



Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg  
Hamburg University of Applied Sciences

# **Bachelorthesis**

**Sarah Kubisch**

***Optimierung des Autarkiegrades kleiner Kommunen mittels signifikanter  
Entlastung von Großverbrauchern durch Erneuerbare Energien***

Bachelorthesis eingereicht im Rahmen der Bachelorprüfung  
im Studiengang Umwelttechnik am Department Life Science  
der Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg

Erstgutachter: Prof. Dr. -Ing. Volker Skwarek

Zweitgutachter: Prof. Dr. -Ing. Alfred Busse

Eingereicht am 29.02.2016

Eingereicht von: Sarah Kubisch, 2004939

## **Thema der Bachelorthesis**

Optimierung des Autarkiegrades kleiner Kommunen mittels signifikanter Entlastung von Großverbrauchern durch Erneuerbare Energien

## **Stichworte**

Autarkie, Autarkiegrad, Energieeffizienz, Energieautarkie, regenerative Energien, Wirtschaftlichkeitsberechnung, Photovoltaik, Windkraft, Wasserkraft, Solarthermie, Blockheizkraftwerk, Stromgestehungskosten, CO<sub>2</sub>-Emission

## **Kurzzusammenfassung**

Es spielen diverse Faktoren eine Rolle um das Ziel der Energiewende, bis 2022 komplett auf herkömmliche Energien zu verzichten, realisieren zu können. Diese Bachelorthesis befasst sich mit dem Aspekt der Energieautarkie einer Kommune. Hier wird ganz speziell der Großindustriesektor und dessen Einfluss auf den gesamten bilanziellen Autarkiegrad der Kommune betrachtet und durch Ermittlung von Kennzahlen und Einflussfaktoren optimiert.

## **Title of the paper**

Optimization of self-sufficiency from small communes by significant relief from large-scale consumers with renewable energy.

## **Keywords**

self-sufficiency, power efficiency, power self-sufficiency, renewable energy, calculation of profitability, photovoltaics, wind power, hydropower, solar thermal, electricity generation costs, CO<sub>2</sub>-emission

## **Abstract**

In order to realize the objective of the energy transition, by 2022 to dispense, entirely with conventional energy sources, various factors play a role. This bachelor thesis deals with the aspect of energy self-sufficiency from small communes. Here the large-scale industrial sector and its influence is specifically considered in the overall balance sheet self-sufficiency of the Commune and optimized by identifying indicators and influencing factors.

---

## Eidesstattliche Versicherung

Hiermit versichere ich, Sarah Kubisch an Eides statt, dass ich die vorliegende Bachelorarbeit mit dem „Titel Optimierung des Autarkiegrades kleiner Kommunen mittels signifikanter Entlastung von Großverbrauchern durch Erneuerbare Energien“ selbständig und ohne fremde Hilfe verfasst und keine anderen als die angegebenen Hilfsmittel benutzt habe. Die Stellen der Arbeit, die dem Wortlaut oder dem Sinne nach anderen Werken entnommen wurden, sind in jedem Fall unter Angabe der Quelle (einschließlich des World Wide Web und anderer elektronischer Text- und Datensammlungen) kenntlich gemacht. Dies gilt auch für Zeichnungen, bildliche Darstellungen, Skizzen, Tabellen und dergleichen. Die Arbeit ist noch nicht veröffentlicht oder in anderer Form als Prüfungsleistung vorgelegt worden.

Ich habe die Bedeutung der eidesstattlichen Versicherung und die prüfungsrechtlichen sowie strafrechtlichen Folgen einer unrichtigen oder unvollständigen eidesstattlichen Versicherung zur Kenntnis genommen.

Geesthacht, den 29.02.2016

---

Sarah Kubisch

---

## Danksagung

Ich möchte mich an dieser Stelle bei allen bedanken, die mich während der Erstellung der Bachelorthesis unterstützend begleitet haben.

Insbesondere bei Herrn Prof. Dr.-Ing. Volker Skwarek für die umfangreiche und fachliche Betreuung, für die unzähligen Gesprächstermine und die zahlreichen Denkanstöße.

Bei Herrn Prof. Dr.-Ing. Alfred Busse für die Übernahme und Durchführung der Zweitbetreuung und den Ratschlag das Gold tief in der Erde zu suchen und nicht in der Fläche.

Bei Maximilian Zipplies, Eliane Hilgert und Dipl.-Ing. Jan-Claas Böhmke für das Korrekturlesen und Motivieren die Sätze immer wieder neu zu formulieren.

Und zu guter Letzt bei meinem Mann Stephan Kubisch und meiner Schwiegermutter Inger Kubisch die mich nicht nur Unterstützt, motiviert und korrekturgelesen haben, sondern auch die Höhen und Tiefen drum herum abgefangen und kompensiert haben!

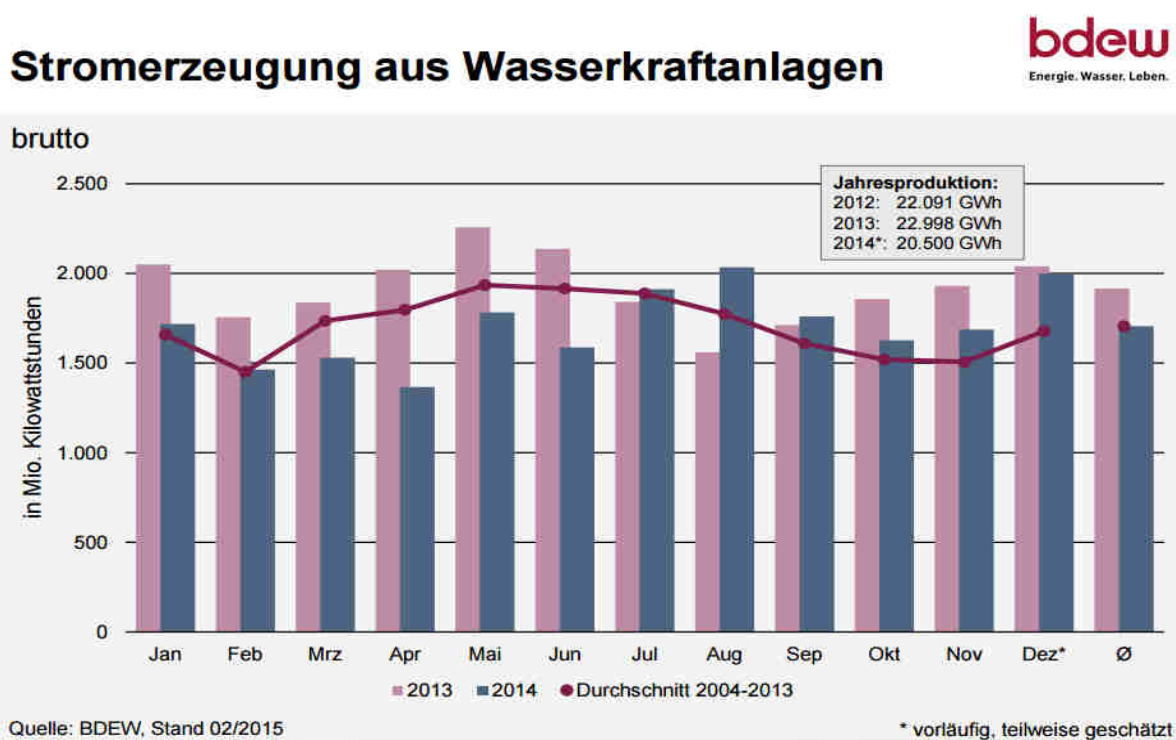
---

# Inhaltsverzeichnis

Eidesstattliche Versicherung .....	II
Danksagung.....	III
Inhaltsverzeichnis .....	IV
Abbildungsverzeichnis .....	V
Tabellenverzeichnis .....	VII
Abkürzungsverzeichnis .....	VIII
Einheitentabelle .....	IX
<b>1 Motivation .....</b>	<b>1</b>
1.1 Definition Autarkie .....	2
1.2 Wissenswertes zur Beispielgemeinde Reinfeld .....	4
<b>2 Stand der Technik .....</b>	<b>6</b>
2.1 Prinzipielle Ermittlung des aktuellen energetischen Autarkiegrades.....	6
2.2 Aktuelle energietechnische Daten am Beispiel Reinfeld .....	7
<b>3 Konzept zur Autarkiegraderhöhung .....</b>	<b>8</b>
3.1 Einflussfaktoren des Modells .....	8
3.2 Regenerative Energien im Vergleich .....	11
3.2.1 Photovoltaik .....	13
3.2.2 Windkraft.....	16
3.2.3 Wasserkraft.....	19
3.2.4 Solarthermie .....	22
3.2.5 BHKW .....	24
3.2.6 Überblick.....	26
3.3 Stromgestehungskosten .....	27
3.4 Flächenfaktor .....	33
3.5 Kennzahlenbestimmung.....	38
3.6 Anwendung am Anwendungsbeispiel Reinfeld.....	42
<b>5 Zusammenfassung .....</b>	<b>59</b>
<b>4 Konzeptbewertung .....</b>	<b>60</b>
<b>6 Ausblick.....</b>	<b>62</b>
<b>Anhang .....</b>	<b>IX</b>
<b>Literaturverzeichnis .....</b>	<b>XXXI</b>

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1 Lage der Stadt Reinfeld (Quelle: Google Maps).....	4
Abbildung 2 Mindmap: Einflussfaktoren des Modells .....	9
Abbildung 3 Stromerzeugung aus Erneuerbaren Energien – Detaillierte Unterteilung (Quelle: BMWi, BDEW) .....	12
Abbildung 4 Stromerzeugung aus Photovoltaik – Jahresverlauf (Quelle: ZSW, BDEW) .....	13
<b>Abbildung 5</b> Stromerzeugung aus Windkraftanlagen – Jahresverlauf (Quelle: ZSW, BDEW) .....	16
Der Anteil der Wasserkraft an der Stromerzeugung im Jahre 2014 betrug 20,9 Mrd. kWh. Das entspricht einem Anteil von 13% der deutschen Stromerzeugung durch erneuerbare Energien. Im gesamten Strommix Deutschlands kommt die Wasserkraft auf 3,5%. Bei der kompletten Energiebereitstellung (thermisch und elektrisch) nimmt die Wasserkraft 6% ein. Sie ist damit die kleinste hier betrachtete stromerzeugende erneuerbare Energieform (BMWi, 2015, S. 4-5) (BDEW, 2014). In der Abbildung 6 ist die Entwicklung der Stromerzeugung aus Wasserkraftanlagen der Jahre 2013 und 2014 dargestellt.	



<b>Abbildung 6</b> Stromerzeugung aus Wasserkraftanlagen – Jahresverlauf (Quelle: BDEW) .....	19
Abbildung 7 Stromgestehungskosten für erneuerbare Energien und konventionelle Kraftwerke an Standorten in Deutschland im Jahr 2013 (Quelle: Fraunhofer ISE) .....	28
Abbildung 8 Vergleich von Stromgestehungskosten und Vergütung beim Neubau von Wasserkraftanlagen bezogen auf die Leistung P <sub>inst</sub> , Inbetriebnahme 2015 (Quelle: BMWi) .....	29
Abbildung 9 Stromgestehungskosten eines 500kW-BHKE in Abhängigkeit der Vollbenutzungsdauer (Quelle: IREES 2014).....	31
Abbildung 10 Stromgestehungskosten eines 2000kW-BHKE in Abhängigkeit der Vollbenutzungsdauer (Quelle: IREES 2014) .....	31
Abbildung 11 CO <sub>2</sub> Emissionsrechte Börsengang über 52 Wochen (Quelle: <a href="http://www.finanzen.net/rohstoffe/co2-emissionsrechte">www.finanzen.net/rohstoffe/co2-emissionsrechte</a> ) .....	39
Abbildung 12 Lastprofil eines Wochentages im Sommer .....	44
Abbildung 13 Lastprofil eines Wochentages im Winter.....	44
Abbildung 14 Lastprofil eines Samstages im Sommer .....	45

---

Abbildung 15 Lastprofil eines Samstages im Winter.....	45
Abbildung 16 Lastprofil eines Sonntages im Sommer.....	46
Abbildung 17 Lastprofil eines Sonntages im Winter.....	46
Abbildung 18 Wirkungsgrade von verschiedenen BHKW mit unterschiedlichen Leistungen (Quelle: ASUE).....	48
Abbildung 19 Draufsicht des Firmengeländes Camfil inklusive Hallenbeschriftung (Quelle: Google Earth).....	49
Abbildung 20 Online-Formular der Webseite PVgis ausgefüllt mit den benötigten Daten für Dezember (Quelle: PVgis).....	50
Abbildung 21 Draufsicht der Werkshallen der Firma Camfil mit einer PV-Anlagenplanung der Hallen 1b und 2.....	52
Abbildung 22 Verschiedene PV-Anlagenleistungen im Vergleich zum tatsächlichen Verbrauch der Firma Camfil an einem Wochentag im Sommer.....	52
Abbildung 23 Verschiedene PV-Anlagenleistungen im Vergleich zum tatsächlichen Verbrauch der Firma Camfil an einem Wochentag im Winter.....	53
Abbildung 24 Verschiedene PV-Anlagenleistungen im Vergleich zum tatsächlichen Verbrauch der Firma Camfil an einem Samstag im Sommer.....	53
Abbildung 25 Verschiedene PV-Anlagenleistungen im Vergleich zum tatsächlichen Verbrauch der Firma Camfil an einem Samstag im Winter.....	54
Abbildung 26 Verschiedene PV-Anlagenleistungen im Vergleich zum tatsächlichen Verbrauch der Firma Camfil an einem Sonntag im Sommer.....	54
Abbildung 27 Verschiedene PV-Anlagenleistungen im Vergleich zum tatsächlichen Verbrauch der Firma Camfil an einem Sonntag im Winter.....	55

---

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1	Energiedaten der Stadt Reinfeld inklusive des aktuellen Autarkiegrades.....	7
Tabelle 2	Überblick der behandelten regenerativen Energien .....	26
Tabelle 3	Industrielle Strompreise nach Verbrauchsklassen inklusive/ exklusive Umlagen und Steuern („betriebswirtschaftliche Betrachtungsweise“/ „volkswirtschaftliche Betrachtungsweise“) bis 2050, jeweils ohne MwSt. (Quelle: Prognos 2014).....	27
Tabelle 4	Vergleich von Stromgestehungskosten verschiedener regenerativer Energiearten ...	32
Tabelle 5	Flächenfaktoren für Photovoltaik und Solarthermie sowohl aufgeständert/ nicht aufgeständert und im Durchschnitt .....	35
Tabelle 6	Vergleich von Flächenfaktoren verschiedener regenerativer Energiearten .....	37
Tabelle 7	Kennzahlrelevante Faktoren je regenerativer Energieart .....	41
Tabelle 8	Kennzahlrelevante Faktoren unter Berücksichtigung der spezifischen Gegebenheiten Reinfeld inklusive adaptierter Kennzahl .....	47
Tabelle 9	Vergleich der tatsächlichen Verbräuche und die sich rechnerisch ergebenden PV-Anlagengrößen .....	51



---

## Abkürzungsverzeichnis

BDEW:	Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e.V.
BHKW:	Blockheizkraftwerk
BMUB:	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit
BMWi:	Bundesministerium für Wirtschaft und Energie
BWE:	Bundesverband WindEnergie
DWD:	Deutscher Wetterdienst
EEG:	Erneuerbare-Energien-Gesetz
KfW:	Kreditanstalt für Wiederaufbau
kW:	Kilowatt
kWh:	Kilowattstunde
KWK:	Kraft Wärmekopplung
PV:	Photovoltaik
RLM:	Registrierende Lastgangmessung
SLP:	Standardlastprofil
VBD:	Vollbenutzungsdauer
WP:	Wärmepumpe
TA Luft:	Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft

## Einheitentabelle

<b>Name</b>	<b>Symbol</b>	<b>Wert</b>
Mikro	$\mu$	$10^{-6}$
Milli	m	$10^{-3}$
1	1	$10^0$
kilo	k	$10^3$
Mega	M	$10^6$
Giga	G	$10^9$
Tera	T	$10^{12}$
Peta	P	$10^{15}$
Exa	E	$10^{18}$

## 1 Motivation

Der vollständige Ausstieg aus der Atomkraft bis 2022 ist auf Grund des Klimawandels und dem daraus resultierendem Treibhauseffekt in der sogenannten „Energiewende“ politisch beschlossen (Paper: Climate Change 14/2013, S. 1). Die technische Realisierbarkeit hingegen weist noch erhebliches Entwicklungspotenzial auf. Die Probleme reichen von der Erzeugung ausreichender Mengen regenerativer Energien bis hin zur Verteilung der Energie von der Erzeugungsquelle bis zum Endverbraucher. Ein möglicher Lösungsansatz neben dem geplanten, langwierigen und teuren Netzausbau, ist die Erzeugung und Nutzung am selben Ort, die sogenannte „lokale Autarkie“ anzustreben. Dies bedeutet, dass nach Möglichkeit zu jeder Tages- und Nachtzeit und zu jeder Jahreszeit exakt so viel Energie an einem Ort erzeugt werden wird, wie dort auch verbraucht wird. Das Umweltbundesamt hat zu diesem Thema eine umfassende Studie „Modellierung einer vollständigen auf erneuerbaren Energien basierenden Stromerzeugung im Jahr 2050 in autarken, dezentralen Strukturen“ erstellt, in der in Form von drei Szenarien die Energieautarkie des Haushaltssektors und ansatzweise des Straßenverkehrssektors behandelt wird (Paper: Climate Change 14/2013). In diesen Sektoren ist, zumindest unter bestimmten Bedingungen, eine komplette Energieautarkie des betrachteten Ortes möglich.

Die Betrachtung des Industrie- und Gewerbesektors hinsichtlich einer möglichen Autarkie ist bisher noch nicht erfolgt. Dabei ist gerade dieser Sektor mit einem Nettostromverbrauch von 44%<sup>1</sup> des gesamten Stromverbrauchs der Bundesrepublik Deutschlands, kumuliert betrachtet, der größte und einflussreichste Energieverbraucher. Aus diesem Grund ist das Ziel dieser Arbeit, diesen Großverbraucher in einer kleinen Kommune auffindig zu machen und dessen energetische Autarkie durch regenerative Energien unter sowohl wirtschaftlichen als auch ökologischen Aspekten zu optimieren und somit den gesamten Autarkiegrad der Kommune erheblich anzuheben.

Der Vorteil einer solchen lokalen Autarkie für eine Kommune ergibt sich in dem Moment, in dem eine Kommune ihr Netz vom Energieversorger zurück kauft. Mit der Durchleitung von Strom durch das Netz fallen sogenannte „Netznutzungsentgelte“ an, die dann der Kommune gutgeschrieben werden würden. Umso größer der Autarkiegrad der Kommune,

---

<sup>1</sup> Endenergieverbrauch für 2014 der Bundesrepublik Deutschland: Industrie 2508 PJ (29%), Gewerbe, Handel, Dienstleistungen 1298 PJ (15%). (Quelle: www.BDEW.de)

desto weniger wird das Netz durch die kommunalen internen Verbraucher „verstopft“, desto größer ist die externe Durchleitungskapazität. Die Kommune erhält so nicht nur die Nutzungsentgelte von außerhalb, sondern zusätzlich auch die erhöhte Gewerbesteuer der Großverbraucher, da diese keine Nutzungsentgelte an die Kommune entrichten müssen und somit eine Gewinnerhöhung erzielt haben.

In dieser Arbeit wird zunächst ein Modell entwickelt, das eine erste einfache Betrachtung des Großverbrauchers einer kleinen Kommune hinsichtlich einer möglichen Autarkiegrad-erhöhung mittels verschiedener regenerativer Energiearten ermöglicht.

Dazu wird im ersten Teil der Arbeit Kapitel 2 „Stand der Technik“ der aktuelle Autarkiegrad der betrachteten Kommune ermittelt. Im Kapitel 3 „Konzept zur Autarkiegraderhöhung“ erfolgt der zweite Schritt, die Erstellung eines Modells zur Autarkiegraderhöhung. Dabei werden die regenerativen Energien Photovoltaik (PV), Windkraft, Wasserkraft, Solarthermie und die Stromerzeugung aus Blockheizkraftwerken (BHKW) hinsichtlich verschiedener Aspekte zunächst kurz vorgestellt und anschließend eine Kennzahl entwickelt, mit deren Hilfe eine Priorisierung der genannten regenerativen Energien vorgenommen werden kann.

Im dritten Teil der Arbeit Kapitel 3.6 „Anwendung am Anwendungsbeispiel Reinfeld“ wird das komplette Modell auf ein Fallbeispiel angewendet um im vierten und letzten Schritt der Arbeit im Kapitel 5 „Konzeptbewertung“ konstruktiv bewertet und diskutiert zu werden.

## 1.1 Definition Autarkie

Hauptaspekt dieser Bachelorthesis ist der Begriff Autarkie. Dies bedeutet allgemein unabhängig von äußeren Dingen, Ereignissen und Aspekten zu sein. Konkret heißt das, sich selbstständig versorgen zu können, ohne dabei auf die Hilfe oder Ressourcen anderer zuzugreifen. Dies gilt allgemein für alles was erzeugt und verbraucht werden kann, und reicht von Nahrungsmitteln über Gebrauchsgegenstände bis hin zu Energie (Henning, 2015).

---

In dieser Arbeit wird vor allem der Aspekt der Energie im Sinne der elektrischen Energie behandelt. Man spricht somit von einer Energieautarkie. Sie umfasst die drei energierelevanten Bereiche Strom, Wärme und Mobilitätsenergie (Kraftstoffe, Strom).

Hierbei werden drei Stufen der Autarkie unterschieden.

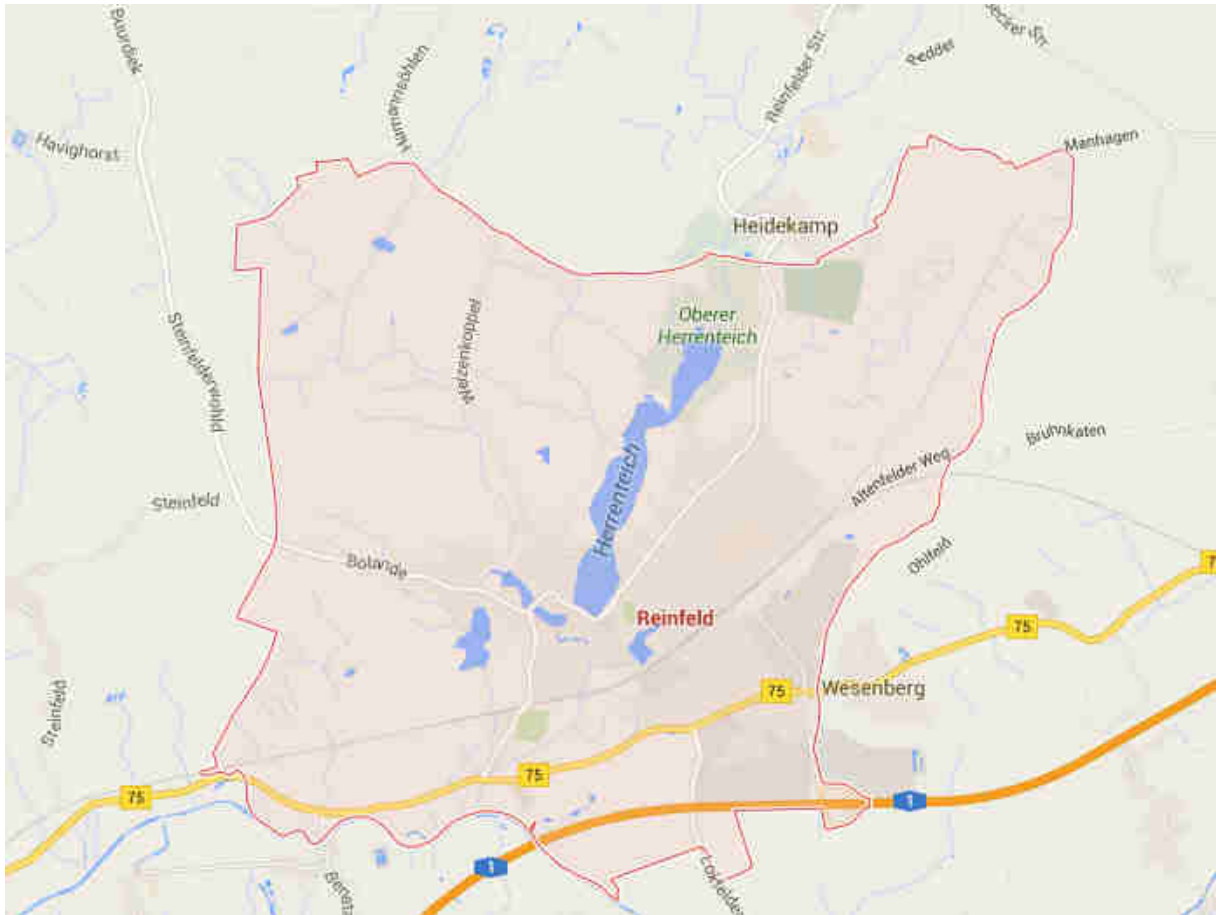
Die bilanzielle Energieautarkie ist eine rein rechnerische Größe die über einen bestimmten Zeitraum, meist von einem Jahr, ermittelt wird. Dabei wird alles, was in diesem Rechnungszeitraum selbstständig produziert wird, erfasst, und dem was im selben Zeitraum rechnerisch verbraucht wurde, gegenübergestellt. Bilanziell Energieautark ist die Gemeinde somit, wenn rein rechnerisch über das Jahr gesehen genau so viel Energie erzeugt-, wie verbraucht wurde.

Bei der Teilenergieautarkie hingegen wird betrachtet wieviel Energie in den drei Bereichen Strom, Wärme und Mobilitätsenergie erzeugt und zeitlich direkt verbraucht wird. Es wird jedoch nicht in allen drei Bereichen eine vollständige Deckung erzielt.

Wird eine vollständige Deckung erzielt, spricht man von einer echten Energieautarkie. Die echte Energieautarkie ist das Ziel dieser Arbeit. Alle vor Ort produzierten Ressourcen decken zu jeder Zeit den tatsächlich anfallenden Bedarf. Bei Erreichen der echten Energieautarkie wäre die Gemeinde Reinfeld dann komplett unabhängig von externen Energieversorgern und Strompreisschwankungen. (Henning, 2015)

## 1.2 Wissenswertes zur Beispielgemeinde Reinfeld

Reinfeld (Holstein) ist eine kleine Stadt mit über 8700 Einwohnern und einer Fläche von 17,36 km<sup>2</sup>. Sie liegt zwischen Bad Oldesloe und Lübeck und zählt zur Metropolregion Hamburg. (Stadt Reinfeld, 2016)



**Abbildung 1** Lage der Stadt Reinfeld (Quelle: Google Maps)

Reinfeld als Anwendungsbeispiel zu verwenden ist auf Grund der Begrenzung durch die Autobahn im Süden, des Naturschutzgebietes und der leichten Hanglage gen Norden in Bezug auf regenerative Energien eine Herausforderung. Jedoch führt der Kreis Stormarn, zu dem die Gemeinde Reinfeld zählt, seit 1996 ein Klimaschutzprogramm durch und ist bestrebt eine klimafreundliche Stadtentwicklung voranzutreiben. (Henning, 2015) Reinfeld hat in diesem Zuge einen Förderantrag für die Erarbeitung eines Klimaschutzkonzeptes gestellt und diesen auch genehmigt bekommen. Zudem ist die Stadtverwaltung sehr kooperationsfreudig und stellt die energetischen Daten der Stadt für die Jahre 2012, 2013 und 2014 dankenswerter Weise zur Verfügung (Anhang 1). Aus diesen Gründen qualifiziert sich Reinfeld als Anwendungsbeispiel dieser Ausarbeitung.

---

Rund 40% des gesamten Strombedarfes der Stadt Reinfeld fallen auf den Industrie- und Gewerbesektor (Anhang 1).

Einer der größten Großverbraucher der Stadt Reinfeld ist die Firma Camfil. Camfil ist ein schwedisches Familienunternehmen, welches weltmarktführend im Bereich der Luftreinigungssysteme ist. Mithilfe von vier großen Heißklebeschmelzöfen und zahlreichen Faltmaschinen werden am Standort Reinfeld verschiedenste Luftfilter hergestellt. (Camfil, 2016)

Am Standort Reinfeld sind ca. 350 Mitarbeiter beschäftigt. Der elektrische Energieverbrauch der Firma lag im Jahr 2014 bei 3.045.567 kWh. Das entspricht einem Anteil von ca. 10% des gesamten Strombedarfes der Stadt Reinfeld. Der thermische Energieverbrauch von Camfil lag 2014 bei 1.041.120 kWh (Anhang 2).

## 2 Stand der Technik

### 2.1 Prinzipielle Ermittlung des aktuellen energetischen Autarkiegrades

Bevor der Energieautarkiegrad einer Kommune optimiert werden kann, sollte der aktuelle bilanzielle Autarkiegrad festgestellt werden. Das Vorgehen, sowie die Berechnungsformel dazu sind erstaunlich simpel. Man benötigt lediglich die Energiemengen eines Jahres der Kommune, die beim zuständigen Energieversorger oder der Stadtverwaltung angefragt werden muss. Der Energieversorger betrachtet prinzipiell zwei verschiedene Aspekte. Zum einen den Stromabsatz in die Stadt und zum anderen die Energieaufnahme aus der Stadt. Beide Aspekte werden weiter verifiziert.

Der Stromabsatz in die Stadt ist unterteilt in das Standardlastprofil (SLP) und die registrierende Lastgangmessung (RLM). Das Standardlastprofil entspricht dabei dem Kleinkunden und somit den Energieverbräuchen der Bewohner und kleineren Gebäudekomplexen wie Schulen und Verwaltung. Ein gesamter Strombedarf von 100.000 kWh pro Jahr darf dabei nicht überschritten werden. Die Abrechnung erfolgt jährlich. Eine registrierende Lastgangmessung findet bei Kunden Anwendung, deren Strombedarf über den genannten 100.000 kWh/a angesiedelt ist. Dabei wird eine Messeinrichtung eingebaut, die den Verbrauch, die Leistung und die Blindarbeit im 15-Minuten-Takt misst. Die Abrechnung erfolgt hier monatlich (WSE-Energie).

Die Stromaufnahme ist unterteilt in die verschiedenen Energiesparten. Dazu zählen sowohl regenerative Energien, wie zum Beispiel Photovoltaik, Windkraft und Wasserkraft, als auch herkömmliche Energiearten, wie zum Beispiel Kohlekraftwerke oder Atomkraftwerke.

Sobald diese Daten vorliegen, kann der aktuelle bilanzielle Energieautarkiegrad ermittelt werden. Dazu werden alle selbst produzierten Energiemengen in kWh summiert und durch den kompletten Stromabsatz (SLP plus RLM) in kWh dividiert (Henning, 2015).

$$\text{Autarkiegrad} [\%] = \frac{\text{Eigenerzeugte Energie [kWh]}}{\text{Gesamtenergiebedarf [kWh]}} \cdot 100 \quad (1)$$



## 2.2 Aktuelle energietechnische Daten am Beispiel Reinfeld

Sowohl für die eigenerzeugte Energie als auch für den Gesamtenergiebedarf liegen tatsächliche Daten der Stadt Reinfeld aus den Jahren 2012, 2013 und 2014 vor (vgl. Anhang 1). Die Daten aus dem Jahr 2015 lagen zum Zeitpunkt des Erstellens der Arbeit noch nicht vor. Der Wert der eigenerzeugten Energie setzt sich aus mehreren Photovoltaik-Anlagen, einer Wasserkraftanlage und mehreren Kraft-Wärme-Kopplungs-Anlagen (KWK-Anlagen) zusammen. Die Originaltabelle kann in Anhang 1 eingesehen werden, die für die Berechnung relevanten Daten sind in der folgenden Tabelle 1 „Energiedaten der Stadt Reinfeld inklusive des aktuellen Autarkiegrades“ zusammenfassend dargestellt.

