

Multifunktionale solaraktive Platz- und Straßenüberdachung Leoben

ParaSol

I. Pirstinger, M. Grobbauer,
L. Dorsch, R. Sterrer,
A. Degros, A. Bagaric,
M. Kocis, G. Leitner,
A. Hierzer, M. Moltinger

Berichte aus Energie- und Umweltforschung

37/2020

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

Impressum

Medieninhaber, Verleger und Herausgeber:
Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie,
Mobilität, Innovation und Technologie (BMK)
Radetzkystraße 2, 1030 Wien

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

Auszugsweise Abdruck ist nur mit Quellenangabe gestattet. Es wird darauf verwiesen, dass alle Angaben in
dieser Publikation trotz sorgfältiger Bearbeitung ohne Gewähr erfolgen und eine Haftung der Republik
Österreich und der Autorin/des Autors ausgeschlossen ist. Nutzungsbestimmungen:
<https://nachhaltigwirtschaften.at/de/impressum/>

Multifunktionale solaraktive Platz- und Straßenüberdachung Leoben

ParaSol

DI Dr. Ida Pirstinger, Arch. Univ.Prof. Aglaée Degros,
DI Anna Bagaric, Mendi Kocis
TU Graz, Institut für Städtebau

FH-Prof. Arch. DI. Dr. Michael Grobbauer, DI(FH) Lutz Dorsch M.BP
DI.(FH) Roland Sterrer M.Sc., Michael Moltinger B.Sc.
FH Salzburg

Günther Leitner MBA, DI Angelika Hierzer
Leoben Holding

Graz, Mai 2020

Ein Projektbericht im Rahmen des Programms



des Bundesministeriums für Klimaschutz, Umwelt, Energie,
Mobilität, Innovation und Technologie (BMK)

Vorbemerkung

Der vorliegende Bericht dokumentiert die Ergebnisse eines Projekts aus dem Forschungs- und Technologieprogramm Stadt der Zukunft des Bundesministeriums für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie (BMK). 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 BMK publiziert und elektronisch über die Plattform www.NachhaltigWirtschaften.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 Klimaschutz, Umwelt, Energie,
Mobilität, Innovation und Technologie (BMK)

Inhaltsverzeichnis

Kurzfassung	9
Abstract	10
1. Ausgangslage	11
1.1. Problemstellung und Motivation	11
1.2. Zielsetzung	12
1.3. Stand der Technik und des Wissens.....	14
1.3.1. Flächennutzung im öffentlichen urbanen Raum	14
1.3.2. Straßen- und Platzüberdachung als städtischer Bautyp	14
1.3.3. Fahrbahnüberdachungen	17
1.3.4. Urbane Nutzung von Photovoltaik / Solarenergiegewinnung als urbane Gestaltungsaufgabe.....	17
1.3.5. Weitgespannte Leichtbauweisen und Membranstrukturen.....	19
1.3.6. Stand der Technik / Stand der Forschung / Entwicklung der flexiblen Photovoltaik....	20
2. Methoden und Kriterien.....	45
2.1. Vorgehensweise und Methoden.....	45
2.1.1. Integrative, transdisziplinäre Grundlagenermittlung (AP2)	45
2.1.2. Architektur & Stadtraum (AP3)	46
2.1.3. Technische Machbarkeit / konstruktive und energietechnische Potentiale (AP4)	46
2.1.4. Solarpotentiale (AP4)	47
2.1.5. Synthese & Reflexion: Transdisziplinäre, mehrphasige Multikriterienanalyse (AP5) ...	48
2.2. Auswahl- und Eignungskriterien für Pilotprojektgebiete	48
2.2.1. Allgemeine Realisierungsfaktoren.....	51
2.2.2. Stadtraum und Stadtbild	51
2.2.3. Nutzungspotential	51
2.2.4. Bau- und planungsrechtliche Aspekte.....	51
2.2.5. Brandschutz und Flächen für die Feuerwehr	53
Flächen für Feuerwehren auf Grundstücken laut TRVB 134F	55
2.2.6. Ortsbildschutz und weitere ortsspezifische Verordnungen	56
2.2.7. Technische Machbarkeit	56
2.2.8. Solarpotentiale	59
2.3. Bildung einer Beurteilungs- und Auswahlmatrix	60

