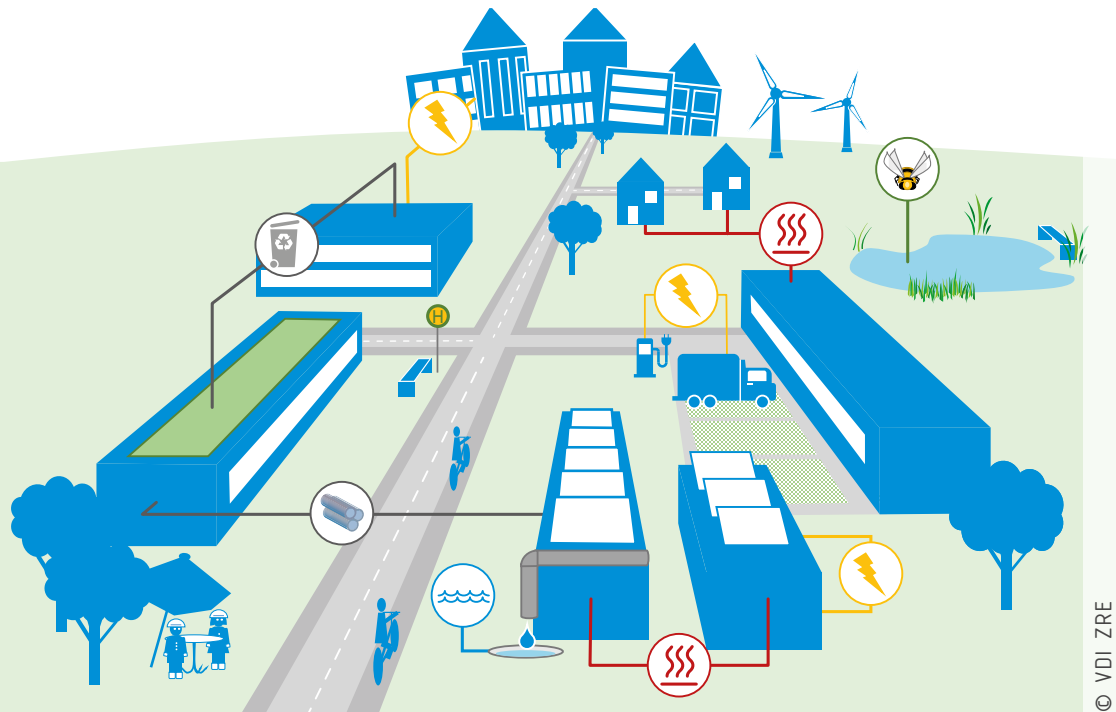


VDI ZRE Publikationen: Kurzanalyse Nr. 22

## Ressourceneffizienzpotenziale von Gewerbegebieten



## VDI ZRE Kurzanalyse Nr. 22: Ressourceneffizienzpotenziale von Gewerbegebieten

Autorin:

Franziska Pichlmeier, VDI Zentrum Ressourceneffizienz GmbH

Wir danken Prof. Dr.-Ing. Hermann-Josef Wagner, Leiter des Lehrstuhls Energiesysteme und Energiewirtschaft der Ruhr-Universität Bochum und Mitglied des Beirats der VDI-Gesellschaft Energie und Umwelt, für seine fachliche Unterstützung.

Die Kurzanalyse wurde im Rahmen der Nationalen Klimaschutzinitiative des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit erstellt.

Die Kurzanalysen des VDI ZRE geben einen Überblick über aktuelle Entwicklungen des Themas Ressourceneffizienz in Forschung und industrieller Praxis. Sie enthalten eine Zusammenstellung relevanter Forschungsergebnisse, neuer Technologien und Prozesse sowie Gute-Praxis-Beispiele. Damit verschaffen die Kurzanalysen einem breiten Publikum aus Wirtschaft, Forschung und Verwaltung einen Einstieg in ausgewählte Themenfelder der Ressourceneffizienz.

Redaktion:

VDI Zentrum Ressourceneffizienz GmbH (VDI ZRE)

Bertolt-Brecht-Platz 3

10117 Berlin

Tel. +49 30-27 59 506-0

Fax +49 30-27 59 506-30

zre-info@vdi.de

[www.ressource-deutschland.de](http://www.ressource-deutschland.de)

Titelbild: ©VDI ZRE

Druck: Bonifatius GmbH, Karl-Schurz-Straße 26, 33100 Paderborn

Gedruckt auf umweltfreundlichem Recyclingpapier.

VDI ZRE Publikationen:  
Kurzanalyse Nr. 22

Ressourceneffizienzpotenziale von  
Gewerbegebieten



# INHALTSVERZEICHNIS

ABBILDUNGSVERZEICHNIS	5
TABELLENVERZEICHNIS	5
ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS	6
1 EINLEITUNG	7
2 RESSOURCENEFFIZIENZ IM GEWERBEGEBIET	10
2.1 Ressourcen und Emissionen im Gewerbegebiet	10
2.2 Industrielle Symbiose	11
2.3 Netzwerke, Zertifizierung und Forschung	13
2.4 Ökologische Vorteile der Vernetzung	14
2.5 Ökonomische und soziale Vorteile der Vernetzung	14
3 RESSOURCENEFFIZIENZSTEIGERUNG IM UNTERNEHMEN	17
3.1 Energie	17
3.1.1 Einsparung	17
3.1.2 Energiebereitstellung und erneuerbare Energien	22
3.1.3 Energie- und Lastmanagement	24
3.1.4 Kompensation	25
3.2 Material	26
3.3 Wasser	27
3.4 Fläche	30
3.5 Industrie 4.0	32
3.6 Beispiele für „Nullemissionsunternehmen“	33
3.6.1 design.s Werkstatt (Schreinerei)	34
3.6.2 Müller Produktions GmbH	35
3.6.3 oeding print GmbH	37
4 VERNETZUNG INNERHALB DES GEWERBEGEBIETS	39
4.1 Energie	39
4.1.1 Energieanalyse im Gewerbegebiet	39
4.1.2 Austausch von Energie	40
4.1.3 Energieversorgung	41
4.2 Material	42

4.2.1	Unternehmensübergreifende Stoffstromkooperationen	42
4.2.2	Abfallentsorgungsinfrastruktur	44
4.2.3	Weitere Ressourceneffizienzpotenziale	45
4.3	Wasser	46
4.3.1	Regenwasser	46
4.3.2	Abwasser	47
4.4	Fläche	48
4.4.1	Flächennutzung	48
4.4.2	Infrastrukturflächen	49
4.5	Umsetzung und Beispiele	50
4.5.1	Umsetzung	50
4.5.2	Gewerbegebiet Kalundborg, Dänemark	51
4.5.3	„NEMo“, Gewerbegebiet Motzener Str., Berlin	54
4.5.4	Gewerbegebiet Ludwig-Erhard-Allee, Bielefeld	56
4.5.5	Verwertungsnetzwerk Pfaffengrund, Heidelberg	57
4.5.6	Betriebsübergreifende Nutzung von Prozessabwärme	58
5	VERNETZUNG MIT WOHNGBIETEN	60
5.1	Konfliktpotenziale	60
5.2	Energie	62
5.3	Fläche	63
5.4	Beispiele	64
5.4.1	Nahwärmeversorgung durch industrielle Abwärme	64
5.4.2	Industrieabwärme in Hamburg	65
5.4.3	Niedertemperaturnetz Meitingen	66
6	FAZIT	67
	LITERATURVERZEICHNIS	71

---

## ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 1: In der Kurzanalyse untersuchte Bereiche: a) Unternehmen, b) Gewerbegebiet und c) Wohngebiet	8
Abbildung 2: Lineare Produktion	12
Abbildung 3: Kreislaufführung bzw. Weiterverwendung der Nebenprodukte	12
Abbildung 4: Nutzungsmöglichkeiten von Abwärme	21
Abbildung 5: Endenergieverbrauch der Industrie nach Wärmezwecken 2015	23
Abbildung 6: Möglichkeiten zur Einsparung von Prozesswasser	29
Abbildung 7: Technisches Konzept der Holzwerkstatt (Quelle: Deppisch Architekten)	35
Abbildung 8: Industrielle Symbiose des Industrieparks Kalundborg	53
Abbildung 9: Beispielhafte vertikale Produktion eines Süßwarenherstellers (vgl. Josef Manner & Comp. AG, Standort Wien)	61
Abbildung 10: Übersicht der Chancen und Herausforderungen	67
Abbildung 11: Treiber bei der Umsetzung	69

## TABELLENVERZEICHNIS

Tabelle 1: Einfluss der Unternehmensbeziehung auf das Potenzial der Stoffstromkooperation	43
---	----

**ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS**

<b>BHKW</b>	Blockheizkraftwerk
<b>BMWi</b>	Bundesministerium für Wirtschaft und Energie
<b>CDM</b>	Clean Development Mechanism
<b>CO<sub>2</sub></b>	Kohlenstoffdioxid
<b>DGNB</b>	Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen
<b>EEEEH</b>	Energieeffizienz und Nutzung erneuerbarer Energien in Hallengebäuden
<b>EiD</b>	Eco Industrial Development
<b>EiP</b>	ECO-Industrials Parks
<b>EnEV</b>	Energieeinsparverordnung
<b>IKT</b>	Informations- und Kommunikationstechnik
<b>IT</b>	Informationstechnologie
<b>JI</b>	Joint Implementation
<b>KEA</b>	Kumulierter Energieaufwand
<b>KfW</b>	Kreditanstalt für Wiederaufbau
<b>KMU</b>	Kleine und mittlere Unternehmen
<b>KRA</b>	Kumulierter Rohstoffaufwand
<b>LED</b>	Licht emittierende Diode
<b>NAPE</b>	Nationaler Aktionsplan Energieeffizienz
<b>NISP</b>	National Industrial Symbiosis Programme
<b>ÖPNV</b>	Öffentlicher Personennahverkehr
<b>VDI</b>	Verein Deutscher Ingenieure
<b>VDI GEU</b>	VDI-Gesellschaft Energie und Umwelt
<b>VDI ZRE</b>	VDI Zentrum Ressourceneffizienz GmbH



## 1 EINLEITUNG

Ressourceneffizienz spielt in kleinen und mittleren Unternehmen eine immer bedeutendere Rolle. Der effiziente Einsatz von Energie, Material, Wasser und Fläche spart nicht nur Ressourcen, sondern auch Kosten für den Einkauf und die Entsorgung von beispielsweise Abfall, Reststoffen und Abwasser. Die Vernetzung von Unternehmen in einem Gewerbegebiet oder mit den umgebenen Wohngebieten birgt viele Möglichkeiten, Ressourcen einzusparen. Hohe Effizienzpotenziale bieten vor allem Wohngebiete als Wärmeabnehmer.

Im Gewerbegebiet zeigen sich insbesondere bei der Betrachtung der Endenergie Möglichkeiten für eine Steigerung der Ressourceneffizienz, da diese in Form von Wärme, Kälte oder Strom in fast jedem Unternehmen benötigt wird. In der Industrie und im Bereich Gewerbe, Handel, Dienstleistungen werden 44 % der gesamten Endenergie in Deutschland verbraucht.<sup>1</sup> Darüber hinaus werden weitere Ressourcen, wie Material, Wasser oder Fläche, in großen Mengen genutzt. Die geographische Nähe der Unternehmen in einem Gewerbegebiet ist ein großer Vorteil für die Umsetzung vieler überbetrieblicher Ressourceneffizienzmaßnahmen. Die Attraktivität eines Gewerbebestandsorts ist nicht nur für die Unternehmen bei der Mitarbeiterakquise von Vorteil, sondern auch für die Kommunen, die Unternehmen am Standort halten und neue hinzugewinnen wollen.

Im Laufe der Zeit hat sich auch die Umgebung von Gewerbegebieten geändert. Durch das Wachsen der Städte sind Gewerbegebiete, die bisher am Rand einer Stadt lagen, teilweise von Wohnbebauungen eingeschlossen worden. Aus dieser Nähe zwischen Gewerbe und Wohnnutzung entstehen nicht nur neue Herausforderungen für die Unternehmen, wie die Begrenzung der Gewerbefläche oder der Emissionsschutz für die umliegenden Bewohner, sondern auch Chancen. Beispielhaft kann die Nähe zu Konsumenten und potenziellen Arbeitnehmern genannt werden.

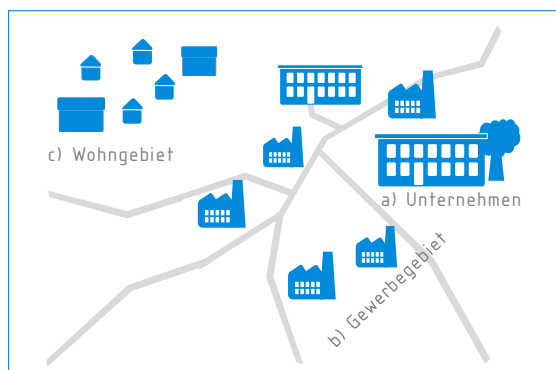
---

<sup>1</sup> Vgl. Deutsche Energie-Agentur GmbH (dena) (2014), S. 13.

Eine Möglichkeit, um das Zusammenwachsen von Gewerbe- und Wohngebieten ohne Beeinträchtigung zu ermöglichen, stellen sogenannte „Nullemissionsgewerbegebiete“ dar. Um nahezu keine Emissionen in einem Gewerbegebiet auszustoßen, ist eine gesamtheitliche Betrachtung erforderlich. Dafür sollten die Unternehmen interne, aber auch überbetriebliche Maßnahmen ergreifen. Durch Ressourceneffizienzmaßnahmen, wie geschlossene Kreisläufe der Ressourcen, Nutzen von erneuerbaren Energien und Stärkung der Biodiversität, können Emissionen eingespart und vermieden werden. Bei der überbetrieblichen Nutzung von Ressourcen ist jedoch die Absicherung der Versorgung für den Fall möglicher Ausfälle beim Lieferanten wichtig.

Die vorliegende Kurzanalyse gibt einen Überblick über die Ressourceneffizienzpotenziale in Gewerbegebieten. Zunächst werden Ressourcenströme und Emissionen, u. a. auch Lärmemissionen (siehe Kapitel 2.1) im Gewerbegebiet, betrachtet und der Begriff der „industriellen Symbiose“ näher erläutert. Im Anschluss werden die Vorteile, die sich durch eine Ressourceneffizienzsteigerung für die Unternehmen im Gewerbegebiet ergeben, genannt. In den folgenden Bereichen werden Potenziale im Hinblick auf Energie, Material, Wasser und Fläche untersucht (Abbildung 1):

- a) Im Unternehmen (Kapitel 3)
- b) Innerhalb eines Gewerbegebiets (Kapitel 4)
- c) Mit Wohngebieten (Kapitel 5)



**Abbildung 1:** In der Kurzanalyse untersuchte Bereiche: a) Unternehmen, b) Gewerbegebiet und c) Wohngebiet

Anhand von Beispielen werden Maßnahmen aus der betrieblichen Praxis vorgestellt. Möglichkeiten zur Minderung von Versorgungsrisiken werden dabei thematisiert.

## 2 RESSOURCENEFFIZIENZ IM GWERBE GEBIET

Ziel der Ressourceneffizienzsteigerung im Gewerbegebiet ist es, vor allem Ressourcen zu schonen und Emissionen zu vermeiden. Dies wird durch das Zusammenwachsen von Wohn- und Gewerbegebieten immer wichtiger.

Im Gewerbegebiet besteht die besondere Chance, die lineare Produktion in Bezug auf die Abfall- und Reststoffe der einzelnen Unternehmen aufzulösen und die Potenziale der Synergien im Gewerbegebiet (industrielle Symbiose) oder sogar mit dem Umfeld zu nutzen.

### 2.1 Ressourcen und Emissionen im Gewerbegebiet

**Natürliche Ressourcen** sind laut VDI Richtlinie 4800 Blatt 1 Energieressourcen, Rohstoffe (erneuerbare und nicht erneuerbare Primärrohstoffe), Wasser, Luft, Fläche/Boden, Ökosystemleistungen.<sup>2</sup>

Für ein Gewerbegebiet bzw. ein Unternehmen sind vor allem die Ressourcen Energie, Rohstoffe, Wasser und Fläche von Bedeutung. Rohstoffe und höher verarbeitete Stoffe werden im Folgenden unter dem Begriff Materialien zusammengefasst. Dabei werden die Potenziale der Ressourceneffizienz auf der Ebene der Unternehmen, der Gewerbe- und Wohngebiete analysiert.

Die geläufigsten **Emissionen** im Hinblick auf ein Gewerbegebiet sind Lärmemission (Luftemission), Abfälle, Abwasser und solche, die bei der Herstellung der Energie für die Produktion anfallen.

Als **Emissionen** werden Materialien und Energieströme bezeichnet, die das betrachtete System verlassen und dabei

- keinen wirtschaftlichen Erlös bringen und/oder
- keine weitere Verwendung finden.

Die thermische Verwertung, Kompostierung oder ähnliche Verwertungen zählen nicht als weitere Verwendung.<sup>3</sup>

---

<sup>2</sup> Vgl. VDI 4800 Blatt 1:2016-02.

<sup>3</sup> Vgl. von Hauff, M.; Müller-Christ, G. und Isemann, R. (2012), S. 128.

Das Ziel, keine Emissionen („**Nullemission**“) auszustoßen, gilt als erreicht, wenn Stoffkreisläufe geschlossen und/oder Emissionen so aufbereitet sind, dass sie keinen negativen Einfluss auf die ökologische, ökonomische oder soziale Umwelt mehr ausüben.<sup>4</sup>

## 2.2 Industrielle Symbiose

Die **industrielle Symbiose** bezeichnet den wirtschaftlichen Zusammenschluss benachbarter Unternehmen zum Austausch von Material, Energie, Wasser und weiteren Reststoffen (Emissionen).

Auch die gemeinsame Nutzung von Infrastrukturen, Dienstleistungen und sozialen Einrichtungen kann unter dem Oberbegriff „industrielle Symbiose“ zusammengefasst werden.<sup>5</sup>

- **Benachbarte Unternehmen:** Unternehmen, bei denen auf lokaler und regionaler Ebene ein Zusammenschluss ökologisch und ökonomisch sinnvoll möglich ist.
- **Reststoffe:** Materialien, für die im erzeugenden Unternehmen keine weitere Verwendung besteht und kein wirtschaftlicher Erlös für das Unternehmen erzielt werden kann.<sup>6</sup> Darunter fallen Nebenprodukte und Produktionsabfälle.
- **Energie:** Wärme, Kälte und Strom, die im eigenen Unternehmen nicht mehr genutzt werden können.

Bei der industriellen Symbiose soll das lineare System der Produktion aufgebrochen werden, um Potenziale einer Kooperation mit anderen Unternehmen zu nutzen. Die traditionelle Form der Produktion im linearen System bedeutet, dass jedes Unternehmen für sich einen eigenen Input an Ressourcen hat. Demgegenüber entstehen als Output sowohl Produkte, mit denen ein wirtschaftlicher Gewinn generiert wird, als auch Nebenprodukte bzw.

<sup>4</sup> Vgl. von Hauff, M.; Müller-Christ, G. und Isemann, R. (2012), S. 130.

<sup>5</sup> Vgl. Chertow, M.R. (2000), S. 314 – 317.

<sup>6</sup> Vgl. von Hauff, M.; Müller-Christ, G.; Isemann, R. (2012), S. 128.

Abfallprodukte, wie z. B. (Ab-)Wasser oder Energien (in der Regel Wärme), bei denen meist Kosten für die Entsorgung anfallen (Abbildung 2).

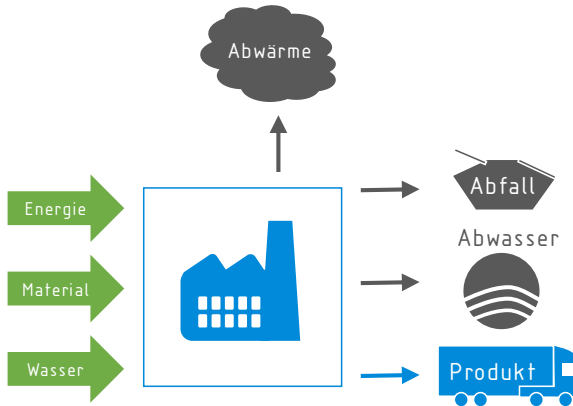


Abbildung 2: Lineare Produktion

Die Öffnung dieser Systemgrenzen ermöglicht es, die Nebenprodukte der Produktion in anderen Unternehmen als deren neue Ressourcen-Inputs zu nutzen. Es entsteht ein verzweigter Stoff-/Energiefluss und im Idealfall ein geschlossener Stoffkreislauf (Abbildung 3).<sup>7</sup>

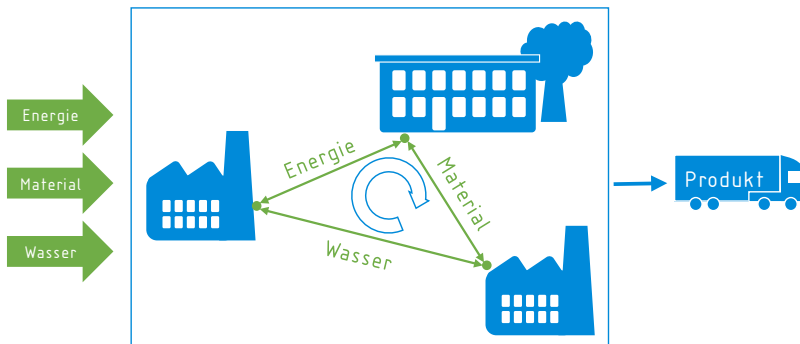


Abbildung 3: Kreislaufführung bzw. Weiterverwendung der Nebenprodukte

Der Ausdruck der industriellen Symbiose wurde von dem Gewerbegebiet Kalundborg in Dänemark geprägt, das als eines der ersten Gewerbegebiete

<sup>7</sup> Vgl. Johnson, I. et al. (2015), S. 21.

Materialien und Energie überbetrieblich weiterverwendete. Deren Konzept wird im Kapitel 4.5.2 näher erläutert.

Im Deutschen wird oft der Begriff des sogenannten Verwertungsnetzwerks für die industrielle Symbiose verwendet. Ökoindustrielle Netze und ökoindustrielle Entwicklung (Eco Industrial Development, kurz EID) sind ebenso Synonyme für die industrielle Symbiose, allerdings sind sie in Deutschland nicht sehr verbreitet.<sup>8</sup>

In anderen Konzepten ist die industrielle Symbiose lediglich ein Bestandteil, wie bei den „ECO-Industrials Parks“ (EIP), die hauptsächlich durch die Prinzipien der industriellen Symbiose ihre Effizienz steigern.<sup>9</sup>

In der vorliegenden Kurzanalyse wird zur Vereinfachung auch von Vernetzung gesprochen.

### 2.3 Netzwerke, Zertifizierung und Forschung

In vielen Ländern, z. B. in Skandinavien, Großbritannien und Deutschland (GET.Min<sup>10</sup>), sind in den letzten Jahren **Netzwerke** (Waste and Resources Action Programme, NISP<sup>11</sup>) entstanden, die den Unternehmen national und international Wissen und Hilfestellungen zur Umsetzung industrieller Symbiose bereitstellen.

Die **DGNB** (Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen) zertifiziert nachhaltige Gewerbegebiete, die ökologische, ökonomische und soziokulturelle Aspekte im besonderen Maß berücksichtigen. Dazu entstand das Nutzungsprofil Büro- und Gewerbequartiere. Die Zertifizierung beinhaltet verschiedenste Aspekte: Ökobilanz, Stadtklima, Wasserkreislaufführung, Flächeneffizienz, Wandlungsfähigkeit, Qualität des Freiraums, Emissionen, Wertstoffmanagement und Mobilitätsinfrastruktur.<sup>12</sup>

---

<sup>8</sup> Vgl. von Gleich, A.; Gößling-Reisemann, S. (2008), S. 350.

<sup>9</sup> Vgl. Indigo Development (2016).