**Tabelle 1** Energiedaten der Stadt Reinfeld inklusive des aktuellen Autarkiegrades

	2012	2013	2014
Erzeugte Menge aus PV [kWh]	498.579,10	602.565,90	649.622,00
Erzeugte Menge aus Wasserkraft [kWh]	3.232,14	3.226,12	10.100,00
Erzeugte Menge aus KWK [kWh]	71.169,00	141.439,00	773.965,00
<b>Summe Erzeugung</b>	<b>572.980,24</b>	<b>747.231,02</b>	<b>1.433.687,00</b>
Absatz Strom RLM [kWh]	12.436.126,00	12.594.569,00	12.920.748,00
Absatz Strom SLP [kWh]	17.906.036,00	17.209.910,00	16.738.775,00
<b>Summe Absatz</b>	<b>30.342.162,00</b>	<b>29.804.479,00</b>	<b>29.659.523,00</b>
<b>Aktueller Autarkiegrad [%]</b>	<b>1,89</b>	<b>2,51</b>	<b>4,83</b>

Unter Einbeziehung der Formel (1) lassen sich für die Jahre 2012, 2013 und 2014 bilanzielle Energieautarkiegrade von 1,89%, 2,51% und 4,83% errechnen. Damit hat die Stadt Reinfeld innerhalb von zwei Jahren eine Steigerung des aktuellen Autarkiegrades von 2,94% erzielt. Dies erklärt sich durch den Anstieg der Eigenenergieerzeugung um das 2,5-fache von 572.980,24 kWh auf 1.433.687,00 kWh. Hauptverantwortlich für den Anstieg sind zum einen das energetisch besser genutzte Wasserrad und zum anderen der enorm gestiegene Anteil der Stromerzeugung aus der Kraftwärmekopplung. Der gesamte Energiebedarf der Stadt Reinfeld ist über den betrachteten Zeitraum nahezu konstant geblieben.

## 3 Konzept zur Autarkiegraderhöhung

In diesem Teil der Arbeit geht es darum, ein Modell zu entwickeln, dessen Ziel die energetische Autarkiegraderhöhung eines Großverbrauchers darstellt.

Zunächst müssen die Faktoren, die dieses Modell beeinflussen, herausgearbeitet werden. Dies geschieht im Kapitel 3.1 „Einflussfaktoren des Modells“. Dabei wird auf die jeweiligen Vor- und Nachteile eingegangen und die getroffenen Annahmen genauer verifiziert.

Im Anschluss wird für verschiedene regenerative Energien eine sogenannte Kennzahl entwickelt. Diese Kennzahl ermöglicht es, unter bestimmten, später genauer definierten Voraussetzungen, die verschiedenen Energieformen und deren Potenziale zu vergleichen.

Dazu werden zunächst die einzelnen Arten mit ihren jeweiligen Potenzialen separat vorgestellt, anschließend die jeweiligen Stromgestehungskosten kalkuliert und zum Schluss der Flächenaspekt mit einbezogen. Aus diesen Faktoren wird dann eine Kennzahl berechnet, die die Best mögliche Kombination aus Stromgestehungskosten, Platzbedarf und Realisierbarkeit in Form einer Kennziffer angibt. Hierbei gibt der höchste Wert die Beste und der niedrigste Wert die ungünstigste regenerative Energiegewinnungsart an.

### 3.1 Einflussfaktoren des Modells

Wieviel Einfluss die energetische Optimierung eines Großverbrauchers auf die bilanzielle Energieautarkie der gesamten Gemeinde hat, ergibt sich aus verschiedenen Einflussfaktoren. In der Abbildung 2 Mindmap: Einflussfaktoren des Modells“ sind diese Einflussfaktoren Sektionsweise dargestellt. Das Zusammenspiel aller Faktoren ermöglicht es, zusammen mit den technischen Potenzialen (Kapitel 3.2) und den Stromgestehungskosten (Kapitel 3.3) eine Kennzahl zu entwickeln, die eine Reihenfolge der einzusetzenden regenerativen Energien aufzeigt.

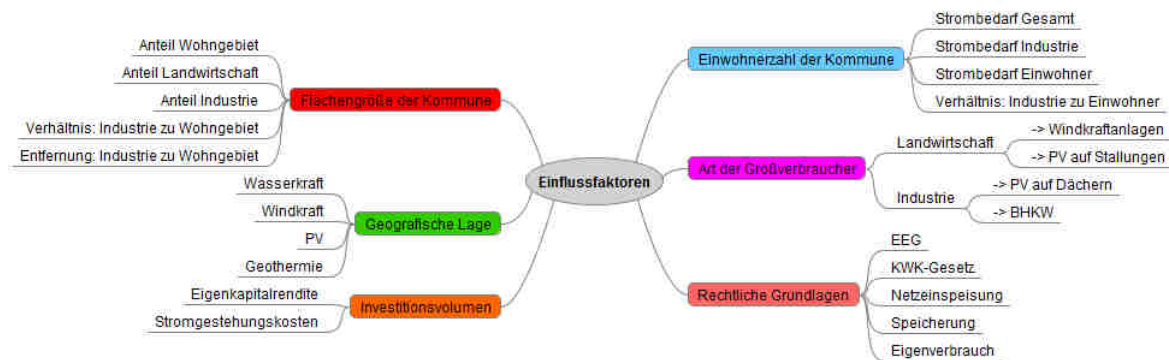


Abbildung 2 Mindmap: Einflussfaktoren des Modells

Einer der Haupteinflussfaktoren ist die Flächengröße der Kommune. Hier ist zu verifizieren, wieviel Flächenanteil auf Wohngebiete, auf landwirtschaftliche Flächen und auf Industrieflächen fällt. Je nach Verhältnis von Wohnfläche zu Industriefläche ergibt sich ein aussagekräftiges Verhältnis zur Energieoptimierung. Viel Wohngebiet bei wenig Industriefläche ergibt ein geringes Verbesserungspotenzial des gesamten Autarkiegrades durch Optimierung der Industrie.

Viel Industrie bei wenigen Wohngebieten hingegen ergibt ein sehr hohes Potenzial. Die landwirtschaftlichen Flächen sind der Vollständigkeit halber mit aufgeführt, spielen in dieser Ausarbeitung allerdings eine untergeordnete Rolle, da viel Fläche für Ackerbau oder als Weidefläche genutzt wird und so keinen Energiebedarf im Sinne von Strombedarf benötigen. Ein weiterer Teilaspekt ergibt sich aus der Frage wie weit die Industrieflächen von den Wohngebieten entfernt sind. Unter Umständen könnte überschüssige Wärme aus BHKW-Anlagen als Fernwärme für das Wohngebiet bereitgestellt werden.

Eine ähnliche Betrachtung kann für den Einflussfaktor „Einwohnerzahl“ aufgestellt werden, wobei sich die Flächengröße nicht zwingend linear zur Einwohnerzahl verhalten muss. Aus diesem Grund müssen beide Faktoren unabhängig voneinander betrachtet werden. Mit steigender Einwohnerzahl steigt grundsätzlich der gesamte Strombedarf. Zudem steigt die Wahrscheinlichkeit, dass sich große Energieverbraucher an diesem Ort ansiedeln, was wiederum den Gesamtstromverbrauch in die Höhe treibt. Auch hier ist das Verhältnis dieser beiden Größen zueinander maßgebend für eine potenzielle bilanzielle Energieautarkiegraderhöhung.

Interessant und zwingend notwendig zu betrachten ist zudem die geografische Lage der Kommune. Die Möglichkeiten des Einsatzes regenerativer Energien hängen von vorgegebenen Gegebenheiten ab, auf die kein Einfluss genommen werden kann. Eine Windkraft-

anlage beispielsweise kann nur in Betracht gezogen werden, wenn genug freie Fläche vorhanden ist, die nach Möglichkeit von keiner besiedelten Fläche oder einer Waldfläche beeinträchtigt wird. Wasserkraftanlagen benötigen je nach Bauart entweder ein natürlich vorhandenes Gefälle oder Zugang zu Höhenunterschieden durch den Gezeitenverlauf. Photovoltaikanlagen sind unter bestimmten Voraussetzungen fast immer realisierbar und BHKW-Anlagen werden überhaupt nicht von geografischen Gegebenheiten beeinflusst.

Je nach Art des Großverbrauchers ergeben sich unterschiedliche Lastgangdaten und Energieanforderungen. Eine große Kühlung zum Beispiel benötigt eine enorme Summe an Strom, hat aber kaum Bedarf an Wärme. Ein BHKW welches sowohl Strom als auch Wärme produziert, wäre somit wirtschaftlich gesehen inakzeptabel, da Wärme der größere produzierte Anteil ist. Ein Aluminiumwerk welches insbesondere Wärme benötigt, könnte eine reine Stromerzeugung durch Photovoltaik oder Windkraft lediglich nutzen, um daraus Wärme zu produzieren. Auch dies ist wirtschaftlich gesehen eine schlechte Option, da Strom die edelste aller Energieformen darstellt und Wärme die günstigste. Eine Umwandlung von Strom in Wärme wäre also Verschwendung von Ressourcen.

Hinter dem Einflussfaktor „Investitionsvolumen“ verbirgt sich das komplette Kapitel 3.3 „Stromgestehungskosten“. Einander gegenüber gestellt werden die Stromgestehungskosten der einzelnen regenerativen Energien unter Berücksichtigung der Eigenkapitalrendite. Umso höher die Eigenkapitalverzinsung ausfällt, desto attraktiver ist es für den Großunternehmer in ein Konzept zu investieren. Sollte in diesem Punkt keine Attraktivität geschaffen werden, sind alle bisherigen Betrachtungen hinfällig, und werden lediglich theoretische Berechnungen bleiben.

Der letzte Einflussfaktor „Rechtliche Grundlagen“ spielt in der Erstellung der Kennzahlen eine untergeordnete Rolle. Für alle stromgewinnenden regenerativen Energien gibt es Förderungen der einen oder anderen Art. Die Förderungen der Photovoltaik, Windkraft und Wasserkraft werden durch das sogenannte „Erneuerbare-Energien-Gesetz“ (EEG) geregelt, die Förderungen von BHKW-Anlagen durch das KWK-Gesetz. Diese Aspekte werden in den jeweiligen Wirtschaftlichkeitsberechnungen berücksichtigt.

Der Aspekt des Netzanschlusspunktes ist der Vollständigkeit halber aufgeführt. Eine zusätzliche Stromproduktion muss prinzipiell an einem Punkt ins Netz eingespeist werden. Dieser Punkt richtet sich nach der Menge des einzuspeisenden Stromes und den im Netz

vorhandenen Abnahmemöglichkeiten. Auf lange Sicht gesehen sollte das Ziel eine komplette Eigennutzung des selbst produzierten Stromes sein, sodass der Strom nicht ins Netz eingespeist werden muss und das Netz nicht zusätzlich belastet wird. Um dieses Ziel zu erreichen, wurde die sogenannte Eigenverbrauchsvergütung eingeführt. Jede selbst erzeugte und direkt genutzte Kilowattstunde Strom wird gesondert vom Staat gefördert.

Ein kompletter Eigenverbrauch im Industriesektor ist jedoch lediglich mit einem erheblichen Mehraufwand in Form von Prozessumstellungen und Speicherungen zu realisieren. Auf diese beiden Aspekte wird in dieser Thesis lediglich im Kapitel 6 „Ausblick“ eingegangen, da beide Themen jeweils eine eigenständige Ausarbeitung umfassen.

### 3.2 Regenerative Energien im Vergleich

Um das Ziel der Arbeit, die elektrische Autarkie einer kleinen Kommune mittels signifikanter Entlastung des Großverbrauchers, zu erreichen, spielen insbesondere zwei Aspekte eine Rolle. Der eine Aspekt, der in dieser Arbeit nur am Rande behandelt wird, ist die Energieeinsparung. Eingesparte Energie muss weder selber erzeugt noch von außen dazu gekauft werden. Dazu sind meist große Änderungen in den Prozessabläufen, eine effiziente Speichermöglichkeit sowie verschiedene verfahrenstechnische Grundlagen zu berücksichtigen. Effizient elektrische Energie in einem großen Unternehmen einzusparen ist ein sehr interessantes, aber auch für sich eigenständiges Thema.

Der zweite, bedeutendere Aspekt, ist die Einbeziehung verschiedener erneuerbarer Energien, die durch eine eigene Stromproduktion den Strombedarf des Großunternehmers erheblich verringern.

Auf Grund der Individualität der Großverbraucher in den verschiedenen Kommunen, wird mittels Sensitivitätsanalyse eine Kennzahl entwickelt, durch die eine Prioritätenreihenfolge, für die Nutzbarkeit regenerativer Energien, erzeugt wird.

Um diese Kennzahl zu entwickeln, müssen vorab verschiedene Faktoren der jeweiligen regenerativen Energieart betrachtet und miteinander verglichen werden.

In diesem Kapitel werden nach einander die regenerativen Energiearten Photovoltaik, Windkraft, Wasserkraft, Solarthermie, Biogas und Geothermie vorgestellt. Das Vorgehen

der Analyse zur Bewertung und Bestimmung der Kennzahl ist in folgende Schritte unterteilt:

- Anteil an der Stromerzeugung
- Kenndaten
- Theoretisches Potenzial
- Technisches Potenzial
- Umwelteinfluss und CO<sub>2</sub>-Emission

Zum Anteil an der Stromerzeugung aktuell ist zu erwähnen, dass die Daten aus dem Jahre 2015 zum Zeitpunkt der Erstellung der Arbeit noch nicht abschließend vorliegen. Aus diesem Grund werden die Zahlen des Jahres 2014 genommen, welche sowohl durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) und den Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e.V. (BDEW) verifiziert sind.

In Abbildung 3 sind die Anteile der erneuerbaren Energien an der Stromerzeugung in den Jahren 2013 und 2014 zusammenfassend dargestellt.

## Stromerzeugung aus Erneuerbaren Energien: Detaillierte Unterteilung

**bdeW**  
Energie. Wasser. Leben.

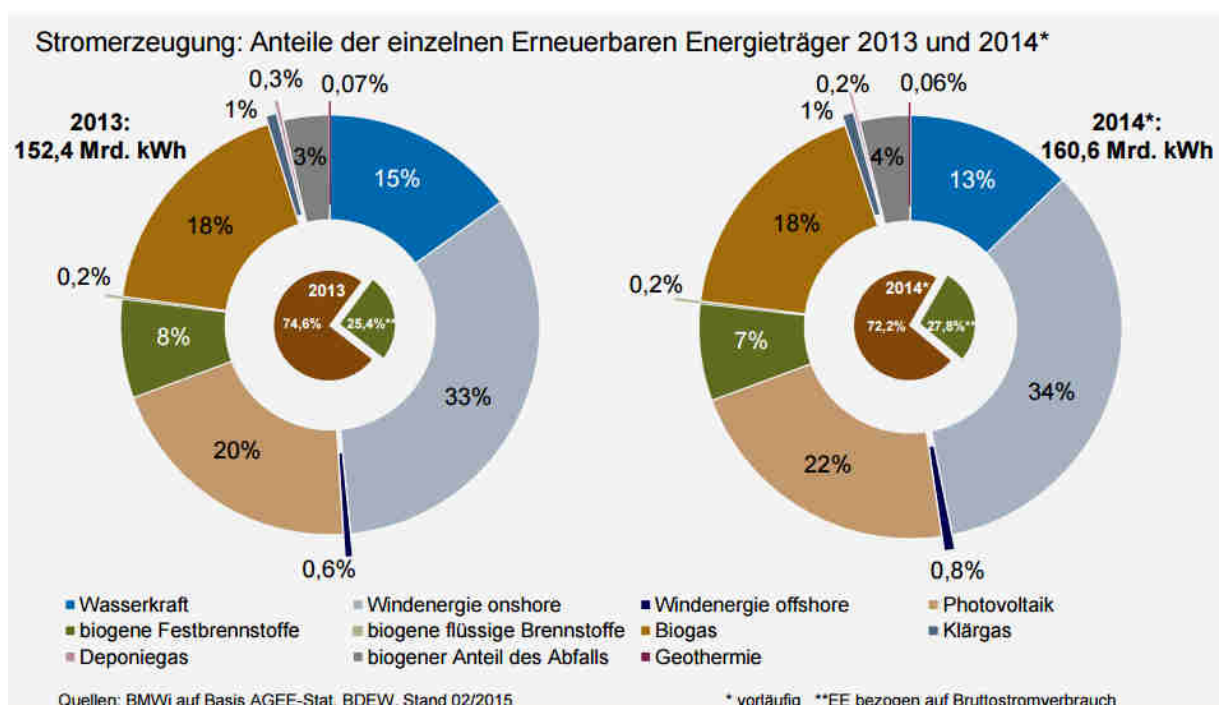


Abbildung 3 Stromerzeugung aus Erneuerbaren Energien – Detaillierte Unterteilung (Quelle: BMWi, BDEW)

### 3.2.1 Photovoltaik

Die Photovoltaik ist zum einen die technisch einfachste regenerative Energieform als auch die mit dem meisten Potenzial. Der Begriff Photovoltaik setzt sich zusammen aus dem Griechischen Wort für Licht und dem Nachnamen des Physikers Alessandro Voltas. Die Photovoltaik nutzt den photoelektrischen Effekt aus, um Energie zu erzeugen. Darunter versteht man die Freisetzung von positiv und negativ geladenen Ladungsträgern in einem Festkörper durch Lichteinstrahlung. (Mertens, Photovoltaik - Lehrbuch zu Grundlagen, Technologie und Praxis, 2015, S. 32)

#### Anteil an der Stromerzeugung

Im Jahre 2014 wurden in Deutschland insgesamt 34,9 Mrd. kWh Strom allein durch Photovoltaikanlagen produziert. Damit leistet die Photovoltaik einen Anteil von 21,7% der deutschen Stromerzeugung durch erneuerbare Energien. Im gesamten Strommix Deutschlands kommt sie auf einen Anteil von 5,8%. Bei der kompletten Energiebereitstellung (thermisch und elektrisch) nimmt die Photovoltaik 11% ein (BMW, 2015, S. 4-5) (BDEW, 2014). In der Abbildung 4 ist die Entwicklung der Stromerzeugung aus Photovoltaikanlagen der Jahre 2013 und 2014 dargestellt.

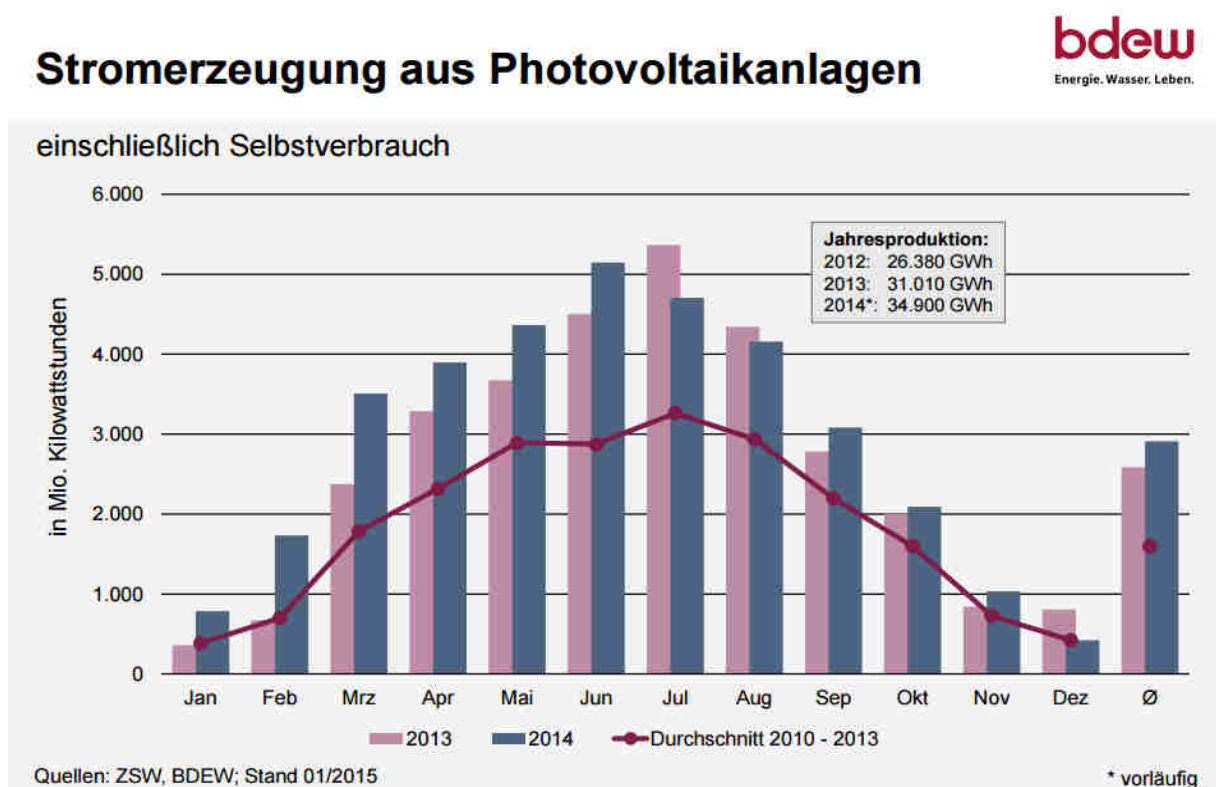


Abbildung 4 Stromerzeugung aus Photovoltaik – Jahresverlauf (Quelle: ZSW, BDEW)

### *Kenndaten*

Die Energiequelle der Photovoltaik ist die diffuse und direkte Sonneneinstrahlung, die Globalstrahlung. Je nach Technologie und Anwendung ist die Photovoltaik in der Lage beide Strahlungsarten zu verwenden. Die diffuse Strahlung ist der Anteil des Lichts, der auf Grund von verschiedenen Streueffekten in der Atmosphäre wie Streuung an Wolken, Wasserteilchen und Staubteilchen die Erdoberfläche erreicht. Die Direktstrahlung tritt direkt und ungehindert von der Sonne bis zur Erdoberfläche durch. Globalstrahlung wird in der Einheit kWh/m<sup>2</sup> angegeben und betrug für Deutschland in den letzten 20 Jahren im Durchschnitt 1055 kWh/m<sup>2</sup> (DWD, 2016)(Quaschnig, 2015).

### *Theoretisches Potenzial*

Aus der Globalstrahlung ergibt sich direkt das theoretische Potenzial. Könnte man die oben genannten 1055 kWh/m<sup>2</sup> komplett nutzen, dann ergäbe sich für Deutschland ein theoretisches Potenzial von 105 PWh/a (Kaltschmitt, Streicher, & Wiese, 2014, S. 443) Zum Vergleich, der Bruttostromverbrauch Deutschlands innerhalb eines Jahres ergibt sich zu 600 TWh/a (BMUB, 2015). Rein theoretisch könnte eine flächendeckende Photovoltaikanlage das 175 fache des Strombedarfes der gesamten Republik abdecken.

### *Technisches Potenzial*

Das technische Potenzial ergibt sich aus den zur Installation von Photovoltaikanlagen verfügbaren Flächen, dem bereits erwähnten Strahlungsangebot, welches regional unterschiedlich ausfällt, und der jeweiligen Anlagentechnik. Man unterscheidet im Wesentlichen zwischen zwei Anlagentechniken: kristalline Solarzellen (Monokristallin und Polykristallin), die insbesondere zum Umwandeln der direkten Strahlung geeignet sind, und amorphe Solarzellen, zur Stromerzeugung aus diffusen Sonnenlicht.

Legt man den derzeitigen Gebäudebestand an Dächern und Fassaden zu Grunde ergibt sich unter Berücksichtigung der oben genannten Aspekte ein Potenzial von 150 TWh/a (Kaltschmitt, Streicher, & Wiese, 2014).

Mit Zunahme der potenziell möglichen Freiflächen ergibt sich ein weiteres Potenzial von 576 TWh/a. Der gesamte Strombedarf Deutschlands könnte somit gedeckt werden.



### ***Umwelteinfluss und CO<sub>2</sub>-Emission***

Die oben aufgeführten technischen Potenziale berücksichtigen weder die optische Veränderung der Landschaft, noch den Aspekt des Nahrungsmittelproblems. Es können nicht alle Felder und Freiflächen für Photovoltaik verwendet werden, da dann kein Ackerbau mehr betrieben werden kann.

Ansonsten ist die Photovoltaik eine relativ saubere regenerative Energieform. Zwar enthält kristallines Silizium oft noch Blei, dieses ließe sich allerdings sehr gut substituieren. Anders bei den amorphen Dünnschichtzellen, diese enthalten Cadmium oder Selen. Beides ist mit Stand der heutigen Technik nicht zu ersetzen. Bei der Produktion der PV-Module werden keine größeren Rohstoffengpässe erwartet, der Bedarf an Silber (7%) lässt sich ohne weiteres in Kupfer überführen(Kaltschmitt, Streicher, & Wiese, 2014).

Laut Fritsche 2007 S.7 werden bei der Herstellung der PV-Module 101 Gramm pro kWh CO<sub>2</sub> emittiert(Fritsche, 2007). Im Vergleich dazu entstehen in einem herkömmlichen Braunkohlekraftwerk 1153 g/kWh(Kaltschmitt, Streicher, & Wiese, 2014).

### 3.2.2 Windkraft

Die Windkraft im übergeordneten Sinn ist eine der ältesten Energiegewinnungsformen der Menschheit. Historischen Quellen zufolge wurde die Windkraft bereits vor über 3000 Jahren genutzt. Damals in einer technisch sehr einfachen Ausführung und zur Bewässerung. Später wurde sie dann zum Mahlen von Korn und Getreide eingesetzt (Quaschnig, 2015, S. 272). Heute findet man diese alten Windmühlen nur noch recht selten. Ihre Nachfahren funktionieren jedoch noch immer auf dem gleichen Prinzip.

#### Anteil an der Stromerzeugung

Mit 56 Mrd. kWh erzeugter Strom ist die Windkraft in Deutschland der Vorreiter der erneuerbaren Energien. Sie liegt damit 21,1 Mrd. kWh über der Produktion durch Photovoltaik. Das entspricht einem Anteil von 34,8% der deutschen Stromerzeugung durch erneuerbare Energien. Im gesamten Strommix Deutschlands kommt die Windkraft auf 8,6%. Bei der kompletten Energiebereitstellung, sowohl elektrisch als auch thermisch, nimmt die Windkraft 17% ein (BMWi, 2015, S. 4-5) (BDEW, 2014). In der Abbildung 5 ist die Entwicklung der Stromerzeugung aus Windkraftanlagen der Jahre 2013 und 2014 dargestellt.

## Stromerzeugung aus Windkraftanlagen

**bdew**  
Energie. Wasser. Leben.

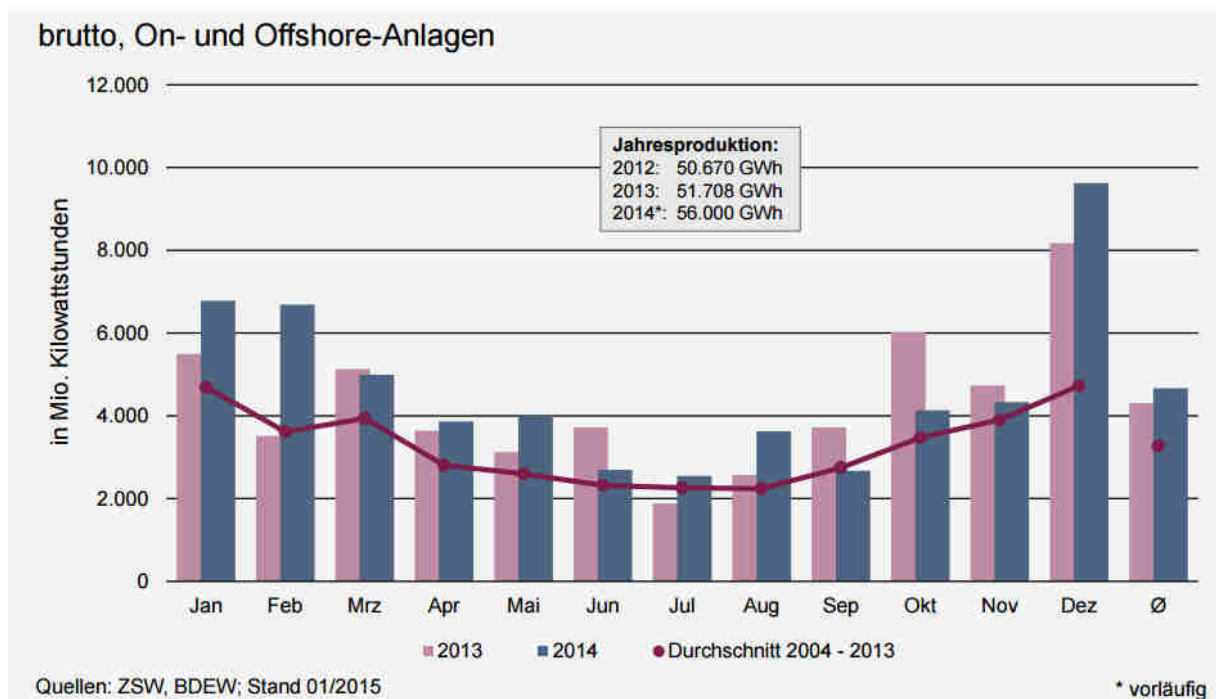


Abbildung 5 Stromerzeugung aus Windkraftanlagen – Jahresverlauf (Quelle: ZSW, BDEW)

### *Kenndaten*

Die Energiequelle der Windkraft ist indirekt die Sonnenenergie, denn durch diese entstehen auf der Erde thermische Potenzialunterschiede, und dadurch wiederum entstehen Winde. In den weiteren Betrachtungen wird die Sonnenenergie lediglich als treibende Kraft gesehen und der Wind als eigentliche Energiequelle. Dabei wird zwischen Windgeschwindigkeiten in Narbenhöhe und den im Wind enthaltenen Leistungsdichten differenziert. Bei einer für Deutschland typischen durchschnittlichen Windgeschwindigkeit in Narbenhöhe von 5 m/s wird eine Leistungsdichte von 0,075 kW/m<sup>2</sup> erzielt (Quaschnig, 2015, S. 280 ff).

### *Theoretisches Potenzial*

Das theoretische Potenzial lässt sich laut Kaltschmitt aus dem gesamten Windenergieangebot über der geografischen Fläche Deutschlands ableiten und ergibt sich zu 8 – 12 PWh/a. Damit erzielt sie das 13-20 fache des jährlich benötigten Bruttostromverbrauch Deutschlands (600 TWh/a) (Kaltschmitt, Streicher, & Wiese, 2014, S. 543 ff).

### *Technisches Potenzial*

Unter Berücksichtigung von gegebenen Restriktionen, wie Siedlungsflächen, Wälder und Naturschutzgebieten, lässt sich technisch gesehen nicht das volle theoretische Potenzial ausnutzen. Zudem beeinflussen Windkraftanlagen sich gegenseitig und können nur an bestimmten Orten errichtet werden. Dabei unterscheidet man zwischen den auf Landfläche errichteten Anlagen (Onshore) und den im Wasser vor der Küste errichteten Anlagen (Offshore). In dieser Arbeit werden ausschließlich Onshore-Anlagen betrachtet. Es ist zwar nicht auszuschließen, dass eine Kommune an ein Küstengewässer grenzt und zur Energieautarkiegraderhöhung im Küstengebiet Offshore-Windkraftanlagen bauen könnte, jedoch ist die Wahrscheinlichkeit verschwindend gering. Unter Vorgabe bestimmter Bedingungen<sup>1</sup> lässt sich für Deutschland ein technisches Potenzial von 346 TWh/a berechnen. (Das technische Potenzial der Photovoltaik ist mit 726 TWh/a mehr als doppelt so groß) (Kaltschmitt, Streicher, & Wiese, 2014, S. 545 ff).

