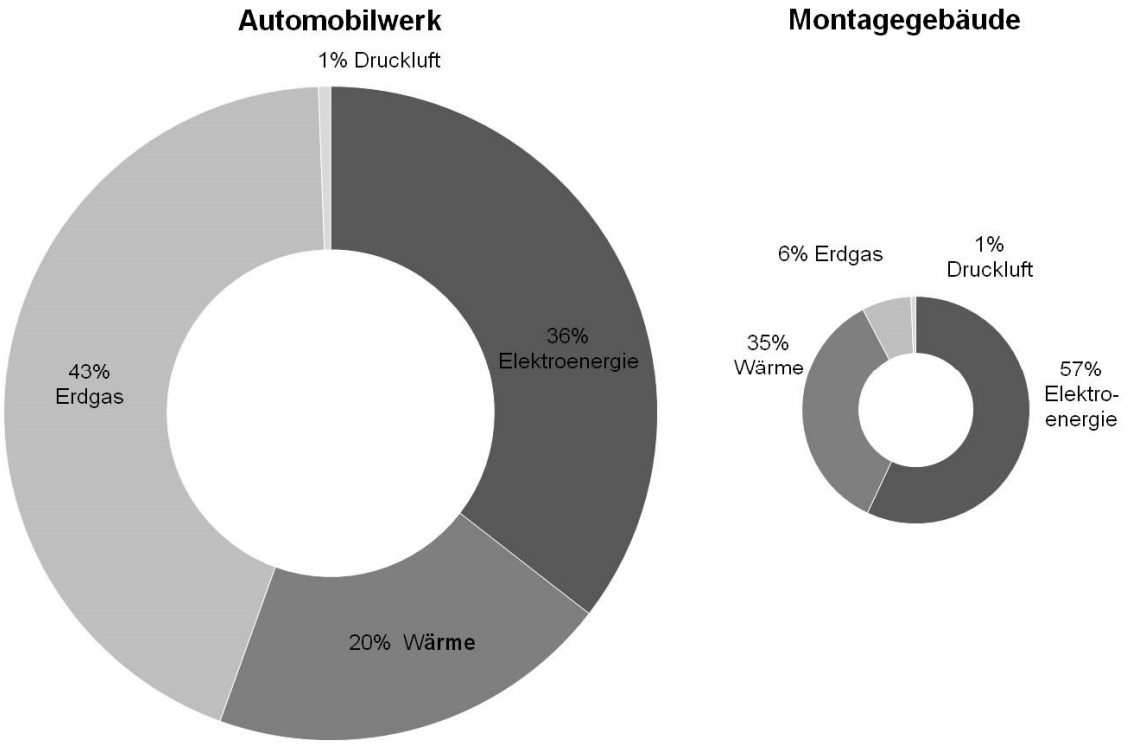


Abbildung 2-4: Energieverteilung Automobilwerk und Fahrzeugmontage

Die Analyse der Energiekosten (Abbildung 2-5) zeigt, dass im Jahresverlauf knapp drei Viertel der Gesamtenergiekosten in der Montage durch den Einsatz von Elektroenergie verursacht werden. Die Gründe hierfür liegen zum einen in dem verhältnismäßig hohen Stromverbrauch, zum anderen aber auch in den im Vergleich zum Erdgas höheren Stromkosten je Kilowattstunde.

Allein die Gebühren des Stroms erhöhen die Bedeutung des Mediums von 57 Prozent aus Verbrauchssicht auf knapp 72 Prozent aus Kostensicht, siehe auch Abbildung 2-5.

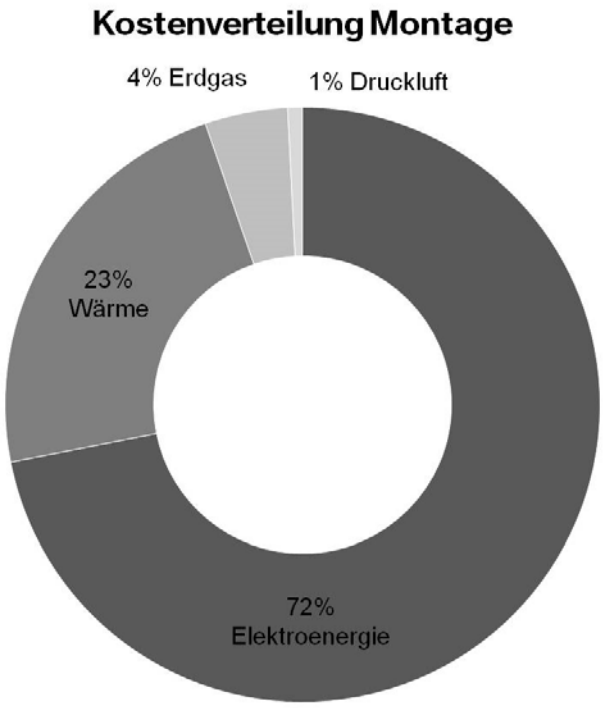


Abbildung 2-5: Energiekostenverteilung Fahrzeugmontage

Eine Analyse des Elektroenergieverbrauchs in Abbildung 2-6 verdeutlicht, dass in der Fahrzeugmontage drei große Hauptverbraucher existieren. Neben dem Bereich Anlagentechnik und Belüftung ist die Beleuchtung mit über 30 Prozent der größte Stromverbraucher.

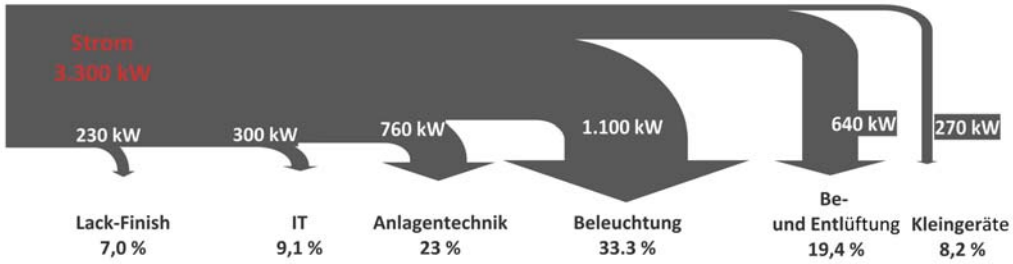


Abbildung 2-6: Hauptverbraucher Fahrzeugmontage (BMW Werk Leipzig 2012) [32]

[32] vgl.: Imgrund, Ch. (2011), Veröffentlichung in ATZ Produktion, S. 44 ff.

2.3 Fabrikplanung

Produzierende Unternehmen müssen heute ihre Prozesse an die sich im zunehmenden Maße ändernden Marktanforderungen anpassen. Bedingt durch die Globalisierung der Märkte müssen somit die innerbetrieblichen Abläufe flexibilisiert werden, um schnellstmöglich auf die dynamischen Rahmenbedingungen reagieren zu können. Dies gilt auch für die Fabrik- oder Strukturplanung.[33] Neben dem Entscheidungsspielraum ist ebenfalls die Kostensituation ein ausschlaggebendes Charakteristikum im Planungsprozess. In Abbildung 2-7 wird verdeutlicht, dass in der frühen Planungsphase der Einfluss auf die Kosten am größten ist. Der Detaillierungsgrad und die Planungstiefe nehmen aber erst mit Projektfortschritt zu. Daher ist der Fokus deutlich auf die Erhöhung der Informationsdichte zum Planungsbeginn zu legen. Gegen Ende der Planungstätigkeit wird der Entscheidungsspielraum zunehmend enger und somit der Einfluss auf die Kosten geringer.

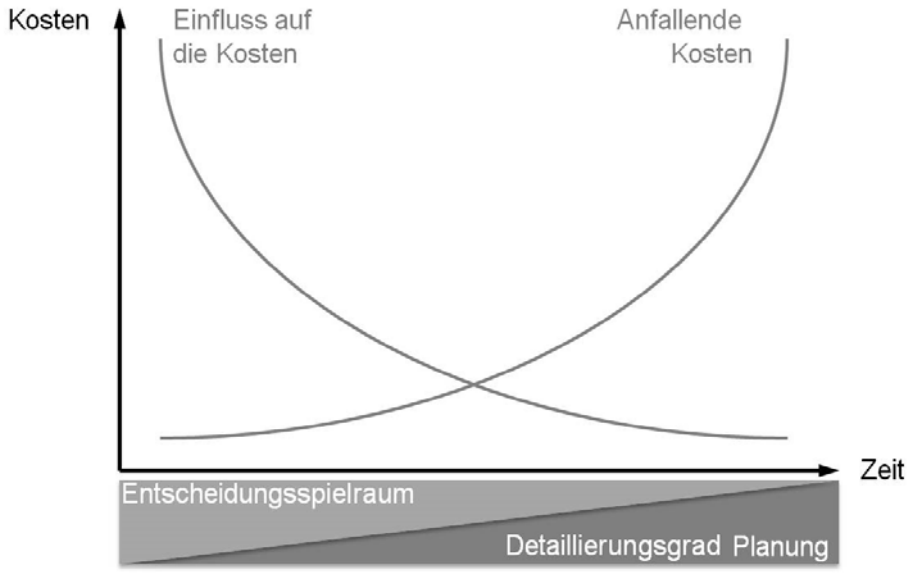


Abbildung 2-7: Beeinflussbare und festgelegte Kosten im Planungsverlauf[34]

[33] vgl.: Schmigalla, H, (1995), S. 13 ff.

[34] vgl.: Kosturiak, J., Gregor, M. (1995), S. 64.

2.3.1 Aufgaben und Ziele der Fabrikplanung

Die Fabrikplanung ist ein Teilgebiet der Unternehmensplanung und befasst sich mit der Gestaltung und Verwirklichung von Investitionsvorhaben.[35] Nach Wiendahl muss eine Fabrik rentabel, flexibel und attraktiv sein:[36]

Rentabel durch minimale Durchlaufzeiten und geringe Bestände bei maximaler Wertschöpfung. Die Produkte sind termin- und qualitätsgerecht herzustellen durch einen optimalen Produktions- und Materialfluss bei gleichzeitig bestmöglicher Auslastung von Anlagen, Flächen und Personal.

Flexibel bei der Anpassung an Marktveränderungen durch rasche Struktur-, Ablauf- und Organisationsänderungen. Neue Produkte oder Technologien sowie Kapazitätsschwankungen können zusätzlich Anforderungen an die Flexibilität von Unternehmen stellen.

Attraktiv für Mitarbeiter, Kunden und die Öffentlichkeit durch motivierende und humane Arbeits-, Entlohnungs- und Sozialbedingungen, Umweltverträglichkeit und eine ästhetische Industriearchitektur der Produktionsgebäude (Corporate Identity).

Daraus lassen sich im Wesentlichen vier Kernziele der Fabrikplanung ableiten, die bei Bedarf um weitere Anforderungen ergänzt werden können:[37]

- Günstiger Produktions- beziehungsweise Fertigungsfluss
- Menschengerechte Arbeitsbedingungen
- Gute Flächen- und Raumausnutzung
- Hohe Flexibilität der Bauten, Anlagen und Einrichtungen.

[35] vgl.: Aggteleky, B. (1987), S. 26.

[36] vgl.: Wiendahl, H.-P., Fiebig, C., Harms T. (2000).

[37] vgl.: Kudlich, T. (2000), (Dissertation) S. 15. und Kettner, H.; Schmidt, J.; Greim, H.-R. (1984).

In der Regel ist die Fabrikplanung ein Mittel zur Zielerreichung des eigentlichen Betriebszweckes (z. B. der Automobilproduktion). Es wird unterschieden zwischen langfristigen, mittelfristigen und kurzfristigen Fabrikplanungsprojekten, die sich jeweils in verschiedene Planungskonzepte wie Neu-, Erweiterungs-, Umbau- und Rückbauplanung einordnen lassen.[38]

2.3.2 Der Fabriklebenszyklus

Ähnlich wie bei Produkten durchläuft auch eine Fabrik einen Lebenszyklus. Dieser ist im Regelfall deutlich länger als der Produktlebenszyklus. In der Automobilindustrie hat sich dieser, bedingt durch den Verdrängungswettbewerb, steigende Kundenanforderungen und die Diversifikation im Produktportfolio der Hersteller kontinuierlich verkürzt. Dies hat zwangsläufig auch Folgen für den Fabriklebenszyklus.

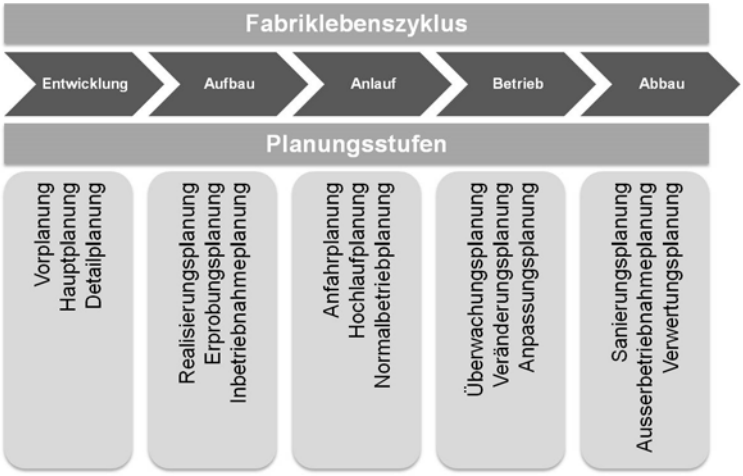


Abbildung 2-8: Planungsphasen des Fabriklebenszyklus[39]

In der Abbildung 2-8 des Fabriklebenszyklus nach Schenk sind die einzelnen Phasen gleich groß dargestellt, was in der Realität selbstverständlich nicht der Fall sein kann.

[38] vgl.: Schenk, M., Wirth, S. (2006) , S. 228 ff.

[39] vgl.: Schenk, M., Wirth, S. (2006), S. 187.

Die Phase des Fabrikbetriebes stellt in der Regel den mit Abstand größten Zeitabschnitt dar. Müller betrachtet zudem auch die Lebenszyklen von Produkt, Betriebsmitteln und Gebäuden die parallel zum Fabriklebenszyklus ablaufen und diesen mit beeinflussen.[40]

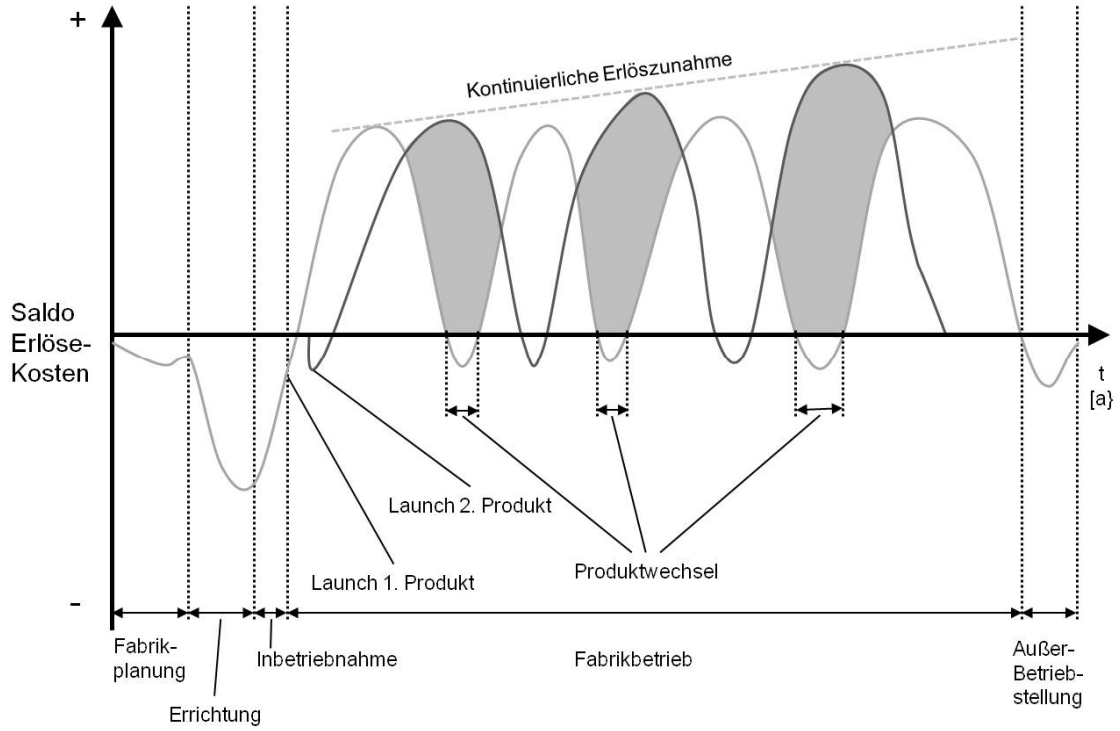


Abbildung 2-9: Fabriklebenszyklus mit Verlauf des Saldos aus Erlösen und Kosten (in Anlehnung an Müller)[41]

Mit jedem Produktwechsel wiederholen sich einzelne Planungsstufen und Phasen im Produktlebenszyklus. Durch den Launch eines weiteren Produktes während der Reifephase des ersten Produktes lässt sich der Erlösrückgang während der Rückgangsphase des ersten Produktes kompensieren (graue Fläche in Abbildung 2-9). Somit wird eine Phasenverschiebung zwischen den beiden Produkten erzeugt und die Amplitude der Erlöse kann dadurch geglättet werden.

[40] vgl.: Müller, E.; Engelmann J.; Löffler T.; Strauch J. (2009), S. 54.

[41] vgl.: Müller, E.; Engelmann J.; Löffler T.; Strauch J. (2009), S. 55.

Dieser Effekt kann noch verstärkt werden, wenn weitere Produkte während des Fabrikbetriebes auf den Markt gebracht werden. Zusätzlich muss darauf geachtet werden, dass die Erlöse kontinuierlich, durch zum Beispiel zusätzliche Marktanteile oder Effizienzsteigerungen, wachsen. Ist dies nicht der Fall, befindet sich die Fabrik in einer Stagnation und ist somit bei hohem Wettbewerbsdruck nicht mehr konkurrenzfähig.

2.3.3 Planungsphasen

Der Fabrikplanungsprozess besteht aus den folgenden drei groben Planungsphasen, wobei nicht unterschieden wird, ob es sich um eine Neu- oder Umbauplanung handelt:

- Zielplanung,
- Konzeptplanung und
- Ausführungsplanung.

Die ***Zielplanung*** definiert, basierend auf der Ausgangssituation (z. B. Neu- bzw. Umbau oder auch Greenfield beziehungsweise Brownfield), den Veränderungs- und Planungsbedarf. Zunächst ist der Planungsumfang abzugrenzen und die Grundvoraussetzungen wie zum Beispiel Investitionsvolumen, Produktionsprogramm, Personalkonzept und erforderliche Technologien sind festzulegen. Der Sollzustand der zukünftigen Produktionsstätte ist herauszuarbeiten und in einer Machbarkeitsstudie bezüglich Realisierbarkeit (technisch und wirtschaftlich), Ressourcenbedarf und zeitlicher Realisierungsrahmen zu bewerten. Abschließend sind ein Projektstartbrief und ein Projektterminplan zu erstellen.

Die ***Konzeptplanung*** umfasst die Lösungsentwicklung in Form von verschiedenen Konzepten beziehungsweise Varianten, die in Strukturlayouts detailliert und anschließend unter verschiedenen Gesichtspunkten bewertet werden. Als Ergebnis liegt am Ende dieser Planungsphase ein Planungsentwurf vor, der nach Abwägung aller Vor- und Nachteile als Idealvariante bezeichnet werden kann.

Bei der ***Ausführungsplanung*** werden die Ergebnisse der Konzeptplanung weiter detailliert. Das finale Strukturlayout wird ergänzt durch Detaillayouts von Anlagen und Produktionseinrichtungen. Die Ausschreibung und Vergabe von Dienstleistungen, Einrichtungen und Anlagentechnik stellt den Abschluss dieser Planungsphase dar.[42]

Eine andere Form der Strukturierung zur Vorgehensweise bei der Fabrikplanung stellt das 6-Phasen-Modell nach Kettner dar.[43] In Anlehnung an Grundig vermittelt die folgende Tabelle einen Eindruck über die Struktur der Planungsphasen.

Tabelle 2-1: 6-Phasen-Modell in Anlehnung an Grundig[44]

Planungskomplexe	Planungsphasen	Planungsaktivitäten
(A) Planungsgrundlagen	**1 Zielplanung**	• Analyse (IST-SOLL-Zustand) • Zielkonzept/Vorgaben
	2 Vorplanung	• Potentialanalyse • Produktionsprogramm • Investitionsplanung/Budget • Lösungsprinzip
(B) Fabrikstrukturplanung	**3 Grobplanung** 3.1 Idealplanung 3.2 Realplanung	 • Funktionsbestimmung • Dimensionierung • Strukturierung • Gestaltung (räumlich,funktionell)
(C) Ausführungsplanung/ Detailplanung	**4 Feinplanung**	• Betriebsmittel • Feinlayout (Ver- und Entsorgung) • Organisationsstrukturen
(D) Projektumsetzung	**5 Ausführungsplanung**	• Ablauf- und Organisationsplanung • Ausschreibungen
	6 Ausführung	• Realisierung, Abnahmen • Inbetriebnahme

[42] vgl.: Müller, E.; Engelmann J.; Löffler T.; Strauch J. (2009), S. 110 & Aggteleky, B. (1987).

[43] vgl.: Kettner, H.; Schmidt, J.; Greim, H.-R. (1984), S. 5 ff.

[44] vgl.: Grundig, C.-G. (2006), S. 27 ff.

Diese stufenweise Aufeinanderfolge der verschiedenen Planungsphasen kann in vier klassische Planungskomplexe eingeteilt werden. Jede einzelne Planungsphase beinhaltet mehrere Planungsaktivitäten. Eine klare Trennung zwischen den jeweiligen Phasen ist nicht gegeben, vielmehr überlappen sich die einzelnen Phasen teilweise. Zum Abschluss der Planungskomplexe A-Planungsgrundlagen und B-Fabrikstrukturplanung sind Entscheidungen erforderlich. Es stehen die folgenden Entscheidungsmöglichkeiten zur Auswahl[44]:

- Bestätigung und Beginn der Feinplanung
- Bestätigung mit Korrektur (ggf. Iteration in der jeweiligen Planungsphase)
- Planungsabbruch.

2.4 Allgemeine Struktur eines Automobilwerkes

„In der Automobilindustrie sind höchste Anforderungen an eine industrielle Produktion vereint. Ein Automobil stellt ein hochkomplexes Produkt dar, das in Deutschland in einer hohen Kundenindividualität mit Stückzahlen der Massenproduktion in einem harten Wettbewerb produziert wird.“[45]

Aus diesem Zitat lässt sich schlussfolgern, dass die Anforderungen an ein Automobilwerk vielschichtig und breit gefächert sind. Die internationalen Absatzmärkte sind derzeit durch einen raschen Technikfortschritt geprägt. Zudem herrscht in der Automobilindustrie ein enormer Wettbewerbsdruck. Die Automobilhersteller versuchen, durch kürzere Produktlebenszyklen und eine höhere Variantenvielfalt Nachfrageschwankungen zu kompensieren. Daraus ergibt sich die Notwendigkeit, kurzfristig und flexibel auf die veränderten Absatzmärkte reagieren zu können.[46] Im Folgenden wird die Struktur eines modernen Automobilwerkes aufgezeigt.

[45] Wiendahl, H.-P., Gerst, D., Keunecke, L. (2004), S. 5.

[46] vgl.: Imgrund, Ch. (2006), Masterarbeit, S. 15.

2.4.1 Technologie Presswerk

In einem Presswerk werden alle Blecheinzelteile, die zur Herstellung der Fahrzeugkarosserie in der klassischen Blech-Schalen-Bauweise benötigt werden, hergestellt. Der mehrstufige Fertigungsprozess beginnt mit einem gewalzten Blechband, das zu einem mehrere Tonnen schweren Coil aufgerollt ist (siehe Abbildung 2-10). Abhängig von der Bauteilart und -grösse wird direkt vom Coil oder von Platinen produziert. In der Regel werden mehrere Universalpressen in Reihe angeordnet, man spricht dann von einer Pressenlinie. Die Anzahl der Pressen ist abhängig von der Anzahl der einzelnen Arbeitsfolgen und somit auch von der Komplexität des Werkstückes. Die einzelnen Pressen sind verbunden durch vollautomatische Transporteinrichtungen.

Vor dem Umformvorgang werden die Blech-Rohteile gereinigt und geschmiert. Danach beginnt der Umformprozess mit der ersten Presse, der sogenannten Kopfpresse. In den weiteren Bearbeitungsstufen Schneiden, Abkanten und Nachformen erhält das Werkstück seine endgültige Form. Den letzten Arbeitsschritt stellt das Stapeln der Einzelteile in Spezialbehälter dar.



Abbildung 2-10: Servo-Pressen-Anlage BMW Werk Leipzig (links), Coil (rechts)

Pressenanlagen haben, verglichen mit anderen Produktionsanlagen, ein sehr hohes Investitionsvolumen und somit eine langfristige Kapitalbindung.

Die Lebensdauer einer Pressenanlage dauert mehrere Jahrzehnte. Dies stellt spezielle Anforderungen an die Auslegung und Dimensionierung eines Presswerkes.

2.4.2 Technologie Karosseriebau

Aus mehreren hundert Blech-Einzelteilen, unzähligen Bolzen und Nieten wird im Karosseriebau das Grundgerüst eines Fahrzeuges in mehreren Teilprozessen und mit einem sehr hohen Automatisierungsgrad hergestellt. Bei modernen Fahrzeugen kommen verschiedene Materialien zum Einsatz, die unterschiedliche Schweißtechnologien (z. B. Punktschweißen, MIG- bzw. MAG-Schweißen und Laserschweißen) oder Fügetechniken wie Nieten oder Kleben erfordern. Zusätzlich werden in diesem Fertigungsabschnitt einige hundert Gewindebolzen angeschweißt, die im späteren Montageprozess unerlässlich sind.

Der Karosseriebauprozess beginnt prinzipiell mit dem Fügen der Bodengruppe, gefolgt vom Fügen der Seitenrahmen und dem Dach zum Karosseriegerippe (siehe Abbildung 2-11). Anschließend werden alle Anbauteile wie Türen und Klappen im Karosseriefinish montiert, sowie verschiedene Löt- und Schleifvorgänge durchgeführt. Die Anbauteile werden zuvor auf kleineren Prozessanlagen ebenfalls aus mehreren Einzelteilen vorgefertigt und dem Produktionsfluss zugeführt.

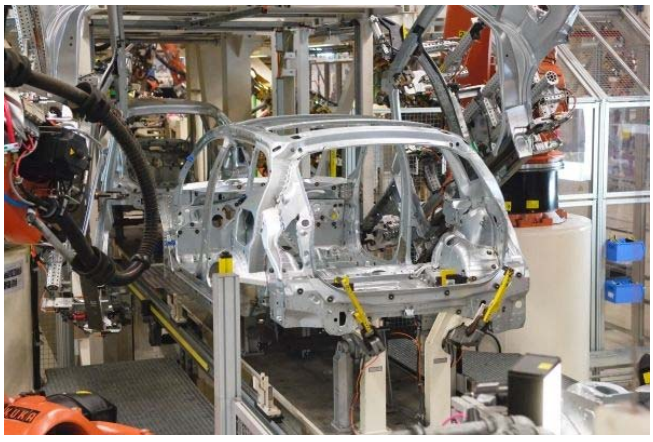


Abbildung 2-11: Karosseriebauanlage BMW X1, Werk Leipzig

Wie bereits zuvor erwähnt, ist der Karosseriebau die Technologie mit dem höchsten Automatisierungsgrad von über 95 Prozent. Grundsätzlich kann zwischen Fördertechnik und Prozessanlagen unterschieden werden. Mehrere hundert Roboter kommen hier zum Einsatz.

2.4.3 Technologie Lackiererei

In einer modernen Lackiererei können mehrere hundert Serien- und Individualfarben lackiert werden. Eine Lackiererei ist allerdings weit mehr als nur ein farbgebender Prozessabschnitt im Fahrzeugentstehungsprozess. Im ersten Prozessschritt wird die Rohkarosserie gereinigt und entfettet, um Verschmutzungen und Rückstände aus den vorherigen Fertigungsabschnitten zu entfernen. Anschließend wird die Karosserie einer Korrosionsschutzbehandlung unterzogen. Im BMW Werk Leipzig geschieht dies mit Hilfe einer kathodischen Tauch-Lackierung (KTL).

Zur Abdichtung von Nähten und Fugen wird, teils manuell und teils vollautomatisiert, eine Dichtmasse- und der Unterbodenschutz aufgetragen. Danach erfolgt die Füllerlackierung durch Roboter und Lackieranlagen. Die eigentliche Farblackierung erfolgt in der sogenannten Basislackierung, die ebenfalls vollautomatisiert geschieht. Der letzte Lackierprozess ist der Auftrag des Pulverklarlackes ebenfalls durch Roboter und Lackieranlagen (siehe Abbildung 2-12). Zwischen allen Lackierprozessen durchlaufen die Karossen Trockneranlagen und unterziehen sich schließlich einer Oberflächenqualitätskontrolle bevor alle korrosionskritischen Hohlräume mit Konservierwachs final behandelt werden.



Abbildung 2-12: Tauch-Lackierung (KTL), Pulverklarlack, BMW Werk Leipzig

Die Lackiererei ist der Bereich innerhalb eines Fahrzeugwerkes, der am energieintensivsten ist. Besonders hinsichtlich der Nachhaltigkeit und des Umweltschutzes müssen hier erhöhte Anforderungen an die Fabrikplanung gestellt werden.

2.4.4 Technologie Montage

Den letzten Prozessschritt vor der Auslieferung der fertigen Fahrzeuge stellt die Montage dar. Nachdem die lackierte Rohkarosse das Hochregallager (HRL) verlassen hat, wird sie über die Fördertechnik in die Montage transportiert. Das Hochregallager dient zur Entkopplung und zur Sequenzierung der verschiedenen Rohkarossen-Varianten. In der Montagehauptlinie werden die Karossen wie an einer Perlenkette aufgereiht und befinden sich von nun an in einer kontinuierlichen Fließbewegung. Das Montageband ist in gleichlange Abschnitte, den sogenannten Arbeitstakten, unterteilt und jeder Takt hat die gleiche Zeit (Taktzeit) zur Verfügung. Parallel zur Förderbewegung werden am Fahrzeug verschiedene manuelle, teilautomatisierte und vollautomatisierte Montageprozesse durchgeführt. Grundsätzlich kann die Montage in die drei Hauptbereiche Karosseriemontage, Endmontage und Prüffeld/Finish untergliedert werden (siehe Abbildung 2-13).

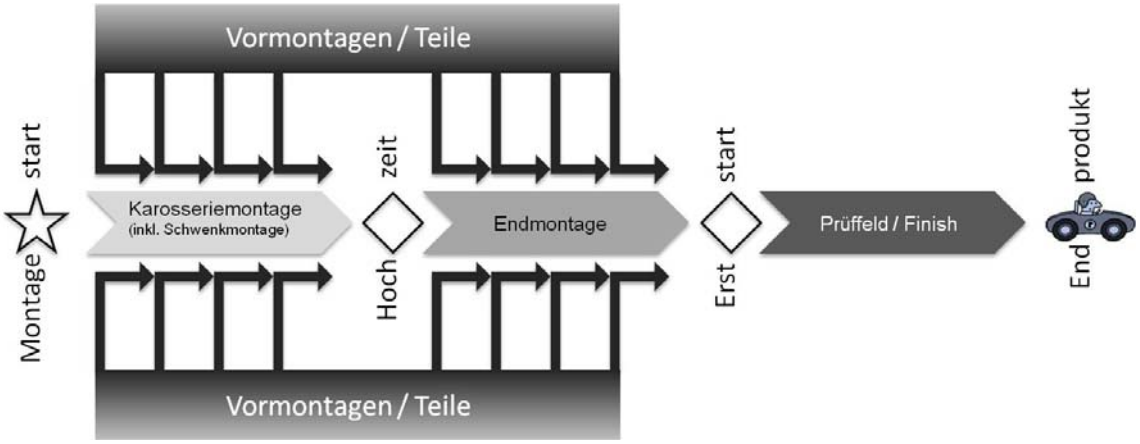


Abbildung 2-13: Prinzipdarstellung klassischer Montagefluss bei BMW (in Anlehnung an Grüneisl[47])

In der Karosseriemontage werden der Kabelbaum, die wesentlichen Komponenten der Fahrzeugelektrik und die komplette Innenausstattung des Fahrzeuges verbaut. Eine Besonderheit stellt die Schwenkmontage dar. Hier kann, zur besseren Ergonomie, die komplette Karosse in Längsrichtung rechts oder links geschwenkt werden. Im Anschluss daran erfolgt die Verschraubung von Karosserie und Antriebsstrang (die sog. Hochzeit) sowie die Installation der Abgasanlage, der Stoßfänger und der Radanbau. Mit der Medienbefüllung (z. B. Bremsflüssigkeit, Kühlwasser und Benzin) und dem darauffolgenden Erststart endet der zweite Bereich, die Endmontage. Der letzte Bereich ist das Prüffeld/Finish. Im Prüffeld durchläuft das Fahrzeug alle finalen Funktionstests und die letzten Einstellungen. Abschließend wird noch eine Qualitätskontrolle durchgeführt, bevor das fertige Fahrzeug an die Auslieferung übergeben wird.[48] Der Aufbau des Gebäudes orientiert sich an einer sogenannten „Kammstruktur“. Die einzelnen „Zacken“ werden auch als „Finger“ bezeichnet. Die Vorteile liegen vor allem in der optimalen Zugänglichkeit für die Direktanlieferung von Zulieferteilen und vormontierten Modulen über die Direktanlieferungstore (DAL) bis zum Fertigungsband. Zudem sind künftige Erweiterungen flexibel gestaltbar.

[47] vgl.: Grüneisl, M. (2001), Diplomarbeit, S. 40.

[48] vgl.: Imgrund, Ch. (2006), Masterarbeit, S. 20 ff.

Das Layout der Fahrzeugmontage im Werk Leipzig besticht durch eine klare Anordnung der einzelnen Bereiche (vgl. Abbildung 2-14). Große Prozessanlagen, beispielsweise für den Scheiben- oder Cockpiteinbau, sind in der Mittelspange positioniert. Von einer möglichen Verlängerung der „Finger“ um weitere Montagetakte und einer anschließenden Taktverlegung würden diese Hauptprozessanlagen unberührt bleiben. Sie werden bei bestehenden und zukünftigen Fahrzeugtypen zu 100 Prozent benötigt und rechtfertigen daher ihren zentralen Standort. Das bestehende Layout birgt ein hohes Maß an Flexibilität, um sich auch zukünftig auf neue Fahrzeuge einstellen zu können.

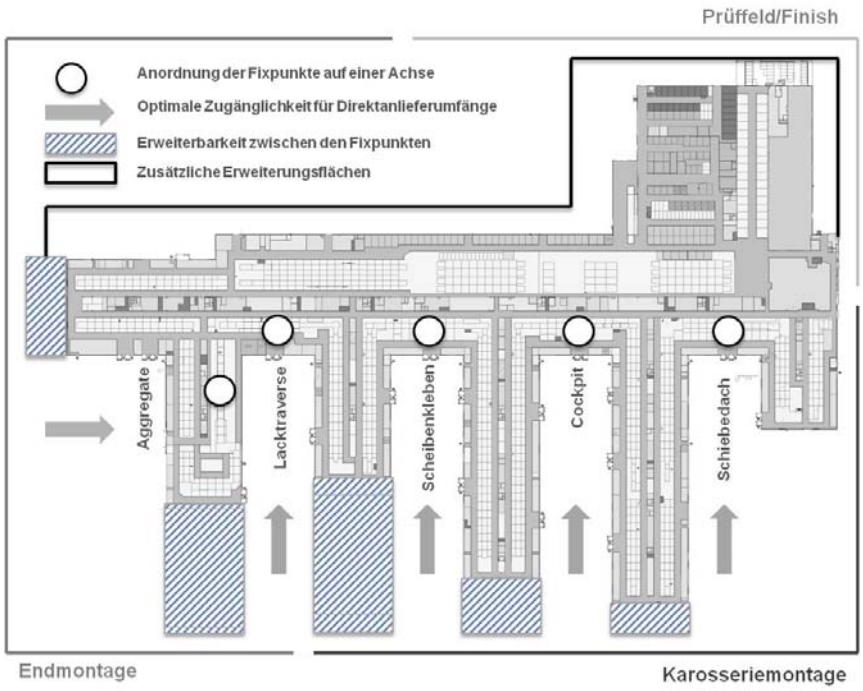


Abbildung 2-14: Gliederung der Montagehalle Werk Leipzig (BMW Leipzig (2013))

2.4.5 Montage-Logistik

Aufgrund der Tatsache, dass in der Fahrzeugmontage mehrere tausend Einzelteile, etliche Zusammenbauten und viele Module verbaut werden, ist der Anteil der Wertschöpfung hier am größten.

Die Montage-Logistik spielt hierbei eine tragende Rolle, da die benötigten Teile zur richtigen Zeit, in der richtigen Menge, im richtigen Zustand und der besten Qualität am Verbauort zur Verfügung gestellt werden müssen. Am Beispiel des BMW-Werkes Leipzig wurde bereits beim Werksaufbau darauf geachtet, die Strukturen möglichst flexibel zu gestalten. Aus diesem Grund befinden sich neben der eigentlichen Montage sogenannte Versorgungszentren, die Logistikbereiche und Vormontagen beinhalten. Die wichtigsten Vorteile von ausgelagerten Modulmontagen sind eine reduzierte Komplexität im Hauptband und die Möglichkeit einer späten Variantenbildung. In Abbildung 2-15 wird die Problematik der Planzeitspreizung aufgezeigt und im weiteren Verlauf erläutert.

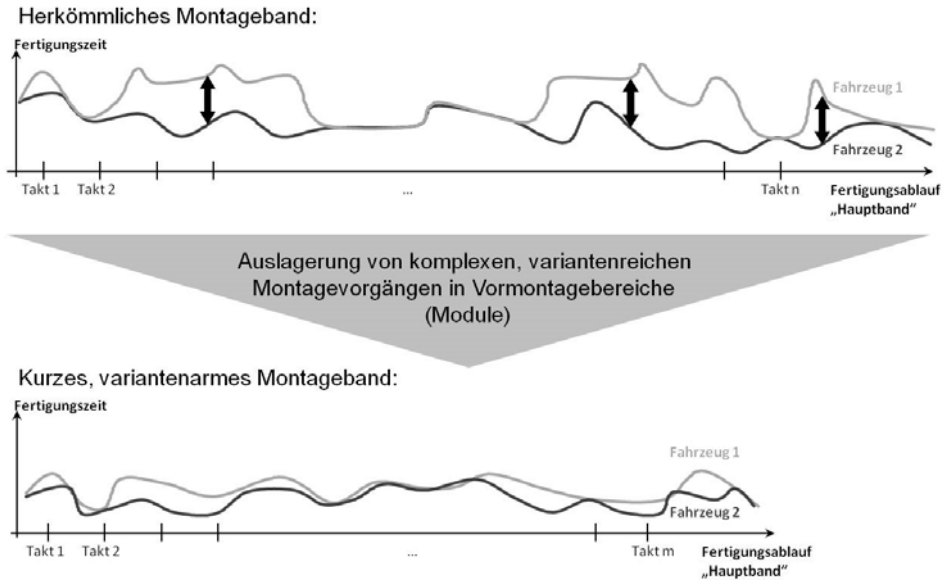


Abbildung 2-15: Schema Planzeitspreizung Fahrzeugmontage[49]

Unterschiedliche Fertigungszeiten, bedingt durch unterschiedliche Fahrzeugsonderausstattungen (SA) oder verschiedene Fahrzeugderivate auf einer herkömmlichen Montagelinie, erhöhen die Komplexität des Montageprozesses und sorgen für eine ungleichmäßige Mitarbeiterauslastung.

[49] vgl.: Imgrund, Ch. (2010), Vorlesungsskript Unternehmenslogistik, S. 12 ff.

Durch ein kurzes und variantenarmes Hauptband wird die Effizienz der Montage durch beherrschte Prozesse und eine optimierte Auslastung der Mitarbeiter gesteigert. Beim Werksaufbau des BMW Werkes Leipzig wurden daher die Vormontagen bewusst in die Versorgungszentren verlagert. Die ausgelagerten Module (z. B. Cockpit, Türen, Frontend und Sitze) werden dann nach erfolgter Vormontage in Form von Modulen über eine Elektrohängebahn (EHB) vom Versorgungszentrum direkt zum Verbauort geliefert. Man spricht hier von einer Direktanlieferung.

Auch über die Direktanlieferungstore werden Module oder Zulieferteile bereitgestellt. Dabei dockt ein Lkw rückwärts direkt an das Montagegebäude an. Wie bereits zuvor beschrieben begünstigt die spezielle Gebäudeform in Leipzig diese Form der Direktanlieferung. Beim überwiegenden Teil der so angelieferten Materialien handelt es sich um Just-in-Time (JIT)- oder Just-in-Sequence (JIS)-Zulieferteile.

Eine weitere Möglichkeit der Materialbereitstellung stellt die Lageranlieferung dar. In diesem Fall erfolgt die Anlieferung der Materialien zunächst direkt in das Versorgungszentrum und von dort werden sie in ein Hochregallager (HRL), automatisches Kleinteilelager (AKL) oder Blocklager eingelagert. Nach dem Abruf der erforderlichen Teile werden diese von batteriebetriebenen und sensorgesteuerten Fahrzeugen, sogenannten fahrerlosen Transportsystemen (FTS), in das Montagegebäude transportiert und entlang des Montagebandes verteilt.

Die Versorgung der Montagebänder mit Kleinteilen erfolgt über Routen- oder Materialzüge. Diese fahren auf festgelegten Routen, vom Versorgungszentrum ausgehend, durch die Montagehalle und beliefern die einzelnen Bandbereiche. Dadurch werden die Bestände an der Montagelinie möglichst gering gehalten.

Die folgende Abbildung 2-16 zeigt die innovative Werksstruktur des BMW Werk Leipzig mit den Technologien Presswerk, Karosseriebau, Lackiererei und Montage.

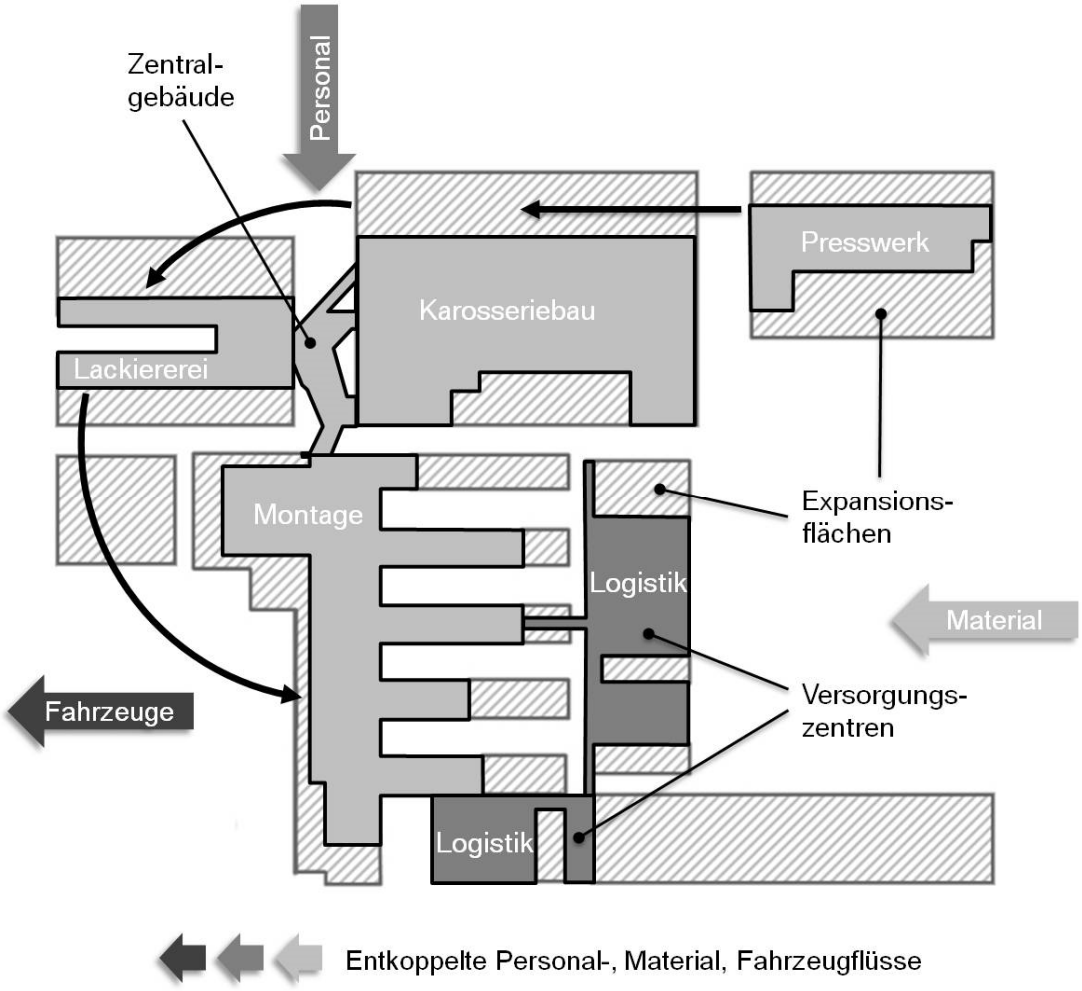


Abbildung 2-16: Gesamtlayout BMW Werk Leipzig 2011

Das Gesamtlayout des BMW Werkes Leipzig verdeutlicht die nachhaltige und flexible Struktur des Werkes. Aufgebaut nach dem sogenannten CORE-Prinzip dreht sich alles um das Zentralgebäude. Deutlich zu erkennen sind die Erweiterungsflächen der einzelnen Gebäude. Das gesamte Werk ist basierend auf dem gleichen Gebäudesäulenraster aufgebaut, welches ein ineinander wachsen der Gebäude ermöglicht. Es wurde ferner darauf geachtet, die Personal-, Material- und Fahrzeugströme zu entzerren und zu entkoppeln.

2.5 Gesetze und Normen

Mit der Prägung des Begriffs der „Energiekriese“ nach dem arabisch-israelischen Krieg im Nahostkonflikt 1973 begann ein gesellschaftspolitischer Umdenkprozess, der zur Verankerung neuer Gesetze führte. Verursacht durch den drastischen Ölpreisanstieg aufgrund der Reduzierung der Ölfördermenge seitens der OPEC (Organisation erdölexportierender Länder) wurde erstmals von der Endlichkeit der fossilen Energieträger gesprochen.[50]

Zusätzlich begannen Ende der 80er Jahre die Diskussionen und Verhandlungen zur Reduzierung der Treibhausgase. Unter 1.3 wurden bereits die Struktur und die Inhalte der internationalen Klimaschutzanstrengungen aufgezeigt. Der folgende Abschnitt befasst sich mit den verschiedenen nationalen und teilweise internationalen Gesetzen und Maßnahmen zur Umsetzung der auf internationaler Ebene vereinbarten Klimaschutzziele. Abbildung 2-17 liefert eine Übersicht der verschiedenen Energieverordnungen.

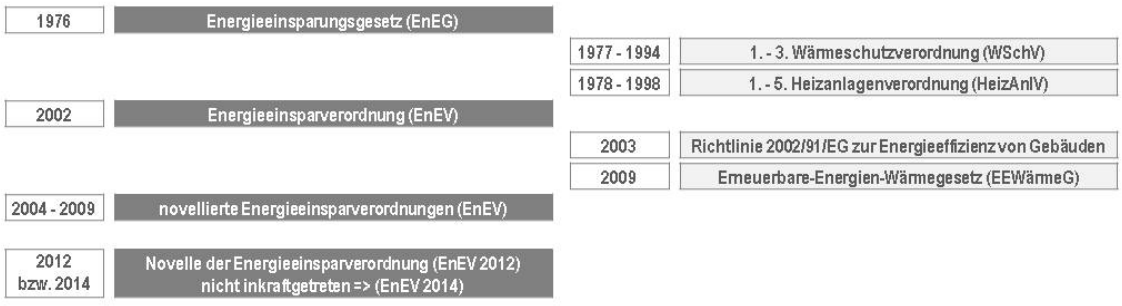


Abbildung 2-17: Übersicht Energieverordnungen (in Anlehnung an: Oelmann, S. (2009), S.10

[50] vgl.:Sächsische Energieagentur – SAENA GmbH, S. 4.

