



Hochschule für Technik  
und Wirtschaft Berlin

University of Applied Sciences

---

# Bauwerkintegrierte Photovoltaikanlagen am Wissenschaftsstandort WISTA in Adlershof

---

Bachelorarbeit

im Studiengang  
Regenerative Energien

am Fachbereich 1

**Ingenieurwissenschaften – Energie und Information**

an der  
Hochschule für Technik und Wirtschaft Berlin

vorgelegt von  
Niklas Albinus

Berlin, 21.09.2020

Erstgutachterin: Prof. Dr.-Ing. Susanne Rexroth  
Zweitgutachter: Dr. Björn Rau



# I. Inhaltsverzeichnis

1	Kurzzusammenfassung .....	7
2	Einleitung.....	8
3	Theoretische Grundlagen.....	10
3.1	Photovoltaik .....	10
3.1.1	Funktionsweise.....	11
3.1.2	Photovoltaikanlagen.....	11
3.2	Bauwerk oder Gebäude? .....	13
3.2.1	Bauwerk .....	13
3.2.2	Gebäude .....	13
3.3	Bauwerkintegrierte Photovoltaik .....	14
3.4	Repowering.....	16
3.5	Simulationssoftware PV*SOL.....	17
4	Wissenschaftsstandort WISTA in Adlershof .....	18
4.1	Wissenschafts- und Technologiepark Adlershof.....	18
4.2	WISTA Management GmbH.....	18
4.3	Eingrenzung des Betrachtungsgebietes .....	19
5	Analyse der aktuell installierten Photovoltaikanlagen .....	20
5.1	Standorte der aktuell installierten Photovoltaikanlagen.....	20
5.2	Betrachtung der aktuell installierten BIPV-Anlagen .....	21
5.2.1	Porsche Solarpylon .....	23
5.2.2	Zentrum für Photovoltaik und Erneuerbare Energien .....	24
5.2.3	Institut für Kristallzüchtung .....	25
5.2.4	Firmengebäude der FUSS EMV .....	26
5.2.5	Parkplatzüberdachung HOWOGE „Powerhouse“.....	27
5.2.6	Newtonprojekt 8B .....	28
5.2.7	Ehemaliges Solteature Firmengebäude .....	29
5.2.8	Ferdinand-Braun-Institut (FBH) .....	31
5.2.9	Zentrum für Biotechnologie und Umwelt (ZBU) .....	34
5.2.10	The Curve.....	37
6	Repowering- Maßnahmen für alte BIPV-Anlagen .....	39
6.1	Repowering – Erneuerung statt Neuerrichtung .....	39
6.2	Sinnhaftigkeit von Repowering-Maßnahmen für BIPV-Anlagen .....	40
6.3	Simulierte Ertragssteigerung bei Umsetzung von Repowering-Maßnahmen .....	41
6.3.1	Ferdinand-Braun-Institut .....	41
6.3.2	Zentrum für Biotechnologie und Umwelt .....	42
7	Fazit .....	43
8	Literaturverzeichnis.....	45
9	Anhang .....	46
9.1	Datenbank und grafische Übersichten des Betrachtungsgebietes.....	46
9.2	Bilderkatalog der betrachteten BIPV-Anlagen .....	51

10 Selbstständigkeitserklärung ..... 67

## II. Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Architektonische PV-Gebäudeintegration = Symbiose aus: (Quelle: In Anlehnung an Hagemann 2002, S. 14) .....	16
Abbildung 2:	Eingrenzung des Betrachtungsgebietes (Quelle: In Anlehnung an Berlin Partner für Wirtschaft und Technologie GmbH: „3D-Stadtmodell Berlin“, 2019) .....	19
Abbildung 3:	Übersicht über alle am Standort installierten PV-Anlagen (Quelle: In Anlehnung an Berlin Partner für Wirtschaft und Technologie GmbH: „3D-Stadtmodell Berlin“, 2019).....	20
Abbildung 4:	BIPV-Anlagen im Betrachtungsgebiet (Quelle: In Anlehnung an Berlin Partner für Wirtschaft und Technologie GmbH: „3D-Stadtmodell Berlin“, 2019).....	22
Abbildung 5:	3D-Modell des Ferdinand-Braun Instituts (Quelle: eigene Darstellung) .....	32
Abbildung 6:	Vergleich zwischen realen und simulierten Ertragswerten am FBH (Quelle: eigene Darstellung) .....	33
Abbildung 7:	Ersatzschaltbild der Fassadenanlage am ZBU (Quelle: eigene Darstellung) ...	35
Abbildung 8:	3D-Modell des Zentrums für Biotechnologie und Umwelt (Quelle: eigene Darstellung) .....	36
Abbildung 9:	Abbildung 3 in hoher Auflösung (Quelle: eigene Darstellung) .....	49
Abbildung 10:	Abbildung 4 in hoher Auflösung (Quelle: eigene Darstellung) .....	50
Abbildung 11:	Porsche Solarpylon (Quelle: Porsche Niederlassung Berlin GmbH) .....	51
Abbildung 12:	Zentrum für Photovoltaik und Erneuerbare Energien (Quelle: eigene Darstellung) .....	51
Abbildung 13:	Detailansicht Solarmodule ZPV (Quelle: eigene Darstellung) .....	52
Abbildung 14:	Institut für Kristallzüchtung (Quelle: eigene Darstellung) .....	52
Abbildung 15:	Detailansicht Verschattungselemente IKZ .....	53
Abbildung 16:	FUSS EMV Produktionshalle (Quelle: eigene Darstellung) .....	53
Abbildung 17:	FUSS EMV Erweiterungsbau (Quelle: eigene Darstellung) .....	54
Abbildung 18:	Detailansicht Fassade FUSS EMV (Quelle: eigene Darstellung).....	54
Abbildung 19:	Detailansicht Module und Blindmodule FUSS EMV (Quelle: eigene Darstellung) .....	55
Abbildung 20:	Parkplatzüberdachung HOWOGE "Powerhouse" (Quelle: eigene Darstellung)55	
Abbildung 21:	Detailansicht Stahlkonstruktion Parkplatzüberdachung (Quelle: eigene Darstellung) .....	56
Abbildung 22:	Newtonprojekt 8B Südwest-Fassade (Quelle: eigene Darstellung) .....	56
Abbildung 23:	Newtonprojekt 8B Südost-Fassade (Quelle: eigene Darstellung).....	57
Abbildung 24:	Detailansicht Solarmodule Newtonprojekt 8B (Quelle: eigene Darstellung) .....	57
Abbildung 25:	Ehemaliges Solteature Firmengebäude (Quelle: eigene Darstellung) .....	58
Abbildung 26:	Detailansicht Dachkonstruktion Solteature Firmengebäude (Quelle: eigene Darstellung) .....	58
Abbildung 27:	Detailansicht Fassade Solteature Firmengebäude (Quelle: eigene Darstellung) .....	59
Abbildung 28:	Detailansicht Solarmodule Solteature Firmengebäude (Quelle: eigene Darstellung) .....	59
Abbildung 29:	Ehemalige Solteature Produktionshalle (Quelle: eigene Darstellung).....	60
Abbildung 30:	Detailansicht Solarmodule Solteature Produktionshalle (Quelle: eigene Darstellung) .....	60
Abbildung 31:	Ferdinand-Braun-Institut (FBH) (Quelle: eigene Darstellung) .....	61
Abbildung 32:	Seitenansicht FBH (Quelle: eigene Darstellung).....	61
Abbildung 33:	Detailansicht Solarmodule FBH (Quelle: eigene Darstellung) .....	62
Abbildung 34:	Detailansicht Solarmodule Rückseite FBH (Quelle: eigene Darstellung).....	62
Abbildung 35:	Detailansicht Fehlerhaftes Modul FBH (Quelle: eigene Darstellung) .....	63
Abbildung 36:	Zentrum für Biotechnologie und Umwelt (ZBU) (Quelle: eigene Darstellung) ..	63

Abbildung 37:	Detailansicht Solarmodule ZBU.....	64
Abbildung 38:	Detailansicht Solarzellen ZBU (Quelle: eigene Darstellung) .....	64
Abbildung 39:	The Curve (Quelle: eigene Darstellung).....	65
Abbildung 40:	Detailansicht Schattenwurf The Curve (Quelle: eigene Darstellung) .....	65
Abbildung 41:	Detailansicht Unterkonstruktion The Curve (Quelle: eigene Darstellung).....	66
Abbildung 42:	Detailansicht Solarmodule The Curve (Quelle: eigene Darstellung).....	66

**III. Tabellenverzeichnis**

Tabelle 1: Datenbank: PV-Anlagen am WISTA-Standort.....	47
---	----

#### IV. Abkürzungsverzeichnis

PV	Photovoltaik
BIPV	Bauwerkintegrierte Photovoltaik
COP 21	21. UN-Klimakonferenz ( <i>engl.: United Nations Framework Convention on Climate Change, 21st Conference of the Parties</i> )
Wp	Watt peak ( <i>elektrische Leistung unter STC-Bedingungen</i> )
kWp	Kilowatt peak
MWp	Megawatt peak
Wh	Wattstunde ( <i>Energiemenge, meist elektrische Energie</i> )
kWh	Kilowattstunden
MWh	Megawattstunden
EEG	Erneuerbare-Energien-Gesetz
CIGS	Cadmium-Indium-Gallium-Diselenid
BauO Bln	Bauordnung für Berlin
MBO	Musterbauordnung
ZPV	Zentrum für Photovoltaik und Erneuerbare Energien
IKZ	Leibniz-Institut für Kristallzüchtung
FBH	Ferdinand-Braun-Institut
ZBU	Zentrum für Biotechnologie und Umwelt
TYM	Typisches meteorologisches Jahr ( <i>engl.: typical meteorological year</i> )
PPA	Stromliefervertrag ( <i>engl.: Power Purchase Agreement</i> )

# 1 Kurzzusammenfassung

Diese Arbeit untersucht die in, an oder auf Bauwerken installierten Photovoltaikanlagen (kurz: PV-Anlagen) am Wissenschaftsstandort WISTA in Berlin-Adlershof. Ein besonderer Fokus wird dabei auf die bauwerkintegrierten Anlagen (kurz: BIPV-Anlagen) gelegt, welche häufig durch eine gestalterische Einbindung in das Bauwerk dieses ästhetisch aufwerten können. Im Verlauf der Untersuchung von insgesamt zehn bauwerkintegrierten Photovoltaikanlagen wurde bei einem Teil der Anlagen ein besonders hohes Alter und schwerwiegende Schäden deutlich. Da es bis zum Zeitpunkt dieser Untersuchung keinen Gesetzesentwurf zu einer neuen Regelung für Anlagen gibt, welche bereits 20 Jahre gefördert wurden, stellt das Ende der Förderung für diese Anlagen teils große Probleme dar. Anhand zweier Anlagen wird ein theoretisches Repowering simuliert. Mittels einer Simulationssoftware wurden Ertragsanalysen für das Ferdinand-Braun-Institut sowie für das Zentrum für Biotechnologie und Umwelt durchgeführt. Durch diese simulierte Teilerneuerung der Anlage sollen die zuvor benannten Probleme beseitigt werden, sodass ein Weiterbetrieb der Anlage wirtschaftlich möglich und auch rechtlich erlaubt ist. Nach dem Vergleich beider Anlagen lässt sich feststellen, dass Repowering-Maßnahmen in unterschiedlichen bauwerkintegrierten Anlagen unterschiedliche wirtschaftliche Folgen erzeugen. Folglich kann die Methode des Repowerings, sowohl am WISTA-Standort in Adlershof als auch im Rest der Bundesrepublik Deutschland, nicht als alleinige Lösung für alte Anlagen gelten. Eine kurzfristige Anpassung der Gesetzgebung kann daher als dringend erforderlich angesehen werden. Dennoch handelt es sich beim Repowering um eine praktikable Methode, welche sich besonders bei Photovoltaikanlagen mit größeren Schäden anbietet.

*This thesis examines photovoltaic systems (in short: PV systems) installed in, at or on top of buildings at the science hub WISTA in Berlin Adlershof. The focus lies on building-integrated photovoltaic systems (short: BIPV systems), which can often enhance a building's aesthetic features by a creative integration of photovoltaic modules into the building. In the course of the examination of the ten integrated photovoltaic systems, a particularly high age and some serious damage to the systems were found. Since there is currently no draft law for a new regulation for photovoltaic systems which have already been subsidized for 20 years, the expiration of the subsidy for these systems might pose some big problems. A theoretical repowering process has been simulated for two building integrated photovoltaic systems. A simulation software was used to carry out energy yield analyses for the Ferdinand-Braun-Institut and the Zentrum für Biotechnologie und Umwelt. This simulated partial renewal of the photovoltaic system is intended to eliminate the aforementioned problems, so that continued operation of the system is economically possible and legal. By comparison of the two different photovoltaic systems, it can be concluded that repowering measures in different structurally integrated systems generate different economic gains. Thus, the repowering method cannot be considered the sole solution for photovoltaic systems of higher age in Adlershof as well as in the rest of Germany. That's why a short-term alignment in the regulations is regarded necessary. Nevertheless, repowering shows itself as a viable method, which is particularly suitable for photovoltaic systems with major damage.*

## 2 Einleitung

Der globale Klimawandel ist zusehens in das Bewusstsein der Öffentlichkeit gerückt. Spätestens mit den ersten „Fridays for Future“-Demonstrationen im Jahr 2019 erhielt dieses wichtige Thema erneut große mediale Aufmerksamkeit. Die Jüngsten in unserer Gesellschaft, Schüler und Studenten, machen sich bis heute stark für die Einhaltung des Weltklimaabkommens. 2015 wurde in Paris auf der Weltklimakonferenz (COP 21) ein Vertrag unterschrieben, welcher den menschengemachten globalen Temperaturanstieg auf 1,5 Grad Celsius begrenzen soll. Auch wenn die Dringlichkeit und Relevanz dieses Unterfangens in der Wissenschaft nahezu unumstritten aufgezeigt wurde, werden Klimaschutzmaßnahmen nur vereinzelt und häufig in einem nicht ausreichenden Umfang verabschiedet und umgesetzt.

Erneuerbare Energien können hierbei als der grüne Weg in die Zukunft angesehen werden, die Ziele des Weltklimaabkommens einzuhalten. Schon seit einigen Jahren konkurrieren erneuerbare Energien bereits erfolgreich mit konventionellen Energieträgern wie Kohle und Gas und auch das Bild des teuren, aber dafür nachhaltigen Ökostroms gehört der Vergangenheit an. Denn mittlerweile spricht die Wirtschaftlichkeit dieser Anlagen für sich. Gerade die Photovoltaik ist in der Mitte der Gesellschaft gut angekommen. Privatpersonen in der ganzen Bundesrepublik Deutschland installieren sich Solaranlagen auf die Dächer ihrer Einfamilienhäuser, große Firmen bestücken ihre Produktionshallen mit kleinen Kraftwerken aus Solarmodulen. Einfach, weil für sie daraus ein wirtschaftlicher Vorteil entsteht.

Allein die an, in oder auf Bauwerken installierte Photovoltaik erreichte Anfang des Jahres 2019 schon eine installierte Leistung von über 500 Megawatt peak (MWp), was mehr als der doppelten Menge des vorherigen Jahres entspricht [1]. Weiterer Zubau ist auch in diesem Jahr zu erwarten, auch wenn der gesamte Zubau an Photovoltaik bisher nicht ausreichend ist, um die verpflichtenden Klimaziele in der Bundesrepublik Deutschland einzuhalten [2]. Für die Versorgung der gesamten Bundesrepublik mit Strom aus erneuerbaren Energiequellen, würde die prognostizierte Menge an Kraftwerken eine riesige Fläche beanspruchen. Windenergieanlagen können zum Beispiel nicht in der Nähe von Wohnsiedlungen aufgestellt werden, Freiflächenanlagen der Photovoltaik verstellen potenzielle Ackerflächen. Aus dem Platzproblem resultiert ein Interessenskonflikt, wie einzelne Flächen am effektivsten genutzt werden sollten. Es sind neue Denkansätze nötig, um diese Probleme zu umgehen. Ein Beispiel wäre Photovoltaikanlagen besonders dort zu installieren, wo Böden ohnehin bereits versiegelt sind. Gerade in urbanen Gebieten sind dies primär Dach- oder Fassadenflächen. Verschiedene Bauwerke bieten meist ungenutzte Flächen, welche für die Stromerzeugung genutzt werden könnten.

Aus diesem Grund weist die Betrachtung von Freiflächenanlagen im urbanen Raum eine geringere Relevanz auf. Anders sieht es bei Photovoltaikanlagen aus, die in, an oder auf Gebäuden installiert werden. Ganz spezifisch wird in dieser Arbeit die Bauwerkintegration von Photovoltaik behandelt, welche eine funktionale Kombination aus Technik und Architektur darstellt. Da sich die Erzeugung von Strom aus Photovoltaik immer mehr verbreitet, steigen damit auch die Anforderungen und Ansprüche an Gestaltung und Ästhetik. Schließlich beeinflusst der vermehrte Einsatz von Solarmodulen in Städten auch deren Erscheinungsbild. Die bauwerkintegrierte Photovoltaik soll diesen Ansprüchen gerecht werden und neben der Sicherung der Stromversorgung von morgen auch das Gesicht moderner Städte und Siedlungen auf der ganzen Welt mitgestalten.

Da bauwerkintegrierte Photovoltaik in der Bundesrepublik Deutschland noch nicht besonders weit verbreitet ist, wurde hier exemplarisch ein Technologiestandort in der Hauptstadt Berlin betrachtet, welcher aufgrund einer hohen Dichte an bauwerkintegrierten Photovoltaikanlagen eine detaillierte Betrachtung verschiedener Anlagentypen ermöglicht. Mit Schwerpunkten unter anderem auf Photovoltaik und anderen erneuerbaren Energien ist der WISTA Standort in

Berlin-Adlershof ein Vorbild und Vorreiter für ganz Deutschland. Auf diesem Areal im Südwesten von Berlin befinden sich 51 Photovoltaikanlagen, wovon fast ein Fünftel bauwerkintegriert ist.

Da an diesem Standort auch viele Altanlagen mit einem Betriebsalter von 15 bis 20 Jahren installiert sind, wurde der Fokus nicht nur auf die Analyse der Anlagen gesetzt, sondern auch auf das Problem, was mit einer Anlage passiert, sobald sie nach 20 Jahren Laufzeit aus der Förderung durch das Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) fällt. Da dies für bauwerkintegrierte Photovoltaikanlagen besonders problematisch sein kann, wurde eine Möglichkeit untersucht, dieses Problem zu beheben. Durch ein Repowering kann eine Anlage erneuert werden, sodass sie weiterhin betrieben werden darf und häufig eine Leistungssteigerung erfährt, welche zu einem höheren Energieertrag für den Anlagenbetreiber führt. Trotzdem besteht die Relevanz der Thematik nicht nur für bauwerkintegrierte Photovoltaikanlagen. Jede Photovoltaikanlage, welche aus der Vergütung durch das EEG fällt, muss unter der aktuellen Gesetzeslage eine Lösung für dieses Problem finden, da ein weiteres Betreiben der Anlage unter bisherigen Konditionen so nicht mehr möglich ist. Wird das Problem nicht behoben und einfach weiter Solarstrom in das öffentliche Stromnetz eingespeist, so kann dies im Extremfall zu einer Abschaltung des Anschlusses führen. Bei den betrachteten bauwerkintegrierten Anlagen ist somit schnelles Handeln geboten, da Planung und Umsetzung von Repowering-Maßnahmen zusätzlich Zeit in Anspruch nehmen. Ein Anlagenbetreiber, dessen Anlage schon Ende 2020 aus der Förderung fällt, wird diese Zeit vermutlich jetzt kaum noch aufbringen können.

In der folgenden Ausarbeitung werden zunächst theoretische Grundlagen zur Thematik vermittelt. Dabei wird explizit auf den Begriff der „bauwerkintegrierten Photovoltaik“ eingegangen und das Konzept des Repowerings erläutert. Anschließend wird der Wissenschaftsstandort WISTA in Adlershof näher vorgestellt, sodass für den Leser ein klares Bild des Betrachtungsgebietes dieser Arbeit entsteht. Da der Standort auch historisch einen großen Wert hat, wird hier nicht nur auf die geografische Lage eingegangen, sondern zusätzlich die Relevanz des betrachteten Areals aufgezeigt. In zwei Kapiteln werden die installierten Photovoltaikanlagen am Standort vorgestellt und näher betrachtet. Zunächst wird generell jede an, in oder auf einem Bauwerk verbaute Solaranlage untersucht. Dazu wurde eine Datenbank erstellt, welche die wichtigsten Daten der Anlagen aufzeigen soll. Anschließend wurden die einzelnen bauwerkintegrierten Solaranlagen erfasst und analysiert. Zwei ausgewählte Altanlagen wurden mit Hilfe einer Simulation durch das Programm PV\*SOL genauer untersucht. Abschließend werden im letzten Kapitel Repowering-Maßnahmen für ältere bauwerkintegrierte Solaranlagen auf Grundlage der zwei zuvor näher betrachteten Anlagen untersucht. Dadurch soll am Beispiel des Wissenschaftsstandorts WISTA in Adlershof geklärt werden, ob ein Repowering der bauwerkintegrierten Photovoltaikanlagen wenigstens teilweise für die bestehenden Altanlagen lohnenswert ist.

## 3 Theoretische Grundlagen

### 3.1 Photovoltaik

Allgemein kann die Photovoltaik als direkte energetische Umwandlung von Sonnenlicht in elektrischen Strom verstanden werden. Die Strahlungsenergie der Sonne kann demnach in elektrische Energie umgewandelt werden. Zwar wird im Zusammenhang von Photovoltaik oft von der Erzeugung von Energie gesprochen, gemeint ist aber die Umwandlung in höherwertige Energie, da elektrische Energie für den Menschen weitaus besser nutzbar als die Strahlungsenergie der Sonne ist [3]. Die Generatoren, welche den elektrischen Strom erzeugen, sind als Solarzellen bekannt. Werden mehrere Solarzellen zu größeren Modulen zusammengeschlossen und miteinander verschaltet, können diese als kompaktes kleines Kraftwerk flexibel aufgestellt werden. Eine komplette Photovoltaikanlage besteht hierbei meist aus mehreren dieser Solarmodulen<sup>1</sup>, welche in Reihe geschaltet einen Gleichstrom erzeugen. Solarmodule finden heutzutage auf der ganzen Welt Anwendung. Ob auf Hausdächern oder großen Freiflächen installiert, alle wandeln sie die Energie der Sonne in eine für den Menschen nutzbare Energieform um. Als Gestaltungselement verbreiten sich Solarmodule nunmehr auch in der Baubranche. Denn durch eine Bauwerkintegration der Photovoltaikmodule kann eine ästhetische Verbindung zwischen Bauwerk und Photovoltaik geschaffen werden.

Die miteinander verschalteten Solarzellen bestehen aus Halbleitermaterialien, welche nur unter bestimmten Bedingungen die Eigenschaften eines Leiters besitzen. Am häufigsten wird als Material Silizium verwendet, welches aus Quarzsand gewonnen wird. Davon existieren sehr große Vorkommen auf unserem Planeten. Kristalline Silizium-Solarzellen weisen im Vergleich zu anderen Technologien sehr hohe Wirkungsgrade auf, welches als weiteres Merkmal zu ihrer großen Verbreitung beitrug. Es gibt jedoch auch andere Zellentypen auf dem Markt der Solarmodule. Dünnschichtmodule aus zum Beispiel Cadmium-Indium-Gallium-Diselenid (CIGS) finden vermehrt Anwendung in gestalterisch anspruchsvollen Ausführungen, da sie im Gegensatz zu den Siliziummodulen eine homogene Oberfläche aufweisen, welche sogar noch individuell gefärbt werden kann. Dank dieser gestalterischen Freiheit, welche Architekten und Bauherren sehr schätzen, werden Dünnschichtmodule für bauwerkintegrierte Photovoltaik häufig bevorzugt.

Der jährliche Energieertrag einer Photovoltaikanlage beschreibt die Menge an elektrischer Energie, welche die Anlage jährlich umwandelt und damit dem Anlagenbetreiber zur Verfügung steht. Dabei ist der Ertrag einer Photovoltaikanlage nicht nur von der Qualität der Module abhängig. Gerade der Standort und die Exposition zur Solareinstrahlung sind entscheidende Faktoren, welche den Ertrag beeinflussen. Je nach geografischer Lage ist ein anderer Neigungswinkel optimal. Verallgemeinernd lässt sich feststellen, dass optimal ausgerichtete Anlagen in Äquatornähe einen höheren Energieertrag erzielen können als Anlagen in Deutschland. In mitteleuropäischen Breitengraden liegt der gängige optimale Neigungswinkel bei ungefähr 30 Grad [3]. Des Weiteren sind Abschattungsverluste im Ertrag zu verzeichnen, sobald die Anlage verschattet wird, wofür häufig Bäume, Wolken oder Dachaufbauten verantwortlich sein können. Auch eine Teilverschattung kann zu erheblichen Ertragseinbußen führen, sofern keine Leistungsoptimierer installiert worden sind. Deshalb ist bei der Standortwahl für die Installation einer Photovoltaikanlage immer auch die Umgebung zu beachten.

Zur Vertiefung der Thematik wird im Folgenden anhand einer Silizium-Solarzelle die grundlegende Funktionsweise von Solarzellen erläutert. Anschließend wird anhand der zusätzlichen elektrischen Komponenten eine komplette Photovoltaikanlage betrachtet, welche nicht nur aus einzelnen Solarmodulen bestehen kann.