<sup>10</sup> Weitere Informationen dazu finden Sie unter [www.getmin.de](http://www.getmin.de)

<sup>11</sup> Weitere Informationen dazu finden Sie unter [www.nisnetwork.com](http://www.nisnetwork.com)

<sup>12</sup> Vgl. DGNB GmbH (2016).

Das Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung hat 2014 das **Projekt „Nachhaltige Weiterentwicklung von Gewerbegebieten“** gestartet.<sup>13</sup> In neun Modellvorhaben werden in ganz Deutschland Konzepte, Instrumente und Verfahren entwickelt und praktisch erprobt. Ziel ist es, eine übertragbare Vorgehensweise herauszuarbeiten, um Gewerbegebiete nachhaltig weiterzuentwickeln.

Auch der **Nationale Aktionsplan Energieeffizienz (NAPE)** des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie (BMWi) soll an dieser Stelle genannt werden.<sup>14</sup> Der Aktionsplan beschäftigt sich neben der Energieeffizienz von Gebäuden auch mit der von Unternehmen und Gewerbegebieten. Themen sind u. a. Abwärmenutzung, Energieeffizienzmanager für Gewerbegebiete und energieeffiziente Abwasserbehandlung. Der Aktionsplan stellt Informationen zur Verfügung, hat Einfluss auf das Ordnungsrecht und entwickelt finanzielle Anreize.

## 2.4 Ökologische Vorteile der Vernetzung

- **Einsparung natürlicher Ressourcen:** Da die Unternehmen weniger (Primär-)Ressourcen durch die industrielle Symbiose verbrauchen, werden natürliche Ressourcen geschont. Kalundborg (siehe Kapitel 4.5.2) kann durch Maßnahmen der industriellen Symbiose jährlich unter anderem ca. 3 Mio. m<sup>3</sup> Wasser und 150.000 t Naturgips einsparen.<sup>15</sup>
- **Beitrag zum Klimaschutz:** Durch die Kaskadennutzung von Ressourcen wird sowohl Rohmaterial eingespart als auch Abfall reduziert. Dadurch konnte Kalundborg den CO<sub>2</sub>-Ausstoß um 240.000 t reduzieren.<sup>16</sup>

## 2.5 Ökonomische und soziale Vorteile der Vernetzung

- **Reduzierung der Kosten:** Durch das gegenseitige Nutzen von Nebenprodukten entstehen für alle Beteiligten wirtschaftliche Vorteile. Die Firmen

---

<sup>13</sup> Weitere Informationen dazu finden Sie unter [www.gewerbeexwest.de](http://www.gewerbeexwest.de)

<sup>14</sup> Weitere Informationen dazu finden Sie unter <https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Artikel/Energie/nape-mehr-aus-energie-machen.html>

<sup>15</sup> Vgl. Kalundborg Symbiosis (2016).

<sup>16</sup> Vgl. Deffke, U. (2009).



sparen Kosten für Rohstoffe, Energien, Entsorgung und – im Fall der gemeinsamen Nutzung – auch für Infrastruktur und Dienstleistungen ein.

- **Neuer Absatzmarkt:** Ein weiterer wirtschaftlicher Vorteil ist der neue Absatzmarkt für die eigenen Nebenprodukte. Die Unternehmen in Kalundborg haben insgesamt zwar ca. 60 Mio. US\$ für den Ausbau der neuen (Stoff-)Infrastruktur ausgegeben, der jährliche Erlös aber beläuft sich nach Schätzungen auf ca. 10 Mio. US\$.<sup>17</sup>
- **Wettbewerbsvorteile:** Durch das Einsparen von Kosten, den neuen Absatzmarkt und das verbesserte Image entstehen Wettbewerbsvorteile gegenüber konventionellen Unternehmen.
- **Verringerung der Marktabhängigkeit:** Da die Unternehmen weniger Primärressourcen benötigen, sind sie unabhängiger von den Schwankungen der Rohstoffpreise auf dem externen Markt.
- **Chancen auf Innovationen:** Durch den Umbruch von einem linearen System zu einer Kreislaufwirtschaft besteht die Chance für Innovationen, da ein Arbeitsumfeld entsteht, das noch ungeahnte Möglichkeiten in sich birgt. Eine Studie von 154 Projekten im National Industrial Symbiosis Programm (NISP) hat ergeben, dass 70 % der umgesetzten Symbiosen Innovationen beinhalten. 19 % führten zu neuen Forschungs- und Technologieentwicklungen. Diese entstanden vor allem durch den Wissensaustausch unterschiedlicher Sektoren.<sup>18</sup>
- **Netzwerk:** Das bei den Kooperationen entstehende Netzwerk ermöglicht es, andere Unternehmen besser kennenzulernen und sich auszutauschen (auch in übergeordneten Netzwerken, wie z. B. bei GET.Min).<sup>19</sup> Die Unternehmen können dabei von den Erfahrungen und der Expertise der anderen Unternehmen profitieren.
- **Verbesserung des Image:** Mit Hilfe der industriellen Symbiose kann die Nachhaltigkeit des Unternehmens und des Gewerbegebiets gesteigert

---

<sup>17</sup> Vgl. Schön, M. et al. (2003), S. 13.

<sup>18</sup> Vgl. Lombardi, R.; Laybourn, P. (2012), S. 32.

<sup>19</sup> Vgl. Lombardi, R.; Laybourn, P. (2012) S. 32.

und so die Außenwirkung als umweltfreundliche Produktionsstätte verbessert werden.

- **Anstoß von Analysen und Monitoring der Stoffströme:** Eine Grundvoraussetzung der Symbiosen ist der Austausch von Daten der Stoff- und Energieströme der einzelnen Unternehmen. Fehlen diese, werden sie durch Analysen und Messungen ermittelt. Bei den Experten des GET.Min-Projektes konnten dadurch bisher unentdeckte Defekte, die zu erhöhtem Energieverbrauch führten, behoben werden.<sup>20</sup>

---

<sup>20</sup> Vgl. Drießen, H. (2015).

### 3 RESSOURCENEFFIZIENZSTEIGERUNG IM UNTERNEHMEN

Neben der Betrachtung der Ressourceneffizienzsteigerung in der Produktion in Unternehmen sind auch die bau- und gebäudetechnischen Potenziale einzubeziehen. Die Potenziale werden nur beispielhaft aufgezeigt, da bei Bedarf die ausführlichen Studien, Kurzanalysen und Online-Werkzeuge des VDI ZRE<sup>21</sup> genutzt werden können. Zudem definiert die VDI-Richtlinie 4800 Blatt 1 produktbezogene Ressourceneffizienzstrategien und -maßnahmen.

#### 3.1 Energie

Die Industrie hat in Deutschland einen beträchtlichen Anteil an der Endenergienutzung: Sie verbrauchte im Jahr 2014 etwa 29 % des gesamten Endenergieverbrauchs in Deutschland; Gewerbe, Handel und Dienstleistungen kamen zusammen auf weitere 15 %.<sup>22</sup> Die Bundesregierung schätzt die wirtschaftlichen Einsparpotenziale bei der Umsetzung von Energieeffizienzmaßnahmen allein für Industrieunternehmen auf 10 Mrd. € pro Jahr.<sup>23</sup>

Die Maßnahmen für die Energieeinsparung werden im Folgenden in vier Bereiche unterteilt: Einsparung von Energie, Substitution von fossilen Energieträgern durch erneuerbare Energien, intelligentes Energiemanagement und Kompensationsmaßnahmen.

##### 3.1.1 Einsparung

###### Reduzierung des Energiebedarfs für die Raumtemperierung

In Deutschland verbrauchen ca. 420.000 Industrie- und Gewerbehallen 15 % der Endenergie zur Beheizung aller Gebäude.<sup>24</sup> Der Kältebedarf im Industriebereich ist deutlich höher als in Wohngebäuden und in den letzten Jahren, u. a. aufgrund höherer Wärmelasten durch IT-Equipment, weiter angestie-

---

<sup>21</sup> Die kostenlosen Informationen und Hilfsmittel finden Sie auf der Homepage des VDI ZRE ([www.ressource-deutschland.de](http://www.ressource-deutschland.de)).

<sup>22</sup> Vgl. Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (2017a).

<sup>23</sup> Vgl. Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (2017b).

<sup>24</sup> Vgl. BINE Informationsdienst (2015).

gen. Einsparpotenziale ergeben sich bereits bei der Planung einer Produktionshalle<sup>25</sup>: Die Gebäudekompaktheit, die Ausrichtung des Gebäudes, der Fensterflächenanteil, die Verschattung und die Bauweise sind unter anderem Faktoren, die den Wärme- und Kälteenergieverbrauch an dieser Stelle beeinflussen. Entscheidend sind die Dämmeigenschaften der Außenbauteile: Diese können auch bei einer energetischen Sanierung nachträglich verbessert werden, wobei Wärmebrücken vermieden werden müssen. Bei der Planung einer energieeffizienten Gebäudehülle müssen auch immer die benötigte Innenraumtemperierung und die Gebäudetechnik berücksichtigt werden. Bei der Auslegung der Temperaturen in den einzelnen Zonen sind die oft hohen internen Wärmelasten in der Produktion einzukalkulieren. Die internen Wärmelasten lassen sich durch eine Dämmung der Leitungen und Geräte reduzieren. Zu beachten ist dabei, dass eine Reduktion der internen Lasten den Kühlbedarf verringert, jedoch im Gegenzug den Heizbedarf in den Wintermonaten erhöhen kann.<sup>26</sup>

Neben den Verlusten über die Außenbauteile tragen die Lüftungswärmeverluste (durch Infiltration und Exfiltration) in vielen Gebäuden des produzierenden Gewerbes zu hohen Energieverlusten bei. Luftschleusen, Torabdichtungen und kürzere Öffnungszeiten können die Wärmeverluste verringern.<sup>27</sup>

### Lüftungsanlagen und raumlufftechnische Anlagen

Die meisten Produktionsstätten sind mit einer Lüftungsanlage und einer raumlufftechnischen Anlage ausgestattet. Die lufttechnischen Anlagen können dabei mehrere Aufgaben erfüllen:

- Abzug von belasteter Luft in Folge von Feuchtigkeits-, Schadstoff- und Wärmequellen,

---

<sup>25</sup> Bei der Planung oder Sanierung eines Gebäudes sollte der gesamte Lebenszyklus betrachtet werden. Der Ressourcenbedarf bei der Herstellung von Bauprodukten spielt dabei ebenso eine Rolle wie ein Konzept für den Gebäuderückbau (recyclinggerechte Konstruktion).

<sup>26</sup> Eine erste Hilfe für das Planen einer Fabrikhalle bietet der Leitfaden Energieeffizienz und Nutzung erneuerbarer Energien in Hallengebäuden – Neubau und Bestand (EEEEH) unter: <http://www.mark.de/wp-content/uploads/2015/11/eeeeh-leitfaden1.pdf>

<sup>27</sup> Vgl. Müller, E.; Engelmann, J.; Löffler, Th. und Strauch, J. (2009), S. 247.

- Frischluftversorgung,
- mögliche Zusatzleistungen wie Heizung und Klimatisierung.

Bei einer Optimierung der lufttechnischen Anlagen können neben der Verbesserung des Raumklimas bis zu 25 % Energie eingespart werden.<sup>28</sup> Die Kosten für die meisten Maßnahmen zur Effizienzsteigerung der Anlagen amortisieren sich nach mehreren Jahren, laut Deutscher Energieagentur (dena) sogar innerhalb von zwei Jahren.<sup>29</sup>

Beispielhafte Maßnahmen zur Effizienzsteigerung bei lufttechnischen Anlagen sind:<sup>30</sup>

- **Einsatz von Wärmerückgewinnungssystemen:** Die Außenluft wird mithilfe der Abluft aus dem beheizten Gebäude in einem Wärmetauscher vorgewärmt.
- **Trennung von Lüftung und thermischer Konditionierung:** Dadurch reduziert sich der benötigte Luftvolumenstrom.
- **Variable Volumenstromregelung:** Der erforderliche Luftvolumenstrom regelt sich nach der Luftqualität und dem Bedarf.
- **Adiabate Kühlung:** Die Zuluft wird durch Verdunstung abgekühlt und verbraucht dabei wesentlich weniger Energie im Vergleich zu einer Kompressionskältemaschine. Die Kühlleistung ist jedoch abhängig von der Außenluftfeuchte.<sup>31</sup>

## Beleuchtung

Beleuchtungsanlagen verursachen ca. 5 %, je nach Branche sogar bis zu 15 %, des industriellen Stromverbrauchs. Dabei ist eine Reduktion der Ener-

---

<sup>28</sup> Vgl. vPRESS. GmbH (2017).

<sup>29</sup> Vgl. Deutsche Energie-Agentur GmbH (dena) (2017a).

<sup>30</sup> Vgl. EnergieAgentur.NRW GmbH (2017a).

<sup>31</sup> Vgl. Kabus, M. (2009), S. 8.

giekosten um bis zu 70 % möglich. Zusätzlich ist bei modernen Leuchtmitteln mit einem geringeren Wartungsaufwand und einer längeren Lebensdauer zu rechnen. Die Einsparpotenziale sind stark von dem technischen Zustand und dem Alter der Beleuchtungsanlage abhängig.<sup>32</sup>

Beispielhafte Maßnahmen zur Effizienzsteigerung bei Beleuchtungsanlagen sind:<sup>33</sup>

- Reduktion von überdimensionierten Beleuchtungsstärken,<sup>34</sup>
- Präsenzmelder und Zeitschaltuhren,
- Tageslichtnutzung und Tageslichtsensoren,
- effiziente Leuchtmittel.

### Energieeffizienz in der Produktion

Nicht nur beim Gebäudebetrieb, sondern auch in der Produktion selbst wird Energie verbraucht. Je nach Branche ist der Energieverbrauch unterschiedlich hoch. Den höchsten Energieverbrauch haben die sogenannten „energieintensiven Industrien“. Darunter fallen z. B. die Aluminium-, Papier-, Karton-, Glas- sowie die Zementbranche. Neben den verfahrensabhängigen Prozessen gibt es noch Querschnittstechnologien, die in vielen Branchen eine Rolle spielen. Diese sind in der Produktion z. B. Informationstechnik, Wärmeversorgung für technische Prozesse, Kältetechnik, Fördertechnik und Motoren bzw. Antriebssysteme. Das Einsparpotenzial der einzelnen Querschnittstechnologien ist sehr hoch.<sup>35</sup> Druckluft birgt beispielsweise erhebliche Energieeinsparpotenziale. Durch das Beheben von Leckagen in der Leitung und Optimieren des Druckluftniveaus können bis zu 40 % des Energieverbrauchs eingespart werden.<sup>36</sup>

---

<sup>32</sup> Vgl. Deutsche Energie-Agentur GmbH (dena) (2015a), S. 16.

<sup>33</sup> Vgl. Deutsche Energie-Agentur GmbH (dena) (2015a), S. 16.

<sup>34</sup> Aber die erforderlichen Beleuchtungsstärken der Arbeitsstättenrichtlinien müssen eingehalten werden.

<sup>35</sup> Vgl. Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (2017c), S. 19.

<sup>36</sup> Vgl. EnergieAgentur.NRW GmbH (2017b).

Ein weiteres Beispiel zur Energieeinsparung ist die innerbetriebliche Nutzung von Abwärme. In erster Linie sollten Wärmeverluste vermieden werden. Um Abwärme zu vermeiden, sollten die Steuerung und das Temperaturniveau überprüft, Leitungen gedämmt und die Anlagen gewartet werden. Nicht vermeidbare Abwärme kann an anderer Stelle zur Deckung des Energiebedarfs eingesetzt werden. Dazu müssen die Wärmeflüsse (Quellen und Senken) ebenso wie die Temperaturniveaus, die Wärmemenge, das Medium und die zeitliche Verfügbarkeit/der zeitliche Bedarf identifiziert werden. Daraus ergeben sich verschiedene Nutzungsmöglichkeiten der Abwärme, wie in Abbildung 4 am Beispiel des Temperaturniveaus dargestellt ist.

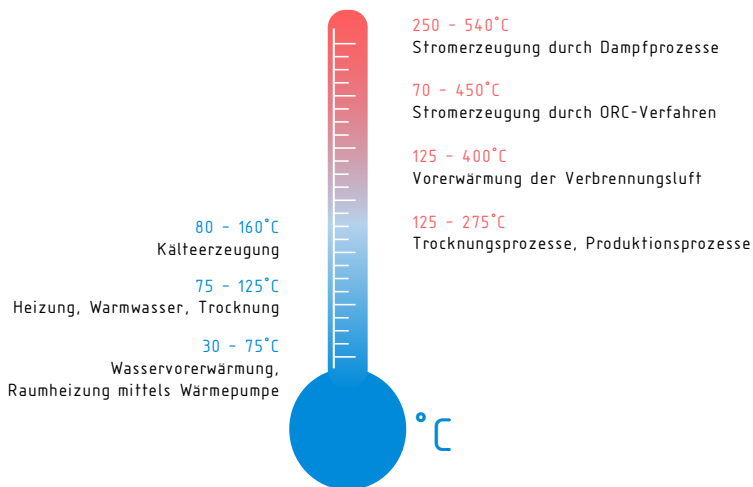


Abbildung 4: Nutzungsmöglichkeiten von Abwärme<sup>37</sup>

Die Nutzungsmöglichkeiten der Abwärme sind vielfältig: Sie kann zur Erzeugung von Prozesswärme, Raumwärme und Warmwasser, Kälte und, bei hohen Abwärmemetemperaturen und -mengen, sogar zur Stromerzeugung genutzt werden.<sup>38</sup>

<sup>37</sup> Vgl. Deutsche Energie-Agentur GmbH (dena) (2015b), S. 4 – 6.

<sup>38</sup> Vgl. Deutsche Energie-Agentur GmbH (dena) (2015b), S. 4 – 6.

Eine erste Einschätzung der vorhandenen Abwärmepotenziale bietet z. B. der Abwärmerechner der bayerischen Staatsregierung.<sup>39</sup>

### 3.1.2 Energiebereitstellung und erneuerbare Energien

Bei der Energieerzeugung kann schon mit Hilfe kleinerer Maßnahmen die Effizienz gesteigert werden, etwa durch die Installation einer bedarfsgeregelten Heizungspumpe oder durch Optimierung der Heizungsanlage.<sup>40</sup>

Ein weiterer Schritt ist die Substitution fossiler Energie durch erneuerbare Energie.

Die am häufigsten genutzten erneuerbaren Energiequellen sind:

- Solarenergie (Solarthermie und Photovoltaik),
- Windenergie,
- Geothermie und
- Biogas.

Ein besonders hohes Potenzial für den Einsatz erneuerbarer Energien bietet die Prozesswärme, die beim Wärmeenergieverbrauch in der Industrie fast 90 % ausmachen (Abbildung 5).<sup>41</sup>

---

<sup>39</sup> Vgl. Bayerisches Staatsministerium für Wirtschaft und Medien, Energie und Technologie (kein Datum).

<sup>40</sup> Vgl. McKenna, R.; Fichtner, W. (2011), S. 119 – 120.

<sup>41</sup> Vgl. Umweltbundesamt (2017).



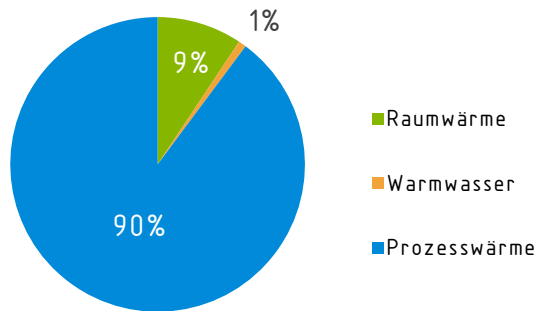


Abbildung 5: Endenergieverbrauch der Industrie nach Wärmezwecken 2015<sup>42</sup>

Je nach Branche kann dieser Wert jedoch variieren. Der Wärmeverbrauch für die Prozesswärme kann zum Teil durch Abwärme, wie oben beschrieben, gedeckt werden. Für den restlichen Bedarf kann sogenannte solare Prozesswärme eingesetzt werden. Diese bietet sich vor allem bei Temperaturen von < 100 °C an, da sie dann besonders wirtschaftlich ist. Einen großen Anteil an Prozesswärme in diesem Temperaturbereich benötigt die Lebensmittelindustrie. Oft sind die Potenziale nicht ausgeschöpft, weil die Möglichkeiten der Umsetzung und die Einsparpotenziale wenig bekannt sind. Außerdem gibt es für deren Einbindung selten Standardlösungen. Jedoch sind in den letzten Jahren diverse Leitfäden und Branchenkonzepte entstanden.<sup>43</sup> Unter anderem arbeitet die VDI-Gesellschaft Energie und Umwelt (GEU) an der Richtlinie VDI 3988 „Solarthermische Prozesswärme“, die 2018 erscheinen soll. Das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) fördert im Rahmen des Marktanzreizprogramms die verstärkte Nutzung erneuerbarer Energien, u. a. in Unternehmen.

Bei einer Berechnung der Wirtschaftlichkeit von solarer Prozesswärme fallen die geringen Wartungs- und Betriebskosten bei einer Lebensdauer von bis zu 25 Jahren positiv auf. Bei einer typischen Anlage liegt die Amortisationszeit bei ca. sieben Jahren.<sup>44</sup>

<sup>42</sup> Vgl. Umweltbundesamt (2017).

<sup>43</sup> Weitere Informationen zur solaren Prozesswärme finden Sie unter: <http://www.bine.info/publikationen/publikation/solare-prozesswaerme/>

<sup>44</sup> Vgl. Schmitt, B.; Ritter, D. und Giovannetti, F. (2017), S. 10.

### 3.1.3 Energie- und Lastmanagement

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“. <sup>45</sup>

Ziel eines **Energiemanagements** ist es, Energieverbräuche und -kosten dauerhaft zu senken. Dabei werden strategische wie auch technische Maßnahmen umgesetzt. In einem Energiemanagementsystem werden die Energieflüsse, also der Energieverbrauch und die erzeugte Energie, mithilfe verschiedener Sensoren und Messgeräte aufgezeichnet und visualisiert. In der Visualisierung besteht die Chance, die Produktions- und Energiedaten nicht nur einzeln, sondern auch parallel bzw. in Abhängigkeit zueinander zu betrachten. In der Live-Analyse der Prozesse können so Fehler behoben und Einsparpotenziale aufgedeckt werden. Durch das weiterlaufende Monitoring können die gesetzten Ziele des Energiemanagements stetig geprüft werden.

Das (betriebliche) **Lastmanagement** stellt eine zunehmend wichtige Maßnahme des Energiemanagements dar. Lasten können dabei gezielt und flexibel gesteuert werden: <sup>46</sup>

- Lastspitzen können reduziert,
- das Lastprofil kann harmonisiert und
- die Benutzungsstunden können optimiert werden.

Damit kann ein Unternehmen die individuellen Stromnetzentgelte, z. B. durch überbetriebliches Lastmanagement (Ausgleich von Schwankungen der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien im Netz), optimieren.

Das **überbetriebliche Lastmanagement** wird in Zukunft immer mehr an Bedeutung gewinnen, da es den stabilen Betrieb der Stromnetze mit erneuerbaren Energien unterstützen und dadurch Einsparungen für das Unterneh-

---

<sup>45</sup> VDI 4602 Blatt 1: 2007, S. 3.

<sup>46</sup> Vgl. WEKA MEDIA GmbH & Co. KG (kein Datum).

men bringen kann. Außerdem macht das Lastmanagement eine bessere Ausnutzung von selbst erzeugter Wärme oder Strom aus erneuerbaren Energien möglich. Vor allem Prozesse, die durch einen Zwischenspeicher zeitliche Verschiebungen auffangen können, eignen sich für die flexible Nutzung von Strom, wie beispielsweise die Bereitstellung von Druckluft und Prozesskälte, die Belüftung und Klimatisierung von Gebäuden.<sup>47</sup>

Das Lastmanagement und eine Umstellung von Industrieprozessen auf Strom können die Flexibilität des Stromverbrauchs im Unternehmen steigern. Dies ermöglicht auch eine Verzahnung zwischen einzelnen Sektoren (Strom, Wärme, Mobilität) der Energiewirtschaft (Sektorkopplung).<sup>48</sup> Die **Sektorkopplung** hilft dabei, fossile Energien durch erneuerbare zu ersetzen, indem sie durch eine Verknüpfung der Sektoren untereinander und dezentrale Speicherung die Schwankungen der erneuerbaren Energien ausgleicht.<sup>49</sup> Dadurch kann überschüssige elektrische Energie, die aus erneuerbaren Ressourcen stammt, in dezentralen Batterien gespeichert und bei einem Mangel wieder entnommen werden, etwa in Wohngebäuden, in Elektroautos oder auch in Industrieprozessen. Andere Möglichkeiten der Sektorkopplung sind u. a. „Power to Gas“<sup>50</sup>, d. h. die Umwandlung elektrischer Energie, z. B. in Wasserstoff, oder die Kraft-Wärme-Kopplung, bei der sowohl Strom als auch Wärme entstehen.

