

# Synergiepotenziale zwischen Stadt- planungszielen und Photovoltaiknutzung auf urbanen Freiflächen

Syn[En]ergy

T.Schauppenlehner, A. Muhar,  
K. Kugler, B.Salak,  
E. Gebetsroither-Geringer,  
A. Schneider, R. Stollnberger,  
M. Schnepper, M. Köstl,  
D. Grimm-Pretner, G. Bautz,  
R.Tusch, A. Dallinger,  
E. Sehnal

Berichte aus Energie- und Umweltforschung

## 22/2018

**Impressum:**

Eigentümer, Herausgeber und Medieninhaber:  
Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie  
Radetzkystraße 2, 1030 Wien

Verantwortung und Koordination:  
Abteilung für Energie- und Umwelttechnologien  
Leiter: DI Michael Paula

Liste sowie Downloadmöglichkeit aller Berichte dieser Reihe unter  
<http://www.nachhaltigwirtschaften.at>

# Syn[En]ergy

## Synergiepotenziale zwischen Stadtplanungszielen und Photovoltaiknutzung auf urbanen Freiflächen

Universität für Bodenkultur, Wien / Department für Raum, Landschaft und Infrastruktur /  
Institut für Landschaftsentwicklung, Erholungs- und Naturschutzplanung  
DI Dr. Thomas Schauppenlehner  
Univ.Prof. DI Dr. Andreas Muhar  
BSc Klara Kugler  
DI Dr. Boris Salak

Universität für Bodenkultur, Wien / Department für Raum Landschaft und Infrastruktur /  
Institut für Landschaftsarchitektur  
Ass.Prof. DI Dr. Dagmar Grimm-Pretner  
DI Georg Bautz  
DI Dr. Roland Tusch

AIT Austrian Institute of Technology / Center for Energy  
Sustainable Buildings and Cities (AIT/SBC) und Photovoltaic Systems (AIT/PVS)  
Mag. Dr. Ernst Gebetsroither-Geringer  
DI Astrid Schneider  
DI Romana Stollnberger  
DI Dr. Marita Schnepfer  
Mag. Mario Köstl

NIKKO Photovoltaik GmbH  
DI Mag. Erik Sehnal  
Andreas Dallinger, MSc.

Wien, April 2018

Ein Projektbericht im Rahmen des Programms





# Vorwort

Der vorliegende Bericht dokumentiert die Ergebnisse eines Projekts aus dem Forschungs- und Technologieprogramm Stadt der Zukunft des Bundesministeriums für Verkehr, Innovation und Technologie (bmvit). Dieses Programm baut auf dem langjährigen Programm Haus der Zukunft auf und hat die Intention Konzepte, Technologien und Lösungen für zukünftige Städte und Stadtquartiere zu entwickeln und bei der Umsetzung zu unterstützen. Damit soll eine Entwicklung in Richtung energieeffiziente und klimaverträgliche Stadt unterstützt werden, die auch dazu beiträgt, die Lebensqualität und die wirtschaftliche Standortattraktivität zu erhöhen. Eine integrierte Planung wie auch die Berücksichtigung von allen betroffenen Bereichen wie Energieerzeugung und -verteilung, gebaute Infrastruktur, Mobilität und Kommunikation sind dabei Voraussetzung.

Um die Wirkung des Programms zu erhöhen sind die Sichtbarkeit und leichte Verfügbarkeit der innovativen Ergebnisse ein wichtiges Anliegen. Daher werden nach dem Open Access Prinzip möglichst alle Projektergebnisse des Programms in der Schriftenreihe des bmvit publiziert und elektronisch über die Plattform [www.HAUSderZukunft.at](http://www.HAUSderZukunft.at) zugänglich gemacht. In diesem Sinne wünschen wir allen Interessierten und AnwenderInnen eine interessante Lektüre.

DI Michael Paula

Leiter der Abt. Energie- und Umwelttechnologien

Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie



# Inhaltsverzeichnis

Kurzfassung.....	10
Abstract.....	12
1 Einleitung .....	14
1.1 Ausgangssituation des Forschungsprojektes .....	14
1.2 Ziel des Forschungsprojektes .....	14
1.3 Fragestellungen.....	15
2 Inter- und transdisziplinärer Projektansatz, Untersuchungsebenen und Fallstudien.....	15
2.1 Methoden der inter- und transdisziplinären Zusammenarbeit.....	15
2.2 Fallstudien .....	16
3 Photovoltaik-Potenziale im urbanen Raum.....	17
3.1 Photovoltaik-Nutzungstypen für urbane Freiräume.....	17
3.2 Räumliche Analyse des Solarpotenzials .....	18
3.3 Ergebnisse Solarpotenzial .....	19
3.4 PV-Potenziale von Nutzungskonzepten .....	20
4 Landschaftsarchitekturintegrierte Photovoltaik (LAIiPV) .....	22
4.1 Arbeitsschritte und Entwurfszugang .....	22
4.2 Ergebnisse – SynThesen: Handlungsfelder zur synergieorientierten Entwicklung von Photovoltaikanlagen im urbanen Freiraum .....	22
4.2.1 SynThese 1 „Sichtbarkeit & Bewusstsein“.....	22
4.2.2 SynThese 2 „Aufwertung & Attraktivierung“.....	24
4.2.3 SynThese 3 „Raum & Möglichkeit“ .....	24
4.2.4 SynThese 4 „Errichtung & Betrieb“ .....	25
4.3 Zusammenfassung und Diskussion der LAiPV .....	25
5 Technisch und wirtschaftliche Anforderungen an Photovoltaik im urbanen Raum.....	26
5.1 Technische Anforderungen von Freiflächenanlagen.....	27
5.1.1 PV-Freiflächenanlagen als Kraftwerke.....	27
5.1.2 Freiflächenanlagen betretbar (öffentlich zugänglich) mit PV-Modulen „Überkopf“ .....	27
5.1.3 Überdachungen mit Photovoltaikmodulen .....	28
5.2 Ergebnisse: Analyse typischer PV-Systemkosten.....	28
5.2.1 Kostenrecherche und -analyse .....	29
5.2.2 Finanzielle Amortisation von PV-Anlagen verschiedener Anwendungen .....	30
5.3 Zusammenfassung: PV-Systemkosten .....	31

6	Synergieeffekte und soziale Akzeptanz von Photovoltaik im urbanen Raum.....	32
6.1	Methodik zur Akzeptanzuntersuchung .....	33
6.1.1	Zielgebietsbefragung .....	33
6.1.2	Fallstudienvisualisierungen .....	33
6.1.3	ExpertInneninterviews .....	34
6.2	Ergebnisse.....	34
6.2.1	Demographie der Befragung .....	34
6.2.2	Allgemeine Einstellung und Akzeptanz von Photovoltaik .....	34
6.2.3	Photovoltaik in der Stadt .....	35
6.2.4	Bewertung der Fallstudienentwürfe .....	35
6.2.5	Photovoltaik auf urbanen Freiflächen aus Sicht von ExpertInnen.....	38
6.3	Zusammenfassung und Diskussion der Akzeptanzuntersuchung.....	39
7	Schlussfolgerungen .....	39
8	Ausblick und Empfehlungen.....	39
9	Verzeichnisse .....	41
9.1	Abbildungsverzeichnis .....	41
9.2	Tabellenverzeichnis .....	42
9.3	Literaturverzeichnis .....	42

# Kurzfassung

## Ausgangssituation/Motivation

Die Forschung über Anwendungsmöglichkeiten von Photovoltaik (PV) in der Stadt sowie die Entwicklung konkreter Lösungsansätze hat sich bislang vorwiegend auf Gebäudeflächen konzentriert. Städtische Freiräume sind in diesen Überlegungen meist ausgenommen und bisher nur wenig hinsichtlich ihrer Eignung für PV-Installationen untersucht. Syn[En]ergy versucht, diese Lücke zu schließen und innovative Lösungsmöglichkeiten für eine synergetische Nutzung von PV in urbanen Freiräumen zu entwickeln.

## Inhalte und Zielsetzungen

Ziel von Syn[En]ergy war es, einen Beitrag zur Diskussion erneuerbarer Energieproduktion im urbanen Stadtraum zu leisten. Dazu wurden Freiräume (Parks, Plätze, Parkflächen, etc.) hinsichtlich ihrer Eignung zur Erzeugung erneuerbarer Energie in Form von Photovoltaik analysiert. Zentrale Fragen in diesem Zusammenhang waren neben der Analyse des generellen energetischen Potenzials dieser Flächen, mögliche Synergieeffekte aber auch Konfliktpotenziale mit anderen Raumnutzungen zu untersuchen.

Syn[En]ergy verfolgte als inter- und transdisziplinäres Projekt folgende Zielsetzungen:

- Erforschung von Synergieeffekten zwischen PV-Nutzung auf horizontalen Stadtf lächen und anderen Nutzungsansprüchen
- Potenzialabschätzung von PV-Lösungen auf Freiflächen im Großraum Wien
- Erschließung neuer Marktnischen für die österreichische PV-Industrie
- Aufzeigen energie- und ressourceneffizienter Handlungsalternativen für EntscheidungsträgerInnen im Bereich von Wirtschaftsunternehmen und der öffentlichen Verwaltung als Beitrag zur Energiewende
- Entwicklung einer Typologie möglicher PV-Installationen auf Freiflächen
- Entwicklung von Methoden zur Visualisierung von PV-Projekten als Grundlage von Akzeptanzuntersuchungen und Bewertungsverfahren
- Stärkung der Resilienz von Städten durch Untersuchung der Akzeptanz von NutzerInnen und EntscheidungsträgerInnen hinsichtlich der urbanen PV-Nutzung
- Kommunikation von städtischen Entwicklungsstrategien an die Bevölkerung durch die sichtbare Nutzung des öffentlichen Raumes mit PV

## Methodische Vorgehensweise

Im Rahmen eines inter- und transdisziplinären Mixed-Method Forschungsansatzes wurden technische, ökonomische, gestalterische und planerische Aspekte betrachtet und sozial- und naturwissenschaftliche, technische und ökonomische Methoden integriert. Das Untersuchungsgebiet für flächendeckende Potenzialberechnungen waren die Stadt Wien und die Stadt Korneuburg; konkrete Fallstudien wurden erstellt für einen Markt in Wien, eine Freizeitanlage in Korneuburg sowie den Parkplatz des G3 Shopping Resort in Gerasdorf.

## Ergebnisse und Schlussfolgerungen

Das Projekt Syn[En]ergy zeigte auf, dass Photovoltaikanwendungen auf urbanen Freiflächen das Potenzial besitzen, neben der Energieerzeugung Synergieeffekte zu generieren, die eine Aufwertung und Attraktivierung eines Freiraumes oder Stadtquartiers zur Folge haben können. Um diese zu initiieren ist PV als raumbildendes Element im Freiraum zu verstehen und von Beginn an in ein landschaftsarchitektonisches Planungsprojekt zu integrieren. Besonders Parkplätze bieten aufgrund ihrer Größe und niederschweligen Nutzung auch die Möglichkeit zur großflächigen Stromproduktion bei gleichzeitiger Schaffung eines Nutzungsmehrwertes (z.B. Witterungsschutz, Ladestationen, etc.).

Nicht außer Acht gelassen werden darf, dass Photovoltaikpaneele den Raum technisch überfrachten können, und dass im dichten Siedlungsraum qualitativ hochwertige Frei- und Grünräume von großer Bedeutung sind. Jede Photovoltaikanwendung beeinflusst die Qualitäten eines Freiraums. Der Einsatz von Photovoltaik muss deshalb sorgfältig abgewogen und mit anderen Nutzungsansprüchen in Einklang gebracht werden. Hier können 3D Modelle Anwendung finden, um eine breite Partizipations- und Informationsbasis aufzubauen.

Die wirtschaftliche Betrachtung möglicher PV-Anwendungsarten zeigte, dass viele Faktoren die Wirtschaftlichkeit beeinflussen, und diese signifikant sinkt je weiter entfernt man von Standardanwendungen („Massenproduktionen“) ist. Trotzdem können durch die Aufwertung eines Freiraumes oder durch die Bewusstseinsbildung positive Effekte erzielt werden, die nicht unmittelbar monetär bewertbar sind.

Mit dem im Projekt entwickelten PV-Explorer – kann die Eignung verschiedener Freiraumtypen in Wien und Korneuburg für eine mögliche Photovoltaiknutzung räumlich explizit analysiert werden. Das Zusatzwerkzeug PV-Potenzial Calculator erlaubt die Berechnung spezifischer Photovoltaikpotenziale für ausgewählte Flächen. Damit lassen sich bereits in sehr frühen Projektphasen Potenzialabschätzungen für Freiräume – auf Grundlage der vorberechneten Potenzialdaten – ermitteln.

## Ausblick

Die Energienachfrage steigt und am Weg zur Energiewende müssen viele Alternativen und Möglichkeiten für die Stromproduktion abgewogen werden. Die Integration von Photovoltaik zur erneuerbaren Energieproduktion im urbanen Alltagsleben spielt hier eine wesentliche Rolle, dies nicht zuletzt zur Bewusstseinsbildung und für einen effizienteren Umgang mit urbanen Freiräumen. In zukünftigen Freiraumplanungsprozessen sollten deshalb verpflichtend die Möglichkeiten einer synergetischen Energieproduktion (mittels PV oder anderer erneuerbarer Energieträger) berücksichtigt werden. Um hier strukturierte Konzepte und Planungsstrategien zu entwickeln benötigt es eine entsprechende Integration von Photovoltaik in die Planungsinstrumente auf verschiedenen Ebenen. Die Ergebnisse aus dem Syn[En]ergy Projekt, wie der PV-Explorer, die technische und ökonomische Analyse, der Handlungsleitfaden und die exemplarische Bearbeitung der Fallbeispiele, leisten dafür einen wertvollen Beitrag.

# Abstract

## Starting point/Motivation

Research on implementation of photovoltaics (PV) in urban spaces as well as development of practice concepts was until now predominantly focused on roof areas. Urban open spaces have mostly been excluded from such considerations and did not receive much attention so far regarding their potentials for PV installation. The research project Syn[En]ergy aims at closing this gap by developing innovative solutions for synergistic implementation of PV in urban open spaces.

## Contents and Objectives

The overall objective of Syn[En]ergy was to contribute to the discussion of production of renewable energy in urban spaces. Different types of open spaces (e.g. parks, squares, parking spaces) have been analysed regarding their suitability for photovoltaic energy production. Focal aspects were the analysis of the energy potential and the investigation of both potential conflicts and synergies with other uses.

Syn[En]ergy was an inter- and transdisciplinary project aiming at the following aspects:

- Identification of synergy effects between PV usage on urban open spaces and other uses
- Estimation of the energy potential of open spaces in the city of Vienna and its vicinity.
- Exploration of new market niches for the Austrian PV-Industry
- Identification of energy and resource efficient action alternatives for decision makers in business and public administration as a contribution to the energy turn.
- Development of a typology of potential PV-installation in open spaces
- Development of methods for visualization of PV-projects as a basis for investigating public acceptance and assessment.
- Improving the resilience of cities by investigating the acceptance of PV-usage by the public and by decision makers
- Communication of urban development strategies to the public by making PV visible to the population in public spaces

## Methods

An inter- and transdisciplinary mixed-method approach was implemented, which considered technical, economical, as well as planning and design related aspects, integrating a set of methods from social, economic, technical and natural sciences. The study region for identification of areal potentials were the cities of Vienna and Korneuburg. Detailed case studies were developed for a market in Vienna, a recreational space in Korneuburg and a parking space of the G3 Shopping Resort in Gerasdorf.

## Results

Syn[En]ergy showed that PV implementation in urban public spaces has a potential to generate, next to energy production, also synergy effects that can lead to revaluation and enhancement of an urban open space or a quarter. In order to achieve this, PV elements should be understood as spatially relevant design elements and therefore need to be integrated from the beginning into a landscape architectural planning project.

Due to their size and low-threshold usage, parking spaces offer a particular potential for extensive energy production, which at the same time creates opportunities for achieving an additional benefit for its primary use (shading, rain protection, provision of charging stations...).