<sup>1</sup> Verbreitet sind auch Solarthermie-Module, welche an Stelle von elektrischem Strom das Licht in Wärmeenergie umwandeln. Diese werden in der Arbeit nicht näher betrachtet.

### 3.1.1 Funktionsweise

Eine Solarzelle aus Silizium besteht neben den Kontakten hauptsächlich aus zwei Schichten, einer negativ leitenden Schicht (n-Schicht) und einer positiv leitenden Schicht (p-Schicht). Diese Unterschiede lassen sich durch gezielte Verunreinigungen des Siliziums herbeiführen. Dieser Prozess wird als Dotierung bezeichnet. In der n-Schicht wird Silizium mit Phosphor dotiert, um einen Elektronenüberschuss zu erzeugen. In der p-Schicht wird Silizium mit Bor oder Aluminium dotiert, um einen Elektronenmangel zu erzeugen. Fehlt ein Elektron in einer Bindung, wird vereinfacht von einem Loch gesprochen.

Führt man beide Schichten zu einem pn-Übergang zusammen, wandert ein Teil der überschüssigen Elektronen in der n-Schicht in die Löcher der p-Schicht. Zwischen den beiden Schichten entsteht eine Grenzschicht, die so genannte Raumladungszone, welche eine elektrische Spannung im Material erzeugt. Hier werden die Dotieratome ionisiert, sodass sich eine Ladungsverteilung ausbildet. Die Atome, von welchen die Elektronen in die p-Schicht diffundiert sind, werden positiv ionisiert. Bei den Atomen, von denen die Löcher in die n-Schicht diffundiert sind, verhält es sich genau umgekehrt. Hier bleiben negativ ionisierte Dotieratome zurück. Durch die Ladungsverteilung entsteht ein elektrisches Feld, welches der Bewegung der Ladungsträger entgegenwirkt. Dadurch kann die Diffusion der Ladungsträger nicht endlos fortgesetzt werden und eine Diffusionsspannung stellt sich ein.

Bei dem Auftreffen von Licht auf die Solarzelle, treffen somit unweigerlich Photonen in der Raumladungszone auf Elektronen. Dabei ist allerdings zu beachten, dass nicht jedes Photon dieselbe Energie beziehungsweise Wellenlänge aufweist. Die zu aktivierenden Elektronen in einer Solarzelle brauchen je nach Typ der Zelle nur einen bestimmten Teil der Strahlung, um letztlich Strom zu erzeugen. Licht mit einer zu großen oder zu kleinen Wellenlänge führt in der Solarzelle zu Verlusten zum Beispiel durch Transmission der Photonen. Für Solarzellen aus Silizium ist Licht aus dem niedrig infraroten Spektrum mit einer Wellenlänge von ungefähr 400 bis 1000 Nanometern notwendig, damit die aktivierten Elektronen die sogenannte Bandlücke<sup>2</sup> des Siliziums überspringen können [3]. Hier kommt der innere photoelektrische Effekt zum Tragen und das aktivierte Elektron wird vom Valenzband in das Leitungsband angehoben, was somit die elektrische Leitfähigkeit des Halbleiters erhöht. Durch das zuvor entstandene elektrische Feld wird das nun gelöste Elektron in die n-Schicht gezogen, während das zugehörige Loch zurück in die p-Schicht wandert. Schließt man nun an die beiden Schichten einen elektrischen Verbraucher an, kann der von der Zelle erzeugte elektrische Strom nutzbar gemacht werden.

### 3.1.2 Photovoltaikanlagen

Üblicherweise werden zur Installation einer Photovoltaikanlage die einzelnen Solarmodule zusammen verschaltet. Rechtlich ist hier zu beachten, dass jedes einzelne Solarmodul nach dem EEG 2017 schon als Anlage zu klassifiziert ist [4]. Wird von einer Photovoltaikanlage gesprochen, bezieht man sich außerhalb des rechtlichen Rahmens meist auf die gesamte Anzahl der verschalteten Module sowie alle zusätzlichen elektrischen Komponenten, welche für die Funktion essenziell sind.

Ein besonders wichtiger Bestandteil einer Photovoltaikanlage ist der Wechselrichter, dessen primäre Aufgabe es ist, die erzeugte Gleichspannung der Solaranlage in netzverträgliche Wechselspannung umzuwandeln. Da die öffentliche Elektrizitätsversorgung in Deutschland und auch viele Haushaltsgeräte ausschließlich Wechselstrom verwenden, ist die Verwendung von einem oder mehrerer Wechselrichter obligatorisch. Je nach Anlagengröße und Modulspezifikationen gibt es unterschiedliche Möglichkeiten, Wechselrichter zu verwenden. Gerade für

<sup>2</sup> Der energetische Abstand zwischen Valenz- und Leitungsband eines Festkörpers. Je größer der Abstand, desto geringer ist die elektrische Leitfähigkeit des Materials. Leiter haben keine Bandlücke.

Photovoltaikanlagen an oder auf Gebäuden werden hauptsächlich Strangwechselrichter verbaut. Dafür werden mehrere Module in Reihe geschaltet, sodass sie einen Strang (*engl.: string*) ergeben, welcher dann den gesamten Strom eines Strangs umwandeln kann. Häufig werden auch Multi-Strang-Wechselrichter verwendet, welche den Strom mehrerer gesonderter Stränge gleichzeitig umwandeln können.

Auf der Eingangsseite des Wechselrichters, wo die Solarmodule angeschlossen sind, befindet sich üblicherweise ein Gleichspannungswandler, welcher zunächst nur das Spannungsniveau ändert. Hier befindet sich zusätzlich ein besonders wichtiges Bauteil, nämlich der Maximum-Power-Point-Tracker (MPP-Tracker). Wörtlich übersetzt wird hier der maximale Leistungspunkt der Anlage überwacht, sodass der Solargenerator durch den Gleichspannungswandler optimal betrieben werden kann. Der maximale Leistungspunkt verändert sich kontinuierlich durch Schwankungen von Temperatur und Bestrahlungsstärke, weshalb bei einer starr festgelegten Spannungswandlung ohne MPP-Tracker teilweise merkliche Verluste auftreten können. MPP-Tracker sind standardmäßig in jedem Wechselrichter für Photovoltaikanlagen verbaut.

Um eine Photovoltaikanlage an das Stromnetz anschließen zu können, bedarf es weiterer Komponenten, welche nicht direkt Einfluss auf die Stromerzeugung haben, aber für kleinere Verluste verantwortlich sein können. Dazu zählt zuallererst die Verkabelung der einzelnen elektrischen Komponenten, welche unterschiedlich je nach fließendem Gleich- oder Wechselstrom ausgelegt werden müssen. Netzseitig vom Wechselrichter fließt ausschließlich Wechselstrom, wohingegen auf der Generatorseite nur der von den Solarmodulen erzeugte Gleichstrom fließt. Die Querschnitte der Kabel sind dabei unter Berücksichtigung der Länge der Kabel und der Leistung der Module beziehungsweise des Wechselrichters zu dimensionieren. Auch der Einspeisezähler ist eine weitere Komponente, welche die Stromerzeugung der Photovoltaikanlage kaum beeinflusst, aber trotzdem essenziell ist. Mit dem Einspeisezähler wird überwacht, wie viel von dem erzeugten Strom tatsächlich in das Netz eingespeist wird. Daraus berechnet sich für den Anlagenbetreiber die tatsächliche Einspeisevergütung.

Auch wenn Leistungsoptimierer keinesfalls notwendige Komponenten für Photovoltaikanlagen sind, so kann ein Teil der installierten Anlagen stark von der Nutzung profitieren. Auch wenn der Name dieser Komponente zu Missverständnissen führen kann, beschreibt er treffend die Funktion: Leistungsoptimierer optimieren die Leistung einer Photovoltaikanlage. Zu beachten ist hier allerdings, dass Leistungsoptimierer nur für die Optimierung von teilverschatteten Anlagen konzipiert sind. Diese Anlagen, welche durch kleine Verschattungen unverhältnismäßig große Ertragseinbußen erleiden, können mit Hilfe der Leistungsoptimierer wenigstens zu einem gewissen Grad wirtschaftlich betrieben werden. Da jeder einzelne Leistungsoptimierer ein Verbraucher ist und somit den Energieertrag der gesamten Anlage senkt, muss abgewogen werden, ob sich der Einsatz wirklich lohnen kann. Gerade da eine umfassende Anwendung von Leistungsoptimierern sehr kostenaufwändig ist, wiegt der energetische Mehrertrag selten die höheren Investitionskosten auf.

Außerdem sollte die Möglichkeit erwähnt werden, dass auch Photovoltaikanlagen mit Stromspeicher und Laderegler existieren. Gerade um den Eigenverbrauch zu maximieren ist ein Speicher die Lösung, um die Stromspitze zur Mittagszeit abzufangen und den überschüssigen Strom für die Morgen- oder Abendstunden nutzbar zu machen. Solche photovoltaischen Eigenverbrauchssysteme sind meist trotzdem netzgekoppelt, da die Speicher selten saisonal ausgelegt werden und so gerade im Winter der Ertrag der Anlage schnell den Bedarf unterschreiten kann.

Die theoretischen Grundlagen zur Photovoltaik fußen auf den Erkenntnissen zur photoelektrischen Energiewandlung nach Prof. Dr. Volker Quaschnings „Regenerative Energiesysteme“

[3] und Prof. Dr.-Ing. Susanne Rexroths „Gestalten mit Solarzellen“ [5]. Für ein differenziertes Bild zur Betrachtung der Photovoltaik ist diese Literatur weiterführend zu empfehlen.

## 3.2 Bauwerk oder Gebäude?

Um den Begriff der Bauwerkintegration zu verdeutlichen, bedarf es zunächst einer Definition des Terminus. Was genau ist ein Bauwerk?

### 3.2.1 Bauwerk

„**Bauwerk**; mit dem Erdboden verbundenes aus *Bauteilen* hergestelltes technisches Gebilde (z.B.: *Gebäude*, Brücke, Hochspannungsmast, Talsperre, Straße). Es ist die materielle Verwirklichung eines konstruktiven Systems, funktionaler Zielvorstellungen und gestalterischer Ideen [...]“ [6, S. 36].

Mit dieser unpräzisen Formulierung aus dem Baulexikon von Wormuth und Schneider lässt sich erahnen, dass der Begriff „Bauwerk“ auf so ziemlich jedes vom Menschen errichtete Gebilde zutreffen soll. Häufig wird bei der Bauwerkintegration die Photovoltaik in Bauwerke integriert, welche sich spezifisch auch als Gebäude klassifizieren lassen. Diese Arbeit befasst sich thematisch mit der Bauwerkintegration, um so auch auf besondere Anlagen hinweisen zu können, welche bauwerkintegriert sind, aber nicht gebäudeintegriert. Da der Begrifflichkeit des Gebäudes trotzdem eine hohe Relevanz zugesprochen werden muss, wird sie nachfolgend definiert, um eine klare Abgrenzung zu Bauwerken zu schaffen.

### 3.2.2 Gebäude

„**Gebäude**; sprachliche Kollektivbildung zu *Bau*. Überdachte *bauliche Anlage*, von Menschen benutzbar und dem Schutz von Menschen, Tieren und Gerät dienend.“ [6, S. 121]

Auch diese verallgemeinernde Definition von Wormuth und Schneider versucht ein möglichst breites Spektrum abzudecken. Für die Unterscheidung von Bauwerken und Gebäuden ist an dieser Stelle allerdings der Gesetzestext des EEG entscheidend. Da für eine Realisierung von Photovoltaikanlagen häufig der Satz der Einspeisevergütung<sup>3</sup> entscheidend ist, wird im folgenden Abschnitt beleuchtet, wann sich ein Bauwerk als Gebäude qualifiziert. Denn laut dem EEG von 2017 ist die Klassifizierung als Gebäude ausschlaggebender Faktor für eine erhöhte Einspeisevergütung.

*§ 48 Abs. 2 EEG 2017: „Für Strom aus Solaranlagen, die ausschließlich auf, an oder in einem **Gebäude oder einer Lärmschutzwand** angebracht sind, beträgt der anzulegende Wert [...].“*

Auf Lärmschutzwände wird an dieser Stelle nicht weiter eingegangen, da im Betrachtungsgebiet keine Lärmschutzwände vorhanden sind. Da ein Großteil der Bauwerke am Standort, auf, an oder in denen eine Photovoltaikanlage installiert ist, Gebäude sind, wird im Folgenden die Definition des EEGs zu Gebäuden untersucht. Hierbei orientiert sich der Gesetzestext des EEG sowie der Bauordnung für Berlin (BauO Bln) stark an der Formulierung aus der Musterbauordnung (MBO).

*§ 3 Abs. 23 EEG 2017: „**Gebäude**“ jede selbständig benutzbare, überdeckte bauliche Anlage, die von Menschen betreten werden kann und vorrangig dazu bestimmt ist, dem Schutz von Menschen, Tieren oder Sachen zu dienen [...].“*

<sup>3</sup> Betrag an Geld, welcher dem Anlagenbetreiber vom Netzbetreiber für das Einspeisen von Strom aus erneuerbaren Energien in ein Netz gezahlt werden muss. Der Betrag variiert je nach Art der Anlage.

Die Formulierung dieser Definition hat sich in der Vergangenheit an einigen Stellen als unscharf herausgestellt, weshalb von der Clearingstelle EEG schon Ende 2011 Hinweise zur Auslegung und Anwendung dieser Formulierung [7] veröffentlicht wurden, welche im Folgenden näher beleuchtet werden.

Unter „selbständig benutzbar“ wird nicht etwa die eigenständige Benutzbarkeit durch Personen beschrieben, sondern die eigenständige Funktion des Gebäudes in Unabhängigkeit von anderen baulichen Anlagen. Wenn ein Gebäude nur durch die Verbindung mit einer anderen baulichen Anlage konstruktive Stabilität erhält, dann handelt es sich also nicht um ein Gebäude.

Als „überdeckt“ gilt eine Anlage, wenn sie nach oben hin einen Abschluss aufweist. Dieser kann auch erst durch die Installation einer Photovoltaikanlage entstehen, welche final die bauliche Anlage zu einem Gebäude komplettieren würde.

Wenn ein durchschnittlich groß gewachsener Mensch aufrecht in die bauliche Anlage hinein gehen kann, dann kann sie von einem „Menschen betreten“ werden.

Eine bauliche Anlage ist dann „vorrangig dazu bestimmt, dem Schutz von Menschen, Tieren oder Sachen“ zu dienen, wenn sie funktional auf mindestens einen dieser Schutzzwecke ausgerichtet ist. Dabei ist der Zeitpunkt der Installation der Solaranlage für die Prüfung des Schutzzweckes entscheidend, da spätere Änderungen der Bestimmung die Einstufung nicht ändern. Schutz ist hier auch ein weit gefächelter Begriff, welcher im Sinne des EEGs auch weit ausgelegt werden kann. So muss ein Gebäude nicht allein oder vorrangig vor Witterungseinflüssen schützen. Auch der Schutz vor der Zerstörung durch den Menschen oder sonstigen Umwelteinflüssen, wie zum Beispiel Staub kommen hier in Betracht.

### 3.3 Bauwerkintegrierte Photovoltaik

Bauwerkintegrierte Photovoltaik (*kurz: BIPV*) beschreibt die bauliche Integration von Photovoltaikmodulen oder -zellen in die äußere Hülle eines Bauwerks. Dabei werden Module oder Zellen zum Beispiel in Dach-, Fassaden-, Sonnenschutz oder Brüstungselemente integriert, um der Hülle des Bauwerks eine weitere Funktion zuzusprechen, nämlich die Erzeugung von elektrischem Strom aus Sonnenlicht. Ein integriertes Photovoltaikmodul muss mehrere Aufgaben übernehmen und wird so zu einem multifunktionalen Bauelement, anders als die klassische Aufdachanlage<sup>4</sup>. Würde ein integriertes Photovoltaikmodul entfernt werden, so hinterließe dies eine Art funktionales Loch. Die Hülle des Bauwerks würde an dieser Stelle nicht mehr alle Funktionen erfüllen können, wie der restliche Teil der Hülle. Ein Dach kann zum Beispiel durchlässig werden oder eine Fassade nicht mehr ausreichende Dämmeigenschaften besitzen.

Der Begriff „Bauwerkintegrierte Photovoltaik“ beschreibt allerdings nicht nur die Integration in Gebäude, wie zum Beispiel Wohnhäuser. Auch wenn der Großteil der bauwerkintegrierten Photovoltaik in Gebäude integriert wird, gibt es vereinzelt Integrationen in Bauwerke, welche sich nicht als Gebäude definieren lassen. Der in Deutschland verbreitete Begriff der „Gebäudeintegrierten Photovoltaik“ wird nach und nach abgelöst, um ein breiteres Spektrum der Integration von Photovoltaikmodulen zu erfassen. Deshalb wird in dieser Arbeit die Untersuchung über die gebäudeintegrierte Photovoltaik hinaus auf die bauwerkintegrierte Photovoltaik ausgedehnt.

Die Art der Einbindung von Photovoltaikmodulen in, an oder auf Bauwerken lässt sich in drei Gruppen einteilen: Addition, Applikation und Integration. Diese Differenzierung ist notwendig, um eine Photovoltaikanlage eindeutig als bauwerkintegriert einstufen zu können.

<sup>4</sup> Photovoltaikanlage, welche auf dem Dach eines Gebäudes installiert wurde. Diese Anlagen sind häufig besonders gut ausgerichtet, was einen hohen Energieertrag zur Folge hat.

Bei einer additiven Einbindung in ein Bauwerk wird das Photovoltaikmodul lediglich konstruktiv mit dem restlichen Bauwerk verbunden. Hier liegt keine Integration in das Bauwerk vor, da die Module hier keine zusätzliche Funktion neben der Stromerzeugung übernehmen. Würde das Modul entfernt werden, hätte die Hülle des Bauwerks dadurch keinen funktionalen Mangel erlitten. Diese Art der bautechnischen Einbindung ist besonders kostengünstig und wird vorrangig für die nachträgliche Installation von Photovoltaik an oder auf Gebäuden und Bauwerken genutzt [8]. Gleichzeitig ist diese Art der Einbindung auch jene, welche durch den Einsatz von bauwerkintegrierter Photovoltaik vermieden werden soll. Architekten waren sich schon früh darüber einig, dass die additive Einbindung von Photovoltaik an Bauwerken sonst nur „optisch störende Elemente“ hinzufügen würde [9].

Werden Solarmodule durch eine Applikation in die Hülle des Bauwerks eingebunden, so spricht man schon von einer Art der Integration. Hierbei werden konventionelle Baumaterialien oder ganze Bauteile durch die Module substituiert. Dacheindeckungs- oder Wandverkleidungskomponenten sind als äußeres Bauteil vorrangig für den Witterungsschutz zuständig, weshalb sie einfach durch Solarmodule ausgetauscht werden können, da diese auch witterungsfest sind. Meist wird hier versucht Module in Form und Größe der zu substituierenden Bauteile zu verwenden, um so trotzdem ein einheitliches Gesamtbild zu schaffen. Häufig wird bei dieser Art der Einbindung nur ein Teil der Hülle mit Photovoltaik aufgewertet, weshalb wie bei der Addition die Solarmodule gestalterisch trotzdem noch unangenehm auffallen können. Hinsichtlich des Kostenfaktors ist hier die Installation der Solarmodule zwar teurer als bei einer additiven Einbindung, allerdings werden die Gesamtkosten für die Konstruktion der Hülle des Bauwerks aufgrund von Materialeinsparungen gesenkt [8].

Bei einer komplett integrativen Einbindung wird von einer Vollintegration oder individuellen multifunktionalen Gesamtlösung [8] gesprochen. Dabei werden Elemente der Hülle des Bauwerks komplett durch Solarmodule ausgetauscht, sodass die Module an diesen Stellen zum Beispiel das äußere Bauteil einer Warmfassade oder Dacheindeckung werden. Ein Solarmodul ist dann nicht nur zusätzlich ein Witterungsschutz, sondern ein multifunktionales Bauteil, wobei die solare Stromerzeugung hier nur eine von mehreren Anforderungen ist [8]. Damit die Solarmodule in die Hülle des Bauwerks architektonisch eingebettet werden können, muss ein derartiges Bauvorhaben von Anfang an als ein ganzheitliches Konzept geplant werden. Dadurch ist diese Art der Einbindung in der Regel mit hohen Kosten verbunden, da häufig eine Spezialanfertigung der Module erforderlich ist, um diese harmonisch in das Bauwerk einzufügen.

Bauwerkintegrierte Photovoltaikanlagen sind schwer eindeutig zu klassifizieren, dennoch kann sich die Intention der Integration in der äußerlichen Gestalt der Anlage widerspiegeln. Dadurch lassen sich Unterscheidungsmerkmale und Gemeinsamkeiten der Anlagen vergleichen sowie letztlich auch bewerten. Ist die vorrangige Intention das Bauwerk durch die Solarmodule gestalterisch aufzuwerten, so kann Photovoltaik erfolgreich integriert werden, jedoch ohne zwingend eine hohe Funktionalität aufzuweisen. Dafür ist allerdings häufig eine baulich aufwändige Vollintegration notwendig. Ist die Intention darauf ausgerichtet, mit Hilfe der Photovoltaikanlage viel Energie zu gewinnen, obwohl die Dachflächen keinen Platz mehr bieten, so kann, ohne dabei großen gestalterischen Aufwand zu leisten, erfolgreich in die Hülle des Bauwerks integriert werden. Dafür bedarf es meist keiner Vollintegration. Sobald beide Arten der Integration kombiniert werden, kann von einer qualitativ hochwertigen Bauwerkintegration der Photovoltaik gesprochen werden. Schon Anfang des 21. Jahrhunderts beschrieb Ingo Hagemann in seinem Buch „Gebäudeintegrierte Photovoltaik“ eine gelungene Integration und erstellte dazu eine schematische Grafik als Übersicht (siehe Abbildung 1).

„Als eine gelungene Integration der PV am Gebäude ist ein PV-System zu bezeichnen, das sowohl gestalterisch und bautechnisch als auch vom Energiekonzept her sinnvoll in ein Gebäude eingefügt worden ist (...)“ [8, S. 14].

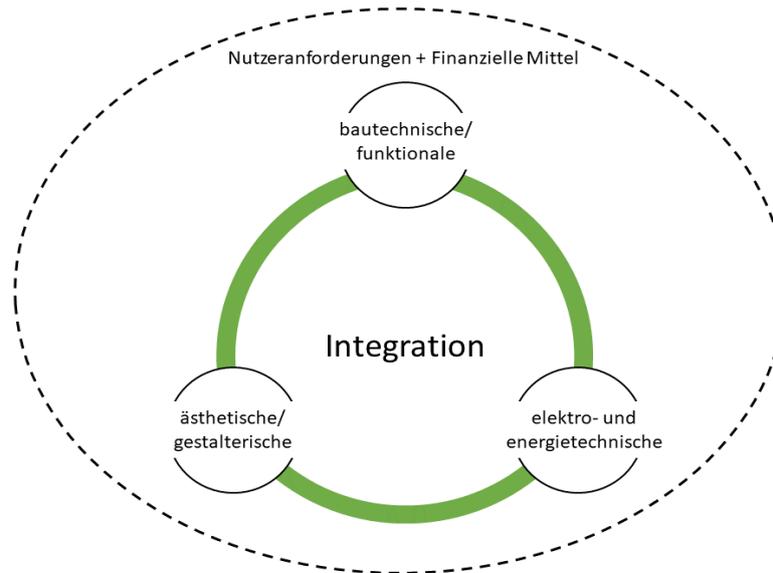


Abbildung 1: Architektonische PV-Gebäudeintegration = Symbiose aus: (Quelle: In Anlehnung an Hagemann 2002, S. 14)

### 3.4 Repowering

In der Windbranche wird unter Repowering das Ersetzen älterer Windenergieanlagen durch neue, leistungsstärkere Anlagen verstanden [10]. Da gerade das Genehmigungsverfahren eine große Hürde für das Errichten von Windenergieanlagen darstellt, ist das Austauschen einer alten Anlage eine lukrative Möglichkeit für Anlagenbetreiber, mehr Windenergie zu erzeugen. Viele Windenergieanlagen scheitern nach dem Planungsprozess im Genehmigungsverfahren, da Bürgerproteste oder der Tierschutz den Bau einer Anlage verhindert. Bis zu diesem Zeitpunkt können schon erhebliche Mittel in ein Projekt geflossen sein, welche der Firma schlussendlich verloren gehen. Diese Probleme können bei einem Repowering umgangen werden, da meist nur einzelne Bauteile ausgetauscht werden. Die Infrastruktur, das Fundament und der Netzanschluss bleiben häufig erhalten. Durch das Austauschen der elektrischen Komponenten, welche maßgeblich für die Erzeugung des Stroms verantwortlich sind, kann die Leistung und der Ertrag trotzdem um ein Vielfaches gesteigert werden.

Dasselbe Konzept lässt sich auch auf Photovoltaikanlagen anwenden. Gerade bei bauwerkintegrierten Anlagen ist häufig die nicht elektrische Konstruktion ein großer Kostenfaktor, welcher bei einem simplen Austausch der Module nicht noch einmal anfiel. Auch wenn das Genehmigungsverfahren in der Photovoltaik selten ein Hindernis darstellt, kann es wirtschaftliche Vorteile haben, eine Anlage neu aufzusetzen. Besonders zu beachten ist hier auch der Fall, dass eine Photovoltaikanlage nach 20 Jahren nicht weiter vergütet wird. Sie kann auch nicht einfach weiterlaufen, da es rechtlich Auflagen im EEG gibt, die den Netzbetreiber nicht mehr dazu verpflichtet, denn Strom auch abzunehmen. Wird danach trotzdem weiter eingespeist, so kann es zu einer Stilllegung des jeweiligen Anschlusses kommen [4]. Dem entsprechend bietet sich ein Repowering von Photovoltaikanlagen besonders für Altanlagen an, die bald aus der Einspeisevergütung fallen, da so rechtlich eine „neue Anlage“ ans Netz angeschlossen wird [4].