### 3.1.4 Kompensation

Sind die Maßnahmen der Effizienz, wie Substitution oder effiziente Energiebereitstellung, ausgeschöpft (d. h. technisch nicht mehr möglich oder wirtschaftlich unverhältnismäßig), ist es möglich, durch Kompensationsmaßnahmen die restlichen Emissionen auszugleichen und damit – wie es in diesem Zusammenhang oft bezeichnet wird – klimaneutral zu werden. Diese Kompensation erfolgt durch freiwillig erworbene **Emissionszertifikate**.

---

<sup>47</sup> Vgl. Deutsche Energie-Agentur GmbH (dena) (2013), S. 4.

<sup>48</sup> Vgl. Paschotta, R. (2016).

<sup>49</sup> Vgl. Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (2016).

<sup>50</sup> Weitere Informationen zu „Power-to-Gas“ sind auf der Seite [www.powertogas.info](http://www.powertogas.info) zu finden.

Ein Emissionszertifikat bestätigt die an anderer Stelle durch ein Klimaschutzprojekt eingesparten Emissionen. Der Inhaber eines solchen Zertifikats kann das Recht darauf veräußern, sodass ein anderer seine unvermeidbaren Emissionen ausgleichen kann.<sup>51</sup> Die den Zertifikaten zu Grunde liegenden Klimaschutzprojekte bestehen aus Maßnahmen zur Vermeidung von Emissionen (z. B. Bau eines Windparks) oder aus Maßnahmen zur Bindung von Kohlendioxid (z. B. Aufforstung).<sup>52</sup> Letzteres ist jedoch umstritten, da unter anderem die Dauerhaftigkeit der Projekte oft nicht garantiert werden kann.<sup>53</sup>

Um die tatsächliche und nachhaltige Vermeidung von Emissionen eines Projekts nachweisen zu können, werden strenge Anforderungen gestellt und in verschiedenen Standards festgehalten. Es gibt die Standards der Vorgaben des Kyoto-Protokolls, die nach den Anforderungen des Clean Development Mechanism (CDM) und Joint Implementation (JI) verifiziert sind. Solche Zertifikate werden "Verified Emission Reductions (VER)" genannt. Ein noch strengerer Standard ist der Gold Standard. Als Basis der Validierung gelten die gleichen Anforderungen wie beim Kyoto-Protokoll. Es werden dabei aber nur Projekte der erneuerbaren Energien und der Energieeffizienz validiert und zusätzlich höhere Anforderungen an die Nachhaltigkeit der Projekte gestellt.

Die Maßnahme der Kompensation sollte ausschließlich ergriffen werden, wenn die Möglichkeiten der Einsparung, der Effizienz und der Substitution ausgeschöpft sind. So soll vermieden werden, dass der Grundsatz der Nachhaltigkeit verletzt wird und ein "Ablasshandel" stattfindet.<sup>54</sup>

### 3.2 Material

Jedes produzierende Unternehmen benötigt Materialien, um sein Produkt herzustellen. Die Kosten für die Materialien waren 2015 mit fast 42,2 % des

---

<sup>51</sup> Vgl. Deutsche Emissionshandelsstelle (DEHSt) (2008), S. 9.

<sup>52</sup> Vgl. Deutsche Emissionshandelsstelle (DEHSt) (2008), S. 8.

<sup>53</sup> Vgl. ifeu – Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg GmbH (2010), S. 2.

<sup>54</sup> Vgl. ifeu – Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg GmbH (2010), S. 1.

Bruttoproduktionswerts im verarbeitenden Gewerbe die höchsten. Im Vergleich dazu haben die Personalkosten nur einen Anteil von knapp 18,7 %.<sup>55</sup> Deshalb sollte es Ziel sein, kaum Ausschuss zu produzieren und die Materialien so effizient wie möglich zu nutzen. Durch den effizienten Einsatz von Materialien können Kosten eingespart und dadurch die Wettbewerbsfähigkeit eines produzierenden Gewerbes gesteigert werden. Je nach Branche gibt es verschiedene Möglichkeiten, die Ressourceneffizienz zu steigern. Viele dieser Maßnahmen zur Ressourceneffizienzsteigerung lassen sich schon mit geringen Investitionskosten realisieren. Die Herausforderung bei der Identifikation, der Lösungsentwicklung und der Umsetzung der Maßnahmen liegt in der **umfassenden Analyse des Produktlebenswegs**. Dieser Lebensweg teilt sich grob in vier Phasen auf: Rohmaterialherstellung, Produktherstellung, Nutzung und Verwertung bzw. Beseitigung.<sup>56</sup> Das Verbessern der Ressourceneffizienz in einer Phase führt oft zu einer Verschlechterung in einer anderen Lebensphase. Deshalb ist eine Analyse des gesamten Produktlebenswegs für eine gesamtheitliche Verbesserung der Ressourceneffizienz nötig. Eine primärenergetische Beurteilung von Produkten entlang dem Lebensweg ermöglicht die Methode des **Kumulierten Energieaufwands (KEA)** nach VDI 4600.<sup>57</sup> Analog dazu kann die Berechnung des **Kumulierten Rohstoffaufwands (KRA)** nach VDI 4800 Blatt 2 eine Beurteilung des Rohstoff-, Wasser- und Flächenaufwands liefern.<sup>58</sup> Mit Hilfe einer **Ökobilanz** nach DIN EN ISO 14040 bzw. 14044 können umweltrelevante Wirkungen bewertet werden. Sie beinhaltet neben der Ressourceneffizienzanalyse noch weitere Wirkkategorien, wie Humantoxizität.

### 3.3 Wasser

Die Ressource Wasser spielt in allen produzierenden Unternehmen eine Rolle. So sind in Europa ca. 57 % des Wasserverbrauchs der Industrie zuzuschreiben.<sup>59</sup> Die Bedeutung von Wasser wird in Zukunft steigen, da die kli-

---

<sup>55</sup> Vgl. Statistisches Bundesamt (Destatis) (2017), S. 289.

<sup>56</sup> Vgl. VDI 4800 Blatt 1:2016-02.

<sup>57</sup> Weitere Informationen dazu finden Sie in der VDI Richtlinie 4600:2012-01.

<sup>58</sup> Weitere Informationen dazu finden Sie in der VDI Richtlinie 4800 Blatt 2:2018-03.

<sup>59</sup> Vgl. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) (2016).

matischen Veränderungen die Verfügbarkeit des Wassers schon heute beeinflussen.<sup>60</sup> Ein Benchmarking über verschiedene Industriebranchen hinweg ergab ein **Wassereinsparpotenzial** des Industrierwassers von bis zu 50 %.<sup>61</sup> Grundsätzlich ist die Betrachtung von drei Wasserarten erforderlich: Trinkwasser, Abwasser (Grauwasser, Schwarzwasser und Industrierwasser) und Regenwasser. Schwarzwasser wird jedoch an dieser Stelle wegen seines geringen Anfalls vernachlässigt.

### Trinkwasser

Trinkwasser weist die höchste Qualität unter den drei Wasserarten auf. Die Unternehmen beziehen Trinkwasser von externen Wasserwerken, die es aus dem natürlichen Wasserkreislauf entnehmen und aufbereiten. Eine Verringerung des Trinkwasserverbrauchs führt nicht nur zu einer Einsparung der Ressource Wasser, sondern auch der Energie, die zum Bereitstellen des Trinkwassers nötig ist. Möglichkeiten zur Reduzierung des Verbrauchs bestehen beispielsweise darin, Trinkwasser durch aufbereitetes Grauwasser bzw. Industrierwasser oder Regenwasser zu ersetzen, effizientere Sanitäranlagen zu installieren oder auf Trockenverfahren bzw. wassereffizientere Produktionsanlagen umzusteigen. Durch das Umsetzen der Effizienzmaßnahmen und der Substitution werden außerdem Kosten für den Bezug des Trinkwassers eingespart.

### Grauwasser

Grauwasser ist gering verschmutztes fäkalienfreies Abwasser. Es fällt vor allem in Haushalten und Büronutzungen an, etwa beim Duschen, Händewaschen oder bei Waschmaschinen. Das als Betriebswasser aufbereitete Grauwasser kann u. a. für die Toilettenspülung, zur Pflanzenbewässerung oder für die Waschmaschine ohne Komfortverlust oder hygienisches Risiko wiedergenutzt werden. Zusätzlich kann die Wärme des Abwassers zur Vorwärmung von kaltem Trinkwasser verwendet werden.

---

<sup>60</sup> Vgl. World Business Council for Sustainable Development (WBCSD) (2017), S. 2.

<sup>61</sup> Vgl. Andrews, M.; Berardo, P. und Foster, D. (2011).

## Industrieabwasser

Je nach Branche und benötigter Prozesswasserqualität ist das Industrieabwasser sehr unterschiedlich, sodass es keine standardisierten Lösungen gibt. Die ersten Maßnahmen zur Reduktion von Industrieabwasser beinhalten eine effiziente Nutzung des Wassers und eine Optimierung der Produktionsprozesse. So kann durch Umstellung auf Trockenverfahren, z. B. Trockenlackierung, geschlossene Wasserkreisläufe oder Mehrfachnutzung bzw. Kaskadennutzung, Wasser eingespart werden (Abbildung 6).

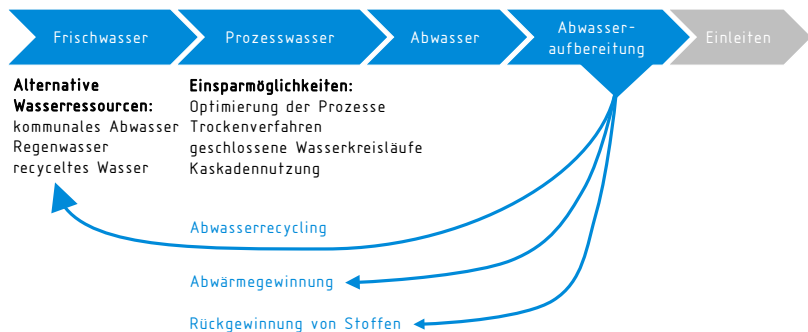


Abbildung 6: Möglichkeiten zur Einsparung von Prozesswasser

Um den Frischwasserbedarf weiter zu senken, kann das Industrieabwasser aufbereitet und damit wieder als Prozesswasser genutzt werden. Mit der Aufbereitung des Industrieabwassers besteht nicht nur die Chance, die Menge an Abwasser und damit die Kosten für die Abwasserentsorgung zu senken, sondern auch Abwärme und Stoffe aus dem Industrieabwasser zu gewinnen.

Die Abwärmenutzung von Industrieabwasser liegt nahe, da die Abwassermenge recht konstant ist und die Temperatur im Durchschnitt 60 °C ausmacht.<sup>62</sup> Voraussetzung für die Installation einer Wärmerückgewinnungsanlage ist die genaue Analyse der Randbedingungen. Bei einer erhöhten Verschmutzung des Abwassers sollten technische Vorkehrungen getroffen werden, um einen effizienten und reibungslosen Betrieb zu garantieren.<sup>63</sup>

<sup>62</sup> Vgl. Urbansky, F. (2016).

<sup>63</sup> Vgl. Stiefel, R. (2017), S. 140.

Neben der Wärmeenergie können auch Stoffe zurückgewonnen werden. Die Rückgewinnung stofflicher Ressourcen kann Primärrohstoffe und damit auch Rohstoffkosten einsparen. Jedoch ist der Ausbau der benötigten Infrastruktur und Technik mit Aufwand und Kosten verbunden. Aus dem Abwasser können unter anderem Phosphor, Ammonium und Metalle zurückgewonnen werden. Je nach Stoff ist der Aufwand, aber auch die Einsparung, unterschiedlich hoch. In einer Potenzialanalyse können im Vorfeld einer Umsetzung die Möglichkeiten und Einsparpotenziale abgeschätzt werden.

### Regenwasser

Die Verwendung des auf dem Grundstück anfallenden Regenwassers sollte nach folgender Priorisierung geschehen: verdunsten, nutzen, versickern, in den öffentlichen Kanal einleiten.<sup>64</sup> Oft haben Kommunen inzwischen Vorschriften, die das Einleiten des Regenwassers in Kanäle nur in Ausnahmefällen erlauben. Außerdem sinken die Abwassergebühren, je weniger in den Kanal abgegeben wird. Ein Gründach beispielsweise kann die Verdunstung durch Speichern des Wassers in der Begrünung erhöhen. Ferner kann das Regenwasser zur Reduktion des Frischwasserverbrauchs im Gebäude, u. a. bei der Toilettenspülung, zur Pflanzenbewässerung, als Kühlwasser oder auch als Feuerlöschwasser, genutzt werden. Das Regenwasser von versiegelten Grundstücksflächen oder der Überlauf der Regenwassernutzungsanlage können auf zwei Arten versickert werden: Entweder werden befestigte Grundstücksbereiche so gestaltet, dass sie offen genug für ein direktes Versickern des Regenwassers (Entsiegelung, z. B. Rasengittersteine) sind oder das gesammelte Wasser der versiegelten Flächen wird in eine Versickerungsanlage geleitet. Messungen an Rasengittersteinen ergaben, dass nur 1 % des Niederschlags als Oberflächenwasser abfließt, während 53 % verdunsten und 46 % versickern.<sup>65</sup>

## 3.4 Fläche

Der Flächenverbrauch ergibt sich aus den Flächen des Gebäudes, u. a. für die Produktion und die benötigten Verkehrswege für den fließenden und ru-

---

<sup>64</sup> Vgl. Steffan, C. (2010), S. 14.

<sup>65</sup> Vgl. Reichmann, B. (2011), S. 34.



henden Verkehr. Der von der öffentlichen Verwaltung herausgegebene Bebauungsplan legt einige Werte für die Flächennutzung vor. Dieser beinhaltet meist die Anordnung und Höhe der Gebäude und auch die Lage und Breite der Straßen.

Dennoch besteht eine Möglichkeit, die Flächen effizienter zu nutzen. Mit Hilfe einer **Flächenbedarfsermittlung** in der Planungsphase können Produktions- und Logistikabläufe analysiert und die vorhandenen Flächen effizient genutzt sowie die Betriebsabläufe im Unternehmen optimiert werden. Durch flexible Grundrisse und die Möglichkeit einer Erweiterung der Produktionshalle kann auch die Nutzungsdauer erhöht werden. Ein flexibles und erweiterbares Gebäude bietet die Chance auf eine spätere Umnutzung, Umstrukturierung und Erweiterung. Dies ist vor allem bei Industriegebäuden sinnvoll, da sich durch die wesentlich kürzeren Nutzungszeiten einer Fertigungsanlage die Anforderungen oft ändern.<sup>66</sup>

Ein weiteres Ressourceneffizienzpotenzial beim Thema Fläche ergibt sich hinsichtlich der meist **großen Dachflächen von Industriegebäuden**. Die Nutzung dieser Fläche ist abhängig von der Form und Ausrichtung des Dachs. Bei den meisten Dachformen ist es möglich, die Fläche zur Energiegewinnung, also für Photovoltaik oder Solarthermie, zu nutzen. Die meisten Potenziale hat hier das Flachdach. Eine Dachbegrünung speichert zum einen Regenwasser, das so zeitverzögert verdunsten kann. Zum anderen fördert die Begrünung die biologische Vielfalt. Je nach Begrünungsart und Konstruktion kann das Gründach mit einer Photovoltaik bzw. Solarthermie oder mit einem Erholungsraum für die Mitarbeiter kombiniert werden. Höhere Investitionskosten der Dachbegrünung sind ein Grund für Bedenken. Diese können aber mit den vielseitigen Vorteilen einer gelungenen Dachbegrünung beseitigt werden. Dachbegrünungen wirken klimaregulierend, schall- und schadstoffabsorbierend und verbessern damit die Aufenthaltsqualität in den Räumen. Außerdem können durch das Speichern von Regenwasser (Kapitel 3.3) in vielen Kommunen Abwassergebühren<sup>67</sup> eingespart werden.<sup>68</sup>

---

<sup>66</sup> Vgl. Assmann beraten und planen AG (2008), S. 36.

<sup>67</sup> Die Abwassergebühren sind je nach Kommune unterschiedlich geregelt.

<sup>68</sup> Vgl. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktionsicherheit (2015), S. 59.

Ein großer Faktor beim Flächenverbrauch im produzierenden Gewerbe ist die **Versiegelung der Außenflächen** durch die benötigte Infrastruktur, die durch Parkplätze und den Lieferverkehr entsteht. Allgemein kann durch eine effiziente Planung der Außenflächen die Versiegelung reduziert und die Flächen können effizient genutzt werden. Da für den ruhenden und den fließenden Verkehr verschiedene Anforderungen gelten, sollten diese getrennt betrachtet werden. Die Infrastruktur für den fließenden Verkehr kann wiederum aufgeteilt werden in den Liefer- und Personenverkehr. Die erhöhten Belastungen und Anforderungen für den Lieferverkehr lassen wenig Spielraum für viele Effizienzmaßnahmen. Im Vorfeld ist es möglich, durch eine intelligente Flächenplanung so wenig Fläche wie möglich zu versiegeln. Im Betrieb liegt das Potenzial in der Reduzierung des Lieferverkehrs, indem Aufträge oder An- und Ablieferungen zusammengelegt werden und dadurch eine effizientere Auslastung des Lieferverkehrs stattfindet. Ein weiterer positiver Effekt infolge der Reduzierung des Verkehrsaufkommens betrifft die geringere Abnutzung der Straßen.

Auch der Personenverkehr kann durch eine bessere Anbindung an den **öffentlichen Nahverkehr bzw. Radwegeverbindungen** reduziert werden.<sup>69</sup> Für den ruhenden Verkehr bereitgestellte Parkplätze oder Haltemöglichkeiten bergen ebenso wie Fußgängerwege das Potenzial, diese Flächen zu entsiegeln, also die geschlossenen Asphalt- oder Betonstraßen durch eine versickerungsfähige Oberfläche auszutauschen (z. B. Rasengittersteine und Splittfugenpflaster). Ein Vorteil der Entsigelung ist der verminderte Abfluss von Regenwasser, was zu einer Reduktion des Niederschlagwasserentgelts führt. Außerdem wird dadurch ein Beitrag zum Hochwasserschutz und zur Neubildung von Grundwasser geleistet.<sup>70</sup>

### 3.5 Industrie 4.0

„Industrie 4.0“ beschreibt die intelligente Vernetzung von Menschen, Maschinen, Produkten und Logistik sowie die virtuelle Produktentwicklung mit dem Ziel einer effizienteren und flexibleren Produktion. Maßnahmen der di-

---

<sup>69</sup> Vgl. von Hauff, M. und Wolf, V. (2009).

<sup>70</sup> Vgl. Fachvereinigung Betriebs- und Regenwassernutzung e.V. (fbr) (2009).

gitalen Transformation führen u. a. zur Steigerung der Ressourcenproduktivität, z. B. indem Stillstandzeiten reduziert werden. Die Auswirkungen der digitalen Transformation auf die Ressourceneffizienz können bislang nicht allgemeingültig quantifiziert werden. Neben den Ressourceneinsparungen durch Industrie 4.0 müssen auch die Ressourcen berücksichtigt werden, die bei der Produktion der Informations- und Kommunikationstechnik-Komponenten (IKT-Komponenten), wie der Sensorik und der Steuerung, verbraucht werden. Dazu gibt es bis dato noch keine quantitativen Untersuchungen. Da sich die Umsetzung der Industrie 4.0 bisher meist im Anfangsstadium befindet, ergibt sich die Chance, die Optimierung der Ressourcenströme von Beginn an einzubinden. In der Studie „Ressourceneffizienz durch Industrie 4.0 – Potenziale für KMU des verarbeitenden Gewerbes“ des VDI ZRE wurde der Einfluss der Industrie 4.0 auf die Ressourceneffizienz untersucht.<sup>71</sup>

Der erste Schritt zur digitalen Transformation ist die Vernetzung von Sensoren und Aktoren. Dadurch können Prozesse und Verbräuche überwacht und Betriebsdaten mit den Maschinendaten verknüpft werden, um Fehler und Auffälligkeiten besser und schneller aufdecken zu können. Mit fortgeschrittener Digitalisierung wird die Erfassung der Daten weiter ausgebaut. Die Systeme erfassen dann nicht mehr nur Daten, sondern analysieren sie auch und leiten gegebenenfalls Maßnahmen ab. Die vollständige automatisierte Regelung von Maschinen durch Datenerfassung und Analyse entspricht dann einer vollständig umgesetzten Industrie 4.0. Die umgesetzten Praxisanwendungen in den untersuchten Unternehmen der oben genannten Studie bewirkten vor allem Einspareffekte in den Bereichen Abfallmenge, Fehlerrate, Lagerraum, Material- und Stromverbrauch sowie beim Transport. Die Unternehmen der Fallstudie konnten nach eigenen Aussagen bis zu 25 % an Energie und Material einsparen.<sup>72</sup>

### 3.6 Beispiele für „Nullemissionsunternehmen“

Die folgenden Beispiele zeigen verschiedene Ressourceneffizienzmaßnahmen im Unternehmen auf. Um eine „Emissionsfreiheit“ im Gewerbegebiet

---

<sup>71</sup> Weitere Informationen zur Studie unter: [http://www.ressource-deutschland.de/fileadmin/Redaktion/Bilder/Newsroom/Studie\\_Ressourceneffizienz\\_durch\\_Industrie\\_4.0.pdf](http://www.ressource-deutschland.de/fileadmin/Redaktion/Bilder/Newsroom/Studie_Ressourceneffizienz_durch_Industrie_4.0.pdf).

<sup>72</sup> Vgl. VDI Zentrum Ressourceneffizienz GmbH (2017), S. 9.

zu erreichen, sollten die einzelnen Unternehmen vor Ort die innerbetrieblichen Potenziale zur Effizienzsteigerung umsetzen.

### 3.6.1 design.s Werkstatt (Schreinerei)

Das Unternehmen design.s wurde 1989 von Schreinermeister Richard Stanzel gegründet. Seit dem entwirft und stellt die Schreinerei individuelle Holz-möbel her. 2010 konnte die Firma in ihr neues „Nullemissionsfertigungsgebäude“ in Pulling umziehen.<sup>73</sup>

Der architektonisch hochwertige Neubau verbindet neben den gestalterischen Qualitäten auch die Ökologie und die Ökonomie (Abbildung 7). Schon bei der Planung wurde auf eine kompakte Gebäudeform, die an die benötigten Maße der Nutzungen angepasst ist, geachtet. Der große Werkstattbereich an der Nordfassade ist durch seinen offenen und stützenfreien Grundriss flexibel nutzbar. Alle weiteren geschlossenen Räume, wie Lager oder Personalräume, liegen an der Südfassade. Die Außenhülle der Werkhalle ist als Holzrahmenbau mit Kerndämmung konzipiert. Die erdberührten Bauteile sind ebenfalls durchgängig gedämmt. Die Nordfassade besteht aus recycelten und transluzenten Polycarbonatelementen, die für eine hohe Tageslichtausbeute in der Werkhalle sorgen und gute Dämmeigenschaften besitzen.<sup>74</sup> Die übrigen Fenster sind mit einer Dreifachverglasung ausgeführt. Die bauliche Verschattung (Hebefaltladen) verhindert, dass die Räume im Sommer überhitzen. Durch die vielseitigen baulichen Maßnahmen konnte sowohl der Heizwärmebedarf als auch der Stromverbrauch für die Beleuchtung gering gehalten werden.

