



FRAUNHOFER-INSTITUT FÜR PRODUKTIONS-  
TECHNIK UND AUTOMATISIERUNG



FRAUNHOFER-INSTITUT FÜR SOLARE  
ENERGIESYSTEME ISE

# STUDIE ZUR PLANUNG UND AUFBAU EINER X-GW FABRIK ZUR PRODUKTION ZUKUNFTSWEISENDER PHOTOVOLTAIK PRODUKTE IN DEUTSCHLAND



**Baden-Württemberg**

MINISTERIUM FÜR UMWELT, KLIMA UND ENERGIEWIRTSCHAFT

gefördert durch Mittel des Landes Baden-Württemberg unter Zuwendungs-Nr. L75 13002



# STUDIE ZUR PLANUNG UND AUFBAU EINER X-GW FABRIK ZUR PRODUKTION ZUKUNFTSWEISENDER PHOTOVOLTAIK PRODUKTE IN DEUTSCHLAND

Autoren:

Fraunhofer IPA

Martin Kasperczyk  
Roland Wertz  
Christian Fischmann  
Patrik Spalt

Fraunhofer ISE

Sebastian Nold  
Lorenz Friedrich  
Ömer Demiray  
Ralf Preu

Fraunhofer Institut für  
Produktionstechnik und  
Automatisierung  
Stuttgart

Fraunhofer Institut für Solare  
Energiesysteme  
Freiburg

Projektleitung: Roland Wertz (Fraunhofer IPA)

gefördert durch Mittel des Landes Baden-Württemberg  
unter Zuwendungs-Nr. L75 13002

Projektträgerschaft:



Stuttgart / Freiburg, 05. Dezember 2013

# Index

<b>Zusammenfassung.....</b>	<b>12</b>
<b>1 Einleitung .....</b>	<b>14</b>
1.1 <i>Motivation der Studie.....</i>	14
1.2 <i>Ziele der vorliegenden Studie .....</i>	15
1.3 <i>Abgrenzung .....</i>	15
1.4 <i>Vorgehensweise .....</i>	16
<b>2 Analyse des PV-Marktes.....</b>	<b>17</b>
2.1 <i>Entwicklung des PV-Marktes.....</i>	17
2.1.1 <i>Nachfrageentwicklung im PV-Markt.....</i>	17
2.1.2 <i>Angebotsentwicklung im PV-Markt .....</i>	27
2.1.3 <i>Marktentwicklungsszenarien Photovoltaik.....</i>	34
2.1.4 <i>Entwicklung der PV-Modul- und Systempreise.....</i>	39
2.1.5 <i>Entwicklung der PV-Stromgestehungskosten .....</i>	41
2.2 <i>Überblick derzeitig und zukünftig relevanter PV-Technologien .....</i>	45
2.3 <i>Deutsche Unternehmen entlang der PV-Wertschöpfungskette .....</i>	48
2.3.1 <i>PV-Modulhersteller.....</i>	48
2.3.2 <i>PV-Zulieferer Fertigungsequipment &amp; Produktionsmaterialien .....</i>	50
2.3.3 <i>Lieferanten BoS Komponenten.....</i>	55
2.3.4 <i>Projektentwickler und Installateure PV-Systeme .....</i>	56
2.3.5 <i>Forschungsinstitute.....</i>	57
<b>3 Technoökonomische Analyse einer X-GW Fabrik .....</b>	<b>58</b>
3.1 <i>Methodik.....</i>	58
3.1.1 <i>Kalkulation Referenzprozess auf Produktionsebene .....</i>	58
3.1.2 <i>Skalierung der benötigten Produktionsanlagen, Personal und Materialbedarf .....</i>	61
3.1.3 <i>Recherche von Materialpreisen für Mengen 1 – 5 GWp/a.....</i>	61
3.1.4 <i>Bestimmung der Skalierungsfaktoren anhand Literatur- und Marktrecherche.....</i>	62
3.1.5 <i>Modellierung von Unsicherheiten mittels Monte-Carlo Simulation.....</i>	65
3.1.6 <i>Berechnung der Levelized Cost of Electricity (LCOE) .....</i>	66
3.2 <i>Technische Auslegung einer X-GW Fabrik .....</i>	67
3.2.1 <i>Überblick über Auswahlkriterien der Produkte einer X-GW Fabrik.....</i>	67
3.2.2 <i>Beschreibung der Produkte .....</i>	69
3.2.3 <i>Produktionsprozess und Kenndaten der X-GW Fabrik.....</i>	72
3.3 <i>Skaleneffekte in der PV-Produktion.....</i>	74
3.3.1 <i>Skaleneffekte in der Beschaffung .....</i>	74
3.3.2 <i>Skaleneffekte in der Produktion .....</i>	80
<b>4 Wertschöpfungsnetzwerk der X-GW Fabrik.....</b>	<b>82</b>
4.1 <i>Systemgrenzen und Entstehung des Wertschöpfungsnetzwerks .....</i>	85
4.2 <i>Messgrößen eines integrierten Wertschöpfungsnetzwerks (Key-Performance-Indikator [KPI's]) .....</i>	86
4.3 <i>Anforderungen an ein Wertschöpfungsnetzwerk.....</i>	88
4.4 <i>SWOT-Analyse eines Wertschöpfungsnetzwerks .....</i>	93
4.4.1 <i>Definition .....</i>	93
4.4.2 <i>Chancen .....</i>	93

4.4.3	Chancen / Stärken.....	94
4.4.4	Chancen / Schwächen.....	96
4.4.5	Risiken.....	96
4.4.6	Risiken / Stärken.....	97
4.4.7	Risiken / Schwächen.....	98
4.4.8	Bemerkung.....	98
4.5	„Best practice“-Ansätze in der Industrie.....	98
4.5.1	Photovoltaik-Industrie.....	98
4.5.2	Andere Branchen.....	99
4.6	Zusammenfassende Bewertung und Ableitung strategischer Maßnahmen.....	100
<b>5</b>	<b>Auswirkung einer X-GW Fabrik auf die Volkswirtschaft.....</b>	<b>102</b>
5.1	Aktuelle Situation.....	102
5.1.1	Umsatz.....	102
5.1.2	Beschäftigung.....	103
5.1.3	Fiskale Effekte.....	104
5.2	Volkswirtschaftliche Effekte einer X-GW Fabrik in Baden-Württemberg.....	104
5.2.1	Quantitative Effekte.....	105
5.2.2	Qualitativ.....	113
5.2.3	Politisch.....	114
5.2.4	Umwelt.....	114
5.3	Einschätzung der Eignung Deutschlands bzw. Baden-Württembergs als Standort für eine X-GW-Fabrik....	116
5.3.1	Nähe zu Partnern der Lieferkette.....	118
5.3.2	Qualifikation von Arbeitskräften.....	119
5.3.3	Makroökonomisches Umfeld.....	120
<b>6</b>	<b>Umfrage.....</b>	<b>121</b>
6.1	Informationen zum Institut und zur Person.....	122
6.2	Photovoltaik- und Strom-Markt.....	124
6.3	Technologie und Produktion.....	128
6.4	Umfeld und Politik.....	131
6.5	Situation in Ihrem Unternehmen / Ihrer Branche.....	135
6.6	X-GW Fabrik.....	138

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 2-1: Entwicklung der jährlichen PV-Installationen in Deutschland sowie der Kosten von 10 kWp PV-Dachanlagen von 1990 – 2012 (Daten: BSW-Solar & BNA, Graph: PSE AG 2013).....	18
Abbildung 2-2: Entwicklung der jährlichen PV-Installationen in Europa von 2000 - 2012 in MWp/a (Graph: EPIA Global Market Outlook 2013-2017).....	19
Abbildung 2-3: Entwicklung der jährlichen globalen PV-Installationen von 2000 - 2012 in MWp/a (Graph: EPIA Global Market Outlook, 2013-2017).....	19
Abbildung 2-4: EPIA-Prognose der jährlichen globalen PV-Installationen von 2013 - 2017 nach Regionen in MWp/a (Graph: EPIA Global Market Outlook, 2013-2017).....	20
Abbildung 2-5: Photovoltaik-Nachfrage aus dem Asiatisch-Pazifischem Wirtschaftsraum von 2.HJ 2012 bis 2.HJ 2013 (NPD Solarbuzz 2013b).....	21
Abbildung 2-6: Stromerzeugung und CO <sub>2</sub> -Emmission von China, UAS, EU und Deutschland von 1985 bis 2011. (Quelle: BP, Statistical Review of World Energy, June 2012).....	22
Abbildung 2-7: Prognosebereich verschiedener publizierter Marktentwicklungsszenarien der jährlichen globalen PV-Nachfrage bis 2020 (Quellen: EPIA, Sarasin Bank, IHS Research, NPD Solarbuzz, GTM Research, Lux Research, Navigant Consulting, eigene Berechnungen).....	23
Abbildung 2-8: Prognose der jährlichen PV-Installationen und des Branchenumsatzes nach Regionen im Weltmarkt von 2011 – 2020, Quelle: Navigant Research (Gauntlett and Lawrence, Q3 2013).....	24
Abbildung 2-9: Vergleich der regionalen Verteilung der PV-Installationen im Zeitraum 2007-2011 zur erwarteten Verteilung im Zeitraum 2012-2016, Quelle: GTM Research (Jones, 2013).....	24
Abbildung 2-10: Extrapolation der Prognose verschiedener publizierter Marktentwicklungsszenarien der jährlichen globalen PV-Nachfrage bis 2030. Das EPIA „Policy-Driven“ Szenario wurde mit einem jährlichen Wachstum von 15 % extrapoliert, für alle sonstigen wurde ein jährliches Wachstum von 10 % bis 2030 angenommen. (Quellen: EPIA, Sarasin Bank, IHS Research, NPD Solarbuzz, GTM Research, Lux Research, Navigant Consulting).....	25
Abbildung 2-11: Marktprognose der kumulierten Kraftwerksleistung für PV 2012-2030 nach IEA (2010), EPIA (2013) und eigenen Berechnungen. „Studie Stromgestehungskosten Erneuerbare Energien (Update Nov. 2013)“, Fraunhofer ISE, 2013. ....	26
Abbildung 2-12: Anteile der Produktions-kapazität von PV-Modulen nach Regionen von 1997 – 2012 (Daten: Navigant Consulting, Graph: PSE AG 2013).....	27
Abbildung 2-13: PV-Modul Produktion nach Regionen von 2005 bis 2012 (Daten: Paula Mints, SPV 2013, Graph: PSE AG 2013).....	28
Abbildung 2-14: Top 15 der Zell- und Modulhersteller im Jahr 2010. (Quelle: GTM Research (Mehta, 2011)).....	29
Abbildung 2-15: Prognose der PV-Produktions-kapazität und PV-Installationen aus dem Jahr 2012 von GTM Research (Mehta, 2012)).....	30
Abbildung 2-16: Net Income großer PV-Produzenten im Jahr 2012. (Alle Angaben ohne Gewähr; teilweise nicht nach GAAP; Quelle: Unternehmensmitteilungen).....	30
Abbildung 2-17: Im Zusammenhang mit der PV-Markt-konsolidierung nicht mehr am Markt befindliche Produktionskapazität in 2011 und 2012 nach Technologie und Hersteller (Mehta, 2012)	31
Abbildung 2-18: Übersicht der Umsätze (gelb), Auftragseingänge (blau) und Auftragsbestände (rot) der PV-Equipment-Zulieferindustrie seit Beginn 2010 (Quelle NPD Solarbuzz).....	33

Abbildung 2-19: Aktuelle und erwartete Auslastung von Tier1-Herstellern bis Q3 2014, Quelle: (Colville, 2012) NPD Solarbuzz Quarterly Report, 2013 .....	34
Abbildung 2-20: Prognose der Entwicklung von Angebot und Nachfrage im globalen PV-Markt von IHS Research, Graph: PSE AG.....	35
Abbildung 2-21: Prognose der Entwicklung von Angebot und Nachfrage im globalen PV-Markt von Lux Research Inc., Graph: PSE AG .....	35
Abbildung 2-22: Prognose der Entwicklung von Angebot und Nachfrage im globalen PV-Markt von EPIA, Graph: PSE AG .....	36
Abbildung 2-23: Erwartete Verteilung der in den nächsten 5 Jahren errichteten PV-Kraftwerke nach Größe und Anwendung GM = Ground-Mount, BM = Building-Mount Quelle: NPD Solarbuzz Marketbuzz Report, 03/13.....	37
Abbildung 2-24: Entwicklung der Marktpreise für PV-Systeme dessen Anteil an Modul- und BOS-Kosten von 2006 bis Q2/2013. (BOS steht für Balance-of-System, und bezeichnet sämtliche Kostenanteile inkl. Planung und Installation neben den Kosten der PV-Module), Quelle: EuPD / BSW-Solar Q2-2013; Graph: PSE AG.....	39
Abbildung 2-25: Links: Entwicklung der PV-Modulpreise seit Beginn 2009, Quelle: IHS, Graph: PSE AG. Rechts: PV-Modulpreise für kristalline Silicium-Module nach Herkunft und für Dünnschichtmodule nach Technologie im Oktober 2013, Quelle: pvXchange.....	40
Abbildung 2-26: Preis-Erfahrungskurve von PV-Modultechnologien seit 1980. Daten: Navigant Consulting; EUPD Modulpreise (seit 2006) Graph: PSE AG 2012;.....	40
Abbildung 2-27: Entwicklung der Einspeisevergütung für PV und Wind im Vergleich zu den Haushalts- und Industriestrompreisen in Deutschland (Quelle: B. Burger - Fraunhofer ISE, BMU, EEG 2013 und BMWi Energiedaten. Stand: 18.04.2013) .....	42
Abbildung 2-28: Lernkurvenbasierte Prognose von Stromgestehungs-kosten erneuerbarer Energien und konventionellen Kraftwerken in Deutschland bis 2030. „Studie Stromgestehungs-kosten Erneuerbare Energien (Update Nov. 2013)“, Fraunhofer ISE, 2013. ....	43
Abbildung 2-29: Lernkurvenbasierte Prognose von Stromgestehungskosten verschiedener Solartechnologien an Standorten mit hoher Solarstrahlung bis 2030. „Studie Stromgestehungskosten Erneuerbare Energien (Update Nov. 2013)“, Fraunhofer ISE, 2013. ....	44
Abbildung 2-30: Durchschnittliche Vergütungspreise von PPAs für von 2006 bis 2013 installierten PV-Kraftwerken in den USA. Der nominal abgeschlossene PPA-Wert sinkt real über die Zeit, d.h. der reale Bezugspreis für den Energieversorger nimmt ab. (Bolinger and Weaver, 2013) .....	45
Abbildung 2-31: Übersicht der Marktanteile weltweit produzierten PV-Technologien von 1980 bis 2012, Daten: Navigant Consulting. Graph: PSE AG 2013.....	46
Abbildung 2-32: Anteil der Dünnschicht-Photovoltaik am jährlichen Produktionsvolumen (links) und mit Unterscheidung nach Technologie (rechts) von 2016 bis 2013, Quelle: NPD Solarbuzz Quarterly Report, 2013.....	46
Abbildung 2-33: Erwartete Marktanteile verschiedener PV-Technologien für das Jahr 2014 mit detaillierter Unterscheidung von kristalliner Siliciumtechnologien sowie von Dünnschichttechnologien, Quelle: NPD Solarbuzz PV-Equipment Quarterly Report, 2013 (NPD Solarbuzz 2013) .....	47
Abbildung 2-33: Übersicht der Standorte von PV-Equipment- & Materiallieferanten in DeutschlandQuelle & Bilder: BSW, GTAI .....	48
Abbildung 2-35: Übersicht der Standorte von PV-Equipment- & Materiallieferanten in DeutschlandQuelle & Bilder: BSW, GTAI .....	50

Abbildung 2-36: Anteil der deutschen Unternehmen im Bereich PV-Produktionsmittel am PV-Zuliefererweltmarkt mit den Absatzregionen der Unternehmen von Q1/2010 bis Q4/2012 Quelle: VDMA, SEMI; Stand: 08.04.2013.....	52
Abbildung 2-37: Umsatz und Auftragseingang der deutschen Unternehmen im Bereich PV-Produktionsmittel von 2005 bis Q3/2012 VDMA, Stand: 30.04.2013 .....	53
Abbildung 2-38: Übersicht der Standorte von Zulieferern von System-Komponenten in Deutschland. Quelle & Bilder: BSW, GTAI Quelle & Bilder: BSW, GTAI .....	55
Abbildung 2-39: Übersicht der Standorte von PV- Forschungsinstituten in Deutschland, Quelle & Bilder: BSW, GTAI Quelle & Bilder: BSW, GTAI .....	57
Abbildung 3-1: Berechnung der X-GW-Produktionskosten.....	61
Abbildung 3-2: Priorisierung nach Materialkostenanteil im Modul und Kontaktierung von 122 Materialherstellern .....	62
Abbildung 3-3: Produktionskapazität / Preis Graph.....	63
Abbildung 3-4: Monte Carlo Simulation.....	66
Abbildung 3-5 : Produktübersicht X-GW Fabrik .....	68
Abbildung 3-6: Schema einer PERC Solarzelle mit passiviertem Emitter und rückseitigen Kontakten ..	70
Abbildung 3-7: (Links) Schematische Darstellung der Solarzellenstruktur der beidseitig sammelnden und kontaktierbaren Solarzelle. (Rechts) Lichtbild einer BSK-Solarzelle zur Verdeutlichung des Lochkontaktes zwischen den Emitterbereichen auf Vorder- und Rückseite.....	71
Abbildung 3-8: Schema eines Standard EVA Moduls (oben) und eines Glas-Glas-Moduls (unten), jeweils mit Polymer Verkapselung. ....	72
Abbildung 3-9: Umsatz und Arbeitsplätze einer X-GW Fabrik, dargestellt für die Konzepte c-Si PERC, c- Si BSK und CIGS.....	74
Abbildung 3-10: Modulkosten der X-GW Fabrik.....	75
Abbildung 3-11: Gesamtkosten Modul nach Kostenarten .....	76
Abbildung 3-12: Gesamtkosten PV-System bei Verwendung von PV-Modulen einer X-GW Fabrik .....	76
Abbildung 3-13: Stromgestehungskosten (LCOE) eines PV-Systems am Standort Freiburg bei Verwendung von PV-Modulen einer X-GW Fabrik .....	77
Abbildung 3-14: Stromgestehungskosten (LCOE) eines PV-Systems am Standort Sevilla bei Verwendung von PV-Modulen einer X-GW Fabrik .....	77
Abbildung 3-15: Boxplot der Ergebnisse einer Monte-Carlo-Simulation für das Konzept c-Si PERC ....	78
Abbildung 3-16: Boxplot der Ergebnisse einer Monte-Carlo-Simulation für das Konzept c-Si BSK.....	79
Abbildung 3-17: Boxplot der Ergebnisse einer Monte-Carlo-Simulation für das Konzept CIGS.....	79
Abbildung 4-1: Primär-, End- und Nutzenergie in der Photovoltaik.....	82
Abbildung 4-2: Schematische Abbildung eines PV-Wertschöpfungsnetzwerks .....	85
Abbildung 4-3: Mögliche Key-Performance-Indicator.....	87
Abbildung 4-4: Mögliche Risiken bei der Installation von PV-Systemen und Erzeugung elektrischer Energie .....	97
Abbildung 5-1: Umsatz in Deutschland ansässiger Hersteller von Anlagen zur Nutzung erneuerbarer Energien inklusive der Exporte in Deutschland ansässiger Hersteller im Jahr 2012, Mio. € (ohne	

Maschinenbau) und Investitionen in Anlagen zur Nutzung erneuerbarer Energien in Deutschland im Jahr 2012, Mio. €.....	102
Abbildung 5-2: Verteilung der Beschäftigten auf Wertschöpfungsstufen eines PV-Systems .....	103
Abbildung 5-3: Übersicht der verschiedenen volkswirtschaftlichen Effekte einer Firmenansiedlung auf einen Standort. Eigene Darstellung in Anlehnung an (Delbiaggio, Egli, Lier, & Roth, 2012).....	104
Abbildung 5-4: Direkte, indirekte und induzierte Effekte einer X-GW Fabrik .....	106
Abbildung 5-5: Direkte Effekte auf die Wertschöpfung einer X-GW Fabrik .....	107
Abbildung 5-6: Direkte Effekte auf die Beschäftigung einer X-GW Fabrik .....	108
Abbildung 5-7: Indirekte und induzierte Effekte als Multiplikatoren diverser Quellen im Jahr 2010..	109
Abbildung 5-8: Effekte auf die Wertschöpfung durch PV-Industrie.....	110
Abbildung 5-9: Positive Arbeitsplatzeffekte der PV-Technologie .....	111
Abbildung 5-10: Importquote der Energieträger im Jahr 2010 .....	114
Abbildung 5-11: Emission CO <sub>2</sub> g/kWh nach Kraftwerkstyp.....	115
Abbildung 5-12: Emission g/kWh (CO <sub>2</sub> Äquivalent ) je nach Energieträger.....	116
Abbildung 5-13: Relevante Faktoren für die Standortauswahl .....	117

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 2-1: Übersicht der TOP 20 PV-Modulhersteller nach Produktionsvolumen in 2011 & 2012 [MWp/a] (Quelle: IHS Integrated PV Market Tracker Q1 2013, PV Module Supplier Data, PSE AG).....	32
Tabelle 2-2: Übersicht der TOP 10 PV-Wechselrichter Hersteller in 2011 & 2012 nach globalem Umsatzanteil (Quelle: IHS Integrated PV Market Tracker Q1 2013, PSE AG).....	33
Tabelle 2-3: Historischer und erwartete Marktanteil von Modultechnologien laut IHS Researchs.....	47
Tabelle 2-4: Übersicht an PV-Modulherstellern in Deutschland (nach GTAI, Stand 08/2013) .....	48
Tabelle 2-5: Übersicht an Zulieferer im Anlagenbau in Deutschland (nach GTAI, Stand 02/2013).....	50
Tabelle 2-6: Übersicht an Zulieferern von Ausgangsmaterialien und Hilfsstoffen in Deutschland (nach GTAI, Stand 02/2013).....	53
Tabelle 2-7: Auswahl der wichtigsten Zulieferern von System-Komponenten in Deutschland.....	55
Tabelle 2-8: Auswahl der wichtigsten PV-Projektentwickler und Systemintegratoren.....	56
Tabelle 2-9: Die wichtigsten Forschungsinstitute in Deutschland .....	57
Tabelle 3-1: Skalierungsfaktoren .....	64
Tabelle 3-2: Angenommene Standardabweichungen für die Modellierung der Unsicherheiten bei Preisschwankungen.....	65
Tabelle 3-3: Performance Ratio PV-System.....	67
Tabelle 3-4: Wichtige Produktdaten c-Si PERC, c-Si BSK und CIGS.....	69
Tabelle 3-5: Produktmix X-GW Fabrik.....	73
Tabelle 3-6: Erwartete Durchsatz-Zunahme .....	80
Tabelle 5-1: Direkte und indirekte Arbeitsplätze über den Lebenszyklus einer Dünnschicht-PV-Produktionslinie .....	112
Tabelle 5-2: Fiktive Transportkosten der Lieferkette zur X-GW-Fabrik .....	118
Tabelle 5-3: Fiktive Transportkosten der Lieferkette zu den Absatzmärkten der EU.....	119



# Zusammenfassung

Durch den Aufbau einer Gigawatt-skaligen Fabrik zur Herstellung photovoltaischer Module mit innovativer Technologie wird der mittel- und langfristig weiter stark wachsende Markt aus kosteneffizienter europäischer Produktion bedient. Die Zukunftstechnologie Photovoltaik (PV) und die damit verbundenen Arbeitsplätze sollen so in Europa gehalten und ausgebaut werden.

Im Zeitraum von Anfang 2008 bis Ende 2012 konnten die Kosten für die Herstellung von PV-Modulen um bis zu 70% reduziert werden. Gleichzeitig sind die durchschnittlichen Preise solcher Module aber um über 80% gefallen. Die Hauptgründe für diese dramatische Preisentwicklung waren Fortschritte in der PV-Technologie, weitgehend basierend auf hiesiger PV-Anlagentechnik, sowie der massive Ausbau chinesischer Produktionskapazitäten, stark gefördert durch Investitionsmittel der chinesischen Regierung. Hierdurch wurden enorme Überkapazitäten im Weltmarkt geschaffen. Da deutsche bzw. europäische Unternehmen nicht über ähnlich günstige Finanzierungsmöglichkeiten und das sinkende Preisniveau den Cash Flow schmälerten, waren sie nicht in der Lage kontinuierlich in die Verbesserung ihrer Produktion zu investieren. Deshalb haben diese Unternehmen beim Skalierungswettbewerb mit den chinesischen Unternehmen an Boden verloren und mussten mehrheitlich ihr Geschäftsmodell aufgeben. Diese Krise hat nun auch die Zulieferindustrie erreicht. Insgesamt ist die Zahl der Beschäftigten in der Photovoltaik von 2011 auf 2012 in Deutschland von 110.900 auf 87.800 gesunken. Hiesige Forschungsinstitute, Maschinenhersteller und Materiallieferanten für die Solarindustrie sind aber nach wie vor technologisch global führend. Ohne enge Zusammenarbeit mit starken Kunden in Europa sind ihre Unabhängigkeit und ihre europäischen Standorte jedoch gefährdet. Durch die stark gesunkenen PV-Stromgestehungskosten entstehen jetzt und in den nächsten drei Jahren neue, große und zunehmend nicht subventionierte Märkte in und außerhalb Europas.

In dieser Situation schlagen wir als Konzept den Aufbau einer Gigawatt-skaligen Fertigung mit substanzieller technologischer Innovation vor. 2017 soll eine hochintegrierte europäische PV-Fabrik der zweiten Generation für die Massenfertigung im Gigawatt-Maßstab den Weltmarkt beliefern, die PV-Technologie in Europa halten und als Beispiel für weitere derartige Fabriken basierend auf unserer Anlagentechnik weltweit dienen. Die wichtigsten Elemente des Konzepts:

1. Starke weitere Kostenreduktion durch die Nutzung von Zell-Technologie der nächsten Generation und flexible, hochautomatisierte Verbund-Produktion im Gigawatt-Maßstab mit reduzierten Personalkosten, höchster Produktionsqualität, bedeutenden Energie- und Materialeinsparungen gerade auch in der Produktionsinfrastruktur.
2. Der Südwesten Deutschlands bietet sich aufgrund der weltweit herausragenden Dichte an technologiegebenden Industrieunternehmen und Forschungsinstitutionen als ideales Zentrum für eine solche Pilotproduktion an. Zunächst soll im Rahmen einer multinationalen Initiative eine Pilotlinie an einem zentral gelegenen Produktionsstandort aufgebaut werden, die dann schnell und effizient auf Gigawatt-Größe erweitert werden soll.
3. Der Zugang zu einer im internationalen Wettbewerb konkurrenzfähigen Finanzierung sichert die ökonomische Rentabilität.

Wie diese Studie zeigt, hat dieses Konzept exzellente Erfolgsaussichten, da mit einer Investition in Höhe von 1 Mrd. Euro Herstellungskosten von unter 0,40 €/Wp erreicht werden können, die damit ca. 20% unter dem aktuellen Niveau liegen. Voraussetzung hierfür ist eine substantielle nationale und europäische Unterstützung auf höchster politischer Ebene. Ohne den politischen Willen die PV-Industrie in Europa zu halten, wird in wenigen Jahren die Produktion von Photovoltaik hier nicht mehr stattfinden.

# 1 Einleitung

*(Hauptverantwortlich: Fraunhofer IPA)*

## 1.1 Motivation der Studie

Der Photovoltaik-Effekt wurde erstmals 1839 von A. E. Becquerel entdeckt. Während die ersten Solarzellen ihre Anwendungen noch in Satelliten fanden, kommen seit Anfang der 1960er Jahre mehr und mehr Installationen von privaten Anlagen bis hin zu mobilen Applikationen hinzu. Heute auf dem Markt erhältliche Solarmodule erreichen eine Effizienz von bis zu 20 Prozent. Damit sind sie eine der vielversprechendsten erneuerbaren Energiequellen zur Stillung des weltweit wachsenden Energiebedarfs.

Laut Studien des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) hat sich der Ausbau der installierten Leistung und der damit einhergehenden Strombereitstellung von Photovoltaikanlagen im Vergleich zu anderen erneuerbaren Energien (Windkraft, Wasserkraft, Biomasse) innerhalb der letzten 5 Jahre mit dem größten Wachstum entwickelt.

Neben den umwelttechnischen Aspekten der nachhaltigen Energieerzeugung mittels Photovoltaiksystemen hat die gesamte Branche auch einen signifikant positiven Einfluss auf den Arbeitsmarkt.

Im Zeitraum von Anfang 2008 bis Ende 2012 konnten die Kosten für die Herstellung von PV-Modulen um bis zu 70 % reduziert werden. Bei stetig fallenden Preisen ist ein weiterer Zubau, sowohl von Auf-Dach wie auch von Freiflächenanlagen, zu erwarten. Hinzu kommen auf Grund neuer Technologien, wie z.B. der flexiblen Trägermaterialien, Anwendungen im mobilen und gebäudeintegrierten (BIPV) Segment.

Die Produktionsstätten zur Massenfertigung von PV-Modulen für den terrestrischen Einsatz auf deutschem Boden dienten lange Zeit als Vorzeigeobjekt der technologischen Spitzenstellung Deutschlands. Mit dem rasanten Wachstum des Marktes haben sich in der Bundesrepublik darüber hinaus viele Firmen auf die Produktionstechnik in der PV-Industrie spezialisiert. Weltweit werden PV-Komponenten aller Wertschöpfungsebenen auf deutschen Maschinen und Anlagen hergestellt.

Der immense Ausbau von Produktionskapazitäten moderner Techniken in Asien verschärfte die bereits angesprochene Konsolidierung des Marktes ungemein. Nahezu alle Hersteller, auch die großen asiatischen Hersteller, hatten in 2011 und insbesondere 2012 hohe Verluste zu tragen. Der anhaltende Kostendruck leitete eine Konsolidierungsphase in der PV-Branche ein, wobei einige ehemalige deutsche und europäische Solarpioniere und auch asiatische Hersteller Fertigungen schließen mussten, Insolvenz anmeldeten oder ihre Solaraktivität komplett beendeten.

Die Konsolidierungsphase wird voraussichtlich noch 2 Jahre andauern, bis sich durch Abbau der Produktionskapazität und Steigerung des Marktvolumens ein gesundes Marktverhältnis entwickelt. In dieser Zeit lohnt es sich nicht Produktionskapazität in ungeschützten Märkten (D, EU) aufzubauen. Darunter

leidet die Innovationskraft der deutschen und europäischen Produktionsanlagen- und Materialhersteller.

## 1.2 Ziele der vorliegenden Studie

Zur Sicherung einer nachhaltig aufgebauten, zukunftssträchtigen Industrie (inkl. der Vorleistungsgüter sowie der Forschung) und der damit verbundenen Sicherung sowie dem Ausbau der Beschäftigungsverhältnisse ist der Aufbau einer X-GW skaligen Produktionsstätte zu evaluieren.

Die vorliegende Studie dient dazu, einen umfassenden Überblick zu geben und mögliche Potenziale eines X-GW Fabrik-Konzepts in Deutschland aufzuzeigen. Bei der Betrachtung der Herausforderungen eines solchen X-GW Vorhaben werden neben den technologischen Aspekten neuer Zell- und Modulkonzepte auch die Unternehmen, deren Aufgaben, zukünftigen Möglichkeiten sowie Risiken, entlang der gesamten Wertschöpfungskette mitbetrachtet. Die Bewertung der Wirtschaftlichkeit einer X-GW Fabrik wurde dabei unter Berücksichtigung der sukzessiven Erweiterung der Produktionskapazitäten vorgenommen. Oberstes Ziel eines solchen Vorhabens ist die Reduzierung sowohl der Modulproduktionskosten wie auch der Stromgestehungskosten der gefertigten PV-Technologien.

Zur Reduzierung der Kosten muss ein ganzheitlicher Ansatz bereits in der Phase der Fabrikplanung und entlang der gesamten Wertschöpfungskette umgesetzt werden. Hierbei ist Deutschland noch immer führend in den Gebieten der Zelltechnologie und der Produktionstechnik, die Vorreiterrolle im Bereich der Produktionskapazität ging jedoch bereits verloren.

Durch Aufzeigen möglicher Potenziale hinsichtlich verschiedener Technologien, unterschiedlicher Märkte sowie dem volkswirtschaftlichen Nutzen soll der Gesamtnutzen eines solch großen Vorhabens dargelegt werden ohne dessen Risiken außer Acht zu lassen.

## 1.3 Abgrenzung

Um eine realistische Bewertung der einzelnen Faktoren vornehmen zu können, ist eine klare Definition der Systemgrenzen notwendig. Im Rahmen und zur Ausarbeitung dieser Studie wurden daher folgende Eckpunkte festgelegt:

- Als Standort der X-GW Fabrik und somit für die Berechnung des volkswirtschaftlichen Nutzens sowie der Kostenabschätzungen wurde eine Region in Süddeutschland angenommen, während die Absatzmärkte und somit potenzielle PV-Installationen vor allem im Südeuropäischen Raum angesiedelt wurden
- Da gewisse Kennzahlen in Hohem Maße durch Skaleneffekte beeinflusst werden, wurde für die Berechnung eine potenzielle Größe der X-GW Fabrik von 0,5 GWp/a bis 5 GWp/a Produktionskapazität angesetzt
- Um eine möglichst technologieoffene Betrachtung der Potenziale einer X-GW Fabrik vornehmen zu können, wurden nachfolgende Zell-Technologien innerhalb der aufgeführten Wertschöpfungstiefe (Erweiterung der Wertschöpfungstiefe je nach Wirtschaftlichkeit) untersucht
  - c-Si (Kristallines Silicium): Herstellung Ingot bis Modul
  - CIGS (Kupfer-Indium-Gallium-Selenid): Herstellung Modul

- Zur Berechnung und Bewertung der Kostenpotenziale, aber auch der Realisierbarkeit potenzieller Technologiekonzepte gerecht zu werden, wurde für die Planung der Fertigung eine Endabnahme Ende QII 2016 anvisiert
- Die Kostenbetrachtung bezieht sich neben der Ermittlung der Produktionskosten für die Technologien in ihren unterschiedlichen Ausbaustufen, vor allem auch auf die Bewertung über Stromgestehungskosten einer 100 kWp – Anlage. Da deren Ertrag abhängig von der jeweils einstrahlenden Sonnenenergie ist, wurden die jeweiligen Berechnungen für die beiden Standorte Freiburg (Deutschland) und Sevilla (Spanien) vorgenommen.

## 1.4 Vorgehensweise

Um die umfangreiche Betrachtung des Vorhabens zu strukturieren wurde die Studie thematisch wie folgt aufgebaut. Zu Beginn der Untersuchungen wurden die Entwicklung des PV-Marktes sowie aktuelle und zukünftige Technologien betrachtet. Darüber hinaus beschreibt Kapitel 2 die Vermarktungsmodelle derzeitiger PV-Produzenten und gibt eine Übersicht über die (verbliebenen) deutschen Unternehmen entlang der Wertschöpfungskette.

Kapitel 3 untersucht die Anforderungen an einer X-GW skaligen Photovoltaik Fabrik und geht dabei hauptsächlich auf die ökonomischen Vorteile, auf Grund von Skaleneffekten, und die Produktions- sowie Stromgestehungskosten einer Fertigung in Deutschland ein.

Neben anderen Einflussfaktoren und Entscheidungskriterien liegt das Hauptaugenmerk bei der Planung einer X-GW Fabrik auf deren Wirtschaftlichkeit. Die hierzu notwendige Berechnung etwaiger Skaleneffekte sowie die Chancen und Risiken einer X-GW Fabrik werden in Kapitel 4 eingehend dargestellt.

Die Ausbildung von Wertschöpfungsnetzen kann einen wichtigen Beitrag zum Gelingen eines X-GW Vorhabens leisten. Die Anforderungen, Grenzen sowie eine Beschreibung der Schwächen und Stärken erfolgt in Kapitel 5. Hierbei wurden neben der Frage nach den Geschäftskonzepten anderer Unternehmen in der Branche auch potenzielle „Best Practice“ Ansätze aus entfernten Industrien mit einbezogen.

Neben den direkten und offensichtlichen Effekten einer X-GW Fabrik auf die Beschäftigung sowie die energiepolitische und technologische Vorreiterrolle, ergeben sich mittels indirekter und induzierter Effekte weitaus weitreichendere positive Einflüsse auf den Standort der X-GW Fertigung und seine Umgebung. Diese Effekte werden in Kapitel 6 beschrieben und diskutiert.

Um das aktuelle Meinungsbild der beteiligten Unternehmen hinsichtlich des Aufbaus einer X-GW Fabrik und deren Implikationen aufzunehmen wurde eine Internetbasierte Umfrage durchgeführt, an der sich mehr als hundert Institutionen entlang der gesamten Wertschöpfungskette beteiligten. Die grafische Darstellung der Ergebnisse sowie deren Interpretation sind Gegenstand von Kapitel 7.

## 2 Analyse des PV-Marktes

*(Hauptverantwortlich: Fraunhofer ISE)*

### 2.1 Entwicklung des PV-Marktes

#### 2.1.1 Nachfrageentwicklung im PV-Markt

##### ***Historische Entwicklung im PV-Markt bis 2012***

Die Photovoltaik (PV) hat als die Erneuerbaren Energie (EE) mit dem größten Entwicklungspotential in den letzten Jahren weltweit einen einmaligen Boom erfahren. Deutschland hat zu dieser Entwicklung maßgeblich beigetragen.

Durch die Einführung des seit 1991 geltende „Stromeinspeisungsgesetzes“ (StrEG, (Bundesministerium der Justiz, 1991)) wurde erstmals die verbindliche Abnahme des, meist von Kleinerzeugern welchen zuvor oftmals der Zugang von den großen Energieversorgern verwehrt oder stark erschwert wurde, erzeugten Stromes aus EE festgeschrieben.. Die im StrEG festgesetzte Vergütung von 90 % des Haushaltsstrompreises war jedoch unzureichend, um eine wirtschaftliche Integration von PV-Strom zu motivieren. Anfang des Jahres 2000 wurde das StrEG durch das Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) ersetzt. Das EEG 2000 schuf gemeinsam mit dem 100.000-Dächer-Programm eine für PV-Anlagenbetreiber attraktive Förderung der Einspeisung von PV-Strom bis zu einer kumulierten Gesamtleistung von 350 MWp in Deutschland. Diese 350 MWp-Grenze wurde 2003 überschritten, so dass 2004 ein Einbruch im PV-Markt drohte. Die daraufhin vorgezogene Änderung der vorgesehenen Novelle des EEG 2004 sah daher keine Beschränkung der zu vergütenden Gesamt-PV-Leistung vor. Die sich bis dahin seit 1990 schon um mehr als 50 % verringerten PV-Systemkosten sowie eine attraktive Vergütung von PV-Strom führte ab 2004 zum Beginn eines beispiellosen Marktwachstums der PV-Industrie.

Abbildung 2-1 zeigt die Entwicklung der jährlichen PV-Installationen in Deutschland von 1990 bis 2012. In 2004 erreichten die PV-Installationen in Deutschland erstmals mehrere 100 MWp/a und überschritt in 2007 erstmals die Leistung von 1 GWp/a. Günstige Förderbedingungen aufgrund der schneller abfallenden PV-Systempreisen und PV-Stromgestehungskosten als Einspeisetarife für PV-Strom führten in den Folgejahren zu einem massiven Zubau der PV-Erzeugungsleistung in Deutschland.

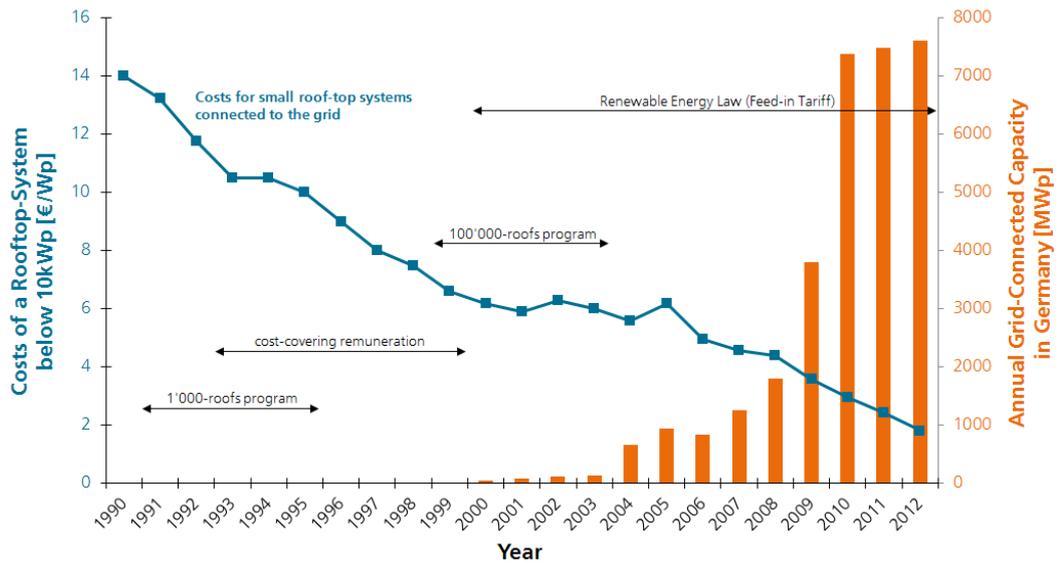


Abbildung 2-1: Entwicklung der jährlichen PV-Installationen in Deutschland sowie der Kosten von 10 kWp PV-Dachanlagen von 1990 – 2012 (Daten: BSW-Solar & BNA, Graph: PSE AG 2013)

Abbildung 2-2 und Abbildung 2-3 zeigen, dass das europäische und globale PV-Marktwachstum von 2000 bis 2009, mit Ausnahme von 2008, im Wesentlichen durch den deutschen Markt bestimmt wurde. Spanien erlebte in 2008 einen kurzzeitigen PV-Boom, welcher aufgrund der sich abzeichnenden nicht zu schulternden Kosten politisch ausgebremst werden musste. Für 2011 gilt dasselbe für den italienischen Markt. Ab 2010 begann der europäische PV-Markt sich zu diversifizieren. Das deutsche Einspeisegesetz wurde ein Exportmodell, welches weltweit viele Länder adaptierten. Seit 2011 zeichnet sich auch eine global diversifiziertere Zunahme der PV-Erzeugungsleistung. Zum einen haben immer mehr Länder das deutsche EEG-Modell adaptiert, zum anderen wird die Erzeugung von PV-Strom in sonnenreichen Ländern gegenüber konventionellen Erzeugungstechnologien wirtschaftlich konkurrenzfähig, auch ohne eine garantierte Einspeisevergütung.

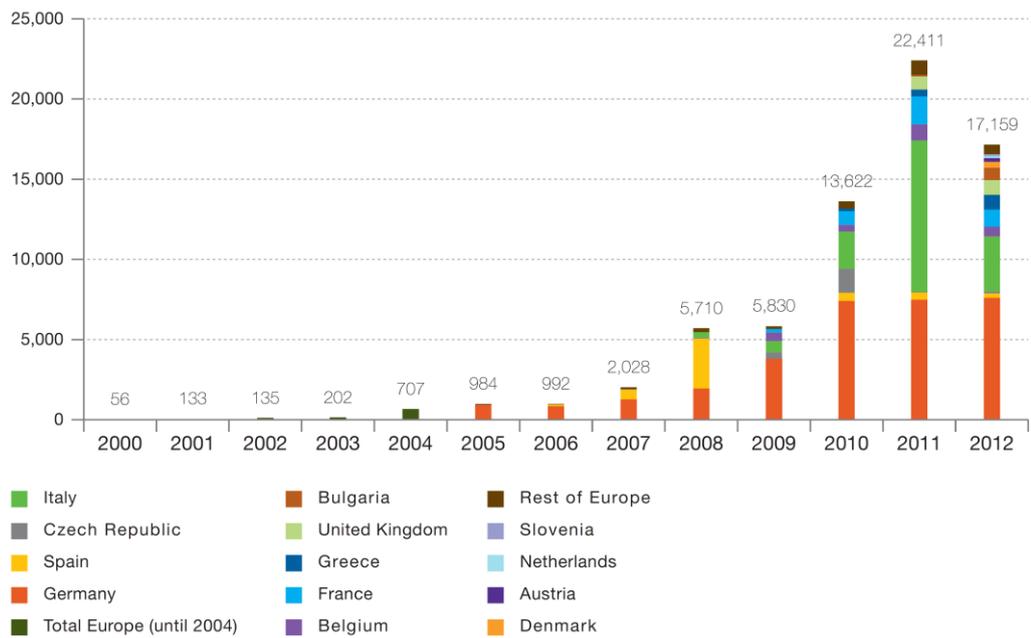
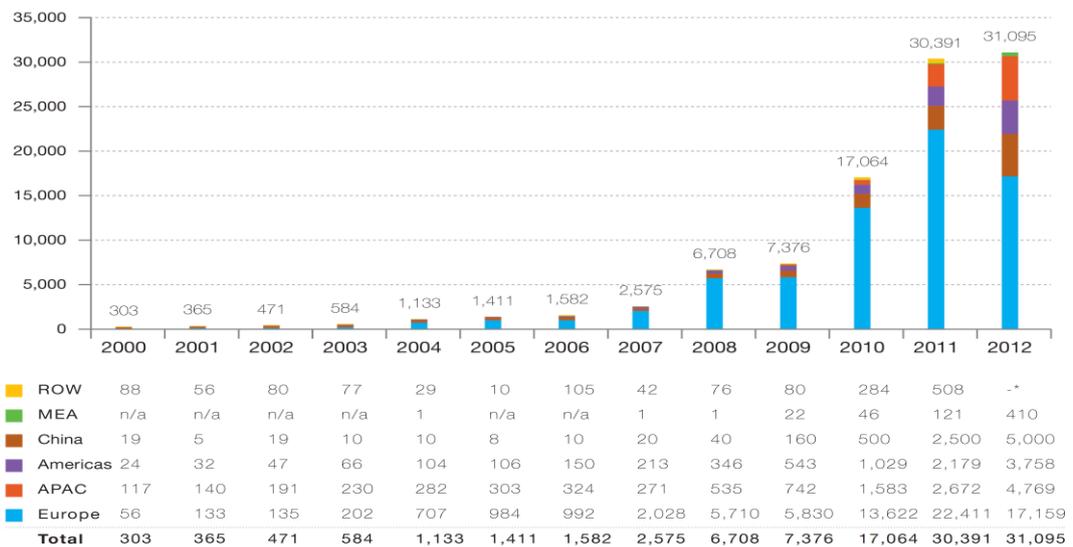


Abbildung 2-2: Entwicklung der jährlichen PV-Installationen in Europa von 2000 - 2012 in MWp/a (Graph: EPIA Global Market Outlook 2013-2017)



\* From 2012 onwards, these figures are directly integrated into those of the relevant regions.

Abbildung 2-3: Entwicklung der jährlichen globalen PV-Installationen von 2000 - 2012 in MWp/a (Graph: EPIA Global Market Outlook, 2013-2017)

In Abbildung 2-3 ist weiterhin zu erkennen, dass trotz des deutlichen Rückganges des PV-Zubaus in Europa von 2011 zu 2012 der globale PV-Markt zur selben Zeit gewachsen ist. Dies ist im Wesentlichen auf das Wachstum im asiatischen Markt, allen voran China, zurückzuführen, welcher in 2012 einen Zubau von 9,8 GWp/a erreichte, was einem Wachstum von 89 % zu 2011 entspricht. Auch im Nord- und

Südamerikanischen Markt wurde mit einem Kapazitätswachstum von 3,8 GWp/a in 2012 ein Rekordzubau erzielt, welcher ein Marktwachstum von 72 % zu 2011 entspricht.

Die Marktentwicklung der vergangenen 2-3 Jahre zeigt, dass sich Stromerzeugung aus Photovoltaik nach bisheriger Konzentration im europäischen Markt nun substantiell global ausbreitet. Während 2010 noch knapp 80 % der PV-Installationen im europäischen Markt erfolgten, lag der europäische Marktanteil in 2012 nur noch bei 55 % bei einer gleichzeitigen Zunahme von 82 % des Gesamtmarktes von 17 GWp/a auf 31 GWp/a.

### **Aktuelle Entwicklung und kurz- bis mittelfristige Prognose der Marktnachfrage**

In den nächsten Jahren wird erwartet, dass die PV-Nachfrage weltweit weiter zunehmen wird. Abbildung 2-4 zeigt die Prognose der European Photovoltaic Industry Association (EPIA) der globalen PV-Installationen für die Jahre 2013 bis 2017. EPIA präsentiert in ihrer Prognose zwei Szenarien. Im pessimistischeren „Business-as-Usual“-Szenario wird erwartet, dass die globale Nachfrage den Nachfragerückgang in Europa nur langsam kompensieren kann. In EPIAs optimistischem „Policy-Driven“ Szenario wird angenommen, dass die PV-Nachfrage in vielen Ländern durch politische Anreize unterstützt wird.

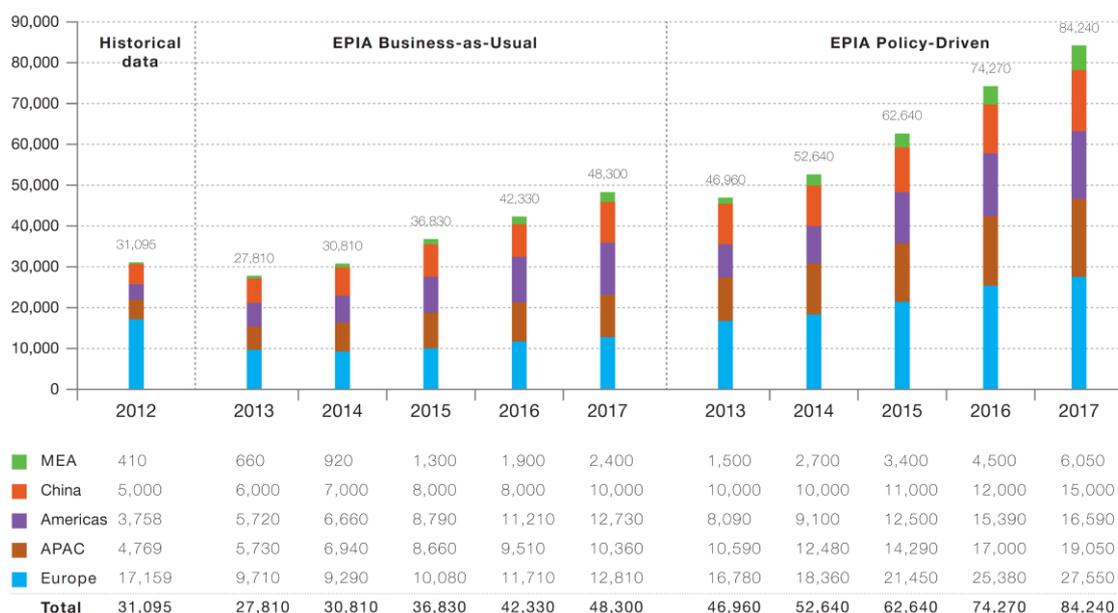


Abbildung 2-4: EPIA-Prognose der jährlichen globalen PV-Installationen von 2013 - 2017 nach Regionen in MWp/a (Graph: EPIA Global Market Outlook, 2013-2017)

Selbst im pessimistischen Fall geht EPIA davon aus, dass die globale PV-Nachfrage bis 2017 im Vergleich zu 2012 mit 31,1 GWp/a um über 50 % auf 48,3 GWp/a zunehmen wird. Im optimistischen Szenario erwartet EPIA fast eine Verdreifachung des Marktes auf 84,2 GWp/a bis 2017 (EPIA, 2012).

EPIA veröffentlichte die gezeigte Prognose im Mai 2013. Im Verlauf des Jahres 2013 deutet sich an, dass die Nachfrage aus dem Asiatisch-Pazifischen-Wirtschaftsraum (APAC) sogar stärker zunahm als in EPIAs optimistischem Szenario angenommen. Laut dem Marktforschungsinstitut NPD Solarbuzz ist im zweiten Halbjahr 2013 eine deutliche Zunahme an PV-Installationen aus China zu beobachten, alleine für China und Japan wird der Zubau laut NPD Solarbuzz im 2. Halbjahr bei ca. 9 GWp/a liegen. Gerade in Japan sorgen hohe Einspeisevergütungen für ein rasantes Marktwachstum. Für die gesamte APAC-Region erwartet NDP einen Zubau von insgesamt 16 GWp/a bis Ende 2013 (siehe dazu Abbildung 2 5). Das sich abzeichnende starke Marktwachstum der APAC-Region für 2013 wurde selbst in EPIAs optimistischem „Policy-Driven“-Szenario nicht erwartet.

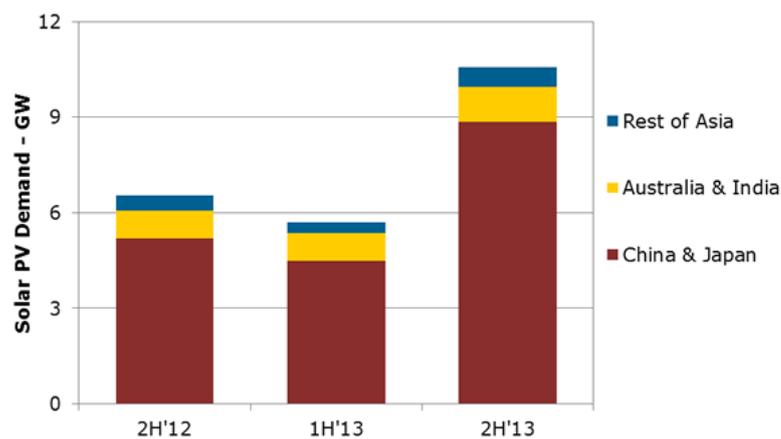


Abbildung 2-5: Photovoltaik-Nachfrage aus dem Asiatisch-Pazifischem Wirtschaftsraum von 2.HJ 2012 bis 2.HJ 2013 (NPD Solarbuzz 2013b)

Insbesondere für China wird ein weiterer Faktor zur Stärkung der PV-Nachfrage die Einsparung von CO<sub>2</sub> sein. In Abbildung 2-6 ist ein direkter Zusammenhang der in den vergangenen drei Jahrzehnten immens gestiegenen Energieerzeugung in China mit der CO<sub>2</sub>-Erzeugung zu beobachten. Die in China gewachsene Erzeugungsleistung von 2003 bis 2011 entspricht dem Zubau von zwei Kohlekraftwerken pro Woche.

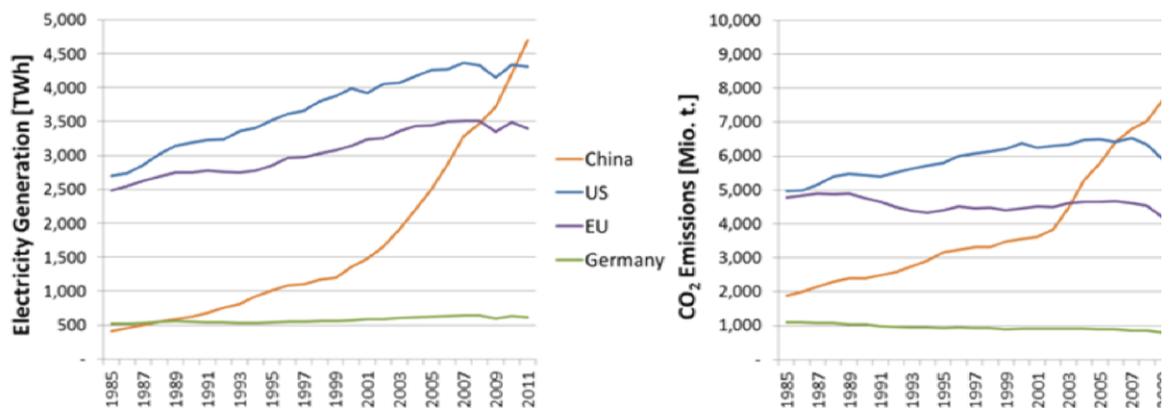
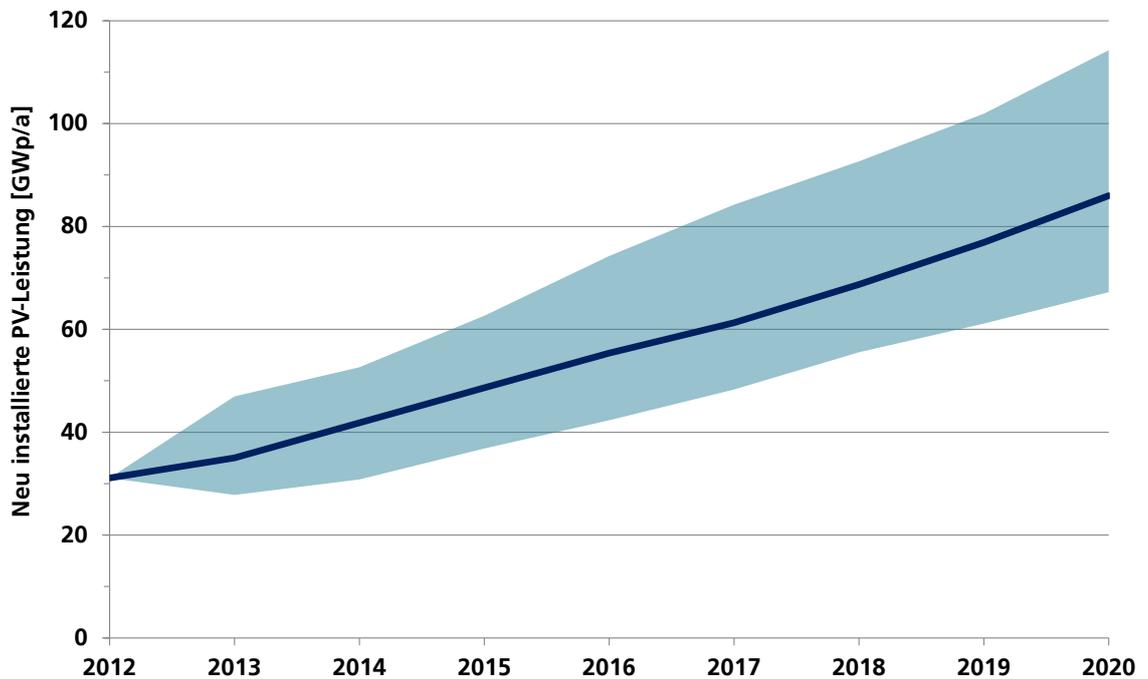


Abbildung 2-6: Stromerzeugung und CO<sub>2</sub>-Emmission von China, UAS, EU und Deutschland von 1985 bis 2011. (Quelle: BP, Statistical Review of World Energy, June 2012)

Der aktuelle Energiemix in China verursacht bereits hohe Umweltbelastungen. Entsprechend hat die chinesische Regierung ambitionierte Ausbauziele für erneuerbare Energien in den nächsten Jahren festgesetzt und dies durch Marktanzreizprogramme wie Einführung neuer Solarstrom-Einspeisevergütungen (Haugwitz, 2013) untermauert. China wird voraussichtlich der wichtigste PV-Markt in den nächsten Jahren sein.