---

<sup>1</sup> Bedingungen siehe Kaltschmitt, Streicher, & Wiese, Erneuerbare Energien, 2014, Kapitel 7.4

#### *Umwelteinfluss und CO<sub>2</sub>-Emission*

Die Windkraft hat im Vergleich zur Photovoltaik, abgesehen von der optischen Veränderung, erheblich größere Umwelteinflüsse. Die vier bedeutendsten Aspekte sind der Schattenwurf, welcher bei nahegelegenen Wohnhäusern zu erheblichen Beeinträchtigungen der Bewohner führen kann, eine gravierende Störung der Vogelwelt, insbesondere der Fledermäuse, eine Störung der Funk- und Fernsehsignale und eine erhebliche Beeinträchtigung durch Schallimmissionen. Alle vier Aspekte sind mit dem Stand der Technik nicht zu beheben und bergen somit einen großen Umwelteinfluss.

Im Vergleich zu allen anderen erneuerbaren Energien überzeugt die Windkraft mit einer CO<sub>2</sub>-Emission von gerade mal 24 g/kWh (Kaltschmitt, Streicher, & Wiese, 2014).

### 3.2.3 Wasserkraft

Die Blütezeit der Wasserkraft befand sich im 18. Jahrhundert. Das damalige Landschaftsbild an Flussläufen war geprägt von Wasserkrafträdern zur Nutzungen verschiedenster Arbeits- und Werkzeugmaschinen. Durch die Einführung der Dampfmaschine wurden die Kehrräder immer weiter verdrängt, bis sie schließlich zum Ende des 19. Jahrhunderts zur Erzeugung von Strom wieder an Bedeutung gewannen. Heutzutage ist die Wasserkraft, global gesehen, die wichtigste regenerative Energiequelle. In Deutschland spielt sie jedoch auf Grund der geografischen Gegebenheiten nur eine kleine Rolle (Quaschnig, 2015, S. 327-328).

#### Anteil an der Stromerzeugung

Der Anteil der Wasserkraft an der Stromerzeugung im Jahre 2014 betrug 20,9 Mrd. kWh. Das entspricht einem Anteil von 13% der deutschen Stromerzeugung durch erneuerbare Energien. Im gesamten Strommix Deutschlands kommt die Wasserkraft auf 3,5%. Bei der kompletten Energiebereitstellung (thermisch und elektrisch) nimmt die Wasserkraft 6% ein. Sie ist damit die kleinste hier betrachtete stromerzeugende erneuerbare Energieform (BMW, 2015, S. 4-5) (BDEW, 2014). In der Abbildung 6 ist die Entwicklung der Stromerzeugung aus Wasserkraftanlagen der Jahre 2013 und 2014 dargestellt.

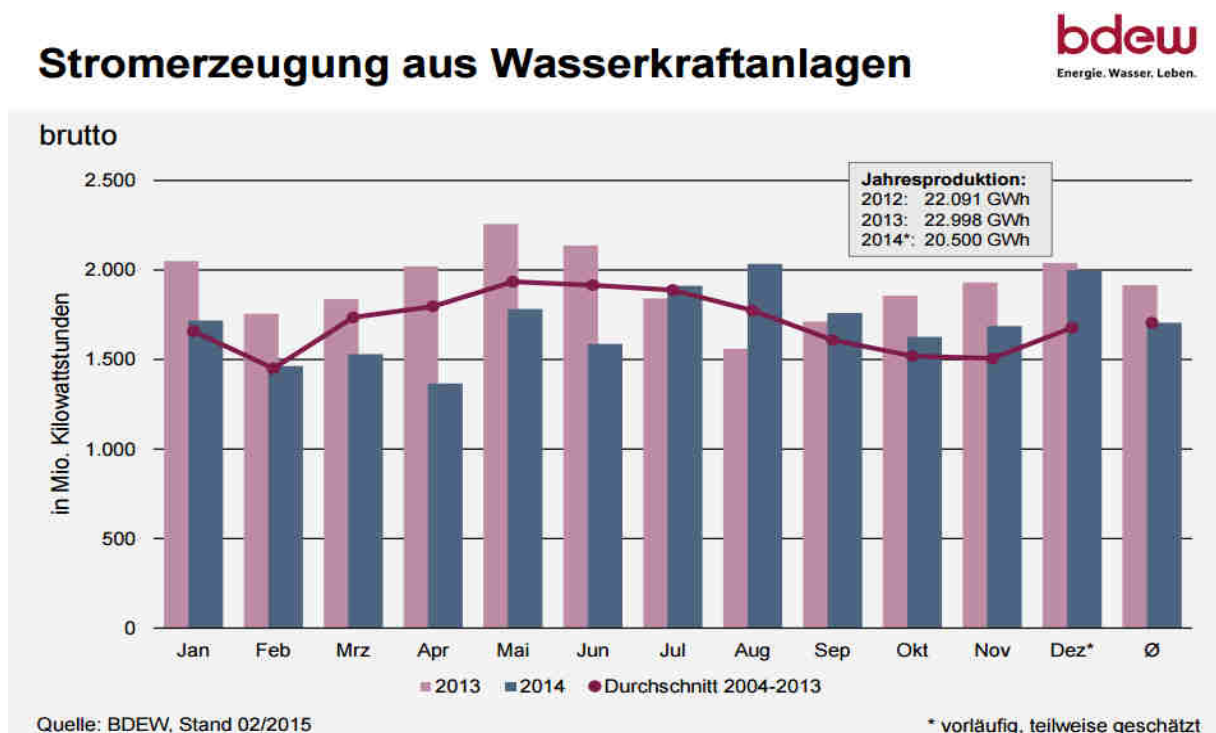


Abbildung 6 Stromerzeugung aus Wasserkraftanlagen – Jahresverlauf (Quelle: BDEW)

### *Kenndaten*

Die Energiequellen der Wasserkraft sind die potenzielle und die kinetische Energie. Die Nutzung erfolgt meist in sogenannten Pumpspeicherkraftwerken, in denen das Wasser immer dann hochgepumpt wird, wenn ein Stromüberfluss herrscht, und der Strom äußerst günstig ist. Beim Auftreten eines Strombedarfs im Netz kann das Wasser innerhalb von Minuten durch Rohre und Turbinen hinabgelassen werden und erzeugt somit Strom, der dann teurer verkauft werden kann, da ein Bedarfsfall vorliegt. Diese Art der Wasserkraft eignet sich hervorragend um sogenannte Spitzenlasten im Netz abzufangen. Zudem existieren noch sogenannte Laufwasserkraftwerke und Speicherkraftwerke. Zu allen drei Betriebsweisen gibt es diverse Bauformen und Ausführungen (Quaschnig, 2015).

### *Theoretisches Potenzial*

Das theoretische Potenzial aller deutschen Gewässer ergibt sich laut Kaltschmitt zu 333,4 PJ/a. Bei Unterstellung eines lückenlosen Ausbaus und einem Umwandlungswirkungsgrad von 100% ergeben sich 92,6 TWh/a. Bei einem jährlich benötigten Bruttostromverbrauch Deutschlands von 600 TWh/a ergibt sich ein Deckungsgrad von 15,43%. (Kaltschmitt, Streicher, & Wiese, 2014)

### *Technisches Potenzial*

Werden die hydraulischen Verluste im Gewässer, die Anlagenverluste und die real nutzbaren Anteile mit berücksichtigt, so ergibt sich ein technisches Stromerzeugungspotenzial von 33,2 – 42,1 TWh/a. Auf Grund der großen regionalen Unterschiede, im Norden Deutschlands gibt es kaum Nutzungsmöglichkeiten, der Süden hingegen birgt mehr als  $\frac{3}{4}$  des gesamten technischen Potenzials, wird die Wasserkraft in der Kennzahlenermittlung gesondert betrachtet und erhält, sollte eine Nutzungsmöglichkeit vorliegen, pauschal immer Vorrang. (Kaltschmitt, Streicher, & Wiese, 2014).

### *Umwelteinfluss und CO<sub>2</sub>-Emission*

Wasserkraftwerke beeinträchtigen, wie jede herkömmliche und regenerative Energieform, durch Bauten das Landschaftsbild. Jedoch hat die Nutzung der Wasserkraft erheblich größere Auswirkungen auf die Wasserumwelt.

Der Bau eines Wasserkraftwerkes verhindert, dass die Fische zu ihren Laich- und Paarungsplätzen stromaufwärts gelangen können. Zudem werden vorhandene Lebensräume durch unnatürliche, kurzfristige Veränderungen der Abflussmengen zerstört. Auch die

Wassertiefen und Fließgeschwindigkeiten ändern sich durch das Einleiten oder Ableiten erheblich(Schweizerischer Wasserwirtschaftsverband, 2016).

Jedoch hat die Wasserkraft die beste Gesamt-Ökobilanz (über den gesamten Lebenszyklus betrachtet) und überzeugt mit dem geringsten aller CO<sub>2</sub>-Emissionswert von 9-19 g/kWh(Texte: Umweltbundesamt 22/2012).

### 3.2.4 Solarthermie

Die Solarthermie beruht wie die Photovoltaik auf der direkten Nutzung der Sonnenenergie. Das größte Anwendungsgebiet ist die Bereitstellung von Wärme. Solare Trinkwassererwärmung mittels Solarkollektoren nimmt dabei den größten Posten ein. In dieser Arbeit werden jedoch auch die weitaus kleineren Aspekte, die solarthermische Stromerzeugung und die Bereitstellung von Prozesswärme betrachtet. (Quaschnig, 2015, S. 97)

#### *Anteil an der Stromerzeugung*

Da die Solarthermie hauptsächlich zur Wärmeerzeugung eingesetzt wird, wird in diesem Abschnitt der Anteil der Solarthermie an der Wärmeerzeugung im Jahre 2014 betrachtet. Dieser betrug 7,09 Mrd. kWh. Das entspricht einem Anteil von 5% der deutschen Wärmebereitstellung durch erneuerbare Energien. Bei der kompletten Energiebereitstellung nimmt die Solarthermie 2% ein. Sie ist damit die kleinste hier betrachtete erneuerbare Energieform (BMW, 2015, S. 4-5) (BDEW, 2014).

#### *Kenndaten*

Die Energiequelle der Solarthermie ist die Wärmestrahlung der Sonnenenergie. Durch die Solarwärme tritt eine Temperaturänderung an einem bestimmten Punkt auf. Mithilfe eines Volumenstroms und eines Trägermaterials kann diese Wärmeänderung von dem durchströmenden Medium aufgenommen werden. Die Wärmekapazität, also das Wärmeaufnahmevermögen des Mediums, spielt dabei eine große Rolle. Mittels Wärmetauschern kann die gewonnene Temperaturerhöhung an andere Medien weiter gegeben werden (Quaschnig, 2015, S. 97 ff).

#### *Theoretisches Potenzial*

Zur Bestimmung des theoretischen Potenzials wird die auf die gesamte Fläche der Bundesrepublik Deutschland (357 km<sup>2</sup>) treffende durchschnittliche Globalstrahlung (1055 kWh/m<sup>2</sup>) genutzt. Damit ergibt sich ein rechnerisches solares Strahlungspotenzial von 1356 EJ/a. Eine Umrechnung in die jährliche Stromerzeugung in TWh/a kann an dieser Stelle nicht vorgenommen werden (Kaltschmitt, Streicher, & Wiese, 2014, S. 252 ff).



*Technisches Potenzial*

Das technische Potenzial ergibt sich aus den zur Installation von Solaranlagen verfügbaren Flächen, dem bereits erwähnten Strahlungsangebot, welches regional unterschiedlich ausfällt, und den jeweiligen Wirkungs- bzw. Nutzungsgraden. Legt man den derzeitigen Gebäudestand an Dächern und Fassaden zu Grunde, ergibt sich unter Berücksichtigung der oben genannten Aspekte ein Potenzial von 745 – 1810 PJ/a (Kaltschmitt, Streicher, & Wiese, 2014, S. 252 ff).

*Umwelteinfluss und CO<sub>2</sub>-Emission*

Abgesehen von der optischen Veränderung des Landschaftsbildes lässt sich weder ein Umwelteinfluss bei der Herstellung noch bei den verwendeten Materialien feststellen. Solarkollektoren bestehen, je nach Art und Ausführung, aus Glas, Aluminium und Kupfer. Durchflossen werden die Systeme in der Regel von einem Wasser-Glycol-Gemisch, welches eine sehr hohe Wärmekapazität besitzt. (Mono-)Ethylenglycol ist ein zweiwertiger Alkohol und lediglich giftig für den Menschen, weist jedoch keine schädlichen Umwelteinflüsse auf.

Der CO<sub>2</sub>-Emissionswert ist mit 265 g/kWh im Vergleich zu den anderen vorgestellten Energiearten recht hoch (Paper: Climate Change 15/2013, S. 104 ff).

### 3.2.5 BHKW

Ein Blockheizkraftwerk ist ein kompaktes kleines Kraftwerk, was sowohl Strom („Kraft“) als auch Wärme („Heiz“) produziert. Mittels eines Motors wird Energie erzeugt und in einem Generator in elektrischen Strom umgewandelt. Die dabei entstehende Wärme wird mit Hilfe eines Wärmetauschers als Heizenergie brauchbar gemacht. Der Motor kann mit Diesel, Gas, Öl, Pellets oder Hackschnitzeln betrieben werden. Dies alles geschieht in einem „Block“.

#### *Anteil an der Stromerzeugung*

Der Anteil der Blockheizkraftwerke unterteilt sich zum einen in den Anteil am Strommarkt und zum anderen in den Anteil am Wärmemarkt. Es ist immer zwingend beides parallel zu betrachten, da die eine Energieform ohne die andere nicht hergestellt werden kann. Der Anteil des durch Kraft-Wärme-Kopplungs-Anlagen (KWK-Anlagen) erzeugten Stroms an der Nettostromerzeugung in Deutschland im Jahre 2014 betrug 96 Mrd. kWh. Das entspricht einem Anteil von 16,2%. Zudem trugen die KWK-Anlagen mit 200 Mrd. kWh (20%) Wärmeerzeugung am Wärmemarkt bei (Endbericht zum Projekt I C 4 - 42/13).

#### *Kenndaten*

Die Energiequellen der Blockheizkraftwerke sind die verwendeten Brennstoffe. Diese reichen von herkömmlichen Energien wie Erdgas und Heizöl bis hin zu regenerativen Energien wie Biogas und Klärgas.

#### *Theoretisches Potenzial*

Ein theoretisches Potenzial aufgeschlüsselt nach Verfügbarkeit findet bei Blockheizkraftwerken keine Anwendung. Sieht man von den konventionellen Brennstoffen ab, deren Verfügbarkeit endlich ist und sich aus den noch vorhandenen Reserven der Erde ergeben, so lässt sich aus den erneuerbaren Energien ein quasi unendliches Potenzial ermitteln.

#### *Technisches Potenzial*

Das theoretische Potenzial lässt sich zwar durch die Wirkungsgrade der BHKW begrenzen, ergibt sich aber durch die Unendlichkeit des Ausgangspotenzials wiederum zu unendlich.

#### *Umwelteinfluss und CO<sub>2</sub>-Emission*

Der Umwelteinfluss hängt von dem verwendeten Brennstoff ab. Insbesondere müssen die in der technischen Anleitung zur Reinhaltung der Luft (TA-Luft) geforderten Emissions-

grenzwerte eingehalten werden. Dies ist mit dem heutigen Stand der Technik jedoch ohne Probleme realisierbar (Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft, 2002).

Der CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktor wird für die Stromerzeugung und die Wärmeerzeugung separat angegeben und ist abhängig von dem eingesetzten Brennstoff. Beim Einsatz von Erdgas beträgt er für Wärme 170,1 g/kWh und für Strom 413,4 g/kWh. Für Biogas als Brennstoff beträgt er 57,1 g/kWh thermisch und 138,8 g/kWh elektrisch (Paper: Climate Change 8/2008).

### 3.2.6 Überblick

Die in den Kapiteln 3.2.1 bis 3.2.5 gewonnenen Erkenntnisse sind in der nachstehenden Tabelle 2 „Überblick der behandelten regenerativen Energien“ zusammenfassend dargestellt.

**Tabelle 2** Überblick der behandelten regenerativen Energien

	PV	Wind	Wasser	Solar	BHKW
Anteil an Stromerzeugung bezogen auf EE [%]	21,7	34,8	13,0	---	68,0
Anteil an Stromerzeugung Gesamt [%]	5,8	8,6	3,5	---	16,2
Anteil an Wärmeerzeugung bezogen auf EE [%]	---	---	---	5,0	50,0
Anteil an Wärmeerzeugung Gesamt [%]	---	---	---	2,0	20,0
Theoretisches Potential [PWh/a]	105	8-12	0,0926	1356 <sup>1</sup>	---
Technisches Potential [TWh/a]	726	346	33,2 - 42,1	745-1810 <sup>2</sup>	---
CO <sub>2</sub> -Emissionsfaktor [g/kWh]	101	24	9-19	265	57,1 <sup>3</sup> 138,8 <sup>4</sup>

Dabei ist zu beachten, dass die Werte für die CO<sub>2</sub>-Emissionen bei Blockheizkraftwerken maßgeblich durch die eingesetzten Brennstoffe bestimmt werden. Hier wurden die Werte für den Brennstoff „Biogas“ getrennt in thermisch und elektrisch aufgeführt.

Der Vollständigkeit halber sei an dieser Stelle erwähnt, dass ein herkömmliches Braunkohlekraftwerk einen CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktor von 1153 g/kWh aufweist. Damit sind zwar alle hier vorgestellten regenerativen Energien erheblich klimafreundlicher, jedoch nicht komplett klimaneutral.

<sup>1</sup> [EJ/a]

<sup>2</sup> [PJ/a]

<sup>3</sup> thermisch

<sup>4</sup> elektrisch

### 3.3 Stromgestehungskosten

Einer der auf die Kennzahl einflussnehmenden Faktoren sind die Stromherstellkosten, auch Stromgestehungskosten genannt. Die Bachelorthesis setzt an dem Gedanken an, dass es wirtschaftlicher und zukunftsweisender ist, den eigens hergestellten Strom selber zu verbrauchen und nicht ins Netz einzuspeisen, also zu verkaufen. Das spart sowohl Stromeinkaufskosten, als auch Netznutzungsentgelte und entlastet zudem die kommunalen Netzstrukturen.

Strom selber zu erzeugen und zu verbrauchen ist für Großverbraucher nur dann interessant, wenn die Kosten, die zur Herstellung des Stromes benötigt werden, unter den Stromeinkaufspreisen liegen.

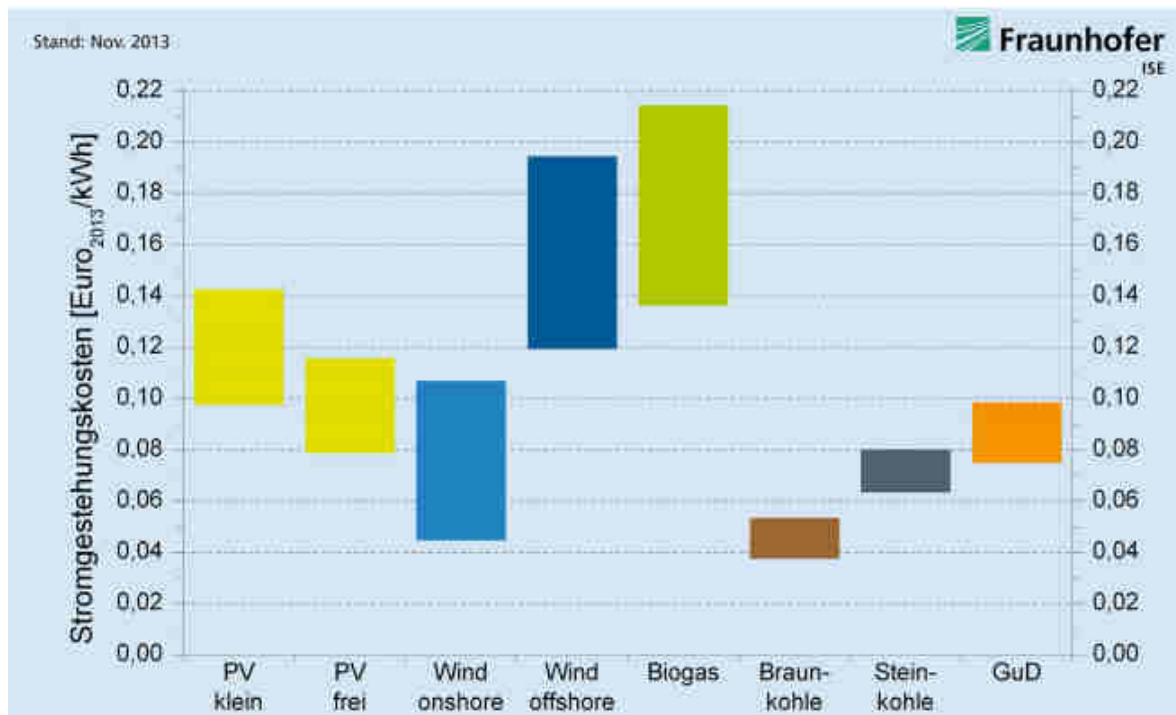
Im Endbericht „Potenzial- und Kosten-Nutzen-Analyse zu den Einsatzmöglichkeiten von Kraft-Wärme-Kopplung (Umsetzung der EU-Energieeffizienzrichtlinie) sowie Evaluierung des KWKG im Jahr 2014“ des Bundesministerium für Wirtschaft und Industrie findet sich dazu die nachfolgende **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.:**

**Tabelle 3** Industrielle Strompreise nach Verbrauchsklassen inklusive/ exklusive Umlagen und Steuern („betriebswirtschaftliche Betrachtungsweise“/ „volkswirtschaftliche Betrachtungsweise“) bis 2050, jeweils ohne MwSt. (Quelle: Prognos 2014)

		Netzebene	Betrachtungs- weise <sup>6</sup>	2013	2014	2020	2030	2040	2050
<b>Industrie 1,</b> (Kleingewerbe), 0,05 GWh pro Jahr	Cent <sub>2013</sub> /kWh	NS	BB	19,3	19,8	21,3	20,7	20,5	20,5
			VB	11,8	11,4	12,4	15,0	16,8	17,4
<b>Industrie 2, (KMU),</b> 0,2 GWh pro Jahr	Cent <sub>2013</sub> /kWh	NS	BB	18,7	19,1	20,7	20,1	19,9	19,8
			VB	11,6	11,2	12,2	14,8	16,6	17,2
<b>Industrie 3, (KMU),</b> 1 GWh pro Jahr	Cent <sub>2013</sub> /kWh	MS	BB	15,7	16,1	17,5	17,4	17,1	17,0
			VB	9,3	8,9	9,8	12,3	14,0	14,6
<b>Industrie 4, 10</b> GWh pro Jahr	Cent <sub>2013</sub> /kWh	MS	BB	14,0	14,6	16,0	15,5	15,2	15,1
			VB	7,9	7,7	8,5	11,0	12,8	13,4
<b>Industrie 5, 100</b> GWh pro Jahr	Cent <sub>2013</sub> /kWh	HS	BB	11,0	11,9	13,1	12,3	11,9	11,6
			VB	5,4	5,5	6,1	8,6	10,1	10,6
<b>Industrie 6,</b> 100 GWh pro Jahr, ermäßigte Netzent- gelte	Cent <sub>2013</sub> /kWh	HS	BB	4,5	4,5	4,9	7,3	8,8	9,2
			VB	4,1	4,2	4,6	7,0	8,5	8,9
<b>Industrie 7,</b> 1.000 GWh pro Jahr, ermäßigte Netzentgelte	Cent <sub>2013</sub> /kWh	HS	BB	4,1	4,1	4,5	6,9	8,4	8,8
			VB	3,9	3,9	4,3	6,7	8,2	8,6

### Photovoltaik und Windkraft

Zu ermitteln sind nun die einzelnen Stromgestehungskosten der verschiedenen betrachteten regenerativen Energiearten. Das Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme (ISE) hat zu diesem Thema im November 2013 die Studie „Stromgestehungskosten Erneuerbare Energien“ heraus gegeben. Die Ergebnisse sind in Abbildung 7 zu sehen.



**Abbildung 7** Stromgestehungskosten für erneuerbare Energien und konventionelle Kraftwerke an Standorten in Deutschland im Jahr 2013 (Quelle: Fraunhofer ISE)

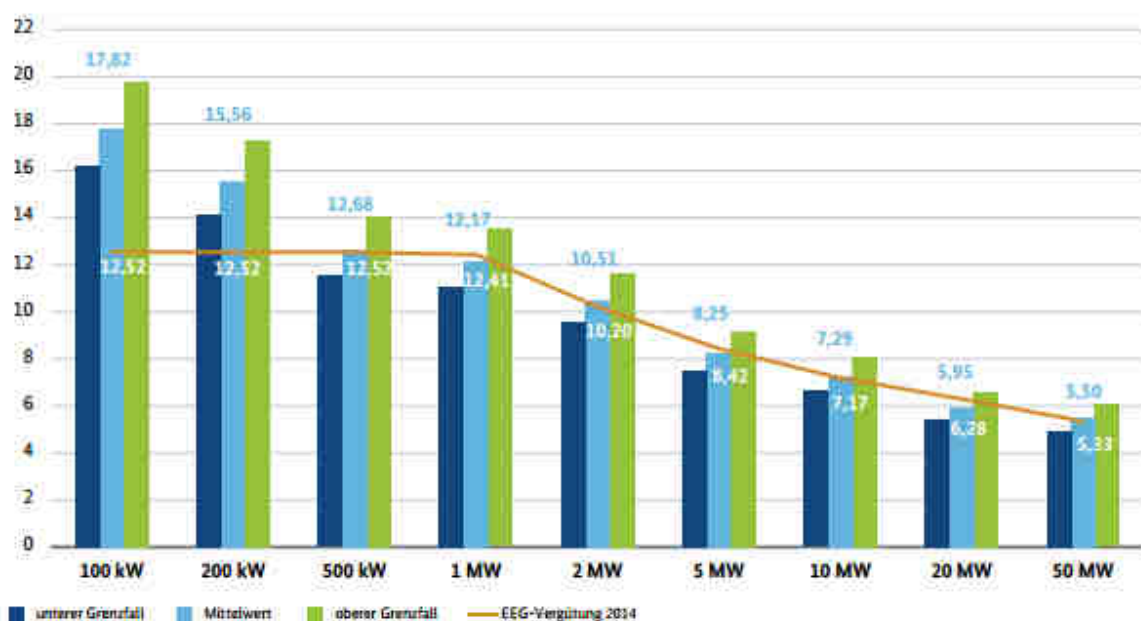
Aus dieser Studie ergibt sich für eine Photovoltaikanlage ein Stromgestehungspreis zwischen 0,078 und 0,142 Euro/kWh. Bis 2030 wird eine Degression der Stromherstellkosten auf 0,055 bis 0,094 Euro/kWh prognostiziert. Für die Kennzahlenbestimmung wird ein mittlerer Kostenwert von 0,11 Euro/kWh gewählt.

Für eine Onshore Windkraftanlage ergeben sich laut Studie Stromgestehungskosten zwischen 0,045 und 0,107 Euro/kWh. Dieses Niveau ist bereits so tief, dass in Zukunft keine großen Minderungen mehr erwartet werden. Für die Kennzahlenbestimmung wird auch hier der mathematische Mittelwert von 0,076 Euro/kWh angesetzt (Fraunhofer ISE, 2013).

### Wasserkraft

Die Stromgestehungskosten von Wasserkraftanlagen sind in der „Marktanalyse Wasserkraft“ vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie umfassend kalkuliert worden. Die Abbildung 8 Vergleich von Stromgestehungskosten und Vergütung beim Neubau von Wasserkraftanlagen bezogen auf die Leistung Plnst, Inbetriebnahme 2015 (Quelle: BMWi) zeigt die Kosten für einen Neubau einer Wasserkraftanlage in verschiedenen Leistungsbe-  
reichen in Cent/kWh auf.

Stromgestehungskosten bei Neubau bezogen auf die Stromerzeugung (ct/kWh)



**Abbildung 8** Vergleich von Stromgestehungskosten und Vergütung beim Neubau von Wasserkraftanlagen bezogen auf die Leistung Plnst, Inbetriebnahme 2015 (Quelle: BMWi)

Für die Kennzahlenbestimmung wird ein Preis von 16,69 Cent/kWh angesetzt, da für das Modell dieser Bachelorthesis lediglich Größen bis maximal 200 kW in Frage kommen. 16,69 Cent/kWh entsprechen dem mathematischen Mittelwert zwischen 17,82 Cent/kWh für Anlagen bis 100 kW und 15,56 Cent/kWh für Anlagen zwischen 100 und 200 kW (Paper: Marktanalyse Wasserkraft).

### *Solarthermie*

Solarthermische Wärmeerzeugungskosten sind in dem Hintergrundpapier „Solarthermie – Wärme von der Sonne“ des BUND (Bund für Umwelt und Naturschutz Deutschland) erfasst worden. Demnach kostet je nach Konzept eine erzeugte Kilowattstunde Solarwärme 10 bis 15 Cent. Für die Kennzahlenbestimmung wird auch hier der mathematische Mittelwert zu 12,5 Cent/kWh verwendet (BUND-Hintergrundpapier: Solarthermie-Wärme von der Sonne, 2012).

### *BHKW*

Die Berechnung der Stromgestehungskosten von Kraft-Wärme-Kopplungs-Anlagen verläuft unter etwas anderen Voraussetzungen als bei den bisher betrachteten Energiearten. KWK-Anlagen produzieren zeitgleich Strom und Wärme, sodass eine Aufteilung der Kosten anteilig auf Strom oder Wärme nicht möglich ist. Aus diesem Grund wird eine sogenannte Wärmegutschrift bzw. Stromgutschrift eingeführt.

Alle Kosten der KWK-Anlage werden einer der beiden Energieformen zugeordnet. Anschließend wird die jeweilige Gutschrift, die sich aus dem Verkauf oder aus dem Nutzen der anderen gewonnenen Energieform ergibt, von den Kosten abgezogen, sodass sich letzten Endes die Gestehungskosten der betrachteten Energieform ergeben.

In diesem Fall werden die Stromgestehungskosten benötigt, sodass alle Kosten dem Strom zugeordnet werden und anschließend die Wärmegutschrift abgezogen wird. Mit berücksichtigt werden müssen zudem die Brennstoffkosten, die bei den anderen Systemen auf Grund der kostenlosen Sonnenenergie bzw. den vorhandenen Wind-/Wasserpotenzialen keine Rolle gespielt haben.

Im Endbericht „Potenzial- und Kosten-Nutzen-Analyse zu den Einsatzmöglichkeiten von Kraft-Wärme-Kopplung (Umsetzung der EU-Energieeffizienzrichtlinie) sowie Evaluierung des KWKG im Jahr 2014“ des Bundesministerium für Wirtschaft und Industrie wurden unter anderem die Stromgestehungskosten von BHKW-Anlagen unter Berücksichtigung der genannten Kriterien erforscht. In den Abbildung 8 und Abbildung 9 sind die jeweiligen Stromgestehungskosten eines 500 kW-BHKW und eines 2000 kW-BHKW in Abhängigkeit der Volllaststunden aufgetragen (Endbericht zum Projekt I C 4 - 42/13, 2013).