It should not be neglected that PV panels can overload spaces in a technical way; urban open spaces in densely inhabited areas always need to be seen in their significance for the population. Every PV installation will affect the quality of an open space, and the implementation of PV needs thorough consideration and requires balance with other use demands. 3D-visualisation can assist to support the information basis for participatory approaches.

Many factors affect the economic efficiency. In general, economic efficiency can only be achieved by using standard solutions from mass production. Tailored installations are much more expensive. The implementation of tailored PV solutions in urban spaces can however indirectly contribute to the “value” the spaces; yet such effects are difficult to assess in a monetary way.

The tool PV-Explorer, which has been developed in the context of this project, can help to spatially explicit analyse the suitability of open spaces in the cities of Vienna and Korneuburg. The additional module PV-Potential Calculator allow for the determination of specific PV-Potentials for individual areas. With this tool such potentials can already be regarded in early stages of project development.

## **Prospects / Suggestions for future research**

Energy demands are still increasing, and on the road to the energy turn many alternative modes for energy production need to be considered. The integration of PV for energy production into urban everyday life can play a significant role also for awareness raising and promotion of efficient use of public spaces. In future open space planning process the opportunities for synergetic energy production via (PV or other modes of renewable energy) should always be considered. For the development of well-founded concepts and planning strategies, a better integration of energy planning into urban planning instruments at all scale levels is necessary. The results from the Syn[En]ergy project such as the PV-Explorer, the planning guideline and the analysis of the case studies will hopefully provide a valuable contribution to this.

# 1 Einleitung

## 1.1 Ausgangssituation des Forschungsprojektes

Seit dem Aktionsplan der EU für eine nachhaltige Stadtentwicklung (European Commission 1998) hat sich das Konzept der Nachhaltigkeit zu einem wichtigen Rahmen für eine vorausschauende, sozial gerechte, ökonomisch ausgeglichene und ökologisch sensible Entwicklung von Stadtregionen etabliert. In diesem Zusammenhang und vor dem Hintergrund einer zunehmenden Verstädterung und der Entwicklung energieintensiver Lebensstile sind Stadtregionen zunehmend gefordert, sich aktiv mit einer nachhaltigen Energieversorgung auseinanderzusetzen (Hamilton, 2013; Heinloth, 2003; Li & Zhang, 2014; Vandevyvere & Stremke, 2012; Zamfir, 2011). Die Nutzung von Gebäudeflächen, insbesondere von Dächern, hat ein großes Potenzial für urbane Energieproduktion mit Photovoltaik, die Nutzungspotenziale horizontaler Stadtflächen für nachhaltige Energieerzeugung wurden demgegenüber bisher viel weniger untersucht. Horizontale Stadtflächen erlauben effizientere Anlagen durch größere Flächeneinheiten, sind jedoch sichtbarer und stehen damit auch in Konkurrenz zu anderen Nutzungen, wie z.B. Erholung. Andererseits können sichtbare Energieerzeugungsanlagen in städtischer Umgebung dazu beitragen, das Bewusstsein der Bevölkerung für die Energiewende zu sensibilisieren und ihr Energieverhalten zu beeinflussen (Schöbel, Dittrich, & Czechowski, 2013; Steemers, 2003; Vandevyvere & Stremke, 2012). Somit können die Anlagen auch städtische Entwicklungsstrategien akzentuieren und Aktivität und Innovation seitens der EntscheidungsträgerInnen demonstrieren.

## 1.2 Ziel des Forschungsprojektes

Ziel des Forschungsprojektes Syn[En]ergy ist, einen Beitrag zur Diskussion erneuerbarer Energieproduktion im urbanen Stadtraum zu leisten. Dazu wurden urbane Freiräume (Parks, Plätze Parkflächen, etc.) hinsichtlich ihrer Eignung zur Erzeugung erneuerbarer Energie in Form von Photovoltaik analysiert. Zentrale Fragen in diesem Zusammenhang waren neben dem generellen Potenzial dieser Flächen für die Energieerzeugung, mögliche Synergieeffekte aber auch Konfliktpotenziale mit anderen Raumnutzungen. Im Rahmen eines inter- und transdisziplinären Forschungsansatzes wurden dabei technische, ökonomische, gestalterische und planerische Aspekte betrachtet, die sowohl auf Ebene der Stadt (Untersuchungsgebiete Wien und Korneuburg), sowie auf Ebene von Fallstudien in konkreten urbanen Freiräumen analysiert wurden.

Eine wesentliche Rolle kam den Praxispartnern zu (Stadt Wien, Stadt Korneuburg, G3 Shopping Resort Gerasdorf), die im Rahmen eines transdisziplinären Prozesses gemeinsam die Arbeitsschritte mitgestalteten und bei der Fallstudienauswahl beteiligt waren. Ein Leitfaden für die Stadtentwicklung, interaktive digitale Kartenwerkzeuge (PV-Explorer) für die Untersuchungsgebiete (Wien und Korneuburg), sowie Analysen zur Handlungsbereitschaft bei der Anlagenerrichtung und Akzeptanz sollen anwendbare Werkzeuge für die Praxis bieten.

## 1.3 Fragestellungen

Aus den eingangs dargestellten Rahmenbedingungen ergeben sich folgende Fragestellungen, welche im Rahmen von Syn[En]ergy behandelt wurden:

- Welche technischen, ökonomischen, rechtlichen, stadtplanerischen, gestalterischen und sozialen Rahmenbedingungen gibt es bezüglich der Realisierbarkeit von Photovoltaik auf urbanen Freiflächen?
- Unter welchen Bedingungen können sich Synergien zwischen PV-Nutzung und anderen urbanen Nutzungsansprüchen ergeben, unter welchen Bedingungen ist Nutzungskonkurrenz zu erwarten?
- Durch welche Maßnahmen können Synergiepotenziale realisiert werden?
- Wie können unterschiedliche Stakeholdergruppen in Entwicklungs- und Entscheidungsprozesse der PV-Anwendung in Freiräumen eingebunden werden, um eine Akzeptanz zu erzielen?
- Welche Anwendungsszenarien haben die besten Potenziale hinsichtlich ökonomischer Effizienz und sozialer Akzeptanz?

Die Analysen fanden auf verschiedenen inhaltlichen und räumlichen Untersuchungsebenen statt. Technische, legislative, planerische und gestalterische Rahmenbedingungen für die Photovoltaiknutzung in urbanen Freiräumen sowie Good-Practice Beispiele wurden auf nationaler sowie internationaler Ebene betrachtet. Räumliche Analysen zu Solarpotenzialen und Freiraumtypen wurden für Wien und Korneuburg durchgeführt und mit der Erarbeitung von Entwürfen für drei konkrete Freiräume in Wien und Korneuburg heruntergebrochen und hinsichtlich Synergieeffekten untersucht.

## 2 Inter- und transdisziplinärer Projektansatz, Untersuchungsebenen und Fallstudien

Das Projektkonsortium bestand aus universitären und außeruniversitären Forschungsinstitutionen (Institut für Landschaftsentwicklung, Erholungs- und Naturschutzplanung ILEN und Institut für Landschaftsarchitektur ILA der Universität für Bodenkultur Wien sowie dem Center for Energy des Austrian Institute of Technology AIT, einem Photovoltaik-Installationsbetrieb (NIKKO Photovoltaik GmbH) und Praxispartnern (Stadt Wien, Stadt Korneuburg und G3 Shopping Resort).

### 2.1 Methoden der inter- und transdisziplinären Zusammenarbeit

Das Projektvorhaben Syn[En]ergy verwendete zur Erreichung der gesetzten Ziele einen Mixed-Method Ansatz. Dabei wurden natur- und sozialwissenschaftliche Methoden mit techno-ökonomischen Methoden basierend auf einem inter- und transdisziplinären Forschungsparadigma zu einem Forschungsdesign kombiniert um komplexe Fragestellung zu beantworten.

ten. Die Stakeholderbeteiligung wurde durch Workshops institutionalisiert, für den interdisziplinären Austausch wurden regelmäßige gemeinsame Arbeitsgruppentreffen durchgeführt.

Nachstehend erfolgt ein Überblick über den Projektablauf und die verwendeten Methoden. Details dazu sind den jeweiligen thematischen Kapiteln zu entnehmen.

Zu Beginn stand die Schaffung einer gemeinsamen Wissensbasis hinsichtlich technischer, legislativer, planerischer und gestalterischer Rahmenbedingungen für die Photovoltaiknutzung in urbanen Freiräumen, die auf Basis einer systematischen Literatur- und Datenbankrecherche erstellt wurde und in einem gemeinsamen Arbeitspapier mündete. Unterstützend wurde im Rahmen eines Stakeholderworkshops mittels World-Cafés und verschiedenen Ple-  
nartechniken das Know-how der Stakeholder in das Projekt integriert. Im Good-Practice-Katalog zeigten sich klar abgrenzbare und benennbare Kategorien von Photovoltaikanwendungen im städtischen Raum, die in weiterer Folge mit den erarbeiteten Freiraumtypen verschnitten wurden. Ergänzend wurde auf Basis von GIS-basierten Solarpotenzialanalysen das theoretische Potenzial urbaner Freiflächen in Wien und Korneuburg für die Stromgewinnung ermittelt und Szenarien für Potenzialabschätzungen entwickelt.

Basierend auf diesen allgemeinen stadtplanerischen Empfehlungen wurden gemeinsam mit den Stakeholdern drei Fallstudienorte ausgewählt (siehe Kapitel 2.2), um konkrete Gestaltungsvorschläge zu erarbeiten und hinsichtlich technischer, ökonomischer und sozialer Aspekte zu analysieren. Dabei wurden auch neue Visualisierungstechniken wie Virtual Reality (VR) und Augmented Reality (AR) hinsichtlich ihres Potenzials zur Kommunikation von Planinhalten getestet.

Techno-ökonomische Methoden (Ertragssimulation, Kostenabschätzung, Potenzialberechnung, Variantenoptimierung, gestalterisches Potenzial, etc.) lieferten Ergebnisse hinsichtlich der Realisierbarkeit der Entwürfe und wurden als Grundlageninformation in den Zielgebietsbefragungen zur Analyse sozialer Aspekte integriert. Damit kann soziale Akzeptanz auch mit technischen und ökonomischen Aspekten verglichen werden.

Für die Zielgebietsbefragung wurden Methoden der empirischen Sozialforschung und aktuelle Visualisierungsmethoden angewandt. Die Fallstudienentwürfe wurden als stereoskopische Virtual Reality Modelle visualisiert und im Rahmen einer Zielgebietsbefragung hinsichtlich Akzeptanz und Synergieeffekten abgefragt. Ergänzend wurden allgemeine Einstellungen zu erneuerbarer Energie sowie zu PV im Wohnumfeld erhoben und Aspekte der VR-Visualisierungen hinsichtlich Glaubwürdigkeit und Eignung für Planungsprozesse abgefragt. Zudem wurde noch die Handlungsbereitschaft zur Hebung des Photovoltaikpotenzials auf Freiflächen mit Hilfe von ExpertInneninterviews und Fokusgruppen erhoben (Kapitel 6.2.5).

## **2.2 Fallstudien**

Mit Hilfe dreier Fallstudien wurden Synergieeffekte und Konfliktfelder anhand konkreter Gestaltungsentwürfe für drei städtische bzw. stadtnahe Orte untersucht. Die Fallstudienstudienauswahl stützte sich dabei auf für PV-Nutzung geeignete Freiraumtypen (PV-Nutzungstypen) und GIS-basierte Berechnungen des Solarpotentials. Mit den Stakeholdern wurden konkrete Räume sondiert mit dem Ziel eine möglichst breite Palette an Freiraumtypen und PV-Anwendungen abzudecken. Ausgewählt wurden ein Großparkplatz, ein versiegelter Platz im

verdichteten Stadtgebiet sowie ein stadtnaher Grünerholungsraum. Für jede Fallstudie wurden Gestaltungsentwürfe erarbeitet die von Nutzerinnen und Nutzern der jeweiligen Orte bewertet wurden. Die nachfolgende Tabelle gibt einen Überblick über die Charakteristik der drei Fallstudienorte und die Entwürfe.

Tab. 1: Fallstudienorte

Fallstudienort	G3 Shopping Resort	Floridsdorfer Markt	Werftbad Korneuburg
Freiraumtyp	Großparkplatz eines stadtnahen Einkaufszentrums	Versiegelter urbaner Platz mit Mehrfachnutzung und temporärer Marktbespielung	Naherholungsgebiet, Sport- und Freizeitraum mit hohem Grünanteil und Anbindung an die Donau
Photovoltaikentwurf Anwendung	Carport-ähnliche Überdachung der Parkflächen mit graduell abnehmender Dichte	Großflächige Platzüberdachung bei gleichzeitiger Strukturierung des darunter liegenden Raumes.	Räumlich gestreute „Strandboxen“ mit Photovoltaikdach; Photovoltaik-elemente als Bodenmaterial

### 3 Photovoltaik-Potenziale im urbanen Raum

#### 3.1 Photovoltaik-Nutzungstypen für urbane Freiräume

Es wurden 15 mögliche urbane Freiraumtypen für eine Integration von PV identifiziert und mit sechs möglichen PV-Anwendungen verschnitten. Photovoltaikanwendungsarten sind: Solarkraftwerke, Lineare Photovoltaik (entlang von Infrastrukturen, z.B. Bahndämme, Straßenböschungen oder Brücken), Beläge, Überdachungen, Freiraumausstattung und mobile Photovoltaik. Ausführliche Details dazu sind auf der Projekthomepage zu finden<sup>1</sup>. Durch die Verschneidung der Freiraumtypen (siehe Abb. 1) mit den Photovoltaikanwendungen entstanden 90 Nutzungstypen, von denen 52 für die weitere Bearbeitung als geeignet ausgewählt wurden. Anhand dieser Nutzungstypen wurde die Bandbreite von Synergieeffekten, Konfliktpotenzialen und Handlungsoptionen erarbeitet. Eine Übersicht der Nutzungstypen befindet sich im Anhang.

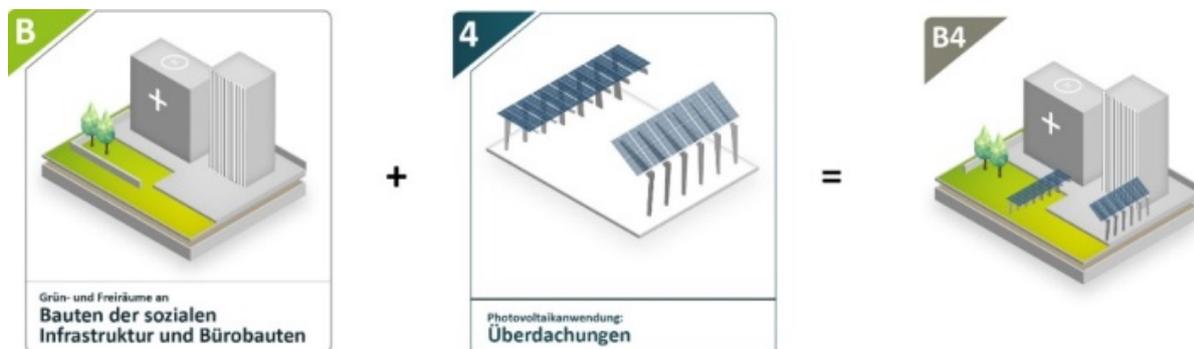


Abbildung 1: Bildung eines Nutzungstyps – Begriffsdefinition und Beispiel

<sup>1</sup> <http://synenergy.boku.ac.at/index.php/projektphasen/nutzungstypen/>

Für die verschiedenen Freiraumtypen wurden – sofern valide GIS-Daten zur Abgrenzung zur Verfügung standen – Potenziale ausgewiesen, die online als Web-Applikation zur Verfügung stehen ([http://cities.ait.ac.at/uilab/udb/home/pv\\_explorer/](http://cities.ait.ac.at/uilab/udb/home/pv_explorer/)).