Global betrachtet liegt die Erwartung der PV-Nachfrage mehrerer Marktanalysten für das Jahr 2013 mit ca. 35 GWp/a sehr nahe beieinander. Für das Jahr 2014 gehen die Prognosen weiter auseinander. IHS Research prognostiziert für 2014 ein Marktwachstum von 17 % und eine globale PV-Nachfrage von 41,1 GWp/a. Während Navigant Consulting in 2014 einen PV-Markt in ähnlicher Größe wie IHS erwartet, präsentiert NPD Solarbuzz mit 45 – 55 GWp/a deutlich höhere Annahmen. Alleine für den Asiatisch-Pazifischen-Wirtschaftsraum erwartet NDP Solarbuzz in 2014 ein Zubau von 24–32 GWp/a (pv-magazine.com 2013). Abbildung 2-8 zeigt den Prognosebereich verschiedener publizierter PV-Marktentwicklungsszenarien bis ins Jahr 2020. Die blaue Linie stellt den Mittelwert aller Szenarien dar, die Fläche wird durch die Minimal- und Maximalwerte begrenzt.



*Abbildung 2-7: Prognosebereich verschiedener publizierter Marktentwicklungsszenarien der jährlichen globalen PV-Nachfrage bis 2020 (Quellen: EPIA, Sarasin Bank, IHS Research, NPD Solarbuzz, GTM Research, Lux Research, Navigant Consulting, eigene Berechnungen)*

Im Mittel erwarten die Marktanalysten, dass sich der globale PV-Markt relativ zu 2012 bis 2017 verdoppelt und bis 2020 fast verdreifacht. Die sich abzeichnende regionale Diversifizierung des Marktes wird weiter voran schreiten. Durch die in den vergangenen Jahren erheblich gesunkenen Stromgestehungskosten kann Photovoltaik bereits in vielen Ländern mit konventionellen Energieträgern konkurrieren, wodurch die verstärkte Integration von Photovoltaik insbesondere in Ländern mit hohem Energieimportanteil attraktiv wird. Noch hinkt der reale Zubau in Ländern wie Argentinien, Chile und Brasilien allerdings den Planungen hinterher (pv-magazin.de, 2013).

Die Marktprognose bis 2020 von Navigant Consulting in Abbildung 2-8 macht die erwartete regionale Diversifizierung deutlich.

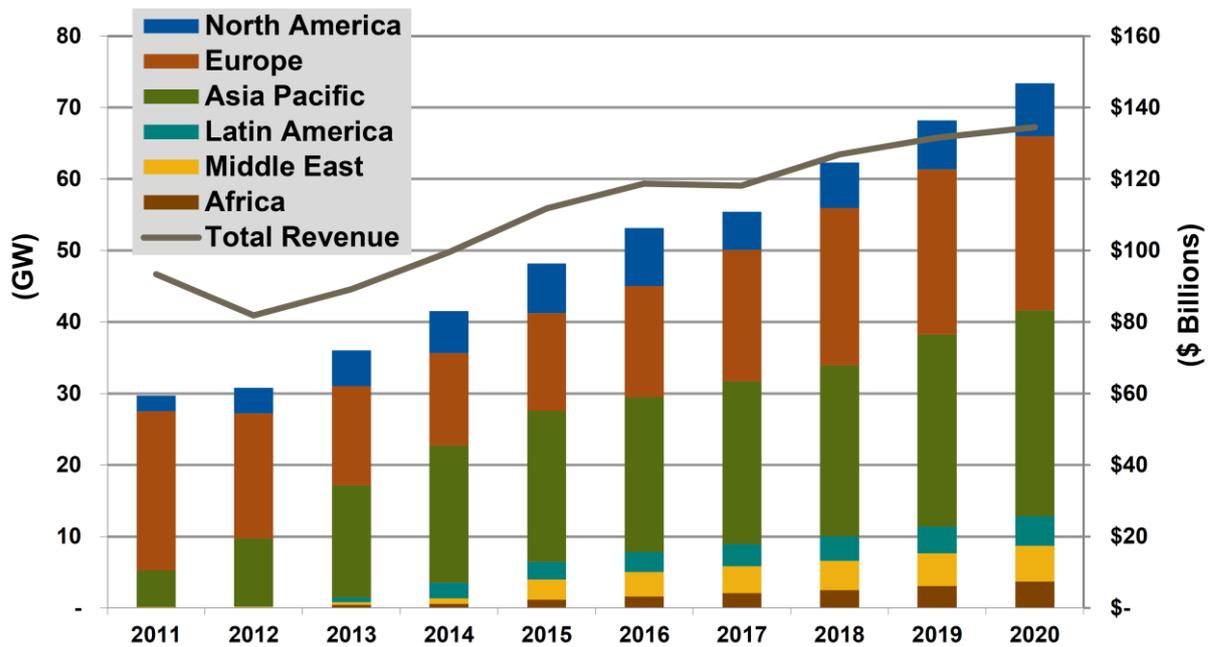


Abbildung 2-8: Prognose der jährlichen PV-Installationen und des Branchenumsatzes nach Regionen im Weltmarkt von 2011 – 2020, Quelle: Navigant Research (Gauntlett and Lawrence, Q3 2013)

Abbildung 2-9 macht die erwartete globale Ausbreitung von PV-Installationen ebenso deutlich. Im Gegensatz zu Navigant erwarten GTM in Zukunft einen größeren Anteil an PV-Installationen in Nordamerika.

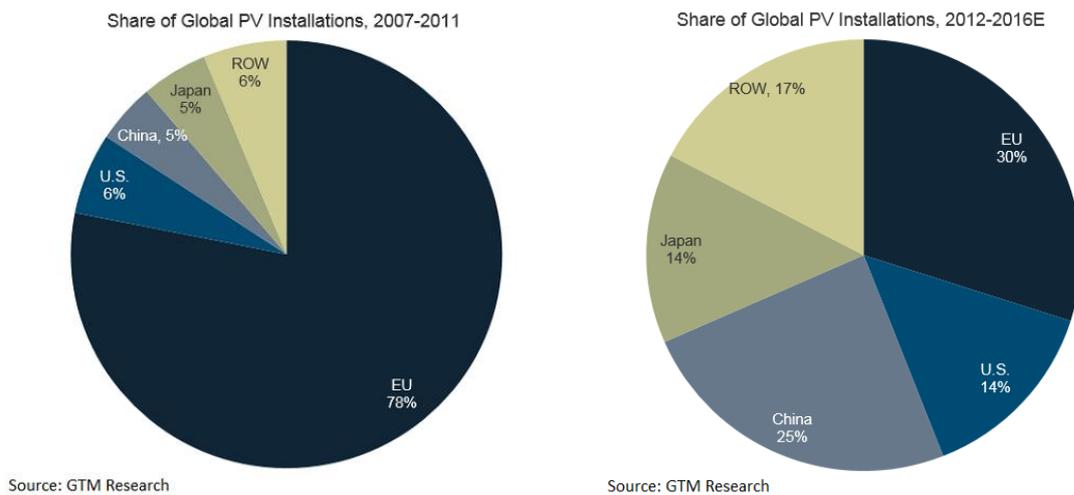


Abbildung 2-9: Vergleich der regionalen Verteilung der PV-Installationen im Zeitraum 2007-2011 zur erwarteten Verteilung im Zeitraum 2012-2016, Quelle: GTM Research (Jones, 2013)

## Langfristige Prognose der Marktnachfrage

Langfristig betrachtet hat Photovoltaik weltweit das Potential sich als integraler Bestandteil der Energieversorgung zu etablieren. Der Mittlere Osten, Nord- und Südamerika haben langfristig noch sehr großes Potential für eine wirtschaftliche Integration von PV-Strom in ihr Energiesystem.

Abbildung 2-10 zeigt eine Extrapolation der globalen PV-Installationen auf Basis der bereits in Abbildung 2-7 präsentierten Marktprognosen. Für sämtliche nicht direkt von den Analysten angegebenen Werten (meist ab 2017 oder auch 2020) wurde hier ein jährliches globales Marktwachstum von 10 % angenommen, mit Ausnahme des EPIA „Policy-Driven“-Szenarios, für welches ab 2017 ein jährliches Marktwachstum von 15 % angesetzt wurde. Im Vergleich zu den Wachstumsraten der Branche in den letzten Jahren und hinsichtlich der bereits erreichten Stromgestehungskosten für Photovoltaik und des global noch sehr hohen Potentials der Stromerzeugung aus Photovoltaik, sind diese Annahmen als konservativ zu erachten.

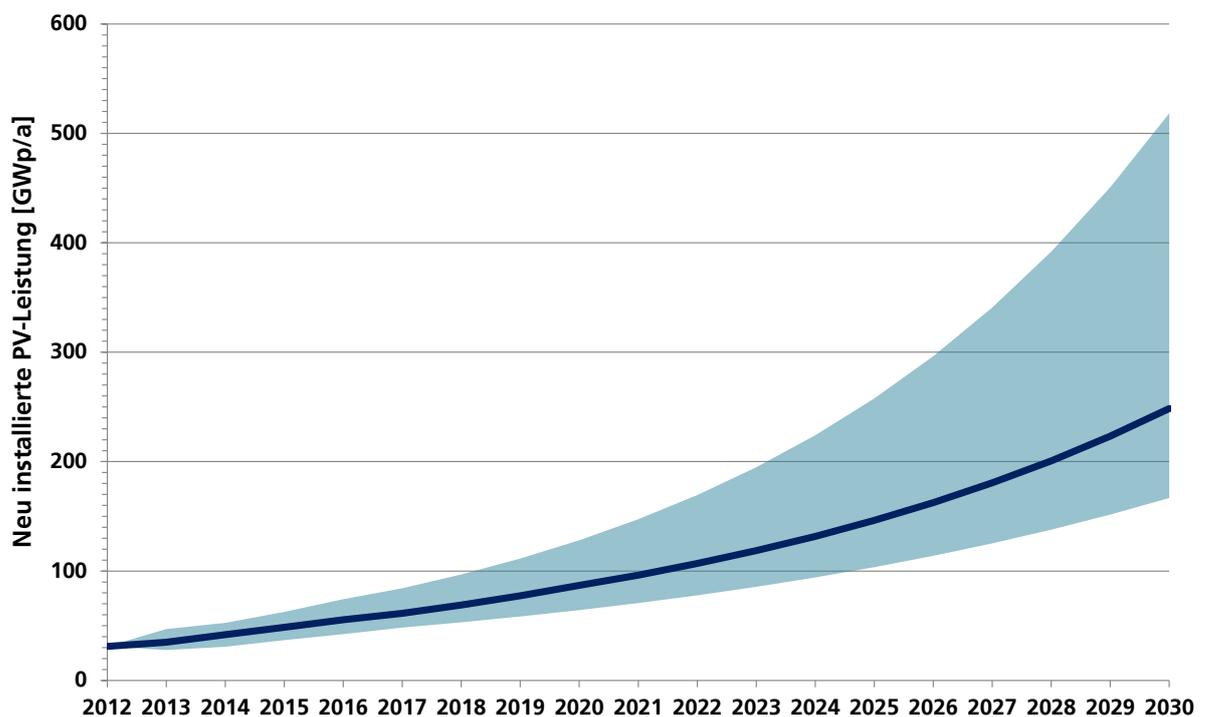


Abbildung 2-10: Extrapolation der Prognose verschiedener publizierter Marktentwicklungsszenarien der jährlichen globalen PV-Nachfrage bis 2030. Das EPIA „Policy-Driven“ Szenario wurde mit einem jährlichen Wachstum von 15 % extrapoliert, für alle sonstigen wurde ein jährliches Wachstum von 10 % bis 2030 angenommen. (Quellen: EPIA, Sarasin Bank, IHS Research, NPD Solarbuzz, GTM Research, Lux Research, Navigant Consulting)

Abbildung 2-11 zeigt eine ebenfalls auf Marktstudien basierende Prognose der global kumuliert installierten PV-Kraftwerksleistung bis 2030, welche im Rahmen der dritten Auflage der „Studie Stromgestehungskosten Erneuerbare Energien“ veröffentlicht wurde.

Selbst im pessimistischsten Szenario der International Energy Agency (IEA) wird bis 2030 eine weltweit kumulierte PV-Kraftwerksleistung von knapp 1.000 GWp/a erwartet, was einer Verzehnfachung der bis 2012 installierten PV-Kraftwerksleistung entspricht. Im Mittelwert-Szenario werden bis 2030 2.000 GWp/a und in EPIAs „Policy-Driven“-Szenario an die 3.000 GWp/a installiert.

In sämtlichen Marktprognosen wird für die Photovoltaik in Zukunft weltweit ein enormes Marktpotential erwartet.

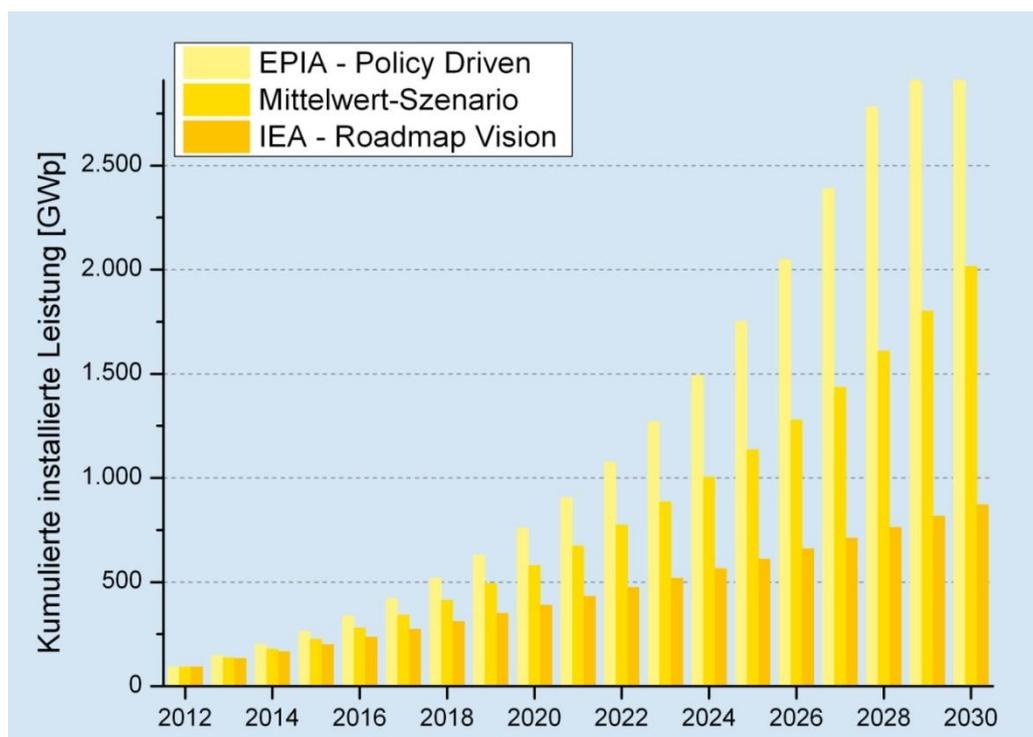


Abbildung 2-11: Marktprognose der kumulierten Kraftwerksleistung für PV 2012-2030 nach IEA (2010), EPIA (2013) und eigenen Berechnungen. „Studie Stromgestehungskosten Erneuerbare Energien (Update Nov. 2013)“, Fraunhofer ISE, 2013.

## 2.1.2 Angebotsentwicklung im PV-Markt

Die Photovoltaik ist, wie im vorigen Kapitel gezeigt, in den letzten Jahren zu einem Massenmarkt gewachsen, der inzwischen durch hochautomatisierte Fertigungsstätten mit Durchsätzen von mehreren Millionen Solarmodulen pro Jahr geprägt ist.

Zu Beginn der industriellen PV-Fertigung teilten sich im Wesentlichen Japan, die USA und Europa den noch vergleichsweise kleinen Markt. Während Europa, allen voran Deutschland, in den Jahren 2007 und 2008 die Marktführerschaft innehatte, ist seit 2009 in China die größte Produktionskapazität an PV-Modulen vorhanden. Abbildung 2-12 zeigt, wie sich die Anteile der Produktionskapazität von 1997 bis 2012 entwickelten.

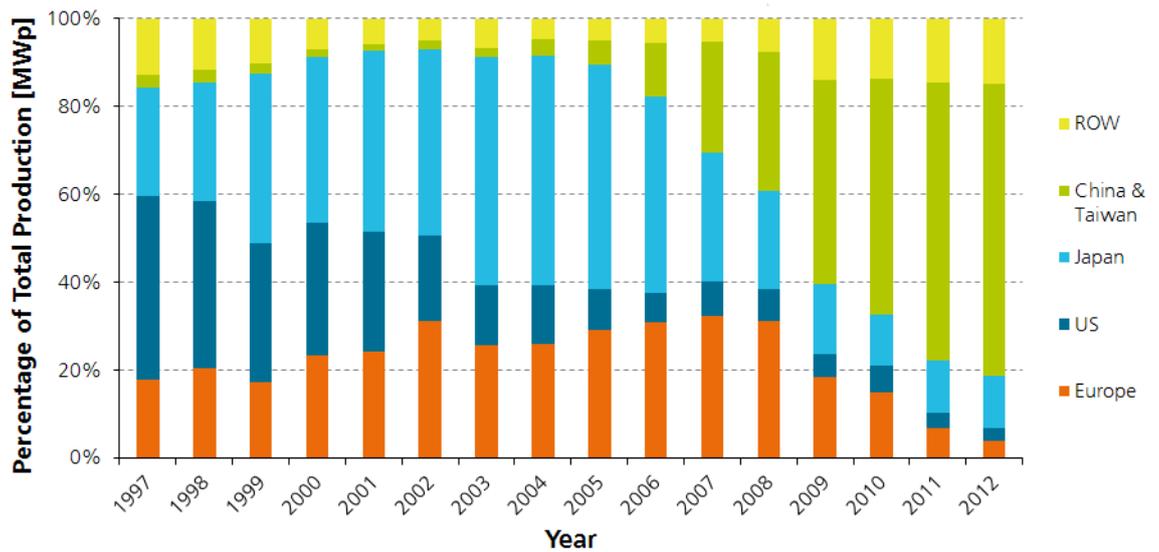


Abbildung 2-12: Anteile der Produktionskapazität von PV-Modulen nach Regionen von 1997 – 2012  
(Daten: Navigant Consulting, Graph: PSE AG 2013)

In Abbildung 2-13 ist hingegen die absolute Verteilung der PV-Modulproduktion nach Regionen dargestellt. Hier wird deutlich, dass die europäische Produktionskapazität zu Zeiten ihrer Weltführerschaft im Vergleich zum Weltmarkt in 2012 relativ gering war. Analog zum starken globalen Marktwachstum mit Wachstumsraten von über 100 % in den Jahren 2009 bis 2011 wurden in China und Taiwan massiv Produktionskapazitäten aufgebaut. Wie in Deutschland in den Jahren zuvor wurde der Kapazitätsausbau in China im großen Stil von der chinesischen Regierung unterstützt.

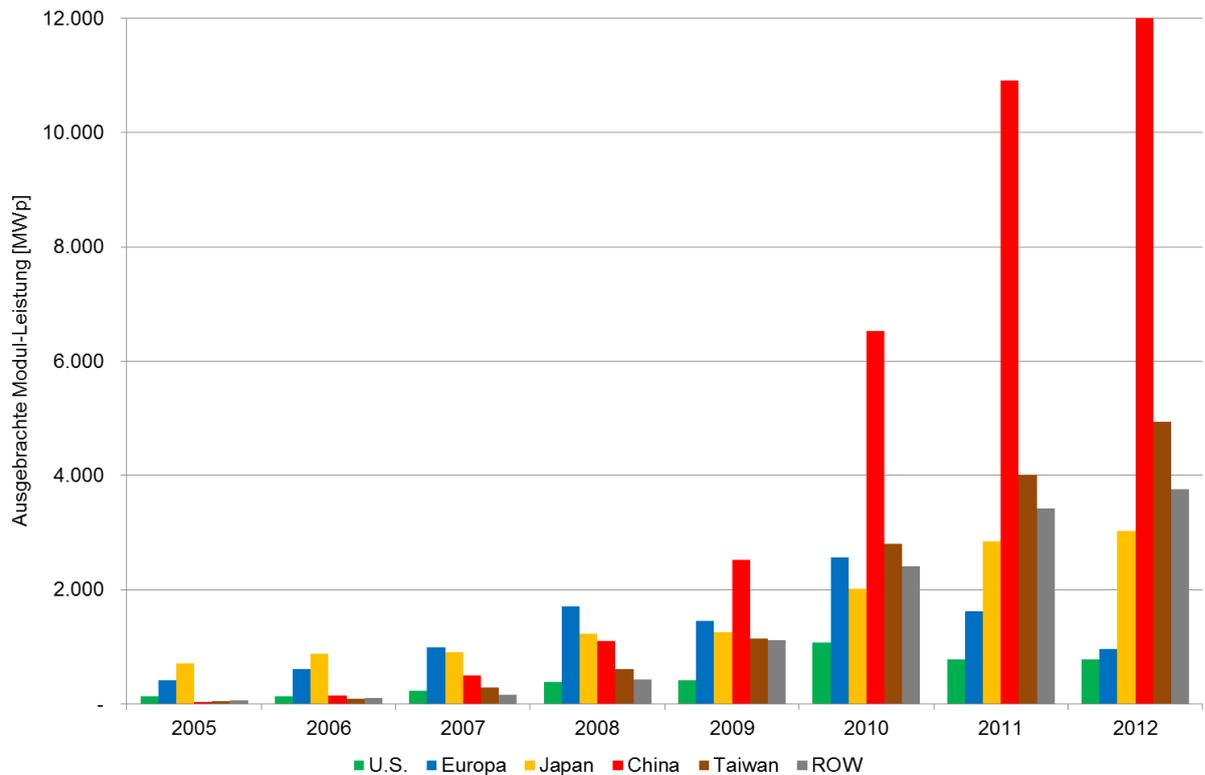


Abbildung 2-13: PV-Modul Produktion nach Regionen von 2005 bis 2012  
(Daten: Paula Mints, SPV 2013, Graph: PSE AG 2013)

Parallel zum asiatischen PV-Boom bauten die deutschen und europäischen Hersteller ihre Produktionskapazitäten nur schleppend aus. Aufgrund der anhaltenden Diskussion um die steigenden Strompreise aufgrund der EEG-Umlage sowie unsicherer politischer Rahmenbedingungen war in Deutschland kein solides Investitionsklima vorhanden.

Im Jahr 2010 war der im Jahr 2008 größte Produzent von Solarzellen, die deutsche Q-Cells AG, bereits von vier Asiatischen Herstellern überholt und auf Platz sechs in der Liste der größten Solarzellenhersteller zurück gefallen. Unter den deutschen Modulherstellern waren 2010 Schott Solar und SolarWorld auf den Plätzen zehn und elf zu finden (Abbildung 2-14).

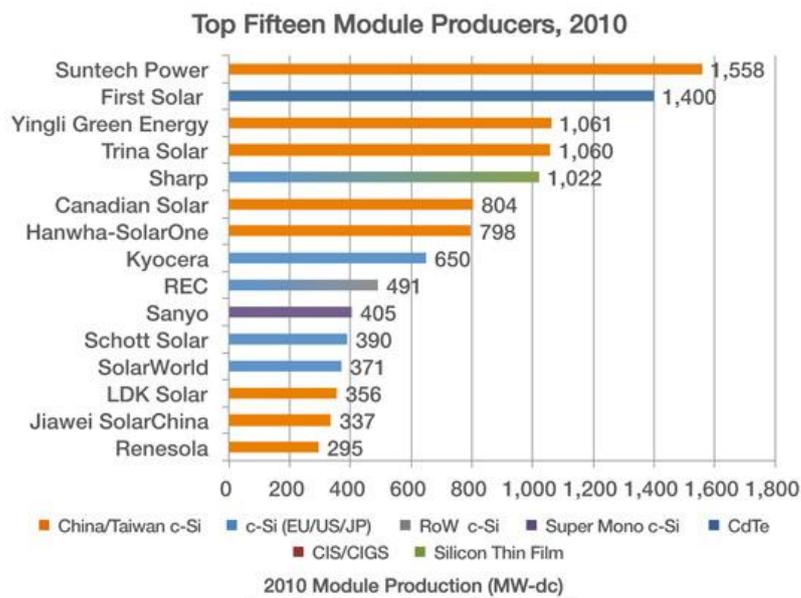
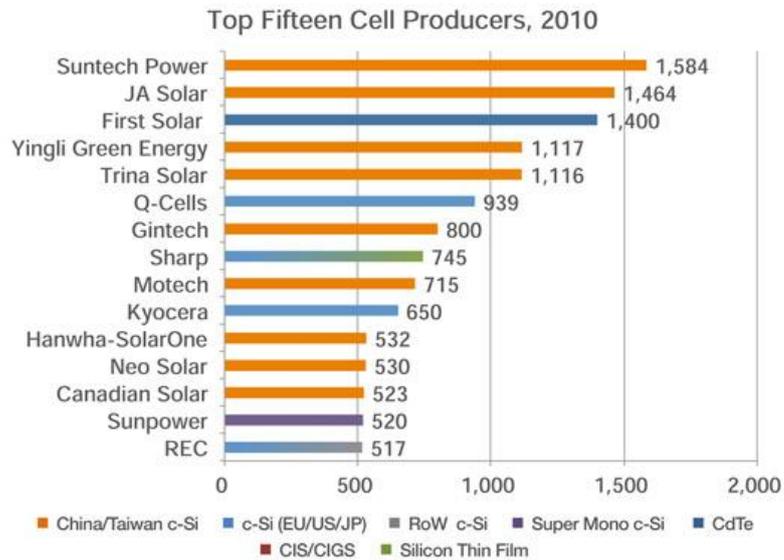


Abbildung 2-14: Top 15 der Zell- und Modulhersteller im Jahr 2010.  
(Quelle: GTM Research (Mehta, 2011))

Der massive Zubau in Asien überstieg deutlich die gleichzeitig nicht in selben Maß wachsende Nachfrage und führte ab 2011 und bis heute zu einer massiven Überkapazität an PV-Modulen im Markt.

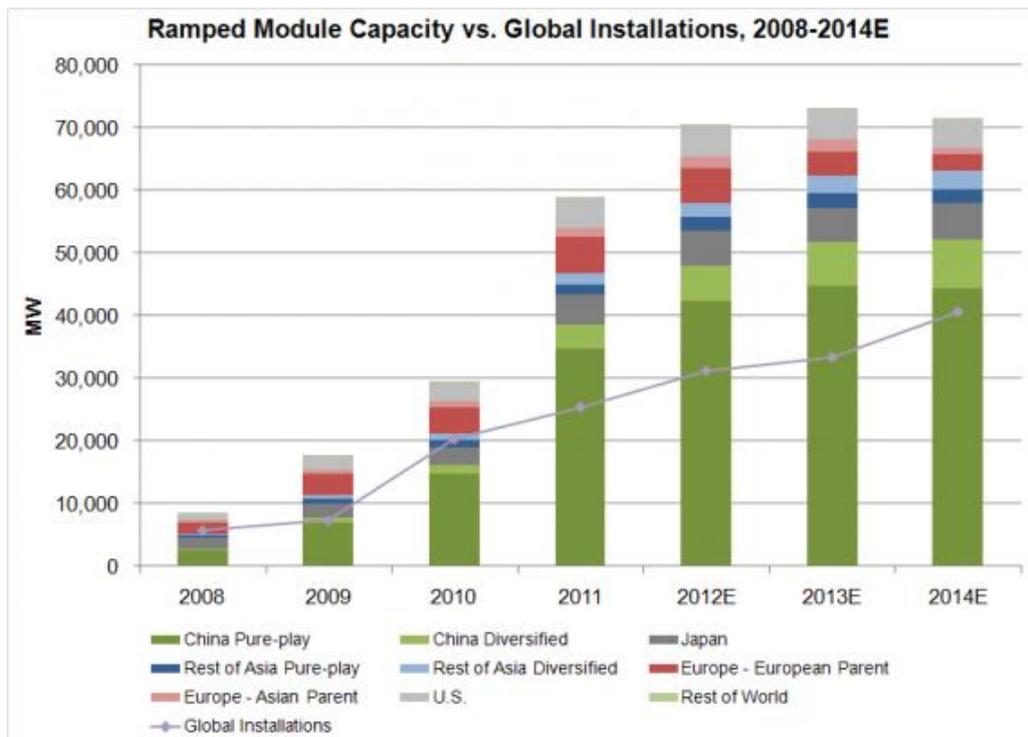


Abbildung 2-15: Prognose der PV-Produktionskapazität und PV-Installationen aus dem Jahr 2012 von GTM Research (Mehta, 2012))

Dies verschärfte die Situation des weltweiten Überangebots an PV-Modulen weiter. Nahezu alle Hersteller mussten ihre Module in 2012 unter ihren Selbstkosten verkaufen. Daher mussten auch sämtliche Top 10 PV-Hersteller weltweit immense Verluste von meist mehreren hundert Millionen US-Dollar hinnehmen. Abbildung 2-16 zeigt den Nettoverlust großer PV-Produzenten im Jahr 2012.

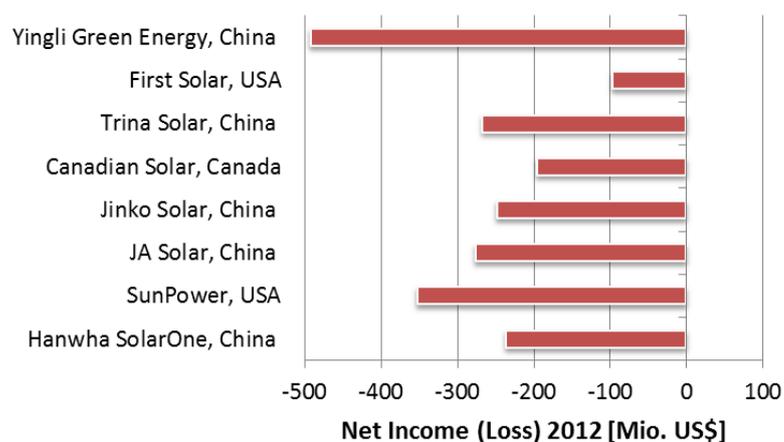


Abbildung 2-16: Net Income großer PV-Produzenten im Jahr 2012. (Alle Angaben ohne Gewähr; teilweise nicht nach GAAP; Quelle: Unternehmensmitteilungen)

Aufgrund des massiven Preiskampfes mussten einige ehemalige deutsche und europäische Solarpioniere in den Jahren 2010 bis heute Werke schließen, Insolvenz anmelden (wie Conergy, Q-Cells, Sunways) oder beendeten ihre Solaraktivität komplett (wie Schott Solar). Abbildung 2-17 zeigt eine entsprechende Übersicht von in 2011 und 2012 betroffenen Unternehmen. Zudem nutzen vornehmlich asiatische Unternehmen die Gunst der Stunde und das ihnen leichter zur Verfügung stehende Kapital und übernahmen deutsche und europäische Hersteller (bspw. Q-Cells von Hanwha, Sunways von LDK Solar). Hierbei ist jedoch anzumerken, dass auch chinesische Hersteller von der aktuellen Marktlage nicht gefeit sind. Suntech, in 2010 noch größter PV-Hersteller der Welt, musste im März 2013 ebenfalls Insolvenz anmelden.

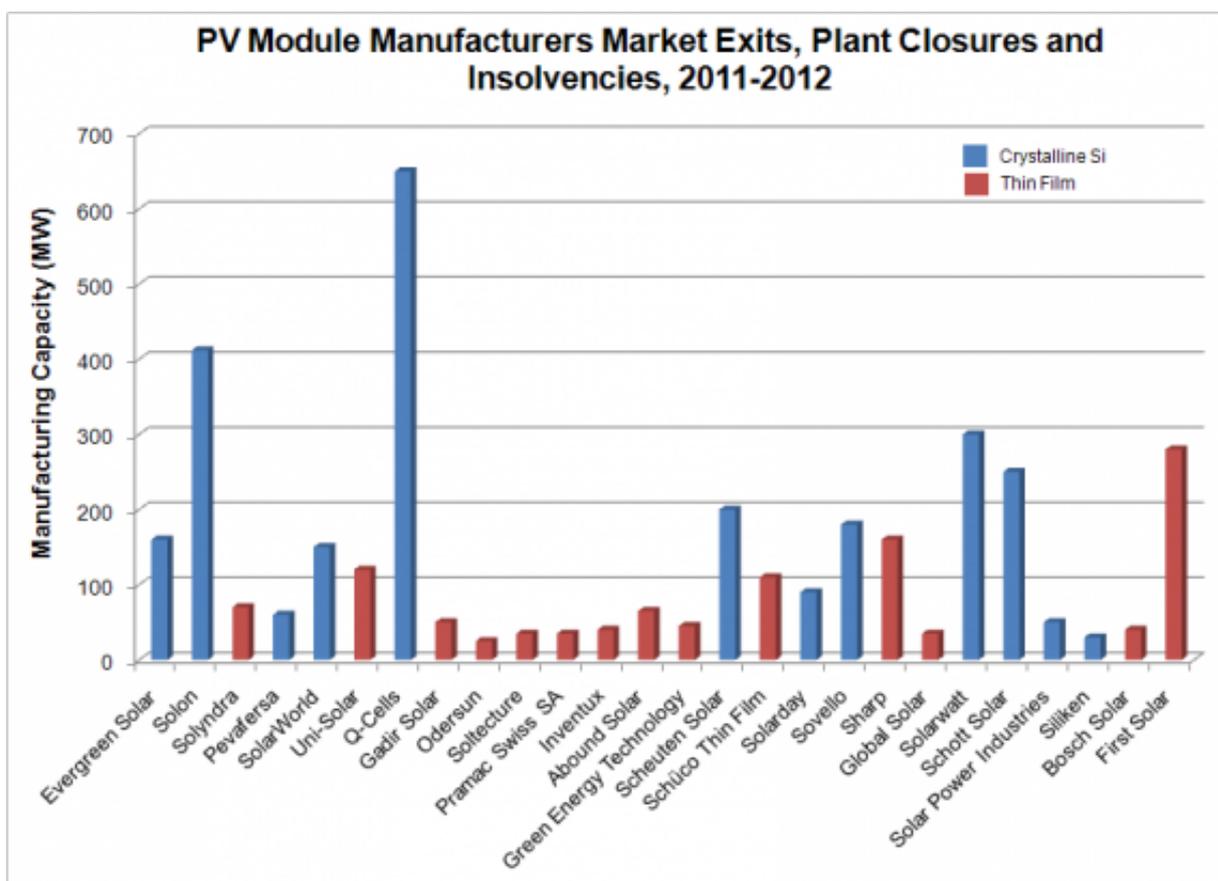


Abbildung 2-17: Im Zusammenhang mit der PV-Markt-konsolidierung nicht mehr am Markt befindliche Produktionskapazität in 2011 und 2012 nach Technologie und Hersteller (Mehta, 2012)

Zu Beginn 2013 waren die norwegische REC Group, die deutsche SolarWorld AG und BOSCH SE die letzten verblieben europäischen PV-Modulhersteller mit Produktionskapazitäten von über 500 MWp/a. BOSCH hat inzwischen entschlossen seine PV-Aktivität ebenfalls zu beenden und einen Teil seiner Produktionsstätte an die SolarWorld AG veräußert.

Tabelle 2-1 zeigt eine Übersicht der TOP 20 PV-Modulhersteller nach Produktionsvolumen in 2011 & 2012. In Asien sind seit 2010 neue Hersteller hinzugekommen und trotz der globalen Überkapazität haben die meisten Hersteller ihre Produktion ausgebaut. Die Top-10-Hersteller hatten in 2012 ein Produktionsvolumen von 1-2 GWp/a, fast alle in den Top-20 produzierten mehr als 0,5 GWp/a. Die SolarWorld AG rangiert als einziges deutsches Unternehmen auf Platz 16 mit einem Produktionsvolumen von 608 MWp/a in 2012. Für Ende 2013 wird erwartet dass mehrere Top-10-Hersteller ein Produktionsausstoß von 2-3 GWp/a erreichen werden.

**Tabelle 2-1: Übersicht der TOP 20 PV-Modulhersteller nach Produktionsvolumen in 2011 & 2012 [MWp/a] (Quelle: IHS Integrated PV Market Tracker Q1 2013, PV Module Supplier Data, PSE AG)**

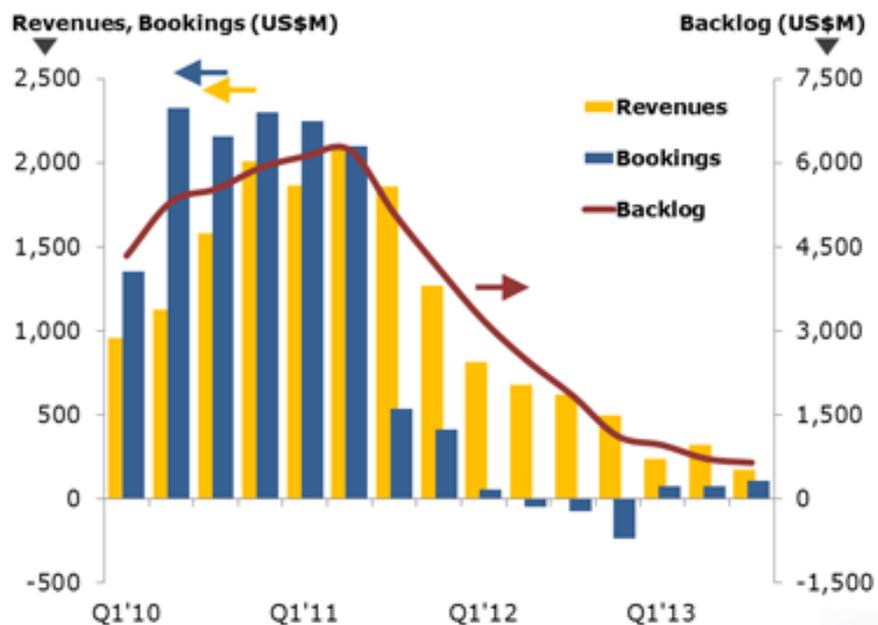
	<b>Firma</b>	<b>Zentrale</b>	<b>Technologie</b>	<b>2011</b>		<b>2012</b>
<b>1</b>	First Solar	USA	CdTe	1981	↘	1875
<b>2</b>	Yingli	China	c-Si	1395	↗	1850
<b>3</b>	Trina Solar	China	c-Si	1560	↗	1700
<b>4</b>	Suntech	China	c-Si	2022	↘	1505
<b>5</b>	Canadian Solar	Kanada	c-Si	1355	↗	1485
<b>6</b>	Sharp	Japan	a-Si	1110	→	1077
<b>7</b>	Hanwha Q-Cells	Südkorea	c-Si	909	↗	1066
<b>8</b>	JA Solar	China	c-Si	487	↗	953
<b>9</b>	Flextronics	Singapur	c-Si		↗	885
<b>10</b>	Jinko Solar	China	c-Si	781	↗	860
<b>11</b>	Sunpower	USA	c-Si	640	↗	848
<b>12</b>	Hareon Solar	China	c-Si	428	↗	818
<b>13</b>	Jabil	China	c-Si		↗	800
<b>14</b>	REC Group	Norwegen	c-Si	607	↗	722
<b>15</b>	Solar Frontier	Japan	CIGS	380	↗	655
<b>16</b>	<b>SolarWorld</b>	<b>Deutschland</b>	<b>c-Si</b>	<b>550</b>	↗	<b>608</b>
<b>17</b>	Renesolar	China	c-Si	285	↗	590
<b>18</b>	Kyocera	Japan	c-Si	255	↗	545
<b>19</b>	Astroenergy	China	c-Si	298	↗	480
<b>20</b>	LG	Südkorea	c-Si	281	↗	471

**Tabelle 2-2: Übersicht der TOP 10 PV-Wechselrichter Hersteller in 2011 & 2012 nach globalem Umsatzanteil (Quelle: IHS Integrated PV Market Tracker Q1 2013, PSE AG)**

Firma	Zentrale	2011	Q1'12	Q2'12	Q3'12	Q4'12	2012
<b>1 SMA</b>	<b>Deutschland</b>	<b>27,4%</b>	<b>32,0%</b>	<b>26,9%</b>	<b>23,6%</b>	<b>18,9%</b>	<b>25,2%</b>
2 ABB/PowerOne	Schweiz/USA	10,1%	8,7%	12,8%	11,0%	6,8%	10,0%
3 Omron Corp.	Japan	<2%	<2%	<2%	2,5%	3,8%	2,4%
4 Sungrow	China	<2%	<2%	<2%	<2%	3,3%	<2%
5 Advan. Energy	USA	2,7%	2,8%	2,7%	3,3%	3,3%	3,0%
<b>6 Kaco</b>	<b>Deutschland</b>	<b>4,3%</b>	<b>3,8%</b>	<b>4,0%</b>	<b>3,5%</b>	<b>3,1%</b>	<b>3,6%</b>
7 Tabuchi	Japan	<2%	<2%	<2%	2,0%	3,1%	<2%
8 Enphase Energy	USA	2,1%	2,3%	2,5%	2,6%	2,6%	2,5%
9 SolarEdge	Israel	<2%	2,1%	<2%	<2%	2,4%	<2%
10 Fronius	Österreich	3,8%	3,4%	3,0%	2,4%	2,4%	2,8%

Die Jahre 2009 bis 2011 waren hingegen für deutsche Equipment-Hersteller, die damals und auch heute noch einen Großteil der PV-Fertigungen beliefern, eine prosperierende Zeit. Diese haben bis 2011 vom massiven PV-Kapazitätsausbau immens profitiert, als sie den Großteil der chinesischen und taiwanesischen Produzenten mit neuestem Produktionsequipment ausstatteten. Abbildung 2-18 zeigt eine Übersicht der Umsätze, Buchungen und Auftragsbestände der PV-Equipment-Zulieferindustrie von 2010 bis zum 3. Quartal 2013.

**PV Equipment Spending Metrics for Top-10 Suppliers**



*Abbildung 2-18: Übersicht der Umsätze (gelb), Auftragseingänge (blau) und Auftragsbestände (rot) der PV-Equipment-Zulieferindustrie seit Beginn 2010 (Quelle NPD Solarbuzz)*

Während die Equipment-Zulieferer in 2010 und im ersten Halbjahr 2011 kaum mit der Produktion hinterher kamen, brach der Markt Mitte 2011 aufgrund der bereits real existierenden Produktionsüberkapazität massiv ein. In Abbildung 2-18 ist zu erkennen, dass die Auftragseingänge für die Quartale zwei bis vier in 2012 ein negatives Saldo aufweisen, was bedeutet, dass jeweils ein höheres Auftragsvolumen storniert wurde als neu eingegangen war.

Seitdem hat sich der PV-Zuliefermarkt aufgrund der anhaltenden Überkapazität nicht erholt. Zudem ist aufgrund der Vielzahl an Insolvenzen und Geschäftsaufgaben ein Zweitmarkt für gebrauchtes PV-Equipment entstanden.

Deutsche PV-Anlagenbauer, technologisch führend in der Branche, haben seit nunmehr fast zwei Jahren fast keine Aufträge erhalten. Die Baden-Württembergische Centrotherm Photovoltaics AG, die zu den weltweit führenden Anbietern an PV-Anlagenherstellern gehört, aber neben der PV-Industrie keine weitere Branche beliefert, musste Mitte 2012 Gläubigerschutz anmelden und ist aktuell dabei sich neu zu strukturieren.

### 2.1.3 Marktentwicklungsszenarien Photovoltaik

Wie zuvor gezeigt, wird in vielen Regionen der Welt eine verstärkte Nachfrage nach PV-Modulen erwartet. Die gesamte Branche stellt sich die Frage wann Angebot und Nachfrage wieder zu einem gesunden Verhältnis finden.

Kurzfristig beobachtet NPD Solarbuzz aufgrund des hohen Nachfrageschubs aus China bei den größten sogenannten Tier1-Herstellern bereits ein Anstieg der Fabrikauslastungsraten von nur ~60 % Ende 2012 zu aktuell 75-80 % und erwartet für das Jahr 2014 stabile Auslastungsraten von um die 80 % entlang der gesamten PV-Wertschöpfungskette.

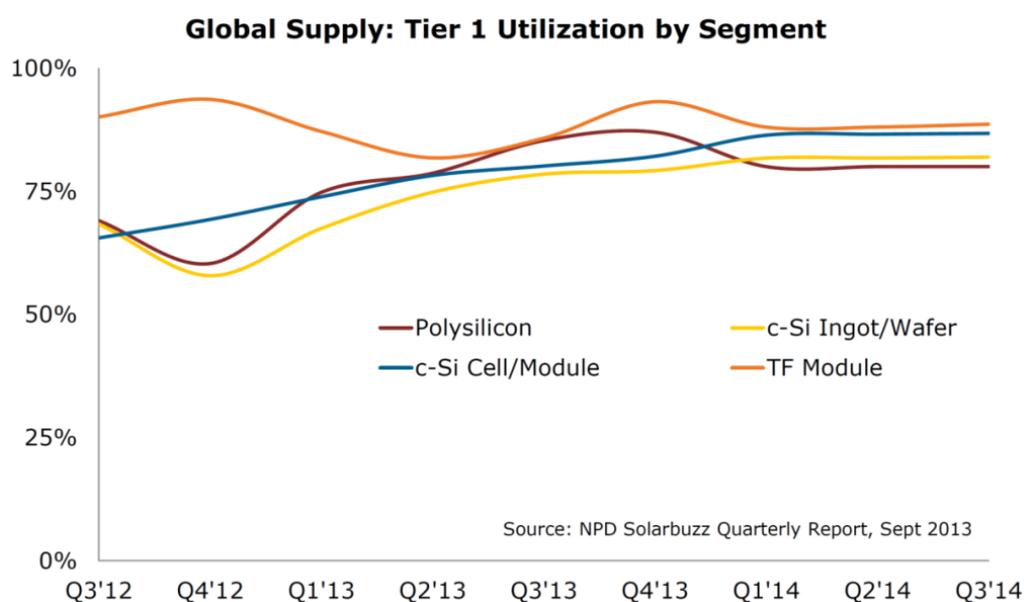


Abbildung 2-19: Aktuelle und erwartete Auslastung von Tier1-Herstellern bis Q3 2014, Quelle: (Colville, 2012) NPD Solarbuzz Quarterly Report, 2013

Mittelfristig ist für einen gesunden PV-Markt erforderlich, dass nicht nur die größten und besten Hersteller ihre Auslastung wieder erhöhen, sondern dass sich die globale Überkapazität reduziert. Für den PV-Equipmentmarkt ist entscheidend, ab wann wieder neue Produktionslinien bestellt werden, wie lange die Unternehmen noch die Flaute überstehen müssen. Abbildung 2 20, Abbildung 2 21 und Abbildung 2 22 zeigen mittelfristige Marktprognosen der Analysten IHS, Lux Research und EPIA. Alle drei Szenarien sagen für die nächsten Jahre eine deutliche Reduzierung der Überkapazität und für 2016 bis 2017 wieder gesunde Marktverhältnisse voraus.

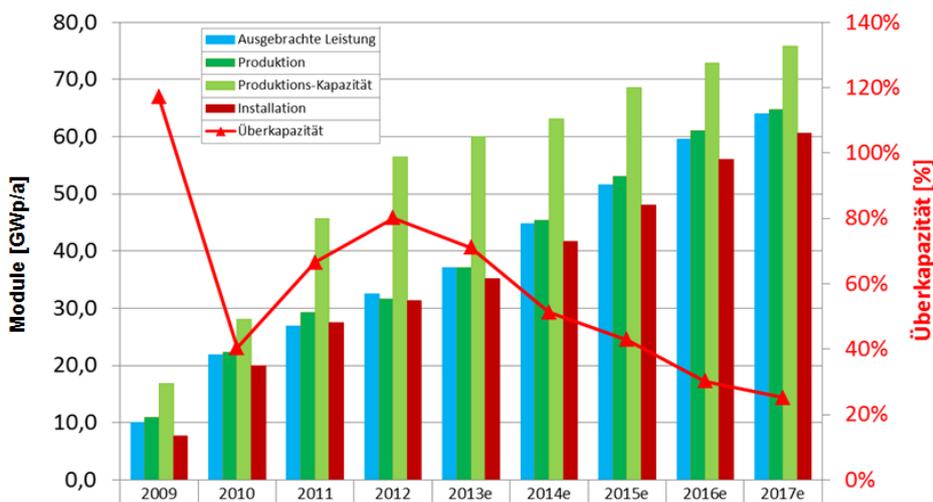


Abbildung 2-20: Prognose der Entwicklung von Angebot und Nachfrage im globalen PV-Markt von IHS Research, Graph: PSE AG

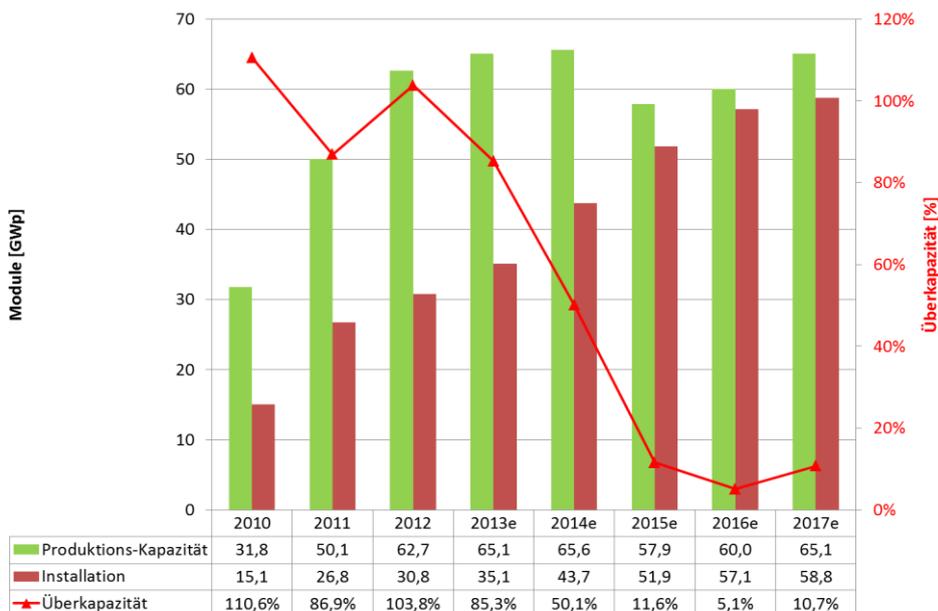


Abbildung 2-21: Prognose der Entwicklung von Angebot und Nachfrage im globalen PV-Markt von Lux Research Inc., Graph: PSE AG

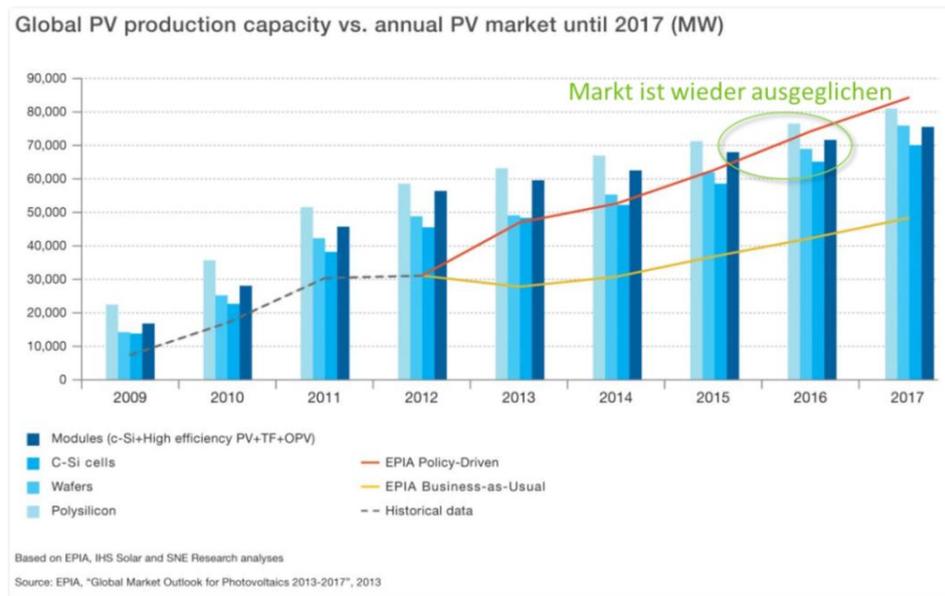


Abbildung 2-22: Prognose der Entwicklung von Angebot und Nachfrage im globalen PV-Markt von EPIA, Graph: PSE AG

Das Marktwachstum der kommenden Jahren wird dabei laut NPD Solarbuzz im Wesentlichen auf den Zubau von großen Freiflächenanlagen sowie PV-Kraftwerken auf Gebäuden mit einer Kraftwerksleistung von über 100 kWp basieren, welche im Zeitraum von 2013 bis 2017 ~70 % des Marktvolumens einnehmen werden.

### 5 Year Application Demand: 2013-2017

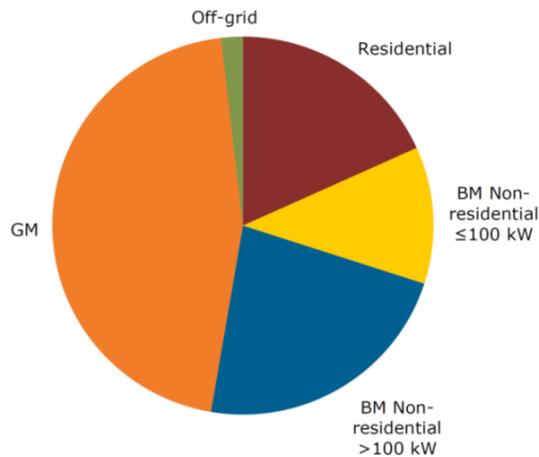


Abbildung 2-23: Erwartete Verteilung der in den nächsten 5 Jahren errichteten PV-Kraftwerke nach Größe und Anwendung GM = Ground-Mount, BM = Building-Mount Quelle: NPD Solarbuzz Marketbuzz Report, 03/13

### **Diskussion der Zukunft des globalen PV-Marktes**

Die gezeigten Marktentwicklungsszenarien geben jedoch keinen Aufschluss darüber in welcher Form sich die der globale PV-Markt über 2017 hinaus entwickeln wird. Der massive Ausbau der PV-Produktionskapazität innerhalb der letzten Jahre in China führte zu einem Markt der zu einem großen Anteil aus China beliefert wird, wie es in anderen Industrien der Fall ist. Trotzdem sind aktuell viele Länder daran interessiert eigene, lokale PV-Produktionskapazität aufzubauen.

Zur Basis der Diskussion über eine mittel- und langfristig denkbare Marktstruktur der PV-Industrie sind nachfolgend (in Anlehnung an [Herbst2013]) zwei Extremfälle mit ihren Charakteristika dargestellt:

#### Extremfall 1: „Local for Global“

Der globale PV-Markt ist in Analogie zur z.B. LCD- und Halbleiterproduktion durch eine hoch spezialisierte und extrem kostengünstige Produktion ausschließlich in Asien charakterisiert. Es gibt nur noch wenige Länder mit einer eigenen PV-Produktion die den weltweiten Markt bedienen. In jeder Wertschöpfungsstufe verbleiben nur noch wenige und sehr große Unternehmen, welche Spezialisten ihrer eigenen und proprietären Technologie darstellen.

#### Extremfall 2: „Local for Local“

Der globale PV-Markt ist in Analogie zur z.B. Glasherstellung durch Produktionen in unmittelbarer Nähe oder direkt am Zielmarkt charakterisiert. Die Produktion findet nahe dem End-Markt (PV-Installation) statt. Je nach Stufe der Wertschöpfung wird bei jeweils optimalen Bedingungen produziert. Es wird große, aber auch kleinere Produzenten geben, welche keine eigene Entwicklung betreiben.

Es ist davon auszugehen, dass keines der beiden Extremszenarien eintreten wird, sondern sowohl große Produzenten die den weltweiten Markt bedienen als auch kleinere, lokale Produktionen, die nahe ihres Endmarktes fertigen. Nachfolgend sind stichpunktartig die motivierenden Argumente für beide Produktionsformen dargestellt:

Warum es auch lokale Produktionen geben wird:

- Politische Motivationen in neuen Märkten; Schaffung von Arbeitsplätzen
- Absicherung gegenüber ungewissem Ergebnis der Handelsstreitigkeiten
- Energiethema ist sensibel
- Bei sinkenden Modulpreisen nimmt der Transportkostenanteil zu
- Kostenvorteile in Asien reduzieren sich durch steigende Löhne
- An lokale Marktgegebenheiten angepasste Produkte werden vor Ort produziert

Daneben bleiben große Produzenten bestehen:

- Hohe Wettbewerbsstärke bestehender GW-Produzenten auf Grund von Skaleneffekten usw.
- Zulieferkette in Asien und Europa ist bereits ausgebaut und etabliert
- Massenmarkt wird von ihnen bedient

Die Zukunft des globalen PV-Marktes wird voraussichtlich eine Kombination beider Extrem-Szenarien sein: der X-GW-skaligen und weltweit den Massenmarkt bedienenden Produktionen sowie von lokalen Fertigungen die nahe des Endmarktes produzieren und der lokalen Wertschöpfung im sensiblen Bereich der Energieerzeugung dienen.