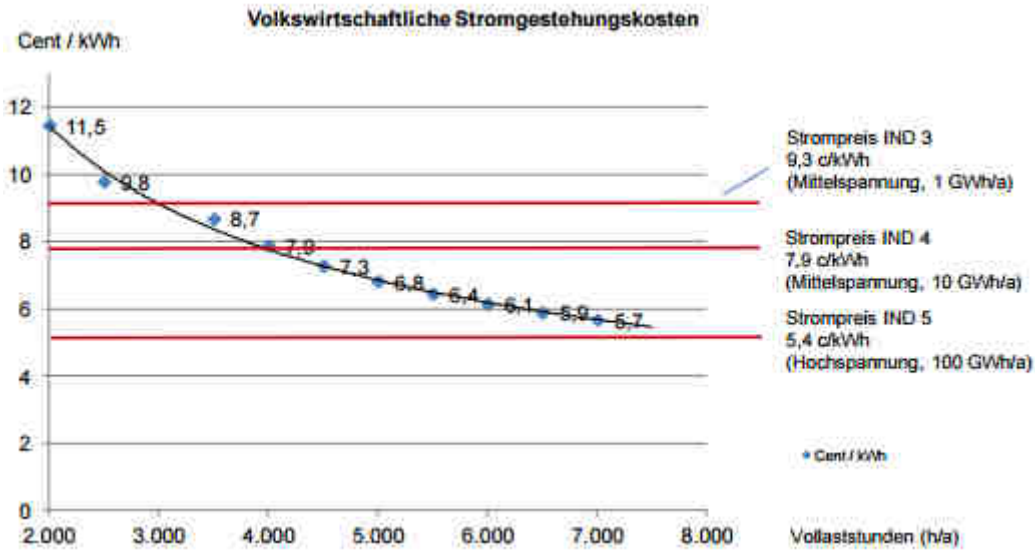


Abbildung 9 Stromgestehungskosten eines 500kW-BHKE in Abhängigkeit der Vollbenutzungsdauer (Quelle: IREES 2014)

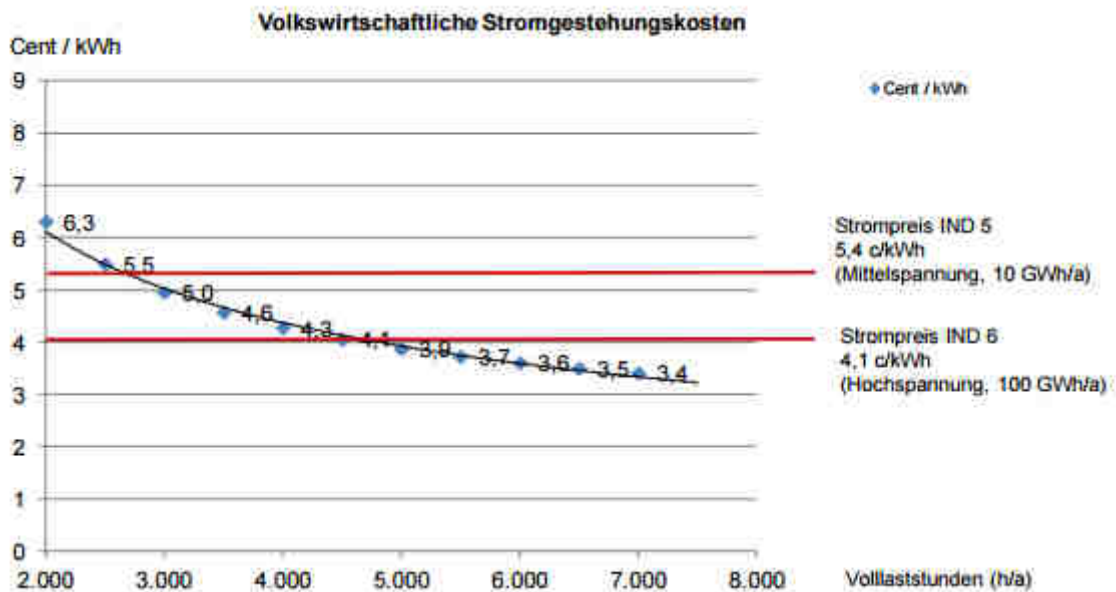


Abbildung 10 Stromgestehungskosten eines 2000kW-BHKE in Abhängigkeit der Vollbenutzungsdauer (Quelle: IREES 2014)

Konservativ betrachtet sollte ein BHKW in einem Großunternehmen mindestens 6000 Betriebsstunden pro Jahr lauffähig sein. Aus diesem Grund wird zur Kennzahlenbestimmung der mathematische Mittelwert der Stromgestehungskosten der beiden BHKW bei jeweils 6000 Stunden angesetzt. Damit ergibt sich ein Preis von 4,95 Cent/kWh.

**Überblick**

In der nachstehenden Tabelle 4 „Vergleich von Stromgestehungskosten verschiedener regenerativer Energiearten“ sind die gewonnenen Ergebnisse zusammenfassend dargestellt. Blockheizkraftwerke und Windenergieanlage haben somit im Hinblick auf die Stromherstellkosten die höchste Priorität.

**Tabelle 4** Vergleich von Stromgestehungskosten verschiedener regenerativer Energiearten

	Stromgestehungskosten	
	Bereich in Cent/kWh	Gewählt in Cent/kWh
<b>Photovoltaik</b>	7,80 - 14,20	11,00
<b>Windkraft</b>	4,50 - 10,70	7,60
<b>Wasserkraft</b>	5,50 - 17,82	16,69
<b>Solarthermie</b>	10,00 - 15,00	12,50
<b>BHKW</b>	3,40 - 11,50	4,95

Die weitere Betrachtung von Wasserkraftanlagen wird an dieser Stelle aufgegeben. Zum einen ergibt sich für Norddeutschland wie im Kapitel 3.2.3 Wasserkraft dargestellt, kein nennenswertes Potenzial für neue Wasserkraftwerke. Zudem unterliegen Wasserkraftanlagen erheblichen Preisschwankungen, die zwischen äußerst lukrativ bis nicht rentabel variieren. Dies liegt vor allem an der enormen Summe der verschiedenen Bauformen wie Laufwasserkraftwerke, Kleinwasserkraftwerke, Speicherwasser-Kraftwerke, Pumpspeicher-Kraftwerke, Gezeiten-Kraftwerke und Wellen-Kraftwerken.

### 3.4 Flächenfaktor

Der letzte Einflussfaktor für die Kennzahlenbestimmung ist der Flächenfaktor. Dieser beschreibt, wieviel Quadratmeter pro kWh von der jeweiligen regenerativen Energieart eingenommen werden. Es gilt, umso kleiner die eingenommene Fläche pro erzeugter Kilowattstunde, desto höher wird die Energieart priorisiert.

#### *Photovoltaik und Solarthermie*

Für Photovoltaikanlagen bzw. für Solarthermische Anlagen ergibt sich der Flächenfaktor aus der jeweiligen Modulgröße, Modulart und der Art der Anwendung (aufgeständert/nicht aufgeständert). Bei nicht aufgeständerter Anwendung kann als Flächenbezugsgröße eins zu eins die Modulgröße verwendet werden. Dabei ist zu berücksichtigen, dass verschiedene Modularten verschiedene Leistungsdichten hervorbringen. Bei der Photovoltaik wird differenziert zwischen:

- Kristallinen Modulen (polykristallin und monokristallin)
- Dünnschicht Modulen

Bei den Solarthermischen Anlagen werden die Technologien

- Speicherkollektoren
- Flachkollektoren
- Vakuumröhrenkollektoren

unterschieden. In allen fünf Fällen gibt es auf dem Markt die verschiedensten Hersteller, Bauformen, Ausführungsarten und Bandbreiten. Die Hersteller für Solarkollektoren geben direkt einen Wert in kWh/m<sup>2</sup> an, von dem dann nur noch der Kehrwert gebildet werden muss. Dieser liegt bei Röhrenkollektoren bei 500 – 800 kWh/m<sup>2</sup> (im Mittel 650 kWh/m<sup>2</sup>) und bei Flachkollektoren bei 300 – 550 kWh/m<sup>2</sup> (im Mittel 425 kWh/m<sup>2</sup>)(Schreiner, 2016).

Adäquate Werte für Speicherkollektoren sind für Deutschland nicht zu finden, da eine optimale Anwendung alleinig in den südlichen Ländern stattfinden kann und Speicherkollektoren im deutschen Raum lediglich ein Nischenprodukt sind. Aus diesem Grund werden Speicherkollektoren in dieser Ausarbeitung nicht weiter verfolgt.

Um die Fläche pro kWh für Photovoltaikanlagen zu berechnen, wird die Leistung pro Modul (Nennleistung) und die Modulfläche, ergebend aus Höhe mal Breite, benötigt. Die zurzeit standardmäßige Nennleistung ( $P_{\text{Nenn}}$ ) bei polykristallinen Modulen liegt bei 250 W,

bei monokristallinen Modulen bei 265 W pro Modul. Die Modulfläche (A) variiert bei den Herstellern nur geringfügig und kann im Mittel zu 1,64 m<sup>2</sup> angegeben werden<sup>1</sup>. Mit einer für Norddeutschland typischen Vollbenutzungsdauer von 800 Stunden ergeben sich durch die Formeln (2) und (3) Flächenfaktoren (A<sub>f</sub>) im Bereich von 0,0077 – 0,0082 m<sup>2</sup>/kWh.

$$1 \frac{kWh}{a} : 800 \frac{h}{a} = 0,00125 kWh \triangleq 1,25 W \quad (2)$$

$$A_f = \frac{A}{PNenn} * 1,25 W \quad (3)$$

Im Bereich der Dünnschicht-Module lässt sich keine typische Leistungsklasse bestimmen. Die Nennleistungen variieren von 95 W bis 145 W pro Modul. Jedoch relativiert sich diese Streuung auf Grund der enormen Modulgrößenunterschiede<sup>2</sup>, wie die folgenden drei Rechnungen zeigen:

$$\frac{1,25 m^2}{145 W} * 1,25 W = 0,012 m^2 \triangleq 0,012 \frac{m^2}{kWh}$$

$$\frac{0,94 m^2}{105 W} * 1,25 W = 0,011 m^2 \triangleq 0,011 \frac{m^2}{kWh}$$

$$\frac{0,75 m^2}{95 W} * 1,25 W = 0,0098 m^2 \triangleq 0,010 \frac{m^2}{kWh}$$

Beim aufgeständerten Fall ist eine gegenseitige Verschattung der Module zu berücksichtigen. Aufgeständert werden alle Modularten (Photovoltaik / Solarthermie), mit Ausnahme der Dünnschicht Module, wenn die für Deutschland optimal Neigung von 35° nicht erreicht wird. Gerade bei der Betrachtung von Großverbrauchern spielt diese Berücksichtigung eine große Rolle, da Dächer von Industriehallen in der Regel Flachdächer sind und somit lediglich eine aufgeständerte Variante in Betracht gezogen werden kann.

<sup>1</sup> Verglichen wurden 4 verschiedene Module der Hersteller Hyundai, Yingli, LG und Sharp. Die zugehörigen Datenblätter sind in Anhang 3 einzusehen.

<sup>2</sup> Verglichen wurden 3 verschiedene Module der Hersteller Solar Frontier und QCells. Die zugehörigen Datenblätter sind in Anhang 4 einzusehen.

Der einzuhaltende Mindestreihenabstand ergibt sich aus der Kantenlänge der Module ( $b$ ), dem gewünschten zu erzielenden Neigungswinkel ( $\beta$ ) und dem Stand der Sonne am tiefsten Punkt des Jahres (21. Dezember) ( $\gamma_s$ ). Zur Berechnung wird laut Mertens folgende Formel angewendet (Mertens, Photovoltaik - Lehrbuch zu Grundlagen, Technologien und Praxis, 2015):

$$dMin = b * \frac{\sin(\gamma_s + \beta)}{\sin \gamma_s} \quad (4)$$

Da keines der betrachteten Module breiter als 1m ist, wird als Kantenlänge ( $b$ ) 1m verwendet. Der optimale Modulneigungsgrad ( $\beta$ ) ergibt sich aus dem Breitengrad des betrachteten Ortes und kann für Norddeutschland mit  $35^\circ$  angesetzt werden. Der Winkel ( $\gamma_s$ ) am 21. Dezember beträgt  $15^\circ$ . Man erhält somit aus Formel 4 einen minimalen Modulabstand von 2,96 m. Daraus ergibt sich mit

$$fNutz = \frac{b}{a} \quad (5)$$

ein Flächennutzungsgrad von 34%. Aus Formel 3 und 5 ergibt sich die Formel 6 und die in Tabelle 5 dargestellten Flächenfaktoren  $A_{fneu}$ :

$$A_{fneu} = \frac{A * (1 + (1 - fNutz))}{PNenn} * 1,25 W \quad (6)$$

**Tabelle 5** Flächenfaktoren für Photovoltaik und Solarthermie sowohl aufgeständert/ nicht aufgeständert und im Durchschnitt

		nicht aufgeständert	aufgeständert
Photovoltaik	Polykristallin	0,0082 m <sup>2</sup> /kWh	0,0136 m <sup>2</sup> /kWh
	Monokristallin	0,0077 m <sup>2</sup> /kWh	0,0128 m <sup>2</sup> /kWh
	Dünnschicht	0,0110 m <sup>2</sup> /kWh	0,0176 m <sup>2</sup> /kWh
	<b>Durchschnitt</b>	<b>0,0090 m<sup>2</sup>/kWh</b>	<b>0,0147 m<sup>2</sup>/kWh</b>
Solar	Flachkollektoren	0,0024 m <sup>2</sup> /kWh	0,0039 m <sup>2</sup> /kWh
	Röhrenkollektoren	0,0015 m <sup>2</sup> /kWh	0,0026 m <sup>2</sup> /kWh
	<b>Durchschnitt</b>	<b>0,0019 m<sup>2</sup>/kWh</b>	<b>0,0032 m<sup>2</sup>/kWh</b>

### *Windkraft*

Der Flächenfaktor von Windkraftanlagen wird, ebenso wie bei den solarthermischen Anlagen, in kWh/m<sup>2</sup> angegeben. Dabei wird als Bezugsfläche die Rotorkreisfläche gewählt. Je nach Anlagengröße ergeben sich so Werte im Bereich von 100 – 1500 kWh/m<sup>2</sup>. Im Binnenland bei kleinen Anlagen und kleinen Turmhöhen bewegt man sich im Bereich um 100 kWh/m<sup>2</sup>. In Küstengegenden bei großen Anlagen und großen Turmhöhen erzielt man Werte > 1000 kWh/m<sup>2</sup>(Design, 2016).

Zudem muss der sogenannte „Windparkeffekt“ berücksichtigt werden. Dieser beinhaltet, dass die im Wind verbliebene Energie hinter einer Windturbine erheblich geringer ist und es demnach nicht sinnvoll ist direkt dahinter ein weiteres Windrad zu bauen, da dieses lediglich einen Bruchteil der Leistung erbringen könnte. Aus diesem Grund müssen die Windturbinen untereinander einen bestimmten Abstand einhalten. Dieser beträgt laut der Studie „Potenzial der Windenergienutzung an Land“ des Bundesverband WindEnergie (BWE) vier Rotordurchmesser(Studie: Potenzial der Windenergienutzung an Land). Bei mittelgroßen Anlagen von 1,5 bis 2 Megawatt Nennleistung und einem Rotordurchmesser von ca. 70 m ergibt sich somit ein gesperrter Flächenradius für eine aufgestellte Turbine von ca. 3850 m<sup>2</sup>(Verband, 2016).

Für die Kennzahlenbestimmung wird ein Flächenfaktor von 200 kWh/m<sup>2</sup> gewählt. Der erhöhte Flächenbedarf durch den Windparkeffekt wird nicht mit in die Kennzahlenbestimmung einbezogen. Die Wahrscheinlichkeit, dass ein Großunternehmen eine freie Fläche von mehr als 3850 m<sup>2</sup> zur Verfügung hat ist verschwindend gering.

### *BHKW*

Äquivalent zu den Stromgestehungskosten werden für die Bestimmung des Flächenfaktors von BHKW-Anlagen Blockheizkraftwerke im elektrischen Leistungsbereich von 400 kW bis 2000 kW betrachtet. Viele Hersteller bieten BHKW-Anlagen in diesen Leistungsbereichen bereits fertig in Containerbauweise an<sup>1</sup>. Es ergeben sich daraus Flächen von ca. 30 – 40 m<sup>2</sup>. Kleinere Grundflächen lassen sich durchaus durch gezielte Planung und ohne Containerbauweise erreichen. In der Regel werden diese dann gezielt für das jeweilige

---

<sup>1</sup> Als Beispiel sind die Abmessungen des Herstellers BMF Haase Energietechnik GmbH (Anhang 5) gewählt

Bauvorhaben geplant. Als Beispiel kann ein 530 kW-BHKW des Herstellers Viessmann mit ca. 8 m<sup>2</sup> angegeben werden<sup>1</sup>.

Bei einer Laufzeit von 6000 Stunden pro Jahr ergibt sich aus Formel 2 ein Wert von 0,167 W. Aus der Formel 3 ergibt sich somit ein Wertebereich von  $1,25 \times 10^{-5}$  bis  $3,34 \times 10^{-5}$  m<sup>2</sup>/kWh.

### Überblick

In der nachstehenden Tabelle 6 Vergleich von Flächenfaktoren verschiedener regenerativer Energiearten“ sind die gewonnenen Ergebnisse und die für die Bestimmung der Kennzahl gewählten Daten zusammenfassend dargestellt. Blockheizkraftwerke und Solarthermische Anlagen haben somit im Hinblick auf den Flächenfaktor die höchste Priorität.

**Tabelle 6** Vergleich von Flächenfaktoren verschiedener regenerativer Energiearten

	Flächenfaktoren	
	Bereich in m <sup>2</sup> /kWh	Gewählt in m <sup>2</sup> /kWh
Photovoltaik (flach)	0,0082-0,0110	0,0090
Photovoltaik (aufgeständert)	0,0128-0,0176	0,0147
Windkraft	0,001-0,0100	0,0050
Solarthermie (flach)	0,0015-0,0024	0,0019
Solarthermie (aufgeständert)	0,0026-0,0039	0,0032
BHKW	0,0000125-0,0000334	0,0000230

<sup>1</sup> siehe Datenblatt „Vitobloc 200“ (Anhang 6)

### 3.5 Kennzahlenbestimmung

Um die Verschiedenheit der regenerativen Energien vergleichen zu können wurde in diesem Kapitel eine Kennzahl entwickelt. Diese Kennzahl ermöglicht es, bei konkreten Betrachtungen von Großunternehmen, gezielt die ertragsreichste Energieart einzusetzen.

Wesentlich bestimmend sind dabei drei Faktoren:

- Stromgestehungskosten ( $k_{el}$ )
- CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktor ( $f$ )
- Flächenfaktor ( $A$ )

Prinzipiell gilt für alle drei Faktoren, umso kleiner die Zahl, desto höher wird die jeweilige regenerative Energieform priorisiert. Allerdings könnte für ein Unternehmen eine möglichst kostengünstige Energieerzeugung im Vordergrund stehen, während für ein anderes Unternehmen der Umweltschutz Vorrang hat. Für manche Unternehmen ist der Faktor Fläche kritischer als für andere. Aus diesem Grund werden alle drei Faktoren nach den Wünschen und Bedürfnissen der Großverbraucher gewichtet.

Zunächst wurde folgende Ursprungsformel (Formel 7) entwickelt.

$$\text{Kennzahl} = \frac{1}{k_{el} * f * A} * 1000 \quad (7)$$

Dadurch, dass eine große Kennzahl eine hohe Priorisierung symbolisieren soll, und die Faktoren umso besser sind, desto kleiner sie sind, stehen alle drei Faktoren unter dem Bruchstrich. Der Faktor tausend dient lediglich dazu eine Vorkommazahl zu erzeugen.

Um diese Formel zur Anwendung zu bringen, müssen alle drei Faktoren auf denselben Nenner gebracht werden. Bisher wurden die Stromgestehungskosten mit Cent pro Kilowattstunde, der CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktor mit Gramm pro Kilowattstunde und der Flächenfaktor mit Quadratmeter pro Kilowattstunde angegeben. Rein mathematisch ist es jedoch nicht möglich, diese drei Einheiten unter dem Bruchstrich multiplikativ zu verknüpfen und am Ende eine einheitenlose Kennzahl zu erhalten. Aus diesem Grund wurden die Faktoren CO<sub>2</sub>-Emissions- und Flächenfaktor ebenfalls in Cent pro Kilowattstunde umgerechnet.

#### *Umrechnung CO<sub>2</sub>-Emissionswert*

Eine Umrechnung des CO<sub>2</sub>-Emissionswertes von g/kWh in Cent/kWh ist auf Grund des 1997 beschlossenen Kyoto-Protokolls und dem daraus resultierendem Handel mit CO<sub>2</sub>



Emissionsrechten, welcher im Jahre 2003 begann, möglich. Die Emissionsrechte werden auch EUA (European Union Allowance) genannt. Eine EUA berechtigt zum Ausstoß von einer Tonne CO<sub>2</sub>. Die CO<sub>2</sub>-Emissionsrechte werden hauptsächlich an speziellen Börsen gehandelt und unterliegen Tagesschwankungen. Die wichtigste und größte Börse ist die European Energy Exchange (EEX) in Leipzig (finanzen.net, 2016).

In der nachfolgenden Grafik „CO<sub>2</sub> Emissionsrechte Börsengang über 52 Wochen“ ist der Verlauf des Preises pro EUA aufgezeigt. Aufgerufen wurde die Website am 21.2.2016. Zur besseren Vergleichbarkeit findet sich die Webseitenansicht an diesem Tag im Anhang 7.



**Abbildung 11** CO<sub>2</sub> Emissionsrechte Börsengang über 52 Wochen (Quelle: [www.finanzen.net/rohstoffe/co2-emissionsrechte](http://www.finanzen.net/rohstoffe/co2-emissionsrechte))

Die linke Skala entspricht dem Preis in Euro, die rechte Skala die Veränderung in Prozent. Das Maximum innerhalb der letzten 52 Wochen liegt bei 8,72 €/EUA und das Minimum bei 4,69 €/EUA. Der aktuelle Preis am 18.2.16 um 18:43 Uhr liegt bei 5,25 €/EUA. Aufgrund der erheblichen Schwankungen von ca. 4 €/EUA ist eine präzise Umrechnung nicht möglich. Für die Entwicklung der Kennzahl empfiehlt es sich somit, den CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktor immer tagesaktuell in die Formel einzugeben, sodass für die beispielhafte Berechnung in dieser Arbeit der Wert mit 5,25 €/EUA gewählt wurde. Das entspricht 5,25

€ pro ausgestoßener Tonne CO<sub>2</sub> und somit ergibt sich für ein Gramm CO<sub>2</sub> ein Wert von 0,000525 Cent.

#### *Umrechnung Flächenfaktor*

Die Umrechnung des Flächenfaktors von m<sup>2</sup>/kWh in Cent/kWh gestaltet sich auf Grund der erheblichen Schwankungen der Grundstückspreise in Deutschland ebenfalls als schwierig. Der aktuelle durchschnittliche deutsche Quadratmeterpreis liegt bei 124,08 €. Für die Norddeutschen Bundesländer ergeben sich etwas niedrigere durchschnittliche Quadratmeterpreise:

Niedersachsen: 71,34 €/m<sup>2</sup>

Brandenburg: 85,44 €/m<sup>2</sup>

Mecklenburg-Vorpommern: 111,18 €/m<sup>2</sup>

Schleswig-Holstein: 164,64 €/m<sup>2</sup>

Insgesamt ergibt sich somit für Norddeutschland ein Durchschnittspreis von 108,15 €/m<sup>2</sup>. Für die Berechnung der Kennzahl wurde ein Preis von 10.815 Cent pro Quadratmeter angesetzt. Nicht berücksichtigt wurde dabei die Unterscheidung zwischen Dachflächen, Wohnflächen bzw. Ackerbauflächen. Auch hier empfiehlt es sich die aktuellen und für das Unternehmen zutreffenden Preise in die Berechnung einzufügen (Immowelt, 2016).

#### *Zusammenfassung*

Für die betrachteten regenerativen Energiearten Photovoltaik, Windkraft, Wasserkraft, Solarthermie und BHKW ergibt sich die folgende Tabelle 7 Kennzahlrelevante Faktoren je regenerativer Energieart:

**Tabelle 7** Kennzahlrelevante Faktoren je regenerativer Energieart

	<b>PV</b>	<b>Wind</b>	<b>Wasser</b>	<b>Solar</b>	<b>BHKW</b>
Stromgestehungskosten in Cent/kWh	11,00	7,60	16,69	12,50	4,95
CO <sub>2</sub> -Emissionsfaktor in g/kWh	101	24	9-19	265	138
Flächenfaktor in m <sup>2</sup> /kWh	0,0119	0,0050	---	0,0026	0,000023
Stromgestehungskosten in Cent/kWh	11,00	7,60	16,69	12,50	4,95
CO <sub>2</sub> -Emissionsfaktor in Cent/kWh	0,0530	0,0126	0,0047- 0,0100	0,1391	0,0725
Flächenfaktor in Cent/kWh	128,70	54,08	---	28,12	0,25
<b>Kennzahl</b>	<b>7,2</b>	<b>16,2</b>	<b>---</b>	<b>24,5</b>	<b>189,7</b>

Die in dieser Tabelle enthaltenen Kennzahlen ergeben sich durch Anwendung der Formel (7). Allgemein lässt sich anhand dieser Analyse folgende Priorisierung feststellen:

1. Stromerzeugung aus BHKW-Anlagen
2. Wärmeerzeugung aus Solarthermischen Anlagen
3. Stromerzeugung aus Windkraftanlagen
4. Stromerzeugung aus Photovoltaikanlagen

Das Vorgehen zur Optimierung des Autarkiegrades kleiner Kommunen mittels signifikanter Entlastung der Großverbraucher erfolgt somit durch Anwendung der folgenden Punkte:

1. Betrachtung der Kommune hinsichtlich
  - a. Strombedarf gesamt
  - b. Strombedarf Industrie
  - c. Eigene Stromherstellung
2. Aktuellen Autarkiegrad berechnen
3. Den größten gewerblichen Stromverbraucher ausfindig machen
  - a. Gesamtstrombedarf ermitteln
  - b. Lastgangdaten (RLM-Daten) ermitteln
  - c. Lastgangdaten auswerten
4. Kennzahl adaptieren
5. Anwendbarkeit der regenerativen Energien in priorisierter Reihenfolge prüfen
6. Maßnahmen kalkulieren
7. Neuen Autarkiegrad berechnen

### 3.6 Anwendung am Anwendungsbeispiel Reinfeld

Das erarbeitete Modell wird in diesem Kapitel anhand der zu Beginn vorgestellten Kommune Reinfeld-Holstein angewendet. Aufgrund des beachtlichen industriellen Anteils der Kommune ist eine erhebliche Optimierung des gesamten Autarkiegrades durch signifikante Entlastung der Großverbraucher zu erwarten. Betrachtet wird in dieser Ausarbeitung lediglich die Firma Camfil, die mit einem Strombedarfsanteil von 10% des gesamten Stromverbrauches den größten gewerblichen Verbraucher darstellt. Generell bietet es sich an, das entwickelte Konzept auch auf andere gewerbliche Großverbraucher anzuwenden um einen noch höheren Autarkiegrad zu erzielen.

#### *1. Betrachtung der Kommune*

Die benötigten Energiedaten der Kommune können beim zuständigen Energieversorger angefordert werden. Oftmals haben die Städte diese Daten bereits vorliegen. Der gesamte Strombedarf der Stadt Reinfeld lag im Jahr 2014 bei 29.659.523 kWh. Der Industrie- und Gewerbesektor hat davon 12.920.748 kWh benötigt. Das entspricht einem Prozentsatz von 43,56%. Selbst hergestellt wurden in der gesamten Kommune 1.433.687 kWh aus unterschiedlichen regenerativen Energien. Die genauen Daten können entweder dem Kapitel 2.2 „Aktuelle energietechnische Daten am Beispiel Reinfeld“ oder der Tabelle im Anhang 1 entnommen werden.

#### *2. Aktuelle Autarkiegradberechnung*

Teilt man die eigenerzeugte Energie durch den Gesamtverbrauch der Kommune (Formel 1) so erhält man einen aktuellen Autarkiegrad von 4,83% (vgl. Kapitel 2.2).

#### *3. Den größten gewerblichen Stromverbraucher ausfindig machen*

Verbraucher die mehr als 100.000 kWh Strom pro Jahr verbrauchen werden als Großverbraucher bezeichnet und mittels registrierender Lastgangmessung (RLM) abgerechnet und in der Gesamtabrechnung gesondert aufgeführt. Die Stadt Reinfeld besitzt 39 dieser Großverbraucher. Der größte Verbraucher unter ihnen ist die Firma Camfil mit einem Jahresverbrauch von 3.045.566,5 kWh im Jahr 2014. Damit verbraucht Camfil 23,57% des Strombedarfes der Großverbraucher und 10,27% des gesamten Strombedarfes der Stadt Reinfeld.

Um eine bedarfsorientierte Auslegung der erneuerbaren Energien speziell für dieses Unternehmen durchzuführen, wird die Aufteilung der drei Millionen Kilowattstunden benö-

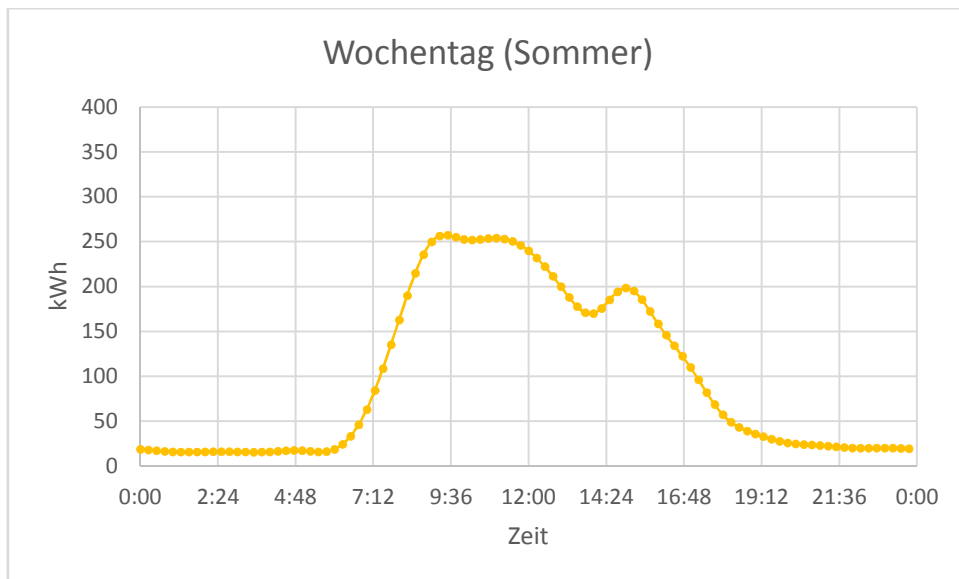
tigt. Diese Aufteilung ist mittels der 15-Minütigen RLM-Erfassung möglich. Es empfiehlt sich folgende Fälle detailliert auszuwerten:

- Einen Wochentag im Sommer
- Einen Wochentag im Winter
- Einen Samstag im Sommer
- Einen Samstag im Winter
- Einen Sonntag im Sommer
- Einen Sonntag im Winter

Da die RLM-Daten der Firma Camfil zum Zeitpunkt der Erstellung noch nicht vorlagen, wurde ein passendes Standardlastprofil des BDEW für ein Gewerbe dessen Hauptlasten im Zeitraum von 8-18 Uhr liegen (Kundengruppe G1) ausgewählt (EWE Netz, 2016).

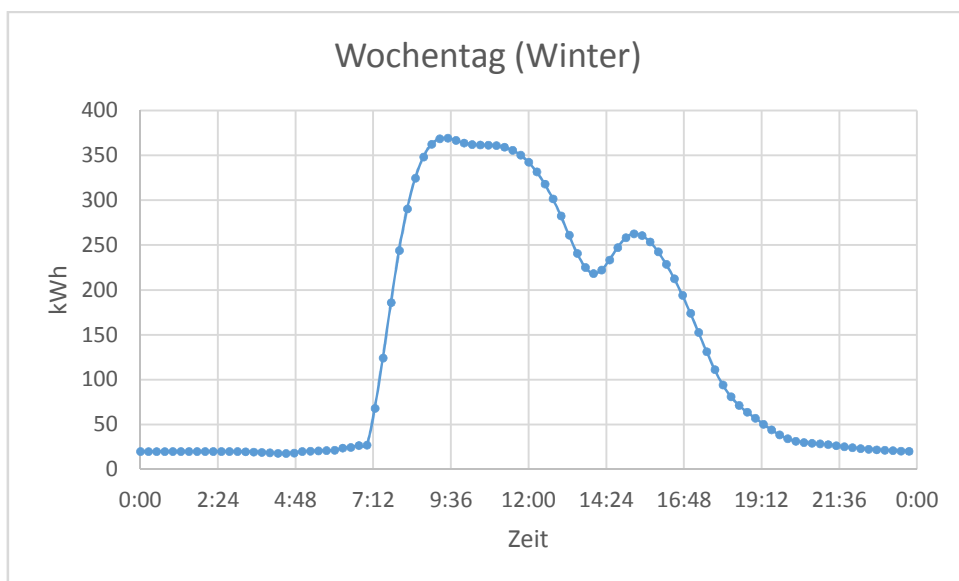
Die Daten des BDEW liegen in Form einer Excel-Datei vor und sind auf einen Jahresgesamtverbrauch von 1.000.000 kWh normiert. Um die Auswertung so realistisch wie möglich zu gestalten, wurden die original Daten mit dem Faktor 3,045567 multipliziert. Rein rechnerisch ergibt sich so der Jahresverbrauch der Firma Camfil von 3.045.567 kWh (Anhang 2).