2.5.1 Das Energieeinsparungsgesetz (EnEG)

Mit Erlass des EnEG am 22. Juli 1976 sollte die Abhängigkeit der Bundesrepublik Deutschland von eingeführten Energieträgern reduziert werden. Dieses neue Gesetz hatte zum Ziel, den Energieverbrauch in Gebäuden nachhaltig zu senken. Die Begrenzung der Wärmedurchgangs- und Lüftungswärmeverluste bei Gewährleistung von ausreichenden raumklimatischen Verhältnissen standen hierbei im Vordergrund.[51]

Im Artikel 1 des EnEG wird der Wärmeschutz bei neuen Gebäuden thematisiert:

„Wer ein Gebäude errichtet, das seiner Zweckbestimmung nach beheizt oder gekühlt werden muss, hat, um Energie zu sparen, den Wärmeschutz [...] zu entwerfen und auszuführen, dass beim Heizen und Kühlen vermeidbare Energieverluste unterbleiben.“[52]

Artikel 2 bezieht sich auf die Anlagentechnik zur Gebäudeversorgung:

„Wer Heizungs-, raumlufttechnische, Kühl-, Beleuchtungs- sowie Warmwasserversorgungsanlagen oder -einrichtungen in Gebäude einbaut [...], hat bei Entwurf, Auswahl und Ausführung dieser Anlagen [...] dafür Sorge zu tragen, dass nicht mehr Energie verbraucht wird, als zur bestimmungsgemäßen Nutzung erforderlich ist.“[53]

Dabei wurden klare Anforderung definiert bezüglich des Wirkungsgrades von Anlagen, der Ausbildung interner Verteilungsnetze, der Warmwassertemperaturbegrenzung, der Steuerung von Wärme- und Kälteversorgungssystemen, des Einsatzes von Wärmerückgewinnungsanlagen, der Verbrauchserfassung, der Effizienz von Beleuchtungssystemen und der Verbesserung der Tageslichtnutzung. Weiterhin müssen diese Anlagen instandgehalten und betrieben werden.

[51] vgl.: Sächsische Energieagentur – SAENA GmbH, S. 4.

[52] vgl.: Bundesministerium der Justiz (1976), EnEG Art. 1.

[53] vgl.: Bundesministerium der Justiz (1976), EnEG Art. 2.

Zusätzlich wurden die Wärmeschutz- und Heizanlagenverordnung (WärmeschutzV und HeizAnlV) erlassen, die im wesentlichen Begriffe wie den „U-Wert“, die Luftwechselrate und η (Eta) für den Wirkungsgrad einführten.[54]

2.5.2 EU-Richtlinie und Energieeinsparverordnung (EnEV)

Im Januar 2003 wurde die EU-Richtlinie 2002/91/EG vom europäischen Parlament verabschiedet. Diese dient als Basis zur Festlegung von nationalen Mindestanforderungen an die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden. Die Energieeinsparverordnung wurde daraus resultierend im Jahre 2007umgesezt.[55]

> „Ziel dieser Richtlinie ist es, die Verbesserung der Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden in der Gemeinschaft unter Berücksichtigung der jeweiligen äußeren klimatischen und lokalen Bedingungen sowie der Anforderungen an das Innenraumklima und der Kostenwirksamkeit zu unterstützen.“[56]

Diese Richtlinie enthält die Anforderungen hinsichtlich der Berechnung der Gesamtenergieeffizienz, die Mindestanforderungen an bestehenden und neuen Gebäuden sowie die Erstellung von Energieausweisen und der Inspektionsintervalle von Klima- und Heizungsanlagen.[57] In diesem Zusammenhang wird ein Gebäude als eine Konstruktion, bestehend aus einem Dach und Wänden definiert, dass unter Energieeinsatz ein bestimmtes Raumklima erzeugt. Die Gesamtenergieeffizienz bezieht sich auf die tatsächlich verbrauchte Energiemenge für Heizung, Klimatisierung, Warmwasseraufbereitung, Beleuchtung und Belüftung.

[54] vgl.: Sächsische Energieagentur – SAENA GmbH, S. 4 f.

[55] vgl.: Krimmling, J. (2007), S.264 & Schmidt, M., Hertel, G. (2008), S. 14.

[56] vgl.: Richtlinie 2002/91/EG , Art. 1.

[57] vgl.: Richtlinie 2002/91/EG , Art. 1.

Daneben werden noch einige wichtige Begriffe wie Energieausweis, KWK (Kraft-Wärme-Kopplung), Klimaanlage, Heizkessel, Wärmepumpe und Nennleistung in kW definiert.[58]

Bei neuen Gebäuden mit einer Gesamtfläche von über 1000 m^2 muss die technische, ökologische und wirtschaftliche Einsetzbarkeit von dezentralen Energieversorgungssystemen, KWK, Fern-/Blockheizung oder Fern-/Blockkühlung und Wärmepumpen berücksichtigt werden.[59]

Im Jahre 2003 trat die Energieeinsparverordnung (EnEV) erstmals in Kraft und beinhaltete Anforderungen an Gebäude und die dazugehörige Anlagentechnik bzgl. des Primärenergiebedarfes und der Transmissionswärmeverluste. Sie ist somit wesentlicher Bestandteil der Energiespar-, Energieeffizienz- und Klimaschutzpolitik der Bundesregierung und bildet demnach den rechtlichen Rahmen für den Energieverbrauch im Gebäudesektor.[60]

Die novellierte Energieeinsparverordnung von 2007 beinhaltete zusätzlich noch die Anforderungen aus der EU-Richtlinie 2002/91/EG und daher eine Ausweitung auf Nichtwohngebäude (Büro- und Verwaltungsgebäude sowie gewerbliche Betriebsgebäude) im nationalen Recht.[61] Für diese Gebäude müssen Energieausweise erstellt werden, die den jeweiligen Energieverbrauch in kW ausweisen. Es werden die beiden Grundformen „Verbrauchsausweis“ (Bestand) und „Bedarfsausweis“ (Neubau) unterschieden.[62]

[58] vgl.: Richtlinie 2002/91/EG , Art. 2.

[59] vgl.: Richtlinie 2002/91/EG , Art. 5.

[60] vgl.: Sächsische Energieagentur – SAENA GmbH, S.5 und Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi) (2010).

[61] vgl.: Schmidt, M., Hertel, G. (2008), S. 22 f. & VDI 4602, 2007, S. 9 ff.

[62] vgl.: Krimmling, J. (2007), S. 266 & Weglage, A. (2008) , S. 13.

In der bisher letzten EnEV von 2009 sind die Anforderungen an den Wärmeschutz sowie die Anlagen der technischen Gebäudeausrüstung deutlich verschärft worden. Die Anforderungen wurden bei Neubauten um durchschnittlich 30 Prozent gegenüber der EnEV von 2007 erhöht.[63]

2.5.3 Erneuerbare Energien Gesetz (EEG)

Das EEG trat im Jahre 2000 in Kraft und folgte auf das Stromeinspeisungsgesetz. Um dem sich schnell und dynamisch ändernden Markt der erneuerbaren Energien gerecht zu werden, gab es Gesetzesnovellen in den Jahren 2004, 2009 und 2011 (seit 1.1.2012 in Kraft). Das Gesetz regelt die Einspeisung von Strom aus erneuerbaren Energiequellen wie Wind-, Wasser- und Solarenergie und garantiert dem Erzeuger neben der Einspeisung außerdem eine festgelegte Mindestvergütung. Dadurch wird der Umwelt- und Klimaschutz weiter vorangetrieben sowie die Nutzung von Kernkraft und fossilen Energieträgern reduziert. Das EEG wurde notwendig, da die erneuerbaren Energien derzeit noch immer nicht wirtschaftlich sind. Dies liegt zum einen daran, dass Energie aus Atomkraft und fossilen Brennstoffen jahrelang sehr günstig war aufgrund von Subventionen. Zum anderen spiegelte der Strompreis nicht die Umweltverschmutzungen und CO_2-Emmissionen, verursacht durch das Verbrennen von zum Beispiel Kohle oder Gas, wieder. Durch wegfallende Subventionen, weitere Investitionen in neue Technologien sowie ansteigende Preise für fossile Rohstoffe wird Strom aus erneuerbaren Energien in Zukunft kosteneffizienter werden. Zur Förderung dieser neuen Technologien wurde die EEG-Umlage im Gesetz verankert.[64]

Seit Inkrafttreten des Gesetzes ist ein Wachstumsschub beim Klimaschutz, der technologischen Entwicklung und beim Exportanteil der Erneuerbare-Energien-Branche zu verzeichnen. Daneben wurde auch das Gesetz selbst zum Exportschlager.

[63] vgl.: Sächsische Energieagentur – SAENA GmbH, S. 5.

[64] vgl.: Lexikon der Nachhaltigkeit (2010).

Allein 19 der 27 EU-Mitgliedsstaaten haben die Grundprinzipien des EEG zum Vorbild genommen und in eigenen Gesetzen verankert. Bestes Beispiel für dieses Wachstum ist die Entwicklung des Strommixes in Deutschland.

Im Jahr 2010 lag der Anteil der erneuerbaren Energien (Windenergie, Biomasse, Photovoltaik und Wasserkraft) am Stromverbrauch bei etwa 17 Prozent, bereits 2012 wurde ein Wert von 22 Prozent erreicht (siehe Abbildung 2-18).[65]

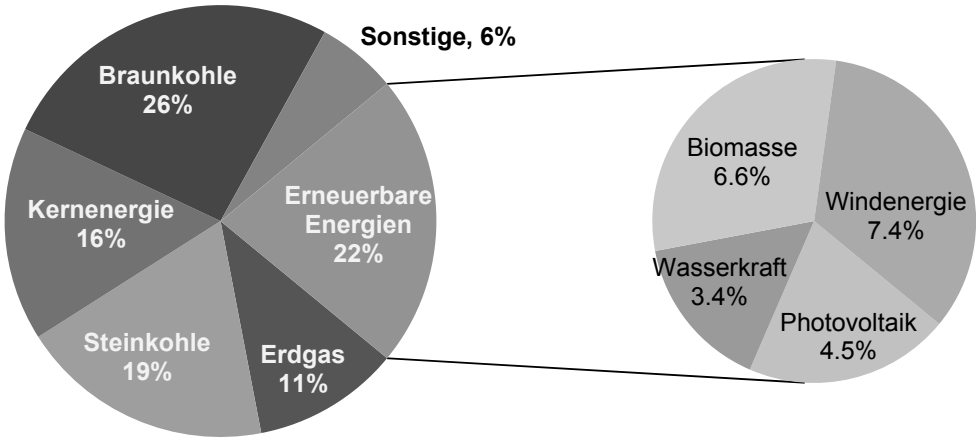


Abbildung 2-18: Strommix in Deutschland im Jahr 2012 (in Anlehnung an BMU (Stand 03/2013)

Artikel 1 des EEG definiert unter anderem das Ziel, den Anteil erneuerbarer Energien an der Stromversorgung kontinuierlich zu steigern. Die folgende Tabelle zeigt die angestrebte Staffelung bis zum Jahre 2050:

Tabelle 2-2: Anteil der erneuerbaren Energie an der Stromversorgung[66]

Stufe	Angestrebter Anteil am Strommix	Zieljahr
1	35 Prozent	2020
2	50 Prozent	2030
3	65 Prozent	2040
4	80 Prozent	2050

[65] vgl. Agentur für Erneuerbare Energien (2013).

[66] vgl.: BMU (2013), EEG Art. 1.

Prinzipiell lassen sich folgende Prämissen des EEG zusammenfassen:

- Durch die **garantierte Einspeisevergütung** und Anschlusspflicht besteht eine gewisse Investitionssicherheit. Die aus erneuerbaren Energien hergestellte Energie wird abgenommen und **20 Jahre** vergütet.
- Die Einspeisevergütung unterliegt einer **Degression**, das heißt der Vergütungssatz für Neuanlagen verringert sich von Jahr zu Jahr und sorgt somit für einen **Kostendruck auf der Herstellerseite**. Die Innovationen steigen und die Technologien werden kostengünstiger.
- Trotz der Förderung des Stroms aus erneuerbaren Energien handelt es sich um **keine Subventionen**, da die Mittel nicht aus der Staatskasse kommen. Die Förderung ist **verbrauchsorientiert** und wird über die Stromrechnung umgelegt.
- Die **EEG-Umlage** ermittelt sich aus der **Differenz** zwischen den **Vergütungszahlungen** für Strom aus erneuerbaren Energien **und den Erlösen**, die durch den Verkauf der Energie an der Strombörse erzielt werden. Dieser Wert wird basierend auf dem jeweiligen tatsächlichen Stromverbrauch auf alle Kunden umgelegt. Obwohl die EEG-Umlage in den letzten Jahren ständig gestiegen ist (1ct (2007) => 5,3ct (2013)), kann langfristig von einer Reduzierung ausgegangen werden.[67]

Die Kosten für den Bezug von Strom aus erneuerbaren Energien werden von den Elektrizitätsversorgungsunternehmen getragen und von diesen wiederum an die Endverbraucher weiter gegeben. Eine besondere **Ausgleichsregelung des EEG** gemäß §§ 40 ff befreit jedoch energieintensive Unternehmen des produzierenden Gewerbes sowie Schienenbahnen von der EEG-Umlage, um eine Beeinträchtigung im internationalen Wettbewerb zu verhindern.[68]

[67] vgl.: Agentur für Erneuerbare Energien (2013).

[68] vgl.: BAFA (2013), Besondere Ausgleichsregelung & BMU (2013), EEG §§ 40 ff.

Die folgende Tabelle zeigt die Staffellung der EEG Umlage basierend auf dem Jahresverbrauch des jeweiligen Unternehmens.

Tabelle 2-3: Übersicht der EEG-Umlage basierend auf dem Jahresverbrauch[68]

Jahresverbrauch	Zu zahlende EEG-Umlage
bis 1 GWh/a	100 %
über 1 GWh/a bis 10 GWh/a	10 %
über 10 GWh/a bis 100 GWh/a	1 %
über 100 GWh/a	0,05 ct/kWh

2.5.4 Stromsteuergesetz (StromStG)

Die Stromsteuer wurde 1999 als zusätzliche Steuer im Rahmen der Ökologischen Steuerreform eingeführt und ist im Stromsteuergesetz festgeschrieben. Diese Verbrauchssteuer gehört somit zu den sogenannten **„Ökosteuern“**. Sie regelt die Besteuerung des Stromverbrauches. Der Steuersatz beträgt derzeit 20,50 Euro pro Megawattstunde (MWh) (§3 StromStG) und wird als indirekte Steuer an den Endverbraucher weitergegeben. Nebeneffekte dieser Ökosteuer sind das Vorantreiben von Innovationen sowie Investitionen in die Energieeffizienz und die erneuerbaren Energien, um diese wirtschaftlicher zu machen.[69] Im Bestreben deutsche Unternehmen im internationalen Wettbewerbsvergleich gleich zu stellen, gibt es im Stromsteuergesetz auch Sonderregeln, um bestimmte Unternehmen zu entlasten. Seit der letzten Novellierung des StromStG 2012 sind diese Befreiungen oder Entlastungen jedoch an effizienzsteigernde Bemühungen der Unternehmen gekoppelt.[70]

Steuerbefreiungen, Steuerermäßigungen (§ 9, StromStG)

Unter bestimmten Voraussetzungen können Unternehmen von der Steuer befreit werden. Beispiele sind: Strom aus erneuerbaren Energien und Strom, der zur Stromerzeugung verwendet wird, Strom der auf Wasser- oder Luftfahrzeugen erzeugt und verwendet wird und in Schienenfahrzeugen erzeugter Strom und Notstrom.

[69] vgl.: Bundesministerium der Justiz (1999), StromStG.

[70] vgl.: Bundesministerium der Finanzen (2012), Änderungen des StromStG.

Des Weiteren werden Unternehmen des produzierenden Gewerbes, die energieintensive Prozesse (Elektrolyse, Glasherstellung, Metallerzeugung oder chemische Reduktionsverfahren) einsetzen, ebenfalls von der Steuer befreit, um die Wettbewerbsfähigkeit aufrecht zu erhalten.

Spitzenausgleich (§ 10, StromStG)

Zusätzlich zu diesen Steuerbefreiungen und -entlastungen existiert auch noch der sogenannte Spitzenausgleich, welcher erstmals im Jahr 2002 durch die rot-grüne Bundesregierung eingeführt wurde. Der Spitzenausgleich gewährt Unternehmen des produzierenden Gewerbes weitere Steuerermäßigungen, die mit dem Arbeitgeberanteil der Rentenversicherung verrechnet werden können. Zusätzlich dazu fordert das Gesetz von den Unternehmen die Einführung eines Energiemanagementsystems sowie die Steigerung der Energieeffizienz.[71] Seit der Novellierung des Stromsteuergesetzes 2013 sind diese Anforderungen präzisiert worden:

- 2013/14: Das Unternehmen muss den Nachweis erbringen, begonnen zu haben, ein Energiemanagementsystem nach DIN EN ISO 50001 einzuführen.
- Ab 2015: Die Einführung des Energiemanagementsystems nach DIN EN ISO 50001 muss abgeschlossen sein.
- Für kleinere und mittlere Unternehmen (KMU's) gibt es jedoch eine Ausnahmeregel, um die anfallenden Kosten für ein Energiemanagementsystem in Grenzen zu halten. Diese müssen alternative Systeme zur Verbesserung der Energieeffizienz nach DIN EN 16247-1 betreiben und nachweisen.[72]

[71] vgl.: (BMWi) (2012), Pressemitteilung: Rösler: Spitzenausgleich bei der Ökosteuer ist ein wichtiger Schritt zur Sicherung des Industriestandorts.

[72] vgl.: Bundesministerium der Justiz (1999), StromStG Art. 10.

Die folgende Tabelle zeigt die geforderte Senkung der Energieintensität, jeweils bezogen auf den Durchschnitt der Jahre 2007-2012.

Energieintensität: Ist das Verhältnis von eingesetzter Energie zur Wertschöpfung in einem Unternehmen, Sektor oder Unternehmensbereich [z. B. MWh/Fahrzeug].[73]

Tabelle 2-4: Zielwerte für die zu erreichende Reduzierung der Energieintensität

Antragsjahr	Bezugsjahr	Zielwert
2015	2013	1,3 %
2016	2014	2,6 %
2017	2015	3,9 %
2018	2016	5,25 %
2019	2017	6,6 %
2020	2018	7,95 %
2021	2019	9,3 %
2022	2020	10,65 %

2.5.5 DIN ISO 50001 - Energiemanagementsysteme

Die DIN EN ISO 50001:2011 mit dem Titel „Energiemanagementsysteme - Anforderungen mit Anleitung zur Anwendung" ersetzt die DIN EN 16001:2009 und verfolgt den Zweck, Organisationen zu befähigen, Systeme beziehungsweise Prozesse zu implementieren, die zur Steigerung der Energieeffizienz erforderlich sind. Die Struktur dieser Norm entspricht grundsätzlich der DIN EN ISO 14001:2009 "Umweltmanagementsysteme - Anforderungen mit Anleitung zur Anwendung" und beinhaltet, wie alle Managementsysteme nach DIN EN ISO 9000 ff., den Grundsatz der **ständigen Verbesserung**. Dieser kontinuierliche Verbesserungsprozess (KVP) beinhaltet eine zyklische PDCA-Anlalyse (Plan-Do-Check-Act). In DIN EN ISO 9001 werden diese vier Teilschritte wie folgt beschrieben:[74]

[73] vgl.: Gabler Verlag (Herausgeber) (2013).

[74] vgl.: DIN EN ISO 9001:2008, S. 7.

Planen (Plan): Festlegen der Ziele und Prozesse zur Zielerreichung.

Durchführen (Do): Die festgelegten Prozesse implementieren und ausführen.

Prüfen (Check): Prozesse überwachen, an Zielstellung messen, dokumentieren.

Handeln (Act): Ergreifen von Maßnahmen zur ständigen Verbesserung.

Dieser PDCA-Zyklus spiegelt sich ebenfalls in der Struktur eines Energiemanagementsystems wieder, wie aus Abbildung 2-19 ersichtlich ist.

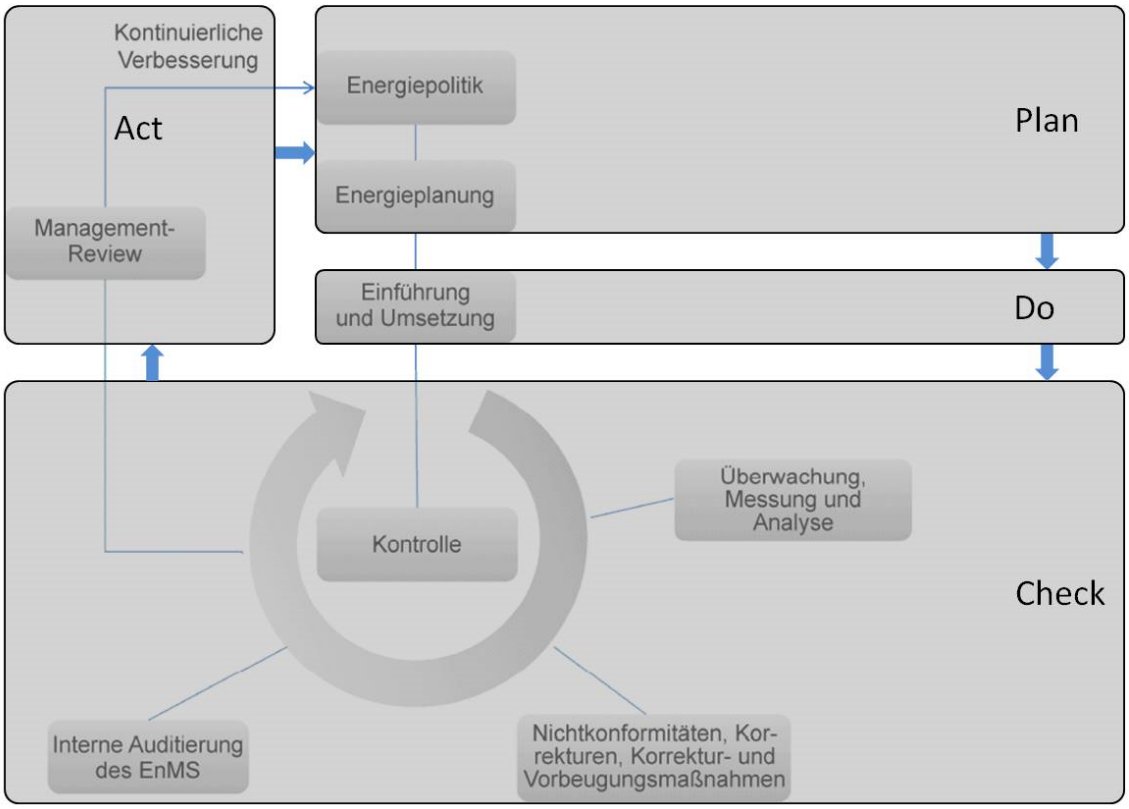


Abbildung 2-19: PDCA-Zyklus eines Energiemanagementsystems (in Anlehnung an DIN EN ISO 50001[75])

[75] vgl.: DIN EN ISO 50001:2011, S. 6.

Diese internationale Norm soll durch ein systematisches Energiemanagement zu Reduzierungen von Treibhausgasemissionen und anderer Umweltauswirkungen sowie Energiekosten führen.

Die Anwendbarkeit dieser Norm ist nicht auf bestimmte Organisationen begrenzt und unabhängig von geografischen, kulturellen und sozialen Randbedingungen. Grundvoraussetzung für ein erfolgreiches Energiemanagement ist die Verpflichtung und Einbindung aller Hierarchie-Ebenen und Funktionen einer Organisation. Die strategische Entscheidung für ein Energiemanagement muss vom Top-Management getroffen und getragen werden.

Es werden Anforderungen an ein Energiemanagementsystem (EmMS) festgelegt. Dies beinhalten die Entwicklung und Einführung einer Energiepolitik sowie das Festlegen von strategischen und operativen Energiezielen und Aktionsplänen zur ständigen Verbesserung der Energieeffizienz, des Energieeinsatzes und des Energieverbrauches in einer Organisation. Dies bedingt eine kontinuierliche Verbrauchserfassung, ein Berichtswesen, eine Auslegungs- und Beschaffungsplanung für Einrichtungen, Systeme, Prozesse und Personal, die zur Steigerung der Energieeffizienz beitragen.[76]

2.6 EMAS – Eco-Management and Audit Scheme

EMAS ist ein Gütesiegel der Europäischen Union für ein hochentwickeltes System für nachhaltiges Umweltmanagement. Alle Organisationen, die den strengen Anforderungen der EMAS-Verordnung gerecht werden, können mit dem EMAS-Logo ausgezeichnet werden. Die Beteiligung und Zertifizierung nach EMAS ist immer freiwillig. Seit 2001 bildet die DIN EN ISO 14001 die Grundlage für den Aufbau und die Abläufe eines Umweltmanagementsystems (UMS) bei EMAS.[77]

[76] vgl.: DIN EN ISO 50001:2011, S. 7.

[77] vgl.: EMAS (2013).

Die heute gültige EMAS III[78] ist allerdings weit mehr als ein reines Managementsystem. Im Folgenden wird aufgelistet, inwieweit die EMAS über die Anforderungen der DIN EN ISO 14001 hinausgeht:[79]

- Durchführung einer Umweltprüfung - gesamthafte Analyse des Ist-Zustandes
- Einhaltung geltender Rechtsvorschriften und Genehmigungen
- Kontinuierliche Verbesserung der Umweltleistung
- Beteiligung aller Mitarbeiter in den Prozess der kontinuierlichen Verbesserung
- Aktive externe Kommunikation mit der Öffentlichkeit
- Regelmäßige Bereitstellung einer Umwelterklärung.

Im Vergleich mit der DIN EN ISO 50001 gibt es größtenteils Übereinstimmungen mit der EMAS III. Die wichtigsten Unterschiede sind die Verantwortlichkeiten des Top-Managements und des Umweltmanagementbeauftragten, welche in der DIN ausführlicher definiert sind. Demgegenüber beschreibt die EMAS die Anforderungen bezüglich der Transparenz strenger, da regelmäßig Umwelterklärungen veröffentlicht werden müssen. In der DIN kann die Organisation selbst darüber entscheiden, wie und in welchem Umfang kommuniziert wird.[80]

2.7 Gebäudestandards zur Nachhaltigkeit

Ein wesentlicher Punkt in der politischen Konzeption der Bundesregierung ist der Klimaschutz und das Energiesparen im Gebäudebereich.

„Die größten Energieeinsparpotentiale liegen in Deutschland im Gebäudebestand.[81]“

[78] vgl.: EMAS III (2009).

[79] vgl.: EMAS (2013a), EMAS im Vergleich zur ISO 14001, S. 8.

[80] vgl.: EMAS (2013b), Erfüllung der Anforderungen der DIN EN ISO 50001, S. 3.

[81] vgl.: Deutsche Energie Agentur - DENA (2013), Effiziente Gebäude: Wer saniert, spart dauerhaft.

Der Anteil des Gebäudebereichs (Raumwärme, Warmwasser, Beleuchtung und Kühlung) am gesamten Endenergieverbrauch in Deutschland liegt bei circa 40 Prozent. Der Anteil der Industrie am Endenergieverbrauch ist mit 28 Prozent fast gleich groß wie der Anteil der Privathaushalte.[82]

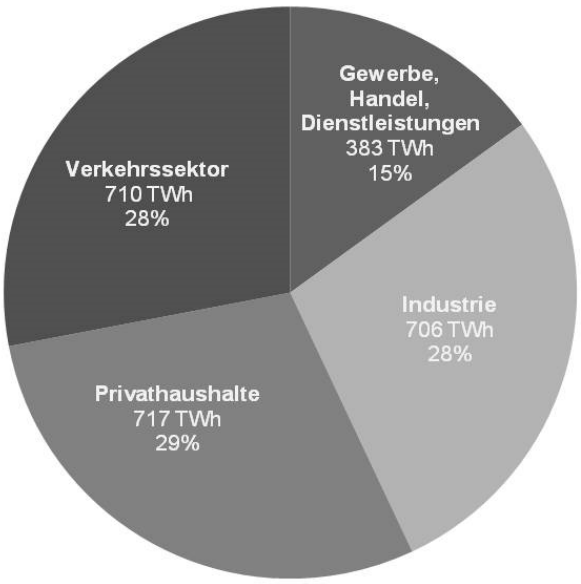


Abbildung 2-20: Endenergieverbrauch nach Sektoren in 2010[83]

Im Folgenden wird auf zwei der bedeutendsten Standards oder Bewertungssysteme für nachhaltiges Bauen eingegangen.

LEED (US-amerikanische Norm)

Das vom USGBC (**U.S. G**reen **B**uilding **C**ouncil), einer amerikanischen gemeinnützigen Organisation, 1993 ins Leben gerufene Gebäudezertifizierungssystem LEED (**L**eadership in **E**nvironmental & **E**nergy **D**esign) ist ein freiwilliger internationaler Standard für energieeffiziente nachhaltige Gebäude.[84]

[82] vgl.: Deutsche Energie Agentur - DENA (2013a), Der DENA Gebäudereport 2012, S. 10.

[83] vgl.: Deutsche Energie Agentur - DENA (2013a), Der DENA Gebäudereport 2012, S. 11.

[84] vgl.: US Green Building Council (2013).

Die LEED-Systematik berücksichtigt dabei unterschiedliche Gebäudearten wie zum Beispiel industrielle, kommerzielle und wohnwirtschaftliche Gebäude. Dabei wird der gesamte Lebenszyklus eines Gebäudes erfasst und zwischen einem Neubau, einem Bestandsgebäude oder einer Sanierung unterschieden. Seit 2009 ist die Version 3 gültig und basiert auf einem Punktesystem von zur Zeit 100 (+10 Bonus) möglichen Punkten. Differenziert wird zwischen den Zertifizierungsstufen: Zertifiziert (40-49 Punkte), Silber (50-59 Punkte), Gold (60-79 Punkte) und Platin (80+ Punkte). Die einzelnen Kategorien sind in Tabelle 2-5 dargestellt.[85]

Tabelle 2-5: Hauptkategorien LEED Zertifizierung

Hauptkategorien	Beschreibung
Nachhaltiger Standort Sustainable sites	Standortauswahl mit geringstem Einfluss auf das Ökosystem.
Wasser-Effizienz Water-efficiency	Intelligente und effiziente Nutzung von Wasser innerhalb und außerhalb des Gebäudes.
Energie & Klima Energy & Atmosphere	Innovative Konzepte zur Heizung, Kühlung und Beleuchtung.
Materialien & Ressourcen Materials & Ressources	Nutzung von nachhaltigen, nachwachsenden und recycelten Baumaterialien. Vermeidung von Abfall.
Innenraum & Luftqualität Indoor environmental quality	Verbesserte Luftqualität (Frischluft, Reduzierung Schadstoffe), Tageslichtnutzung und Aussicht.
Innovation & Design	Bonus: Innovationen und nachhaltiges effizientes Design

Deutsches Gütesiegel Nachhaltiges Bauen

Das deutsche Pendant dazu ist die 2007 in Stuttgart gegründete Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen (DGNB), die ein eigenes Qualitätszertifikat verleiht. Unter anderem werden Gebäude für ihre Umweltfreundlichkeit, ressourcenschonende Bauweise, wirtschaftliche Effizienz und ihre Nutzerfreundlichkeit zertifiziert. Auch dieses deutsche Gütesiegel für Nachhaltiges Bauen bewertet Gebäude mithilfe von sechs Bewertungskriterien:[86]

[85] vgl.: US Green Building Council (2013a), LEED - Leadership in Environmental & Energy Design.

[86] vgl.: Goebel A. (2013), Ein Gütesiegel „Made in Germany“.

- Ökologische Qualität
- Ökonomische Qualität
- Soziokulturelle und funktionale Qualität
- Technische Qualität
- Prozessqualität
- Standortqualität.

Es wird zwischen drei Zertifizierungsstufen unterschieden: Gold-, Silber- oder Bronzemedaille. Zertifizierte Gebäude sind wertstabil, qualitativ hochwertig, umwelt- und ressourcenschonend. Ähnlich wie bei der LEED-Zertifizierung wird auch hier der gesamte Lebenszyklus eines Gebäudes von der Planung über Herstellung und Betrieb bis zum Rückbau berücksichtigt. Im Gegensatz zu anderen Zertifizierungssystemen ist dieses System flexibler und lässt sich auch an die besonderen Anforderungen anderer Länder adaptieren.

3 Planungsprämissen Werksneubau

In diesem Kapitel werden die Planungsprämissen und Rahmenbedingungen beim Neubau eines Industriegebäudes untersucht. Beginnend mit der Standortentscheidung über die Werks- beziehungsweise Gebäudestruktur und die Gebäudekonstruktion bis hin zur Gebäudeleittechnik werden unterschiedliche Konzepte und Prinzipien genauer beleuchtet und speziell unter dem Fokus der Energieeffizienz bewertet. Einen weiteren Aspekt stellt die Anlagentechnik einer Automobilmontage und deren spezielle Anforderungen an eine energieeffiziente Fabrik dar. Da eine Automobilmontage eng mit der Logistik verbunden ist, werden auch die logistischen Rahmenbedingungen und besonderen Anforderungen hierbei berücksichtigt.

3.1 Standortauswahl

Diese Entscheidung ist nur relevant, wenn es sich um ein **Greenfield**-Projekt handelt, das heißt um einen Neubau eines kompletten Automobilwerks auf der grünen Wiese. Bei einer Erweiterung oder einem Umbau ist der eigentliche Standort bereits bekannt und die folgenden Kriterien lassen sich nicht mehr anwenden. Die Entscheidung für oder gegen einen Produktionsstandort unterliegt vielen verschiedenen Faktoren. Wenn ein Automobilhersteller (OEM) einen neuen Produktionsstandort errichten möchte, handelt es sich dabei um eine strategische Unternehmensentscheidung, die mit Chancen, aber auch mit Risiken verbunden ist. Abhängig von der Größe des Werkes werden dabei mehrere hundert Millionen Euro oder gar über eine Milliarde Euro investiert. Solch hohe Investitionen müssen wohl durchdacht sein, da sie nur schwer reversibel sind. Die Gründe für den Bau eines neuen Werkes können ein zusätzlicher Produktionskapazitätsbedarf, der Ausgleich von Währungsrisiken, hohe Einfuhrzölle oder andere Markteintrittsbarrieren sein. Wichtig bei der Entscheidung ist auch die Frage der Produktionskapazität beziehungsweise der Ausbringungsmenge (produzierte Fahrzeuge pro Jahr). Diese wird dann, unter Berücksichtigung des Schichtmodells, herunter gebrochen auf die Stundenleistung (produzierte Fahrzeuge pro Stunde).

Darauf basierend kann dann die Auslegung des Werkes und der einzelnen Technologien (Umformen, Karosseriebau, Lackiererei und Montage) erfolgen. Auch die Entscheidung, ob ein **Vollwerk** errichtet werden soll, bei dem die komplette Wertschöpfung aller Einzeltechnologien vor Ort ist, kann dann getroffen werden.

3.1.1 Drei-Phasen-Auswahlprozess

Der Standort-Auswahlprozess (Greenfield) ist ein generischer Prozess, der je nach Ausprägung mehr oder weniger Zeit beansprucht. In der Regel bedarf eine sorgfältige Untersuchung aber mindestens ein Jahr. Die Durchführung erfolgt in einem ressortübergreifenden Team zur Abbildung und Berücksichtigung aller Unternehmensinteressen. Dieser Prozess wurde erstmals in Alfred Weber's Industriestandorttherorie (1909) beschrieben und besteht aus drei Phasen. Zunächst wird basierend auf der für die Produktion verwendeten Materialien ein transportkostenminimaler Standort (tonnenkilometrischer Mittelpunkt) festgelegt. Im weiteren Verlauf der Analyse werden die Arbeitskosten und die Agglomerationseffekte hinzugezogen. Hierbei ist zu beachten, dass Arbeitskostenersparnisse (z. B. niedrigere Lohnkosten) und positive Agglomerationseffekte steigende Transportkosten überkompensieren können.[87] Rund einhundert Jahre später werden bei der Standortanalyse weitaus mehr Standortfaktoren in Betracht gezogen. Die Aufteilung in drei Phasen hat allerdings immer noch Bestand:

Phase 1: Voruntersuchung / Rahmenbedingungen

- Festlegen der groben Projektparameter (Kapazität, Investitionsvolumen, etc.)
- Definition der wichtigsten Rahmenbedingungen und Bewertungskriterien
- Erste Kontaktaufnahme mit Anbietern (i. d. R. Bundes-/Landesregierungen)
- De-Selektion von offensichtlich ungeeigneten Angeboten
- Selektion der Top 3 beziehungsweise 4 Angebote auf Basis der ersten Ergebnisse (grobes Scoringmodell inkl. Gewichtungen)

[87] vgl.: Alfred Weber's Industriestandorttherie, gefunden bei Haas, H.-D., Neumair, S.-M. (2006), S. 244.

Phase 2: Detailanalysen

- Bodenuntersuchungen auf den verbleibenden drei bis vier Grundstücken zur Ermittlung der Bodenqualität, Bodentragfähigkeit, Grundwasserverfügbarkeit und -qualität, etc.
- Recherche und Analyse aller relevanten Standortfaktoren zu den verbliebenen Angeboten
- Ermittlung und Bewertung von möglichen Zuschüssen, Nachlässen und/oder sonstiger wirtschaftlicher Anreize (Incentives) bezogen auf den Kaufpreis und die Gesamtinvestition

Phase 3: Schlussbewertung und Entscheidung

- Erstellung eines detaillierten Scoringmodells zur Ableitung der Standortempfehlung ggf. inkl. Sensitivitätsbetrachtungen
- Parallel: Incentive-Verhandlungen, Überlegungen zu ggf. notwendigen Gesellschaftsgründungen, Joint Ventures, Verhandlungen zu Tarifverträgen
- Erstellen der Entscheidungsvorlage für das Top-Management und Empfehlung des favorisierten Standortes, ggf. Mitführung des zweitplatzierten als Backup
- Finalisierung der Verhandlungen bis hin zum unterschriftsreifen Ansiedlungsvertrag mit dem Anbieter
- Standortentscheidung gefolgt von externer und interner Kommunikation

Die Herausforderung besteht darin, aus einer umfangreichen Liste von möglichen Standorten das Gesamtoptimum zu identifizieren. Der gesamte Auswahlprozess wird mit dem Projektfortschritt immer detaillierter und die Anzahl der zu berücksichtigenden Bewerber immer kleiner.

Die zuvor beschriebenen Phasen können in fünf Analyseschritte unterteilt werden.

1) „Long-List“ Ausgangsbasis der Analyse
2) Vorselektion Eliminierung der offensichtlichen „No-Goes“
3) Hauptselektion Detailanalysen, Festlegung der finalen Parameter
4) Finale Konsolidierung Scoring-Modell mit Gewichtung
5) Standort Entscheidung Ergebnispräsentation und Kommunikation.

Diese Analyseschritte sind, je nach Umfang der Standortanalyse, länger oder kürzer und können auch in ihrer Position auf der Zeitleiste, allerdings nicht in der Abfolge, variieren. Eine graphische Übersicht und detailliertere Darstellung der Standortanalyse liefert die folgende Abbildung 3-1. Hierbei wurde ein 12-monatiger Auswahlprozess zugrunde gelegt.

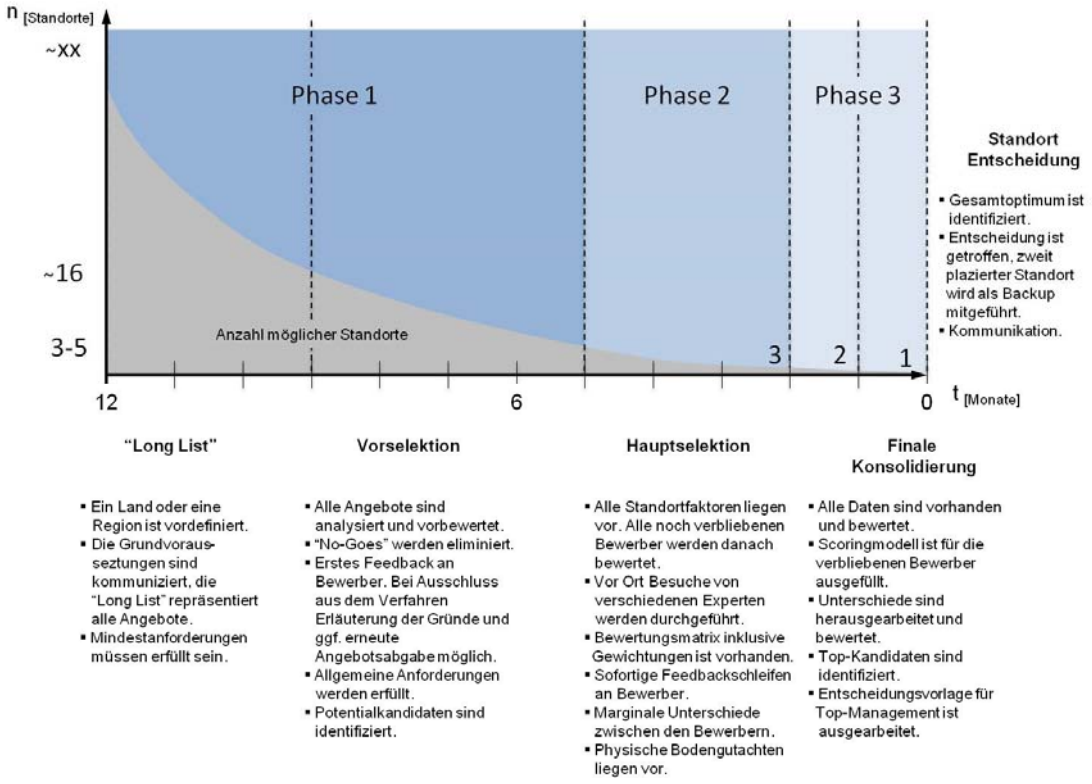


Abbildung 3-1: Drei-Phasenmodell der Standortanalyse (in Anlehnung an BMW interne Dokumente)

3.1.2 Die Standortfaktoren

Zur Auswahl beziehungsweise zur qualifizierten Bewertung der potentiellen Standorte ist eine Vielzahl von Standortfaktoren zu berücksichtigen. Diese können je nach Land oder Region unterschiedlich in ihrer Anzahl und/oder Ausprägung in die Standortanalyse und das Scoringmodell (Nutzwertanalyse) eingehen. Wichtig hierbei ist die sorgfältige Auswahl der Bewertungskriterien. Im Idealfall sollten diese durch ein Experten- oder Projektteam zusammengetragen und auf Relevanz für das vorliegende Projekt geprüft werden. Eine Priorisierung und erste Gewichtung dieser Hauptkategorien vereinfacht den späteren Entscheidungsprozess erheblich. Der Ausschluss irrelevanter Kriterien nach dem K. o.-Prinzip sorgt für eine bessere Transparenz und eine Nachvollziehbarkeit des Entscheidungsprozesses.

Grundsätzlich können die folgenden Hauptkategorien verwendet werden:

- Lage und Größe des Grundstückes
- Geologie und Bodenbeschaffenheit
- Wirtschaftliche Anreize (Incentives)
- Logistik / Transport / Verkehr
- Lieferanten
- Technische Infrastruktur
- Rechtliche Rahmenbedingungen
- Politische Situation am Standort
- Expat bezogene Faktoren
- Mitarbeiter bezogene Faktoren
- Gesundheit / medizinische Versorgung
- Sicherheit
- Trinkwasserverfügbarkeit
- Umweltrahmenbedingungen
- Klimaeinfluss.

Eine detailliertere Auflistung der wichtigsten Bewertungskategorien ist im **Anhang A: Bewertungskriterien Standortanalyse** zu finden. Diese Tabelle erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit. Für die nachhaltige Ausrichtung einer energieeffizienten Fabrik sind nicht alle Bewertungskriterien heranzuziehen. Auf die wichtigsten wird im Folgenden ausführlicher eingegangen.

3.1.3 Die Trinkwasserverfügbarkeit

Trinkwasser, auch als Süßwasser bezeichnet, ist eine der wertvollsten Ressourcen, auf die die Menschheit zugreift. Ohne Trinkwasser würde es kein Leben auf der Erde geben. Dreiviertel der Erde sind mit Wasser bedeckt. Die Trinkwasservorkommen der gesamten Erde betragen aber nur circa 0,3 Prozent (Trinkwassergewinnung aus Fluss- und Grundwasser) bezogen auf die gesamten Wasservorkommen. Der Rest besteht aus Meerwasser, nicht förderbarem Grundwasser (zu tief) oder Polareis.[88] Nach dem Unesco Weltwasserbericht 2012 sterben jedes Jahr immer noch 3,5 Millionen Menschen an den Folgen einer schlechten Wasserversorgung.[89] Mit diesem Hintergrund ist es bei der Standortwahl zwingend notwendig, die nachhaltige Trinkwasserverfügbarkeit zu prüfen. Bei der Produktion von Automobilen wird relativ viel Wasser verbraucht. Abhängig von der Fertigungstiefe und den eingesetzten Technologien werden zwischen 2.300 l und 8.000 l pro Fahrzeug benötigt.[90] Die folgende Tabelle 3-1 vergleicht einige deutsche Automobilwerke, basierend auf den jeweiligen Umwelterklärungen.

Tabelle 3-1: Vergleich Durchschnittswasserverbrauch Werke, in l/Fzg

BMW*			**Audi***	**Mercedes***	**Volkswagen***
Regensburg	Dingolfing	Leipzig	Ingolstadt	Bremen	Zwickau
1.060	1.740	1.160	2.658	1.900	1.548

*Verbrauch jeweiliges Fahrzeugwerk ohne Berücksichtigung Lieferanten. [Quelle: Jeweilige Umweltberichte 2011].

[88] vgl.: Fa. Angelika Klaas (2013), www.trinkwasser.de.

[89] vgl.: UNESCO Weltwasserbericht (2012).

[90] vgl.: Gruden, D. (2008), S. 102.

In einem Land oder einer Region, in der das Trinkwasser ohnehin knapp ist und kaum für die einfachsten Grundbedürfnisse wie Ernährung und Hygiene reicht, sollte keine trinkwasserintensive Industrie angesiedelt werden.

Selbst wenn das Trinkwasser für ein Industrieunternehmen erschwinglich ist, kann es für einen Großteil der lokalen Bevölkerung sehr teuer oder gar nicht verfügbar sein. Aufgrund der sozialen Verantwortung von Industrieunternehmen muss daher von einem solchen Standort Abstand genommen werden. Alle weiteren Kriterien zur Beurteilung der Trinkwasserverfügbarkeit wie zum Beispiel Wasserqualität, Grundwasserspiegel, Jahreszeiteneinfluss und langfristige Versorgungssicherheit sind wichtig, spielen aber eine untergeordnete Rolle.

Industriebetriebe, speziell Automobilfabriken, verursachen große versiegelte Flächen wie zum Beispiel Dächer, Straßen- und Verkehrswege, Parkplätze für Mitarbeiter- und Fertigfahrzeuge. Das dort gesammelte Regenwasser wird in der Regel kanalisiert und in das Abwassersystem eingeleitet. Eine Regenwassernutzung erschließt zusätzliche Einsparpotentiale bei der Wasserverwendung. Regenwasser ist kostenlos und kann direkt oder aufbereitet für viele Anwendungszwecke ein äquivalenter Ersatz für Trinkwasser sein. So können zum Beispiel Toilettenspülungen und Urinale ausschließlich mit Regenwasser versorgt werden. Auch kann in vielen Fällen Prozesswasser durch aufbereitetes Regenwasser ersetzt werden (Beispiel: Dichtheitsprüfung, Fahrzeugwaschanlagen). Regenwasser kann ebenso zur Gebäudereinigung (Büro- und Produktionsflächen) verwendet werden. Aus diesem Grund ist die Regenwasserverfügbarkeit (Niederschlagsmenge/Jahr) bei der Standortwahl durchaus zu berücksichtigen. Die folgende Abbildung 3-2 veranschaulicht symbolisch die Regenwassernutzung in einem Industriebetrieb. Dabei durchläuft das Wasser verschiedene Wasserstufen vom Frischwasser über das Grauwasser bis hin zum Klärwasser.