Trotzdem muss, wie auch bei Windenergieanlagen, jedes einzelne Projekt einer Durchführbarkeitsanalyse unterzogen werden. Dabei ist entscheidend, welche Komponenten ausgetauscht werden müssen, was umgebaut werden kann und ob eventuell auch etwas nachgerüstet werden soll. Schlussendlich muss trotzdem eine komplett neue Anlagenprojektierung stattfinden, welche teilweise durch aktive Einbindung der bestehenden Bauteile Geld einsparen kann.

### 3.5 Simulationssoftware PV\*SOL

Die von der Valentin Software GmbH entwickelte Planungs- und Simulationssoftware für Photovoltaiksysteme PV\*SOL wird in dieser Arbeit hauptsächlich zur Erstellung von Ertragsanalysen verwendet. In PV\*SOL können dabei dreidimensionale Körper erstellt werden, welche als Bauwerk oder als Verschattungselement fungieren. Durch eine Sonnenstandssimulation lassen sich die Verschattung der zuvor platzierten Solarmodule nachbilden und damit auch die möglichen Ertragseinbußen voraussagen. Für eine möglichst genaue Simulation ist es daher entscheidend, alle Objekte, welche in der Umgebung potenziell für Schatten sorgen können, in der Simulation zu berücksichtigen. Dafür ist es auch notwendig, die geografische Lage im Programm festzulegen. Diese verändert maßgeblich die eintreffende Einstrahlung der Sonne auf das zu betrachtende Modell. Wurde ein 3D-Modell erzeugt und simuliert, wertet das Programm selbstständig die simulierten Daten aus und erstellt eine Übersicht über generelle Kennwerte der Anlage. Dabei wird zum Beispiel nicht nur der prognostizierte Ertrag angegeben, sondern auch eine Betrachtung der Wirtschaftlichkeit vorgenommen. Zu beachten ist hier, dass alle Berechnungen der Einstrahlung in dieser Arbeit mit den standardmäßigen Einstellungen des Programms vorgenommen wurden. Dadurch wurde zum Beispiel das Modell zur Berechnung der Diffusstrahlung nach Hofmann verwendet. Es bestünde zwar die Möglichkeit, die Berechnungen auf Grundlagen anderer Modelle durchzuführen, die Aussagekraft von teilweise veralteten Berechnungsmodellen wird für die Betrachtung von Repowering-Maßnahmen als nicht relevant eingestuft. Des Weiteren wird so eine geringstmögliche Fehlerabweichung in den Berechnungen erwartet, da die Standardeinstellungen in PV\*SOL auf der Grundlage wissenschaftlicher Erkenntnisse zur Funktionalität basieren. Der Standard ist üblicherweise das Modell, welches am besten unter möglichst zahlreichen Bedingungen funktioniert [11].

Generell ist es mit Hilfe dieser Software möglich, sowohl kleine als auch große Aufdachanlagen auszulegen. Für Prüfungen von dieser Art von Photovoltaikanlagen ist der Aussagewert des Programms besonders hoch. Aber auch Fassadenanlagen oder große Freiflächenanlagen lassen sich dank verschiedener auswählbarer Optionen und Einstellungen auslegen. Je größer die Anlage oder je komplexer das Gebäude wird, desto schwieriger wird es für das Programm, das erstellte Modell zu simulieren. Besonders organische Formen lassen sich in PV\*SOL kaum darstellen, wodurch die Betrachtung neuartiger Architektur eingeschränkt wird. Obwohl das Programm in Hinsicht der Abbildung spezieller Formen der Bauwerkintegration von Photovoltaik etwas eingeschränkt ist, lassen sich dennoch viele Anlagen in PV\*SOL vereinfacht darstellen und Erkenntnisse daraus ableiten.

## 4 Wissenschaftsstandort WISTA in Adlershof

### 4.1 Wissenschafts- und Technologiepark Adlershof

Der Wissenschafts- und Technologiepark Adlershof (*kurz: WISTA*) liegt im Südosten Berlins im Stadtteil Treptow-Köpenick. Südlich des S-Bahnhofs Adlershof erstreckt sich die Wissenschaftsstadt Adlershof über einen 4,2 Quadratkilometer großen Standort. Neben den 23.500 Beschäftigten in über 1.100 Unternehmen ist hier auch ein Campus der Humboldt-Universität Berlin mit den Fakultäten der Naturwissenschaften ansässig, an welchem zurzeit knapp 6500 Studenten in Adlershof ausgebildet werden. Mit weiteren acht außeruniversitären Forschungseinrichtungen hat sich das WISTA-Gelände schnell zu einem Hochtechnologiestandort entwickelt, welcher seine Wurzeln heutzutage nur noch über den großen Naturpark offenbart [12].

2003 wurde der Naturpark im nördlichen Teil des Geländes zu einem Naturschutzgebiet erklärt. Das ehemalige Flugfeld Johannisthal ist ein 26 Hektar großes Areal, welches heutzutage so zugewachsen ist, dass lediglich die Infotafeln an die Geschichte des Naturparks erinnern. Zu Beginn des letzten Jahrhunderts lag hier das Zentrum der deutschen Luftfahrt. Das Flugfeld Johannisthal galt als erster deutscher Motorflugplatz mit dem ersten erfolgreichen deutschen Motorflug. Zu Zeiten des ersten Weltkrieges wurden in Johannisthal ein Drittel aller deutschen Militärmaschinen gefertigt. Kurz vor dem zweiten Weltkrieg wurde Adlershof zum Zentrum für Luftfahrtforschung ausgebaut. Nach dem Krieg nimmt der Flugbetrieb allerdings zunehmend ab, sodass der Flugplatz schnell an Bedeutung verliert. 1954 musste er ganz eingestellt werden. Ungefähr zur selben Zeit wird die Akademie der Wissenschaften neu gegründet und die DDR errichtet ihre Sendeanstalt des Fernsehens unweit des ehemaligen Flugplatzes. Der Fokus verschiebt sich, der WISTA-Standort bleibt jedoch Zentrum großer Aufmerksamkeit [13].

Erst 40 Jahre später beginnt die Entwicklung zur „Stadt für Wissenschaft und Wirtschaft“. Dieser Slogan wurde 1991 vom Berliner Senat als Leitbild für den Standort ausgerufen. Die Entwicklungsgesellschaft Adlershof mbH (EGA) erhielt damals öffentliche Fördergelder, landeseigene Grundstücke und letztlich den Auftrag, die Wissenschaftsstadt zu betreiben und weiterzuentwickeln. Heutzutage ist in Adlershof eine große Expertise zu breiten Technologiefeldern, wie zum Beispiel der Photovoltaik und den Erneuerbaren Energien etabliert worden. Am Helmholtz-Zentrum Berlin (HZB) entwickelte sich kürzlich eine Beratungsstelle für bauwerkintegrierte Photovoltaik (BAIP). Als Projekt des Kompetenzzentrums Photovoltaik Berlin (PVcomB) wird dort eine kostenfreie Beratung für Interessenten aus ganz Deutschland angeboten [14]. Die große Nachfrage nach Klärung zu allgemeinen Fragen bezüglich bauwerkintegrierter Photovoltaik zeigt ein reges Interesse, aber zugleich auch einen Informationsmangel auf. Der WISTA Standort steht nicht nur für Wissenschaft und Forschung, sondern auch für Wissenschaftskommunikation und Lehre. Anpassung und Weiterentwicklung spielen in dieser Hinsicht eine wichtige Rolle. Auch wenn der Standort sich stetig weiterentwickelt, wurde eines der langfristigen Ziele schon erreicht: Es wurde ein moderner Hochtechnologiestandort errichtet, an welchem zukunftssträchtige Technologien erforscht werden [13].

### 4.2 WISTA Management GmbH

Die WISTA Management GmbH ging 1994 aus der 1991 vom Land Berlin gegründeten Entwicklungsgesellschaft Adlershof mbH (*kurz: EGA*) hervor. Zunächst war sie als landeseigene Gesellschaft nur für die Entwicklung des Standortes Adlershof zuständig. Mittlerweile betreut die WISTA Management GmbH Wissenschafts- und Technologiestandorte in ganz Berlin. Neben den Standorten Charlottenburg, Dahlem, Marzahn und Schöneweide tritt der Standort in Adlershof als größter und bedeutendster Standort hervor.

Hauptauftrag der WISTA Management GmbH ist der Betrieb und Unterhalt sowie die Entwicklung der jeweiligen Standorte. Die WISTA Management GmbH beschreibt sich selbst nicht nur

als Standortbetreiber oder Immobilienmanager, sondern auch als Wirtschaftsförderer und Netzwerker. Tatsächlich widmet sich die WISTA Management GmbH zusätzlichen Aufgaben in Bereichen der Technologieförderung, des Event- und Gebäudemanagement sowie des Gründer Supports. Bei Letzterem handelt es sich um ein Programm, welches jungen Firmen und Start-Ups bei der Existenzgründung und in der ersten Zeit unterstützt. Dafür werden unter anderem technisch hochwertig ausgerüstete Büro-, Werk-, Labor- und Arbeitsflächen zu besonderen Konditionen vermietet und erste Projektentwicklungen betreut [15].

Zusammenfassend ist die WISTA Management GmbH mit ihrer Vielzahl an Dienstleistungen und Angeboten für alle administrativen Aufgaben an den zuvor benannten Standorten zuständig. Für bestimmte Bereiche ihrer Arbeit hat die WISTA Management GmbH Tochterfirmen, wie zum Beispiel die WISTA.Plan GmbH gegründet. Diese ist speziell für den Schwerpunkt der Stadtentwicklung zuständig. Des Weiteren gibt es noch die WISTA.Service GmbH, welche vorrangig im Facility Management der Unternehmen und Forschungseinrichtungen tätig ist.

### 4.3 Eingrenzung des Betrachtungsgebietes

Bei der Betrachtung der am WISTA-Standort installierten bauwerkintegrierten Photovoltaikanlagen ist zu beachten, dass bestimmte Gebiete eine unterschiedliche Relevanz aufweisen. Aus diesem Grunde wurde das Betrachtungsgebiet nicht auf den gesamten WISTA-Standort ausgedehnt. Sowohl der Naturpark als auch die Wohnsiedlungen auf der westlichen Seite des Standortes weisen keine bauwerkintegrierte Photovoltaik auf, weshalb diese Gebiete nicht in die Betrachtung aufgenommen wurden. Der Fokus wurde auf die sogenannte „Science City“ gelegt, welche im Süden durch das Ernst-Ruska-Ufer begrenzt wird und im Nordosten am Verlauf des Gleisbettes der S-Bahn endet. Die westliche Seite wird teilweise durch die Hermann-Dorner-Allee begrenzt, welche direkt am Naturpark entlangführt. Zur Visualisierung dient die Abbildung 2, welche das Betrachtungsgebiet noch einmal grafisch eingrenzt. In diesem Gebiet ist eine besonders hohe Dichte an bauwerkintegrierten Photovoltaikanlagen zu beobachten, wie sie nur an wenigen Orten in der Bundesrepublik Deutschland auftritt. Für die Betrachtung dieser speziellen Art von Photovoltaikanlagen ist der Standort also ideal. Zu beachten ist hier die Porsche Niederlassung Adlershof, welche zwar auf der westlichen Seite der Hermann-Dorner-Allee liegt, jedoch aufgrund einer bauwerkintegrierten Photovoltaikanlage trotzdem in das Betrachtungsgebiet aufgenommen wurde. Da es sich um eine besonders markante Photovoltaikanlage handelt, wurde an dieser Stelle das Betrachtungsgebiet ausgedehnt.

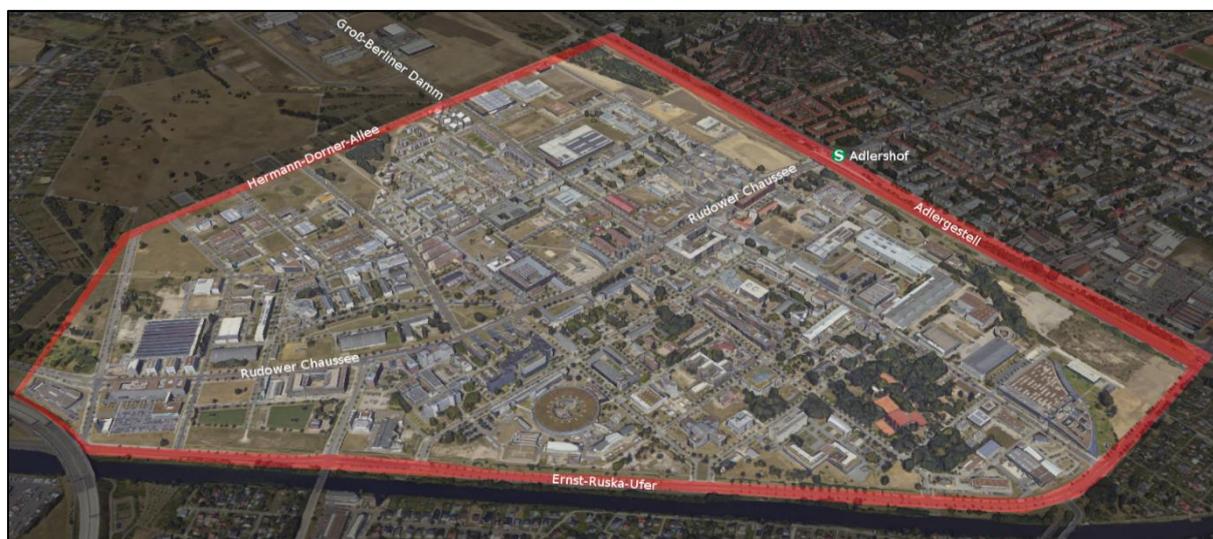


Abbildung 2: Eingrenzung des Betrachtungsgebietes (Quelle: In Anlehnung an Berlin Partner für Wirtschaft und Technologie GmbH: „3D-Stadtmodell Berlin“, 2019)

## 5 Analyse der aktuell installierten Photovoltaikanlagen

### 5.1 Standorte der aktuell installierten Photovoltaikanlagen

Im zuvor beschriebenen Betrachtungsgebiet wurde durch den Autor eine Bestandsaufnahme und Untersuchung aller an Bauwerken installierten Photovoltaikanlagen vorgenommen. Dabei konnte einerseits Dank der Kooperation mit der WISTA Management GmbH auf bestehende Daten zurückgegriffen [16] und andererseits durch weitere Eigenrecherche neue Daten erfasst werden. Aus den gesammelten Informationen wurde eine Datenbank erstellt (siehe Anhang: Tabelle 1), welche eine Übersicht über die installierten Photovoltaikanlagen am Standort liefern soll. Diese Datenbank kann mittels Angaben zu den Eigenschaften und technischen Details der jeweiligen Anlagen spezifische Einblicke übersichtlich und kompakt gewähren. Die wichtigsten Informationen zu den bauwerkintegrierten Photovoltaikanlagen werden zusätzlich im Kapitel 5.2 unter der jeweiligen Anlagenbetrachtung benannt. Ein Großteil der Daten kann im Marktstammdatenregister für Photovoltaik [17] oder im Energieatlas Berlin [18] online abgerufen werden. Auch wenn nicht jeder Anlagenbetreiber Informationen zu seiner Photovoltaikanlage öffentlich bereitstellt, können über diese Internetseiten grundlegende Informationen extrahiert werden. Der Zeitpunkt, zu welchem die Anlagen installiert wurden sowie die jeweils installierte Leistung, stellen Daten dar, welche einfach zugänglich sind. Anders verhält es sich bei spezifischeren Informationen. Lediglich für einen Teil der installierten Anlagen liegen die Klassifizierung des Modultyps oder die gesamte Anzahl der installierten Module vor. Auch die erzielten Jahreserträge werden häufig unter Verschluss gehalten beziehungsweise nur selten außerhalb der Firmen oder Institute kommuniziert. Dadurch war eine tiefergehende Betrachtung einzelner Anlagen kaum möglich, was die Auswertung und Einschätzung teilweise beeinträchtigt hat.

Im Vergleich zu der Übersicht über die Ausdehnung des Betrachtungsgebiets folgt nun eine Abbildung mit einer grafischen Hervorhebung alle Flächen an Bauwerken, an, in oder auf denen Photovoltaik installiert ist. Diese mit Photovoltaik aktivierten Flächen werden durch eine gelbe Einfärbung markiert. Eingeschlossen sind hier unter anderem auch Fassadenflächen, an welchen bauwerkintegrierte Photovoltaik installiert wurde. Die Abbildungen 3 und 4 befinden sich zusätzlich zu der Darstellung im Text auch als hochaufgelöste Abbildungen für eine bessere Übersicht im Anhang.



Abbildung 3: Übersicht über alle am Standort installierten PV-Anlagen (Quelle: In Anlehnung an Berlin Partner für Wirtschaft und Technologie GmbH: „3D-Stadtmodell Berlin“, 2019)

Mit der Abbildung 3 wird verdeutlicht, dass besonders an großen Dachflächen das Potential, elektrische Energie aus Photovoltaik zu erzeugen, häufig ausgenutzt worden ist. Insbesondere gelingt es mit der Abbildung die hohe Dichte von installierten Photovoltaikanlagen sichtbar zu machen. Dies ist exzeptionell und nur mit wenigen Standorten in der Bundesrepublik vergleichbar. Insgesamt sind im Betrachtungsgebiet zum Erhebungszeitpunkt 51 Photovoltaikanlagen in, an oder auf Gebäuden installiert worden. Davon ist jedoch nur ein kleiner Teil in das jeweilige Bauwerk integriert worden. Des Weiteren ist zu erkennen, dass noch immer ungenutzte Potentialflächen identifizierbar sind. Große Lagerhallen oder Produktionsstätten mit Dachflächen, deren geringe Anzahl an Dachaufbauten sich besonders für eine Installation einer Photovoltaikanlage anbieten würden, sind nach wie vor auszumachen.

Die installierten Photovoltaikanlagen im Betrachtungsgebiet wurden auf ihre Eigenschaften und technischen Details untersucht und anschließend in die standardisierte Datenbank eingepflegt. Neben dem Standort und der dort installierten Leistung wurden Daten zum Modultyp, dem Zeitpunkt der Inbetriebnahme und die Art der Anlagen aus den oben erwähnten Quellen extrahiert und in die Datenbank aufgenommen. Mit Hilfe der Methode des Interviews und der Befragung der Objektverantwortlichen oder Anlagenbetreiber konnte die Datenlage entsprechend ergänzt werden. Zusätzlich konnten durch eine Begehung oder Betrachtung der Anlage systemrelevante Daten aus den verbauten Komponenten gewonnen werden. Vereinzelt war es zwar möglich, die Anzahl der Module oder deren Hersteller zu eruieren, energetische Erträge oder sonstige spezifische Informationen konnten hingegen nur selten in Erfahrung gebracht werden. Häufig ist dies auf Kommunikations-, Zuständigkeits- oder Verantwortlichkeitsprobleme zwischen den Unternehmen, Firmen oder Instituten und den jeweiligen Anlagenbetreibern zurückzuführen. Denn eher selten werden die Anlagen von den Firmen betrieben, auf, an oder in dessen Gebäude eine Photovoltaikanlage installiert ist. Trotzdem muss an dieser Stelle Aufmerksamkeit auf die Tatsache gelenkt werden, dass kein Anlagenbetreiber verpflichtet ist, technische Daten seiner Photovoltaikanlage an Dritte weiterzugeben. Eine umfassende Untersuchung ist daher nur in Kooperation mit den Anlagenbetreibern möglich.

## 5.2 Betrachtung der aktuell installierten BIPV-Anlagen

Innerhalb des Betrachtungsgebietes lassen sich nach der in 3.3 dargelegten Definition zur bauwerkintegrierten Photovoltaik zehn Photovoltaikanlagen als bauwerkintegriert bezeichnen. Diese werden im Folgenden vorgestellt und näher untersucht. Aufgrund der nach der durchgeführten Erhebung unterschiedlich ergiebigen Datenlage kann zu einzelnen Anlagen eine genauere Analyse, zu anderen jedoch nur eine grundlegende Betrachtung aufgestellt werden. Ein Fokus liegt hier auf den Photovoltaikanlagen des Ferdinand-Braun-Instituts und des Zentrums für Biotechnologie und Umwelt, da hier aufgrund einer vergleichsweise guten Datenlage spezifische Aussagen über die Anlage gemacht werden können. In Kapitel 6.3 werden diese beiden Solaranlagen durch eine Simulation durch PV\*SOL beispielhaft einem Repowering unterzogen, wobei die damit mögliche Ertragssteigerung aufgezeigt werden soll. Alle Anlagen wurden mit vom Autor angefertigten Fotografien dokumentiert, welche sich im Anhang in einem gesonderten Bilderkatalog befinden.

Um dem Leser die beschriebenen Anlagen gleichzeitig visualisieren zu können, wurde zu Beginn jeder Anlagenbetrachtung auf der rechten Seite ein Bildausschnitt sowie eine kurze Information zu den wichtigsten Anlagendaten hinterlegt. Dabei wird die Art der Anlage, die installierte Leistung, die gesamte Modulanzahl der Anlage und das Jahr der Inbetriebnahme aufgeführt, sofern Informationen zu diesen Daten vorhanden sind. Ausführlicher lassen sich zusätzliche Informationen im Text sowie in der Tabelle 1 im Anhang auffinden. Die Bilder sind Ausschnitte aus den detaillierteren Aufnahmen im Bilderkatalog. Um eine Mehrfachnennung der Bilder zu vermeiden, wurde deshalb ein Verweis zu den Originalbildern in hoher Auflösung in der oberen rechten Ecke vermerkt.

Um zunächst einen visuellen Überblick über alle bauwerkintegrierten Photovoltaikanlagen des Betrachtungsgebietes zu vermitteln, werden auf der Abbildung 4 die nachfolgend beschriebenen zehn exemplarischen Standorte sowie die Art der Anlagen aufgezeigt. Wie auch schon in Abbildung 3 wurden die mit Photovoltaik aktivierten Flächen durch eine gelbe Einfärbung hervorgehoben.

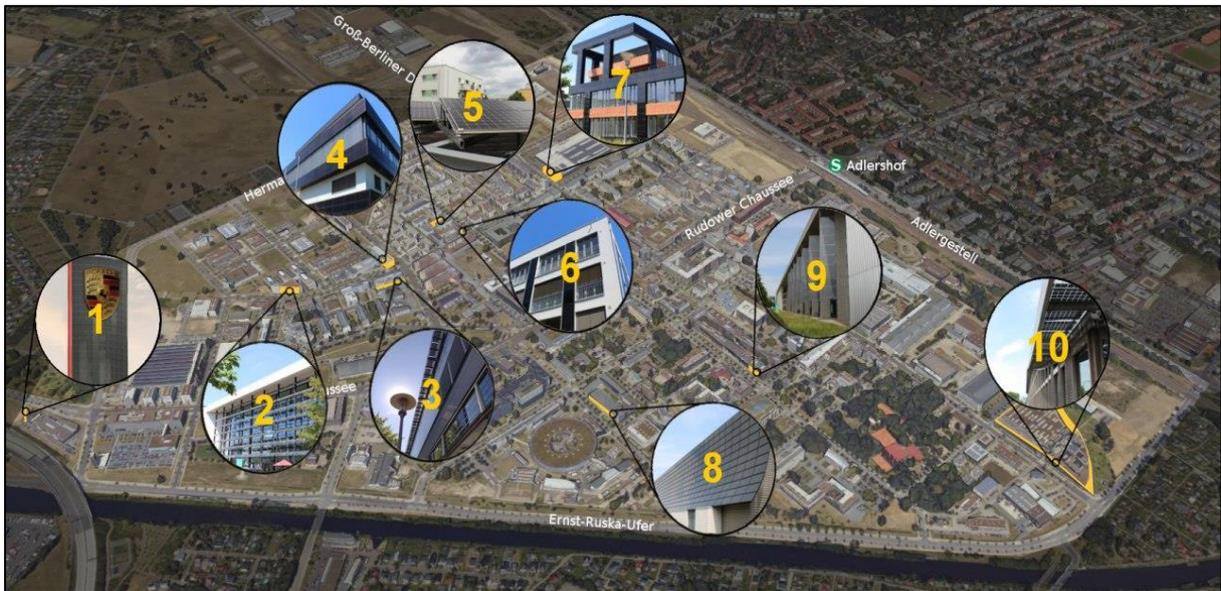


Abbildung 4: BIPV-Anlagen im Betrachtungsgebiet (Quelle: In Anlehnung an Berlin Partner für Wirtschaft und Technologie GmbH: „3D-Stadtmodell Berlin“, 2019)

### 5.2.1 Porsche Solarpylon

Am Standort des 2016 neu entstandenen Porsche Zentrums Berlin Adlershof an der Hermann-Dorner-Allee 98 sollte ein „Symbol für nachhaltige und ressourcenschonende Investitionen“ entstehen. Aus diesem Grund ließ die Porsche Deutschland GmbH einen sogenannten Solarpylon errichten. Der für Porsche-Zentren übliche und weithin sichtbar mit dem Porsche-Signet versehene Pylon, wurde hier erstmals mit Photovoltaik verkleidet. Porsche beschritt hier einen innovativen Weg und schuf eine ästhetisch gelungene Integration von Photovoltaik in einem besonders repräsentativen Bauwerk an ihrem neu errichteten Standort.