In der Abbildung 11 ist ein Wochentag im Sommer im zeitlichen Verlauf dargestellt. Der Arbeitstag und somit der Strombedarf, startet gegen 6 Uhr. Bis 9.30 Uhr nimmt der Strombedarf kontinuierlich bis zu einem Wert von 257 kWh zu, bis er zwischen 9.30 Uhr und 11.45 Uhr auf seinem Maximalwert verweilt. Bis 14 Uhr nimmt der Verbrauch kontinuierlich bis auf einen Wert von 170 kWh ab, steigt bis 15.15 Uhr auf einen zweiten Tagespeak in Höhe von 195 kWh an und reduziert sich bis ca. 20 Uhr wieder auf die nächtliche Grundlast von ca. 16 kWh.



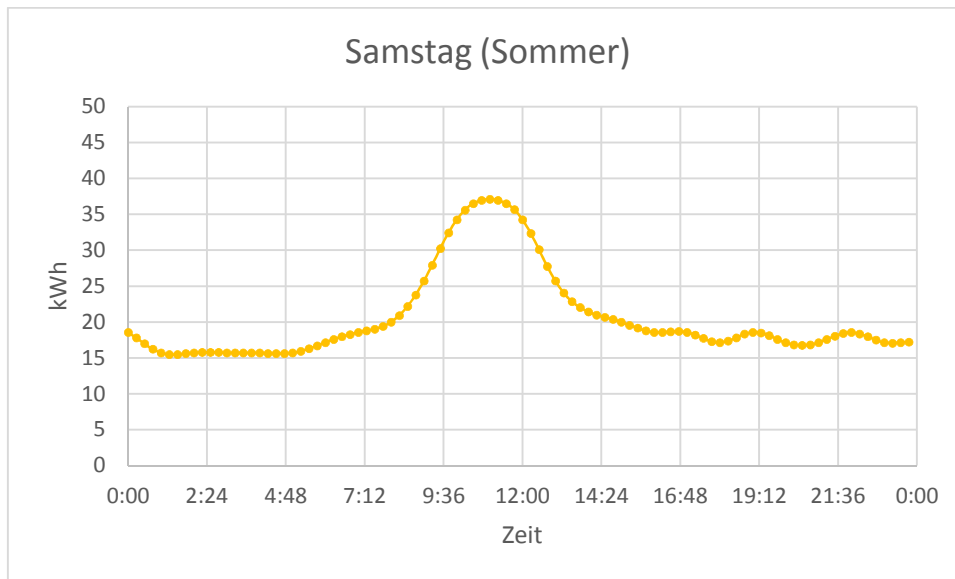
**Abbildung 12** Lastprofil eines Wochentages im Sommer

Ein Winterwochentag (Abbildung 13) hat einen fast identischen Verlauf. Lediglich die Werte für die beiden Maxima fallen erheblich höher aus. Das erste Maximum liegt bei 370 kWh und das zweite Maximum bei 260 kWh. Außerdem liegt die Grundlast um ca. drei Kilowattstunden höher als im Sommer.

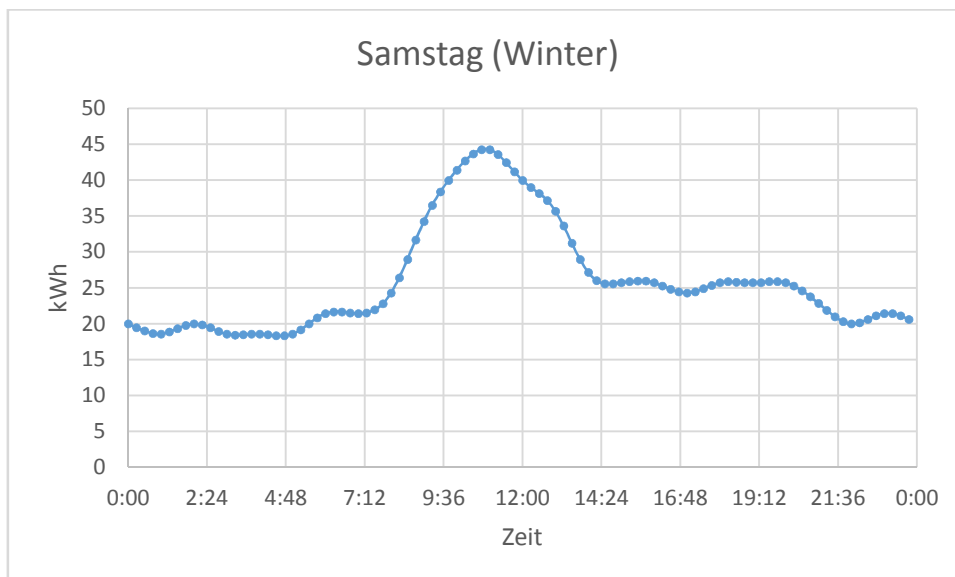


**Abbildung 13** Lastprofil eines Wochentages im Winter

Laut Angaben der Firma Camfil wird an Samstagen lediglich bei Bedarf produziert. Die Lastgangprofile fallen somit im Winter und Sommer fast identisch aus:



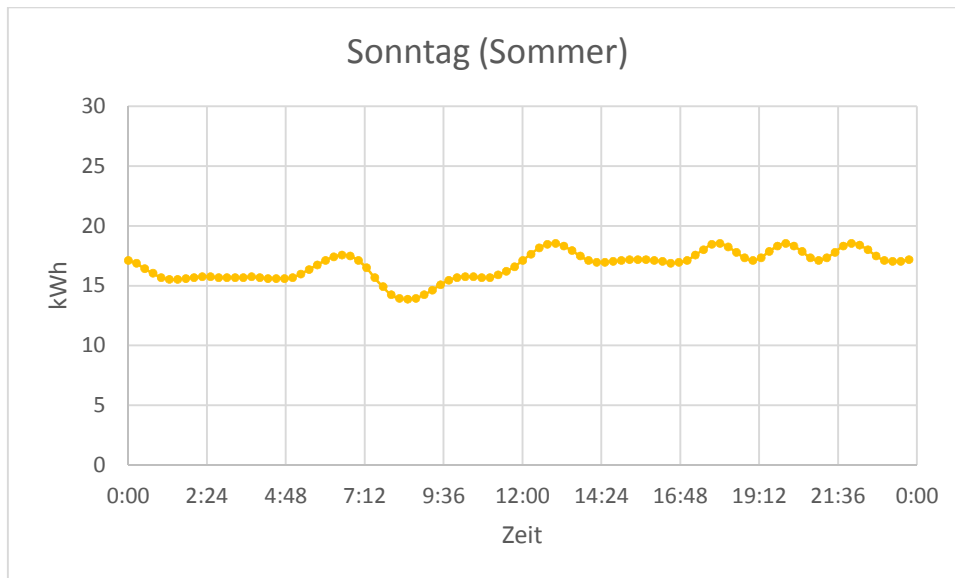
**Abbildung 14** Lastprofil eines Samstages im Sommer



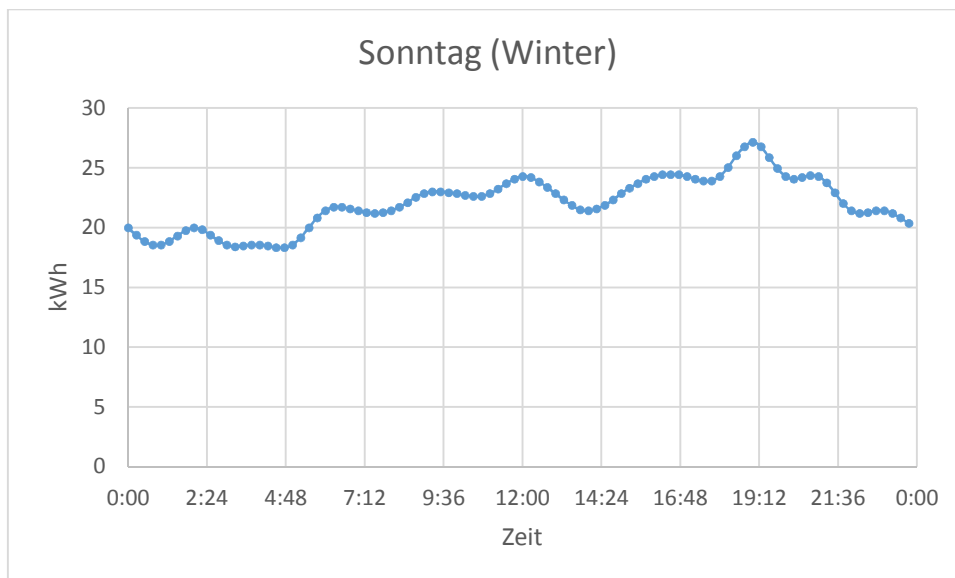
**Abbildung 15** Lastprofil eines Samstages im Winter

Die nächtliche Grundlast beträgt im Sommer im Mittel ca. 16 kWh und im Winter im Mittel ca. 19 kWh. Lediglich in der Zeit von 7 Uhr bis 15 Uhr steigt der Verbrauch auf etwas über das Doppelte an.

Die Lastprofile für einen Sonntag im Sommer (Abbildung 15) und im Winter (Abbildung 16) unterliegen lediglich geringfügigen Schwankungen. Im Winter liegt die Grundlast im Mittelwert bei 22,05 kWh und im Sommer bei 16,71 kWh.



**Abbildung 16** Lastprofil eines Sonntages im Sommer



**Abbildung 17** Lastprofil eines Sonntages im Winter

Die Auswertung ergibt im Jahresdurchschnitt eine permanente Grundlast von 17,5 kWh, sowie erhebliche Spitzen von bis zu 370 kWh im Bereich der Mittagszeit. Um einen effektiven Autarkiegrad zu erreichen sollte genau an diesen beiden Faktoren angesetzt werden. Die den Abbildung 12 bis Abbildung 17 zu Grunde liegenden Daten sind in Anhang 8 nachzuvollziehen.



#### 4. Kennzahl adaptieren

Die im Kapitel 3.5 entwickelte Kennzahl, sollte auf die örtlichen Gegebenheiten der Kommune und des Unternehmens angepasst werden. Der Flächenpreis für Schleswig-Holstein beträgt 164,64 €/m<sup>2</sup> und ist damit höher als der im Durchschnitt angenommene Wert von 108,15 €/m<sup>2</sup>. Die CO<sub>2</sub>-Einsparung und die Stromgestehungskosten hingegen bleiben konstant. Unter Anwendung der Formel 7 mit dem erhöhten Flächenfaktor ergibt sich die folgende adaptierte Tabelle 8:

**Tabelle 8** Kennzahlrelevante Faktoren unter Berücksichtigung der spezifischen Gegebenheiten Reinfeld inklusive adaptierter Kennzahl

	<b>PV</b>	<b>Wind</b>	<b>Wasser</b>	<b>Solar</b>	<b>BHKW</b>
Stromgestehungskosten in Cent/kWh	11,00	7,60	16,69	12,50	4,95
CO <sub>2</sub> -Emissionsfaktor in g/kWh	101	24	9-19	265	138
Flächenfaktor in m <sup>2</sup> /kWh	0,0119	0,0050	---	0,0026	0,000023
Stromgestehungskosten in Cent/kWh	11,00	7,60	16,69	12,50	4,95
CO <sub>2</sub> -Emissionsfaktor in Cent/kWh	0,0530	0,0126	0,0047- 0,0100	0,1391	0,0725
Flächenfaktor in Cent/kWh	195,92	82,32	---	42,8064	0,378672
<b>Kennzahl</b>	<b>4,8</b>	<b>11,1</b>	---	<b>18,0</b>	<b>185,1</b>

#### 5. Anwendbarkeit der regenerativen Energien in priorisierter Reihenfolge prüfen

Mit einer Kennzahl von 185,1 hat die Installation eines BHKW oberste Priorität. Da ein BHKW zeitgleich Strom und Wärme produziert, sollte spätestens an dieser Stelle der thermische Verbrauch der Firma Camfil betrachtet werden. Zu den 3.045.567 kWh elektrischer Energie kommt ein thermischer Energieverbrauch von 1.041.120 kWh. Blockheizkraftwerke besitzen thermische Wirkungsgrade im Bereich von 43 bis 63 und elektrische Wirkungsgrade im Bereich von 26 bis 43 (Abbildung 18).

## Wirkungsgrade von BHKW mit unterschiedlichen Leistungen

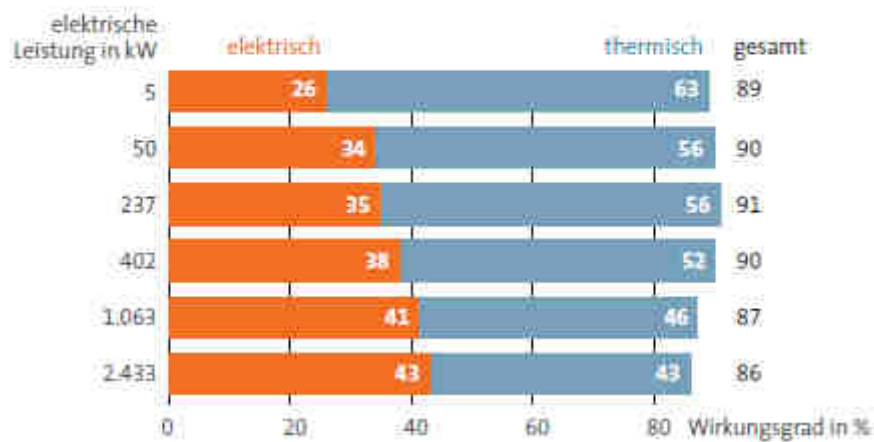


Abbildung 18 Wirkungsgrade von verschiedenen BHKW mit unterschiedlichen Leistungen (Quelle: ASUE)

Die Auslegung eines BHKW erfolgt auf Grund des höheren thermischen Wirkungsgrades im Hinblick auf den thermischen Energiebedarf der Firma. Zu berücksichtigen ist die relativ geringe Vollbenutzungsdauer von ca. 3000 h<sup>1</sup>. Ob sich die Installation dennoch amortisiert sollte unter Punkt 6 „Maßnahmen kalkulieren“ geprüft werden.

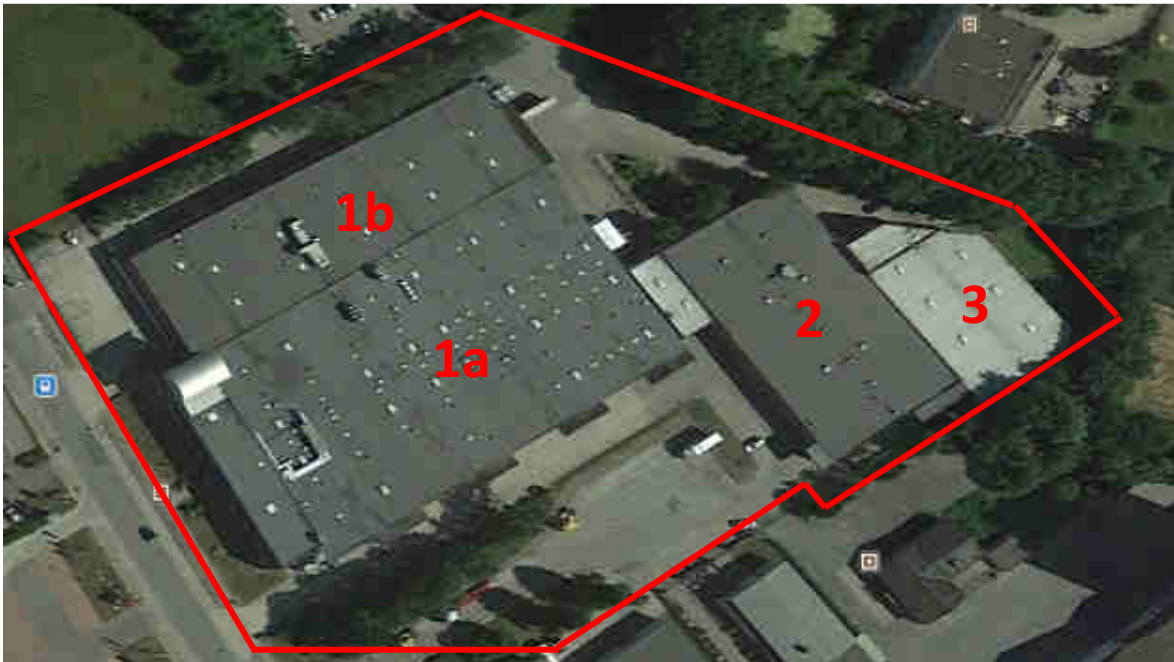
Den im Vergleich zum Stromverbrauch eher geringen Wärmebedarf könnte man, sollte er nicht mit Hilfe eines BHKW erzielt werden, mit einer Solarthermischen Anlage decken. In der Prioritätenreihenfolge nimmt diese regenerative Energieart den zweiten Stellenwert ein. Sie sollte somit gegebenenfalls im 6. Schritt „Maßnahmen kalkulieren“ mit berücksichtigt werden.

Die nächste Priorität hätte ein Windkrafttrad. Auf Grund der starken Bebauung in der Umgebung und des räumlich sehr dichten Wohngebietes, sollte die Kalkulierung und Planung einer Windturbine zunächst nicht weiter verfolgt werden.

Zu guter Letzt wird die Realisierbarkeit einer Photovoltaikanlage betrachtet. Mit einer Kennzahl von 4,8 nimmt diese in der Prioritätenreihenfolge den letzten Stellenwert ein. Die Stadt Reinfeld besitzt eine Hanglage gen Norden und ist somit nicht perfekt für eine Photovoltaikanlage ausgerichtet. Jedoch sind die örtlichen Gegebenheiten der Firma Camfil für die Errichtung einer Photovoltaikanlage recht gut. Camfil verfügt, wie in Abbil-

<sup>1</sup> 52 Wochen multipliziert mit 5 Tage und 10 Stunden = 2600 Stunden. Grundlast und bei Bedarf Samstagarbeit pauschal + 400 Stunden ergeben ca. 3000 Stunden.

dung 19 zu sehen, über mehrere große Produktionshallen mit Flachdächern die viel Platz für eine aufgeständerte Photovoltaikanlage bieten.



**Abbildung 19** Draufsicht des Firmengeländes Camfil inklusive Hallenbeschriftung (Quelle: Google Earth)

Die Kalkulierung einer PV-Anlage sollte ebenso wie die Berechnung einer Solarthermischen Anlage und eines BHKW im nächsten Schritt weiter verfolgt werden.

#### 6. Maßnahmen kalkulieren

##### Kalkulation eines BHKW

Aus dem thermischen Bedarf von 1.041.120 kWh lässt sich die Größe des BHKW zu 730 kW ermitteln. Bei einem thermischen Wirkungsgrad von im Mittel 0,49 (Abbildung 18) und einer Vollbenutzungsdauer von 3000 h werden 1.073.100 kWh thermische Energie bedarfsorientiert erzielt. Zeitgleich werden 865.050 kWh Strom bei einem mittleren Wirkungsgrad von 0,395 erzeugt. Die Kosten eines solchen BHKW pro erzeugter Kilowattstunde betragen ca. 9,2 Cent (siehe Abbildung 9). Die Strombezugskosten eines Unternehmens mit einem Verbrauch von 3 GWh betragen laut Abbildung 9 im Schnitt 9,3 Cent/kWh. Die Installation eines BHKW in der Größenordnung mit dieser Laufzeit, ist wirtschaftlich gesehen nicht rentabel.

### Kalkulation einer PV-Anlage

Prinzipiell könnte, unter Berücksichtigung der Traglast die separat von einem Statiker zu prüfen ist, die komplette Dachfläche entweder mit aufgeständerten Photovoltaikmodulen oder aufgeständerten Solarpanelen belegt werden. Jedoch steht dieses Vorhaben in Konkurrenz zu dem Ziel lediglich so viel Strom bzw. Wärme herzustellen, wie zeitgleich auch verbraucht werden kann. Die finanziellen Mittel der Firma Camfil sollten so gezielt wie möglich zur eigenen Reduzierung des Netzstrombezuges eingesetzt werden. Zudem würde eine komplette Belegung mit der einen Energieart den Einsatz der jeweils anderen Energieart verhindern. Aus diesen Gründen wird nachfolgend eine Photovoltaikanlage bedarfsorientiert geplant. Und der Rest der Dachfläche für eine solarthermische Anlage genutzt.

Benötigt werden dazu die Lastprofile eines Werktages im Sommer und im Winter wie sie in den Abbildung 12 und Abbildung 13 bereits erstellt wurden.

Des Weiteren werden die Einstrahlungsdaten an den jeweiligen Tagen benötigt. Dafür gibt es verschiedene Berechnungstools, deren Unterscheidung meist lediglich im optischen Darstellungsbereich zu finden ist. Für die Erstellung dieser Berechnung wurde das Online-Tool „Pvgis“ verwendet (Photovoltaic Software, 2016).

**Abbildung 20** Online-Formular der Webseite Pvgis ausgefüllt mit den benötigten Daten für Dezember (Quelle: Pvgis)

In Abbildung 20 ist ein ausgefülltes Online-Formular zu sehen, welches mit den benötigten Daten für Dezember erstellt worden ist. Als Standort wurde Reinfeld, Deutschland ausge-

wählt, die Modulneigung beträgt 25°, die Ausrichtung der geplanten PV-Anlage zeigt komplett in den Süden (0°) und als Ausgabedatei wurde eine Textdatei gewählt. Als Einstrahlungsdatenbank wurde Climate-SAF PVGIS eingestellt, die auf den Datenpool des Deutschen Wetterdienstes zugreift.

Die so erzeugten Daten stellen den Mittelwert aller Dezembertage der letzten 20 Jahre nach Uhrzeit sortiert in der Einheit W/m<sup>2</sup> dar. Auf die gleiche Weise wurden die Daten für den Monat Juni erzeugt. Beide Datenreihen sind im Original in Anhang 9 einzusehen.

Bei Betrachtung der verschiedenen Lastprofilen fällt der deutliche Verbrauchsunterschied zwischen einem arbeitsreichem Wochentag und einem arbeitsfreiem Sonntag auf.

In

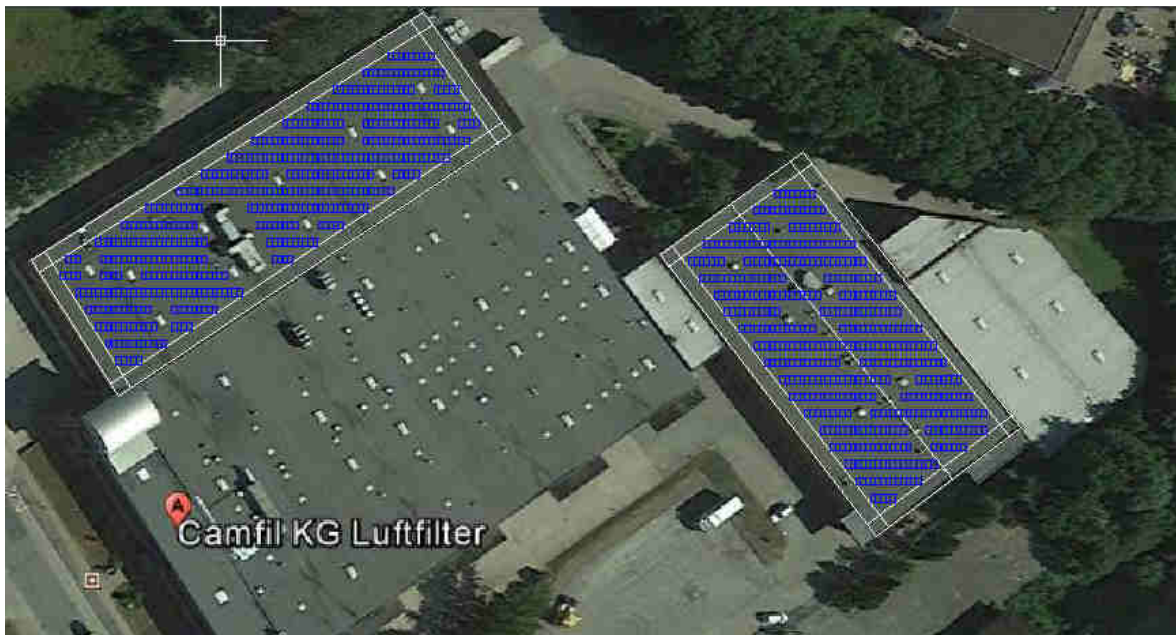
Tabelle 9 sind die Verbräuche der jeweiligen Fälle inklusive der bei einer jährlichen Einstrahlung von 1000 W/m<sup>2</sup> rechnerischen PV-Anlagengröße aufgeführt.

**Tabelle 9** Vergleich der tatsächlichen Verbräuche und die sich rechnerisch ergebenden PV-Anlagengrößen

	Wochentag		Samstag		Sonntag		Jahr
	Sommer	Winter	Sommer	Winter	Sommer	Winter	gesamt
tatsächlicher Verbrauch [kWh]	9423,48	13142,01	1971,94	2483,54	1603,95	2117,52	3045567
benötigte Anlagengröße [kWp]	942,35	1314,20	197,19	248,35	160,40	211,75	3045,57

Um den kompletten Jahresverbrauch der Firma Camfil abdecken zu können, würde rechnerisch eine 3045,57 kWp große Anlage benötigt werden. Für einen Sonntag im Sommer würde dagegen eine Anlagengröße von 160,40 kWp genügen.

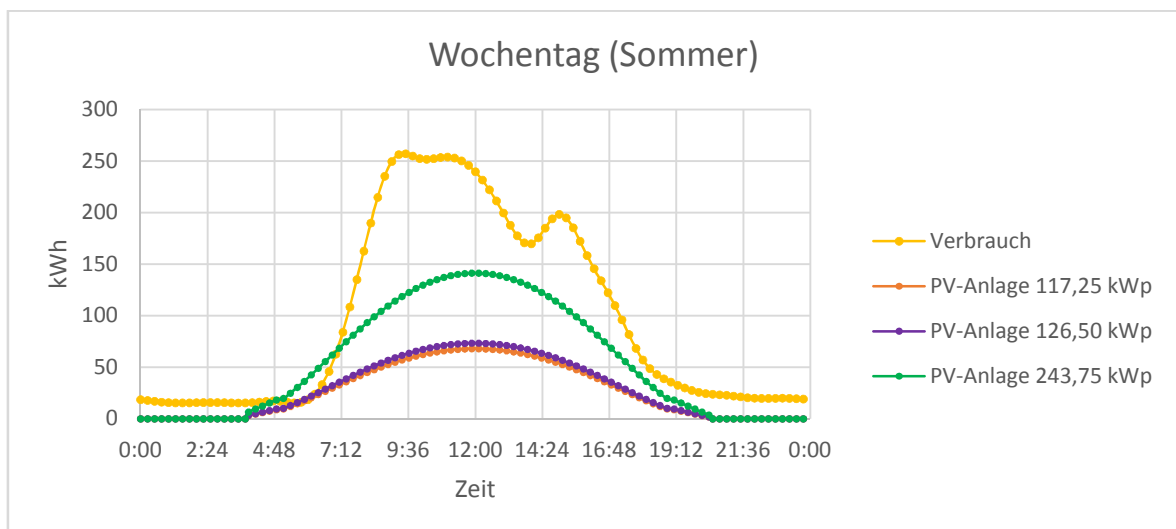
Bei Betrachtung der Dachflächen fällt auf, dass die Fläche 1a zahlreiche Störfaktoren in Form von Lichtbändern und Abzügen aufweist. Im ersten Schritt wurden daher die Dächer der Hallen 1b und 2 mit einer PV-Anlage ausgelegt. (Abbildung 21)



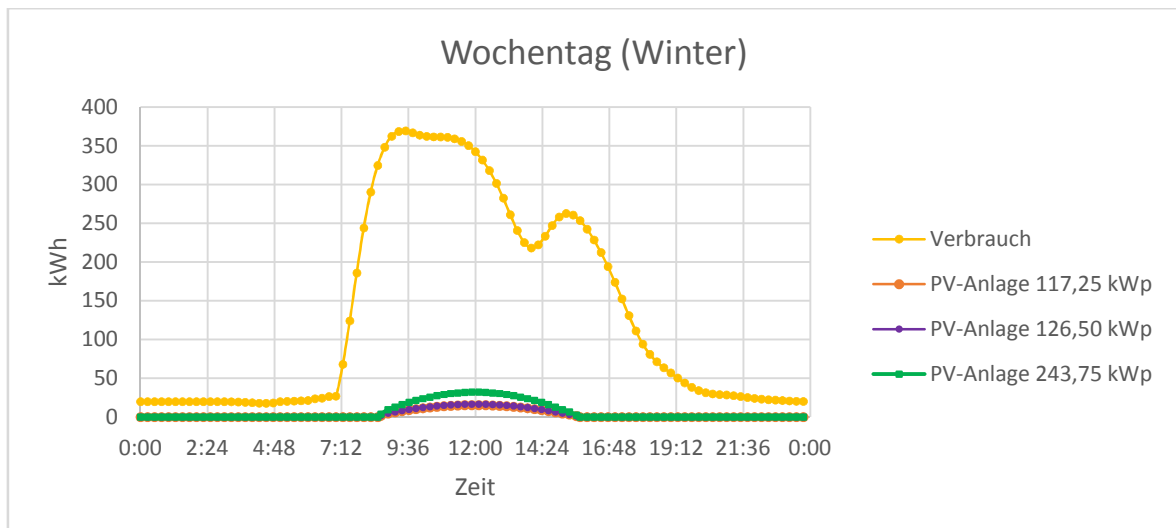
**Abbildung 21** Draufsicht der Werkshallen der Firma Camfil mit einer PV-Anlagenplanung der Hallen 1b und 2

Auf Halle 1b ergibt sich eine Anlagengröße von 126,5 kWp und auf Halle 2 eine Größe von 117,25 kWp. Insgesamt möglich wären mit dieser Variante somit 243,75 kWp.

An Wochentagen im Sommer sowie im Winter kann der erzeugte Strom in allen drei Fällen nahezu zu 100% direkt verbraucht werden (Abbildung 22 und Abbildung 23). Laut Grafik ist die PV-Anlagengröße in diesen beiden Fällen durchaus ausbaufähig.