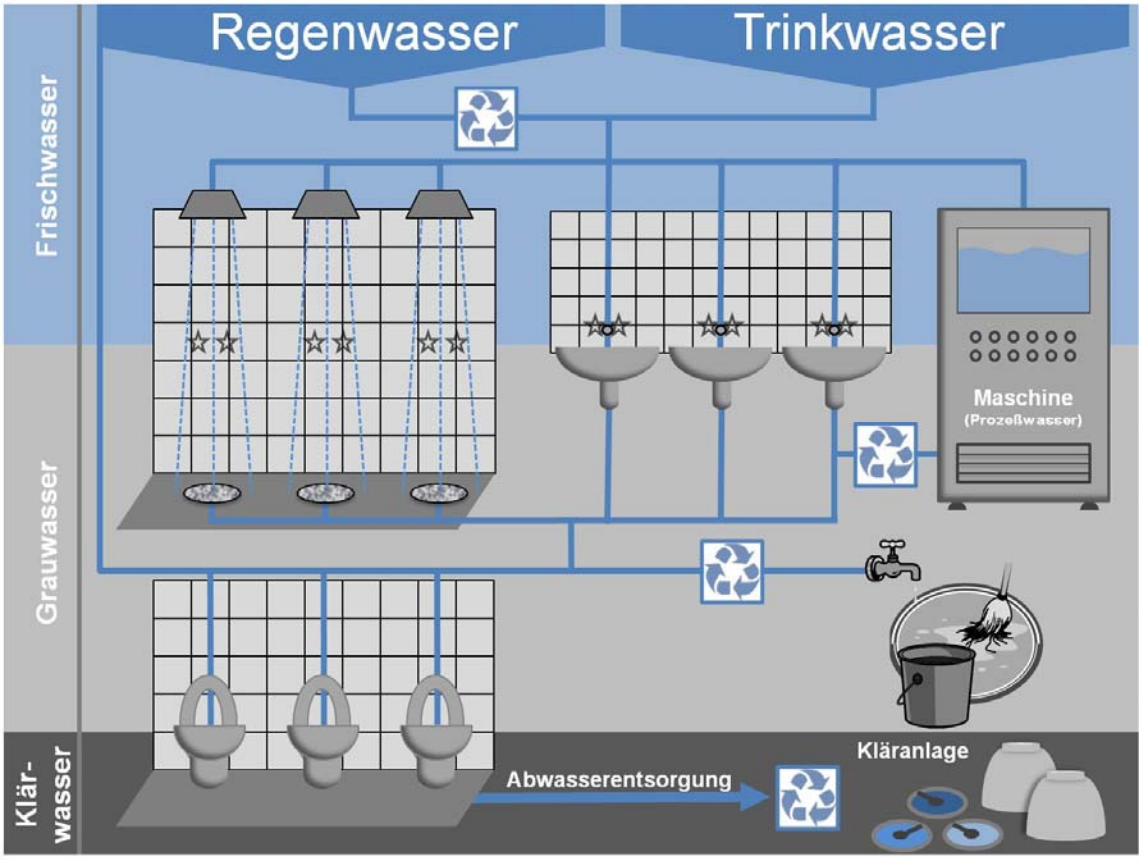


Abbildung 3-2: Regenwassernutzung in der Industrie

Fast genauso wichtig wie die Wasserversorgung ist auch die Abwasserentsorgung. In der Regel wird in der Industrie zwischen Frischwasser, Prozesswasser und Sanitärwasser unterschieden. Das Prozesswasser wird heutzutage in Kreisläufen verwendet und intern aufbereitet. Ein Teil dieses Prozesswassers verdunstet oder wird verschleppt, zum Beispiel nach der Dichtheitsprüfung und der Fahrzeugwaschanlage am Ende des Montageprozesses. Sanitärwasser wird in Duschen und Toiletten verwendet. Das daraus resultierende Abwasser wird in die Kanalisation eingeleitet und somit entsorgt. In Klärwerken, kommunal- oder privatwirtschaftlich, wird das Abwasser dreistufig (physikalisch, biologisch und chemisch) gereinigt und danach dem natürlichen Wasserkreislauf wieder zugeführt. Somit beeinflusst die Wasserqualität, nach dem Klärprozess, auch die Trinkwasserqualität und -verfügbarkeit für den Produktionsprozess.

Es ist in diesem Zusammenhang äußerst wichtig, auf eine zeitgemäße und gesamtheitliche Abwasseraufbereitung zu achten, auch bezogen auf die Industrien und Städte in der näheren Umgebung.

3.1.4 Die Umweltrahmenbedingungen

Die Umweltrahmenbedingungen zählen zu bedeutungsvollsten Bewertungskriterien der Standortanalyse für ein nachhaltiges, ressourceneffizientes Automobilwerk. Auf keinen Fall sollte eine Naturschutzfläche verwendet oder durch den Werksaufbau und -betrieb negativ beeinflusst werden. Daher ist das potentielle Baufeld und deren nähere Umgebung auf diesbezügliche Beschränkungen (Natur- und Wasserschutzgebiete) zu analysieren. Dieses Kriterium stellt somit ein K.-o.-Kriterium bei der Standortanalyse dar.

Ein großer Industriebetrieb verursacht natürlich auch eine Vielzahl von Emissionen wie zum Beispiel Kohlendioxid (CO_2), Kohlenmonoxid (CO), organische Lösungsmittel (VOC), Stickoxide (NO_X) und Lärm. Regionale- und/oder länderspezifische Vorgaben zum Emissionsschutz sind selbstverständlich einzuhalten und größtmöglich zu unterschreiten. Die Entfernung zu Naturschutz- und Wohngebieten muss in die Bewertung eines Standortes ebenso mit einbezogen werden. Ein erhöhtes Verkehrs- und Transportaufkommen durch Personen- und Anlieferverkehr kann einen negativen Einfluss auf die Schallimmisionen nahegelegener Wohngebiete haben. Bei einem Neubau (Greenfield) sollte daher ein großer Abstand zur Wohnbebauung angestrebt werden.

Eine Auflistung und Analyse möglicher Risikofaktoren und -träger in der Umgebung des geplanten Werksneubaus muss ebenfalls in die Gesamtbetrachtung einfließen. Negative Einflüsse, gleich welcher Art, sind von vornherein auszuschließen. Umweltverschmutzungen oder -beeinträchtigungen wie Rauch, Smog, Staub, Chemikalien oder ein Katastrophenrisiko können den Fabrikbetrieb kurzfristig oder dauerhaft beeinträchtigen.

Nachfolgend sind einige Risikofaktoren aufgelistet:

- ✓ Chemische Industrie
- ✓ Kernkraftwerke
- ✓ Raffinerien
- ✓ Flughäfen
- ✓ Wettereinflüsse (Stürme, Hagel)
- ✓ Bergbau (Untertage)
- ✓ Vulkane
- ✓ Erdbeben
- ✓ umweltbeeinflussende Industrien
- ✓ Starkwinde (Tornado, Hurrikan).

Ein umweltbewusster und ressourcenschonender Umgang mit Materialien und Stoffen aller Art muss als Ziel die nachhaltige Reduzierung von Abfällen und Schrott haben. Grundsätzlich lässt sich zwischen zwei Arten von Abfall unterscheiden: Abfall zur Verwertung und Abfall zur Entsorgung. Als **Abfall zur Verwertung** bezeichnet man jeden Abfall, der recycelt oder in irgendeiner Weise weiterverwendet werden kann. **Abfall zur Entsorgung** muss fachgerecht entsorgt werden. Beide Arten können weiter differenziert werden in gefährlich und nicht gefährlich. Einige Beispiele zeigt die folgende Tabelle 3-2.

Tabelle 3-2: Übersicht Abfallarten (Auswahl)

Abfälle zur Verwertung (beispielhaft)		**Abfälle zur Beseitiung (beispielhaft)**	
nicht gefährlich	**gefährlich**	**nicht gefährlich**	**gefährlich**
Eisen und NE-Schrott	Lackschlamm trocken	hausmüllähnlicher Gewerbeabfall	Filterkuchen aus Abwasserbehandlungsanlage
Papier/Kartonagen	Schlamm aus Tankreinigung		Reinigungsabwässer aus Lackiererei
Kunststoffe	Altöle		PVC-Abfall
Holz	Lösemittel		

Bei der Standortauswahl ist darauf zu achten, ob es Verwertungs- oder Beseitigungsbetriebe in der unmittelbaren Umgebung gibt. Weite Transportwege sind zum einen ein zusätzlicher Kostenfaktor und zum anderen nicht im Sinne einer nachhaltigen Ressourcenschonung.

Weiterhin muss geprüft werden, in welcher Form die Beseitigung der Abfälle erfolgt. Gibt es eine Müllverbrennungsanlage (auf umwelttechnisch höchstem Niveau)? Gibt es entsprechende/fachgerechte Mülldeponien? Wird der Abfall einfach im Meer verklappt? Es muss sichergestellt werden, auch und vor allem vom Verursacher, dass der entstandene Abfall sach- und fachgerecht entsorgt wird. Selbst wenn die lokalen Anforderungen und Regelungen nicht so streng sind wie der internationale Durchschnitt der Industrienationen.

Wichtig bei der Standortentscheidung ist auch die Verfügbarkeit von Primär- und Sekundärenergie. Für die Fahrzeugproduktion werden die verschiedensten Energiearten (Elektro-, Wärme- und Kälteenergie) benötigt. Diese können zum Beispiel aus fossilen Brennstoffen erzeugt werden. Eine nachhaltige, energieeffiziente Fabrik sollte allerdings soweit möglich, auf fossile Brennstoffe verzichten und auf regenerative Energien zurückgreifen. Aus diesem Grund sind bei der Standortanalyse auch unbedingt die regenerativen Energien in die Gesamtbetrachtung und Bewertung der potentiellen Standorte einzubeziehen. Regenerative Energien spielen im Vergleich zu fossilen oder Nuklearenergie immer noch eine untergeordnete Rolle.

Die folgende Tabelle 3-3 stellt einige Länder gegenüber und zeigt die Veränderung zum Vorjahr (2011) auf. Die USA und China sind dabei die größten Energieverbraucher. Norwegen ist gelistet, da es zum einen keine Atomenergie erzeugt und zum anderen einen hohen Anteil an Wasserkraft hat. Dem gegenüber steht Frankreich mit einem sehr großen Anteil an Atomenergie. Deutschland stellt einen Vergleichswert dar, mit dem größten Anteil an den erneuerbaren Energien (ohne Wasserkraft). Die Übersicht zeigt die jeweiligen Energieträger, fossile Brennstoffe (Öl, Erdgas, Kohle), Nuklearenergie (Uran/Plutonium) und erneuerbare Energien (Wasser und Sonstige), in Jahreswerten und die Veränderung zum Vorjahr (Absolut/Prozent).

Der Anstieg des Anteils der erneuerbaren Energien ist bei allen dargestellten Ländern positiv zu erwähnen.

Tabelle 3-3: Übersicht Verbrauch nach Energieträger 2012[91]

Mtoe [Megatonne Öl equivalent]	2012													
	fossile Energieträger						Nuklearenergie		Erneuerbare Energien					
	2011 +/-	Öl	2011 +/-	Erdgas	2011 +/-	Kohle	2011 +/-	Uran oder Plutonium	2011 +/-	Wasserkraft	2011 +/-	Rest	2011 +/-	Summe
US	-17,1	819,9	27,5	654,0	-57,7	437,8	-5,0	183,2	-9,8	63,2	5,7	50,7	-56,4	2208,8
	-2,0%	37,1%	4,4%	29,6%	-11,6%	19,8%	-2,7%	8,3%	-13,4%	2,9%	12,7%	2,3%	-2,5%	100,0%
Deutschland	-0,5	111,5	0,6	67,7	3,2	79,2	-1,9	22,5	0,8	4,8	2,0	26,0	4,2	311,7
	-0,4%	35,8%	0,9%	21,7%	4,2%	25,4%	-7,8%	7,2%	20,0%	1,5%	8,3%	8,3%	1,4%	100,0%
Norwegen	0,2	10,8	0,0	3,9	0,0	0,7	–	–	4,7	32,3	0,1	0,5	4,9	48,1
	1,9%	22,5%	0,0%	8,1%	0,0%	1,5%	–	–	17,0%	67,2%	25,0%	1,0%	11,3%	100,0%
Frankreich	-2,8	80,9	1,4	38,2	1,9	11,4	-3,7	96,3	2,9	13,2	1,0	5,4	0,7	245,4
	-3,3%	33,0%	3,8%	15,6%	20,0%	4,6%	-3,7%	39,2%	28,2%	5,4%	22,7%	2,2%	0,3%	100,0%
China	24,3	483,7	12,0	129,5	112,5	1873,3	2,5	22,0	36,6	194,8	6,5	31,9	194,4	2735,2
	5,3%	17,7%	10,2%	4,7%	6,4%	68,5%	12,8%	0,8%	23,1%	7,1%	25,6%	1,2%	7,7%	100,0%

Anstieg zum Vorjahr
Reduzierung zum Vorjahr
Keine Veränderung

Generell gilt es zu klären, welche regenerativen Energien grundsätzlich vor Ort möglich sind und welche bereits von Energieversorgern oder Investoren angeboten werden. In der folgenden Abbildung 3-3 sind die wichtigsten regenerativen Energiearten aufgelistet und den primären Nutzungsmöglichkeiten in einem Industriebetrieb zugeordnet.

[91] vgl.: BP – British Petrol (2013): Statistical Review of World Energy 2013, S. 41.

Piktogramm	Regenerative Energieart	Primär-Nutzung			
		Strom	Wärme	Kälte / Kühlung	Kraftstoff
	**Sonnenenergie** ▪ Solarthermie ▪ Photovoltaik ▪ Solarkraftwerk	✓	✓		
	**Windenergie** ▪ Off-Shore ▪ On-Shore	✓			
	**Wasserenergie** ▪ Laufwasserkraftwerk ▪ Gezeitenkraftwerk ▪ Speicherkraftwerk ▪ Gletscherkraftwerk ▪ Wellenkraftwerk ▪ Gradientenkraftwerk	✓		✓	
	**Bioenergie** ▪ Biomasse ▪ Biogas ▪ Deponiegas	✓	✓		✓
	**Geoenergie** ▪ Tiefen-Geothermie ▪ Oberflächen-Geothermie		✓	✓	

Abbildung 3-3: Übersicht regenerative Energiearten

Im Idealfall kann der gesamte Energiebedarf eines Industriebetriebes über einen Energiemix aus den oben genannten regenerativen Energiearten abgedeckt werden. Eine singuläre Energienutzung birgt allerdings ein Versorgungsrisiko bedingt durch Klimaschwankungen, der Verfügbarkeit von Biomasse und nicht zuletzt der Abhängigkeit von Jahres- und Tageszeiten.

Des Weiteren ist zu prüfen, ob es länder- oder regionalspezifische Subventionen, Förderungen oder Steuererleichterungen, analog des EEG (Erneuerbare Energien Gesetz) in Deutschland für die Nutzung von regenerativen Energien gibt. Langfristig kann durch die Nutzung von erneuerbaren Energien die Versorgungssicherheit erhöht und die Unabhängigkeit von fossilen Energieträgern sichergestellt werden.

Preissteigerungen zufolge der Ressourcenverknappung oder Preisschwankungen, zum Beispiel verursacht aufgrund der Regulierung von Fördermengen durch die erdölexportierenden Länder, können somit weitestgehend ausgeschlossen werden. Industrieunternehmen erhalten durch die Nutzung von erneuerbaren Energien somit zusätzlich eine gewisse Planungs- und Zukunftssicherheit.

3.1.5 Der Klimaeinfluss

Bei der Standortanalyse wurde der Klimaeinfluss bisher gar nicht oder nur in sehr begrenztem Umfang berücksichtigt. Besonders bei der Neuplanung einer energieeffizienten Fabrik muss diese Hauptkategorie umfangreich untersucht werden, da sie bei der Standortentscheidung eine wichtige Rolle spielt. Der Einfluss des Klimas hat langfristig Auswirkungen auf die Energiekennzahlen eines Industriebetriebes.

Befindet sich ein Werk zum Beispiel in einer **kühleren Klimazone**, so ist mit einem erhöhten Energiebedarf bedingt durch das Beheizen der Büro-, Verwaltungs- Produktions- und Logistikbereiche zu rechnen. Des Weiteren kann jahreszeitenbedingt durch reduziertes Tageslicht ein vermehrter Beleuchtungsbedarf nötig sein. Zusätzlich sind die Gebäude und zentralen Einrichtungen entsprechend auszurichten (z. B. verbesserte Wärmeisolierung, erhöhte Tragfähigkeit der Dächer (Schneelast), speziell isolierte Versorgungsleitungen oder tieferliegende Leitungen im Boden (Frostschutz).

Dem gegenüber ist bei einem Werk, dass sich in einer sehr **heißen Klimazone** befindet mit einem erhöhten Energiebedarf, zum Beispiel durch Klimatisierung, zu rechnen. Besonders die Produktion von Automobilen basiert auf einem konstanten Temperaturniveau in allen Produktionsteilschritten, da mit sehr engen maßlichen Toleranzen gearbeitet wird. Grosse Temperaturschwankungen haben aus diesem Grund einen negativen Einfluss auf die Qualität des Endproduktes. Nicht zuletzt muss ein Unternehmen aber auch angenehme Arbeitsbedingungen für die Mitarbeiter schaffen.

Eine ausreichende Belüftung, gemessen an der Luftwechselrate, ist ebenso wichtig wie die richtige Temperatur. Besonders in einem personalintensiven Bereich wie der Fahrzeugmontage ist dafür Sorge zu tragen. Analysiert man die wichtigsten Produktionsstandorte ausgewählter Premium-OEM's, so wird die anfängliche Vermutung, dass die Klimazonen bei der Standortwahl eine untergeordnete Rolle gespielt haben, bestätigt. Abbildung 3-4 zeigt einige OEM Standorte verteilt auf der Weltkarte. Zur Analyse wurden vergleichbare Automobilhersteller gegenüber gestellt. Eine detaillierte Auflistung und Datenbasis für diese Übersicht ist im **Anhang B: Übersicht OEM-Produktionsstandorte weltweit** zu finden. Inhalt der Betrachtung waren neben dem Produktionsstandort auch die jeweils produzierten Fahrzeugmodelle.

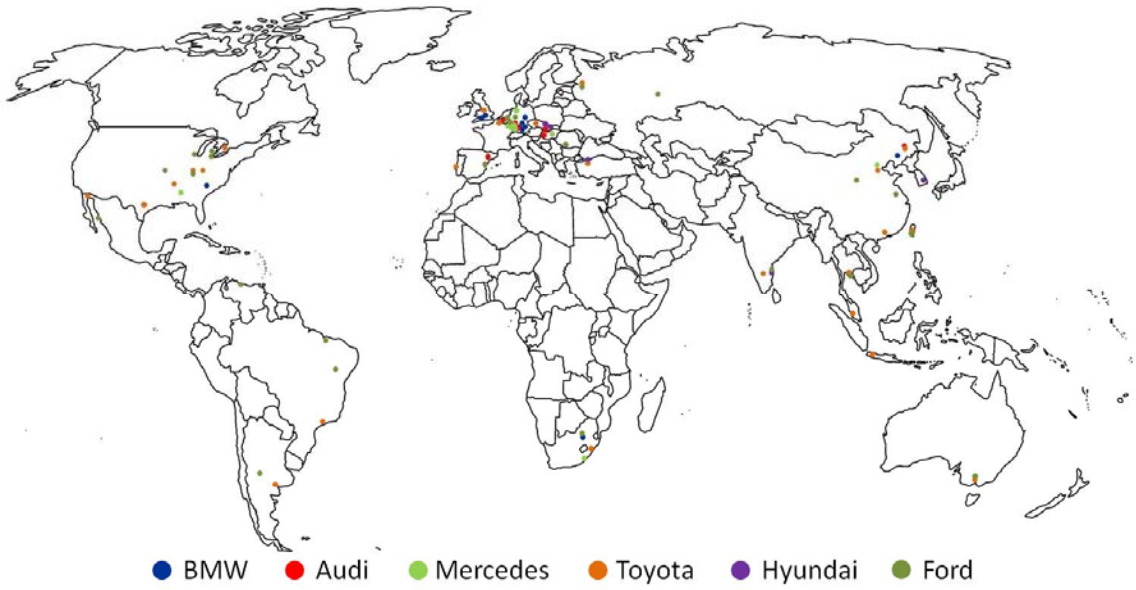


Abbildung 3-4: OEM Standorte weltweit

Deutlich zu erkennen sind die Ballungszentren der Automobilindustrie in Mitteleuropa und Nordamerika. Die Automobilproduktion hat traditionell in diesen beiden Regionen im 20. Jahrhundert ihren Ursprung gehabt. Die Standortentscheidungen damals basierten hauptsächlich auf Ballungszentren der Industriealisierung, in deren Umfeld Rohstoffe, Technologien und qualifizierte Mitarbeiter zur Verfügung standen. Zusätzlich war die Nähe zu den Absatzmärkten ausschlaggebend.

Das Thema Energie- und Ressourceneffizienz hat dabei keine Rolle gespielt. Auch der Umweltschutz hat in den Jahren der Industriealisierung kaum existiert. Im Rahmen der Globalisierung wurden auch weitere Produktionsstandorte attraktiv, vor allem durch Lohn-, Währungs- und Zollvorteile. In jüngster Zeit sind auch etliche Produktionsstandorte in Asien, vor allem China, dazugekommen. Die Gründe hierfür sind fast ausschließlich die Erschließung neuer Absatzmärkte und das Überwinden von Markteintrittsbarrieren wie zum Beispiel hohe Einfuhrzölle oder Importquoten. Auch hier spielt das Thema Energie- und Ressourceneffizienz keine Rolle. Die Standortentscheidungen werden von der lokalen Regierung getroffen um Industrien in wirtschaftsschwachen Regionen anzusiedeln.

Bezieht man jetzt die Klimazonen in die Betrachtung mit ein, so wird klar, dass einige Produktionsstandorte klimatechnisch nicht optimal platziert sind. Legt man die Abbildung 3-4 über die Übersicht der Klimazonen (nach Neef), so ergibt sich die Abbildung 3-5.

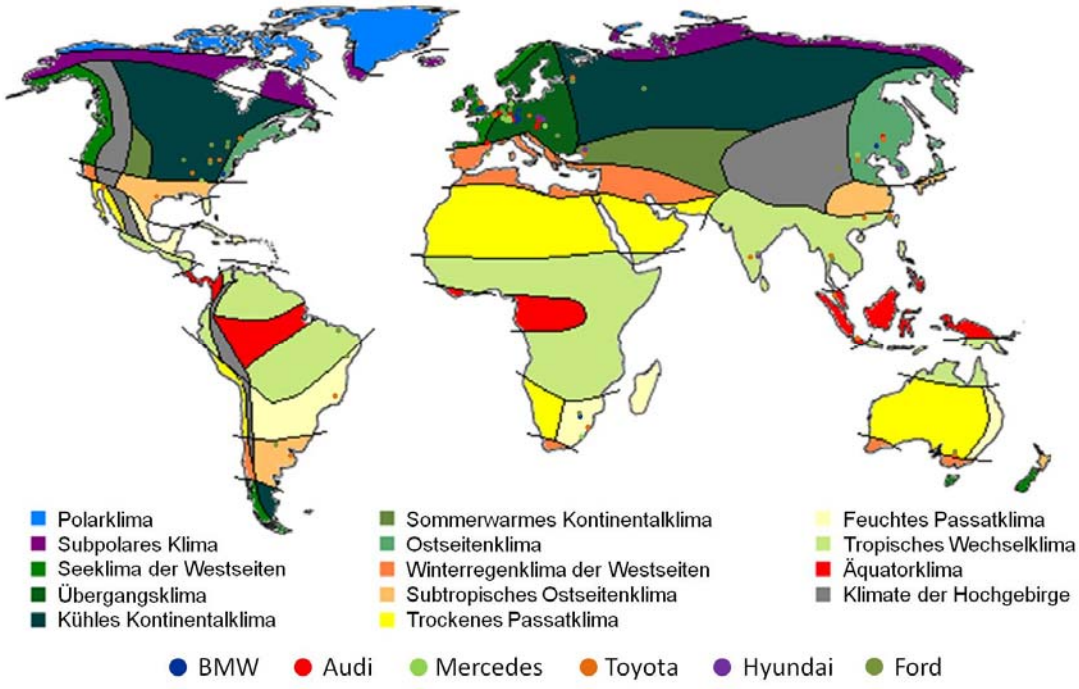


Abbildung 3-5: OEM Standorte in Klimazonen weltweit (Klimazonen nach Neef)

Es wird deutlich, dass sich die Produktionsstandorte bisher auf die gemäßigten Klimazonen, das kühle Kontinentalklima und Übergangsklima beziehungsweise das Seeklima der Westseiten konzentrieren.

Besonders die Standorte im kühlen Norden, den Subtropen, im trockenen und feuchten Passatklima und im tropischen Wechselklima sind nachteilig im Bezug auf die Energieeffizienz. Die Klimatologie bietet eine Vielzahl an Methoden und Modellen zur Klassifizierung des Klimas auf der Erde. Für eine ganzheitliche Standortanalyse sind die jeweiligen Klimafaktoren und Klimaelemente[92] der einzelnen Regionen zu berücksichtigen. In der folgenden Abbildung 3-6 sind diese Elemente des Klimadiagrammes nach Köppen/Geiger aufgelistet.

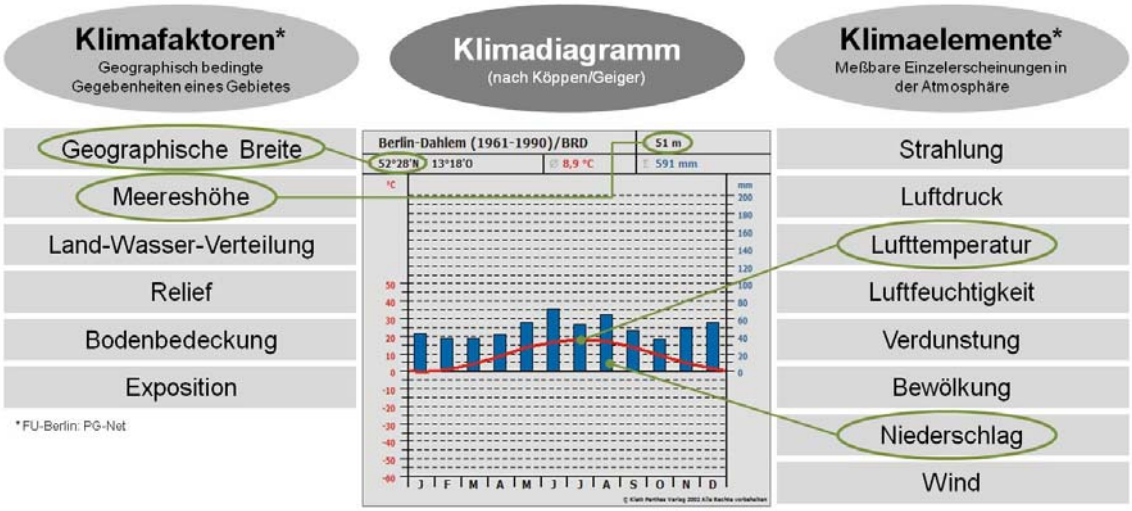


Abbildung 3-6: Das Klimadiagramm nach Köppen/Geiger und seine Elemente[93]

Ein Klimadiagramm veranschaulicht die klimatischen Verhältnisse, unter zur Hilfenahme von Durchschnittstemperaturen und Niederschlägen, an einem bestimmten Ort im Jahresverlauf.

[92] vgl.: Freie Universität Berlin (2013), PG-Net Definition: Klimaelemente und Klimafaktoren.

[93] vgl.: Ernst Klett Verlag (2013), Infoblatt Gemäßigte Klimazone.

Die Temperaturen werden als Kurve, die Niederschläge als blauer Balken für jeden Monat dargestellt. Diese sogenannten hygrothermischen Klimadiagramme basieren auf 30-jährigen Mittelwerten.

Eine andere Form der Darstellung zeigt die Abbildung 3-7. Hierbei sind jeweils zwei Temperaturkurven zu sehen, die durchschnittliche Höchst- und die durchschnittliche Niedrigsttemperaturkurve. Die Darstellung des Niederschlages als Balkendiagramm spielt in diesem Zusammenhang eine untergeordnete Rolle, sollte aber nicht komplett vernachlässigt werden. Diese Darstellungsform eignet sich besser, um die Extremtemperaturen darzustellen. Im **Anhang C: Auswahl Klimadiagramme weltweit** sind weitere Klimadiagramme zur Analyse hinterlegt. In dem vorliegenden Beispiel sind zwei Automobil Produktionsstandorte mit sehr unterschiedlichen Klimaausprägungen gegenübergestellt, um den Klimaeinfluss auf den Energieverbrauch zu veranschaulichen. Der eine Standort befindet sich in Shenyang/China (BMW) und der andere in Sao Paulo/Brasilien (Toyota). Der Standort in China befindet sich nach Neef in der **Ostseitenklimazone** und der Standort in Brasilien in der **feuchten Passatklimazone**.

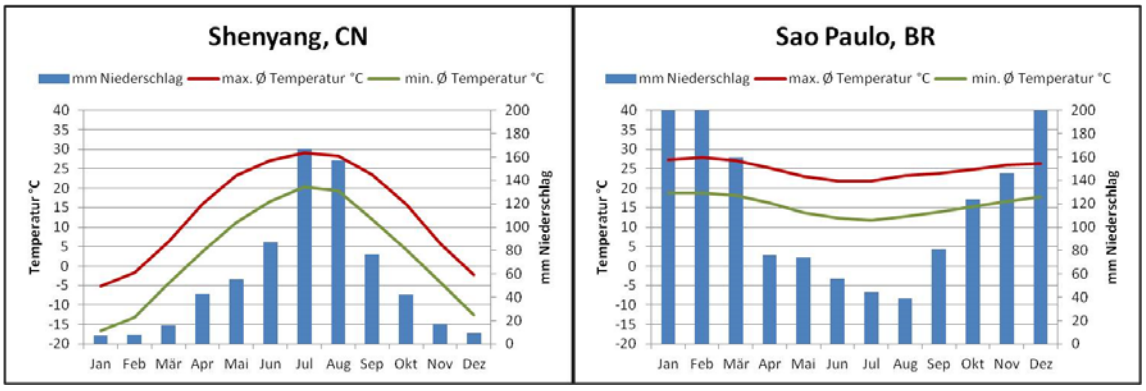


Abbildung 3-7: Vergleich Klimadiagramm Shenyang – Sao Paulo[94]

Auf den ersten Blick wird klar, dass sowohl die Temperaturschwankungen als auch die Niederschlagsmenge im Jahresverlauf stark voneinander abweichen.

[94] vgl.: WetterKontor (2013), Klimadaten weltweit.

Die Hauptniederschlagszeiträume sind um circa sechs Monate verschoben. So regnet es in Shenyang hauptsächlich in den Sommermonaten (April – Sept) und in Sao Paulo im Frühling, Herbst und Winter (Oktober – März). Auch die Niederschlagsmenge ist in Sao Paulo im Mittel circa doppelt so hoch wie in Shenyang. Beim Vergleich der Temperaturkurven lässt sich erkennen, dass die Temperaturspreizung in Shenyang circa dreimal so groß ist wie in Sao Paulo. Die Tabelle 3-4 stellt die beiden Standorte mit Absolutzahlen gegenüber.

Tabelle 3-4: Vergleich Klimadaten Shenyang/China und Sao Paulo/Brasilien[95]

Vergleich Shenyang-Sao Paulo	max. Ø Temperatur °C			min. Ø Temperatur °C			Niederschlag (mm)		
	Shen-yang	Sao Paolo	Delta	Shen-yang	Sao Paolo	Delta	Shen-yang	Sao Paolo	Delta
Jan	-5,2	27,3	32,5	-16,6	18,7	35,3	7	239	232
Feb	-1,7	28,0	29,7	-13,1	18,8	31,9	8	217	209
Mär	6,4	27,2	20,8	-4,4	18,2	22,6	16	160	144
Apr	16,0	25,1	9,1	3,8	16,3	12,5	43	76	33
Mai	23,2	23,0	0,2	11,1	13,8	2,7	55	74	19
Jun	27,1	21,8	5,3	16,6	12,4	4,2	87	56	31
Jul	29,0	21,8	7,2	20,4	11,7	8,7	167	44	123
Aug	28,3	23,3	5,0	19,3	12,8	6,5	157	39	118
Sep	23,5	23,9	0,4	11,9	13,9	2,0	77	81	4
Okt	15,9	24,8	8,9	4,1	15,3	11,2	42	124	82
Nov	5,7	25,9	20,2	-4,2	16,6	20,8	17	146	129
Dez	-2,2	26,3	28,5	-12,5	17,7	30,2	9	201	192
Jahr	**13,8**	**24,9**	**11,1**	**3,0**	**15,5**	**12,5**	**685**	**1455**	**770**

Errechnet man nun die Temperaturspreizung der Extremwerte in Shenyang (Aug: 28,3 °C und Jan: -16,6 °C), so ergibt sich eine maximale Temperaturdifferenz im Jahresverlauf von **44,9 °C**. Dem gegenüber stehen die Werte in Sao Paulo (Jan 27,3 °C und Jul 11,7 °C) mit einer maximalen Temperaturdifferenz von **15,6 °C**.

Aus dieser Gegenüberstellung kann man nun schlussfolgern, dass in Shenyang wesentlich mehr Energie benötigt wird, um diese Temperaturspreizung auszugleichen als in Sao Paulo.

[95] vgl.: WetterKontor (2013), Klimadaten weltweit.

Im Sommer wird Energie benötigt, um die Produktion zu klimatisieren und im Winter muss die Produktion beheizt werden. Prinzipiell kann man sagen, dass ein Standort vermieden werden sollte, an dem in den Wintermonaten geheizt werden muss. Die Beheizung von Industriegebäuden erfolgt in der Regel mit fossilen Primärenergieträgern wie Kohle, Öl oder Erdgas, die einen CO_2-Ausstoß zur Folge haben. Wenn möglich sollte auch auf eine Klimatisierung verzichtet werden. Unter Umständen kann eine sehr lange oder permanente Klimatisierung erforderlich sein. Einen großen Einfluss spielt hierbei die Luftfeuchtigkeit am Standort. Daher sind Standorte in der Äquator-, Subtropen- und trockenen Passatklimazone ungeeignet, da dort im Jahresdurchschnitt sehr hohe Temperaturen vorherrschen. Falls eine Klimatisierung unumgänglich ist, kann auf Erdkanäle, Wasserspeicher (Grundwasser, Seen und Flüsse) beziehungsweise regenerativ erzeugte und CO_2 neutrale Elektroenergie zurückgegriffen werden. Eine Analyse der Energieeffizienzkennzahlen der wichtigsten Produktionsstandorte der BMW Group bestätigt ebenfalls den Einfluss des Standortes beziehungsweise der Klimazone auf die Energieeffizienz. Ein solcher Vergleich setzt allerdings voraus, dass ähnliche Produkte in ähnlicher Fertigungstiefe und vergleichbaren Strukturen gefertigt werden. Die Tabelle 3-5 zeigt die unterschiedlichen Energieeffizienzkennzahlen der Standorte und verweist auf Abweichungen zum Benchmark, dem Werk Regensburg.

Tabelle 3-5: Energieeffizienzranking BMW-Werke 2012

Ranking	Fahrzeugwerk	Effizienzkennzahl [MWh/Eh] [1]	Anteil Energiebedarf [2]	Modell-palette	Abweichung zum Benchmark	
					Erhöhung	Reduzierung
0	Tiexi	0,83	1,1%	X1, 3er		Neueste Struktur, Keine Lackiererei
1	Regensburg	1,25	10,2%	1er, 3er, Z4	Benchmark	
2	München	1,42	9,3%	3er	Alte Gebäudestruktur	Kompakte Gebäude
3	Leipzig	1,43	6,2%	1er, X1	Kleine installierte Kapa im Verhältnis zur Fläche	Neue Struktur, Neue Anlagentechnik
4	Oxford/Swindon	1,72	8,8%	Mini	Alte Gebäudestruktur, Veraltete Anlagentechnik	Einfachere Produkte, Fahrzeugarchitektur
5	Dingolfing	1,8	20,6%	5er, 6er, 7er	Alte Gebäude, Warmumformen, Netzwerkleistung (Presswerk)	
6	Rosslyn	2,17	3,0%	3er	veraltete Anlagentechnik	Kein Presswerk
7	Spartanburg	2,2	15,9%	X3, X5, X6	Klimatisierung	Kein Presswerk
8	Dadong	2,34	5,7%	5er	Veraltete Lackiererei, Alte Gebäudestruktur	
9	Goodwood	12,05	0,9%	Rolls Royce	Manufakurbetrieb	Geringe Automatisierung Kein Presswerk, Karosseriebau

[1] Kerntechnologien: Presswerk, Karosseriebau, Lackiererei und Montage

[2] Bezogen auf Energiebedarf der BMW Group, Segment PKW

Grundsätzlich lässt sich erkennen, dass besonders die klimaintensiven Werke wie Rosslyn (Südafrika), Spartanburg (USA) und Dadong/Shenyang (China) einen überdurchschnittlichen Energieverbrauch haben. Begründen lässt sich dies durch im Vergleich sehr kalte Winter und/oder sehr warme, lange Sommer. Die Notwendigkeit diese Temperaturschwankungen sowohl im Winter durch Beheizen und im Sommer durch Klimatisierung auszugleichen, treibt den Energieverbrauch und somit die Energieeffizienzkennzahl in die Höhe. Das Rolls Royce Werk in Goodwood ist in diesem Zusammenhang separat zu erwähnen. Die schlechte Energieeffizienzkennzahl lässt sich durch die, im Vergleich zur Großserienproduktion, sehr geringen Produktionsstückzahlen dieser Manufakturfertigung erklären.

Um dieser Situation langfristig und nachhaltig entgegen zu wirken, muss bereits bei der Standortwahl auf die Energieeffizienz geachtet werden. Aus diesem Grund wurde das Klimadiagramm um Effizienzzonen ergänzt. Dadurch lassen sich potentielle Standorte sehr schnell und einfach im Hinblick auf die Energieeffizienz bewerten. Die folgende Abbildung 3-8 dient als Vorlage und veranschaulicht die Drei-Energieeffizienz-Zonen (3-EEZ).

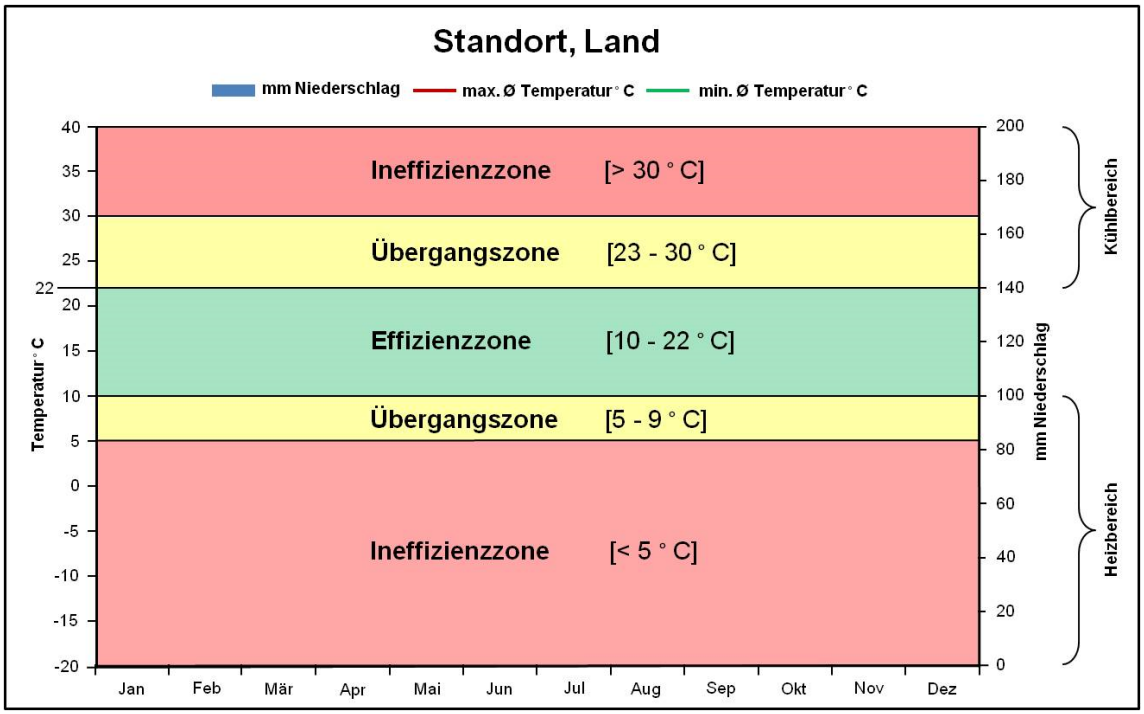


Abbildung 3-8: 3-Energie-Effizienz-Zonen-Klimadiagramm

Die Temperaturkurven eines klimatisch energieeffizienten Standortes dürfen keinesfalls bis in die roten Zonen reichen. In der unteren Ineffizienzzone ist der Heizenergiebedarf zu hoch, in der oberen der Kühlenergiebedarf. Die Übergangszonen stellen den Toleranzbereich zwischen Ineffizienz und Effizienz dar. Auch hier bedeutet die untere Zone eventuell einen Wärme- und die obere einen Kühlungsbedarf.

Die obere Übergangszone ist breiter, da Kühlenergie regenerativ und CO_2-neutral erzeugt werden kann. Die grüne Effizienzzone spiegelt den Zielbereich einer energieeffizienten Fabrik dar. Innerhalb dieser Zone sollte in der Regel weder eine Beheizung noch eine Kühlung des Produktionsgebäudes notwendig sein. Dies ist selbstverständlich von weiteren Faktoren wie den verwendeten Prozessen, der Gebäudestruktur, des Belüftungskonzeptes und den verwendeten Bau- beziehungsweise Isolationsmaterialien abhängig. Wendet man dieses 3-EEZ-Klimadiagramm nun auf die zuvor verwendeten Beispielstandorte Shenyang und Sao Paulo an, so ergibt sich die folgende Abbildung 3-9.

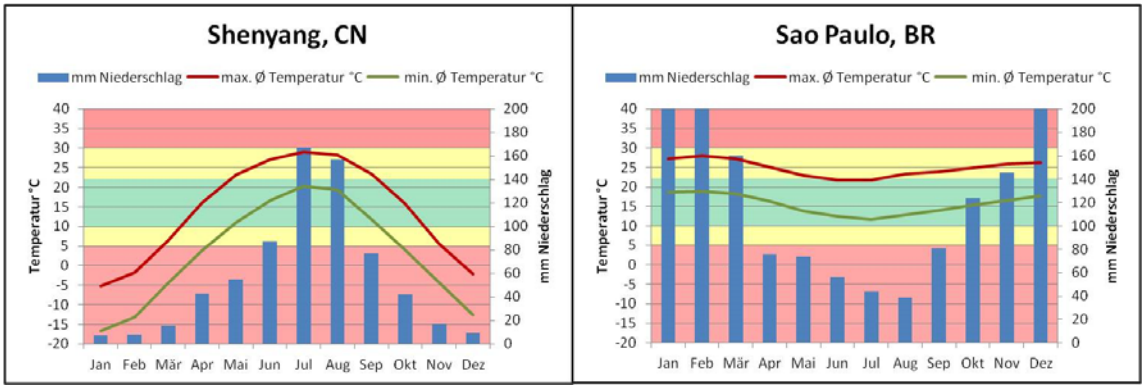


Abbildung 3-9: Vergleich 3-EE-Zonen Klimadiagramm Shenyang – Sao Paulo

Deutlich zu erkennen ist bei dieser Gegenüberstellung, dass der Standort Sao Paulo sich innerhalb der Effizienz- beziehungsweise der Übergangszone befindet. Der Standort Shenyang dagegen befindet sich mehr als die Hälfte des Jahres in der Ineffizienzzone des Heizbereiches. Daraus lässt sich folgern, dass in Shenyang wesentlich mehr CO_2 durch das Beheizen des Produktionsstandortes erzeugt wird. Demzufolge ist der Energieverbrauch höher und somit auch die Energiekosten. Allein bezogen auf den Standortfaktor Klimaeinfluss ist eine Produktion von Fahrzeugen in Sao Paulo wesentlich effizienter als in Shenyang. Diese Erkenntnis ist umso gewichtiger, wenn man in Betracht zieht, dass dieser Effekt über die gesamte Laufzeit des Produktionsstandortes, also mehrere Jahrzehnte, zum Tragen kommt. Zusätzlich ist dies unabhängig vom produzierten Produkt oder der verwendeten Technologie.

Glaubt man den Prognosen der Energiepreisentwicklungen weltweit, so wird der Faktor Standortentscheidung unter dem Aspekt der Energieeffizienz und der Verfügbarkeit von erneuerbaren Energien in Zukunft immer wichtiger. Weltweit gibt es eine Vielzahl von möglichen Standorten mit einen ähnlichen Klimaprofil wie Sao Paulo. Bedingt durch die Lage auf der jeweiligen Hemisphäre kann dieses zusätzlich auf der X-Achse verschoben sein. Abbildung 3-10 vergleicht die beiden Standorte Los Angeles und Eureka, beide in Californien/USA. Auch diese beiden Standorte zeigen ein ideales Klimaprofil mit geringen Ausschlägen bei den Temperaturkurven. Der Energiebedarf zum Beheizen und/oder Kühlen ist an diesen Standorten minimal.

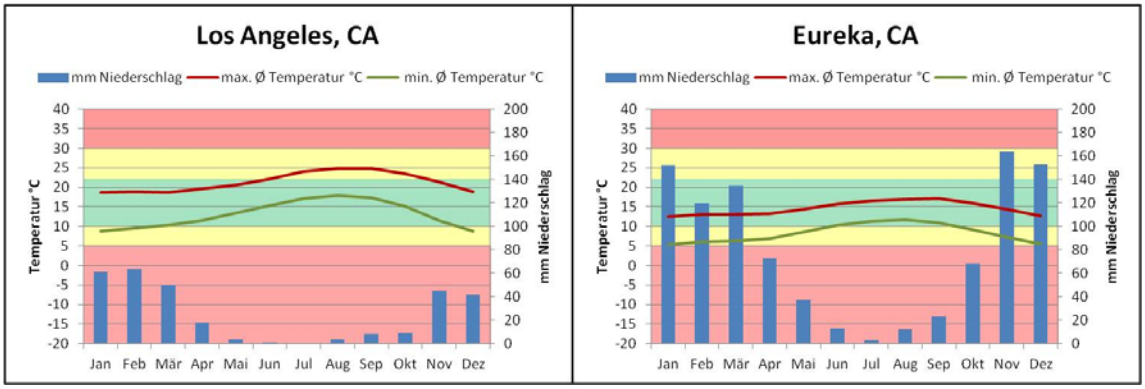


Abbildung 3-10: Vergleich 3-EE-Zonendiagramm Los Angeles und Eureka Californien/USA

3.2 Werksstruktur / Gebäudestruktur

Im folgenden Kapitel wird kurz auf die Werks- beziehungsweise Gebäudestruktur eingegangen. Da der Fokus dieser Betrachtung auf der Fahrzeugmontage liegt, werden hier nur grundsätzliche Rahmenbedingungen und Anforderungen an eine energieeffiziente Fabrik beleuchtet. Die Gebäude der einzelnen Technologien (vgl. Kapitel 2.4) werden aus diesem Grund als „Black Box“ dargestellt, ohne Berücksichtigung von Größe, Form und technologiespezifischen Anforderungen. Eine umfassendere Betrachtung verschiedener Werks-Layout-Varianten ist hier nicht vorgesehen, da dies die Kenntnis über das zu produzierende Produkt mit einschließen würde. Diese Detailuntersuchung ist zudem auch abhängig von den jeweiligen Fertigungsprozessen. In der Regel werden verschiedene Layoutvarianten erzeugt, bewertet und schließlich die Ideallösung identifiziert und realisiert. Dabei werden oft umfangreiche Scoringmodelle herangezogen, um eine möglichst objektive und sachliche Bewertung der Varianten sicherzustellen.

3.2.1 Werksstrukturlayout

Prinzipiell sollten in einem Fahrzeugwerk alle Kerntechnologien (Presswerk, Karosseriebau, Lackiererei und Montage) vor Ort vorhanden sein. Dies reduziert deutlich das Transportvolumen und somit auch den CO_2-Ausstoss.

Eine nachhaltige Konzeption von Strukturen und Gebäuden beinhaltet zudem eine konsequente Life-Cycle-Betrachtung. Ein Fahrzeugwerk ist in die Kategorie „langfristige Investition“ einzuordnen, das heißt, die Laufzeit eines Werkes wird mit mehreren Jahrzehnten kalkuliert. Daher wirken sich Planungsfehler in der Strukturplanung auch sehr langfristig aus. Der Planungsprozess für die Werksstruktur lässt sich in vier Konzeptbausteine beziehungsweise Teilschritte gliedern, die jeweils einzeln für sich untersucht werden müssen, um dann in die Gesamtbetrachtung einzufließen:

1. Prozessorientierung / Ablaufplanung / Material- und Personalströme
2. Nachhaltigkeit / Flexibilität / Wandlungsfähigkeit
3. Kommunikation / Mitarbeiterorientierung / Produktivität
4. Ressourcen- und Energieeffizienz.