Der Solarpylon unterscheidet sich im Vergleich zu anderen Pylonen von Porsche vor allem durch in seine Dimensionierung. 25 Meter ragt die Stahlkonstruktion in die Höhe. Die Vermutung liegt nahe, dass besonders auch der Verkehr auf der naheliegenden Autobahn A113 auf das Porsche-Zentrum aufmerksam gemacht werden sollte. Von der höher gelegenen Autobahn wäre das Zentrum ohne den Solarpylon kaum wahrnehmbar. Die leicht konvexe Fassade dieses monolithischen Bauwerks wurde fast komplett durch Photovoltaik aktiviert. Lediglich an den Seiten gibt es Aussparungen ohne Photovoltaikmodule. Nach Aussage einer Porsche-Pressemitteilung sollen die knapp 162 Module mit insgesamt fast 8000 Solarzellen auf einer Fläche von ungefähr 270 Quadratmetern einen Ertrag von bis 30.000 Kilowattstunden pro Jahr liefern können. Dieser Energieertrag soll zur Versorgung des kompletten Zentrums und zusätzlich zur Speisung der Ladesäulen für die Elektromobilität verwendet werden. Die Investitionssumme allein für die Errichtung des Solarpylons wurde mit 800.000 Euro beziffert. Sollte die Anlage wie erwartet funktionieren sowie den geplanten und erwarteten Ertrag liefern können, würde sich diese Investition noch vor der Überschreitung der Lebenserwartung und Funktionsunfähigkeit der Anlage amortisieren. Es gelingt Porsche hier, ein Zeichen für E-Mobilität und nachhaltige Energiegewinnung zu setzen und so das Image für den Standort Adlershof aufzuwerten.

Bei dieser Art der Einbindung der Solarmodule handelt es sich um eine Vollintegration. Äußerlich kaum als Photovoltaik identifizierbar, sind die Module hier nicht nur funktional in das Bauwerk eingebunden worden. Die schlichte, schwarze Optik der Solarmodule verleiht dem Pylonen eine elegante äußere Erscheinung. Hier ist ein durchdachtes Gestaltungskonzept erkennbar, welches das gelb-rote Porsche-Signet vor dem schwarzen Untergrund besonders hervorhebt. Optisch drängen sich die Module nicht auf, was von einer harmonischen Einbettung in die gesamte Konstruktion zeugt.



**Art der Anlage:**

*Fassadenanlage*

**Inst. Leistung:**

*unbekannt*

**Modulanzahl:**

*162*

**Inbetriebnahme:**

*2017*

## 5.2.2 Zentrum für Photovoltaik und Erneuerbare Energien

Während die Photovoltaik am Solarpylon des Porsche-Zentrums Adlershof erst auf den zweiten Blick erkennbar ist, so wurde sie am Zentrum für Photovoltaik und Erneuerbare Energien (ZPV) als ein besonderer Blickfang eingesetzt. Das in der Johann-Hittorf-Straße 8 gelegene Zentrum fällt mit seiner großzügigen Glasfassade auf, welche mittels einer vorgebauten Konstruktion aus Photovoltaik teilweise verschattet wird. Auf einem gerasterten Stahlgerüst sind insgesamt 140 semitransparente Glas-Glas-Module befestigt, welche aufgrund ihrer Bauart zwischen den einzelnen Zellen im Modul lichtdurchlässig sind. Bei Lichteinfall entsteht durch den Schattenwurf hinter den Modulen im Gebäude eine interessante Struktur. Zudem heizt sich das Gebäude im Sommer nicht zu sehr auf.

2013 wurde die seitens der WISTA Management GmbH in Auftrag gegebene Photovoltaikanlage von der Firma Dachland GmbH fertig gestellt. Dieses Unternehmen war für die Lieferung und Montage der gesamten Anlage verantwortlich. Die 140 Solarmodule wurden als punktgehaltene Überkopfverglasung geplant, um eine möglichst filigrane, aber dennoch stabile Halterung gewährleisten zu können. Trotzdem ist die Konstruktion erkennbar und auffällig geblieben, sodass sie im Vergleich zur schlichten weißen Fassade deutlich hervortritt. Immerhin sind hier 25,2 kWp (Kilowatt peak) an Leistung aus Photovoltaikmodulen installiert, welche namensgebend für das Zentrum auch prominent sichtbar präsentiert werden sollen.

Bei erster Betrachtung könnte diese Anlage lediglich als additiv eingebunden eingestuft werden. Schließlich sind die Module nur zusätzlich an der Gebäudehülle befestigt worden. Allerdings liegt hier sehr wohl eine Bauwerkintegration vor, da ein funktionales Loch entstünde, wenn die Module deinstalliert werden würden. Zur Bewahrung eines angenehmen Arbeitsklimas ist ein Sonnenschutz vor den großen Fenstern notwendig, um den Raum dahinter nicht unnötig aufzuheizen. Gerade im Sommer würde die Sonnenexposition der nach Süden ausgerichtete Glasfront dazu führen, dass im ZPV keine erträglichen Arbeitsbedingungen mehr herrschen würden. Da konstruktiv ein Sonnenschutz sowieso notwendig wäre, handelt es sich hier demzufolge um eine Applikation der Solarmodule. Das sonst notwendige verschattende Bauteil vor der Glasfront wird somit durch eine Konstruktion aus Solarmodulen substituiert, wodurch sich das Modul in die funktionale Gebäudehülle integriert.

Bei genauerer Betrachtung der einzelnen Solarmodule konnte besonders zur Zeit dieser Untersuchung eine beachtliche Verschmutzung festgestellt werden. Wie in Abbildung 13 zu erkennen ist, befinden sich auf der Oberfläche der Module einerseits Vogelexkremete und andererseits auch Staub- oder Pollenpartikel. Dabei ist der tieferliegende Teil der Module sauberer als der höherliegende Teil. Es scheint, dass die natürliche Säuberung durch Regenfälle nur begrenzt für diese Konstruktion wirksam ist, weshalb eine regelmäßige Reinigung der Module notwendig wäre, um gravierende Ertragseinbußen zu verhindern. Da diese Verschmutzung durch den Autor über einen längeren Zeitraum beobachtet worden ist, muss an dieser Stelle weniger von einem regelmäßigen Reinigungskonzept, sondern von der Akzeptanz eines geringeren Ertrags ausgegangen werden.



**Art der Anlage:**  
Sonnenschutz  
**Inst. Leistung:**  
25,2 kWp  
**Modulanzahl:**  
140  
**Inbetriebnahme:**  
2013

### 5.2.3 Institut für Kristallzüchtung

Das Leibniz-Institut für Kristallzüchtung (IKZ) wurde 2010 um eine kleine bauwerkintegrierte Photovoltaikanlage erweitert. Ein unscheinbarer Vorsprung aus semitransparenten Solarmodulen spendet einem darunterliegenden Fensterband Schatten (siehe Abbildung 15).

An der Ecke Max-Born-Straße und Johann-Hittorf-Straße steht gegenüber der FUSS EMV das Institut für Kristallzüchtung. Anders als die große bauwerkintegrierte Photovoltaikanlage (siehe 5.2.4) auf der gegenüberliegenden Straßenseite, wird die hier betrachtete Anlage nicht besonders offen zur Schau gestellt. An der südlichen Gebäudeseite zieht sich knapp unter der Dachkante ein langes, schmales Fensterband fast über die ganze Fassade. Über den Fenstern ist ein Sonnenschutz aus Solarmodulen installiert, welcher bei einem hohen Sonnenstand in der Mittagszeit ein Aufheizen der Innenräume verhindern soll. Wie auch im ZPV wurden hier semitransparente Glas-Glas-Module verbaut. Die Module sind mit jeweils 36 Zellen relativ klein und liefern auch lediglich eine gesamte installierte Leistung von 4,45 kWp. In dieser Untersuchung ist dies damit die kleinste der betrachteten bauwerkintegrierten Photovoltaikanlagen.

Gestalterisch lässt sich diese bauwerkintegrierte Solaranlage mit der zuvor betrachteten Anlage des ZPVs vergleichen. Der Modultyp sowie die Art der Einbindung ist hier identisch. Die Module wurden auch in die Fassade appliziert, sodass ein zusätzliches verschattendes Bauteil eingespart werden konnte. Augenscheinlich ist die Konzeptionierung der Anlage wenig erfolgreich gewesen, da zusätzlich weitere Verschattungselemente an den Fenstern nachträglich angebracht wurden. Wie in Abbildung 15 erkennbar ist, wurden zusätzlich Rollläden installiert, welche auch aktiv benutzt werden. Somit ist davon auszugehen, dass die Verschattung durch die Solarmodule die Räumlichkeiten nicht ausreichend vor Einstrahlung geschützt hat, weshalb weitere Verschattungselemente notwendig wurden. Trotzdem die Photovoltaikanlage ihre zusätzliche Funktion als Verschattungselement nicht gemäß den Erwartungen erfüllen kann, so ist ihr die Multifunktionalität nicht abzuspochen. Ein Nachrüsten von Verschattungselementen führt somit nicht dazu, dass eine bauwerkintegrierte Photovoltaikanlage ihre Klassifizierung als bauwerkintegriert verliert.

**Art der Anlage:***Sonnenschutz***Inst. Leistung:***4,45 kWp***Modulanzahl:***unbekannt***Inbetriebnahme:***2010*

### 5.2.4 Firmengebäude der FUSS EMV

Am Erweiterungsbau der FUSS EMV Ing. Max Fuss GmbH & Co. KG in der Johann-Hittorf-Straße 6 lassen sich nur aus wenigen Metern Entfernung die integrierten Solarmodule erkennen. Die schwarzen Fassadenbänder aus Dünnschichtmodulen mit homogenen Oberflächen sind für den Laien nur schwer als Photovoltaik auszumachen. In dieser Umsetzung wirken die Module eher wie ein normales Fassadenbauteil, weshalb sie sich besonders gut in das Gestaltungskonzept des Gebäudes eingliedern.

Die Module erreichen zusammen eine installierte Leistung von 35 kWp und versorgen neben der schon zuvor errichteten Aufdachanlage die Firma mit grünem Strom. Der Bau des hier betrachteten Erweiterungsbaus wurde zwar 2010 begonnen, die Solaranlage konnte allerdings aufgrund des langsamen Baufortschrittes erst 2013 ans Netz genommen werden. Untypischerweise für den Standort wurden keine Dünnschichtmodule der Soltecture GmbH verbaut. Im direkten Vergleich zu der unter 5.2.7 beschriebenen Fassadenanlage lassen sich optisch kaum Unterschiede feststellen. Vielmehr wurden hier aber CIGS-Dünnschichtmodule der Avancis GmbH verbaut, welche anders als die Soltecture GmbH auch heute noch ein namhafter Modulhersteller aus Deutschland ist. Der spezifische Modultyp und die gesamte Anzahl der Module sind allerdings nicht bekannt.

Interessant ist hier auch der Einsatz von sogenannten Blindmodulen, welche zwar die Äußerlichkeit aber nicht die Funktionalität von Solarmodulen aufweisen. Sie sehen also wie Solarmodule aus, erzeugen aber keinen elektrischen Strom. Um ein einheitliches Gesamtbild an der Fassade zu schaffen, wurde hier das leicht hervorstehende schwarze Fassadenband sowohl an der Unter- als auch an der Oberseite mit Blindmodulen verkleidet. Gerade an Stellen, wo ein sehr geringer Ertrag erwartet werden kann, lassen sich durch den Einsatz von Blindmodulen Kosten einsparen, ohne das gestalterische Gesamtkonzept zu beeinträchtigen. Trotzdem diese Fassadenelemente möglichst identisch im Vergleich zu den Photovoltaikmodulen aussehen sollen, ist gerade bei starkem Lichteinfall auf die Solarmodule ein leichter Unterschied zu erkennen (siehe Abbildung 19).

Die Solarmodule wurden integrativ in die Fassade eingebunden. Bei dieser Ausführung handelt es sich um eine Vollintegration, da die Module als multifunktionale Bauelemente an der Fassade verbaut wurden. Hier schließen die Solarmodule nicht nur die Fassade in Teilbereichen nach außen ab, sie sind auch maßgebliches Gestaltungselement des gesamten Gebäudes. Durch die Kombination mit Blindmodulen bilden sich so optisch dreidimensionale Körper aus, welche sich schon allein durch den Farbunterschied stark vom weißen Fassadenbaukörper abheben können. Es wirkt, als wären mehrere schwarze Körper in einen größeren weißen Körper geschoben worden, wodurch eine spannungsvolle architektonische Gestaltung entsteht.



**Art der Anlage:**

*Fassadenanlage*

**Inst. Leistung:**

*35 kWp*

**Modulanzahl:**

*unbekannt*

**Inbetriebnahme:**

*2013*

### 5.2.5 Parkplatzüberdachung HOWOGE „Powerhouse“

Der Parkplatz und auch die umliegenden Gebäude gehören zum Wohnkomplex „Powerhouse“ der HOWOGE Wohnungsbaugesellschaft mbH. Dieser Wohnkomplex gehört zu einer kleinen Plus-Energiesiedlung bestehend aus neun Wohngebäuden unterschiedlicher Typologie. Laut dem Abschlussbericht der Bauherrengemeinschaft Newton-Projekt Berlin soll dieses Projekt über eine „[...] deutliche Reduzierung der CO<sub>2</sub>-Emissionen einen Beitrag zum Klimaschutz leisten und langfristig und breitenwirksam als Modellprojekt und Multiplikator für die energieeffiziente Stadtteilentwicklung wirken [...]“ [19], weshalb auf den Häusern besonders viel Photovoltaik installiert wurde. Aber die hier zu betrachtende Photovoltaikanlage ist kein klassisches Beispiel bauwerkintegrierter Photovoltaik. Die Parkplatzüberdachung für die umliegenden Gebäude in der Newtonstraße 10 bis 12 wirkt auf den ersten Blick eher wie eine klassisch aufgeständerte Dachanlage.

Die Stahlkonstruktion, welche die Aufständungen der Module trägt, überspannt die komplette Parkfläche für mehrere PKWs. Allerdings ist hier zu beachten, dass die Stahlkonstruktion keine Fläche aufweist, auf der die Module stehen. Die Aufständungen werden lediglich von einzelnen Stahlträgern gehalten, welche allein kein Dach bilden. Unter strenger Betrachtung der in den Grundlagen definierten Begriffe Gebäude und Bauwerk ist diese Konstruktion nicht nur als Bauwerk, sondern auch als Gebäude einzustufen, da die Photovoltaikanlage den sonst nicht vorhandenen oberen Abschluss

der Konstruktion bildet. Dies ist auch ein besonders starkes Argument, welches für eine Klassifizierung als bauwerkintegrierte Photovoltaikanlage spricht, da ohne die Anlage die gesamte Konstruktion nach dem EEG kein vollwertiges Gebäude mehr wäre. Demnach ist hier deutlich zu erkennen, dass die Photovoltaikanlage nicht nur die Funktion aufweist, Strom zu erzeugen, sondern zusätzlich als Witterungsschutz den baulichen Abschluss des Gebäudes bildet.

Bei genauer Betrachtung der in der Abbildung 20 erkennbaren Zellen, wird aufgrund der abgeflachten Ecken der Zellen ein monokristalliner Zelltyp mit einem hohen Wirkungsgrad vermutet. Zusätzlich sind durch die Aufständung und die exakte Ausrichtung nach Süden weitere ertragsmaximierende Maßnahmen getroffen worden, welche die Verwendung von leistungsstarken Modulen weiterhin plausibilisieren würden. Ziel dieser Bauwerkintegration war demnach eine besonders hohe Funktionalität sowie einen hohen Energieertrag zu generieren. Da die HOWOGE Wohnungsbaugesellschaft mbH leider keine Daten kommunizieren konnte, kann nur eine Schätzung der installierten Leistung getätigt werden. Bei monokristallinen Modulen kann von einer Leistung von 300 Wp pro Modul ausgegangen werden, da diese Anlage vergleichsweise neu errichtet worden ist. Demnach wären in der ganzen Anlage mit insgesamt 216 Modulen ungefähr 65 kWp an Leistung installiert.

Ein besonderer Aufwand für eine ästhetisch anspruchsvolle Integration wurde hier nicht vorgenommen. Die Solarmodule wurden appliziert und gestalterisch kaum eingebunden. Eine hohe Funktionalität oder ein maximierter Ertrag können häufig nicht mit einer Vollintegration umgesetzt werden, da nicht jedes Bauwerk über optimal ausgerichtete Bauwerkshülle verfügt.



**Art der Anlage:**

*Überdachung*

**Inst. Leistung:**

*(65) kWp*

**Modulanzahl:**

*216*

**Inbetriebnahme:**

*unbekannt*

### 5.2.6 Newtonprojekt 8B

Auch das Newtonprojekt 8B ist Bestandteil der Plus-Energiesiedlung zwischen der Newtonstraße und dem Alexander-von-Humboldt-Weg. Auf der Ecke Newtonstraße und Abram-Joffe-Straße steht ein weißes Gebäude, welches sich durch senkrechte schwarze Fassadenbänder von den anderen abhebt. Auch wenn der Name etwas irreführend ist, steht das Gebäude in der Newtonstraße 12a. Dieses Plus-Energie Passivhaus wurde 2018 fertiggestellt und verfügt neben einer aufgeständerten Photovoltaikanlage auf dem Dach über eine beachtliche Menge an senkrecht integrierten Photovoltaikmodulen in der Fassade, welche im Folgenden als ganze Anlage betrachtet werden.

Um den Plusenergie Passivhausstandard zu erreichen, muss zunächst der Strombedarf von ungefähr 22,4 Megawattstunden (MWh) pro Jahr durch die Photovoltaikanlage gedeckt werden. Die Fassadenanlage liefert dabei einen prognostizierten Ertrag von 8,5 Megawattstunden pro Jahr, womit sie den Strombedarf allein zu knapp 38 Prozent decken würde. Laut dem Abschlussbericht der zuständigen Bauherrengemeinschaft [19] wurden die Photovoltaikmodule des Herstellers Solarwatt speziell auf die Integration in diesem Gebäude angepasst. Die 90 verbauten Module sollen auf dem Modul 36 M von Solarwatt basieren, welche ursprünglich eine Modulleistung von 160 Wp aufweisen sollten. Da allerdings die gesamte installierte Leistung mit 15,05 kWp im Abschlussbericht angegeben wird, muss von einer fehlerhaften Berechnung der installierten Leistung ausgegangen werden. Denn bei 90 in der Fassade integrierten Photovoltaikmodulen mit einer Modulleistung von 160 Wp würde daraus eine gesamte installierte Leistung von 14,4 kWp resultieren.

Anhand der besonderen Akzentuierung durch die schwarzen Module auf einer weißen Fassade kann auch hier ein gestalterisches Konzept erkannt werden. An der Südwest-Fassade ist besonders gut zu erkennen, dass zwischen den einzelnen Fenstern eine Art gestalterischer Trennstrich gezogen wurde. Da das schwarze Band der integrierten Module genau an der Oberkante des obersten Fensters beginnt und an der Unterkante des Fensters im ersten Stock endet, bildet sich so eine gestalterische Fläche aus rhythmisierenden Elementen auf der Fassade aus. Diese Regelmäßigkeit konnte an der Südost-Fassade aufgrund der Fenster leider kaum fortgesetzt werden. Trotzdem bleibt der gestalterische Ansatz hier jedoch erhalten.

Auch hinsichtlich der Bauwerkintegration musste ein gestalterisches Hindernis überwunden werden. Die einzelnen Fassadenbänder entsprechen jeweils der Länge von fünf Modulen. Dies ist allerdings zu kurz für die zuvor beschriebene Strecke vom unteren Fenster bis zum oberen Fenster. Um das gestalterische Konzept trotzdem umsetzen zu können, wurde mittig im Fassadenband ein kleiner Freiraum gelassen, damit das Band aus Photovoltaik die gewünschte Länge bekommt. Die Lücke wurde zwar nicht durch ein Blindmodul geschlossen, trotzdem wurde sie farblich auf die Module abgestimmt, um den Eindruck eines verbundenen Bandes zu erhalten. Hier zeigt sich deutlich, dass der gestalterische Aspekt schwerer gewichtet wurde als der rein ökonomische, da ein verkürztes optisches Band kostengünstiger gewesen wäre.



### 5.2.7 Ehemaliges Solteature Firmengebäude

Das ehemalige Solteature Bürogebäude verfolgt einen ähnlichen gestalterischen Ansatz wie der Erweiterungsbau der FUSS EMV. Hier wurde das Gebäude allerdings noch konsequenter in schwarz verkleidet. Lediglich zwei einzelne Fassadenbänder aus Holz lockern die dunkle Fassade auf. Die schwarze Fassade ist erst auf den zweiten Blick als bauwerkintegrierte Photovoltaik zu erkennen, da die verbauten Dünnschichtmodule durch ihre homogen schwarze Oberfläche kaum an herkömmliche Siliziummodule erinnern. Zusätzlich wurde in die metallene Fassade der angrenzenden Fertigungshalle gelegentlich Photovoltaik integriert. Die einzelnen Felder aus Photovoltaik erzeugen auf der großen Fassadenfläche den Eindruck von Fenstern.

Die Solteature GmbH (früher: Sulfurcell) zählte früher zu den führenden Herstellern von CIGSe-basierten Dünnschicht-Solarmodulen, bis sie im Jahr 2012 Insolvenz anmelden musste. Nach Aussagen von Solteature kam es durch die hohen Überkapazitäten am Markt zu einem dramatischen Preisverfall für Solarmodule, welcher von der Firma nicht mehr kompensiert werden konnte. Da Solteature als großer Modulhersteller in Adlershof ansässig war, sind viele Photovoltaikanlagen im Betrachtungsgebiet mit den Modulen von Solteature bestückt worden. Der 2009 fertiggestellte Neubau der 17.000 Quadratmeter großen Fertigungshalle und des 3.000 Quadratmeter großen Bürokomplexes sollten eigentlich den Start in eine noch höhere Produktionskapazität einleiten. Wenige Jahre später steht das Gebäude nun leer.

In der Fassade des Gebäudekomplexes, bestehend aus der Fertigungshalle und dem Bürogebäude, sind insgesamt 900 Photovoltaikmodule installiert. Allein 700 davon sind an der Fassade des Bürogebäudes verbaut. Das Bürogebäude ist fast komplett mit Photovoltaik verkleidet, lediglich einzelne Fassadenbänder aus Holz bieten neben den großzügigen Fensterflächen einen gestalterischen Gegenpol. Durch den umfassenden Einsatz von Solarmodulen, fällt bei erster Betrachtung kaum ins Auge, dass es sich hier nicht um eine herkömmliche Fassade handelt. Die übrigen Module wurden in kleineren Gruppen in der Wellblechfassade der Fertigungshalle als Blickfang eingesetzt, um den Eindruck der konventionellen Industriefassade aufzubrechen. Die Module wurden dabei aus der eigenen Produktion bereitgestellt und gehören zu der Corium-Systemlösung. Hierbei handelt es sich nicht um ein einzelnes Modul, sondern um ein Kassettenfassadensystem, in dem zusätzlich zu dem Modul auch die gesamte Fassadenunterkonstruktion enthalten ist. Das in den Corium-Systemlösungen verwendete Modul ist ein schwarzes CIGSe-Modul der Linion L Serie. Da Solteature in den Jahren vor der Insolvenz große Fortschritte in der Steigerung des Modulwirkungsgrades gemacht hat, lässt sich die Modulleistung hier nicht genauer bestimmen. Solteature gibt auf ihrer Website keine spezifischen Informationen über die verbauten Module an, dafür aber eine gesamte installierte Leistung von 20 kWp für das Bürogebäude. Daraus würde allerdings eine außerordentlich geringe Modulleistung von unter 30 Wp resultieren, was im Vergleich zu anderen Modulen von Solteature auffallend gering wäre und an keinem anderen Gebäude in Adlershof derart verbaut

**Art der Anlage:***Fassadenanlage***Inst. Leistung:***20 kWp***Modulanzahl:***900***Inbetriebnahme:***2009*

wurde. Von der Website lassen sich Modulleistungen der Corium-Systemlösung sowie des einzelnen Linion L Moduls entnehmen. Diese übersteigen bei weitem die rechnerische Modulleistung, welche sich aus der Division der 20 kWp und den 700 Modulen ergibt. Das Datenblatt zur der Linion L Modulserie spricht von Leistungsbereichen zwischen 90 und 100 Wp.

Auf dem Dach der Produktionshalle befindet sich eine besonders große Aufdachanlage mit 5220 Modulen, welche eine installierte Leistung von 305,55 kWp erreicht. Für diese Anlage existiert ein externer Anlagenbetreiber, die Firma PROWIB Projektmanagement und Wirtschaftsberatung GmbH, welche diese Daten in das Marktstammdatenregister eingepflegt hat. Hier resultiert aus den Angaben eine Modulleistung von ungefähr 58,5 Wp pro Modul. Eine realistische Annahme, da hier die Modultypen SCG60-HV-F und SCG57-HV-F verbaut wurden, welche die jeweilige Modulleistung schon im Namen tragen.

Aufgrund dieser Unstimmigkeit zwischen installierter Leistung und Modulleistung der Fassadenanlage wird vom Autor angenommen, dass der Anlagenbetreiber auf seiner Website teilweise inkorrekte Daten angegeben hat. Eine etwa dreifach so hohe installierte Leistung von über 60 kWp scheint dabei eher realistisch.