## 2.1.4 Entwicklung der PV-Modul- und Systempreise

Die PV-Modul und Systempreise haben in den Jahren und Jahrzehnten eine unwahrscheinliche Entwicklung erfahren. Abbildung 2-24 zeigt die Entwicklung der PV-Systempreise von Aufdach-Anlagen in Deutschland. Während der durchschnittliche Systempreis in 2006 noch bei 5.000 €/kWp lag, ist er bis Mitte 2013 auf 1.377 €/kWp gesunken. Dies entspricht einer Kostenreduktion von über 70 %. Die Preise für PV-Module sanken im selben Zeitraum um 80 %.

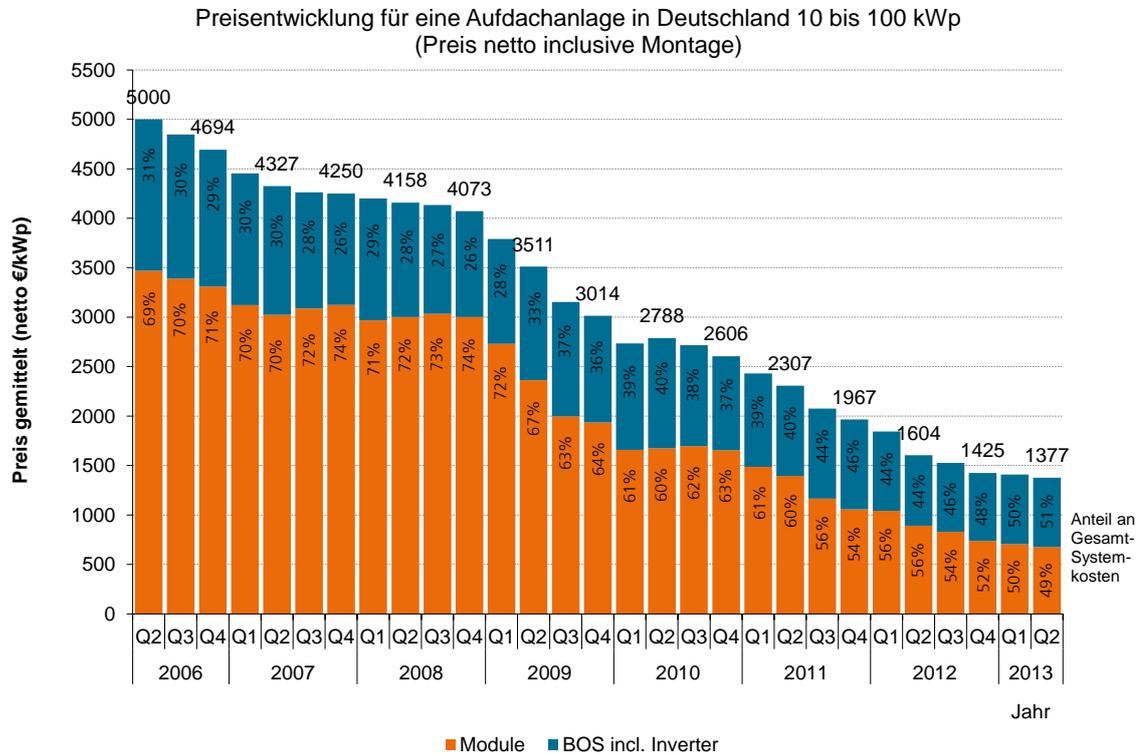


Abbildung 2-24: Entwicklung der Marktpreise für PV-Systeme dessen Anteil an Modul- und BOS-Kosten von 2006 bis Q2/2013. (BOS steht für Balance-of-System, und bezeichnet sämtliche Kostenanteile inkl. Planung und Installation neben den Kosten der PV-Module), Quelle: EuPD / BSW-Solar Q2-2013; Graph: PSE AG

Der enorme Preisrückgang für PV-Systeme und –Module der letzten Jahre ist zum einen auf die eine Steigerung derer Modulwirkungsgrade durch verbesserte Technologien zurückzuführen aber zum anderen und wesentlichen Teil auf die Entwicklung der PV-Industrie von kleinen Fertigungen zu einem Massenmarkt mit großen optimierten PV-Fabriken.

Abbildung 2-25 gibt (links) die Entwicklung der PV-Modulpreise seit Beginn 2009 wieder. Der durch die 2011 entstandene Überkapazität im Markt entstandene Preiskampf ist deutlich an am extremen Verfall der Preise zu erkennen. Trotz negativer Margen drückten vor allem Hersteller aus China die Preise, was zu einem ruinösen Markt für sämtliche Hersteller führte die über keine ausreichenden Kapitalreserven oder finanzielle Unterstützung verfügten. Mitte 2012 sind die Preise

relativ stabil auf einem immer noch für viele Hersteller relativ niedrigen Niveau von knapp 60 €/Wp. Im März 2013 erfolgte eine Einführung von Antidumping-Importzöllen auf chinesische Module in Europa. Seitdem sind die Modulpreise in Europa auf einem Niveau von 57 €/Wp „eingefroren“.

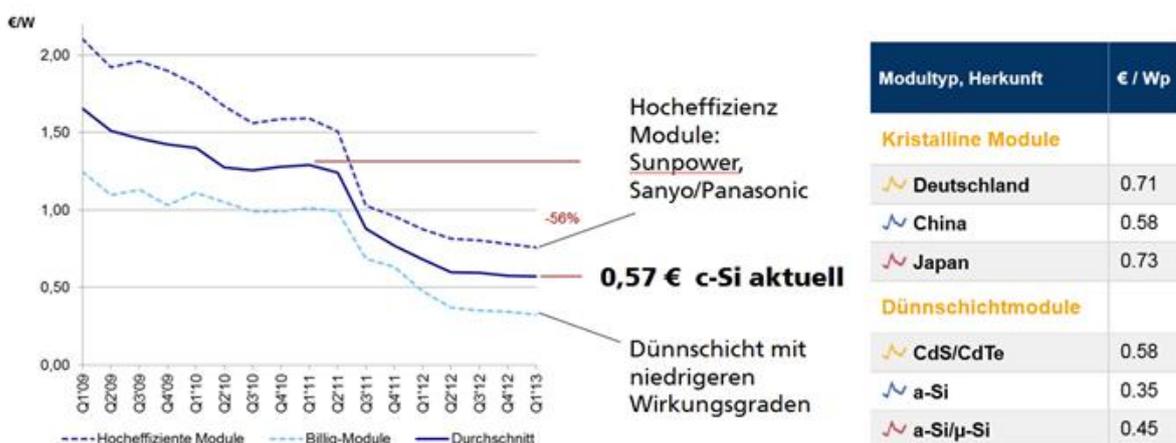


Abbildung 2-25: Links: Entwicklung der PV-Modulpreise seit Beginn 2009, Quelle: IHS, Graph: PSE AG. Rechts: PV-Modulpreise für kristalline Silicium-Module nach Herkunft und für Dünnschichtmodule nach Technologie im Oktober 2013, Quelle: pvXchange

Abbildung 2-26 zeigt die Preis-Erfahrungskurve der von PV-Modultechnologien seit 1980, welche die Entwicklung der Produktionskosten mit der kumulierten Produktion gegenüberstellt. Mit jeder Verdopplung der kumulierten Produktion fielen die Preise für PV-Technologien seit 1980 um durchschnittlich 19.6 %. Dieser Wert wird auch als Lernrate einer Technologie bezeichnet.

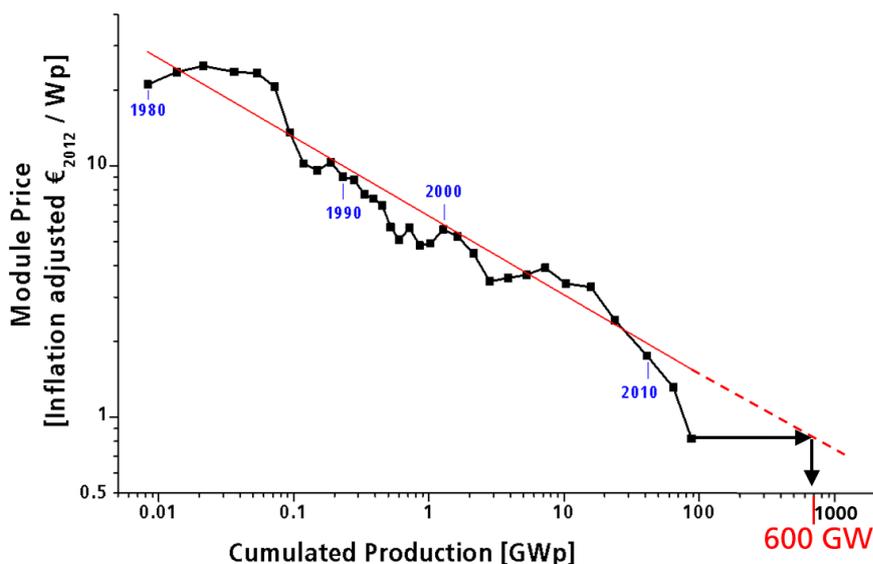


Abbildung 2-26: Preis-Erfahrungskurve von PV-Modultechnologien seit 1980. Daten: Navigant Consulting; EUPD Modulpreise (seit 2006) Graph: PSE AG 2012;

Seit 2009 ist ein deutliches Unterschreiten der Preis-Erfahrungskurve zu beobachten. Blieben die aktuellen Modulpreise konstant, würde eine Rückkehr zur Preis-Erfahrungskurve bei einer kumulierten Produktion von 600 GWp/a erfolgen. Hierzu sind zwei Dinge festzustellen: zum einen, dass die extremen Preisrückgänge für PV-Module seit 2010 und insbesondere in 2011 nicht auf technologieinduzierte Entwicklungen sondern auf marktgetriebene Effekte zurückzuführen sind. Zum anderen – hinsichtlich der enormen Produktionsmenge von 600 GWp/a benötigter Produktionsmenge zur Rückkehr auf die Preis-Erfahrungskurve – darf die Frage gestellt werden, ob die Lernrate der Photovoltaik nicht doch über 19,6 % liegt und deren Preis-Erfahrungskurve neu gezeichnet werden sollte?

### 2.1.5 Entwicklung der PV-Stromgestehungskosten

Die Stromgestehungskosten von photovoltaisch erzeugtem Strom sind analog zur Reduktion der PV-Systemkosten in den letzten Jahren erheblich gesunken. Stromgestehungskosten bezeichnen das Verhältnis des von der Anlage über die Lebensdauer bereitgestellten Stromes zu den über ihre Lebenszeit anfallenden Kosten.

Das deutsche EEG war Initiator für das deutsche und nun auch globale Marktwachstum der Photovoltaik. Nach dem EEG werden Betreiber von Anlagen erneuerbarer Energien über einen Zeitraum von 20 Jahren feste Vergütungszahlungen für ihre Stromeinspeisung garantiert. Die EEG-Vergütungssätze musste aufgrund des darauf folgenden sehr starken Preisrückgangs von PV-Modulen und -Systemen mehrfach angepasst werden, um einer „Überförderung“ der Anlagenbetreiber entgegenzusteuern. EEG-Vergütungssätze entsprechen nicht den zu diesem Zeitpunkt bestehenden Stromgestehungskosten. Die Stromgestehungskosten liegen jedoch in jedem Fall unter der EEG-Vergütung, wenn diese eine für den Anlagenbetreiber wirtschaftlichen Betrieb der Anlage ermöglicht. Des Weiteren wird die EEG-Vergütung über 20 Jahre gewährt. Da die Lebenserwartung einer PV-Anlage jedoch über 20 Jahre liegt – viele Hersteller geben eine Garantie von 25 Jahre auf ihre PV-Module – ist dies ein weiterer Faktor, der die Stromgestehungskosten zu Vergütung einer per EEG finanzierten Anlage verringert

In Abbildung 2-27 sind die EEG-Vergütungssätze von PV und Wind den Strompreisen für Industrie und Haushalte in Deutschland von 2000 bis heute und deren Erwartung bis 2020 gegenübergestellt (Fraunhofer ISE, Stand 18.03.2013).

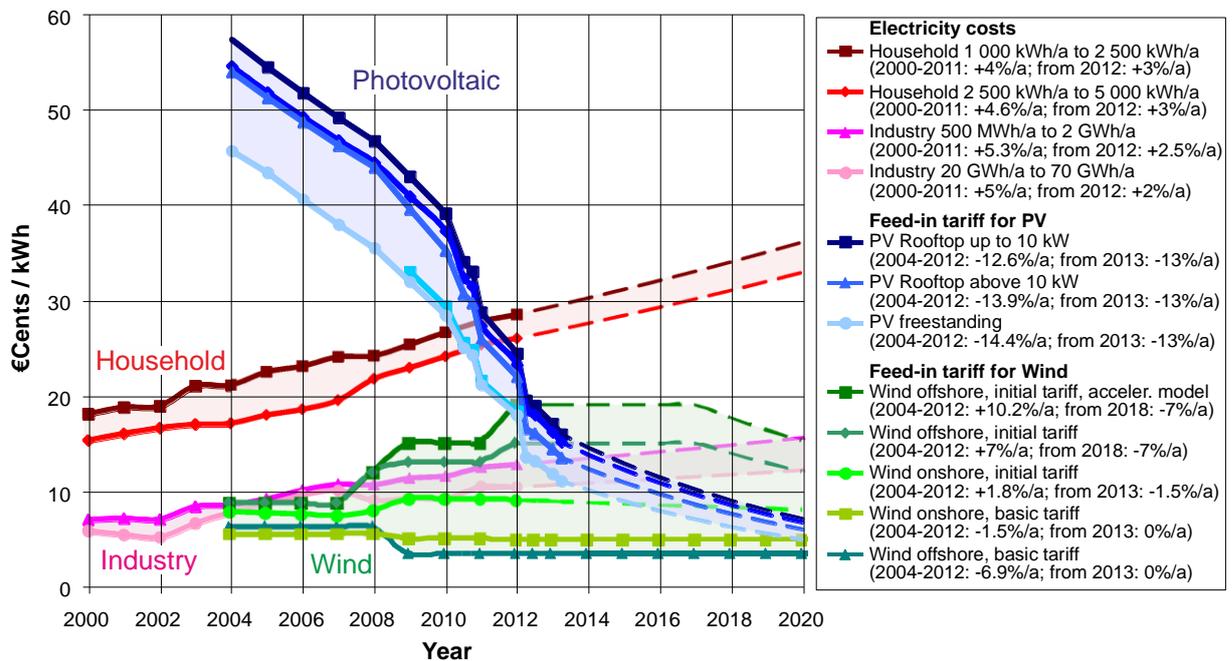


Abbildung 2-27: Entwicklung der Einspeisevergütung für PV und Wind im Vergleich zu den Haushalts- und Industriestrompreisen in Deutschland (Quelle: B. Burger - Fraunhofer ISE, BMU, EEG 2013 und BMWi Energiedaten. Stand: 18.04.2013)

Nimmt man die EEG-Vergütung als Maßstab, ist die Stromerzeugung per Photovoltaik in Deutschland seit 2011 günstiger als der durchschnittliche deutsche Haushaltsstrompreis und wird bis 2015 den durchschnittlichen Industriestrompreis unterschreiten. Der EEG-Vergütungssatz große PV-Kraftwerke ab 1 MWp und Freiflächenanlagen hat mit aktuell 9,61 €ct/kWh den Industriestrompreis schon unterschritten. Hierzu ist jedoch anzumerken, dass der Markt für große PV-Kraftwerke in Deutschland in diesem Jahr eingebrochen ist. Dies spricht dafür, dass die Stromgestehungskosten von großen PV-Anlagen nur noch an sehr guten Standorten im Süden Deutschlands unter der aktuellen Einspeisevergütung liegen.

Das Fraunhofer ISE hat im November 2013 ein Update der „Studie Stromgestehungskosten Erneuerbare Energien“ veröffentlicht, in welchem aktuelle Stromgestehungskosten erneuerbarer und konventioneller Stromerzeugungstechnologien gegenübergestellt werden und deren Entwicklung für bis 2030 prognostiziert wird (Abbildung 2-28). Demnach können kosteneffiziente PV-Freiflächenanlagen, die 2013 in Süddeutschland errichtet werden Stromgestehungskosten von rund 8 €ct/kWh erzielen. Kleine PV-Aufdach-Anlagen in Norddeutschland seien heute in der Lage, Strom für unter 14 €ct/kWh zu produzieren, und lägen damit weit unter dem durchschnittlichen Haushaltsstrompreis von 29 €ct/kWh. Als Referenzwerte zieht die Studie die Stromgestehungskosten von neuen konventionellen Braun-, Steinkohle- und Erdgaskraftwerken heran. Abhängig von den angenommenen Volllaststunden, Brennstoff- und CO<sub>2</sub>-Zertifikatspreisen liegen die Stromgestehungskosten von Braunkohle aktuell bei bis zu 5,3 €ct/kWh, von Steinkohle bei bis zu 8 €ct/kWh und von Gas- und Dampfkraftwerken (GuD) bei bis zu 9,8 €ct/kWh. Das Fraunhofer ISE geht davon aus, dass die Stromgestehungskosten für Photovoltaik bis 2030 auf 6 bis 9 €ct/kWh sinken werden. Damit könnten selbst kleine Aufdach-Anlagen mit

Onshore-Wind und den gestiegenen Stromgestehungskosten von Braunkohle-, Steinkohle- und GuD-Kraftwerken konkurrieren. Im Vergleich der erneuerbaren Energien untereinander zeigt sich, dass die Kosten von Photovoltaik- und Onshore-Windanlagen zukünftig auf dem gleichen Level deutlich unter 10 €/kWh liegen werden.

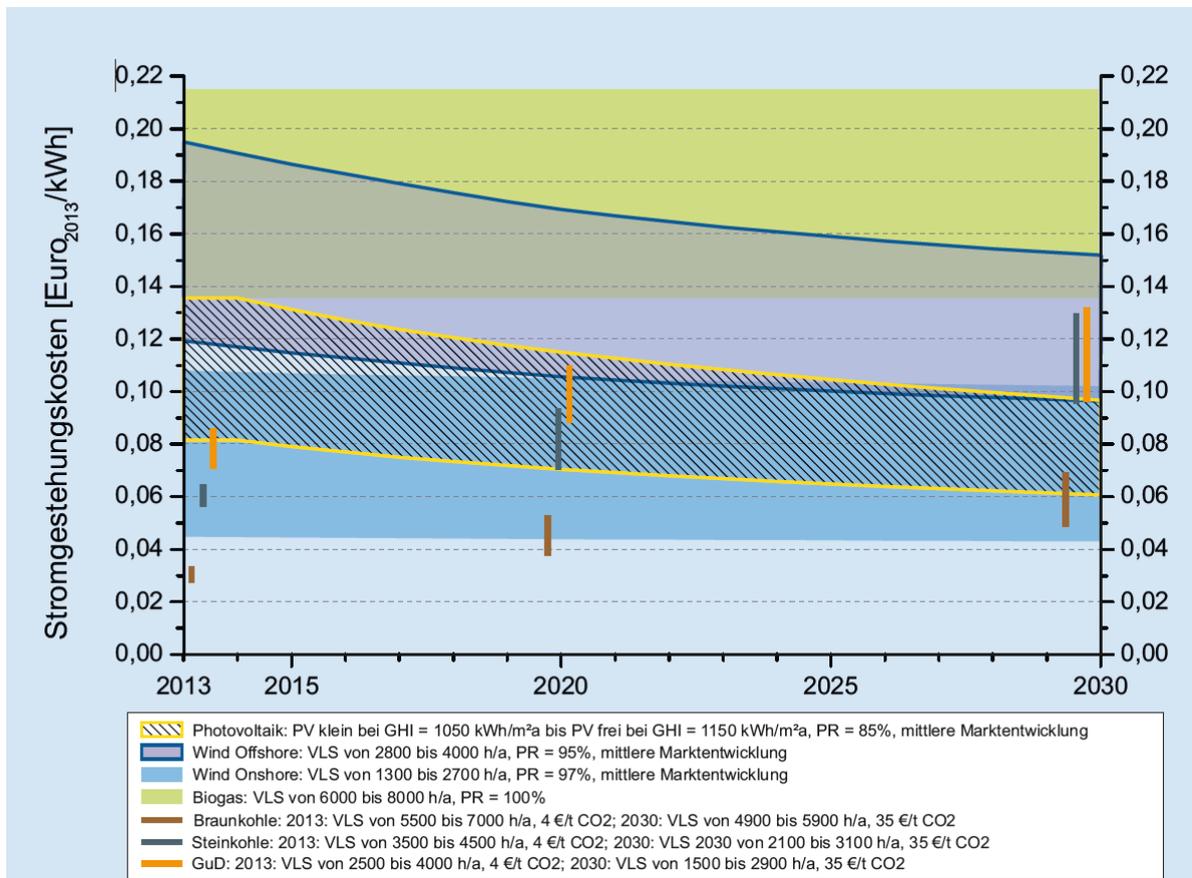


Abbildung 2-28: Lernkurvenbasierte Prognose von Stromgestehungskosten erneuerbarer Energien und konventionellen Kraftwerken in Deutschland bis 2030. „Studie Stromgestehungskosten Erneuerbare Energien (Update Nov. 2013)“, Fraunhofer ISE, 2013.

An Standorten mit hoher Solarstrahlung können heutzutage bereits Stromgestehungskosten von deutlich unter 8 €/kWh erzielt werden, wie eine weitere Berechnung der Studie zeigt (siehe Abbildung 2-29).

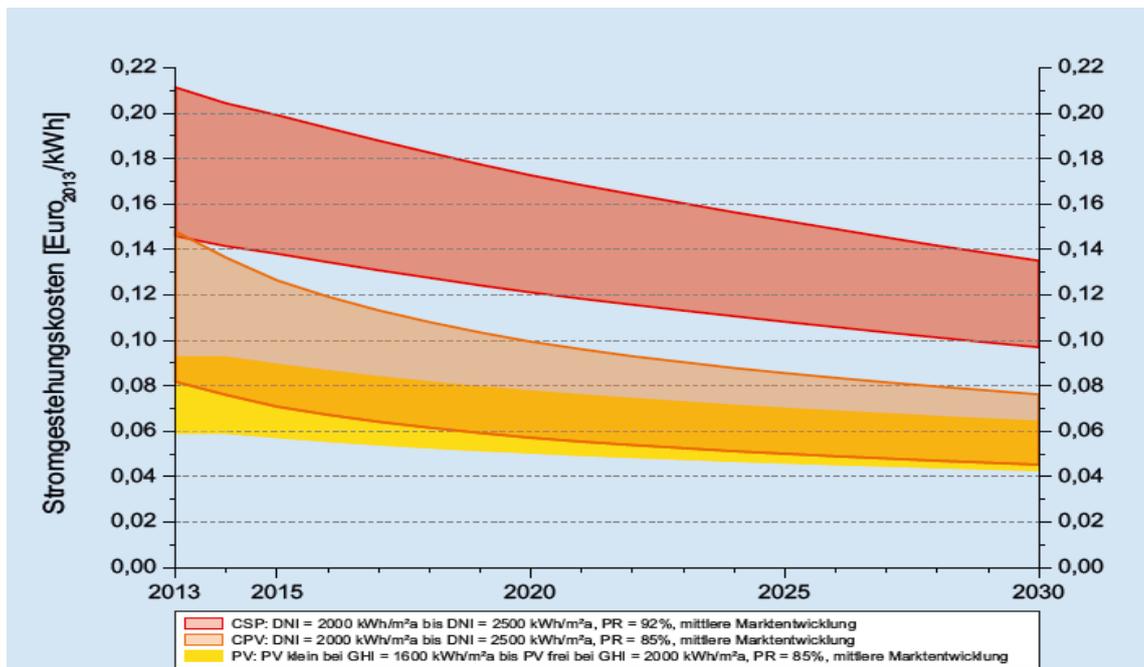


Abbildung 2-29: Lernkurvenbasierte Prognose von Stromgestehungskosten verschiedener Solartechnologien an Standorten mit hoher Solarstrahlung bis 2030. „Studie Stromgestehungskosten Erneuerbare Energien (Update Nov. 2013)“, Fraunhofer ISE, 2013.

In den USA wurden an Standorten mit hoher Einstrahlung wurden bereits Power-Purchase-Agreements (PPA) von PV-Kraftwerksbetreibern mit Energieversorgern abgeschlossen, welche unter dem vom Fraunhofer Abbildung 2-30 in Gelb dargestellten Band liegen. Das PV-Kraftwerk „Macho Springs“ in New Mexico liefert PV-Strom über 20 Jahre zu nominal 5,79 US\$ct/kWh liefern, was aktuell 4,3 €ct/kWh entspricht (Greentech Media, 2013). Hierbei ist jedoch anzumerken, dass der Staat den Betreiber für die ersten 10 Jahre ein Steuervorteil gewährt, wodurch sich ein realer PPA-Preis von 8,4 US\$ct/kWh ergibt, welches aktuell 6,3 €ct/kWh entspricht. Abbildung 2-31 zeigt eine Übersicht der durchschnittlicher Vergütungspreise von PPAs für von 2006 bis 2013 installierten PV-Kraftwerken in den USA. Es ist deutlich zu erkennen, wie die PPA-Preise und somit die Stromgestehungskosten für PV in den vergangenen Jahren gesunken sind und 2013 ein Niveau von deutlich unter \$100/MWh erreicht haben, womit sie auch in den USA mit konventionellen Energien wie beispielsweise der Stromerzeugung mit Kohlekraftwerken konkurrieren können.

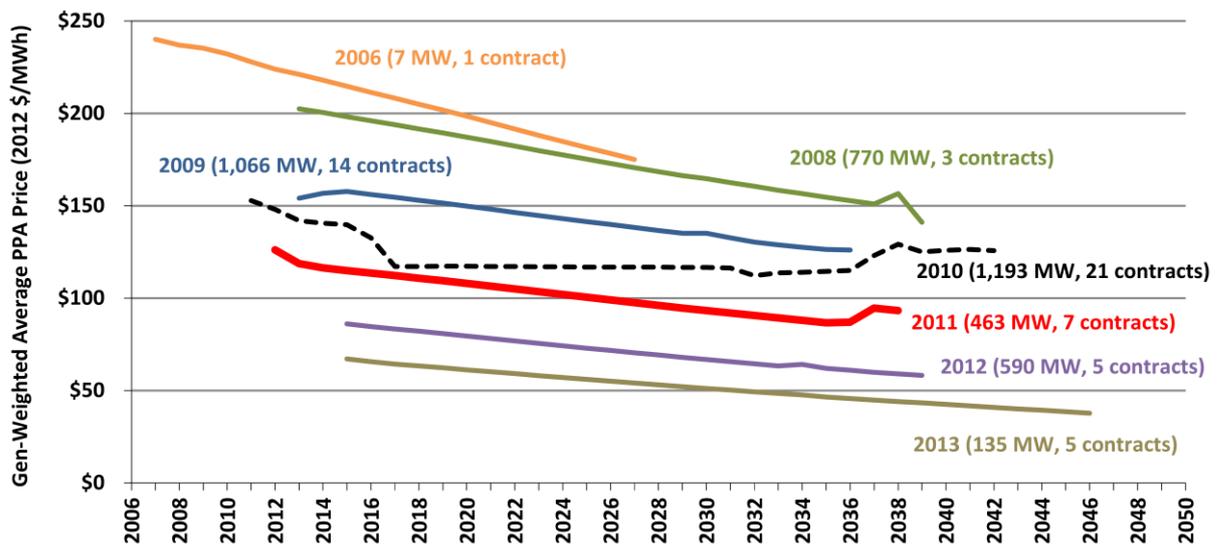


Abbildung 2-30: Durchschnittliche Vergütungspreise von PPAs für von 2006 bis 2013 installierten PV-Kraftwerken in den USA. Der nominal abgeschlossene PPA-Wert sinkt real über die Zeit, d.h. der reale Bezugspreis für den Energieversorger nimmt ab. (Bolinger and Weaver, 2013)

## 2.2 Überblick derzeitig und zukünftig relevanter PV-Technologien

Der PV-Markt wurde in der Vergangenheit bis heute im Wesentlichen durch zwei sich in der Produktion unterscheidende Technologien bestimmt: die kristalline Silicium (c-Si)-Photovoltaik und die Dünnschichtphotovoltaik (engl. Thin film). Die c-Si-Photovoltaik zeichnet sich durch die Integration von auf monokristallinen oder multikristallinen Siliciumscheiben basierenden Solarzellen aus, welche seriell in einem Solarmodul miteinander verschaltet werden. Die Dünnschicht-Photovoltaik ist durch das direkte Abscheiden von Solarzellen auf einer Glasscheibe aus und kann in drei marktrelevante Technologien eingeteilt werden, welche sich im Materialaufbau grundsätzlich unterscheiden: die Cadmium Tellurid (CdTe)-, Kupfer-Indium-Gallium-Diselenid (CIGS)- sowie Amorphe-Silicium (a-Si)-Dünnschicht-Technologie.

Abbildung 2-31 zeigt eine Übersicht der Marktanteile weltweit produzierten PV-Technologien von 1980 bis 2012. Solarmodule aus kristallinen Siliciumsolarzellen dominieren seit den Anfängen der Photovoltaik den Markt. Ende der 1980er Jahre sowie Ende des letzten Jahrzehnts war jeweils ein Anstieg des Marktanteils der Dünnschichtphotovoltaik zu verzeichnen, worauf sich die c-Si-PV aber beide Male einen Marktanteil 85-90 % zurück eroberte.

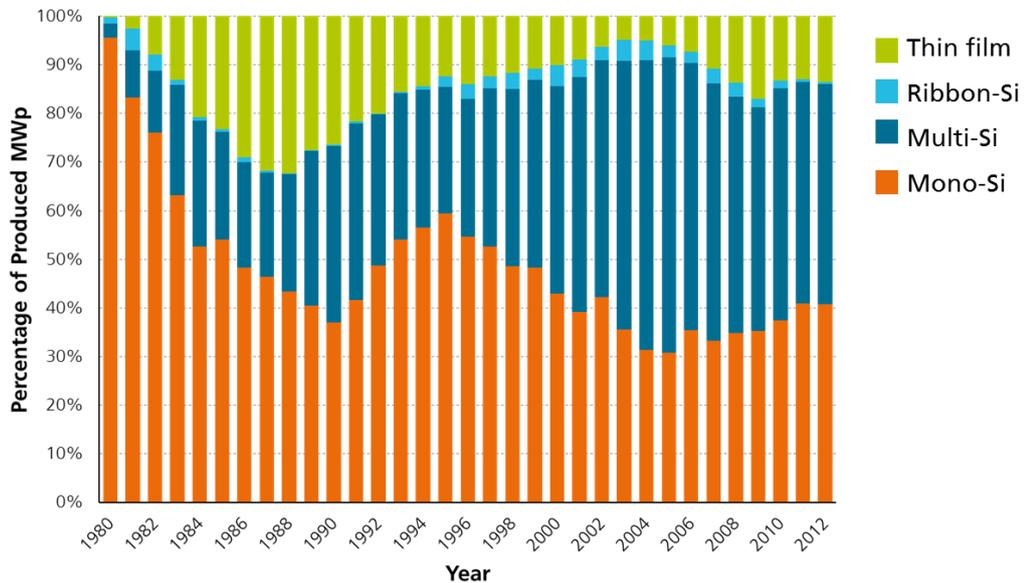


Abbildung 2-31: Übersicht der Marktanteile weltweit produzierten PV-Technologien von 1980 bis 2012, Daten: Navigant Consulting. Graph: PSE AG 2013

In Abbildung 2-32 ist links der Anteil der Dünnschicht-Photovoltaik am jährlichen globalen Produktionsvolumen von 2006 bis 2013 dargestellt. Die dort von NPD Solarbuzz ermittelten Dünnschicht-Anteile sind mit aktuell ca. 10 % sogar ein wenig geringer als die von Navigant Consulting ermittelten Zahlen mit ca. 13 %. In Abbildung 2-32 ist rechts das jährlichen Produktionsvolumen der drei am Markt befindlichen Dünnschicht-Technologien abgebildet. Den in 2013 größten Anteil mit ca. 1,8 GWp/a nimmt hierbei die CdTe-Technologie ein. Dahinter folgt die CIGS-Technologie mit einem jährlichen Produktionsvolumen von ca. 1,0 GWp/a ein, das Volumen von a-Si liegt deutlich unter einem GWp/a.

Hierbei ist anzumerken, dass der Markt der CdTe- sowie der CIGS-Technologie jeweils ausschließlich durch einem Hersteller dominiert wird. Für CdTe ist das die First Solar aus den USA, bei CIGS dominiert Solar Frontier aus Japan. Trotz ihrer technologischen Alleinstellung operieren beide Hersteller seit Jahren erfolgreich am PV-Markt.

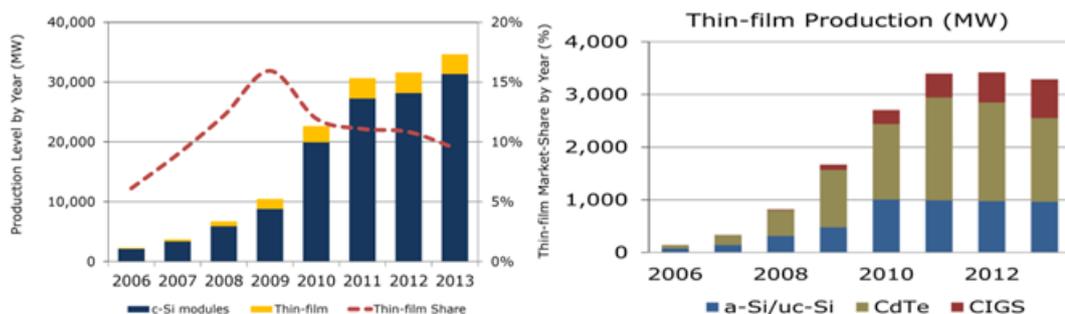


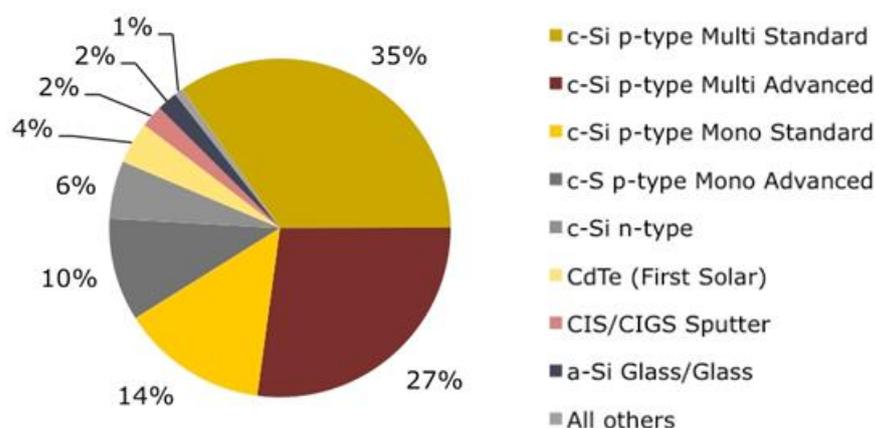
Abbildung 2-32: Anteil der Dünnschicht-Photovoltaik am jährlichen Produktionsvolumen (links) und mit Unterscheidung nach Technologie (rechts) von 2006 bis 2013, Quelle: NPD Solarbuzz Quarterly Report, 2013

Tabelle 2-3 zeigt den laut IHS Research Marktanteil von c-Si und Dünnschichttechnologien seit 2009 und deren zukünftig erwarteten Marktanteil bis 2017. IHS geht davon aus, dass der Marktanteil der CdTe- und der a-Si-Technologie zurückgehen wird, während der CIGS-Anteil konstant bleiben soll. Dies bedeutet, dass sie für die nächsten Jahre die Schaffung neuer CIGS-Produktionskapazität erwarten.

**Tabelle 2-3: Historischer und erwartete Marktanteil von Modultechnologien laut IHS Researchs**

	2009	2010	2011	2012	2013e	2014e	2015e	2016e	2017e	CAGR (12-17)
<b>c-Si</b>	82%	85%	85%	86%	89%	91%	92%	93%	92%	<b>2%</b>
<b>CdTe</b>	10%	6%	7%	6%	5%	4%	3%	3%	3%	<b>-12%</b>
<b>a-Si</b>	6%	7%	5%	4%	3%	2%	1%	1%	1%	<b>-30%</b>
<b>CIGS</b>	1%	2%	3%	4	3%	3%	3%	3%	4%	<b>0%</b>

Abbildung 2-33 zeigt eine detaillierte Übersicht der laut NPD Solarbuzz erwarteten Marktanteile von c-Si- und Dünnschicht-Technologien. Im Vergleich zum heutigen Markt und dem Markt der vergangenen Jahre wird davon ausgegangen, dass sich der Anteil von „Advanced“ c-Si-Technologien im Markt erhöhen wird. Die in dieser Studie untersuchte c-Si BSK-Technologie entspricht einer „c-Si p-Type Multi Advanced“ Technologie.



*Abbildung 2-33: Erwartete Marktanteile verschiedener PV-Technologien für das Jahr 2014 mit detaillierter Unterscheidung von kristalliner Siliciumtechnologien sowie von Dünnschichttechnologien, Quelle: NPD Solarbuzz PV-Equipment Quarterly Report, 2013 (NPD Solarbuzz 2013)*

## 2.3 Deutsche Unternehmen entlang der PV-Wertschöpfungskette

### 2.3.1 PV-Modulhersteller

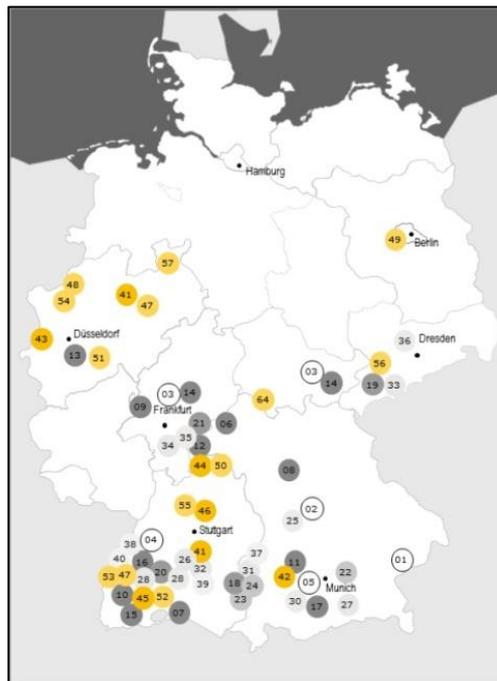


Abbildung 2-34: Übersicht der Standorte von PV-Equipment- & Materiallieferanten in Deutschland Quelle & Bilder: BSW, GTAI

Tabelle 2-4: Übersicht an PV-Modulherstellern in Deutschland (nach GTAI, Stand 08/2013)

Firma	Hauptsitz	Aktivität*
<b>SolarWorld AG</b>	Freiberg	c-Si
<b>Bosch Solar Energy</b>	Arnstadt	c-Si
<b>aleo solar (Bosch)</b>	Prenzlau	c-Si
<b>alfasolar</b>	Hannover	c-Si
<b>ALGATEC Solar</b>	Prösen, Großräschen	c-Si
<b>CENTROSOLAR</b>	Wismar	c-Si
<b>Conergy</b>	Frankfurt (Oder)	c-Si
<b>Galaxy Energy</b>	Berghülen	c-Si
<b>GSS</b>	Korbußen	c-Si
<b>Heckert Solar</b>	Chemnitz	c-Si
<b>JuraWatt</b>	Neumarkt	c-Si
<b>Mage Sunovation</b>	Elsfeld	c-Si
<b>no-vo GmbH</b>	Laubusch	c-Si
<b>Q-Cells (Hanwha Q-Cells)</b>	Bitterfeld-Wolfen	c-Si, D

<b>Q-mo solar</b>	Teltow	c-Si
<b>Scheuten Solar Technology</b>	Gelsenkirchen	c-Si
<b>Solar-Fabrik</b>	Freiburg	c-Si
<b>Solar Industries Module</b>	Freiburg	c-Si
<b>SOLARWATT</b>	Dresden	c-Si
<b>SOLON (Microsol)</b>	Berlin	c-Si
<b>Soluxtec</b>	Bitburg	c-Si
<b>Sunset Solar</b>	Löbichau	c-Si
<b>Sunware</b>	Duisburg	c-Si
<b>Webasto</b>	Schierling	c-Si
<b>Inventux Solar Technologies</b>	Berlin	D
<b>Masdar PV</b>	Ichtershausen	D
<b>AVANCIS</b>	Torgau	D
<b>SCHOTT Solar Thin Film</b>	Jena	D
<b>Calyxo (Q-Cells)</b>	Bitterfeld-Wolfen	D
<b>Second Solar Century</b>	Halle	D
<b>Bosch Solar CIS Tech</b>	Brandenburg	D
<b>Manz CIGS Technology GmbH</b>	Schwäbisch Hall	D
<b>Solarion</b>	Leipzig, Zwenkau	D
<b>Nanosolar</b>	Luckenwalde	D
<b>Azur Space Solar Power</b>	Heilbronn	D
<b>Soitec</b>	Freiburg	CPV
<b>heliatek</b>	Dresden	OPV

\* c-Si = Kristalline Siliciumtechnologien, D = Dünnschichttechnologien, CPV = Konzentrierte Photovoltaik, OPV = Organische Photovoltaik

## 2.3.2 PV-Zulieferer Fertigungsequipment & Produktionsmaterialien

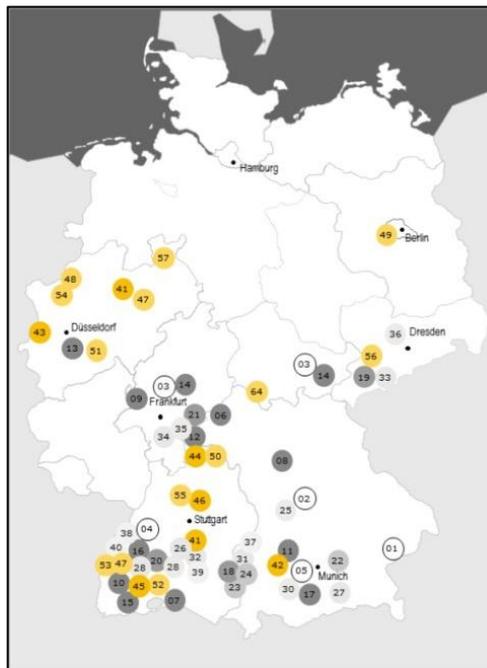


Abbildung 2-35: Übersicht der Standorte von PV-Equipment- & Materiallieferanten in Deutschland Quelle & Bilder: BSW, GTAI

Tabelle 2-5: Übersicht an Zulieferer im Anlagenbau in Deutschland (nach GTAI, Stand 02/2013)

Firma	Hauptsitz	Aktivität*
<b>Aixtron</b>	Herzogenrath	D
<b>ALD Vacuum Technologies</b>	Hanau	W
<b>ASYS Automatisierungssysteme</b>	Dornstadt	Z, A, L
<b>ATV Technologie</b>	Vaterstetten	Z
<b>Baumann</b>	Amberg	A
<b>BGT Bischoff Glastechnik AG</b>	Bretten	
<b>Bürkle GmbH</b>	Freudenstadt, Rietberg	M, A, D
<b>Bystronic</b>	Heimsheim	M
<b>centrotherm photovoltaics group</b>	Blaubeuren	W, Z
<b>centrotherm SiTec</b>	Burghausen	S
<b>Decker</b>	Berching	S, Z
<b>Elma Hans Schmidbauer</b>	Singen	W
<b>FHR Anlagenbau</b>	Ottendorf-Okrilla	D
<b>Grenzbach</b>	Hamlar	A
<b>G&amp;N</b>	Erlangen	W
<b>Herbert Arnold</b>	Weilburg	W
<b>HK Präzisionstechnik</b>	Oberndorf	W
<b>JRT Photovoltaics</b>	Malterdingen	Z, A

<b>Kinetics</b>	Stuttgart	I
<b>KLB Blech in Form GmbH</b>	Herbolzheim	
<b>KUKA Systems</b>	Augsburg	W, A
<b>Leybold Optics GmbH</b>	Alzenau	D
<b>LOG-O-MATIC</b>	Mainaschaff	W
<b>Manz AG</b>	Reutlingen	Z, D, A, L
<b>Maschinenbau GEROLD</b>	Nettetal	M, A
<b>MB Robotics</b>	Langenfeld	W
<b>Mikron Berlin</b>	Berlin	M, A
<b>MiniTec Maschinenbau</b>	Schönenberg-Kübelberg	A
<b>Mondragon Assembly</b>	Stahringen	A
<b>M&amp;W Group</b>	Stuttgart	I
<b>NPC – Meier</b>	Bocholt, Roßla	M
<b>Olbricht</b>	Hamminkeln-Brünen	A
<b>PVA TePla</b>	Wettenberg, Jena	S, W
<b>Ramgraber</b>	Hofolding b. Brunthal	Z
<b>Rehm Thermal Systems</b>	Blaubeuren	Z
<b>REIS ROBOTICS</b>	Obernburg	M, A
<b>RENA GmbH</b>	Gütenbach, Berg, Herrenberg	W, Z, A
<b>Robust</b>	Remscheid	M
<b>Roth &amp; Rau AG</b>	Hohenstein-Ernstthal	Z, A
<b>Rotte Anlagenbau &amp; Fördertechnik</b>	Salzkotten	A
<b>Saint Gobain</b>	Mannheim	
<b>Schiller Automation</b>	Sonnenbühl-Genkingen	A
<b>Schmalz</b>	Glatten	A
<b>SCHMID Group</b>	Freudenstadt, Niedereschach	W, Z, M, S, A, L
<b>SINGULUS Technologies</b>	Kahl	Z
<b>SOMONT</b>	Umkirch	M
<b>SPALECK – STEVENS InnoTech</b>	Bocholt	M
<b>STANGL Semiconductor Equipment</b>	Fürstfeldbruck	S, W, Z
<b>Teamtechnik</b>	Freiberg am Neckar	M
<b>THIEME</b>	Teningen	Z
<b>3D – Micromac</b>	Chemnitz	L
<b>4 JET</b>	Alsdorf	L
<b>InnoLas Semiconductor</b>	Dornstadt	L
<b>Jenoptik</b>	Jena	L
<b>Lissotschenko Mikrooptik</b>	Dortmund	L
<b>LPKF SolarQuipment</b>	Suhl-Friedberg	L
<b>Rofin</b>	Starnberg, Hamburg, Günding	L
<b>Wemhöner Surface Technologies</b>	Herford	M

<b>USK Karl Utz Sondermaschinen</b>	Limbach-Oberfrohn	M
<b>VON ARDENNE Anlagentechnik</b>	Dresden	Z, D

\* K = Komplett-Linien, S = Siliziumherstellungs-Equipment, W = c-Si Waferproduktions-Equipment, Z = c-Si Zellproduktions-Equipment, M = c-Si Modulproduktions-Equipment, D = Dünnschichttechnologien, A = Automatisierungstechnik, I = Infrastruktur, L = Laser Prozess

### **Die deutschen Maschinenbauer sind (noch) Weltmarktführer**

- Equipment-Hersteller in Deutschland: > 100
- Hohe Exportquote: 90 %
- Hoher Asienanteil: 75 %
- Beschäftigte: ca. 12.000

**Aber** laut 12. chinesischen 5-Jahresplan:

- Steigerung der PV-Wertschöpfung in China => Ziel: 80% des PV-Systems
- Ausbau der PV-Fertigungen auf chinesischen Produktionsanlagen
- Verpflichtende R&D für Unternehmen

### **Wachsende Konkurrenz aus China bereits in Sichtweite**

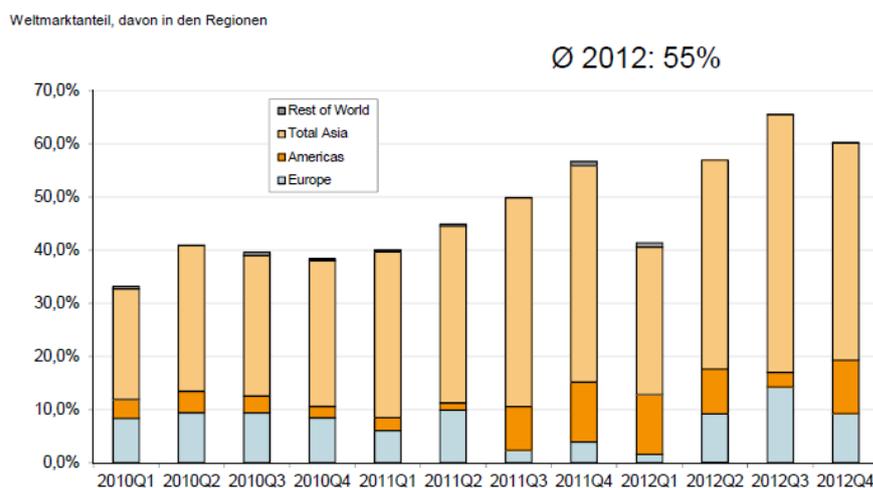


Abbildung 2-36: Anteil der deutschen Unternehmen im Bereich PV-Produktionsmittel am PV-Zuliefererweltmarkt mit den Absatzregionen der Unternehmen von Q1/2010 bis Q4/2012 Quelle: VDMA, SEMI; Stand: 08.04.2013

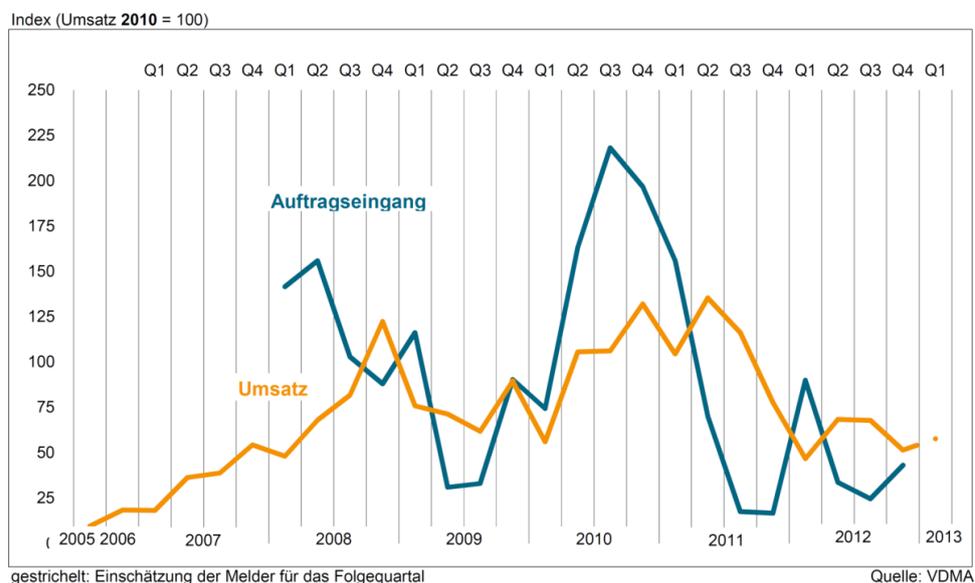


Abbildung 2-37: Umsatz und Auftragseingang der deutschen Unternehmen im Bereich PV-Produktionsmittel von 2005 bis Q3/2012VDMA, Stand: 30.04.2013

Tabelle 2-6: Übersicht an Zulieferern von Ausgangsmaterialien und Hilfsstoffen in Deutschland (nach GTAI, Stand 02/2013)

Firma	Hauptsitz	Aktivität*
Wacker Chemie AG	Burghausen	P, E, T
Heraeus	Hanau	Sp, D
Pilkington	Weierhammer	Gl
Saint-Gobain	Mannheim, Wilsdruff, Porz	Gl
BRUKER – SPALECK GmbH	Schramberg	D
Schlenk Metallfolien GmbH	Roth	D
Alcan Aluminium-Presswerke	Landau	R
Benz Alusysteme	Ingersheim	R
Cziotec GmbH	Greifswald	R
Gutmann AG	Weißenburg	R
Hydro Aluminium Extrusion DE	Uphusen, Rackwitz	R
KLB Blech in Form GmbH	Herbolzheim	R
RBB Aluminium Profiltechnik AG	Wallscheid	R
Sapa Aluminium Profile	Offenburg	R
Wuppermann Rohrtechnik	Burgbernheim	R
5N PV GmbH	Eisenhüttenstadt	S
GfE Metalle und Materialien	Nürnberg, Freiberg	S
Rolf Schäfer Beschichtungskomp.	Mehlingen	S

<b>Sindlhauser Materials</b>	Kempton	S
<b>W.C. Heraeus GmbH</b>	Hanau	S
<b>Enwi-etec GmbH</b>	Rogglfing	J
<b>Hensel GmbH &amp; Co. KG</b>	Lennestadt	J
<b>KOSTAL Industrie Elektrik GmbH</b>	Hagen	J
<b>Lumberg Connect</b>	Cloppenburg	J
<b>Multi-Contact DE</b>	Weil am Rhein	J
<b>Phoenix Contact DE</b>	Blomberg	J
<b>Ritter Electronic</b>	Remscheid	J
<b>SKS Kontakttechnik</b>	Niederdorf	J
<b>Spesberg GmbH &amp; Co. KG</b>	Schalksmühle, Buttstädt	J
<b>Tyco Electronics</b>	Bensheim	J
<b>Weidmüller Interface</b>	Detmold, Wutha-Farnroda	J
<b>Yamaichi Electronics DE</b>	Frankfurt (Oder)	J
<b>Aluminium Feron</b>	Düren	E, B
<b>DuPont de Nemours DE GmbH</b>	Uentrop	E
<b>Folienwerk Wolfen GmbH</b>	Bitterfeld-Wolfen	E
<b>Jura Plast GmbH</b>	Reichenschwand	E
<b>Kuraray Europe GmbH Trosifol</b>	Troisdorf	E
<b>Solutia GmbH</b>	Dietenheim	E
<b>Krempel GmbH</b>	Kuppenheim	B
<b>EUROGLAS GmbH</b>	Haldensleben	Gl
<b>f I glass GmbH</b>	Osterweddingen	Gl
<b>GMB Glasmanufaktur Brandenburg</b>	Tschernitz	Gl
<b>GVB GmbH</b>	Herzogenrath	Gl
<b>Hecker Glastechnik</b>	Dortmund	Gl
<b>SCHOLLGLAS GmbH</b>	Nossen-Heynitz	Gl
<b>BGT Bischoff Glastechnik AG</b>	Bretten	Gl
<b>CENTROSOLAR Glas</b>	Fürth	Gl
<b>Glaswerke Arnold</b>	Merkendorf	Gl
<b>Vetro Solar</b>	Sandersdorf-Brehna	Gl
<b>3M Deutschland</b>	Hilden	T
<b>DELO Industrie Klebstoffe</b>	Windach	T
<b>Dow Corning</b>	Wiesbaden	T
<b>Hermann Otto GmbH</b>	Fridolfing	T
<b>KÖMMERLING Chemische Fabrik</b>	Pirmasens	T
<b>Lohmann</b>	Neuwied	T
<b>Schreiner ProTech</b>	Oberschleißheim	T
<b>Tesa SE</b>	Hamburg, Offenburg	T

### 2.3.3 Lieferanten BoS Komponenten

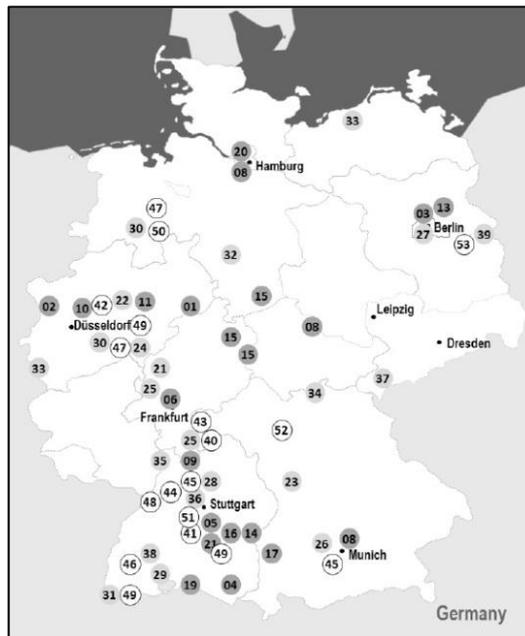


Abbildung 2-38: Übersicht der Standorte von Zulieferern von System-Komponenten in Deutschland. Quelle & Bilder: BSW, GTAI Quelle & Bilder: BSW, GTAI

Tabelle 2-7: Auswahl der wichtigsten Zulieferern von System-Komponenten in Deutschland

Firma	Hauptsitz	Aktivität*
SMA	Niesetal b. Kassel	W
Siemens	München / Erlangen	W
Fronius	Neuhof b. Fulda	W
Kaco	Neckarsulm	W
Schletter	Kirchheim	A

\* W = Wechselrichter, A = Aufständigung

### 2.3.4 Projektentwickler und Installateure PV-Systeme

Tabelle 2-8: Auswahl der wichtigsten PV-Projektentwickler und Systemintegratoren

<b>Firma</b>	<b>Hauptsitz</b>	<b>Aktivität*</b>
<b>Abakus Solar AG</b>	Gelsenkirchen	P, S, G
<b>AS Solar GmbH</b>	Hannover	S, G
<b>BayWa AG</b>	München	P, S, G
<b>BELECTRIC Trading GmbH</b>	Kolitzheim	P, S, G
<b>Conergy AG</b>	Hamburg	P, G
<b>Gehrlicher Solar AG</b>	Neustadt	P, S, G
<b>Juwi Holding AG</b>	Wörnstadt	P, S
<b>Phoenix Solar AG</b>	Sulzemoos	P, S, G
<b>S.A.G. Solarstrom AG</b>	Freiburg	P, S
<b>SES 21 AG</b>	Polling-Oberding	P, S, G
<b>Tauber-Solar Management GmbH</b>	Tauberbischofsheim	P
<b>Ib vogt GmbH</b>	Berlin	P, S

\* P = Projektentwickler, S = Systemintegrator, G = Großhändler

### 2.3.5 Forschungsinstitute

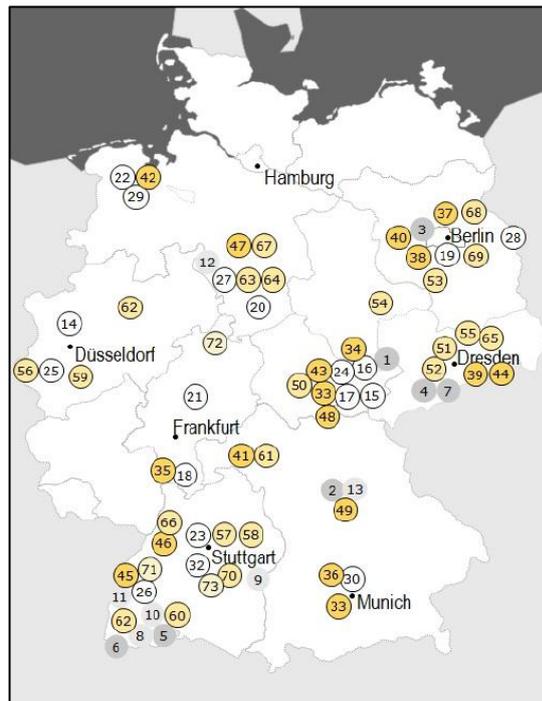


Abbildung 2-39: Übersicht der Standorte von PV-Forschungsinstituten in Deutschland, Quelle & Bilder: BSW, GTAI Quelle & Bilder: BSW, GTAI

Tabelle 2-9: Die wichtigsten Forschungsinstitute in Deutschland

Institut	Hauptsitz	Aktivität*
Fraunhofer ISE	Freiburg	c-Si, D
Fraunhofer CSP	Halle	c-Si
Fraunhofer IPA	Stuttgart	A, c-Si
ZSW	Stuttgart	D
ISFH	Hamel	c-Si
Helmholtz-Zentrum	Berlin	
ISC	Konstanz	c-Si
CIS	Erfurt	P

\* c-Si = Kristalline Siliciumtechnologien, D = Dünnschichttechnologien, A = Automatisierungstechnik

## 3 Technoökonomische Analyse einer X-GW Fabrik

(Hauptverantwortlich: Fraunhofer ISE)

Nach der externen Analyse des Marktumfeldes werden in diesem Kapitel die Anforderungen an eine X-GW skaligen Photovoltaik Fabrik untersucht. Der Fokus der Analyse liegt hierbei hauptsächlich auf zwei Fragen:

- Wie groß ist der **ökonomische Vorteil durch Skalierung** einer X-GW PV-Produktion in Deutschland?
- Welche **Modul-Produktionskosten** und **Stromgestehungskosten** sind für PV-Module einer X-GW-Fabrik in Deutschland erreichbar?