---

<sup>73</sup> Vgl. design.s (2017).

<sup>74</sup> Vgl. Deppisch Architekten GmbH (2017).

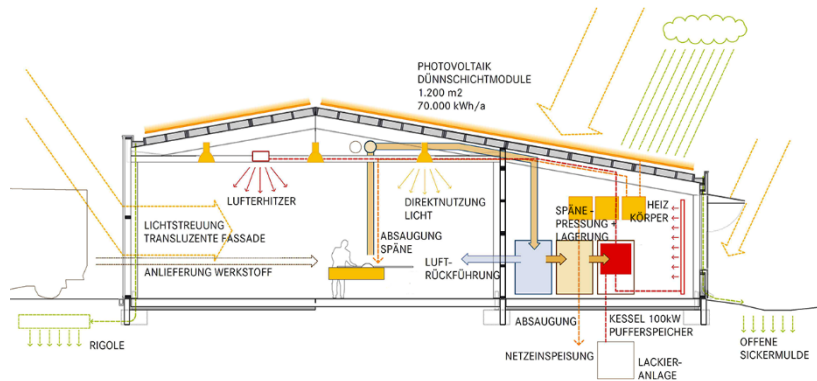


Abbildung 7: Technisches Konzept der Holzwerkstatt (Quelle: Deppisch Architekten)

Die in die Dachfläche eingelassenen Photovoltaikmodule ( $1.200 \text{ m}^2$ ) erzeugen pro Jahr  $70.000 \text{ kWh}$  Strom und können damit nicht nur den gesamten Verbrauch der Schreinerei decken, sondern zusätzlich Strom in das öffentliche Netz einspeisen. Der Heizwärmebedarf der Schreinerei wird zu 100 % aus erneuerbarer Energie gewonnen. Die gepressten Holz- und Hobelspäne der Schreinerei und Hackschnitzel dienen als Energieträger.<sup>75</sup>

Das auf dem Grundstück anfallende Regenwasser versickert über eine Rigole und eine Sickermulde, sodass der Betrieb kein Regenwasser in den Kanal leiten muss.<sup>76</sup>

Insgesamt waren die Baukosten für den Neubau der „Nullemissionswerkhalle“ nicht höher als die einer vergleichbaren Produktionshalle.<sup>77</sup>

### 3.6.2 Müller Produktions GmbH

Die Alois Müller Produktions GmbH produziert im Allgäu seit über 40 Jahren Komponenten für die Bereiche Energie-, Gebäudetechnik und Anlagenbau. Durch ein innovatives Gebäudetechniksystem konnte das Unterneh-

<sup>75</sup> Vgl. Bund Deutscher Architekten BDA Münster-Münsterland (2017).

<sup>76</sup> Vgl. Bund Deutscher Architekten BDA Landesverband Bayern (2017).

<sup>77</sup> Vgl. Bund Deutscher Architekten BDA Münster-Münsterland (2017).

men eine Produktions- und Ausbildungshalle erbauen, die nahezu ihren gesamten Energiebedarf für das Gebäude und die Produktion durch regenerative Energien vor Ort deckt. Das Unternehmen setzt dabei ganz auf Sonnenenergie und Umweltwärme. Eine 2.800 m<sup>2</sup> große Photovoltaikanlage mit einer Leistung von 350 MWh bildet das Herzstück zur Versorgung der Produktionshalle.<sup>78</sup>

Der Solarstrom wird zum Heizen, Kühlen und Beleuchten des Gebäudes genutzt. Um die Wärmeverluste kleinzuhalten, besteht die Außenhülle aus Sandwichplatten mit integrierter Dämmung. Die zwei mit Strom angetriebenen Wärmepumpen arbeiten mit dem Wasser der beiden Saugbrunnen und geben die Wärme an zwei Pufferspeicher weiter. In diese wird nicht nur die Wärme der Wärmepumpen eingeleitet, sondern auch die Abwärme der Maschinenkühlung und der Kompressoren. Vom Pufferspeicher aus wird die Wärme in der Produktionshalle über eine Fußbodenheizung und bei den Büroräumen über eine Deckenheizung übergeben. Die überschüssige Wärme wird in einen innovativen Betonkernspeicher eingespeist. Der Energiespeicher ist eine 600 m<sup>2</sup> große und 0,5 m dicke Betonfläche, die durch eine Betonkernaktivierung die Wärmeenergie speichert.<sup>79</sup> Gekühlt werden das Gebäude und die Maschinen über das Grundwasser aus den Saugbrunnen. Auch bei der Beleuchtung ist der Stromverbrauch durch eine energieeffiziente tageslichtgesteuerte Beleuchtung gering gehalten worden.

In der Produktion wird der Strombedarf ebenfalls von der Photovoltaikanlage gedeckt und konnte durch effizientere Maschinen und den Umstieg von Kühlmaschinen auf natürliche Kühlung wesentlich reduziert werden. Außerdem finden energieintensive Prozesse, wie die Stickstoffherzeugung, Wasserentsalzung und Druckluftherstellung, statt, wenn ein Überschuss an Strom vorhanden ist. So kann der Stromüberschuss genutzt werden, um die jeweiligen Vorräte wieder zu befüllen.

Außerdem werden mit dem Solarstrom die Elektromaschinen, z. B. die Gabelstapler, Baumaschinen, Hebebühnen und die Elektroautos, versorgt. Ein eventueller Stromüberschuss wird in das öffentliche Netz eingespeist. Das System funktioniert durch ein integriertes Energiemanagementsystem, an

---

<sup>78</sup> Vgl. Bundesverband Wärmepumpe (BWP) e.V. (2017).

<sup>79</sup> Vgl. LEW Innovationspreis (2015).

das fast 100 Messsensoren und die Steuerungstechnik angeschlossen sind. Über sogenannte Dashboards werden die Energieflüsse angezeigt und dienen zur Kontrolle. Durch die Vernetzung aller Prozesse können die Energieflüsse und die Lasten genau geregelt werden. Das Unternehmen spart mit diesem ganzheitlichen Energiekonzept 770.000 kWh Strom und 350 t CO<sub>2</sub> im Jahr ein.<sup>80</sup>

### 3.6.3 oeding print GmbH

Die Firma oeding print GmbH wurde 1797 gegründet und hat sich auf hochwertige Industrie- und Werbedrucksachen spezialisiert. 2014 nahm das Unternehmen die erste „Nullemissionsdruckerei“ („Nullemissionsgebäude“) in Betrieb.

Auf dem Weg zur „Nullemission“ setzte das Unternehmen auf Energieeffizienz, Energie-Recycling (Abwärmenutzung) und Energieerzeugung. Die Gebäudehülle der neuen Druckerei wurde hochisoliert, sodass der Dämmwert 50 % unter den Anforderungen der damals gültigen Energieeinsparverordnung (EnEV 2009) liegt.<sup>81</sup> Die Warenanlieferung erfolgt durch thermische Schleusen, um den Wärmeverlust über den Luftaustausch zu reduzieren. Durch präsenz- und tageslichtgesteuerte LED-Beleuchtung konnte auch beim Stromverbrauch des Gebäudes eine hohe Einsparung erreicht werden.

Der Strombedarf des Gebäudes wird über eine Photovoltaikanlage und ein eigenes Blockheizkraftwerk mit Kraft-Wärme-Kälte-Kopplung gedeckt. Stromüberschüsse werden in der Produktion genutzt oder in das öffentliche Netz eingespeist. Der Strombedarf der Produktion kann damit zu 30 % aus selbst erzeugtem Strom gedeckt werden.<sup>82</sup> Bei zusätzlichem Strombedarf für die Produktion wird ausschließlich zertifizierter Ökostrom bezogen.

Auch Wärme und Warmwasser werden regenerativ erzeugt. Ein Großteil des Bedarfs wird über das Blockheizkraftwerk und zusätzlich durch Wärmerück-

---

<sup>80</sup> Vgl. LEW Innovationspreis (2015).

<sup>81</sup> Vgl. Allianz für die Region GmbH (2015).

<sup>82</sup> Vgl. oeding print GmbH (2017).

gewinnung aus den Produktionsprozessen und der Druckluftherzeugung erzeugt. Die Abwärme wird in Hoch- und Niedertemperaturspeicher gespeichert und kann bei Bedarf zum Heizen, zur Warmwasseraufbereitung und durch eine Adsorptionskältemaschine auch zum Kühlen verwendet werden.<sup>83</sup>

---

<sup>83</sup> Vgl. Allianz für die Region GmbH (2015).



## 4 VERNETZUNG INNERHALB DES GEWERBEGEBIETS

Durch die Vernetzung der Unternehmen untereinander ergibt sich die Chance, neben Maßnahmen zur Ressourceneffizienz in den einzelnen Unternehmen die Ressourceneffizienz noch weiter zu steigern. Da Gewerbegebiete sehr unterschiedlich sind, werden im Folgenden verschiedene Strategien und Ansätze aufgezeigt, die auf das jeweilige Gewerbegebiet angewendet und an diese angepasst werden können.

### 4.1 Energie

Eine sichere Energieerzeugung ist in einem Gewerbegebiet essentiell. Nachdem die Maßnahmen in den einzelnen Unternehmen hinsichtlich der Steigerung der Energieeffizienz und des Einsatzes von erneuerbaren Energien erfüllt sind, bestehen noch Potenziale innerhalb des Gewerbegebiets.

#### 4.1.1 Energieanalyse im Gewerbegebiet

Grundlage für ein gemeinsames Energiekonzept innerhalb eines Gewerbegebiets ist die Analyse des Verbrauchs und der Potenziale. Dazu werden Daten zu dem Energiebedarf, der Energieinfrastruktur und den Potenzialen gesammelt und in einer passenden Karte des Gebiets eingetragen. Zum Energiebedarf gehören der Stromverbrauch und der Wärme-/Kältebedarf. Außerdem sollten Informationen über die bereits vorhandene Energieinfrastruktur, wie bestehende Wärmenetze, Blockheizkraftwerke, Solarparks, private Energieerzeugungsanlagen etc., ermittelt werden. Im letzten Schritt können die Potenziale für erneuerbare Energien und industrielle Abwärme analysiert werden. Dabei werden Energiemengen, mögliche Flächen und klimatische Voraussetzungen betrachtet. Hierbei ergeben sich Herausforderungen, da die Unternehmen ihren jeweiligen Verbrauch meist nicht kennen oder die Daten aus Wettbewerbsgründen nicht offenlegen wollen. Es ist von Vorteil, wenn die Unternehmen unterschiedlichen Branchen angehören. Eine Lösung dafür kann ein neutraler Quartiersmanager sein, der die Aufgabe der Datensammlung übernimmt.

### 4.1.2 Austausch von Energie

Hat ein Unternehmen einen Überschuss an Energie, der sich nicht im Unternehmen selbst sinnvoll einsetzen lässt, kann es diesen entweder in das öffentliche Netz (z. B. Strom) oder an ein anderes Unternehmen abgeben, das diese Energie (z. B. Abwärme) nutzen kann. In beiden Fällen profitiert das Unternehmen davon und es werden zusätzlich Ressourcen eingespart.

Es gibt Möglichkeiten, Abwärme, die nicht vermieden oder im Unternehmen selbst verwertet werden kann, überbetrieblich zu nutzen oder in ein **Fern-/Nahwärmenetz** einzuspeisen. Ein Vorteil der Einspeisung in ein bestehendes Wärmenetz liegt darin, dass diese in der Regel über zentrale Wärmespeicher verfügen und so Schwankungen ausgleichen können. Die Abwärme kann meistens in den Vor- oder den Rücklauf eingespeist werden, wobei sich die Temperaturanforderungen ändern. Das Fernwärmenetz benötigt im Vorlauf Temperaturen zwischen 80 bis 140 °C, im Rücklauf liegen die Temperaturen ca. 30 bis 40 °C unter der Vorlauftemperatur. In einem Nahwärmenetz sind die Temperaturen niedriger (Vorlauf: 70 bis 90 °C, Rücklauf: 50 bis 55 °C).

Für eine **überbetriebliche Abwärmenutzung** zwischen einzelnen Unternehmen werden detaillierte Informationen zu der Energiemenge, dem zeitlichen Verlauf und der Stabilität der Abwärme benötigt. In Thüringen ist dazu in einem internationalen Projekt ein Abwärmekataster entstanden, in dem die Abwärmequelle mit ihrer Qualität und Quantität sichtbar gemacht worden ist.<sup>84</sup> Auch in weiteren Bundesländern ist ein solcher Abwärmekataster bereits vorhanden. In der weiteren Analyse muss überprüft werden, ob die Eigenschaften und das Lastprofil der Abwärmequelle mit denen des Wärmeverbraucher übereinstimmen. Folgende Rahmenbedingungen sollten als erste Abschätzung für eine sinnvolle Abwärmenutzung überprüft werden:<sup>85</sup>

- Die benötigte Temperatur des Abnehmers liegt ca. 20 °C unter der des Anbieters.

---

<sup>84</sup> Vgl. Thüringer Energie- und GreenTech-Agentur GmbH (ThEGA) (kein Datum).

<sup>85</sup> Vgl. McKenna, R.; Fichtner, W. (2011), S. 122 f.

- Das Verhältnis aus Wärme und Entfernung liegt mindestens bei  $2 \text{ MWh}_{\text{th}}$  pro Meter (Länge der Leitung) und Jahr (Auswirkungen auf Kosten und Energieverlust).

Oft zögern Unternehmen, solche zwischenbetrieblichen Verbindungen einzugehen, da sie das Risiko der Abhängigkeit scheuen. Kann ein Unternehmen jedoch eine gute betriebliche Stabilität nachweisen und plant der Abnehmer eine Ersatzversorgung mit ein, kann dieses Risiko wesentlich gemindert werden.

#### 4.1.3 Energieversorgung

In einem Gewerbegebiet werden meist drei Arten von Energie gebraucht: Strom, Wärme und Kälte. Die Einsparungen und die Effizienzsteigerung finden zum Großteil in den Unternehmen selbst statt (Kapitel 3.1). Auch ein Teil der erneuerbaren Energien kann oft direkt beim Unternehmen erzeugt werden. Trotzdem benötigen sie meist noch Energie aus den öffentlichen Netzen.

Innerhalb eines Gewerbegebiets gibt es aber noch weitere Ressourceneffizienzpotenziale bezüglich der Energieversorgung:

- Austausch von überschüssiger Energie, wie Abwärme (Kapitel 4.1.2),
- Planung eines Energieversorgungskonzepts für das gesamte Gewerbegebiet. Die Erzeugung von erneuerbaren Energien auf Gemeinschaftsflächen oder die Installation eines Blockheizkraftwerks (BHKW) zur gemeinsamen Energieversorgung können den  $\text{CO}_2$ -Ausstoß meist deutlich verringern.

#### Stromversorgung

Gemeinschaftliche Schritte zur Senkung des  $\text{CO}_2$ -Ausstoßes sind zum einen, weitere Maßnahmen zur Erhöhung der Energieeffizienz im Gewerbegebiet (z. B. Straßenbeleuchtung) zu identifizieren, zum anderen die gemeinsame Auswahl eines umweltfreundlichen Stromanbieters. Strom aus erneuerbaren

Energien ist oft etwas preisintensiver, aber durch eine höhere Stromabnahme mehrerer Unternehmen können gegebenenfalls günstigere Konditionen ausgehandelt und die höheren Kosten kompensiert werden.<sup>86</sup>

#### Wärme- und Kälteversorgung des Gewerbegebiets

Für eine Umstellung auf erneuerbare Energien und Abwärmenutzung bietet sich ein **Niedertemperatur-Wärmenetz** an, da das Temperaturniveau niedriger liegt (bis ca. 70 °C) als in Fern-/Nahwärmenetzen und so erneuerbare Energien effizienter eingebunden werden können. Weitere Vorteile sind, dass die Netzverluste durch den geringeren Temperaturunterschied zur Umgebung (Boden) sinken und die angeschlossenen Parteien einfacher Energie einspeisen können. Zudem ist es möglich, ein solches Niedertemperatur-Wärmenetz mit Zwischenspeichern, wie einem Saisonspeicher, zu kombinieren. So kann die erzeugte erneuerbare Energie effizienter genutzt werden, da eine flexiblere Deckung von Angebot und Bedarf möglich ist. In Deutschland gibt es dazu nur wenige Umsetzungen. In anderen Ländern, wie Dänemark, sind Niedertemperatur-Wärmenetze weiter verbreitet.<sup>87</sup>

## 4.2 Material

Bei der Produktion entstehen nicht nur ungenutzte Energien, sondern auch stoffliche Reststoffe, die im Unternehmen selbst nicht mehr genutzt werden können. Diese Reststoffe kann ein anderes Unternehmen weiterverwenden oder Unternehmen innerhalb eines Gewerbegebiets können die Entsorgung zusammenlegen, falls die Eigenschaften der Reststoffe verträglich sind.

### 4.2.1 Unternehmensübergreifende Stoffstromkooperationen

Aufgrund der unterschiedlichen Arten und Qualitäten ist es bei stofflichen Reststoffen oft schwieriger, eine Möglichkeit zu finden, diese in einem benachbarten Unternehmen wiederzuverwenden oder zu recyceln. Um einen Materialaustausch zu ermöglichen, müssen zu Beginn die Stoffströme, im Besonderen der Output, analysiert werden. Mit Hilfe einer Material- und

---

<sup>86</sup> Vgl. Müller-Christ, G. (2009), S. 31 f.

<sup>87</sup> Vgl. Schneller, A.; Frank, L. und Töpfer, K. (2017), S. 8 f.

Stoffflussanalyse nach der VDI 2689 „Leitfaden zu Materialflussuntersuchungen“ kann die Quantität des Outputs erfasst werden.<sup>88</sup> Zusätzlich sollten Daten zur Qualität der Reststoffe erfasst werden. Je genauere Daten zur Quantität und Qualität vorliegen, desto einfacher lässt sich ein Abnehmer für die Reststoffe finden. Die Stoffströme sollten insbesondere aus Sicht des Abnehmers möglichst stabil und in ausreichenden Mengen vorhanden sein.<sup>89</sup>

Die Zusammensetzung der Unternehmen im Gewerbegebiet spielt ebenso eine Rolle. Folgende **Unternehmensbeziehungen** können im Wesentlichen unterschieden werden:<sup>90</sup>

Das höchste Potenzial für eine Stoffstromkooperation ist bei einer Lieferanten-Abnehmer-Beziehung gegeben, da die Unternehmen schon in Kontakt stehen und verschiedene Input-/Outputströme bestehen. Bei identischen Input-/Outputströmen, wie es meist bei Unternehmen der gleichen Branche der Fall ist, ist das Potenzial niedrig. Es besteht jedoch die Möglichkeit, ein gemeinsames Abfallentsorgungssystem (Kapitel 4.2.2) zu implementieren. Bei branchenfremden Unternehmen sind die Input-/Outputströme zwar verschieden, aber die Unternehmen stehen meist nicht in Kontakt.

**Tabelle 1: Einfluss der Unternehmensbeziehung auf das Potenzial der Stoffstromkooperation**

Unternehmensbeziehung	Input-/Outputströme	Zusammenarbeit	Potenzial
Lieferanten-Abnehmer-Beziehung	Verschieden	Informationsaustausch vorhanden	Hoch
Unternehmen gleicher Branche	Gleich	Potenzielle Wettbewerber	Niedrig
Branchenfremde Unternehmen	Verschieden	Meist kein Kontakt vorhanden	Mittel

Neben den Arten und Beziehungen der Unternehmen nimmt auch die **Entfernung zwischen den Unternehmen** einen Einfluss auf mögliche Unternehmenskooperationen. Aus wirtschaftlicher Sicht sind geringere Entfernungen positiv, da die dafür benötigte Infrastruktur meist kostengünstiger

<sup>88</sup> In der Kurzanalyse „Ressourceneffizienz in der Wertschöpfungskette“ des VDI ZRE wird die VDI Richtlinie 2689 näher erläutert.

<sup>89</sup> Vgl. von Gleich, A.; Gößling-Reisemann, S. (2008), S. 145

<sup>90</sup> Vgl. Liesegang, D. G.; Sterr, Th. (2003), S. 279.

ist. Dies hängt auch von der Art der Infrastruktur, wie den Leitungen oder Transportwegen, ab. Ebenso spielt die Entfernung bei der ökobilanziellen Betrachtung eine Rolle, da die Umweltauswirkungen des Transports die Einsparungen durch das Weiterverwenden eines Materials ab einer bestimmten Entfernung übersteigen.

Das Gewerbegebiet zeigt genau den Vorteil der räumlichen Nähe zwischen den Unternehmen. Die Implementierung eines Arbeitskreises bzw. eines Netzwerks innerhalb des Gewerbegebiets kann die für eine Kooperation erforderliche Kommunikation und den Vertrauensaufbau fördern. Je nach Durchmischung des Gewerbegebiets kann es hilfreich sein, die Suche nach einem Kooperationspartner regional auszuweiten, um die Chancen auf eine Materialkooperation zu erhöhen.

Ein Beispiel für eine stoffliche Verwertung von Reststoffen ist die Nutzung der Hochofenschlacken der Stahlindustrie bei der Herstellung von Zement. Dabei wird nicht nur ein Nebenprodukt hochwertig weiterverwertet, sondern es ersetzt auch den Zementklinker.<sup>91</sup>

#### 4.2.2 Abfallentsorgungsinfrastruktur

Bleiben nach den Effizienz- und Kooperationsmaßnahmen Reststoffe als Abfall übrig, bietet ein gemeinsames Abfallentsorgungssystem weitere Ressourceneffizienzpotenziale. Dafür ist es notwendig, die eigene Quantität und Qualität seines Abfalls zu kennen. Unter anderem spielen die bisherige Trennung der Abfälle, der Ausleerzyklus, die Menge der ungefährlichen und gefährlichen Abfälle, die Quantität sowie die Art der Schadstoffe eine Rolle. Durch eine Abfallbilanz oder ein Abfallwirtschaftskonzept können diese Punkte erfasst werden. Zusätzlich bietet das Abfallwirtschaftskonzept einen Rahmen, Maßnahmen zur Abfallvermeidung und -verwertung zu planen und die zukünftige Art und Menge der Abfälle abzuschätzen. Die Informationen zu den Abfällen können genutzt werden, um die Abfallströme des Gewerbegebiets zu bewerten und Möglichkeiten für eine gemeinsame Entsorgung zu

---

<sup>91</sup> Vgl. Schneider, M., Meng, B. (2002), S. 10 – 14.

finden. Die Nutzung dieser Synergien kann die Entsorgungskosten senken<sup>92</sup>. Zusätzlich kann sich durch die höhere Quantität ein hochwertigerer Verwertungsweg ökonomisch lohnen<sup>93</sup>, z. B. eine Wiederaufbereitung von Altpaletten im überbetrieblichen Verbund.<sup>94</sup>

#### 4.2.3 Weitere Ressourceneffizienzpotenziale

Weitere Möglichkeiten einer Zusammenarbeit in Bezug auf Material innerhalb des Gewerbegebiets sind das Bilden von Einkaufsgemeinschaften und das Etablieren von Tausch- bzw. Leihsystemen.

- **Einkaufsgemeinschaften:** Das Zusammenlegen von Einkäufen birgt den Vorteil, dass eine größere Menge oft zu einem Rabatt führt und den Lieferverkehr reduzieren kann. Die Herausforderung liegt hier darin, ein Produkt zu finden, das mehrere Unternehmen in etwa demselben Turnus benötigen. Beispiele dafür sind Druckerpapier oder andere Büromaterialien.
- **Tauschsysteme/Leihsysteme:** Eine effiziente Nutzung entsteht, wenn eine Maschine, ein Werkzeug oder Produkt maximal ausgelastet ist. Vor allem bei investitionsintensiven Maschinen sollte deshalb die Ausnutzung bedacht werden. Gibt es innerhalb des Gewerbegebiets ein anderes Unternehmen, das diese Maschine auch benötigt, können durch ein Leihsystem oder Werkzeugpooling<sup>95</sup> die Ausnutzung erhöht und Kosten eingespart werden. Durch die Implementierung eines solchen Systems entsteht ein zusätzlicher Verwaltungsaufwand, der sich aber je nach Kosten des Objekts auszahlt.<sup>96</sup> Nicht nur Maschinen, sondern auch Räume oder Autos können gemeinsam genutzt werden. Ein Beispiel aus der Landwirtschaft sind sogenannte Maschinenringe, zu denen sich Betriebe zusammenschließen, um gemeinschaftlich Land- und Forstmaschinen sowie Arbeitskräfte, aber auch Wissen zu nutzen.<sup>97</sup>

---

<sup>92</sup> Vgl. von Hauff, M.; Kleine A. (2014), S. 90.