Das besondere Merkmal der an der Fassade verbauten Module ist das ebenmäßig schwarze Erscheinungsbild und der Verzicht auf Rahmenelemente, wodurch die Module als homogene Glasfassade wahrgenommen werden können. Hierbei handelt es sich um eine Vollintegration der Module. Gestalterisch lässt sich das Firmengebäude der Solteature GmbH mit dem der FUSS EMV vergleichen. Beide setzen auf die elegante schwarze Optik, welche scheinbar durch eine schwarze Glasfassade erzeugt wird. Dass es sich um eine Solarfassade handelt, wurde durch die homogen schwarzen Module sowie die nahezu übergangslose Passform der einzelnen Kassetten erfolgreich verschleiert. Wie auf den Abbildungen 27 und 28 erkennbar wird, sind einige Module besonders in Bodennähe verschmutzt, wodurch die elegante Optik des Gebäudes beeinträchtigt wird. Gerade an den Modulrändern lassen sich graue Schlieren erkennen, was auf eine unregelmäßige Wartung und Reinigung schließen lässt. Von regelmäßigen Wartungen oder Reinigungen kann an dieser Photovoltaikanlage aber kaum ausgegangen werden, da das Gebäude nun schon fast 10 Jahre nicht mehr von Solteature genutzt wird und Solteature als ehemaliger Anlagenbetreiber schon lange insolvent ist. An der Produktionshalle, welche direkt an das Bürogebäude angrenzt, sind augenscheinlich Modulschäden durch Vandalismus aufgetreten. Wie in Abbildung 30 zu erkennen ist, sind von manchen Modulen in Bodennähe die Glasscheiben gesplittert. Dabei ist deutlich ein Punkt auszumachen, welcher auf eine Fremdeinwirkung hindeutet. Auffällig ist, dass keine dieser Schäden in größeren Höhen auftreten, sondern ausschließlich in Bodennähe, weshalb hier von einer mutwilligen Zerstörung ausgegangen werden muss.

Aufgrund der Insolvenz des Anlagenbetreibers sowie dem allgemeinen Zustand der Solarmodule, ist fraglich, ob die Anlage weiterhin an das Stromnetz angeschlossen ist. Falls die Anlage weiterhin einspeist, so sind aufgrund der Verschmutzung und Zerstörung mancher Module merkliche Ertragseinbußen zu erwarten.

### 5.2.8 Ferdinand-Braun-Institut (FBH)

Das Gebäude des Ferdinand-Braun-Institutes, Leibniz-Institut für Höchstfrequenztechnik in Berlin, wurde 2006 durch eine Solarwand erweitert, welche primär die Aufgabe erfüllen sollte, dem teilweise denkmalgeschützten Gebäude ein moderneres Erscheinungsbild zu ermöglichen. In den 70er Jahren, bevor das Institut überhaupt im Gebäude ansässig war, wurde das alte Gebäude um eine größere Halle erweitert, welche dem heutigen architektonischen Anspruch an Ästhetik nicht mehr gerecht wurde. Im Ferdinand-Braun-Institut entschied man daher, dass neben einer Sanierung unbedingt eine Anpassung der Außendarstellung an den schnell wachsenden Hochtechnologiestandort WISTA erforderlich war.

Auf der südwestlichen Seite des Gebäudekomplexes fällt die Solaranlage fast aufdringlich ins Auge. Ein meterlanger Wandschirm, welcher konkav nach innen gebogen an eine große Welle erinnert, verkleidet die jenseits gelegene Produktionshalle. Auf einem hellen Betonsteinvorbau beginnend schließt die Solarfassade oben an der Attika der Produktionshalle ab. Ungefähr 8 Meter hoch und 80 Meter lang erstreckt sich diese Welle aus schwarzen Dünnschichtmodulen entlang der Magnusstraße, direkt gegenüber des Elektronenspeicherrings BESSY II, welcher durchaus als ein Wahrzeichen des WISTA Standortes angesehen werden kann. Dieser Weichröntgen-Synchrotron ist in Deutschland einzigartig, weshalb umliegende Institute darunter leiden, stets im Schatten dieses technologischen Wunderwerks zu liegen. Mit der neuartigen Solarfassade schafft es das Ferdinand-Braun-Institut nicht nur gestalterisch die DDR-Vergangenheit abzulegen, sondern zusätzlich auch Aufmerksamkeit auf das zuvor unscheinbare Institut zu ziehen.

Verbaut wurden auch hier Dünnschichtmodule der Firma Solteature, welche sich zum damaligen Zeitpunkt noch Sulfurcell nannte. 732 CIS-Module des Typs SCG-55-HV liefern pro Modul 55 Wp, woraus allerdings laut der Dachland GmbH eine gesamte installierte Leistung von nur 39,1 kWp resultiert. Dies beruht auf Leistungsschwankungen der produzierten Module. Hersteller geben hier lediglich einen Bereich an, wie hoch die Modulleistung ausfallen kann. Am Ferdinand-Braun-Institut ist diese Schwankung anscheinend negativ für den Anlagenbetreiber ausgefallen, da der tatsächliche Wert unter der rein rechnerischen installierten Leistung von 40,26 kWp liegt.

Die Photovoltaikanlage wurde nicht in die Fassade des bestehenden Gebäudes integriert. Vielmehr wurde ein Betonsteinvorbau und eine Stahlkonstruktion vor die eigentliche Fassade der Produktionshalle gesetzt, welche dann mit Photovoltaik bestückt wurden. Unter, beziehungsweise hinter dieser Fassade bildet sich dadurch ein Raum aus, welcher vom Institut als Installations- und Lagerraum genutzt wird. Dort befindet sich auch die Elektronik der Photovoltaikanlage, wie zum Beispiel die Wechselrichter. Diese bauliche Erweiterung klassifiziert sich zwar in vielen Punkten als Gebäude, andererseits ist dieses Bauwerk nicht selbständig benutzbar. Nur durch den direkten Bezug zu der angrenzenden Produktionshalle kann sich hier ein abgeschlossener Raum bilden.

**Art der Anlage:***Fassadenanlage***Inst. Leistung:***39,1 kWp***Modulanzahl:***732***Inbetriebnahme:***2006*

Ein großer Vorteil dieser Konstruktion ist die Begehbarkeit der Anlage. Für eine technische Wartung ist es möglich, die Anlage von der Rückseite zu erreichen. Fehler oder Schäden können so einfacher erkannt und behoben werden. Wie auf den Abbildungen 34 und 35 zu sehen ist, liegen aktuell an manchen Modulen offensichtliche Schäden vor, welche die Funktion der Anlage beeinträchtigen. Von der Vorderseite aus, sind diese Schäden allerdings nicht zu erkennen. In Rücksprache mit dem Institutsleiter des Ferdinand-Braun-Institutes, Prof. Dr. Günther Tränkle, stellte sich hier heraus, dass diese Schäden bekannt seien, allerdings eine Reparatur nicht in Aussicht stehe. Auf Nachfrage beim Anlagenbetreiber wurde diese Aussage bestätigt. Die Dachland GmbH hat regelmäßig Wartungen durchgeführt und anfangs auch defekte Module ausgetauscht. Mittlerweile, nach der Insolvenz des Modulherstellers Solteature, gehen Ersatzteile zur Neige und identisch aussehende Module werden nicht mehr produziert. Da, laut Dachland, der Ertrag im Vergleich zu der äußerlichen Erscheinung dieser Anlage schon immer nebensächlich war, wurde hier auf eine Reparatur zu Gunsten der Optik verzichtet. Die Anlage liefert immer noch Strom, allerdings sind aktuell nur noch 5 der 6 Wechselrichter aktiv. Dadurch geht ungefähr ein Sechstel des Jahresertrages der Anlage verloren. Durch eine Betrachtung der Jahreserträge der letzten Jahre lässt sich ungefähr der Zeitpunkt bestimmen, wann die Verglasung der Module gebrochen sein muss. Trotz großer Schwankungen von rund 10 Prozent belief sich der Jahresertrag der Anlage auf ungefähr 20.000 kWh pro Jahr. Mit dem Jahr 2019 erreichte der Ertrag ein Rekordtief von lediglich rund 16.000 kWh im Jahr. Auch im Jahr 2020 verläuft der bezeichnende Graph für den Jahresertrag ähnlich. Es kann davon ausgegangen werden, dass auch in diesem Jahr ein deutlich reduzierter Ertrag aufgrund der fehlerhaften Module entstehen wird.

Durch eine Simulation mit der Software PV\*SOL lassen sich an dieser Stelle einige Anlagen-daten synthetisieren. Dadurch soll eine differenzierte Aussage zu der Anlage getroffen werden, um sie im Anschluss näher zu untersuchen. Als Grundlage dienen hier die 732 Solarmodule von Solteature, welche laut der Dachland GmbH zusammen eine Leistung von 39,1 kWp aufweisen. Die einzelne Modulleistung wurde trotzdem mit 55 Wp angesetzt, da eventuelle Schwankungen der Modulleistung nicht genau darstellbar sind. Die konkave Form der Fassade wurde vereinfacht und in vier einzelne Flächen aufgeteilt, jeweils mit einem unterschiedlichen Neigungswinkel. Um eine realistische Abschattungssimulation durchführen zu können, wurde ein Teil der Magnusstraße nachgebaut. Die folgende Abbildung 5 ist ein Screenshot aus dem Simulationsprogramm. Besonders viel Wert wurde auf die möglichst korrekte Darstellung des gegenüberliegenden Synchrotrons BESSY II und der Bäume gelegt.

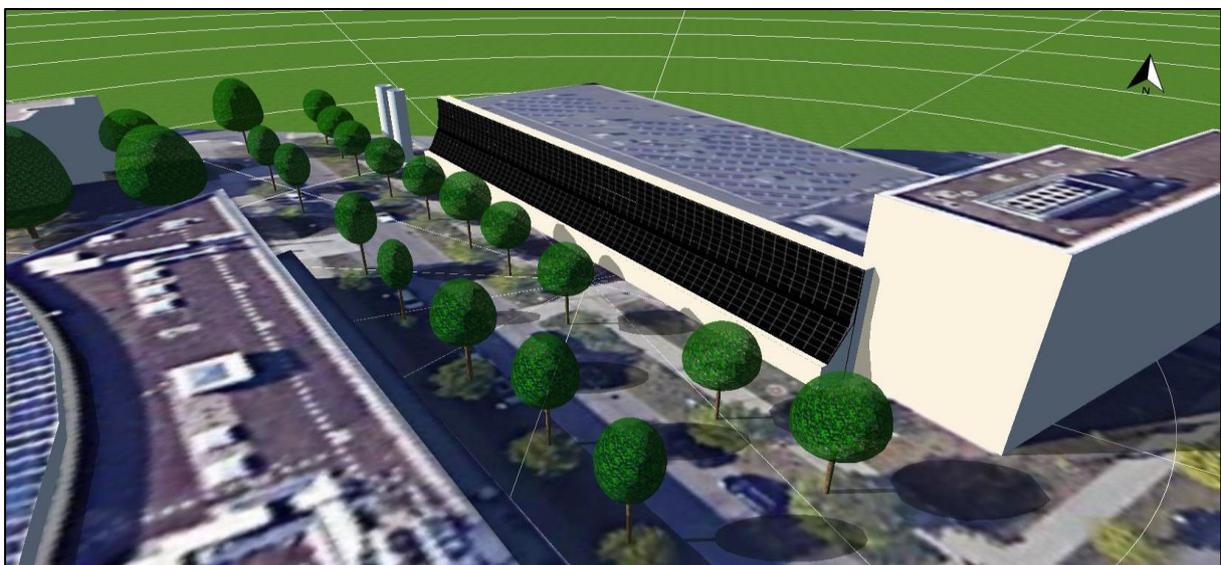


Abbildung 5: 3D-Modell des Ferdinand-Braun Instituts (Quelle: eigene Darstellung)

Mit bloßem Auge ist dabei schwer abzuschätzen, inwieweit die Fassadenanlage des Ferdinand-Braun-Instituts durch die Bäume oder das gegenüberliegende Gebäude verschattet werden könnte. Die Simulation mit PV\*SOL errechnet eine Ertragsminderung durch Abschattung von 11,5 Prozent, wodurch der Jahresenergieertrag von ungefähr 29.000 kWh pro Jahr auf nur noch ungefähr 25.700 kWh pro Jahr fällt. Im direkten Vergleich mit dem real gemessenen Ertrag der Solaranlage fällt hier auf, dass die Simulation einen höheren Ertrag errechnet. Der maximal gemessene Jahresertrag der Anlage liegt im Jahr 2018 lediglich bei 22.630 kWh pro Jahr, in anderen Jahren auch deutlich unter 20.000 kWh pro Jahr. Da das aktuelle Monitoring der Anlage erst Ende 2015 eingerichtet worden ist, lassen sich kaum Aussagen über die langfristige Moduldegradation treffen, welche an dieser Stelle eine mögliche Erklärung dieser Diskrepanz sein könnte. Die Abbildung 6 zeigt diese Diskrepanz der Jahreserträge zwischen den real gemessenen Werten und der Simulation mit PV\*SOL auf. Zu beachten ist hier, dass die Simulation zwar auf umfassende Klimadatensätze aus MeteoNorm zugreift, die Berechnung allerdings auf Grundlage eines typischen meteorologischen Jahres (TMY) getätigt wird. Dadurch treten über die betrachteten Jahre keine Schwankungen im Energieertrag auf.

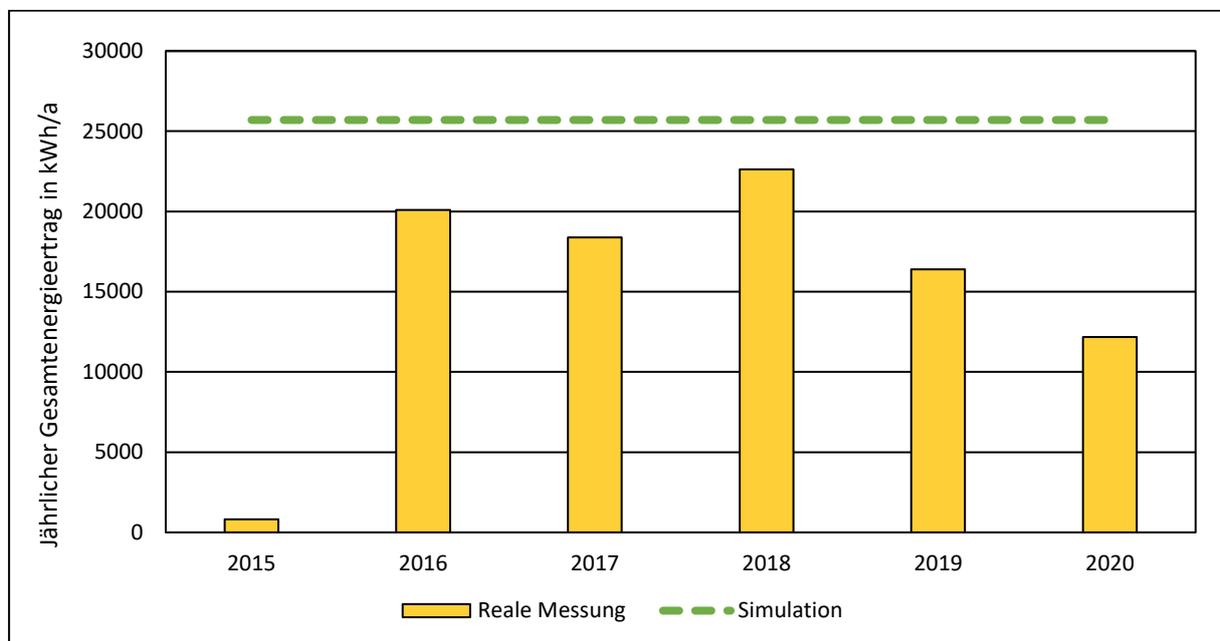


Abbildung 6: Vergleich zwischen realen und simulierten Ertragswerten am FBH (Quelle: eigene Darstellung)

Auch wenn die Simulation deutliche Unterschiede zu den realen Daten aufweist, stellt die Berechnung der Jahreserträge aus der Simulation eine gute Grundlage zum Vergleich mit den realen Anlagendaten dar. Eine Moduldegradation oder sonstige Umwelteinflüsse könnten die Leistung der gesamten Anlage in den zehn Jahren vor dem aktuellen Monitoring geschwächt haben, sodass die Anlage nun deutlich schlechter als zu Beginn läuft. Unter Berücksichtigung der Aussage der Dachland GmbH, dass Schäden nicht nur vereinzelt, sondern fast regelmäßig aufgetreten sind, gewinnt diese Vermutung an Aussagekraft.

Zusätzlich zu den Erträgen gibt PV\*SOL eine sogenannte Performance Ratio (PR) an, welche unter der Berücksichtigung aller Verluste in der Anlage eine Art gesamten Anlagenwirkungsgrad ist. Es wird dadurch ermittelt, wie gut die gesamte Anlage mit all ihren elektrischen Komponenten funktioniert, indem ein Verhältnis zwischen dem idealen und realen Energieertrag untersucht wird. Diese Performance Ratio beträgt bei der Simulation der Fassadenanlage des Ferdinand-Braun-Instituts 69,9 Prozent. Damit erzielt die Anlage keinen besonders hohen Wert, fällt allerdings auch nicht durch einen besonders niedrigen Wert auf.

### 5.2.9 Zentrum für Biotechnologie und Umwelt (ZBU)

Das ehemalige Zentrum für Umwelt- und Energietechnologie (damals: UTZ) wurde 1998 fertig gestellt. Noch heute, über 20 Jahre später, kann man die damals errichtete Sonnenschutz-Photovoltaikanlage am Zentrum für Biotechnologie und Umwelt begutachten. An der südwestlichen Seite des ZBU I lassen sich entlang der Volmerstraße mehrere Verschattungselemente ausmachen. Während auf der nördlichen Seite massive Betonplatten als offene Schotten für Schatten sorgen, sind auf der südlichen Seite ähnlich große Verschattungsanlagen errichtet worden, allerdings mit 14,4 kWp bauwerkintegrierter Photovoltaik bestückt.

An den Betonstelen direkt vor dem Haupteingang des ZBU I sind insgesamt sieben Verschattungselemente aus Photovoltaik installiert, welche leicht eingedreht fast direkt gen Süden zeigen. Die Betonstelen reichen, wie die Konstruktion der Photovoltaik, bis unter das überstehende Flachdach, da sie hier die tragenden baulichen Elemente darstellen. Die Solarmodule sind untereinander horizontal in eine Stahlkonstruktion eingefasst, welche baulich direkt mit den Betonstelen verbunden ist. Insgesamt befinden sich an einer Betonstelen nur jeweils acht Solarmodule. Dadurch entsteht oberhalb und unterhalb der Module ein Freiraum, da ein Modul nur eine vertikale Länge von ungefähr 1,5 Metern aufweist [4]. Die Module überspannen so eine vertikale Länge von 12 der 18 Meter der kompletten Gebäudehöhe. Die jeweils acht Solarmodule an einer Betonstelen sind vertikal in Reihe zu einem Modulstrang zusammengeschaltet worden. Jeweils zwei Modulstränge führen in zwei Wechselrichter, wobei der dritte Wechselrichter drei Modulstränge besitzt. Insgesamt sind also drei Wechselrichter für 7 Modulstränge verbaut worden. Dies wird zusätzlich in Abbildung 7 vereinfacht dargestellt.

Bei rückseitiger Betrachtung gegen die Sonne fällt hier eine Besonderheit der insgesamt 56 Module auf. Ähnlich wie beim ZPV wurden hier semitransparente Glas-Glas-Module verbaut, welche durch den transparenten Freiraum zwischen den einzelnen Solarzellen ein spannungsvolles Schattenspiel erzeugen. Zusätzlich wurden in den Modulen der Solon AG polykristalline Zellen aus den USA von ASTRO-Power ohne eine Antireflexionsschicht verbaut, um dem grauen Gestaltungsansatz nicht entgegenzuwirken [4] [20]. Dies lässt sich in einer Detailaufnahme in Abbildung 38 erkennen. Hier wurde sich also bewusst gegen die blaue Färbung durch eine Antireflexionsschicht entschieden, auch wenn daraus Ertragseinbußen von ungefähr zwei Prozent resultieren, was eindeutig für eine Bevorzugung des gestalterischen Aspekts vor dem funktionalen Aspekt spricht [20].

Diese Sonnenschutzanlage ist wie auch die zuvor betrachteten Sonnenschutzanlagen als applizierte Einbindung der Module zu bewerten. Hier lässt sich die Substitution der baulichen Sonnenschutzelemente durch Solarmodule besonders gut beobachten. Diese Art des Sonnenschutzes, wie er mit den vertikalen Elementen im südlichen Teil des Bauwerks durch Photovoltaik realisiert wurde, existiert in ähnlicher Form auch an anderen Stellen des



**Art der Anlage:**

*Sonnenschutz*

**Inst. Leistung:**

*14,4 kWp*

**Modulanzahl:**

*56*

**Inbetriebnahme:**

*1998*

Gebäudekomplexes. Dort wurde allerdings auf Photovoltaik verzichtet und lediglich eine massive Betonplatte verbaut. Effektiv erfüllen beide Verschattungselemente ihren primären Zweck, wohingegen durch die Integration von Photovoltaik noch eine zusätzliche Funktion hinzugefügt werden konnte.

Dem aufmerksamen Betrachter der Anlage fällt jedoch direkt ein Problem auf: Durch den Überhang des Flachdaches sind jeweils die obersten Module eines Strangs verschattet. In Abbildung 36 ist hier ungefähr eine Verschattung von 25 Prozent des obersten Moduls auszumachen. Bei einem höheren Sonnenstand in der Mittagszeit der Sommermonate ist die Verschattung sogar über mehrere Module zu beobachten. Selbst geringe Verschattungsgebiete können in der Photovoltaik zu enormen Ertragsverlusten führen, falls in einem unterschiedlich stark verschatteten String keine Leistungsoptimierer installiert wurden. Werden auch nur einzelne Zellen in einem Modul verschattet, so wirken diese wie eine Strombremse. Aufgrund der Reihenschaltung von Zellen und Modulen kann hier von einem „Gartenschlauchprinzip“ gesprochen werden. Wird der Schlauch an einer Stelle abgeknickt, so kommt hinten nur so viel Wasser an, wie durch die kleine Öffnung im Knick hindurch passt. Ähnlich verhält es sich in der Photovoltaik. Der gesamte Stromfluss im String ist nur noch so groß, wie an seiner schwächsten Stelle: in diesem Fall dem verschatteten Modul. Dadurch können die unverschatteten Module, welche eigentlich komplett funktionsfähig sind, auch nur noch eine kleinere Menge an Strom generieren. Folglich sinkt der gesamte Ertrag der Anlage drastisch genau während der Zeit, in der die Anlage am besten funktionieren sollte. Diese Fehlkonstruktion lässt sich kaum durch einen Fokus auf den gestalterischen Aspekt begründen, da es auch schon selbst ohne Leistungsoptimierer Lösungen gegeben hätte, wie man dieses offensichtliche Problem hätte umgehen können. Allein eine horizontale Verschaltung der Strings hätte hier einen merklichen Mehrertrag erzeugen können. Dafür hätte es allerdings kleiner baulicher Änderungen bedurft, welche die Leitungsführungen betreffen, die in der aktuellen Lösung innerhalb der Stahlkonstruktion verschwinden. Die einzelnen Modulreihen sind mit insgesamt drei Wechselrichtern verschaltet, sodass jedes Modul von einem Verschattungselement in einem Strang zusammengeschaltet ist. Dies wird zur Verdeutlichung in einem vereinfachten Ersatzschaltbild in Abbildung 7 aufgezeigt.

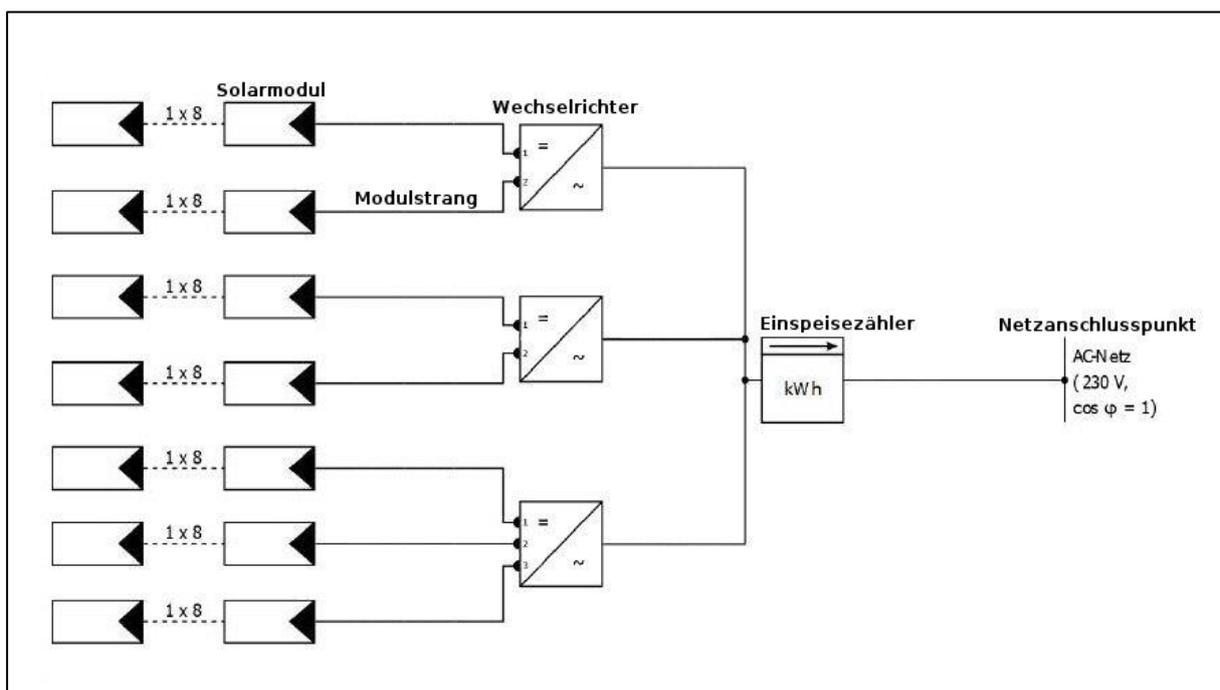


Abbildung 7: Ersatzschaltbild der Fassadenanlage am ZBU (Quelle: eigene Darstellung)

Um auch diese Anlage näher untersuchen zu können, wurden erneut Anlagendaten durch PV\*SOL synthetisiert. Da die Darstellung komplexer dreidimensionaler Körper in diesem Programm sehr limitiert ist, musste auch in dieser Simulation das Objekt stark vereinfacht dargestellt werden. Um eine möglichst identische Verschattungssituation der Module zu erzeugen, war es dennoch von enormer Wichtigkeit, den Überhang sowie die Ausrichtung der Modulflächen zu übernehmen. Die folgende Abbildung 8 zeigt das dreidimensionale Modell des Zentrums für Biotechnologie und Umwelt, welches trotz der Vereinfachung einen vergleichbaren Schattenwurf aufweist.