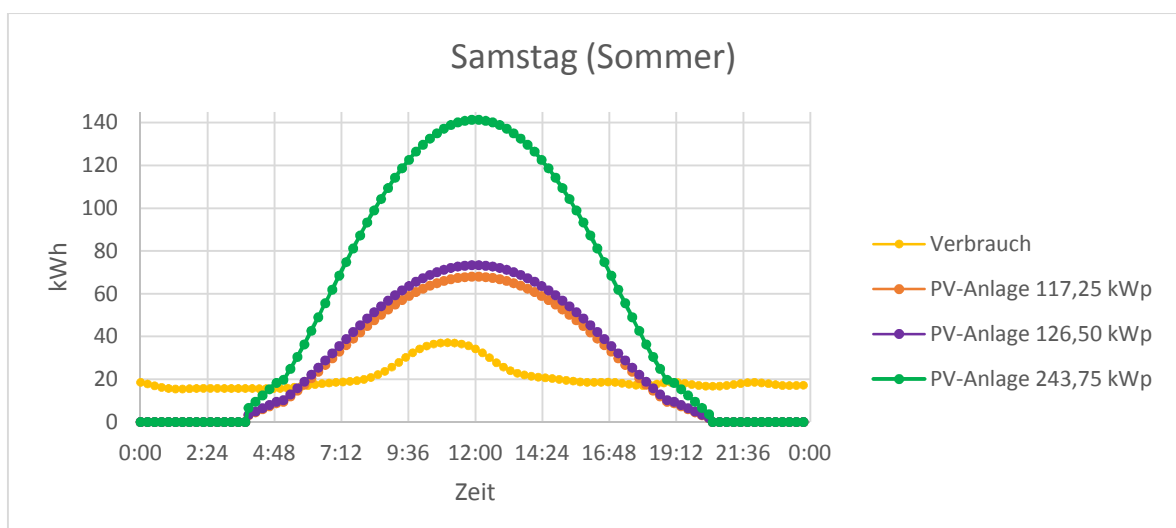
**Abbildung 22** Verschiedene PV-Anlagenleistungen im Vergleich zum tatsächlichen Verbrauch der Firma Camfil an einem Wochentag im Sommer



**Abbildung 23** Verschiedene PV-Anlagenleistungen im Vergleich zum tatsächlichen Verbrauch der Firma Camfil an einem Wochentag im Winter

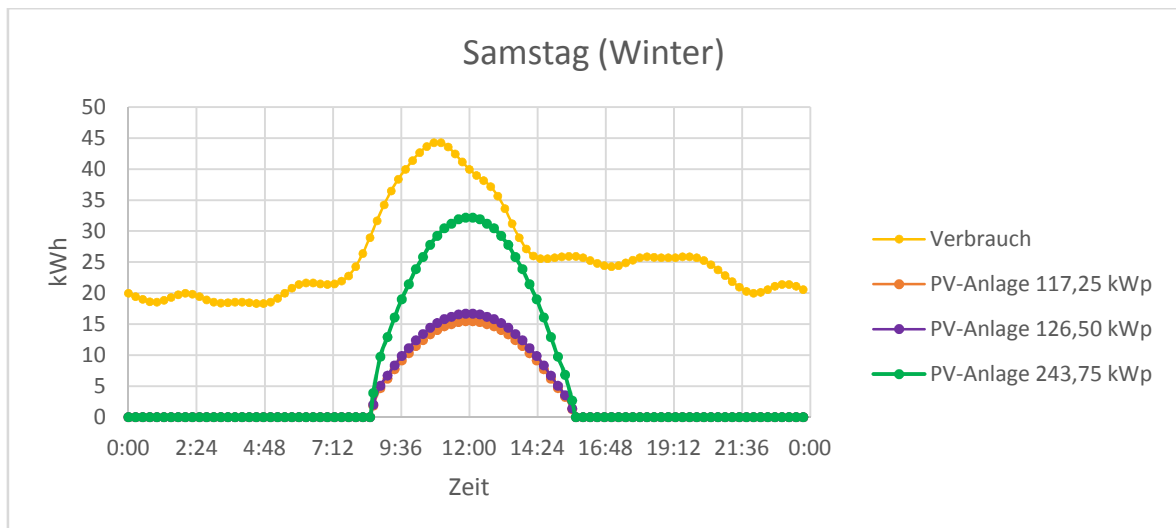
An Samstagen im Sommer kommt es bei allen drei Fällen zu einer Überproduktion, sodass der überschüssige Strom entweder ins Netz eingespeist, oder durch eine geeignete Speichertechnologie zwischengespeichert werden müsste. Dieses Problem wird man auf Grund der enormen Verbrauchsschwankungen nicht umgehen können (Abbildung 24).

Die Grundlast an einem Wintersamstag an dem gearbeitet wird, ist im Vergleich zur Erzeugung hoch genug um in allen drei Fällen eine 100%-ige Deckung zu erzielen (Abbildung 25).



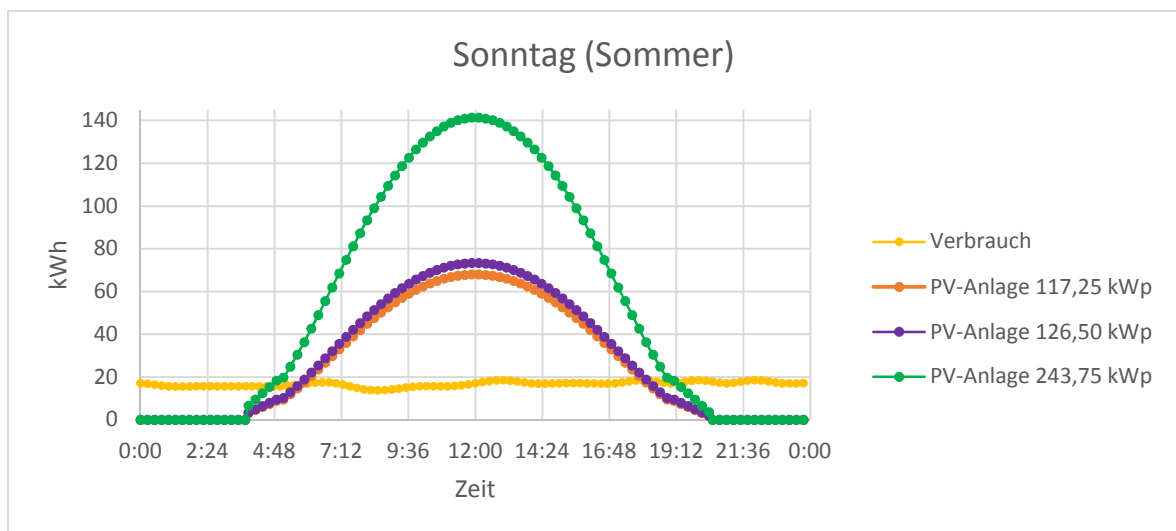
**Abbildung 24** Verschiedene PV-Anlagenleistungen im Vergleich zum tatsächlichen Verbrauch der Firma Camfil an einem Samstag im Sommer





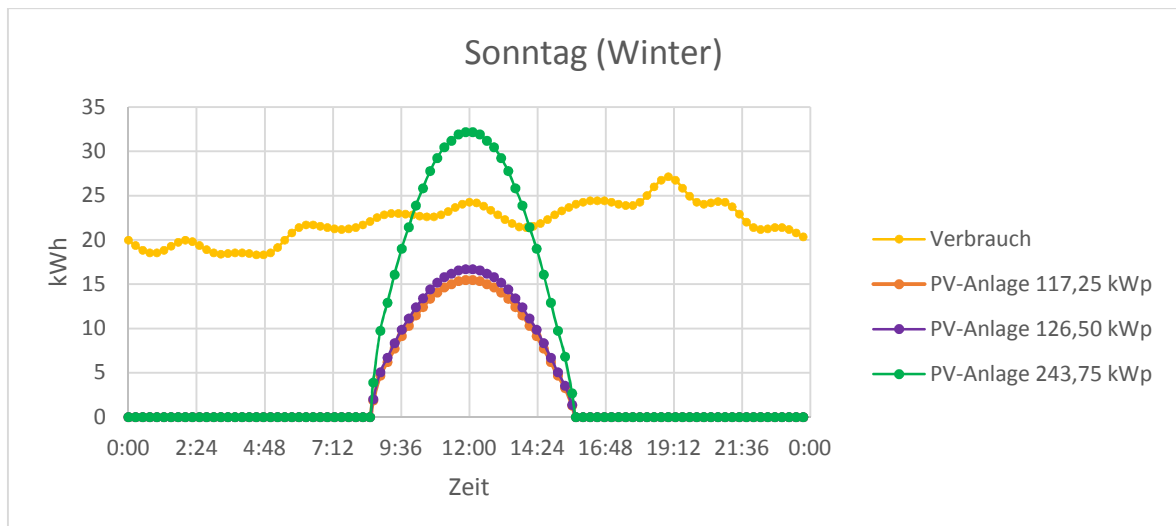
**Abbildung 25** Verschiedene PV-Anlagenleistungen im Vergleich zum tatsächlichen Verbrauch der Firma Camfil an einem Samstag im Winter

An einem arbeitsfreien Samstag bzw. an Sonntagen, erzeugen die drei betrachteten PV-Anlagen wiederum einen Überschuss der entweder eingespeist oder gespeichert werden müsste (Abbildung 26 und Abbildung 27). Eine größere Anlage zu installieren würde dieses Problem weiter ausbauen und wäre an solchen Tagen nicht zu empfehlen



**Abbildung 26** Verschiedene PV-Anlagenleistungen im Vergleich zum tatsächlichen Verbrauch der Firma Camfil an einem Sonntag im Sommer





**Abbildung 27** Verschiedene PV-Anlagenleistungen im Vergleich zum tatsächlichen Verbrauch der Firma Camfil an einem Sonntag im Winter

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass davon ausgegangen werden kann, dass die Wochenenden in jedem Fall zu einer Überproduktion führen werden. Aus diesem Grund würde eine Anlagengröße von 243,75 kWp als Investition empfohlen werden. Der Kostenfaktor liegt bei rund 26.800 €<sup>1</sup>, der dadurch gewonnene Autarkiegrad der Firma Camfil bei 5,96%<sup>2</sup>. Der elektrische Autarkiegrad liegt bei 8%<sup>3</sup>.

Das Dach der Halle drei ebenfalls mit Photovoltaik zu belegen würde zwar eine Steigerung von 43 kWp bedeuten, jedoch wäre die Überproduktion an Wochenenden noch gravierender und unterm Strich würde lediglich eine rechnerische Autarkiegraderhöhung von weiteren 0,01% erzielt werden.

Es ist daher sinnvoller die Dachfläche der Halle drei mit Solarthermie zu belegen, da diese regenerative Energieart laut Kennzahl die größere Priorität aufweist.

#### Kalkulation einer solarthermischen Anlage

Bei einer nutzbaren Dachfläche der Halle 3 von rund 280m<sup>2</sup> und einem durchschnittlichen Ertrag von 650 kWh/m<sup>2</sup> (unter Verwendung von Röhrenkollektoren, siehe Kapitel 3.4), könnte eine solarthermische Anlage auf Hallendach 3 ca. 182.000 kWh thermische Ener-

<sup>1</sup> 243,75 kWp \* 1000 h \* 0,11 €/kWh = 26.812,50 €

<sup>2</sup> ((243,75 kWp \* 1000 h) / (3045566,5 kWh + 1041120)) \* 100 = 5,96%

<sup>3</sup> ((243,75 kWp \* 1000 h) / 3045566,5) \* 100 = 8,00%

gie erzeugen. Der gesamte Autarkiegrad der Firma Camfil würde sich somit um 4,45%<sup>1</sup> erhöhen (anstatt 0,01% wie bei der PV-Anlage).

### 7. Neuen Autarkiegrad berechnen

Zu Beginn der Arbeit wurde der elektrische Autarkiegrad der Stadt Reinfeld zu 4,83% ermittelt. Aus diesem Grund kann der neue Autarkiegrad ebenfalls nur im Hinblick auf die elektrischen Komponenten berechnet werden. Der Gesamtenergiebedarf (Strom) des Jahres 2014 betrug 29.659.523 kWh und die eigenerzeugte Energie lag bei 1.433.687 kWh. Durch die Erhöhung der eigenerzeugten Energie um 243.750 kWh durch die berechnete Photovoltaik-Anlage ergibt sich ein neuer Autarkiegrad von 5,66%.

$$\text{Autarkiegrad optimiert [\%]} = \frac{1.433.687,00 \text{ kWh} + 243.750 \text{ kWh}}{29.659.523,00 \text{ kWh}} = 0,056556 \triangleq 5,66\%$$

Dieses Ergebnis wird, obwohl berücksichtigt werden muss, dass es lediglich einen von 39 Großverbrauchern enthält, den Erwartungen nicht gerecht. In den gemeinsamen Gesprächen mit der Firma Camfil zeigten sich, über die vier vorgestellten regenerativen Energiearten hinaus, weitere energetische Optimierungsmöglichkeiten auf.

### Optimierung der Beleuchtung

Laut Angaben der Firma Camfil sind im gesamten Standort Reinfeld (Hallen, Büroräume, Kantine und Außenbereich) insgesamt 144,97 kW herkömmliche Leuchtmittel installiert. Dies entspricht einer Anzahl von Standard T8-Röhren, mit 71W (58W + 13W Vorschaltgerät), von 2042 Stück. Unter Berücksichtigung der verschiedenen Benutzungsdauern (siehe Anhang 10) ergibt sich ein Jahresverbrauch durch die Beleuchtung von 561.297,94 kWh. Ersetzt werden könnten die T8-Röhren durch neue energieeffiziente LED-Röhren mit 23W. Der neue Jahresverbrauch beträgt somit 181.828,91 kWh<sup>2</sup>, das entspricht einer Einsparung von 67,6%.

Die Investitionssumme einer solchen Anschaffung beläuft sich auf rund 51.000 €<sup>3</sup>. Die Energiekosteneinsparung pro Jahr ergibt sich mit einem Strompreis von 9,3 Cent/kWh (siehe Abbildung 9) zu 35.290€ pro Jahr. Im 18. Monat hat sich diese Investition amortisiert.

Der elektrische Autarkiegrad der kompletten Kommune würde sich unter Berücksichtigung der berechneten PV-Anlage und der Einsparung durch Optimierung der Beleuchtung um 0,9% auf insgesamt 5,73% erhöhen.

<sup>1</sup> (182.000 kWh / (3045566,5 kWh + 1041120)) \* 100 = 4,45%

<sup>2</sup> (23W / 71W) \* 561.297,94 kWh = 181.828,91 kWh

<sup>3</sup> 2042 mal 24,99€ (Preis für eine 150cm Phillips MASTER LEDtube Value HO 23W 3100lm 6500K Tageslicht)

$$\text{Autarkiegrad optimiert [\%]} = \frac{1.433.687,00 \text{ kWh} + 243.750 \text{ kWh}}{29.659.523,00 \text{ kWh} - 379.469,03 \text{ kWh}} = 0,057289 \triangleq 5,73\%$$

#### Optimierung Hot-Melt-Öfen

Die Firma Camfil besitzt insgesamt drei Hot-Melt-Öfen die zusammen mit den Faltmaschinen den Kern der Produktion der Luftfilter bilden. Durch einen Ansaugschlauch werden Klebe-Pellets in die Öfen hineingesaugt und im Ofen innerhalb weniger Sekunden auf 130°C aufgeheizt. Der nun flüssige Kleber wird auf die gefalteten Luftfiltermatten aufgetragen. Diese werden anschließend auf einem Laufband mittels der Raumluft auf Umgebungstemperatur (ca. 20°C) abgekühlt.

Der erste Hot-Melt-Ofen besitzt eine elektrische Leistung von 80kW und wird im Jahr 6240h benutzt. Der zweite Ofen hat eine Leistung von 106kW und ist 4279h im Jahr in Betrieb. Der dritte Hot-Melt-Ofen ist mit 52,5 kW der kleinste der drei Öfen, läuft jedoch 8760h im Jahr. Insgesamt verbrauchen die Öfen 1.411.798 kWh Strom, und erzielen jährliche Stromkosten in Höhe von 131.297,21€ (Grundlage: 9,3 Cent/kWh). Es wird also sehr viel Arbeit aufgewendet, um die Klebe-Pellets auf 130°C aufzuheizen, und anschließend wird die investierte Wärmeenergie an die Raumluft „verschenkt“.

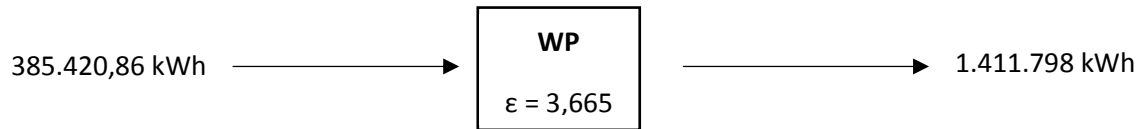
Die Wärmeenergie die beim Abkühlungsvorgang verloren geht, könnte jedoch mit Hilfe einer Wärmepumpe an den Anfang der Maschine (dem Reservoir der Klebe-Pellets) zurückgeführt werden. Die Pellets könnten auf diese Weise, noch bevor sie durch den Ansaugschlauch in den Ofen gesogen werden, um einige Grad vorgewärmt werden.

Wichtigstes Kriterium welches bei einer Wärmepumpe geprüft werden muss, ist die Leistungszahl  $\epsilon$ . In Fachkreisen wird zunehmend von Coefficient Of Performance (COP) gesprochen, was das gleiche meint. Die maximal erreichbare Leistungszahl ( $\epsilon_{\max}$ ) ist stark vom unteren- und oberen Temperaturniveau abhängig und lässt sich mit Hilfe der Formel (8) berechnen (Weigand, Köhler, & von Wolfersdorf, 2014):

$$\epsilon_{\max} = \frac{T_{\max}}{T_{\max} - T_{\min}} \quad (8)$$

Durch einsetzen der tatsächlichen Temperaturen erhält man im Fall der Hot-Melt-Öfen eine Leistungszahl von 3,665. Typische Leistungszahlen liegen im Bereich von 3 – 5. Normiert betrachtet wird zur Zeit pro benötigter Kilowattstunde Energie auch eine Kilowattstunde Arbeit in das System hinein gesteckt. Mit einer Wärmepumpe, mit der Leistungs-

zahl 3,665, müssten pro benötigter Kilowattstunde jedoch nur noch 0,273 Kilowattstunde Energie in das System geliefert werden.



Durch Einsatz einer Wärmepumpe verringert sich der Gesamtenergiebedarf der drei Hot-Melt-Öfen um 1.026.377,14 kWh. Das entspricht einer jährlich gesparten Summe von 95.453€. Zwar müssten kleine bauliche Maßnahmen getroffen werden, jedoch ist der Einsatz eines solchen Systems äußerst empfehlenswert.

Der elektrische Autarkiegrad der kompletten Stadt Reinfeld würde sich unter Berücksichtigung der berechneten PV-Anlage, der Einsparung durch Optimierung der Beleuchtung und der Wärmepumpe um 1,11% auf insgesamt 5,94% erhöhen.

$$\text{Autarkiegrad optimiert [\%]} = \frac{1.433.687,00 + 243.750}{29.659.523,00 - 379.469,03 - 1.026.377,14} = 0,05937 \triangleq 5,94\%$$

## 5 Zusammenfassung

Eine Steigerung des Autarkiegrades der gesamten Kommune von 1,11% durch die Optimierung eines einzigen Großverbrauchers erfüllt zwar nicht die eingangs erhofften Erwartungen, ist allerdings dennoch nicht zu verachten. Die Herausforderung dieser Berechnung liegt in der Tatsache, dass eine hergestellte Kilowattstunde Energie mehr Prozentpunkte erzielt als eine eingesparte Kilowattstunde.

Die betrachtete Firma hat zwar insgesamt 44,82%, also 1.831.596,17 kWh, Energie eingespart, jedoch sind lediglich 243.750 kWh (5,96%) hergestellt worden. Die eingesparten, hergestellten 182.000 kWh Energie aus der solarthermischen Anlage (4,45%), werden in dem elektrischen Energieautarkiegrad der Stadt Reinfeld überhaupt nicht berücksichtigt.

Diese beiden Faktoren verursachen den geringen Anstieg des Autarkiegrades trotz enormer energetischen Optimierung des Großverbrauchers.

## 4 Konzeptbewertung

Ziel der Arbeit war es, durch signifikante Entlastung des Großverbrauchers die gesamte Autarkie einer Kommune zu optimieren. Dazu wurde anhand von vier regenerativen Energiearten (Photovoltaik, Solarthermie, Windkraft und Stromerzeugung durch BHKW) über die Entwicklung einer Kennzahl eine Reihenfolge der zu nutzenden Energieart entwickelt. Im Anschluss wurde ein Konzept mit sieben Schritten erstellt, welches ein standardisiertes Vorgehen zur Entlastung eines Großverbrauchers darstellt. Zum Schluss wurde das entwickelte Konzept am Anwendungsbeispiel der Kommune Reinfeld mit der Firma Camfil angewendet.

Das ursprüngliche Vorhaben, eine allgemeingültige Kennzahl zu entwickeln, erwies sich in der konkreten Anwendung im Hinblick auf die zu betrachtende Reihenfolge zwar als nützlich, jedoch in der Ausführung als schwierig. Ein betrachteter Großverbraucher ist in Bezug auf das Firmengelände, der Prozessabläufe und Energiebedarfe äußerst komplex. Eine standardisierte Reihenfolge der zu betrachtenden regenerativen Energieart ist nach Gewinnung der Erkenntnisse nicht zu befürworten.

Weitaus empfehlenswerter ist es, das Unternehmen im Ganzen zu beurteilen und sich zu Beginn der Optimierungsphase einen vollständigen Überblick über örtliche Gegebenheiten, Prozessabläufe, Kundenwünsche, bereits erfolgter Optimierungen und Bedarfe zu verschaffen. Die gewonnenen Erkenntnisse aus der Kennzahlenentwicklung, welche regenerative Energieart zu bevorzugen ist, sollte bei dieser Besichtigung im Hinterkopf behalten werden.

Weitaus wichtiger ist es, eine komplette Verbraucheranalyse aufzustellen, anhand derer die größten Energieverbraucher festgestellt- und gezielt optimiert werden können. Auf diese Weise sind im Fallbeispiel die Komponenten „Beleuchtung“ und „Hot-Melt-Öfen“ aufgefallen. Dieses Vorgehen erfordert im ersten Schritt, dem Erfassen aller Verbraucher inklusive der elektrischen Leistung und Laufzeit, einiges an Arbeitszeit. Ist die Aufstellung jedoch einmal erfolgt, kann, mit dem größten Verbraucher beginnend, Schrittweise zum Teil erheblich optimiert werden.

---

Wichtigste Erkenntnis dieser Ausarbeitung ist die Tatsache, dass eine hergestellte Kilowattstunde Energie, da im Zähler stehend, in Bezug auf den Autarkiegrad mehr Prozentpunkte bringt, als eine eingesparte Kilowattstunde.

Der ursprüngliche Ansatz zielte jedoch darauf ab, dass Großverbraucher durch selbst produzierte Energie, bzw. eingesparte Energie, die Netzbelastung minimieren. Dieses Ziel hat, mit einer Einsparung von 44,82%, die Erwartungen übertroffen.

Zu beachten ist die Tatsache, dass weder eine Speicherung noch eine Optimierung der Prozessabläufe, zum Beispiel hinsichtlich Taktung verschiedener Prozessketten zur Stromspitzen Minimierung, stattgefunden hat.

## 6 Ausblick

Das Ziel der Energiewende, den Ausstieg aus der Atomkraft bis 2022 (Paper: Climate Change 14/2013), bleibt technisch gesehen eine Herausforderung. Die Ansätze bei verschiedenen Verbrauchergruppen (Haushalt, Straßenverkehr, Industrie, Gewerbe) eine Energieautarkie zu erzielen sind durch verschiedene Studien und in dieser Ausarbeitung gegeben. Sie reichen von kleinen Installationen, wie zum Beispiel das Versorgen einer Straßenlaterne durch eine integrierte Solarzelle, bis hin zu ganzheitlichen Konzepten wie Passiv-Energiehäuser (Paper: Climate Change 14/2013).

Das Grundproblem jedoch, die Gewährleistung einer konstanten Grundlast, bleibt auf Grund der Wetterabhängigkeit der regenerativen Energien bestehen. Abhilfe können hier lediglich große, leistungsstarke Speicher, oder ein flächendeckender Netzausbau bringen. Gerade im Hinblick auf Speichertechnologie lässt sich in den kommenden Jahren ein erheblicher technologischer Fortschritt erwarten. Dem Ziel der Energiewende wird mit verschiedenen Technologien und Ansätzen immer näher gekommen.



## Anhang

### Anhang 1: Energiemengen 2012, 2013, 2104 der Stadt Reinfeld

#### Strom Absatz in die Stadt

Jahr	Sparte: Name	RLM: Anzahl Anlagen [in Stück]	RLM: Absatz Arbeit gesamt abgerechnet [in KWH]	SLP: Anzahl Anlagen [in Stück]	SLP: Absatz Arbeit gesamt abgerechnet [in KWH]
2012	Strom	40	12.436.126,00	4.764	17.906.036,00
2013	Strom	34	12.594.569,00	4.788	17.209.910,00
2014	Strom	39	12.920.748,00	4.857	16.738.775,00

#### EEG-Aufnahme aus der Stadt

Jahr	Energieart	Anzahl Anlagen-schlüssel	Installierte Leistung [kW]	Erzeugte Menge [kWh]	davon direkt-vermarktet [kWh]
2012	PV	44	815,31	-498.579,10	0,00
	Wasser	1	10,00	-3.232,14	0,00
2013	PV	53	618,84	-602.565,90	0,00
	Wasser	1	10,00	-3.226,12	0,00
2014	PV	60	759,03	-649.622,00	0,00
	Wasser	1	10,00	-10.100,00	0,00

#### KWK-Aufnahme aus der Stadt

Jahr	Energieart	Anzahl Anlagen	Installierte Leistung [kW]	eingespeiste Netzmenge [kWh]	Menge Eigenverbrauch [kWh]
2012	KWK	5	50,00	-46.929,00	-24.240,00
2013	KWK	8	98,00	-20.007,00	-121.432,00
2014	KWK	---	---	-773.965,00	-143.305,00

## Anhang 2: Verbrauch Camfil 2014

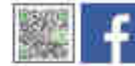
Energetische Ausgangsbasis	<b>2014</b>
Einsparung bis 2020 in Prozent:	<b>25</b>

eingesetzte Energie / Energieträger	Verbrauch Energetische Ausgangsbasis vom 1.1.2014 bis 31.12.2014 (Absolutverbrauch) kWh	Anteil am Gesamtverbrauch [%]	Ziel für 2020 (von Absolutzahl kWh-Verbrauch)	Einsparung kWh in 2020
Strom	3.045.567	74,52	2.284.175	761.392
Gas	1.041.120	25,48	780.840	260.280
<b>Gesamtverbrauch über alle Energieträger</b>	<b>4.086.687</b>	<b>100</b>	<b>3.065.015</b>	<b>1.021.672</b>

Anhang 3: Datenblatt Hyundai

# Hyundai Solarmodule

www.hi-glass.com/usa/usa  
www.facebook.com/hyundaisolar



Hyundai Heavy Industries wurde 1972 gegründet und ist in den "Fortune 500" vertreten. Das Unternehmen beschäftigt mehr als 45.000 Mitarbeiter und verfügt über 6 globale Werke. Geschäftswachstum mit einem Umsatz von 45,9 Mrd. USD im Jahr 2014. Als eines der Kerngeschäfte des Unternehmens hat sich Hyundai Heavy Industries verpflichtet, die Bereiche der erneuerbaren Energien weiter zu entwickeln und in diese stark zu investieren. Hyundai Solar ist der größte und am schnellsten wachsende Solarmodul- und Solarmodulhersteller in Südkorea. Hyundai Heavy Industries verfügt über Module-Produktionskapazität von 600 MW und bietet qualitativ hochwertige Polikristalline Produkte für weltweite Märkte als 1.200 Kunden an. Im Vordergrund steht hierzulande durch den Ausbau der PV-Leistung und Investitionen von mehr als 20 Milliarden USD für innovative Technologien, um die weltweit besten Solarmodule im Markt zu entwickeln.

## RG-Serie

- Polykristalline Module  
HS-M25FRG | HS-M25SRG | HS-M26RG
- Monokristalline Module  
HS-G26RG | HS-G26SRG | HS-G27RG

### Mechanische Daten

Abmessungen	330 mm (H) x 1.340 mm (L) x 35 mm (D)
Gewicht	ca. 18,7 kg
Zellenanzahl	60 Zellen in Serie (6x10 Matrix)
Außenumrandung	4 mm Edelstahlverriegelungssystem Steckverbinder, Länge 120 mm, MC4 kompatibel Steckverbinder
Außenumrandung	PSI
Auswahl der Umrandung	2 Optionen im Leistungsprofil bei Verankerung zu minimieren
Art der Folie	Vierseitige Hochleistungs-Polycarbonate Produkte für weltweite Märkte als 1.200 Kunden an. Im Vordergrund steht hierzulande durch den Ausbau der PV-Leistung und Investitionen von mehr als 20 Milliarden USD für innovative Technologien, um die weltweit besten Solarmodule im Markt zu entwickeln.
Farbe	eloxiert Aluminium (blau oder schwarz)

### Höchste Qualität

- IEC 61215 (EdJ) und IEC 61730 VDE zertifiziert
- Leistungsstufen <math>\pm 0,5\%</math>
- ISO 9001:2008, ISO 14001:2004 und ISO 50001:2011 zertifiziert
- CHSAS 18001:2007 zertifiziert
- Mechanische Belastbarkeit (5-60 Pa) bestanden (IEC 61215)
- EC 62716 (Anwendung-Korrosionsprüfung) zertifiziert
- EC 61701 (Statische-Korrosionsprüfung) zertifiziert

### Abwechslungsreiche Prüfverfahren

- VDE (Test Data Acceptance Programm)
- UL (Single Test Data Programm)

### Garantie

- 10 Jahre Produktgarantie
- 10 Jahre Leistungsgarantie auf 80 % der minimal spezifizierten Leistung
- 25 Jahre Leistungsgarantie auf 80 % der minimal spezifizierten Leistung

Wichtiger Hinweis zur Garantie  
Garantieanspruch gilt nur für Module mit dem Originalprogramm.  
Hyundai Heavy Industries Co., Ltd. ist ein gesetzlich anerkanntes Unternehmen.



**Technische Daten**

**(Polykristalline Module)**

		HM-1000/2000		
		100	200	300
Max Leistung (Pmpp)	W	230	230	280
Spannung bei Pmax (Vmppt)	V	30,8	31,8	31,2
Strom bei Pmax (Imppt)	A	8,1	8,3	8,9
Vollkreisspannung (Voc)	V	37,8	37,8	37,2
Kurzschlussstrom (Isc)	A	8,7	8,8	9,4
Leistungskoeffizient	%	0,99		
Verlust bei Zellen	W/A	0,01		
Zelltyp		MTC zu Zellen		
Modulkoeffizient	%	11,3		
Temperaturkoeffizient Pmpp	W/W	-0,41	-0,41	-0,41
Temperaturkoeffizient Voc	W/W	-0,22	-0,22	-0,22
Temperaturkoeffizient Isc	W/W	0,036	0,036	0,036

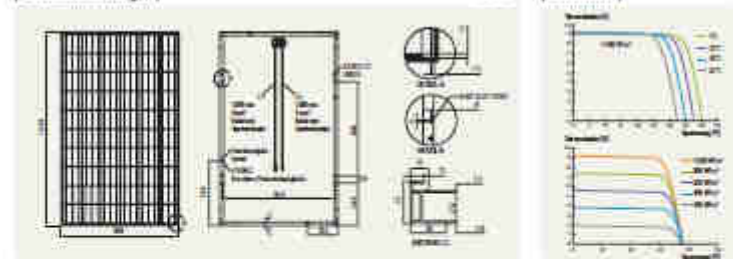
Alle gemessenen Werte gelten bei 25°C Standard-Testbedingungen

**(Monokristalline Module)**

		HM-1000/2000		
		100	200	300
Max Leistung (Pmpp)	W	200	200	200
Spannung bei Pmax (Vmppt)	V	31,7	31,7	31,8
Strom bei Pmax (Imppt)	A	6,3	6,3	6,3
Vollkreisspannung (Voc)	V	37,8	37,7	37,2
Kurzschlussstrom (Isc)	A	6,6	6,6	6,7
Leistungskoeffizient	%	0,99		
Verlust bei Zellen	W/A	0,01		
Zelltyp		MTC zu Zellen		
Modulkoeffizient	%	11,3		
Temperaturkoeffizient Pmpp	W/W	-0,42	-0,42	-0,42
Temperaturkoeffizient Voc	W/W	-0,22	-0,22	-0,22
Temperaturkoeffizient Isc	W/W	0,041	0,041	0,041

Alle gemessenen Werte gelten bei 25°C Standard-Testbedingungen

**(Ausmaßenmessungen)**



**(Hinweis)**

- Die Installation und Inbetriebnahme sollte nur durch Fachpersonal durchgeführt werden.
- Bei diesem Diagramm lassen sich keine Sicherungen ableiten.
- Spezifikation unter Standardbedingungen ohne weitere Anfertigung.