### 3.2 Räumliche Analyse des Solarpotenzials

Die räumlichen Analysen für die Ermittlung der PV-Potenziale im Untersuchungsgebiet (Stadt Wien und Gemeinde Korneuburg) wurden mit der GIS-Software von Esri ArcGIS® durchgeführt. Mit dem ArcGIS-Werkzeug *Area Solar Radiation* (Esri, 2017) wurde die Sonneneinstrahlung flächendeckend berechnet (Klaus Paccagnel, o. J.) (Michael Oßwald, 2013) (Chow, Fung, & Li, 2014).

Die Sonneneinstrahlung auf eine bestimmte Fläche ist abhängig von der geographischen Lage, Neigung und Ausrichtung sowie dem durch topografische Gegebenheiten (Vegetation, Gebäude, Geländeerhebungen,...) verursachten Schatten (vgl. Abbildung 2) – diese Parameter werden vom *Area Solar Radiation* Werkzeug berücksichtigt.

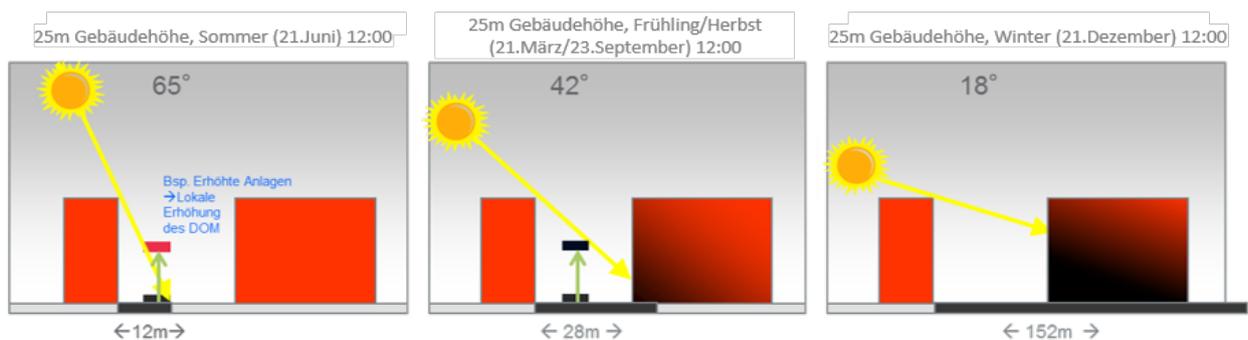


Abbildung 2: schematische Darstellung eines Schattenwurfs in Abhängigkeit von Sonnenstand und Gebäudegröße bzw. -höhe (eigene Darstellung AIT/SBC)

Schattenwerfende Objekte, die besonders im urbanen Raum eine wesentliche Rolle für das PV-Potenzial spielen, wurden mit Hilfe des digitalen Oberflächenmodells (DOM) der Stadt Wien (Stadt Wien, 2017) in die Modellberechnung integriert. Da dem DOM eine Laserscan-Befliegung der Stadt Wien aus dem Jahr 2007 zugrunde liegt und mittlerweile zahlreiche Veränderungen stattgefunden haben, wurde eine Aktualisierung mit Hilfe des aktuellen Baukörpermodells (BKM) von Wien durchgeführt<sup>2</sup>. Im Rahmen dieser Aktualisierung wurden auch Störobjekte im DOM (z.B. Abgasfahnen, Flugobjekte, Kräne oder Hochspannungsleitungen) entfernt, da diese eine valide Schattenwurfberechnung erheblich beeinflussen. Abbildung 3 zeigt ein Beispiel eines Störobjektes - die Abgasfahne der Müllverbrennungsanlage Flötzersteig: Links ist das originale DOM dargestellt, in der Mitte der sich daraus ergebende Schattenwurf am 21. September um 15:00h und rechts der Schattenwurf zum selben Zeitpunkt, basierend auf dem korrigierten DOM.

<sup>2</sup> Geodatenviewer der Stadtvermessung Wien, [www.wien.gv.at/ma41/datenviwer/public/start.aspx](http://www.wien.gv.at/ma41/datenviwer/public/start.aspx)

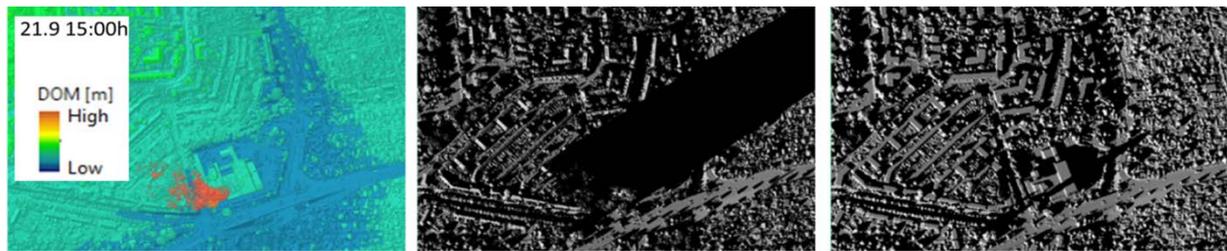


Abbildung 3: Originales DOM, Schattenwurf im originalen DOM, Schattenwurf im korrigierten DOM (eigene Darstellung AIT/SBC)

Neben der Berücksichtigung des BKM wurden in etwa 300 größeren Gebieten Störungen semi-automatisch korrigiert. Dabei wurden manuell Polygone gezeichnet und in diesen unrealistisch hohe Werte des originalen DOMs analog zur Korrektur mittels aktuellem BKM durch abgeschätzte Werte der Umgebung ersetzt – entweder manuell oder automatisch durch geeignete GIS-Raster-Funktionen (z.B. FOCALMEAN). Dadurch konnten Einflüsse durch Baukräne sowie des Hochspannungsnetzes eliminiert werden, die ansonsten als bis zum Boden reichende Barrieren den Schattenwurf massiv beeinflussen würden. Weiters wurden zahlreiche, nicht im BKM enthaltene Gebäude (z.B. Verkehrsinfrastruktur-Bauwerke), manuell inkludiert, sofern deren Schattenwurf als bedeutend angesehen wurde, also ihre Form, Größe und Höhe die Umgebung maßgeblich beeinflussen. Auch Änderungen der Baumvegetation wurden im Rahmen der Aktualisierung berücksichtigt, sofern diese visuell erkannt oder durch Verschneiden mit dem oben angeführten aktuellen BKM detektiert werden konnten. Das gleiche Verfahren wurde auch für Korneuburg angewendet.

### 3.3 Ergebnisse Solarpotenzial

Auf Basis der Sonneneinstrahlung und des DOM für die Schattenmodellierung wurde das Solarpotenzial in Wien und Korneuburg in einer Rasterauflösung von 1x1m berechnet. Anzumerken ist, dass es sich dabei um das solare Einstrahlungspotenzial handelt und nicht berücksichtigt wurde, ob vor Ort eine optimale Ausrichtung und Neigung für die PV-Anlagen möglich ist. Im Falle einer optimalen Ausrichtung (v.a. Neigungswinkel) kann dementsprechend noch eine Steigerung des Jahresenergieertrages erzielt werden.

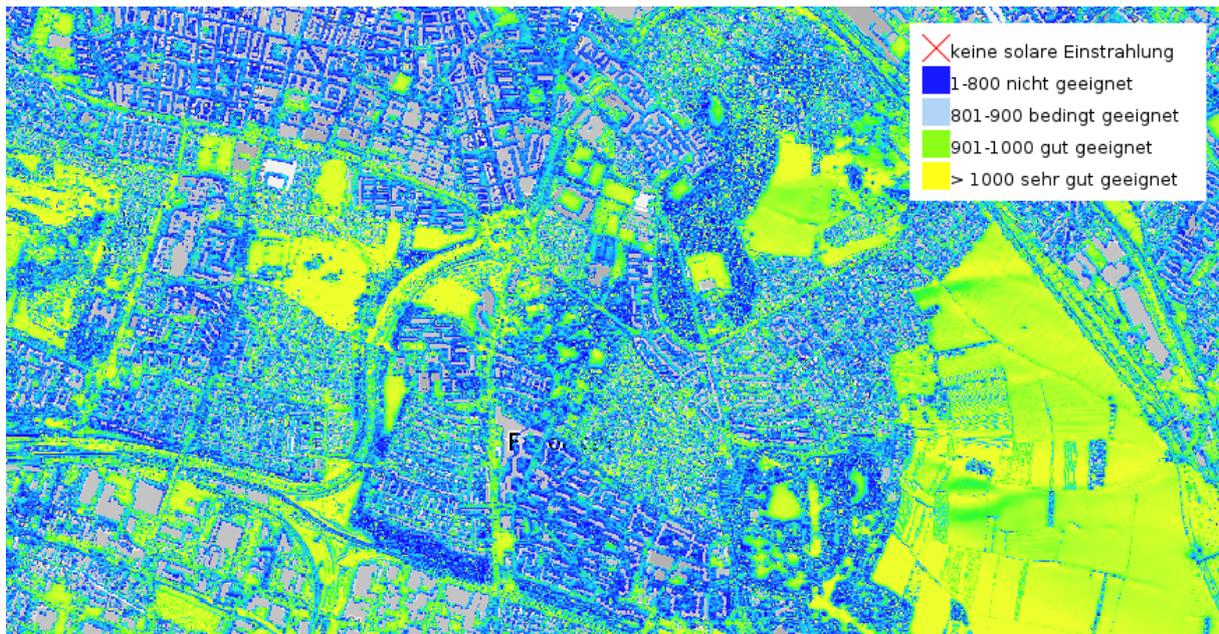


Abbildung 4: Ausschnitt aus der Solarpotenzialkarte (Quelle: AIT/SBC eigene Berechnungen)

### 3.4 PV-Potenziale von Nutzungskonzepten

Wie in Kapitel 2.1 erwähnt, wurden für einzelne Nutzungstypen Potenzialszenarien berechnet. Aufgrund der schlechten Datenlage betreffend die Zuordnung von Freiraumtypen kann dafür jedoch keine ausreichende Berechnungsgenauigkeit gewährleistet werden. Die frei verfügbaren Daten (Open Government Daten) der Stadt Wien<sup>3</sup> sind hier zu ungenau und für Freiraumtypen-spezifische Potenzialanalysen kaum geeignet. Spielplätze beispielsweise liegen nur als Punktdatensatz vor und erlauben daher keine Flächenallokation. Alternativ wurde deshalb auch mit OpenStreetMap<sup>4</sup> (OSM)-Daten gearbeitet, da hier Flächenausweisungen einzelner Freiräume vorhanden sind. Aufgrund mangelnder Beschlagwortung oder Klassifizierung der Flächen sind Zuordnungen zu Freiraumtypen aber häufig nur unscharf möglich. Die nachfolgende Abbildung zeigt Szenarien einer groben Potenzialabschätzung für die Nutzungskategorien Parkplatz und Spielplatz. Es wurden drei verschiedene Szenarien berechnet: (1) Die Summe der solaren Einstrahlung auf allen Flächen, (2) ausschließliche Berücksichtigung von Flächen, deren mittlere spezifische Jahreseinstrahlung über  $700\text{kWh/m}^2\cdot\text{a}$  liegt und (3) ausschließliche Berücksichtigung von Flächen, deren mittlere spezifische jährliche solare Einstrahlung  $850\text{kWh/m}^2\cdot\text{a}$  übersteigt. Da Flächen unter  $700\text{kWh/m}^2\cdot\text{a}$  zumeist unwirtschaftlich sind, stellen die Szenarien (2) und (3) wirtschaftlich realistischere Szenarien dar. Anzumerken ist dabei auch, dass bei den Parkplätzen nur größere Parkplätze in die Berechnung Eingang fanden. Die Wiener Flächenmehrzweckkarte beinhaltet zahlreiche Schräg- oder Senkrechtparkflächen (kleinere Flächen) entlang der Straße (Anzahl: ca. 21.500, mittlere Größe: ca.  $110\text{ m}^2$ ), die großteils von den direkt angren-

<sup>3</sup> <https://open.wien.gv.at/site/>

<sup>4</sup> <https://www.openstreetmap.org>

zenden Häusern beschattet und somit auch ausgenommen wurden. Im Gegensatz dazu sind in den OSM-Daten auch größere Flächen (z.B. Firmen-, Geschäftsparkplätze sowie Parkhäuser) enthalten (Anzahl: ca. 1.900, mittlere Größe: ca. 1.800 m<sup>2</sup>). Aufgrund der Datenlage ist hier deshalb auch nur von einer groben Abschätzung auszugehen. Die Abbildung soll vielmehr die Potenzialszenarien aufzeigen, die sich aufgrund der Schwellenwerte der spezifischen Jahreseinstrahlung pro Fläche ergeben, die wiederum für die Wirtschaftlichkeit wesentlich ist.

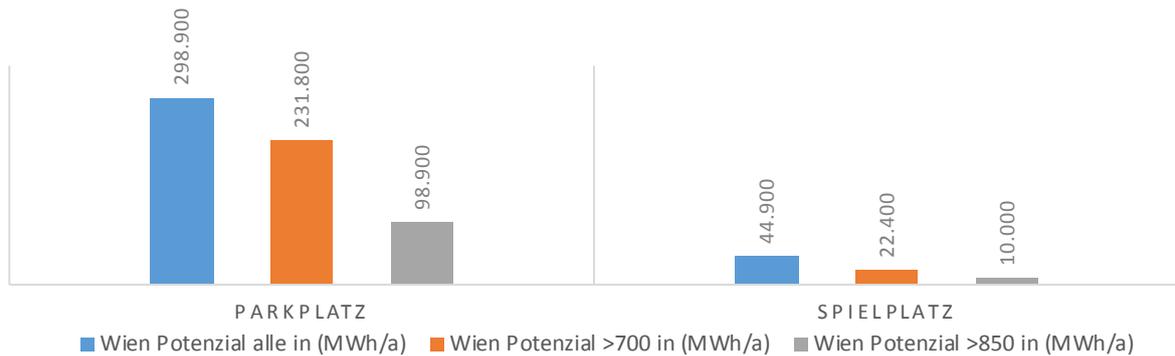


Abbildung 5: Solare PV-Stromproduktion Szenarien (MWh/Jahr) für Parkplätze und Spielplätze in Wien; Weitere, lokale Ergebnisse sind im Webdashboard abrufbar. Quelle: AIT/SBC eigene Berechnungen mittels Referenzwerten aus dem „Photovoltaik-Rechner, klimaaktiv“, o. J.)

Für Korneuburg sind im Gegensatz zu Wien keine freien Daten (OGD) verfügbar, und die OpenStreetMap-Daten weisen erhebliche Lücken auf, weshalb eine Freiraumtypenspezifische Analyse des PV-Potenzials nicht möglich ist. Alternativ wurde deshalb im Rahmen des Projektes mit dem PV-Explorer ein interaktives Analysewerkzeug entwickelt (PV-Potenzial-Calculator), mit dem NutzerInnen eigenständig Potenziale für die von ihnen ausgewählten Flächen berechnen können (siehe dazu die folgende Abbildung).