Abbildung 8: 3D-Modell des Zentrums für Biotechnologie und Umwelt (Quelle: eigene Darstellung)

Die Ergebnisse der Simulation bestätigen die anfänglichen Aussagen zur eingeschränkten Funktionalität der Anlage. Es wurde eine Ertragsminderung durch Abschattung von über 50 Prozent ermittelt, was den jährlichen Gesamtenergieertrag von ungefähr 8.000 kWh auf 4.255 kWh reduziert. Im Vergleich zu den von Dr.-Ing. Arch. Silke A. Krawietz benannten 2.500 kWh/a [20], ist auch in dieser Simulation ein deutlich höherer Ertrag simuliert worden. Da Krawietz' Betrachtung der Anlage nur wenige Jahre nach Inbetriebnahme datiert ist, lassen sich diese Diskrepanzen nicht durch Moduldegradationen oder mögliche Schäden erklären. Vielmehr wird an dieser Stelle eine leichte Abweichung der Simulation von den realen Gegebenheiten vermutet, da bei einer besonders starken Verschattung der Module Ungenauigkeiten in der Simulation schwerer gewichtet werden können. Wie schon in den Grundlagen erwähnt, ist die Darstellung eines solch komplexen Modellaufbaus nur vereinfacht möglich. Die Simulation ist hier nur eine Annäherung an die realen Umstände und ist potenziell fehlerbehaftet, weshalb hier offensichtlich ein anderer Ertrag ermittelt wurde.

Aufgrund der exzeptionell hohen Ertragseinbußen und des beachtlichen Alters der Anlage bietet sich hier die Überlegung eines Repowerings an. Da die Anlage am Ende des Jahres 2020 aus der Förderung durch das EEG herausfällt und somit kurzfristige Maßnahmen gefordert sind, wird im Kapitel 6.3.2 die Sinnhaftigkeit eines Repowerings näher untersucht.

### 5.2.10 The Curve

Fährt man Richtung Stadtautobahn das Ernst-Ruska-Ufer entlang, so fällt einem auf halber Strecke ein imposantes Gebäude auf der rechten Seite auf. Das Flachdach des großen Gebäudes flacht sich wellenförmig bis hin zum Betrachter ab und spitzt sich fast aggressiv zu einer einzigen spitzen Kante zu. Durch die namensgebende Kurve, welche das Dach hier schlägt, lässt sich auch von der Straße die begrünte Dachfläche und eine bauwerkintegrierte Photovoltaikanlage an der Dachkante erkennen.

Der ehemalige Firmensitz des bekannten PV-Unternehmens Solon Energy GmbH wurde 2009 etwas abseits des restlichen Technologiestandortes erbaut. 2016 wurde nach der Insolvenz von Solon das Gebäude an Signature Capital verkauft, welche damit ein „exzellentes“ Gebäude nach BREEAM-Standard <sup>5</sup> erwarben. Für diese hervorragende Nachhaltigkeitszertifizierung ist mitunter auch die Solaranlage verantwortlich.

Das Gebäude besitzt einen Dachüberhang, welcher aus einer tragenden Stahlkonstruktion und darauf montierten Solarmodulen besteht. Die Module lassen sich schnell als Glas-Glas-Module ausmachen, da auch hier durch eine semitransparente Glasscheibe geblickt werden kann. Zwischen den einzelnen Zellen befinden sich lichtdurchlässige Freiräume, welche bei Lichteinfall, genau wie im ZBU, für ein spannungsvolles Schattenspiel am Gebäude sorgen. Gerade zwischen dem südlichen und dem nördlichen Gebäudeteil stellt die Solaranlage die bauliche Verbindung her, durch den der breite Mittelgang lediglich wie ein Durchgang und nicht wie eine bauliche Trennung wirkt. Zusätzlich bildet die beschriebene Spitze dank der Solaranlage eine weitläufigere Überdachung aus Photovoltaikmodulen.

Es lässt sich argumentieren, ob es sich überhaupt um eine bauwerkintegrierte Solaranlage handelt, da hier eine Multifunktionalität zunächst nur durch die zusätzliche Funktion als Sonnenschutz beobachtet werden kann. Obwohl die Anlage nur kleine Teile der Fassade besonders bei einem flachen Sonnenstand verschattet und dadurch fraglich wird, ob die Anlage wirklich die primäre Maßnahme für den Sonnenschutz am Gebäude ist, lässt sich die Anlage als bauwerkintegriert bezeichnen. Die Solaranlage hat zwar neben der Stromerzeugung die zusätzliche Funktion, teilweise als Sonnenschutz zu dienen, allerdings ist sie primär als gestalterisches Element in die Fassade eingebunden worden. Klassifiziert man die Anlage klar als unverzichtbares Gestaltungselement, um dem Gebäude eine besonders markante Optik zu verleihen, so gilt die Solaranlage in diesem Fall trotzdem als bauwerkintegriert.

Laut der Signature Capital GmbH sollen ungefähr 15 Prozent des Energiebedarfs des gesamten Gebäudes durch die Solaranlage gedeckt werden. Dies wurde durch eine installierte Leistung von 164 kWp im umlaufenden Band erreicht, welche zusätzlich noch durch eine Aufdachanlage mit einer installierten Leistung von 46 kWp erweitert wurde [21]. Zu beachten ist dabei,



**Art der Anlage:**

*Sonnenschutz*

**Inst. Leistung:**

*164 kWp*

**Modulanzahl:**

*ca. 1000*

**Inbetriebnahme:**

*2009*

<sup>5</sup> Umfassendes internationales Bewertungssystem für Gebäude in Bezug auf Nachhaltigkeit

dass das Gebäude als ehemaliger Firmensitz eines Solarmodulherstellers zusätzlich auch den Produktionsort repräsentierte. Da die Produktion von Solarzellen und Modulen im Vergleich zu Bürotätigkeiten deutlich energieintensiver ist, muss somit die Deckung des Energiebedarfs in den Jahren nach der Auflösung der Solon GmbH merklich angestiegen sein. Zusammen sind hier ungefähr 1.000 Module verbaut worden, was diese Anlage zur größten betrachteten Anlage in dieser Untersuchung macht.

## 6 Repowering-Maßnahmen für alte BIPV-Anlagen

### 6.1 Repowering – Erneuerung statt Neuerrichtung

Im Folgenden wird erläutert, wie ein beispielhaftes Repowering einer Solaranlage von Statten geht. Einige Schritte werden immer durchgeführt werden müssen, sodass ein standardisierter Ablauf für die Umsetzung eines Repowerings erstellt werden kann.

Der Prozess eines Repowerings entsteht immer aus dem Problem heraus, dass die betrachtete Solaranlage entweder teilweise funktionsunfähig ist oder in der nächsten Zeit deinstalliert werden muss. Beide Fälle führen dazu, dass der Anlagenbetreiber keine Solaranlage mehr betreiben kann. Hier muss nach ausreichender Abwägung der Umstände entschieden werden, ob ein Repowering sinnvoll und technisch möglich ist, oder die Anlage aufgegeben und somit abgebaut werden muss. Sollte die Entscheidung für eine Erneuerung der Anlage fallen, dann folgt ein komplett neuer Planungsprozess zu einer eigentlich bereits bestehenden Solaranlage.

Je nach Anlagentyp müssen die Solarmodule unterschiedlich betrachtet werden. Der primäre Zweck eines Repowerings ist es entweder den Energieertrag zu erhöhen oder aber eine Altanlage weiter betreiben zu können. Eine Verbindung beider Motivationen ist dabei nicht ausgeschlossen. Es werden unterschiedliche Ansätze verfolgt, welche je nach Anlage das gewünschte Ergebnis erzielen.

Soll der Energieertrag einer bestehenden Anlage erhöht werden, da zum Beispiel Schäden aufgetreten sind, dann ist es sinnvoll leistungsstärkere Module zu installieren. Zwar lassen sich Ertragssteigerungen auch durch eine intelligente Verschaltung oder durch Anwendung von Leistungsoptimierern herbeiführen, häufig wurde die Anlagen bereits fachgerecht geplant, sodass lediglich neue Solarmodule einen signifikanten Mehrertrag erzielen können. Die restliche Anlage sollte also nach den neuen Modulen ausgelegt werden, da sie maßgebend für den Ertrag sind. Eine Leistungssteigerung kann hierbei schon mit einem größeren Modul erfolgen oder aber mit einem neueren Modell der gleichen Modulserie. Viele Hersteller haben in den letzten 20 Jahren kontinuierlich ihre Modulreihen verbessert [3], sodass eine Installation des Nachfolge-Modells wahrscheinlich schon einen deutlichen Mehrertrag erbringen kann. Da sich allerdings die elektrischen Parameter des Generators geändert haben können, müssen auch die restlichen elektrischen Komponenten angepasst werden. Es bedarf daher einer erneuten gesamtelektrischen Betrachtung des Systems.

Soll eine Altanlage lediglich neu aufgesetzt werden, sodass nach 20 Jahren Laufzeit eine Einspeisung in das Stromnetz immer noch möglich ist, so ist die Verwendung von leistungsstärkeren Solarmodulen nicht unbedingt erforderlich. Trotzdem werden identische Module kaum noch käuflich zu erwerben sein, da wie zuvor schon beschrieben, die Modulhersteller 20 Jahre später ausschließlich leistungsstärkere Module anbieten. Um einen so geringen Kostenaufwand wie möglich zu haben, sollten daher zuerst die restlichen elektrischen Komponenten betrachtet werden. Erst danach ist ein passender Modultyp zu wählen, welcher trotz höherer Modulleistung zum Beispiel durch Verringerung der gesamten Modulanzahl mit den bestehenden elektrischen Komponenten benutzt werden kann.

Gerade bei bauwerkintegrierten Anlagen ist das Einhalten der identischen Bemaßung der Module von besonders großer Wichtigkeit, da häufig eine streng limitierte Fläche zur Verfügung steht. Die Module dürfen hier weder zu groß noch zu klein sein, um die Konstruktion des Bauwerks nicht verändern zu müssen. Optimal wäre also eine Entscheidung für neue Solarmodule aus derselben Modulreihe oder aber Module, welche möglichst identische Abmessungen aufweisen. Zweiteres ist allerdings nur selten umsetzbar. Gerade Dünnschichtmodule, welche häufig für bauwerkintegrierte Photovoltaik verwendet werden, weisen leider noch kein großes Produktspektrum auf, wie es zum Beispiel bei Solarmodulen aus Silizium der Fall ist.

## 6.2 Sinnhaftigkeit von Repowering-Maßnahmen für BIPV-Anlagen

Eine bauwerkintegrierte Photovoltaikanlage bietet sich besonders für ein Repowering an. Muss eine Solaranlage abgebaut werden, da sie zum Beispiel funktionsunfähig geworden ist, tritt bei bauwerkintegrierten Anlagen ein besonderes Problem auf. Die Anlagen hinterlassen ein funktionales Loch, welches wieder gefüllt werden muss, wenn das Bauwerk nicht auch zurückgebaut wird. Es tritt also unweigerlich die Frage auf, ob die Solaranlage erneuert oder durch ein konventionelles Bauteil ersetzt wird. Eine Neuerrichtung ist zwar auch möglich, allerdings wirtschaftlich meist weniger profitabel. Die Errichtung von tragenden Stahlkonstruktionen, welche die Module in einer Fassadenanlage an ihrem Platz halten, wären bei einer neuen Solaranlage ebenfalls notwendig. Somit müsste diese alte Konstruktion abgebaut und eventuell eine fast identische, aber neuere Konstruktion aufgebaut werden. Einfacher ist es da, die neue Anlage so auszulegen, dass die alte Stahlkonstruktion, welche im Vergleich zur Solaranlagen eine deutlich höhere Lebensdauer hat, auch passend für die neuen Solarmodule verwendet werden kann. Ähnlich kann auch mit den restlichen elektrischen Bauteilen neben den Solarmodulen verfahren werden.

Da bauwerkintegrierte Photovoltaikanlagen noch nicht so lange wie herkömmliche Anlagen verbaut werden, sind diese Probleme bisher nur vereinzelt aufgetreten. Da allerdings in den kommenden Jahren mehr und mehr Anlagen aus der Vergütung fallen und somit potenziell abgebaut werden müssen, drängt sich die Idee des Repowerings förmlich auf. Die ersten Solaranlagen werden schon Ende dieses Jahres nach ihrer 20-jährigen Vergütung diese nicht mehr beziehen können. Denn jede Anlage, welche im Jahr 2000 oder davor installiert wurde, erreicht mit dem Jahr 2020 das Ende der Vergütungsperiode.

Bei einem hohen Eigenverbrauch der erzeugten Energie oder einem Power-Purchase-Agreement (PPA) ist die Vergütung meist nebensächlich. Wird der Strom nicht ins Netz eingespeist, sondern direkt verbraucht, so ist eine Betrachtung der Vergütung nicht relevant. In diesem Fall kann eine alte Anlage bis zur Funktionsunfähigkeit weiter betrieben werden, um einen maximalen wirtschaftlichen Nutzen zu erzielen. Gerade bei großen Anlagen in direkter Umgebung von energieintensiven Unternehmen ist für den Anlagenbetreiber ein sogenanntes onsite-PPA zu empfehlen. Hier wird ein Stromkaufvertrag abgeschlossen, wobei sich ein meist großes Unternehmen vertraglich verpflichtet, den günstigen Strom der naheliegenden Solaranlage abzunehmen. Dabei kann sich die Solaranlage auch auf dem Dach des Unternehmens befinden, welches den Strom bezieht. Unter Betrachtung der am Standort installierten Anlagen fällt auch auf, dass nur ein kleiner Teil der Solaranlagen in, an oder auf Gebäude wirklich auch von den Firmen betrieben wird, welche das Gebäude nutzen. Viele Institute oder Firmen am WISTA-Standort weisen einen energieintensiven Forschungs- oder Produktionsbetrieb auf, weshalb die energetische Unterstützung kleinerer Solaranlagen üblicherweise selbst bei maximaler Erzeugung kaum den Energiebedarf decken kann. Selbst wenn Leistungsspitzen nicht direkt verbraucht werden, können diese abgeregelt werden.

Trotzdem gilt es hier zu beachten, dass sorgfältig dazwischen abgewogen werden muss, wie nach Auslauf der EEG-Förderung mit der Anlage verfahren wird. Ist die Anlage voll funktionsfähig und weist einen soliden Ertrag auf, so kann es auch lohnend sein, die Anlage bis zur Funktionsunfähigkeit weiter zu betreiben. Gerade bei einem hohen Eigenverbrauchsanteil kann hier noch ein großer Gewinn erwirtschaftet werden, weshalb ein frühzeitiges Repowering nicht angebracht wäre.

Altanlagen, welche unter den vielen Betriebsjahren gelitten haben und teilweise größere Mängel aufweisen, qualifizieren sich eher für ein Repowering. Wird eine Anlage funktionsunfähig bevor sie aus der Vergütung durch das EEG fallen würde, so können Module ausgetauscht werden, ohne dass ein geringerer Vergütungssatz für eine Neuanlage bemessen wird.

## 6.3 Simulierte Ertragssteigerung bei Umsetzung von Repowering-Maßnahmen

### 6.3.1 Ferdinand-Braun-Institut

Das im Unterkapitel 5.2.8 untersuchte Ferdinand-Braun-Institut ist aufgrund des Alters und der vermehrt auftretenden Schäden für eine Repowering geeignet. Da auch hier die Photovoltaikanlage einen wichtigen Beitrag zur Außenwahrnehmung des Gebäudes liefert, wäre eine Deinstallation in den nächsten Jahren ein großer Verlust für das Institut. Eine frühzeitige Planung kann verhindern, dass überstürzt gehandelt werden muss. Durch ein Repowering könnte die Anlage erneuert werden und auch schon vor dem Wegfallen der Einspeisevergütung einen signifikanten Mehrertrag erzielen.

Da die verbauten Module der Solteature GmbH nicht weiter produziert werden und dementsprechend nicht mehr zu erwerben sind, müssen für ein Repowering zwangsläufig Solarmodule anderer Hersteller verwendet werden. Um von der bestehenden Konstruktion zu profitieren, wurde darauf geachtet, Module in möglichst identischen Abmessungen im Vergleich zu den zuvor verbauten Solteature Modulen zu verwenden. Das Avancis Skala Solarmodul der Avancis GmbH weist in seiner Standardausführung fast identische Maße zu den verbauten Solarmodulen von Solteature auf. Dieser Hersteller bietet sogar einen Kundenservice an, wobei die Größe der Module je nach Kundenwunsch skalierbar ist. Zwar sind auch dabei Grenzen vorhanden, allerdings ist hier lediglich ein Unterschied von wenigen Zentimetern im Vergleich zu den Solteature-Solarmodulen auszugleichen. Eine Skalierung der Modulgröße ist somit möglich und wurde für die Simulation angenommen.

Da die aktuell verfügbaren Skala-Module weitaus leistungsfähiger sind, als die alten Solteature-Solarmodule, ist bei der optimierten Simulation ein großer Anstieg in der installierten Leistung zu verzeichnen. 720 Solarmodule mit einer Modulleistung von je 140 Wp erreichen eine installierte Leistung der Photovoltaikanlage von insgesamt 100,8 kWp. Somit wurde die installierte Leistung im Vergleich zu den zuvor installierten 39,1 kWp mehr als verdoppelt. Die leistungsstärkeren Module haben allerdings den Nachteil, dass dadurch eine etwas geringere Modulanzahl installiert werden musste. Wird vertikal eine Modulreihe durch Blindmodule ersetzt, so kann die ungünstige Modulanzahl in der Horizontalen von 61 auf 60 Module pro Reihe reduziert werden. Dadurch lassen sich die Solarmodule horizontal besser in gleich große Stränge verschalten als bei der aktuellen Anzahl an Modulen. Verschaltet wird die Anlage mit je einem Wechselrichter pro horizontaler Modulreihe. Ausgewählt wurden hier 12 STP8.0-3AV-40 Wechselrichter der SMA Solar Technology AG.

Die neuen Komponenten führen auch zu einer beachtlichen Ertragssteigerung. Während die Anlage weiterhin Abschattungsverluste von über 10 Prozent erfährt, steigt der gesamte Energieertrag auf 65.150 kWh pro Jahr an. Auch die Performance Ratio mit 73,5 Prozent verbessert sich leicht. Mit dieser Menge an Strom aus erneuerbaren Energien lassen sich 30,62 Tonnen CO<sub>2</sub>-Emissionen pro Jahr vermeiden. Da hier ein umfassendes Repowering mit Austausch aller elektrischen Komponenten erforderlich wäre, ist die Planung und Projektierung sehr ähnlich zu einem Neubau einer Photovoltaikanlage. Wenn die Unterkonstruktion der Solarmodule nicht weiterverwendet werden kann und somit kein ursprüngliches Bauteil bestehen bleibt, ist fraglich, ob dann noch von einem Repowering gesprochen werden kann. Mit einer kompletten Deinstallation und Neuerrichtung der Anlage bleibt die Intention des Repowerings allerdings bestehen. Wichtig ist die Erneuerung der Anlage, sodass weiterhin eine auffällige bauwerkintegrierte Photovoltaikanlage das Image des Instituts aufwertet. Auch wenn eventuell kein bestehendes Bauteil für eine erneuerte Anlage weiterhin benutzt werden kann, ist das Ziel eine möglichst identisch aussehende Anlage mit verbesserter Funktionalität zu errichten. Nebenbei würde mit einem Repowering die Vergütungsproblematik eliminiert werden, sodass die Anlage in ein paar Jahren nicht vor demselben Problem steht, wie die nachfolgende Anlage des ZBU.

### 6.3.2 Zentrum für Biotechnologie und Umwelt

Die Konstruktion dieser Anlage ist wie unter 5.2.9 beschrieben kontraproduktiv für eine Stromerzeugung aus Photovoltaik. Nach Einschätzung des Autors ist die Umsetzung dieser Anlage ein Negativbeispiel für bauwerkintegrierte Photovoltaik. Zwar wurde hier ein gestalterisches Konzept verfolgt, allerdings wird die Energieerzeugung durch die äußeren Umstände so stark eingeschränkt, dass die Solaranlage kaum die Funktion des Generierens von elektrischem Strom erfüllen kann. Da die Anlage schon über 20 Jahre alt ist und somit in diesem Jahr aus der Vergütung durch das EEG fällt, muss kurzfristig entschieden werden, wie weiter mit ihr verfahren wird.

Bei einem Repowering dieser Anlage ließen sich durch verbesserte Wirkungsgrade der Solarmodule und den Einsatz von Leistungsoptimierern ein höherer Ertrag erzielen. Ein signifikanter Mehrertrag ließe sich jedoch aufgrund der allgemeinen Verschattungssituation nicht erreichen. Da eine umfassende bauliche Änderung des Gebäudes nicht realistisch ist und somit der Schattenwurf für eine erneuerte Anlage identisch ausfiele, wäre die Umsetzung eines Repowerings nur unter zwei Szenarien sinnvoll. Wenn einerseits eine sichtbare Photovoltaikanlage am Haupteingang des Zentrums die Außenwirkung zwingend aufwerten soll oder aber eine alternative Sonnenschutzvorrichtung kostspieliger als die Erneuerung der Photovoltaikanlage wäre. Nur in diesen Fällen ließe sich die Umsetzung des nachfolgend beschriebenen Repowerings empfehlen.

Da die Module der Firma Solon heutzutage nicht mehr erhältlich sind und die gegenwärtig verwendeten Module spezielle Sonderanfertigungen mit Zellen aus den USA sind, müssten zwangsläufig Module eines anderen Herstellers verbaut werden. Die Modulabmessungen verschiedener Hersteller können sich in Breite und Höhe bisweilen stark unterscheiden, weshalb auch in diesem Fall leider kein Modul in denselben oder ähnlichen Abmessungen verwendet werden kann. Dafür wäre allerdings eine Konstruktion aus zwei kleineren Modulen möglich, welche jeweils ein Bestehendes ersetzen. Da so die Stabilität der Konstruktion leidet, muss eine bauliche Erweiterung in Form von einer zentralen Stütze erfolgen, welche mittig zwischen den Modulen angebracht wird. Die neuen „Elegante“-Module der Firma aleo Solar GmbH müssen anders als die vorherigen Module vertikal verbaut werden, da die zweifache Länge der kurzen Kanten von den neuen Modulen ungefähr der Länge der langen Kante der alten Module entspricht. Des Weiteren sind die neuen Solarmodule auch semitransparente Glas-Glas-Module, welche wie die alten Solarmodule der Solon AG teilweise lichtdurchlässig sind. Insgesamt werden an einem Sonnenschutzelement 12 Module mit einer Leistung von jeweils 200 Wp installiert. Die gesamte installierte Leistung steigt somit auf 16,8 kWp mit 84 Modulen an. Durch die Verwendung von Leistungsoptimierern der SolarEdge Technology Inc. an jedem Modul sowie der Aufteilung auf eine höhere Modulanzahl, können die Abschattungsverluste von über 50 Prozent auf 46,3 Prozent reduziert werden. Die Anwendung der SolarEdge Leistungsoptimierer erfordert zusätzlich auch SolarEdge Wechselrichter. Verbaut werden für jeden Modulstrang jeweils ein SolarEdge SE2200H-EU-APAC Wechselrichter. Der gesamte Energieertrag steigt lediglich auf 6.624 kWh pro Jahr an, was im Vergleich zu dem baulichen und wirtschaftlichen Aufwand keinen großen Zugewinn darstellt.

Da das hauptsächliche Problem für den geringen Ertrag der Photovoltaikanlage nicht bei den elektrischen Komponenten, sondern an der baulichen Umgebung liegt, kann durch ein Repowering kein großer Mehrertrag erzielt werden. Da dieses Repowering eine große Anzahl an Leistungsoptimierern und bauliche Änderungen an der stabilisierenden Stahlkonstruktion vorsieht, ist somit ein großer wirtschaftlicher Aufwand zu erwarten. Dieser wird durch den Betrieb der Solaranlage nicht aufgewogen werden können. Letztlich lässt sich die Umsetzung nur empfehlen, wenn für die Ästhetik des Gebäudes eine bauwerkintegrierte Solaranlage im Eingangsbereich als zwingend erforderlich angesehen wird. In diesem Fall sind Kosten und Funktionalität zu vernachlässigen und das vorgeschlagene Repowering kann umgesetzt werden.