Max. Temperaturerwartung (MTC)	MTC ± 0,2
Temperaturbereich	-40 ~ 80°C
Standard-Testbedingungen (STC)	1000 W/m², 25°C
Modulkoeffizient	11,3

© Hyundai Heavy Industries 2022

Anhang 3: Datenblatt Yingli

**YGE 60 Cell  
40mm SERIE**  
Powered by **YINGLI**

YLG60P-20%  
YLG60F-20%  
YLG60P-20%  
YLG60F-20%



**ÜBER YINGLI GREEN ENERGY**

Yingli Green Energy Holding Company Limited (NYSE: YGE) ist einer der größten komplett vertikal integrierten Hersteller von Solarmodulen der Welt, der seine Produkte unter der Marke „Yingli Solar“ vertreibt. Über 3,6GW unserer Module sind weltweit installiert, das macht uns zu einem führenden Solarherstellerunternehmen, dessen Erfolg auf bewiesener Produktzuverlässigkeit und nachhaltiger Leistung beruht. Wir sind zudem das erste Unternehmen für erneuerbare Energien und das erste chinesische Unternehmen, das die FIFA Fußball-Weltmeisterschaft™ gesponsert hat.

**LEISTUNG**

- Durch hocheffiziente multijunction Siliziumzellen und hochtemperaturtaugliche Glas- mit antireflektierender Oberfläche erreichen unsere Module einen Wirkungsgrad von bis zu 19,0%. Sie werden bestandsdauerlich installiert und die kWh-Abgabe Ihres Systems pro Fläche maximiert.
- Eine ergiebigere Leistungsdichte von 20W bis 21W/dm<sup>2</sup> zeigt, dass Sie Module erhalten, deren Leistung bei jeder über dem nominalen Wert liegt, und trägt dazu bei, Minusverluste zu minimieren und dadurch den Ertrag des PV-Systems zu verbessern.

**QUALITÄT & ZUVERLÄSSIGKEIT**

- Robuste, korrosionsbeständige Aluminiumrahmen, die laut unabhängigen Tests Windlasten von bis zu 2,4MPa und Schneelasten von bis zu 5,4kPa standhalten, gewährleisten mechanische Stabilität für die gesamte Lebensdauer des Moduls.
- Die Verpackung der Module ist so gestaltet, dass das Produkt während des Transports optimal geschützt ist und Abfallmengen im Zukunft minimiert werden.
- Die Module sind von unabhängigen Prüfstellen getestet, um die Einhaltung von Zulassungsstandards und anderen relevanten Normen sicher zu stellen.
- Unsere Produktionsstätten sind durch den TÜV Rheinland zertifiziert gemäß ISO 9001:2008, ISO 14001:2004 und IEC 61646:14001:2007.

**GARANTIEEN**

- Beschränkte Preisgarantie: 10 Jahre
- Beschränkte Leistungsgarantie: Bis zum 10. Jahr auf 91,2% der Nennleistung, bis zum 25. Jahr auf 81,7% der Nennleistung.  
*(Vergleichen Sie die Angaben unter Beschränkte Garantie)*

**QUALIFIKATIONEN & ZERTIFIKATE**

IEC 61215, IEC 61730, CE, IEC 61851:2006, IEC 61001:2006, BS CHAS2 18001:2007, SA 8000, PV Cycle



YINGLISOLAR.COM



# YGE 60 Cell 40mm SERIE

## ELEKTRISESCHES VERHALTEN

### Elektrische Parameter bei Standard-Betriebsbedingungen (STC)

Parameter	Einheit	W	30°C	35°C	40°C	45°C	50°C	
Leistung	$P_m$	W	200	190	180	170	160	
Leistungskoeffizient	$\eta$	%	0,714					
Modulkurzschlussstrom	$I_{sc}$	A	11,0	10,5	10,0	9,5	9,0	
Spannung bei $P_m$	$V_{oc}$	V	29,6	28,2	26,8	25,4	24,0	
Spannung bei $I_{sc}$	$V_{oc}$	V	3,20	3,11	3,02	2,93	2,84	
Leerlaufspannung	$V_{oc}$	V	38,4	37,0	35,6	34,2	32,8	
Kurzschlussstrom	$I_{sc}$	A	6,79	6,62	6,45	6,28	6,11	

STC: 1000W/m<sup>2</sup> Einstrahlung, 25°C Lufttemperatur, 1013hPa Luftdruck  
 Modulkurzschlussstrom bei 30°C:  $I_{sc(30°C)} = I_{sc(STC)} \cdot \frac{273 + T_{STC}}{273 + T_{30°C}}$

### Elektrische Parameter bei Norm-Betriebsbedingungen (NOCT)

Parameter	Einheit	W	18°C	21°C	25°C	30°C	35°C
Leistung	$P_m$	W	181,7	171,9	162,1	152,3	142,5
Spannung bei $P_m$	$V_{oc}$	V	27,3	25,9	24,4	22,9	21,4
Spannung bei $I_{sc}$	$V_{oc}$	V	3,33	3,24	3,15	3,07	2,98
Leerlaufspannung	$V_{oc}$	V	38,9	37,4	35,9	34,4	32,9
Kurzschlussstrom	$I_{sc}$	A	7,10	6,89	6,68	6,47	6,26

NOCT: Standardtemperatur der Zelle bei 800W/m<sup>2</sup> Einstrahlung, 20°C Lufttemperatur, Windgeschwindigkeit 1m/s

## THERMISCHES VERHALTEN

Parameter	Einheit	W	°C
Temperaturkoeffizient der Zelle	$\beta_{cell}$	%/°C	-0,45
Temperaturkoeffizient bei $P_m$	$\beta_{P_m}$	%/°C	-0,45
Temperaturkoeffizient bei $V_{oc}$	$\beta_{V_{oc}}$	%/°C	-0,38
Temperaturkoeffizient bei $I_{sc}$	$\beta_{I_{sc}}$	%/°C	0,06
Temperaturkoeffizient bei $V_{oc}$	$\beta_{V_{oc}}$	%/°C	-0,45

## BETRIEBSBEDINGUNGEN

Max. Systemspannung	1000V <sub>DC</sub>
Max. Nennleistungswert	100W
Max. Nennstrom	10A
Standardtemperatur	25°C/77°F
Max. relative Luftfeuchtigkeit (bei 25°C/77°F)	95%
Max. relative Luftfeuchtigkeit (bei 40°C/104°F)	95%
Max. Feuchtigkeit (Schneeeis / Regen / Nebel / Tauwasser)	20mm / 0,8in

## MATERIALIEN UND KOMPONENTEN

Frostwiderstand (Material / Zelle)	Standard gefrierfrei über 25Jahre
Lebensdauer (Material / Technologie / Halbleiter / Zell- oder Solarzellenmaterial)	25 Jahre (Standard) / 30 Jahre (30 Jahre) / 40 Jahre (40 Jahre)
Zellverpackung (Material)	200µm dicke Glas
Halbleiter (Material / Halbleiter / Packung / Technologie / Solarzellen / Solarzellenherstellung)	Standard (Standard) / 100µm / 100µm / 100µm / 100µm
Ausfallschutz (Schutzart)	A-SBS
Kabel (Stärke / Leiterquerschnitt)	120mm <sup>2</sup> / 120mm <sup>2</sup>
Ständer (Typ / Material)	MG2 (PV) oder Aluminium / PM

\* Alle Angaben sind nur Richtwerte. Für genaue Angaben kontaktieren Sie bitte den Hersteller oder den Lieferanten.  
 \*\* Die Angaben sind nur Richtwerte. Für genaue Angaben kontaktieren Sie bitte den Hersteller oder den Lieferanten.  
 \*\*\* Die Angaben sind nur Richtwerte. Für genaue Angaben kontaktieren Sie bitte den Hersteller oder den Lieferanten.

Yingli Green Energy Holding Co., Ltd.

service@yinglisolar.com

Tel: 0086-313-8929900

YINGLISOLAR.COM

© Yingli Green Energy Holding Co., Ltd. | TEL: 0086-313-8929900 | FAX: 0086-313-8929900

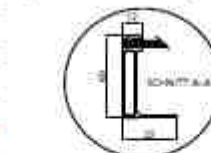
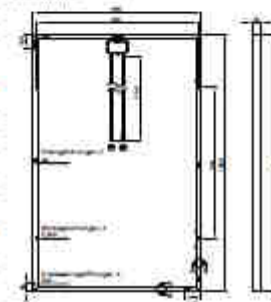
## ALLGEMEINE MERKMALE

Wabenabmessungen (Stärke / Breite / Höhe)	166mm / 166mm / 40mm
Flächengewicht	9,7kg/m <sup>2</sup>

## VERPACKUNG

Standardverpackungseinheit (Stärke / Breite / Höhe)	30
Standardverpackungseinheit (Stärke / Breite / Höhe)	1100mm / 1100mm / 1100mm
Standardverpackungsgewicht	100kg

## Gezeigt wird:



Wichtig: Lesen Sie die gesamte Beschreibung und den Warnhinweis sorgfältig. Bei Yingli Solar-Wafer-Produkten, Installation oder Reparatur.



Anhang 3: Datenblatt LG



# MonoX™

LG265S1C-G3 / LG260S1C-G3 / LG255S1C-G3 / LG250S1C-G3



**LG Electronics, Inc. (Korea)** ist eine führende Unternehmung und technologische Impulsgeber für Elektronik-, Informations- und Konsumgüterindustrie. LG Electronics beschäftigt zudem weltweit mehr als 11000 Mitarbeiter in 111 Ländern. Die Unternehmung unterteilt sich in Geschäftsbereiche mit einem Gesamtumsatz von 48,97 Milliarden US-Dollar.

LG ist einer der weltweit größten Hersteller von Kühlschränken, Flachbildschirmen, Klimageräten, Waschmaschinen und Wäschetrocknern. Zugleich ist LG ein führender Hersteller von LG auf die Technologie der erneuerbaren Energien und baut dies, z.B. LG produziert seine gesamte Palette hochwertiger Solarprodukte in seinem Stammwerk in Korea.





**LG Spitzenleistung als Weltmeister**  
Das LG Logo auf jedem Solarpanel vereint unsere Kunden-Auswahl-Technologie und Zuverlässigkeit. Diese Solarpanels sind ultrahochwertig für LG seit über 30 Jahren.



**100 % EG-geprüft**  
Jedes LG-Modul wird in unterschiedlichen Phasen der Fertigung umfangreichen Qualitätskontrollen unterzogen. Das LG-Testlabor für die mechanische Prüfung simuliert Regen und Schnee.



**Leicht und robust**  
Trotz ihres geringen Gewichts von nur 16,6 kg überwiegen die Module von LG durch ihre hochentwickelte mechanische Selbstheilung um bis zu 5000 %.



**Werbliche Garantien**  
LG steht für die Qualität seiner Produkte mit der Stärke eines weltweiten Konzerns und seinen herausragenden Gewährleistungsgeschichten. Zusätzlich zu einer 10-jährigen Produktgarantie bietet LG eine 25-jährige Energie-Leistungsgarantie.



**Positive Leistungstoleranz**  
LG liefert Solarmodule mit einer positiven Leistungsabweichung und einer positiven nominalen Leistungstoleranz gegenüber mit 0 %.



**Bequeme Montage**  
LG-Module werden sorgfältig entwickelt, damit Installateure von den Vorteilen einer schnelleren und einfacheren Handhabung in allen Phasen – Transport, Stiberg sowie Montage – profitieren können.

# MonoX™

LG265S1C-G3 / LG260S1C-G3 / LG255S1C-G3 / LG250S1C-G3

### Mechanische Eigenschaften

Zelle	6 x 6
Zellenecke	ISA
Zellertyp	Monocrystal
Zellenabmessungen	164 x 164 mm
Spannungskoeffizient	3
Vordrinnenabdeckung	Clear
Abmessungen (L x B x H)	640 x 1000 x 30 mm
Maximale Einzelkraft	5400 Pa (Direct) 4800 Pa (Ging)
Gewicht	36,8 ± 0,1 kg
Druckverträglichkeit	ISO 9001, IEC 60335-1, IEC 60335-2-1, IEC 60335-2-29, IEC 60335-2-30, IEC 60335-2-31, IEC 60335-2-32, IEC 60335-2-33, IEC 60335-2-34, IEC 60335-2-35, IEC 60335-2-36, IEC 60335-2-37, IEC 60335-2-38, IEC 60335-2-39, IEC 60335-2-40, IEC 60335-2-41, IEC 60335-2-42, IEC 60335-2-43, IEC 60335-2-44, IEC 60335-2-45, IEC 60335-2-46, IEC 60335-2-47, IEC 60335-2-48, IEC 60335-2-49, IEC 60335-2-50, IEC 60335-2-51, IEC 60335-2-52, IEC 60335-2-53, IEC 60335-2-54, IEC 60335-2-55, IEC 60335-2-56, IEC 60335-2-57, IEC 60335-2-58, IEC 60335-2-59, IEC 60335-2-60, IEC 60335-2-61, IEC 60335-2-62, IEC 60335-2-63, IEC 60335-2-64, IEC 60335-2-65, IEC 60335-2-66, IEC 60335-2-67, IEC 60335-2-68, IEC 60335-2-69, IEC 60335-2-70, IEC 60335-2-71, IEC 60335-2-72, IEC 60335-2-73, IEC 60335-2-74, IEC 60335-2-75, IEC 60335-2-76, IEC 60335-2-77, IEC 60335-2-78, IEC 60335-2-79, IEC 60335-2-80, IEC 60335-2-81, IEC 60335-2-82, IEC 60335-2-83, IEC 60335-2-84, IEC 60335-2-85, IEC 60335-2-86, IEC 60335-2-87, IEC 60335-2-88, IEC 60335-2-89, IEC 60335-2-90, IEC 60335-2-91, IEC 60335-2-92, IEC 60335-2-93, IEC 60335-2-94, IEC 60335-2-95, IEC 60335-2-96, IEC 60335-2-97, IEC 60335-2-98, IEC 60335-2-99, IEC 60335-3-00
Amortisationszeit	27,47 min. 2. Schritt (Direct)
Amortisationszeit, Länge	2 x 4000 mm
Rahmen	Aluminium, eloxiert

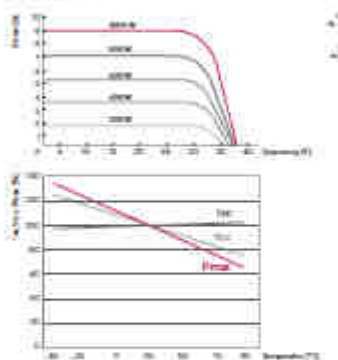
### Zertifizierung und Garantie

Zertifizierung	IEC 60335-1, IEC 60335-2-1, IEC 60335-2-29, IEC 60335-2-30, IEC 60335-2-31, IEC 60335-2-32, IEC 60335-2-33, IEC 60335-2-34, IEC 60335-2-35, IEC 60335-2-36, IEC 60335-2-37, IEC 60335-2-38, IEC 60335-2-39, IEC 60335-2-40, IEC 60335-2-41, IEC 60335-2-42, IEC 60335-2-43, IEC 60335-2-44, IEC 60335-2-45, IEC 60335-2-46, IEC 60335-2-47, IEC 60335-2-48, IEC 60335-2-49, IEC 60335-2-50, IEC 60335-2-51, IEC 60335-2-52, IEC 60335-2-53, IEC 60335-2-54, IEC 60335-2-55, IEC 60335-2-56, IEC 60335-2-57, IEC 60335-2-58, IEC 60335-2-59, IEC 60335-2-60, IEC 60335-2-61, IEC 60335-2-62, IEC 60335-2-63, IEC 60335-2-64, IEC 60335-2-65, IEC 60335-2-66, IEC 60335-2-67, IEC 60335-2-68, IEC 60335-2-69, IEC 60335-2-70, IEC 60335-2-71, IEC 60335-2-72, IEC 60335-2-73, IEC 60335-2-74, IEC 60335-2-75, IEC 60335-2-76, IEC 60335-2-77, IEC 60335-2-78, IEC 60335-2-79, IEC 60335-2-80, IEC 60335-2-81, IEC 60335-2-82, IEC 60335-2-83, IEC 60335-2-84, IEC 60335-2-85, IEC 60335-2-86, IEC 60335-2-87, IEC 60335-2-88, IEC 60335-2-89, IEC 60335-2-90, IEC 60335-2-91, IEC 60335-2-92, IEC 60335-2-93, IEC 60335-2-94, IEC 60335-2-95, IEC 60335-2-96, IEC 60335-2-97, IEC 60335-2-98, IEC 60335-2-99, IEC 60335-3-00
Produktgarantie	10 Jahre
Leistungsleistung (Peak Power)	25 Jahre Power Garantie
Maximale Leistung (Max Power)	25 Jahre Power Garantie
IEC 60335-1, IEC 60335-2-1, IEC 60335-2-29, IEC 60335-2-30, IEC 60335-2-31, IEC 60335-2-32, IEC 60335-2-33, IEC 60335-2-34, IEC 60335-2-35, IEC 60335-2-36, IEC 60335-2-37, IEC 60335-2-38, IEC 60335-2-39, IEC 60335-2-40, IEC 60335-2-41, IEC 60335-2-42, IEC 60335-2-43, IEC 60335-2-44, IEC 60335-2-45, IEC 60335-2-46, IEC 60335-2-47, IEC 60335-2-48, IEC 60335-2-49, IEC 60335-2-50, IEC 60335-2-51, IEC 60335-2-52, IEC 60335-2-53, IEC 60335-2-54, IEC 60335-2-55, IEC 60335-2-56, IEC 60335-2-57, IEC 60335-2-58, IEC 60335-2-59, IEC 60335-2-60, IEC 60335-2-61, IEC 60335-2-62, IEC 60335-2-63, IEC 60335-2-64, IEC 60335-2-65, IEC 60335-2-66, IEC 60335-2-67, IEC 60335-2-68, IEC 60335-2-69, IEC 60335-2-70, IEC 60335-2-71, IEC 60335-2-72, IEC 60335-2-73, IEC 60335-2-74, IEC 60335-2-75, IEC 60335-2-76, IEC 60335-2-77, IEC 60335-2-78, IEC 60335-2-79, IEC 60335-2-80, IEC 60335-2-81, IEC 60335-2-82, IEC 60335-2-83, IEC 60335-2-84, IEC 60335-2-85, IEC 60335-2-86, IEC 60335-2-87, IEC 60335-2-88, IEC 60335-2-89, IEC 60335-2-90, IEC 60335-2-91, IEC 60335-2-92, IEC 60335-2-93, IEC 60335-2-94, IEC 60335-2-95, IEC 60335-2-96, IEC 60335-2-97, IEC 60335-2-98, IEC 60335-2-99, IEC 60335-3-00	

### Temperaturkoeffizienten

ISO201	44,9 ± 2 °C
Temp	-2400 %/K
Temp	-2343 %/K
IEC	3,024 %/K

### Kennlinie



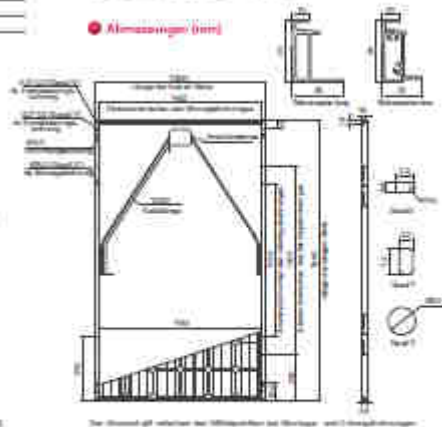
### Elektrische Eigenschaften (ISO)

	250W	200W	150W	100W
Maximale Leistung (Peak Power)	250	200	150	100
MPP-Spannung (Vmp)	31,9	32,1	32,1	32,9
MPP-Strom (Imp)	8,46	6,23	6,24	6,12
Leerlaufspannung (Voc)	40,7	38,4	38,4	39,3
Kurzschlussstrom (Isc)	8,92	6,61	6,72	6,62
Modulkapazität (µF)	9,2	10,3	5,5	9,2
Temperaturkoeffizient (TC)	-41	-40	-	-
Minimale Spannung (Vmin)	1000	-	-	-
Maximale Spannung (Vmax)	10	-	-	-
Leistungsfaktor (PF)	0,9	0,9	-	-

### Elektrische Eigenschaften (IEC)

	250W	200W	150W	100W
Maximale Leistung (Peak Power)	250	200	150	100
MPP-Spannung (Vmp)	32,4	32,7	32,7	33,5
MPP-Strom (Imp)	6,24	6,30	6,27	6,16
Leerlaufspannung (Voc)	40,9	38,6	38,6	39,5
Kurzschlussstrom (Isc)	7,7	7,1	7,00	6,97
Wirkungsfaktor aus Standard-Testverfahren	0,9	0,9	-	-

### Abmessungen (mm)





Anhang 3: Datenblatt Sharp



**ND-RXXXX5 (60 Zellen)**  
**XXX - 250 | 245 | 240 | 235 | 230 W**  
 Polymethin-silizium-Flachschichtmodule

**Sharp ist ein Pionier in der Photovoltaik /This is Why: Darum setzen Sharp Solarmodule seit mehr als 50 Jahren Maßstäbe.**




**Innovationen vom Photovoltaikpionier**  
 Als Solarpionier mit mehr als 50 Jahren Erfahrung in der Photovoltaik (PV) trägt Sharp entscheidend zu wegweisenden Fortschritten in der Solarhydraulik bei. Sharp Photovoltaikmodule der ND Serie sind für Einsatzbereiche mit hohem Leistungsbedarf ausgelegt. Sämtliche Modultypen der Sharp ND Serie bieten technisch wie wirtschaftlich eine optimale Systemintegration und eignen sich für die Montage in netzgekoppelten PV-Anlagen.

**Produktmerkmale**

- Hochleistung-Photovoltaikmodule aus polikristallinem (156,3 mm) Silizium-Solarzellen mit Modulwirkungsgraden bis zu 19,7%.
- 3-Bänder-Technologie zur Erhöhung der Lichtausbeute.
- Antireflexbeschichtung zur Erhöhung der Lichtabsorption.
- Garantierte positive Leistungstoleranz von 0 bis +5%. Es werden nur Module geliefert, die in der Produktion mindestens die spezifizierte Leistung unter mehr erreicht haben.
- Die Leistungsanhebung erfolgt in 5-Watt-Schritten.
- Verbesserte Temperaturkoeffizienten für weniger Leistungsverluste bei höheren Temperaturen.
- Hohe Effizienz auch bei geringerer Einstrahlung.




**AUSGEZEICHNET FÜR MARKENBEWUSSTSEIN, MARKENWÄRTE, INSTALLATEUR-PRÄFERENZ UND BESTANDTHEILE.**

**Zertifikate und Zulassungen**  
 Alle Module sind getestet und zertifiziert nach:

- IEC 61215 und IEC 61730, Anwendungsklasse II
- Schutzklasse III/II

Sharp ist zertifiziert nach:

- ISO 9001:2008 und ISO 14001:2004

**Qualität von Sharp**  
 Ständige Kontrollen garantieren eine gleichbleibend hohe Qualität. Jedes Modul wird optisch, mechanisch und elektrisch geprüft. Sie erkennen es am Display (Sharp Solar), der Seriennummer und der Sharp-Garantie:

- 10 Jahre Produktgarantie
- 25 Jahre linear Leistungsgarantie
  - Mindestens 94% der spezifizierten Nennleistung im ersten Jahr
  - Höchstens 0,667% jährliche Leistungsabnahme in den folgenden 24 Jahren





Arbeitsbereich  
 Solarpanels  
 (DIN EN 61215)



Arbeitsbereich  
 Solarpanels  
 (DIN EN 61730)

Sharp PV-1001



## Anhang 4: Datenblatt Solarfrontier

Power to People



## Produktübersicht

SF145-S  
SF150-S  
SF155-S  
SF160-S  
SF165-S  
SF170-S



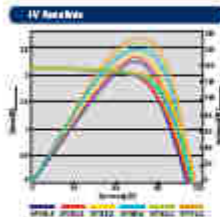
**CIS-Module der neuesten Generation**

Die Module SF145-170 von Solar Frontier bieten den höchsten Wirkungsgrad aller erhältlichen Dünnschichtmodule aus Serienproduktion - mit bis zu 13,8 %. Alle Module von Solar Frontier sind blei- und cadmiumfrei und erfüllen die Vorgaben der RoHS-Richtlinien. Weniger Rohstoffverbrauch und Produktionsschritte führen bei der Herstellung zu einer marktführenden Energierücklaufzeit, die unter einem Jahr liegt. Die SF145-170 Module werden in kartonfreien Verpackungen geliefert. Zum Schutz der Module werden wiederverwendbare und recycelbare Edilstücke eingesetzt.

**Produkt- und Technologie-Highlights**

- Höchster Wirkungsgrad von Dünnschichtmodulen aus Serienproduktion, bis zu 13,8 %
- Weltrekord-Wirkungsgrad von 20,9 % im Labor
- "Light Soaking Effect" steigert die Leistung nach der Installation
- Gutes Schwachlichtverhalten
- Hohe Schattentoleranz
- Hohe Temperaturstabilität
- Eigene Forschung und Entwicklung seit 1978
- Blei- und cadmiumfrei

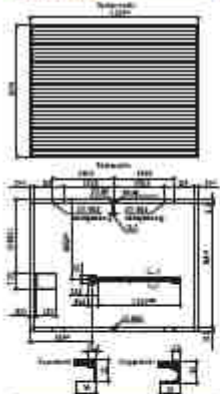
[www.solar-frontier.eu](http://www.solar-frontier.eu)



**Zertifizierung ROCE Geräte**



**Modulmaße**



**Kontakt**

Solar Frontier Europe  
Güterstraße 14 (München, Deutschland)  
Tel +49 89 30 80 14 12 1

Solar Frontier Italien  
Via, Italia | Tel +39 03 03 21 2 40

Solar Frontier B.B. (Hauptstadt)  
Tokyo, Japan | Tel +81 3 3331 3436

Solar Frontier Naher Osten  
Al-Hindia, Katar | Tel +974 4411 4111

Solar Frontier Nord- und Südamerika  
San Jose, CA, USA | Tel +1 408 814 4112

© Solar Frontier Europe GmbH

**Spezifikationen Solar ITC**

	ST140-D	ST150-D	ST160-D	ST180-D	ST190-D	ST170-D
Nennleistung	140 W	150 W	160 W	180 W	190 W	170 W
Modulwirkungsgrad	17,4 %	17,7 %	17,6 %	17,9 %	17,8 %	17,6 %
Leistungsformel	+1W/0W					
Leistungsspannung	Voc: 187,0V	190,0V	193,0V	197,0V	199,0V	192,0V
Kurzschlussstrom	Isc: 2,30 A	2,30 A	2,30 A	2,38 A	2,39 A	2,33 A
Nennspannung	Vmp: 81,0V	81,0V	81,0V	84,0V	85,0V	80,0V
Nennstrom	Imp: 1,80 A	1,91 A	1,98 A	1,91 A	1,99 A	1,81 A

Standardbedingungen (STC, Standard Test Conditions) / 1000 W/m² Strahlungsstärke, 25 °C Modultemperatur, Luftfeuchtigkeit AM 1.5, Ein- und Vorklammern jeweils am Teststrahl von 0,15 ° bis zum nächsten Wert unter STC. Aufgrund des geringen Lichtleistungs-Effizienzwertes des Moduls nach einer bestimmten Zeit unter Standardtestbedingungen können die Werte der Nennleistung bei Verwendung eines AM-1.5-Strahlers und der Solar Frontier Standardtestbedingungen um +10 % zu 4 % abweichen.

**Spezifikationen Solar ROCT**

	ST140-E	ST150-E	ST160-E	ST180-E	ST190-E	ST170-E
Nennleistung	140 W	150 W	160 W	180 W	190 W	170 W
Leistungsspannung	Voc: 187,0V	190,0V	193,0V	197,0V	199,0V	192,0V
Kurzschlussstrom	Isc: 2,30 A	2,30 A	2,30 A	2,38 A	2,39 A	2,33 A
Nennspannung	Vmp: 74,0V	74,0V	74,0V	76,0V	76,0V	74,0V
Nennstrom	Imp: 1,40 A	1,40 A	1,40 A	1,31 A	1,33 A	1,31 A

Nennleistung, Zellherstellung (ROCT, Normal Operating Cell Temperature), Betriebstemperatur der Module bei 800 W/m², 25 °C Lufttemperatur, 1 m/s Windgeschwindigkeit und Leuchtdichte.

**Leistungsgrad je Temperatur**

Der Leistungsgrad reduziert sich um durchschnittlich 20 %, wenn die Strahlungsstärke bei 25 °C von 1000 W/m² auf 200 W/m² sinkt. Die Standardabweichung für die Module des Moduls beträgt 1,5 %.

**Thermische Koeffizienten**

ROCT		< 0 °C
Temperaturkoeffizient von Isc	α	+0,11 %/K
Temperaturkoeffizient von Vmp	β	-0,30 %/K
Temperaturkoeffizient von Pmax	γ	-0,21 %/K

**Mechanische Eigenschaften**

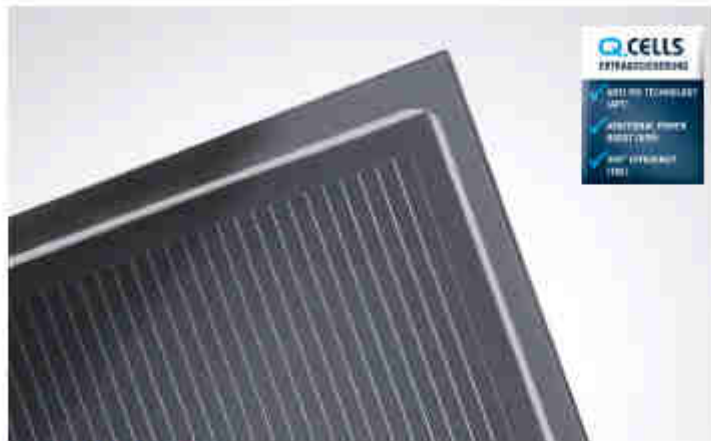
Maße (L x B x H)	1327 x 677 x 33 mm
Gewicht	20 kg
Anwendungsklasse (IEC 61738)	Klasse A
Stoßtestklasse (IEC 61738)	Klasse C
Sicherheitstestklasse (IEC 61738)	B
Maximale Schneelast und Windlast	1,400 Pa
Zellgröße	125 x 125 mm (20 x 20 mm)
Frontabdeckung	3,2 mm dickes hochtransparentes, ungespanntes Glas
Leuchtdichtung	EVA
Rückabdeckung	Wasserdichte Kunststoffplatte (optional) und optional
Einbauelemente	Anschlussklemmen, Anschlussklemmen, Anschlussklemmen
Kabelabdeckung	Optional
Anschlussklemmen	Schraubklemmen (PV) mit Abdeckung
Kabeltyp	3 mm²
Anschlusskabel	Leitungswiderstand: 2,2 mV/m / IEC 61738 (abhängig von)
Kabeltyp	symmetrisch 1,20 mm
Anschlussklemmen	MC4 kompatibel
Verpackung	11 Module/Palette, 36 Paletten/W-Container (99 Module)

www.solar-frontier.com  
www.solar-frontier.com

Die Solar Frontier Solar Panels sind für den Einsatz in Europa, Asien und Amerika geeignet. Die Solar Frontier Solar Panels sind für den Einsatz in Europa, Asien und Amerika geeignet.