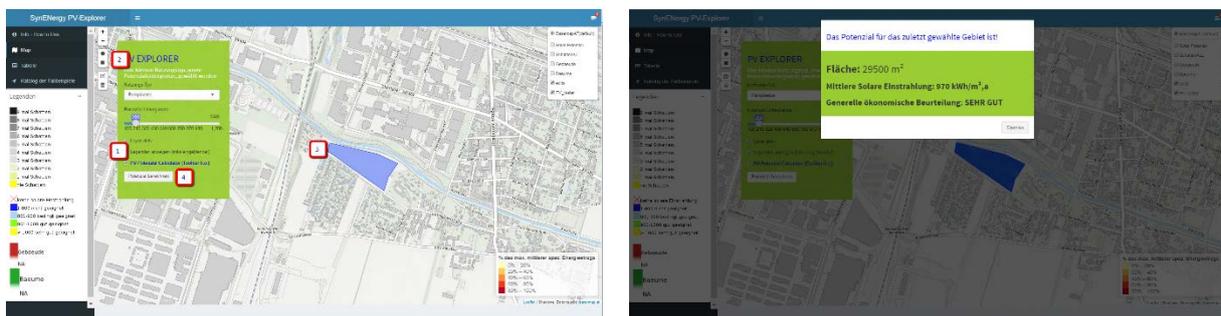


Abbildung 6: PV-Potenzial Calculator (Quelle: Screenshot Entwicklung AIT/SBC<sup>5</sup>)

<sup>5</sup> [http://cities.ait.ac.at/uilab/udb/home/pv\\_explorer/help/PVExplorer\\_help.html?PVPotenzialCalculator.html](http://cities.ait.ac.at/uilab/udb/home/pv_explorer/help/PVExplorer_help.html?PVPotenzialCalculator.html)

## **4 Landschaftsarchitekturintegrierte Photovoltaik (LAIpV)**

### **4.1 Arbeitsschritte und Entwurfszugang**

An den drei Fallstudienorten wurden landschaftsarchitektonische Entwürfe im Sinne einer „landschaftsarchitekturintegrierten Photovoltaik“ entwickelt. Das bedeutet, dass keine seriell multiplizierbare Lösung angestrebt, sondern spezifisch für den Ort entworfen wurde. Die Photovoltaikanwendung soll spezifische räumliche Qualitäten ergänzen und erweitern, und somit integraler Bestandteil des Freiraums sein. Varianten der Entwürfe dienten projektintern zur Diskussion von möglichen Synergien oder Konflikten. Die Entwürfe sind konkret und wurden in Absprache mit den Projektpartnern in einem Maße detailliert, welche die Berechnung von Energieerträgen und Kosten im Forschungsprojekt ermöglichte. Sie dienen zunächst den Studienzwecken und sind nicht zur unmittelbaren baulichen Umsetzung vorgesehen.

### **4.2 Ergebnisse – SynThesen: Handlungsfelder zur synergieorientierten Entwicklung von Photovoltaikanlagen im urbanen Freiraum**

Vier Handlungsfelder (SynThesen) geben einen Überblick zu Synergien und Wechselwirkungen, die Resultat einer Integration von Photovoltaik in den Stadtraum sein können. Im Zuge des Entwurfsprozesses bieten sie eine Hilfestellung für die Formulierung von Zielen. Sie stehen in einem dynamisch-systemischen Zusammenhang, somit muss jede Entscheidung bzw. Zielsetzung in einer SynThese mit Auswirkungen in den anderen SynThesen verglichen und abgewogen werden.

Anhand ausgewählter Aspekte der einzelnen Entwürfe zu den Fallstudienorten werden folgend die vier Handlungsfelder erläutert. Bei der Entwicklung einer Freiraumgestaltung mit Photovoltaik geht es immer um die Abwägung der unterschiedlichen Ziele in allen vier Handlungsfeldern, um möglichst viele Synergien zu erreichen oder zu initiieren.

#### **4.2.1 SynThese 1 „Sichtbarkeit & Bewusstsein“**

In diesem Handlungsfeld geht es um mögliche Synergien und Herausforderungen, die städtische Lebensstile und die Akzeptanz von Infrastruktur für die Produktion erneuerbarer Energie in der Stadt betreffen. Die Wirkung von Photovoltaikanlagen im Stadtraum wird in Hinblick auf ihre Wahrnehmbarkeit als Energieinfrastruktur (auch im Gegensatz zum Einsatz auf Gebäudedächern) sowie als Träger eines „grünen“ und fortschrittlichen Images bewertet.

Ziele in diesem Handlungsfeld für den Großparkplatz des Shoppingcenters G3 sind das Sichtbarmachen der Energiewende durch nachhaltige Energieerzeugung am Parkplatz und

die Entwicklung eines Leuchtturmprojektes (eine Anbringung von PV auf dem Gebäudedach ist aus statischen Gründen nicht möglich). Der gesamte Parkplatz verfügt über eine markante landschaftsarchitektonische Gestaltung<sup>6</sup> und unterscheidet sich damit klar und sichtbar von herkömmlichen Anlagen dieser Art. Modellierte Topographie und entsiegelte, sickerfähige Parkflächen als Teil eines Regenwassermanagements sind gestaltbestimmende Merkmale des Parkplatzes. Unter Einbeziehung des Regenwassermanagements wird in der Fallstudie G3 in Gerasdorf der Parkplatz teilweise mit Photovoltaikpaneelen überdacht. Ausgangspunkt des Konzeptes ist der vorhandene Entsiegelungsgradient des Parkplatzes, der mit der Entfernung zum Gebäude zunimmt. Gegengleich dazu wird die PV eingesetzt. Die Paneele sind auf den befestigten Flächen am dichtesten und lösen sich mit der Entfernung zum Gebäude in punktuelle Elemente auf und gliedern sich somit gestalterisch in den Rhythmus des Bestandes ein (Abbildung 7).

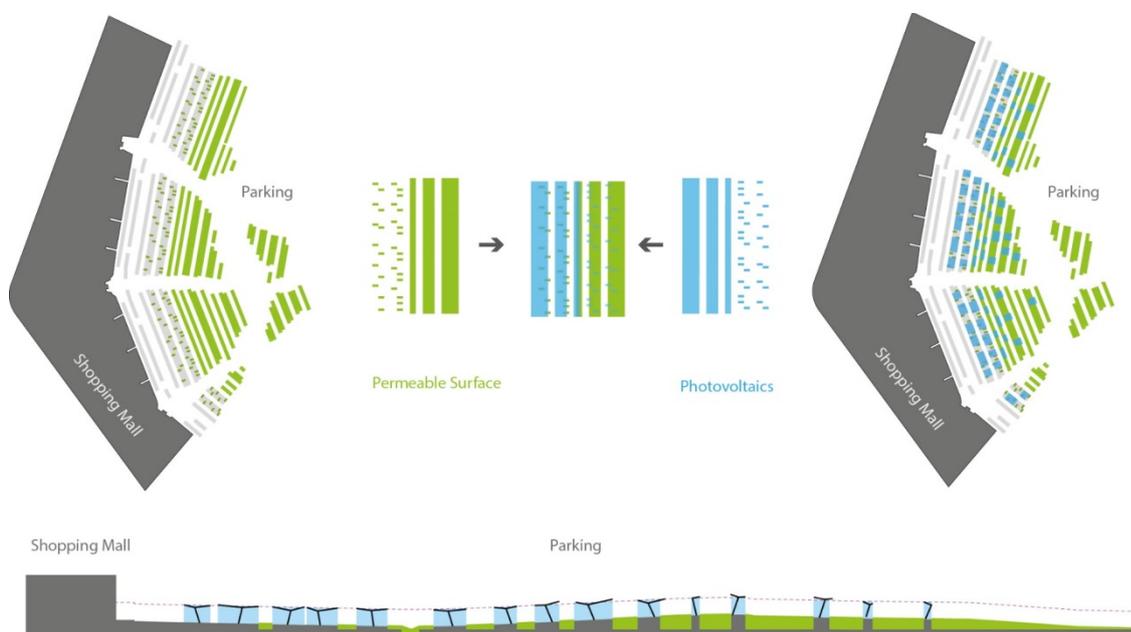


Abbildung 7: Konzept: Verschneidung des Entsiegelungsgradienten mit dem PV-Gradienten (BOKU-ILA)

Die Überdachungen nehmen das Thema der modellierten Topographie des Ortes auf, setzen es fort und bilden durch unterschiedliche Dachwinkel und Unterkonstruktionsformen (Spannen) eine eigenständige, markante wellenartige Überformung. Dies verlangt ein modulares System der Unterkonstruktion.

Die markante Architektur des G3-Gebäudes aus Holz findet eine Entsprechung in der Material- und Formwahl der Unterkonstruktion der PV-Überdachungen. Diese werden aus Leimbändern (Schichtholz) vorgesehen. Ein modulares Spantensystem ermöglicht die Kombination zu unterschiedlich steil angestellten Dachformen und somit die Möglichkeit einer sensiblen Anpassung an die Dachform des Shoppingcenters und die Topographie von Parkplatz und Landschaft (Abbildung 8).

<sup>6</sup> Kieran Fraser Landscape Design

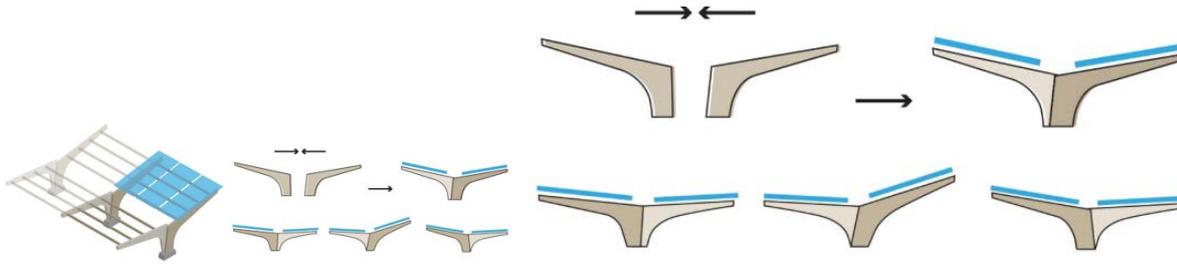


Abbildung 8: Varianten der Unterkonstruktion (BOKU-ILA)

#### 4.2.2 SynThese 2 „Aufwertung & Attraktivierung“

In diesem Handlungsfeld werden Synergien mit Zielen der Inszenierung und Attraktivierung von Stadtraum, zusammengefasst. Im Gegensatz zur vorangegangenen SynThese wirkt die Gestaltung der Photovoltaikanlage hier auf das physische Bild der Stadt, wohingegen in SynThese 1 das positive Image erneuerbarer Energie, die Produktion von Energie an sich, im Vordergrund steht. Kann also Photovoltaik als integraler Bestandteil einer Freiraumgestaltung dazu beitragen, einen Stadtteil aufzuwerten, den EinwohnerInnen die Möglichkeit geben, sich neu und anders mit einem Grätzl zu identifizieren?

Das Werftareal in Korneuburg wird seit 2016 neu geplant. Die ehemalige Slipanlage<sup>7</sup> wird heute bei gutem Wetter als Liegewiese zum Bad in der Donau genutzt. Dies ist ein guter Ansatzpunkt für Syn[En]ergy, an einem Schnittpunkt von Erholung und zukünftiger Urbanität, Photovoltaik im Freiraum neu mitzudenken und einen Beitrag zur Aufwertung des Gebietes zu leisten. Eine ehemalige Produktionsfläche wird durch Photovoltaik „in-Wert-gesetzt“.

Die „Werftboxen“ bleiben dem Charakter des Hafens treu und ergänzen ihn als Freizeitinfrastruktur mit Mehrwert. Hier soll Energieerzeugung mit Photovoltaik als Schattenspender, als innovativer All-round-Strandkorb Freude machen und sowohl die soziale Funktion des Ortes, als auch die Alltagswahrnehmung von Photovoltaik positiv beeinflussen und damit einen Beitrag zur „Ortsbildung“ leisten.

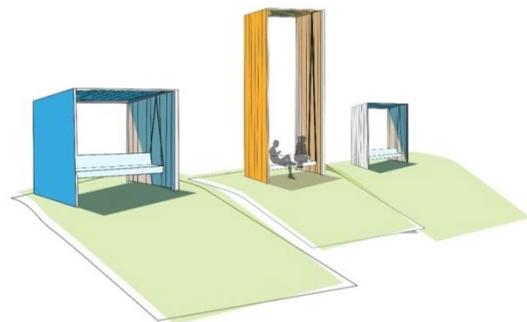


Abbildung 9: Ideenskizze Werftboxen (BOKU-ILA)

#### 4.2.3 SynThese 3 „Raum & Möglichkeit“

Das dritte Handlungsfeld gibt einen Überblick zu möglichen Synergien der Freiraumnutzung mit Photovoltaikanlagen. Dabei werden sowohl Synergien mit bestehenden Nutzungen des urbanen Freiraums, als auch die Möglichkeiten der Etablierung neuer Nutzungsmöglichkeiten bedacht. Wie kann Photovoltaik die Nutzbarkeit des Freiraums beeinflussen und evtl. ergänzen?

<sup>7</sup> Rampe auf der Schiffe zu Wasser gelassen werden

Bei der Fallstudie Floridsdorfer Markt wurde die Spannweite und Richtung der Arkadenbögen des historischen Schlingerhofs im Norden des Platzes als Referenz des Stützenrasters auf dem Platz herangezogen, um eine Fortsetzung der Maßstäblichkeit im Bestand zu erreichen.

Die Stützen dienen auch als Infrastruktur für ein flexibles Marktlayout. Marktstände können kurzfristig – und unterschiedlich ausgerichtet – „eingespannt“ werden. Begrünte Rankgitter zonieren den Raum neu. Gemeinsam mit einem zentralen Wasserspiel werden das Mikroklima und die Aufenthaltsqualität stark verbessert (siehe Abbildung 10).

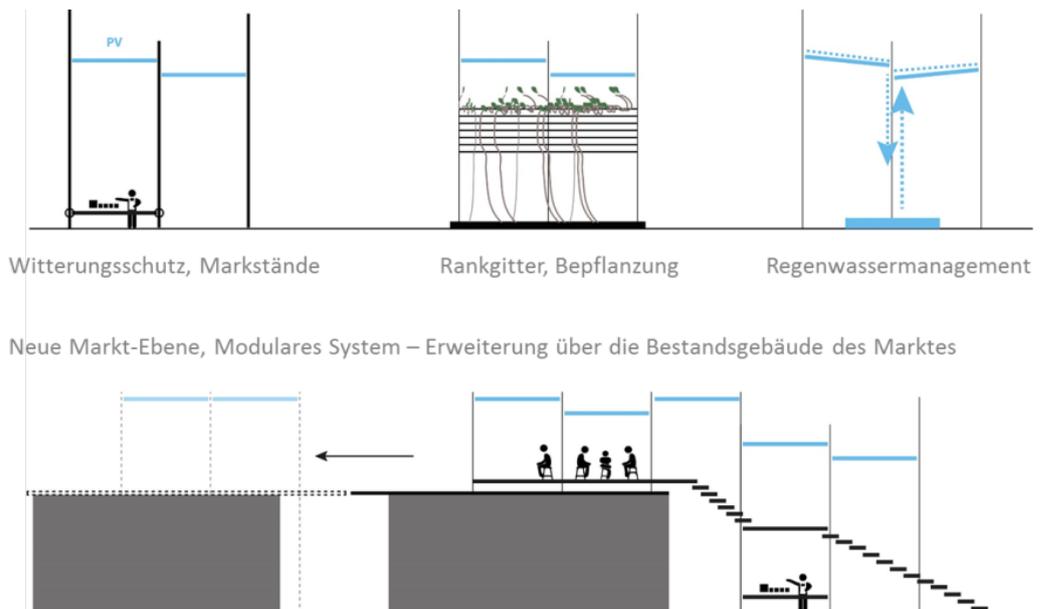


Abbildung 10: Nutzungsschema & Programm-Module (BOKU-ILA)

#### 4.2.4 SynThese 4 „Errichtung & Betrieb“

In enger Wechselwirkung mit den bisherigen SynThesen stehen Synergien hinsichtlich Kosten, Effizienz, Pflege, Unterhalt und Errichtung der Photovoltaikanwendungen, die in diesem Handlungsfeld erarbeitet werden. Die Handlungsoptionen betreffen eine anlagenspezifische Optimierung und Wartung der Anlage, die Möglichkeiten des Stromverkaufs, aber auch eine Recherche und Inanspruchnahme von verfügbaren Förderungen.