Im Folgenden werden diese Teilschritte ausführlicher beschrieben. Im Einzelfall kann es vorkommen, dass ein oder mehrere dieser Teilschritte mehrfach durchlaufen werden müssen. Es kann durchaus notwendig sein, basierend auf den Ergebnissen eines nachgelagerten Teilschrittes, ein oder mehrere vorgelagerte Teilschritte zu überarbeiten. Die Verflechtung aller Teilschritte miteinander spiegelt letztendlich die Komplexität eines modernen Fahrzeugwerkes wider. Wichtig dabei ist die Reihenfolge bei der Bearbeitung. Ausgehend vom Produkt müssen zunächst die Hauptprozesse definiert werden. Bereits hier muss auch die Flexibilität und Wandlungsfähigkeit berücksichtigt werden. Die Betrachtungsweise muss von innen nach außen erfolgen. Die Produktivität und Mitarbeiterorientierung beeinflusst alle Teilbereiche des Planungsprozesses. Nicht zuletzt muss der Fokus auf die Ressourcen- und Energieeffizienz gelenkt werden. Der Einfluss der Werksstruktur auf den Energieverbrauch wurde in der Vergangenheit oft unterschätzt oder gar nicht berücksichtigt.

In dieser Planungsphase (Werkslayout) werden die Weichen gestellt für die gesamte Laufzeit des Werkes (i. d. R. >30 Jahre). Fehler lassen sich nicht oder nur sehr schwer und kostenintensiv beheben. Aus diesem Grund ist es besser, eine Iterationsschleife mehr als weniger in dieser frühen Planungsphase durchzuführen.

1. **Prozessorientierung / Ablaufplanung / Material- und Personalströme**
    - Kurze Transportwege
    - Wertstromorientierung
    - Optimaler/entkoppelter Produktions-, Personal- und Materialfluss

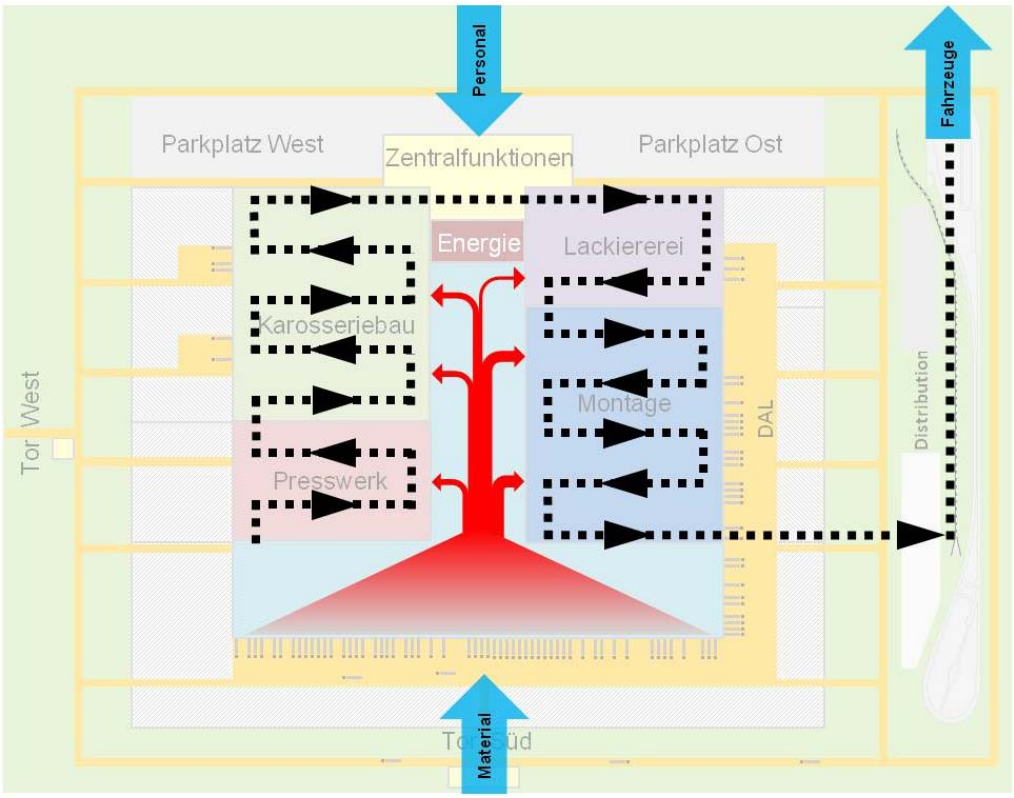


Abbildung 3-11: Prozess-, Personal und Materialflusskonzept

Basierend auf den Prozessen, die innerhalb des Werkes und der einzelnen Technologien abgebildet werden sollen, kann die Anordnung der Gebäude erfolgen (siehe Abbildung 3-11). Die Aneinanderreihung der einzelnen Prozessschritte muss dem Prinzip des kontinuierlichen Flusses folgen. Zwischen den einzelnen Technologien sollten aber dennoch Entkopplungsspeicher vorgesehen werden. Dies ermöglicht der Produktion zu „atmen“, das heißt Verfügbarkeitsprobleme zwischen den Hauptprozessen auszugleichen. Prinzipiell ist auf kurze Wege Wert zu legen.

Dadurch werden die Aufwendungen für die Transportlogistik und die Länge der Fördertechnik minimiert. Eine konsequente Trennung von Personal-, Material- (Inbound)- und Produktströmen (Outbound) ist zu realisieren. Das reduziert zum einen die Unfallgefahr und zum anderen Wartezeiten durch Kreuzungsverkehr. Eine komplette Entkopplung der Waren- und Personalströme kann allerdings auch zu erhöhten Wegstrecken führen.

2. **Nachhaltigkeit / Flexibilität / Wandlungsfähigkeit**
    - Wertschöpfungsorientierung
    - Zukunftssichere/Flexible Struktur
    - Entkoppelte Erweiterungs- und Ausbauszenarien

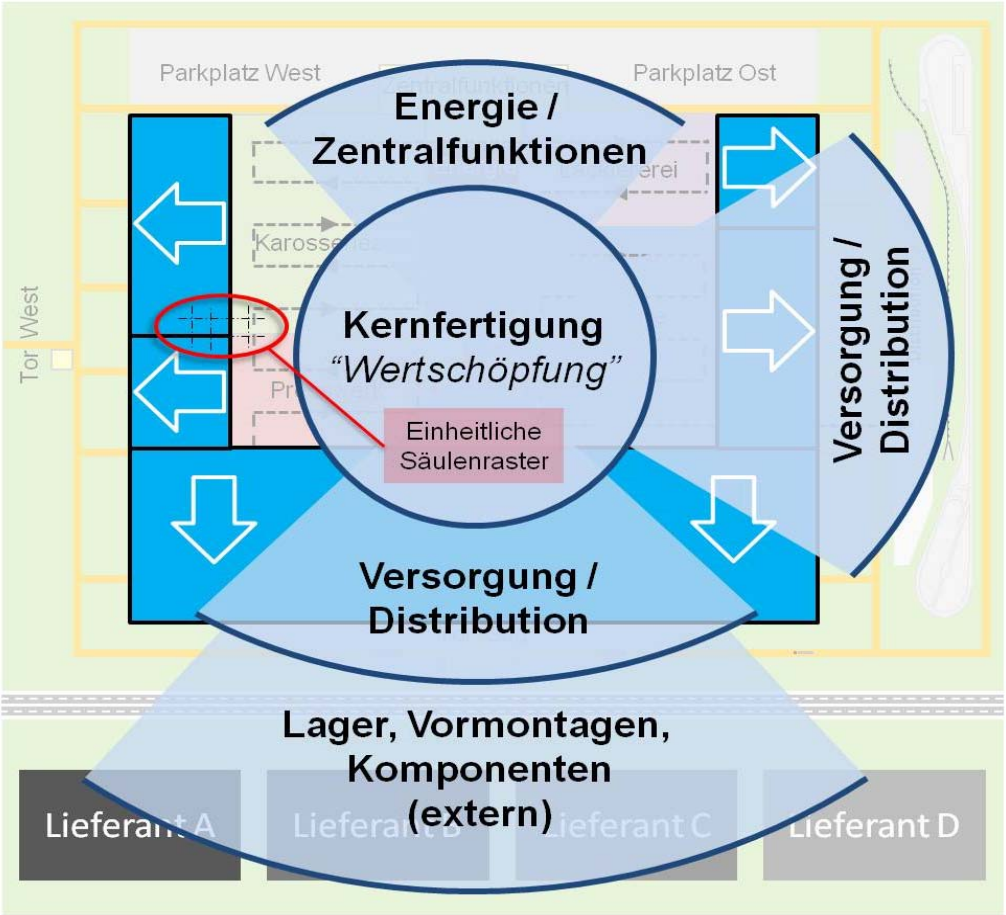


Abbildung 3-12: Flexibilität- und Erweiterungskonzept

Die Flexibilität und Wandlungsfähigkeit sollte eine übergeordnete Rolle bei der Festlegung der Werksstruktur spielen. Die Langfristwirkung der Investitionen beim Werksneubau führt zu dem Anspruch auf größtmögliche Erweiterbarkeit und Flexibilität bei der Flächennutzung. Die einzelnen Technologien (Presswerk, Karosseriebau, Lackiererei und Montage) sind möglichst eng aneinander zu platzieren, um lange Transportwege zu vermeiden. Allerdings muss jede Technologie für sich auch wachsen können. Aus diesem Grund sind die Erweiterungsflächen zu entkoppeln, das heißt, sie müssen in verschiedenen Richtungen wachsen können, ohne sich gegenseitig zu begrenzen.

Das Gesamtgebäudekonzept basiert auf einheitlichen Gebäudetypen (Flach- oder Geschossbauten) und einem standardisierten Säulenraster. Grosse Säulenraster sind von Vorteil, da die Gebäude eine möglichst große Stützenfreiheit haben sollten. Aus diesem Grund werden auch teilweise sehr hohe Anhängelasten bei der Dachkonstruktion vorgesehen, da Teile der Anlagentechnik vom Dach abgehängt werden, um ein hohes Maß an Flexibilität auf den Produktionsflächen zu gewährleisten. Die Erweiterungsszenarien sind in verschieden Stufen bereits zu Planungsbeginn zu berücksichtigen. Zum Beispiel, eine gestaffelte Stundenleistung von 10, 20, 30, 40, 50 und 60 Einheiten.

Die Nebenflächen sind zu reduzieren und der Fokus muss auf den wertschöpfenden Gebäuden und Flächen der Kernfertigung liegen. Die Vorgehensweise bei der Planung sollte vom „Kern“ (eigentliche Fertigung) ausgehen und sich auf die „Schalen“ der Unterstützungsfunktionen (Logistik, Planung und Verwaltung, Energieversorgung, Werksfeuerwehr usw.) ausweiten (siehe Abbildung 3-12). Eine wandelbare und nachhaltige Struktur muss das Ziel sein. Umbauten und Änderungen sollten mit nur geringem Aufwand zu realisieren sein, die Gebäude und Flächen sind für unterschiedliche Nutzungsmöglichkeiten zu konzipieren. Eine Umnutzung eines bestehenden Gebäudes oder Gebäudeteiles sollte so einfach wie möglich realisierbar sein, ohne erhebliche Zusatzinvestitionen zu erfordern.

Ein „ineinander wachsen“ der verschiedenen Technologien und Prozesse ist zu ermöglichen und kann zudem noch Synergien im Bereich der Instandhaltung und beim Energiemanagement mit sich bringen.

3. **Kommunikation / Mitarbeiter Orientierung / Produktivität**
    - Kommunikationskonzept
    - Funktionale Strukturen und Gebäude
    - Ergonomische, mitarbeiterfreundliche Strukturen

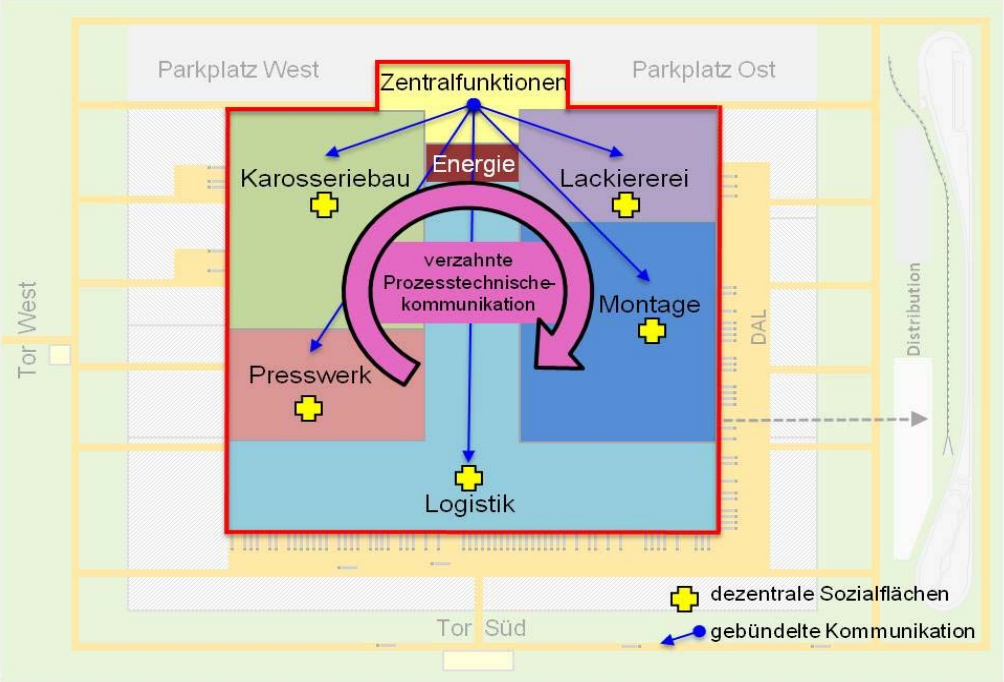


Abbildung 3-13: Mitarbeiterorientierung und Kommunikationskonzept

Basierend auf Technologieabhängigkeiten ist ein Konzept für eine verzahnte prozesstechnische Kommunikation zu erarbeiten. Wie bereits zuvor aufgezeigt, folgt die Fahrzeugproduktion einem strengen Prozessablauf unterstützt durch verschiedene Ver- und Entsorgungsprozesse wie Logistik, Energie und Abfallwirtschaft (siehe Abbildung 3-13). Das Prinzip der kurzen Wege erleichtert die Kommunikation und die Interaktion zwischen den einzelnen Bereichen der Fertigung und den Zentralfunktionen.

Die Bündelung von Planung und Verwaltung, Personalwesen, Qualitätssicherung und weiteren Dienstleistungsfunktionen wie Kantine, Sanitätsdienst und Werksfeuerwehr fördert die Vernetzung und steigert die Effizienz. Prinzipiell stellt der Zentralbereich das Herzstück des Werkes dar. Alle Mitarbeiter passieren diesen Bereich mindestens zweimal täglich, zu Arbeitsbeginn und zu Arbeitsende. Verwaltungs- und Personalangelegenheiten lassen sich dabei kurzfristig erledigen.

Besprechungen, Werksversammlungen und Veranstaltungen lassen sich ebenfalls hier organisieren. Daher ist dieser Kernbereich das Zentrum für die interne und externe Kommunikation.

Eine offene und somit kommunikationsfreundliche Gestaltung der einzelnen Bereiche ist hier kennzeichnend. Verschiedene Rückzugsbereiche sollten ebenso vorhanden sein, wie offene Gesprächsinseln für soziale Kontakte. Lieferanten, Kunden und Besucher betreten das Werk ebenfalls durch diesen repräsentativen Bereich.

Helle, saubere, klar strukturierte und somit mitarbeiterfreundliche Gebäude sind eine Grundvoraussetzung für eine transparente und somit auch effiziente Fertigung. Störungen und Probleme können sofort erkannt und behoben werden. Die Zugänge zu den einzelnen Fertigungsbereichen befinden sich auf von der Dachkonstruktion abgehängten Stegen, damit die Mitarbeiter sicher und möglichst schnell an ihren Arbeitsplatz gelangen. Störende Einflüsse oder Unterbrechungen der Produktion, zum Beispiel während des Schichtwechsels, werden somit komplett eliminiert. Diese Stege können zudem auch für Besucherführungen verwendet werden.

Eine kompakte Bauweise birgt viele Vorteile, unter anderem das Zusammenfassen von Zentralfunktionen an einem zentralen Ort. Dennoch sollten aber für eine mitarbeiterorientierte Fertigung Bereiche wie die Sanitär- und Sozialräume dezentral in angemessenen Entfernungen zu den einzelnen Fertigungsbereichen angeordnet sein. Auch hier gilt es, eine helle, saubere und klare Struktur zu schaffen. Besonders die Pausenräume sollten mit Tageslicht, zum Beispiel durch Oberlichter, durchströmt sein und sich ähnlich wie die Mitarbeiterstege im ersten OG befinden.

Die begehrten Produktionsflächen werden dadurch nicht blockiert und die Mitarbeiter müssen nicht in den Pausen auf ihren Arbeitsplatz blicken. Der Einfluss verschiedener Farbkonzepte und standardisierter Strukturelemente darf nicht unterschätzt werden. So sollten alle Pausenräume und Sanitärbereiche jeweils dasselbe Layout und die gleiche Farbgebung haben, unabhängig um welchen Fertigungsbereich es sich handelt.

4. **Ressourcen- und Energieeffizienz**
    - Optimaler Ressourceneinsatz
    - Alternative, regenerative Energiekonzepte
    - Höchste Energieeffizienz durch Nutzung von Synergien

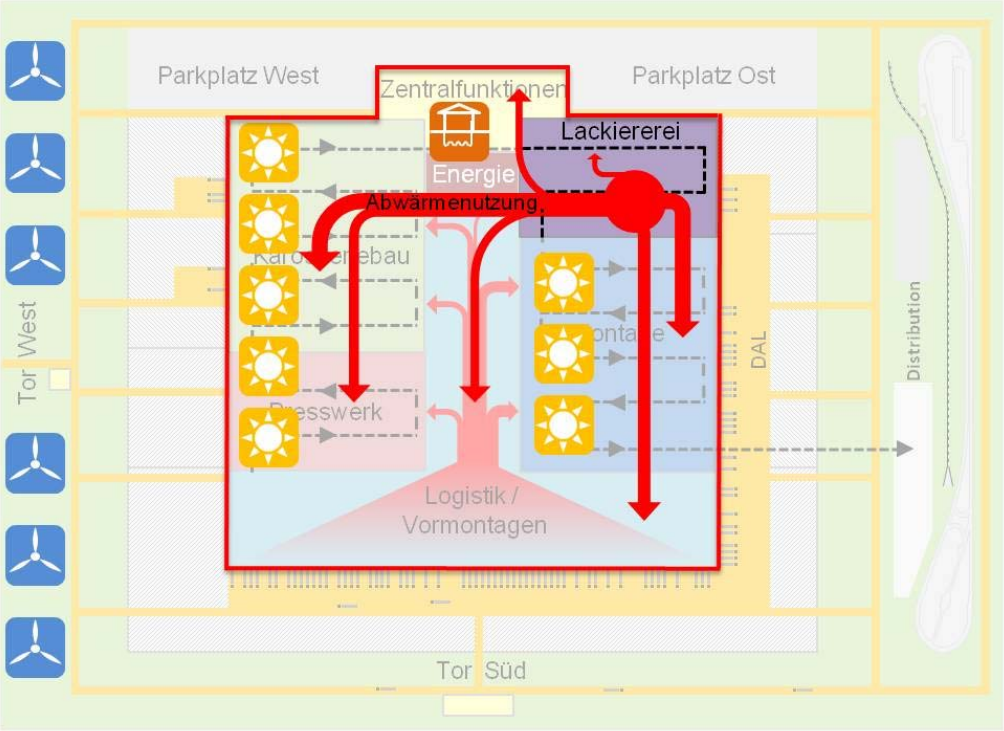
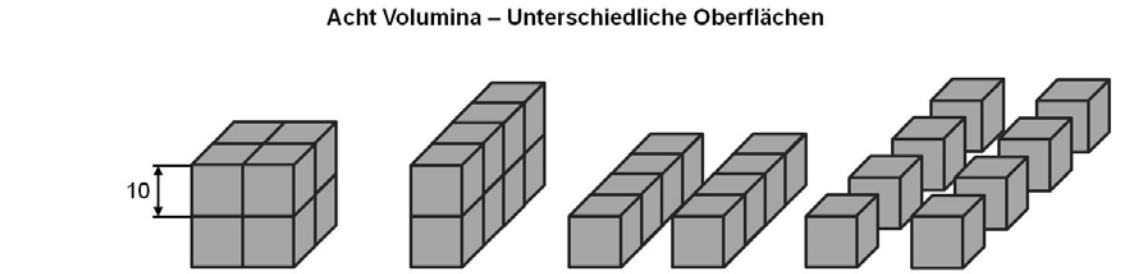


Abbildung 3-14: Energieeffizienz- und Nachhaltigkeitskonzept

Das primäre Ziel bei der Gestaltung der Werksstruktur ist eine größtmögliche Ressourcen- und Energieeffizienz. Das bedeutet, die eingesetzten Ressourcen werden effizient genutzt und Verschwendungen vermieden.

Eine kompakte Bauweise reduziert die Außenflächen und somit auch den Wärmeverlust. Das sogenannte A/V-Verhältnis ist ein Quotient aus der wärmeabgebenden Hüllfläche A zum beheizten Volumen V. Ein möglichst kleiner Quotient muss daher angestrebt werden.[96] Abbildung 3-15 verdeutlicht dieses Prinzip (inkl. Verluste durch die Bodenfläche).



Oberfläche [A]	2400	2800	3600	4800
Volumen [V]	8000	8000	8000	8000
A/V Quotient	0,3	0,35	0,45	0,6

Abbildung 3-15: Kompakte Bauweise – Einfluss auf die Fassadenoberfläche (in Anlehnung an BMW[96])

Dies bedeutet, das gesamte Werk sollte auf einer möglichst kleinen Grundfläche errichtet werden. Die versiegelten Flächen können somit auch auf ein Minimum reduziert werden. Die direkte Versickerung von Regenwasser kann auf den angrenzenden Grünflächen erfolgen. Der Einsatz von wasserdurchlässigen Bodenbelägen, wie beispielsweise von Rasengittersteinen oder speziellem Asphalt, ist zu prüfen. Idealerweise besteht das Werk aus nur einem Gebäude, alles befindet sich also unter einem Dach (Single Roof). Zusätzlich kann auch über Geschossbauten mit mehreren Stockwerken nachgedacht werden. So kann im Erdgeschoss die Produktion (Kernfertigung) und Logistik untergebracht sein und in den Etagen darüber Vormontagen, Modulfertigung, Sozialräume, Sanitärräume, Umkleideräume, Büros, Technik- und Instandhaltungsbereiche.

[96] vgl.: BMW Group 02 (2010), Planungsrichtlinien für BMW Bauvorhaben, S. 9.

Eine optimale Ausrichtung des Baukörpers (z. B. Ost/West) bedarf einer umfassenden Analyse des Standortes im Hinblick auf Belichtung[97], Belüftung und sommerliche Erwärmung. Die Kenntnis der Hauptwindrichtung, Windgeschwindigkeiten, Sonneneinstrahlung im Jahresverlauf und Extremwetterdaten sind hierzu hilfreich.

Hauptanlieferbereiche der Logistik sollten auf keinem Fall auf der Wetterseite, in Deutschland meist die Westseiten, realisiert werden. Falls es prozessseitig dennoch notwendig sein sollte, kann eine Direktanlieferung (DAL) auch ausnahmsweise auf der Wetterseite umgesetzt werden. Zum Zwecke des Wetterschutzes kann eine Kalthalle vorgelagert werden, in der die Lkw‘s seitlich entladen werden können. Dieser zusätzliche Kostenaufwand muss allerdings separat bewertet werden.

Die Energieversorgung ist zentral im Werk anzusiedeln. Möglichst kurze Versorgungsleitungen für Energie, Wärme, Dampf, Druckluft und weitere Medien reduzieren die Verluste und erhöhen somit die Energieeffizienz. Zusätzlich verbessert sich der Kostenfaktor bei der Errichtung des Werkes und bei der Instandhaltung/Wartung. Der Einsatz von regenerativen Energien muss im Einzelfall untersucht werden. Abhängig vom jeweiligen Standort können verschiedene Konzepte (Windenergie, Sonnenenergie, Geothermie, Wasserkraft oder Bioenergie) zum Tragen kommen (siehe Abbildung 3-14). Bereits in der Masterplanung des Projektes sollten spezielle Anforderungen zu regenerativen Energien (z. B. Dachlasten für Photovoltaik und Freiflächen für Windräder) berücksichtigt werden, auch wenn die Realisierung dieser Optionen erst zu einem späteren Zeitpunkt erfolgen soll. So könnten zum Beispiel die in der Brandschutzverordnung vorgeschriebenen Fluchttunnel[98] zur Vorkonditionierung der Frischluft und zur Klimatisierung der Fertigungsbereiche verwendet werden. Im Sommer könnte so die Frischluft abgekühlt und im Winter vorgewärmt werden. Der Einsatz von Wärmetauschrädern kann zusätzliche positive Effekte bei der Energieeinsparung bringen.

[97] Begriffsdefinition: natürliche Belichtung (Sonnenlicht), künstliche Beleuchtung (Lampen, Strahler).

[98] vgl.: Industriebaurichtlinie (2000), Rettungswege. S. 5.

Die Nutzung interner Kreisläufe muss frühestmöglich in den Planungen der einzelnen Technologien, aber auch im Gesamtkonzept berücksichtigt werden. Hierzu sind auf unterschiedlichen Detailierungsebenen Input- und Output-Analysen der einzelnen Prozesse durchzuführen.

Abbildung 3-16 veranschaulicht das Prinzip einer Input-Output-Analyse. Der Output (z. B. Abfallenergie Abwärme) einer Technologie oder eines Prozesses kann als Input für andere Prozesse verwendet werden.

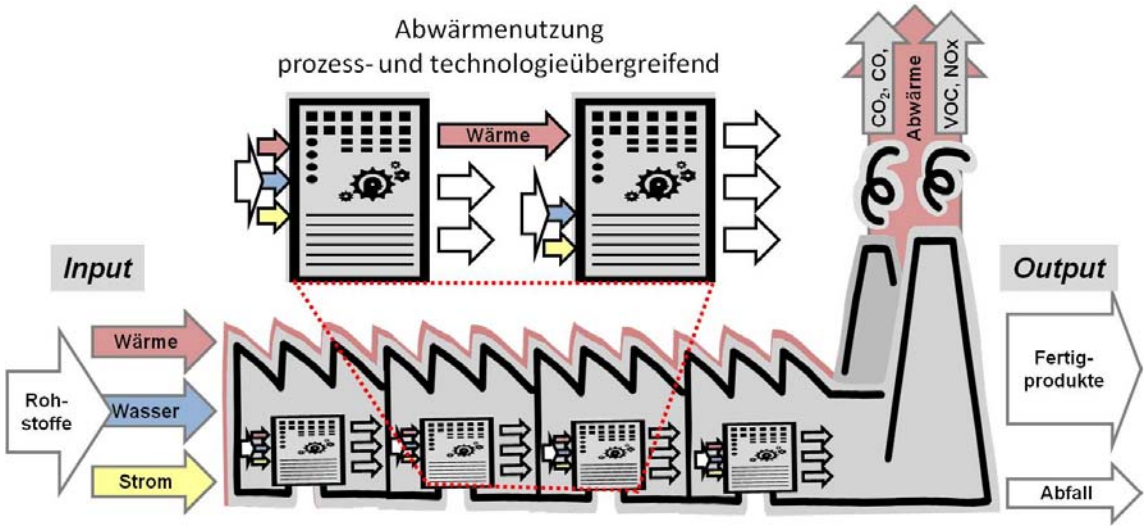


Abbildung 3-16: Prinzipdarstellung Input-Output-Analyse

Beispielsweise kann die Abluft aus der Nachverbrennung in der Lackiererei (ca. 110 Cº) zur Dampf- und Warmwassererzeugung benutzt werden. Die daraus resultierende Abwärme (50 - 60 Cº) kann zum Vorwärmen der Trocknerluft dienen und diese Restwärme (40 - 50 Cº) wiederum kann letztendlich zur Raumheizung oder Bauteilkonditionierung (Kabelbaumofen) verwendet werden. Eine mehrstufige Nutzung von Abwärme, abhängig vom jeweiligen Temperaturniveau, spart Energie und Ressourcen. Synergien zwischen den einzelnen Technologien und Prozessen sind zu nutzen. Eine umfassende Analyse der Energiekreisläufe sollte frühzeitig angefertigt werden.

Prinziplayout eines energieeffizienten Fahrzeugwerkes

Die in Abbildung 3-17 dargestellte Checkliste priorisiert die zuvor beschriebenen Prinzipien und stellt diese in Form einer Gesamtübersicht dar.

Priorisierung	Checkliste Prinzipien Werkslayout	
1.	Der Fokus liegt auf den Kerntechnologien, "Schalenmodell - von innen nach aussen".	✓
2.	Die Prozess- und Materialströme (Flussprinzip) bestimmen die Anordnung der Gebäude.	✓
3.	Die Personal-, Material- und Fertigproduktströme sind entkoppelt und möglichst kurz gestaltet.	✓
4.	Ein einheitliches, quadratisches Säulen- bzw. Stützenraster bildet die Basis für das gesamte Werkslayout.	✓
5.	Ein standardisierter Gebäudetyp erhöht die Flexibilität (einheitliche Gebäude- und Geschosshöhe).	✓
6.	Die Erweiterungsflächen sind festgelegt und basieren auf festen Erweiterungsstufen (Einheiten/Stunde).	✓
7.	Das Flussprinzip wird auch in den Erweiterungsszenarien beibehalten.	✓
8.	Die Energie- und Medienversorgungsfunktionen sind zentral angeordnet und ausserhalb der Erweiterungsflächen.	✓
9.	Ein Konzept zur Nutzung von regenerativen Energien liegt vor und ist im Werkslayout berücksichtigt.	✓
10.	Die/das Gebäude haben ein optimales A/V-Verhältnis und die versiegelten Flächen sind minimal.	✓
11.	Die Baukörper sind entsprechend ihrer Funktion und optimaler Energieeffizienz ausgerichtet (Ost/West).	✓
12.	Die Direktanlieferung (DAL) von Bauteilen und Komponenten wird auf der Wetterseite vermieden.	✓
13.	Für alle Teilbereiche der Kernfertigung liegen In- und Output-Analysen (Synergienutzungskonzept) vor.	✓
14.	Die Gebäudeanordnung fördert die Kommunikation sowie die Kommunikationshäufigkeit.	✓
15.	Der grobe Flächenbedarf der Kernfertigung ist basierend auf den einzelnen Prozessen und Abläufen festgelegt.	✓

Abbildung 3-17: Checkliste Prinzipien Werkslayout

Sind die vier Konzeptbausteine berücksichtigt und die einzelnen Prinzipien beachtet worden, so ergibt sich ein aussagekräftiges Groblayout für ein energieeffizientes Fahrzeugwerk.

Abbildung 3-18 zeigt die prinzipielle Anordnung der einzelnen Technologien auf dem Werksgelände, deren interdisziplinäre Beziehung zueinander, den Material- und Produktionsfluss sowie die Platzierung der Zentralfunktionen und der Energiezentrale. Die Erweiterungsflächen sind jeweils zugeordnet und eine einheitliche Gebäude- und Hallenstruktur mit einem standardisierten Säulen- oder Stützenraster liegt der Planung zugrunde.

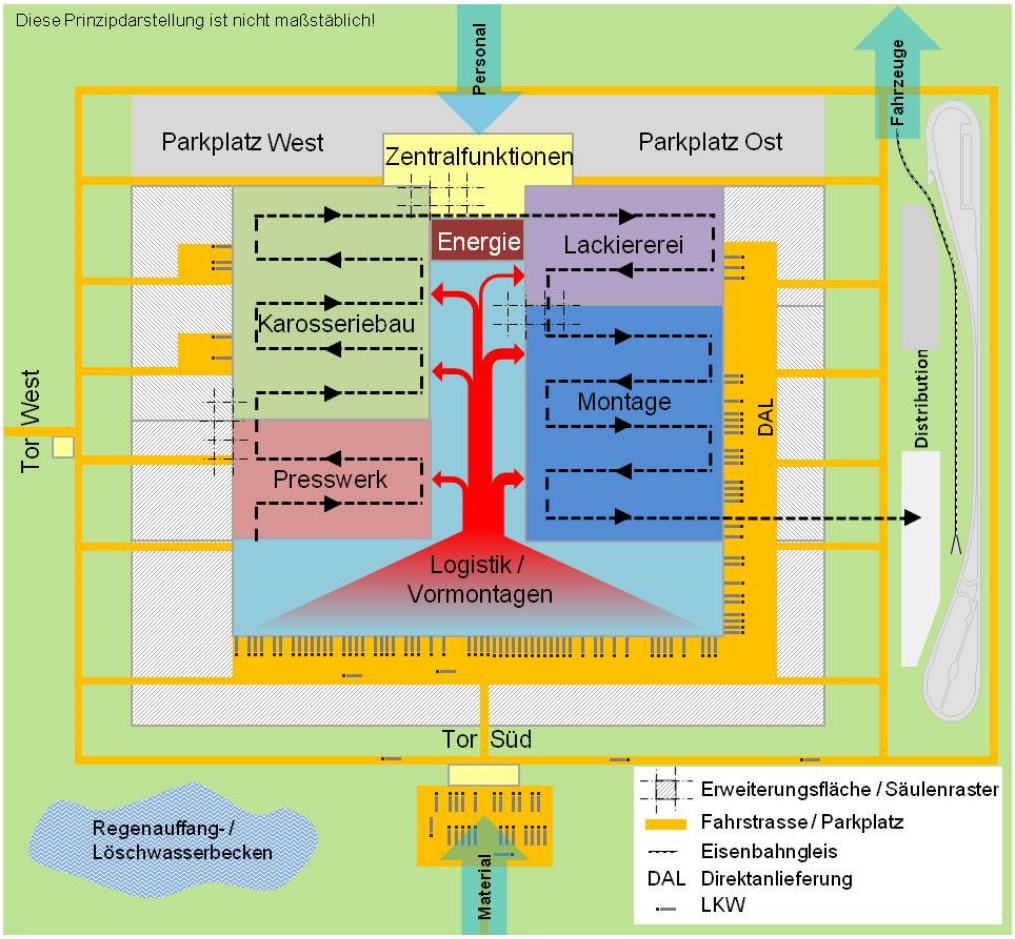


Abbildung 3-18: Prinziplayout - energieeffzientes Fahrzeugwerk

Die Personal-, Material- und Fertigproduktströme sind entkoppelt und der Betrachtungsumfang beschränkt sich ausschließlich auf die Kernfertigung. Das Gesamtlayout ist gekennzeichnet durch eine kompakte Bauweise der/des Gebäude/s.

Die zentrale Logistik ist direkt an alle Technologien angeschlossen und bildet praktisch das Rückgrat im Inneren des Werkes. Die Materialströme sind technologiespezifisch stark unterschiedlich. So werden in der Montage mehrere tausend Einzelteile, etliche Zusammenbauten und viele Module angeliefert. Dagegen sind die logistischen Materialflüsse in den anderen Kerntechnologien überschaubar. Im Süd- und Ostbereich des Layouts befinden sich die Hauptanlieferbereiche der Logistik.

Im Süd/Westbereich können automatisierte Lagerbereiche wie Paletten-, Hochregal- und Kleinteilelager angesiedelt sein. Entsprechende Erweiterungsflächen sind auch hier separat und stufenweise vorzusehen. Die Distribution von Fertigfahrzeugen ist in geringer Entfernung zur Fahrzeugendmontage angesiedelt. Nahe der Einfahr- und Teststrecke befindet sich der Gleisanschluss zur Verladung der Fahrzeuge für den Fern- oder Überseetransport.

Die Energieversorgung ist möglichst nahe an dem größten Energieverbraucher, der Lackiererei, anzusiedeln. Auch der Karosseriebau mit seinem relativ hohen Kühlenergie- und Druckluftbedarf sollte in unmittelbarer Nähe zur Energiezentrale liegen. Die Nutzung von regenerativen Energien und ein effizientes, nachhaltiges Energiekonzept werden durch dieses Layout begünstigt, eine detaillierte Untersuchung und Bewertung muss dennoch auf Technologieebene durchgeführt werden. Der Betrachtungsumfang dieser Arbeit beschränkt sich im Weiteren ausschließlich auf die Fahrzeugmontage.

3.2.2 Montagestrukturlayout

Bei der Festlegung einer nachhaltigen, flexiblen und energieeffizienten Montagestruktur sind eine Vielzahl von Rahmenbedingungen und Grundvoraussetzungen zu beachten beziehungsweise zu klären. Tabelle 3-6 listet die wichtigsten Auslegungskriterien für eine Montagestruktur auf und umreißt beispielhaft jeweils einige Ausprägungen.

Tabelle 3-6: Auslegungskriterien Montagestruktur

Auslegungskriterien	Ausprägung			
Fahrzeugklasse	Kleinwagen	Kompaktklasse	Mittelklasse	Oberklasse
Fahrzeugdimension / Gewicht	Länge/Breite/Höhe	Fahrzeugkontur	Gewicht entsprechend Montagevortschritt	
Fertigungstiefe / Arbeitsinhalte	Vormontagen	Module	intern/externe Fertigung	
Produktionskapazität	10,20,30,40,50 und 60 Einheiten/Stunde		50.000 - 400.000 Einheiten/Jahr	
Arbeitszeit/Schichtmodell	Arbeitswochen/a	Wochenarbeitstage	Wochenstunden	1,2 oder 3-Schicht
Anzahl Fahrzeugtypen	Leadfahrzeug	Derivatsfahrzeug	Behördenfahrzeuge	Sicherheitsfahrzeuge
Verfügbarkeit	Gesamt	Anlagen	Organisation	geplante Stillstände
Produktionsvorlauf (Puffer in E oder h)	Lieferantenabruf	Modulabruf	Vormontageabruf	Kleinteileabruf

Zunächst muss festgelegt werden, welches Produkt, also Fahrzeug und Fahrzeugklasse, in dem zu planenden Werk produziert werden soll. Diese erste Festlegung wirkt sich gravierend auf die zukünftige Struktur und die Dimensionierung der Anlagentechnik der Fahrzeugmontage aus. So variieren die Arbeitsinhalte, die Verbaureihenfolge, die Abmessungen und das Gewicht bei unterschiedlichen Fahrzeugen erheblich. Ein Kleinwagen erfordert eine andere Struktur als beispielsweise ein geländegängiges Fahrzeug (SUV) oder eine Großraumlimousine. In Einzelfällen kann eine Fahrzeugproduktion auch hochflexibel für alle Fahrzeugklassen ausgelegt werden. Dies wiederum bedarf zusätzlich erheblicher Investitionen, da die Struktur und die Anlagentechnik auf die maximalen Fahrzeugabmessungen und -gewichte ausgelegt werden muss. Eine weitere Grundvoraussetzung ist die Festlegung der Produktionskapazität oder Stundenleistung (produzierte Einheiten/Stunde). In diesem Zusammenhang muss auch über die potenziellen Erweiterungsszenarien nachgedacht werden. Zusätzlich beeinflusst das Arbeits- beziehungsweise Schichtmodell die Gesamtjahresleistung des Werkes und somit auch die der Montage.

Es ist weiterhin zu klären, wie viele Fahrzeugtypen oder -derivate auf der zu planenden Montagelinie gefertigt werden sollen. Sind Sonderfahrzeuge wie Behörden- und/oder Sicherheitsfahrzeuge mit speziellen Anforderungen und Prozessen vorgesehen? Einem wichtigen Faktor stellt auch die geplante Verfügbarkeit der Prozesse und Anlagen dar. Diese wird als Gesamtverfügbarkeit in Prozent angegeben und setzt sich aus der Anlagen- und der organisatorischen Verfügbarkeit[99] zusammen. Darin nicht enthalten, aber trotzdem wichtig, sind geplante Stillstände der Produktion für Teamgespräche, Betriebsversammlungen und Instandhaltung oder Umbauten. Zuletzt sind noch Entkopplungs- oder Puffertakte in den Prozessablauf einzuplanen. Grundsätzlich sind diese so knapp wie möglich und so groß wie nötig zu planen. Unter einer rein wertschöpfungsorientierten Sichtweise sind Puffertakte Verschwendungen und stellen nur zusätzliche unfertige Bestände dar.

[99] Unter organisatorischer Verfügbarkeit werden in diesem Zusammenhang alle ungeplanten, nicht technischen Stillstände wie Fehlteile, Qualitätsprobleme oder mitarbeiterverursachter Bandstopp (Lichtschranken) verstanden.

Aus Prozesssicht ermöglichen Entkopplungstakte eine notwendige Flexibilität und Prozesssicherheit. So ist beispielsweise der Produktionsvorlauf (Entkopplung vom vorgelagerten Produktionsprozess) unabdingbar, um Lieferabrufe bei Lieferanten und Vormontagen für eine Just-in-Time (JIT) oder Just-in-Sequence (JIS) Belieferung zu gewährleisten. Wie auch beim Werksstrukturlayout muss das Montagestrukturlayout möglichst kompakt gestaltet werden, um ein sehr gutes A/V-Verhältnis zu erreichen. Auch hier gilt, bezogen auf die Fläche, wieder die Prämisse: so klein wie möglich und so groß wie nötig. Bei der Berechnung des Flächenbedarfes ist der Fokus wieder auf die wertschöpfenden Prozesse zu legen. Basierend auf der Stundenleistung (E/h) und den Verbau- beziehungsweise Montageumfängen lässt sich die Anzahl der Montagetakte festlegen. Abbildung 3-19 zeigt eine Prinzip-Montagestruktur.

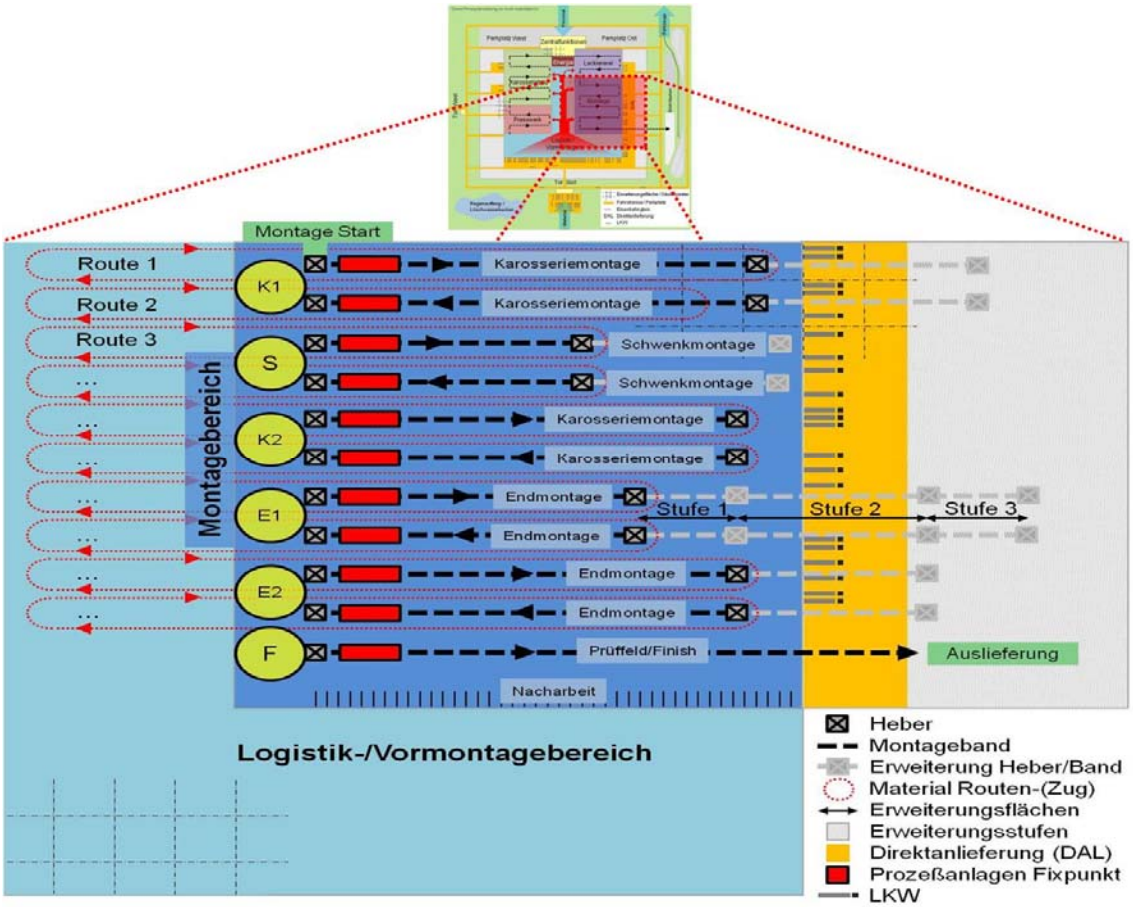


Abbildung 3-19: Montagestrukturlayout (Darstellung nicht maßstäblich)

Alle Montagetakte sind wie an einer Perlenkette aneinandergereiht und bilden somit, ausgehend vom Montagestart (oben links) bis hin zur Fahrzeugauslieferung (unten rechts), einen kontinuierlichen Montagefluss ab. Die verschiedenen Montagebereiche sind in sogenannte Bandabschnitte (K1, S, K2, E1, E2 und F)[100] unterteilt und parallel untereinander angeordnet. Die jeweilige Fördertechnik (Schubplatte, Schwenkmontage oder EHB) ist in geschlossenen Kreisläufen pro Bandabschnitt angeordnet. Das Fahrzeug selbst wird in Techniktakten von einem Bandabschnitt an den anderen übergeben. Diese Techniktakte sind durch entsprechende Sicherheitstechnik vor versehentlichem oder unberechtigtem Betreten durch Produktionsmitarbeiter abgesichert. Um eine kontinuierliche Materialversorgung sicherzustellen, sind jeweils am Bandabschnittsanfang und am Bandabschnittsende Fördertechnikheber[101] vorzusehen. Somit ist gewährleistet, dass die Fahrwege permanent frei sind und nicht durch Schranken beim Transfer der Fahrzeuge von einem Band zum anderen blockiert werden.

Charakteristisch bei dieser Art der Fahrzeugmontage und zur Gewährleistung einer größtmöglichen Flexibilität und Erweiterbarkeit ist die Anordnung der komplexen Prozessanlagen an einem Ende der Montagebänder (hier links). Es handelt sich dabei um vollautomatische Prozessanlagen wie zum Beispiel das Scheibenkleben, den Cockpitverbau, die Lacktraversen-Demontage und die Hochzeit. Aufgrund der Komplexität und der zum Teil besonderen Anforderungen an die Struktur (z. B. Gruben, Direktanlieferung von Komponenten und Modulen) sind diese Prozessanlagen als Fixpunkte innerhalb der Montagestruktur darzustellen. Bei diesen Anlagen ist eine Verlagerung, bedingt durch Erweiterungen oder das Einbringen zusätzlicher Montageinhalte, technisch sehr schwierig, zeit- und kostenintensiv. Die Erweiterungsflächen befinden sich gegenüber am anderen Ende der Montagehalle (hier rechts). Die Fahrzeugmontage kann dadurch atmen und erweitert werden.

[100] K1= Karosseriemontage1, S = Schwenkmontage, K2 = Karosseriemontage, E1 = Endmontage1, E2 = Endmontage2, F = Prüffeld/Finish.

[101] Unter Energieeffizienz-Gesichtspunkten sollten die Heber allerdings mit einer Energierückspeisung ausgestattet sein. Unter Umständen handelt es sich um erhebliche Massen, die bewegt werden.

Theoretisch ist auch ein Rückbau möglich, zum Beispiel bei Produktveränderungen (kleinere Fahrzeuge, neue Konzepte) oder bei Reduzierung der Stundenleistung. In Abbildung 3-20 ist beispielhaft das Vorgehen bei der Flächenkalkulation auf Montagetakt-Basis dargestellt.