## 7 Fazit

Das Betrachtungsgebiet spiegelt mit seinen Anlagen ein Problem deutscher Photovoltaikanlagen verdichtet wider. Es existiert ein breites Spektrum an Photovoltaikanlagen, welche über den Zeitraum der letzten 20 Jahre vermehrt installiert wurden. Somit gibt es auch Anlagen, welche nun fast 20 Jahre oder sogar älter sind. Anlagenbetreiber von Altanlagen, welche mittlerweile fast 20 Jahre durch das Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) gefördert wurden, sind nach Ablauf der Vergütungsperiode weiterhin verpflichtet bestimmte Regularien für ihre Anlagen einzuhalten. Problematisch ist hierbei, dass nach dem EEG jeder Anlage eine Veräußerungsform zugeordnet werden muss, aber zeitgleich kein Netzbetreiber den Strom mehr abnehmen muss. Potenziell kann dies schlussendlich zur Deinstallation der Anlage führen, ohne dass die Anlage je funktional beeinträchtigt war. Auch bauwerkintegrierte Photovoltaikanlagen bestehen seit einigen Jahren, sodass auch hier die ersten Anlagen mit dem Ende des Jahres 2020 aus der Vergütung fallen. Da die Photovoltaikanlage bei einer Bauwerkintegration als essenzieller Teil des Bauwerks besteht, wäre eine Deinstallation ein großer Einschnitt in die Funktionalität des Bauwerks. Somit ist die Auswirkung der Problematik für bauwerkintegrierte Photovoltaikanlagen gravierender zu gewichten als für additive Aufdachanlagen.

Als Lösungsansatz wurde das aus der Windenergiebranche bekannte Konzept des Repowerings untersucht. Durch Teilerneuerung der elektrischen Komponenten, kann die Leistung der Anlage gesteigert werden oder im Schadenfall wieder funktionsfähig gemacht werden. Dieses Konzept kann so auch auf die Photovoltaik übertragen werden, wenngleich bei einer Photovoltaikanlage deutlich weniger nicht elektrische Bauteile als bei einer Windenergieanlage vorhanden sind. Ein Repowering kommt bei den meisten Anlagen somit einer Neuerrichtung gleich. Lediglich bei bauwerkintegrierten Photovoltaikanlagen, welche zusätzlich auch aufwändige Unterkonstruktionen aufweisen, kann ein signifikanter Bestand an nicht elektrischen Bauteilen weiterverwendet werden.

Bei genauerer Untersuchung zweier besonders geeigneter Anlagen für ein Repowering konnte zunächst festgestellt werden, dass eine Ertragssteigerung durch den Einsatz neuer Solarmodule generell einfach zu erzielen ist. Das Repowering, beziehungsweise die Optimierung der Anlage, war allerdings unterschiedlich erfolgreich, sodass vorab schon deutlich wird, dass nicht jede Photovoltaikanlage für ein Repowering geeignet ist.

Die bauwerkintegrierte Photovoltaikanlage des Ferdinand-Braun-Instituts sieht zwar äußerlich noch vollkommen funktionsfähig aus, ist aber bei eingehender Untersuchung und Überprüfung des Energieertrags als beschädigt zu klassifizieren. Aufgrund von Glasbrüchen liefern ganze Modulstränge keinen Strom, sodass der Ertrag stark eingeschränkt wird. Durch ein Repowering können nicht nur die Module, sondern auch die ganze Anlage bis zu einem Punkt erneuert werden, an dem ein fast dreifacher Energieertrag pro Jahr erzielt werden kann. Die Anlage würde somit eine weit höhere Funktionalität auf der bisherigen Fläche aufweisen und wäre als „neue“ Anlage nicht in den kommenden Jahren durch das Wegfallen der Vergütung durch das EEG gefährdet. Zusätzlich würde durch dieses Vorzeigeprojekt große mediale Aufmerksamkeit für das Institut entstehen. Da ein Rückbau der Photovoltaikanlage ohne weitere bauliche Maßnahmen aus ästhetischen Gründen nicht infrage kommt, müsste nach Abbau der Photovoltaikanlage ohnehin ein wirtschaftlicher Aufwand betrieben werden, um die Erscheinung der Fassade wieder ansprechend zu gestalten. Somit ist an dieser Stelle ein Repowering ausdrücklich zu empfehlen.

Anders sieht es bei der bauwerkintegrierten Photovoltaikanlage am Zentrum für Biotechnologie und Umwelt aus. Die über 20 Jahre alte Anlage steht vor dem Problem, dass ab Beginn des Jahres 2021 der Netzbetreiber den erzeugten Strom aus der Anlage nicht weiter abnehmen muss. Wird die Anlage nicht abgestellt oder erneuert, kann bei weiterer Einspeisung der komplette Netzanschluss abgestellt werden. Um das zu verhindern wurden auch hier

theoretische Überlegungen für ein mögliches Repowering angestellt. Durch Austausch der großen Solon-Solarmodule gegen mehrere kleine Solarmodule des Modulherstellers also Solar könnte zwar die installierte Leistung sowie der Ertrag erhöht werden, ein signifikanter Mehrertrag ist jedoch nicht zu erwarten. Aufgrund der allgemeinen Verschattungssituation wird für diese Anlage von einem Repowering abgeraten, da ohne massive bauliche Eingriffe in das Gebäude weiterhin große Teile der Anlage verschattet bleiben. Trotzdem wäre ein Repowering möglich, wenn Kosten und Funktionalität zweitrangig hinter das Gestaltungskonzept zurücktreten würden.

Abschließend lässt sich feststellen, dass Repowering-Maßnahmen für bauwerkintegrierte Anlagen eine Möglichkeit darstellen, im Schadensfall oder nach Beendigung der Vergütungsperiode die Anlage weiterhin zu betreiben. Gerade bei besonders alten oder stark beschädigten Anlagen lassen sich somit weitaus höhere Energieerträge erzielen. Für die bauwerkintegrierten Photovoltaikanlagen am Wissenschaftsstandort WISTA in Adlershof sind diese Maßnahmen allerdings nicht umfassend anzuwenden, da am Beispiel des Zentrums für Biotechnologie und Umwelt aufgezeigt wird, dass nicht jede Anlage für ein Repowering geeignet ist. Jede Anlage bedarf einer eingehenden Prüfung, bevor weitere Planungsschritte vollzogen werden können. Für einzelne Anlagen kann jedoch ein besonders hoher Mehrertrag durch ein Repowering erzielt werden, wie am Beispiel des Ferdinand-Braun-Institutes nachzuvollziehen ist. Die aufwändige Prüfung einer Anlage kann somit als potenziell sehr lukrativ für den Anlagenbetreiber eingeschätzt werden. Da allerdings nicht jede Anlage durch ein Repowering erneuert werden kann, muss im kommenden Gesetzesentwurf dringend eine angepasste Regelung für Altanlagen aufgenommen werden, um zu verhindern, dass Deutschland einen enormen Rückbau an Photovoltaikanlagen erfährt.

## 8 Literaturverzeichnis

- [1] BUNDESNETZAGENTUR für Elektrizität, Gas, Telekommunikation, Post und Eisenbahnen (2020): *EEG-Registerdaten und Fördersätze: PV-Anlagen (außer PV-Freiflächenanlagen)*, in: Bundesnetzagentur, verfügbar unter: [https://www.bundesnetzagentur.de/DE/Sachgebiete/ElektrizitaetundGas/Unternehmen\\_Institutionen/ErneuerbareEnergien/ZahlenDatenInformationen/EEG\\_Registerdaten/EEG\\_RegDaten\\_FoerdSaetze.html](https://www.bundesnetzagentur.de/DE/Sachgebiete/ElektrizitaetundGas/Unternehmen_Institutionen/ErneuerbareEnergien/ZahlenDatenInformationen/EEG_Registerdaten/EEG_RegDaten_FoerdSaetze.html), 21.09.2020
- [2] WIRTH, Harry (2020): *Aktuelle Fakten zur Photovoltaik in Deutschland*, in: Fraunhofer ISE, verfügbar unter: <https://www.ise.fraunhofer.de/de/veroeffentlichungen/studien/aktuelle-fakten-zur-photovoltaik-in-deutschland.html>, 21.09.2020
- [3] QUASCHNING, Volker (2015): *Regenerative Energiesysteme. Technologie – Berechnung – Simulation.*, 9., aktualisierte und erweiterte Auflage, München: Hanser. ISBN 978-3-446-44267-2
- [4] LANGE, Sebastian (2020): *Handlungspflicht: Ü20-Anlagen nicht einfach weiterlaufen lassen.*, in: MEIN PV-ANWALT, verfügbar unter: <https://mein-pv-anwalt.de/ue20-anlagen-nicht-einfach-weiterlaufen-lassen/>, 21.09.2020
- [5] REXROTH, Susanne (Hrsg.) (2002): *Gestalten mit Solarzellen - Photovoltaik in der Gebäudehülle.*, Heidelberg: Müller. ISBN 3-7880-7700-X
- [6] WORMUTH, R. und SCHNEIDER, K.-J. (Hrsg.) (2016): *Baulexikon - Erläuterung wichtiger Begriffe des Bauwesens.*, 3., aktualisierte und erweiterte Auflage, Berlin, Wien, Zürich: Beuth (Bauwerk). ISBN 978-3-410-24655-8
- [7] CLEARINGSTELLE EEG | KWKG (2011): *Hinweis 2011/10 – „Gebäude“ und „Lärmschutzwand“ im EEG 2009 und EEG 2012.*, in: Clearingstelle EEG, verfügbar unter: <https://www.clearingstelle-eeg-kwkg.de/hinwv/2011/10>, 21.09.2020
- [8] HAGEMANN, Ingo B. (2002): *Gebäudeintegrierte Photovoltaik – Architektonische Integration der Photovoltaik in die Gebäudehülle* [Dissertation]., Technische Hochschule Aachen, Köln: Müller. ISBN 3-481-01776-6
- [9] SCHITTICH, Christian (Hrsg.) (2003): im DETAIL: *Solares Bauen. Strategien – Visionen – Konzepte.*, Basel, Berlin, Boston: Birkhäuser
- [10] BÖTTCHER, Jörg (Hrsg.) (2012): *Handbuch Windenergie. Onshore-Projekte: Realisierung, Finanzierung, Recht und Technik.*, München: Oldenbourg. ISBN 978-3-486-70701-4
- [11] HOFMANN, M. und SECKMEYER, G. (2017): *A New Model for Estimating the Diffuse Fraction of Solar Irradiance for Photovoltaic System Solutions*, in: *Energies* 2017, 10, 248., verfügbar unter: <https://doi.org/10.3390/en10020248>, 21.09.2020
- [12] WISTA Management GmbH (2020): *Berlin Adlershof: Daten und Fakten*, verfügbar unter: <https://www.adlershof.de/news/berlin-adlershof-daten-und-fakten-5/>, 21.09.2020
- [13] WISTA Management GmbH (2020): *Von den Pionieren der Lüfte und des Lichtspiels zum Wissenschafts- und Technologiepark.*, verfügbar unter: <https://www.adlershof.de/kiez/geschichte/>, 21.09.2020
- [14] HELMHOLTZ-ZENTRUM Berlin für Materialien und Energie (Hrsg.) (2020): *BAIP - Beratungsstelle für bauwerkintegrierte Photovoltaik.*, verfügbar unter: [https://www.helmholtz-berlin.de/projects/baip/index\\_de.html](https://www.helmholtz-berlin.de/projects/baip/index_de.html), 21.09.2020
- [15] WISTA Management GmbH (2020): *Unsere Schwerpunkte: Technologieförderung – Immobilienvermarktung – Gründer Support – Gebäudemanagement – Eventmanagement – Stadtentwicklung.*, verfügbar unter: <https://www.wista.de>, 21.09.2020

- [16] WISTA Management GmbH (2014): *PHOTOVOLTAIK UND ERNEUERBARE ENERGIEN in Berlin Adlershof*. [Flyer], Berlin: WISTA Management GmbH
- [17] BUNDESNETZAGENTUR für Elektrizität, Gas, Telekommunikation, Post und Eisenbahnen (2020): *Marktstammdatenregister: Aktuelle Einheitenübersicht.*, in: Bundesnetzagentur, URL: <https://www.marktstammdatenregister.de/MaStR/Einheit/Einheiten/OeffentlicheEinheitenuebersicht>, 21.09.2020
- [18] SENATSVERWALTUNG für Wirtschaft, Energie und Betriebe (Hrsg.) (2020): *Berliner Energieatlas.*, in: BerlinOnline Stadtportal, URL: <https://energieatlas.berlin.de>, 21.09.2020
- [19] PLOSCHIES und HERMANN (2016): *Abschlussbericht: Energetische Konzeption einer „Solar-Plus-Energie“-Siedlung in Berlin Adlershof als generationsübergreifende Siedlung im Baugruppenmodell.*, in: Deimel Oelschläger Architekten Partnerschaft, URL: <http://deo-berlin.de/projekte/wohnungs-und-staedtebau#newtonprojekt-8b>, 21.09.2020
- [20] KRAWIETZ, Silke A. (2003): *Gebäudeintegration von Photovoltaik (GIPV) in Europa*. [Dissertation], Technische Universität Darmstadt, verfügbar unter: <https://tuprints.ulb.tu-darmstadt.de/epda/000290/>, 21.09.2020
- [21] SIGNATURE Capital GmbH (2018): *SUSTAINABLE WITH THE HIGHEST STANDARDS.*, in: curve Berlin-Adlershof, URL: <http://curve-berlin.com/#sustainable>, 21.09.2020

## 9 Anhang

### 9.1 Datenbank und grafische Übersichten des Betrachtungsgebietes

Zur Erhebung der technischen Daten aller Photovoltaikanlagen im Betrachtungsgebiet wurde eine Datenbank mit Microsoft Excel erstellt, um eine Übersicht zu schaffen, in der die einzelnen Anlagen vergleichbar aufgeführt werden. Diese werden nun nachfolgend in zwei Teilen als Tabelle 1 und 2 aufgeführt.

Anschließend folgen die Abbildungen 3 und 4. Diese werden zwar wiederholt aufgeführt, trotzdem ist hier eine erneute Beschriftung erforderlich. Die Abbildung 9 und 10, welche an dieser Stelle lediglich in höherer Auflösung noch einmal dargestellt werden, sind identisch zu den in Kapitel 5 aufgezeigten Abbildungen.

Tabelle 1: Datenbank Teil 1: PV-Anlagen am WISTA-Standort

Quelle	BIPV?	Gebäude/Unternehmen	Errichter/Anlagenbetreiber	Straße	Installierte Leistung	Zell- und Anlagentyp	Anmerkungen	In Betrieb seit	Modulanzahl	Zellen/Module von
WISTA	NEIN	AM OKTOGON	C & S Solar/Imexa	Rudower Chaussee 44	410	CIS, Aufdach	größte Dachanlage am Standort	2005	-	Soltecture
WISTA	JA	Zentrum für PV und EE Fassade	Dachland	Johann-Hittorf-Str. 8	25,2	poly-Si, Sonnenschutz	-	2013	140	Solarwatt
WISTA	NEIN	Zentrum für PV und EE Dach	Dachland	Johann-Hittorf-Str. 8	34	poly-Si, Aufdach	-	2013	-	Solarwatt
WISTA	NEIN	Technikum	Soltecture	Barbara-McClintock-Str. 11	4	CIS, Aufdach	-	2007	-	Soltecture
WISTA	JA	FUSS-EMV Erweiterungsbau	FUSS EMV & Dachland/ FUSS EMV	Johann-Hittorf-Str. 6	35	ClG <sub>2</sub> , Fassade	-	2013	-	Avancis
WISTA	NEIN	FUSS-EMV	-	Johann-Hittorf-Str. 6	25	Aufdach	-	2008	-	Soltecture
WISTA	NEIN	FUSS-EMV	-	Johann-Hittorf-Str. 6	40	Aufdach	-	2011	-	Q-Cells
WISTA	JA	Institut für Kristallzüchtung	Dachland	Max-Born-Straße 2	4,45	poly-Si, Sonnenschutz	-	2010	-	Q-Cells/Solon
WISTA	NEIN	Institut für Kristallzüchtung	Dachland	Max-Born-Straße 2	21,03	poly-Si, Aufdach	-	2011	-	Q-Cells/Solon
WISTA	NEIN	ZPO-Gebäude (WISTA)	Dachland	Schwarzschildestraße 8-12	46,85	poly-Si, Aufdach	SOLfix Solon	2012	-	Solon
WISTA	NEIN	BTB	Dachland/BTB Berlin	Albert-Einstein-Str. 22	18	poly-Si, Aufdach	-	2007	-	Q-Cells/Solon
MSDR/EA	NEIN	Johann-Von-Neumann-Haus	Menag Energie/BTB Berlin	Rudower Chaussee 25	45,96	mono-Si, Aufdach	-	2001	326	verschiedene
WISTA/EA	NEIN	WISTA	Menag Energie/S.A.G Solarstrom	Kekuléstraße 2	33,12	mono-Si, Aufdach	-	2000	-	Astro-Power/Solarfabrik
WISTA/EA	NEIN	WISTA	Menag Energie/S.A.G Solarstrom	Rudower Chaussee 17	33,12	mono-Si, Aufdach	-	2000	-	Astro-Power/Solarfabrik
WISTA	NEIN	Europa-Center	Dachland	Walther-Nernst-Str. 1	29,3	poly-Si, Aufdach	-	2009	-	Q-Cells/Solon
WISTA/Dachland	JA	Ferdinand-Braun-Institut	Dachland	Gustav-Kirchhoff-Str. 4	39,1	CIS, Fassade	konkaver Fassade über 80 Meter	2006	732	Soltecture (Sulfurell SCG-55 HV)
WISTA	NEIN	Altbau FBH	Dachland	Gustav-Kirchhoff-Str. 4	18,1	CIS, Aufdach	-	2007	-	Soltecture
WISTA	NEIN	PTB	Dachland/FBH	Gustav-Kirchhoff-Str. 4	29	poly-Si, Aufdach	-	2006	-	Q-Cells/Solon
WISTA	NEIN	ZMM	Dachland	Max-Planck-Str. 3	21,14	CIS, Aufdach	-	2010	-	Soltecture
WISTA	JA	ZBU Gebäude, Fassade	Solon/Berliner Energieagentur	Volmerstraße 5-9	14,4	poly-Si, Sonnenschutz	keine Antireflexionsschicht	1998	56	Module Solon/ Zellen ASTRO-Power
WISTA/EA	NEIN	ZBU Gebäude, Dach	Dachland/Dachland & BTB	Volmerstraße 5-9	47,06	poly-Si, Aufdach	-	2007	-	Q-Cells/Solon
WISTA	NEIN	AZBA	Dachland/AZBA	Justus-von-Liebig-Straße	10	poly-Si, Aufdach	-	2011	-	Q-Cells/Solon
WISTA	NEIN	Studio H	Dachland/b-Solar	Am Studio 2	7,3	mono-Si, Aufdach	kleine Anlage in der Mitte des Dachs	2010	-	Solar Wind
WISTA	NEIN	Studio H	Dachland	Am Studio 2	63,33	poly-Si, Aufdach	große Anlage umschließt die vorherige Anlage	2011	-	Q-Cells/Solon
WISTA	NEIN	"Curve" (Ehemaliges Solon HQ)	Solon	Am Studio 16	20	poly-Si, Aufdach	kleine Testanlage	2009	-	-

Tabelle 2: Datenbank Teil 2: PV-Anlagen am WISTA-Standort

Quelle	BIPV?	Gebäude/Unternehmen	Errichter/Anlagenbetreiber	Straße	Installierte Leistung	Zell- und Anlagentyp	Anmerkungen	In Betrieb seit	Modulanzahl	Zellen/Module von
WISTA	NEIN	Solarstankstelle Solon	Yunicos/Solon	Am Studio 16	7,5	poly-Si, Tracker	-	2009	-	Q-Cells/Solon
WISTA/EA	JA	"Curve" (Ehemaliges Solon HQ)	Solon	Am Studio 16	164	poly-Si, Sonnenschutz	Anlage deckt 15% des Energiebedarfs	2009	~ 1000	Solon
WISTA	NEIN	"Curve" (Ehemaliges Solon HQ)	Solon	Am Studio 16	46	Aufdach	-	2009	-	-
WISTA	NEIN	Dachland Lager	Dachland	Am Studio 9-10	99,9	poly-Si, Aufdach	-	2011	-	Q-Cells/Solon
WISTA	NEIN	IGFA Gästehäuser	Dachland/GAFA	Wilhelm-Oswald-Str. 3 - 7	17,2	poly-Si, Aufdach	-	2010	-	Q-Cells/Solon
WISTA/EA	NEIN	ROST Werkstätten	WBN Wiesenburg/ROST	Am Studio 9	99,9	poly-Si, Aufdach	-	2007	-	Mitsubishi
WISTA/Solteure	JA	Solteure Firmengebäude	Solteure GmbH (früher Sulfurcell)	Groß-Berliner Damm 149	20	Fassade	Firma insolvent, Anlage evtl. außer Betrieb	2009	900	Solteure (Corium Systemlösung)
MaSTR	NEIN	Solteure Firmengebäude	PROWIB Projektmanagement und Wirtschaftsberatung GmbH	Groß-Berliner Damm 149	305,55	CIS, Aufdach	-	2009	5220	Sulfurcell/Solteure SCG60-HV-F & 57-HV-F
WISTA	NEIN	Freudenberg	Aurum Solar/Goldbeck-Solar	Groß-Berliner Damm 119	292,02	Aufdach	-	2011	-	Yingli (Typ YL235/Yingli)
MaSTR	NEIN	HOWOGE	-	Newtonstr. 4/4a	19,72	Aufdach	-	2020	68	-
MaSTR	NEIN	-	Berliner Energieagentur GmbH	Abram-Joffe-Straße 2	26,01	Aufdach	-	2015	102	-
MaSTR/EA	NEIN	-	Berliner Energieagentur GmbH	Groß-Berliner Damm 142-148	42,84	Aufdach	-	2015	168	-
MaSTR	NEIN	Berlin PV Future Living	Polarstern Erzeugungs GmbH	Konrad-Zuse-Straße 2	193,38	HIT, Aufdach	-	2020	595	Panasonic (HIT N330/N325)
MaSTR	NEIN	Bauer Elektroanlagen	Bauer Elektroanlagen GmbH	Karl-Ziegler-Straße 10	41,5	Aufdach	-	2014	166	-
MaSTR/EA	NEIN	System 180	-	Ernst-Augustin-Straße 3	65,79	Aufdach	-	-	-	-
MaSTR/EA	NEIN	Jordan	-	Ernst-Ruska-Ufer 2	106,33	Aufdach	-	2014	434	-
MaSTR/EA	NEIN	Farben-Frikell Berlin	Farben-Frikell Berlin	Ernst-Augustin-Straße 1	60	Aufdach	-	2013	240	-
HOWOGE	NEIN	HOWOGE (Powerhouse)	-	-	-	Aufdach	-	-	-	-
Porsche	JA	Porsche Tower	-	Hermann-Dörner-Allee 98	-	Fassade	-	2017	162	-
MaSTR/EA	NEIN	AVIVA24	Aviva24 Krüger & Tauchel GbR	Pfarrer-Goosmann-Straße 11	37,95	Aufdach	-	2019	138	-
EA	NEIN	ifp Institut für Produktqualität	-	Wagner-Régeny-Straße 8	54,06	Aufdach	-	-	-	-
EA	NEIN	Ahlberg Engineering GmbH	-	Igo-Erich-Straße 7	195,84	Aufdach	-	-	-	-
sglux	NEIN	sglux	sglux	Richard-Willstätter-Str. 8	9,66	mono-Si, Aufdach	-	2020	28	Q-Cells Q.PeaK-Duo-G6 345 W
HOWOGE	JA	HOWOGE Parkplatz	-	Newtonstraße 10-12	65	mono-Si, Sonnenschutz	inst. Leistung geschätzt!	-	216	-
DEO Architekten	JA	NEWTOMPROMJEKT 8B	-	Newtonstraße 12a	14,4	mono-Si, Fassade	inst. Leistung geschätzt!	2016	90	Solarwatt 36 M
DEO Architekten	NEIN	NEWTOMPROMJEKT 8B	-	-	-	Aufdach	-	-	-	-