### 4.3 Zusammenfassung und Diskussion der LAiPV

Für drei Freiräume mit unterschiedlichem Urbanitätsgrad und unterschiedlichen Nutzungsanforderungen wurden ausgewählte Nutzungskonzepte in Entwürfen konkretisiert. Es zeigt sich, dass eine gestalterische und funktionelle Integration von Photovoltaik auf einer theoretisch-schematischen Ebene vielfältig möglich ist. Als raumbildendes Element im Freiraum ist Photovoltaik von Beginn an in ein landschaftsarchitektonisches Planungsprojekt zu integrieren. So sind größtmögliche Synergien im Entwurf „Floridsdorfer Markt“ (im Kontext der Umgebung) realisierbar, da die Photovoltaik Zentrum und Ausgangspunkt der Gestaltung ist. Der Ausformulierung der Anlage liegen ausschließlich Ziele für eine Aufwertung des Ortes (wie eine Verbesserung des Mikroklimas, die Etablierung eines flexiblen Markttrasters, Stei-

gerung der Aufenthaltsqualität) und Erfordernisse der PV (Höhe, Ausrichtung, Dimensionierung) zugrunde.

In der Fallstudie G3 ist die Überdachung der Stellplätze zwar sinnvoll, naheliegend und gestalterisch gewinnbringend – der Entwurf muss aber auf eine Reihe von Tatsachen des Bestandes reagieren. So ist die Ausrichtung und Anzahl der Stellplätze vorgegeben (wenn nicht der gesamte Parkplatz neu errichtet werden soll), Topographie und Entsiegelung – die herausragenden Gestaltungsmerkmale des Bestandes – sind ohne Photovoltaiknutzung, ja ohne Überdachung gedacht und entworfen worden, somit ist der Entwurf für diese Fallstudie ein Add-On, welches Synergien mit dem Bestand schaffen kann, indem die Autos im Sommer nicht überhitzen und bei Regen in Ruhe geladen werden kann. Völlig neue Nutzungen sind hier schwieriger zu evozieren – in diesem Nutzungstyp aber auch nicht notwendig. Hier ist sichtbare, erneuerbare Stromerzeugung inklusive Imagegewinn nicht nur Idee, sondern Thema.

Die Fallstudie in Korneuburg zeigt auf, wie das Hinzufügen von Photovoltaik in einen Erholungsraum aussehen könnte, der nicht per se nach Energieerzeugung verlangt. Die Photovoltaiknutzung kann hier integriert in ein exklusives Freiraummobilien als Ortsbildner den Raum umdeuten und neu interpretieren – aus der eher informell, extensiv genutzten Slipanlage als Liegewiese wird ein rund ums Jahr nutzbarer Treffpunkt, der eine Adresse werden kann. Die Werftschaukeln und Werftboxen sind einzigartige Ausstattung in erster und Stromerzeuger erst in zweiter Linie.

Jede Photovoltaikanwendung beeinflusst die Qualitäten eines Freiraums. Die ausgearbeiteten vier SynThesen sind Basis für das Aufzeigen möglicher Synergien und die Formulierung von Gestaltungszielen zur Qualitätssteigerung des Freiraums.

## **5 Technisch und wirtschaftliche Anforderungen an Photovoltaik im urbanen Raum**

Die im Projekt Syn[En]ergy analysierten urbanen Freiräume unterscheiden sich hinsichtlich möglicher Photovoltaikanwendungen technisch fundamental. Insbesondere differieren die Anwendungsmöglichkeiten und Installationsarten bezüglich der mechanischen Anforderungen und dem Designanspruch. Im Projekt in Betracht gezogen wurden die Anwendungsfälle:

1. Freiflächenanlagen (auf Betriebsflächen, öffentlich zugänglich oder bodennah)
2. PV als Bodenbelag (für Plätze, Fußgängerwege und Radwege oder Autos)
3. PV direkt in die Landschaft integriert
4. PV schwimmend auf Wasserflächen
5. Überdachungen mit PV-Modulen
6. PV-Geländer
7. Kleinanlagen mit PV im öffentlichen Raum
8. Stadtmöbel und Infrastrukturelemente (Straßenlampen, Bushaltestellen, Parkscheinautomaten, Handyladestation, Solarcafe-Wagen)
9. Kunstwerke mit PV

Die einsetzbaren Solarmodule und Systeme sind je nach Anwendung, Montageart, Systemaufbau und den sich daraus ergebenden jeweiligen Anforderungen unterschiedlich ausgebildet. So ist es wesentlich, ob Personen durch die Anlage gefährdet werden können.

## 5.1 Technische Anforderungen von Freiflächenanlagen

### 5.1.1 PV-Freiflächenanlagen als Kraftwerke

Freiflächenanlagen bestehend aus Standardmodulen auf Standardunterkonstruktionen sind als preiswerte Systemtechnologie das „Arbeitspferd“ der Photovoltaikindustrie ebenso wie der Photovoltaikinvestoren. Dies betrifft insbesondere die Solarmodule, an welche ausschließlich sich aus den Photovoltaik-Modulnormen ergebende elektrotechnischen Anforderungen gemäß IEC-Normen gestellt werden – und kaum bauliche. Das bedeutet, dass die meisten Photovoltaikanlagen – insbesondere ‚Green Field‘- also ‚Freiflächen‘-Anlagen nur als photovoltaische Elektroanlagen geprüft und zugelassen sind, nicht jedoch als Bauprodukte oder Bauwerke. Voraussetzung dafür ist, dass sich die PV-Anlagen auf umzäunten Betriebsgrundstücken befinden, die nicht von Menschen – außer vom Wartungspersonal – betreten werden können.

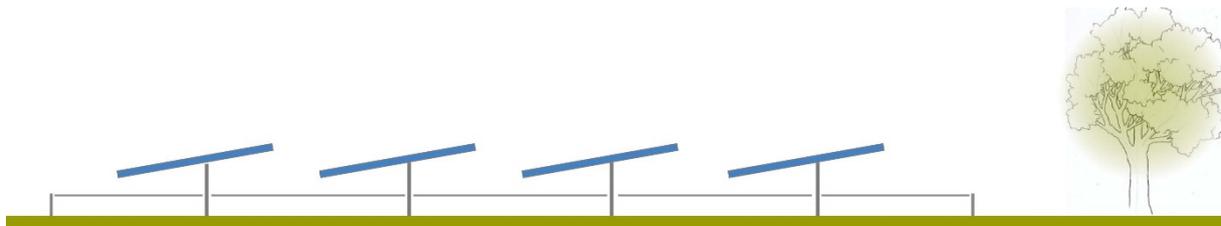


Abbildung 11: Anwendungstyp PV-Freiflächenanlage Betriebsgelände AIT/PVS 2016)

#### Einsetzbare Modultypen:

Standardsolarmodule (Glas-Folien-Lamine) verwendbar ohne besondere mechanische Anforderungen (nur die ‚normalen‘), sowie Standardkonstruktionen.

### 5.1.2 Freiflächenanlagen betretbar (öffentlich zugänglich) mit PV-Modulen ‚Überkopf‘



Abbildung 12: Anwendungstyp PV-Freiflächenanlage öffentlich zugänglich und ‚Überkopf‘ (AIT/PVS 2016)

Befindet sich dieselbe Anlage auf einem Grundstück, auf welchem sich auch Menschen aufhalten, sei es ein öffentliches oder ein privates Grundstück und können die Menschen unter die Solarmodule treten, ergeben sich unmittelbar dieselben Anforderungen, wie nachfolgend für Überdachungen mit PV beschrieben.

### 5.1.3 Überdachungen mit Photovoltaikmodulen

Für die Überdachungen gilt dasselbe, wie für hoch aufgeständerte und zugängliche Freiflächenanlagen - immer dort, wo Menschen sich unter den Solarmodulen aufhalten können, gelten die entsprechenden Schutzanforderungen:

- gegen herabfallendes Glas
- gegen Stromschlag
- gegen Diebstahl

Zu beachten ist, dass die Überdachungskosten zu den sonst üblichen PV-Systemkosten in der Regel zusätzlich hinzukommen wegen der:

- größeren Höhe der Konstruktion
- größeren Spannweite
- höheren Windlasten
- Unfallsicherheit



Abbildung 13: Anwendungstyp PV-Überdachung, zum Beispiel für (Park-) Plätze (AIT/PVS 2016)

#### Einsetzbare Modultypen:

Einsatz von besonders bruchfesten, nicht aus Glas bestehenden oder besonders geschützten Solarmodulen:

- aus Verbundsicherheitsglas (VSG) mit Eignung als Überkopfverglasung
- aus Glas mit Drahtglas als Unterseite
- mit Metall als Unterseite
- aus Kunststoff (keine herabfallenden Glasscherben)
- von Standard-Solarmodulen (Glas-Folien-Laminat) mit einer darunter liegenden Ebene aus Maschendraht, Lochblech, Blech, Holz, Verbundsicherheitsglas oder einer anderen Verschalung

## 5.2 Ergebnisse: Analyse typischer PV-Systemkosten

Der spezifische Preis einer Anlage (Preis pro kWp), ist von Faktoren wie der Anlagengröße und der Art der eingesetzten Komponenten abhängig. Für die Kostenanalyse wurden folgende Kategorien betrachtet:

- Klein (kleine Anlagen bis ca. 5 kWp = ca. 35 m<sup>2</sup>)
- Groß (typische Kraftwerksgrößen von 400 kWp = ca. 3000 m<sup>2</sup>)
- Standard (Standardmodule ohne besondere technische Anforderungen)
- Spezial (Glas/Glas-Module geeignet zum Überkopfeinsatz)

## 5.2.1 Kostenrecherche und -analyse

Anhand der verschiedenen dargestellten PV-Systeme wurden Kostenberechnungen und Recherchen von NIKKO Photovoltaik und dem AIT durchgeführt. Beispielhaft wird die Kostenberechnung für Solarkraftwerke dargestellt, sowie die Marktrecherche für Carportanlagen.

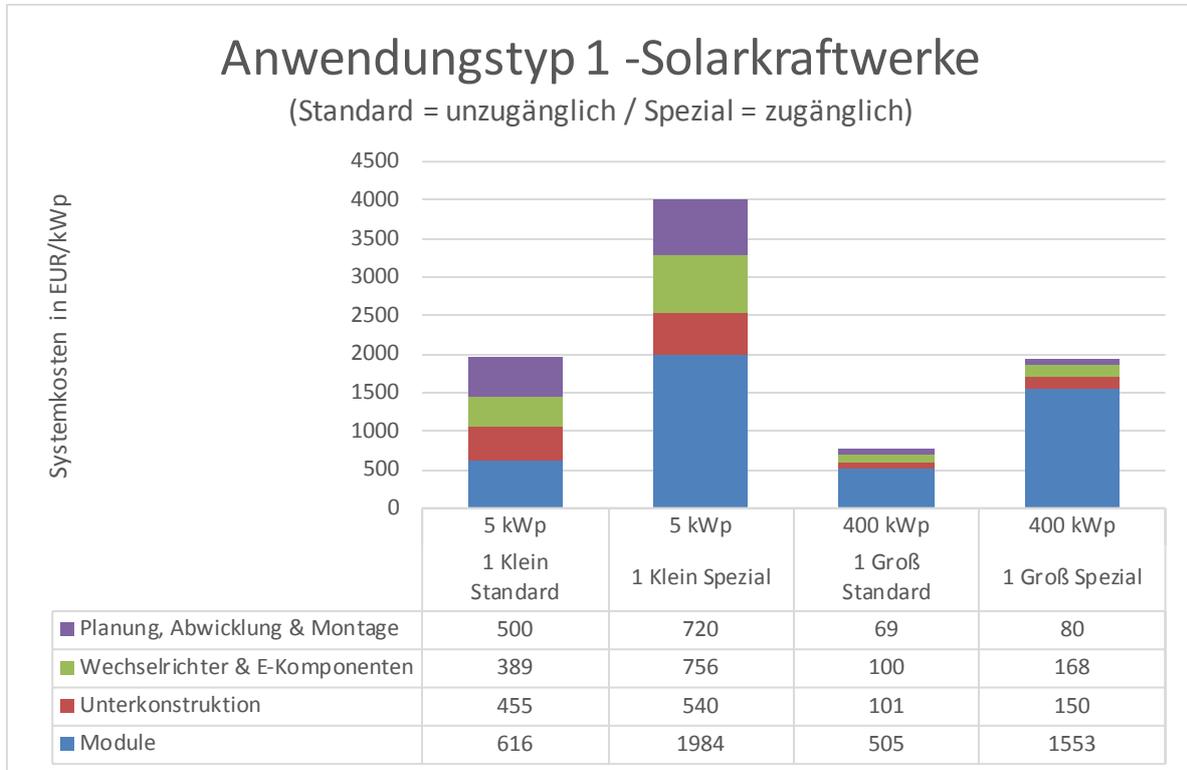


Abbildung 14: Kostenanalyse Anwendungstyp 'Solarkraftwerke' – Quelle: eigene Berechnung Nikko-PV2017 - Graphik AIT/PVS, 2017

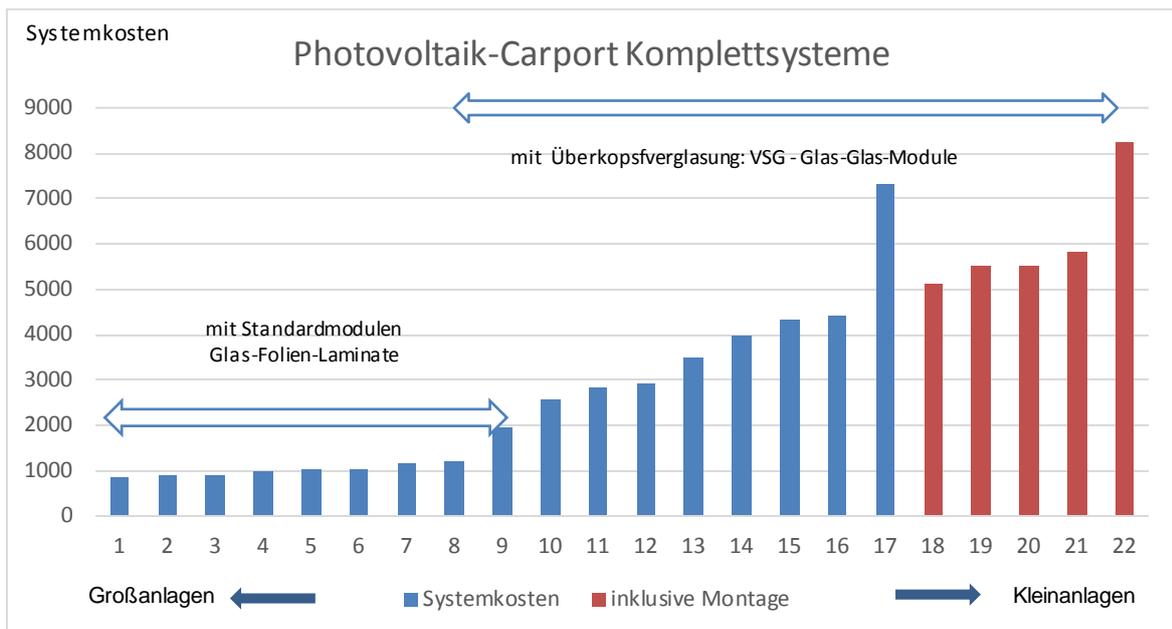


Abbildung 15: Systemkosten verschiedener am Markt verfügbarer Photovoltaik-Carport Komplettsysteme (Nr. 1-22) Quelle: Recherche AIT/PVS, 2017

## 5.2.2 Finanzielle Amortisation von PV-Anlagen verschiedener Anwendungen

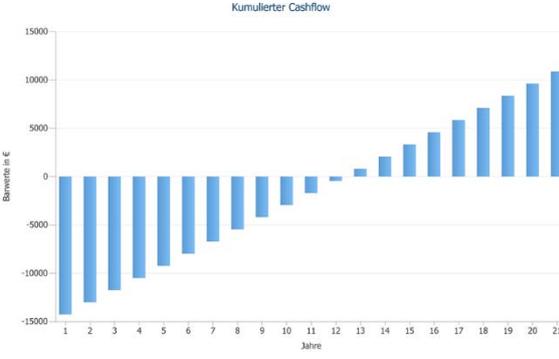
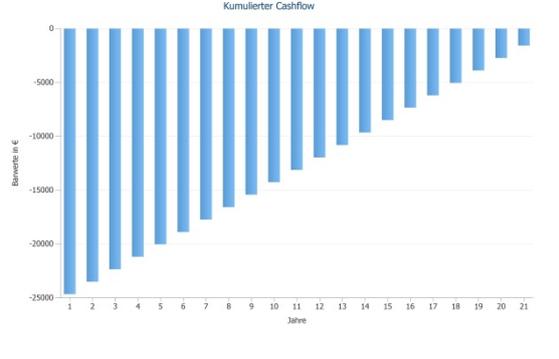
Grundsätzlich kann in netzgekoppelte PV-Systeme und Inselanlagen unterschieden werden. Die Amortisation verschiedener Anlagentypen ist von folgenden Faktoren abhängig, welche die Wirtschaftlichkeit maßgeblich beeinflussen:

- Systemkosten inklusive Planung und Errichtung
- Anschlusskosten
- Anlagentyp (Inselssystem / Netzeinspeisung / Eigenverbrauch)
- Stromtarife Einspeisung und Eigenverbrauch
- Ausrichtung und Neigung
- Verschattung / Besonnung
- Wartungskosten
- (Investitionssummenverzinsung - Kapitalkosten, Gewinnerwartungen)
- (Förderungen)

Wesentliche Unterschiede können in den Betriebskosten liegen, da zum Beispiel Beläge durch den Reinigungsbedarf wesentlich höhere Wartungskosten haben, als schräg installierte PV-Anlagen. Gleiches gilt für batteriegestützte Inselsysteme, welche einen höheren Ersatzteil- und Wartungsbedarf haben als netzgekoppelte Anlagen.