### 3.1 Methodik

Zur ökonomischen Analyse der internen Betriebsabläufe einer Fabrik zur Herstellung von photovoltaischen Modulen wurden folgende Ansätze kombiniert und integriert angewendet:

- ein **Bottom-Up Ansatz** zur Modellierung der Produktion
- und ein **Top-Down Ansatz** für die Modellierung von weiteren Unternehmensbereichen, wie Administration, Vertrieb, Einkauf, Personal, etc. sowie der Modellierung von Skaleneffekten

kombiniert und integriert angewendet.

Der Bottom-Up Ansatz zur Modellierung der Produktion beruht auf dem am Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme (ISE) entwickelten Kalkulationstool „SCost“. Mit diesem Tool ist es möglich, die PV-Wertschöpfungskette einer vertikal integrierten PV-Fabrik vom Polysilicium bis zum montierten PV-System abzubilden. Insbesondere ist es möglich, ausgehend von den Produktionsanlagen den Produktionsprozess zu simulieren und dabei alle kostenrelevanten Daten zu erfassen.

Da die Qualität der „SCost“ Eingangsdaten wesentlich die Belastbarkeit der Ergebnisse bestimmt, wurde insbesondere Wert auf eine umfangreiche Datenrecherche gelegt. Preise und Prozessparameter für Produktionsanlagen und die dafür nötige Versorgungstechnik innerhalb der PV-Fabrik werden für „SCost“ in Zusammenarbeit mit Industrie und aus Prozessen am PV-TEC, dem Photovoltaik-Technologie Evaluations Center des Fraunhofer ISE, kontinuierlich erfasst und aktualisiert. Speziell für diese Studie wurden mengenabhängige Preise der identifizierten Kostentreiber bei industriellen Zulieferern für Produktionskapazitäten von 1 GWp/a – 5 GWp/a angefragt.

#### 3.1.1 Kalkulation Referenzprozess auf Produktionsebene

Eine entscheidende Frage ist, welche Kosten in der Bewertung einer PV-Produktion berücksichtigt werden sollen. Es ist für eine adäquate Bewertung nicht ausreichend, nur die Beschaffungskosten für Produktionsanlagen oder Materialien zu betrachten, sondern es müssen auch alle weiteren Kosten, die durch den Betrieb und die Entsorgung entstehen, erfasst werden.

Diese Sichtweise wird vom Ansatz des Total Cost of Ownership (TCO) verfolgt. Zur Berechnung der Kosten eines Produktionsprozesses ist die TCO Analyse in der Halbleiterindustrie weit verbreitet und stellt ein Standardverfahren zur Bewertung von PV-Produktionen dar. Das in dieser Studie benutzte Fraunhofer ISE Tool „SCost“ basiert auf den Richtlinien für die *Cost of Ownership* (COO) Methodik des E035 Standard des internationalen Branchenverbands führender Halbleiterhersteller *Semiconductor Equipment and Materials International* (SEMI).

Um die Herstellungskosten eines Photovoltaik Moduls (PV-Modul) zu bestimmen, wird zunächst mit „SCost“ ein Produktionsprozess modelliert, indem die notwendigen Produktionsanlagen zu einem Produktionsprozess mit Linienfertigung verknüpft werden. Die Cost of Ownership einer Produktionsanlage enthalten alle Kosten, die durch diese Produktionsanlage entstehen. Nachfolgend sind diese Kosten nach Kostenarten sortiert dargestellt:

- Kosten des Produktionsprozesses
  - Equipment
    - Produktionsanlagen (inkl. Automatisierung)
    - Ersatz- und Verschleißteile
  - Betriebsstoffe
    - Energie, Druckluft, Abluft, Kühlwasser, N<sub>2</sub>...
  - Prozess- und Entsorgungsmedien
    - Fertigungsmedien, Entsorgungsmedien, Sondermüllentsorgung
  - Personal
    - An Produktionslinie: Operator, Techniker, Prozessingenieur
  - Yield Loss
    - Waferbruch sowie Zellen die nicht den Qualitätsvorgaben entsprechen
- Infrastrukturkosten
  - Fabrikgebäude, Fab-Infrastruktur: Luftreinigung, Gasfarm, DI-Wassererzeugung, Chemikalienversorgung, Entsorgungsanlagen, Lager, Büros, Kantine...

Für den Betrieb einer PV-Fabrik entstehen außerdem Gemeinkosten, wie aufgelistet:

- Gemeinkosten
  - F&E, Messe- & Konferenzbesuche, Werbung, Personal: Management, Verwaltung, Mitarbeiterschulungen...

Die Modulkosten in einer Periode  $i$  ergeben sich durch die Summe der Cost of Ownership aller Produktionsanlagen und der Gemeinkosten geteilt durch den in dieser Periode produzierten Modul-Output:

$$Modulkosten_i \left[ \frac{\text{€Ct.}}{Wp} \right] = \frac{\sum Cost\ of\ Ownership_i + Gemeinkosten_i}{Output(Wp)_{ai}}$$

Der Modul-Output lässt sich entweder in Stück/a oder leistungsbasiert in Wp/a<sup>1</sup> angeben. Äquivalent werden die Modulkosten entweder in €/Ct./Wp oder in €/Stück angegeben.

Für die Bewertung der Produktion einer X-GW Fabrik wurden zunächst Referenzfabriken definiert, die etwa einen jährlichen Output von 0,5 GWp/a aufweisen, und anschließend die entsprechenden Referenzproduktionsprozesse mit „SCost“ bottom-up modelliert, d.h. die Kosten der gesamten Produktion ausgehend von einer einzelnen Produktionsanlage bestimmt.

Die Datengrundlage der Referenzprozesse wird kontinuierlich am Fraunhofer ISE gepflegt und mit realen Marktdaten abgeglichen. Kostentreiber bei der PV-Modulproduktion sind die Materialien. Somit ist die Datenqualität der Verbrauchsmengen und der Preise von Roh-, Hilfs- und Betriebsstoffen, die für den Produktionsprozess benötigt werden, von großer Bedeutung für die Qualität der kalkulierten Kosten einer PV-Produktion.

Die Qualität der Eingangsdaten von „SCost“ wird gesichert durch:

- Gewinnung von Prozessparametern von PV-Produktionsprozessen sowohl aus dem industrienahen Forschungslabor PV-TEC, dem Photovoltaik- Technologie Evaluations Center des Fraunhofer ISE, als auch durch Recherchen bei Industrieunternehmen,
- Übernahme der Preise von Elektrizität, Wasserversorgung, Löhnen sowie Gehältern aus Literatur oder von Lieferanten, Kunden bzw. Projektpartnern.

In Abbildung 3-1 ist eine Übersicht zum Programm SCost abgebildet.

---

<sup>1</sup> Wp ist die Abkürzung für Watt-peak. Dies entspricht der Leistung, die ein PV-Modul oder eine PV-Zelle unter Standard- Testbedingungen (STC: Einstrahlung 1000 W/m<sup>2</sup>, Modultemperatur 25 °C, definiertes Sonnenspektrum bei Air Maß 1,5) abgibt.



Abbildung 3-1: Berechnung der X-GW-Produktionskosten

Im Rahmen dieser Studie wurden unterschiedliche PV-Konzepte untersucht, einerseits die kristalline Silicium PV (c-Si PV) und andererseits die Kupfer-Indium-Gallium-Diselenid PV (CIGS PV). Das Tool „SCost“ ist für die bottom-up Kalkulation von c-Si PV entlang der Wertschöpfungskette vom poly Silicium bis zum PV-Modul entwickelt worden. Für die Prozessdaten der CIGS PV wurde auf Daten der Manz AG, Reutlingen zurückgegriffen.

### 3.1.2 Skalierung der benötigten Produktionsanlagen, Personal und Materialbedarf

Ein wichtiges Ziel dieser Studie ist die Ermittlung der Skaleneffekte, die bei einer Skalierung der Produktionskapazität einer X-GW Fabrik entstehen. Zunächst wurde hierzu die Anzahl der Produktionsanlagen, das notwendige Personal und der Materialbedarf eines Referenzprozesses (jährlicher Output 0,5 GWp/a) linear auf die Produktionskapazitäten 1-5 GWp/a skaliert. Das bedeutet, es wird angenommen, dass bei einer 2,5 GWp/a Fabrik fünfmal so viele Produktionsanlagen und Material benötigt wird, wie bei einer Referenzfabrik. Dies stellt eine tendenziell konservative Annahme dar, da in der Realität durch Synergieeffekte teilweise geringere Mengen bei einer Skalierung der Fabrikgröße benötigt werden.

Zur Bewertung der angesprochenen Skaleneffekte werden also nicht die Mengen, sondern die Preise der benötigten Materialien, der Produktionsanlagen und der Gebäude inkl. Versorgungstechnik über die Produktionskapazitäten 1-5 GWp/a im Detail untersucht.

### 3.1.3 Recherche von Materialpreisen für Mengen 1 – 5 GWp/a

Für die Produktion von PV-Modulen werden einerseits Materialien benötigt, die im PV-Modul verbaut werden (z.B. Vorderseitenglas, Silicium, Silberpaste zur Kontaktierung), andererseits werden Materialien im Produktionsprozess verbraucht. Dies sind unter anderem Chemikalien, die zum Reinigen, Texturieren und zur Emitterausbildung von Siliciumwafern notwendig sind oder Gase, mit denen Antireflexionsschichten erzeugt werden. Darüber hinaus werden für die Produktion von Siliciumwafern Sägedraht oder Schmelztiegel für die Silicium Kristallisation gebraucht.

Sortiert man sämtliche Materialien nach ihrem Kostenanteil der Gesamtkosten, können Kostentreiber bestimmt werden. Diese sind für die Gesamtkosten sehr relevant, da der Anteil der Materialkosten an den Gesamtkosten bei der Produktion von PV-Modulen größer als 70 % ist.

Wie ändern sich die Preise der Kostentreiber Materialien, wenn die Produktionskapazität erhöht wird, d.h. die Einkaufsmengen der Materialien erhöht wird?

Um diese Frage beantworten zu können, wurden Preise der Kostentreiber Materialien bei 122 Materialherstellern recherchiert. Die angefragten Einkaufsvolumina der Materialien wurden zuvor an Hand der Produktionskapazitäten 1,2,3,4 und 5 GWp/a bestimmt. In Abbildung 3 3 sind die Kostentreiber Materialien und die Hauptsitze der angefragten Materialhersteller dargestellt.

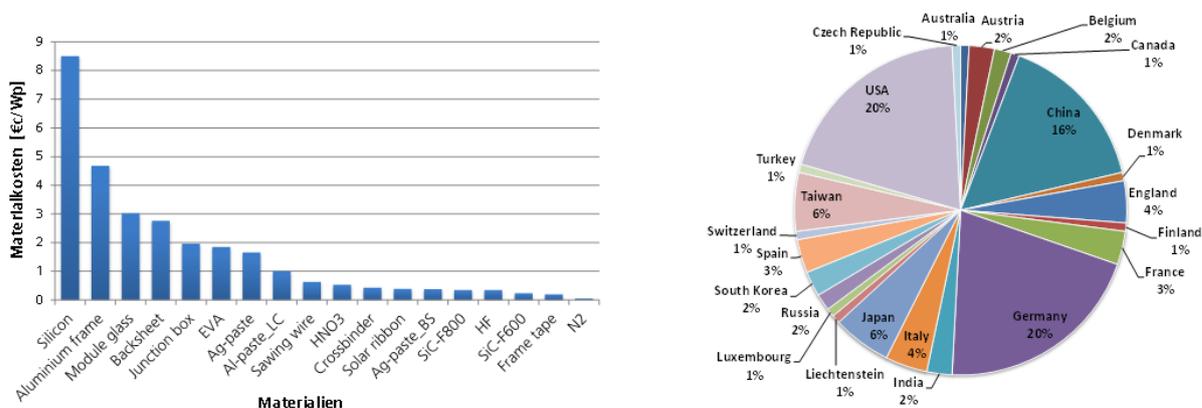


Abbildung 3 2

Abbildung 3-2: Priorisierung nach Materialkostenanteil im Modul und Kontaktierung von 122 Materialherstellern

### 3.1.4 Bestimmung der Skalierungsfaktoren anhand Literatur- und Marktrecherche

Mittels der recherchierten Preisdaten konnten Preis-Mengen Kurven für Produktionskapazitäten von 1-5 GWp/a erstellt werden, siehe Abbildung 3-3. Die Regression wurde mit einer Potenzfunktion durchgeführt. Dieser Ansatz geht auf die von [Nemet, 2006] beschriebenen Skalierungsfunktionen zurück:

$$\Delta p_{xr} = p_r \left( \left( \frac{q_x}{q_r} \right)^b - 1 \right).$$

Skalierungsfunktion, vgl. (Nemet, 2006)

Dabei stellt  $p_r$  den Basispreis und  $q_r$  die Basismenge dar. Mit Skalierungsfaktor  $b$  wird die Preisänderung  $\Delta p_{xr}$ , wenn die Menge  $q_x$  nachgefragt wird, berechnet. Die aus den Preisrecherchen ermittelten Skalierungsfaktoren sind Tabelle 3-1 zu finden.

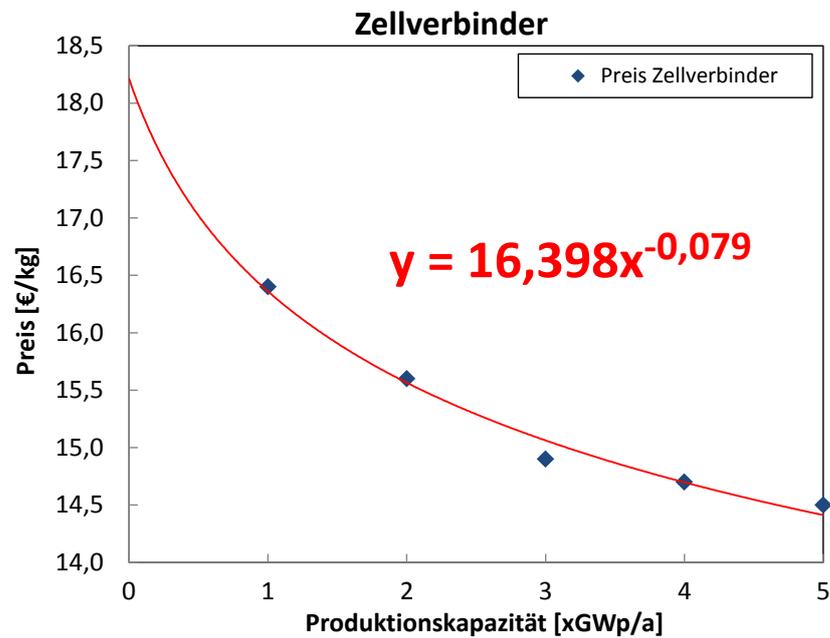


Abbildung 3-3: Produktionskapazität / Preis Graph

Mit dieser Skalierungsfunktion ist es nicht nur möglich, die Änderung der Einkaufspreise von Materialien für Produktionskapazitäten von 1-5 GWp/a darzustellen. Es werden ebenfalls Preisänderungen bei den Kostentreibern Elektrizität, Produktionsanlagen, Gebäude und Versorgungstechnik sowie bei Personalkosten konservativ abgeschätzt.

Durch die Anwendung des top-down Ansatzes der Skalierungsfunktionen ist es möglich die Modulkosten bei Produktionskapazitäten von 1-5 GWp/a zu berechnen und somit implizit die Skaleneffekte für X-GW Fabriken zu bestimmen.

**Tabelle 3-1: Skalierungsfaktoren**

<b>Material</b>	<b>Skalierungs- faktor</b>	<b>Quelle</b>
<b>Silicium</b>	-0,090	Annahme basierend auf Literaturwerten
<b>Aluminiumrahmen</b>	-0,037	Kalkulation On-site Herstellung
<b>Solarglas</b>	-0,061	Hersteller
<b>Rückseitenfolie</b>	-0,065	Hersteller
<b>EVA</b>	-0,040	Hersteller & Kalkulation On-site Herstellung
<b>Anschlussdose</b>	-0,078	Hersteller
<b>Vorderseiten Ag Paste</b>	-0,009	Hersteller
<b>Al paste &amp; RS Ag Paste</b>	-0,021	Hersteller
<b>Querverbinder &amp; Solar ribbon</b>	-0,078	Hersteller
<b>Rahmen Klebeband</b>	-0,030	Hersteller
<b>Arbeiter</b>	-0,067	Annahme basierend auf Literaturwerten
<b>Elektrizität</b>	-0,067	Annahme
<b>Chemikalien</b>	-0,099	Hersteller
<b>Gase</b>	-0,068	Kalkulation On-site Herstellung
<b>Siliciumkarbid F600</b>	-0,066	Hersteller
<b>Siliciumkarbid F800</b>	-0,078	Hersteller
<b>Materialien Versorgung &amp; Entsorgung</b>	-0,180	Annahme basierend auf Literaturwerten
<b>Zelle, Zukaufteile</b>	-0,040	Annahme basierend auf Literaturwerten
<b>Wafer, Zukaufteile</b>	-0,050	Annahme
<b>Wafer, sonst.</b>	-0,060	Annahme
<b>Chemikalien, sonst.</b>	-0,120	Annahme basierend auf Literaturwerten
<b>Wartung</b>	-0,180	Annahme basierend auf Literaturwerten
<b>Produktionsanlagen</b>	-0,05	Annahme
<b>Gebäude</b>	-0,02	Annahme
<b>Versorgungstechnik</b>	-0,05	Annahme

### 3.1.5 Modellierung von Unsicherheiten mittels Monte-Carlo Simulation

Zur Bewertung der Qualität der berechneten Kostenwerte für die X-GW Fabrik, d.h. zur Sichtbarmachung der Sensitivität des Ergebnisses auf die Unsicherheit der Eingangswerte, wurde eine Monte-Carlo-Simulation durchgeführt. Eine Monte-Carlo-Simulation ist ein numerisches Verfahren, das aus Verteilungen von Eingangsgrößen eines Modells durch eine große Anzahl Zufallsexperimente die Verteilung der Ausgangsgrößen bestimmt. Für sämtliche Materialien bzw. Eingangsgrößen in Tabelle 3-2 wurden die Preise als normalverteilt angenommen, die angenommen Standardabweichungen sind in der Tabelle aufgelistet. Teilweise wurden die Standardabweichungen an Hand der recherchierten Preise abgeschätzt. Dies war möglich, wenn zu einem Material mehrere Angebote eingeholt werden konnten.

**Tabelle 3-2: Angenommene Standardabweichungen für die Modellierung der Unsicherheiten bei Preisschwankungen**

Material	STD DEV	Quelle
<b>Silicium</b>	8,2%	Annahme basierend auf Literaturwerten
<b>Aluminiumrahmen</b>	12,7%	Hersteller
<b>Solarglas</b>	5,0%	Hersteller
<b>Rückseitenfolie</b>	17,4%	Hersteller
<b>EVA</b>	5,0%	On-site Herstellung
<b>Anschlussdose</b>	15,6%	Hersteller
<b>Vorderseiten Ag Paste</b>	5,0%	Annahme basierend auf Literaturwerten
<b>Al Paste &amp; RS Ag Paste</b>	5,0%	Annahme basierend auf Literaturwerten
<b>Querverbinder &amp; Solar ribbon</b>	5,0%	Annahme basierend auf Literaturwerten
<b>Rahmen Klebeband</b>	10,0%	Annahme
<b>Arbeiter</b>	0,0%	Annahme
<b>Elektrizität</b>	0,0%	Annahme
<b>Chemikalien</b>	15,0%	Annahme basierend auf Literaturwerten
<b>Gase</b>	10,0%	Annahme basierend auf Literaturwerten
<b>Siliciumkarbid F600</b>	15,4%	Hersteller
<b>Siliciumkarbid F800</b>	15,4%	Hersteller
<b>Materialien Versorgung &amp; Entsorgung</b>	5,0%	Annahme
<b>Zelle, Zukaufteile</b>	10,0%	Annahme
<b>Wafer, Zukaufteile</b>	10,0%	Annahme
<b>Wafer, sonst.</b>	15,0%	Annahme
<b>Chemikalien, sonst.</b>	15,0%	Annahme basierend auf Literaturwerten
<b>Wartung</b>	5,0%	Annahme
<b>Wirkungsgrad (c-Si BSK, CIGS)</b>	10,0 %	Annahme
<b>Wirkungsgrad (c-Si PERC)</b>	5,0 %	Annahme

Zur Veranschaulichung ist in Abbildung 3-4 beispielhaft das Ergebnis einer Monte-Carlo-Simulation für eine 2 GWp/a c-Si PERC Fabrik zu sehen.

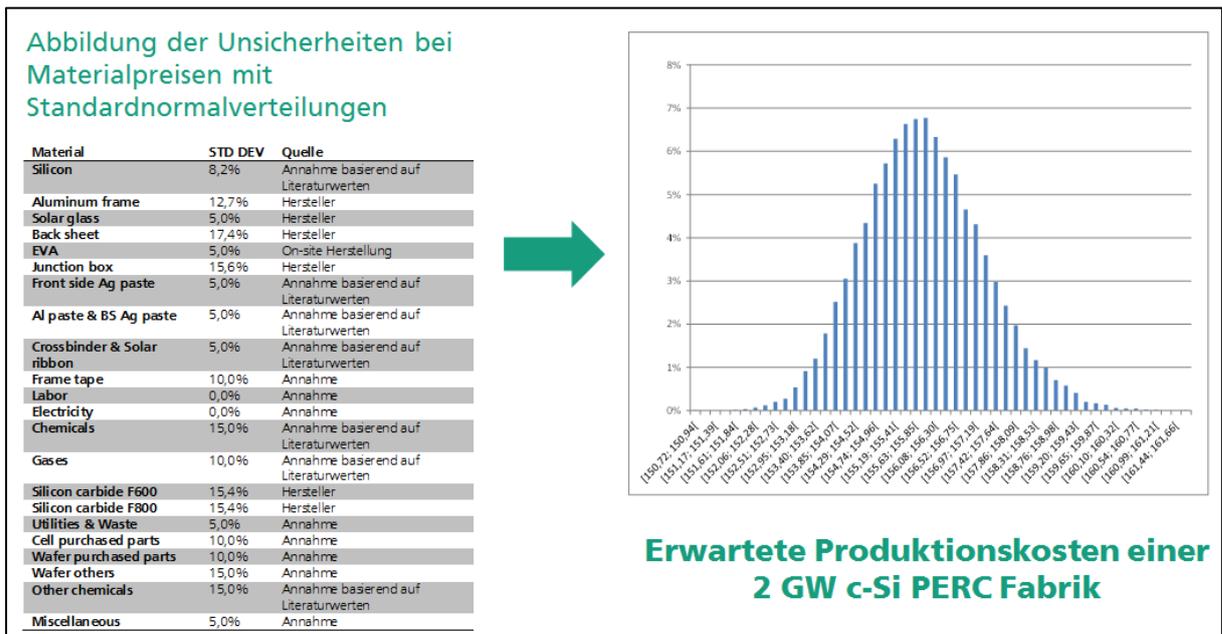


Abbildung 3-4: Monte Carlo Simulation

### 3.1.6 Berechnung der Levelized Cost of Electricity (LCOE)

Um das Potential einer X-GW Fabrik besser bewerten zu können, ist es notwendig, nicht nur die Kosten der PV-Module, sondern die mit diesen Modulen erzielbaren Stromgestehungskosten (LCOE<sup>2</sup>) zu betrachten. Entscheidend für die Höhe der Stromgestehungskosten sind die Kosten der sog. Balance of System (BoS). Diese BoS Komponenten sind notwendig, um ein PV-System zu errichten, mit dem der in den PV-Modulen erzeugte Strom genutzt werden kann. Beispielhaft für BoS Komponenten sind Aufständering, Wechselrichter, Verkabelung, Installationskosten, Planungsleistungen oder Netzanbindung zu nennen. Da die Kosten für BoS zu einem Großteil flächenproportional (man denke an die Kosten für die Modulaufständering) sind, führt ein höherer Modulwirkungsgrad zu niedrigeren BoS Kosten.

Für die Berechnung der Stromgestehungskosten (LCOE) wurden folgende Werte verwendet:

- Horizontale Globalstrahlung: 1100 kWh/m<sup>2</sup>\*a (Freiburg), 1880 kWh/m<sup>2</sup>\*a (Sevilla)
- Bestrahlungsstärke Rückseite c-Si BSK zusätzlich zu STC : 100 W/m<sup>2</sup>
- Kalkulatorischer Zinssatz: 4,8 %
- Steuersatz: 15,8 %
- Lebensdauer System: 25 Jahre
- Jährliche Degression: 0,2 %
- Fremdkapitalanteil: 80 %

<sup>2</sup> Engl. für: Levelized Cost of Electricity.

- Finanzierungszeitraum: 10 Jahre
- Leistungsspezifische Kosten: 15,1 €/Ct./Wp
- Flächenspezifische Kosten (bezogen auf Modulfläche): 45 €/m<sup>2</sup>

Die Performance Ratios der beiden betrachteten Standorte Freiburg und Sevilla sind für die drei in dieser Studie untersuchten PV-Konzepte c-Si PERC, c-Si BSK und CIGS in Tabelle 3-3 dargestellt. Der Performance Ratio gibt an, welcher Anteil der Energie, die durch die PV-Module theoretisch an einem Standort erzeugt werden könnte, tatsächlich durch das PV-System bereitgestellt wird.

**Tabelle 3-3: Performance Ratio PV-System**

Zellkonzept	Performance Ratio bei 1100 kWh/m <sup>2</sup> *a (Freiburg)	Performance Ratio bei 1880 kWh/m <sup>2</sup> *a (Sevilla)
<b>c-Si PERC</b>	85,1 %	81,5 %
<b>c-Si BSK monofacial</b>	85,1 %	81,5 %
<b>c-Si BSK bifazial</b>	91,3 %	87,5 %
<b>CIGS</b>	85,4 %	82,6 %

Da das Konzept c-Si BSK sowohl Strom bei Vorderseitenbeleuchtung als auch bei Rückseitenbeleuchtung generiert, werden zwei Performance Ratios (PR) angegeben. Der PR von „c-Si BSK monofacial“ ist bei vorderseitiger Beleuchtung gültig, der PR von „c-Si BSK bifazial“ bei beidseitiger Beleuchtung.

Mit den oben beschriebenen Daten können die Stromgestehungskosten LCOE berechnet werden:

$$LCOE = \frac{\text{Anfangsinvestition} - \sum_{n=1}^N \frac{\text{Abschreibung}^n}{(1 + \text{kalk. Zinssatz})^n} * \text{Steuersatz} + \sum_{n=1}^N \frac{\text{jährliche Kosten}^n}{(1 + \text{kalk. Zinssatz})^n} * (1 - \text{Steuersatz})}{\sum_{n=1}^N \frac{\text{Systemleistung zu Beginn} * (1 - \text{jährl. Degradationsrate})^n}{(1 + \text{kalk. Zinssatz})^n}}$$

*LCOE Berechnung*

## 3.2 Technische Auslegung einer X-GW Fabrik

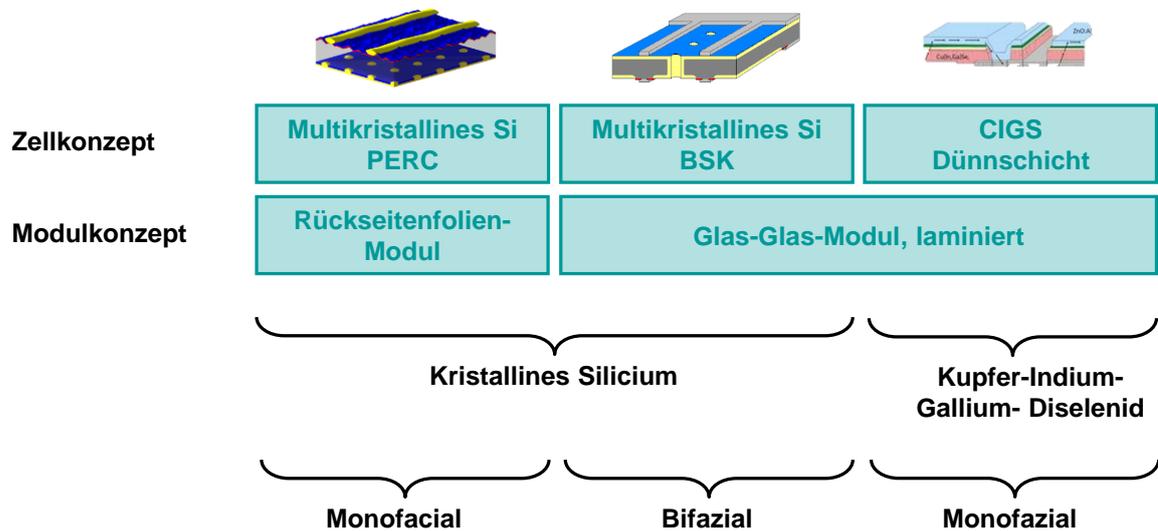
Eine grundlegende Neuplanung und Neuerrichtung einer X-GW skaligen Fabrik zur Produktion von photovoltaischen Modulen beginnt bei der Definition der Solarzellentechnologie, die produziert werden soll. Anschließend wird ein geeigneter Produktionsprozess ausgewählt sowie die Versorgungstechnik und die Fabrikgebäude entsprechend dimensioniert. Im Folgenden werden diese Daten für drei ausgewählte Solarzellentechnologien dargestellt.

### 3.2.1 Überblick über Auswahlkriterien der Produkte einer X-GW Fabrik

Wie in der PV-Marktanalyse in Kapitel 2 gezeigt wurde, wird auf absehbare Zeit die kristalline Silicium Photovoltaik (c-Si PV) Technologie den PV-Markt dominieren. Aus diesem Grund wurden für die Analyse der X-GW Fabrik zwei c-Si PV-Konzepte ausgewählt, die sich hinsichtlich ihres technologischen Reifegrads und ihres Wirkungsgradpotentials unterscheiden. Darüber hinaus wird auf Wunsch des Studienauftraggebers eine Kupfer-Indium-Gallium-Diselenid PV-Technologie (CIGS

PV) betrachtet. Andere PV-Konzepte für den Massenmarkt, wie amorphe / mikrokristalline / mikromorphe Silicium PV oder CdTe / GaAs Dünnschicht PV werden auf Grund des zu geringen Wirkungsgradpotentials und des damit verbundenen Kostenreduktionpotentials im Rahmen dieser Studie nicht betrachtet.

Eine potenzielle Produktübersicht der X-GW Fabrik ist in Abbildung 3-8 dargestellt. Hierbei repräsentiert das c-Si PERC Konzept den heutigen Stand der Technik und die Konzepte c-Si BSK und CIGS den erwarteten Stand der Technik im Jahr 2015. Damit wird ein heute am Markt verfügbares PV-Produkt mit PV-Produkten verglichen, deren technologischer Reifegrad zum Zeitpunkt der Inbetriebnahme der X-GW Fabrik ausreichend hoch ist, um innerhalb der X-GW Fabrik eingesetzt zu werden.



**Abbildung 3-5 : Produktübersicht X-GW Fabrik**

Ein weiteres Entscheidungskriterium für die Auswahl der Produkte sind die Ergebnisse der im vorherigen Kapitel dargestellten Marktanalyse. Es wurde gezeigt, dass die Nachfrage nach PV-Modulen stark mit dem Preis der PV-Module korreliert. Wettbewerbsfähige Stromgestehungskosten für PV-Strom können nur generiert werden, wenn sämtliche Komponenten des PV-Systems zu geringeren Wp-Kosten als heute hergestellt werden können. PV-Module sind innerhalb des PV-Systems der entscheidende Kostenfaktor. Für viele BoS Komponenten, wie z.B. Aufständigung oder Verkabelung, wird zukünftig nur ein geringes Kostensenkungspotential erwartet. Die flächenspezifischen Kosten dieser Komponenten können jedoch durch eine höhere Effizienz des PV-Moduls gesenkt werden, so dass die Stromgestehungskosten geringer werden.

Die Produkte c-Si BSK und CIGS weisen potentiell folgende Vorteile gegenüber c-Si PERC auf:

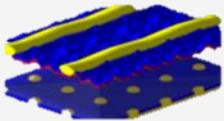
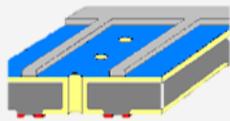
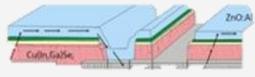
- Wettbewerbsfähigkeit, d.h. insbesondere eine im Vergleich zu PV-Modulen anderer Hersteller erwartete gleiche oder höhere Moduleffizienz, die zu gleichen oder geringeren Preisen angeboten werden kann. Darüber hinaus sind durch die Bifazialität des c-Si BSK Konzepts Spezialanwendungen denkbar.
- Markteintrittsbarrieren, d.h. Produktionsschritte können durch Schutzrechte abgesichert werden, wodurch die Gefährdung durch Substitute von anderen Unternehmen minimiert wird.

- Hoher Wertschöpfungsanteil innerhalb der Region „Mitteleuropa“, der zu positiven volkswirtschaftlichen Effekten bei Zulieferunternehmen von Materialien und Anlagen sowie bei PV-Forschungsinstituten führt.

### 3.2.2 Beschreibung der Produkte

In Tabelle 3-4 sind die wichtigsten Produktparameter der Produkte c-Si PERC, c-Si BSK und CIGS zusammengefasst. Die Daten für die c-Si Produkte sind entweder aus Spezifikationen am Markt erhältlicher 60 Zellen Module oder aus Berechnungen bzw. Messdaten des Fraunhofer ISE gewonnen und werden als zuverlässig bewertet, da die Produktionstechnologie von c-Si PERC bereits heute schon verfügbar ist und c-Si BSK, als eine schlüssige Weiterentwicklung der PERC-Technologie in Richtung einer hocheffizienten bifazialen Solarzelle, nur geringe Anpassungen des Produktionsprozesses erfordert. Die angenommenen Moduleffizienzen stimmen in guter Näherung mit den gegenwärtigen (mcPERC) und erwarteten (mcBSK) c-Si Moduleffizienzen für 2015 überein.

**Tabelle 3-4: Wichtige Produktdaten c-Si PERC, c-Si BSK und CIGS**

Konzept	c-Si mcPERC EVA Modul	c-Si mcBSK Glas-Glas-Modul, bifacial	CIGS (Manz) Glas-Glas-Modul
			
Reife	2013 In Produktion → Aktuelle Technologie	Weiterentwicklung („Advanced PERC“)	Wirkungsgrad und Fläche von Pilotstatus extrapoliert
WACC X-GW Fabrik	6 %	9 %	9 %
Modulfläche [m <sup>2</sup> ]	1,63	1,63	1,92
Modul-Leistung [Wp]	267	275 (300 W <sub>bifi</sub> )	300
Modul- Wirkungsgrad [%]	16,4	16,8	15,6
Technologisches Risiko	gering	moderat	hoch

Die Daten des CIGS Moduls wurden von der Fa. Manz AG, Reutlingen zur Verfügung gestellt. Da die Daten, insbesondere die angenommene Moduleffizienz, derzeit auf einer industriellen Produktionslinie nicht validiert werden können, wurde eine Monte-Carlo Simulation durchgeführt, bei der die Moduleffizienz als

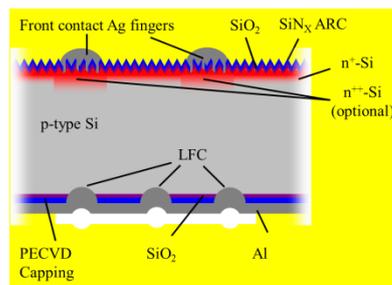
normalverteilt mit einer Standardabweichung von 1,6 % abs. bzw. 10 % rel. angenommen wurde.

Das höhere Investitionsrisiko in eine X-GW Fabrik, die die heute noch nicht am Markt erhältlichen Produkte c-Si BSK und CIGS produziert, wird mit höheren Kapitalkosten (Weighted Average Cost of Capital, WACC) der X-GW Fabrik modelliert.

### **Produkt c-Si PERC**

Als Basis dieses Produkts dient ein multikristalliner p-dotierter Silicium Wafer, der ausgehend von polykristallinem Silicium innerhalb der X-GW Fabrik hergestellt wird. Lokal rückseitenkontaktierte Solarzellen mit dielektrischer Passivierung (PERC) wurden vor mehr als 20 Jahren als Hocheffizienz Zellkonzepte vorgestellt. Während der vergangenen 10 Jahre wurde intensiv daran geforscht, den Herstellungsprozess für PERC Solarzellen zu optimieren und auf den Industriemaßstab zu skalieren. Heute ist der Herstellungsprozess für PERC Solarzellen in der Industrie etabliert und ist ein Standardprozess zur Herstellung von Silicium Solarzellen. Das technologische Risiko bei Verwendung dieses Konzepts in einer X-GW Fabrik ist als gering einzustufen.

Im Vergleich zu den heute immer noch überwiegend produzierten Standard Aluminium Back Surface Field Solarzellen (Al-BSF) ist der Produktionsprozess komplexer, jedoch weist dieses Konzept durch die Emitter- und Rückseitenpassivierung und die lokal rückseitige Kontaktierung ein höheres Wirkungsgradpotential auf.



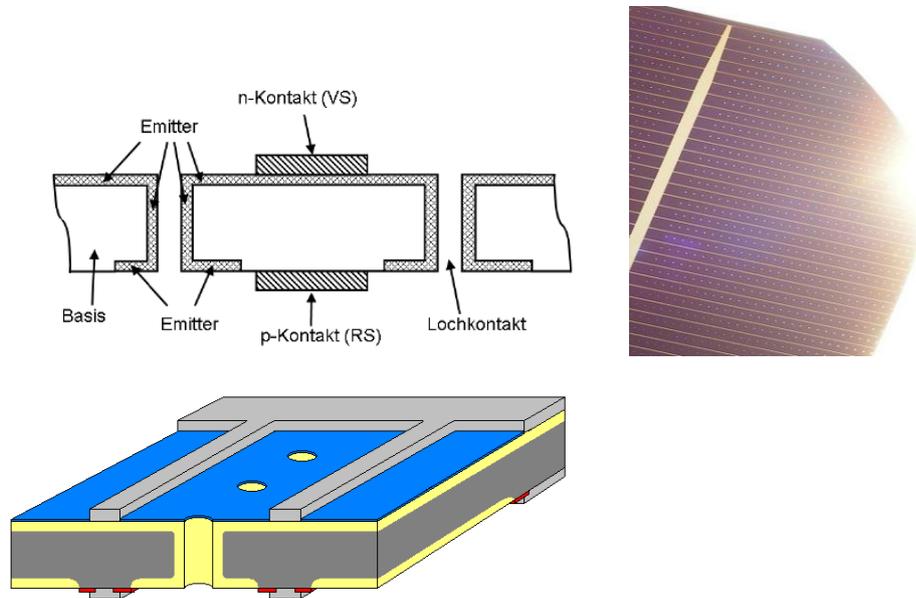
*Abbildung 3-6: Schema einer PERC Solarzelle mit passiviertem Emitter und rückseitigen Kontakten*

Jeweils 60 PERC Solarzellen werden in ein EVA Rückseitenfolien Modul eingebaut, das heutiger Industriestandard ist. Die Zellen sind mit zwei Kunststofffolien aus Ethylvinylacetat (EVA) zwischen einem Deckglas und einer TEDLAR Rückseitenfolie einlaminieren und sind so vor Witterungseinflüssen geschützt. Die mechanische Stabilität des Moduls wird durch einen Alurahmen gewährleistet.

### **Produkt c-Si BSK**

Das Konzept der beidseitig sammelnden und kontaktierten Solarzelle (BSK) stellt eine Weiterentwicklung des PERC Solarzellenkonzepts dar. Insbesondere basiert der Herstellungsprozess der BSK Zelle auf dem Herstellungsprozess der PERC Solarzelle und unterscheidet sich in nur wenigen Prozessschritten.

Als Basis der Solarzelle dient wie bei c-Si PERC ein multikristalliner p-dotierter Silicium Wafer. Die Zellstruktur zeichnet sich durch einen über Löcher verbundenen vorder- und rückseitigen Emitterbereich sowie ein Kontaktgitter auf der Rückseite aus, das besonders für eine bifaziale Anwendung geeignet ist und einen zusätzlichen Stromertrag ermöglicht. Abbildung 3-7 zeigt eine schematische Darstellung der Solarzellenstruktur. Mit zwei zusätzlichen Prozessschritten gegenüber des Prozesses zur Herstellung einer PERC Solarzelle ist die Prozesskomplexität gering.



*Abbildung 3-7: (Links) Schematische Darstellung der Solarzellenstruktur der beidseitig sammelnden und kontaktierbaren Solarzelle. (Rechts) Lichtbild einer BSK-Solarzelle zur Verdeutlichung des Lochkontaktes zwischen den Emitterbereichen auf Vorder- und Rückseite.*

Bei einer am Fraunhofer ISE durchgeführten Simulation konnte ein Zelleffizienz Vorteil des BSK-Konzeptes gegenüber der PERC-Referenz von bis zu 0.75 %<sub>abs</sub> gezeigt werden.

Jeweils 60 BSK Solarzellen werden in einem Glas-Glas-Solarmodul verschaltet, das als Schutz vor Witterungseinflüssen dient. Die Solarzellen werden dazu mit zwei EVA Folien in einem Verbund aus zwei Glasscheiben verkapselt. Zur Befestigung und zur Aussteifung des Moduls dienen zwei sog. Backrails, die auf der Rückseite des Moduls befestigt sind. Der Vorteil dieses Konzeptes liegt hauptsächlich in der Ersparnis des teuren Aluminium Rahmens und ist ebenfalls sehr gut für die bifaziale Anwendung geeignet.

In Abbildung 3-8 wird der Aufbau eines Glas-Glas-Moduls mit dem Aufbau eines Standard EVA Moduls verglichen.

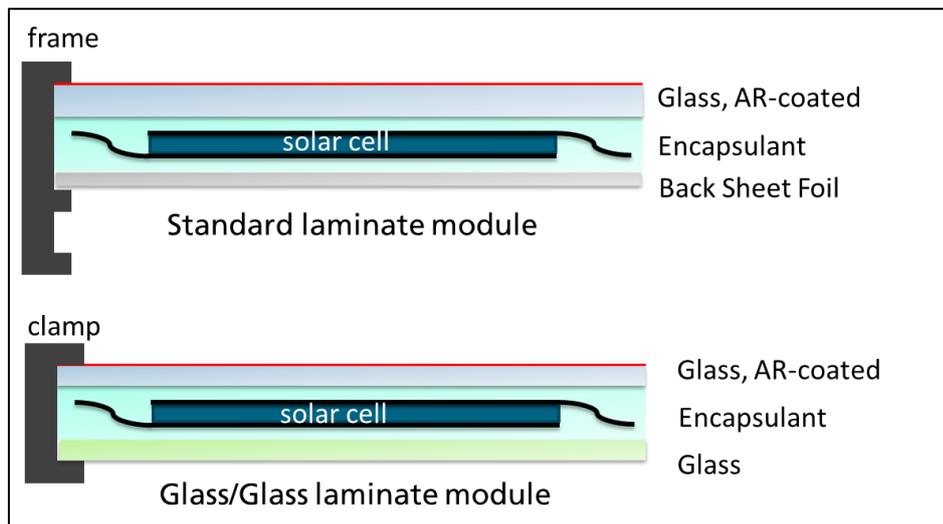


Abbildung 3-8: Schema eines Standard EVA Moduls (oben) und eines Glas-Glas-Moduls (unten), jeweils mit Polymer Verkapselung.

### Produkt CIGS

Die Kupfer- Indium – Gallium – Diselenid (CIGS) Solarzelle unterscheidet sich fundamental von den beiden c-Si Konzepten PERC und BSK, da sie ein Dünnschicht PV-Konzept darstellt und nicht auf dem Halbleiter Silicium basiert. Hierbei werden nach Abscheidung der Molybdän Rückseitenelektrode die aktiven CIGS Schichten auf ein Glassubstrat abgeschieden, welches gleichzeitig das rückseitige Glas des CIGS Moduls darstellt. Darauf folgend wird eine TCO<sup>3</sup> Schicht aus Zinkoxid abgeschieden. Das frontseitige Glas wird mit einer EVB Folie auf den Schichtstapel laminiert. Die Befestigung erfolgt wie bei c-Si BSK mit Backrails.

CIGS weist im Vergleich zu anderen PV-Dünnschichtkonzepten (amorphes oder mikrokristallines Silicium, Cadmium-Tellurid, u.a.) ein hohes Wirkungsgradpotential auf, jedoch weisen die CIGS Module derzeit trotz der im Vergleich zu c-Si PV niedrigen Produktionskosten einen geringen Marktanteil auf. Dies lässt sich auf die bei den heutigen PV-Systemen mit CIGS Modulen relativ hohen BoS Kosten zurückführen. Generell lässt sich festhalten, dass niedrige Modulkosten nicht für sich, sondern nur im Kontext mit den Systemkosten zu bewerten sind.

### 3.2.3 Produktionsprozess und Kenndaten der X-GW Fabrik

Die vertikale Integration entlang der PV-Wertschöpfungskette an einem Standort ist ein Schlüssel zur Senkung der Produktionskosten für PV-Module, da die Gewinnmargen und Logistikkosten innerhalb der Wertschöpfungskette entfallen. Deutlich wird das Einsparpotential, wenn die jährlich produzierten Mengen an Wafern, Zellen und Modulen in einer X-GW Fabrik betrachtet werden, die in Tabelle 3 5 für die Produktionskapazitäten 0,5-5 GWp/a und die drei Konzepte c-Si PERC, c-Si BSK und CIGS dargestellt sind.

<sup>3</sup> TCO: Transparent conductive oxide, dt. transparente, elektrisch leitende Oxide.

Eine vertikale Integration weiterer Wertschöpfungsstufen, wie beispielsweise die Herstellung von BoS<sup>4</sup> Komponenten (Wechselrichter, Aufständerung, PV-Verkabelung) oder die Herstellung von polykristallinem Silicium aus Quarzsand wird innerhalb dieser Studie nicht analysiert. Beide Ansätze stellen jedoch ein weiteres Potential zur Kostensenkung dar.

Die Produktion der c-Si Fabrik ist im Gegensatz zur CIGS Fabrik in drei einzelne Cluster unterteilt, die in der Aufbauphase der Fabrik auch unabhängig voneinander produzieren können, wodurch sich zwar die Wettbewerbsfähigkeit der Fabrik verschlechtert, jedoch Cash-Flow erzeugt wird, der für eine weitere vertikale Integration benötigt wird. Die Halbfertigprodukte Si Wafer und Zelle können auf dem Weltmarkt auch als Zukaufteile erworben werden.

Das Produktionssystem sowohl der c-Si als auch der CIGS Fabrik ist als vollautomatisierte Linienfertigung angelegt. Die Fabrik produziert im Vierschichtbetrieb durchgehend 24/7.

**Tabelle 3-5: Produktmix X-GW Fabrik**

Produkt	0,5 GWp/a	1 GWp/a	2 GWp/a	3 GWp/a	4 GWp/a	5 GWp/a
<b>c-Si PERC</b>						
<b>Wafer [Mio. Stk./a]</b>	114,2	228,4	456,7	685,1	913,5	1.141,8
<b>Zellen [Mio. Stk./a]</b>	112,5	224,9	449,9	674,8	899,8	1.124,7
<b>Module [Mio. Stk./a]</b>	1,87	3,74	7,48	11,22	14,96	18,70
<b>c-Si BSK</b>						
<b>Wafer [Mio. Stk./a]</b>	111,2	222,4	444,7	667,1	889,4	1.111,8
<b>Zellen [Mio. Stk./a]</b>	109,5	219,0	438,1	657,1	876,1	1.095,1
<b>Module [Mio. Stk./a]</b>	1,82	3,64	7,28	10,93	14,57	18,21
<b>CIGS</b>						
<b>Module [Mio. Stk./a]</b>	1,67	3,33	6,67	10,00	13,33	16,67

Durch die Skalierung der Fabrik entstehen auf Produktionssystemebene Kostensenkungspotenziale, da beispielsweise die Vor-Ort Erzeugung von Materialien lohnend sein kann. Für die im folgenden Kapitel dargestellten Berechnungen wurde davon ausgegangen, dass für die Produktion notwendige Druckluft, Stickstoff und deionisiertes Wasser (DI Wasser) innerhalb der Fabrik hergestellt wird.

Weitere technologische Kostensenkungspotenziale, die durch die Optimierung einer PV-Fabrik genutzt werden könnten, werden in Kapitel 4 erläutert.

<sup>4</sup> Abk. für "Balance-of-System". Hiermit werden in der Photovoltaik alle Komponenten außer dem Module bezeichnet, die für die Errichtung eines PV-Systems notwendig sind.

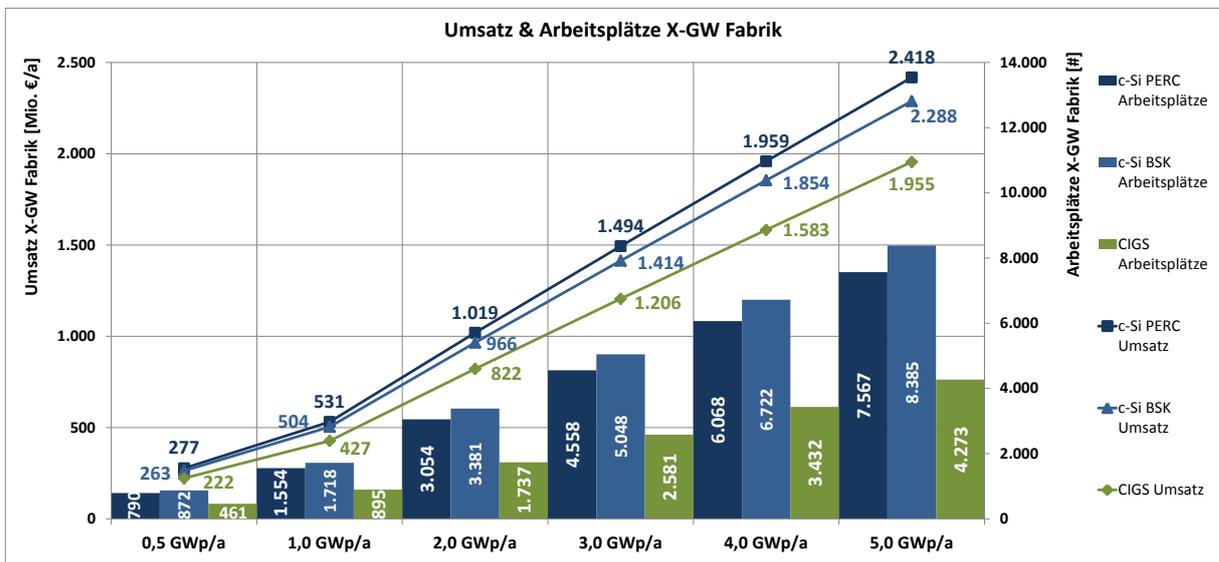


Abbildung 3-9: Umsatz und Arbeitsplätze einer X-GW Fabrik, dargestellt für die Konzepte c-Si PERC, c-Si BSK und CIGS.

### 3.3 Skaleneffekte in der PV-Produktion

Es wird im Folgenden gezeigt, dass durch eine Skalierung der Produktionskapazität einer PV-Fabrik Kostenvorteile generiert werden können. Diese Kostendegression pro produzierter Einheit bei zunehmendem Output wird als Skaleneffekt bezeichnet. Wie beschrieben, wurde in dieser Studie der Fokus auf die Quantifizierung von Skaleneffekten in der Beschaffung von Materialien und Anlagen gelegt, jedoch werden weitere zu erwartende Skaleneffekte innerhalb der Produktion qualitativ beschrieben.

#### 3.3.1 Skaleneffekte in der Beschaffung

Die Berechnung der Skaleneffekte in der Beschaffung geschieht durch Kalkulation der Produktionskosten eines 0,5 GWp/a Referenzprozesses und der anschließenden Skalierung der in die Kalkulation eingehenden Daten auf Produktionskapazitäten von 1-5 GWp/a (siehe Kapitel 3.1). Als Ergebnis dieser Analyse erhält man die Modulkosten für die Produktionskapazitäten 0,5-5 GWp/a. Diese sind in Abbildung 3-10 für die Konzepte c-Si PERC, c-Si BSK und CIGS Modul dargestellt.

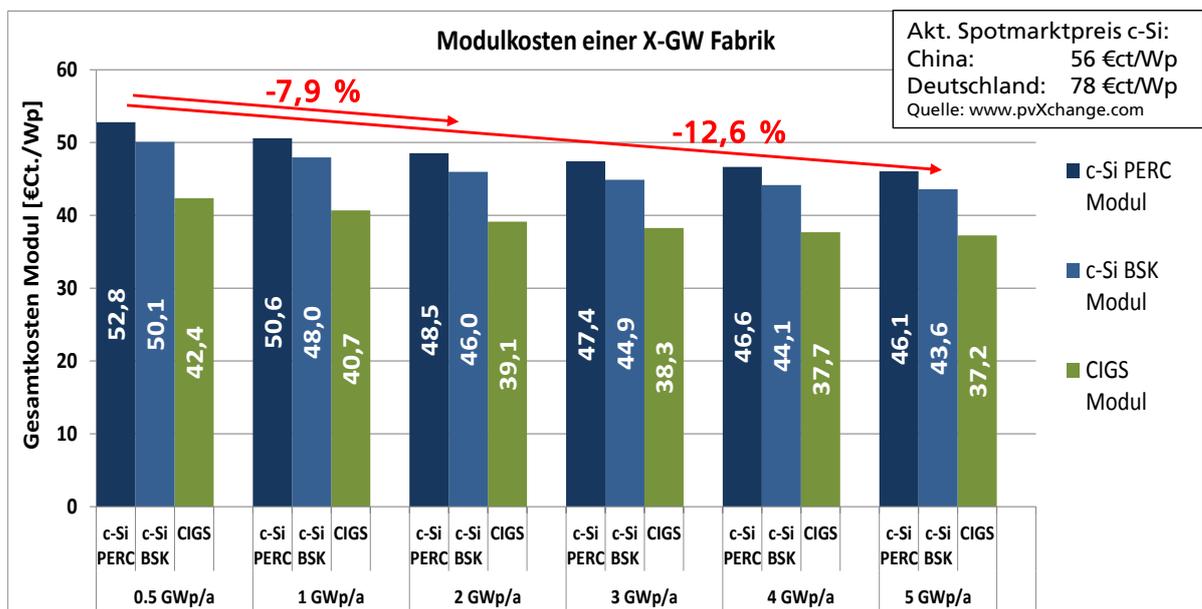


Abbildung 3-10: Modulkosten der X-GW Fabrik

Die aktuelle Technologie c-Si PERC weist die höchsten Modulkosten auf, gefolgt von der Weiterentwicklung c-Si BSK. Am günstigsten können in der hier betrachteten Produktion CIGS Module hergestellt werden. Bei einer Kapazität von 5 GWp/a können im Vergleich zu 0,5 GWp/a durchschnittlich 12,6 % bzw. 6 €/Ct./Wp der Modulkosten eingespart werden. Bei einer Kapazität von 2 GWp/a können die Modulkosten um durchschnittlich 7,9 % bzw. 4 €/Ct./Wp gesenkt werden.

Die kalkulierten Modulkosten sollten im Zusammenhang mit den Ergebnissen aus der Marktanalyse gesehen werden. Die Spotmarktpreise für PV-Module liegen in Deutschland derzeit zwischen 56 und 78 €/Ct./Wp.

Für eine detaillierte Analyse der Modulkosten sind diese in Abbildung 3-11 nach Kostenarten aufgeteilt. Die Kostenart „OPEX“ (Operational Expenditures<sup>5</sup>) umfasst sämtliche für die Produktion notwendigen Materialien sowie Personalkosten für das in der Produktion tätige Personal. Die Kostenart „Abschreibung“ gibt die Kosten für die Abschreibung von Produktionsanlagen, Gebäuden & Versorgungstechnik wieder. Mit „Kapitalkosten“ wird das durchschnittlich im Unternehmen gebundene Kapital finanziert. Die Kostenart „Admin&Gemeinkosten“ enthält Kosten für Verwaltung, F&E, Vertrieb, usw.