<sup>93</sup> Vgl. Liesegang, D. G.; Sterr, Th. (2003), S. 282.

<sup>94</sup> Als Beispiel dient das Verwertungsnetzwerk in Kapitel 4.5.5.

<sup>95</sup> Weitere Informationen zum Thema „Werkzeugpooling“ sind in der Kurzanalyse „Ressourceneffizienz in der Wertschöpfungskette“ des VDI ZRE zu finden.

<sup>96</sup> Vgl. Rost, N. (2009).

<sup>97</sup> Vgl. Maschinenring Deutschland GmbH (2017).

### 4.3 Wasser

Durch das Einsparen des Frischwassers und die Reduktion des Abwasseraufkommens können Kosten gespart werden. Im Folgenden werden verschiedene gemeinschaftliche Möglichkeiten für Unternehmen aufgezeigt, mit denen die Wassereffizienz gesteigert werden kann.

#### 4.3.1 Regenwasser

In Bezug auf Regenwasser liegen die meisten Ressourceneffizienzpotenziale bei den einzelnen Unternehmen. Für das Gewerbegebiet selbst besteht die Möglichkeit, das Regenwasser durch **gemeinsame Retentions- und Versickerungsflächen** in den natürlichen Wasserkreislauf zurückzuführen. Der Vorteil für die Unternehmen liegt darin, dass sie Abwassergebühren einsparen. Allgemein kann der intelligente Umgang mit dem Regenwasser auch positive Auswirkungen auf das Mikroklima im Gewerbegebiet haben: Die Überschwemmungsgefahr und die Hitzeentwicklung hängen damit zusammen.<sup>98</sup> Bei der Durchführung der Maßnahmen muss jedoch auf verschiedene Ausgangsbedingungen, wie den Verschmutzungsgrad oder die Bodenbeschaffenheit, geachtet werden. Das Erarbeiten eines Wassermanagementkonzepts für ein Gewerbegebiet hilft, den Überblick zu behalten.

Außerdem können Unternehmen eine **Kooperation bezüglich des Regenwassers** eingehen. Auf den großen Dachflächen von Industriegebäuden fällt viel Regenwasser an. Je nach Unternehmen ist der Eigenbedarf für das gesammelte Regenwasser verschieden groß. Ein wasserintensives Unternehmen könnte deshalb Regenwasser von einem Unternehmen mit geringem Bedarf, aber hohem Anfall (etwa bei Logistikunternehmen) abnehmen und so Trinkwasser sparen. Für das andere Unternehmen reduzieren sich die Kosten für die Einleitung des Regenwassers in die Kanalisation. Mit der überbetrieblichen Regenwassernutzung müssen jedoch auch eine Logistik und eine Qualitätsüberwachung organisiert und verschiedene rechtliche Fragen beantwortet werden.<sup>99</sup>

---

<sup>98</sup> Vgl. Stadt Frankfurt am Main (2014), S. 45.

<sup>99</sup> Vgl. Stiefel, R. (2017), S. 126.



### 4.3.2 Abwasser

Nach der Verwendung des Prozesswassers muss dieses im Regelfall aufbereitet werden, bevor es vorschriftsmäßig in den öffentlichen Kanal oder in den Fluss eingeleitet werden darf. Daher sollten Unternehmen einen geschlossenen Wasserkreislauf innerhalb des Unternehmens anstreben. Gelingt dies nicht, gibt es weitere Möglichkeiten, die Wassereffizienz zu erhöhen:

- **Abwärmenutzung:** Wasser wird oft als Energieträger (Wärme/Kälte) genutzt. Beispielsweise kann die Restwärme aus dem Abwasser eines Unternehmens (Kapitel 4.1.2) oder die Abwärme aus der Kanalisation genutzt werden. Mit Hilfe einer Wärmepumpe kann die benötigte Temperatur erreicht werden.<sup>100</sup> Ein Beispiel ist ein Möbelhaus am Standort Berlin-Lichtenberg, das die Wärme aus der Kanalisation nutzt.<sup>101</sup>
- **Kaskadennutzung:** Eine überbetriebliche Kaskadennutzung von Wasser bietet sich an, wenn das Prozesswasser nicht mehr innerbetrieblich genutzt werden kann. Dazu muss ein passender Abnehmer im Gewerbegebiet gefunden werden. Die Qualität (Verschmutzung, Toxizität, Temperatur etc.) und die Quantität (Menge und Regelmäßigkeit des Anfalls) sind für einen potenziellen Abnehmer entscheidend. Im Beispiel des Gewerbegebiets Kalundborg (Kapitel 4.5.2) kann ein Unternehmen das in einem geschlossenen Kreislauf geführte Kühlwasser des anderen Unternehmens nutzen, um aus dem bereits vortemperierten Wasser Wasserdampf zu produzieren. Dabei wird sowohl Wasser als auch Energie eingespart.
- **Gemeinsame Wasseraufbereitungsanlage:** Die Aufbereitung des Abwassers wird meist in den einzelnen Unternehmen durchgeführt, da die Aufbereitungsform von der Art der Verschmutzung abhängt. Da die Zusammensetzung der Unternehmen in einem Gewerbegebiet oft sehr durchmischt und somit auch das Abwasser unterschiedlich ist, wird es schwierig, eine gemeinsame Wasseraufbereitungsanlage zu installieren.

---

<sup>100</sup> Vgl. Urbansky, F. (2016).

<sup>101</sup> Weitere Informationen unter: [http://www.abwasserbilanz.de/wp-content/uploads/101213\\_schitkowsky.pdf](http://www.abwasserbilanz.de/wp-content/uploads/101213_schitkowsky.pdf)

Das Abwasser aus den Bereichen Büronutzung und Gastronomie ist aber gleichwertig und kann somit in einer gemeinschaftlichen Abwasseraufbereitung oder -recyclinganlage verarbeitet werden.<sup>102</sup> Durch eine gemeinschaftliche Abwasseraufbereitungsanlage können Material und Energie sowie Kosten eingespart werden.

## 4.4 Fläche

Die Flächeneffizienz im Gewerbegebiet lässt sich mit verschiedenen Maßnahmen und Strategien steigern. Die Verantwortung liegt bei den einzelnen Firmen (Kapitel 3.4). Vieles ist bereits im Bebauungsplan festgesetzt, trotzdem gibt es Ressourceneffizienzpotenziale, die gemeinschaftlich oder durch Kooperationen umgesetzt werden können.

### 4.4.1 Flächennutzung

Eine Möglichkeit, die Flächeneffizienz im Gewerbegebiet zu steigern, liegt in der Zentrierung von Nutzungen. Viele Nutzungsräume werden oft nicht gänzlich ausgelastet, wie Seminarräume. Diese könnten gemeinschaftlich genutzt werden. Abgesehen von einer gemeinsamen Nutzung diverser Einrichtungen (Kantine, zentrales Parkhaus, Kindergarten, LKW-Waage, etc.) könnten auf Dachflächen (u. a. von zentralen Einrichtungen) oder anderen ungenutzten Flächen (gemeinschaftliche) Photovoltaikanlagen installiert werden.<sup>103</sup>

Die versiegelten Flächen im Gewerbegebiet könnten überprüft werden. Eventuell können manche dieser Flächen, z. B. Besucherparkplätze, entsiegelt werden. Eine Entsiegelung von Flächen spart Kosten (Abwassergebühren) und trägt zum lokalen Hochwasserschutz bei Starkregen und zur Verbesserung des Mikroklimas bei (siehe auch Kapitel 3.4).

Bestehende Rest- und Brachflächen bieten die Möglichkeit, diese zu verdichten oder zu revitalisieren. So können ungenutzte Flächen auch als gemeinsame Erholungsflächen gestaltet werden. Durch eine extensive Pflege kann dabei auch ein Beitrag zur Biodiversität geleistet werden. Die Begrünung von

---

<sup>102</sup> Vgl. Drees & Sommer Advanced Building Technologies GmbH (2014), S. 25.

<sup>103</sup> Vgl. Industrie- und Handelskammer Nordschwarzwald (2015), S.13.

Verkehrsleitelementen (z. B. Kreisverkehr) oder Randstreifen ist ebenso ein Beitrag zur Nachhaltigkeit eines Gewerbegebiets.

Das Flächenmanagement kann dabei eine zentrale Person des Gewerbeparkmanagements übernehmen, die die Flächen mit ihren Nutzungen erfasst. Auf dieser Grundlage kann ein Flächenkonzept erstellt werden.

#### 4.4.2 Infrastrukturflächen

Die Infrastrukturflächen nehmen im Gewerbegebiet einen wichtigen Teil ein. Zum einen müssen die Angestellten zu den Unternehmen kommen, zum anderen erzeugen produzierende Unternehmen einen hohen Lastverkehr. In der Zusammenarbeit der Unternehmen können vor allem für den Personenverkehr oft Maßnahmen gefunden werden, um das Verkehrsaufkommen zu verringern. Der Ausbau des ÖPNV und von Fahrrad-/Gehwegen oder Austauschplattformen für Pendlergemeinschaften kann dazu einen positiven Beitrag leisten. Bei mehr bzw. neuen Flächen für Fahrrad- und Fußgängerwege muss der Flächenverbrauch beachtet werden. Ein intelligentes Verkehrskonzept, das auch zukunftstauglich ist, sollte deshalb in Absprache mit den Unternehmen vor Ort, aber auch unter Berücksichtigung der Wünsche der Betroffenen (Pendler) entwickelt werden. Weitere Ideen wären die Installation von Carsharing-Punkten und der Ausbau von Ladestationen für Elektrofahrzeuge.<sup>104</sup>

Auch beim Lastverkehr ist eine Effizienzsteigerung möglich. Bei der Planung eines Gewerbegebiets kann eine gute Autobahnanbindung, die die Straßen um das Gewerbegebiet herum entlastet, berücksichtigt werden. Eine Zusammenlegung von Bestellungen und Abholungen kann das Verkehrsaufkommen verringern. Die Umstellung des Lastverkehrs auf Elektro- bzw. Hybridfahrzeuge kann in naher Zukunft eine mögliche Alternative bieten. Meist sind die Maßnahmen bezüglich des Lastverkehrs allerdings noch mit größeren Mühen und Investitionen verbunden.

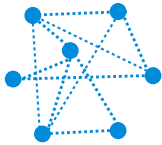
---

<sup>104</sup> Vgl. Mittelstandsinitiative Energiewende und Klimaschutz (2016).

## 4.5 Umsetzung und Beispiele

### 4.5.1 Umsetzung

Um die Ressourceneffizienz, u. a. durch industrielle Symbiosen, zu steigern, wird meist mithilfe ähnlicher Prinzipien vorgegangen.



**Netzwerke fördern Vertrauen:** Eine Basis des Vertrauens und der Offenheit ist Voraussetzung, damit ein Informations- und Datenaustausch zwischen den Unternehmen gelingt. Oft ist es schwierig, Daten der Stoffströme und der entstehenden Energien aus Wettbewerbsgründen offenzulegen.<sup>105</sup> Ein Netzwerk mit regelmäßigen Treffen zum Kennenlernen, für den Austausch und zum Fortbilden kann das benötigte Vertrauen fördern. Die Formulierung eines gemeinsamen Ziels kann das Netzwerk zusätzlich stärken (siehe Beispiel 4.5.3).



**Bestandsanalyse:** Die Bestandsanalyse umfasst alle Informationen und Daten zu einem Gewerbegebiet. Dazu gehören Daten zu der Fläche, der Infrastruktur, den Unternehmen ebenso wie Daten zu den Energie- und Materialbedarfen. Die Informationen über die einzelnen Stoffströme und vorhandenen Energien sind essentiell, um mögliche Kooperationen ausfindig zu machen<sup>106</sup> (siehe Beispiele 4.5.3, 4.5.4, 4.5.5).



**Potenzialanalyse:** Aus der vorangehenden Bestandsaufnahme werden Potenziale analysiert. Dabei können Möglichkeiten zur Ressourceneffizienz in den einzelnen Unternehmen und für industrielle Symbiosen aufgedeckt werden. Die Entfernung zwischen den Koope-

---

<sup>105</sup> Vgl. Johnson, I. et al. (2015), S. 17.

<sup>106</sup> Vgl. von Gleich, A.; Gößling-Reisemann, S. (2008), S. 146.

rationspartnern und die schon existierenden Infrastrukturen spielen dabei eine wichtige Rolle (siehe Beispiele 4.5.3, 4.5.4, 4.5.5).



**Maßnahmenkatalog:** Auf der Basis der Potenzialanalyse kann ein Maßnahmenkatalog erarbeitet werden. Der entstehende Investitionsbedarf und der technische Aufwand der einzelnen Maßnahmen müssen ökologisch sowie ökonomisch sinnvoll sein (siehe Beispiele 4.5.3, 4.5.4, 4.5.5).



**„Low hanging Fruits“:** Zuerst sollten Maßnahmen mit wenig Aufwand, aber relativ hohen Einsparungen umgesetzt werden, um eine positive Grundstimmung und Motivation zu fördern (siehe Beispiel 4.5.4).



**Klimamanager:** Bei kleineren Unternehmen ist vor allem der Zeit- und Personalaufwand eine Herausforderung, der durch den Abstimmungs- und Koordinierungsaufwand bei einem Zusammenschluss von Unternehmen entsteht.<sup>107</sup> Ein Klimamanager (oder Gebietsmanager) als externe Person kann die Unternehmen dabei unterstützen.

Anhand von Beispielen wird im Folgenden die große Bandbreite an Herangehensweisen und Maßnahmen aufgezeigt.

#### 4.5.2 Gewerbegebiet Kalundborg, Dänemark

Als Wegbereiter der industriellen Symbiose gilt das Gewerbegebiet Kalundborg in Dänemark. Es umfasst unter anderem Unternehmen aus den Bereichen chemische, petrochemische, agrochemische und pharmazeutische Industrie sowie Elektrizitäts- und Baustoffindustrie.<sup>108</sup> Schon in den 80er Jahren begannen erste Untersuchungen zu Kooperationen zwischen den einzel-

<sup>107</sup> Vgl. Drießen, H. (2015).

<sup>108</sup> Vgl. Schön, M. et al. (2003), S. 12.

nen Unternehmen. Innerhalb von ca. 15 Jahren entstanden zahlreiche Stoffkreisläufe zwischen den Unternehmen. Der Begriff „industrielle Symbiose“ wurde von diesem ersten funktionierenden Unternehmensnetzwerk geprägt.

Der Austausch von Material und Energie wurde im Gewerbegebiet Kalundborg nicht nur wegen des Umweltschutzes geplant, sondern hat sich aus wirtschaftlichen Gründen entwickelt und wurde über Jahrzehnte weiter ausgebaut. Ziel der einzelnen Unternehmen war es, die in Dänemark sehr hohen Entsorgungskosten zu vermeiden und zusätzlich Gewinn durch die Weitergabe ihres überschüssigen Materials und ihrer Energie zu erzielen. Dadurch konnten sie ihre Wettbewerbsfähigkeit deutlich steigern. Voraussetzung für die erfolgreiche Entwicklung der Symbiosen waren Wirtschaftlichkeit, gegenseitiges Vertrauen unter den Geschäftspartnern, fehlende Konkurrenzängste und kurze räumliche Distanzen. Einige Symbiosen werden hier kurz beschrieben.

Im Zentrum des Netzwerks steht das größte dänische Kohlekraftwerk Assens. Mit dem dort entstehenden Wasserdampf werden Turbinen zur Stromgewinnung betrieben. Beim Verlassen der letzten Turbine des Kohlekraftwerks hat der Wasserdampf immer noch eine Temperatur von 350 °C. Hier setzte eine der ersten Kooperationen zwischen Unternehmen an. In einem neu installierten Wärmenetz versorgt der Dampf Wohngebäude und Unternehmen, u. a. die Raffinerie und eine Fischfarm, mit Wärme. In den Biotech-Firmen wird der Dampf für die Fermentationsprozesse bei der Insulin- und Enzym-Produktion verwendet.

In Zukunft soll die Energieversorgung von Kohle auf Biogas und Biomasse umgestellt werden. Mit der Umstellung sind neue Kooperationen geplant. Das System der Symbiosen besteht trotz Veränderungen und Projektstilllegungen, da sich die Partner und die Symbiosen ständig mit weiterentwickeln.

Das Kohlekraftwerk produziert neben Energie auch weitere Reststoffe, die von anderen Unternehmen im Netzwerk genutzt werden können. Bei der Rauchgas-Entschwefelung entsteht REA-Gips, der in der Gipskartonfabrik weiterverarbeitet wird und den Naturgips ersetzt. Die Flugasche findet ihren

Weg zu einem Zementhersteller. Sogar die Biomasse aus dem Prozesswasser der Biotech-Firmen kann weiterverwendet werden. Sie wird zur Herstellung von Biogas genutzt oder mit Kalk vermischt und zu einem hochwertigen Dünger verarbeitet, der an Landwirte verkauft wird.

Auch bei der Wassernutzung konnte durch die Nutzung von Oberflächenwasser und Kaskadennutzung die natürliche Ressource Grundwasser geschont werden. Das Wasserwerk bereitet das Oberflächenwasser des Sees auf und liefert es an die Unternehmen, die es zur Kühlung ihrer Produktion verwenden. In der Raffinerie wird das Kühlwasser in einem geschlossenen Rohrsystem geführt und ist deshalb nicht verschmutzt. Es wird an das Kraftwerk weitergeleitet und dient dort zur Dampferzeugung. Neben der Nutzung von Oberflächenwasser wird auch Regenwasser in einem Wasserreservoir gesammelt und in dem Kraftwerk genutzt (Abbildung 8).<sup>109</sup>

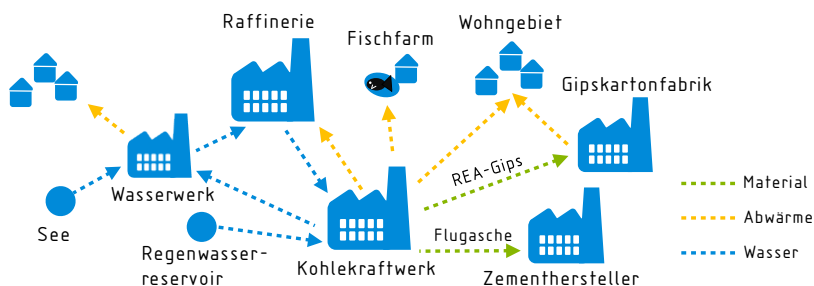


Abbildung 8: Industrielle Symbiose des Industrieparks Kalundborg<sup>110</sup>

Kalundborg kann durch die vielen Maßnahmen der industriellen Symbiose jährlich ca. 3 Mio. m<sup>3</sup> Wasser, 150.000 t Naturgips<sup>111</sup> und 240.000 t CO<sub>2</sub><sup>112</sup> einsparen. Dabei haben die Unternehmen insgesamt ca. 60 Mio. US\$ für den Ausbau der neuen Stoff-Infrastruktur ausgegeben. Der jährliche Erlös beläuft sich nach Schätzungen auf ca. 10 Mio. US\$ und die durchschnittliche Amortisationszeit beträgt fünf Jahre.<sup>113</sup>

<sup>109</sup> Vgl. Kalundborg Symbiosis (2016).

<sup>110</sup> Vgl. Kalundborg Symbiosis (2016).

<sup>111</sup> Kalundborg Symbiosis (2016).

<sup>112</sup> Deffke, U. (2009).

<sup>113</sup> Vgl. Schön, M. et al. (2003), S. 13.

### 4.5.3 „NEMo“, Gewerbegebiet Motzener Str., Berlin

Das 112,5 ha große Industrie- und Gewerbegebiet an der Motzener Straße im Süden Berlins hat sich ein großes Ziel gesetzt: null CO<sub>2</sub>-Emissionen bis 2050. An dem Standort sind rund 5.000 Beschäftigte in 200 Betrieben angestellt. Die Hälfte dieser Betriebe und damit 80 % aller Angestellten im Gewerbegebiet sind im produzierenden Gewerbe tätig. Der Schwerpunkt liegt auf Metallverarbeitung, Maschinenbau und Kunststoffverarbeitung. 2005 wurde die Standortinitiative UnternehmensNetzwerk Motzener Straße gegründet, die 2016 das ambitionierte Klimaschutzteilkonzept für das Projekt „NEMo“ (Null Emission Motzener Straße) erstellt hat. Insgesamt beteiligen sich 60 Betriebe mit knapp 2.500 Angestellten daran.<sup>114</sup> Ziel ist es, den CO<sub>2</sub>-Ausstoß um 40 % bis 2030 zu reduzieren.

Um dieses Etappenziel zu erreichen, wurde zunächst ein Klimaschutz-Teilkonzept für zehn bis 15 Jahre erstellt. Ausgangspunkt war eine Bestandsaufnahme und eine darauf aufbauende CO<sub>2</sub>-Bilanz. Zu ausgewählten Handlungsfeldern wurden Potenzialanalysen durchgeführt und ein Maßnahmenkatalog erstellt.

Die Strategie des Unternehmensnetzwerks liegt darin, durch Veranstaltungen und Publikationen das Bewusstsein für Fragen der Ressourceneffizienz zu steigern und unterschiedliche Unternehmen zum Erfahrungsaustausch zusammenzubringen. Jeden Monat werden Unternehmenstreffen veranstaltet, bei denen sich benachbarte Betriebe vorstellen, kennenlernen und gegebenenfalls Kooperationen mit anderen Betrieben schließen können. Auch der Austausch über aktuelle Ressourceneffizienzmaßnahmen ist stets Tagesordnungspunkt. Durch diese Treffen konnten viele Unternehmen des Standorts motiviert und unterstützt werden, Maßnahmen zur Ressourceneffizienzsteigerung umzusetzen.

Im Rahmen der CO<sub>2</sub>-Bilanz wurde festgestellt, dass rund 2/3 der Emissionen im Gewerbegebiet Motzener Straße auf die Erzeugung von Wärme und mechanischer Energie zurückzuführen sind. Daher konzentrieren sich die Maßnahmen auf diese Anwendungsbereiche. Beispiele für umgesetzte Maßnah-

---

<sup>114</sup> Vgl. UnternehmensNetzwerk Motzener Straße e.V. (2017).



men sind: hydraulischer Abgleich der Heizungen sowie energetische Gebäudesanierungen, um Energie zur Erzeugung von Raumwärme einzusparen. Des Weiteren ist geplant, die Prozesse zu optimieren, Wärmerückgewinnungsanlagen einzusetzen, die Wartung der Maschinen zu verbessern und auf Elektromotoren in der Produktion umzusteigen.<sup>115</sup> In einer Reihe von Firmen wurde die Beleuchtung bereits auf LED umgestellt. Fünf Firmen bieten E-Ladesäulen, z. T. für ihre Mitarbeiter, an und haben ihren Fuhrpark mit E-Autos ergänzt. Außerdem sind in dem Gewerbegebiet Photovoltaikanlagen installiert, die zusammen eine Fläche von über 12.000 m<sup>2</sup> einnehmen. Ein Dutzend Unternehmen haben sich einem umfangreichen Ressourcencheck gestellt und ermittelt, dass in Einzelfällen bis zu 88 % CO<sub>2</sub> eingespart werden könnten – und zwar zu ökonomisch vertretbaren Kosten. Die Unternehmen haben bereits begonnen, auf Ökostrom umzustellen, und in verschiedenen Projekten ist vorgesehen, künftig Deponiegas und Wärme aus Abwasser zu nutzen. Für die Mitarbeiter sollen Anreize geschaffen werden, das Industriegebiet mit dem ÖPNV anstatt mit dem privatem PKW zu erreichen (Regionalbahnhof, „Mobility-Hubs“).