### Sensitivitätsbetrachtung der wirtschaftlichen Amortisation von PV-Anlagen

In der Sensitivitätsanalyse werden Anlagenparameter wie die Systemkosten, die Ausrichtung und Neigung und der Grad der Verschattung variiert. Bei Annahme optimaler Systemparameter: ohne Verschattung, Südausrichtung und PV-Anlagenkosten von 1500 EUR/kWp ergeben sich Stromerzeugungskosten von 8 Cent pro Kilowattstunde und einer Amortisation des eingesetzten zinsfreien Eigenkapitals von 13 Jahren.

<p><b>PV-System südausgerichtet ,optimal':</b></p> <p>Unverschattet, nach Süden, 30° Neigung, PV-Anlagenkosten: 1500 EUR/kWp</p> 	<p><b>PV-System ,optimal' aber Systemkosten 2500 EUR/kWp:</b></p> <p>Unverschattet, nach Süden, 30° Neigung, PV-Anlagenkosten: <b>2500 EUR/kWp</b></p> 
<p>Stromerzeugungskosten: <b>8 Cent</b> / kWh, Amortisation Kapital: <b>13 Jahre</b></p>	<p>Stromerzeugungskosten: <b>13 Cent</b> / kWh, Amortisation Kapital: <b>20 Jahre</b></p>

Quelle: eigene Berechnung AIT/PVS, 2017 mit PV\*SOL

## Stromgestehungskosten bezogen auf Systemkosten pro Kilowatt peak installierter Leistung am Standort Wien / Korneuburg – variiert: Kosten, Verschattung, Wartung

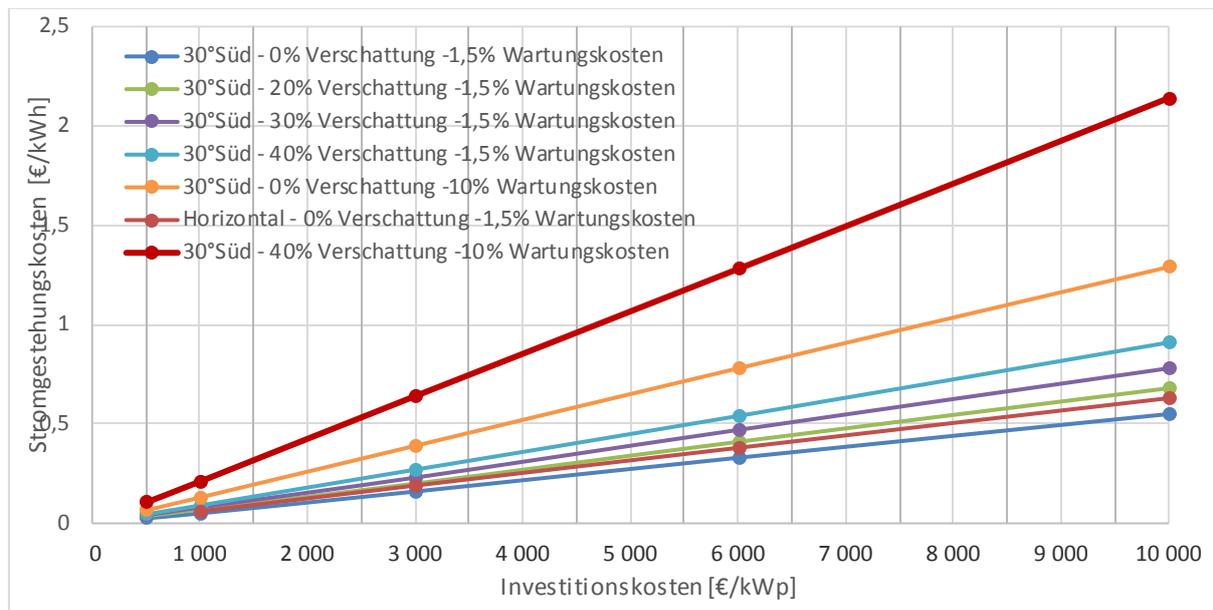


Abbildung 16: Darstellung Bezug von PV-Systemkosten pro kWp installierter Leistung in Stromgestehungskosten am Standort Wien / Korneuburg (eigene Berechnung AIT/PVS, 2017)

Die oben stehende Abbildung gibt das Ergebnis der Sensitivitätsbetrachtung wieder: berechnet wurden die Stromgestehungskosten in EUR pro Kilowattstunde bezogen auf die Investitionskosten sowie verschiedene Ausrichtungen, Verschattungen und Wartungskosten der PV-Anlagen. Dies gibt einen Überblick über die maßgeblichen Wirtschaftlichkeitsfaktoren.

### 5.3 Zusammenfassung: PV-Systemkosten

Die Palette einsetzbarer Photovoltaiksysteme für verschiedenen Photovoltaik-Anwendungstypen ist sehr breit und Marktrecherchen gekoppelt an eigene Berechnungen und Analysen haben gezeigt, dass hier sehr große Preisspannen vorhanden sind. Standardisierte Massenprodukte sind günstig zu haben, je individueller die PV-Anlagen jedoch gefertigt werden, je kleiner die Stückzahlen und je anspruchsvoller die Technologie, umso höher die Kosten.

Weitere wichtige Faktoren sind die Verschattung, die eigenen Stromkosten, die Optionen zur Eigenstromnutzung sowie zur Einspeisung ins Netz bzw. zum Verkauf an der Strom-Börse.

Es lassen sich drei Anlagengruppen ausfindig machen, welche wirtschaftlich sind:

- massenproduzierte Inselsysteme
  - wirtschaftlich durch Einsparung von Netzanschlusskosten und Vermeidung des Verlegens von Leitungen (meist am Straßenrand)
- Großanlagen mit Standardmodulen
- kleine Standard-Anlagen bei hohem Eigenverbrauch

Die Sensitivität gegenüber Abweichungen ist allerdings groß: Ungünstige Verschattungsfaktoren, höhere Anlagenpreise oder limitierte Einspeiseoptionen lassen die Wirtschaftlichkeit

innerhalb von ca. 15 Jahren unerreichbar werden. Diese wäre aber unter den gegebenen Parametern erforderlich, um innerhalb der Garantiezeit von 25 Jahren noch maßgebliche Gewinne zu erwirtschaften.

Straßenbeläge sind derzeit noch in der Prototypenphase. Die hier erhobenen Preise rechnen sich nur dort, wo z.B. mit dem ‚Sun Monument‘ (Zubrinic, 2008) ein Kunstwerk geschaffen wird, welches sich selbst mit Strom versorgt und keiner Einspeiselogik unterliegt, sondern welches trotz der hohen Anschaffungskosten durch die künstlerische Wirkung für die Stadt wertvoll ist – und ggf. nicht teurer als andere Kunstwerke.

Die Aussicht auf Massenproduktion könnte gerade stärker nachgefragte standardisierbare PV-Module wie auch diejenigen für Überkopfverglasung zukünftig wettbewerbsfähig machen. Hier scheint die Frage der Massenproduktion stärker zu wiegen, als die höheren technischen Anforderungen, wenngleich sicherlich immer gewisse Preisspannen bleiben werden. Überdachungen haben wegen der möglichen Synergieeffekte und der oft sehr guten Einstrahlung ein hohes Potenzial zukünftig wirtschaftlich realisierbar zu sein.

Bereits in der Massenproduktion befindlich sind kleine mobile Anwendungen. In den Massenmärkten, welche von Freizeit-, Sport- und Campingprodukten angetrieben sind, sind bereits sehr günstige Preise erkennbar. Diese sind dabei auch den Markt für Solare Beleuchtung, Verkehrsanlagen und Stadtmöbel nach und nach zu erobern. Allerdings ist die Qualität vieler angebotener Consumer-Massenprodukte auch nicht mit der Langzeithaltbarkeit netzgekoppelter PV-Systeme vergleichbar.

## **6 Synergieeffekte und soziale Akzeptanz von Photovoltaik im urbanen Raum**

Vermeehrt treffen Planungsprojekte für erneuerbare Energie auf lokalen Widerstand, da Aspekte sozialer Akzeptanz oder mögliche Mehrwerte für die AnrainerInnen im Planungsprozess nicht ausreichend bedacht und/oder kommuniziert werden. Einer generellen Zustimmung zu erneuerbarer Energie steht deshalb häufig eine Ablehnung konkreter Projekte im unmittelbaren Lebensumfeld gegenüber (Wolsink, 2007). Photovoltaik-Installationen wird zwar mit sehr großer Offenheit begegnet, und sie können in urbanen Freiräumen Synergien wie etwa Wetterschutz, Beschattung oder Raumstrukturierung schaffen. Mit der Stromproduktion vor Ort kann zusätzlicher ökonomischer Mehrwert generiert werden. Dennoch bedingen Photovoltaik-Paneele aufgrund ihres Erscheinungsbildes eine Technisierung des (Landschafts)-Raumes, weshalb der Einsatz verschiedener Varianten und Intensitäten sorgfältig überlegt werden und auf die jeweiligen Freiräume abgestimmt werden sollte. Die Entwürfe (Kapitel 3) der Fallstudien (Kapitel 2.2) wurden deshalb visualisiert und im Rahmen einer Zielgebietsbefragung hinsichtlich ihrer Akzeptanz untersucht.

## 6.1 Methodik zur Akzeptanzuntersuchung

Zur Erhebung der Einstellung zu PV im urbanen Raum und Bewertung der Entwürfe wurde ein Visualisierungsparcours mit einer Zielgebietsbefragung kombiniert. Vor der Befragung wurden die teilnehmenden Personen über das Projekt informiert und zum Betrachten der Entwürfe als VR-Modelle zur Betrachtung in Oculus Rift-Brillen oder als vollsphärische 360° Panoramen zur Betrachtung auf Computermonitoren eingeladen. Ergänzende ExpertInneninterviews beleuchten Fallbeispiele aus Sicht von Politik und Planung.

### 6.1.1 Zielgebietsbefragung

Im Rahmen der Zielgebietsbefragung wurden an den drei Fallstudienorten Befragungen durchgeführt. Basierend auf Vorerhebungen wurde ein Fragebogen aus offenen und geschlossenen Fragen mit folgenden zehn thematischen Blöcken erstellt:

Thematischer Fragenblock	Beschreibung
<b>Persönlicher Bezug zum Ort der Befragung</b>	Erhebung von Besuchshäufigkeit, Beliebtheit des Ortes sowie Grund des Besuches
<b>Einstellungen zum Thema Umwelt und Energie</b>	Erhebung der allgemeinen Einstellung zum Thema Umwelt und erneuerbare Energie mit Fokus auf die Entwicklung in Österreich
<b>Bewertung des virtuellen Planungsentwurfs</b>	Bewertung des Entwurfs hinsichtlich Attraktivität, Nutzbarkeit und Integration in den Ort
<b>Bewertung der Visualisierungstechnik</b>	Bewertung der Visualisierungen bezüglich Darstellung, Orientierung und Eignung der Technik zur Bürgerbefragung
<b>Qualität und Glaubwürdigkeit der Visualisierung</b>	Bewertung des Visualisierungsinhaltes hinsichtlich Ausführung, Qualität und Glaubwürdigkeit
<b>Wahrnehmung von Details des Planungsentwurfes</b>	Bilderinnerungsfragen zur Analyse des Aufmerksamkeitslevels bei unterschiedlichen Visualisierungstechniken (On-Screen Panoramen vs. VR-Panoramen) – nur bei G3 Befragung
<b>Eigenschaften von Photovoltaik im städtischen Raum</b>	Abfrage der Akzeptanz von PV in der Stadt mit Schwerpunkt auf Sichtbarkeit, Einsatz und Gestaltung.
<b>Ausprägungen von PV-Anlagen im direkten Wohnumfeld</b>	Abfrage der Akzeptanz von PV im direkten Wohnumfeld
<b>Eignung von Nutzungstypen</b>	Bewertung ausgewählter Nutzungstypen hinsichtlich ihrer Akzeptanz
<b>Demographische Daten</b>	Abfrage demographischer Daten.

### 6.1.2 Fallstudienvisualisierungen

Visualisierungen spielen eine zentrale Rolle bei der Vermittlung von Planentwürfen, und neue Visualisierungstechniken wie Virtual Reality (VR) oder Augmented Reality (AR) besitzen großes Potential zum Wissenstransfer. Im Rahmen des Projektes wurden deshalb diese Techniken hinsichtlich ihrer Eignung für den Visualisierungsparcours getestet (Schauppenlehner, Kugler, Muhar, & Bautz, 2018). AR zeigte dabei noch technische Schwächen (v.a. allem in Hinblick auf die Positionsgenauigkeit und fehlende Verdeckung) sowie Probleme in der praktikablen Anwendbarkeit von AR im Rahmen der Befragung (v.a. durch die großen Fallstudienräume, klimatische Bedingungen und Lichtverhältnisse), weshalb VR-Modelle in

der Befragung zur Anwendung kamen. Für eine Vergleichsstudie (Masterarbeit Klara Kugler) wurden auch klassische On-Screen Panoramen am Standort G3 getestet um diese Visualisierungstechnik mit der VR-Technologie zu vergleichen. VR bietet ein sehr immersives Erlebnis, kann aber auch Nebeneffekte wie etwa Schwindel oder Übelkeit haben. Durch Reduktion auf vollsphärische stereoskopische Panoramen konnten diese Effekte jedoch stark minimiert werden (Schauppenlehner u. a., 2018).

### **6.1.3 ExpertInneninterviews**

Ergänzend zu den Befragungen wurden vier ExpertInnen aus den Bereichen Politik (Bezirksvorstehung), Verwaltung (Gebietsbetreuung) und Wirtschaft (Händler am Floridsdorfer Markt) befragt, um auch Handlungsspielräume zum Einsatz von PV in öffentlichen Freiräumen abzufragen. Dazu wurde ein Interviewleitfaden entwickelt, der in ca. 30 Minuten dauernde Interviews mündete. Die zentrale Frage dabei war, inwieweit urbane Freiflächen (horizontale Stadtfächen) unterschiedlicher Nutzungstypen als Produktions-Orte für erneuerbare Energie (PV) einen Betrag zum Energiebedarf einer Stadt leisten können und welche Potentiale, Synergieeffekte bzw. Konflikte erwartet werden können. Die Interviews wurden anschließend transkribiert und zusammengefasst.