Der größte Anteil der Kosten wird bei allen drei Konzepten durch „OPEX“ verursacht. Der Anteil der Abschreibungs- sowie Kapitalkosten ist bei CIGS deutlich höher als bei den c-Si Konzepten. Die Kosten für „Admin&Gemeinkosten“ sind für jedes Konzept gleich hoch.

<sup>5</sup> Dt.: Kosten des operativen Betriebs.

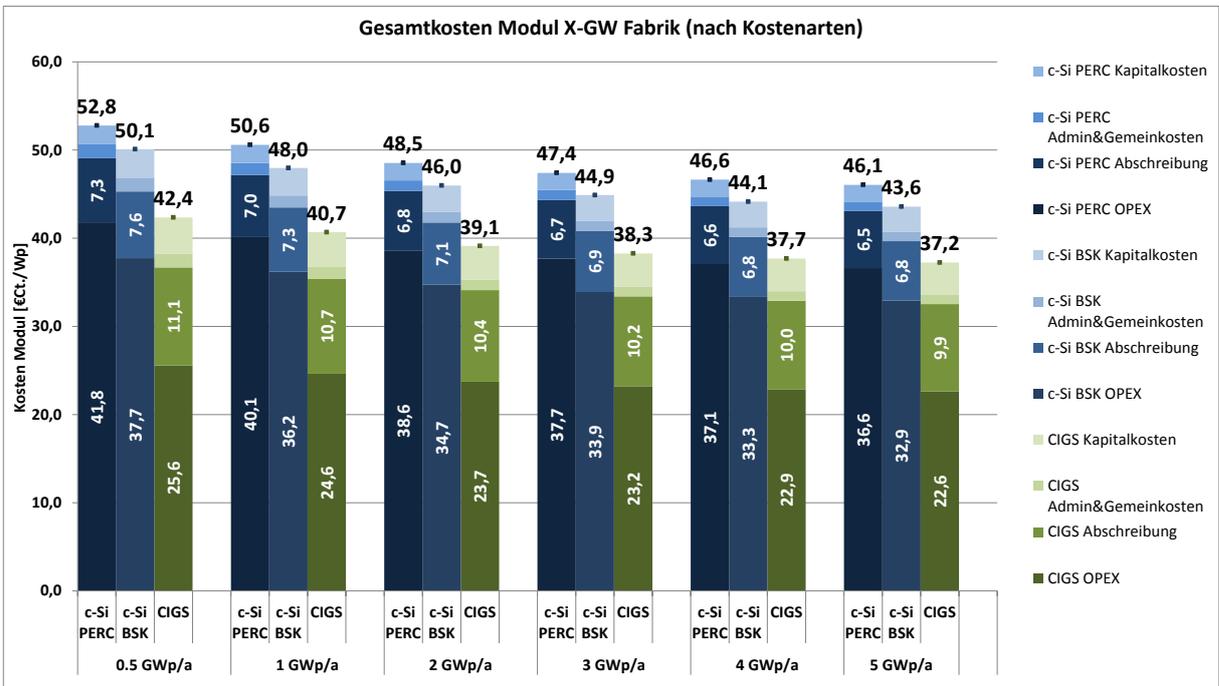


Abbildung 3-11: Gesamtkosten Modul nach Kostenarten

Wie oben beschrieben, ist es für die Bewertung von PV-Konzepten mit unterschiedlichen Modulflächen bzw. Moduleffizienzen zwingend notwendig, die Kosten für das PV-System zu vergleichen. Die Systemkosten für PV-Systeme, die mit den PV-Modulen einer X-GW Fabrik erstellt werden, werden in Abbildung 3-12 analysiert. Hier ist wie bei den Modulkosten das Konzept c-Si PERC am teuersten, gefolgt von c-Si BSK und CIGS. Durch die höheren BoS- Kosten bei CIGS wird die Kostendifferenz zu den c-Si Konzepten verringert.

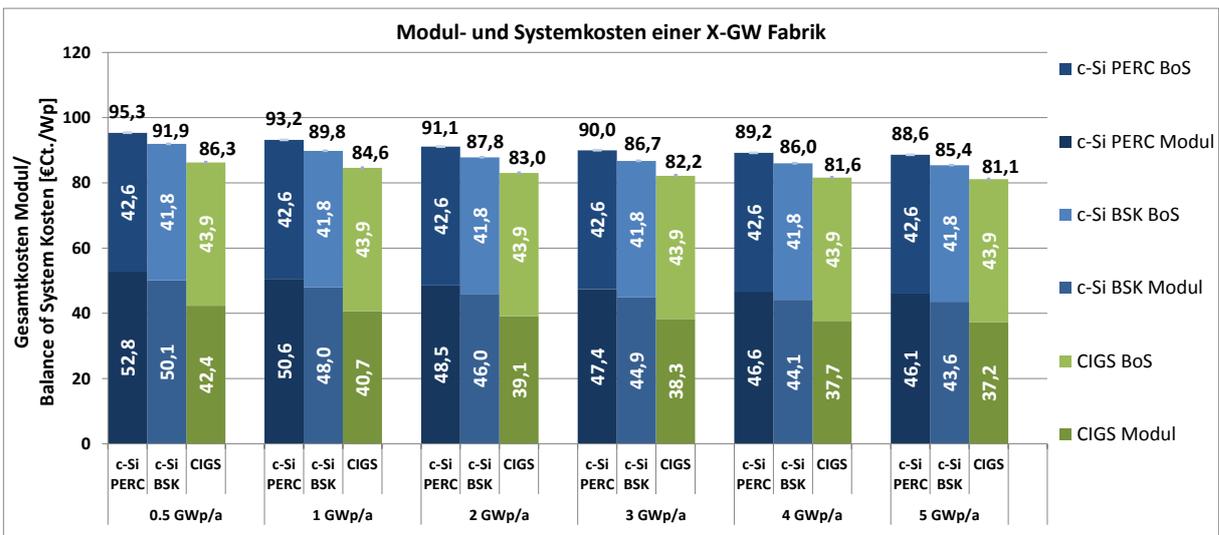


Abbildung 3-12: Gesamtkosten PV-System bei Verwendung von PV-Modulen einer X-GW Fabrik

Betrachtet man die mit diesen PV-Systemen erzielbaren Stromgestehungskosten am Standort Freiburg (vgl. Abbildung 3-13), so liegen diese zwischen 7,27 €/kWh

und 8,69 €Ct./kWh. Die günstigsten Stromgestehungskosten können durch beidseitig beleuchtete c-Si BSK Module erzielt werden. Die beidseitige Beleuchtung wird beispielsweise bei einer Freilächenaufstellung oder auf Flachdächern erzielt. Beide Anwendungsfälle stellen zusammen einen Großteil des erwarteten PV-Marktes in den Jahren 2013-2017 (vgl. Abbildung 2-23).

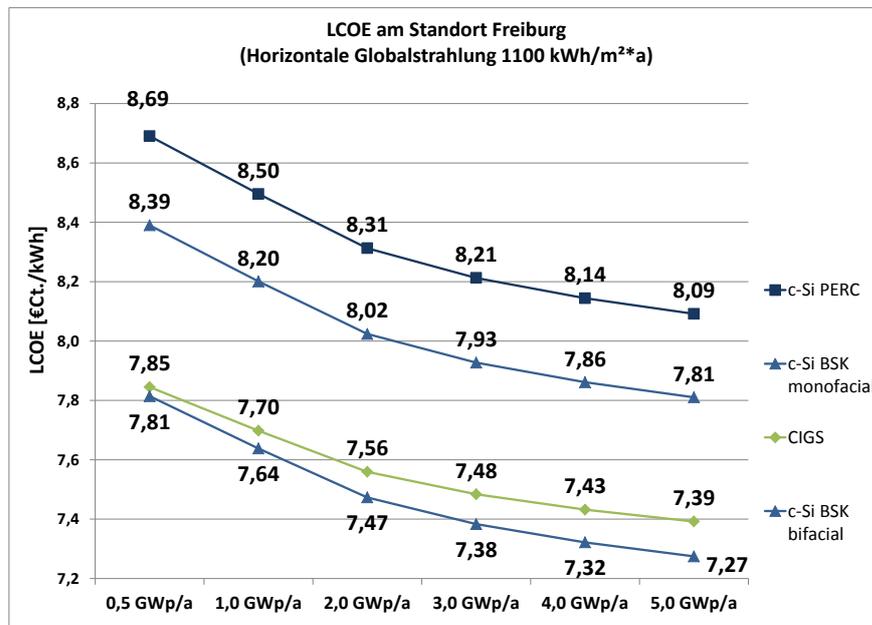


Abbildung 3-13: Stromgestehungskosten (LCOE) eines PV-Systems am Standort Freiburg bei Verwendung von PV-Modulen einer X-GW Fabrik

Bei identischen Finanzierungsbedingungen und PV-Systempreisen können in Südspanien am Standort Sevilla mit den Konzepten c-Si PERC, c-Si BSK und CIGS Stromgestehungskosten von 4,45 €Ct./kWh bis 5,32 €Ct./kWh realisiert werden, vgl. Abbildung 3-14.

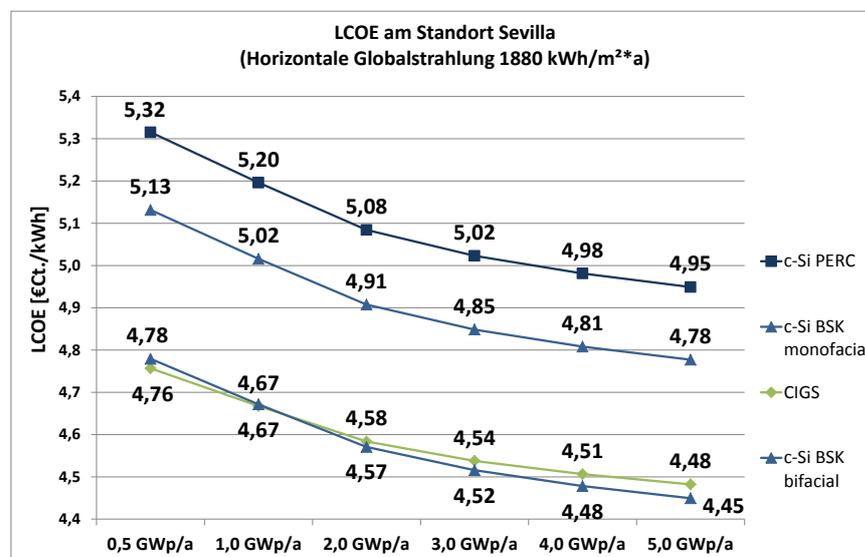


Abbildung 3-14: Stromgestehungskosten (LCOE) eines PV-Systems am Standort Sevilla bei Verwendung von PV-Modulen einer X-GW Fabrik

An dieser Stelle sei noch einmal darauf hingewiesen, dass die zugrundeliegenden Daten für die Berechnung der Dünnschichttechnologie nicht im selben Maße validiert werden konnten wie die der c-Si Technologien.

Alle bisher gezeigten Ergebnisse weisen wegen der Unsicherheit der Eingangsdaten des Modells ebenso eine bestimmte Unsicherheit auf, die mit einer Monte-Carlo-Simulation quantifiziert wurde. Es ist naheliegend, dass Werte wie Einkaufspreise von Materialien vom Verhandlungsgeschick der beteiligten Unternehmen oder globalen Entwicklungen abhängig ist. Außerdem ist es möglich, dass die Effizienz der produzierten PV-Module nicht genau den Annahmen in dieser Kalkulation entspricht.

Aus diesem Grund wurden diese beiden Einflüsse ausgewählt, um zu bestimmen, wie zuverlässig die ermittelten Ergebnisse sind.

Die entsprechenden Boxplot Diagramme zu den Verteilungen der kalkulierten Modulkosten für die Konzepte c-Si PERC, c-Si BSK und CIGS sind in Abbildung 3-15, Abbildung 3-16 und Abbildung 3-17 dargestellt. Die Fehlerbalken zeigen das 95 % Intervall aller Ergebnisse an. Die farbigen Rechtecke stellen jeweils eine Standardabweichung um den Mittelwert der Verteilungen dar.

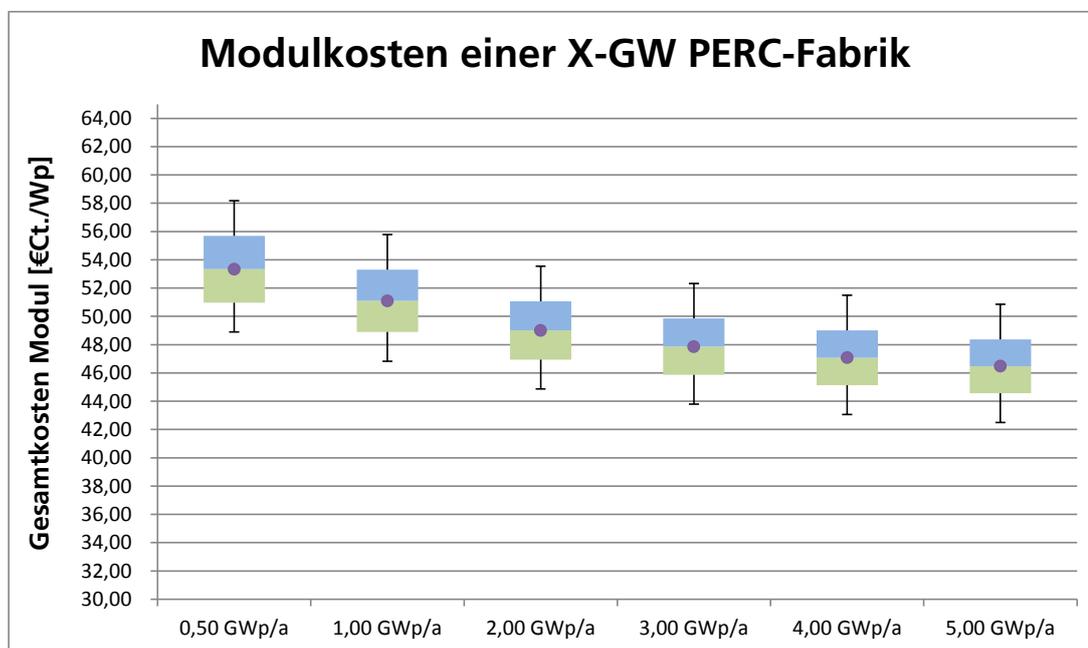


Abbildung 3-15: Boxplot der Ergebnisse einer Monte-Carlo-Simulation für das Konzept c-Si PERC

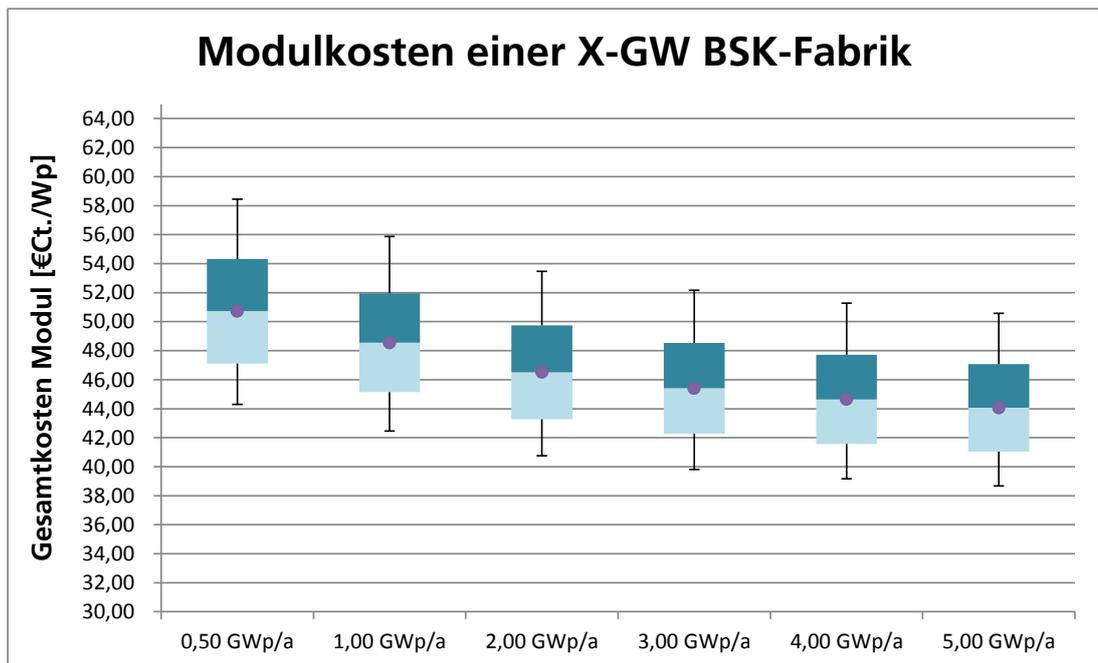


Abbildung 3-16: Boxplot der Ergebnisse einer Monte-Carlo-Simulation für das Konzept c-Si BSK

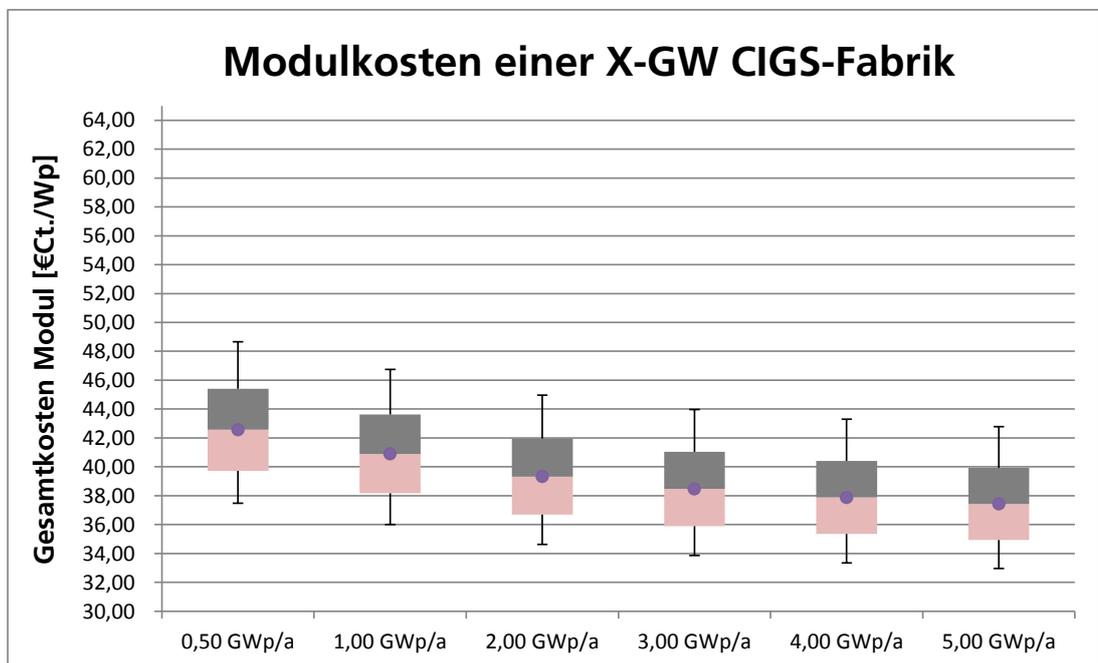


Abbildung 3-17: Boxplot der Ergebnisse einer Monte-Carlo-Simulation für das Konzept CIGS

### 3.3.2 Skaleneffekte in der Produktion

Neben den Skaleneffekten, die durch die Beschaffung von Materialien, Produktionsanlagen und Gebäuden entstehen, werden durch technische Entwicklungen innerhalb der Produktion weitere Skaleneffekte erwartet. Beispielsweise kann durch eine Steigerung des Durchsatzes von Produktionsanlagen die Anzahl der Produktionsanlagen reduziert werden, was erwartungsgemäß zu Kostenreduzierungen führt.

**Tabelle 3-6: Erwartete Durchsatz-Zunahme**

Year	Front-end [wafer/h] (chemical + thermal)	Single line back-end [wafer/h] (metallization + classification)
2012	3600	2800
2013-2015	5000	3200
2017	6400	4200
2023	7200	7200

*Table 2: Expected throughput of production tools. Front- and back-end tool throughput is expected to be 1:1 by 2023. All numbers are to be seen as minimum requirements for a high-end production environment.*

Weitere mögliche Synergieeffekte innerhalb zukünftiger X-GW Fabriken, die erst aufgrund deren Produktionsgröße und die dadurch erforderlichen Materialverbrauchsvolumina ermöglicht werden, sind die wirtschaftlich vorteilhafte Selbsterzeugung von Materialien und Energie „Make or Buy“, das Recycling von in der Produktion eingesetzten Materialien innerhalb der Fabrik und die Energierückgewinnung aus dem Produktionsprozess, bspw. durch Nutzung der Produktionsanlagen.

### SWOT-Analyse der X-GW Fabrik

		Interne Analyse	
		Stärken (Strengths)	Schwächen (Weaknesses)
Externe Analyse	Chancen (Opportunities)	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Weltweit führendes Produktions-Know-How</li> <li>▪ Kooperation mit weltweit führenden PV-BOS-Komponentenhersteller ermöglicht Angebot von kompletten PV Systemen oder Stromlieferungsverträgen</li> <li>▪ Enge Vernetzung mit F&amp;E und Anlagenherstellern in D und Europa</li> <li>▪ Integration der Zulieferindustrie am Standort (Schaffung eines PV Technologie Clusters)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Integration der Zulieferindustrie am Standort</li> <li>▪ Kapitalbeschaffung in Europa schwieriger und teurer</li> <li>▪ Deutsche Equipment-Hersteller beliefern globalen Markt</li> </ul>
	Risiken (Threats)		<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Starke Wettbewerber aus Asien</li> <li>▪ Wettbewerbsfähigkeit nur mit großer X-GW PV-Produktion möglich</li> <li>▪ Kein europäischer Konsens in der Energiepolitik</li> <li>▪ PV wird in EU nicht als strategisch wichtige Technologie betrachtet</li> </ul>

<b>Interne Analyse</b>	
<b>Stärken (Strengths)</b>	<b>Schwächen (Weaknesses)</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Nähe zu technologisch führenden Zulieferindustrie in Deutschland bietet enge Zusammenarbeit für technologische Weiterentwicklung</li> <li>▪ Steigerung der Flexibilität des Produktportfolios durch X-GW skalige Fabrik</li> <li>▪ PV Technologien und PV Produktionsprozesse für eine X-GW Fabrik sind teilweise mit Schutzrechten versehen</li> <li>▪ Hochqualifizierte Fachkräfte im technologischen Bereich vorhanden</li> <li>▪ Einfuhrzoll in Europa garantiert Abnahmepreis und schützt vor Anti-Dumping</li>   <li>▪ Nähe zu Lieferanten, Forschungsinstituten und Anlagenherstellern</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Logistikaufwand steigt mit Größe der x-GW-Fabrik</li> <li>▪ PV Standardtechnologien sind nicht durch Schutzrechte abgesichert</li>   <li>▪ Höhere Löhne &amp; Gehälter als bei asiatischen Wettbewerbern</li> <li>▪ Geringe Margen aufgrund von Preiskampf möglich</li> <li>▪ Investorensuche für die Finanzierung der Neuerrichtung einer PV Fabrik ist derzeit schwierig</li> <li>▪ Beschaffung des Kapitalvolumens in Milliardenhöhe schwierig</li> <li>▪ Marktwachstum des unmittelbaren Absatzmarktes in Europa stagniert</li> </ul>

<b>Externe Analyse</b>	
<b>Chancen (Opportunities)</b>	<b>Risiken (Threats)</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Preisreduktion von Speichertechnologien fördert Nachfrage</li> <li>▪ Wachsende emissionsfreie Mobilität fördert Nachfrage nach erneuerbaren Energien</li> <li>▪ PV-BOS-Komponenten-Hersteller weltspitze in D</li> <li>▪ PV Anlagen- Hersteller in D weltweit führend</li> <li>▪ Kooperationen mit europäischen PV Unternehmen möglich, bspw. Schaffung von Einkaufskooperationen</li> <li>▪ Komplette Zulieferindustrie in D vorhanden</li> <li>▪ Schaffung eines positiven Umfelds für PV Produktion</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Überkapazität im Markt</li> <li>▪ Sinkender Ölpreis oder auch Fracking kann PV-Nachfrage/-wachstum in bestimmten Märkten senken</li> <li>▪ Möglichkeit der Entwicklung von geschützten Technologien, die eine kostengünstigere Produktion ermöglichen</li> <li>▪ Imitatoren, denn deutsche Equipment-Hersteller beliefern globalen Markt</li> <li>▪ Zulieferindustrie beliefert auch Wettbewerber</li> <li>▪ Regulierung der Netzintegration von PV-Strom</li> </ul>

## 4 Wertschöpfungsnetzwerk der X-GW Fabrik

(Hauptverantwortlich: Fraunhofer IPA)

Die Photovoltaik-Industrie hat sich in den vergangenen Jahren zu einer etablierten Branche entwickelt, mit enormem Wachstum in der Vergangenheit und großem Potential für die Zukunft. Ähnlich wie in anderen Märkten wächst auch in der Photovoltaik-Industrie das Bewusstsein dafür, dass punktuelle Optimierungen, z.B. an Produktionsanlagen, Materialien und Bauteilen eines PV-Systems, wie z.B. auch das PV-Modul als Endprodukt ein solches ist, nicht mehr ausreichen um wettbewerbsfähig zu bleiben.

Diese Studie wurde u.a. mit dem Ziel durchgeführt die Wirtschaftlichkeit der X-GW Fabrik und deren Möglichkeiten zur Reduzierung der Stromgestehungskosten durch Erhöhung der Modul- und Systemeffizienz sowie durch Skaleneffekte zu bewerten.

Vor dem Hintergrund der sich abzeichnenden Änderungen der energiepolitischen Rahmenbedingungen wird der alleinige Fokus auf die Produktion elektrischer Endenergie („produce and forget-Prinzip“<sup>6</sup>) nicht mehr ausreichend sein, um eine qualitativ hinreichende Bewertung von Alternativsystemen durchzuführen. Aspekte der Versorgung und Bereitstellung von Nutzenergie werden in absehbarer Zeit eine deutlich größere Rolle spielen als sie es bisher tun<sup>7</sup>.

Der Betrachtungshorizont muss daher von der Bewertung der Endenergie (Stromgestehungskosten) auf die Nutzenergie und um Aspekte bzw. Funktionen der Energie-Umwandlung, -Verteilung und -Speicherung erweitert werden.

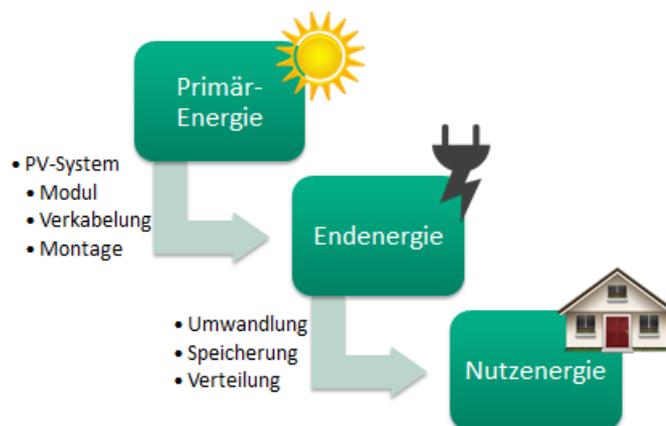


Abbildung 4-1: Primär-, End- und Nutzenergie in der Photovoltaik

<sup>6</sup> „‘Produce and forget’: Der Übertragungsnetzbetreiber kauft jede erneuerbare MWh zum gleichen Preis, unabhängig davon, wie groß gerade der Bedarf ist.“, aus Positionspapier Direktvermarkter Erfahrungen und Weiterentwicklung, [http://www.grundgruen.de/fileadmin/user\\_upload/131108\\_Positionspapier\\_Direktvermarkter.pdf](http://www.grundgruen.de/fileadmin/user_upload/131108_Positionspapier_Direktvermarkter.pdf), abgerufen am 19. November 2013

<sup>7</sup> Eberhard Holstein, Grundgrün Energie GmbH, mündlich am 19. Und 21. November 2013

Ein Vergleich heutiger Stromgestehungskosten durch Photovoltaik in Höhe von 13,7 €/kWh bis 16,5 €/kWh<sup>8</sup> (PV-Anlage bis 10kWp in Süd-Deutschland) mit den Angebotspreisen für elektrische Energie, z.B. für private Haushalte, in Höhe von aktuell ca. 28 €/kWh bis 29 €/kWh<sup>9</sup> zeigt eine große Differenz auf. Die Schlussfolgerung, Energie aus PV-Anlagen ist preiswerter als „konventioneller Strom aus der Steckdose“ (bei Bezug vom jeweiligen Energieversorger) ist nur zulässig wenn diese, die Nutzenergie kennzeichnenden, Aspekte in der Kalkulation ausreichend berücksichtigt werden. Dies ist in vielen Fällen jedoch nicht der Fall. Die Differenz quantifiziert für Industrie und Forschung jedoch approximativ die Zielkosten für diese Funktionen.

Ausgehend von den Anforderungen zur Versorgung und Bereitstellung der Nutzenergie leiten sich die Spezifikationen an das PV-System und dessen Komponenten ab. Diese Komponenten stellen das Produkt der jeweiligen Wertschöpfungsstufe dar und haben somit direkten Einfluss auf den jeweiligen Produktionsprozess. Dieser beeinflusst wiederum signifikant die Anforderungen an die Produktionsanlagen und damit die Gesamtheit der Produktionssysteme innerhalb der Wertschöpfungskette.

Zusammenfassend lässt sich daher feststellen, dass Anforderungen an die Versorgung und Bereitstellung von elektrischer Nutzenergie in indirekter Weise Einfluss auf die gesamte Wertschöpfungskette haben.

Die Optimierung der Wertschöpfungskette trägt somit einen Teil zur Kostenreduzierung der Nutzenergie bei. Analog zu Branchen die diesen Prozess, wie etwa die Automobil-Industrie, bereits erfahren haben, muss auch die Photovoltaik-Branche verstärkt Geschäftsprozesse etablieren, die kontinuierliche Verbesserungen und damit die Reduzierung von Verschwendungen und den Fokus auf wertschöpfende Aktivitäten erlauben.

Die Einführung und Steuerung eines solchen Prozesses obliegt in der Automobil-Industrie in der Regel den Automobil-Herstellern, die auf diese Weise wesentliche Bereiche ihrer Wertschöpfungskette optimieren. So hat das Toyota-Produktionssystem, welches Vorbild für die eigene und viele weitere Branchen noch heute ist, seinen Ursprung in den Konstruktions- und Produktionshallen des gleichnamigen Fahrzeugherstellers.

Zwar existieren in Deutschland Lieferanten auf fast allen, für die Herstellung eines PV-Systems relevanten Wertschöpfungsstufen, im Gegensatz zur Automobil-Branche gibt es augenscheinlich jedoch keinen Partner, der in der Lage wäre solche ganzheitliche Veränderungen der Produktionskette zu etablieren und durchzusetzen.

Zudem hat, im Verhältnis zur Automobil-Industrie, die Optimierung der Wertschöpfungskette in der Photovoltaik bisher eine deutlich geringere Priorität, da die Steigerung der Zell-Effizienz stets Vorrang vor der Optimierung der Produktionssysteme hatte. Dies bietet daher noch Potentiale, die mit einer koordinierten Zusammenarbeit, sowohl auf vertikaler als auch auf horizontaler Ebene, ausgeschöpft werden können.

---

<sup>8</sup> Fraunhofer ISE, „Stromgestehungskosten Erneuerbare Energien“, November 2013

<sup>9</sup> Fraunhofer ISE, „Aktuelle Fakten zur Photovoltaik in Deutschland“, 3. November 2013

Schließen sich mehrere Marktteilnehmer mit eben diesem Ziel zusammen, die Wertschöpfung ganzheitlich, folglich pareto-optimal, zu gestalten, benötigt man nicht zwangsläufig einen dominierenden „Global Player“.

Eine Kollaboration dieser Art bedarf eindeutiger Systemgrenzen, klarer Ziele und deren Messgrößen (Kapitel 4.2) und eine Organisationsstruktur, welche die Anforderungen im Hinblick auf produktions- und produkttechnische, finanzielle und organisatorische Aspekte erfüllt.

Diese Art der Zusammenarbeit bildet ein Wertschöpfungsnetzwerk, welches stärker als traditionelle Lieferketten miteinander verzahnt ist.

Die Chancen und Risiken, die ein solches Netzwerk mit sich bringt, werden im Kapitel (0) skizziert. Sogenannte „Best-Practice“-Beispiele zeigen erste Bestrebungen hin zu einer vertikalen Integration innerhalb der Photovoltaik-Industrie, also einer Optimierung über mehrere Wertschöpfungsstufen hinaus und erfolgreich umgesetzte Beispiele aus anderen Branchen (Kap 4.5).

Die in dieser Studie beschriebene X-GW Fabrik wird hierbei mit ihren jeweiligen Systemgrenzen, welche sich abhängig von der verwendeten Technologie unterscheiden, als ein integraler Bestandteil dieses Wertschöpfungsnetzwerks angesehen.

## 4.1 Systemgrenzen und Entstehung des Wertschöpfungsnetzwerks

Tendenziell vergrößert eine höhere Wertschöpfungstiefe mögliche Potentiale einer Kollaboration. Dabei können Optimierungen nicht nur während des Produktionsprozesses von Materialien, Komponenten und Produktionsanlagen realisiert werden. Im gesamten Lebenszyklus, von der Planung über die Produktion, Installation, Betrieb, Service und Wartung sowie auch den Rückbau, sind Potentiale bereits zum heutigen Zeitpunkt identifizierbar.

Die Systemgrenzen des Wertschöpfungsnetzwerks bestimmen sich dabei durch die beteiligten Partner, deren Produktangebot, Schnittstellen zu anderen Partnern, verfügbarem Know-how und Motivation.

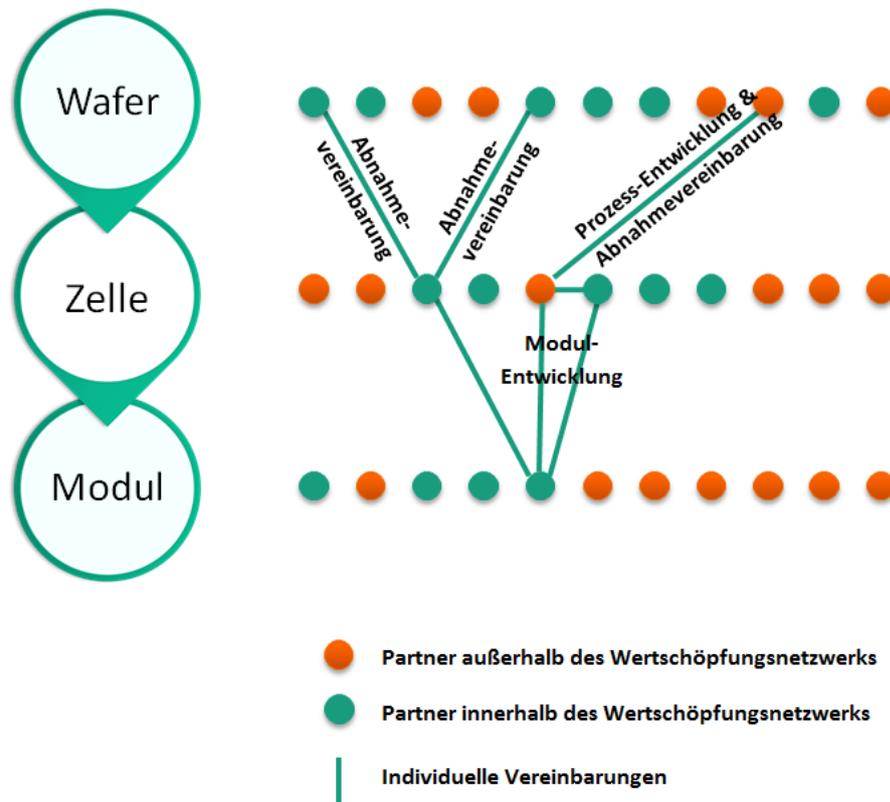


Abbildung 4-2: Schematische Abbildung eines PV-Wertschöpfungsnetzwerks

Wenn auch grundsätzlich ein möglichst großes Netzwerk wünschenswert ist, so ist es aufgrund der Komplexität unwahrscheinlich, dass die gesamte Wertschöpfung unter Berücksichtigung aller Stufen, etwa der Wafer-Herstellung, des Glases, des Wechselrichters, der Batterien bis zur Bereitstellung der Nutzenergie, von Beginn an realisiert werden kann.

Um ein langfristig robustes Netzwerk zu schaffen ist dies nach Meinung der Autoren auch nicht notwendig. Vielmehr sollten einzelne Partner, mit der Perspektive ein größeres und umfassenderes Netzwerk zu bilden, eine Kollaboration beginnen, um Optimierungen mit dem größten Grenznutzen zu realisieren und die dabei gewonnenen Erfahrungen auf das dann wachsende Netzwerk anwenden zu können.

Eine mögliche X-GW Fabrik wäre, je nach Zeitpunkt der Realisation, ein idealer Partner, der von Beginn an partizipieren sollte. Aufgrund der gut etablierten Photovoltaik-Branche, mit einer hohen Anzahl bereits existierender deutscher Unternehmen und ca. 100.000 Beschäftigten, ist die Realisierung eines Netzwerks vor dem aktuell vorgesehenen Aufbau der X-GW Fabrik Ende IIQ 2016 jedoch zu prüfen.

Eine Erweiterung aus dem initialen Kreis der beteiligten Partner ist hierbei sowohl in horizontaler als auch in beide vertikale Richtungen denkbar und wünschenswert; dies stets mit dem Ziel verbunden, die Effizienz über das gesamte Netzwerk hinweg pareto-optimal zu optimieren. Dies kann zu Zielkonflikten führen, für die möglichst zu Beginn der jeweiligen Zusammenarbeit Regelungen gefunden werden sollten, um Streitfälle zwischen Partnern präventiv vorzubeugen. Nachfolgend werden einige mögliche Anforderungen an ein Netzwerk aufgelistet, die den nachhaltigen Aufbau ermöglichen oder zumindest erleichtern.

#### **4.2 Messgrößen eines integrierten Wertschöpfungsnetzwerks (Key-Performance-Indikator [KPI's])**

Das Ziel eines integrierten Netzwerks ist es, die Wirtschaftlichkeit der Beteiligten aller Wertschöpfungsstufen zu erhöhen. Voraussetzung zur Feststellung des Zielerfüllungsgrades ist dabei die Definition relevanter Messgrößen.

Die heute angewandten quantitativen Kennzahlen, z.B. der Kosten und Preise für Zwischenprodukte der jeweiligen Wertschöpfungsstufen und der qualitativen Bewertung, etwa der Modul-Qualität, sind zur ganzheitlichen Bewertung einer Wertschöpfungskette nicht ausreichend.

Die folgende Auflistung gibt einen Auszug möglicher Messgrößen bzw. Key-Performance-Indicators (KPIs), die zusätzlich zur Betrachtung einzelner Wertschöpfungsstufen, Gegenstand der Bewertung eines Netzwerks sein sollten.

##### **Produkt**

- **Kosten des Endproduktes**  
Diese Kennzahl bewertet die Kosten des Endproduktes des Netzwerks, unter Berücksichtigung und Abgrenzung der Bewertung jeweils voneinander unabhängiger Komponenten. Damit wird eine Optimierung des Endproduktes fokussiert und nimmt ungünstigere Bewertungen der Kennzahlen von Einzelkomponenten in Kauf.
- **Theoretisch möglicher Marktabdeckungsgrad**  
Der Marktabdeckungsgrad bestimmt den Anteil des Absatzmarktes, den das Netzwerk durch sein Produktportfolio adressieren kann. Je größer die mögliche Marktabdeckung, desto größer ist der potentielle Absatzmarkt und desto kleiner das Risiko einer Substitution durch Produkte außerhalb des Produktportfolios.
- **Grad der Standardisierung**  
Ein höherer Standardisierungsgrad hat tendenziell eine Reduzierung funktionsgleicher Produkt-Varianten zur Folge. Dies hat Einfluss auf direkte und indirekte Kosten, die im Laufe eines Lebenszyklus' entstehen.

- „Time-to-Market“ neuer Produkt-Varianten

Zeitraum zwischen Identifikation neuer Anforderungen (technologischer Art als auch seitens des jeweiligen Absatzmarktes) bis zur Marktverfügbarkeit. Zeigt den Grad der Anpassungsfähigkeit des Produktportfolios auf.

### **Produktion und Lieferkette**

- Produktionsflexibilität

Anpassungsfähigkeit an neue technologische Anforderungen oder Anforderungen vonseiten des Absatzmarktes.

- Grad der Lieferfähigkeit und Liefertreue

Anteil der Aufträge, dessen Kundenwunschtermine erfolgreich eingehalten werden konnten.

### **Finanziell**

- Höhe der Kapitalbindung

Gebundenes Kapital innerhalb des Netzwerks durch Investitionen in Anlage- und Umlaufvermögen.

- Vertriebs- und Verwaltungskosten

Entstehende Aufwendungen für Vertriebs- und Verwaltungsleistungen innerhalb des Netzwerks

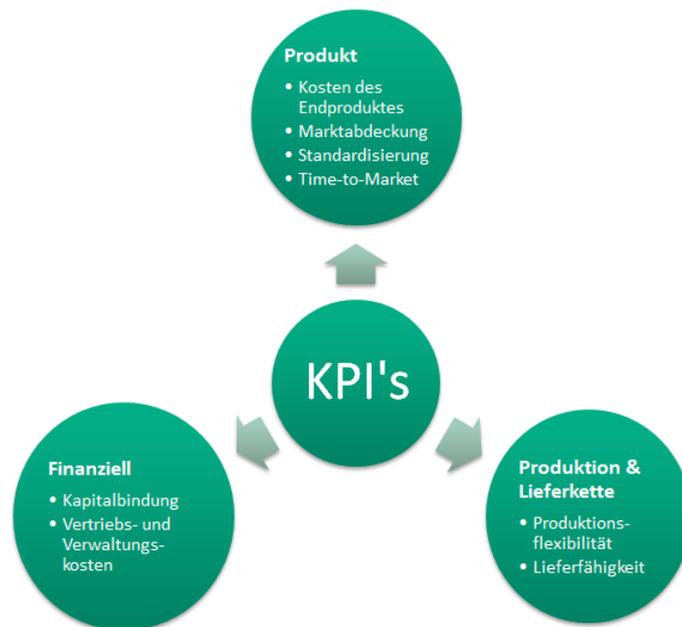


Abbildung 4-3: Mögliche Key-Performance-Indicator

Diese KPIs stellen Beispiele für mögliche Bewertungskriterien von Wertschöpfungsnetzwerken dar. Sie sollten auf den jeweiligen Anwendungsfall erweitert und angepasst werden.

Eine ganzheitliche, und damit pareto-optimale, Optimierung des Wertschöpfungsnetzwerks kann zur Benachteiligung einzelner Partner führen. Der Umgang mit diesen Zielkonflikten ist Teil der Anforderungen die in rechtlicher und organisatorischer Hinsicht an das Wertschöpfungsnetzwerk gestellt werden.

### **4.3 Anforderungen an ein Wertschöpfungsnetzwerk**

Der Aufbau eines Wertschöpfungsnetzwerks kann auf vielfältige Weise realisiert werden. Denkbar sind strategische Partnerschaften, ebenso wie eine umfassende vertikale Integration eines Unternehmens oder etwa ein Franchising-Konzept. Wie bereits erläutert, ist die deutsche Photovoltaik-Industrie aktuell durch eine ausgeprägte Dezentralisierung gekennzeichnet, weshalb in diesem Kapitel näher auf dieses Szenario eingegangen wird.

Dabei würde die Entwicklung eines Konzeptes für ein verteiltes Wertschöpfungsnetzwerk den Rahmen dieser Studie sprengen. An dieser Stelle sollen stattdessen einige relevante Anforderungen an ein solches Netzwerk skizziert werden, die die Grundlage einer Netzwerkarchitektur bilden können.

#### ***Organisation***

Wie bereits vorangehend beschrieben bestimmen die beteiligten Partner und deren Produktportfolio, ihre Schnittstellen zu anderen Unternehmen, das verfügbare Know-how und die entsprechende Motivation zur Zusammenarbeit den Umfang des Netzwerks.

Dem Netzwerk angeschlossen sind damit Unternehmen, die sich in definierten Teilen Ihres eigenen Produktportfolios zu einer strategischen Zusammenarbeit verpflichten. Eine Exklusivität gegenüber Unternehmen außerhalb des Netzwerks wird aufgrund der daraus folgenden Abhängigkeit einzelner Partner aus heutiger Sicht nicht empfohlen.

Langfristig sollte die Erweiterung des Netzwerks dazu führen, dass alle Wertschöpfungsstufen, welche Kostenoptimierungspotentiale bieten, integriert sind. Dies bedingt eine zunächst offene Struktur für neue Partner, bei der die Partizipation für jeden einzelnen Partner dauerhaft wirtschaftlich ist.

Eine Erweiterung des Netzwerks sollte angestrebt werden, wenn der Grenznutzen zusätzliche Aufwände, z.B. organisatorischer Art, rechtfertigt. Eine Spezifikation des Anforderungsprofils für neue Partner ermöglicht eine standardisierte Bewertung im Rahmen der Due-Diligence-Prüfung. Diese Prüfung sollte sowohl technische als auch rechtliche und finanzielle Aspekte beinhalten.

Basierend auf standardisierte Anforderungsspezifikationen gegenüber Lieferanten sollten Ausschreibungen an Unternehmen innerhalb oder sogar außerhalb des Netzwerks vergeben werden.

Der Aufbau des Netzwerks sollte dazu führen, dass jeder Partner eine intrinsische Motivation mitbringt, die gesamte Wertschöpfungskette ganzheitlich, d.h. auch außerhalb des eigenen Produktportfolios, zu optimieren. Dies könnte etwa durch

professionell begleitete Entwicklungs-Workshops oder durch zeitlich begrenzte Prämien realisiert werden.

Der pareto-optimale Ansatz wird in einigen Fällen dazu führen, dass einzelne Partner benachteiligt werden und dessen volumenmäßige Partizipation innerhalb des Netzwerks darunter leidet oder diese sogar aus dem Netzwerk ausscheiden müssen. Im Rahmen eines strategischen Netzwerks darf das Austreten eines Partners, unabhängig aus welchem Grund, jedoch nicht zu einer Blockade des ganzen Netzwerks führen.

Die Organisation der strategischen Partnerschaft sollte, hinsichtlich des Bürokratisierungsaufwandes einerseits und andererseits hinsichtlich der notwendigen Regelungen bezüglich Kommunikationsstandards, Konfliktlösungen, Behandlung des geistigen Eigentums, Sanktionen bei Verstößen und anderen Aspekten, ausgewogen sein. Dies könnte etwa durch Rahmenvereinbarung zwischen allen beteiligten Unternehmen des Netzwerks realisiert werden.

Der Umfang der Zusammenarbeit sollte zwischen den jeweilig beteiligten Partnern schriftlich vereinbart werden. Diese kann in einzelnen Aspekten der Kollaboration bilateral gestaltet werden.

Darüber hinaus sollten die jeweiligen Verantwortlichkeiten innerhalb des Netzwerks, aber auch innerhalb des jeweiligen Unternehmens, für alle Partner klar definiert sein.

## **Produkt**

Als „Produkt“ wird in diesem Kontext das Ergebnis einer jeden Wertschöpfungsstufe verstanden.

Wie beschrieben, ist es das Ziel des Netzwerks die Wirtschaftlichkeit der beteiligten Partner zu erhöhen. Eine Möglichkeit dieses Ziel zu realisieren ist die pareto-optimale Entwicklung des Produkts auf allen Wertschöpfungsstufen.

Grundlegende Voraussetzung hierfür ist eine quantitative Bewertung des Produkts, die alle wesentlichen Kostenaspekte in angemessener Weise berücksichtigt. Da sie häufig nicht eindeutig quantifizierbar sind, erlauben zukünftige Chancen & Risiken beziehungsweise Gewinne & Kosten, die im Laufe eines Lebenszyklus' auftreten, einen gewissen Bewertungsspielraum, der bei Verhandlungen relevant werden kann. Auf einen angemessenen Detaillierungsgrad sollte in diesem Zusammenhang Wert gelegt werden.

Eine weitere Voraussetzung an das Netzwerk ist im Kontext der Produktoptimierung eine Kompatibilität der jeweiligen Anforderungen und des Produktportfolios. Je größer die jeweiligen Schnittstellen zwischen den Partnern, desto größer sind tendenziell mögliche Potentiale bei der zukünftigen Entwicklung des Produkts.

Darüber hinaus sollte das Netzwerk in die Lage versetzt werden, sich auf veränderte Anforderungen des Marktes anzupassen. Dazu gehören sowohl Anpassungen der jeweiligen Bedarfsmengen als auch technische Entwicklungen, auf die das Netzwerk reagieren muss. Dazu stimmen idealerweise die beteiligten Partner die jeweiligen Entwicklungsziele, deren Zeitplan und entsprechende Verantwortlichkeiten miteinander und aufeinander ab.

Im Hinblick auf die in der Einleitung des Kapitels „Wertschöpfungsnetzwerk der X-GW Fabrik“ skizzierte Erweiterung der Systemgrenzen auf die elektrische Nutzenergie, haben zukünftige Entwicklungsziele konkrete Auswirkungen.

Mit weiter steigenden Anteilen des elektrischen Stroms aus Photovoltaik-Anlagen und Windkraftwerken an der deutschen Nettostrom-Erzeugung wird die Notwendigkeit einer bedarfsgerechten Konzeptionierung der Energie-Versorgungsarchitektur dringender. Diesen Herausforderungen müssen sich PV-Anlagen in Zukunft verstärkt stellen. Konkret bedeutet dies insbesondere:

- Veränderte Wertigkeit des erzeugten Stroms, je nach aktuellem Angebot und Bedarf
- Integration der Anlage in unterschiedlich ausgelegten Versorgungsnetze
- Bereitstellung benötigter Blindleistung
- Frequenz- und Spannungsstabilisierung
- Kombination mit anderen Erzeugungsquellen
- Regelbarkeit des PV-Systems und Bereitstellung möglicher Kapazitätsreserven
- Speichermöglichkeiten des erzeugten Stroms
- Nachrüstbarkeit von Photovoltaik-Anlagen

Die Umsetzung dieser Anforderungen muss sowohl auf technischer als auch auf rechtlicher, organisatorischer und ökonomischer Ebene realisiert werden können.

Eine weitere Möglichkeit zur Erhöhung des Ertrages und damit der Wirtschaftlichkeit ist die Produktdiversifizierung. Diese kann sowohl durch eine geographische Ausdehnung, also durch Expansion in andere Absatzgebiete, als auch durch neue Anwendungsmöglichkeiten der Produkte der Photovoltaik-Wertschöpfungskette erreicht werden.

Die Erschließung von Absatzmärkten an neuen Standorten hat nicht nur Konsequenzen auf organisatorische Aspekte des Netzwerks. Unterschiedliche rechtliche Rahmenbedingungen können auf das Produkt-Design ebenso einen Einfluss haben wie sich ändernde Umwelteinflüsse. So hat beispielsweise die Installation eines PV-Moduls in strahlungsintensiveren Gebieten einen Einfluss auf die Auslegung des PV-Systems, etwa aufgrund einer entsprechend größeren Auslegung der angeschlossenen Wechselrichter.

Die Erweiterung der Anwendungsmöglichkeiten der Photovoltaik eröffnet weitere mögliche Potentiale. Aufgrund des vermehrten Eigenverbrauchs elektrischer Energie in privaten Haushalten und in der gewerblichen Anwendung werden Photovoltaik-Systeme in Zukunft noch stärker kundenspezifisch ausgelegt als bisher.

Eine vollständige Abdeckung von Gebäuden unter Verwendung von sog. „Blind-Modulen“, also Modulen ohne elektrischen Wirkungsgrad, ist ein Beispiel für eine Produktdiversifikation. Diese Module weichen in ihrer Form vom verwendeten Modul ab, ähneln sich im sonstigen Design diesem aber stark.

Die Planung der angemessenen Produktdiversifikation (Standardisierung versus große Varianz der Produktpalette) führt zu einem klassischen Zielkonflikt in der Disziplin der Produktentwicklung, welches durch ein Marketingkonzept und durch intelligente Steuerung des Produktionsnetzwerks gelöst werden muss und kann.

## **Wertschöpfung**

Ebenso wie bei den Anforderungen an das Wertschöpfungsnetzwerk hinsichtlich des Produktportfolios sind auch Aspekte der jeweiligen Systemgrenzen der Wertschöpfung ein wichtiges Kriterium für eine mögliche Zusammensetzung der Partner. Dabei gilt auch in diesem Fall: Je größer die Anzahl möglicher Schnittstellen zwischen zwei Partnern, desto größer sind mögliche Optimierungspotentiale.

Eine X-GW Fabrik welche die Wertschöpfungsstufen der Ingot-Herstellung bis zum Modul abdeckt böte eine Reihe möglicher Ansatzpunkte, sowohl innerhalb der eigenen Wertschöpfungskette als auch für eine strategische Zusammenarbeit mit anderen Unternehmen bieten. Auf einen Interessensausgleich zwischen der X-GW Fabrik und anderen Partnern sollte aufgrund der vermuteten Größen- und damit Machtdifferenzen Wert gelegt werden.

Maßnahmen zur Optimierungen der Wirtschaftlichkeit eines Produktionsnetzwerkes fokussieren unter anderem auf wertschöpfende Prozesse und die Eliminierung von Verschwendungen. Die Erfolge des Toyota-Produktions-Systems innerhalb der Automobilindustrie und anderen Branchen beweisen die Praxistauglichkeit dieses Konzeptes. Die Konzentration auf den sog. „Kunden-Takt“, um Verschwendungen zu reduzieren, ist jedoch ein Ansatz, der bislang in der Photovoltaik-Industrie, zumindest im Vergleich zu anderen Branchen der diskreten Fertigung, relativ wenig Anwendung findet. Ein Grund dafür ist augenscheinlich die Austauschbarkeit der Module und ihrer Komponenten („Commodity-Produkt“).

Mit der Tendenz hin zu einer stärkeren Kundenspezifizierung der PV-Systeme, verändert sich auch die Anforderung an das Produktionssystem. Das bisher recht starre Wertschöpfungssystem könnte in die Lage versetzt werden eine größere Anzahl von Varianten auf dem Markt anzubieten. Eine Ausweitung der Produktportfolien einzelner Partner ist dabei nicht zwangsläufig notwendig. Stattdessen könnte eine Spezialisierung miteinander vernetzter Partner diese Anforderung erfüllen. Durch Anpassungen der Produktionskapazität, technische Entwicklungen oder durch Integration weiterer Partner, entstünde damit ein flexibles Netzwerk. Dieses wäre in der Lage die Anforderungen zukünftiger Absatzmärkte tendenziell flexibler und in einem größeren Umfang zu erfüllen als heutige Produktionsketten.

Die Kombination einer großen Produktvarianz, die Adressierung mehrerer Wertschöpfungsstufen und die Vielzahl möglicher Partner innerhalb eines Netzwerks, birgt aufgrund der daraus resultierenden Komplexität ein signifikantes Risiko ineffizienter Strukturen. Im Gegensatz dazu sind die Geschäftsprozesse die zur Realisierung der Wertschöpfung notwendig sind in der Regel als uniform anzusehen, was die Möglichkeit eröffnet diese Geschäftsprozesse in standardisierter Form zu organisieren.

Eine solche Standardisierung sollte sich in der langfristigen Perspektive auf weite Bereiche der Wertschöpfung erstrecken. Dazu zählt der Produkt- und Produktionslebenszyklus ebenso wie die Abwicklung von Aufträgen oder die Qualitätssicherung.

Ebenso wie in der klassischen Produktionskette sind auch im Rahmen des Netzwerks vollständige und eindeutige technische Anforderungsspezifikationen die Basis für die Ausprägung des Produkts, in qualitativer und quantitativer Hinsicht. Standardisierte Anforderungsspezifikationen könnten dabei die Durchführung

netzwerk-interner Ausschreibungen von Leistungen effizienter gestalten. Darüber hinaus wären Abfragen in der Datenbank der jeweiligen Partner denkbar.

Standardisierte Stücklisten und Handlungsanweisungen erleichtern die Planung und Durchführung von Leistungen.

Ein systematisches und standardisiertes Vorgehen erlaubt nicht nur Qualitätssicherungsmaßnahmen auf Produkt- sondern auch auf Produktionsebene.

Die Standardisierung von Produktionsabläufen bildet auch die Basis für eine Integration unternehmensübergreifender Wertschöpfungsprozesse in die IT-Architektur, die anschließend in folgende Teilsysteme Verwendung finden können:

- Customer-Relationship-Management
- Produkt-Konfiguration
- Synchronisierung mit Bedarfen
- Materialien und Bauteilen
- Ersatz- und Verschleißteile
- Fertig-Produkte
- Produktionsplanung
- Chargen-Management
- Prozess-Optimierung (Statistical process control)
- Supply-Chain-Management
- Qualitätskontrolle

Neben der operativen Durchführung von Geschäftsprozessen innerhalb des Wertschöpfungsnetzwerks sollten auch mittel- und langfristige Aspekte in Betracht gezogen werden. So könnten beispielsweise bilaterale Abnahmeverpflichtungen die Planungssicherheit für alle beteiligten Partner erhöhen. Darüber hinaus wäre eine Sicherung dieser Verpflichtungen durch Bürgschaften denkbar.

## 4.4 SWOT-Analyse eines Wertschöpfungsnetzwerks

Das folgende Kapitel bewertet Stärken und Schwächen des Wertschöpfungsnetzwerks im Hinblick auf die sich bietenden Chancen und möglichen Risiken.