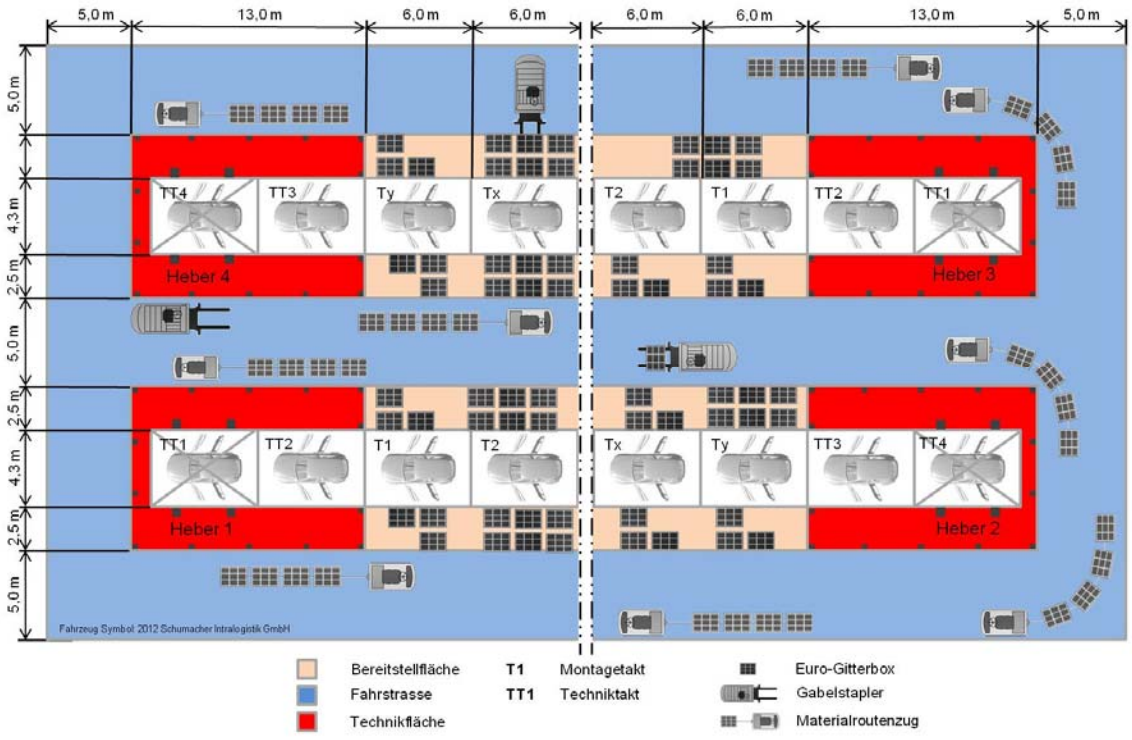


Abbildung 3-20: Prinzip Flächenkalkulation auf Montagetakt-Basis

Der dargestellte Montagebereich skizziert eine Schubplatten-Fördertechnik, die häufig in der Karosseriemontage eingesetzt wird. Abhängig von den Fahrzeugabmessungen wird hier eine standardisierte Taktlänge von sechs Metern angenommen. Dies entspricht auch der Länge einer einzelnen Schubplattform. Dabei ist sicherzustellen, dass zwischen zwei Fahrzeugen ausreichend Bewegungsfreiraum zur Ausübung der Montagetätigkeit vorhanden ist. Die jeweilige Bandlänge lässt sich dadurch sehr einfach berechnen (Anzahl Takte x Taktlänge). Die Breite eines Montagebandes kann ähnlich ermittelt werden. Auch hier dient die Fahrzeugbreite als Ausgangsbasis. Im vorliegenden Beispiel wird die Bandbreite mit 4,3 Meter festgelegt.

Somit ist sichergestellt, dass auch mit verbauten Fahrzeugtüren keine Störkanten das Fahrzeug beschädigen können. Rechts und links vom eigentlichen Montageband sind Bereitstell- und Logistikflächen einzuplanen. Diese Flächen müssen ausreichend Platz bieten, um alle Einzelbauteile, Zusammenbauten und Module in unmittelbarer Nähe zum Verbauort bereitzustellen. Ausgehend von einer Standardbehältergröße (Euro-Gitterbox) werden hier 2,5 Meter festgelegt. Zuletzt müssen noch die Versorgungs-, Fuß- und Fahrwege festgelegt werden. Ausgehend von einem Zweiwegeverkehr wurden hier fünf Meter Fahrbahnbreite zugrunde gelegt. Dies erscheint relativ viel, ist aber dem hohen Transportverkehrsaufkommen durch Material-Routenzüge geschuldet. Ein Ausweichen und Zick-Zack-Fahren ist in diesem Zusammenhang nicht effizient und entspricht nicht den Anforderungen der Arbeitssicherheit.

Generell ist zu empfehlen, entsprechende Kennzahlen (z. B. m^2 pro Fahrzeugtakt) zur Flächenberechnung festzulegen. Eine Aufteilung in Kernprozess- (Wertschöpfung), Unterstützungsprozess- (z. B. Logistik, Instandhaltung), Neben- (z. B. Pausen- und Sanitärflächen) und Verkehrsflächen (z. B. Fußwege, Fahrwege) scheint hier sinnvoll. Dies vereinfacht zum einen den Aufwand bei Kostenschätzungen für Um- oder Neubauten, zum anderen wird somit sichergestellt, dass einheitliche Grundlagen bei der Layout- und Gebäudeplanung verwendet werden.

In jedem Fall ist darauf zu achten, die Flächen so knapp wie möglich auszulegen. Auch die Raumhöhen sind entsprechend der jeweiligen Nutzung, des Versorgungskonzeptes (z. B. Modulanlieferung mit Hängebahnen) und des Produktionskonzeptes (z. B. Fördertechnik-Rückführung) so gering wie möglich zu gestalten. Dies reduziert das zu beheizende Raumvolumen und somit die Energiekosten. Die Erweiterungen sind bereits zu Planungsbeginn in Stufen oder Phasen zu berücksichtigen. Der Fokus muss grundsätzlich auf der Wertschöpfung liegen. Die Primärflächen (Erdgeschoss, ebenerdig) sind ausschließlich für wertschöpfungsorientierte Prozesse zu verwenden. Alle anderen Flächen, wie zum Beispiel Sozial-, Pausen- und Büroflächen, sind auf vom Dachtragwerk abgehängten Bühnen unterzubringen.

Bei der Auslegung und Dimensionierung des Montage- und Logistikgebäudes ist neben den oben beschriebenen Kriterien auch die zu erwartende Traglast der Dachkonstruktion zu definieren. Aufgrund der unterschiedlichen Anforderungen an die Traglast in den verschiedenen Montagebereichen oder Bandabschnitten ist eine differenzierte Betrachtung und Herangehensweise bei der Planung ratsam. In der folgenden Abbildung 3-21 sind die verschiedenen Anforderungen abhängig vom jeweiligen Fertigungsbereich in einem Traglast-Plan graphisch dargestellt.

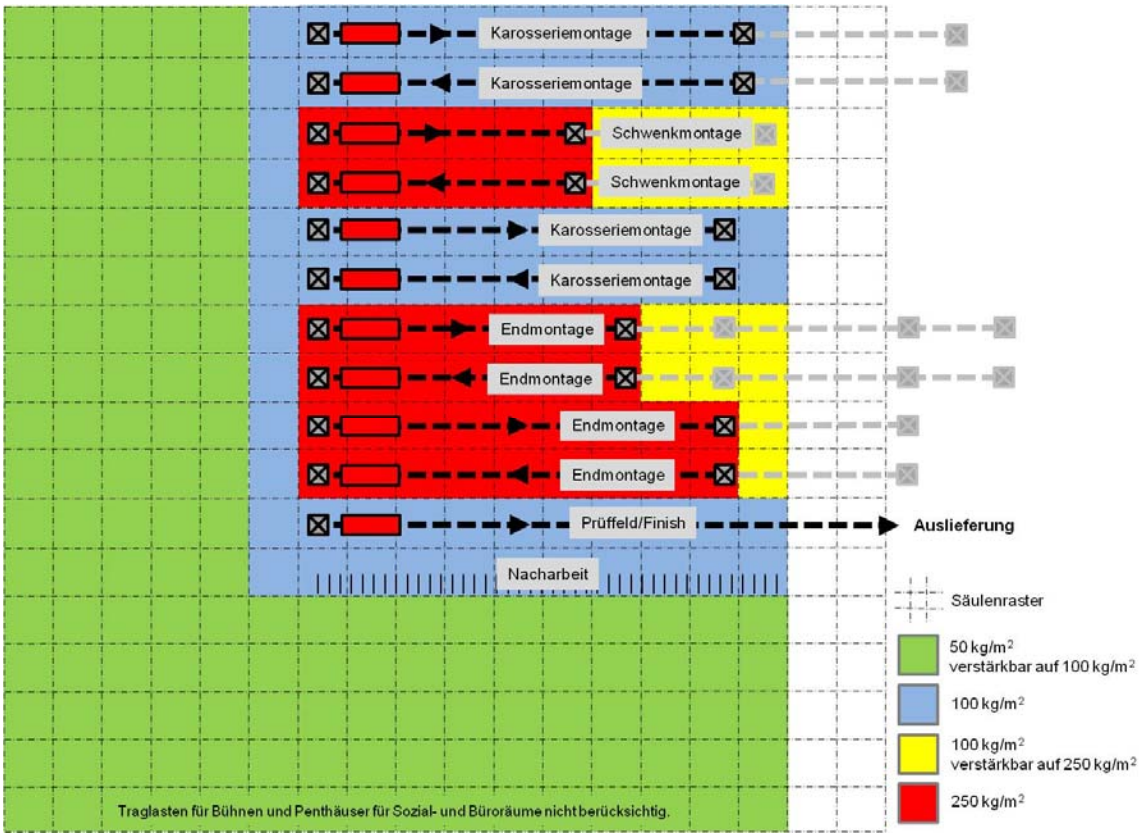


Abbildung 3-21: Dachbinder-Traglast-Plan (Prinzipdarstellung)

Hier ist zunächst zu berücksichtigen, dass unterschiedliche Traglasten, abhängig vom jeweiligen Säulen- beziehungsweise Stützenraster, auch unterschiedliche Herstellungskosten darstellen. Umso grösser der Abstand zwischen den einzelnen Hallensäulen, desto höher auch die Investitionskosten, da eine andere Dachbinderkonstruktion und andere Materialien und Materialstärken verwendet werden müssen.

Zudem steigen die Kosten mit zunehmender Traglast des Daches. Eine einheitliche Festlegung der Traglasten für das gesamte Fertigungsgebäude ist in diesem Zusammenhang nicht ratsam. Die Traglasten sind anforderungsspezifisch für jedes einzelne Säulen- beziehungsweise Stützenraster festzulegen. Eventuelle Erweiterungen oder mögliche Umbauten sind dabei allerdings bereits in der Planungsphase vorzuhalten, um erhöhte Kosten bei einer nachträglichen Traglastverstärkung zu vermeiden. Folgende Klassifizierung der Traglasten[102] je Flächenart ist mindestens vorzunehmen:

I. Logistikflächen:

Diese Flächen zeichnen sich durch eine relativ geringe Traglast von 50 kg/m^2 aus. Ist es vorgesehen, eine Photovoltaikanlage auf der Dachfläche zu errichten, muss dies natürlich bei der Festlegung der Traglast berücksichtigt werden. Eine Verstärkung der Traglast auf 100 kg/m^2 ist mit einem überschaubaren Aufwand auch nachträglich möglich. In diesen Bereichen wird mit keiner nennenswerten Anhängelast gerechnet. Es handelt sich dabei um einfache Logistikflächen mit einer einfachen Dachbinderkonstruktion. Lediglich die Anforderungen an das Eigengewicht, die Schneelast und die Windlast sind hierbei zu bedenken.[103] Die geographische Lage hat hier selbstverständlich einen erheblichen Einfluss.

II. Standardfläche:

Eine Standardmontagefläche wird hier mit 100 kg/m^2 definiert. Dabei handelt es sich um Nebenflächen (z. B. Fahrstraßen, Diagnose- und Nacharbeitsflächen) sowie Montagebereiche mit relativ geringen Anhängelasten. Lediglich eine leichte Stahlkonstruktion direkt über dem Montageband für die Beleuchtung, Werkzeuge, Handlingsgeräte werden hier direkt vom Dach abgehängt.

[102] Es handelt sich hierbei um eigene Annahmen. Eine Festlegung der Traglast kg/m^2 muss fallweise unter Berücksichtigung aller Rahmenbedingungen erfolgen.

[103] vgl.: DIN EN 1991:2002, Einwirkungen auf Tragwerke.

In einigen Bereichen kann noch zusätzlich Gebäudetechnik (z. B. Heizungs- und Lüftungsanlagen) oder Anlagentechnik (z. B. Schaltschränke) auf vom Dach abgehängten Bühnen untergebracht sein.

III. Übergangsfläche:

Diese Fertigungsbereiche haben die gleiche Traglast wie eine Standardmontagefläche von 100 kg/m^2, allerdings sind sie verstärkbar auf 250 kg/m^2. In der Regel handelt es sich dabei um potentielle Erweiterungsflächen für Schwerlastbereiche. Bereits in der Planungsphase sind diese als Erweiterungsflächen ausgewiesen und die Konstruktion der Dachbinder entsprechend vorbereitet. Besondere Anforderungen durch die Schwerlastbereiche, wie zum Beispiel eine Schwer-EHB-Rückführstrecke, sind hierbei zusätzlich zu berücksichtigen. Abhängig von der Lage und Größe der Pausen-, Sozial- und Büroflächen sind eventuell weitere Bereiche außerhalb der Erweiterungsflächen vorzusehen, da diese Nebenflächen ebenfalls vom Dachtragwerk abgehängt werden sollen. Somit ist eine grundflächenminimale und kompakte Bauweise realisierbar.

IV. Schwerlastfläche:

Hierbei handelt es sich um den Bereich mit der größten Traglast. Abhängig von der eingesetzten Fördertechnik (z. B. Schwer-EHB) und dem jeweiligen Fahrzeuggewicht (z. B. Hybrid, SUV) ist hier mit einer Traglast von 250 kg/m^2 zu rechnen. Diese Bereiche sind aufgrund der erhöhten Investitionskosten möglichst restriktiv auszuplanen. Nur wenn die entsprechende Traglast auch wirklich und unumgänglich erforderlich ist, sollte diese realisiert werden. Im Zweifel sollte auf die Übergangsflächen ausgewichen werden. Potentielle Erweiterungsflächen sollten nur in Ausnahmefällen, zum Beispiel wenn die Erweiterung bereits beschlossen ist und zeitnah umgesetzt wird, mit dieser höchsten Traglast ausgestattet werden. Unter Umständen sind zusätzlich auch die Fundamente der Säulen beziehungsweise Stützen entsprechend auszulegen.

Die in Abbildung 3-22 dargestellte Checkliste priorisiert die zuvor beschriebenen Prinzipien und stellt diese in Form einer Gesamtübersicht dar.

		Checkliste Prinzipien Montagelayout	
Priorisierung	1.	Festlegung Ein- oder Mehrliniensystem.	✓
	2.	Definition Leistungsbreite und -tiefe (Eigenleistungstiefe). Differenzierung in "onsite", "bysite" und "offsite".	✓
	3.	Die Prozess- und Materialströme (Flussprinzip) bestimmen das Montagestrukturlayout (von innen nach aussen).	✓
	4.	Bei der Abbildung der Prozesse liegt der Fokus liegt auf Wertschöpfung. (Alle Unterstützungsfunktionen und -prozesse werden ausgelagert wie z.B. IH, VM, Supermärkte, Car-Set-Bildung)	✓
	5.	Die Personal-, Material- und Fertigproduktströme sind entkoppelt und möglichst kurz gestaltet.	✓
	6.	Ein einheitliches, quadratisches Säulen- bzw. Stützenraster bildet die Basis für das Montage- und Logistiklayout.	✓
	7.	Eine ebenerdige Montage- und Logistikstruktur (Nebenflächen wie Sozial- und Büroräume auf Bühnen).	✓
	8.	Die Erweiterungsflächen sind festgelegt und basieren auf festen Erweiterungsstufen (Einheiten/Stunde).	✓
	9.	Das Flussprinzip wird auch in den Erweiterungsszenarien beibehalten.	✓
	10.	Die Flächen- und Energieeffizienz (kompakte Bauweise) ist eine besondere Planungspämisse.	✓
	11.	Die Fertigungsbänder sind alle parallel angeordnet und es gibt nur eine Erweiterungsrichtung (hier rechts).	✓
	12.	Komplexe Montageprozesse sind als Fixpunkte an den Anfangstakten der Fertigungsbänder abgebildet (hier links).	✓
	13.	Die logistische Versorgung erfolgt primär durch Materialzüge (geringste Bestände am Band, Flächenoptimal).	✓
	14.	Hauptvormontageumfänge werden mit fahrerlosen Transportsystemen (FTS) angeliefert (Cockpit, Türen, Unterflur, Frontend).	✓
	15.	Der Automatisierungsgrad ist so gering wie möglich und so hoch wie nötig. Einfache (manuelle) und energieeffiziente Prozesse (abhänging von Ergonomie, Qualität, Taktgeschwindigkeit).	✓

Abbildung 3-22: Checkliste Prinzipien Montagelayout

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass eine energieeffiziente und nachhaltige Montagestruktur aus vielen Einflussmöglichkeiten und Kriterien resultiert. Abhängig vom zu produzierenden Produkt (Fahrzeug) und vom Produktionskonzept ist unbedingt auf eine kompakte, flächen- und raumoptimale Montagestruktur zu achten. Eine Analyse der Hauptenergieverbraucher in Kapitel 2.2 hat gezeigt, dass neben der Beleuchtung, das Belüften und Beheizen eines Montagegebäudes die größten Stellhebel zur Steigerung der Energieeffizienz darstellen. Somit ist das zu beheizende oder zu kühlende Raumvolumen ein wichtiger Faktor zur Energieeffizienz. Nachhaltigkeit bezieht sich in diesem Zusammenhang nicht ausschließlich auf die Energieeffizienz und Umweltverträglichkeit. Vielmehr ist unter einer nachhaltigen Montagestruktur auch die Flexibilität und Erweiterbarkeit zu verstehen. Die Möglichkeit schnell und flexibel auf sich ändernde Rahmenbedingungen reagieren zu können, kann ein erheblicher Wettbewerbsvorteil sein. Standardisierte Planungsprämissen, wie zum Beispiel ein einheitliches Säulen- und Stützenraster, festgelegte Erweiterungsszenarien und eine Traglast-Kategorisierung, sind in diesem Zusammenhang von Vorteil und können eine Fertigungsstruktur nachhaltig gestalten.

3.2.3 Logistikstrukturlayout (Montage)

In Abhängigkeit von der Montagestruktur kann die Logistikstruktur entwickelt werden. Hierbei ist darauf zu achten, dass die Logistikstruktur zwar schwerpunktmäßig an der Fahrzeugmontage ausgerichtet ist, allerdings auch die anderen Technologien wie Presswerk, Karosseriebau und Lackiererei versorgt werden müssen. Zudem sind auch die Zentralfunktionen (Kantine, Büros und Labore), wenn auch zu einem sehr geringen Maße, in den Materialfluss einzubinden.

Neben einer Zentrallogistik ist auch die Belieferung über eine Direktanlieferung (DAL) möglich. Dies ist besonders sinnvoll bei großen Abmessungen und einer speziellen, ortsgebundenen sofortigen Verwendung der angelieferten Materialien. Beispiele dafür können im Bereich der Montage Abgasanlagen, Module wie Cockpit und Frontend oder Dachhimmel sein. In diesen Fällen ist oftmals eine Lagerhaltung aufgrund der Just-in-Time-(JIT)- oder Just-in-Sequence-(JIS)-Anlieferstrategie nicht möglich. Alle anderen Einzelteile, Materialien oder Gebinde werden zentral im Wareneingang angeliefert und danach entweder eingelagert, vereinzelt oder sequenziert und an den jeweiligen Ort der Verwendung geliefert. Abbildung 3-23 zeigt die verschiedenen Materialflüsse in der Montage.

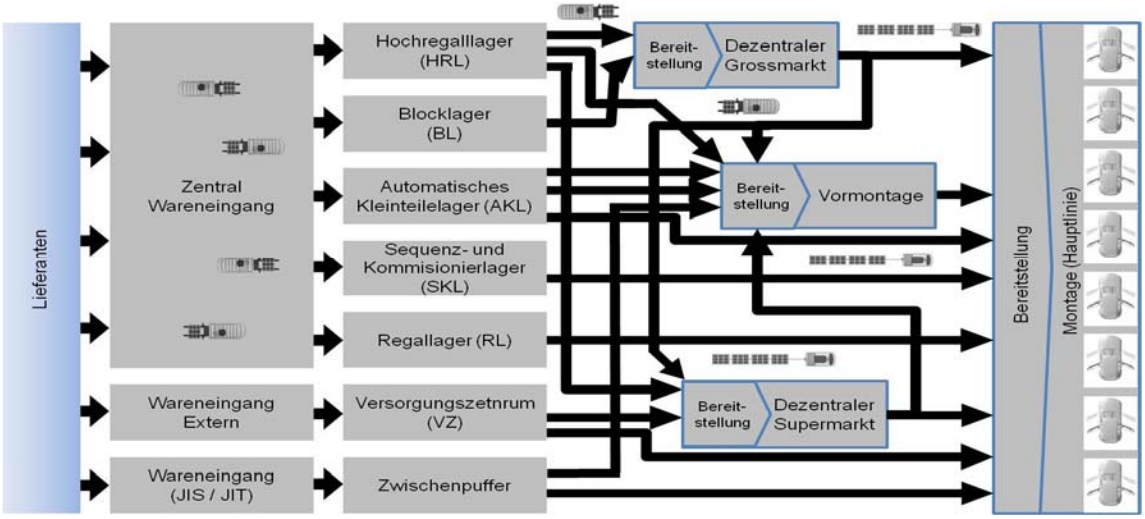


Abbildung 3-23: Materialfüsse Fahrzeugmontagewerk (in Anlehnung an Bethke)[104]

[104] vgl.: Bethke, A. (2011), Diplomarbeit, S. 57.

In einer Fahrzeugmontage werden täglich mehrere tausend Kubikmeter Material bewegt und bereitgestellt. Basierend auf dem Material-Mengengerüst der zu produzierenden Fahrzeuge werden mehrere tausend Sachnummern (SNR) bearbeitet. Von Extern kommen noch zusätzlich vorgefertigte Module oder Baugruppen aus dem Lieferantennetzwerk hinzu. Bei diesem hohen Transportaufkommen ist es unabdingbar, die Logistikwege so kurz wie möglich zu gestalten und Kreuzungsverkehr zu vermeiden. Des Weiteren sind die Lagerbestände möglichst gering zu halten, um zum einen die Kapitalbindung zu reduzieren und zum anderen auf teure Lagertechnik und Lagerflächen zu verzichten. Auch hier gilt das zu beheizende oder zu kühlende Raumvolumen so gering wie möglich zu halten. Trotzdem kann nicht gänzlich auf Lager verzichtet werden. Zur Absicherung der Produktion ist es nötig, einen Vorlaufbestand auf Pufferflächen zwischenzulagern.

Hierzu stehen verschiedene Lagersysteme zur Verfügung. Im Folgenden werden die wichtigsten kurz beschrieben:

Hochregallager (HRL): Grossladungsträger (GLT) mit Euro-Paletten-Maß nach DIN 15155, wie zum Beispiel Gitterboxen (GIBO), werden vollautomatisch ein- und bei Bedarf wieder ausgelagert. Es werden von hieraus sowohl die Gross- und Supermärkte (GROMA/SUMA), als auch die Vormontagen und teilweise auch direkt das Montageband beliefert.

Blocklager (BL): Übergroße- oder Spezialbehälter werden hier zwischengelagert, bis sie schließlich über die GROMA/SUMA von der Montage angefordert werden. Zum Teil werden auch Vormontagen (Module) von hier versorgt.

Automatisches Kleinteilelager (AKL): Standard-Kleinladungsträger (KLT) in verschiedenen Abmessungen werden hier vollautomatisch eingelagert. Zusätzlich können auch Kartonagebehälter in bestimmten Abmessungen eingelagert werden. Durch zusätzliche Kommissionierer können Routenzüge vollautomatisch beladen werden.

Sequenz- und Kommissionierlager (SKL): Inhouse-Sequenzen, Portionierungen und Kommissionierungen werden hier durchgeführt. Ähnlich wie die Kommissionierer im AKL können auch hier Routenzüge, allerdings manuell, beladen werden. Zusätzlich werden bestimmte Einzelteile (z. B. Türdichtungen, Bremsleitungen) auf sogenannte Sequenzgestelle (SG) sortiert.

Regallager (RL): Hier werden alle restlichen Materialien wie Betriebs- und Verbrauchsstoffe eingelagert. Ergänzend können auch manuell Sequenzen gebildet werden. Das Ein- und Auslagern erfolgt in der Regel mittels Gabelstaplern.

Eine weitere Möglichkeit der Lagerhaltung ist der Einsatz von Versorgungszentren (intern und extern). Wie bereits in Abbildung 2-16 Gesamtlayout BMW Werk Leipzig dargestellt, bieten Versorgungszentren den Vorteil, entweder auf oder nahe dem Werksgelände alle wichtigen Logistikoperationen abbilden zu können, ohne die eigentliche Wertschöpfung (Kernfertigung) zu stören oder zu beeinflussen. Versorgungszentren können eigen- oder fremdbetrieben werden, je nach strategischer Ausrichtung des Unternehmens. Unter dem Fokus der Energieeffizienz und Nachhaltigkeit bietet diese Alternative zudem den Vorteil, unterschiedliche Temperaturniveaus nutzen zu können. Durch den hohen Mitarbeiteranteil in einer Fahrzeugmontage muss diese aufgrund der Arbeitsstättenrichtline[105] abhängig von der Schwere der Arbeit auf einem Temperaturniveau von 17-20 Cº betrieben werden. Ein reines Logistikgebäude kann mit einer wesentlich geringeren Raumtemperatur auskommen. Lagereinrichtungen (HRL, AKL, BL und RL) können eventuell komplett auf eine Beheizung verzichten. Somit kann das zu beheizende Raumvolumen, im Vergleich zu einem kombinierten Montage-Logistik-Gebäude, erheblich gesenkt werden.

Die folgende Abbildung 3-24 zeigt eine Prinzipdarstellung einer Logistikstruktur. Hierbei wurde besonders auf die Einbettung der Logistik in das Gesamt-Werkslayout und die Berücksichtigung der speziellen Anforderungen der Fahrzeugmontage geachtet.

[105] vgl.: Arbeitsstätten Richtlinie (ASR A3.5) (2012), S. 4.

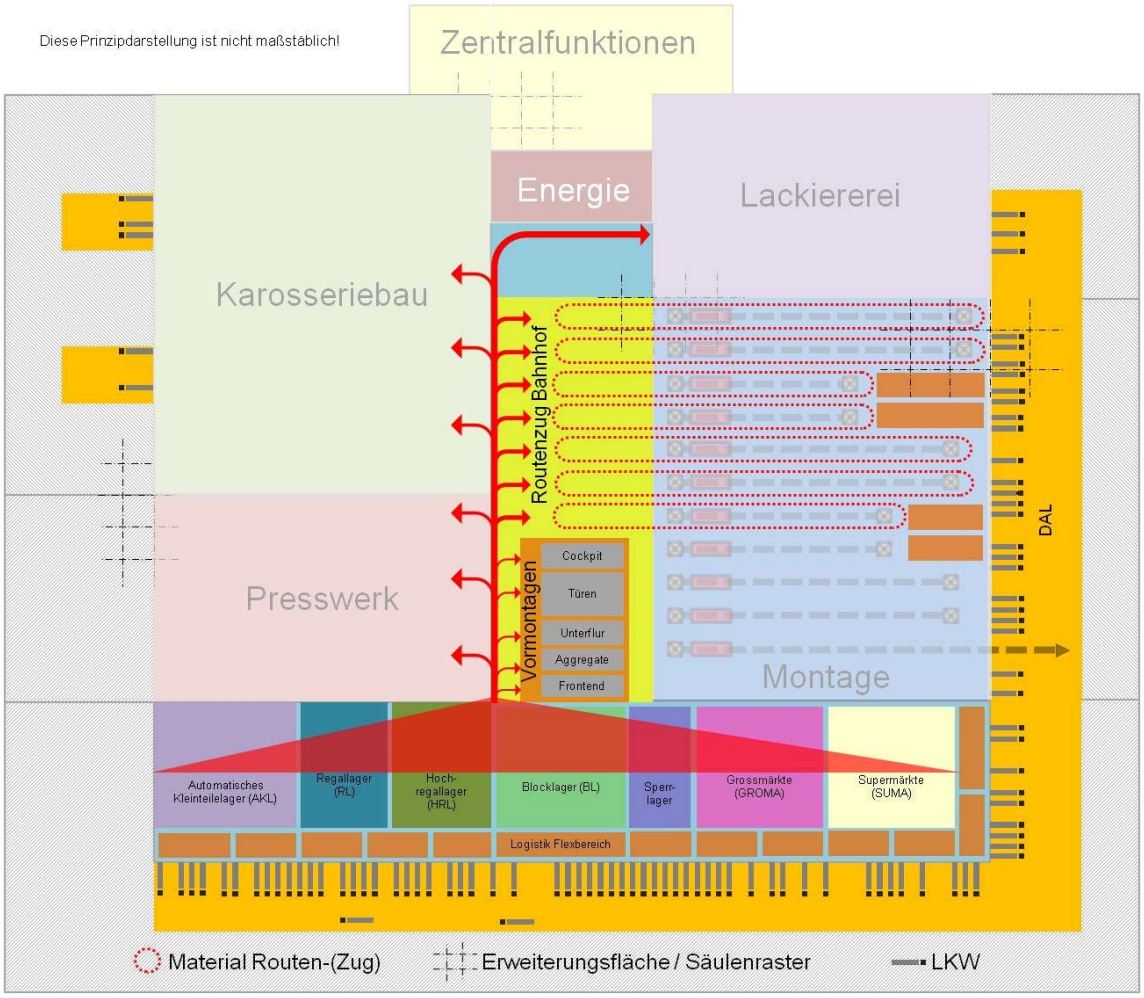


Abbildung 3-24: Logistikstrukturlayout

Charakteristisch bei diesem Logistiklayout ist die Aufteilung in einen Versorgungs- und einen Lagerbereich. Der Versorgungsbereich ist hier „gelb“ hinterlegt und beinhaltet die Materialroutenzug-Bahnhöfe und die Hauptvormontagen (Cockpit, Türen, Unterflur, Aggregate und Frontend). In diesem Bereich werden abhängig von der Montagesequenz die Montage-Fertigungsbereiche versorgt.

Materialroutenzüge: Ähnlich wie bei der Eisenbahn folgen die Materialroutenzüge festen Routen und Abfahrtszeiten. Abhängig vom jeweiligen Materialbedarf jeder Route werden die Routenzüge manuell oder vollautomatisch (AKL mit Kommissionierer) beladen.

Der Routenzug fährt dann bestimmte Haltestellen im Montagebereich an und tauscht die leeren Behälter durch volle Behälter aus. Das hat den Vorteil, dass die Materialbereitstellung am wenigsten Raum in Anspruch nimmt. Es wird immer nur so viel wie nötig am Band bereitgestellt. Durch eine Sequenzierung kann zusätzlich Platz gespart werden, da nicht alle Varianten auf einmal am jeweiligen Verbauort bereitgestellt werden müssen.

Hauptvormontagen: Diese Vormontagen sind ausgelagert von der eigentlichen Montage, da sie relativ flächenintensiv sind und zusätzliche Fixpunkte in der Montagestruktur darstellen würden. Die Versorgung der Hauptmontagelinie erfolgt über Elektrohängebahnen (EHB), fahrerlose Transportsysteme (FTS)[106] oder Bauteil Transportsysteme (BTS)[107]. Auch hier sind die Transportwege so kurz wie möglich zu halten. Die Energieversorgung der Routenzüge, FTS und BTS kann kapazitiv, induktiv oder mit Wasserstoff erfolgen.[108] Der Vorteil bei einer Wasserstoffversorgung liegt neben der besseren Umweltverträglichkeit auch in den kurzen Betankungszeiten und einem besseren Wirkungsgrad.

Der Lagerbereich ist gekennzeichnet durch einen Wareneingang mittels Heckentladung, beispielsweise ausschließlich in Süd- und Ostrichtung zur Vermeidung der Wetterseite im Westen (abhängig von der geographischen Lage). Potentielle Erweiterungsflächen befinden sich schwerpunktmäßig im Süden. Dieser Bereich ist unterteilt in vier Hauptbereiche:

[106] Ein fahrerloses Transportsystem (FTS) nach VDI 2510 ist ein flurgebundenes Fördermittel mit eigenem Fahrantrieb und automatisch geführter Steuerung. Es dient dem Transport von Material durch Tragen und/oder Ziehen.

[107] Ein Bauteil-Transportsystem (BTS) ist prinzipiell eine Art FTS. Allerdings werden keine Behälter damit transportiert, sondern Einzelteile, Module oder Zusammenbauten meist von der Vormontage zum eigentlichen Verbauort.

[108] Im BMW Werk Spartanburg/USA werden alle Routenzüge und Gabelstapler mit Wasserstoff betrieben.

Flexbereich: Hier werden die Lkw's entladen, Material kurz zwischengelagert und Leergut gesammelt, um schließlich wieder in die entsprechenden Lkw's geladen zu werden. Dieser Bereich ist schwerpunktmäßig durch Gabelstaplerverkehr gekennzeichnet. Von hier aus werden alle anderen Lagerbereiche der Montage und der anderen Technologien bedient. Weitere Flexbereiche befinden sich auch innerhalb einzelner Montagebereiche zur Handhabung der DAL-Umfänge. Vereinzelt können auch kleinere Vormontagen in diesen Bereichen untergebracht sein.

Automatischer Lagerbereich: In diesem Bereich befinden sich das Hochregallager (HRL) und das automatische Kleinteilelager (AKL). Diese beiden Lager werden direkt vom Wareneingang aus versorgt. Im HRL werden komplette Ladungseinheiten (GI-BO, EURO-Paletten) eingelagert. Im AKL werden Palletten zunächst vereinzelt, das heißt, die Kleinladungsträger werden von Palletten entnommen, eingescannt und einzeln auf Förderbänder gesetzt. Der Einlagerungs- und Auslagerungsprozess erfolgt völlig automatisiert. Diese beiden Lagerarten können als Fixpunkte bezeichnet werden. Aus diesem Grund muss bei der Planung bereits auf Erweiterungsmöglichkeiten Rücksicht genommen werden. Ein Versetzen beziehungsweise Umziehen solcher Logistikstrukturelemente ist kaum möglich und wirtschaftlich nicht sinnvoll. Daher ist das AKL hier unten links auf dem Werkslayout angesiedelt. Eine Erweiterung nach Westen ist somit jederzeit möglich, da bedingt durch die Wetterseite keine Docktore an dieser Seite vorgesehen sind. Zwischen AKL und HRL befindet sich das Regallager (RL), das als Erweiterungsfläche für das HRL dienen kann. Ein Regallager kann leichter verlegt werden als ein Automatiklager.

Manueller Lagerbereich: In diesem Lagerbereich sind die Regallager (RL), Blocklager (BL) und das Sperrlager zusammengefasst. Diese sollten möglichst zentral angeordnet sein, um lange Transportwege zu vermeiden. In einem Sperrlager werden defekte Bauteile zwischengelagert und Muster- oder Anlaufteile untergebracht, um ein Vermischen mit den Serienteilen zu verhindern. Das Materialhandling erfolgt ausschließlich manuell mit Hilfe von Gabelstaplern. Diese Flächen können relativ unkompliziert verlagert werden, da diese Lagerarten nicht investintensiv sind.

GROMA/SUMA-Bereich: Zwei wesentliche logistische Strukturelemente sind die Gross- und Supermärkte. Aus ihnen heraus wird die Fertigung mit Material versorgt. Diese beiden unterscheiden sich hauptsächlich durch die Art des Materialhandlings. Im Großmarkt werden Großladungsträger vereinzelt, das heißt, es werden Behälter oder Kleinladungsträger angefasst. Im Supermarkt werden Einzelteile sequenziert, kommissioniert, portioniert oder ein Car Set[109] gebildet. Die Bahnhöfe der Routenzüge werden teilweise auch von hieraus versorgt. Die Gross- und Supermarktflächen sind hier im Osten des Werkslayout angesiedelt. Die Erweiterungsflächen ergeben sich dadurch im Süden und im Osten. Hier stehen auch ausreichend Docktore zur Materialversorgung zur Verfügung. Kleinere Supermärkte können auch im eigentlichen Montagebereich gefunden werden. Diese werden dann ebenfalls durch Routenzüge mit Material versorgt.

Die in Abbildung 3-25 dargestellte Checkliste priorisiert die zuvor beschriebenen Prinzipien und stellt diese in Form einer Gesamtübersicht dar.

Priorisierung		Checkliste Prinzipien Logistiklayout	
	1.	Festlegung Versorgungsprinzip und Logistikstrukturelemente. (Automatisches Kleinteilelager, Palettenlager, Blocklager, Sperrlager, Großmärkte, Supermärkte).	✓
	2.	Definition Leistungsbreite und -tiefe bei der Versorgung (abhängig von der Eigenleistungstiefe).	✓
	3.	Die Prozess- und Materialströme (Flussprinzip) bestimmen das Logistikstrukturlayout (von innen nach aussen).	✓
	4.	Die Anlieferung erfolgt über Docktore (Heckentladung), Kalthallen (Seitenentladung) und angebundene Fördertechnik (Elektrohängebahnen, Tragkettenförderer, Staurollenförderer). Beachtung Wetterseite!	✓
	5.	Die Personal-, Material- und Fertigproduktströme sind entkoppelt und möglichst kurz gestaltet.	✓
	6.	Ein einheitliches, quadratisches Säulen- bzw. Stützenraster bildet die Basis für das Montage- und Logistiklayout.	✓
	7.	Eine ebenerdige Montage- und Logistikstruktur (Nebenflächen wie Sozial-, Pausen- und Büroräume auf Bühnen).	✓
	8.	Die Erweiterungsflächen sind festgelegt und basieren auf festen Erweiterungsstufen (Einheiten/Stunde).	✓
	9.	Das Flussprinzip wird auch in den Erweiterungsszenarien beibehalten.	✓
	10.	Die Flächen- und Energieeffizienz (kompakte Bauweise) ist eine besondere Planungspämisse.	✓
	11.	Gebäudehöhe entspricht maximal 9 m, ohne Anhängelasten (geringstes zu beheizende Raumvolumen).	✓
	12.	Lagerbereiche (HRL, AKL, BL und Sperrlager) sind räumlich getrennt von GROMA/SUMA (Temperaturdifferenz).	✓
	13.	Materialroutenzug-Bahnhöfe sind nah an den Versorgungsrouten angesiedelt. Kurze Versorgungswege und ebenerdige, klar abgegrenzte Routen zur Materialversorgung.	✓
	14.	Hauptvormontageumfänge (Cockpit, Türen, Unterflur, Frontend) sind nah am Verbauort angesiedelt. Kurze Versorgungswege und Fördertechnikkreisläufe.	✓
	15.	DAL durch Heckentladung ausschließlich für JIT/JIS Module/Komponenten und große, sperrige Einzelteile (z.B. Abgasanlagen, Dachhimmel)	✓

Abbildung 3-25: Checkliste Prinzipien Logistiklayout

[109] Unter einem Car Set werden mehrere Fahrzeug- und ausstattungsspezifische Einzelteile zusammengefasst und in speziellen Taschen, Behältern oder Gestellen bereitgestellt. Der Vorteil liegt hier bei der Reduzierung der Varianten im Montagebereich.

Abschließend ist festzustellen, dass auch bei der Festlegung der Logistikstruktur das zu beheizende Raumvolumen eine große Rolle spielt. Prinzipiell lässt sich der Logistikbereich in zwei Temperaturbereiche aufteilen. Zum einen sollten alle Lagerbereiche gering oder nicht beheizt werden. Lediglich eine Frostsicherung scheint hier angebracht zu sein. Auf der anderen Seite sollten die restlichen Bereiche entsprechend der Arbeitsstättenrichtlinie (ASR) temperiert werden. Alle Nebenflächen wie Pausen-, Sanitär- und Büroflächen sind auch hier auf Bühnen oder in Penthäusern unterzubringen. Letztere können zudem eine bessere Ausnutzung des Tageslichtes ermöglichen. Generell ist bei der Planung darauf zu achten, so viel Tageslicht wie möglich zu nutzen. Lichtbänder oder Oberlichter sind in ausreichendem Masse vorzusehen, um die Kosten für eine künstliche Beleuchtung möglichst gering zu halten.

3.3 Gebäudekonstruktion

Neben der geographischen Lage, der Werks- und Gebäudestruktur hat die Gebäudekonstruktion einen erheblichen Anteil an der Energieeffizienz und dem Energiebedarf einer Produktion beziehungsweise eines Produktionsgebäudes.

Ein energieeffizientes und nachhaltiges Produktionsgebäude muss die natürlichen Ressourcen wie Sonnenlicht, Luft, Regenwasser und Erdwärme bestmöglich nutzen. Ähnlich wie bei einem Passivhaus kann so der Primärenergiebedarf erheblich gesenkt werden. Des Weiteren kann durch eine entsprechende Konstruktion und durch Verwendung von bestimmten Materialien der Energieverlust durch Transmission und Lüftung erheblich reduziert werden. Der Einsatz von nachwachsenden und/oder Recyclingmaterialien kann in diesem Zusammenhang sinnvoll sein. Zusätzliche Potentiale können über die Auslegung der Technischen Gebäudeausrüstung (TGA), zum Beispiel Lüftungsanlagen mit Wärmetauschrädern, erschlossen werden. Letztere sind aber nicht Gegenstand der weiteren Untersuchungen, da dies den Rahmen dieser Arbeit überschreiten würde. Die folgende Abbildung 3-26 stellt schematisch eine energieeffiziente Gebäudekonstruktion dar.

Im Einzelfall und unter Berücksichtigung der jeweiligen Rahmenbedingungen der zu planenden Produktion ist der Einsatz verschiedener energieeffizienter Technologien zu prüfen. Eine konsequente Nutzung der Energiekreisläufe ist hierbei anzustreben.

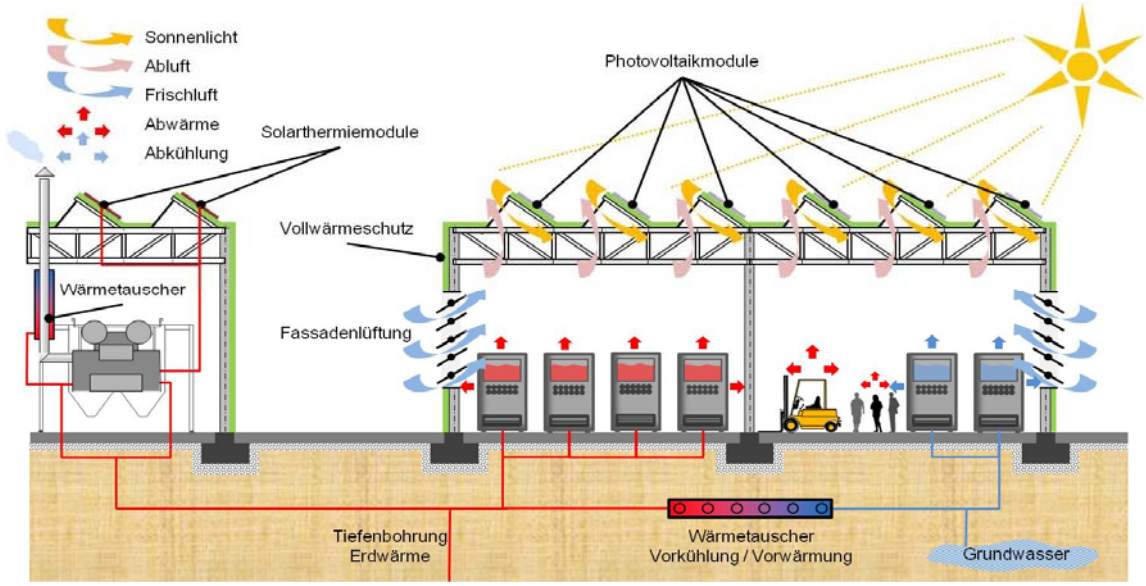


Abbildung 3-26: Schema energieeffiziente Gebäudekonstruktion

Die Hauptfunktion eines (Fertigungs-) Gebäudes besteht darin, die Personen, das Material, die Anlagen und die Produkte vor dem Wetter- und Klimaeinfluss zu schützen. Jede Maschine, Prozessanlage oder Fertigungseinrichtung gibt, abhängig vom jeweiligen Prozess oder der verwendeten Technologie, Wärme- oder Kälteenergie ab. Personen und Fahrzeuge (Gabelstapler) strahlen ebenfalls Wärme ab. Zusätzlich kommt noch der solare Wärmeeintrag durch Fenster und Oberlichter hinzu. Bei Bedarf, zum Beispiel im Winter, muss ergänzend noch geheizt werden. Die Nutzung vorhandener natürlicher Ressourcen wie Erdwärme, Sonnenenergie, Windenergie und Grundwasserkühlung und zusätzlich eine gute Isolation zur Vermeidung von Wärmeverlusten ist bei einem Passivgebäude verpflichtend. Eine transparente und flächendeckende Energieverbrauchserfassung in Form eines Energiemanagementsystems ist notwendig, um den Anforderungen der DIN EN ISO 50001:2011 zu entsprechen. Die in Abbildung 3-27 dargestellte Checkliste priorisiert die zuvor beschriebenen Prinzipien und stellt diese in Form einer Gesamtübersicht dar.

Priorisierung		Checkliste Prinzipien Gebäudekonstruktion	
	1.	Energieeffiziente Bauweise (Passivhausstandard)	✓
	2.	Weitgehend regenerative Energieversorgung (Regenwasser, Wind- und Solarenergie, Erdwärme)	✓
	3.	Oberlichter zur Belichtung und Belüftung (Shedkonstruktion, Oberlichter, Lichtbänder)	✓
	4.	Helligkeitsabhängige Beleuchtungssteuerung	✓
	5.	Fassade mit Lüftungslamellen (Belüftung mittels Kamineffekt)	✓
	6.	Wärmerückgewinnungskonzept (Prozesstechnik, Technische Gebäudeausrüstung (TGA))	✓
	7.	Transparente Verbrauchserfassung (alle Energiearten)	✓
	8.	Helle Dachoberfläche (Reduzierung Wärmeeintrag)	✓
	9.	Verwendung nachwachsender Baustoffe (Holz, Hanf)	✓
	10.	Einsatz von Umweltverträglichen Materialien (Emmisionsarm)	✓
	11.	Modulare Bauweise (einheitliche Säulen- und Stützenraster, Wand- und Dachsegmente)	✓
	12.	Langlebigkeit (Einfache Instandhaltung, Wetter- und Klimabeständigkeit, robuste- und stabile Konstruktion)	✓
	13.	Universelle Nutzbarkeit (Logistikgebäude, Montagegebäude, Vermeidung von Spezialgebäuden)	✓
	14.	Problemloser Um- und Rückbau (Standardisierte Konstruktion)	✓
	15.	Wiederverwendbarkeit der Baustoffe (Recycling, keine Entsorgung (Asbest) nötig)	✓

Abbildung 3-27: Checkliste Prinzipien Gebäudekonstruktion

Im weiteren Verlauf wird noch detaillierter auf die wichtigsten Kriterien bei der energieeffizienten Gebäudekonstruktion eingegangen.

3.3.1 Materialien

Das Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi) fördert die Forschung für energieeffizientes Bauen. Hierbei werden neue Materialien, Komponenten und Systeme entwickelt, um Gebäude mit einem minimalen Primärenergiebedarf herstellen zu können. Folgende vier Ansprüche sind dabei zu kombinieren:

- sehr guter Wärme- und Sonnenschutz,
- ausreichende thermische Gebäudespeicherkapazität,
- luftdichte und wärmebrückenfreie Gebäudehülle,
- umfassende Wärmerückgewinnung.[110]

Bezüglich der Baumaterialien muss zwischen den verschiedenen Kategorien Tragwerk, Dach und Fassade unterschieden werden. Jede Kategorie hat bestimmte Anforderungen an die Energieeffizienz zu erfüllen.

[110] vgl.: Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi) (2008), S. 13.

Tragwerk

Beim Tragwerk kommt es vor allem auf die Dachform (Flachdach, Sheddach) und die Spannweiten zwischen den einzelnen Säulen beziehungsweise Stützen an. Die eigentliche Tragwerkskonstruktion ist weiterhin von den verwendeten Baumaterialien abhängig. In der Industrie werden hauptsächlich Stahl- und Holzfachwerkträger, Brettschichtholzträger und Betonträger verwendet. Bei einer Holzkonstruktion ist zu berücksichtigen, dass es zu erhöhten Wartungsintervallen (Sichtkontrollen) und brandschutztechnischen Problemen kommen kann.