Um die Nutzung der Ressource Wasser effizienter zu gestalten, sollen Biokläranlagen zur Grauwasserklärung sowie Regenentwässerungssysteme errichtet werden. Maßnahmen zur besseren Versickerung von Regenwasser wurden bereits umgesetzt. Ein Unternehmen des Netzwerks hat eine neue Versickerungsmulde angelegt, an die bis jetzt schon 25 % (fast 4.000 m<sup>2</sup>) der versiegelten Fläche angeschlossen werden konnten. Dies ist nicht nur ökologisch sinnvoll (Schutz des Grundwasserspiegels), sondern führt auch zu einer jährlichen Einsparung von 12.000 €, da die Regenwassereinleitgebühren für diese Fläche entfallen.<sup>116</sup>

Es wurde eine bislang 400 m lange Hecke gepflanzt, durch die 4.000 kg CO<sub>2</sub> pro Jahr eingespart werden.<sup>117</sup> Außerdem konnte schon vor fast zehn Jahren eine betriebsnahe Kita mit inzwischen 80 Plätzen durch die Zusammenarbeit im Netzwerk errichtet werden.<sup>118</sup>

---

<sup>115</sup> Vgl. UnternehmensNetzwerk Motzener Straße e.V. (2016).

<sup>116</sup> Vgl. UnternehmensNetzwerk Motzener Straße e.V. (2018a).

<sup>117</sup> Vgl. UnternehmensNetzwerk Motzener Straße e.V. (2018b).

<sup>118</sup> Vgl. UnternehmensNetzwerk Motzener Straße e.V. (2018c).

Das Projekt NEMo ist im Rahmen des bundesweiten Innovationswettbewerbs „Deutschland – Land der Ideen“ als „Ausgezeichneter Ort 2016“ geehrt worden.

#### 4.5.4 Gewerbegebiet Ludwig-Erhard-Allee, Bielefeld

Im Osten Bielefelds befindet sich das Gewerbegebiet Ludwig-Erhard-Allee, eines der größten gewerblichen Areale in Bielefeld. Auf dem ungefähr 116 ha großen Gebiet sind rund 2.300 Angestellte in über 50 Unternehmen beschäftigt, darunter produzierendes Gewerbe (36 % der Angestellten), Dienstleistungsunternehmen und Logistikbetriebe.<sup>119</sup>

Die Ziele liegen darin, die CO<sub>2</sub>-Emissionen um 40 % bis zum Jahr 2020 zu senken und eine CO<sub>2</sub>-Neutralität im Jahr 2050 zu erreichen. Dafür wurde 2016 ein Klimaschutz-Teilkonzept in sechs Schritten (Bestandsaufnahme – Potenzialanalyse – Maßnahmenkatalog – Konzept Öffentlichkeitsarbeit – Controlling-Konzept) erarbeitet.

Die Potenzialanalyse für das Gewerbegebiet ergab, dass der Großteil der Emissionen bei der Erzeugung von Raumwärme, Warmwasser (25 %) und mechanischer Energie (23 %) sowie bei der Beleuchtung (20 %) entsteht. Es wurde ein hohes technisches und wirtschaftliches Potenzial zur Nutzung von Solarenergie über Photovoltaik- sowie Solarthermieanlagen aufgedeckt. Dafür sollen jedoch nur Dachflächen genutzt werden. Das Potenzial zur Nutzung von Windenergie wurde lediglich als mittelmäßig eingestuft.<sup>120</sup>

Konkrete Maßnahmen zur Steigerung der Energieeffizienz sind beispielsweise: die Einführung von Smart-Metering (intelligente Stromzähler), energetische Gebäudesanierung, Heizungsabgleich oder die Optimierung der Druckluftsysteme. Bei einer Abstimmung zu möglichen Maßnahmen galten die Einführung von LED-Beleuchtung, der Einsatz von Photovoltaikanlagen und Biogas-BHKW als Favoriten.

---

<sup>119</sup> Vgl. Zero Emission GmbH (2015).

<sup>120</sup> Vgl. Zero Emission GmbH (2016), S. 132.

Weitere angedachte Maßnahmen betrafen den Ausbau des ÖPNVs und gemeinsame Stationen für Elektrofahrräder, um die Synergien im Gewerbegebiet zu nutzen.

#### 4.5.5 Verwertungsnetzwerk Pfaffengrund, Heidelberg

Das Gewerbegebiet Pfaffengrund umfasst eine Fläche von ca. 93 ha und zählt zu den größten geschlossenen Gewerbegebieten in Heidelberg. Ungefähr 45 Betriebe mit insgesamt 7.500 Beschäftigten sind an dem Standort angesiedelt.<sup>121</sup>

Bereits 1996 wurde ein Projekt initiiert, das den Aufbau eines zwischenbetrieblichen Stoffverwertungsnetzwerks im Heidelberger Industriegebiet Pfaffengrund zum Ziel hatte. Vorbild war das Gewerbegebiet Kalundborg. Dafür wurden zunächst Einzelgespräche mit den Betrieben geführt und das innerbetriebliche Abfallmanagement analysiert. Es erfolgte eine Abfalldatenaufnahme in den Einzelbetrieben, bei der Abfallart, -menge und Entsorgungskomponenten der Abfallströme separat aufgenommen wurden. Auf diese Weise konnten Schwachstellen innerhalb des Betriebs erkannt und bereits erste innerbetriebliche Optimierungen und Kosteneinsparungen bewirkt werden.<sup>122</sup>

Danach wurde die betriebsübergreifende Ebene betrachtet. Daraus entstand ein Daten-Pool über die erfassten Abfallmengen und Qualitäten. Auf dieser Basis konnten sich folgende Kooperationspartnerschaften entwickeln:<sup>123</sup>

- Ein Wellpappehersteller nahm bestimmte Altpapiermengen anderer Firmen an.
- Ein Leuchtstoffreklamenhersteller erklärte sich bereit, den Leuchtstoffröhrenabfall anderer Firmen zu sammeln und mit seinem eigenen zu entsorgen, da bestimmte Entsorgungswege erst ab einer kritischen Materialmenge wirtschaftlich werden.

---

<sup>121</sup> Vgl. Drees & Sommer Advanced Building Technologies GmbH (2014), S. 15.

<sup>122</sup> Vgl. Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (2014), S. 55 ff.

<sup>123</sup> Vgl. Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (2014).

- Es wurde ein Ringverkehrssystem zur Aufarbeitung und Weiterverwendung von Holzpaletten entwickelt.
- Ein Unternehmen konnte den Polyethylen-Abfall eines Nachbarunternehmens nach interner Aufbereitung in seinen eigenen Produktionsprozess aufnehmen.

Viele der Kooperationen bestehen auch heute noch und es hat sich ein Arbeitskreis „Stoffstrommanagement“ etabliert. Das Verwertungsnetzwerk führte nicht nur zu einer Verringerung der Transportkilometer und der Entsorgungskosten, sondern auch zu einer allgemeinen Senkung der Entsorgungsmengen.<sup>124</sup>

#### 4.5.6 Betriebsübergreifende Nutzung von Prozessabwärme

Die in Singen ansässige Firma Georg Fischer Automobilguss GmbH produziert im Jahr 200.000 t Gussteile für die Fahrzeugindustrie.<sup>125</sup> Die Herstellung des Eisens erfolgt in einem Heißwind-Kupolofen. Nur ein Drittel der dabei entstehenden Abwärme kann zur internen Verwendung genutzt werden. Daher entschied das Unternehmen 2008, seinen alten Rekupator durch einen bis zu 20 % effizienteren zu ersetzen (bis zu 14 MW können zusätzlich genutzt werden) und ein 400 m langes Rohrleitungssystem zur Versorgung des benachbarten Maggi-Werks von Nestlé zu errichten.<sup>126</sup> Die überschüssige Abwärme wird ausgekoppelt und vom Lebensmittelhersteller ganzjährig zur Dampferzeugung gegen eine Gebühr genutzt. Auf diese Weise konnte der Nestlé-Konzern seinen Erdgasverbrauch zur Dampferzeugung um zwei Drittel und die CO<sub>2</sub>-Emissionen um jährlich 11.000 t verringern. Der Dampf wird zur Sterilisation von Lebensmitteln sowie für Trocknungsprozesse und andere thermische Verfahren genutzt. Das heiße Thermoöl (Energieträger) wird dafür vom Rekupator der Georg Fischer Automobilguss GmbH über das

---

<sup>124</sup> Vgl. Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (2014), S. 57.

<sup>125</sup> Vgl. Georg Fischer AG (2009), S. 3.

<sup>126</sup> Vgl. Bettinger, F. und Kenzler, M. (2009), S. 6.

Rohrleitungssystem zum Kesselhaus von Maggi geleitet und in einen Sicherheitswärmetauscher geführt. Insgesamt sollen bis zu 50.000 MWh Energie eingespart werden.<sup>127</sup>

Bei einem Ausfall der Abwärmelieferung durch die Firma Georg Fischer Automobilguss GmbH kann die Firma Maggi den in ihrem Unternehmen angesiedelten Dampfkessel sofort mit Erdöl befeuern. Damit ist die Versorgung in dem Unternehmen gesichert.

Auch wirtschaftlich ist das Pilotprojekt für die beiden Unternehmen interessant. Maggi zahlt pro gelieferter Megawatt einen vertraglich festgesetzten Preis, der unter dem des davor bezogenen Erdgases liegt und zusätzlich eine Preisstabilität garantiert. Auch das Unternehmen Georg Fischer Automobilguss GmbH geht davon aus, dass sich das Projekt schnell amortisiert, da sie das nicht genutzte Abfallprodukt Abwärme an ihren Nachbarn verkaufen können. Zusätzlich hat das Bundesumweltministerium das Pilotprojekt im Rahmen des Umweltinnovationsprogramms mit 700.000 € gefördert.<sup>128</sup>

---

<sup>127</sup> Vgl. Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg (2014), S. 25.

<sup>128</sup> Vgl. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (2008).

## 5 VERNETZUNG MIT WOHNGBIETEN

Die Trennung von Gewerbe- und Wohngebieten löst sich mehr und mehr auf. Die Städte wachsen und umschließen die oft am Stadtrand liegenden Gewerbegebiete. Zusätzlich wird die Produktion in der Stadt attraktiver, da die Anbindung zum potenziellen Arbeitgeber ein Entscheidungsfaktor ist und die Kundennähe für die Unternehmen wichtiger wird. Die Produktion in urbanen Räumen mit ihren Chancen und Herausforderungen gerät dabei immer mehr in die Diskussion und ist in verschiedenen Forschungsprojekten<sup>129</sup> Thema. Im Folgenden werden dazu die Konfliktpotenziale und die Beziehungen zwischen Gewerbegebieten und anliegenden Wohngebieten hinsichtlich Ressourceneffizienzpotenzialen näher untersucht. Die Potenziale liegen größtenteils im Bereich Energie und Fläche. Die Ressourcen Wasser und Material haben kaum Potenzial für Synergien und werden deshalb nicht betrachtet.

### 5.1 Konfliktpotenziale

Bei Gewerbegebieten in der Nähe von Wohngebieten bestehen verschiedene Konfliktpotenziale. Die Geräuschemissionen von Gewerbegebieten, das erhöhte Verkehrsaufkommen und klimaschädliche Emissionen sind die wesentlichen Diskussionspunkte. Ist das Gewerbegebiet nach den vorhergehenden Ressourceneffizienzmaßnahmen weiterentwickelt worden, hat es seine Emissionen stark reduziert. Trotzdem sollten weitere Lärmschutzmaßnahmen geprüft werden, ebenso wie ein Verkehrskonzept, das die Wohngebiete entlastet. Unter anderem können diese Konfliktpotenziale durch folgende Maßnahmen reduziert werden:

- Minimierung der Schadstoffemissionen durch moderne Filtertechnik,
- Reinigung der Luft durch Begrünung von Straßenelementen und Gebäuden,
- Senkung der Lärmemissionen durch bauliche Maßnahmen und geräuscharme Produktionsprozesse,

---

<sup>129</sup> Vgl. Institut Arbeit und Technik der Westfälischen Hochschule Gelsenkirchen (2017), S. 11.

- Minimierung des Verkehrsaufkommens durch eine effiziente Anbindung an das ÖPNV- und Gütertransportnetz,
- Verminderung der Verkehrsbelastung in Wohngebieten durch eine kurze Anbindung zu Hauptverkehrsachsen (z. B. Autobahnen).

Durch das Anwachsen der Städte werden immer mehr Gewerbegebiete von Wohnungsbauten umschlossen. Dadurch können sich die Gewerbegebiete flächenmäßig kaum noch vergrößern. Eine Lösung für Unternehmen kann die vertikale Produktion bzw. Stockwerkfabrik darstellen. In einer vertikalen Produktion werden Produktionsschritte bzw. -einheiten räumlich übereinander angeordnet. Dadurch wird weniger Fläche überbaut und benötigt.<sup>130</sup>

Der österreichische Traditionsbetrieb Manner stellte seinen Betrieb auf eine vertikale Produktion um (Abbildung 9). So konnte das Unternehmen nicht nur den Standort in der Stadt Wien ausbauen (30 % Flächenerweiterung), sondern steigerte seine Energieeffizienz durch die interne Nutzung von Abwärme.<sup>131</sup>

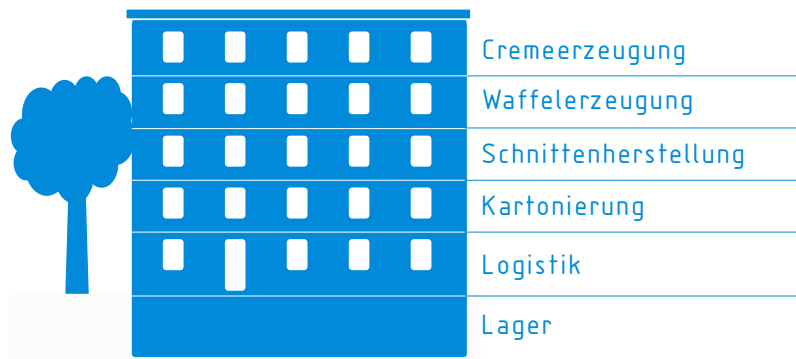


Abbildung 9: Beispielhafte vertikale Produktion eines Süßwarenherstellers (vgl. Josef Manner & Comp. AG, Standort Wien)

<sup>130</sup> Vgl. Neckhaim Consulting GmbH (2018).

<sup>131</sup> Vgl. Josef Manner & Comp. AG (2015), S. 2.

## 5.2 Energie

In Gewerbegebieten wird nicht nur viel Energie gebraucht, sondern auch abgegeben, meist in Form von Abwärme durch wärmeintensive Produktionsschritte, wie Brennöfen oder Querschnittstechnologien. Kann diese Abwärme weder vermieden noch im Unternehmen selbst genutzt werden, besteht die Möglichkeit, diese Energie externen Abnehmern bereitzustellen. Diese müssen sich nicht zwangsweise innerhalb des Gewerbegebiets befinden, wie in Kapitel 4.1.2 beschrieben. Auch nahegelegene Wohngebiete können die Abwärme nutzen. Die einzelnen Teile der technischen Lösung (z. B. Wärmepumpen) für eine Umsetzung eines Wärmeverbunds zwischen Unternehmen und Wohnhäusern sind bekannt. Es besteht die Möglichkeit, das Netz als Fern-, Nah- und Niedrigenergienetz je nach Temperaturbereich<sup>132</sup> der Abwärme zu planen.

Chancen für alle Beteiligten eines Wärmeverbunds:

- verschiedene Ausbaustufen der Wärmesenken,<sup>133</sup>
- Nutzung als emissionsfrei angesehene Abwärme,<sup>134</sup>
- Imagegewinn für das Unternehmen und Steigerung der Nachhaltigkeit im Unternehmen,
- Aufbau einer Beziehung zwischen Unternehmen und Wohngebiet: positive Stimmung, höhere Akzeptanz für die Unternehmen vor Ort.

Besonderheiten eines Wärmenetzes mit industrieller Abwärme:

- hoher organisatorischer Aufwand durch verschiedene Beteiligte: Unternehmen, öffentliche Hand, Wärmeabnehmer, Contracting-Partner,
- lange Amortisationszeiten: Planung auf lange Sicht,

---

<sup>132</sup> Näheres zu den Temperaturbereichen wird in den Kapiteln 4.1.2, 4.1.3 erläutert.

<sup>133</sup> Vgl. Kühn, A. (2017), S. 16.

<sup>134</sup> Vgl. Fraunhofer-Institut für Umwelt-, Sicherheits- und Energietechnik (1998), S. 20.



- eine erforderliche Mindestanzahl von Wärmeabnehmern bzw. einer Wärmemenge (für Abnehmer muss die Umstellung/der Anschluss rentabel sein),
- rechtliche Besonderheiten müssen geklärt sein (z. B. eine Zusicherung der Abwärme für x Jahre),
- hohe Anfangsinvestitionen, abhängig von der Transportentfernung,
- Absicherung durch einen konventionellen Ersatzwärmeerzeuger.

Durch den erhöhten Organisationsaufwand und die rechtlichen Herausforderungen sind bis dato nur vereinzelte Projekte umgesetzt (Kapitel 5.4). Die neuen Förderprogramme zur Abwärmenutzung oder zu Modellvorhaben „Wärmenetze 4.0“ (Niedertemperaturwärmenetze) unterstützen Unternehmen und kommunale Betriebe finanziell bei der Umsetzung.

### 5.3 Fläche

Meist stehen Gewerbegebiete für asphaltierte Straßen, große Industriegebäude und wenig attraktive Freiräume. Nach Feierabend leeren sich die Gewerbegebiete und werden gemieden. Aufgrund der vielen versiegelten Flächen und geringen Grün- und Wasserflächenanteile entstehen Wärmeinseln, die das Stadtklima negativ beeinflussen. Durch eine Integration des Gewerbegebiets in die Umgebung können sowohl dessen Attraktivität als auch das Stadtklima verbessert werden.

- **Grünvernetzung:** Bei der Begrünung eines Gewerbegebiets sollte die Umgebung mit einbezogen werden, sodass „Grünkorridore“ entstehen können, die das Gewerbegebiet mit seiner Umgebung vernetzen. Zusätzlich kann die Windrichtung berücksichtigt werden, um so die Erwärmung des Gewerbegebiets zu mindern. Bei einem bestehenden Gewerbegebiet kann eine Aufwertung vorhandener Grünflächen durch Baum- und Heckenpflanzungen stattfinden.
- **Soziale Treffpunkte:** Durch die Schaffung öffentlicher Treffpunkte, wie Cafés oder Fitnesscenter, steigt die Attraktivität des Gewerbegebiets nicht

nur für die Arbeitnehmer, sondern auch für die Anwohner. Zusätzlich sorgen öffentliche Angebote für eine Belebung des Gewerbegebiets nach der Arbeitszeit.

- **Wegeführung:** Durch attraktive Fuß- und Radwegeverbindungen kann sich das Gewerbegebiet für die Anwohner öffnen und sich so als aktiver Stadtbaustein eingliedern.

Die Einbindung des Gewerbegebiets in das Stadtgefüge belebt das Gewerbegebiet und erhöht die Aufenthaltsqualität. Für Arbeitnehmer und Anwohner gewinnt es an Naherholungsqualität, was zu einer zusätzlichen Standortattraktivität beiträgt. Durch die Belebung des Gewerbegebiets wird auch das Sicherheitsgefühl gesteigert. Weitere Vorteile sind die dadurch entstehende effiziente Flächennutzung im Gebiet auch abseits der Arbeitszeit und die Verbesserung des Stadtklimas (Begrünung). Die Maßnahmen sollten bereits in der Planung eines Gewerbegebiets berücksichtigt werden. Bei bestehenden Gewerbegebieten kann in Zusammenarbeit mit der öffentlichen Hand ein Konzept erstellt werden.<sup>135</sup>

## 5.4 Beispiele

### 5.4.1 Nahwärmeversorgung durch industrielle Abwärme

In Kooperation mit der Waffelfabrik Meyer zu Venne GmbH & Co. KG hat die von der Kommune und den Bürgern gegründete Bürger-Energiegenossenschaft Venner Energie eG eine Nahwärmeversorgung durch industrielle Abwärme realisiert und kann damit mehr als 1.100 t CO<sub>2</sub> jährlich einsparen.

Bei den Herstellungsprozessen in der Waffelfabrik entstehen jährlich ca. 10 Mio. kWh Abwärme. Vor der Realisierung des „Abwärmeprojekts“ wurde diese ungenutzt an die Umwelt abgegeben. Im Rahmen eines Klimaschutzkonzeptes des Landkreises Osnabrück entstand die Idee einer Nahwärmeversorgung durch industrielle Abwärme. Durch eine gute Zusammenarbeit von Politik, Verwaltung und Bevölkerung in der Gemeinde Ostercappeln und

---

<sup>135</sup> Vgl. Wissenschaftsladen Bonn e.V. (2017), S. 15 f.

dem Unternehmen Meyer zu Venne konnte die Nahwärmeversorgung mit 154 angeschlossenen Grundstücken realisiert werden.

Durch die Abwärme wird der Wärmeträger Wasser auf ca. 90 °C erhitzt, mithilfe eines Nahwärmenetzes zu den Häusern transportiert und über Hausstationen übergeben. Schwankungen bei dem Bedarf und der Versorgung werden durch einen Pufferspeicher mit 1.000 m<sup>3</sup> Volumen ausgeglichen. Für die Versorgung bei Spitzenlasten sind zwei zusätzliche Kessel installiert.

Die Kosten für den Bau des Nahwärmenetzes, des Pufferspeichers, der zwei Spitzenlastkessel sowie der 154 Hausstationen beliefen sich auf ca. 3,94 Mio. €. Rund 1 Mio. € konnte davon als KfW-Förderung in Anspruch genommen werden. Die Finanzierung von weiteren 2,7 Mio. € erfolgte über Kredite, die restlichen Kosten übernahm die Genossenschaft. Die Investitionen werden sich in rund zehn Jahren amortisiert haben.<sup>136</sup>

#### 5.4.2 Industrieabwärme in Hamburg

Der Kupferkonzern Aurubis AG will in Zusammenarbeit mit enercity Contracting Nord GmbH einen Teil der im Unternehmen anfallenden Abwärme zur Versorgung der Hafencity Ost bereitstellen.

Der Kupferkonzern Aurubis AG produziert Kupferkathoden und daraus diverse Kupferprodukte. Bei der Produktion entsteht Abwärme, die durch drei Stränge in der Anlage ausgekoppelt werden kann. Aus einem Strang können pro Jahr etwa 160 Mio. kWh gewonnen werden. Einen Teil der industriellen Abwärme nutzt das Unternehmen selbst und kann damit auf den Einsatz von Erdgas zur Dampferzeugung verzichten. So kann der Kupfererzeuger jährlich rund 10.000 t CO<sub>2</sub> im eigenen Betrieb einsparen. Ein weiterer Teil der Abwärme (70 Mio. kWh) wird ausgekoppelt und bis an die Werksgränze geliefert. Enercity organisiert die Absicherung und den Weitertransport der Wärme zu den jeweiligen Nutzungsgebieten. Durch die ausgekoppelte Wärmemenge würde die Hafencity Ost fast ausschließlich mit der Abwärme von Aurubis versorgt werden.

---

<sup>136</sup> Vgl. Deutsches Institut für Urbanistik (2016).

Die Hafencity Ost kann im Endausbau (Ziel ist 2029) rund 4.500 t CO<sub>2</sub> pro Jahr einsparen.<sup>137</sup> Die Deutsche Energie-Agentur (dena) hat das Projekt um die vereinbarte Fernwärmelieferung als „Leuchtturm energieeffizienter Abwärmennutzung“ bezeichnet.<sup>138</sup>

### 5.4.3 Niedertemperaturnetz Meitingen

Die Marktgemeinde Meitingen, die SGL Group und die Showa Denko Carbon Division planen die Realisierung eines Niedertemperaturnetzwerks zur Versorgung einer nahegelegenen Neubausiedlung.