© Solar Frontier Europe GmbH

Anhang 4: Datenblatt Q-Cells



CIGS-SOLARMODUL

# Q.SMART UF 75-95

Generation 1.3 - Der neue Maßstab für Effizienz und Ästhetik

Die neue Q-Cells Solarzelle der Q.SMART Serie wird mit bis zu 13,4% die effizienteste Monokristall-Module im Markt. Das hervorragende Schwerkstoffverhalten und die Maximierung durch Passivierung und Light Soaking stellen auch die Ideal für herausragenden Installationsbedingungen. Q.SMART UF ist unsere Smarte für Indoor-Anlagen, private Hausdächer und Fassaden.

**Die neue Q-Cells Generation**

- Weltweite Rekordwerte mit bis zu 13,4% Mehrere Erträge pro installierter Fläche.
- Anti PID-Technologie (APD): Keine Leistungsabfälle durch potentialinduzierte Degradation.
- Hervorragendes Licht- und Schwerkstoffverhalten für 300% Effizienz (TDC). Hohe Leistungen auch bei herausfordernden Dachanordnungen - Nord, West, Süd, Ost.

**Die bewährten Q-Cells Vorteile**

- Additional Power Story (APS) mit bis zu 15% Mehrleistung durch Passivierung (4.8 W / 0 W) und Light Soaking Effect: Mehr Leistung für Ihr Geld.
- Referenzliches Design: Ideal für dachparallele Installationen auf Flachdächern.
- Vollkommen schwarze Oberfläche: Herausragende Optik.
- 25 Jahre lineare Leistungsgarantie, 30 Jahre Produktgarantie\*, auch für Anlagen <30 kWp. Sichere Investition.



**Die ideale Lösung für:**

- Private / Gewerbe**
- Industrie / Gewerbe**
- Stromerzeugung**
- Stromerzeugung**
- Stromerzeugung**

\* Die Leistungs- und die Effizienzgarantie sind jeweils auf die installierte Leistung (kWp) bzw. die installierte Fläche (m²) bezogen. Die Leistungs- und die Effizienzgarantie sind jeweils auf die installierte Leistung (kWp) bzw. die installierte Fläche (m²) bezogen. Die Leistungs- und die Effizienzgarantie sind jeweils auf die installierte Leistung (kWp) bzw. die installierte Fläche (m²) bezogen.



WICHTIGE SPEZIFIKATIONEN		TECHNISCHE ZEICHNUNG	
Größe	1180 (mm) x 700 (mm)		
Gewicht	6,00 kg (ca.)		
Stärke	3,2 mm (in Antriebsseite, 3,0 mm)		
Verpackung	8 pro verpackung (Paletten 25 Stk)		
Montageart	3 mit Profile		
Spanne	ohne Profile		
Lebensdauer	25 Jahre (10 Jahre, 90 % D <sub>0</sub> )		
Bestandteile	Schicht P 42, mit 1. Schutzfolie (3 A) 30 x 34 x 1,8 mm		
Material	Standard 2,2 mm, bei 255 oder 2,0 mm, bei 1180 (mm) x 700 (mm)		
Hersteller	Q CELLS		

ELEKTRISCHE EIGENSCHAFTEN						
Anwendung: Bei Standard-Testbedingungen (STC, 1000 W/m <sup>2</sup> , 25 °C, AM 1,5) spezifiziert						
Leistung	$P_{max}$	(W)	70	80	90	95
Spannung (V <sub>OC</sub> )	$V_{OC}$	(V)	33,0	36,0	39,0	40,0
Strom (I <sub>SC</sub> )	$I_{SC}$	(A)	2,04	2,20	2,37	2,47
Leistungsfaktor	$\gamma_p$	(%)	74,9	78,2	79,2	79,0
Spannung bei max. Leistung	$V_{MP}$	(V)	24,0	26,4	28,0	28,0
Strom bei max. Leistung	$I_{MP}$	(A)	2,9	3,07	3,13	3,13
Anwendung: Bei Standard-Testbedingungen (STC, 1000 W/m <sup>2</sup> , 25 °C, AM 1,5) spezifiziert						
Leistung	$P_{max}$	(W)	70	80	90	95
Spannung (V <sub>OC</sub> )	$V_{OC}$	(V)	33,2	35,9	37,4	37,7
Strom (I <sub>SC</sub> )	$I_{SC}$	(A)	2,24	2,41	2,59	2,64
Leistungsfaktor	$\gamma_p$	(%)	87,7	87,6	88,4	88,6
Spannung bei max. Leistung	$V_{MP}$	(V)	23,0	23,9	24,8	24,9
Strom bei max. Leistung	$I_{MP}$	(A)	3,0	3,17	3,25	3,25
*Maximaler $P_{max}$ mit 7% Toleranz, $V_{OC}$ mit 0,5%, $I_{SC}$ mit 1%. Die V <sub>OC</sub> -Werte sind die Spannung bei einer einseitigen Verbindung (V <sub>OC</sub> bei 25 °C) und nicht die Spannung bei einer einseitigen Verbindung (V <sub>OC</sub> bei 25 °C). Die Werte für die Temperaturkoeffizienten $\alpha_{P_{max}}$ , $\alpha_{V_{OC}}$ und $\alpha_{I_{SC}}$ sind die Temperaturkoeffizienten bei Standard-Testbedingungen (STC, 1000 W/m <sup>2</sup> , 25 °C, AM 1,5) spezifiziert.						
Temperaturkoeffizient $\alpha_{P_{max}}$			Temperaturkoeffizient $\alpha_{V_{OC}}$			
X	(%/K)	-0,35 ± 0,04	X	(%/K)	-0,29 ± 0,04	
Y	(%/K)	-0,38 ± 0,04				

EIGENSCHAFTEN FÜR SYSTEMANWENDUNG				
Maximale Spannung $V_{max}$	(V)	1000 (1000 V/1000 V/1000 V)	Lebensdauer	25 Jahre
Maximale Stromstärke $I_{max}$	(A)	5,0	Lebensdauer	25 Jahre
Max. Leistung	(W)	1000	Zusätzliche Informationen zu Garantie	-40 °C bis +85 °C

ZUSÄTZLICHE INFORMATIONEN		ZERTIFIKATIONEN	
Bei Standard-Testbedingungen (STC, 1000 W/m <sup>2</sup> , 25 °C, AM 1,5) spezifiziert. Die Parameterwerte sind nach IEC 61215 für Standard-Testbedingungen spezifiziert.			
Die Angaben sind ohne Gewähr. © 2014 Q CELLS.			



Anhang 5: Datenblatt BHKW BMF Haase Energietechnik GmbH



**BMF HAASE Energietechnik GmbH**

Innovativ und ganzheitlich

**Blockheizkraftwerk (BHKW)**

**Die Vorteile**

- Bewährte Container-Bauweise
- Stationäre, modulare Einbindung
- Kurzfristige Inbetriebnahme
- Optimale Betriebsergebnisse
- Komplett-Anlagenpakete



**Container mit Übergabe  
Wir liefern den  
Betrieb und Service!**

**Optionales Dienstleistungspaket**

- Kompetenter Service & Support
- Professionelle Betriebsführung
- Qualifizierte Personalschulungen
- 24-Stunden-Rufbereitschaft

**Stärke Leistungsparameter**

Typ	Leistungen			Wirkungsgrade			Abmessungen l x B x H (m) Container
	elektr. kW	therm. kW	gemisch. kW	elektr. %	therm. %	ges. %	
HET-GBC 400	400	336	636	41,7	41,6	83,2	9,8 x 3,0 x 2,2
HET-GBC 600	600	502	1.102	41,8	41,7	83,5	12 x 3,0 x 2,8
HET-GBC 800	800	708	1.516	41,8	41,7	83,5	12 x 3,0 x 2,8
HET-GBC 1.000	1.000	1.188	2.188	42,8	41,6	84,8	12 x 3,0 x 2,8
HET-GBC 1.500	1.500	1.488	2.988	41,7	39,6	81,3	15,1 x 3,7 x 3,0
HET-GBC 2.000	2.000	1.920	3.920	42,9	39,3	82,2	17,1 x 4,7 x 3,0

! Alle Leistungsdaten gelten gemäß DIN ISO 5049. Anpassungen bei abweichenden Außentemperaturen und Aufstellorten.  
! Thermische Leistung beinhaltet Mehrerlöswärme. Bitte beachten: Abgaswärmeverluste abhängig auf 180°C Rücklauf mit 40-50% auf die Wärmelieferung. Thermische Leistung gilt bei  $\eta_{\text{comb}} = 1,0$ .  
! Leistungsangaben für Biogas (50% CH<sub>4</sub>, 50% CO<sub>2</sub>) und Gärsubstrat (50% CH<sub>4</sub>, 50% CO<sub>2</sub>, Rest H<sub>2</sub>).  
! Schallleistungspegel des Motorschalters (nach DIN EN 12000) ist eine Geräuschkenngröße. Für alle Wertungen gilt ein Grenzwert für Stickoxide NO<sub>x</sub> von 500 mg/m<sup>3</sup> gemäß TA-Luft.

! Klare BHKW auf Anfrage

**Kontakt**

BMF HAASE Energietechnik GmbH  
Oderstraße 76, 24529 Neumünster  
Fon: +49 4321 878-0  
E-Mail: bhkw@bmf-haase.de  
Internet: www.bmf-haase.de

**Zertifizierungen**

- DIN EN ISO 9001:2008 (Qualität)
- DIN EN ISO 14001:2004 (Umweltschutz)
- BS OHSAS 18001:2007 (Arbeits-/Gesundheitschutz)
- Fachbetrieb nach § 19 IWHG
- Schweißfachbetrieb nach DIN EN ISO 3834-2

E 103 04/09/14/0

## Anhang 6: Datenblatt BHKW Viessmann „Vitobloc 200“ (gekürzt)

**VISSMANN****VITOBLOC 200**

Blockheizkraftwerk - Wärme und Strom aus Erdgas  
Hocheffizient durch Kraft-Wärme-Kopplung  
Gesamtwirkungsgrad 81,5 %  
Primärenergieersparnis 29,5 %

## Technische Beschreibung

**VITOBLOC 200 Typ EM-530/660**

Blockheizkraftwerk für Erdgasbetrieb,  
entsprechend den Anforderungen der EU-  
Gasgeräte-Richtlinie und EU-Maschinenrichtlinie.  
Elektrische Leistung 530 kW  
Thermische Leistung 660-38 kW  
Kraftstoffeinsatz 1.342 kW



**Technische Daten**

**4 Technische Daten**

Alle nachfolgenden Planungs- und Betriebsdaten beziehen sich jeweils auf ein BHKW-Modul

Ausführliche Hinweise zur Planung und Ausführung finden Sie in der „Fachliche Erga-nz-BHKW-Planungsanleitung“

**4.1 Betriebsparameter BHKW-Modul**

Betriebsparameter BHKW-Modul		VITOLOC 200 EM-230/640			
Dauerleistung % im Netzparallelbetrieb		50% Last	75% Last	100% Last	
Elektrische Leistung <sup>1)</sup>	nicht belastbar	kW	265	306	530
Wärmeleistung Hochtemperatur <sup>2)</sup>	Toleranz 7 %	kW	463	530	660
Wärmeleistung Niedertemperatur <sup>2)</sup>	Toleranz 7 %	kW	15	22	38
Kraftstoffverbrauch	Toleranz 5 %	kW	804	1.000	1.342
Scheinleistung nach ASPW FVS08 (elektrische Leistung / thermische Leistung)					0,80
Primärenergiefaktor $\xi_p$ gemäß DIN V 18550-3					0,011
Hocheffizienzschlüssel gemäß Richtlinie 2012/27/EU (Förderung der Warm- Kett- und Kesselanlagen (> 1 MW <sub>th</sub> )) mit einer Primarenergieeffizienz PEE		%			28,48
Nutzungsgrad nach EnergieStV <sup>3)</sup>					88,9
<b>Wirkungsgrad im Netzparallelbetrieb:</b>					
Elektrischer Wirkungsgrad	%	30,0	36,5	38,5	
Wärmewirkungsgrad Hochtemperatur	%	57,6	54,1	49,2	
Wärmewirkungsgrad Niedertemperatur	%	1,9	2,3	2,8	
Gesamtwirkungsgrad	%	92,5	92,6	91,5	
<b>Energie-Erzeugung</b>					
Extraktionsenergie (Drehmoment)	Spannung	V	400		
	Strom	A	760		
	Frequenz	Hz	50		
Elektrische Leistung bei	cos $\phi$ = + 1 and U <sub>n</sub>	kW	530		
	cos $\phi$ = + 0,9 and U <sub>n</sub>	kW	530		
	cos $\phi$ = + 0,8 and U <sub>n</sub>	kW	455		
	cos $\phi$ = + 1 and U <sub>n</sub> - 10%	kW	530		
	cos $\phi$ = + 0,9 and U <sub>n</sub> - 10%	kW	530		
	cos $\phi$ = + 0,8 and U <sub>n</sub> - 10%	kW	395		
Elektrischer Eigenbedarf <sup>4)</sup>	kW	6			
<b>Betriebsstoffe und Formengen</b>					
Bestandteile von Kraftstoff, Schmier- Kohlwasser, Heizungswasser: siehe aktuelle Betriebsanleitung					
Füllmenge (Empfehlung)	Schmier- Füllstoff-Ersatzfullung	l	100		
	Kohlwasser	l	200		
	Heizungswasser	l	270		
		l	30		
Gas-Anschlussesdruck <sup>5)</sup>		mbar	20 - 50		
<b>Wärmeverluste (Nennwert)</b>					
Rücklauftemperatur vor Modul	m <sup>3</sup> /h <sub>max</sub>	°C	65,75		
Standard-Temperaturdifferenz	Rücklauf/Wirklauf	K	30		
Heizwasser-Volumenstrom	Standard	m <sup>3</sup> /h	28,5		
Höchstzulässiger Betriebsdruck Hochtemperatur	Standard	bar	10		
Höchstzulässiger Betriebsdruck Niedertemperatur	Standard	bar	2		
Druckverlust bei Standarddurchfluss im Modul NT	Standard	bar	0,3		

BHKW 200

Anhang 7: CO<sub>2</sub>-Emissionsrechte Stand 21.2.16



21.2.2016

CO2 Emissionsrechte | finanzen.net

CO2 Emissionsrechte in Euro - Historisch

Datum	Schlusskurs	Eröffnung	Tageshoch	Tagesstief
18.02.2016	5,25	-	-	-
17.02.2016	5,09	-	-	-
16.02.2016	4,89	-	-	-
15.02.2016	4,80	-	-	-
12.02.2016	5,03	-	-	-
11.02.2016	4,73	-	-	-
10.02.2016	4,90	-	-	-
09.02.2016	4,94	-	-	-
08.02.2016	5,24	-	-	-
04.02.2016	5,60	-	-	-

[mehr historische Kurse](#)

**Anhang 8: Lastprofilaten der Firma Camfil (Grundlage der Abbildungen 12-17) (gekürzt)**

9. Juli 2014 (Mittwoch)		17. Dezember (Mittwoch)		14. Juni (Samstag)		22. November (Samstag)		29. Juni (Sonntag)		7. Dezember (Sonntag)	
00:00	18,55	00:00	19,98	00:00	18,55	00:00	19,98	00:00	17,11	00:00	19,98
00:15	17,79	00:15	19,90	00:15	17,79	00:15	19,45	00:15	16,89	00:15	19,38
00:30	16,96	00:30	19,90	00:30	16,96	00:30	19,00	00:30	16,44	00:30	18,85
00:45	16,21	00:45	19,90	00:45	16,21	00:45	18,62	00:45	16,06	00:45	18,55
01:00	15,68	01:00	19,98	01:00	15,68	01:00	18,55	01:00	15,68	01:00	18,55
01:15	15,46	01:15	19,98	01:15	15,46	01:15	18,85	01:15	15,53	01:15	18,85
01:30	15,46	01:30	19,98	01:30	15,46	01:30	19,30	01:30	15,53	01:30	19,30
01:45	15,53	01:45	19,98	01:45	15,61	01:45	19,75	01:45	15,61	01:45	19,75
02:00	15,68	02:00	19,98	02:00	15,68	02:00	19,98	02:00	15,68	02:00	19,98
02:15	15,83	02:15	20,05	02:15	15,76	02:15	19,83	02:15	15,76	02:15	19,83
02:30	15,83	02:30	20,05	02:30	15,76	02:30	19,45	02:30	15,76	02:30	19,38
02:45	15,83	02:45	20,05	02:45	15,76	02:45	18,92	02:45	15,68	02:45	18,92
03:00	15,68	03:00	19,98	03:00	15,68	03:00	18,55	03:00	15,68	03:00	18,55
03:15	15,53	03:15	19,75	03:15	15,68	03:15	18,40	03:15	15,68	03:15	18,40
03:30	15,38	03:30	19,45	03:30	15,68	03:30	18,47	03:30	15,68	03:30	18,47
03:45	15,46	03:45	19,07	03:45	15,68	03:45	18,55	03:45	15,76	03:45	18,55
04:00	15,68	04:00	18,55	04:00	15,68	04:00	18,55	04:00	15,68	04:00	18,55
04:15	16,28	04:15	18,02	04:15	15,61	04:15	18,47	04:15	15,61	04:15	18,47
04:30	16,89	04:30	17,79	04:30	15,61	04:30	18,32	04:30	15,61	04:30	18,32
04:45	17,26	04:45	18,32	04:45	15,61	04:45	18,32	04:45	15,61	04:45	18,32
05:00	17,11	05:00	19,98	05:00	15,68	05:00	18,55	05:00	15,68	05:00	18,55
05:15	16,28	05:15	20,36	05:15	15,91	05:15	19,15	05:15	15,98	05:15	19,15
05:30	15,61	05:30	20,66	05:30	16,28	05:30	19,98	05:30	16,36	05:30	19,98
05:45	15,98	05:45	21,03	05:45	16,66	05:45	20,81	05:45	16,74	05:45	20,81
06:00	18,55	06:00	21,41	06:00	17,11	06:00	21,41	06:00	17,11	06:00	21,41
06:15	24,05	06:15	23,75	06:15	17,57	06:15	21,64	06:15	17,42	06:15	21,71
06:30	33,10	06:30	24,50	06:30	17,94	06:30	21,64	06:30	17,57	06:30	21,71
06:45	45,84	06:45	25,61	06:45	18,24	06:45	21,49	06:45	17,49	06:45	21,56
07:00	62,80	07:00	27,14	07:00	18,55	07:00	21,41	07:00	17,11	07:00	21,41
07:15	83,99	07:15	68,08	07:15	18,77	07:15	21,49	07:15	16,51	07:15	21,26
07:30	100,00	07:30	100,00	07:30	18,00	07:30	21,00	07:30	15,00	07:30	21,00
18:30	42,97	18:30	71,40	18:30	17,79	18:30	25,78	18:30	17,79	18:30	26,01
18:45	38,90	18:45	63,76	18:45	18,32	18:45	25,71	18:45	17,34	18:45	26,76
19:00	35,66	19:00	57,07	19:00	18,55	19:00	25,71	19:00	17,11	19:00	27,14
19:15	32,64	19:15	50,44	19:15	18,47	19:15	25,71	19:15	17,34	19:15	26,76
19:30	29,93	19:30	44,10	19:30	18,09	19:30	25,86	19:30	17,87	19:30	25,86
19:45	27,52	19:45	38,53	19:45	17,57	19:45	25,86	19:45	18,32	19:45	24,95
20:00	25,71	20:00	34,23	20:00	17,11	20:00	25,71	20:00	18,55	20:00	24,28
20:15	24,50	20:15	31,51	20:15	16,81	20:15	25,26	20:15	18,32	20:15	24,05
20:30	23,82	20:30	30,01	20:30	16,74	20:30	24,58	20:30	17,87	20:30	24,20
20:45	23,37	20:45	29,18	20:45	16,81	20:45	23,75	20:45	17,34	20:45	24,35
21:00	22,84	21:00	28,57	21:00	17,11	21:00	22,84	21:00	17,11	21:00	24,28
21:15	22,09	21:15	27,67	21:15	17,57	21:15	21,86	21:15	17,34	21:15	23,75
21:30	21,26	21:30	26,54	21:30	18,02	21:30	20,96	21:30	17,79	21:30	22,92
21:45	20,51	21:45	25,33	21:45	18,40	21:45	20,28	21:45	18,32	21:45	22,01
22:00	19,98	22:00	24,28	22:00	18,55	22:00	19,98	22:00	18,55	22:00	21,41
22:15	19,75	22:15	23,30	22:15	18,32	22:15	20,13	22:15	18,40	22:15	21,18
22:30	19,75	22:30	22,54	22:30	17,94	22:30	20,58	22:30	18,02	22:30	21,26
22:45	19,90	22:45	21,94	22:45	17,49	22:45	21,11	22:45	17,49	22:45	21,41
23:00	19,98	23:00	21,41	23:00	17,11	23:00	21,41	23:00	17,11	23:00	21,41
23:15	19,90	23:15	20,96	23:15	17,04	23:15	21,41	23:15	17,04	23:15	21,18
23:30	19,60	23:30	20,51	23:30	17,11	23:30	21,11	23:30	17,04	23:30	20,81
23:45	19,15	23:45	20,20	23:45	17,19	23:45	20,58	23:45	17,19	23:45	20,36
<b>Summe</b>	<b>9423,48</b>	<b>Summe</b>	<b>13142,01</b>	<b>Summe</b>	<b>1971,94</b>	<b>Summe</b>	<b>2483,54</b>	<b>Summe</b>	<b>1603,95</b>	<b>Summe</b>	<b>2117,52</b>

Hinweis:

Die Original Daten aller Standardlastprofile des BDEW befinden sich ausschließlich auf CD

## Anhang 9: Einstrahlungsdaten für den Monat Juni (gekürzt)

**Durchschnittliche tägliche Einstrahlung****PVGIS Schätzung von durchschnittlichen Tagesprofilen**

Resultaten für Juni

Benutzte Sonnenstrahlungsdatenbank: PVGIS-CMSAF

Neigung der Ebene: 25 Grad

Orientierung (azimuth) der Ebene: 0 Grad

Zeit	$G$	$G_d$	$G_e$	$DNI$	$DNI_e$	$A$	$A_d$	$A_e$
03:52	27	27	17	0	0	63	23	115
04:07	39	39	25	0	0	102	41	185
04:22	51	51	33	0	0	150	64	271
04:37	63	62	40	0	0	193	81	351
04:52	75	74	48	0	0	231	95	422
05:07	81	79	46	152	364	267	108	488
05:22	102	91	76	172	412	300	120	548
05:37	125	103	110	190	455	331	132	602
05:52	149	114	149	206	494	359	143	650
06:07	175	126	191	221	530	385	153	694
06:22	201	136	236	235	563	408	162	734
06:37	228	147	283	247	592	429	171	769
06:52	254	156	332	258	619	449	179	801
07:07	281	165	381	269	644	467	186	829
07:22	307	174	431	278	667	483	193	854
07:37	333	181	480	287	687	497	198	876
07:52	358	188	529	295	706	510	204	896
08:07	383	195	578	302	723	521	208	913
08:22	406	200	624	308	739	531	212	929

Hinweis: Die kompletten Daten befinden sich ausschließlich auf CD unter „Anhang 8\_Lastgangdaten\_Sommer\_Winter\_auf Camfil angepasst“ unter den Reitern der PV-Anlagen

## Anhang 9: Einstrahlungsdaten für den Monat Dezember (gekürzt)

**Durchschnittliche tägliche Einstrahlung****PVGIS Schätzung von durchschnittlichen Tagesprofilen**

Resultaten für: Dezember

Benutzte Sonnenstrahlungsdatenbank: PVGIS-CMSAF

Neigung der Ebene: 25 Grad

Orientierung (azimuth) der Ebene: 0 Grad

Zeit	G	G <sub>d</sub>	G <sub>e</sub>	DNI	DNI <sub>e</sub>	A	A <sub>d</sub>	A <sub>e</sub>
08:37	16	16	18	0	0	8	7	8
08:52	40	24	108	44	208	65	20	261
09:07	53	30	149	56	263	85	27	341
09:22	66	37	199	66	315	103	34	416
09:37	78	42	237	76	361	116	37	470
09:52	88	46	274	84	399	128	41	516
10:07	98	50	307	91	432	138	44	555
10:22	106	53	337	97	459	147	46	587
10:37	114	56	363	101	481	154	48	613
10:52	120	58	385	105	498	160	50	634
11:07	125	60	403	108	512	164	51	650
11:22	128	61	416	110	522	167	52	662
11:37	131	62	425	112	529	169	53	670
11:52	132	62	430	112	532	170	54	674
12:07	132	62	430	112	532	170	54	674
12:22	131	62	425	112	529	169	53	670
12:37	128	61	416	110	522	167	52	662
12:52	125	60	403	108	512	164	51	650
13:07	120	58	385	105	498	160	50	634

Hinweis: Die kompletten Daten befinden sich ausschließlich auf CD unter „Anhang 8\_Lastgangdaten\_Sommer\_Winter\_auf Camfil angepasst“ unter den Reitern der PV-Anlagen

## Anhang 10: Excel-Datei zur Auswertung des Verbrauchs der Beleuchtung

installierte kW	Beleuchtung	
	Betriebsstunden pro Jahr	kWh pro Jahr
1,00	4519	4519
2,70	2139	5775,3
0,13	1500	195
1,50	2139	3208,5
3,00	4519	13557
12,65	4519	57165,35
1,50	2139	3208,5
4,10	4279	17543,9
4,00	2179	8716
3,30	4519	14912,7
4,30	4519	19431,7
1,30	4519	5874,7
3,20	1500	4800
3,25	2139	6951,75
0,60	2139	1283,4
1,90	2139	4064,1
7,50	6292	47190
1,00	6240	6240
0,66	2179	1438,14
1,20	4279	5134,8
4,30	3000	12900
8,90	3208	28551,2
3,90	3208	12511,2
30,00	4519	135570
1,65	4279	7060,35
10,90	4519	49257,1
1,27	2139	2716,53
0,64	2139	1368,96
0,60	4279	2567,4
4,00	2139	8556
15,92	3208	51071,36
4,10	4380	17958
<b>144,97</b>	<b>109.413,00</b>	<b>561.297,94</b>

## Literaturverzeichnis

BDEW. (2014). *Erneuerbare Energien zum ersten Mal wichtigster Energieträger im Deutschen Strommix*. Online.

BMUB. (2015). *Entwicklung der Stromerzeugung*. Abgerufen am 12. Dezember 2015 von Umweltbundesamt.de: <https://www.umweltbundesamt.de/daten/energiebereitstellung-verbrauch/stromerzeugung>

BMWi. (2015). *Erneuerbare Energien*. Berlin.

BUND-Hintergrundpapier: Solarthermie-Wärme von der Sonne. (2012). *Solarthermie-Wärme von der Sonne*. BUND.

Camfil. (27. Januar 2016). Von [www.camfil.de](http://www.camfil.de) abgerufen

Design, P. (10. Februar 2016). *Paradiso Design*. Von [www.paradiso-design.net](http://www.paradiso-design.net): <http://www.paradiso-design.net> abgerufen

DWD. (2016). *www.dwd.de*. Abgerufen am 3. Februar 2016 von Jahrgang der Globalstrahlung 2016 im Vergleich zum langjährigen Mittel 1981 - 2010: [http://www.dwd.de/DE/leistungen/solarenergie/download/aktueller\\_jahresgang\\_einstrahlung.pdf?view=naPublication&nn=16102](http://www.dwd.de/DE/leistungen/solarenergie/download/aktueller_jahresgang_einstrahlung.pdf?view=naPublication&nn=16102)

Endbericht zum Projekt I C 4 - 42/13. (2013). *Potenzial- und Kosten-Nutzen-Analyse zu den Einsatzmöglichkeiten von Kraft-Wärme-Kopplung (Umsetzung der EU-Energieeffizienzrichtlinie) sowie Evaluierung des KWKG im Jahr 2014*. Berlin: Umwelt Bundesamt.

EWE Netz, G. (25. Februar 2016). *EWE NETZ GmbH - Lastprofile*. Von [www.ewenetz.de](http://www.ewenetz.de): <https://www.ewenetz.de/strom/1988.php> abgerufen

finanzen.net. (21. Februar 2016). *finanzen.net*. Von [www.finanzen.net](http://www.finanzen.net): <http://www.finanzen.net/rohstoffe/co2emissionsrechte> abgerufen

Frauenhofer ISE. (2013). *Studie: Stromgestehungskosten erneuerbare Energien*. Frauenhofer-Institut für solare Energiesysteme ISE.

Fritsche, U. R. (2007). *Treibhausgasemissionen und Vermeidungskosten der nuklearen, fossilen und erneuerbaren Strombereitstellung*. Öko-Institut, Darmstadt.

Henning, S. (2015). *Aufstellen eines Konzeptes zur Erhöhung des elektrischen Autarkiegrades für kleine Kommunen unter Maximierung erneuerbarer Energien*. Bachelorarbeit, HAW, Informations- und Elektrotechnik, Hamburg.

Immowelt. (21. Februar 2016). *Immowelt*. Von [www.immowelt.de](http://www.immowelt.de): <http://www.immowelt.de/immobilienpreise/detail.aspx?geoid=10812&etype=3&esr=1&?geoid=108> abgerufen

Kaltschmitt, M., Streicher, W., & Wiese, A. (2014). *Erneuerbare Energien*. Springer.

Mertens, K. (2015). *Photovoltaik - Lehrbuch zu Grundlagen, Technologien und Praxis*. München: Hanser.

Mertens, K. (2015). *Photovoltaik - Lehrbuch zu Grundlagen, Technologie und Praxis*. Steinfurt: Hanser.

Paper: Climate Change 14/2013. (2013). *Modellierung einer vollständig auf erneuerbaren Energien basierenden Stromerzeugung im Jahr 2050 in autarken, dezentralen Strukturen*. Climate Change. Umwelt Bundesamt.

Paper: Climate Change 15/2013. (2013). *Emissionsbilanz erneuerbarer Energieträger*. Umwelt Bundesamt.

Paper: Climate Change 8/2008. (2008). *Bestimmung spezifischer Treibhausgas-Emissionfaktoren für Fernwärme*. Darmstadt: Umwelt Bundesamt.

Paper: Marktanalyse Wasserkraft. *Marktanalyse Wasserkraft*. Bundesministerium für Wirtschaft und Energie.

Photovoltaic Software. (20. Februar 2016). *Photovoltaic Software*. Von <http://photovoltaic-software.com/pvgis.php> abgerufen

Quaschnig, V. (2015). *Regenerative Energiesysteme*. München: Hanser.

Schreiner, I. I. (20. Februar 2016). *IBS Ingeniurbüro für haustechnik Schreiner*. Von [www.energieberatung.ibs-hlk.de](http://www.energieberatung.ibs-hlk.de): <http://energieberatung.ibs-hlk.de> abgerufen

Schweizerischer Wasserwirtschaftsverband. (2016). *Schweizerischer Wasserwirtschaftsverband*. Abgerufen am 23. Januar 2016 von [www.swv.ch](http://www.swv.ch): <http://www.swv.ch/Fachinformationen/Wasserkraft-Schweiz/Umweltauswirkungen>

*Stadt Reinfeld*. (23. Januar 2016). Von [www.stadt-reinfeld.de](http://www.stadt-reinfeld.de) abgerufen

Studie: Potenzial der Windenergienutzung an Land. *Potenzial der Windenergienutzung an Land*. Bundeverband WindEnergie.

Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft. (24. Juli 2002). Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit. *Erste Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionsschutzgesetz*. Köln.

Texte: Umweltbundesamt 22/2012. (2012). *Wasserkraftnutzung in Deutschland*. Aachen: Umweltbundesamt.

Verband, W.-W. (10. Februar 2016). *wwindea*. Von [www.wwindea.org](http://www.wwindea.org): <http://www.wwindea.org> abgerufen

Weigand, B., Köhler, J., & von Wolfersdorf, J. (2014). *Thermodynamik Kompakt*. Springer.

WSE-Energie. (kein Datum). *WSE-Energie*. Abgerufen am 1. Februar 2016 von [www.wse-energie.de](http://www.wse-energie.de): <http://www.wse-energie.de/index.php/faq-reader/was-ist-der-unterschied-zwischen-einem-slp-und-rlm-zaehler.html>