Auf der anderen Seite handelt es sich um einen nachwachsenden Rohstoff, der CO_2 bindet und zudem auch eine positive Innenraumwirkung mit sich bringt. In einer Fachwerkskonstruktion können außerdem noch die Medientrassen und Teile der technischen Gebäudeausrüstung untergebracht werden.

Betonträger haben den Nachteil, dass bedingt durch die Vorlaufzeit eine rechtzeitige und sichere TGA-Planung vorhanden sein muss. Zudem haben diese eine eingeschränkte Flexibilität bei Durchbrüchen, Aussparungen und Einbringungsöffnungen. Eine Stahlfachwerkskonstruktion erlaubt sehr hohe Anhängelasten und ermöglicht zudem, die nachträgliche Verstärkung der Traglasten wie in Abbildung 3-21 dargestellt. Die Verlegung der Medientrassen und der TGA ist auch hier möglich. Dem gegenüber steht der sehr energieintensive und nicht CO_2-neutrale Herstellungsprozess. Aus Gesamtsicht ist aber trotzdem die Stahlfachwerkskonstruktion zu präferieren.

Dach

Ein Dach soll vor Witterungseinflüssen wie Wind, Regen, Schnee und Hagel schützen. Zusätzlich muss es auch Energieverluste durch Transmission oder Undichtigkeiten verhindern. Bei Industriebauten werden meist Flachdächer mit einer Dachneigung von mindestens 2 Prozent realisiert. Bei Shed- und Pultdächern werden größere Dachneigungen verwendet. Meist wird ein Trapezblech mit einer mineralischen Wärmedämmung verwendet.

Die Dachbahn sollte aus einem weißen Folien- oder Bitumendach bestehen. Das ist vorteilhaft, da es bis zu 90 Prozent[111] der Solarstrahlung reflektiert. Die Verlegung ist einfach und schnell.

Eine weitere Möglichkeit stellt ein begrüntes Dach dar. Auch hier wird ein Trapezblech mit einer mineralischen Wärmedämmung verwendet. Allerdings sind dann weitere Schichten wie eine wurzelfeste Abdichtung, eine Trennschicht, eine Dränschicht (Regenablauf), eine Filterschicht und zuletzt die Begrünung (z. B. Rasen) notwendig. Die Vorteile liegen hauptsächlich in einem verbesserten Schall- und Wärmeschutz und einer Luftverbesserung (CO_2-Absorbtion durch Pflanzen). Zusätzlich werden dadurch Grünersatzflächen geschaffen, die eine Verbesserung des Feuchtigkeitshaushaltes in der Umgebung (Verdunstung, Speicherung) mit sich bringen.

Luftfolienkissen sind nicht erst seit der Münchner Allianz-Arena als mögliche Dachformen bekannt. Die Vorteile dieser Dachkonstruktion liegen zum einen in der Gewichtsersparnis und dem geringen Materialverbrauch, zum anderen aber auch in der Lichtdurchlässigkeit, der Wetterbeständigkeit (Hagel) und der UV-Beständigkeit der Materialien. Nachteilig können die solare Wärmeeinbringung (Beschattungsmöglichkeit durch Photovoltaik) und die laufenden Betriebskosten (Lüfter, Wartungskosten) sein.

Fassade

Ähnlich wie eine Dachfläche dient auch eine Fassade dem Schutz vor Witterungseinflüssen. Bei der Gestaltung der Außenwände gibt es eine Vielzahl von Materialien und Konzepten. Eine Auswahl wird im weiteren Verlauf vorgestellt und die Vor- beziehungsweise Nachteile werden aufgezeigt. Ältere Industriebauten bestehen hauptsächlich aus Ziegelsteinen beziehungsweise aus gegossenem Beton oder einer Kombination aus beidem.

[111] vgl.: BMW Group 04 (2010), S. 57.

Moderne Industrie- und Fertigungsgebäude bestehen meist aus einem Sockel aus Stahlbeton, auf dem dann Fensterbänder zur natürlichen Belichtung angebracht sind. Nach oben bis zum Dachübergang werden Paneele mit einer Wärmeisolierung (Mineralwolle) verwendet. Diese großflächigen Paneele haben den Vorteil, dass der Aufbau relativ schnell erfolgen kann und durch standardisierte Module sehr kostengünstig ist. Die Fassaden können dann mit verschiedenen Außenmaterialien, z. B. Aluminium-Trapezblech, verkleidet werden. Das hat den Vorteil, korrosionsbeständig und leicht zu sein. Dem gegenüber steht allerdings der sehr hohe Energiebedarf bei der Herstellung. Stahlblechpaneele sind in diesem Zusammenhang etwas besser und auch in den Investitionskosten günstiger.

Profilbauglas verbindet eine ganze Reihe an Vorzügen, wie zum Beispiel eine maximale natürliche Belichtung, recycelbar zu sein, eine hochwertige Außenansicht und eine einfache Montage. Nachteilig wirken sich das hohe Gewicht (Unterkonstruktion nötig) und der relativ schlechte Dämmwert (U-Wert: 1,0 W/m^2)[112] aus. Ähnlich schlecht verhält es sich auch mit Makrolon-Stegplatten. Diese sind zwar erheblich leichter, haben aber auch ein ungünstiges Brandverhalten und somit eine andere Brandschutzklasse.

Eine Holzfassade nutzt einen nachwachsenden und CO_2-neutralen Baustoff dar. Holz ist einfach mit einem geringen Primärenergiebedarf zu bearbeiten und eine Montage ist schnell und kostengünstig möglich. Unter Umständen kann auch eine verbesserte Wärmedämmung durch den Einsatz einer Holzfassade erreicht werden. Dem gegenüber stehen das Brandverhalten und die alterungsbedingten Veränderungen der Oberfläche (Instandhaltungsaufwendungen).

Zu den Fassadenflächen zählen auch Fenster, Fluchttüren und Tore. Auch hier muss besonderes Augenmerk auf die Energieeffizienz gelegt werden. Fenster sollten mehrfachverglast sein und zusätzlich auch einen Sonnenschutz zur Reduzierung der Blendung und des Wärmeeintrages haben.

[112] vgl.: BMW Group 04 (2010), S. 72.

Türen und Tore mit Vakuumdämmpaneelen sind im gesamten Außenbereich vorzusehen. Zusätzlich kann an geeigneten Stellen (Südausrichtung) auch über Solarpaneele an der Fassade nachgedacht werden. Diese können in Lamellenform auch zusätzlich als Sonnenschutz vor Fensterflächen installiert werden. Dies hat zusätzlich noch den Nutzen einer positiven Außenwirkung durch eine sichtbare Nutzung von regenerativen Energien.

3.3.2 Dachformen und Belichtung

In der Industrie gibt es unterschiedlichste Dachformen. Für Produktions- und Montagegebäude werden jedoch nur das Flach-, Kies-, Grün-, Pult- oder das Sheddach verwendet. In der folgenden Abbildung 3-28 sind diese gängigsten Dachformen für Produktionsgebäude dargestellt.

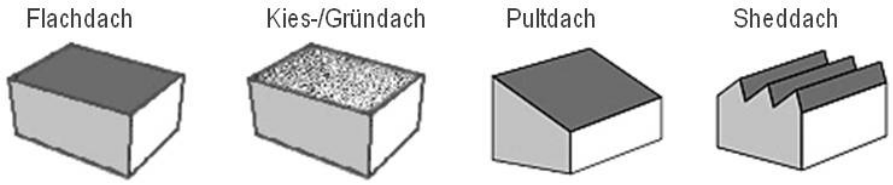


Abbildung 3-28: Typische Dachformen für Produktionsgebäude[113]

Am verbreitesten ist das Flachdach. Diese sind sehr einfach und kostengünstig zu erstellen. Eine Unterform des Flachdaches stellen die Kies- und Gründächer dar. Ein Pultdach hat ein in eine Richtung geneigtes Dach. Zum einen kann die Dachneigung variieren und zum anderen auch die Himmelsausrichtung des Daches. Eine Ausrichtung nach Süden ist beispielsweise vorteilhaft beim Einsatz von Solar- und Photovoltaikanlagen. Bei sehr großflächigen Gebäuden ist diese Dachform nachteilig, da durch die relativ große Dachneigung eine Seite des Gebäudes sehr hoch ausfallen würde. Um dies zu vermeiden, kommen in diesen Fällen Sheddächer zum Einsatz.

[113] vgl.: Oelmann, S. (2009), Diplomarbeit, S. 57.

Dabei handelt es sich um eine Aneinanderreihung von mehreren Pult- oder Satteldächern. Besonders in einer Fahrzeugmontage ist aufgrund der hohen Qualitätsanforderungen, eine sehr gute Beleuchtung der Produktions- und Fertigungsbereiche notwendig. Dies kann durch die Nutzung von Tageslicht[114] (natürliche Belichtung) und künstlicher Beleuchtung realisiert werden. Prinzipiell hat das Thema natürliche Belichtung einen hohen Stellenwert bei einem Produktionsgebäude, da diese kostenlos zur Verfügung steht und eine künstliche Beleuchtung ersetzen oder reduzieren kann. Wie die Analyse der Hauptenergieverbraucher in der Fahrzeugmontage in Kapitel 2.2 gezeigt hat, stellt die Beleuchtung hier den größten Stellhebel bei der Reduzierung des Energieverbrauches dar. Eine natürliche Belichtung kann auf zweierlei Arten in einem Produktionsgebäude sichergestellt werden:

Zum einen durch Fenster beziehungsweise Fensterbänder an den Gebäudefassaden und zum anderen durch Oberlichter, Lichtkuppeln beziehungsweise Lichtbänder oder Sheddachkonstruktionen. Besonders bei sehr großflächigen Produktionsgebäuden ist der Nutzen von Fenstern sehr begrenzt, da die Ausleuchtung mit der Raumtiefe abnimmt. Abbildung 3-29 zeigt zudem auch den Einfluss der Position der Fenster. Je größer und höher die Fenster, desto besser ist die Ausleuchtung.

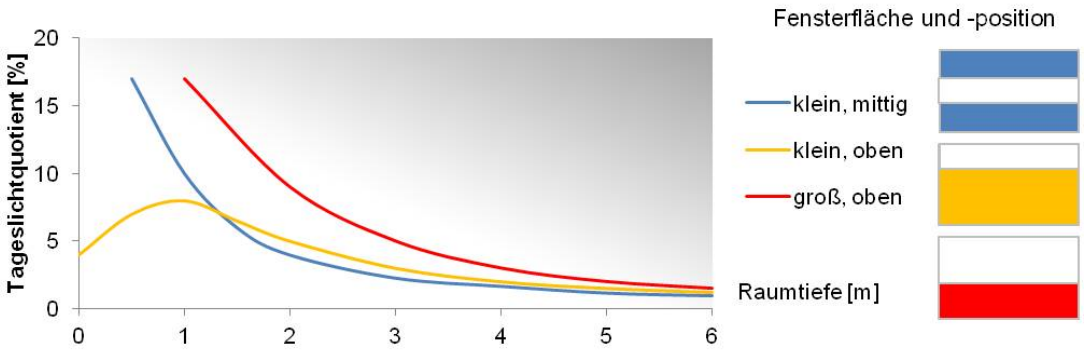


Abbildung 3-29: Ausleuchtung der Raumtiefe (verschiedene Fenster)[115]

[114] Tageslicht: Der sichtbare Teil der elektromagnetischen Strahlung des Sonnenlichts bei Wellenlängen zwischen 380 und 780 nm (Quelle: Deutsche gesetzliche Unfallversicherung e.V.: Information Tageslicht am Arbeitsplatz, Berlin 2009).

[115] vgl.: Ranft, F., Frohn, B. (2004), S. 60 und Oelmann, S. (2009), Diplomarbeit, S. 68.

Tageslicht hat zudem noch die Eigenschaft, unabhängig von der Jahreszeit bei gleichmäßig bedecktem Himmel vom Zenit bis zum Horizont steil abzunehmen. Das bedeutet, der Einsatz von Dachoberlichtern begünstigt die Ausnutzung des Zenitlichtes und sorgt, unabhängig vom Abstand zur Außenfassade, für eine gleichmäßigere Ausleuchtung des Raumes. Eine Kombination aus Fensterfronten und Oberlichtern kann für eine optimale Ausleuchtung sorgen. Abbildung 3-30 stellt diese Wirkzusammenhänge anschaulich dar.

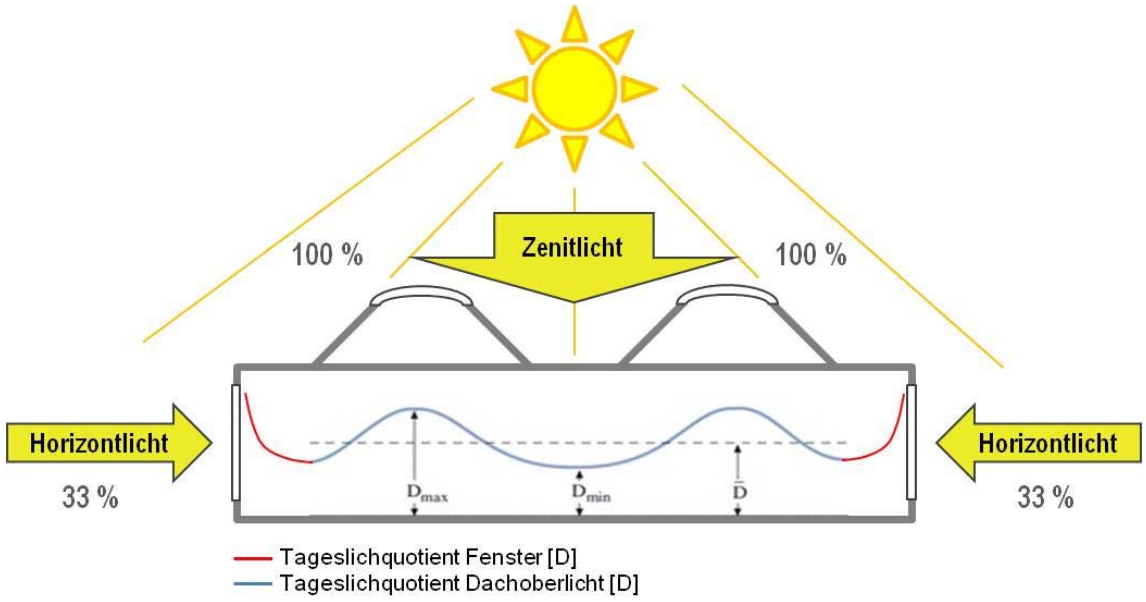


Abbildung 3-30: Unterschied Tageslichtquotient von Horizont- und Zenitlicht (in Anlehnung an Cornelius)[116]

Der Nachteil von Oberlichtern, Lichtbändern oder Lichtkuppeln ist der solare Wärmeeintrag in den Sommermonaten. Dies kann sich negativ auf die Energiebilanz auswirken, da eventuell eine Klimatisierung oder eine entsprechende Lüftungstechnik installiert werden muss. In diesem Zusammenhang ist ganz klar eine Sheddachkonstruktion vorzuziehen. Im weiteren Verlauf werden die verschiedenen Sheddachkonstruktionen aufgezeigt und deren jeweilige Vor- beziehungsweise Nachteile diskutiert.

[116] vgl.: Cornelius, W. (2007), S. 8.

Sheddachkonstruktionen[117]:

Ende des 19. Jahrhunderts im Rahmen der Industriealisierung entstanden die ersten Sheddächer zuerst in England sowie kurz danach auch in Deutschland und anderen Industrieländern. Das Wort Shed stammt daher auch aus dem englischsprachigen Raum und bedeutet „Schuppen“.

Im Deutschen wurde diese Dachform zuerst Paralleldach und später Sägezahndach genannt. Mittlerweile hat sich international der Name Sheddach durchgesetzt. Grundsätzlich besteht ein Sheddach aus einer bedeckten und einer lichtdurchlässigen Oberfläche. Die lichtdurchlässigen Flächen sind meist nach Norden (nördliche Hemisphäre) ausgerichtet, um eine direkte Sonneneinstrahlung und somit einen Wärmeintrag zu vermeiden. Gleichzeitig werden die Bildung von Schlagschatten und eine ungleichmäßige Ausleuchtung ausgeschlossen. Über die Zeit haben sich die verschiedensten Sheddachquerschnitte entwickelt. Die wichtigsten werden in der folgenden Abbildung 3-31 dargestellt.

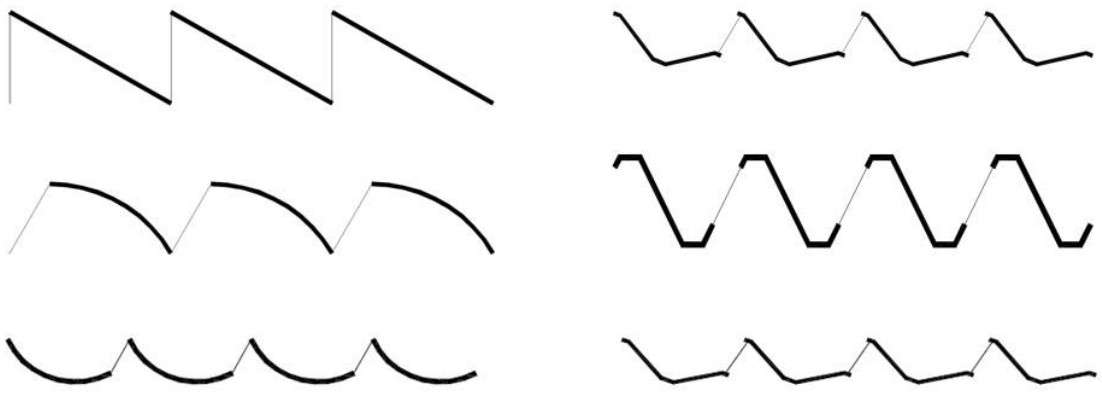


Abbildung 3-31: Shed-Querschittsformen.[118]

[117] vgl.: Velikanje, B. (2002), S. 1 ff und Oelmann, S. (2009), Diplomarbeit, S. 63 ff.

[118] Velikanje, B. (2002), Dissertation, S. 25.

In unseren Breitegraden kommt ein Neigungswinkel der Shedverglasung von 60 Grad am häufigsten vor, da die Sonne diesen Winkel selbst bei Höchststand im Jahresverlauf kaum überschreitet. Sheddächer mit einer senkrechten Verglasung erreichen durch den natürlichen Leuchtdichteabfall des Himmels zum Horizont bei gleicher Fensterfläche nur circa 60 Prozent des Lichteinfalls, sind allerdings konstruktionsbedingt günstiger in der Herstellung.

Die bedeckte Sheddachoberfläche hat in der Regel einen Winkel von 30 Grad. Dieser Winkel ist zudem ideal für den Einsatz einer Photovoltaikanlage. In der Regel gelten in Deutschland bei Südausrichtung Neigungswinkel zwischen 30 Grad und 35 Grad als optimal. Abhängig von der geographischen Lage (Breitengrad), der Tages- und Jahreszeit variiert der Sonnenstand und somit auch der ideale Winkel der Photovoltaik-Module.[119] Alternativ können die Dachformen der bedeckten Shedseite in Längsrichtung auch konvex gekrümmt, konkav gekrümmt oder geknickt sein. Die lichtdurchlässige Shedseite in Längsrichtung kann als gerades oder gekrümmtes Lichtband dargestellt werden. Abbildung 3-32 zeigt einige komplexere Formen, wie eine Lichtfläche, die sich zwischen zwei Linien bei unterschiedlichen Krümmungen und/oder Knickungen ergibt. Diese sind aber unter Umständen teurer in der Herstellung.

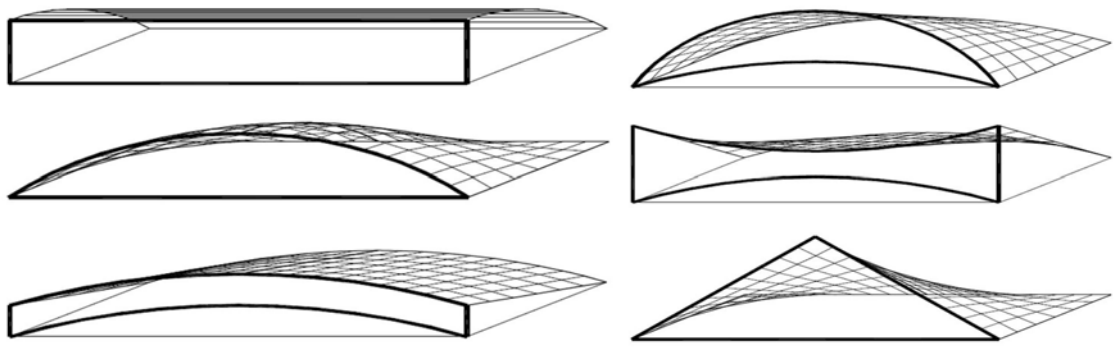


Abbildung 3-32: Shed-Oberlichtformen[120]

[119] vgl.: Münch, C. (2014).

[120] Velikanje, B. (2002), Dissertation, S. 26.

Auf jeden Fall sollte eine Isolierverglasung mit zu öffnenden Segmenten zur besseren Entlüftung (natürlicher Kamineffekt) realisiert werden. Abhängig von der späteren Nutzung des neu zu errichtenden Produktionsgebäudes und der tragtechnischen beziehungsweise lichttechnischen Anforderungen können verschiedene Shedkonstruktionen in Frage kommen.

Für eine Fahrzeugmontagehalle sind die in Abbildung 3-33 dargestellten Shedkonstruktionen denkbar. Bedingt durch die größtmögliche Säulen- beziehungsweise Stützenfreiheit in den Produktionsbereichen sind hier die Parallel-Längs- oder Bogen-Sheds zu empfehlen.

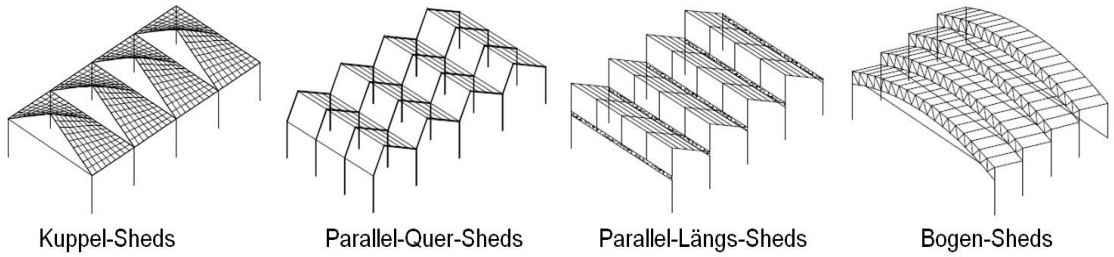


Abbildung 3-33: Shed-Konstruktionsformen[121]

Konstruktiv sind Sheddachkonstrukionen gegenüber Flachdachkonstruktionen aufwendiger und dadurch auch teurer in der Herstellung. Des Weiteren sind sie wartungsintensiver (Gewährleistung der Dichtheit) und besonders bei Frost und Schnee anfällig für eine Vereisung der Entwässerungseinrichtungen. Ausgehend von den speziellen Anforderungen einer Fahrzeugmontage können entweder das gesamte Dach als Shedkonstruktion oder nur bestimmte Band- beziehungsweise Fertigungsbereiche mit Einzel-Sheds ausgeführt werden.

Lichtkuppeln oder Lichtbänder:

Lichtkuppeln finden häufig Anwendung in der Industrie, da sie sowohl auf Flachdächern als auch auf bis zu 25 Grad geneigten Pultdächern aufgesetzt werden können.

[121] Velikanje, B. (2002), Dissertation, S. 29.

Die eingesetzten Materialien sind lichtdurchlässig wie Isolierglas oder verschiedene Kunststoffe. Es stehen verschiedene Formen wie zum Beispiel runde, quadratische oder pyramidenförmige Lichtkuppeln zur Verfügung. Durch Lichtkuppeln lassen sich einzelne Bereiche im Inneren von Gebäuden gezielt ausleuchten.[122]

Lichtbänder eignen sich besonders, um Fahrwege oder in Reihe angeordnete Arbeitsplätze mit Tageslicht auszuleuchten. Sie sind ideal für eine Fließfertigung wie zum Beispiel die Fahrzeugmontage. Es stehen Bogen- und Satteldachformen bei Lichtbändern zur Auswahl. Sie stellen eine kostengünstige und wirtschaftliche Alternative zu Sheddächern dar. Bedingt durch das geringe Gewicht ist ein nachträglicher Einbau in den meisten Fällen möglich.[123] Abbildung 3-34 zeigt Beispiele von Lichtkuppeln und -bänder.

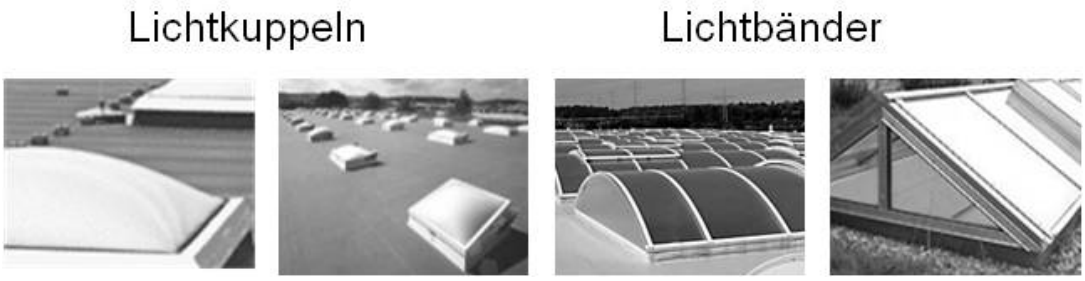


Abbildung 3-34: Beispiele für Lichtkuppeln und Lichtbänder in der Industrie[124]

Bei beiden Varianten ist der solare Wärmeeintrag, ohne einen äußeren Sonnenschutz, problematisch. Ähnlich wie bei einem Gewächshaus kann der Innenraum im Sommer leicht überhitzen und eine aktive Lüftung- oder Klimaanlage notwendig sein.

[122] vgl.: Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung e.V. (2009), S. 34.

[123] vgl.: Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung e.V. (2009), S. 35.

[124] LAMILUX Heinrich Strunz GmbH (2010).

Hybrid-Dachkonstruktion:

Ist der Einsatz einer Photovoltaikanlage geplant, können die Vorteile einer Shed-Dachkonstruktion mit denen eines Flachdaches mit Lichtbändern kombiniert und die jeweiligen Nachteile weitestgehend eliminiert werden. Die folgende Abbildung 3-35 stellt schematisch ein Hybrid-Oberlicht dar.

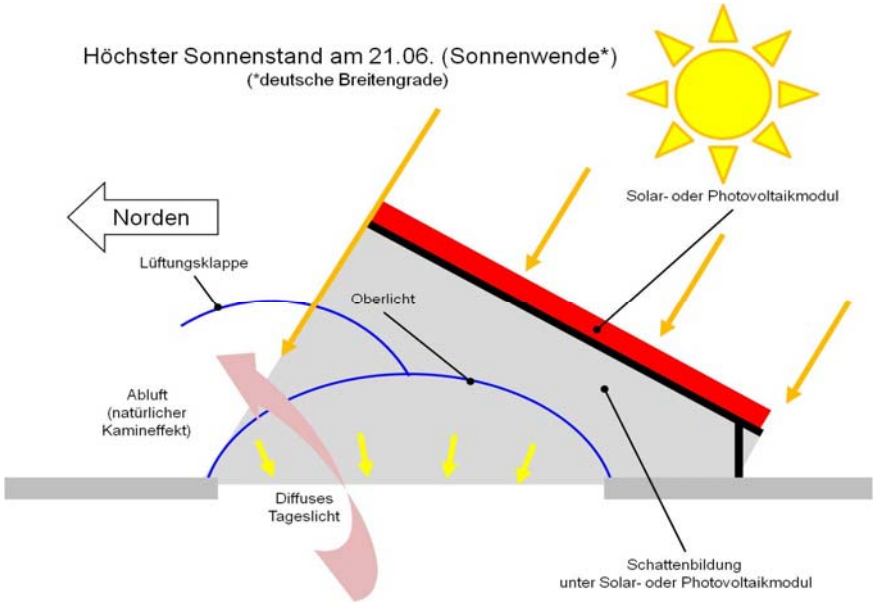


Abbildung 3-35: Hybrid-Oberlicht

Ein Flachdach ist sehr kostengünstig und einfach zu erstellen. Bei sorgfältiger Verarbeitung ist auch die Dichtheit gewährleistet. Des Weiteren sind die Instandhaltungsaufwendungen im Vergleich zum Sheddach gering. Durch den Einsatz von Lichtbändern kann zudem noch erheblich Gewicht eingespart werden, dass der Traglast der Dachkonstruktion (Anhängelasten) zugutekommt. Die Lichtbänder sind pneumatisch oder elektrisch öffenbar auszuführen, um in Kombination mit Lüftungslamellen in der Gebäudefassade den natürlichen Kamineffekt nutzen zu können. Dies spart zum einen Energie und verbessert das Raumklima. Dem solaren Wärmeeintrag wird mit Hilfe der Photovoltaikanlagen entgegengewirkt. Diese können bei entsprechender Positionierung permanent Schatten auf die Lichtbänder werfen, ohne den Lichteintrag negativ zu beeinflussen.

Die folgende Abbildung 3-36 zeigt beispielhaft die Position der Shed/Oberlichter auf dem zuvor unter Kapitel 3.2.2 erarbeiteten idealen Montagelayout.

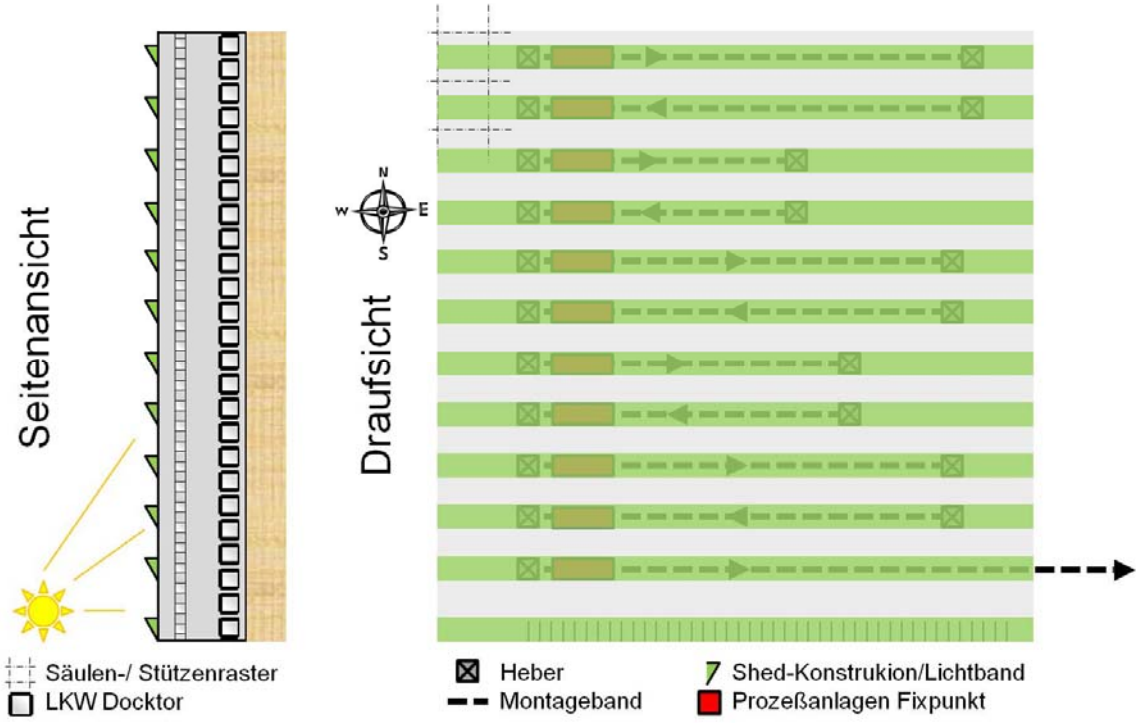


Abbildung 3-36: Position Shed / Oberlichter auf Montagegebäude

Hierbei hervorzuheben ist die Nordausrichtung der Glasflächen und die Parallel-Längskonstruktion der Sheds mit einer Ost-West-Ausbreitung. Nur so können alle Vorteile dieser Dachkonstruktion ausgeschöpft werden und der maximale Lichteintrag bei minimalem Wärmeeintrag realisiert werden. Die Shed/Oberlichter sind exakt über den jeweiligen Montagelinien positioniert. Dabei ist darauf zu achten, dass keinerlei unnötige Schattenbildung durch Technikbühnen, Ver- und Entsorgungstrassen (TGA) oder sonstige Stahlkonstruktionen den direkten Lichteinfall beeinträchtigen. Ergänzend können noch Fensterbänder und Lüftungslamellen in die Gebäudefassade integriert werden, um zusätzliches Tageslicht beziehungsweise Frischluft durch die wettergeschützte Seite des Montagegebäudes einzubringen. Diese Kombination eines Flachdaches mit Lichtbändern und Photovoltaikanlagen stellt somit die Ideallösung dar.

4 Energiemanagement und Verbrauchsmonitoring

Im Allgemeinen wird in der Industrie beim Energiemanagement zwischen Energieprojektmanagement und permanentem Energiemanagement unterschieden. Zur Aufgabe eines ganzheitlichen Energiemanagements gehören die folgenden drei Hauptbereiche: Versorgungskonzepte, Energieverträge und eine effiziente Energienutzung. Diese sind sowohl technisch als auch wirtschaftlich unter Berücksichtigung der politischen Rahmenbedingungen ständig zu optimieren. Die primären Ziele eines permanenten Energiemanagements sind, die Produktion, also die Wertschöpfung, mit Energie zu versorgen, die Prozesse energieeffizient zu gestalten und den Energieverbrauch und somit auch die Kosten nachhaltig zu senken.[125]

Nach VDI 4602 ist Energiemanagement „[...] die vorausschauende, organisierte und systematisierte Koordinierung von Beschaffung, Wandlung, Verteilung und Nutzung von Energie zur Deckung der Anforderungen unter Berücksichtigung ökologischer und ökonomischer Zielsetzungen.“[126]

4.1 Versorgungskonzepte

Versorgungskonzepte im Bereich des Energiemanagements beschreiben die technische Festlegung und Installation von Versorgungsalternativen für die Bereitstellung der benötigten Energiearten Strom, Wärme, Gas, Wasser und Druckluft. Die Bewertungskriterien hierfür sind die Versorgungssicherheit, Wirtschaftlichkeit, hohe Wirkungsgrade und der Umweltschutz beziehungsweise politische Vorgaben. Prinzipiell kann zwischen den beiden Versorgungsarten Fremdbezug oder Eigennutzung unterschieden werden. In Abbildung 4-1 sind diese Versorgungsarten gegenübergestellt.

[125] vgl.: Schieferdecker, B. (2006), S.1-ff.

[126] vgl.: VDI 4602, S. 3.

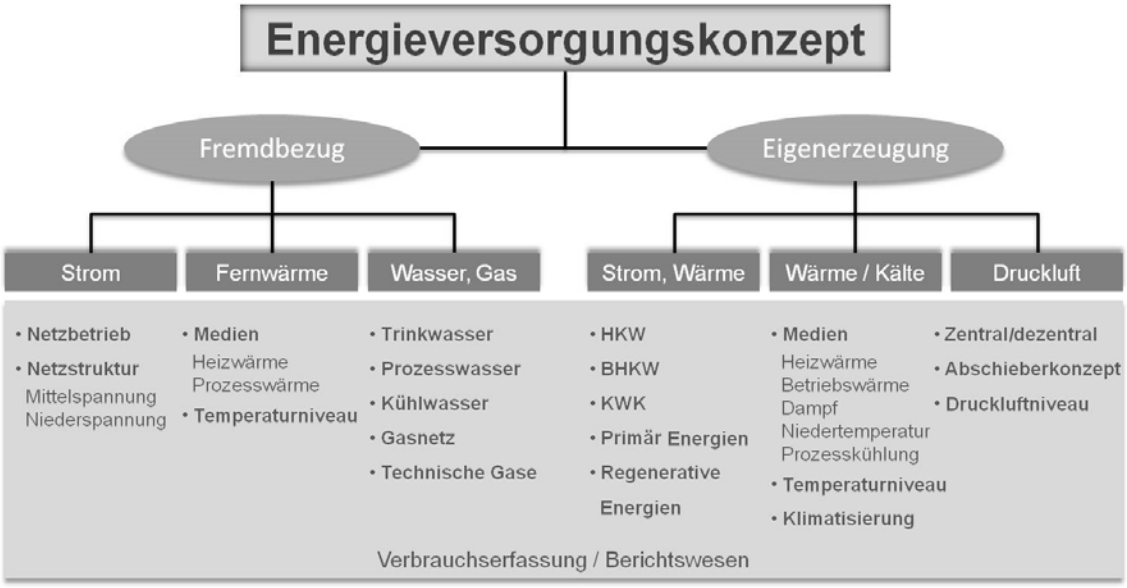


Abbildung 4-1: Übersicht Versorgungskonzept

4.2 Energiebeschaffung und Preiszusammensetzung

Eine Analyse des Energieverbrauches in Kapitel 2.2 hat bereits aufgezeigt, dass neben dem Trinkwasser die Energiearten Elektroenergie und Erdgas extern eingekauft werden müssen. Maßnahmen zur Steigerung der Energieeffizienz setzen neben dem Wissen über die Energiemengen auch Wissen über die Kosten voraus.[127] Bei der Energievertragsgestaltung für die leistungsgebundenen Energiearten Strom, Wärme und Gas ist unter Berücksichtigung der Verbrauchsstruktur des Werkes darauf zu achten, die Vertragsinhalte im Hinblick auf Preiskomponenten, Strukturen und der zukünftigen Preisentwicklung zu optimieren. Durch Vertragsvergleiche bei gleichen Abnahmestrukturen mit unterschiedlichen Energieversorgungsunternehmen können günstigere Konditionen verhandelt werden. Die wichtigsten Energiebeschaffungsmodelle sind in Abbildung 4-2 gegenübergestellt.

[127] vgl.: Voigtmann, M. (2008), S. 34.

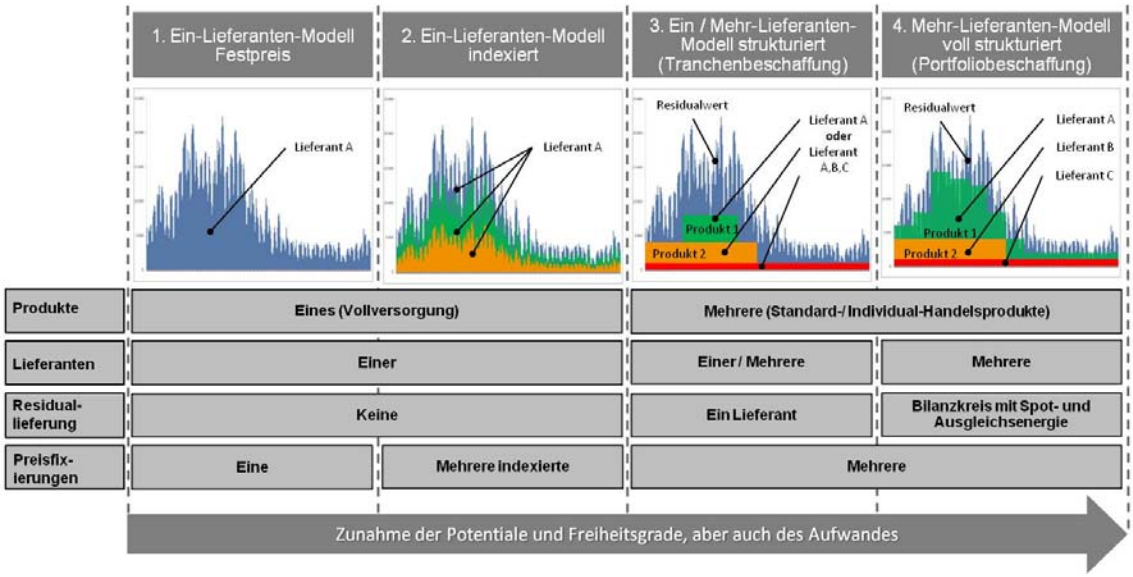


Abbildung 4-2: Energiebeschaffungsmodelle[128]

Hauptunterscheidungsmerkmale sind die Anzahl der Produkte und der Lieferanten. Als erstes ist hier die Vollversorgung zu erwähnen, das heißt, Energieabnehmer mit einer sehr guten Lastgangprognose können einen Festpreis mit einem Lieferanten verhandeln. Man spricht in diesem Zusammenhang auch von einem „All-inklusive-Vertrag“, da neben der Energielieferung auch die Netznutzung abgebildet wird. Ein weiteres Unterscheidungsmerkmal stellt hierbei der Beschaffungszeitpunkt dar. Bei einer klassischen Stichtagsbeschaffung wird der gesamte Energiebedarf für einen Zeitraum zu einem Stichtag abgewickelt. Dem gegenüber steht die indexorientierte Beschaffung. Das heißt, der Energiebedarf wird in mehrere Teilmengen aufgeteilt und handelstäglich/wöchentlich eingekauft. Dadurch verringert sich das Risiko, die Volumenflexibilität erhöht sich.[129] Bei der Tranchenbeschaffung bestimmt der Einkäufer den Zeitpunkt für die Teilmengenbeschaffung selbst. Das Marktpreisrisiko wird durch diese Form der Beschaffung erheblich reduziert, allerdings ist eine abgestimmte Einkaufsstrategie die Grundvoraussetzung hierfür.

[128] vgl.: Auracher, M. (2013), Experteninterview vom 26.04.2013.

[129] vgl.: BME (2013), Strategischer Energieeinkauf (3. Auflage), S. 23ff.

Der Residualwert stellt die Restmenge dar und kann separat, meist mit einem Festpreis pro kWh, eingekauft werden. Bei der Portfoliobeschaffung wird die Energie primär am Großhandelsmarkt beschafft. Der Energielastgang wird hierbei bestmöglich in börsennotierte, standardisierte Energieprodukte zerlegt. Dadurch erhält man die höchste Kostentransparenz und Flexibilität, dem gegenüber steht allerdings auch der größte Arbeitsaufwand. Eine Ideallösung gibt es nicht. Es muss immer im Einzelfall entschieden werden, welche Energieeinkaufsform am geeignetsten ist.

Das Energierecht in Deutschland beinhaltet eine Vielzahl von Gesetzen und Verordnungen zur Einhaltung des gesetzlichen Rahmens für den Energiemarkt. Das Umweltrecht nimmt hierbei immer mehr Einfluss auf die Gestaltung des Energierechtes. Das Energiewirtschaftsgesetz (EnWG) besteht seit 1935, aktuell in der Fassung von 2005. Es regelt die leitungsgebundene Versorgung mit Elektrizität und Gas mit dem Ziel, eine sichere, preisgünstige, effiziente, verbraucherfreundliche und umweltverträgliche Versorgung unter Einbindung von erneuerbaren Energien sicherzustellen.[130] In Abbildung 4-3 sind alle nationalen Gesetze dargestellt, im Speziellen das EnWG mit seinen Verordnungen. Weitere europäische Richtlinien (z. B. Emissionshandels- oder Energieeffizienz-Richtlinie) beeinflussen zusätzlich den deutschen Energiemarkt.

[130] vgl.: Juris GmbH (2013), Energiewirtschaftsgesetz (EnWG).

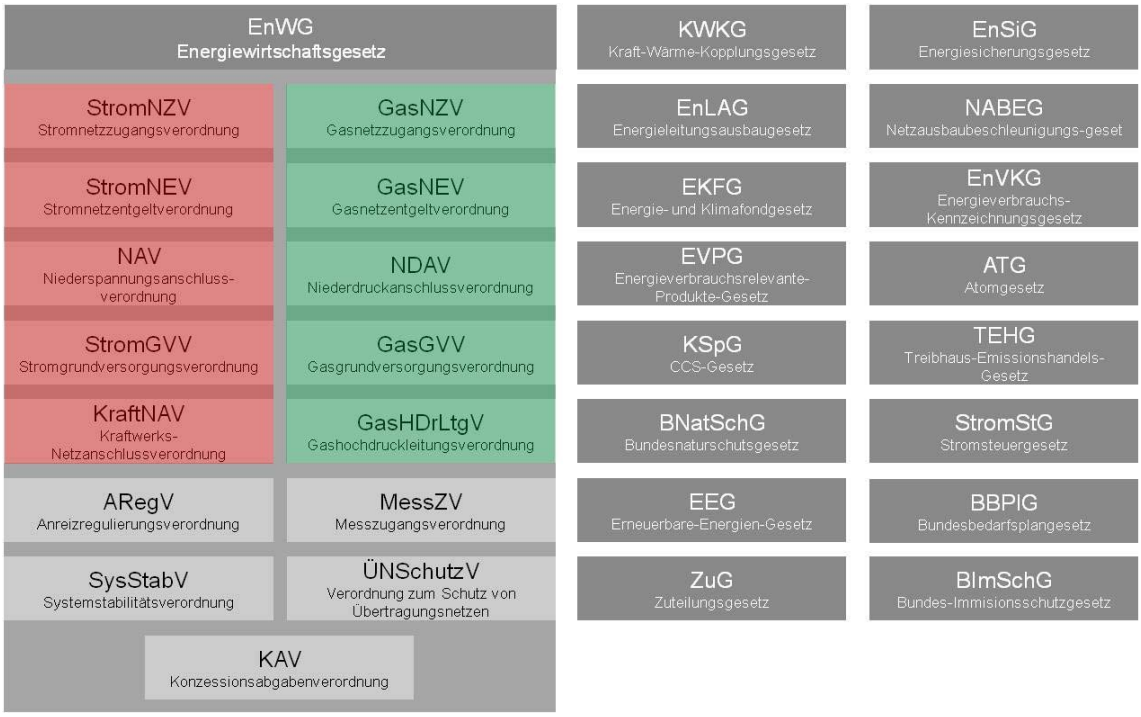


Abbildung 4-3: Übersicht Energierecht Deutschland[131]

Der Strompreis setzt sich, wie in Abbildung 4-4 ersichtlich, aus den Strombezugskosten, Netznutzungskosten, Steuern, Abgaben und Umlagen zusammen. Diese Zusammensetzung ist für private und gewerbliche Nutzer gleich, jedoch kommen Großabnehmer in den Genuss von zahlreichen Ausnahmeregelungen und zahlen in der Regel einen deutlich geringeren Preis für Elektroenergie.

[131] vgl.: Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi) (2012), Gesetzeskarte.

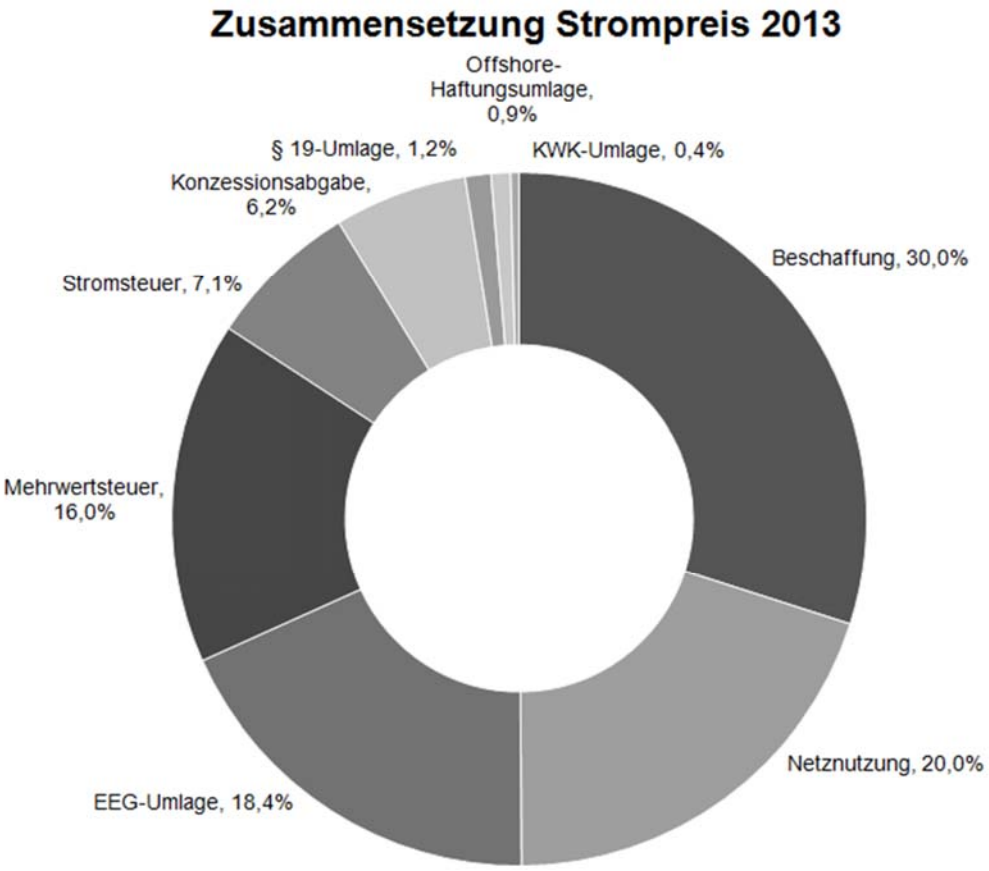


Abbildung 4-4: Zusammensetzung Strompreis 2013[132]

Die angesetzten 19 Prozent-Umsatzsteuer (USt) auf den Gesamtpreis müssen von Unternehmen zwar vorerst aufgebracht werden, entfallen in der Stromkostenbetrachtung allerdings aufgrund des Vorsteuerabzugs. Die Ökosteuer beinhaltet neben dem Regelsteuersatz auch ermäßigte Steuersätze (vgl. Tabelle 4-1). In der Automobilindustrie wird in der Regel der ermäßigte Steuersatz des produzierenden Gewerbes angesetzt.[133]

[132] vgl.: bdew (2013), BDEW-Strompreisanalyse Mai 2013, S. 9ff.