Zum besseren Verständnis der Struktur dieser SWOT-Analyse im Folgenden eine Übersicht:

- 1) Definition
- 2) Chancen
  - Stärken
    - Organisation
    - Produkt
    - Wertschöpfung
    - Absatz- und Finanzmarkt
    - Politische Rahmenbedingungen
    - Forschung und Entwicklung
  - Schwächen
- 3) Risiken
  - Stärken
  - Schwächen
- 4) Bemerkungen

### 4.4.1 Definition

**Normatives Ziel:** Herstellung von Produkten die der Erzeugung von Nutzenergie mittels der Photovoltaik-Technologie dienen

**Ziel:** Nachhaltige Wirtschaftlichkeit der Partner eines Wertschöpfungsnetzwerks

**Definition Intern:** Wertschöpfungsnetzwerk  
(Gesamtheit aller beteiligten Unternehmen, die sich zu einer vordefinierten Zusammenarbeit verpflichtet haben)

**Definition Extern:** Umwelt  
(außerhalb des als „Intern“ definierten, z.B.

- Anforderungen des Absatzmarktes an die Produkte des Wertschöpfungsnetzwerks
- Technologieentwicklungen, welche die Wettbewerbsfähigkeit des Produkts, der Komponenten oder der Materialien aktuell oder in Zukunft beeinflussen können
- Mitanbieter von Materialien, Bauteilen und Produkten
- Finanzmarkt, insbesondere dessen Einfluss auf Liquidität und Zinsen
- Ordnungspolitische Rahmenbedingungen)

### 4.4.2 Chancen

Chancen werden in diesem Kontext als Potentiale definiert, die durch das Wertschöpfungsnetzwerk (Intern) realisiert werden können und sich in Bezug auf das Ziel positiv auswirken.

- Aktuelle Strompreise für private Haushalte und für gewerbliche Abnehmer mit geringem Bedarf an elektrischer Energie erlauben durch die relativ dazu geringeren Stromgestehungskosten einen positiven Deckungsbeitrag bei Betrachtung des gesamten Wertschöpfungsprozesses.
- Erhöhung der Wirtschaftlichkeit beteiligter Partner im Wertschöpfungsnetzwerk

#### 4.4.3 Chancen / Stärken

Die folgenden Stichpunkte geben einen Überblick darüber, welche Stärken das Wertschöpfungsnetzwerk in Bezug auf die vorgenannten Chancen hat.

##### **Organisation**

- Standardisierte Kommunikation führt zu geringerem Abstimmungsaufwand zwischen Partnern
- Anreizsysteme zur kontinuierlichen Optimierung des Gesamtsystems erhöhen die intrinsische Motivation der Partner Potentiale auch „über den Tellerrand“ hinaus zu erkennen.
- Geringerer administrativer Aufwand bei Verwaltung und Vertrieb, z.B. bei
  - Marketing
  - Verkauf und Kundenbetreuung
  - Auftragsabwicklung
- Standardisierung nicht wertschöpfender Prozesse führt zu höherer Effizienz
- Mögliche Konflikte zwischen Partnern könnten, soweit möglich, im Vorfeld durch vertragliche Vereinbarungen vermieden werden

##### **Produkt**

- Die Entwicklung fokussiert nicht auf die Optimierung einzelner Komponenten, sondern des gesamten Systems mit dem Ziel der Reduzierung der Stromgestehungskosten. (Dies nimmt schlechtere Bewertungen der jeweiligen Kennzahlen einzelner Komponenten in Kauf.)
- Höherer potentieller Marktabdeckungsgrad durch Produktdiversifizierung
- Strukturierte Wertschöpfungsketten erzeugen aufgrund ihrem intrinsisch motivierten Streben nach kontinuierlicher Optimierung praktikable und anwendbare Produktstandards. Mögliche konkrete Optimierungen könnten sein
  - In Modul integrierte Montagevorrichtung
  - Mehrere auf eine Trägerplatte vorinstallierte Module
  - Bedarfsangepasste Verpackung und deren Transport
- Innerhalb eines strukturierten und gleichzeitig flexiblen Wertschöpfungsnetzwerks wären kundenindividuelle PV-Systeme, die sich in Größe, Design und Technologie unterscheiden, deutlich wirtschaftlicher zu realisieren.

## **Wertschöpfung**

- Bessere Anpassung des Produktionsvolumens an den tatsächlichen Bedarf
- Standardisierte Geschäftsprozesse führen zu höherer Effizienz, z.B.
  - Kürzere / keine Einarbeitung der Monteure durch Handlungsanweisungen beim Aufbau von PV-Systemen
  - Etablierung einer standardisierten Schnittstelle zwischen PV-System-Konfigurator und der Produktionsplanung
- Etablierung von Standards innerhalb des System können auch außerhalb des Wertschöpfungsnetzwerks angewandt werden, die Akzeptanz des Netzwerks steigern und es damit stärken
- Ausfälle von Anlagen könnten durch Partner auf gleicher Wertschöpfungsstufe kompensiert werden, ohne dass dies zu Nachteilen für den Kunden führt.
- Höhere Marktsicherheit (Ausfälle einzelner unrentabler Partner gefährden nicht die gesamte Wertschöpfungskette)
- Flexible Produktion durch ein verteiltes Produktionssystem
- Mitarbeiter mit einem breiteren Ausbildungsspektrum können flexibel eingesetzt werden, z.B. auf unterschiedlichen Wertschöpfungsstufen
- Deutschland und insbesondere die Region Baden-Württemberg verfügt über ausreichend gut qualifizierte und erfahrene Partner, welche für das Wertschöpfungsnetzwerk notwendig und geeignet sind

## **Absatz- und Finanzmarkt**

- Nur ein geringer Teil der im gesamten Wertschöpfungsprozess verwendeten Materialien unterliegt großen volatilen Preisschwankungen. Unter der Annahme eines stabilen oder sogar steigenden Strompreises ist davon auszugehen dass der Deckungsbeitrag für eine zum heutigen Zeitpunkt absehbare Zeit weiter positiv bleiben wird und dadurch eine relativ hohe Investitionssicherheit besteht.
- Geringeres Preis- und Absatz-Risiko durch langfristige Lieferverträge möglich
- Geringere Risiken bewirken einen geringeren Risikozuschlag seitens der Fremdkapital gebenden Partner

## **Politische Rahmenbedingungen**

- Stabile politische Rahmenbedingungen ermöglichen langfristige Planungen
- Kongruenz des normativen Ziels des Netzwerks zum Energiekonzept 2050<sup>10</sup>
  - Ziel der Reduzierung der Treibhausgasemissionen
    - bis 2020 um 40 %
    - bis 2030 um 55 %
    - bis 2040 um 70% und
    - bis 2050 um 80-95 %

---

<sup>10</sup> <http://www.bmu.de/themen/klima-energie/energiewende/beschluesse-und-massnahmen/energiekonzept-2050-meilensteine-langfristiger-entwicklungspfad-fuer-ambitionierte-klimaschutzziele-energieeffizienz-und-erneuerbare/>, abgerufen am 18.11.2013

(jeweils gegenüber 1990)

- Anstieg des Anteils erneuerbaren Energien am Endenergieverbrauch auf
  - 18% bis 2020
  - 30% bis 2030
  - 60% bis 2050, dabei Anteil an Stromerzeugung 80%

### ***Forschung und Entwicklung***

- Intakte Förderlandschaft, die neue Entwicklungen und deren Implementierung unterstützt
- Erfahrene und gut vernetzte Forschung auf allen Teilgebieten der Photovoltaik deckt die gesamte Wertschöpfungskette ab
- Praxisorientiertere Forschung ermöglicht bedarfsgerechte Entwicklungslösungen
- Forschungsergebnisse können direkt umgesetzt werden, teilweise sogar noch während der Entwicklungsphase im Rahmen von Pilotlinien

#### **4.4.4 Chancen / Schwächen**

Die folgenden Stichpunkte geben einen Überblick darüber, welche potentiellen Schwächen das Wertschöpfungsnetzwerk (intern) in Bezug auf die vorgenannten Chancen hat.

- Bei der Erzielung eines Technologiesprungs eines Partners könnten vertragliche Vereinbarungen dazu führen, dass die sich ergebenden Chancen im Gegensatz zu einem voll-integrierten Unternehmen ungenutzt bleiben
- Eventuelle Bedenken der Partner aufgrund ungewolltem Wissenstransfer
- Eventuell hoher Organisationsaufwand verschlechtert die Wirtschaftlichkeit des Netzwerks
- Einzelne Partner könnten sich entgegen der Vereinbarungen verhalten und somit dem gesamten Netzwerk schaden
- Falsche Bewertungen des sog. „Pareto-Optimums“ könnten zu Konflikten und Unwirtschaftlichkeit führen
- Beim Verkauf von sog. „Power Plants“ geben Projektierer Garantien an Investoren und übernehmen gleichzeitig den Betrieb der Anlage, was zu einem Zielkonflikt führen kann.

#### **4.4.5 Risiken**

Zur Darstellung möglicher Risiken grundsätzlicher Art bei der Installation von Photovoltaik-Systemen und der Erzeugung elektrischer Energie im Folgenden eine Graphik von Michael Rogol<sup>11</sup> :

---

<sup>11</sup> Michael Rogol, u.a.; The True Cost of Solar Power: Temple of Doom, Photon Consulting, 2012



Abbildung 4-4: Mögliche Risiken bei der Installation von PV-Systemen und Erzeugung elektrischer Energie

Risiken werden im Kontext dieses Kapitels als mögliche Störungen von „außen“ (Umwelt) definiert, die dazu führen können, dass das definierte Ziel nicht oder nicht im vollen möglichen Umfang durch das Wertschöpfungsnetzwerk (intern) realisiert werden können.

- Sich ändernde Rahmenbedingungen könnten existierende Strukturen verändern
- Konflikte zwischen Partnern könnten die Zusammenarbeit erheblich beeinträchtigen
- Drastische technologische Entwicklungen eines einzelnen Partners könnten die Zusammenarbeit gefährden

#### 4.4.6 Risiken / Stärken

Die folgenden Stichpunkte geben einen Überblick darüber welche Stärken das Wertschöpfungsnetzwerk in Bezug auf die vorgenannten Risiken hat.

- Klassische Lieferketten unterliegen ebenso wie strukturierte Wertschöpfungsnetzwerke externen Rahmenbedingungen, z.B. politischer oder technologischer Art. Jedoch können letztere sich tendenziell flexibler an neue Umstände anpassen.
- Durchsetzung von pareto-optimalen Lösungen strategischer, technologischer und organisatorischer Art möglich, auch bei Nachteilen auf Seiten einzelner Partner
- hohe Innovationskraft der beteiligten Unternehmen sichert auch weiterhin den zur Zeit noch vorhandenen Fortschritt

#### 4.4.7 Risiken / Schwächen

Die folgenden Stichpunkte geben einen Überblick darüber welche Schwächen das Wertschöpfungsnetzwerk in Bezug auf die vorgenannten Risiken hat.

- Das Netzwerk könnte bei Änderungen der Rahmenbedingungen Entscheidungen treffen, die nicht für das gesamte Netzwerk sinnvoll sind
- Verkauf neuer Technologien entlang der gesamten Wertschöpfungskette an Marktbegleiter

#### 4.4.8 Bemerkung

Die SWOT-Analyse zeigt sowohl quantitativ als auch qualitativ eine starke Konzentration auf die Stärken des Wertschöpfungsnetzwerks. Ein wesentlicher Grund dafür ist, dass in dieser SWOT-Analyse ein Konstrukt zugrunde gelegt wurde, dass Stärken sowohl bei Chancen als auch bei möglichen Risiken bietet.

Darüber hinaus bewertet es nur am Rande mögliche Stärken und Schwächen alternativer Konzepte, z.B. Franchise-Systeme, voll-Integrierte Unternehmen, etc.

Eine Zusammenfassung und Bewertung des Wertschöpfungsnetzwerks findet sich im Kapitel 4.6.

### 4.5 „Best practice“-Ansätze in der Industrie

Die in den obigen Kapiteln beschriebenen Ansätze zur Optimierung der Wertschöpfung bis hin zur Bereitstellung elektrischer Nutzenergie wurden in der Vergangenheit bereits von verschiedenen Unternehmen der gleichen Branche wie auch aus anderen Branchen realisiert.

#### 4.5.1 Photovoltaik-Industrie

Dieses Kapitel skizziert, in nicht abschließendem Umfang, realisierte Ansätze zur vertikalen Integration der Wertschöpfung in der PV-Branche. Ein Vorreiter der vertikalen Integration auf dem Photovoltaik-Markt ist unbestritten das Unternehmen First Solar Inc., Tempe, Arizona, USA, welches auf Basis der Dünnschicht Cadmiumtellurid (CdTe) und seit Kurzem der kristallinen Technologie PV-Module herstellt. Seit einigen Jahren verlagert sich das Geschäftskonzept von First Solar verstärkt vom reinen Modulverkauf hin zum Bau großflächiger Photovoltaik-Parks und darüber hinaus dem Betrieb dieser Parks. Im letzten Fall werden Stromlieferverträge mit Abnehmern, z.B. Energieversorgern, geschlossen und die erzeugte Elektrizität zu vordefinierten Preisen verkauft.

In den vergangenen Monaten war First Solar auf dem japanischen Markt aktiv und vereinbarte mit einem dortigen Öl- und Energiekonzern den Vertrieb der Solarmodule und beschloss außerdem den Bau von PV-Parks in Japan mit einem Gesamtvolumen von etwa \$100 Mio.<sup>12</sup> Eine Zusammenarbeit in Form eines Joint Ventures hat First Solar mit dem Unternehmen BELECTRIC Holding GmbH

---

<sup>12</sup> [http://www.pv-magazine.de/nachrichten/details/beitrag/first-solar-steigt-in-japan-ein\\_100013167/](http://www.pv-magazine.de/nachrichten/details/beitrag/first-solar-steigt-in-japan-ein_100013167/), abgerufen am 18. November 2013

angekündigt. Ziel der beiden Unternehmen, die jeweils andere Komponenten eines PV-Systems liefern, ist die gemeinsame Projektierung in Europa, Nordafrika sowie in den USA.<sup>13</sup> Darüber hinaus ist First Solar Assoziierter Partner des DESERTEC-Projektes, das sich zum Ziel gemacht hat elektrischen Strom vornehmlich in Nordafrika zu generieren und diesen teilweise nach Europa zu transportieren.

Weitere bekannte Unternehmen der PV-Industrie, die den Weg der vertikalen Integration beschritten haben sind beispielsweise:

- SolarWorld AG, Bonn: Erweiterung des Produktportfolios auf PV-Systeme u.a. für private Haushalte.<sup>14</sup>
- Hanergy Holdings Group, China: Geplanter Betrieb von PV-Parks<sup>15</sup>
- Smartenergy Renewables AG (ehemals Nanosolar), Lückenwalde: Umwandlung in „einen Dienstleistungs- und Lösungsanbieter für Kraftwerke im Bereich Photovoltaik und andere erneuerbare Energien“<sup>16</sup>
- Indisches Konsortium aus sechs Staatsunternehmen plant die Errichtung und Betrieb von insgesamt 4GW PV-Parks.<sup>17</sup>

Diese Liste ließe sich um eine Reihe weiterer Beispiele ergänzen. Sie zeigt jedoch den Trend der Photovoltaik-Industrie auf, nicht nur PV-Module anzubieten sondern komplette PV-Systeme und darüber hinaus die PV-Anlagen zu betreiben und den daraus gewonnenen elektrischen Strom mittels langfristigen Stromlieferverträgen zu veräußern.

#### 4.5.2 Andere Branchen

Die vertikale Integration wurde in der Vergangenheit insbesondere außerhalb der PV-Industrie umgesetzt. Ein Beispiel hierfür ist die Wertschöpfungskette von Aluminium (Rollen, Platten und Profile) für zivile Luftfahrzeuge des Unternehmens Boeing, Inc., Chicago, Illinois, USA.

Vor einer radikalen Neugestaltung der Geschäftsprozesse, die den Erwerb der Materialien von der Aluminium-Hütte über die Weiterverarbeitung bei Lieferanten Boeings bis hin zur Verarbeitung der Zwischenprodukte in eigenen Werken umfasste, wurde die Beschaffung von Material und der Zwischenprodukte durch überwiegend klassische Kunden-Lieferanten-Beziehung realisiert. Dies hatte zur Folge, dass Boeings Versorgung der Montagelinien und des Ersatzteillagers mit Aluminium und den Zwischenprodukten von Lieferfähigkeit der Lieferanten und deren vorheriger Planung der jeweiligen Bedarfe sowie deren Verfügbarkeit abhing. Darüber hinaus litt Boeing beträchtlich unter der geringen Qualität der Materialien und Zwischenprodukte.

---

<sup>13</sup> <http://www.belectric.com/de/pressebereich/>, abgerufen am 13. September 2013

<sup>14</sup> Wurfsendung der SolarWorld AG an Haushalte vom 13. November 2013

<sup>15</sup> [http://www.pv-magazine.com/news/details/beitrag/hanergy-goes-downstream\\_100011085/#axzz2m53RJGKD](http://www.pv-magazine.com/news/details/beitrag/hanergy-goes-downstream_100011085/#axzz2m53RJGKD), abgerufen am 30. April 2013

<sup>16</sup> [http://www.photon.info/photon\\_news\\_detail\\_de.photon?id=82347](http://www.photon.info/photon_news_detail_de.photon?id=82347), abgerufen am 20. November 2013

<sup>17</sup> [http://www.pv-magazine.com/news/details/beitrag/ultra-mega-indian-solar-plant-to-sell-power-at-record-low-rate\\_100012939/#axzz2m53RJGKD](http://www.pv-magazine.com/news/details/beitrag/ultra-mega-indian-solar-plant-to-sell-power-at-record-low-rate_100012939/#axzz2m53RJGKD), abgerufen am 9. Oktober 2013

Mit einem neuen Supply-Chain-Management-Konzept, entwickelt durch ThyssenKrupp NA in Detroit, USA, verbesserte sich die Situation signifikant. Die Qualität entsprach wesentlich häufiger den Anforderungen und Boeing, wie auch seine Lieferanten, mussten weniger häufig Fehlmengen im Warenbestand melden. Darüber hinaus sanken die Bestände an Aluminium drastisch.

Kern dieses Konzeptes war, dass Boeing mithilfe von ThyssenKrupp NA die gesamte Wertschöpfungskette kontrollierte. Lieferanten konnten nun von Boeing Material kaufen, welches sie ausschließlich für die Produktion der Zwischenprodukte Boeings verwenden durften. Basierend auf Produktionsplänen Boeings und mithilfe intelligenter Einkaufs-Unterstützungssysteme wurden zukünftige Bedarfsmengen prognostiziert und geplant.

Gegenüber den einzelnen Aluminium-Hütten konnten aufgrund der deutlich größeren Einkaufsmacht und durch die Vereinbarung langfristiger bestehender Bezugspreise die Materialkosten, sowohl für Boeing als auch für seine Lieferanten, gesenkt und gleichzeitig stabilisiert werden.<sup>18</sup>

#### 4.6 Zusammenfassende Bewertung und Ableitung strategischer Maßnahmen

Ziel dieses Wertschöpfungsnetzwerks ist es die Wirtschaftlichkeit eines jeden Partners zu erhöhen. Dies geschieht durch eine Optimierung der Produkte und der Produktion entlang der gesamten Wertschöpfungskette. Darüber hinaus sind eine Produktdiversifikation und eine Erweiterung des Absatzmarktes denkbar.

Die strategische Zusammenarbeit bereits am Markt agierender Unternehmen ließe auch unabhängig von der Entscheidung für die X-GW Fabrik (in dieser Studie vorgesehene Fertigstellung im Juni 2016) erhebliche Optimierungspotenziale erkennen. Eine gemeinsame Initiative, ausgerichtet an den zu erzielenden Skaleneffekten einer X-GW Fabrik allerdings würde, neben marktpsychologischen Aspekten, auch den gemeinsamen Willen stärken und etwaige Potenziale der pareto-optimalen Optimierung der Wertschöpfungsnetzwerke erschließen.

Tendenziell werden PV-Systeme in Zukunft komplexer. Dies hat Auswirkungen auf das Produktionsnetzwerk, welches diese erhöhte Komplexität auf effiziente Weise bewältigen muss. Ein flexibles Wertschöpfungsnetzwerk, wie beschrieben, ist hierzu grundsätzlich besser in der Lage, als heutige nicht organisierte Produktionsketten.

Erfahrungen anderer Branchen mit Konzepten zur Fokussierung auf wertschöpfende Prozesse und deren Supply Chain zeigen mögliche Potentiale zur Effizienzsteigerung auf, die von der Photovoltaik bisher nur im begrenzten Maße wahrgenommen werden. Eine robuste und zugleich effiziente Adaption der bestehenden Strukturen, im Sinne des „Lean“-Gedanken, wird es den beteiligten Unternehmen ermöglichen, sowohl interne als auch Unternehmensgrenzen übergreifende Optimierungspotenziale zu steigern.

Darüber hinaus bieten Standards, insbesondere in den Bereichen des Produktportfolios und der unternehmensübergreifenden Produktionsorganisation, signifikante Potentiale zur Erhöhung der wirtschaftlichen Produktion.

---

<sup>18</sup> Die Angaben des Kapitels 4.5.2 basieren auf eigenen Erfahrungen des Autors Martin Kasperczyk (IPA). Er absolvierte im Rahmen seines Studiums beim Unternehmen TMX Aerospace (ThyssenKrupp NA) ein fünfmonatiges Praktikum.

Ein weiterer Aspekt einer strategischen Partnerschaft ist die mittel- und langfristige Planungssicherheit, etwa hinsichtlich der Absatzvolumina oder des zukünftigen Entwicklungsplans neuer Produkte.

Durch die hohe Dichte an weltmarktführenden Unternehmen entlang der gesamten Wertschöpfungskette wäre der Standort Deutschland und noch spezifischer das Land Baden-Württemberg für die Realisation eines solchen Netzwerks die prädestinierte Kernregion. Dabei sollten bilaterale Vereinbarungen zwischen Partnern den jeweiligen Umfang der Kollaboration definieren.

Ergänzend wäre eine professionelle Unterstützung vorstellbar, die bei der Identifizierung möglicher Potentiale und bei der Ausarbeitung adäquater Lösungen unterstützend wirkt.

Es ist davon auszugehen, dass dieser Wissenstransfer mit relativ geringen Investitionen und damit kleinem Risiko einen verhältnismäßig großen Grenznutzen zur Folge hätte und das Ziel einer größeren Wirtschaftlichkeit bestehender Unternehmen kurzfristig realisierbar wäre.

## 5 Auswirkung einer X-GW Fabrik auf die Volkswirtschaft

(Hauptverantwortlich: Fraunhofer IPA)

### 5.1 Aktuelle Situation

#### 5.1.1 Umsatz

Trotz einer deutlichen Reduzierung der Installationen von Photovoltaik-Kapazitäten in den vergangenen Jahren sind die Investitionen in diese Technologie im Jahr 2012 mit 11,2 Mrd. Euro noch immer deutlich höher in anderen Technologien zur Erzeugung von elektrischem Strom, die auf erneuerbare Energien beruhen.

Ein anderes Bild zeigen die Umsätze der in den jeweiligen Branchen aktiven Unternehmen (ohne Maschinen- und Anlagenbau). Inklusive des Exportes betragen diese ca. 6,4 Mrd. Euro.

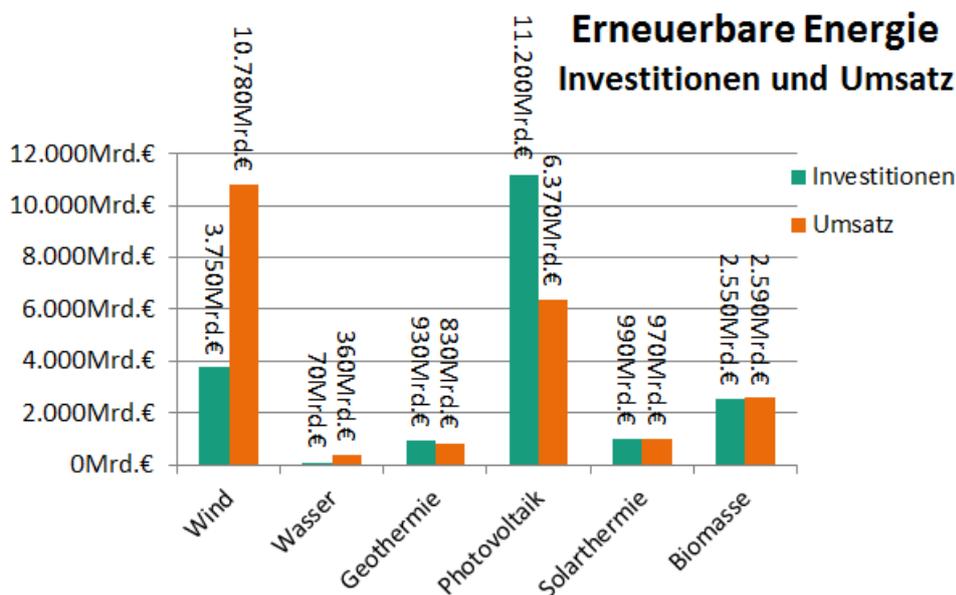


Abbildung 5-1: Umsatz in Deutschland ansässiger Hersteller von Anlagen zur Nutzung erneuerbarer Energien inklusive der Exporte in Deutschland ansässiger Hersteller im Jahr 2012, Mio. € (ohne Maschinenbau) und Investitionen in Anlagen zur Nutzung erneuerbarer Energien in Deutschland im Jahr 2012, Mio. €<sup>19</sup>

<sup>19</sup> Marlene O'Sullivan (DLR), Dietmar Edler (DIW), Peter Bickel (ZSW), Ulrike Lehr (GWS), Frank Peter, Fabian Sakowski (Prognos); Bruttobeschäftigung durch erneuerbare Energien in Deutschland im Jahr 2012 -eine erste Abschätzung-; Forschungsvorhaben des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit; 20. März 2013

Hinweis: die dargestellten Werte sind sowohl hinsichtlich des Umsatzes, als auch im Hinblick auf die Beschäftigung und die fiskalischen Aspekte als Approximation zu betrachten. Ursache dafür sind die in den jeweiligen Quellen zugrunde gelegten Annahmen hinsichtlich der Systemgrenzen der PV-Branche und der innerbetrieblichen Anteile der Wertschöpfung und Beschäftigung der Photovoltaik.<sup>20</sup>

### 5.1.2 Beschäftigung

Der signifikante Rückgang an Installationen von PV-Systemen sowie die Minderung von Ausstoßkapazitäten in weiten Bereichen der PV-Industrie haben in Deutschland zu einer deutlichen Reduzierung der Beschäftigung in der Branche geführt.

Die Anzahl der Erwerbstätigen in diesem Segment ging im Jahr 2011 von ca. 111.000 auf ca. 88.000<sup>19</sup> zurück. Darin inbegriffen sind direkte und indirekte Arbeitsplätze, also inklusive den Beschäftigten der Unternehmen in vor- und nachgelagerten Wertschöpfungsstufen.

Die Verteilung auf die Phasen des Lebenszyklus' gliedert sich wie folgt auf:

#### Verteilung der Beschäftigten auf Wertschöpfungsstufen eines PV-Systems

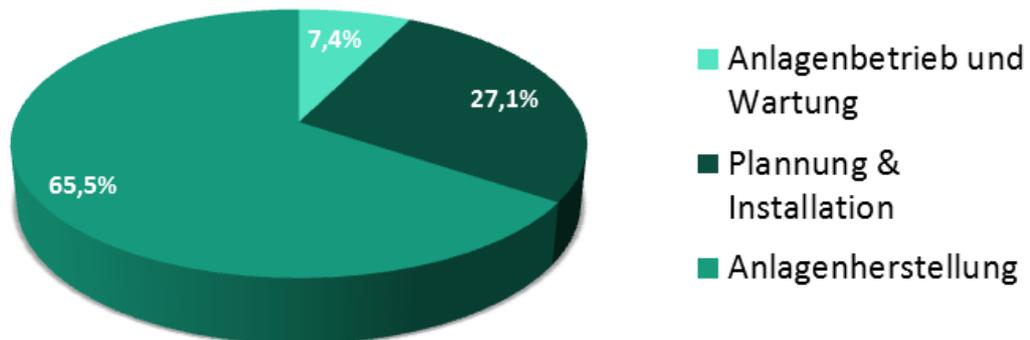


Abbildung 5-2: Verteilung der Beschäftigten auf Wertschöpfungsstufen eines PV-Systems

<sup>20</sup> Nico Pestel; Green Jobs: Erlebt Deutschland sein grünes Beschäftigungswunder?; IZS Forschungsinstitut zur Zukunft der Arbeit; IZA Standpunkte Nr. 58; August 2013

### 5.1.3 Fiskale Effekte

Als etablierte Branche hat die Photovoltaik-Industrie einen signifikanten Beitrag zu dem Steueraufkommen der Kommunen, Länder und des Bundes geleistet. Im Jahr 2012 verteilten sich diese wie folgt<sup>21</sup>:

- Steuern an Kommunen: 350 Mio. Euro
- Steuern an Länder: 520 Mio. Euro
- Steuern an Bund und sonst. Abgaben an den Bund: 2.178 Mio. Euro
- Damit betrug das Gesamtsteueraufkommen durch die Photovoltaik-Industrie im Jahre 2012 3.048 Mio. Euro.

## 5.2 Volkswirtschaftliche Effekte einer X-GW Fabrik in Baden-Württemberg

Die Ansiedlung einer X-GW Fabrik hat enorme positive Effekte auf den ausgesuchten Standort. Mit der Ansiedlung Fabrik entstehen quantitative, qualitative und politische Effekte. Dies wird im Detail von (Delbiaggio, Egli, Lier, & Roth, 2012)<sup>22</sup> dargestellt. Quantitative Effekte sind direkt monetär messbar und der Ansiedlung sofort zuzuschreiben. Qualitative Effekte beschreiben die Steigerung der Wettbewerbsfähigkeit durch Austausch von Wissen. Diese Effekte sind nur indirekt zu messen und schwieriger unmittelbar der Ansiedlung zuzuordnen. Darüber hinaus gibt es politische Effekte die nicht monetär messbar, aber für die jeweiligen politischen Entscheider von Relevanz sind.

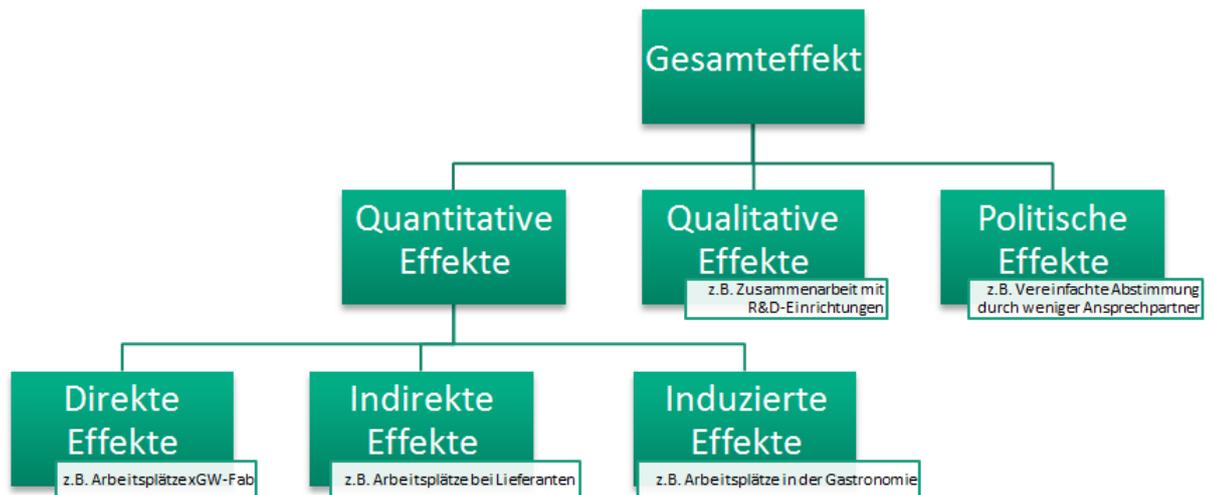


Abbildung 5-3: Übersicht der verschiedenen volkswirtschaftlichen Effekte einer Firmenansiedlung auf einen Standort. Eigene Darstellung in Anlehnung an (Delbiaggio, Egli, Lier, & Roth, 2012)

<sup>21</sup> Institut für ökologische Wirtschaftsforschung, im Auftrag von Greenpeace e.V., Hamburg, Wertschöpfungs- und Beschäftigungseffekte durch den Ausbau Erneuerbare Energien, 02. September 2013

<sup>22</sup> Delbiaggio, Katia; Egli, Hannes; Lier, Marco; Roth, Martin, Regionalökonomische Auswirkungen von Firmenansiedlungen, in „Die Volkswirtschaft“, 2012, S. 55-58

## 5.2.1 Quantitative Effekte

Die quantitativen Effekte lassen sich weiter in direkte, indirekte und induzierte Effekte gliedern. Eine X-GW Fabrik erzeugt Wertschöpfung in dem aus den Vorleistungen, wie z.B. Glas oder Rohsilicium, durch Bearbeitung und Montage, ein einsatzfähiges Photovoltaik-Modul hergestellt wird. Diese Wertschöpfung wird an die verschiedenen Stakeholder verteilt. Die Mitarbeiter partizipieren in Form von Löhnen, der Staat durch die Einnahme von Steuern und die Kapitalgeber in Form von Zinsen oder Dividenden. Außerdem können Gewinne reinvestiert werden und so die angesprochene Verteilung zeitlich verzögert werden. Unter anderem zeigen Branker & Pearce (2010)<sup>23</sup> anhand einer Modellrechnung, wie groß diese direkten Effekte sein können. In ihrem Beispiel wird für die Modellrechnung eine Fabrik für Dünnschicht-Photovoltaikmodule der Oerlikon Solar AG, Schweiz (jetzt TEL Solar, Schweiz) mit einer Fertigungskapazität von einem Gigawatt Peak-Leistung in Kanada betrachtet. Bei der Betrachtung der Ergebnisse ist davon auszugehen, dass eine Fabrik dieser Größenordnung langfristig mehrere tausend direkte Arbeitsplätze schaffen würde und der Staat jährlich einen dreistelligen Millionenbetrag zusätzlich durch Steuern einnimmt. Einschränkend muss an dieser Stelle hinzugefügt werden, dass die Bestimmung vieler indirekter und/oder induzierter Effekte mit großen Unschärfen verbunden ist.

Eine X-GW Fabrik erzeugt einen enormen Bedarf an Vorleistungen, wie z.B. Glas, Aluminiumprofilen und Silicium. Dieser muss von den Lieferanten gedeckt werden. Dies bewirkt, neben den Arbeitsplätzen in der X-GW Fabrik, weitere indirekte Arbeitsplätze bei den entsprechenden Lieferanten.

Es ist anzunehmen, dass eine große Anzahl neuer Arbeitsplätze im deutschen Mittelstand geschaffen werden können, da sich hier eine Vielzahl von Lieferanten für die Wertschöpfungskette von Photovoltaik-Modulen konzentriert. Zusätzlich ist davon auszugehen, dass viele zusätzliche Arbeitsplätze in direkter Umgebung des X-GW Fabrik-Standortes entstehen werden. Zum einen kann dies bei bereits bestehenden Fabriken beobachtet werden, zum anderen ist dies analytisch bei Betrachtung der Wertschöpfungskette nachvollziehbar. Denkbar sind auch weitergehende Agglomerationen, wie das Konzept eines „Eco-Industrial-Park“, von Pearce (2008) zeigt. Hier siedeln sich alle wichtigen Vorlieferanten für die Leistungselektronik um den Produktionsstandort an, um größtmögliche Synergieeffekte realisieren zu können. Darüber hinaus könnten Recyclingfabriken im Wertschöpfungsprozess integriert werden. Zusätzlich würden sich alle Fertigungsstätten in einem energetischen Verbund befinden, mit dem Ziel, die Energiekosten zu minimieren.

Aus den entstehenden Einkünften, direkt bei der ansiedelnden Fabrik oder bei Lieferanten, entstehen weitere sogenannte induzierte Effekte. Diese stellen die erhöhte Konsumnachfrage durch Erhöhung der Löhne und Gehälter der beteiligten Beschäftigten dar. So werden die Mitarbeiter der X-GW Fabrik beispielsweise einen Teil ihrer Einkommen in der hiesigen Gastronomie ausgeben. Die Gastronomen wiederum steigern auch ihren Konsum. Dieser induzierte Effekt setzt sich über

---

<sup>23</sup> Branker, K., & Pearce, J. (2010). Financial return for government support of large-scale thin-film solar photovoltaic manufacturing in Canada. *Energy Policy*, 38(8), S. 4291-4303

mehrere Stufen fort. Somit entstehen neue Arbeitsplätze und die Einkommen steigen. Die induzierten Effekte betreffen Bereiche wie Gastronomie, Dienstleistungen, Einzelhandel und Handwerk. Daraus resultiert, dass die Summe aller positiven Effekte weitaus größer ist als die der direkten und indirekten Einzeleffekte (Delbiaggio, Egli, Lier, & Roth, 2012).

Die folgende Graphik macht diese Zusammenhänge deutlich:

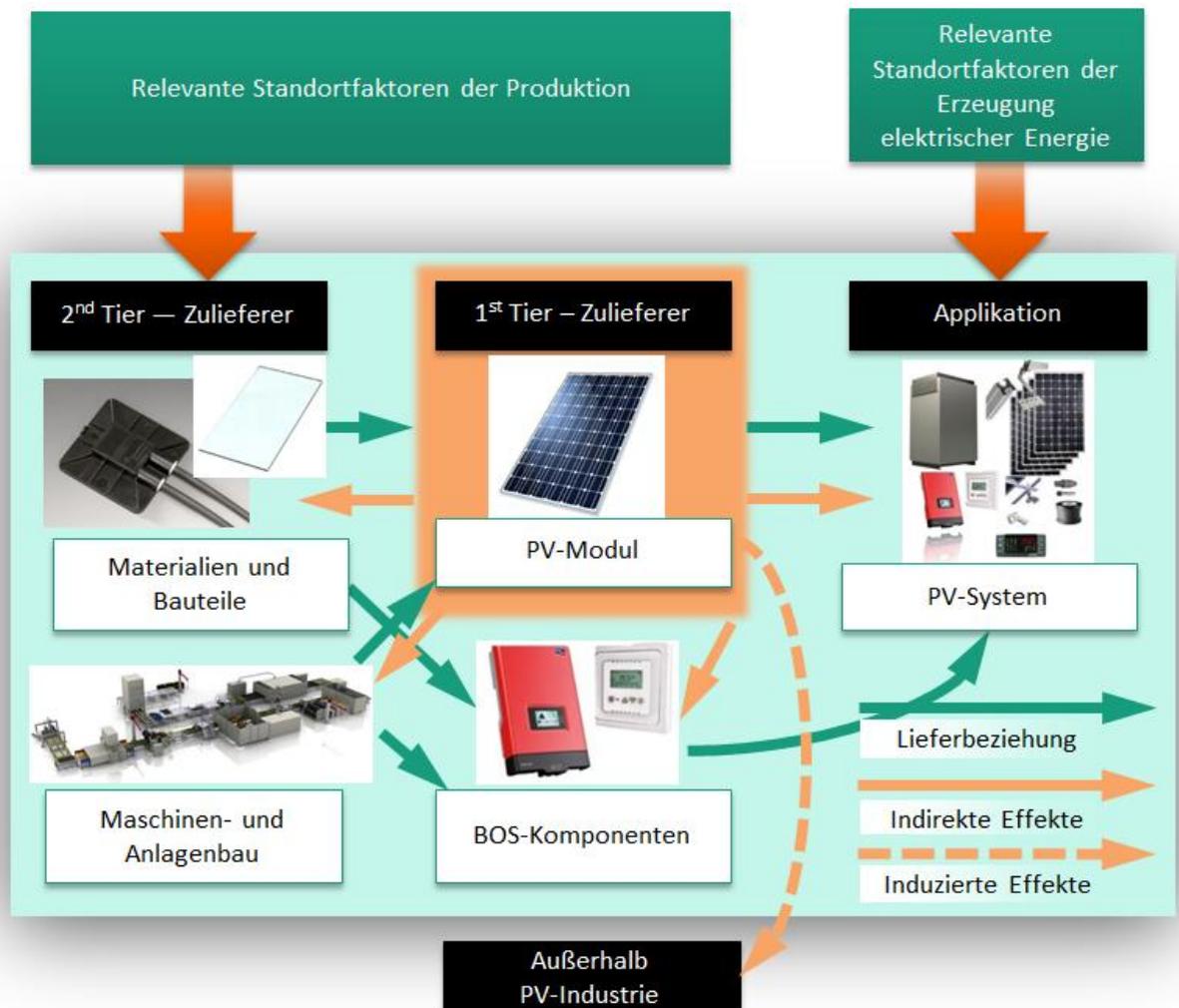


Abbildung 5-4: Direkte, indirekte und induzierte Effekte einer X-GW Fabrik

## Direkt

Im Rahmen dieser Studie sind die Systemgrenzen der X-GW Fabrik von der Herstellung des Ausgangsstoffes Silicium bis zum fertigen Photovoltaikmodul definiert. Zur Veranschaulichung relevanter Ergebnisse werden folgende Wertschöpfungsstufen betrachtet:

- Ingot bis Wafer
- Zelle
- Modul

Die Kalkulationen zur X-GW Fabrik ergeben für eine Fabrik mit einem Produktionsausstoß von 1GWp/a, welche in diesem Kapitel als Referenz dient, einen Anteil der Lohnkosten in Höhe von xxx% an den Produktionskosten des PV-Moduls.

Gemäß der Definition nach [Gabler Wirtschaftslexikon]<sup>24</sup> ist die Wertschöpfung als „Gütereinkommen“ definierbar. Sie errechnet „aus den gesamten Erlösen (den nach außen abgegebenen Güterwerten), von denen die „Vorleistungskosten“ (die von außen hereingenommenen Güterwerte, d.h. Leistungen vorgelagerter Produktionsstufen) abgezogen werden.“ Aufgrund des begrenzten Rahmens der Produktionskostenkalkulation für PV-Module ist diese Definition daher anwendbar. Innerhalb der Kostenkalkulation können somit die Aufwände für Arbeitskräfte der Wertschöpfung gleichgestellt werden.

Für die Ausführung der Aufgaben in diesen Segmenten werden Mitarbeiter unterschiedlicher Qualifikation benötigt. Die Einteilung der jeweiligen Mitarbeitergruppen wird wie folgt durchgeführt:

- Produktionsmitarbeiter
- Leitende Mitarbeiter
- Ingenieure

Angewandt auf diese Wertschöpfungsstufen und auf die Mitarbeiterstruktur lassen sich aus der Kalkulation der Produktionskosten folgende Ergebnisse ableiten:

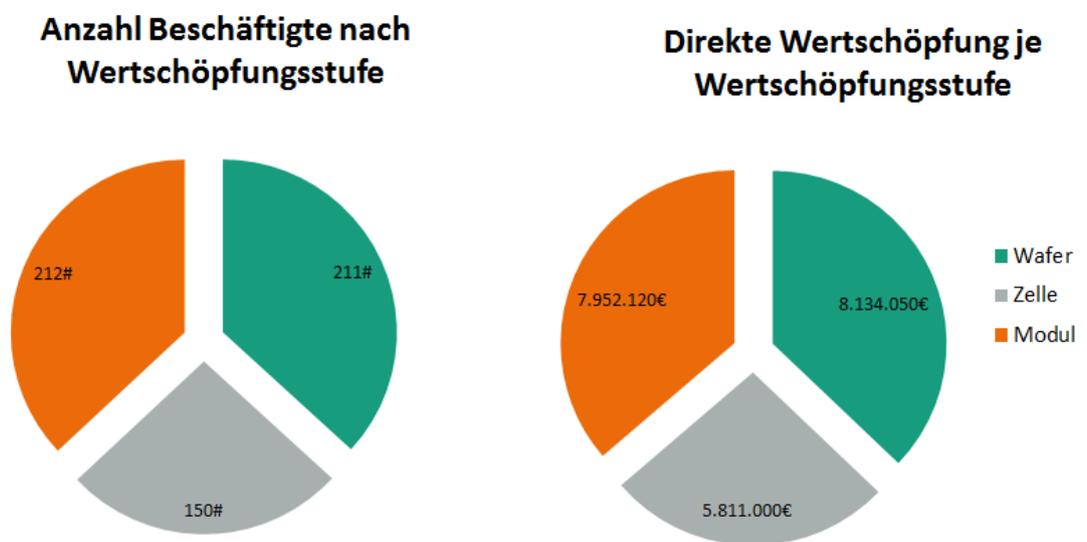


Abbildung 5-5: Direkte Effekte auf die Wertschöpfung einer X-GW Fabrik

<sup>24</sup> <http://wirtschaftslexikon.gabler.de/Definition/wertschoepfung.html>; abgerufen am 15. Oktober 2013

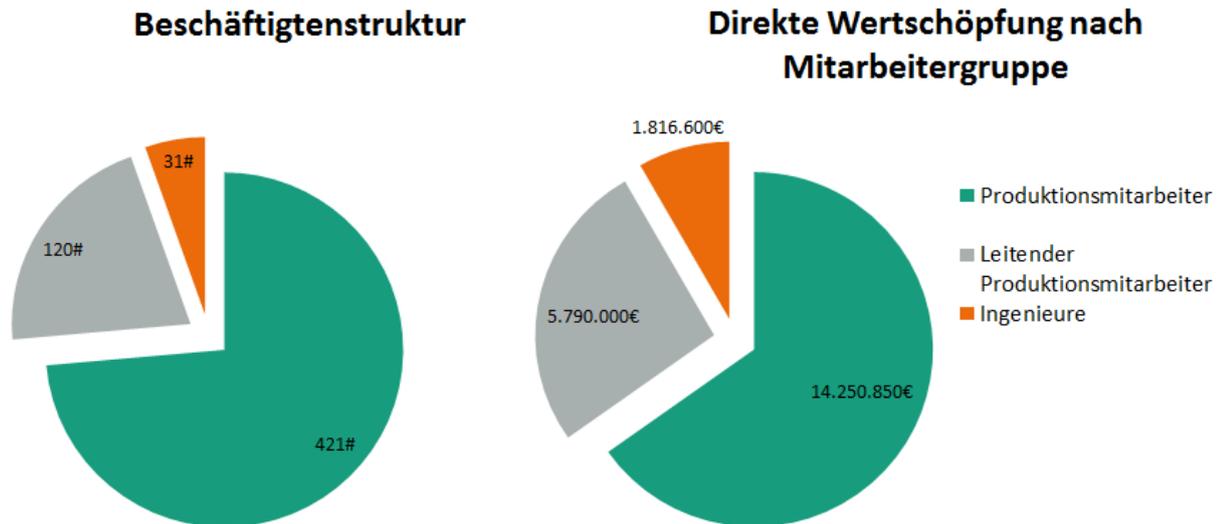


Abbildung 5-6: Direkte Effekte auf die Beschäftigung einer X-GW Fabrik

### Indirekt und Induziert

In diesem Kapitel wird auf die indirekten und induzierten Effekte einer X-GW Fabrik weiter eingegangen. Der Fokus liegt hierbei auf die zusätzlich entstehende Wertschöpfung sowie die resultierenden Beschäftigungen.

Wie bereits erwähnt ist eine Bestimmung der indirekten und induzierten Effekte mit großen Unsicherheiten verbunden. Dies hat vielfältige Ursachen. Ein wichtiger Punkt hierbei ist, dass in der Regel bei Kapazitätsausweitungen innerhalb vor- und nachgelagerter Unternehmen nicht in jedem Fall eine entsprechend große Erweiterung der Beschäftigtenanzahl notwendig ist. Dies gilt insbesondere für nicht-wertschöpfende Arbeitsplätze eines Unternehmens. Des Weiteren ist hinzuzufügen, dass sowohl die indirekte Wertschöpfung als auch die indirekte Beschäftigung nachgelagerter Wertschöpfungsstufen anderen Standortauswahlfaktoren unterliegt, abhängig von regionalen oder nationalen Interessen.

Darüber hinaus sind induzierte Effekte vom Konsum-, Spar- bzw. Investitionsverhalten abhängig. Eine solche Prognose gestaltet sich jedoch in der Regel eher problematisch (Vergleiche [Prestel]).

Die folgende Graphik zeigt anhand von Rechercheergebnissen unterschiedlicher Studien die Abweichung der dargestellten Effekte auf die Beschäftigung. Es sei angemerkt, dass es nicht das Ziel dieser Graphik ist eine Kritik auszusprechen, sondern lediglich mit Verweis auf die existierenden Unsicherheiten den Sachverhalt zu verdeutlichen.

### Indirekte & Induzierte Effekte auf Beschäftigung - Daten diverser Quellen

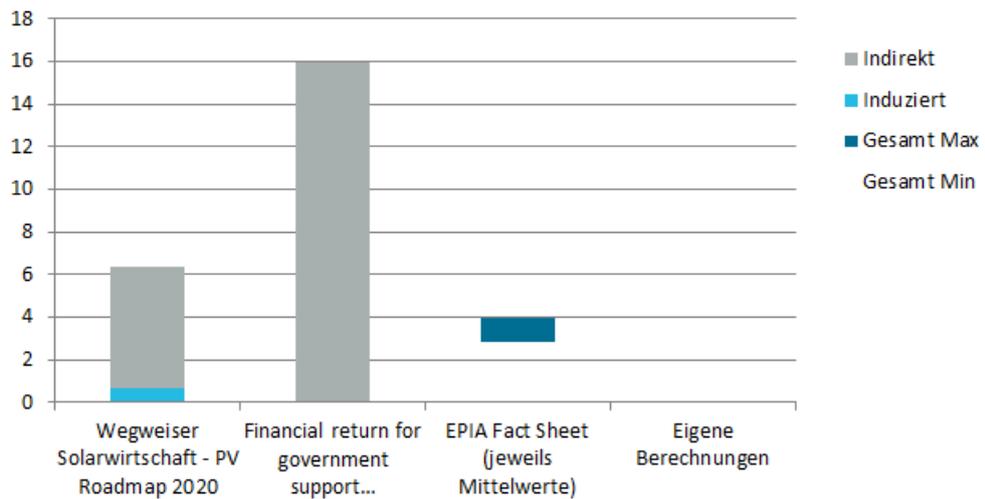


Abbildung 5-7: Indirekte und induzierte Effekte als Multiplikatoren diverser Quellen im Jahr 2010

Die folgenden Ergebnisse sollen daher vor dem Hintergrund dieser Unsicherheiten gesehen werden.

[Berger/Prognos]<sup>25</sup> beschreibt in einem konservativen Szenario den Photovoltaik-Ausbauplan von bis zu 52GW zum Jahre 2020, gemäß des Nationalen Aktionsplans für Erneuerbare Energien der Bundesregierung. Die Wertschöpfungstiefe entspricht dabei den Ansätzen der X-GW Fabrik.

In der Studie wird von einer direkten Wertschöpfung von 3,5 Mrd. € im Jahr 2010 und 5,3 Mrd. € im Jahr 2020 ausgegangen. Die Zuverlässigkeit vergangener Werte ist naturgemäß deutlich höher, weshalb die indirekten und induzierten Effekte im Folgenden mit den Werten des Jahres 2010 dargestellt werden.

Hierbei betragen die indirekten Effekte auf die Wertschöpfung 6,3 Mrd. €, was einem Faktor von 1,8 entspricht. Die Induzierten Effekte beliefen sich auf 0,6 Mrd. € (Faktor 0,2).<sup>26</sup>

<sup>25</sup> Wegweiser Solarwirtschaft – PV-Roadmap 2020; Roland Berger Strategy Consultants, Prognos AG im Auftrag des Bundesverbandes Solarwirtschaft e.V.; Nov. 2010; mit Verweis auf „Deutschland Report 2035“; Prognos AG; Basel, Berlin; 2010

## Effekte auf die Wertschöpfung durch PV-Industrie (in Mrd. €)

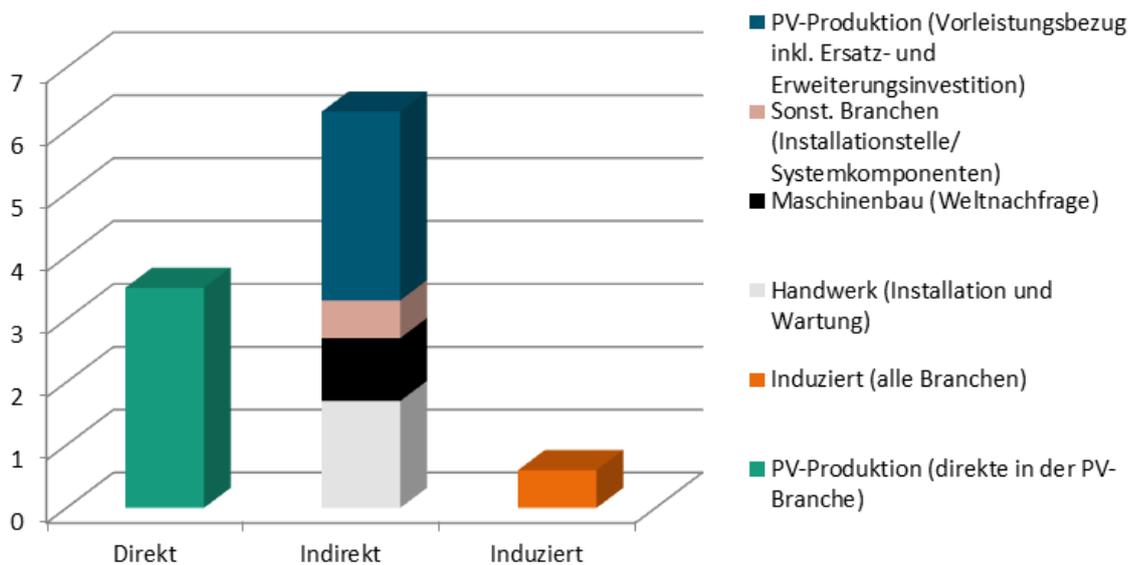


Abbildung 5-8: Effekte auf die Wertschöpfung durch PV-Industrie<sup>27</sup>

Im gleichen Szenario untersucht [Berger/Prognos] die Effekte auf die Beschäftigung. Dabei betrug im Jahr 2010 die Anzahl der direkt Beschäftigten 18.100, während sich die indirekten auf 102.500 und die induzierten auf 12.800 Arbeitsplätze beliefen.

Der Multiplikationsfaktoren betragen indirekt 5,7 und induziert 0,7. Die signifikante Differenz der Faktoren erklärt sich in erster Linie durch den hohen Automatisierungsgrad bei der Produktion innerhalb der Systemgrenzen der X-GW Fabrik.

<sup>27</sup> Wegweiser Solarwirtschaft - PV Roadmap 2020; Roland Berger Strategy Consultants, Prognos AG im Auftrag des Bundesverbandes Solarwirtschaft e.V.; Nov. 2010; mit Verweis auf „Deutschland Report 2035“; Prognos AG; Basel, Berlin; 2010

## Effekte auf die Beschäftigung durch PV-Industrie

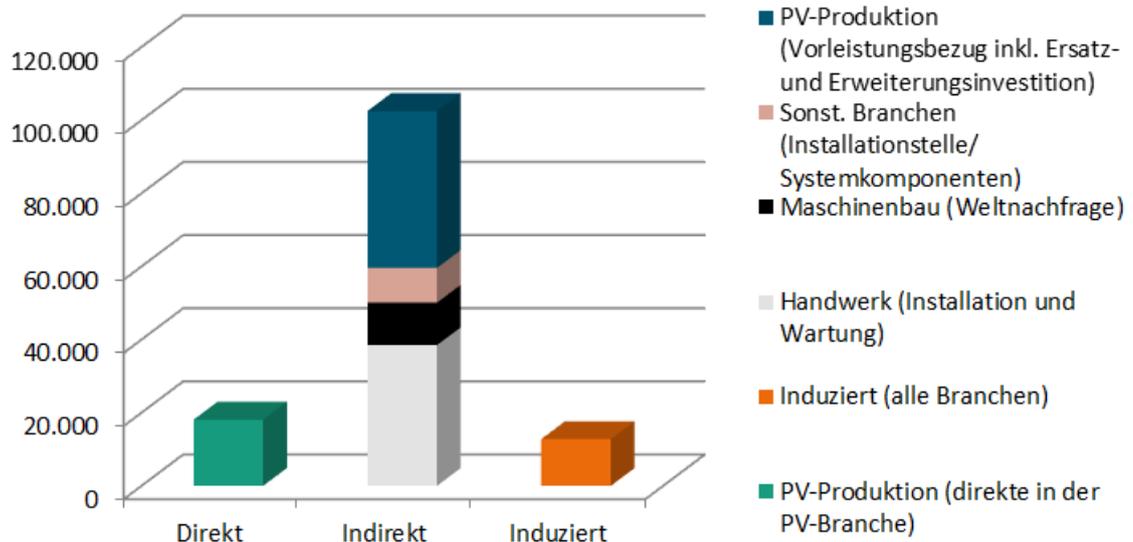


Abbildung 5-9: Positive Arbeitsplatzeffekte der PV-Technologie<sup>28</sup>

Eine weitere Studie kommt für eine Produktionslinie des Unternehmens Oerlikon Solar AG (jetzt TEL Solar), Schweiz zu einem deutlich differenzierten Ergebnis<sup>29</sup>. [Pranker/Pearce] folgend beträgt die Anzahl direkter Arbeitsplätze 1.778 und die der indirekt Beschäftigten 28.440, resultierend in einen Multiplikationsfaktor von 16.

<sup>28</sup> Wegweiser Solarwirtschaft – PV-Roadmap 2020; Roland Berger Strategy Consultants, Prognos AG im Auftrag des Bundesverbandes Solarwirtschaft e.V.; Nov. 2010; mit Verweis auf „Deutschland Report 2035“; Prognos AG; Basel, Berlin; 2010

<sup>29</sup> K. Branker, J.M. Pearce; Financial return for government support of large-scale thin-film solar photovoltaic manufacturing in Canada; ELSEVIER, Energy Policy; Energy Policy 38 (2010) 4291–4303

**Tabelle 5-1: Direkte und indirekte Arbeitsplätze über den Lebenszyklus einer Dünnschicht-PV-Produktionslinie**

Year	Year	Phase	Jobs		
			Direct	Indirect	Total
2009	0	Construction	900	20	920
2010	1	Construction	900	20	920
2011	2	Ramp up	1778	28,440	30,218
2012	3	Operation	1778	28,440	30,218
2013	4	Operation	1778	28,440	30,218
2014	5	Operation	1778	28,440	30,218
2015	6	Operation	1778	28,440	30,218
2016	7	Operation	1778	28,440	30,218
2017	8	Operation	1778	28,440	30,218
2018	9	Operation	1778	28,440	30,218
2019	10	Operation	1778	28,440	30,218

Diese hohe Zahl erscheint zunächst als signifikant zu hoch. Betrachtet man jedoch die angewandte Technologie einer vollautomatisierten Produktionslinie für Dünnschicht-PV-Module relativiert sich das Bild. Nichtsdestotrotz weisen die Autoren darauf hin, dass die entsprechend verwendeten Zahlen nicht verifiziert werden konnten.