Die Produkte der zwei Unternehmen müssen nach den Hochtemperaturprozessen (bis zu 3.000 °C) abgekühlt werden. Das Kühlwasser, das sich dabei auf 30 °C erwärmt, wird in das Nahwärmenetz eingespeist. Pro Stunde fließen 40 m<sup>3</sup> Kühlwasser in das Netz und können auf diese Weise 125 Wohneinheiten des nahegelegenen Neubaugebietes mit Wärme versorgen.<sup>139</sup> Mit Hilfe von Wärmepumpen in den Häusern kann die Abwärme auf das benötigte Niveau gehoben werden. Als Puffer soll ein Tagesspeicher dienen, der einen energieflexiblen Betrieb ermöglicht. Damit kann der aus erneuerbaren Energien gelieferte Strom effizient eingesetzt werden. Das abgekühlte Wasser fließt wieder zu den Unternehmen zurück, damit es erneut zur Kühlung genutzt werden kann. So entsteht ein geschlossener Kreislauf.

1,5 Mio. kWh Energie können pro Jahr durch die Abwärme der Unternehmen abgedeckt werden. Dazu wären im Vergleich 150.000 l Heizöl nötig. Der bayerische Förderverein Kumas – Kompetenzzentrum Umwelt e.V. zeichnete das Projekt als Leitprojekt 2017 aus.<sup>140</sup>

---

<sup>137</sup> Vgl. Deutsche Energie-Agentur GmbH (dena) (kein Datum).

<sup>138</sup> Vgl. Deutsche Energie-Agentur GmbH (dena) (2017b).

<sup>139</sup> Vgl. VMM Wirtschaftsverlag GmbH & Co. KG (2017).

<sup>140</sup> Vgl. KUMAS – Kompetenzzentrum Umwelt e. V. (2017).

## 6 FAZIT

Die vorliegende Kurzanalyse zeigt Ressourceneffizienzpotenziale in Gewerbegebieten auf. Die Besonderheit liegt bei ihnen in der lokalen Häufung von Unternehmen. Außerdem rückt das Thema der „Nullemissionsgewerbegebiete“ immer mehr in den Fokus, da Gewerbegebiete oft von wachsenden Städten eingeschlossen werden.

Die meisten Ressourceneffizienzpotenziale liegen im Unternehmen selbst. Sind diese ausgeschöpft, bestehen weitere Potenziale in der Vernetzung innerhalb des Gewerbegebiets oder mit angrenzenden Wohngebieten.

Abbildung 10 zeigt in einer Übersicht Chancen und Herausforderungen der drei Betrachtungsräume.

	Unternehmen	Gewerbegebiet	Gewerbegebiet + Wohngebiet
CHANCEN	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ressourceneinsparung</li> <li>• Einsatz erneuerbarer Energien</li> <li>• Kreislaufführung von Ressourcen</li> <li>• ...</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Überbetriebliche Kreislaufführung</li> <li>• Steigerung der Flächeneffizienz</li> <li>• ...</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Abwärmenutzung</li> <li>• Steigerung der Flächeneffizienz</li> <li>• ...</li> </ul>
	Mangelnde Kenntnisse über In-/Outputströme		
	Mangelnde Kenntnisse über Produktions-/Prozessabläufe		
HERAUSFORDERUNGEN	Betriebliche Stabilität		
	Rechtliche Absicherung		
	Technische Absicherung		
	Hohe Investitionen		

Abbildung 10: Übersicht der Chancen und Herausforderungen

### Chancen

Unternehmen, Gewerbegebiete und die Vernetzung mit anliegenden Wohngebieten bergen große Ressourceneffizienzpotenziale. Sowohl innerbetrieblich als auch überbetrieblich können Ressourcen weiterverwertet werden und es kann ein geschlossener Kreislauf entstehen. Im Gewerbegebiet ist als überbetriebliche Maßnahme vor allem das Potenzial von Abwärme zu nennen. Diese kann auch von umliegenden Wohngebieten abgenommen werden. Ebenso können Materialien überbetrieblich weitergenutzt werden, wobei es im Vergleich zur Abwärme deutlich schwieriger ist, einen passenden Abnehmer zu finden. Die gemeinsame Nutzung von Einrichtungen wie Kantinen oder Seminarräumen ermöglicht es, Flächen effizienter zu nutzen. Viele Umsetzungen von Effizienzmaßnahmen in Gewerbegebieten und in der Vernetzung mit Wohngebieten sind noch „Leuchtturmprojekte“, die das Potenzial der Vernetzung aufzeigen.

### Herausforderungen

Damit eine Steigerung der Ressourceneffizienz und die Vernetzung mit anderen Unternehmen innerhalb eines Gewerbegebiets oder darüber hinaus mit umliegenden Wohngebieten möglich sind, müssen die In- und Outputströme sowie die Produktions- und Prozessabläufe im eigenen Betrieb bekannt sein. Dies ist oftmals jedoch nicht der Fall. Eine Kooperation zwischen Unternehmen kann nur auf der Grundlage sicherer Daten entstehen. Dazu müssen die Unternehmen auch Kenntnisse über die groben Ressourcenströme der benachbarten Unternehmen erlangen. Diese wissen oft kaum etwas übereinander.

Die einzelnen Unternehmen sollten ihre betriebliche Stabilität gewährleisten können, um so das Risiko für einen Kooperationspartner zu verringern. Sie sollten über eine kontinuierliche und stabile Produktion ohne nennenswerte Ausfälle verfügen und auch wirtschaftlich stabil aufgestellt sein. Denn ein Ausfall bei einer überbetrieblichen Kooperation birgt ein erhebliches Risiko für den Abnehmer.

Um dieses Risiko zu vermindern, sollten sich die Kooperationspartner rechtlich absichern. In einem Vertrag sollte die Abnahme einer Ressource auf ei-

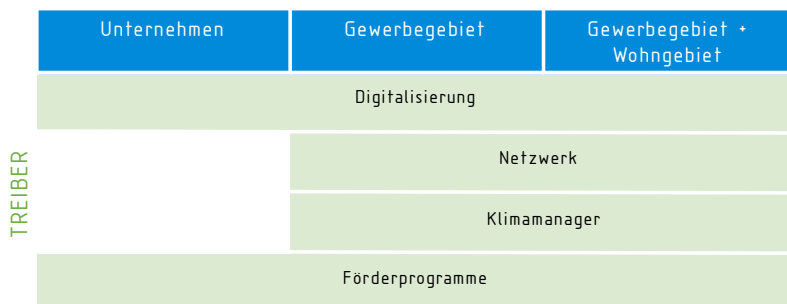
nen bestimmten Zeitraum genau festgelegt sein. Weiterhin sollten Vereinbarungen für den Fall von Lieferausfällen in einem Unternehmen getroffen werden.

Die Unternehmen sollten sich neben der rechtlichen Absicherung auch technisch mit einem „Plan B“ bei jedem Projekt absichern, um bei plötzlichen Veränderungen oder Ausfällen sofort reagieren zu können. In einer industriellen Symbiose sollten sich alle Partner regelmäßig absprechen und diese bei anstehenden vorhersehbaren Veränderungen weiterentwickeln bzw. anpassen.

Außerdem kann eine überbetriebliche Vernetzung mit ihrem zusätzlichen Absicherungssystem anfangs mit hohen Investitionskosten verbunden sein.

#### Hinweise zur Umsetzung

Die vorliegende Kurzanalyse zeigt verschiedene Treiber auf, die das Umsetzen von Ressourceneffizienzmaßnahmen im Gewerbegebiet erleichtern (Abbildung 11).



**Abbildung 11: Treiber bei der Umsetzung**

Als ein Treiber kann die zunehmende Digitalisierung, die viele Möglichkeiten zur besseren Erfassung der Ressourcenströme im Unternehmen und Vernetzung von Datenströmen zwischen den Unternehmen bietet, angesehen werden. Neue Technologien wie Blockchain, die einen sicheren Informationsaustausch und Transaktionen versprechen (u. a. bei Smart Contracts, Peer-to-Peer-Netzwerken), können zusätzlich nützlich sein.

Für Unternehmen in Gewerbegebieten ist der Zusammenschluss in ein Unternehmensnetzwerk ein wichtiger Schritt, um das benötigte Vertrauen untereinander aufzubauen und von gemeinsamen Erfahrungen und Wissen zu profitieren. Dort können Maßnahmen gemeinsam geplant und vorbereitet werden. Durch das Bündeln von Wissen der einzelnen Unternehmen und das zentrale Steuern durch eine oder mehrere „Netzwerkverantwortliche“ können sich die Unternehmen oft Kosten und Aufwand teilen. Die Gründung eines Unternehmensnetzwerks mit regelmäßigen Treffen kann dafür sinnvoll sein.

Zur Unterstützung des Vorhabens kann ein externer Klimamanager nützlich sein. Er kann Teile der Organisation übernehmen und die Unternehmen zeitlich entlasten. Als neutraler Ansprechpartner ist es für ihn meist leichter, Daten der Unternehmen zu sammeln. Voraussetzung dafür ist zusätzlich eine Vertraulichkeitserklärung.

Als hilfreich bei der Umsetzung von Ressourceneffizienzmaßnahmen in Gewerbegebieten können sich Förderprogramme erweisen, die Unternehmen dabei finanziell unterstützen. Das Bundesumweltministerium fördert im aktuellen Förderzeitraum bis Dezember 2019 Klimaschutzteilkonzepte in Gewerbegebieten. Nach der Erstellung eines solchen Klimaschutzteilkonzepts werden auch die Anstellung eines Klimaschutzmanagers im Gewerbegebiet und die Umsetzung verschiedener Maßnahmen gefördert.<sup>141</sup>

### Ausblick

In Zukunft wird die Vernetzung, einerseits durch die Digitalisierung, andererseits durch das Zusammenwachsen von Gebieten mit verschiedenen Nutzungen, eine große Rolle spielen. Die Symbiosen, die sich daraus ergeben, bieten ein hohes Potenzial, Ressourcen einzusparen, und sollten deshalb genutzt werden.

---

<sup>141</sup> Weitere Informationen unter [www.klimaschutz.de/kommunalrichtlinie](http://www.klimaschutz.de/kommunalrichtlinie)



---

## LITERATURVERZEICHNIS

**Allianz für die Region GmbH (2015):** oeding print GmbH. Neubau für die Zukunft. Allianz für die Region GmbH, auch verfügbar als PDF unter: [https://www.oeding-print.de/fileadmin/oedingprint/pdf/presse\\_AfR\\_2015.pdf](https://www.oeding-print.de/fileadmin/oedingprint/pdf/presse_AfR_2015.pdf)

**Andrews, M.; Berardo, P. und Foster, D. (2011):** The sustainable industrial water cycle – a review of economics and approach. Water Science and Technology: Water Supply. v 11 (1).

**Assmann beraten und planen AG (2008):** Abschlussbericht. Lifecycle Engineering im Industriebau – Verifizierung und Anwendung – 2. Teilprojekt Az 22327/02. DBU, auch verfügbar als PDF unter: [https://www.dbu.de/ab/DBU-Abschlussbericht-AZ-22327\\_02.pdf](https://www.dbu.de/ab/DBU-Abschlussbericht-AZ-22327_02.pdf)

**Bayerisches Staatsministerium für Wirtschaft und Medien, Energie und Technologie (kein Datum):** Abwärmerechner [online]. Bayerisches Staatsministerium für Wirtschaft und Medien, Energie und Technologie [abgerufen am 12. Dez. 2017], verfügbar unter: [https://www.energieatlas.bayern.de/thema\\_abwaerme/rechner.html](https://www.energieatlas.bayern.de/thema_abwaerme/rechner.html)

**Bettinger, F. und Kenzler, M. (2009):** Abwärmennutzung bei einem Kupolofen. Georg Fischer AG, Singen, Berichtsnummer Demo – 001569, auch verfügbar als PDF unter: [http://www.georgfischer.com/content/dam/gf/documents/de/medienmitteilung\\_gf\\_maggi\\_lang.pdf](http://www.georgfischer.com/content/dam/gf/documents/de/medienmitteilung_gf_maggi_lang.pdf)

**BINE Informationsdienst (2015):** Industriehallen auf dem energetischen Prüfstand. FIZ Karlsruhe – Leibniz-Institut für Informationsinfrastruktur GmbH, 7. Okt. 2015, auch verfügbar als PDF unter: <http://www.bine.info/themen/gebaeude-stadt/news/industriehallen-auf-dem-energetischen-pruefstand.pdf>

**Bund Deutscher Architekten BDA Landesverband Bayern (2017):** Halle design.s [online]. BDA Landesverband Bayern e.V. [abgerufen am: 2. Aug. 2017], verfügbar unter: <http://www.bda-preis-bayern.de/teilnehmer/preis/halle-designs.html>

**Bund Deutscher Architekten BDA Münster-Münsterland (2017):** Preisträger BDA Preis Bayern 2013. Halle design.s. [online]. BDA Münster-Münsterland [abgerufen am: 2. Aug. 2017], verfügbar unter: <http://www.bda-preis-bayern.de/preistraeger.html>

**Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (2008):** Industrielle Abwärme - doppelt genutzt [online]. BMUB, 17. April 2008 [abgerufen am: 30. Jan. 2018], verfügbar unter: <https://www.bmub.bund.de/pressemitteilung/industrielle-abwaerme-doppelt-genutzt/>

**Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (2014):** Nachhaltige Entwicklung von Gewerbegebieten im Bestand. BMUB, Dortmund, Aktenzeichen 10.04.04-13.020, auch verfügbar als PDF unter: [http://www.bbsr.bund.de/BBSR/DE/FP/ExWoSt/Studien/2013/EntwicklungGewerbegebiete/Downloads/Endbericht.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=3.pdf](http://www.bbsr.bund.de/BBSR/DE/FP/ExWoSt/Studien/2013/EntwicklungGewerbegebiete/Downloads/Endbericht.pdf?__blob=publicationFile&v=3.pdf)

**Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktionssicherheit (2015):** Grün in der Stadt - Für eine lebenswerte Zukunft. Grünbuch Stadtgrün. 1. Auflage, BMUB, Berlin, auch verfügbar als PDF unter: [http://www.bmub.bund.de/fileadmin/Daten\\_BMU/Pool/Broschueren/gruenbuch\\_stadtgruen\\_broschuere\\_bf.pdf](http://www.bmub.bund.de/fileadmin/Daten_BMU/Pool/Broschueren/gruenbuch_stadtgruen_broschuere_bf.pdf)

**Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (2016):** Was bedeutet "Sektorkopplung"? [online]. Bundesministerium für Wirtschaft und Energie, 11. Juli 2013 [abgerufen am: 29. Jan. 2018], verfügbar unter: <https://www.bmwi-energiewende.de/EWD/Redaktion/Newsletter/2016/14/Meldung/direkt-erklaert.html>

**Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (2017a):** Endenergie-nutzung. Verteilung des Endenergieverbrauchs in Deutschland [online]. Bundesministerium für Wirtschaft und Energie [abgerufen am: 1. Aug. 2017], verfügbar unter: <http://eneff-industrie.info/quickinfos/zweitequick/verteilung-des-endenergieverbrauchs-in-deutschland/>

**Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (2017b):** Endenergie-nutzung. Einsparpotenzial in Industrie und Gewerbe [online]. Bundesministerium für Wirtschaft und Energie [abgerufen am: 1. Aug. 2017], verfügbar unter: <http://eneff-industrie.info/quickinfos/zweitequick/einsparpotenzial-in-industrie-und-gewerbe/>

**Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (2017c):** Energieeffizienz in Zahlen. Bundesministerium für Wirtschaft und Energie, Berlin, auch verfügbar als PDF unter: [http://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Publikationen/Energie/energieeffizienz-in-zahlen.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=10](http://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Publikationen/Energie/energieeffizienz-in-zahlen.pdf?__blob=publicationFile&v=10)

**Bundesverband Wärmepumpe (BWP) e.V. (2017):** Doppelt nachhaltig: Umweltfreundliche Großwärmepumpen aus energieautarker Produktion [online]. Bundesverband Wärmepumpe (BWP) [abgerufen am: 1. Aug. 2017], verfügbar unter: [https://www.waermepumpe.de/uploads/media/D\\_Alois-Mueller-GmbH\\_Ungerhausen\\_Presstext.pdf](https://www.waermepumpe.de/uploads/media/D_Alois-Mueller-GmbH_Ungerhausen_Presstext.pdf)

**Chertow, M.R. (2000):** Industrial Symbiosis: Literature and Taxonomy. Annual Reviews, Annual Review Energy and Environment, Volume 25, S. 313 - 337, auch verfügbar unter: [https://www.researchgate.net/publication/249558396\\_Industrial\\_symbiosis\\_Literature\\_and\\_taxonomy](https://www.researchgate.net/publication/249558396_Industrial_symbiosis_Literature_and_taxonomy)

**Deffke, U. (2009):** Kooperation auf Wegwerfbasis [online]. Technology Review, 18. Aug. 2009, TR 04/2009 [abgerufen am: 10. Okt. 2016], verfügbar unter: <http://www.heise.de/tr/artikel/Kooperation-auf-Wegwerfbasis-276793.html>

**Deppisch Architekten GmbH (2017):** Projekte [online]. Deppisch Architekten GmbH [abgerufen am: 2. Aug. 2017], verfügbar unter: <http://www.deppischarchitekten.de/projekte>

**design.s (2017):** design.s [online]. design.s [abgerufen am: 1. Aug. 2017], verfügbar unter: [http://www.design-s.de/#we\\_about](http://www.design-s.de/#we_about)

**Deutsche Emissionshandelsstelle (DEHSt) (2008):** Leitfaden zur freiwilligen Kompensation von Treibhausgasemissionen [online]. Deutsche Emissionshandelsstelle (DEHSt) im Umweltbundesamt, Berlin [abgerufen am 31. Jan. 2018], verfügbar unter: <https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/publikation/long/3660.pdf>

**Deutsche Energie-Agentur GmbH (dena) (kein Datum):** Daten und Fakten zur Fernwärmelieferung von Industrieabwärme der Aurubis AG durch enercity für die östliche Hafencity Hamburg. Deutsche Energie-Agentur GmbH, auch verfügbar als PDF unter: [https://www.dena.de/fileadmin/dena/Dokumente/Meldungen/021717\\_FS\\_Fernwaerme.pdf](https://www.dena.de/fileadmin/dena/Dokumente/Meldungen/021717_FS_Fernwaerme.pdf)

**Deutsche Energie-Agentur GmbH (dena) (2013):** Lastmanagement in der Industrie: Erlöse erwirtschaften - zur Energiewende beitragen. Deutsche Energie-Agentur GmbH (dena), Aug. 2013 [abgerufen am 14. Nov. 2017], verfügbar unter: [https://shop.dena.de/fileadmin/denashop/media/Downloads\\_Dateien/esd/9097\\_Flyer\\_Lastmanagement\\_in\\_der\\_Industrie.pdf](https://shop.dena.de/fileadmin/denashop/media/Downloads_Dateien/esd/9097_Flyer_Lastmanagement_in_der_Industrie.pdf)

**Deutsche Energie-Agentur GmbH (dena) (2014):** Der dena-Gebäudereport 2015: Statistiken und Analysen zur Energieeffizienz im Gebäudebestand. Elbe Druckerei Wittenberg, Deutsche Energie-Agentur GmbH (dena), Berlin, Artikelnummer: 2225.

**Deutsche Energie-Agentur GmbH (dena) (2015a):** Energieeffizienz in kleinen und mittleren Unternehmen. Energiekosten senken. Wettbewerbsvorteile sichern. Berlin, auch verfügbar als PDF unter: [https://shop.dena.de/fileadmin/denashop/media/Downloads\\_Dateien/strom/1419\\_Broschuere\\_Energieeffizienz-in-KMU\\_2015.pdf](https://shop.dena.de/fileadmin/denashop/media/Downloads_Dateien/strom/1419_Broschuere_Energieeffizienz-in-KMU_2015.pdf)

**Deutsche Energie-Agentur GmbH (dena) (2015b):** Erfolgreiche Abwärmenutzung im Unternehmen. Energieeffizienzpotenziale erkennen und erschließen. Berlin, auch verfügbar als PDF unter: [https://shop.dena.de/fileadmin/denashop/media/Downloads\\_Dateien/esd/1445\\_Broschuere\\_Abwaermenutzung.pdf](https://shop.dena.de/fileadmin/denashop/media/Downloads_Dateien/esd/1445_Broschuere_Abwaermenutzung.pdf)

**Deutsche Energie-Agentur GmbH (dena) (2017a):** Frische Luft mit wenig Energie [online]. Deutsche Energie-Agentur GmbH (dena) [abgerufen am: 1. Aug. 2017], verfügbar unter: <http://industrie-energieeffizienz.de/energiekosten-senken/energieeffiziente-technologien/lufttechnik/>

**Deutsche Energie-Agentur GmbH (dena) (2017b):** Zehn Unternehmen für dena-Projekt „Leuchttürme energieeffiziente Abwärme“ ausgewählt [online]. Deutsche Energie-Agentur GmbH (dena), 10. April 2017 [abgerufen am: 1. Dez. 2017], verfügbar unter: <https://www.dena.de/newsroom/meldungen/2017/zehn-unternehmen-fuer-dena-projekt-leuchttuerme-energieeffiziente-abwaerme-ausgewaehlt/>

**Deutsches Institut für Urbanistik (2016):** Praxisbeispiel: Gemeinde Ostercappeln. Deutsches Institut für Urbanistik, auch verfügbar als PDF unter: [http://www.venner-energie.de/pics/medien/1\\_1460557087/Praxisbeispiel\\_Ostercappeln-Difu.pdf](http://www.venner-energie.de/pics/medien/1_1460557087/Praxisbeispiel_Ostercappeln-Difu.pdf)

**DGNB GmbH (2016):** Büro- und Gewerbequartiere Version 2016 [online]. DGNB GmbH [abgerufen am: 29. Jan. 2018], verfügbar unter: [http://static.dgnb.de/fileadmin/de/dgnb\\_system/Nutzungsprofile/Kriterienuebersicht/kriterienuebersicht-gq16.pdf?m=1503665385&](http://static.dgnb.de/fileadmin/de/dgnb_system/Nutzungsprofile/Kriterienuebersicht/kriterienuebersicht-gq16.pdf?m=1503665385&)

**Drees & Sommer Advanced Building Technologies GmbH (2014):** C2C-BIZZ Machbarkeitsstudie - Entwicklung eines Gewerbegebiets nach der Cradle-to-Cradle®-Philosophie. Version 1.1, Drees & Sommer Advanced Building Technologies GmbH, Stuttgart, auch verfügbar als PDF unter: [http://www.wege-bielefeld.de/fileadmin/user\\_upload/download/20141030\\_C2C-BIZZ\\_BRANCHEN\\_FINAL\\_MIT\\_ANLAGEN\\_DE.pdf](http://www.wege-bielefeld.de/fileadmin/user_upload/download/20141030_C2C-BIZZ_BRANCHEN_FINAL_MIT_ANLAGEN_DE.pdf)

**Drießen, H. (2015):** Energie sparen unter Nachbarn [online]. Rubin Wissenschaftsmagazin, 31. Juli 2015 [abgerufen am: 19. Okt. 2016], verfügbar unter: <http://rubin.rub.de/de/energie-sparen-unter-nachbarn>

**EnergieAgentur.NRW GmbH (2017a):** Information. Lüftungsanlagen [online]. EnergieAgentur.NRW GmbH [abgerufen am: 1. Aug. 2017], verfügbar unter: <http://www.energieagentur.nrw/energieeffizienz/lueftungsanlagen>

**EnergieAgentur.NRW GmbH (2017b):** Information. Druckluft [online]. EnergieAgentur.NRW GmbH [abgerufen am: 1. Aug. 2017], verfügbar unter: <http://www.energieagentur.nrw/energieeffizienz/effizienztechnologien/druckluft>

**Fachvereinigung Betriebs- und Regenwassernutzung e.V. (fbr) (2009):** Kombination von Regenwassernutzung und Versickerung - warum? [online]. Fachvereinigung Betriebs- und Regenwassernutzung e.V. [abgerufen am: 1. Aug. 2017], verfügbar unter: [https://www.fbr.de/fileadmin/fbr-top\\_Reihe/fbr-top3.pdf](https://www.fbr.de/fileadmin/fbr-top_Reihe/fbr-top3.pdf)

**FAO (2016):** AQUASTAT website. Water uses [online]. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) [abgerufen am: 1. Aug. 2017], verfügbar unter: [http://www.fao.org/nr/water/aquastat/water\\_use/index.stm#related](http://www.fao.org/nr/water/aquastat/water_use/index.stm#related)

**Fraunhofer-Institut für Umwelt-, Sicherheits- und Energietechnik (1998):** Leitfaden Nahwärme. Fraunhofer UMSICHT, ISBN 978-3816751861, auch verfügbar als PDF unter: <http://publica.fraunhofer.de/dokumente/PX-52182.html>

**Georg Fischer AG (2009):** Presseinformation (Langfassung) - Maggi nutzt Abwärme von GF Automotive - 11 000 Tonnen weniger CO2 [online]. Georg Fischer AG, 22. Jan. 2009 [abgerufen am: 30. Jan. 2018], verfügbar unter: [http://www.georgfischer.com/content/dam/gf/documents/de/medienmitteilung\\_gf\\_maggi\\_lang.pdf](http://www.georgfischer.com/content/dam/gf/documents/de/medienmitteilung_gf_maggi_lang.pdf)

**ifeu – Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg GmbH (2010):** Kompensation von CO<sub>2</sub>-Emissionen. ifeu – Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg GmbH, Heidelberg, auch verfügbar als PDF unter: [https://www.ifeu.de/energie/pdf/CO2\\_Kompensation\\_IFEU\\_allgemein.pdf](https://www.ifeu.de/energie/pdf/CO2_Kompensation_IFEU_allgemein.pdf)

**Indigo Development (2016):** Indigo Development [online]. Indigo Development [abgerufen am: 19. Okt. 2016], verfügbar unter: <http://www.indigodev.com/Ecoparks.html>

**Industrie- und Handelskammer Nordschwarzwald (2015):** Leitfaden nachhaltige Gewerbe- und Industriegebiete der Zukunft [online]. Industrie- und Handelskammer Nordschwarzwald [abgerufen am: 16. Dez. 2017], verfügbar unter: [https://www.nordschwarzwald.ihk24.de/blob/pfihk24/produktmarken/standort/downloads/2606258/5845b197982ae8cd37183f8bb80f62f3/Leitfaden\\_Anforderungen\\_an\\_das\\_Gewerbe\\_und\\_Industriegebiet\\_der-1-data.pdf](https://www.nordschwarzwald.ihk24.de/blob/pfihk24/produktmarken/standort/downloads/2606258/5845b197982ae8cd37183f8bb80f62f3/Leitfaden_Anforderungen_an_das_Gewerbe_und_Industriegebiet_der-1-data.pdf)

**Institut Arbeit und Technik der Westfälischen Hochschule Gelsenkirchen (2017):** Urbane Produktion – ein Versuch einer Begriffsdefinition. Institut Arbeit und Technik der Westfälischen Hochschule Gelsenkirchen, Forschung Aktuell 08-2017, ISSN: 1866-0835, verfügbar auch als PDF unter: <http://www.iat.eu/forschung-aktuell/2017/fa2017-08.pdf>

**Johnson, I. et al. (2015):** The potential of industrial symbiosis as a key driver of green growth in Nordic regions, 1. Auflage, Nordregio, Stockholm, ISBN 978-91-87295-34-8.