[133] vgl.: Juris GmbH (2012), StromStG vom 05.12.2012, §2 Abs. 3.

Tabelle 4-1: Steuersätze der Ökosteuer (StromStG)[134]

	Ökosteuer Strom [€/MWh]
Regelsteuersatz	20,50
Ermäßigter Steuersatz für …	
Fahrbetrieb im Schienenverkehr/ ÖPNV	11,42
produzierendes Gewerbe	15,73

Die Konzessionsabgabe beinhaltet keine Ausnahmeregelungen. In der entsprechenden Abgabeverordnung ist geregelt, dass „[…] Entgelte für die Einräumung des Rechts zur unmittelbaren Versorgung von Letztverbrauchern mit Strom und Gas im Gemeindegebiet mittels Benutzung öffentlicher Verkehrswege für die Verlegung und den Betrieb von Leitungen“ zu entrichten sind.[135]

Die sogenannte KWK-Umlage (Kraft-Wärme-Kopplung) ist das Ergebnis des Kraft-Wärme-Kopplungsgesetzes (KWKG) und ein weiterer Bestandteil des Strompreises. Dieses Gesetz verfolgt das Ziel, die Stromerzeugung aus KWK-Anlagen zu fördern.[136] Der EEG-Zuschlag (Erneuerbare-Energien-Gesetz) folgt dem gleichen Prinzip und fördert den Ausbau der Energieerzeugung aus erneuerbaren Energien auf bis zu 20 Prozent bis 2020.[137] Dieser Zuschlag ist keine Steuer und kein festgeschriebener Prozentsatz. Er wird jährlich von den Übertragungsnetzbetreibern (ÜNB) berechnet und festgesetzt.[138]

Der Grundpreis für die Energielieferung bildet den größten Anteil an den Strombeschaffungskosten. Er setzt sich aus den Großhandels- und Börsenpreisen für Strom zusammen. Die Netznutzung ist ein Kostensatz, der sich auf die in kW bezogene Gesamtleistung bezieht.

[134] vgl.: Peter, T. (2008), Diplomarbeit S. 18.

[135] vgl.: Juris GmbH (2006), KAV vom 01.11.2006, §1 Abs. 2.

[136] vgl.: Juris GmbH (2013a), KWKG vom 07.08.2013, §1.

[137] vgl.: Juris GmbH (2012a), EEG vom 20.12.2012, Art. 1 §1.

[138] vgl.: Juris GmbH (2012a), EEG vom 20.12.2012, Art. 4 §37 Abs. 2.

Als Grundlage der Kostenrechnung dient die Stromnetzentgeltverordnung (StromNEV). Diese regelt die Methode zur Berechnung der Netzentgelte.[139]

Ein weiterer Bestandteil des Strompreises stellt die §-19-Umlage des StromNEV dar. Diese Umlage ist besonders interessant für energieintensive Unternehmen, da diese dadurch erheblich bessere Preiskonditionen erhalten können. Unternehmen mit einem Jahresverbrauch von mehr als 10 GWh und mindestens 7.000 Stunden Stromentnahme jährlich erhalten einen Rabatt auf die Netzgebühren. Dieser Rabatt wird durch diese §-19-Umlage subventioniert.[140]

Mit der Novelle des Energiewirtschaftsgesetzes (EnWG) von 2012 ist die Offshore-Haftungsumlage in Kraft getreten. Einen Großteil der Schadensersatzkosten für verspäteten Anschluss oder langandauernden Störungen von Offshore-Windparks wird dadurch auf alle Endverbraucher umgelegt.

Am 01.01.2014 kam die Abschalt-Umlage nach der Verordnung zu abschaltbaren Lasten (AbLaV) dazu. Großverbraucher reduzieren ihren Stromverbrauch zur Stabilisierung des Stromnetzes und erhalten aus dieser Umlage einen Schadensersatz.[141]

Analog wie beim Strom setzt sich auch der Gaspreis (Abbildung 4-5) aus einzelnen Bestandteilen zusammen. Auch hier kommt der Vorsteuerabzug der Umsatzsteuer (USt) zum Tragen. Die Konzessionsabgabe ist wesentlich niedriger als beim Strom und beträgt für Sondervertragskunden laut KAV maximal 0,03 ct/kWh. Die Mineralöl- beziehungsweise Energiesteuer ist mit 0,55 ct/kWh im Energiesteuergesetz (EnergieStG) festgeschrieben.[142]

[139] vgl.: Juris GmbH (2013b), StromNEV vom 14.08.2013, §1.

[140] vgl.: Juris GmbH (2013b), StromNEV vom 14.08.2013, §19 Abs. 2.

[141] vgl.: Juris GmbH (2012b), AbLaV vom 28.12.2012, §1.

[142] vgl.: Juris GmbH (2006a), Energiesteuergesetz (EnergieStG) vom 15.07.2006, §2 Abs. 3.

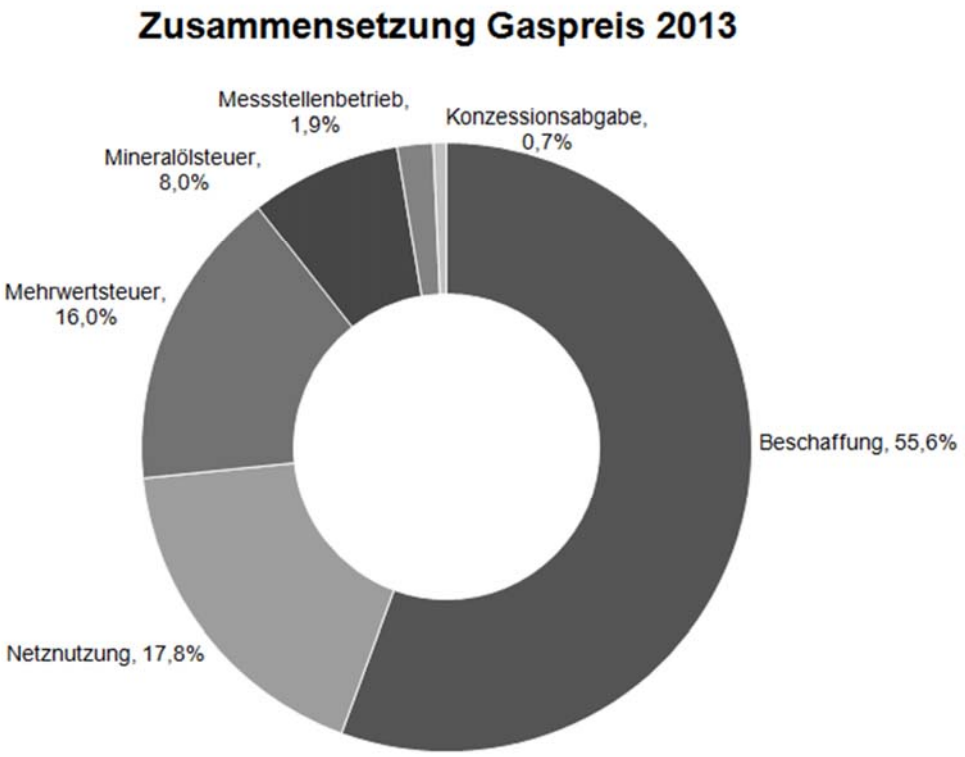


Abbildung 4-5: Zusammensetzung Gaspreis 2013[143]

4.3 Effiziente und nachhaltige Energienutzung

Das Betreiben einer ressourceneffizienten Fabrik stellt die Verantwortlichen vor weitere Herausforderungen. Ein organisatorisch verankertes Energiemanagement stellt hierbei die Kernfunktion und somit die Kontroll- und Steuerungsfunktion dar. Hier laufen alle Aktivitäten und Maßnahmen zum nachhaltigen Betrieb und zur Steigerung der Energieeffizienz zusammen. Wichtigstes Werkzeug ist die transparente Verbrauchserfassung über Energie- und Medienzähler. Eine fest definierte und auf der Produktionsstruktur basierende Zählerstruktur ist hier der Schlüssel zur Verbrauchstransparenz. Einzelne Fertigungs- oder Produktionsbereiche können zusammengefasst werden.

[143] vgl.: Bundesnetzagentur (2013), Zusammensetzung Gaspreis.

Idealerweise sind diese Bereiche deckungsgleich mit den Kostenstellen einer Organisationseinheit. Somit kann der Energieverbrauch der jeweiligen Kostenstelle zugeordnet werden, die Hauptverbraucher identifiziert und gezielte Energiespar- und Optimierungspotentiale aufgezeigt werden. Zusätzlich können individuelle Energiekennzahlen (kWh/Produkt) gebildet werden. Des Weiteren macht es bei Verbrauchern, die flächendeckend beziehungsweise mehrfach in einer Organisationseinheit vorkommen und deren Verbrauch nicht direkt einem Prozess zugeordnet werden kann, Sinn, Verbrauchergruppen zu bilden. Diese Verbraucher (z. B. Beleuchtung) werden in sogenannten Bedarfspfaden zusammengefasst. Abbildung 4-6 stellt das Prinzip der Bedarfspfade (Anlagen, Lüftung, Beleuchtung, Kleinverbraucher, IT und USV/Notstrom) dar.

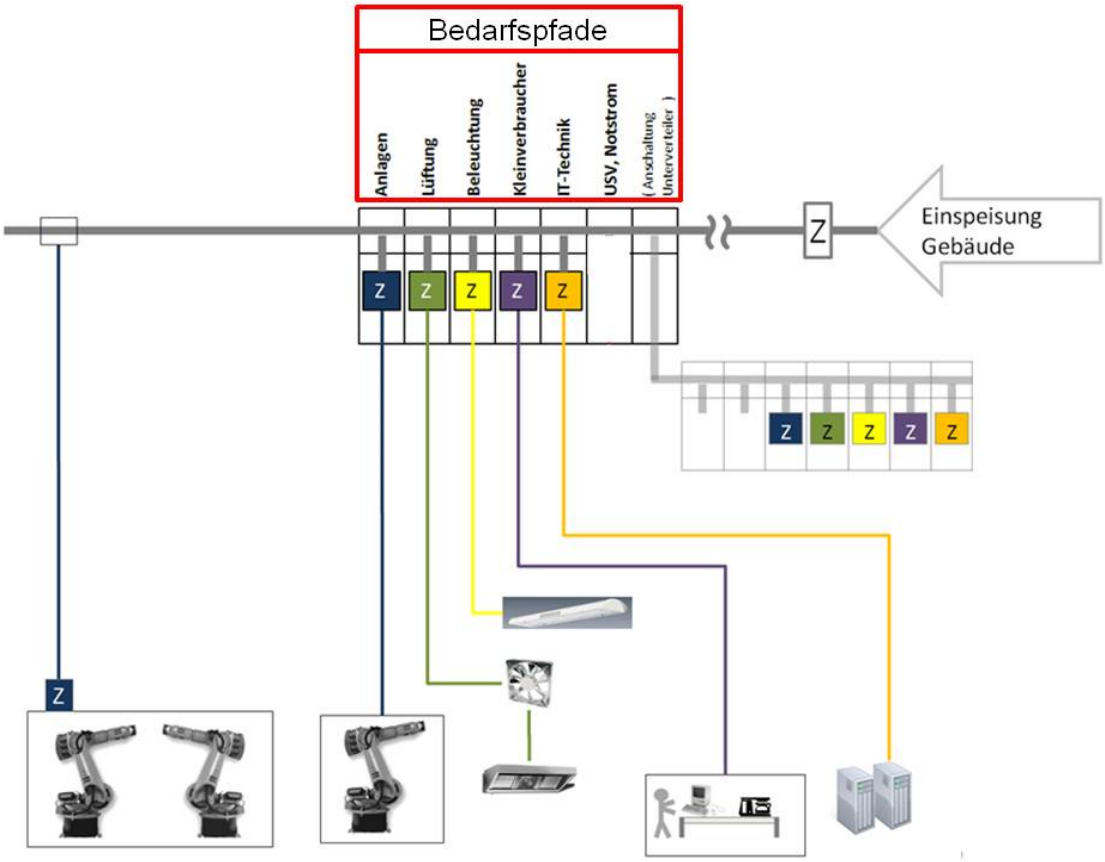


Abbildung 4-6: Übersicht Bedarfspfade zur Verbrauchserfassung[144]

[144] BMW Fachteam Energiemanagement 2011.

Eine weitere Verteilung über Kennzahlen oder Formeln wie beispielsweise kWh/m^2 (Beleuchtung) oder kWh/m^3 (Wärme) ist denkbar. Im Folgenden werden beispielhaft einige montagespezifische Optimierungspotentiale aufgezeigt, die zum Teil kurz- beziehungsweise mittelfristig umgesetzt werden können.

Anlagentechnik

Die Anlagentechnik einer Fahrzeugmontage besteht aus vielen verschiedenen Anlagen wie beispielsweise Fördertechnik oder Prozessanlagen. Eine pauschale Aussage über die Energieeffizienzpotentiale ist daher kaum möglich. Jede Anlage muss individuell untersucht werden.

Prinzipiell sollten Anlagen in produktionsfreien Zeiten ausgeschaltet werden, also kein Energieverbrauch ohne Wertschöpfung! Des Weiteren sind die Anlagen energieeffizient zu gestalten. Bereits während der Planung einer neuen Anlage können hierfür die Weichen gestellt werden. Folgende Planungs- und Ausschreibungsprämissen sind dabei zu beachten:

ENERGIEEFFIZIENZ-GRUNDSÄTZE FÜR ANLAGEN[145]

- Antriebs- und Steuerungskomponenten nach dem Stand der Technik energieeffizient und angemessen dimensionieren. Geräte sollen nach Möglichkeit überschüssige Energie in das Netz zurückspeisen (Beispiel Frequenzumrichter an Hebern oder Regalfahrzeugen). Komponenten komplett abschaltbar und autark wieder anlauffähig durch Netz EIN, „Wake on LAN“ oder separates Signal ausführen.
- Überdimensionierung der Energie- und Medienversorgung vermeiden.
- Nur zeitweise benötigte, vom Prozess abhängige Komponenten bedarfsgerecht an-/abschalten (z. B. Lüftung, Heizung).
- Alle Abläufe und Prozesse innerhalb der Anlage so gestalten, dass unnötige Bewegungen von Elementen vermieden werden.

[145] vgl.: Imgrund, Ch. (2011), Energy2.0 (03/2011), S. 30.

- Nur für Wartungszwecke benötigte Komponenten (z. B. Beleuchtung, Zusatzmonitore) manuell abschaltbar ausführen.
- Energiesparmotoren einbauen, wenn dies die Wirtschaftlichkeitsberechnungen der Hersteller ergeben.
- Gegengewichte optimal austarieren.
- Die Solltemperatur an Klimageräten zur Schaltschrankklimatisierung auf 35 °C einstellen.
- Beheizte Anlagenteile nach aktuellem Stand der Technik angemessen isolieren. Optional ein Energiemessgerät verbauen, um ein effizientes Energiemanagement mit transparenten Verbrauchswerten zu gewährleisten.
- Die Abwärme von Antriebs- und Steuerungskomponenten soll so gering beziehungsweise die zulässige Betriebstemperatur so hoch sein, dass auf Klimatisierung verzichtet werden kann.
- Das Herunterfahren und Einschalten der Anlage muss innerhalb von 60 Sekunden erfolgen.

Beleuchtung

Die künstliche Beleuchtung, als Ergänzung zur natürlichen Belichtung (Fenster, Oberlichter), ist ausreichend zu dimensionieren. In vielen Fällen ist die Beleuchtung überdimensioniert oder dem jeweiligen Zweck nicht entsprechend. Verschiedene Beleuchtungszonen sind bei der Planung eines Fertigungsbereiches bereits zu berücksichtigen. Verschiedenste Bereiche (z. B. Pausen-, Verkehrs-, Logistik-, Büro- und Montageflächen) erfordern unterschiedliche Beleuchtungsstärken. Eine auf Tageslichtsensor basierte und bedarfsgerechte Beleuchtungssteuerung ist einzusetzen. Zusätzlich ist der Einsatz von alternativen Leuchtmitteln (LED) zu prüfen. Mittlerweile ist die Lebensdauer und die Lichtausbeute wesentlich verbessert worden. Ein Beleuchtungsmanagement muss hier ein Teilbereich des Energiemanagement sein. Die Beleuchtung muss sich an die ändernden Rahmenbedingungen permanent anpassen. So werden in einer Fahrzeugmontage ständig Bereiche verlegt, verkleinert oder vergrößert. Zudem ändern sich Schicht- und Produktionszeiten, die eine Anpassung der Beleuchtungszeiten erfordern.

Folgende einfache Prinzipien können eine deutliche Energieeinsparung im Bereich der Beleuchtung ermöglichen:

- Installation von Bewegungsmeldern in den Sanitärbereichen.
- Ausschalten der Bandbeleuchtung während Pausenzeiten und in der produktionsfreien Zeit.
- Partielles Ausschalten der Beleuchtung in Logistikflächen in Abhängigkeit vom Tageslichteinfall.
- Einschalten der Beleuchtung auf Wartungsbühnen und Sonderflächen nur noch nach Anforderung.
- Ausschalten der Beleuchtung in Automatikanlagen (z. B. HRL, Roboteranlagen).

Druckluft

Die Druckluft zählt zu den teuersten und ineffizientesten Energieformen, da sie aus Elektroenergie erzeugt wird und mit sehr hohen Verlusten (Wärmeverluste) behaftet ist. Dennoch brauchen einige Anlagen, vor allem Automatikanlagen, Hebeeinrichtungen und Schraubanlagen, Druckluft. Umso wichtiger ist es, bei der Planung von Fertigungsbereichen folgende Prämissen zu berücksichtigen:

1. Es sollte weitestgehend auf Druckluft verzichtet werden.
2. Energieeffiziente Druckluftkomponenten sollten eingesetzt werden.
3. Leckagen müssen kontinuierlich aufgespürt und eliminiert werden.

Bei einem Werksneubau (Greenfield) sollte darauf geachtet werden, die Anlagentechnik auf ein möglichst niedriges Druckluftniveau auszulegen. Ferner ist ein Abschiebekonzept zu entwickeln, um nicht benötigte Bereiche, zum Beispiel während produktionsfreien Zeiten, über Magnetventile abzuriegeln. Eventuell kann die bei der Drucklufterzeugung anfallende Abwärme wiederverwendet werden zum Vorkonditionieren von Sanitärwasser (z. B. Duschen, Handwaschbecken) oder zum Beheizen von Fertigungsbereichen.

5 Wichtigste Ergebnisse und Empfehlungen

5.1 Die wichtigsten Ergebnisse

Bei der vorliegenden Arbeit handelt es sich um ein Hilfsmittel und eine Methodensammlung zur Planung und Optimierung von industriellen Produktionswerken. Am Beispiel der Automobilindustrie, im Besonderen der Fahrzeugmontage, wurden Ansätze und Methoden entwickelt und untersucht, um die Produktion energieeffizient und nachhaltig zu gestalten.

Ein schonender Umgang mit Ressourcen wird in vielen Unternehmen vehement verfolgt und als ökonomische Verantwortung verstanden. Der Energieeinsatz als eine berücksichtigte Ressource kann demzufolge einen wichtigen Beitrag zur Wahrung der Nachhaltigkeit leisten. Diesen Nachhaltigkeitsaspekt gilt es fest in der Planungsmethodik von neuen ressourceneffizienten Produktionsstätten zu verankern.

Ein Automobilkonzern verfügt in der Regel über mehrere Produktionsstandorte in verschiedenen Regionen und/oder auf verschiedenen Kontinenten. Die Implementierung des Nachhaltigkeitsaspektes in das Gesamtsystem eines Automobilwerkes und die Einbindung in ein Produktionsnetzwerk sind die Grundvoraussetzung für ein nachhaltiges und energieeffizientes Fahrzeugwerk. Zudem sind je nach Fertigungstiefe die unterschiedlichsten Technologien, wie zum Beispiel Komponentenwerke (Motorenwerke, Gießereien), Vollwerke oder gar Zulieferer, in die ganzheitlichen Betrachtungen mit einzubeziehen.

Prinzipiell sind Verschwendungen in jeder Hinsicht zu vermeiden und, falls vorhanden, zu eliminieren. Diese Arbeit fokussierte sich auf die Energie- und Ressourcenverschwendung. Im Rahmen eines Neubauprojektes eines Fahrzeugwerkes kann auf vielerlei Art und Weise der zukünftige Energie- und Ressourcenverbrauch beeinflusst werden.

Jeder Werksneubau beginnt mit der Standortauswahl. Bisher beschränkten sich die Auswahlkriterien auf das Vorhandensein von Rohstoffen, Absatzmärkten, qualifizierten Mitarbeitern, Infrastruktur und Incentives. Unter dem Gesichtspunkt der nachhaltigen Energie- und Ressourceneffizienz wurden zusätzlich noch der Klimaeinfluss und das Vorhandensein von regenerativen Energien als gewichtige Standortfaktoren ergänzt und in die Bewertungen mit einbezogen.

Die Werks- und Gebäudestruktur folgten als zweiter Ansatzpunkt bei der Entwicklung eines ressourceneffizienten Fahrzeugwerkes. Oberste Prämisse war eine flexible und nachhaltige Struktur. Es wurde besonderer Wert auf die Erweiterbarkeit (Skalierbarkeit) und die kreuzungsfreien Personal-, Material- und Produktströme gelegt. Zusätzlich ist der Energie- und Ressourcenbedarf zu minimieren. Dies wurde durch eine kompakte, außenflächenminimale und optimale Ausrichtung (Nord-Süd/Ost-West) der Struktur realisiert. Auch die Integration von regenerativen Energien wurde von Anfang an bei der Auslegung berücksichtigt.

Die Gebäudekonstruktion, im Besonderen die Dachform, beeinflusst in diesem Zusammenhang den Energiebedarf einer Fahrzeugmontage erheblich. Neben einer guten Isolation, der Nutzung von natürlichen Ressourcen (Belichtung, Belüftung) und regenerativen Energien stand auch Energierückgewinnung im Vordergrund. Es wurde eine Hybrid-Dachkonstruktion entwickelt, um die Vorteile eines Flachdaches mit den Vorteilen eines Sheddaches zu verbinden. Beginnend mit der Standortwahl über die Werks- und Gebäudestruktur bis hin zur Festlegung der zu verwendenden Materialien und Konstruktionsprämissen werden langfristig die Weichen für die Nachhaltigkeit des Standortes gestellt. Die Nutzung von natürlichen Ressourcen und erneuerbaren Energien dient hierbei als Grundvoraussetzung zur Minimierung des Primärenergiebedarfes und des CO_2-Ausstoßes. Ein kontinuierliches und transparentes Energiemanagement ist die Grundlage zum Betreiben eines ganzheitlichen ressourcen-, energieeffizienten und nachhaltigen Produktionsstandortes. Dies wiederum ist bei der Greenfield-Planung mit zu berücksichtigen und zur Planungsprämisse zu ernennen.

5.2 Empfehlungen

Die vorliegende Arbeit konnte nicht alle Themengebiete in ausreichender Tiefe bearbeiten. Einige wichtige Handlungsfelder sollten, aufbauend auf dieser Arbeit, in Zukunft weiter vertieft werden.

- **Potential Technologien**
  Der Schwerpunkt dieser Arbeit lag auf der Technologie Fahrzeugmontage und Logistik. In einem Automobilwerk sind weitere Technologien wie Presswerk, Karosseriebau, Lackiererei und Komponenten (z. B. Motorenwerk, Gießerei) zusammengefasst. Jede einzelne Technologie hat bestimmte Anforderungen an die Struktur, die Gebäude und die Prozesse. Detailliertere Untersuchungen sind hier erforderlich und umfassendere Input-/Output-Analysen auf Werksebene ratsam.

- **Potential Mitarbeiterverhalten**
  In den verschiedenen Bereichen eines Unternehmens sind die Mitarbeiter eine wichtige Ressource und beeinflussen den Energie- und Ressourcenverbrauch erheblich. Die Verankerung des Nachhaltigkeits- und Energieeffizienzgedanken in einem Unternehmen hängt zum großen Teil vom Engagement und Wissen jedes einzelnen Mitarbeiters ab. Aus diesem Grund sind Konzepte und Methoden zu entwickeln, um das Energie- und Ressourcenbewusstsein bei allen Mitarbeitern, vom Top-Management bis zum einfachen Bandmitarbeiter, zu schärfen. Energieeffizienz und Nachhaltigkeit sind eine Angelegenheit für jeden.

- **Potential Energiemanagement Systeme**
  Aktuell gibt es eine Vielzahl von Energiemanagement Systemen auf dem Markt. Mit ihrer Hilfe können die verschiedenen Energie- oder Medien-Verbrauchsdaten gesammelt, verarbeitet und ausgewertet werden.

Ein Abgleich der Energie- mit den Prozessdaten einer komplexen Fahrzeugproduktion stellt in diesem Zusammenhang eine wirkliche Herausforderung dar, besonders im Bezug auf Energieanalysen im BIG DATA-Umfeld und der DATA-Science. Dies ermöglicht komplexere Auswertungen inklusive Echtzeitanalysen zum Aufzeigen von Zusammenhängen zwischen Produktionsprozessen und dem Energieverbrauch.

- **Potential Anlagentechnik**
  „Kein Energieverbrauch ohne Wertschöpfung!“ Eigene Untersuchungen bei BMW haben ergeben, dass die Anlagentechnik bis zu 59 Prozent der theoretisch möglichen Produktionszeiten nicht unmittelbar zur Produktion von Fahrzeugen genutzt wird. Einige Anlagen verbrauchen allerdings auch in der produktionsfreien Zeit bis zu 90 Prozent des Stroms. Die Hintergründe dafür liegen in den Verfügbarkeitsproblemen nach dem Aus- und Wiedereinschalten der Anlagen. Viele Anlagenkomponenten sind nicht für diese Belastung ausgelegt und verursachen Fehler oder fallen sogar ganz aus. Hier muss in Zukunft deutlich nachgebessert werden. Auch eine übergeordnete Steuerung der Anlagentechnik sollte diese kaskadiert aus- und wieder einschalten, um Leistungseinbrüche beziehungsweise –spitzen zu vermeiden[146].

Aus diesen Themengebieten können weitere wissenschaftliche Fragestellungen abgeleitet werden. Besonders der Bereich der Anlagentechnik bietet in diesem Zusammenhang erhebliches Potential zur Effizienzsteigerung durch abschaltbare Anlagen. Dies betrifft nicht nur die Fahrzeugmontagen weltweit, sondern vielmehr die Gesamtheit aller industriellen Produktionen, unabhängig von der jeweiligen Branche. Neben der Abschaltbarkeit von Produktionsanlagen und –maschinen ist die Weiterentwicklung energieeffizienter Komponenten (z. B. Antriebe) und Konzepte zur Energierückspeisung voranzutreiben.

[146] vgl.: Imgrund, Ch. (2011), S. 30.

Intelligente Produktionssysteme (**Industrie 4.0**) müssen in Zukunft auch den Aspekt der Energie- und Ressourceneffizienz berücksichtigen. Diese Verknüpfung mit den Energiedaten und die daraus resultierende Verarbeitung großer Datenmengen (**BIG DATA**) erfordert die Entwicklung neuer Prozesse und Konzepte zum Planen und Betreiben energieeffizienter Fabriken.

6 Quellenverzeichnis

6.1 Literaturverzeichnis

Aggteleky, B. (1987): Fabrikplanung – Werksentwicklung und Betriebsrationalisierung. Band 1 – Grundlagen, Zielplanung, Vorarbeiten. Carl-Hanser Verlag, (München u.a., 1987).

BMW Group 01 (2012): Interne Dokumente.

BMW Group 02 (2010): Planungsrichtlinien für BMW Bauvorhaben. München 2010.

BMW Group 03 (2009): Interne Dokumente, Abteilung TP-447.

BMW Group 04 (2010): Machbarkeitsstudie CFK Fertigung.

Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi) (2008): Klimaschutz und Energieeffizienz – Forschung, Entwicklung und Demonstration moderner Energietechnologien (Berlin, 2008).

Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung e.V. (2009): Information Tageslicht am Arbeitsplatz – leistungsfördernd und gesund – Die Handlungshilfe für die betriebliche Praxis (Berlin,2009).

Engelmann, J. (2008): Engelmann, Jörg - Methoden und Werkzeuge zur Planung und Gestaltung energieeffizienter Fabriken (Dissertation).

Gebäude- und Energietechnik (2008a): Gebäude- und Energietechnik Werk Leipzig – Energietag 2008, Leipzig 2008, BMW Laufwerk: \\Nv07001.w7\TL-DATEN_TL-4_Montage_TL-4_Montage\02_Projekte\03_Energiekreis_Montage\80_Praesentationen\10_Energietag_Werk_Leipzig\LAY_080116_Energietag_Kappa_Strom_final_Freigabe.pdf, Zugriff: 15.01.2013.

Gruden, D. (2008): Umweltschutz in der Automobilindustrie. 1. Auflage. Vieweg und Teubner, GMV Fachverlage GmbH, Wiesbaden 2008.

Grundig, C.-G. (2006): Fabrikplanung – Planungssystematik, Methoden, Anwendungen, 2. Auflage, Carl Hanser Verlag, München 2006.

Haas, H.-D., Neumair, S.-M. (2006): Internationale Wirtschaft: Rahmenbedingungen, Akteure, räumliche Prozesse. Oldenbourg Wissenschaftsverlag GmbH (München 2006).

Imgrund, Ch. (2010): Lehrveranstaltung “Unternehmenslogistik”, (TU-Chemnitz, 2010).

Imgrund, Ch. (2011): ATZproduktion – Ganzheitliche Nachhaltigkeit in der Fahrzeugmontage, 4. Jahrgang, Ausgabe 09/2011, S. 44, Wiesbaden 2011.

Imgrund, Ch. (2011): Energy2.0 – Ganzheitliche Energieeffizienz in der Fahrzeugmontage, 4. Jahrgang, Ausgabe 05/2011, S. 30, publish-industry-Verlag, München 2011.

Kettner, H.; Schmidt, J.; Greim, H.-R. (1984): Leitfaden der systematischen Fabrikplanung, Carl Hanser Verlag, Hannover 1984.

Kommission der Europäischen Gemeinschaften (2006): Aktionsplan für Energieeffizienz: Das Potenzial ausschöpfen [KOM(2006)545 endgültig], Brüssel, den 19.10.2006.

Kosturiak, J., Gregor, M. (1995): Simulation von Produktionssystemen, Springer Verlag, Berlin u.a., 1995.

Krimmling, J. (2007): Krimmling, Jörg – Energieeffiziente Gebäude: Grundwissen und Arbeitsinstrumente für den Energieberater. Stuttgart, 2007.

Kudlich, T. (2000): Optimierung von Materialflusssystemen mit Hilfe der Ablaufsimulation, Dissertation: TU-München, Lehrstuhl FML, 2000.

Levinson, A. L. (2002): Levinson A. William – Henry Ford’s Lean Vision, Productivity Press, New York 2002.

Liker, J. K. (2004): Liker, K. Jeffrey - The Toyota Way – 14 Management Principles from the World's Greatest Manufacturer, McGraw-Hill, New York 2004.

Müller, E.; Engelmann J.; Löffler T.; Strauch J. (2009): Energieeffiziente Fabriken planen und betreiben, Springer Verlag, Berlin 2009.

Oberthür, S., Ott, H. E. (1999): The Kyoto Protocol. International Climate Policy for the 21st Century. Berlin/ Heidelberg/ New York: Springer.

Ranft, F., Frohn, B. (2004): Natürliche Klimatisierung (Basel, 2004).

Schenk, M., Wirth, S. (2006): Fabrikplanung und Fabrikbetrieb – Methoden für die wandlungsfähige und vernetzte Fabrik. Springer Verlag (Berlin, 2006).

Schieferdecker, B. (2006): Schieferdecker, Bernd - Energiemanagement-Tools. Heidelberg u.a., 2006.

Schmidt, M., Hertel, G. (2008): Praxis energieeffizienter Gebäude. Berlin 2008.

Schmigalla, H, (1995): Fabrikplanung – Begriffe und Zusammenhänge. REFA-Fachbuchreihe Betriebsorganisation, Carl-Hanser Verlag (München u.a., 1995).

Voigtmann, M. (2008): Voigtmann, Matthias (Energy Consulting Allgäu) – Die Grundlagen einer gewerblichen Energieberatung, in Bayerisches Landesamt für Umwelt (Hrsg.), Fachtagung 05.06.2008, Das kann jeder, auch Sie! – Klimaschutz durch Energieeffizienz, Eigendruck 2008, S. 33-37.

Weglage, A. (2008) Gramlich, T., Pauls, B, Pauls, S., Schmelich, R., Pawliczek, I.: Energieausweis – Das große Kompendium, Wiesbaden, 2008.

Widmann, K., Maier, M., Pralle, M. (2012): selbstVerständlich Six Sigma, Akademie für Qualitätskultur, Verlag ebuli GmbH, Berlin.

Wiendahl, H.-P., Fiebig, C., Harms T. (2000): Partizipative Fabrikplanung, TCW-Transfer-Centrum für Produktionslogistik und Technologiemanagement München, TCW-Report 23, 2000.

Wiendahl, H.-P., Gerst, D., Keunecke, L. (2004): Variantenbeherrschung in der Montage. (Heidelberg, 2004).

Wöhe, G. (2000): Wöhe, Günter – Einführung in die allgemeine Betriebswirtschaftslehre, 20. Auflage, Vahlen Verlag, München 2000.

6.2 Verzeichnis der Internetquellen

Agentur für Erneuerbare Energien (2013): Erneuerbare Energien Gesetz (EEG), URL: http://www.unendlich-viel-energie.de/de/politik/erneuerbare-energien-gesetz-eeg.html, Zugriff: 13.04.2013.

Bankovich, D (2008): Bankovich, Dave – Optimizing Energy Conservation in Today's Plant's, Electronically Construction and Maintenance (EC&M) Magazine, Februray 2008, Heft 2, S. 42-46 auch online erschienen, URL: http://ecmweb.com/content/optimizing-energy-conservation-todays-plants, Zugriff 23.01.2013.

BayLfU (2004): Bayerisches Landesamt für Umweltschutz – Klima schützen – Kosten senken - Leitfaden für effiziente Energienutzung in Industrie und Gewerbe, Augsburg 2004, URL: http://www.energieverbraucher.de/files_db/dl_mg_1097257883.pdf, Zugriff: 22.01.2013.

bdew (2013): Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e.V. – Strompreisanalyse Mai 2013, Berlin 2013, URL: https://www.bdew.de/internet.nsf/id/05B6EBC2BF77350DC1257AD700582730/$file/130527_BDEW_Strompreisanalyse_Mai%202013_presse.pdf, Zugriff: 22.12.2013.

BME (2013): Bundesverband Materialwirtschaft Einkauf und Logistik e.V. Strategischer Energieeinkauf (3. Auflage), URL: http://www.bme.de/fileadmin/pdf/Fachgruppen/BME_Energieeinkauf_3.Auflage.pdf, Zugriff: 02.01.2014.

Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle, BAFA (2013): Besondere Auslgeichsregelung (EEG 2012), URL: http://www.bafa.de/bafa/de/energie/besondere_ausgleichsregelung_eeg/?fold=true#bafaBewertung, Zugriff: 13.04.2013.

Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi) (2010): Energieeinsparung (2010) URL: http://www.bmwi.de/BMWi/Navigation/Energie/energieeinsparung.html, Zugriff: 27.03.2010.

Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi) (2012): Pressemitteilung - Rösler: Spitzenausgleich bei der Ökosteuer ist ein wichtiger Schritt zur Sicherung des Industriestandorts, URL: http://www.bmwi.de/DE/Presse/pressemitteilungen,did=502178.html, Zugriff:15.04.2013.

Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi) (2012): Gesetzeskarte für das Gas- und Stromversorgungssystem, URL: http://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Meldung/Gesetzeskarte/gesetzeskarte,property=pdf,bereich=bmwi2012,sprache=de,rwb=true.pdf, Zugriff: 22.12.2013.

Bundesministerium der Finanzen (2012): Bundeskabinett beschließt Änderung des Energie- und Stromsteuergesetzes, URL: http://www.bundesfinanzministerium.de/Content/DE/Standardartikel/Themen/Steuern/2012-08-01-stromsteuer-kabinett.html, Zugriff: 13.04.2013.

Bundesumweltamt (2012): Entwicklung der Energiepreise, Berlin URL: http://www.umweltbundesamt-daten-zur-umwelt.de/umweltdaten/public/theme.do?nodeIdent=3605, Zugriff: 21.01.2013.

Bundesnetzagentur (2013): Preise und Rechnungen – Zusammensetzung Gaspreis, Berlin URL: http://www.bundesnetzagentur.de/DE/Sachgebiete/ElektrizitaetundGas/Verbraucher/PreiseundTarife/preiseundRechnungen-node.html, Zugriff: 26.12.2013.

BMU (2008): Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit – Nationaler Energieeffizienzplan: Strategie des Bundesumweltministeriums, Berlin Oktober 2008, URL: http://www.gre-online.de/bilder/File/Energieeffizienzplan%20BMU%20102008.pdf, Zugriff: 23.01.2013.

BP – British Petrol (2013): Statistical Review of World Energy 2013, URL: http://www.bp.com/en/global/corporate/about-bp/statistical-review-of-world-energy-2013.html, Zugriff: 30.10.2013.

Cornelius, W. (2007): Tageslicht kurz gefasst – Informationen für Architekten, Planer und Errichter, URL: http://www.fvlr.de/downloads/tageslichtfibel.pdf, Zugriff: 19.04.2014.

Die Bundesregierung (2014): Industrie 4.0, URL: http://www.hightech-strategie.de/de/59.php, Zugriff: 30.04.2014.

Deutsche Energie Agentur - DENA (2013): Effiziente Gebäude: Wer saniert, spart dauerhaft, URL: http://www.dena.de/presse-medien/dossiers/effiziente-gebaeude.html, Zugriff: 26.04.2013.

Deutsche Energie Agentur - DENA (2013a): Der DENA Gebäudereport 2012, URL: http://issuu.com/effizienzhaus/docs/dena-geb_udereport_2012_web/1 , Zugriff: 26.04.2013.

EMAS (2013): Eco-Management and Audit Scheme, URL: http://www.emas.de/ueber-emas/was-ist-emas/, Zugriff: 21.04.2013.

Ernst Klett Verlag (2013): TERRA GWG Geographie Wirtschaft Online. URL: http://www2.klett.de/sixcms/list.php?page=infothek_artikel&extra=TERRA GWG Geographie Wirtschaft-Online&artikel_id=108021&inhalt=klett71prod_1.c.124285.de, Zugriff: 28.11.2013.

Fa. Angelika Klaas (2013): Redaktion Trinkwasser.de, URL: http://www.trinkwasser.de/, Zugriff: 10.10.2013.

Freie Universität Berlin (2013): PG-Net, Das Lernportal zur Einführung in die Physische Geographie. URL: http://www.cms.fu-berlin.de/geo/fb/e-learning/pg-net/themenbereiche/klimageographie/einleitung/klimaelemente_klimafaktoren/index.html?TOC=klimaelemente_klimafaktoren%2Findex.html, Zugriff: 23.11.2013.

Freistaat Sachsen (2008): Aktionsplan Klima und Energie des Freistaates Sachsen, Eigendruck, 2008, URL:http://www.umwelt.sachsen.de/umwelt/download/luft/Aktionsplan_Klima_und_Energie_080603.pdf , Zugriff 21.01.2013.

Gabler Verlag (Herausgeber) (2013): Wirtschaftslexikon, Stichwort Energieintensität, URL: http://wirtschaftslexikon.gabler.de/Archiv/127659/energieintensitaet-v5.html, Zugriff: 15.04.2013.

Goebel A. (2013): Ein Gütesiegel >>Made in Germany<<, AZ/Architekturzeitung, URL: http://www.architekturzeitung.com/architektur-praxis/technik/175-ein-guetesiegel-made-in-germany.html, Zugriff: 29.04.2013.

Greenpeace (2006): Chronologie der Klimakonferenzen, 2006, URL:http://www.greenpeace.de/fileadmin/gpd/user_upload/themen/klima/Chronologie_Klimakonferenzen.pdf, Zugriff: 09.02.2013.

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) 2009: Synthesis Report, URL: http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/syr/ar4_syr.pdf, Zugriff: 08.02.2013.

LAMILUX Heinrich Strunz GmbH (2010): Ausführungsvaranten des CI-Systems Lichtkuppel F80, URL: http://www.lamilux.de/tageslichtsysteme/tageslichtelemente.html, Zugriff: 18.05.2010.

Lean Production Expert (2013): 7 Verschwendungsarten 2013, URL: http://www.lean-production-expert.de/lean-production/7-verschwendungsarten.html, Zugriff: 25.01.2013.

Lexikon der Nachhaltigkeit (2010): Erneuerbare Energien Gesetz (EEG), URL: http://www.nachhaltigkeit.info/artikel/erneuerbare_energien_gesetz_eeg_1525.htm, Zugriff: 11.04.2013.

Lexikon der Nachhaltigkeit (2012): Nationale Nachhaltigkeitsstrategie: Indikatorenbericht 2006, URL: http://www.nachhaltigkeit.info/artikel/sd_indikatorenbericht_2006_1145.htm, Zugriff: 12.06.2013.

Lexikon der Nachhaltigkeit (2013): Weltkommission für Umwelt und Entwicklung (Brundtland Bericht), URL: http://www.nachhaltigkeit.info/artikel/brundtland_report_1987_728.htm, Zugriff: 12.06.2013.

Michelsen, K. (2008): http://imperia.mi-verlag.de (2008) URL: http://imperia.mi-verlag.de/imperia/md/content/ai/ct/fachartikel/ct/2008/11/ct08_11_048.pdf, Zugriff 05.10.2009.

Münch, C. (2014): Ausrichtung der Photovoltaikanlage, URL: http://www.photovoltaik.org/ausrichtung, Zugriff: 21.04.2014.

Sächsische Energieagentur – SAENA GmbH: Energieeffizientes Bauen – ein Gebäudekompass (2009) URL: http://www.saena.de/tycon/file.php?id=5747, Zugriff: 06.04.2013.

United Nations (1987): Weltkomission für Umwelt und Entwicklung: Brundtland Bericht, 1987, URL: http://www.nachhaltigkeit.info/artikel/brundtland_report_563.htm, Zugriff: 03.02.2013.

Umweltbundesamt (2007): Wirkung der Meseberger Beschlüsse, 2007, URL: http://www.bmu.de/fileadmin/bmu-import/files/pdfs/allgemein/application/pdf/uba_hintergrund_meseberg.pdf, Zugriff: 08.02.2013.

UNESCO Weltwasserbericht (2012): Weltwasserbericht 2012: Kernaussagen, von *Lutz Möller und Farid Gardizi* , URL: http://www.unesco.de/weltwasserbericht4_kernaussagen.html, Zugriff: 10.10.2013.

US Green Building Council (2013): The U.S. Green Building Council (USGBC), URL: http://www.usgbc.org, Zugriff: 26.04.2013.

US Green Building Council (2013a): LEED Leadership in Environmental & Energy Design, URL: http://www.usgbc.org/leed, Zugriff: 26.04.2013.

Volkswagen AG (2012): Die 9 Arten der Verschwendung. Autogramm Volkswagen Ausgabe 10/2012. URL: http://autogramm.volkswagen.de/10_12/volkswagenweg/volkswagenweg_04.html, Zugriff: 14.03.2014.

WetterKontor (2013): Klimadaten, URL: http://www.wetterkontor.de/de/klima/klima2.asp?land=de&stat=10870, Zugriff: 29.11.2013.

6.3 Verzeichnis der Gesetze und Normen

Arbeitsstätten Richtlinie (ASR A3.5) (2012): Technische Regeln für Arbeitsstätten – Raumtemperatur, URL: http://www.uni-stuttgart.de/zv/sicherheitswesen/dokumente/ASR-A3-5-Raumtemperatur.pdf, Zugriff: 14.04.2014.

Bundesministerium der Justiz (1976): Energieeinsparungsgesetz (EnEG) (Berlin, 1976), URL: http://www.gesetze-im-internet.de/bundesrecht/eneg/gesamt.pdf, Zugriff: 13.04.2013.

Bundesministerium der Justiz (1999): Stromsteuergesetz (StromStG), URL: http://www.gesetze-im-internet.de/bundesrecht/stromstg/gesamt.pdf, Zugriff: 13.04.2013.

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, BMU (2013): Erneuerbare Energien Gesetz (EEG 2012), URL: http://www.erneuerbare-energien.de/fileadmin/ee-import/files/pdfs/allgemein/application/pdf/eeg_2012_bf.pdf, Zugriff: 13.04.2013.

DIN EN 1991:2002: Einwirkungen auf Tragwerke, Teil 1-7, (Berlin, 2002).

DIN EN ISO 9001:2008: Qualitätsmanagementsysteme – Anforderungen, (Berlin, 2008).

DIN EN 14001:2004: Umweltmanagementsysteme – Anforderungen mit Anleitung zur Anwendung, (Berlin, 2004).

DIN EN ISO 16001:2000: Energiemanagementsysteme – Anforderungen mit Anleitung zur Anwendung, (Berlin, 2009).

DIN EN ISO 50001:2011: Energiemanagementsysteme – Anforderungen mit Anleitung zur Anwendung, (Berlin, 2011).

EMAS III (2009): VERORDNUNG (EG) Nr. 1221/2009 DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES. (Straßburg, 2009).

EMAS (2013a): EMAS im Vergleich zur ISO 14001. URL: http://www.emas.de/fileadmin/user_upload/06_service/PDF-Dateien/Mit-EMAS-Mehrwert-schaffen_Vergleich-ISO14001_2010.pdf, Zugriff: 21.04.2013.

EMAS (2013b): Erfüllung der Anforderungen der DIN EN ISO 50001, URL: http://www.emas.de/fileadmin/user_upload/06_service/PDF-Dateien/EMAS-und-DIN-EN-ISO-50001.pdf, Zugriff: 21.04.2013.

Industriebaurichtlinie (2000): Richtlinie über den baulichen Brandschutz im Industriebau - Vorschriften-sammlung der Gewerbeaufsicht Baden-Württemberg, (Version 2/2006). URL: http://www.gaa.baden-wuerttemberg.de/servlet/is/16493/6_4.pdf, Zugriff: 14.03.2014.

Juris GmbH (2006): Gesetze im Netz – Konzessionsabgabeverordnung (KAV), URL: http://www.gesetze-im-internet.de/bundesrecht/kav/gesamt.pdf, Zugriff: 25.12.2013.

Juris GmbH (2006a): Gesetze im Netz – Energiesteuergesetz (EnergieStG), URL: http://www.gesetze-im-internet.de/bundesrecht/energiestg/gesamt.pdf, Zugriff: 26.12.2013.

Juris GmbH (2012): Gesetze im Netz – Stromsteuergesetz (StromStG), URL: http://www.gesetze-im-internet.de/bundesrecht/stromstg/gesamt.pdf, Zugriff: 25.12.2013.

Juris GmbH (2012a): Gesetze im Netz – Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG), URL: http://www.gesetze-im-internet.de/bundesrecht/eeg_2009/gesamt.pdf, Zugriff: 25.12.2013.

Juris GmbH (2012b): Gesetze im Netz – Verordnung zu abschaltbaren Lasten (AbLaV), URL: http://www.gesetze-im-internet.de/bundesrecht/ablav/gesamt.pdf, Zugriff: 26.12.2013.