In ihrem „Fact Sheet – Sustainability of photovoltaic systems, Job Creation“<sup>30</sup> vom 24. September 2013 beziffert EPIA die Anzahl der direkten Arbeitsplätze auf 3-7 je installierter MW-Kapazität. Für diese Angabe liegen keine Angaben zur Produktionskapazität der Referenz-Fabrik vor. Aufgrund der, im Vergleich zu den in dieser Studie zugrunde gelegten X-GW Fabriken, relativ hoher Zahl der direkten Arbeitsplätze, wird von einer Fabrik mit einem deutlich kleineren Produktionsvolumen ausgegangen.

Darüber hinaus betragen die weiteren indirekten Arbeitsplätze 12-20, was einem jeweils gemittelten Multiplikationsfaktor von 3,2 entspricht. Nicht berücksichtigt sind in diesem Fall entstehende Arbeitsplätze am Standort des Kunden.

### ***Kosten des PV-Ausbaus in Deutschland***

Der Ausbau der Photovoltaik-Applikationen bewirkt zudem negative Wertschöpfungseffekte aufgrund zusätzlicher Kosten der Photovoltaik und anderen erneuerbaren Energieträgern und ihren entsprechenden Entlohnungsarchitektur gegenüber einer fossil oder nuklear dominierten Stromerzeugung. Diese werden zum großen Teil an private und gewerbliche Verbraucher weitergegeben. Dies bewirkt einen negativen Effekt auf das für den Konsum verfügbare Einkommen und auf die Produktionskosten des Gewerbes, welche nicht durch Ausnahmeregelungen profitieren können.

<sup>30</sup> EPIA Fact Sheet - Sustainability of photovoltaic systems, Job Creation, 24.9.2012

Dieser negative Effekt kann teilweise durch geringere Strompreise an der Börse (Merit-Order-Effekt) kompensiert werden. Voraussetzung dafür jedoch ist, dass dieser Vorteil tatsächlich an die Konsumenten weitergegeben wird.

Diese Effekte verursachen in indirekter und induzierter Weise negative Auswirkungen auf Branchen, welche insbesondere vom verfügbaren Einkommen Abhängig sind.

- Einzelhandel
- Gastronomie
- Getränke- und Nahrungsindustrie
- Immobilien
- Gesundheitssektor

Des Weiteren verursacht die Photovoltaik je nach Ausbauszenario und elektrische Netzwerkkonstruktion weitere Investitionen in die Netzwerkinfrastruktur. Diese Kosten lassen sich, wie bei der Bestimmung der indirekten Effekte der Photovoltaik, sowohl als positiv auf die Wertschöpfung interpretieren oder andererseits als Kosten, die außerhalb der PV-Branche auftreten.

### 5.2.2 Qualitativ

Neben diesen quantitativen Effekten gibt es weitere qualitative Effekte. Diese werden durch sogenannte Übertragungseffekte hervorgerufen, diese entstehen sobald zwischen Individuen Wissen ausgetauscht wird (Grossman & Helpman, 1994). Das heißt, dass durch Investitionen wie z.B. Firmenansiedlungen die Wettbewerbsfähigkeit des Standorts gesteigert wird, da neues Wissen weitergetragen wird und sich die beteiligten Individuen zwangsläufig austauschen werden. Es gibt verschiedene Möglichkeiten, wie diese Übertragungseffekte auftreten können (Feldman, 1999).

Die erste Möglichkeit stellt der Transfer von Wissen durch Menschen dar. Dies kann durch Abwanderung der entsprechenden Mitarbeiter stattfinden, aber auch durch Austausch mit Lieferanten oder Forschungseinrichtungen. Konkret wäre ein Austausch zwischen der X-GW-Fabrik und ihren Lieferanten denkbar, die durch intensiven Austausch voneinander lernen und somit beide ihre Wettbewerbsfähigkeit steigern. Eine weitere Möglichkeit besteht darin, dass sich die Lieferanten untereinander austauschen und voneinander lernen. Ein weiteres Beispiel wäre die Kooperation mit einer Hochschule, bei der Wissen aus der Praxis, z.B. in Form einer Vorlesung an die Hochschule transportiert wird. Im Gegenzug würden Studenten und Wissenschaftler auf einen potenziellen Arbeitgeber aufmerksam gemacht werden.

Die zweite Möglichkeit besteht im Austausch von Wissen über Dokumente, beispielsweise über Patente oder Veröffentlichungen. So würde eine Forschungsk Kooperation zwischen der X-GW-Fabrik und umliegender Forschungseinrichtungen, wie beispielsweise einer Universität, Ergebnisse in Form von Patenten und Veröffentlichungen hervorbringen. Diese Informationsquellen werden von den Beteiligten aber auch von Dritten verwendet und das entsprechende Wissen breitet sich aus. Dies ist die Grundlage für erfolgreiche Forschung und Entwicklung im Bereich Photovoltaik und somit für den Standort Deutschland von großer Bedeutung.

### 5.2.3 Politisch

Neben den genannten quantitativen und qualitativen Effekten würden im Fall der Ansiedlung einer X-GW-Fabrik in Deutschland noch weitere politische Effekte auftreten. Deutschland ist in Bezug auf fossile Rohstoffe in hohem Maße von anderen Nationen abhängig (siehe Abbildung 5-10). Mit steigenden Preisen für fossile Energieträger, nimmt auch die Bedeutung der regenerativen Energieträger als „Rohstoff“ einer Volkswirtschaft zu. Deshalb hätte die Produktion von Solarzellen in Deutschland einen positiven Effekt auf die Unabhängigkeit Deutschlands gegenüber anderer Nationen. Des Weiteren positioniert sich Deutschland als Vorreiter im Bereich „erneuerbarer Technologien“. Die Bundesregierung betont mit verschiedenen Initiativen (z.B. Innovationsallianz Photovoltaik oder Förderpaket F&E-Förderung für Photovoltaik) die Wichtigkeit der deutschen Photovoltaik-Industrie. Die Herstellung von Solarzellen und -modulen ist der zentrale Schritt in der Wertschöpfungskette, der damit großen Einfluss auf die vorgelagerten Schritte, wie Wafer-Herstellung, Herstellung von Fertigungseinrichtungen und den Bau der Leistungselektronik hat. Somit stellt eine deutsche Fertigung von Zellen oder Modulen auch einen wesentlichen Faktor für die Wettbewerbsfähigkeit anderer Teile der Wertschöpfungskette dar.

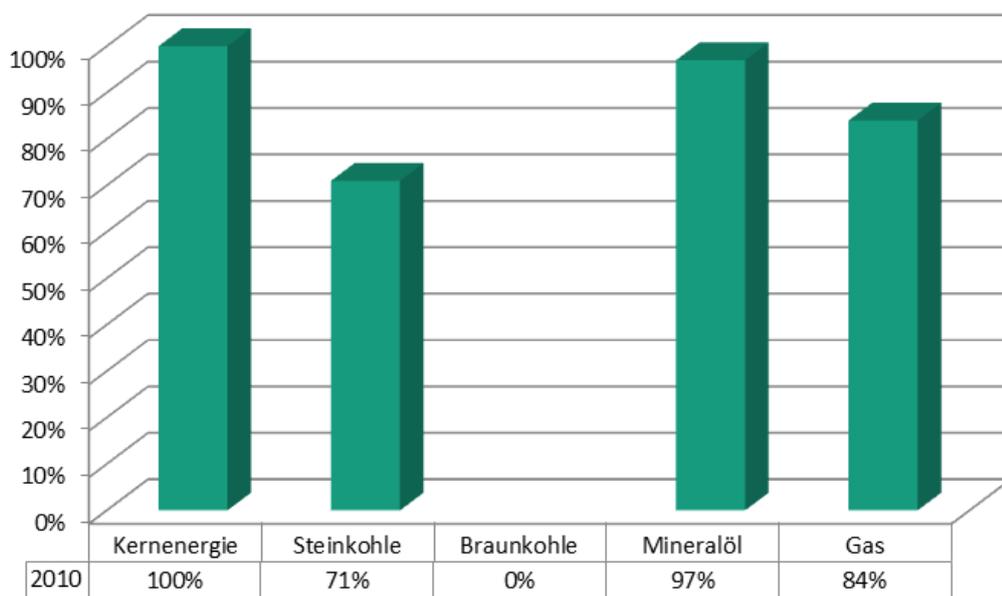


Abbildung 5-10: Importquote der Energieträger im Jahr 2010<sup>31</sup>

### 5.2.4 Umwelt

<sup>31</sup> Wegweiser Solarwirtschaft – PV-Roadmap 2020; Roland Berger Strategy Consultants, Prognos AG im Auftrag des Bundesverbandes Solarwirtschaft e.V.

; Nov. 2010; mit Verweis auf „Deutschland Report 2035“; Prognos AG; Basel, Berlin; 2010

Der Einsatz von Energiequellen aus erneuerbaren Energien substituiert den Einsatz fossiler Energieträger, deren Verbrennung Kohlenstoffdioxid (CO<sub>2</sub>) verursacht. Die jeweiligen Emissionen differieren, je nach Art des eingesetzten Brennstoffes.

Darüber hinaus verursachen auch Energie-Erzeugungsarten auf nicht-fossiler Basis CO<sub>2</sub>. Diese entsprechenden Emissionen werden bei der Produktion, Transport, Aufbau und Entsorgung ausgestoßen.

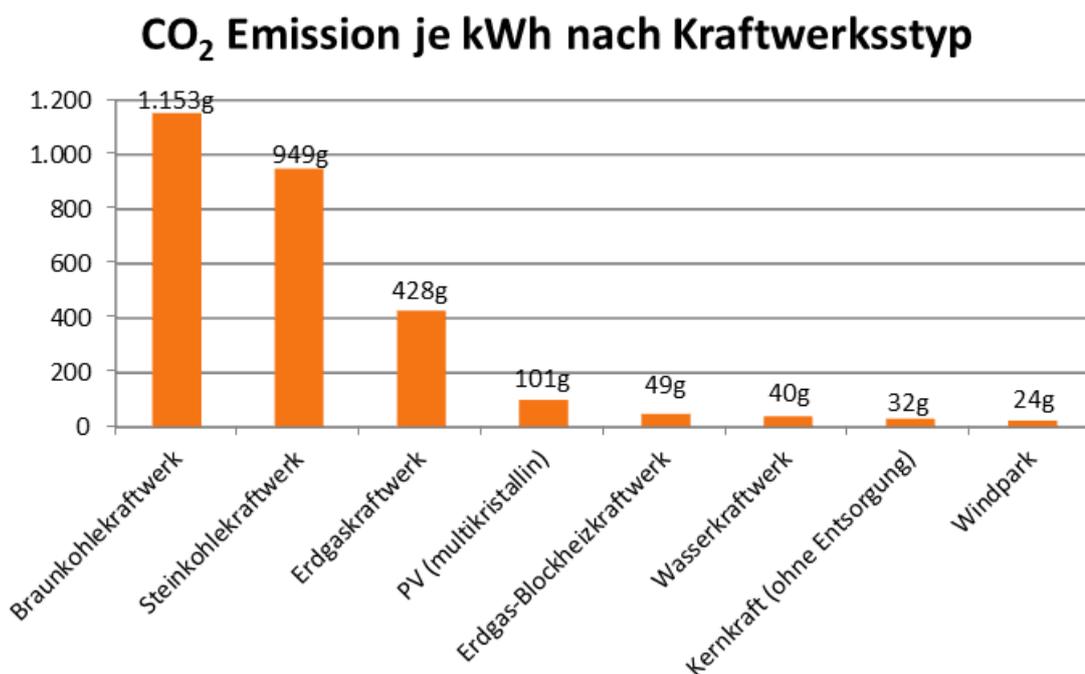


Abbildung 5-11: Emission CO<sub>2</sub> g/kWh nach Kraftwerkstyp<sup>32</sup>

Die signifikante Ausweitung der Photovoltaik in den vergangenen Jahren hat den oben bezeichneten Substitutionseffekt laufend erhöht, wie die folgende Graphik veranschaulicht.

---

<sup>32</sup> CO<sub>2</sub>-Emissionen pro Kilowattstunde erzeugte Strom nach Kraftwerktypen (in Gramm pro Kilowattstunde); Öko-Institut Darmstadt; 2009

## Eingespartes CO<sub>2</sub> durch Photovoltaik-Anlagen

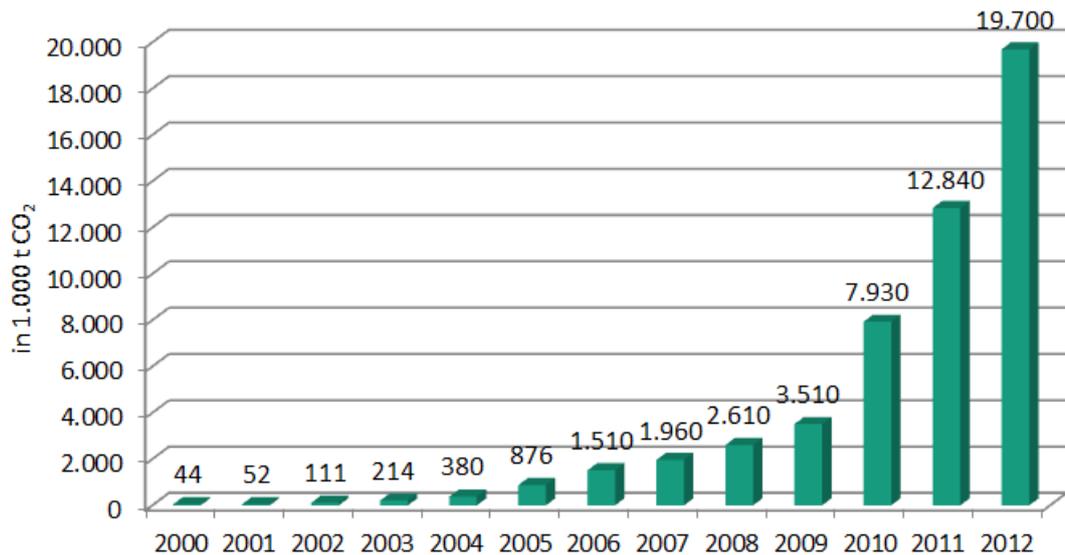


Abbildung 5-12: Emission g/kWh (CO<sub>2</sub> Äquivalent) je nach Energieträger<sup>33</sup>

### 5.3 Einschätzung der Eignung Deutschlands bzw. Baden-Württembergs als Standort für eine X-GW-Fabrik

Zurzeit findet die Fertigung von Zellen und Modulen größtenteils in China statt. Dies wird damit begründet, dass die Lohnkosten in Industrienationen wie Deutschland relativ hoch sind. Andere Branchen haben mit der gleichen Argumentation in den letzten Jahren viele Fertigungsstandorte ins Ausland verlegt. Seit einiger Zeit jedoch ist insgesamt ein gegenläufiger Trend festzustellen. Standortverlagerungen von Deutschland ins Ausland werden immer öfter rückgängig gemacht. Hierfür werden immer wieder dieselben Beweggründe angeführt, die sich schlussendlich in der Feststellung manifestieren, dass die erhofften finanziellen Erfolge ausbleiben (Kinkel & Maloca, 2009).

Die für die Auswahl eines Produktionsstandortes relevanten Faktoren sind in Abbildung 21 aufgeführt. Hier werden insbesondere die Transportkosten, die Nähe zu Partnern in der Lieferkette, der Zugriff auf hochqualifiziertes Personal, aber auch der Einfluss des Makroökonomischen Umfelds angeführt.

---

<sup>33</sup> Umweltministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, Zeitreihen zur Entwicklung der erneuerbaren Energien in Deutschland unter Verwendung der Daten der Arbeitsgruppe Erneuerbare Energien-Statistik (AGEE-Stat), Februar 2013

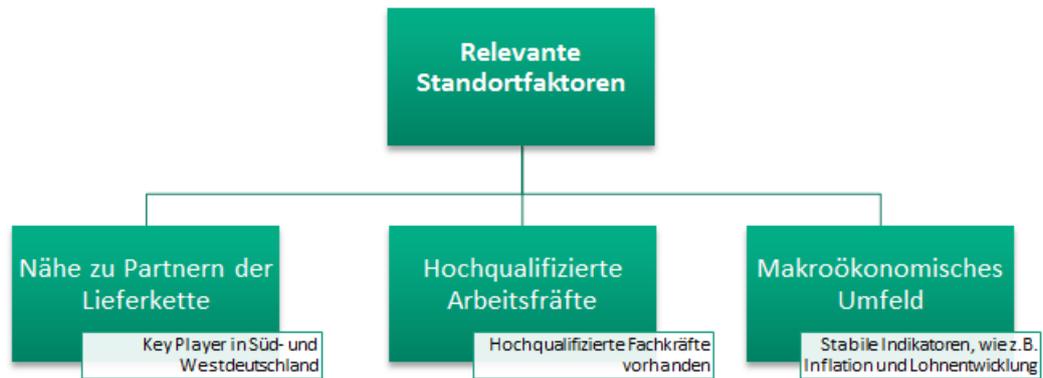


Abbildung 5-13: Relevante Faktoren für die Standortauswahl

Die Gründe für die fehlerhafte Standortwahl können wie folgt zusammengefasst werden (Kinkel, Erfolgsfaktor Standortplanung, 2009, S.5ff): Oftmals wird die Stimmigkeit von Wettbewerbs- und Standortstrategie nicht geprüft. So ist zuerst zu definieren wie die Wettbewerbsstrategie aussieht. Beispielsweise ist es dabei fraglich, ob Photovoltaikunternehmen, die den europäischen Markt bedienen wollen, aufgrund vermeintlich geringerer Fertigungskosten tatsächlich einen Fertigungsstandort in Asien wählen sollten. Rahmenbedingungen können sich häufig und unvorhergesehen verändern. Eine ursprünglich als vorteilhaft erachtete Entscheidung birgt somit schwer kalkulierbare Risiken und entpuppt sich mitunter als Fehler. Die Logistikkosten machen heute mit 5 bis 10 % einen beträchtlichen Teil der Gesamtkosten von Photovoltaikmodulen aus (Goodrich, James, Woodhouse, & Michael, 2011) (Claudy, Gerdes, & Ondraczek, 2010) und liegen damit in der gleichen Größenordnung wie die Lohnkosten. Für Standorte die ihre Module durch lange Transporte zu ihren Kunden befördern müssen, stellt z.B. eine Erhöhung der Energiepreise oder Bepreisung von CO<sub>2</sub>-Emissionen ein enormes Risiko dar. Berechnungen des Fraunhofer IPA zeigen, dass die Wahl des optimalen Standorts sehr stark von folgenden zwei Einflussfaktoren abhängig ist. Auf der einen Seite wird die Wahl des optimalen Standorts von der Entfernung zu den jeweiligen Kundenmärkten abhängig sein. Dies wird dadurch bedingt, dass das Transportvolumen auf der Outboundseite des Werks (Deliver) etwa 80 Prozent größer sein wird als auf der Inboundseite. Zudem hängt die Wahl größtenteils auch von der Entfernung zu den entsprechenden Glaslieferanten ab, da diese circa zwei Drittel des Transportaufkommens auf der Inboundseite (Source) ausmachen. Betrachtet man die relevanten Kundenmärkte bis 2020 (European Photovoltaic Industry Association, 2012) und die vorhandenen Glaslieferanten (Germany Trade & Invest, 2013) wird deutlich, dass Süddeutschland, insbesondere Nordwürttemberg, einen sehr günstigen Standort für eine X-GW Fabrik darstellt. Unter Berücksichtigung einschlägiger Berechnungen und diverser Expertenmeinungen, dass ab zwei GWp/a Produktionskapazität die direkte Anbindung einer Glasproduktion ökonomisch sinnvoll wird, ist anzunehmen, dass sich der optimale Standort auf Grund sinkender Transportkosten zu den Zielmärkten weiter nach Süden verschiebt.

Neben den genannten Standortfaktoren kann zukünftig noch ein weiterer strategischer Standortvorteil hinzukommen. Mit der Vorreiterrolle Deutschlands in der Photovoltaik-Installation werden auch die Themen Recycling und Repowering

der Photovoltaikanlagen zeitnah wesentlich in den Fokus rücken. Hier könnten bei entsprechenden Vereinbarungen Recyclingfabriken am Standort entstehen und somit die Attraktivität der X-GW Fabrik, sowohl finanziell als auch aus umwelttechnischen Gesichtspunkten, enorm steigern.

### 5.3.1 Nähe zu Partnern der Lieferkette

Betrachtet man die Lieferkette auf der Input-Seite der X-GW Fabrik ist zunächst festzustellen, dass ein Großteil der Lieferanten in Baden-Württemberg oder zumindest in unmittelbarer Nähe angesiedelt ist. Dies erhöht die Wettbewerbsfähigkeit durch schnellere und einfachere Abstimmung. Ebenso ist es wahrscheinlicher, dass so Systemlösungen mit gesteigerter Effizienz entwickelt und angeboten werden können. Für eine derartige Zusammenarbeit wird eine gute Verhandlungsposition benötigt. Diese könnte durch eine entsprechende Skalierung der X-GW Fabrik sichergestellt werden. Ein weiterer Punkt, der für die unmittelbare Nähe zur Lieferkette spricht, ist die durch die optimale Zusammenarbeit verkürzte Zeit zwischen Innovation und Markteintritt.

Neben diesen qualitativen Faktoren sind jedoch auch die Transportkosten durch die Nähe zu Partnern der Lieferkette ausschlaggebend. Diese Transportkosten sind abhängig von der Distanz der Produktionsstätte zu den Lieferanten, aber auch der Distanz zum Absatzmarkt. Zusätzlich soll die Qualität und Zuverlässigkeit der Transportinfrastruktur einen entscheidenden Einfluss auf die Standortwahl nehmen. Abbildung 22 führt die wesentlichen Transportwege der Lieferanten zu einem potentiellen Produktionsstandort der X-GW-Fabrik in Stuttgart auf.

**Tabelle 5-2: Fiktive Transportkosten der Lieferkette zur X-GW-Fabrik**

Material	basierend auf	für 1-GW-Fab	Potentieller Lieferant?	Distanz einfach [km]	Distanz total [km]	Transportkosten [€]
FS Glas	Sattelzug	1673	Glaswerke Arnold	24	40158	54213
BS Glas	Sattelzug	1673	Glaswerke Arnold	24	40158	54213
Alu Profil	Sattelzug	203	Gehrlicher	299	60662	81894
Silizium	Sattelzug	151	Wacker Chemie AG	333	50296	67900
Zellverbinder	Sattelzug	26	BASF	137	3591	4848
Schmelztiegel	Sattelzug	8	Walter Kunze & Sohn	417	3431	4631
Sägedraht	Sattelzug	12	Logomatic GmbH	205	2544	3435
J-Box	Sattelzug	6	SolarEdge	239	1522	2055
Alu-Silberleitpaste	Sattelzug	1	BASF	137	137	185
Silber-Leitpaste	Sattelzug	1	BASF	137	124	167
<b>Total Jahr</b>						<b>273541</b>

Als beispielhafte Berechnung werden hier mögliche Zulieferer ausgewählt und mit der entsprechenden Distanz zum Standort Stuttgart versehen. Mit einem Transportkostenfaktor von 1,35 € pro Kilometer beladene Fahrtstrecke werden so zur besseren Vergleichbarkeit jeweils 100 % beladene Sattelzüge bewertet. In der Realität werden einzelne Transporte sicherlich auch mit kleineren Transportern und evtl. auch nicht immer zu 100 % beladen vorkommen, hier wird jedoch der Transportkostenfaktor auch geringer ausfallen.

Der Großteil der Transporte auf der Zulieferkette wird durch die Glaslieferanten erzeugt. Bei einer 1-GW-Fertigung werden hier ca. 3350 Sattelzüge im Jahr an Glas angeliefert. Hier gilt es insbesondere auf die Nähe von Glaslieferanten hinzuweisen

bzw. einen Standort zu wählen bei dem ab entsprechender Ausbaustufe auch eine Glasproduktion vor Ort angesiedelt werden kann.

Die Transportkilometer bzw. Transportkosten zu den Absatzmärkten sind in Tabelle 2 dargestellt. Unter der Annahme, dass ein Großteil der Module in Europa vertrieben wird und anhand der Markt-Prognosen der EPIA für das Jahr 2020, sind folgende Transportwege anzusetzen.

**Tabelle 5-3: Fiktive Transportkosten der Lieferkette zu den Absatzmärkten der EU**

Von Stuttgart nach	0,5 GW	1 GW	2 GW	3 GW	4 GW	5 GW
<b>Kassel [36%]</b>	338.689 km	729.956 km	1.459.912 km	2.189.868 km	2.919.824 km	3.649.780 km
<b>Toulouse [10%]</b>	306.485 km	660.550 km	1.321.100 km	1.981.650 km	2.642.200 km	3.302.750 km
<b>Paris [10%]</b>	163.916 km	353.278 km	706.556 km	1.059.834 km	1.413.111 km	1.766.389 km
<b>Rom [19%]</b>	537.259 km	1.157.922 km	2.315.844 km	3.473.766 km	4.631.688 km	5.789.611 km
<b>London [15%]</b>	363.276 km	782.948 km	1.565.896 km	2.348.843 km	3.131.791 km	3.914.739 km
<b>Madrid [10%]</b>	491.483 km	1.059.266 km	2.118.531 km	3.177.797 km	4.237.062 km	5.296.328 km
<b>Total pro Jahr [km]</b>	<b>2.201.108 km</b>	<b>4.743.919 km</b>	<b>9.487.839 km</b>	<b>14.231.758 km</b>	<b>18.975.678 km</b>	<b>23.719.597 km</b>
<b>Total pro Jahr [€]</b>	<b>2.971.496 €</b>	<b>6.404.291 €</b>	<b>12.808.583 €</b>	<b>19.212.874 €</b>	<b>25.617.165 €</b>	<b>32.021.456 €</b>

Für die Kalkulation der Transportkosten werden dabei die 5 wichtigsten Absatzmärkte der EU: Deutschland, Frankreich, Italien, Großbritannien und Spanien mit dem entsprechend prognostizierten, prozentualen Absatzvolumen laut „EPIA Global Market Outlook“ herangezogen. Der Kalkulation liegt der Transport mit 100 % beladenen 24 Tonnen-LKWs und der entsprechenden Distanz zwischen Produktionsstätten und dem Absatzmarkt zugrunde. Für die Transportkostenberechnung werden 1,35 € Transportkosten pro km angenommen.

Neben den reinen Transportkosten gilt es noch weitere Faktoren auf der Outbound-Seite der Lieferkette zu berücksichtigen. Der Standort Deutschland ist aus logistischer Sicht optimal um den großen und immer noch wachsenden europäischen Markt zu versorgen. Ebenso ist das Qualitätsmerkmal „Made in Germany“ ein Alleinstellungsmerkmal was zu höheren Verkaufspreisen und der Möglichkeit einer engeren Kundenbindung (z.B. Installateure) führt. Diese Kundenbindung kann auch durch eine schnellere Reaktion auf etwaige Mängel verbessert werden. Die Nähe zum Absatzmarkt vereinfacht den Einstieg ins Projektgeschäft und den Direktvertrieb. Dies führt zu einer Sicherung des Absatzes und ermöglicht eine gezielte Erschließung von Absatzmärkten.

### 5.3.2 Qualifikation von Arbeitskräften

In der aktuellen Situation wird deutlich, dass der ausschließliche Wettbewerb über Kosten zu niedrigen Margen und schlussendlich zum Ausscheiden vieler Produzenten führt. Deshalb können Firmen, wie in anderen Branchen zu beobachten, nur dauerhaft hohe Erträge sichern, indem sie auch Innovationen hervorbringen und sich somit vom Wettbewerb abgrenzen. Dies bedingt jedoch zwingend, hochqualifiziertes Personal am Standort zu haben, um durch Forschung und Entwicklung Innovationen bezüglich der Wirkungsgrade der Module sowie Optimierungen der Produktionsleistung der hochautomatisierten Fertigungslinien zu generieren. Baden-Württemberg besitzt in Deutschland und auch im internationalen Vergleich eine sehr hohe Dichte an hochqualifizierten Arbeitskräften in diesem Gebiet. Eine Betrachtung der Lohnstückkosten zeigt darüber hinaus, dass die

Produktivität in Deutschland weltweit am höchsten ist (Schröder, 2011). Betrachtet man die aktuelle Produktionstechnologie, erfordert diese für eine anzustrebende Qualitätsführerschaft einen hohen Automatisierungsgrad. Daher sind die Personalkosten für eine X-GW Fabrik eher nachrangig. Dennoch sind für einen erfolgreichen Betrieb dieser hochautomatisierten Fertigung ausgebildete Fachkräfte unabdingbar. Hier bringen das duale Ausbildungssystem und die Hochschullandschaft Deutschlands und Baden-Württembergs einen optimalen Rekrutierungspool für das geeignete Humankapital. Zusätzlich besteht in Baden-Württemberg eine hervorragende außeruniversitäre Forschungsaktivität von verschiedenen Institutionen:

- Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung (ZSW)
- Fraunhofer Institut für Automatisierung und Produktionstechnik (IPA)
- Fraunhofer Institut für Solare Energiesysteme (ISE)
- Fraunhofer-Institut für Werkstoffmechanik (IWM) und
- International Solar Energy Research Center (ISC)

Hier wird in der Forschung die gesamte solare Wertschöpfungskette abgedeckt.

### **5.3.3 Makroökonomisches Umfeld**

Mit Hilfe der Analyse des makroökonomischen Umfelds werden die generellen Rahmenbedingungen bewertet mit welchen die X-GW Fabrik am Standort Deutschland zu rechnen hat und auf die das Unternehmen in der Regel nicht direkt einwirken kann. Als Risiko kann hier sicherlich die demographische Entwicklung, aber auch die sich in Bezug auf die Förderung der Erneuerbaren Energien ändernden Rahmenbedingungen gesehen werden. Als durchaus positiv sollte in die Standortbewertung das technologische Umfeld (vgl. 5.3.2) und eine im Vergleich zu anderen Ländern Europas sehr stabile Wirtschaftslage betrachtet werden. Ein wesentlicher makroökonomischer Standortvorteil ist die Unabhängigkeit von Wechselkursen, welche sowohl auf Zulieferseite als auch auf einem Großteil des Absatzmarktes nicht bestehen. Neben diesen kaum vorhandenen Wechselkursrisiken scheint auch die Kapitalbeschaffung am Standort Deutschland einfacher. Ebenso ist das politische Klima am Standort Deutschland als vergleichsweise stabil und konstant anzusehen. So hat die Bundesregierung durch das EEG ein eindeutiges Bekenntnis zu erneuerbaren Energien und somit auch der Photovoltaik gegeben. Neben diesen politischen Faktoren ist die hohe Rechtssicherheit ein weiterer positiver makroökonomischer Vorteil.

Werden die makroökonomischen Faktoren bewertet so scheint der hiesige Standort absolut geeignet um eine X-GW Fabrik aufzubauen.

## 6 Umfrage

*(Hauptverantwortlich: Fraunhofer IPA)*

Wie an mehreren Stellen dieser Studie beschrieben, sind deutsche Unternehmen und Forschungsinstitutionen gerade im Bereich der Zelltechnologie und Produktionstechnik noch immer führend. Auf Grund der andauernden Konsolidierung des Marktes und der damit verbundenen Zurückhaltung im Bereich der Investitionsbereitschaft sowie der Stornierung diverser Aufträge haben verschiedene Unternehmen jedoch bereits strategische Entscheidungen gegen einen Verbleib in der PV-Branche getroffen. Einen nachhaltigen Aufbau einer X-GW Fabrik und des dabei entstehenden Wertschöpfungsnetzwerks kann jedoch nur unter Einbeziehung einer breiten Basis beteiligter KMUs erfolgen. Daher sollte die internetbasierte Umfrage, durchgeführt als "offene" Umfrage die Meinungen möglichst vieler Marktteilnehmer zu wichtigen Einflussfaktoren der Photovoltaik und der X-GW Fabrik erfassen. Zur Wahrung der Aussagekraft wurde dabei sichergestellt, dass eine Person nicht mehrfach an der Umfrage teilnehmen und so womöglich das Ergebnis entsprechend beeinflussen konnte.

Da die Ergebnisse dieser Studie eine wichtige Grundlage für zukünftige energiepolitische Entscheidungen sein können wurde darum gebeten, die Fragen gewissenhaft und vollständig zu beantworten. Weiterhin wurde den Teilnehmern dieser Umfrage zugesagt, dass die gesammelten Informationen vertraulich behandelt und anonymisiert ausgewertet werden.

Um einen möglichst breiten Adressatenkreis zu erreichen, wurde die Einladung zur Teilnahme sowohl an Geschäftspartner der beiden Fraunhofer Institute IPA und ISE, wie auch an Branchenvertreter des VDMA, des SolarCluster BW sowie der SEMI und weiteren Einzelkontakte verschickt. Da es sich um eine offene Umfrage handelte, wurde in der Einladung zudem zur aktiven Weiterleitung der Anfrage aufgefordert.

Die allgemein erhobenen Statistiken zu der Umfrage lassen erkennen, dass sich in Summe 149 Personen die Umfrage angeschaut und 109 Teilnehmer diese bis zum Ende ausgeführt haben.

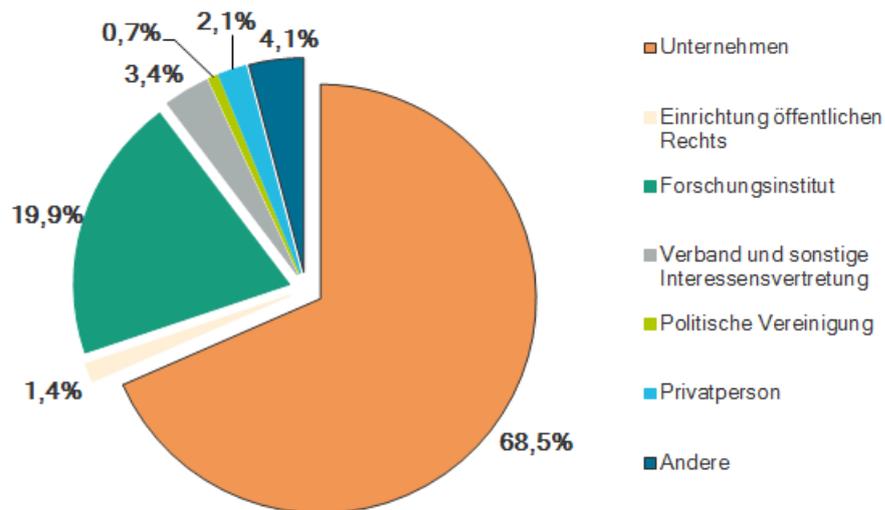
Neben der erwarteten tendenziell pessimistischen Grundstimmung sind zwei Punkte für die Autoren der Studie jedoch besonders bemerkenswert. Den erfolgsversprechenden Weg aus der Krise sieht die Mehrzahl der Teilnehmer nicht in Strafzöllen oder weiteren Subventionen, sondern vielmehr in strategischen Partnerschaften, wie sie das angedachte Wertschöpfungsnetzwerk bieten würde. Darüber hinaus sind die Institutionen durchaus bereit mittelfristig weitere Investitionen in den Ausbau ihrer PV-Bereiche zu tätigen. Der Aufbau einer X-GW Fabrik in Deutschland, vornehmlich in Baden-Württemberg, wird daher allgemein als wettbewerbssteigernd und volkswirtschaftlich sinnvoll erachtet.

## 6.1 Informationen zum Institut und zur Person

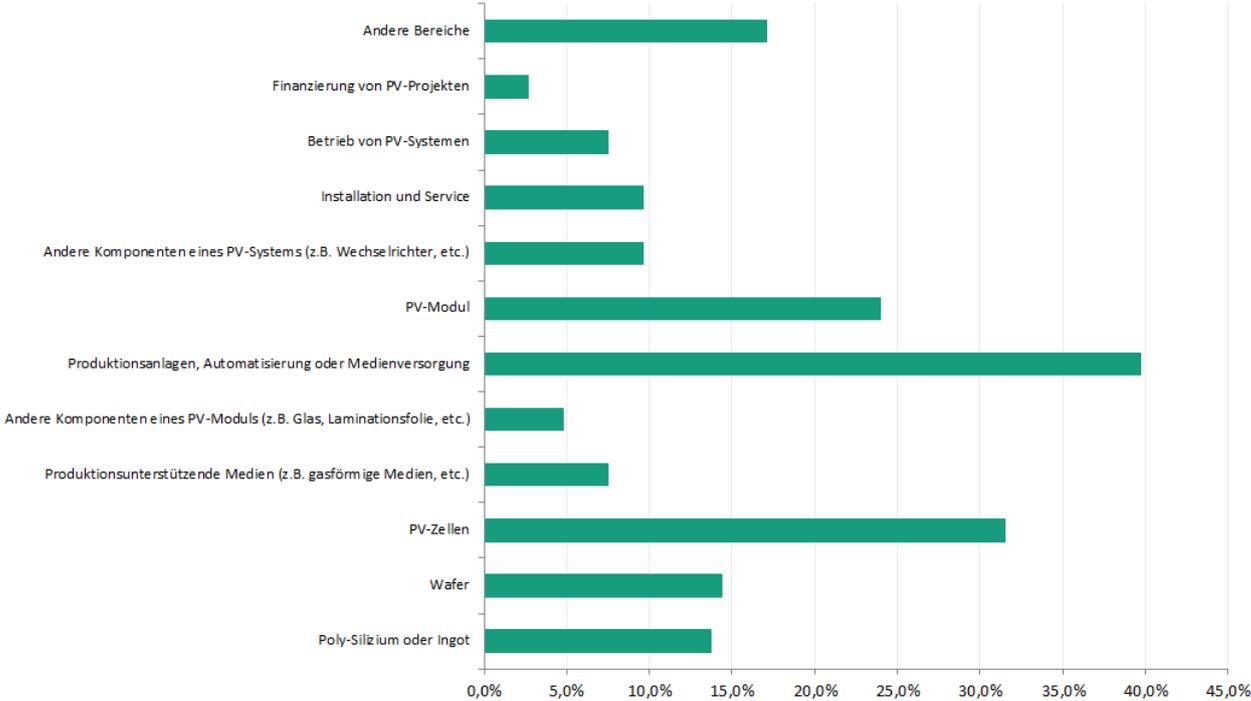
Insgesamt nahmen an der Umfrage 109 Personen unterschiedlicher Institutionen teil. Erfreulich hierbei war vor allem die rege Beteiligung seitens diverser Unternehmen entlang der gesamten Wertschöpfungskette, mit dem Hauptgebiet der Produktionstechnik. Ein Viertel der Teilnehmer gaben an, selbst der Geschäftsführung anzugehören. Die nachfolgenden Angaben, gerade hinsichtlich der strategischen Ausrichtung, sollten daher das nötige Potenzial an Umsetzbarkeit aufweisen.

Neben den Führungskräften waren es vor allem die Bereiche Forschung und Entwicklung sowie Marketing und Vertrieb, die sich an der Umfrage beteiligten. Diese beiden Zielgruppen liefern dabei wichtige Informationen hinsichtlich der zukünftigen Potenziale, was die technologische Entwicklung auf der einen und die Märkte auf der anderen Seite anbelangt.

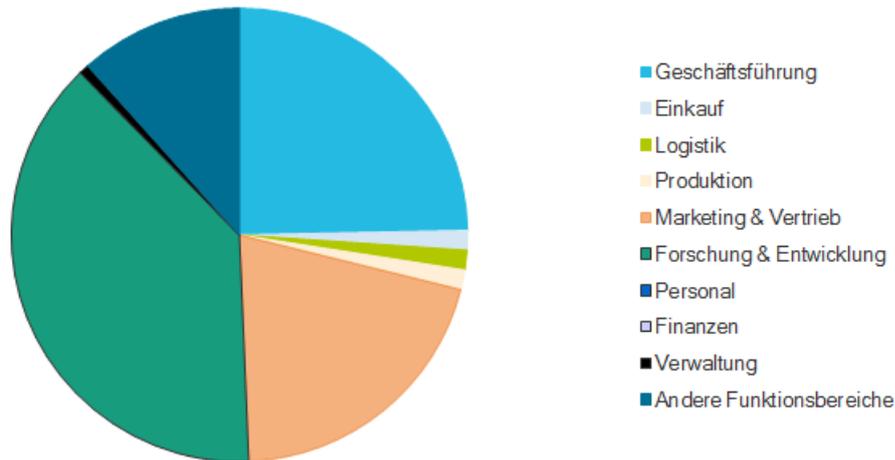
### 1. Welche Art von Institution vertreten Sie?



2. Auf welcher Stufe der Wertschöpfung der Photovoltaik ist Ihre Institution vertreten?



3. Welche der angegebenen Funktionen trifft für Sie am ehesten zu?



4. Freiwillige Angabe der E-Mail-Adresse

106 Teilnehmer gaben ihre E-Mail-Adresse an und wünschen sich einen Auszug der Ergebnisse dieser Umfrage.

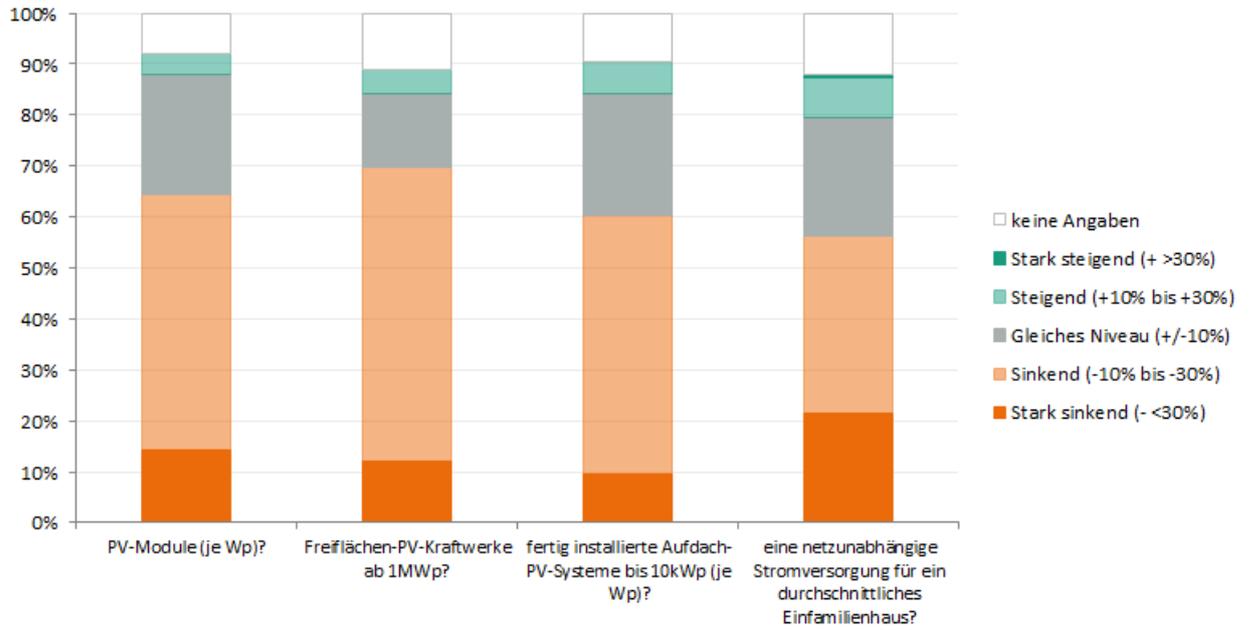
## 6.2 Photovoltaik- und Strom-Markt

### Prognose wichtiger Kennzahlen und zukünftige Anwendungsgebiete der Photovoltaik in Deutschland

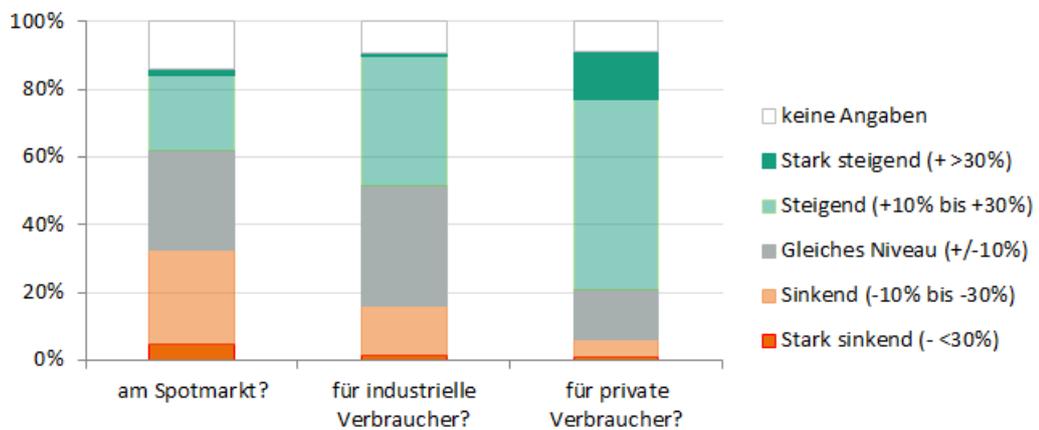
Nach Ansicht der befragten Institutionen wird sich der Markt für PV-Produkte weitgehend ändern. Die Einspeisung ins öffentliche Netz wird dabei mehr und mehr durch die Selbstnutzung der erzeugten Energie und somit der autarken Stromversorgung ersetzt werden. Den weiterhin sinkenden Preisen für PV-Produkte stehen dabei steigende bis stark steigende Preise für Elektrizität gegenüber.

Auffallend, jedoch auf Grund von Sättigungseffekten auch nachvollziehbar, ist der prognostizierte Wandel von Aufdach-Anlagen hin zu Installationen auf öffentlichen / gewerblichen Gebäudeflächen.

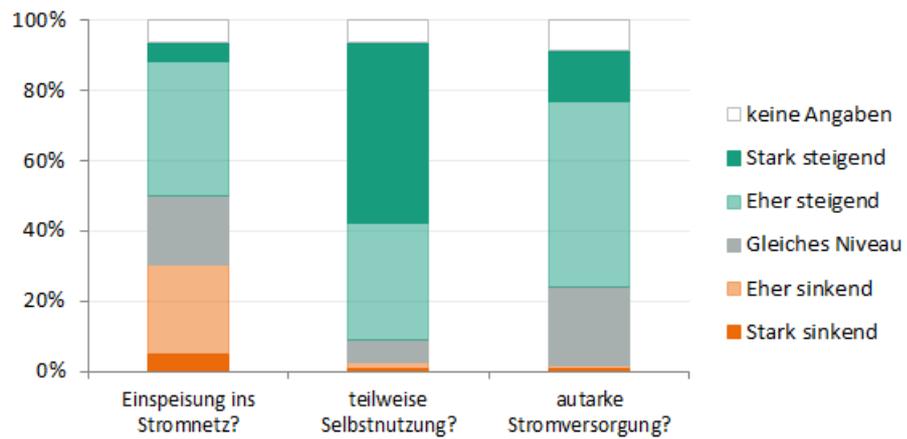
5. Was ist Ihre Prognose hinsichtlich der Entwicklung der Preise in ca. 5 Jahren für ...



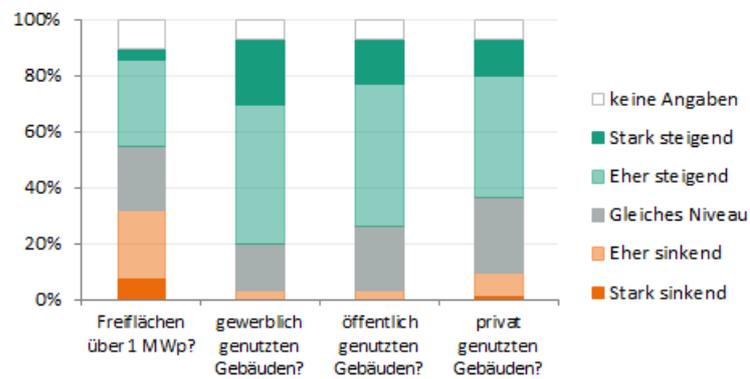
6. Wie ist Ihre Prognose hinsichtlich der Entwicklung der durchschnittlichen Preise in ca. 5 Jahren für eine Leistungseinheit Elektrizität ...



7. Welche Entwicklung sehen Sie in der Verwendung von erzeugtem PV-Strom in den kommenden 5 Jahren für die ...



8. Wie bewerten Sie die Entwicklung in der Anwendung von PV-Modulen in den kommenden 5 Jahren auf ...

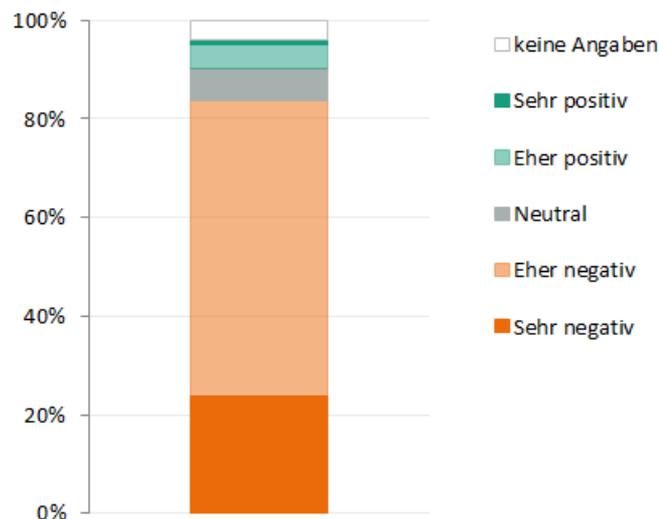


## Aktuelle Situation und Prognose des Photovoltaik-Marktes

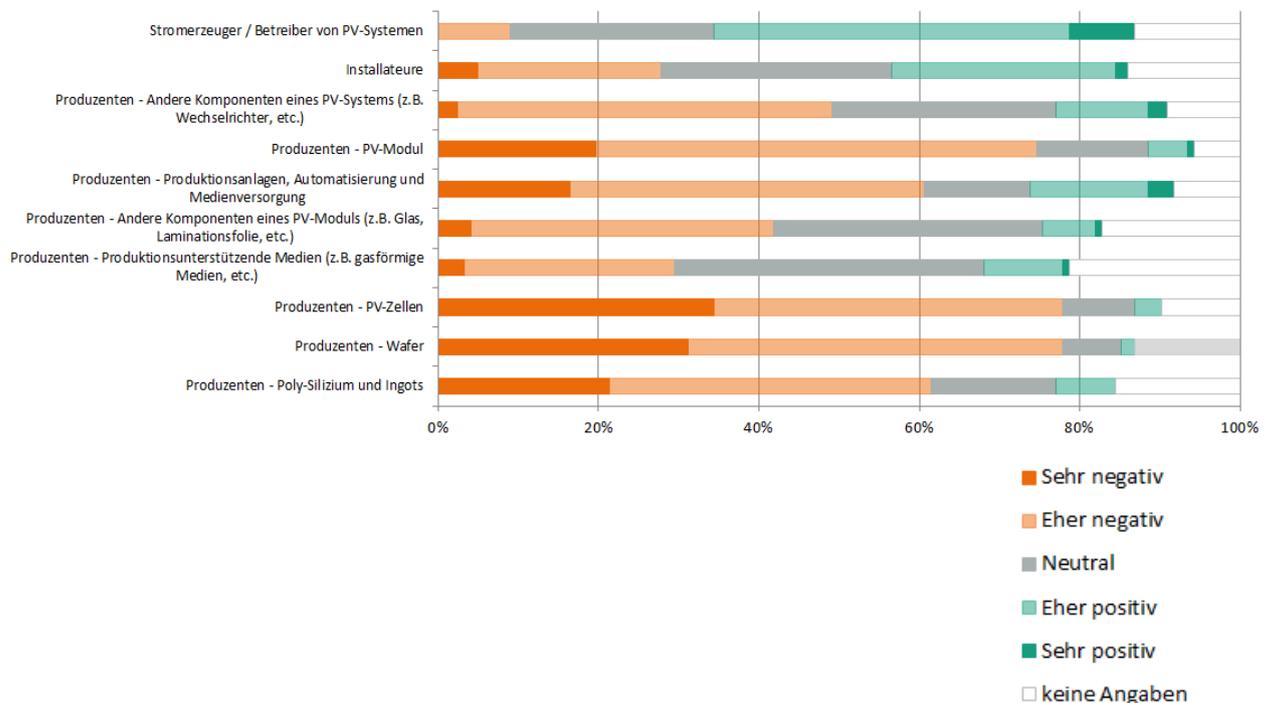
Entsprechend der aktuellen Lage der PV-Branche, wie sie auch in den Bekanntmachungen und Berichterstattungen der jüngsten Vergangenheit nachzulesen ist, verwundert es nicht, dass die allgemeine Stimmung innerhalb der PV-Branche negativ bis sehr negativ gesehen wird. Am schlimmsten betroffen hiervon sind die Produzenten von direkten Gütern wie Silicium, Wafer, Zelle und Modul, direkt gefolgt vom Maschinen- und Anlagenbau.

Als positiver Aspekt dieses Fragenkomplexes, kann jedoch die mittelfristige Bereitschaft zur Tatigung weiterer Investitionen gesehen werden.

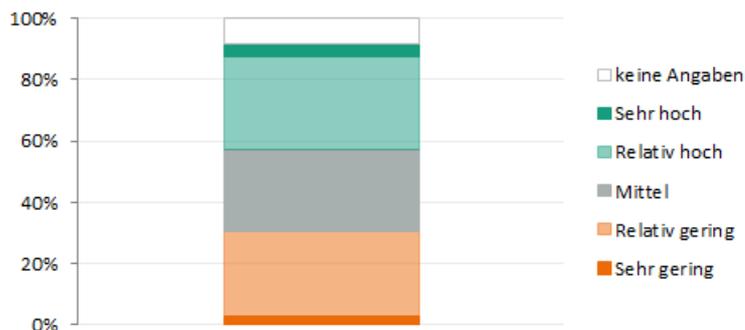
### 9. Wie bewerten Sie die allgemeine Stimmung der Photovoltaik-Industrie in Deutschland?



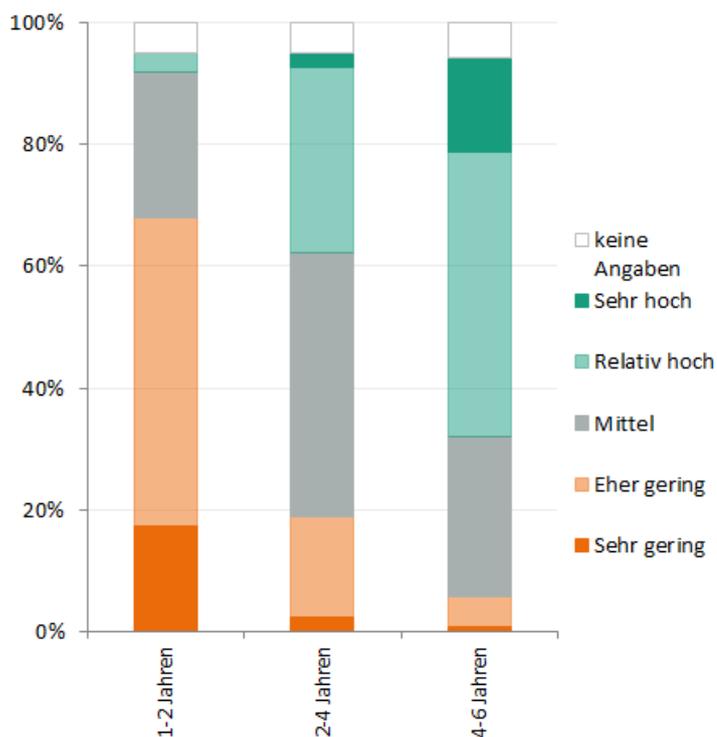
### 10. Wie bewerten Sie die aktuelle Situation folgender Marktteilnehmer der Photovoltaik in Deutschland?



11. Wie wahrscheinlich ist es für Sie, dass sich die Gründe für eine solche Krise in den kommenden 5 Jahren wiederholen könnten?



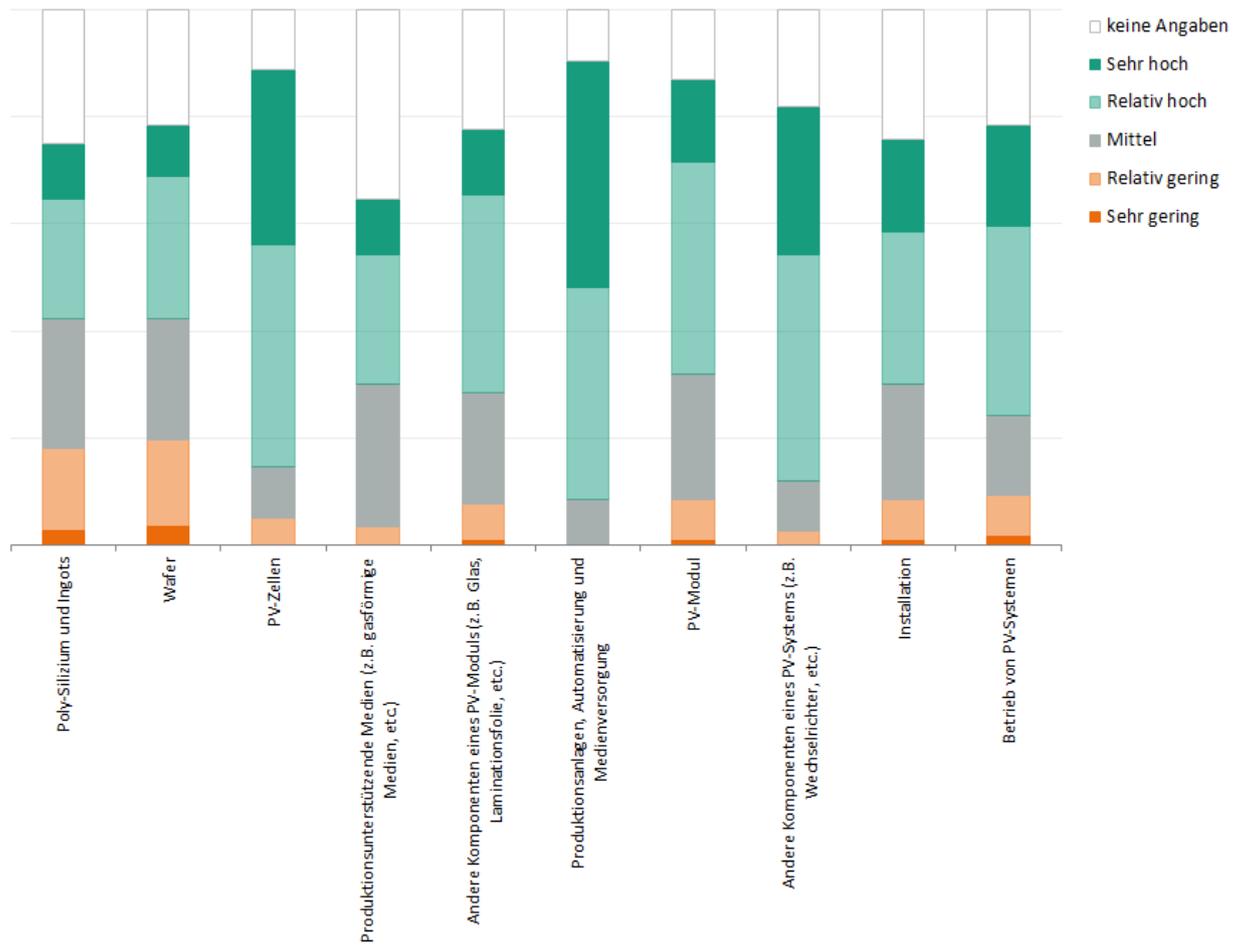
12. Was ist Ihre Einschätzung hinsichtlich der weltweiten Investitionsbereitschaft in PV-Modul-Produktionskapazitäten in den kommenden ...