## **6.2 Ergebnisse**

### **6.2.1 Demographie der Befragung**

An der Befragung nahmen insgesamt 394 Personen teil, 47,8% davon waren Frauen, 48,4% Männer – 3,8% machten keine Angabe zu Geschlecht. Der Altersdurchschnitt in der Stichprobe liegt bei 40,7 Jahren, wobei anzumerken ist, dass Kinder und Jugendliche (bis 18 Jahre) aufgrund des komplexen Befragungsablaufes von der Befragung ausgenommen wurden. Die Ausbildung betreffend hatte 7,9% einem Pflichtschulabschluss, 57,2% eine Abschluss der Sekundärstufe 2 (Lehre, Fachschule, Matura) sowie 29% einen Universitätsabschluss. Der Rest (5,9%) machte keine Angaben. Damit liegt der Akademikeranteil höher als der OECD-Durchschnitt mit 16% (OECD, 2017), während der Personen mit Pflichtschulabschluss (OECD-Durchschnitt: 15%) etwas unterrepräsentiert sind. 55,9% geben an in einem Angestelltenverhältnis zu sein und 6,9% geben an ArbeiterIn zu sein. 14% der TeilnehmerInnen sind in einem Ausbildungsverhältnis und jeweils 8,5% gaben an Selbständig bzw. im Ruhestand zu sein.

### **6.2.2 Allgemeine Einstellung und Akzeptanz von Photovoltaik**

Die Befragung zeigte eine sehr hohe allgemeine Zustimmung zu erneuerbaren Energien, und überraschenderweise auch eine große Aufgeschlossenheit gegenüber PV-Anwendungen im persönlichen Lebensumfeld: 81% der Befragten wünschen sich mehr Photovoltaik in ihrem unmittelbaren Wohnumfeld. Zwischen 89% (G3) und 98% (Floridsdorfer Markt) sind der Meinung, dass der Klimawandel vom Mensch verursacht wird, und sind der Ansicht, dass erneuerbare Energie einen wichtigen Beitrag zum Klimaschutz liefert. 94%

sind auch der Meinung, dass Österreich eine Vorreiterrolle im Bereich erneuerbarer Energie einnehmen soll.

### **6.2.3 Photovoltaik in der Stadt**

Für 77% vermittelt PV ein zukunftsorientiertes Stadtbild und 78% sind der Meinung, dass dies positiv zur Außendarstellung der Stadt beitragen kann. Zwischen 58% (Floridsdorfer Markt) und 65% (Werft Korneuburg) sind der Ansicht, dass PV sichtbar in den Alltag integriert werden und gestalterische Akzente setzen soll. 92% der Befragten wünschen sich auch daran gekoppelte Dienstleistungen wie e-Tankstellen oder Smartphoneladestationen. 84% sehen in den Dachflächen einer Stadt das größte Potenzial und sehen diese Flächen auch als vorrangig für die PV-Nutzung an.

### **6.2.4 Bewertung der Fallstudienentwürfe**

Die Entwürfe für die Fallstudien (Kapitel 3) wurden nach verschiedenen Aspekten befragt, dabei zeigte sich, dass zwischen 71% (G3) und 85% (Floridsdorfer Markt) aller befragten Personen den Entwurf als modern bewerteten, und 58% (Floridsdorfer Markt) bis 68% (G3) dem Entwurf einen hohen Vorzeigecharakter zuschrieben.



Die Bewertung der Visualisierungstechnik fiel durchwegs positiv aus. Im Speziellen zeigt sie einen hohen Informationsgehalt und lässt eine gute Orientierung in der 3D Darstellung zu.

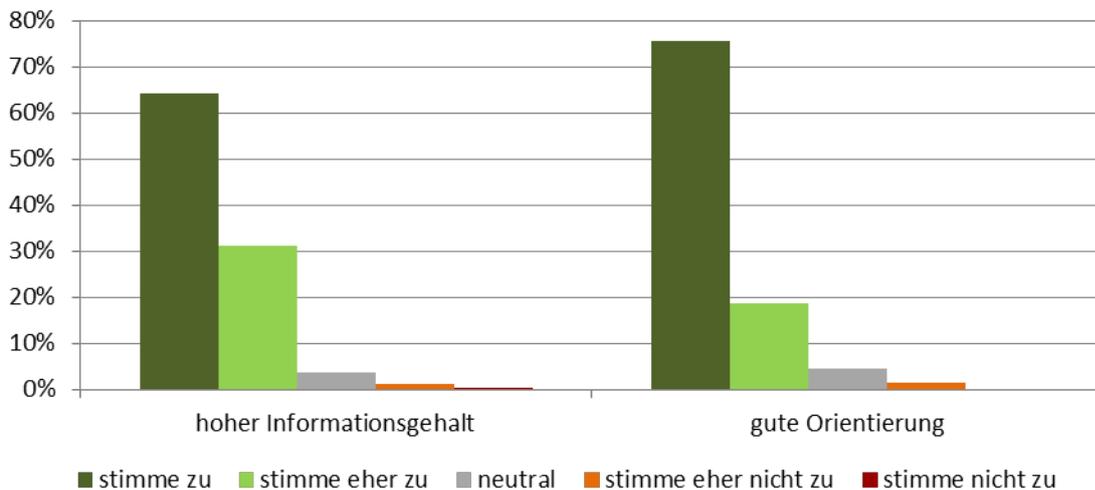


Abbildung 17: Die Visualisierungstechnik besitzt einen hohen Informationsgehalt sowie eine gute Orientierungsmöglichkeit, Werte auf Basis von Durchschnittswerten über alle drei Befragungsstandorte

Da es innerhalb der vorangegangenen Testreihen der Visualisierungstechnik im Rahmen der Vorbereitung auf die Befragungen zu Nebenwirkungen kam (Unwohlsein, Schwindelgefühl) wurde dieses Thema der Negativeffekte ebenso in den Fragebogen eingebaut. Nur 5-6% der Befragten gaben an, sich nach der Befragung unwohl zu fühlen oder Übelkeit zu verspüren, während in einer Metastudie etwa 20% der TeilnehmerInnen von Schwindelgefühlen oder Übelkeit berichten (Ericsson Consumerlab, 2017). Basierend auf den Ergebnissen erwiesen sich die befragten Effekte nicht als auffällig.

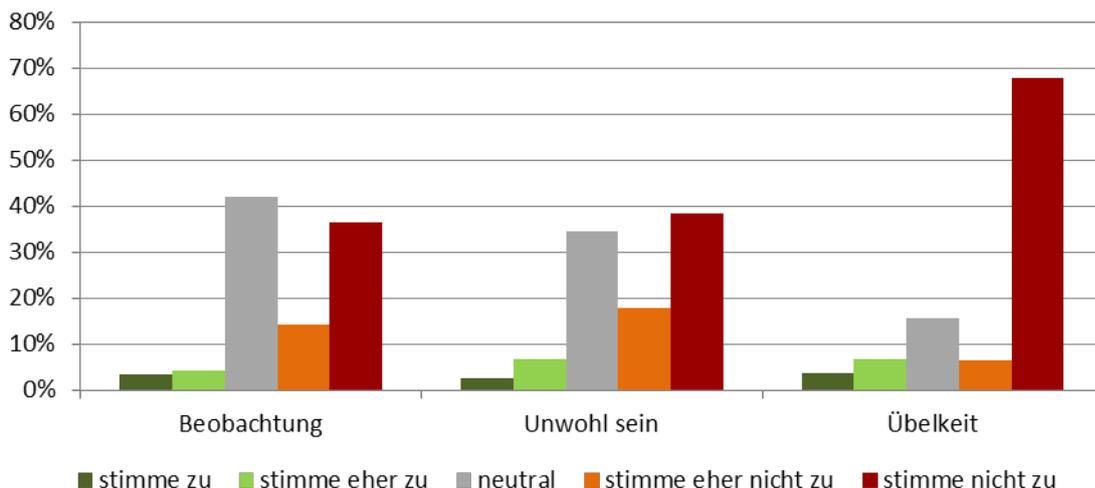


Abbildung 18: Folgen der Visualisierungstechnik, Werte auf Basis von Durchschnittswerten über alle drei Befragungsstandorte

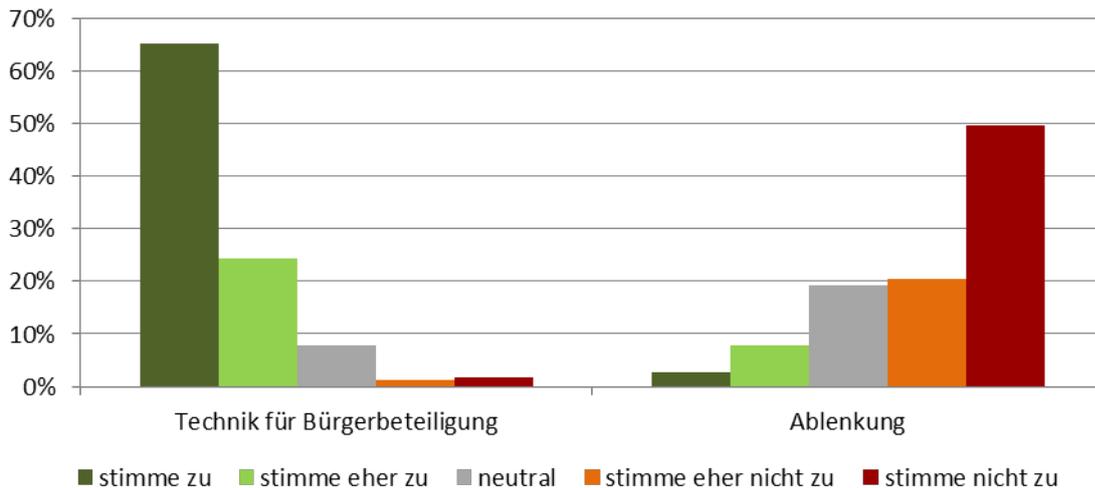


Abbildung 19: Eignung der Visualisierungstechnik für Bürgerbeteiligung bzw. Ablenkung durch die Technik. über alle drei Befragungsstandorte

Die Mehrzahl der Befragten bezeichnete die Visualisierungstechnik als gut geeignet für Bürgerbeteiligungsverfahren und fühlte sich auch nicht durch den technischen Aufwand vom eigentlichen Inhalt abgelenkt.

### 6.2.5 Photovoltaik auf urbanen Freiflächen aus Sicht von ExpertInnen

In den Interviews zeigte sich, dass Photovoltaik in der aktuellen Freiraumplanungspraxis so gut wie keine Rolle spielt. Weder gibt es Strategien auf Stadt oder Bezirksebene dahingehend, noch setzen sich Planungsbüros mit Photovoltaik als Element und/oder Material in Freiräumen auseinander. Es gibt jedoch eine Zunahme punktueller PV-Installationen in Wien. Dabei handelt es sich vorwiegend um Bänke mit PV-Installationen oder Photovoltaik-Blumen<sup>8</sup>, die meist auf Betreiben einzelner Personen (z.B. Bezirksvorsteher) punktuell installiert und betrieben werden. In einem Interview wurde von Plänen berichtet, PV Nutzung im Bereich von Schulneubauten (z.B. NMS Stammersdorf) zu forcieren, konkrete Umsetzungen gibt es bislang jedoch nicht. Und auch bei Integration von PV in den geförderten Wohnbau scheitert es aktuell an der Deckelung der Kosten pro errichtetem Quadratmeter Wohnfläche.

Ein weiterer Punkt, welcher von InterviewpartnerInnen genannt wurde, ist das Problem der Überfrachtung von Freiräumen mit technischer Infrastruktur, die einen negativen Effekt auf das Stadtbild, die Aufenthaltsqualität oder andere Raumnutzungen mit sich bringen kann. Wichtig ist deshalb eine sorgfältige Auswahl von Flächen die aufgrund von Größe und Nutzung für eine PV-Nutzung geeignet sind. An erster Stelle stehen hier vor allem größere Parkplätze, die einerseits eine sehr niederschwellige Nutzung erfahren (Parken) und sich auch für großflächigere Stromproduktion eignen (v.a. große Parkflächen bei Fachmarkt- oder Einkaufszentren). Neben der Stromproduktion sind hier Synergieeffekte wie Regenschutz oder Temperaturregulierung am offensichtlichsten.

<sup>8</sup> z.B. <https://www.smartflower.com/de>

## 6.3 Zusammenfassung und Diskussion der Akzeptanzuntersuchung

Die TeilnehmerInnen der Befragungen äußerten sich sehr positiv zu PV im Allgemeinen, aber auch zur Nutzung von PV im urbanen Raum sowie im eigenen Lebensumfeld. Wichtig sind in diesem Kontext aber immer Synergieeffekte wie etwa Schutz vor Witterungseinflüssen sowie einer Aufwertung des Raumes durch Schaffung neuer Nutzungsmöglichkeiten (z.B. Lademöglichkeiten, Sitzgelegenheiten, etc.). Zu beachten ist, dass PV zu einer nicht unerheblichen Überfrachtung des Raumes mit technischer Infrastruktur führt. Diese ist im urbanen Raum zwar häufig schon gegeben (z.B. Beleuchtungskörper, Oberleitungen, etc.) aber besonders in Grünräumen und Freiflächen mit höherem Grünanteil (z.B. Alleen, Spielplätze) sollte ein möglicher Einsatz sehr sensibel abgewogen werden. Auch müssen Energiepotentiale kritisch betrachtet und abgewogen werden, da Schattenwurf durch Gehölze oder Gebäude das solare Potential stark einschränken kann.

Während die TeilnehmerInnen der Befragungen sehr offen für eine generelle Nutzung von PV in urbanen Freiräumen sind, wird aus ExpertInnensicht die Beeinflussung von Freiräumen durch technische PV-Infrastruktur kritischer gesehen. Freiräume bilden das Fundament für eine hohe Lebensqualität in der Stadt und intensiver PV Einsatz führt zu einem Schließen dieser Räume. Großflächige PV auf Parkplätzen sowie Leuchtturmprojekte oder Kunstinstallationen zur Aufwertung von Räumen werden aber sehr positiv gesehen. Wichtig dabei ist auch immer die ökonomische Machbarkeit der Installation, die für kleine Anlagen häufig nicht gegeben ist. Als durchaus attraktiv in diesem Kontext werden aber Insellösungen für urbane Freiräume gesehen. Durch den Wegfall von Kabelverlegung und Straßenarbeiten und dem Anbieten von Strom direkt über eine Speicherbatterie. Sind neue und attraktive Nutzungen möglich (z.B. Ladestationen für e-Bike, temporäre Gastro/Events, Beleuchtung, etc.)

Hinsichtlich VR als Visualisierungstechnik hat sich gezeigt, dass diese generell sehr positiv wahrgenommen wird, weil sie sehr realistische Perspektiven und Größenverhältnisse wiedergibt. Aufgrund der Novität der Technik sind jedoch Implikationen wie Übelkeit oder Schwindel möglich – diese konnten aber durch Einschränkung der Interaktivität auf ein Minimum reduziert werden. Besonders bei großflächigen Vorhaben erlaubt VR eine bessere Einschätzung der visuellen Beeinflussungen. Wichtig ist, dass die Visualisierungen sowie das Präsentationsdesign auf die jeweilige Zielgruppe abgestimmt werden muss, da z.B. vermehrte Interaktionsmöglichkeiten Schwindel und Übelkeit fördern, bestimmte Personenkreise überfordert oder sich die NutzerInnen unwohl fühlen, wenn sie beim Tragen der Brille beobachtet werden.