Juris GmbH (2013): Gesetze im Netz – Energiewirtschaftsgesetz (EnWG), URL: http://www.gesetze-im-internet.de/bundesrecht/enwg_2005/gesamt.pdf, Zugriff: 22.12.2013.

Juris GmbH (2013a): Gesetze im Netz – Kraft-Wärme-Kopplungsgesetz (KWKG), URL: http://www.gesetze-im-internet.de/bundesrecht/kwkg_2002/gesamt.pdf, Zugriff: 25.12.2013.

Juris GmbH (2013b): Gesetze im Netz – Stromnetzentgeltverordnung (StromNEV), URL: http://www.gesetze-im-internet.de/bundesrecht/stromnev/gesamt.pdf, Zugriff: 25.12.2013.

Richtlinie 2002/91/EG vom 16.12.2002 des Europäischen Parlaments und des Rates über die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden, in der Fassung der Bekanntmachung vom 16. Dezember 2002, URL: http://eurlex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2003:001:0065:0071:DE:PDF, Zugriff: 22.01.2013.

VDI 4602: Energiemanagement – Begriffe (Berlin, 2007).

6.4 Verzeichnis der Diplom- und Masterarbeiten

Bethke, A. (2011): Entwicklung eines Abrechnungssystems von Logistikdienstleistern der Intralogistik im BMW Werk Leipzig unter Berücksichtigung einer transparenten und flexiblen Kostenrechnung. (Leipzig 2011).

Grüneisl, M. (2001): Entwicklung und Einführung eines Kennzahlensystems für die effiziente Planung und Bewertung von Montagestrukturen bei einem Automobilhersteller am Beispiel der BMW Group. (München 2001).

Imgrund, Ch. (2006): Imgrund, Christian – Masterarbeit: Die Steigerung der Planungseffizienz in einem Fahrzeugmontageprojekt – Ein Konzept zur Nutzung von Synergien zwischen Lead- und Derivatprojekten. (Altdorf, 2006).

Oelmann, S. (2009): Oelman, Sebastian – Diplomarbeit: Entwicklung eines zukunftsorienterten Konzeptes zur Gestaltung einer ressourceneffizienten Technischen Gebäudeausrüstung beispielhaft am Neubau einer Fahrzeugmontagehalle, (TU-Chemnitz 2009).

Peter, T. (2008): Peter, Thomas – Diplomarbeit: Entwicklung eines Konzeptes zur nachhaltigen Optimierung der Energieeffizienz am Beispiel der Fahrzeugmontage im BMW Werk Leipzig, (TU-Dresden 2008).

Velikanje, B. (2002): Sheddachkonstruktionen – Entwicklung, Grundlagen, Systeme, Dissertation, (Braunschweig, 2002).

6.5 Gesprächsverzeichnis

Auracher, M. (2013): BMW Einkauf Energie - Comodity Strategie Energie, Experteninterview vom 26.04.2013 in München.

(persönlich geführte Expertengespräche, Interviews und E-Mails)

Hauptkategorie	Standort Faktor	Detaillierung
Lage und größe des Grundstückes	Adresse (Land, Region, Stadt)	Land
		Region
		Stadt
	Größe und From	Größe des Grundstückes
		Form des Grundstückes
		Erweiterungsmöglichkeiten
	Höhe …	über dem Meeresspiegel
		Höhendifferenz zu Fluss/See in der Umgebung
		Höhendifferenz zur Umgebung
	Planheit des Grundstückes	Höhenunterschiede innerhalb des Grundstückes
	Besitzverhältnisse	Öffentlich, Institutionell, Privat
	Kaufpreis	Langzeitmiete (Erbpacht), Kauf
	Bewuchs / Bebauung	Wald, Sträucher, Bestandsgebäude, Strassen, Wege
Geologie / Bodenbeschaffenheit	Erdbodenbeschaffenheit	Lehm, Sand, Gestein, Kalkstein etc.
		Regenwasserdurchlässigkeit
		Bodentragfähigkeit
		Untergrund Beschaffenheit
	Einebnung nötig	Erdbewegung (m^3/m^2), Distanzen, Zeitbedarf
		Vorhandensein öffentliche Medien (Stromkabel, Wasserleitungen)
	Grundwasser	Grundwasserspiegel / Qualität
		max. zulässiges Fördervolumen
		Grundwasserfliessrichtung
	Rückstände auf dem Grundstück	Hohlräume, Schutt-Auffüllungen,
		Archeologische Funde
		Erdbodenkontamination (wenn ja welche, Entsorgungskosten)
Wirtschaftliche Anreize (Incentives)	Förderungen	Max. Betrag, Voraussetzungen
	Steuerliche Anreize	Max. Betrag, Voraussetzungen
Logistik / Transport / Verkehrsanbindung	Gleisanschluss	Entfernung zum nächstgelegenen (Güter)bahnhof
		Entfernung zum nächstgelegenen Gleishauptanschluss
	Hafen (Binnen, See)	Entfernung zum nächstgelegenen Hochsee Containerhafen
		Entfernung zum nächstgelegenen Binnenhafen
	Straßenverkehrswege	Entfernung zur nächstgelegenen Autobahn (Nummer, Bezeichnung)
		Entfernung zur nächstgelegenen Autobahn-Anschlussstelle
		Fahrtzeit (Auto) zur nächstgelegenen Autobahn-Anschlussstelle
		Anzahl Kreuzungen bis zur nächstgelegenen Autobahn-Anschlussstelle
		Geschwindigkeitsbegrenzung / LKW Durchfahrtsverbot
	Flughafen	Entfernung zum nächstgelegenen Flughafen (regional / international)
		Fahrtzeit (Auto) zum nächstgelegenen Flughafen (regional / international)
	CO2 Footpring	je Beförderungsart (Auto, Bus, Bahn, Flugzeug, LKW)
	Entfernung zu Lieferanten	Entfernung zu Top 10 Volumenlieferanten (Tier 1, Tier 2)
		Entfernung zu anderen OEM's
	Mietangebot	Lagerhallen (<20 km, 10.000m^2)
		Büroräume (<20 km, 2.000m^2)
		Logistikkosten pro m^2
	LKW Faktoren	Sonn- und Feiertagsfahrverbot
		Lenk- und Ruhezeiten
		Entfernung zu sicheren LKW Parkplätzen (Übernachtung)
	Lieferantenpark	Entfernung zum nächstgelegene Lieferantenpark (< 3 km)
	Transportkosten	Standard LKW Fracht
	Logistik Service Anbieter	Entfernung zum nächstgelegene Logistikdienstleister (< 3 km)
	Eisenbahn-Waggo- Verfügbarkeit	Kapazität geschlossener Waggons (Anzahl Waggons/Tag)
Lieferanten	Lieferantenstruktur	Tier 1 Automobil Lieferanten im Umkreis <300 km
		BMW Lieferanten im Umkreis < 300 km
		Entfernung zum Automotive Cluster
		Entfernung und Anzahl Lieferanten in "roten" Regionen (Sicherheitsrisiken, Versorgungsrisiken)
Technische Infrastruktur	Verfügbarkeit Medien	Entfernung zum nächstgelegenen Umspannwerk
		Hauptenergiequelle der Region
		Entfernung zum nächstgelegenen Erdgasverteilung
		Entfernung zur nächtsgelegenen Trinkwassereinspeisung
		Entfernung zum nächstgelegenen Telekommunikations HUB
		Entfernung zum nächstgelegenen Abwasserversorgung/Aufbereitung
		Entfernung zum nächstgelegenen Regenwasserablauf /-sammelbecken
		Entfernung zur nächstgelegenen Kläranlage
	Kostenstruktur	Stromkosten
		Erdgaskosten
		Trinkwasserkosten
		Abwasserkosten
		Kosten Erneuerbare Energien
	Risiken	Risiko Stromausfall
		Risiko Wasserausfall
		Sonstige Störungen / Unterbrechungen
		Telekommunikations Ausfälle
Rechtliche Rahmenbedingungen	Entwicklungsplan für die jeweile Wirtschaftsregion	Wirtschaftliche Zoneneinteilung der Region
		Masterplan zur Wirtschaftsentwicklung
	Zeitrahmen für den Gremiendurchlauf der Projektg	Tage (beginnend mit der Abgabe aller erforderlichen Unterlagen)
	Restriktionen / Verpflichtungen	Größe Gebäude (Höhe, Form etc.)
		Besondere Restiktionen bzgl. Verkehr, Umweltaspekte und Emmisionen
		Beschränkung für bestimmte Industrien, Prozesse und Fertigungsverfahren (z.B. Chemie, Giessereien)
		Grundstückskauf durch ausländische Investoren möglich? Nur Joint Venture?
		Sonstige Regularien bzgl. Bau und Betrieb von Gebäuden
		Ablauf Genehmigungsprozeß (Umwelt, Bau und Betrieb)
	Steuerniveau	Angaben zum Besteuerungsmodel
		Sondersteuern (relevant für Projekt)

Anhang A: Bewertungskriterien Standortanalyse

Hauptkategorie	Standort Faktor	Detaillierung
Politische Situation	Politische Stabilität	Demokratie, Monarchie, Diktatur
	Freie Meinungsäußerung	Freie Meinungsäußerung / Pressefreiheit
	Gewaltenteilung	Legislative, Judikative und Exekutive
	Korruptionsgrad und damit verbundene Risiken	CPI (Corruption Perceptions Index) 0 - 10, wobei 10 die geringste Wahrnehmung von Korruption angibt.
	Regierungsleistung	Sind die Einwohner mit der Regierungsleistung zufrieden? (Praktiken, Prozesse und Institutionen)
	NGO's oder andere sensible Gruppen	**N**on **G**ouvermental **O**rganisations (Nicht Staatliche Organisationen)
Expat bezogene Faktoren	Schulsystem	Internationale Schulen im Umkreis <20 km (Anschrift, Sprachangebot, Deutschunterricht, Kursangebot, Anerkennung)
		Lokale Schulen im Umkreis < 10 km (Anschrift, Kursangebot, Anerkennung, Deutschunterricht)
		Klassenstufen (Grundschule, Gesamtschule, Realschule, Gymnasium), Vergleichbarkeit mit deutschem oder US -System
		Kindergartenangebot < 10 km (Anschrift, Anzahl Kinder)
	Freizeitfaktoren	Vorhandensein einer internationale Gemeinschaft (Nationalitäten)
		Vorhandensein einer deutschen / westeuropaischen Gemeinschaft
		Sportmöglichkeiten im Umkreis von <30 km
		Kulturelle Einrichtungen im Umkeis von <30 km
		Freizeit Einrichtungen im Umkreis von <30 km
	Vielfalt (Diversität)	Vorhandensein Ausländischer Fachkräfte
		Vorhandensein weiblicher Fachkräfte
		Minderheiten
	Wohnungsmarkt	Entfernung zur nächsten Wohnanlage (gesichert)
		Qualität und Ausstattung der Einrichtung
		Verfügbarkeit von Appartements und Mietunterkünften
		Wohnungen, Häuser (Mietspiegel)
	Alltägliche Lebensqualität	Lebenshaltungskosten westlicher Standard
		Entfernung zum nächsten Restaurant
		Entfernung zum nächsten Supermarkt
		Arbeitserlaubnis für Familienmitglieder möglich
	Umweltsituation / Umweltverschmutzung	Allgemeine Umweltsituation (Wasserverschmutzung, Luftverschmutzung, sonstige Risiken)
Mitarbeiter bezogene Faktoren	Facharbeiter Niveau	Ausbildung, Fähigkeiten eines durchschnittlichen Industriearbeiters
		Ausbildung, Fähigkeiten eines spezialisierten Industriearbeiters (z.B. Instandhalter, Vorarbeiter)
		Bildungsniveau von Schulabsolventen und Akademikern im Vergleich zu deutschen oder US Absolventen.
	Verfügbarkeit Belegschaft vor Ort	Anzahl Absolventen von technischen Ingenieur-Studiengängen in dem jeweiligen Land / Region
		Anzahl qualifizierter Facharbeiter (Mechaniker, Elektrotechniker etc.)
		Anzahl Hilfsarbeiter
	Rekrutierungsfaktoren	Fluktuation
		Wettbewerbssituation (andere OEM's, Industrie vorhanden)
		Arbeitslosenrate in der Region
	Lohnniveau / Vergütungssystem	Durchschnitts Lohn (Akademiker, Fachkräfte, Hilfarbeiter)
		Bonus, Sozialleistung, Zuschüsse und sonstige Lohnnebenkosten
	Arbeitszeit	Arbeitszeitmodelle (Vollzeit, Teilzeit, Gleitzeit, Telearbeit etc.)
		Wochenarbeitszeit, Jahresarbeitszeit
		Schichtmodelle
		Gesetzliche Begrenzungen / Vorschriften
	Gewerkschaften	Welche Gewerksaften gibt es?
		Branchenspezifisch
		Anzahl Mitglieder
		Arbeitszeitkonten möglch (Kompensationmöglichkeit von Produktionsunterbrechungen für Umbauten)
	Bildungseinrichtungen	Entfernung zu Grundschulen und weiterführenden Schulen (Name, Entfernung, Qualitätsniveau)
		Entfernung zu Universitäten (Name, Entfernung, Qualitätsniveau)
	Verkehrsmittel	Öffentliche Verkehrsmittel vorhanden (Bus, Bahn)
		Pendelfrequenz zwischen nähester Station/Haltestelle und Stadtzentrum
Gesundheit / Medizinische Versorgung	Krankenhäuser	Umkreis <20 km, Anschrift, Qualitäts- und Hygieneniveau, Anzahl pro 100.000 Einwohner
	Universitätskliniken	Umkreis <50 km, Anschrift, Qualitäts- und Hygieneniveau, Anzahl pro 100.000 Einwohner
	Fachärzte	Umkreis <30 km, Anschrift, Qualitäts- und Hygieneniveau, Anzahl pro 100.000 Einwohner
	Niederlassungsärzte	Umkreis <20 km, Anschrift, Qualitäts- und Hygieneniveau, Anzahl pro 100.000 Einwohner
	Notärzte	Umkreis <30 km, Anschfrift, Qualitäts- und Hygieneniveau, Anzahl pro 100.000 Einwohner
	Werksarzt	Vorgaben, Ausstattung der Einrichtung, Verfügbarkeit (24/7)
Sicherheit	Morde	Anzahl pro 100.000 Einwohner der Region (Jahr)
	Raubüberfälle	Anzahl pro 100.000 Einwohner der Region (Jahr)
	Entführungen	Anzahl pro 100.000 Einwohner der Region (Jahr)
	Erpressungen	Anzahl pro 100.000 Einwohner der Region (Jahr)
	Vergewaltigungen	Anzahl pro 100.000 Einwohner der Region (Jahr)
	Sonstige Sicherheitsfaktoren	Fremdenfeindlichkeit
		Terrorismus
		Extremismus
		Drogenkriminalität
		Korruption
	Organisiertes Verbrechen	Betätigungsfelder und Entfernung in km zu Kerngebieten

Trinkwasserverfügbarkeit	Grundwasserverfügbarkeit	Grundwasser niveau (m) und Stabilität
		Fliessrichtung
		Grundwasserrechte (Beschränkung hinsichtlich Volumenentnahme, Zeitvorgaben etc.)
		Einfluß des Klimawechsels auf die Grundwasserverfügbarkeit
		Jahreszeiteneinfluß auf den Grundwasserpegel
	Regenwasserverfügbarkeit	Niederschlagsmenge/Jahr (Nutzung als Prozeß- und Sanitärwasser)
	Abwasserentsorgung	Abwasseraufbereitung (Kläranlage), Einleitung Fluss oder See
Umwelt Rahmenbedingungen	Naturschutzgebiete	Entfernung zu Naturschutz / Wasserschutzgebieten
	Entfernung zu Wohngebieten	Luftlinie (Geräuschemmsionen)
	Risikoträger (Kernkraftwerke, Raffinerien,,,)	Luftlinie
	Benachbarte Industrien	Branche, Anschrift, Anzahl Mitarbeiter
		Andere OEM's in der Region (Entfernung)
		Risiken
	Naturkatastrophen Risiko	Tornados, Hurricanes, Vulkane, Stürme, Erdbeben, Tsunamies, Fluten, Hagel
		Häufigkeit (<5 Jahre, 5-15 Jahre, >30 Jahre)
	Umweltverschmutzung in der Umgebung	Gibt es Umweltverschmutzer in der Nähe (Rauch, Smog, flüchtige Chemikalien, Staub oder andere Partikel)
	Staubbildung	Relevant für Langzeitparker (>30 Tage)
	Müllentsorgung	Wie wird der Müll entsorgt (Müllverbrennung, Deponie, Verklappung auf See)?
		Gibt es Recycling / Müllsortierung?
	Erneuerbare Energien	Wind-, Wasserkraft-, Solarthermie-, Photovoltaik-, Gezeitenkraftwerke. (Entfernung)
		Gesamtleistung (MWh), Jahresleistung (GWh)
Klima	Klimazone	Polare Zone
		Gemäßigte Zone
		Tropen Zone
	Temperaturen	Jahreshöchsttemperatur
		Jahrestiefsttemperatur
		Jahresmitteltemperatur (Durchschnittstemperatur
		Maximale Dauer der Frostperiode / Hitzeperiode
		Winterbetrieb nötig (Winterdienst, Gebäudebetrieb)
	Wind	Windstärke
		Windrichtung
		Häufigkeit
	Niederschlag	Niederschlagsmenge pro Jahr
		Verteilung Regen / Schnee
		Regen / Schnee Dauer (h/Jahr)
	Luftfeuchtigkeit	Jahresdurchschnitt und Jahresspitze
	Klimawechsel	Klimaübergang, Vorhersagbarkeit

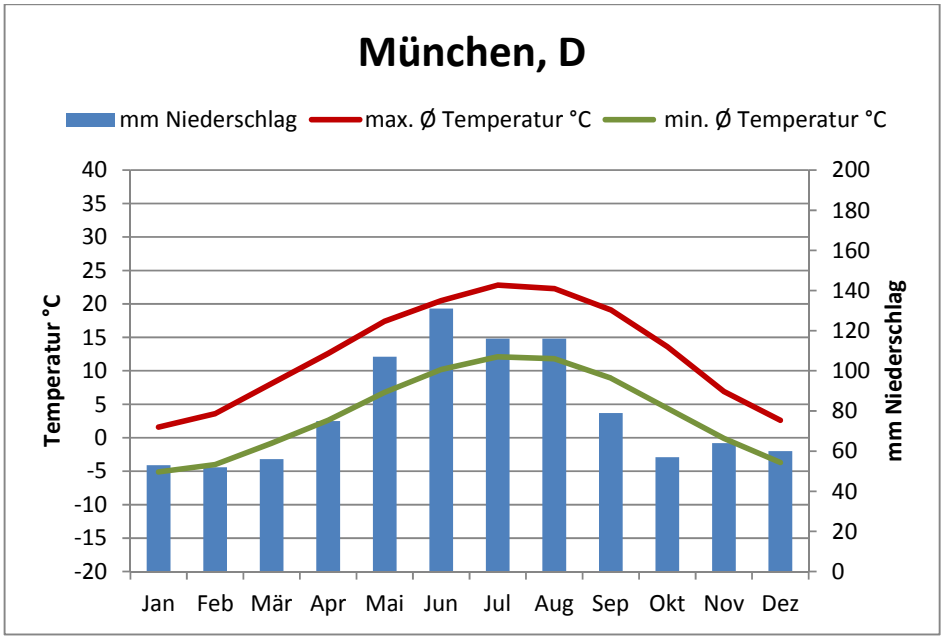
	Europa	
	Standort	Fahrzeugmodelle
BMW	**München**, Deutschland **Dingolfing**, Deutschland **Regensburg**, Deutschland **Leipzig**, Deutschland **Oxford** Großbritannien **Goodwood**, Großbritannien	3er 5er, 6er, 7er 1er, 3er, Z4 1er, X1, i3, i8 Mini Rolls-Royce
Audi	**Ingolstadt**, Deutschland **Neckarsulm**, Deutschland **Brüssel**, Belgien **Martorell**, Spanien **Bratislava**, Slowakai **Györ**, Ungarn	A4, A5, Q5 A5-, S5 Cabriolet, A6, A7, A8 A1 Q3 Q7 TT, A3 Cabriolet
Mercedes	**Bremen**, Deutschland **Kecskemét**, Ungarn **Rastatt**, Deutschland **Sindelfingen**, Deutschland **Hambach**, Frankreich	C & E-Klasse, SLK, SL, GLK B-Klasse, CLA A & B-Klasse C-, E-, S-, CL- & CLS-Klasse Smart
Toyota	**Kolin**, Tschechien **Valenciennes**, Frankreich **Carregado**, Portugal **Arifiye**, Türkei (Verso, **Burnaston**, Großbritannien **St. Petersburg**, Russland	Aygo Yaris Dyna Verso, Corolla Avensis, Auris Camry
Hyundai	**Nošovice**, Tschechei **İzmit**, Türkei **Zilina**, Slowakei	ix20, i30 Coupe + Kombi, ix35 i10, i20 ix35

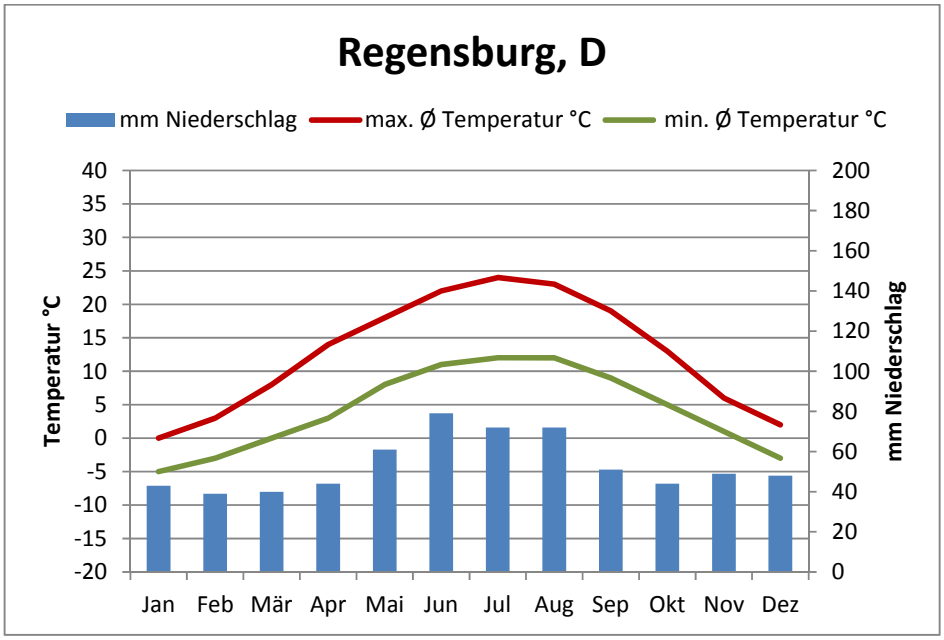
	Nordamerika	
	Standort	Fahrzeugmodelle
BMW	**Spartanburg**, USA	X3,X4, X5, X6
Audi		
Mercedes	**Tuscaloosa**, USA	M-, R- & GL-Klasse
Toyota	**Cambridge**, Kanada **Georgetown**, USA **Indiana**, USA **San Antonio**, USA **Tupelo**, USA	Corolla, Matrix, RX350, RAV4 Camry, Avalon, Venza Sequoia, Highlander, Sienna Tundra, Tacoma Corolla
Hyundai		

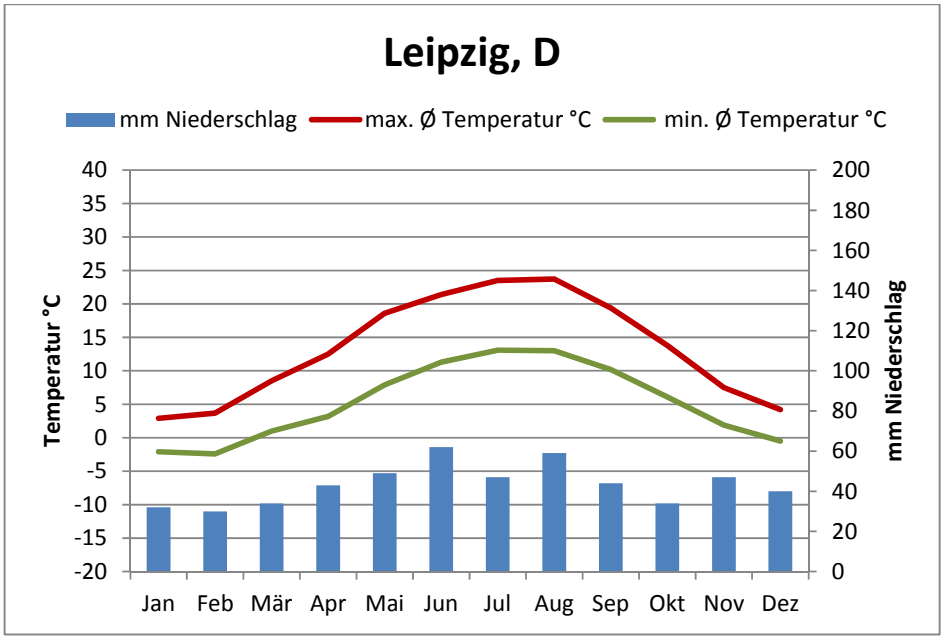
	Südamerika	
	Standort	Fahrzeugmodelle
BMW		
Audi		
Mercedes		
Toyota	**Zarate**, Argentinien **Sao Paulo**, Brazil **Baja California**, Mexico	Hilux, Fortuner Corolla Tacoma
Hyundai		

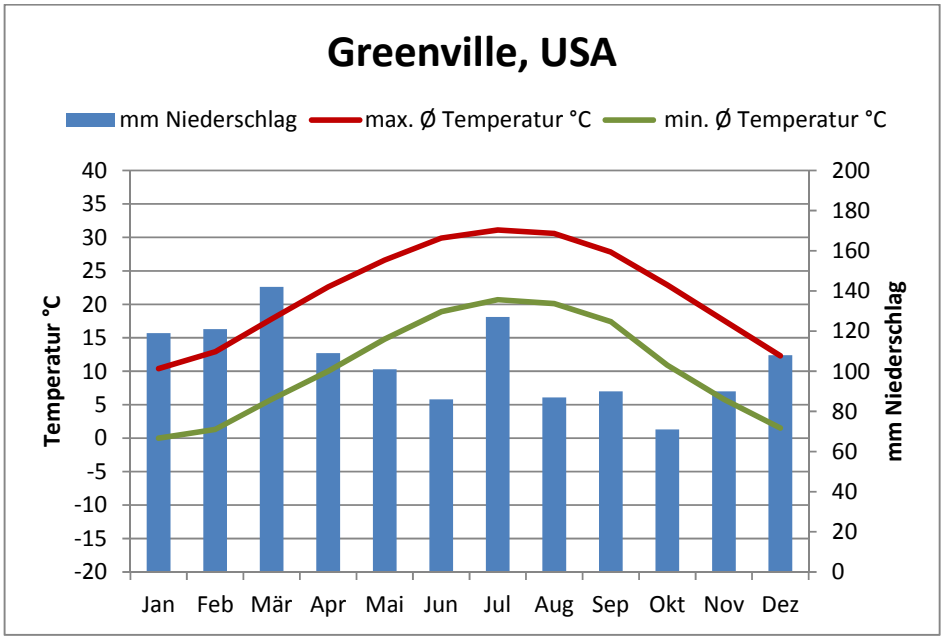
	Afrika	
	Standort	Fahrzeugmodelle
BMW	**Rosslyn**, Südafrika	3er
Audi		
Mercedes	**East Londo**n, Südafrika	C-Klasse
Toyota	**Durban**, Südafrika	Corolla, Hilux, Fortuner, Dyna
Hyundai		

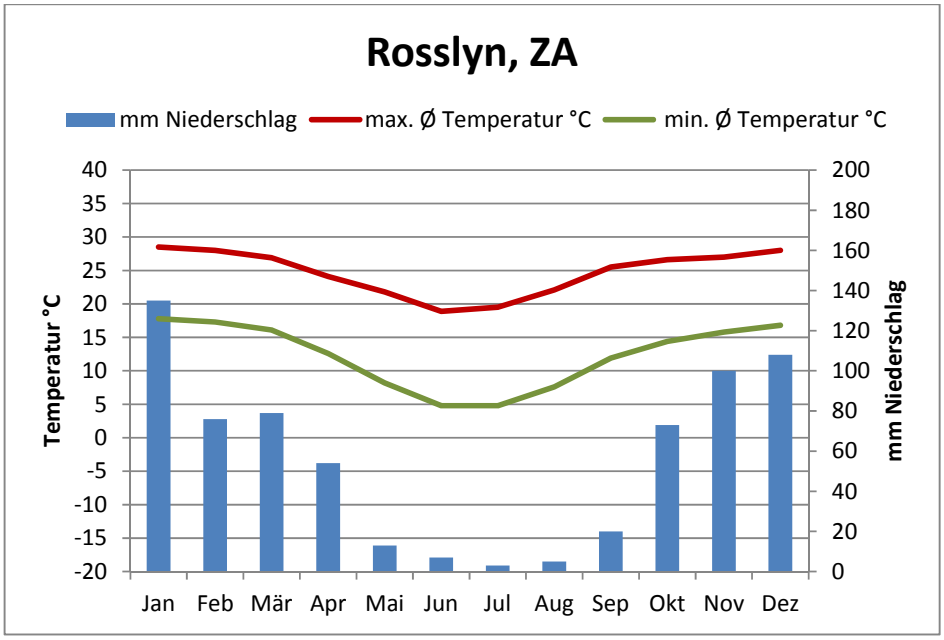
	Asien/Australien	
	Standort	Fahrzeugmodelle
BMW	**Shenyang**, China	3er, 5er, X1
Audi	**Changchun**, Chjina	A4, A6, Q5
Mercedes	**Peking**, China	C & E-Klasse, GLK
Toyota	**Tianjin**, China **Sichuan**, China **Guangzhou**, China **Taiwan,** China **Bangalore**, Indien **Chikampek**, Indonesien **Shah Alam**, Malaysia **Chachoengsao,** Thailand **Melbourne**, Australien	Vios, Corolla, Crown, Reiz, RAV4 Coaster, Land Cruiser, Prado, Prius Camry, Yaris, Highlander Camry, Corolla, WISH, Vios, Yaris, Innova Corolla, Innova, Fortuner, Etios Innova, Fortuner, Avanza, Dyna Vios, Hilux, Innova, Fortuner, Hiace Prius, Corolla, Camry, Vios, Yaris, Hilux, Fortuner Camry
Hyundai	**Ulsan**, Korea **Chennai**, Indien	i40, Veloster und Santa Fe i10, i20 3-Türer

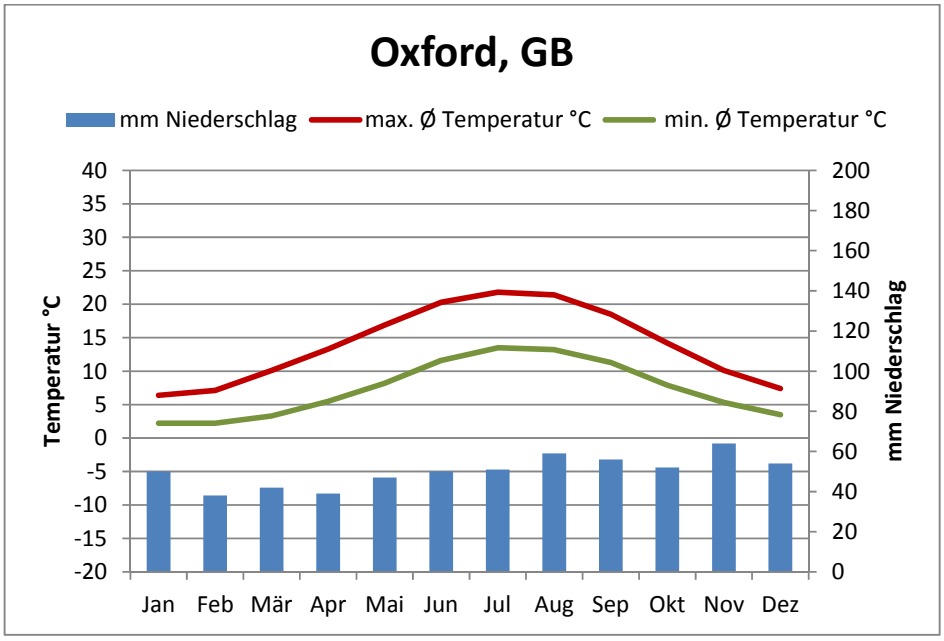

München, D
mm Niederschlag
max. Ø Temperatur °C
min. Ø Temperatur °C
Temperatur °C
mm Niederschlag
40
35
30
25
20
15
10
5
0
-5
-10
-15
-20
200
180
160
140
120
100
80
60
40
20
0
Jan
Feb
Mär
Apr
Mai
Jun
Jul
Aug
Sep
Okt
Nov
Dez

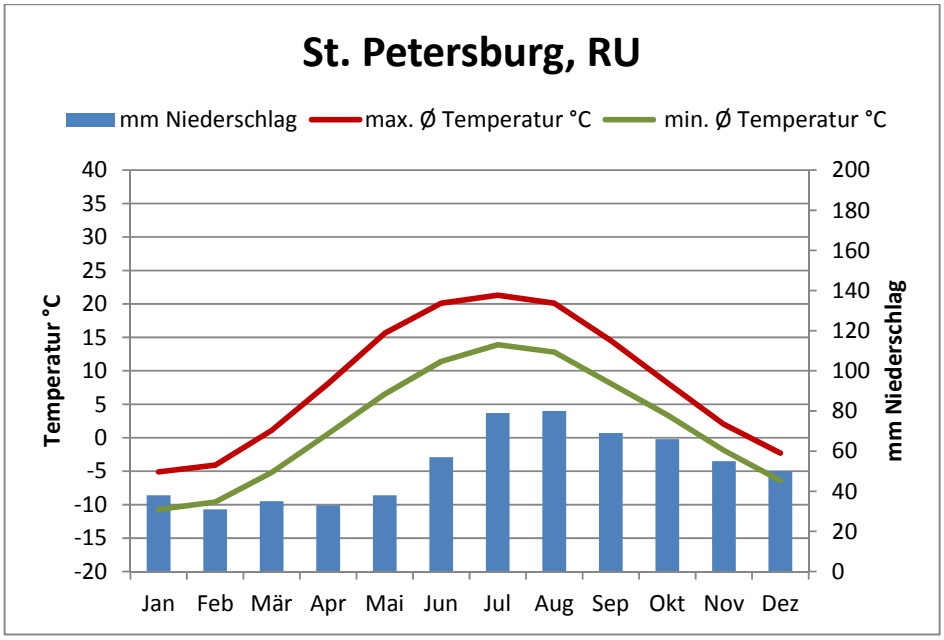

Regensburg, D
mm Niederschlag
max. Ø Temperatur °C
min. Ø Temperatur °C
Temperatur °C
mm Niederschlag
40
35
30
25
20
15
10
5
0
-5
-10
-15
-20
200
180
160
140
120
100
80
60
40
20
0
Jan
Feb
Mär
Apr
Mai
Jun
Jul
Aug
Sep
Okt
Nov
Dez

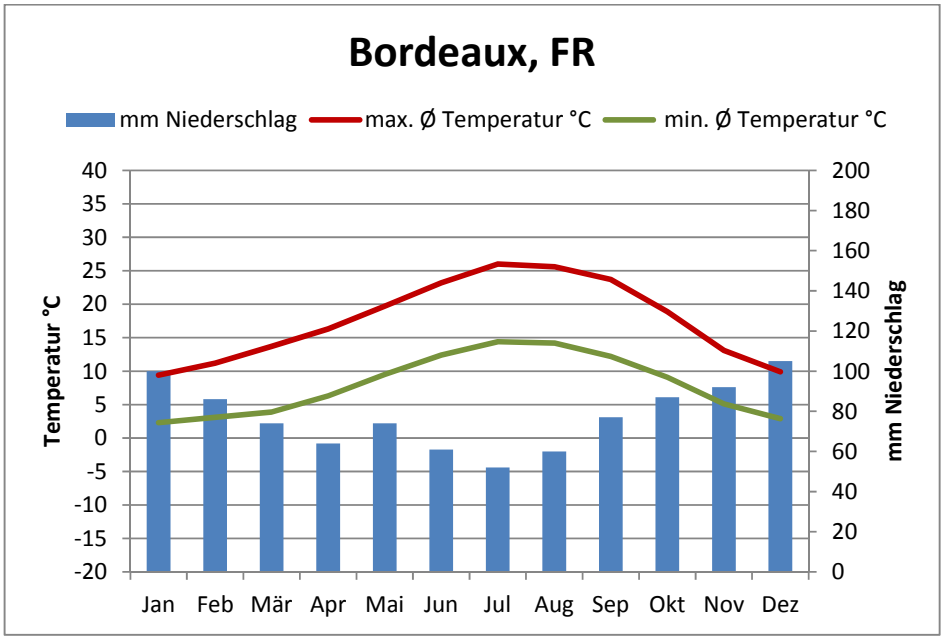

Leipzig, D
mm Niederschlag
max. Ø Temperatur °C
min. Ø Temperatur °C
Temperatur °C
mm Niederschlag
40
35
30
25
20
15
10
5
0
-5
-10
-15
-20
200
180
160
140
120
100
80
60
40
20
0
Jan Feb Mär Apr Mai Jun Jul Aug Sep Okt Nov Dez

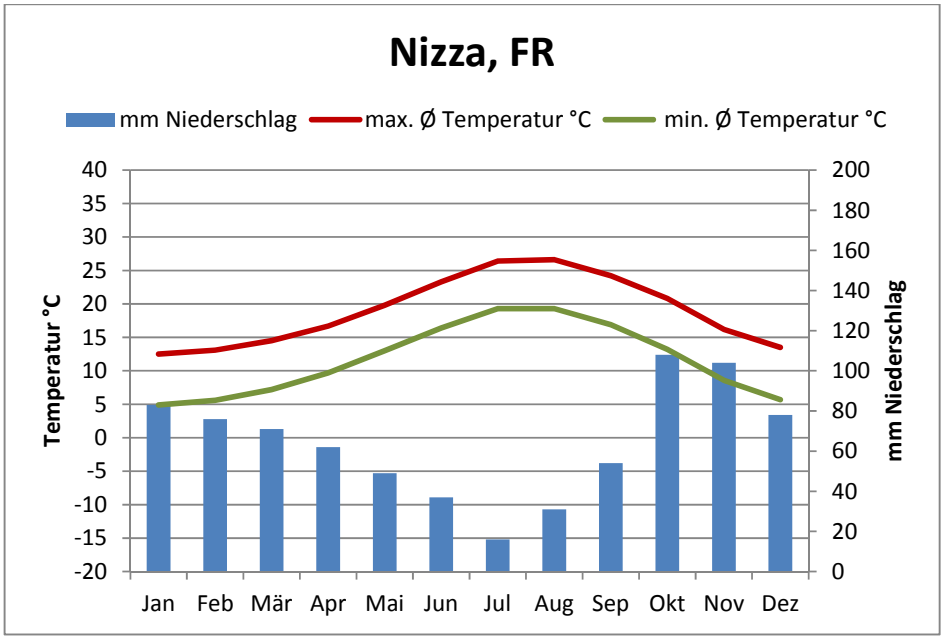

Greenville, USA
mm Niederschlag
max. Ø Temperatur °C
min. Ø Temperatur °C
Temperatur °C
mm Niederschlag
40
35
30
25
20
15
10
5
0
-5
-10
-15
-20
200
180
160
140
120
100
80
60
40
20
0
Jan Feb Mär Apr Mai Jun Jul Aug Sep Okt Nov Dez

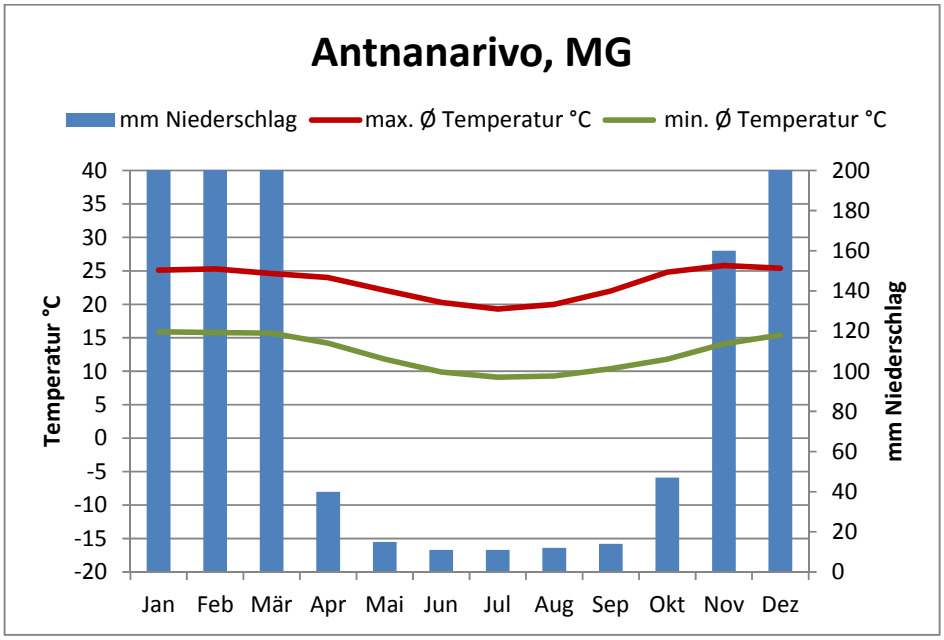

Rosslyn, ZA
mm Niederschlag
max. Ø Temperatur °C
min. Ø Temperatur °C
Temperatur °C
mm Niederschlag
40
35
30
25
20
15
10
5
0
-5
-10
-15
-20
200
180
160
140
120
100
80
60
40
20
0
Jan
Feb
Mär
Apr
Mai
Jun
Jul
Aug
Sep
Okt
Nov
Dez

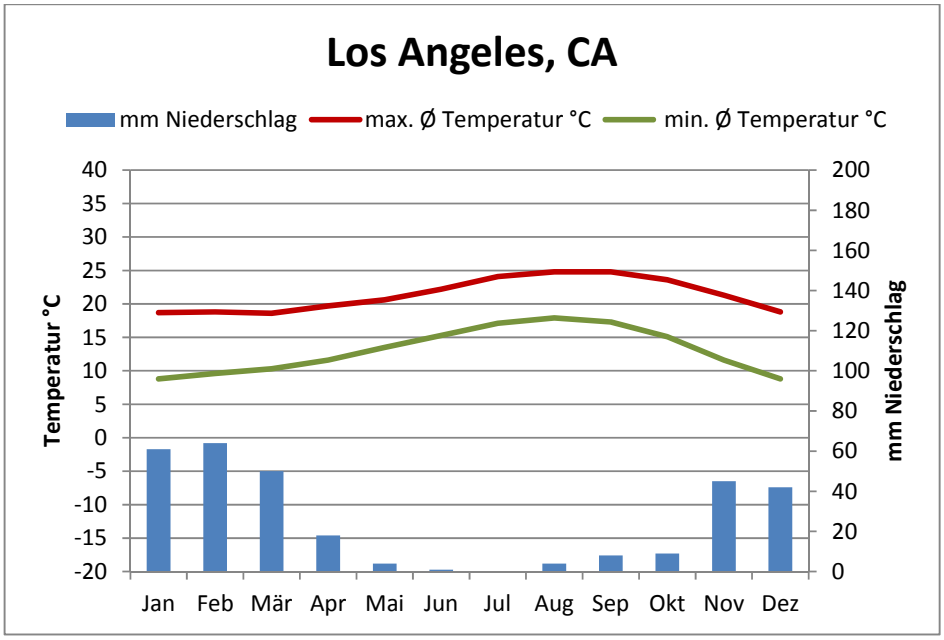

Oxford, GB
mm Niederschlag
max. Ø Temperatur °C
min. Ø Temperatur °C
Temperatur °C
mm Niederschlag
40
35
30
25
20
15
10
5
0
-5
-10
-15
-20
200
180
160
140
120
100
80
60
40
20
0
Jan
Feb
Mär
Apr
Mai
Jun
Jul
Aug
Sep
Okt
Nov
Dez

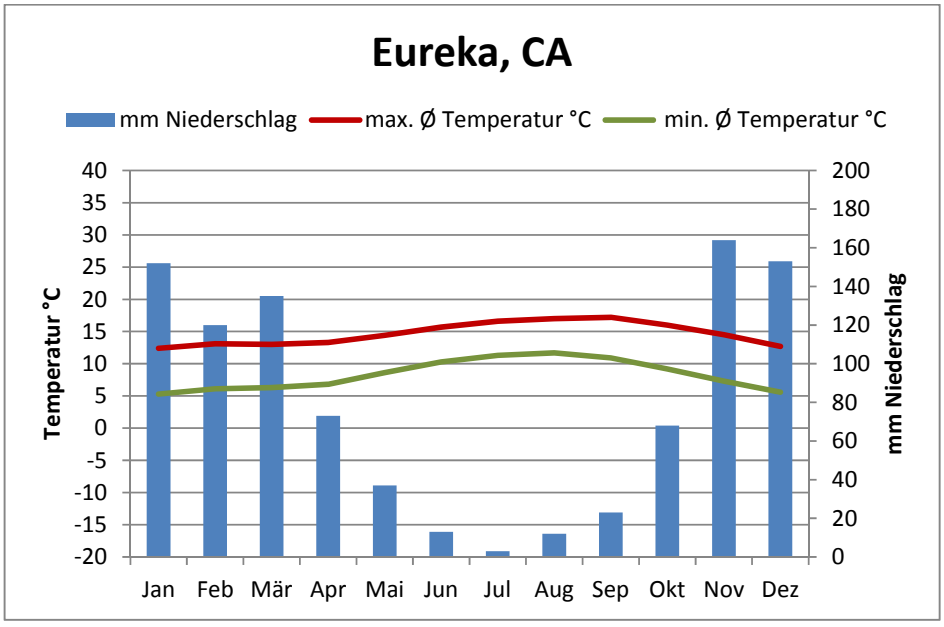

St. Petersburg, RU
mm Niederschlag
max. Ø Temperatur °C
min. Ø Temperatur °C
Temperatur °C
mm Niederschlag
40
35
30
25
20
15
10
5
0
-5
-10
-15
-20
200
180
160
140
120
100
80
60
40
20
0
Jan Feb Mär Apr Mai Jun Jul Aug Sep Okt Nov Dez


Bordeaux, FR
mm Niederschlag
max. Ø Temperatur °C
min. Ø Temperatur °C
Temperatur °C
mm Niederschlag
40
35
30
25
20
15
10
5
0
-5
-10
-15
-20
200
180
160
140
120
100
80
60
40
20
0
Jan Feb Mär Apr Mai Jun Jul Aug Sep Okt Nov Dez


Nizza, FR
mm Niederschlag
max. Ø Temperatur °C
min. Ø Temperatur °C
Temperatur °C
mm Niederschlag
40
35
30
25
20
15
10
5
0
-5
-10
-15
-20
200
180
160
140
120
100
80
60
40
20
0
Jan
Feb
Mär
Apr
Mai
Jun
Jul
Aug
Sep
Okt
Nov
Dez


Antnanarivo, MG
mm Niederschlag
max. Ø Temperatur °C
min. Ø Temperatur °C
Temperatur °C
mm Niederschlag
40
35
30
25
20
15
10
5
0
-5
-10
-15
-20
200
180
160
140
120
100
80
60
40
20
0
Jan
Feb
Mär
Apr
Mai
Jun
Jul
Aug
Sep
Okt
Nov
Dez


Los Angeles, CA
mm Niederschlag
max. Ø Temperatur °C
min. Ø Temperatur °C
Temperatur °C
mm Niederschlag
40
35
30
25
20
15
10
5
0
-5
-10
-15
-20
200
180
160
140
120
100
80
60
40
20
0
Jan Feb Mär Apr Mai Jun Jul Aug Sep Okt Nov Dez


Eureka, CA
mm Niederschlag
max. Ø Temperatur °C
min. Ø Temperatur °C
Temperatur °C
mm Niederschlag
40
35
30
25
20
15
10
5
0
-5
-10
-15
-20
200
180
160
140
120
100
80
60
40
20
0
Jan Feb Mär Apr Mai Jun Jul Aug Sep Okt Nov Dez

Eidesstattliche Erklärung

Ich erkläre gegenüber der Technischen Universität Chemnitz an Eides statt, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig und nur unter Verwendung der angegebenen Quellen und Hilfsmittel angefertigt habe. Alle Stellen, die wörtlich oder sinngemäß aus Quellen entnommen wurden, sind als solche gekennzeichnet.

Greenville/USA, 02.05.2014, Christian Imgrund