**Josef Manner & Comp. AG (2015):** Presseinformation - Manner Gleichenfeier des Produktionsgebäudes [online]. Josef Manner & Comp. AG, 16. Sep. 2015 [abgerufen am: 31. Jan. 2018], verfügbar unter: <http://josef.manner.com/de/download/file/fid/6564>

**Kabus, M. (2009):** Adiabate Kühlung – „Kühlen ohne Strom“. Energie-Agentur.NRW GmbH, Wuppertal, auch verfügbar als PDF unter: [http://www.energie-im-unternehmen.de/downloads/adiabate\\_kuehlung.pdf](http://www.energie-im-unternehmen.de/downloads/adiabate_kuehlung.pdf)

**Kalundborg Symbiosis (2016):** Kalundborg Symbiosis [online]. Kalundborg [abgerufen am: 10. Okt. 2016], verfügbar unter: <http://www.symbiosis.dk/en>

**Kühn, A. (2017):** Multivalente Wärmenetze zur Nutzung industrieller Abwärme [online]. Deutsche Energie-Agentur GmbH, 7. Nov. 2017 [abgerufen am: 30. Jan. 2018], verfügbar unter: [http://www.izes.de/sites/default/files/publikationen/Veranstaltungen/4\\_Kuehn\\_3.%20BMUB%20Fachtagung%2007112017.pdf](http://www.izes.de/sites/default/files/publikationen/Veranstaltungen/4_Kuehn_3.%20BMUB%20Fachtagung%2007112017.pdf)

**KUMAS – Kompetenzzentrum Umwelt e. V. (2017):** Niedertemperaturnetz Meitingen – Versorgung eines Neubaugebietes mit industrieller Abwärme. KUMAS – Kompetenzzentrum Umwelt e.V. [abgerufen am: 30. Jan. 2018], verfügbar unter: [http://www.kumas.de/fileadmin/nutzer\\_inhalte/kumas/PDF/Umweltpreise/Leitprojekte/KUMAS-LP-Banner2017-MEITINGEN-WEB.pdf](http://www.kumas.de/fileadmin/nutzer_inhalte/kumas/PDF/Umweltpreise/Leitprojekte/KUMAS-LP-Banner2017-MEITINGEN-WEB.pdf)

**LEW Innovationspreis (2015):** Energie und Produktion im Einklang. Lechwerke AG, auch verfügbar als PDF unter: [https://innovationspreis.lew.de/media/3489/produktion\\_mueller.pdf](https://innovationspreis.lew.de/media/3489/produktion_mueller.pdf)

**Liesegang, D. G.; Sterr, Th. (2003):** Industrielle Stoffkreislaufwirtschaft im regionalen Kontext – Betriebswirtschaftlich-ökologische und geographische Betrachtungen in der Theorie und Praxis. Springer-Verlag, Berlin/Heidelberg, ISBN 978-3-642-62879-5.

**Lombardi, R.; Laybourn, P. (2012):** Redefining Industrial Symbiosis [online]. Journal of Industrial Ecology, Yale University, 15. Feb. 2012, Volume 16, Nummer 1 [abgerufen am: 19. Okt 2016], verfügbar unter: [https://www.google.de/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=8&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKewi\\_09\\_ulYfZAhUFIVAKHTEUDHUQFghU-MAc&url=http%3A%2F%2Fwww.casi2020.eu%2Fapp%2Fweb1%2Ffiles%2Fdownload%2F587\\_lombardi-laybourn-j-1530-9290-2011-00444-x.pdf&usg=AOvVaw3Um-2g5BlApFck2MU4tXUa](https://www.google.de/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=8&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKewi_09_ulYfZAhUFIVAKHTEUDHUQFghU-MAc&url=http%3A%2F%2Fwww.casi2020.eu%2Fapp%2Fweb1%2Ffiles%2Fdownload%2F587_lombardi-laybourn-j-1530-9290-2011-00444-x.pdf&usg=AOvVaw3Um-2g5BlApFck2MU4tXUa)

**Maschinenring Deutschland GmbH (2017):** Mein Ring [online]. Maschinenring Deutschland GmbH [abgerufen am: 13. Dez. 2017], verfügbar unter: <https://www.maschinenring.de/maschinenring-deutschland/mein-ring>

**McKenna, R.; Fichtner, W. (2011):** Energieeffizienz: Tagungsband des VDI-Expertenforums "Energieeffizienz in den Städten und der Industrie von morgen"; vom 22. und 23. Februar 2011 am KIT, Karlsruhe. KIT Scientific Publishing, Karlsruhe, ISBN: 978-3-86644-710-3.

**Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg (2014):** Energieeffizienz in Unternehmen Erfolgsbeispiele aus Baden-Württemberg. 1. Auflage, Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg, Stuttgart, verfügbar auch als PDF unter: [http://www.energieatlas-bw.de/documents/24384/49589/Energieeffizienz\\_in\\_Unternehmen.pdf/6e33ff70-c891-4473-b947-1a2f31599da5](http://www.energieatlas-bw.de/documents/24384/49589/Energieeffizienz_in_Unternehmen.pdf/6e33ff70-c891-4473-b947-1a2f31599da5)

**Mittelstandsinitiative Energiewende und Klimaschutz (2016):** Praxisleitfaden Betriebliches Mobilitätsmanagement [online]. DIHK Service GmbH [abgerufen am: 16. Dez. 2017], verfügbar unter: [http://www.mittelstand-energiewende.de/fileadmin/user\\_upload\\_mittelstand/MIE\\_vor\\_Ort/MIE-Praxisleitfaden\\_Betriebliches\\_Mobilit%C3%A4tsmanagement.pdf](http://www.mittelstand-energiewende.de/fileadmin/user_upload_mittelstand/MIE_vor_Ort/MIE-Praxisleitfaden_Betriebliches_Mobilit%C3%A4tsmanagement.pdf)

**Müller, E.; Engelmann, J.; Löffler, Th. und Strauch, J. (2009):** Energieeffiziente Fabriken planen und betreiben. 1. Auflage, Springer Verlag, Berlin Heidelberg, ISBN 978-3-642-31945-7.

**Müller-Christ, G. (2009):** Managementtools für die Selbststeuerung von Gewerbegebieten und deren nachhaltige Entwicklung - Anregungen und Instrumente für die Koordination und Abstimmung der Nachhaltigkeitsorientierung von Gewerbegebieten [online]. Technische Universität Kaiserslautern, Juli 2009 [abgerufen am: 12. Dez. 2017], verfügbar unter: <http://www.zeroemissionpark.de/Dokumente/Nachhaltigkeitsmanagement.Tools.pdf>

**Neckhaim Consulting GmbH (2018):** Vertikale Produktion [online]. Neckhaim Consulting GmbH [abgerufen am: 30. Jan. 2018], verfügbar unter: <https://neckhaim.at/vertikale-produktion/>

**oeding print GmbH (2017):** Nachhaltigkeit bis ins Detail [online]. oeding print GmbH [abgerufen am: 4. Mai 2017], verfügbar unter: <https://www.oeding-print.de/nachhaltigkeit/>

**Paschotta, R. (2016):** RP-Energie-Lexikon [online]. RP Photonics Consulting GmbH [abgerufen am: 19. Okt. 2016], verfügbar unter: <https://www.energie-lexikon.info/sektorkopplung.html>

**Reichmann, B. (2011):** Leitfaden für Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen zur Bewertung von Maßnahmen der Regenwasserbewirtschaftung [online]. Senatsverwaltung für Stadtentwicklung Berlin [abgerufen am: 29. Jan. 2018], verfügbar unter: [https://digital.zlb.de/viewer/content?action=application&sourcepath=15899235/Leitfaden\\_110711.pdf&format=pdf](https://digital.zlb.de/viewer/content?action=application&sourcepath=15899235/Leitfaden_110711.pdf&format=pdf)



**Rost, N. (2009):** Intelligente Ressourcennutzung: Teilen in Unternehmen, Kommunen und Regionen [online]. Regionalentwicklung.de - Büro für post-fossile Regionalentwicklung, 6. April 2009 [abgerufen am: 13. Dez. 2017], verfügbar unter: <http://www.regionalentwicklung.de/regionales-wirtschaften/technologien-rohstoffe/intelligente-ressourcennutzung-teilen-in-unternehmen-kommunen-und-regionen/>

**Schmitt, B.; Ritter, D. und Giovannetti, F. (2017):** Solare Prozesswärme. Mit Solarthermie Abläufe in Industrie und Gewerbe unterstützen. FIZ Karlsruhe - Leibniz-Institut für Informationsinfrastruktur GmbH, auch verfügbar als PDF unter: [https://www.bine.info/fileadmin/content/Publikationen/Themen-Infos/II\\_2017/themen\\_0217\\_internetx.pdf](https://www.bine.info/fileadmin/content/Publikationen/Themen-Infos/II_2017/themen_0217_internetx.pdf)

**Schneider, M., Meng, B. (2002):** Ressourcenschonung bei der Zementherstellung am Beispiel des Einsatzes von Hüttensand. In: Verlag Bau + Technik, Hüttensandhaltiger Zement, Verlag Bau + Technik, Düsseldorf, ISBN 3-7640-0426-6.

**Schön, M. et al. (2003):** CuRa: Cooperation für umweltschonenden Ressourcenaustausch zur Nutzung von Kostenreduktionspotenzialen. Fraunhofer Institut Systemtechnik und Innovationsforschung ISI-Eigenverlag, Karlsruhe, auch verfügbar unter: [http://publica.fraunhofer.de/eprints/urn\\_nbn\\_de\\_0011-n-158090.pdf](http://publica.fraunhofer.de/eprints/urn_nbn_de_0011-n-158090.pdf)

**Schneller, A.; Frank, L. und Töpfer, K. (2017):** Wärmenetze 4.0 im Kontext der Wärmewende. Analyse der Regelungs- und Förderlandschaft innovativer Wärmenetzsysteme. adelphi, Berlin, auch verfügbar unter: <https://www.adelphi.de/de/system/files/mediathek/bilder/W%C3%A4rmenetze%204.0%20im%20Kontext%20der%20W%C3%A4rmewende%20-%20adelphi.pdf>

**Stadt Frankfurt am Main (2014):** Machbarkeitsstudie zur Entwicklung eines nachhaltigen Gewerbegebietes in Frankfurt am Main [online]. Stadt Frankfurt am Main [abgerufen am: 14. Dez. 2017], verfügbar unter: <http://www.stadtplanungsamt-frankfurt.de/show.php?ID=15851&psid=d>

**Statistisches Bundesamt (Destatis) (2017):** Produzierendes Gewerbe - Kostenstruktur der Unternehmen des Verarbeitenden Gewerbes sowie des Bergbaus und der Gewinnung von Steinen und Erden 2015. Statistisches Bundesamt (Destatis), Fachserie 4. Reihe 4.3.

**Steffan, C. (2010):** Konzepte der Regenwasserbewirtschaftung - Gebäudebegrünung, Gebäudekühlung - Leitfaden für Planung, Bau, Betrieb und Wartung [online]. Senatsverwaltung für Stadtentwicklung, Berlin [abgerufen am: 29. Jan. 2018], verfügbar unter: [http://www.gebaeudekuehlung.de/SenStadt\\_Regenwasser\\_dt\\_gross.pdf](http://www.gebaeudekuehlung.de/SenStadt_Regenwasser_dt_gross.pdf)

**Stiefel, R. (2017):** Abwasserrecycling: Technologien und Prozesswasser-  
management - Das Konzept Prozesswasserautarkie, Springer Fachmedien  
Wiesbaden GmbH, Wiesbaden, ISBN 978-3-658-13991-9.

**Thüringer Energie- und GreenTech-Agentur GmbH (ThEGA) (kein Datum):** Abwärme besser nutzen in Thüringen [online]. Thüringer Energie-  
und GreenTech-Agentur GmbH (ThEGA) [abgerufen am: 13. Okt. 2017],  
verfügbar unter: <https://www.thega.de/abwaerme/>

**Umweltbundesamt (2017):** Energieverbrauch für fossile und erneuerbare  
Wärme [online]. Umweltbundesamt, 8. Mai 2017 [abgerufen am 1. Aug.  
2017], verfügbar unter: [https://www.umweltbundesamt.de/  
energieverbrauch-fuer-waerme#textpart-1](https://www.umweltbundesamt.de/energieverbrauch-fuer-waerme#textpart-1)

**UnternehmensNetzwerk Motzener Straße e.V. (2016):** Vision: NEMo -  
Null Emission Motzener Straße [online]. UnternehmensNetzwerk Motzener  
Straße e.V., 20. April 2016 [abgerufen am: 30. Jan. 2018], verfügbar unter:  
[http://motzener-strasse.de/system/files/1BER01\\_PP%20Abschluss%  
2020.4.2016.pdf](http://motzener-strasse.de/system/files/1BER01_PP%20Abschluss%2020.4.2016.pdf)

**UnternehmensNetzwerk Motzener Straße e.V. (2017):** Unternehmens-  
Netzwerk setzt NEMo um - mit einem starken Partner für Null Emission  
[online]. UnternehmensNetzwerk Motzener Straße e.V., 11. Jan. 2017 [ab-  
gerufen am: 30. Jan. 2018], verfügbar unter: [http://www.motzener-  
strasse.de/system/files/170111\\_NEMo\\_Pressemitteilung\\_RZ.pdf](http://www.motzener-strasse.de/system/files/170111_NEMo_Pressemitteilung_RZ.pdf)

**UnternehmensNetzwerk Motzener Straße e.V. (2018a):** Best Practice:  
"Erneuerung der Hofflächen" [online]. UnternehmensNetzwerk Motzener  
Straße e.V. [abgerufen am: 30. Jan. 2018], verfügbar unter:  
[http://www.motzener-strasse.de/aktuell/best-practice-erneuerung-  
der-hofflaechen](http://www.motzener-strasse.de/aktuell/best-practice-erneuerung-der-hofflaechen)

**UnternehmensNetzwerk Motzener Straße e.V. (2018b):** Nächste He-  
ckenpflanzaktionen im UnternehmensNetzwerk! [online]. Unternehmens-  
Netzwerk Motzener Straße e.V. [abgerufen am: 30. Jan. 2018], verfügbar  
unter: [http://www.motzener-strasse.de/aktuell/nachste-hecken-  
pflanzaktionen-im-unternehmensnetzwerk](http://www.motzener-strasse.de/aktuell/nachste-heckenpflanzaktionen-im-unternehmensnetzwerk)

**UnternehmensNetzwerk Motzener Straße e.V. (2018c):** 5. Standortkonferenz mit dem Bezirk Tempelhof-Schöneberg [online]. UnternehmensNetzwerk Motzener Straße e.V. [abgerufen am: 30. Jan. 2018], verfügbar unter: <http://motzener-strasse.de/aktuell/5-standortkonferenz-mit-dem-bezirk-tempelhof-sch%C3%B6neberg>

**Urbansky, F. (2016):** Wärme aus Abwasser nutzen [online]. Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH, 11. Okt. 2016 [abgerufen am: 14. Nov. 2017], verfügbar unter: <https://www.springerprofessional.de/abwasser/technische-gebaeudeausruestung/waerme-aus-dem-abwasser-nutzen/10776808>

**VDI 4800 Blatt 1:2016-02:** Verein Deutscher Ingenieure e.V., Ressourceneffizienz - Methodische Grundlagen, Prinzipien und Strategien. Beuth Verlag GmbH, Berlin.

**VDI 4602 Blatt 1:2007:** Energiemanagement - Begriffe. Beuth Verlag GmbH, Berlin.

**VDI Zentrum Ressourceneffizienz GmbH (2017):** Ressourceneffizienz durch Industrie 4.0 - Potenziale für KMU des verarbeitenden Gewerbes - Kurzzusammenfassung. VDI Zentrum Ressourceneffizienz GmbH, Berlin, auch verfügbar als PDF unter: [https://www.ressource-deutschland.de/fileadmin/user\\_upload/downloads/studien/Studie\\_Industrie\\_4.0\\_Kurzzusammenfassung\\_bf.pdf](https://www.ressource-deutschland.de/fileadmin/user_upload/downloads/studien/Studie_Industrie_4.0_Kurzzusammenfassung_bf.pdf)

**VMM Wirtschaftsverlag GmbH & Co. KG (2017):** KUMAS zeichnet Konzept von SGL als Leitprojekt aus [online]. VMM Wirtschaftsverlag GmbH & Co. KG, 11. Dez. 2017 [abgerufen am: 30. Jan. 2018], verfügbar unter: [https://www.b4bschwaben.de/b4b-nachrichten/augsburg\\_artikel,-kumas-zeichnet-konzept-von-sgl-als-leitprojekt-aus-\\_arid,252881.html](https://www.b4bschwaben.de/b4b-nachrichten/augsburg_artikel,-kumas-zeichnet-konzept-von-sgl-als-leitprojekt-aus-_arid,252881.html)

**Von Gleich, A. und Göbbling-Reisemann, S. (2008):** Industrial Ecology, Erfolgreiche Wege zu nachhaltigen industriellen Systemen. 1. Auflage, Vieweg + Teuber Verlag GWF Fachverlage GmbH, Wiesbaden, ISBN 978-3-8351-0185-2.

**Von Hauff, M., Kleine A. (2014):** Nachhaltige Entwicklung - Grundlagen und Umsetzung. 2. Auflage, Oldenbourg Wissenschaftsverlag GmbH, München, ISBN 978-3-486-72105-8.

**Von Hauff, M.; Müller-Christ, G. und Isemann, R. (2012):** Industrial Ecology Management. 1. Auflage, Springer Gabler, Wiesbaden, ISBN 978-3-8349-6638-4.

**Von Hauff, M.; Wolf, V. (2009):** Vom Zero Emission Park zum Nachhaltigen Industrie-/Gewerbegebiet. In: von Hauff, M. und Tarkan, B.: Nachhaltige kommunale Finanzpolitik für eine intergenerationelle Gerechtigkeit. 1. Auflage, Nomos Verlag, Baden-Baden.

**vPRESS. GmbH (2017):** Energiesparen bei Lüftung, Gebläse, RLT-Lüftungsanlage [online]. vPRESS. GmbH [abgerufen am: 1. Aug. 2017], verfügbar unter: <http://www.energieeffizienz-im-betrieb.net/energiesparen-unternehmen/lueftungsanlage-gewerbe.html>

**WEKA MEDIA GmbH & Co. KG (kein Datum):** Lastmanagement [online] WEKA MEDIA GmbH & Co. KG [abgerufen am: 20. Okt. 2017], verfügbar unter: <http://www.energiemanagement-und-energieeffizienz.de/energielexikon/lastmanagement/>

**Wissenschaftsladen Bonn e.V. (2017):** Nachhaltige Gewerbegebiete – Empfehlungen für Kommunen. 1. Auflage, Wissenschaftsladen Bonn e.V., Bonn, auch verfügbar unter: [https://www.wilabonn.de/images/PDFs/Gruen\\_statt\\_Grau/Wila\\_Gewerbegebiete\\_Broschuere\\_Web.pdf](https://www.wilabonn.de/images/PDFs/Gruen_statt_Grau/Wila_Gewerbegebiete_Broschuere_Web.pdf)

**World Business Council for Sustainable Development (WBCSD) (2017):** Business guide to circular water management: spotlight on reduce, reuse and recycle. World Business Council for Sustainable Development (WBCSD), Genf, verfügbar als PDF unter: [www.wbcsd.org/content/wbcsd/download/3437/44956](http://www.wbcsd.org/content/wbcsd/download/3437/44956)

**Zero Emission GmbH (2015):** Das Gewerbegebiet Ludwig-Erhard-Allee [online]. Zero Emission GmbH [abgerufen am: 30. Jan. 2018], verfügbar unter: <http://www.gewerbegebiet-ludwig-erhard-allee.de/gewerbegebiet>

**Zero Emission GmbH (2016):** Klimaschutz-Teilkonzept: Gewerbegebiet Ludwig-Erhard-Allee. Zero Emission GmbH, Bielefeld, auch verfügbar als PDF unter: <http://www.gewerbegebiet-ludwig-erhard-allee.de/sites/ludwig-erhard-allee/files/Klimaschutz-Teilkonzept%20Ludwig-Erhard-Allee%2017.05.2016%20Web.pdf>

VDI Zentrum Ressourceneffizienz GmbH (VDI ZRE)  
Bertolt-Brecht-Platz 3  
10117 Berlin  
Tel. +49 30-2759506-0  
Fax +49 30-2759506-30  
zre-info@vdi.de  
www.ressource-deutschland.de

Im Auftrag des:



Bundesministerium  
für Umwelt, Naturschutz  
und nukleare Sicherheit



NATIONALE  
KLIMASCHUTZ  
INITIATIVE