## 7 Schlussfolgerungen

Das Projekt Syn[En]ergy zeigte auf, dass PV auf horizontalen Stadtflächen durchaus Potenzial besitzt, neben der Energieerzeugung Synergieeffekte zu generieren, die eine Aufwertung und Attraktivierung eines Freiraumes oder Stadtquartiers zur Folge haben. Besonders

Schutz vor Witterungseinflüssen und die Sichtbarmachung der Energieproduktion werden als sehr positiv gesehen. Hinsichtlich des solaren Potenzials sind lokale Verhältnisse wie Baumbestand oder Gebäudeschatten ausschlaggebend und es ist klar, dass PV in urbanen Freiräumen nur einen kleinen Teil des Energiebedarfs abdecken kann. Die momentan verfügbaren, öffentlich zugänglichen Daten erlauben es nicht, realistische Potenziale für einzelne Freiraumtypen abzuleiten, nur die Parkplätze sind relativ gut abgrenzbar. Besonders in Stadtrandgebieten gibt es Parkplatzflächen, die aufgrund ihrer Größe und offenen Lage großes Potenzial für eine effiziente Stromproduktion bei gleichzeitiger Schaffung von Synergieeffekten bieten. Da diese Flächen nur niederschwellig genutzt sind und wenig Aufenthaltsqualität bieten, sind auch kaum negative Effekte durch die Technisierung der Landschaft zu erwarten. Die Flexibilität der Technologie ermöglicht auch einen mobilen Einsatz und damit temporäre Nutzungen (Events, saisonaler Betrieb, etc.) oder Services, die nicht zwingend an ein Stromnetz gekoppelt werden müssen. Das Ergebnis ist interessant für Planungsverantwortliche in Stadtverwaltungen, die mit den Projektergebnissen (Nutzungstypen, Befragungsergebnisse, Potenziale und ökonomische Berechnungen) erstmals eine Handreichung bekommen, die ein strukturiertes Vorgehen beim Ausbau von PV in der Stadt ermöglicht. Die bisherigen urbanen PV-Strategien fokussieren vorwiegend auf Gebäudelösungen. Syn[En]ergy hatte nicht zum Ziel, Freiräume gegenüber Dachflächen oder Fassaden zu priorisieren, sondern synergetische Formen einer freiraumintegrierten und sichtbaren PV-Nutzung zu entwickeln und Empfehlungen für PV in Stadtfreiräumen abzuleiten. Wenn Synergien erzielt werden können, dann ist auch die Frage der Wirtschaftlichkeit anders zu diskutieren, da Investitionen dann einen Mehrfachnutzen haben oder von mehreren Partnern gemeinsam getragen werden können.

## **8 Ausblick und Empfehlungen**

Bisherige PV-Anwendungen auf urbanen Freiflächen im Untersuchungsgebiet (Wien und Korneuburg) sind überwiegend Klein- bis Kleinstlösungen (PV-Stadtmobiliar) bzw. Leuchtturmprojekte und Kunstinstallationen. Anwendungen zur intensiveren Integration von PV in Freiräumen, bei gleichzeitiger Schaffung eines Mehrwertes für die Nutzung des Raumes, fehlen bisher. Die Planung von Stadtfreiräumen erfordert einen sorgfältigen Umgang mit den vorhandenen Bedingungen, aber auch Formen und Materialien, weshalb Standardlösungen für PV-Paneele und Anbringung selten geeignet sind. Dadurch ergeben sich auch höhere Kosten durch Individuallösungen und eine abgestimmte Materialwahl, die aber zumeist notwendig ist, um Synergieeffekte ausschöpfen zu können. Da aber die Energienachfrage und dabei v.a. die Nachfrage nach Strom in den nächsten Jahren weiter steigen wird, ist die Integration von PV zur erneuerbaren Energieproduktion im urbanen Alltagsleben mitzudenken. Dies nicht zuletzt auch zur Bewusstseinsbildung durch Sichtbarmachen der Stromproduktion im urbanen Freiraum. Es wäre wünschenswert, wenn zukünftige Planungsprozesse die Möglichkeiten einer synergetischen Energieproduktion (mittels PV oder anderer erneuerbarer Energieträger) auf Freiflächen in ihre Analysen und Vorherhebungen miteinbeziehen. Die Ergebnisse aus dem Syn[En]ergy Projekt, wie der PV-Explorer, die Wirtschaftlichkeitsanaly-

sen, der Handlungsleitfaden und die Analyse der Fallbeispiele, können dafür einen wertvollen Beitrag leisten.

## 9 Verzeichnisse

### 9.1 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Bildung eines Nutzungstyps – Begriffsdefinition und Beispiel .....	17
Abbildung 2: schematische Darstellung eines Schattenwurfs in Abhängigkeit von Sonnenstand und Gebäudegröße bzw. –höhe (eigene Darstellung AIT) .....	18
Abbildung 3: Originales DOM, Schattenwurf im originalen DOM, Schattenwurf im korrigierten DOM (eigene Darstellung AIT) .....	19
Abbildung 4: Solarpotenzialkarten Quelle: AIT eigene Berechnungen .....	20
Abbildung 5: Solare PV-Stromproduktion Szenarien (MWh/Jahr) für Parkplätze und Spielplätze in Wien; Weitere, lokale Ergebnisse sind im Webdashboard abrufbar. Quelle: AIT eigene Berechnungen mittels Referenzwerten aus dem („Photovoltaik-Rechner, klimaaktiv“, o. J.).....	21
Abbildung 6: PV-Potenzial Calculator (Quelle: Screenshot Entwicklung AIT ) .....	21
Abbildung 7: Konzept: Verschneidung des Entsiegelungsgradienten mit dem PV-Gradienten (BOKU-ILA).....	23
Abbildung 8: Varianten der Unterkonstruktion (BOKU-ILA) .....	24
Abbildung 9: Ideenskizze Werftboxen (BOKU-ILA) .....	24
Abbildung 10: Nutzungsschema & Programm-Module (BOKU-ILA) .....	25
Abbildung 11: Anwendungstyp PV-Freiflächenanlage Betriebsgelände AIT Austrian Institute of Technology, PVS 2016) .....	27
Abbildung 12: Anwendungstyp PV-Freiflächenanlage öffentlich zugänglich und ‚Überkopf‘ (AIT Austrian Institute of Technology, PVS 2016) .....	27
Abbildung 13: Anwendungstyp PV-Überdachung, zum Beispiel für (Park-) Plätze (AIT Austrian Institute of Technology, PVS 2016) .....	28
Abbildung 14: Kostenanalyse Anwendungstyp 'Solarkraftwerke' – Quelle: eigene Berechnung Nikko PV 2017 - Graphik AIT .....	29
Abbildung 15: Systemkosten verschiedener am Markt verfügbarer Photovoltaik-Carport Komplettsysteme (1-22) Quelle: Recherche AIT Austrian Institute of Technology 2017/2018 .....	29
Abbildung 16: Darstellung Bezug von PV-Systemkosten pro Kilowatt installierter Leistung in Stromgestehungskosten am Standort Wien / Korneuburg (eigene Berechnung AIT) .....	31
Abbildung 17: Die Visualisierungstechnik besitzt einen hohen Informationsgehalt sowie eine gute Orientierungsmöglichkeit, Werte auf Basis von Durchschnittswerten .....	37
Abbildung 18: Folgen der Visualisierungstechnik, Werte auf Basis von Durchschnittswerten .....	37
Abbildung 19: Eignung der Visualisierungstechnik für Bürgerbeteiligung bzw. Ablenkung durch die Technik .....	38

## 9.2 Tabellenverzeichnis

Tab. 1: Fallstudienorte .....	17
-------------------------------	----

## 9.3 Literaturverzeichnis

- Chow, A., Fung, A. S., & Li, S. (2014). GIS Modeling of Solar Neighborhood Potential at a Fine Spatiotemporal Resolution. *Buildings*, 4(2), 195–206. <https://doi.org/10.3390/buildings4020195>
- Ericsson Consumerlab. (2017). *Merged reality: Understanding how virtual and augmented realities could transform everyday reality*. Stockholm.
- European Commission. (1998). *Mitteilung der Kommission - Nachhaltige Stadtentwicklung in der Europäischen Union: Ein Aktionsrahmen* (No. KOM(1998) 605 endg.). Abgerufen von <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?qid=1422346997113&uri=CELEX:51998DC0605>
- Hamilton, C. (2013). The capacity of local government to support community carbon reduction: Case studies from Australia, England and Germany. *International Journal of Environmental Sustainability*, 8(4), 25–41.
- Heinloth, K. (2003). *Die Energiefrage: Bedarf und Potentiale, Nutzen, Risiken und Kosten*. Braunschweig; Wiesbaden: Vieweg.
- Klaus Paccagnel. (o. J.). Potentialmodelle für Solarenergie. Naturwissenschaftliche Fakultät der Paris Lodron Universität Salzburg. Abgerufen von <s6a4ebdf4ef630ae4.jimcontent.com/download/version/.../Seminararbeit%20Solar.pdf>
- Li, X. N., & Zhang, Y. (2014). *Preliminary study on low-carbon urban development and low-carbon design* (Bd. 1010–1012).
- Michael Oßwald. (2013). Erstellung eines GIS-basierten landesweiten Solarkatasters für Freilandflächen in Baden-Württemberg und Durchführung einer Solarpotenzialanalyse. Abgerufen von [http://www.fachdokumente.lubw.baden-wuerttemberg.de/servlet/is/106346/bachelorthesis\\_michael\\_osswald.pdf?command=downloadContent&filename=bachelorthesis\\_michael\\_osswald.pdf&FIS=90934](http://www.fachdokumente.lubw.baden-wuerttemberg.de/servlet/is/106346/bachelorthesis_michael_osswald.pdf?command=downloadContent&filename=bachelorthesis_michael_osswald.pdf&FIS=90934)
- OECD. (2017). *Education at a Glance 2017: OECD Indicators*. Paris: OECD Publishing. Abgerufen von <http://dx.doi.org/10.1787/eag-2017-en>
- Photovoltaik-Rechner, klimaaktiv. (o. J.). Abgerufen 16. Juni 2017, von [https://www.klimaaktiv.at/service/tools/erneuerbare/pv\\_rechner.html](https://www.klimaaktiv.at/service/tools/erneuerbare/pv_rechner.html)
- Schauppenlehner, T., Kugler, K., Muhar, A., & Bautz, G. (2018). Anwendungserfahrungen von Virtual Reality als Kommunikationswerkzeug in partizipativen Planungsprozessen. *AGIT Journal*.
- Schöbel, S., Dittrich, A. R., & Czechowski, D. (2013). Energy Landscape Visualization: Scientific Quality and Social Responsibility of a Powerful Tool. In *Sustainable energy landscapes: designing, planning, and development* (S. 133–159). Taylor & Francis.
- Steemers, K. (2003). Energy and the city: density, buildings and transport. *Energy and Buildings*, 35(1), 3–14. [https://doi.org/10.1016/S0378-7788\(02\)00075-0](https://doi.org/10.1016/S0378-7788(02)00075-0)
- Vandevyvere, H., & Stremke, S. (2012). Urban planning for a renewable energy future: Methodological challenges and opportunities from a design perspective. *Sustainability*, 4(6), 1309–1328. <https://doi.org/10.3390/su4061309>
- Wolsink, M. (2007). Planning of renewables schemes: Deliberative and fair decision-making on landscape issues instead of reproachful accusations of non-cooperation. *Energy Policy*, 35(5), 2692–2704. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2006.12.002>

Zamfir, A. I. (2011). Management of renewable energy and regional development: European experiences and steps forward. *Theoretical and Empirical Researches in Urban Management*, 6(3), 35–42.

Zubrinic, D. (2008). Spectacular Monument to The Sun in the city of Zadar by Nikola Bašić. Abgerufen 25. April 2018, von <http://www.croatia.org/crown/articles/9541/1/Spectacular-Monument-to-The-Sun-in-the-city-of-Zadar-by-Nikola-Baiaae.html>

## 10 Anhang

### 10.1 Herstellerverzeichnis Recherche PV-Produkte für den Stadtraum

Die Produktrecherche wurde online sowie per mail und Telefon vom AIT im Herbst 2017 durchgeführt. Nachfolgend werden die befragten / zitierten Hersteller benannt, deren Angaben Eingang in die Kostendarstellungen gefunden haben.

#### 10.1.1 Stadtmöbel

- Artemide Handelsgesellschaft mbH „Solar tree“ (aufgerufen 17.07.2017): [www.artemide.at](http://www.artemide.at)
- Alibaba Internet Plattform „diverse Angebote“ (aufgerufen 17.07.2017): <https://german.alibaba.com>
- bau-tech Solarenergie GmbH „Inselanlagen und solare Wohnmobil Anlagen“: <https://www.bau-tech.shop>
- Designer Harsha Vardhans „Solare Beleuchtung“ (aufgerufen 17.07.2017): <http://www.ecofriend.com/embryo-solar-and-wind-hybrid-street-light-concept.html>
- Dumbo-based Firma „Ladestation“ (aufgerufen 17.07.2017): <http://www.nytimes.com/2013/06/18/technology/att-to-introduce-solar-powered-charging-stations.html>
- ecoliGhts SOLARE BELEUCHTUNG GmbH (aufgerufen 17.07.2017):
- Ecotap (aufgerufen 17.07.2017): <https://www.ecotap.nl/de>
- GEO-Technik GmbH & Co KG „Ampelanlage“ (aufgerufen 18.07.2017): <http://www.geo-technik.de>
- Licht & Planung „Solare Beleuchtung“ (aufgerufen 18.07.2017): <http://www.licht-planung.at>
- Philips Lighting Austria GmbH „Solare Beleuchtung“ (aufgerufen 17.07.2017): [http://www.simplicityevent.philips.com/global/tomorrow/light\\_blossom/](http://www.simplicityevent.philips.com/global/tomorrow/light_blossom/)
- Photovoltaik4all® „solare Wohnmobil/Boote Anlagen“: <http://www.photovoltaik4all.de>
- Solarkonzept GmbH „Selbstbau Ladestationen für E-Bikes“ (aufgerufen 18.07.2017): <http://www.solkonzept.de>
- SOLARier Gesellschaft für erneuerbare Energie mbH „Smartflower“ (aufgerufen 17.07.2017): [https://www.smartflower.com/de/site/80-solarier-gesellschaft-fuer-erneuerbare-energie-mbh/smartflower\\_pop](https://www.smartflower.com/de/site/80-solarier-gesellschaft-fuer-erneuerbare-energie-mbh/smartflower_pop)

- Solar-qqq Firma „solare Wohnmobil Anlagen“: <https://www.solar-qqq.de>
- Strawberry energy London Ltd. „Solarbench“ (aufgerufen 17.07.2017):  
<https://www.strawberrye.com>
- Wall GmbH „Bus Station“ (aufgerufen 17.07.2017):  
[http://www.wall.de/de/street\\_furniture/products](http://www.wall.de/de/street_furniture/products)

### 10.1.2 Carports und Überdachungen

- alka®port, concept 4 energy gmbh, Österreich, Website: <http://www.c4.co.at/>
- Clickcon Carport System, Glotz GmbH, Deutschland, Website: <https://www.lippe-carports.de/>
- Gexx SunPort Pro System, Gexx aeroSol GmbH, Deutschland, Website: <http://www.gexx-aerosol.com/>
- Helbig Carport, HELBIG ENERGIE, Deutschland, Weblink: <http://www.helbig-energie.de/>
- InnoVentum AB, Schweden, Weblink: <https://www.innoventum.se/>
- Lumena Carport, Lumena AG, Schweiz, Website: <https://lumenasolar.ch/>
- REC, Singapur, Website: <https://recsolar.com/services/>
- SOL 50 Solar Carport, SEN Solare Energiesysteme Nord, Deutschland, Website: <http://www.sen.eu/de/>
- Solar Electric Supply, Inc, USA, Weblink: <https://www.solarelectricsupply.com/>
- Solarport ecopark, ecopark GmbH, Deutschland, Website: <http://eco-sunport.com/deutsch/home-de/>
- SOLARWATT Carport System, bode Energie- und Solartechnik GmbH, Deutschland, Website: <http://www.bode-solarstrom.de/home.html>
- Solar World, USA, Deutschland, Website: <https://www.solarworld.de/home/>
- SOLWING C, Hilber GmbH, Österreich, Website: <http://www.hilbersolar.at/>
- Zentrale Solarterrassen & Carportwerk GmbH, Deutschland, Website: <https://www.solarcarporte.de/>