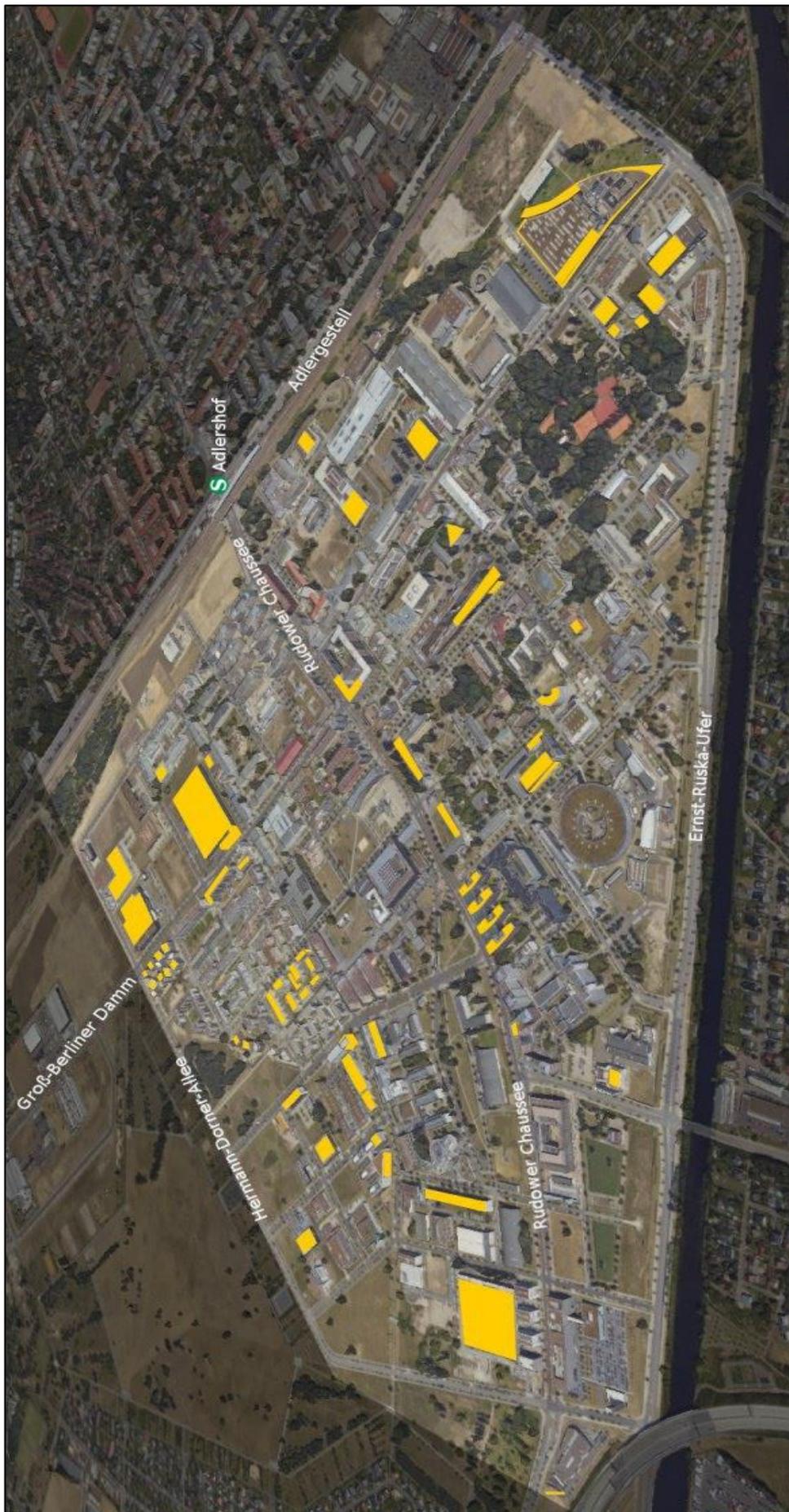


Abbildung 9: Abbildung 3 in hoher Auflösung (Quelle: eigene Darstellung)

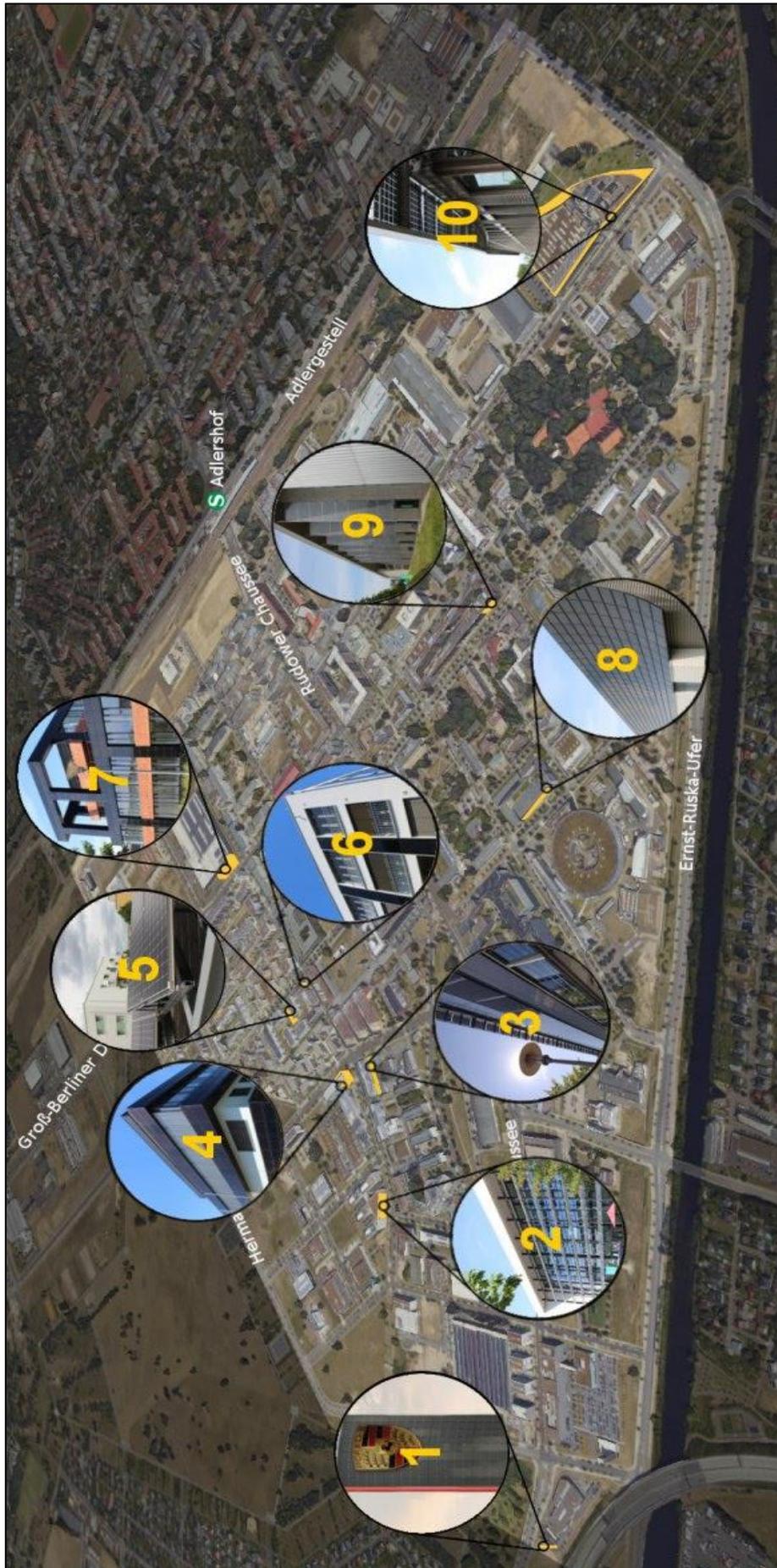


Abbildung 10: Abbildung 4 in hoher Auflösung (Quelle: eigene Darstellung)

## 9.2 Bilderkatalog der betrachteten BIPV-Anlagen



Abbildung 11: Porsche Solarpylon (Quelle: Porsche Niederlassung Berlin GmbH)



Abbildung 12: Zentrum für Photovoltaik und Erneuerbare Energien (Quelle: eigene Darstellung)

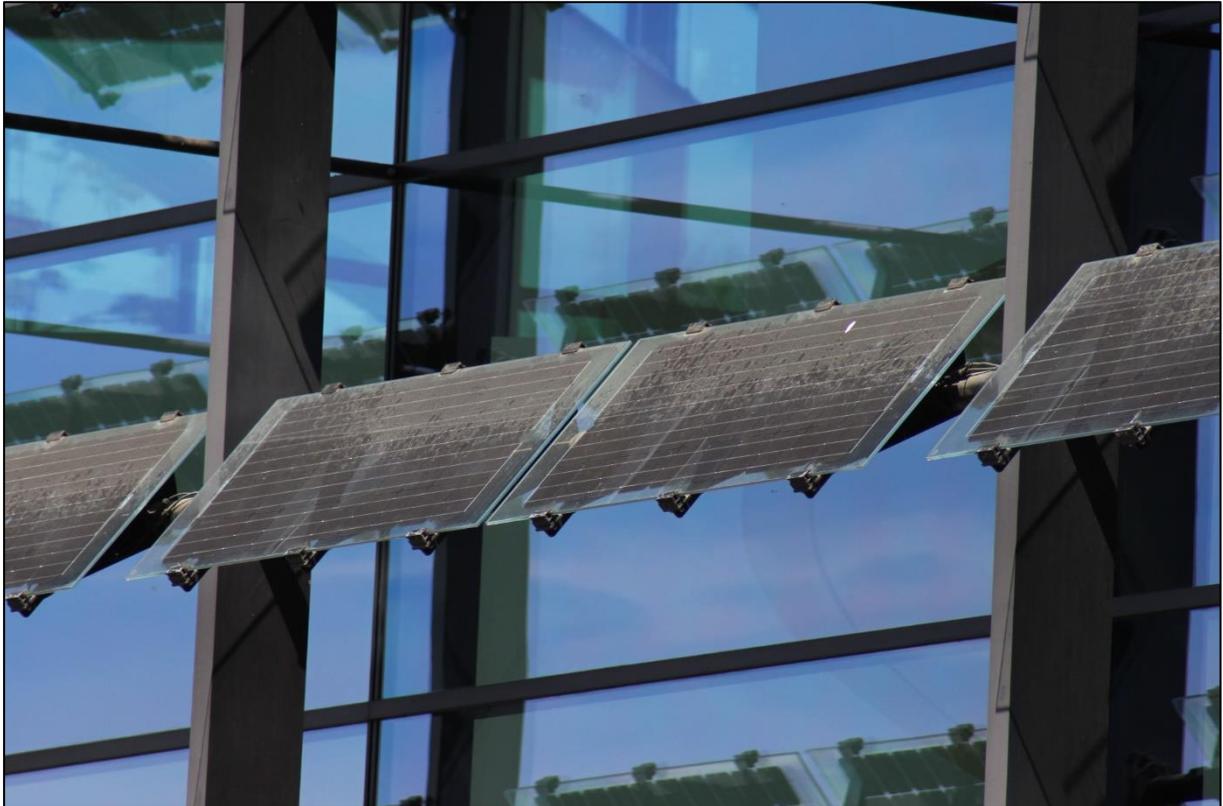


Abbildung 13: Detailansicht Solarmodule ZPV (Quelle: eigene Darstellung)



Abbildung 14: Institut für Kristallzüchtung (Quelle: eigene Darstellung)



Abbildung 15: Detailansicht Verschattungselemente IKZ



Abbildung 16: FUSS EMV Produktionshalle (Quelle: eigene Darstellung)



Abbildung 17: FUSS EMV Erweiterungsbau (Quelle: eigene Darstellung)

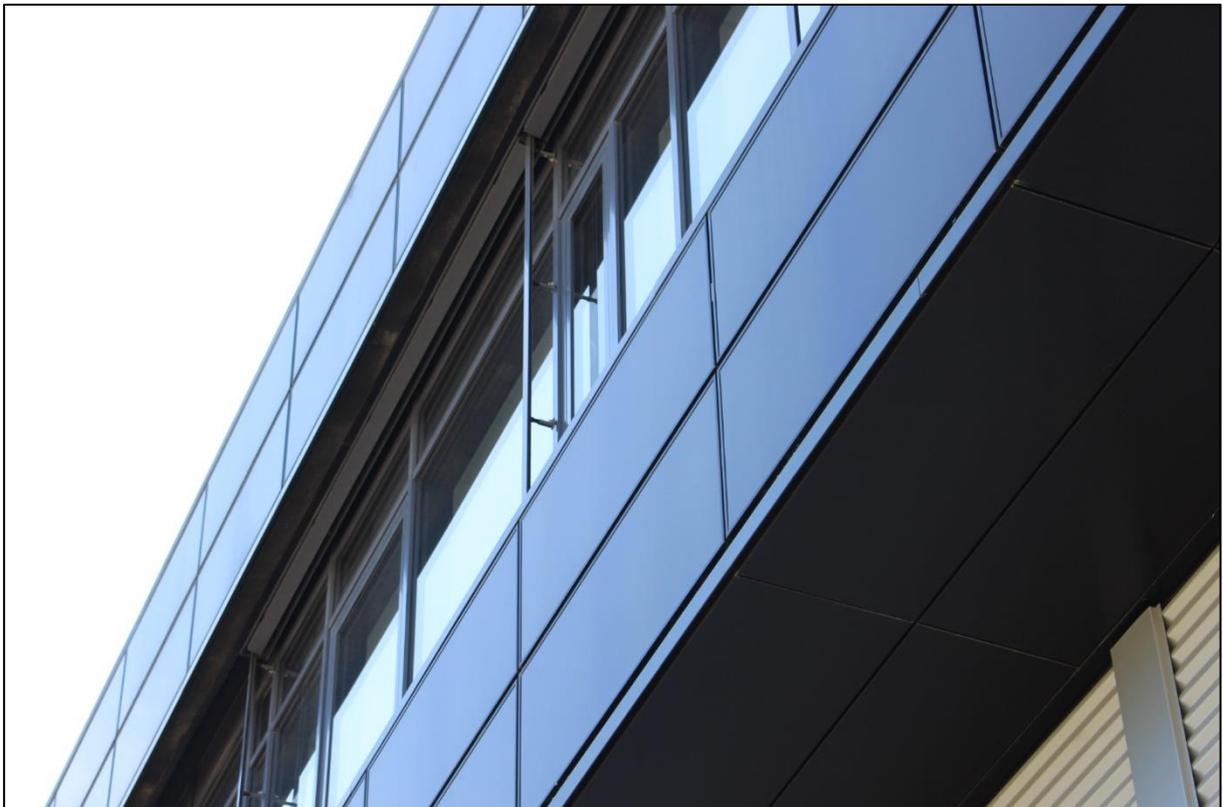


Abbildung 18: Detailansicht Fassade FUSS EMV (Quelle: eigene Darstellung)

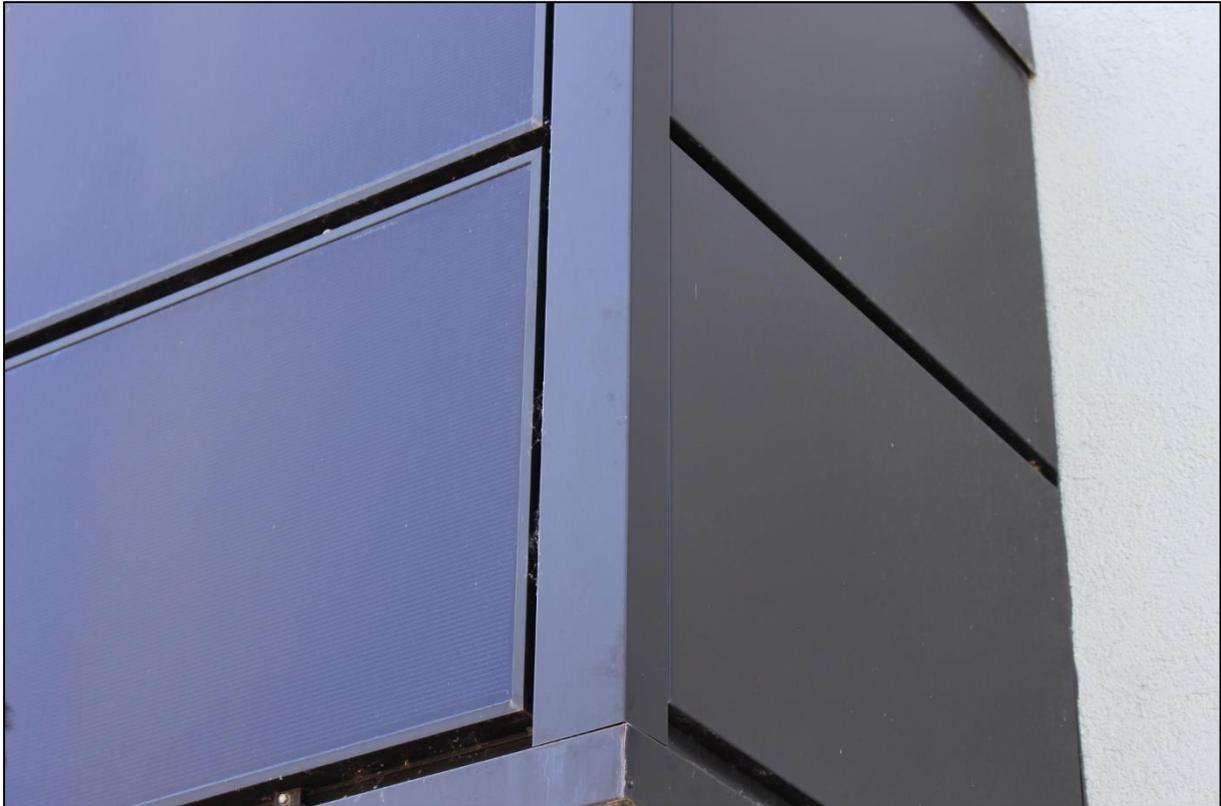


Abbildung 19: Detailansicht Module und Blindmodule FUSS EMV (Quelle: eigene Darstellung)



Abbildung 20: Parkplatzüberdachung HOWOGE "Powerhouse" (Quelle: eigene Darstellung)



Abbildung 21: Detailansicht Stahlkonstruktion Parkplatzüberdachung (Quelle: eigene Darstellung)



Abbildung 22: Newtonprojekt 8B Südwest-Fassade (Quelle: eigene Darstellung)



Abbildung 23: Newtonprojekt 8B Südost-Fassade (Quelle: eigene Darstellung)

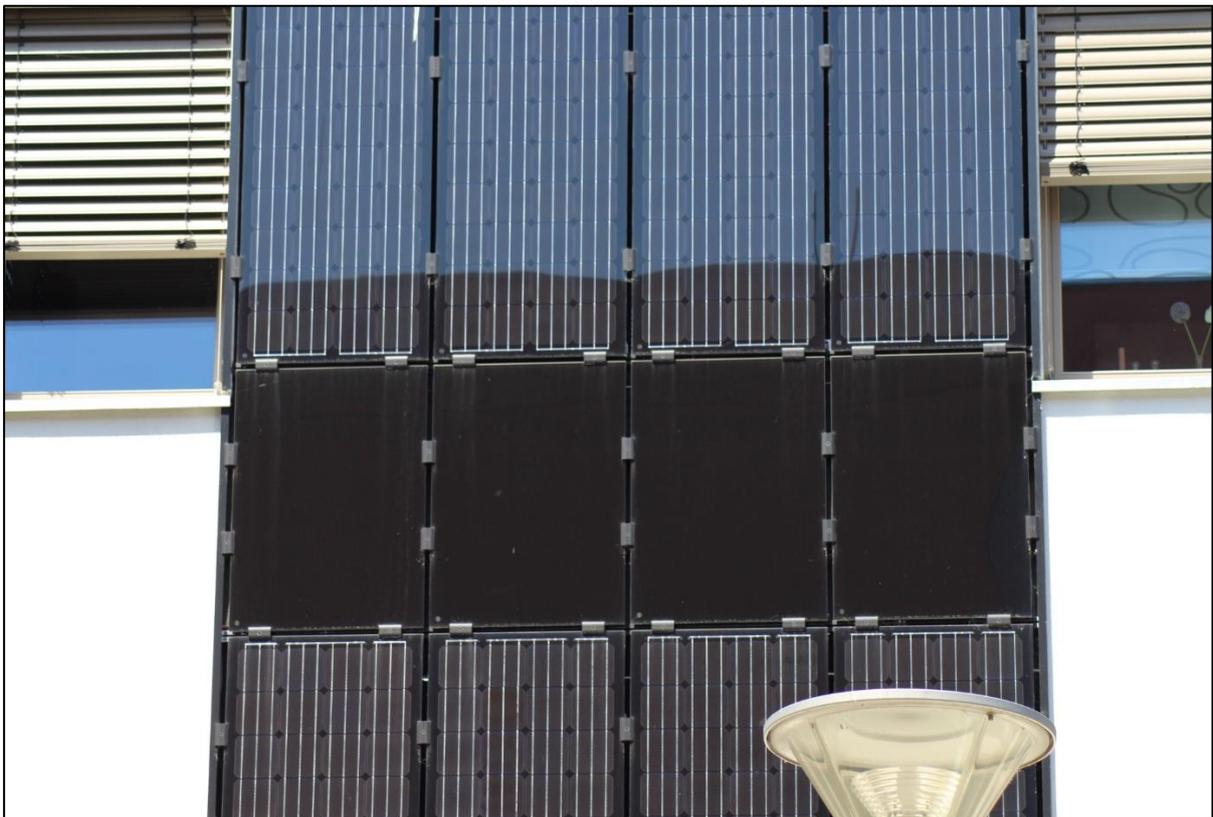


Abbildung 24: Detailansicht Solarmodule Newtonprojekt 8B (Quelle: eigene Darstellung)



Abbildung 25: Ehemaliges Solteature Firmengebäude (Quelle: eigene Darstellung)



Abbildung 26: Detailansicht Dachkonstruktion Solteature Firmengebäude (Quelle: eigene Darstellung)



Abbildung 27: Detailansicht Fassade Solteature Firmengebäude (Quelle: eigene Darstellung)



Abbildung 28: Detailansicht Solarmodule Solteature Firmengebäude (Quelle: eigene Darstellung)



Abbildung 29: Ehemalige Soltecture Produktionshalle (Quelle: eigene Darstellung)



Abbildung 30: Detailansicht Solarmodule Soltecture Produktionshalle (Quelle: eigene Darstellung)



Abbildung 31: Ferdinand-Braun-Institut (FBH) (Quelle: eigene Darstellung)



Abbildung 32: Seitenansicht FBH (Quelle: eigene Darstellung)



Abbildung 33: Detailansicht Solarmodule FBH (Quelle: eigene Darstellung)



Abbildung 34: Detailansicht Solarmodule Rückseite FBH (Quelle: eigene Darstellung)

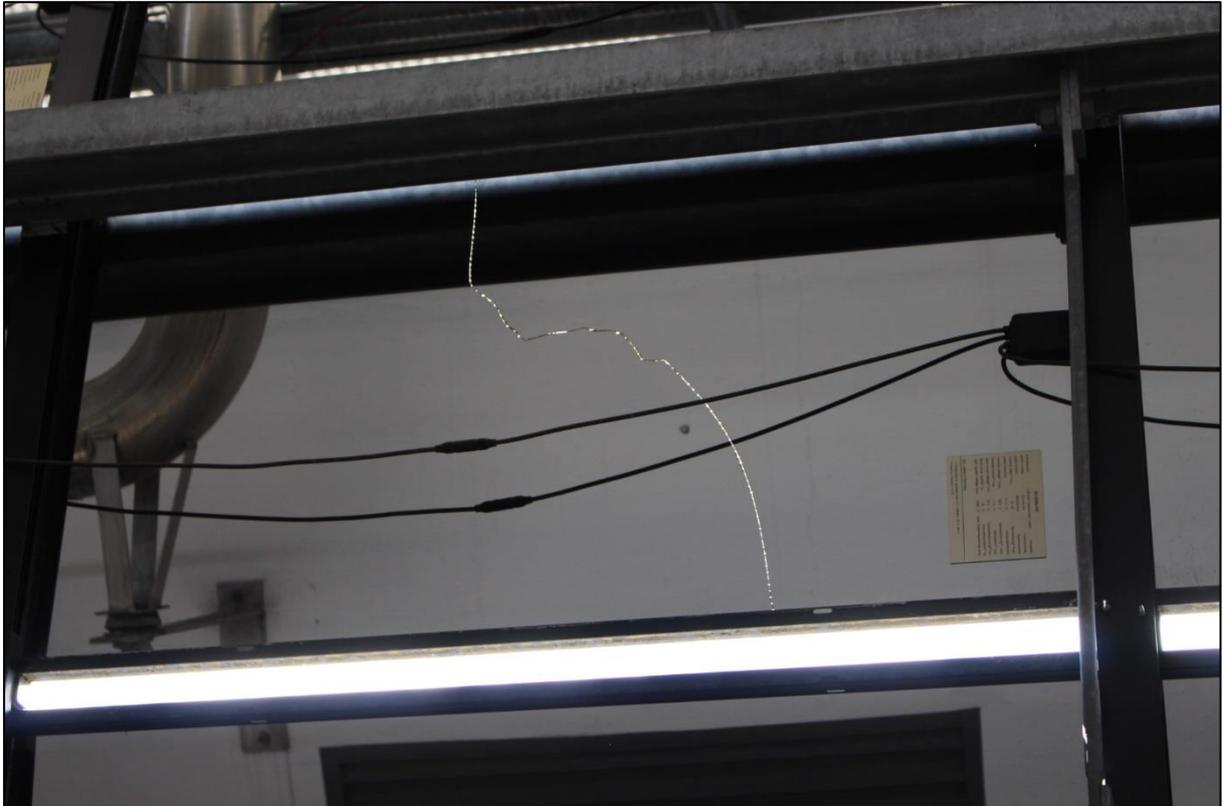


Abbildung 35: Detailansicht Fehlerhaftes Modul FBH (Quelle: eigene Darstellung)



Abbildung 36: Zentrum für Biotechnologie und Umwelt (ZBU) (Quelle: eigene Darstellung)



Abbildung 37: Detailansicht Solarmodule ZBU



Abbildung 38: Detailansicht Solarzellen ZBU (Quelle: eigene Darstellung)



Abbildung 39: The Curve (Quelle: eigene Darstellung)



Abbildung 40: Detailansicht Schattenwurf The Curve (Quelle: eigene Darstellung)



Abbildung 41: Detailansicht Unterkonstruktion The Curve (Quelle: eigene Darstellung)



Abbildung 42: Detailansicht Solarmodule The Curve (Quelle: eigene Darstellung)

## 10 Selbstständigkeitserklärung

Ich erkläre hiermit, dass

- ich die vorliegende wissenschaftliche Arbeit selbständig und ohne unerlaubte Hilfe angefertigt habe,
- ich andere als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel nicht benutzt habe,
- ich die den benutzten Quellen wörtlich oder inhaltlich entnommenen Stellen als solche kenntlich gemacht habe,
- die Arbeit in gleicher oder ähnlicher Form noch keiner anderen Prüfbehörde vorgelegen hat.

Berlin, 21.08.2020



---