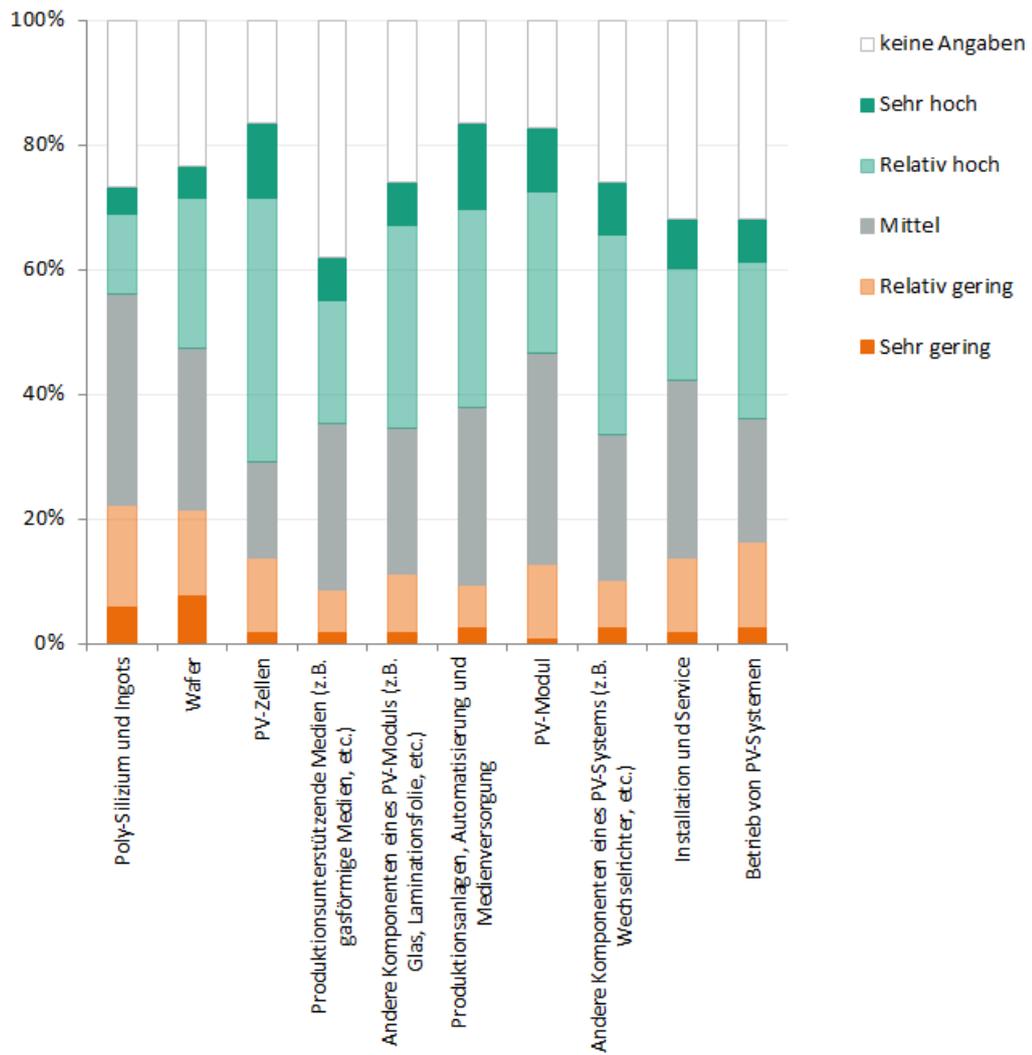
### 6.3 Technologie und Produktion

Deutsche Unternehmen und Forschungsinstitute werden im Bereich der Technologien und Produktion als führend im Bereich der Innovationskraft gesehen, auch im Vergleich mit den europäischen Wettbewerbern. Dies bezieht sich hauptsächlich auf die Bereiche Zellentwicklung und Produktionstechnik. In diesen Bereichen wird zudem das größte Potenzial zur weiteren Kostensenkung gesehen.

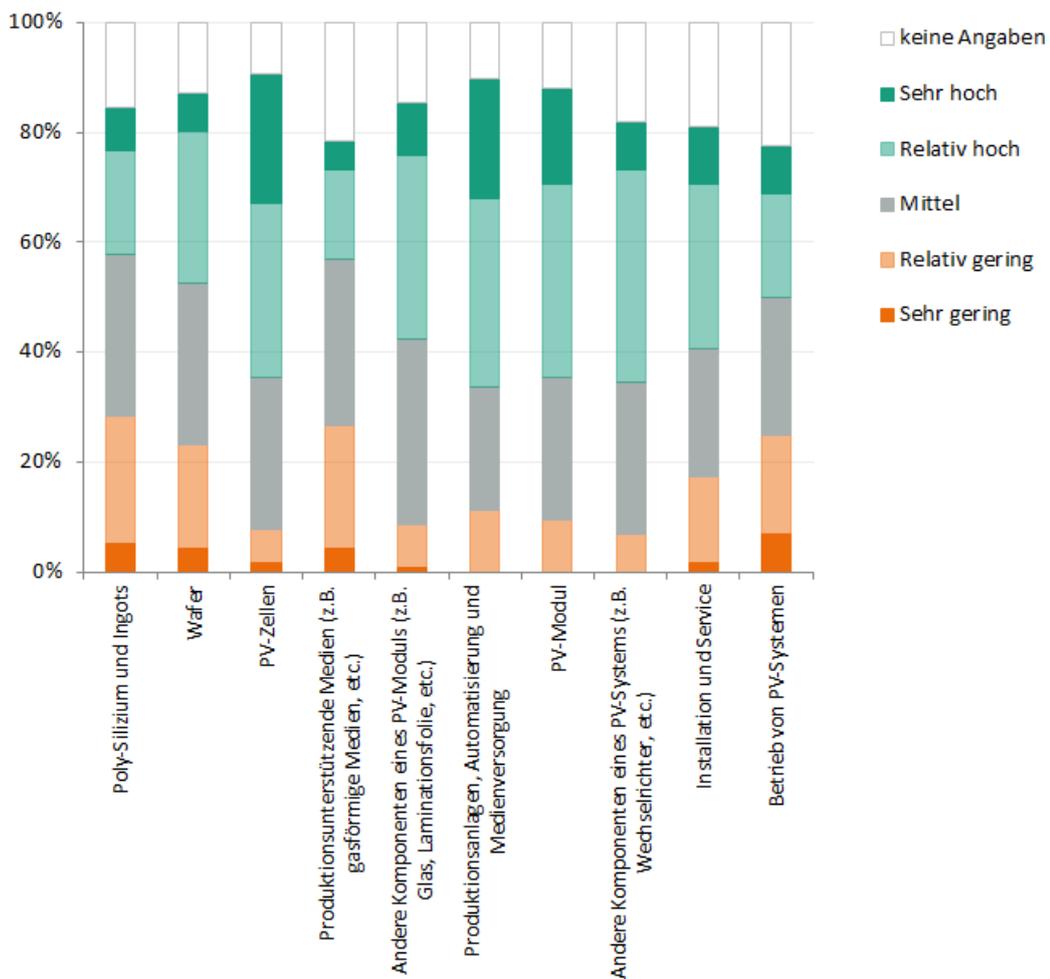
Wie bewerten Sie die Innovationskraft deutscher Unternehmen und Forschungsinstitute in folgenden Bereichen?



13. Wie bewerten Sie die Innovationskraft europäischer Unternehmen und Forschungsinstitute in folgenden Bereichen?



14. Wie beurteilen Sie die Potentiale zur Reduzierung der Kosten der Stromgestehung durch Technologie-Entwicklungen in folgenden Bereichen:

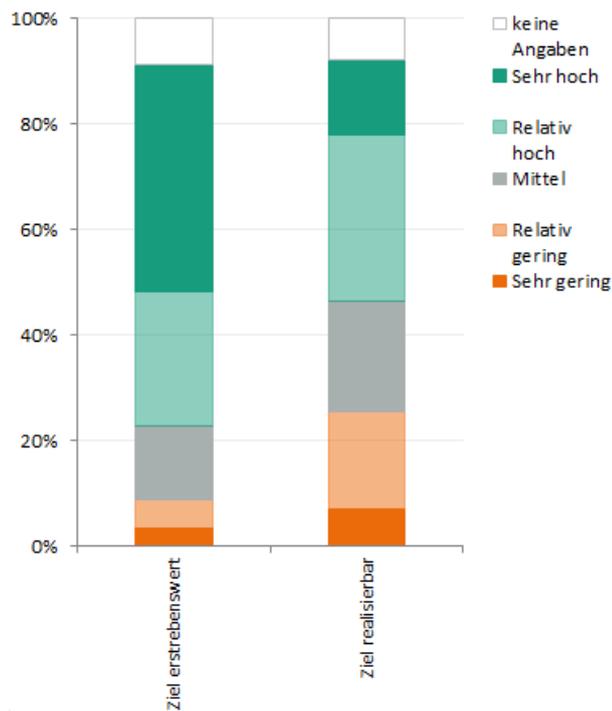


## 6.4 Umfeld und Politik

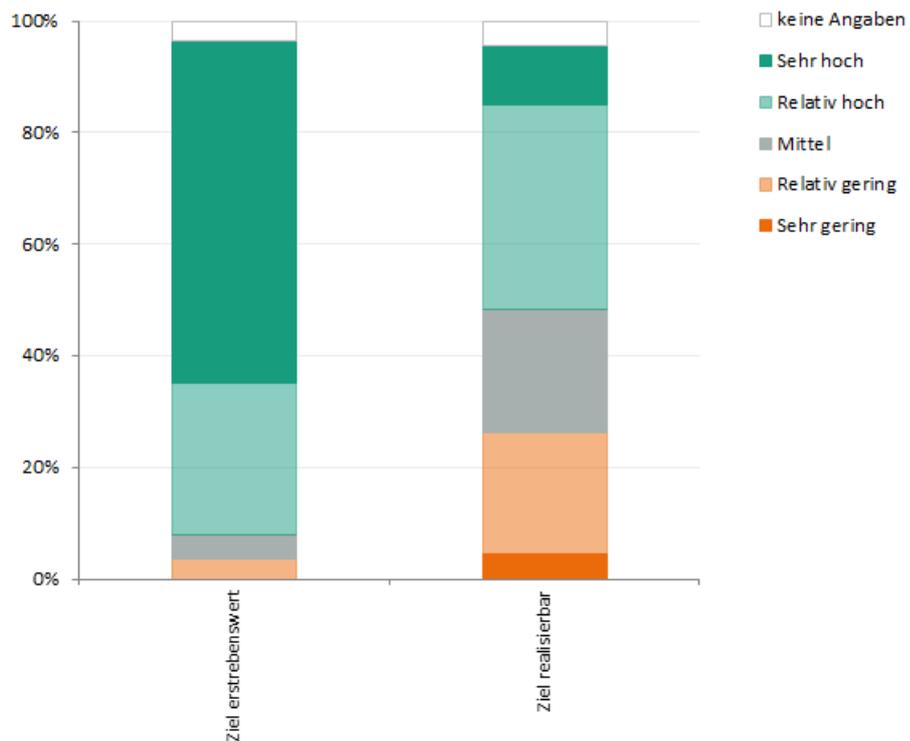
Eine CO<sub>2</sub> neutrale sowie Atom-freie Stromversorgung ist (wie zu erwarten) für alle Beteiligten erstrebenswert. Erstaunlich hierbei ist vielmehr der Fakt, dass mehr als die Hälfte der Teilnehmer dies auch für realisierbar ansehen.

Um die Zukunft der PV-Branche in Deutschland zu sichern, sehen eine Mehrzahl der teilnehmenden Befragten den Schlüssel zum Erfolg in der Knüpfung strategischer Partnerschaften und einer erweiterten Internationalisierung und weniger im Ausbau direkter Subventionen, der Erweiterungen des EEG oder gar der Einführung / Erweiterung von Importzöllen.

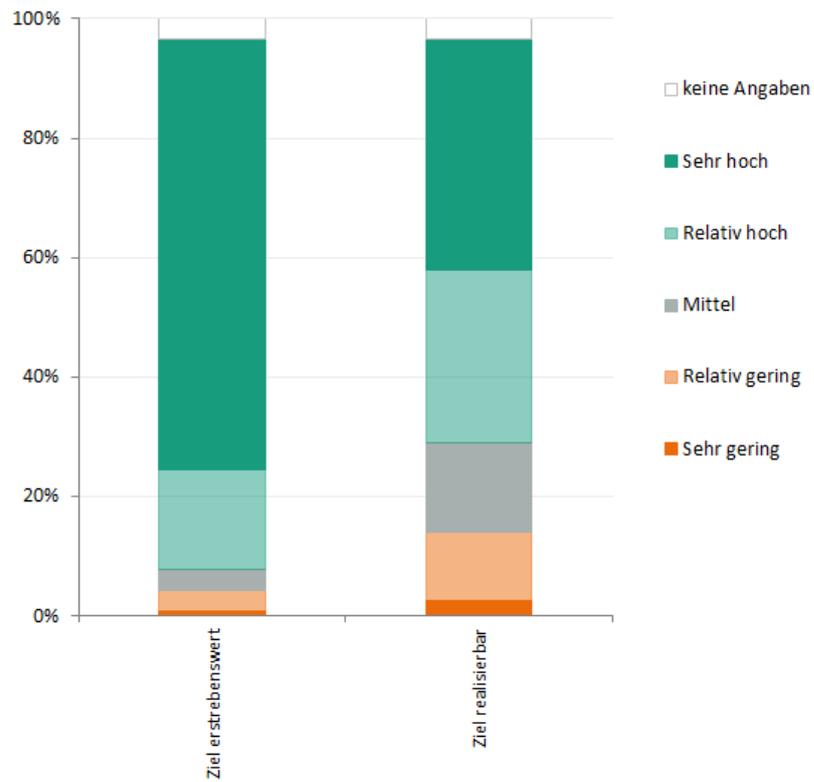
15. Wie beurteilen Sie eine mögliche Vollversorgung der europäischen Volkswirtschaft aus dezentralen Strom-Netzen (unabhängig von der Art der Energieerzeugung)?



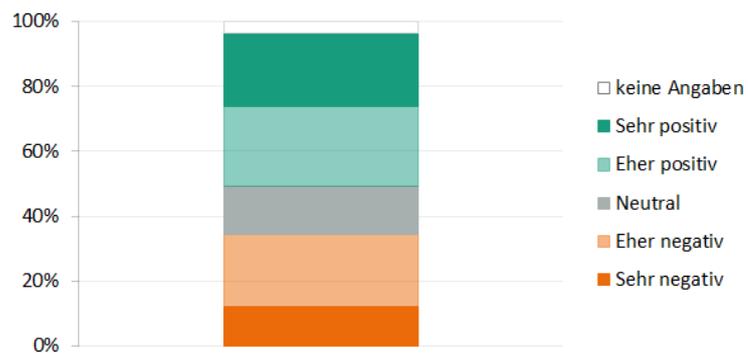
16. Wie beurteilen Sie die Entwicklung einer EU-weiten flächendeckenden Stromversorgung, die nicht auf einer Verbrennung fossiler Brennstoffe basiert (bei etwa heutigen Stromgestehungskosten)?



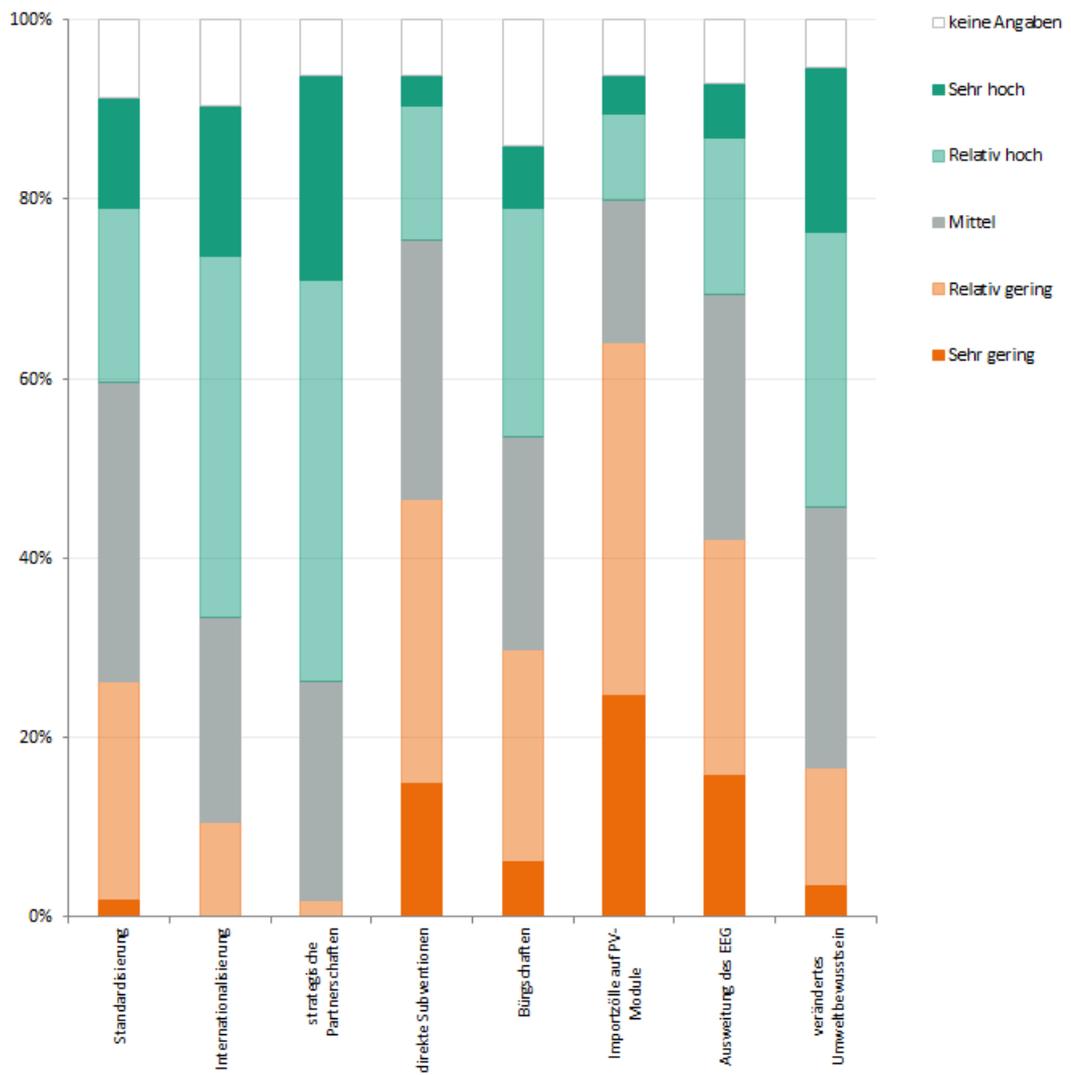
17. Wie beurteilen Sie die Entwicklung einer flächendeckenden Stromversorgung ohne Nuklear-Energie?



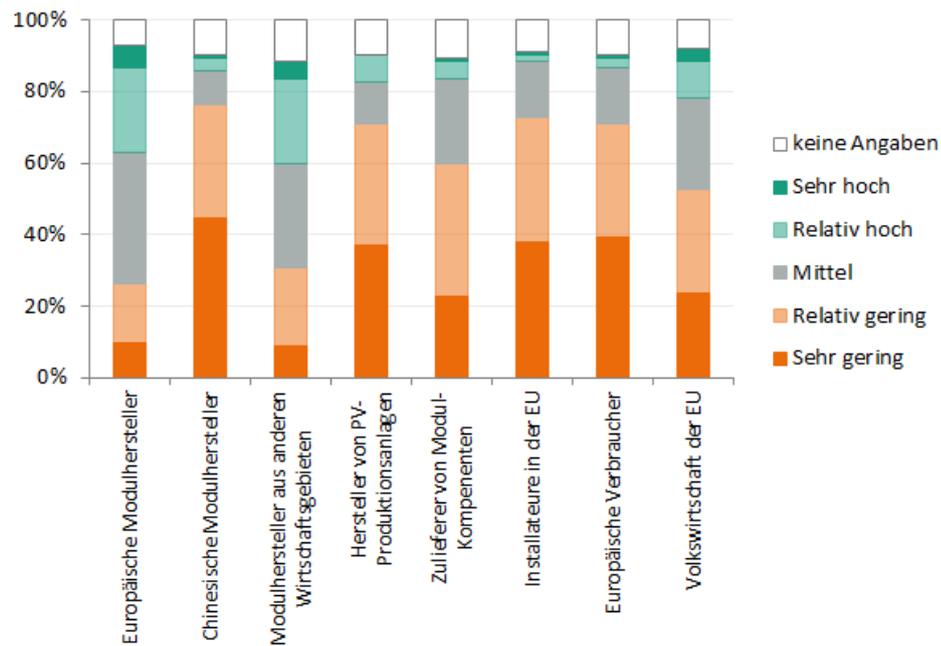
18. Wie bewerten Sie grundsätzlich wirtschaftspolitische Anreizprogramme zur Sicherung der Photovoltaik-Industrie in Deutschland?



19. Wie bewerten Sie die Potentiale zur Zukunftssicherung der Photovoltaik-Industrie in Deutschland durch ...?



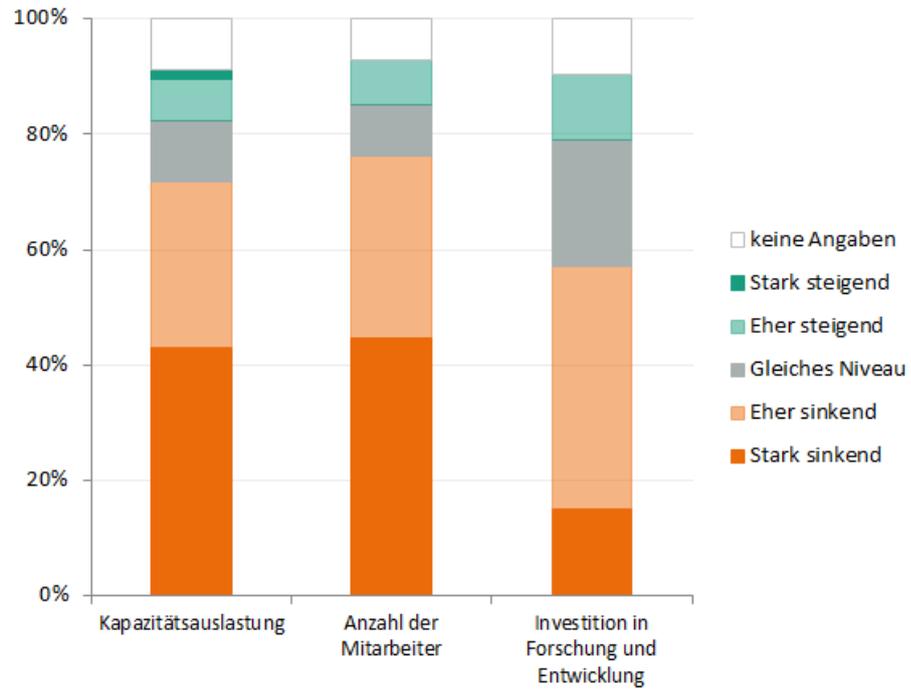
## 20. Wer profitiert Ihrer Meinung nach von Importbeschränkungen von chinesischen Photovoltaik-Modulen in die EU?



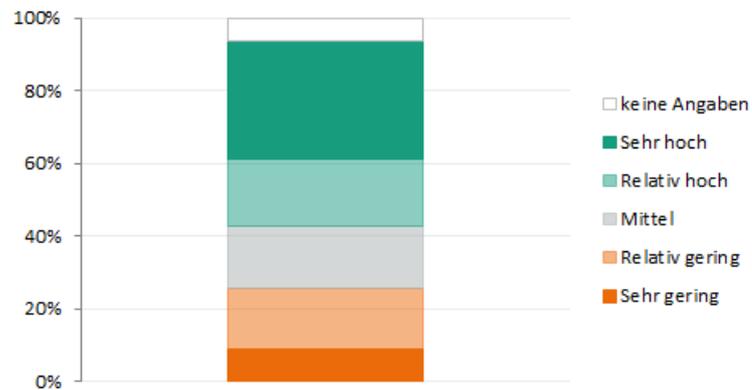
### 6.5 Situation in Ihrem Unternehmen / Ihrer Branche

Die allgemeine Degression der vergangenen Jahre hält zwar weiterhin an, dennoch hat sich die Vielzahl der Teilnehmer noch immer der PV-Branche verschrieben und sieht darin auch weiterhin eine Zukunft für das eigene Unternehmen. Daraus abgeleitet ergeben sich, entsprechend den prognostizierten Marktpotenzialen auch Möglichkeiten für das jeweilig eigene Unternehmen.

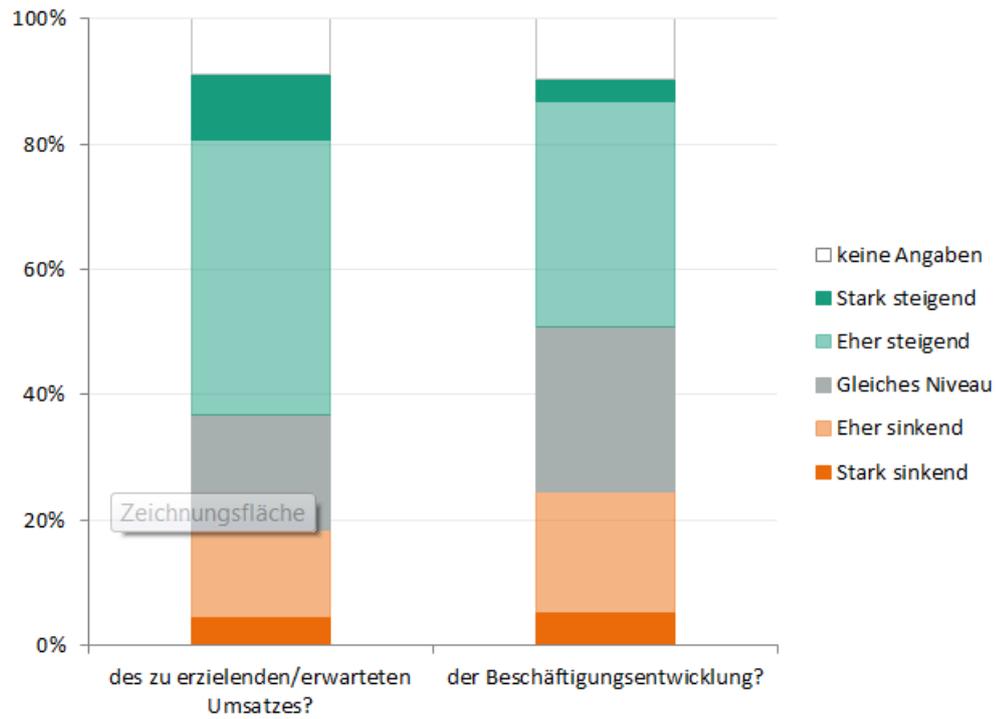
21. In den vergangenen zwei Jahren war die deutschlandweite Entwicklung in den Bereichen ...



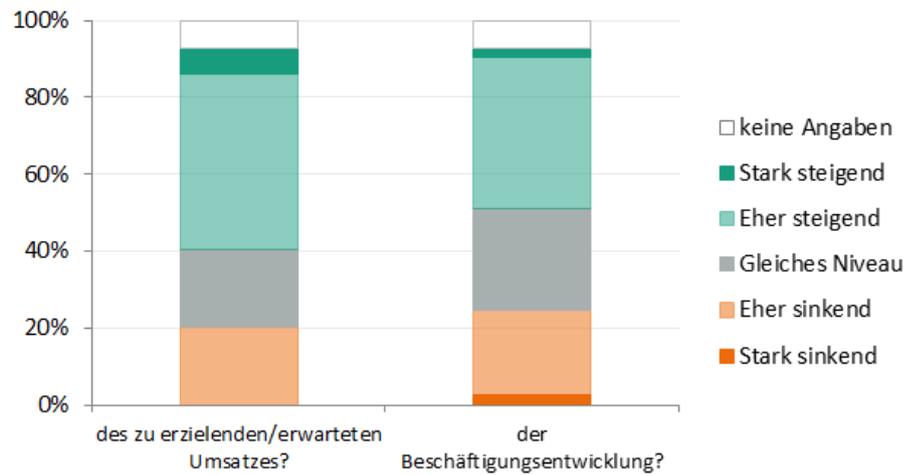
22. Wie bewerten Sie die derzeitige Relevanz der Photovoltaik für Ihr Unternehmen?



23. Wie bewerten Sie die Potentiale der Photovoltaik für Ihr Unternehmen in den kommenden 5 Jahren hinsichtlich ...



24. Wie bewerten Sie die Potentiale der Photovoltaik für Ihre Branche in den kommenden 5 Jahren hinsichtlich ...



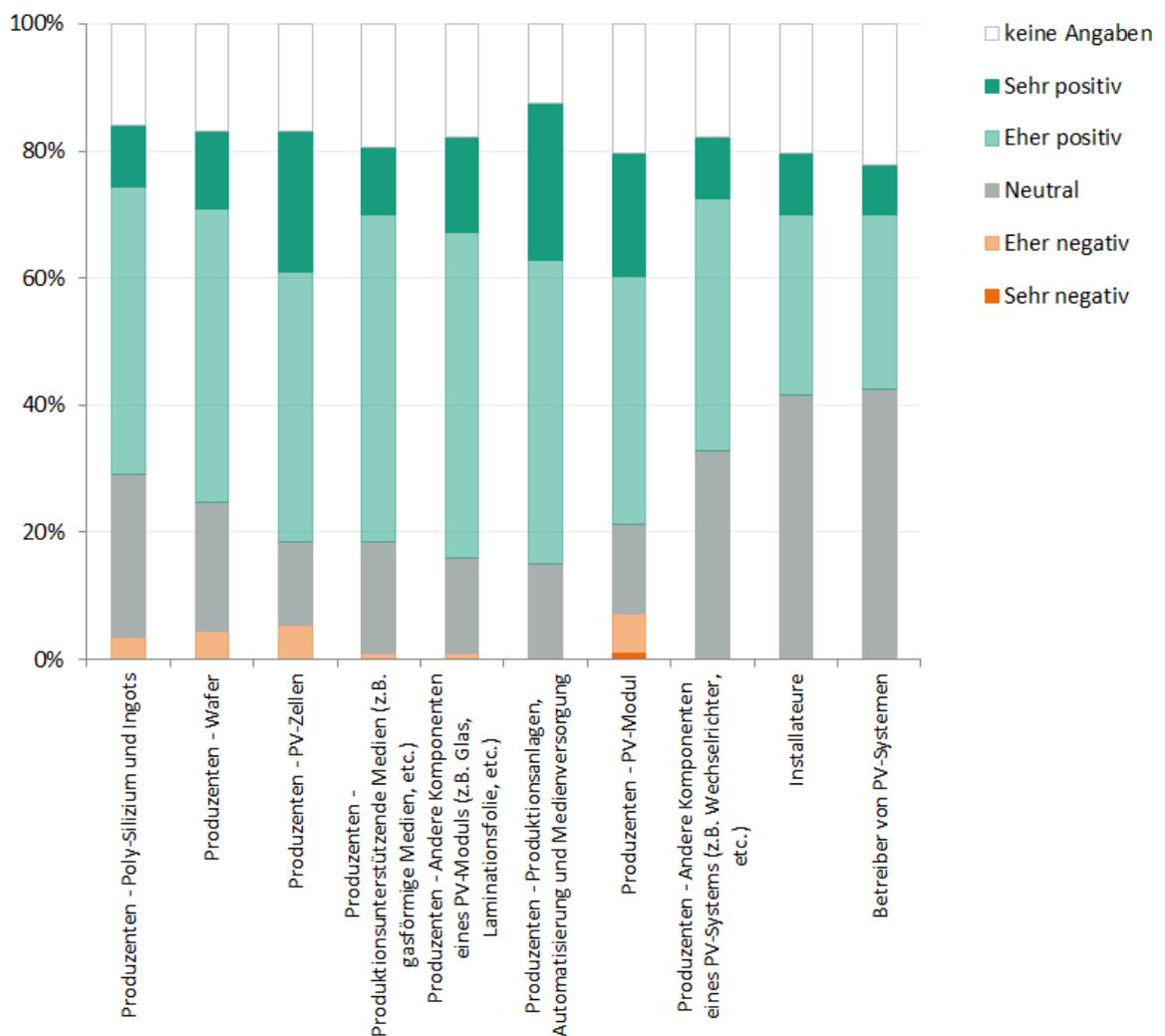
## 6.6 X-GW Fabrik

### Einfluss auf Photovoltaik-Branche und die Volkswirtschaft

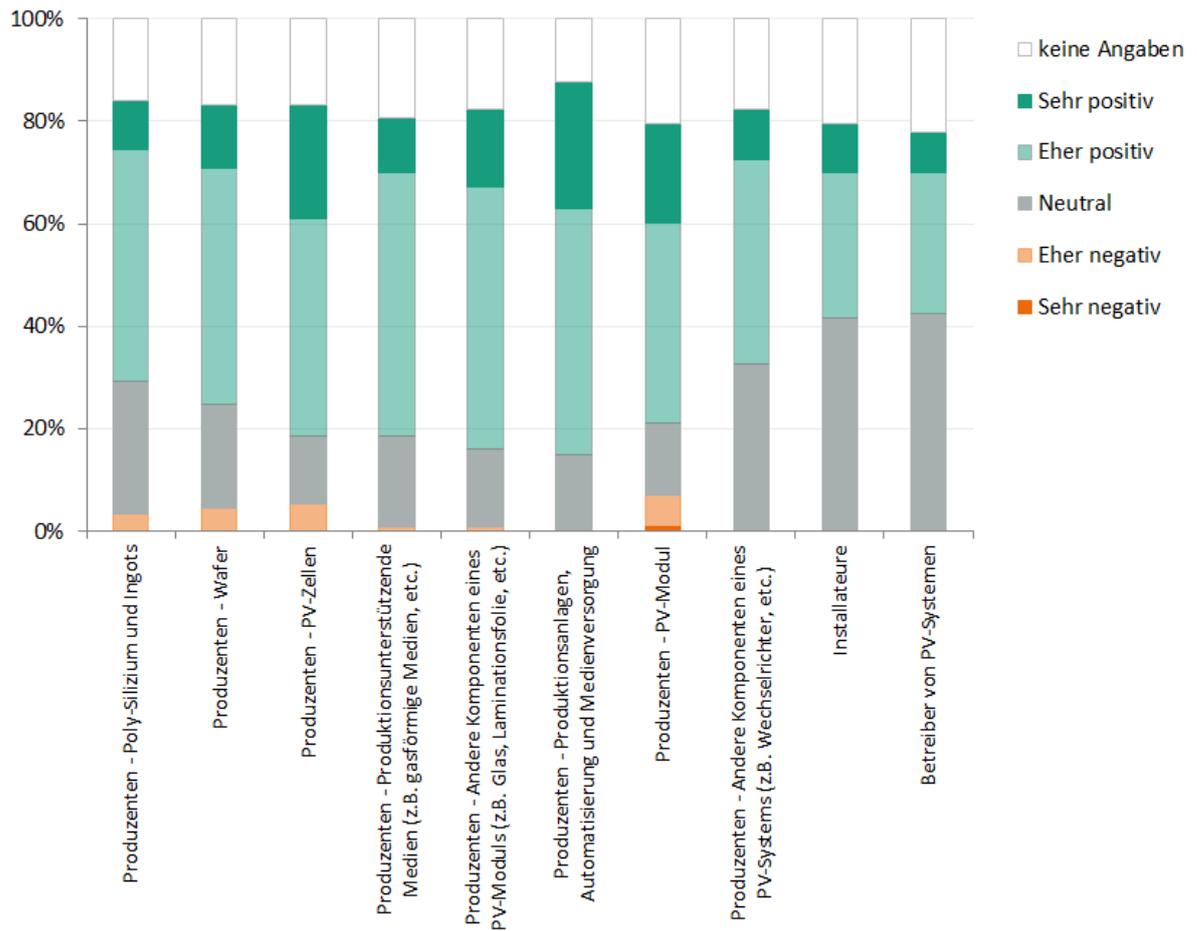
Als allgemeine Aussage kann den folgenden Fragen entnommen werden, dass aus Sicht der teilnehmenden Institutionen eine X-GW Fabrik allgemein einen positiven Einfluss auf die Volkswirtschaft haben würde. Vor allem (jedoch nicht ausschließlich) die Produzenten der Produktionsanlagen sowie der Zellen würden hiervon profitieren. Zusätzliche Entwicklungspotenziale durch interdisziplinäre Zusammenarbeit werden daher auch gerade zwischen diesen beiden Segmenten gesehen.

Nach Überzeugung der Teilnehmer wird eine X-GW Fabrik einen positiven, nämlich senkenden Einfluss auf die Stromgestehungskosten für alle Verbraucher (ob privat oder industriell) haben und somit auch positive Einflüsse auf die allgemeine Wirtschaftskraft haben.

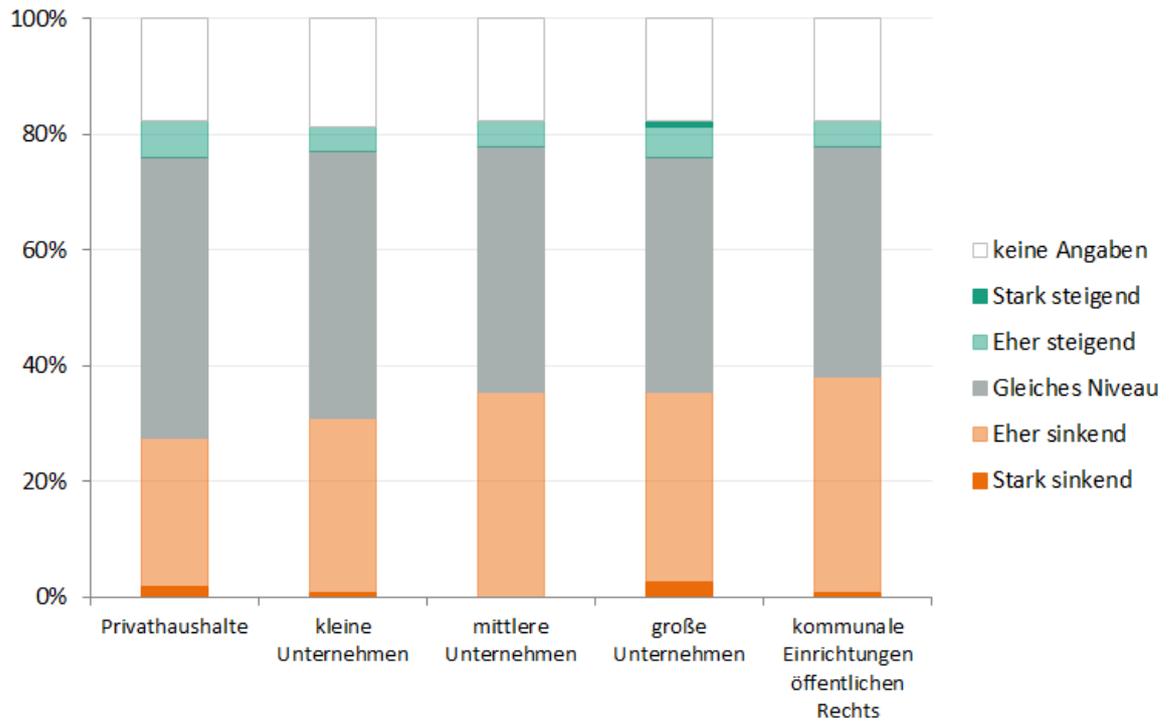
25. Welchen Einfluss hätte eine X-GW Fabrik auf die Wettbewerbsfähigkeit von ...



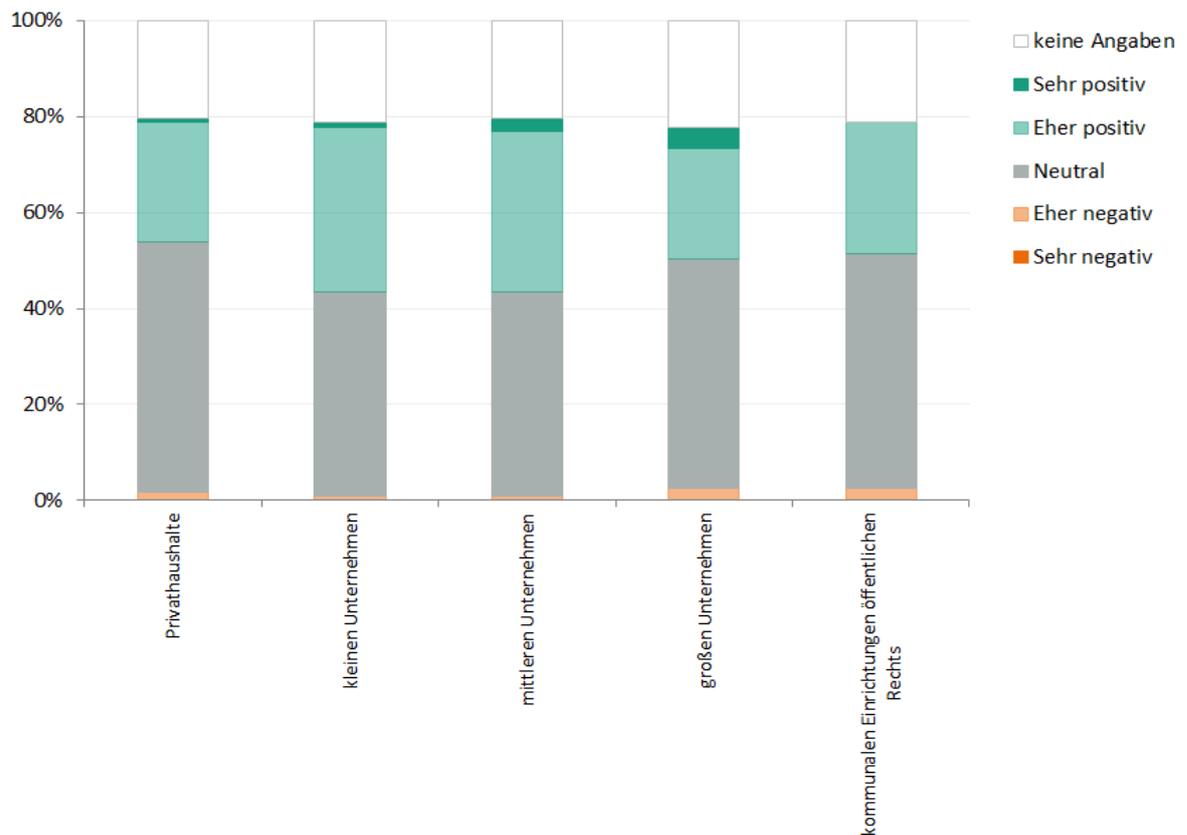
26. Wie bewerten Sie die Möglichkeiten einer X-GW Fabrik zur interdisziplinären und koordinierten Entwicklung nachfolgend aufgeführter Wertschöpfungsstufen zur Reduzierung der Stromgestehungskosten?



27. Wie beurteilen Sie den Einfluss einer X-GW Fabrik auf die Stromgestehungskosten für ...



28. Wie beurteilen Sie den Einfluss einer X-GW Fabrik auf die Wirtschaftskraft von ...



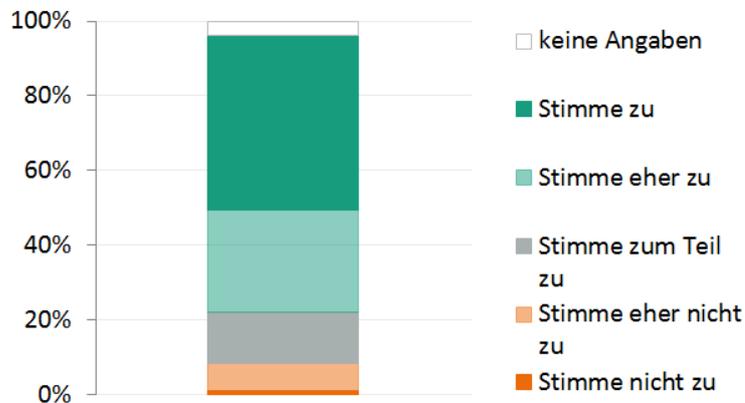
### Inwiefern können Sie folgenden Aussagen zustimmen?

Der Aufbau einer X-GW Fabrik wird sowohl unter dem Gesichtspunkt der Reduzierung der Stromgestehungskosten wie auch der bundesweiten Volkswirtschaft sehr positiv gesehen und rechtfertigen somit auch die vorhandenen Risiken.

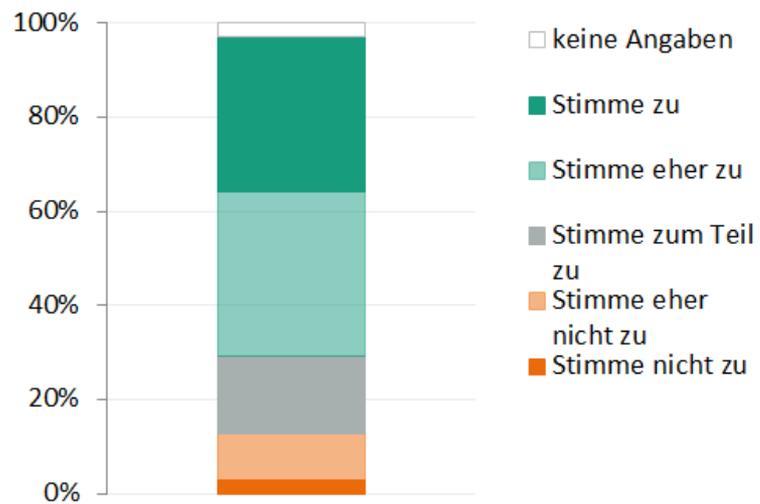
Vor allem im Bereich der technologischen Weiterentwicklung trauen sich viele der beteiligten Institutionen zu, das Potenzial eines solchen Vorhabens positiv zu beeinflussen.

Die Wahl von Baden-Württemberg als präferierter Standort einer solch großen Fertigung mag zum einen ein Spiegelbild der regionalen Aufteilung der teilnehmenden Personen sei, spiegelt damit aber dennoch auch die große Ballung an aktiven Institutionen in Dieser Region wider.

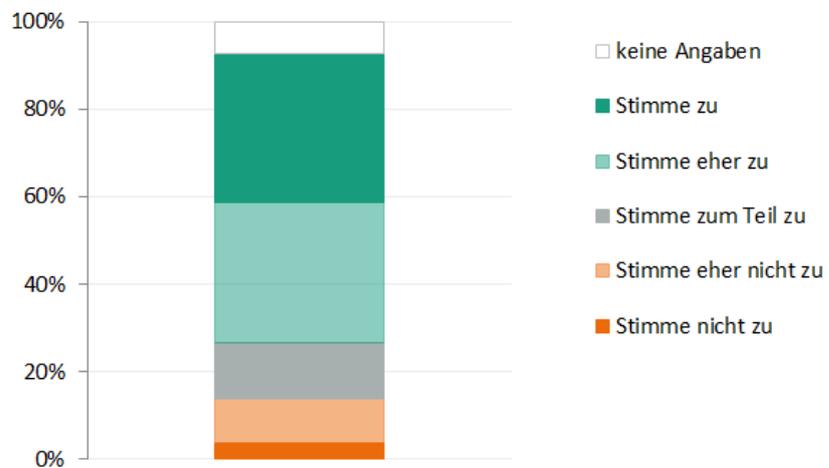
29. Eine X-GW Fabrik in Deutschland wird wirtschaftlich sein, wenn sie bekannte Potentiale zur Reduzierung der Stromgestehungskosten auf der gesamten Wertschöpfungskette ausnutzt und neue Potentiale erforscht.



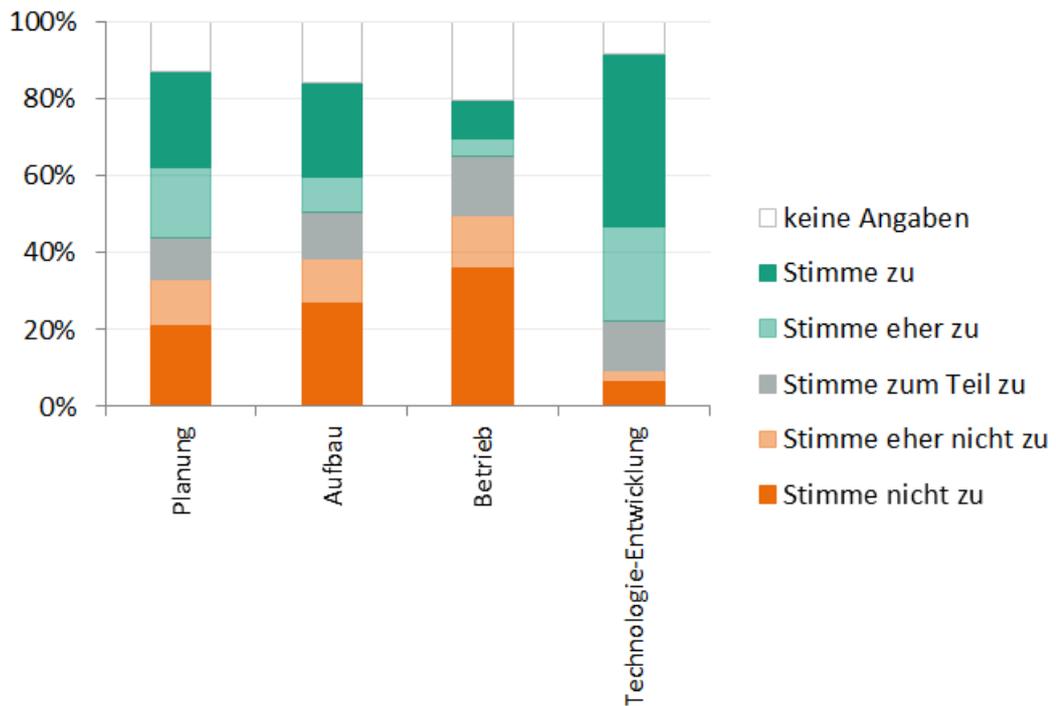
30. Der Aufbau einer X-GW Fabrik in Deutschland ist für die bundesdeutsche Volkswirtschaft sinnvoll.



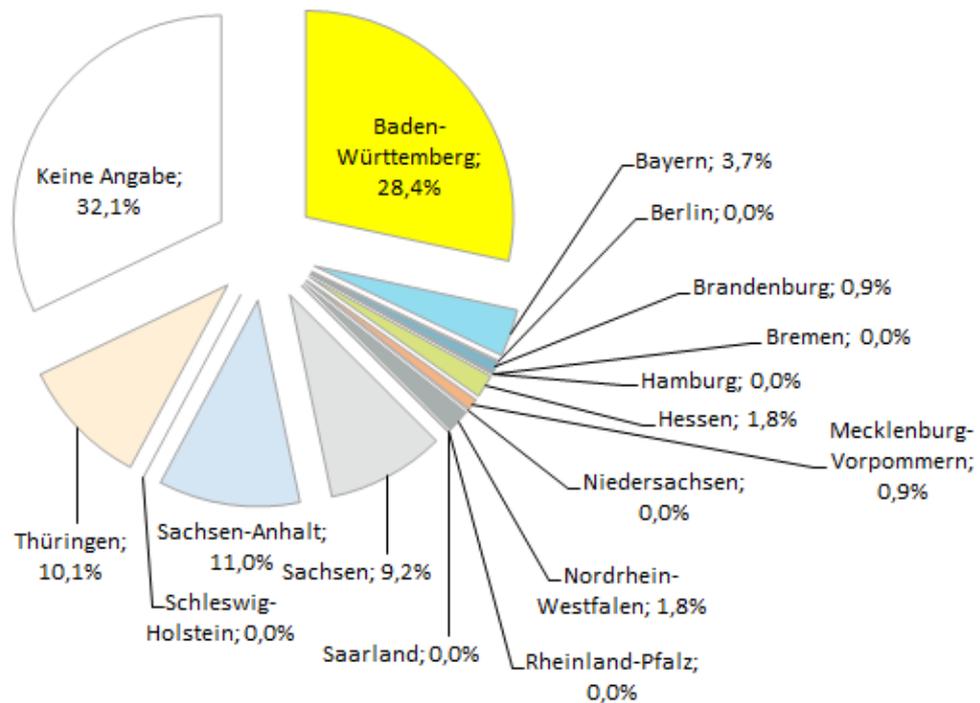
31. Potentielle Chancen die sich durch eine Realisierung der X-GW Fabrik in Deutschland ergeben rechtfertigen mögliche Risiken.



32. Sie könnten sich vorstellen, dass Ihrer Unternehmen / Ihrer Geschäftsbereich sich im Rahmen folgender Aktivitäten an der X-GW Fabrik beteiligt



33. In welchem Bundesland würde der Aufbau einer X-GW Fabrik als Modellfabrik die größten Synergieeffekte zur Folge haben?



## Literaturverzeichnis

- Bolinger, M.; Weaver, S. (2013): Utility-Syale Solar 2012. An Empirical Analysis of Project Cost, Performance and Pricing Trends in the United States. Lawrence Berkeley National Laboratory, zuletzt geprüft am 01.12.2013.
- Bundesministerium der Justiz (01.01.1991): Gesetz über die Einspeisung von Strom aus erneuerbaren Energien in das öffentliche Netz. Stromeinspeisungsgesetz, vom 07.12.1990. In: *Bundesgesetzblatt Teil I* (67), S. 2633–2634. Online verfügbar unter <http://archiv.jura.uni-saarland.de/BGBl/TEIL1/1990/19902633.1.HTML>, zuletzt geprüft am 21.11.2013.
- Colville, Finlay (Hg.) (2012): Business Outlook: PV Industry 2013. IPVEA. Frankfurt, September 26. NPD Solarbuzz. Frankfurt (IPVEA PV Production Forum).
- EPIA (2012): Global Market Outlook for Photovoltaics Until 2016. European Photovoltaic Industry Association.
- Gauntlett, D.; Lawrence, M. (Q3 2013): Executive Summary: Solar PV Market Forecasts. Installed Capacity, System Prices, and Revenue for Distributed and Non-Distributed Solar PV. Hg. v. Navigant Research, zuletzt geprüft am 29.11.2013.
- Greentech Media (2013): Macho Springs Update: First Solar to Sell Power for 5.7 Cents in New Mexico. Online verfügbar unter <http://www.greentechmedia.com/articles/read/first-solar-macho-update>, zuletzt geprüft am 04.12.2013.
- Haugwitz, F (2013): Briefing-Paper - China Solar PV Development - September 2013. Online verfügbar unter [http://www.aecce.com.de/mediapool/134/1345433/data/2013\\_10\\_10\\_China\\_Briefing\\_Paper\\_Solar\\_Market\\_Development\\_Frank\\_Haugwitz\\_AECEA.pdf](http://www.aecce.com.de/mediapool/134/1345433/data/2013_10_10_China_Briefing_Paper_Solar_Market_Development_Frank_Haugwitz_AECEA.pdf), zuletzt geprüft am 02.12.2013.
- Jones, J. (2013): Regional PV Module Pricing Dynamics: What You Need to Know. Greentech Media. Online verfügbar unter <https://www.greentechmedia.com/articles/read/regional-pv-module-pricing-dynamics-what-you-need-to-know>, zuletzt geprüft am 28.11.2013.
- Mehta, S. (2011): PV News Annual Data Collection Results: 2010 Cell, Module Production Explodes Past 20 GW: Greentech Media. Online verfügbar unter <https://www.greentechmedia.com/articles/read/pv-news-annual-data-collection-results-cell-and-module-production-explode-p>, zuletzt aktualisiert am 02.12.2013, zuletzt geprüft am 02.12.2013.
- Mehta, S. (2012): PV Module Consolidation in 2013-2014? Online verfügbar unter <http://www.thegreenmechanics.com/2012/10/pv-module-consolidation-in-2013-2014.html>, zuletzt aktualisiert am 02.12.2013, zuletzt geprüft am 02.12.2013.
- pv-magazin.de (2013): IHS: Marktprognose für 2014 unverändert. Online verfügbar unter [http://www.pv-magazine.de/index.php?id=9&tx\\_ttnews%5Btt\\_news%5D=13227&noMobile=1&cHash=be271b3b25624d159ab40ba9fe208639](http://www.pv-magazine.de/index.php?id=9&tx_ttnews%5Btt_news%5D=13227&noMobile=1&cHash=be271b3b25624d159ab40ba9fe208639), zuletzt aktualisiert am 28.11.2013, zuletzt geprüft am 28.11.2013.