2.4.	Methode zur quantitativen Bewertung des Solarpotentials	61
2.4.1.	Allgemeine Vorgehensweise	61
2.4.2.	Anwendungsgrenzen	61
2.4.3.	Methodik	62
2.4.4.	Solarertrag des PV-Systems.....	62
3.	Architektur & Stadtraum	67
3.1.	Pilotprojektgebiete Auswahl.....	67
3.1.1.	Parkplätze weitgehend kontextfrei	67
3.1.2.	Parkplätze im urbanen Gefüge.....	72
3.1.3.	Parkplätze für kleinteilige Überdachungen - Insellösungen.....	77
3.1.4.	Urbane Plätze	82
3.1.5.	Verkehrsflächen im Siedlungskontext.....	88
3.1.6.	Auswahl für Testentwürfe und weitere Untersuchungen.....	93
3.2.	Formale Lösungsansätze	94
3.2.1.	Testentwurf Parkplatz Eissporthalle.....	96
3.2.2.	Testentwurf Parkplatz bei der Stadtfeuerwache	99
3.2.3.	Testentwurf Parkplatz Max Tandler Straße.....	101
3.2.4.	Stadträumliche und gestalterische Potentiale	103
4.	Material, Konstruktion und Energie – Randbedingungen und Potentiale	109
4.1.	Varianten.....	109
4.2.	Neue Materialien zur Solarenergienutzung.....	110
4.3.	Solarpotentiale.....	111
4.3.1.	Bewertungsgrundlage Jahresdauerlinie	111
4.3.2.	Bewertungsgrundlage Monatswerte.....	113
4.3.3.	Zusammenfassende Bewertung	117
4.4.	Bewertung Eigenverbrauchsanteil.....	117
4.4.1.	Standardlastprofil Bürogebäude	118
4.4.2.	Eigenverbrauchsanteil	119
4.5.	Fazit Solarpotentiale	121
5.	Ergebnisse.....	122
5.1.	Transdisziplinäre Erkenntnisse über Synergie- und Energiepotentiale durch solaraktive Verkehrsflächenüberdachung	122
5.1.1.	Energiepotentiale:	122
5.1.2.	Transdisziplinäre Erkenntnisse über die Möglichkeiten der erneuerbaren Energieerzeugung und Erhöhung der Resilienz urbaner Energieinfrastrukturen:	123

5.1.3.	Potentiale einer lokalen und quartiersweiten Nutzung und des erzeugten PV-Stroms 123	
5.1.4.	Identifikation urbaner Dienstleistungen und möglicher Geschäftsmodelle zur Erschließung der Potentiale	123
5.2.	Funktionale und stadträumliche Synergiepotentiale	124
5.2.1.	Stadträumlich	124
5.2.2.	Funktional.....	125
5.3.	Konkrete Produkte und Anwendungsmaterialien	126
5.3.1.	Methodenentwicklung	126
5.3.2.	Kriterienkatalog.....	127
5.3.3.	Roadmap	127
5.4.	Innovationen.....	129
5.5.	Einpassung in die Gesamtziele des Programms „Stadt der Zukunft“	129
6.	Schlussfolgerungen.....	131
6.1.	Fachliche Einschätzung	131
6.1.1.	Einsatzgebiet Fahrbahnen und extraurbaner Raum	131
6.2.	Verwertung und Verbreitung.....	132
7.	Ausblick und Empfehlungen.....	133
7.1.	Weiterführender Forschungs- und Entwicklungsbedarf.....	133
7.2.	Realisierungspotential	134
8.	Verzeichnisse.....	135
8.1.	Abbildungsverzeichnis	135
8.2.	Tabellenverzeichnis.....	140
9.	Literaturverzeichnis.....	141
10.	Anhang.....	148
10.1.	Kriterienmatrix – Vorselektion potentieller Pilotprojektgebiete und Kriterienkatalog..	148

Kurzfassung

Multifunktionale solare Überdachungen für urbane Plätze

Ein beträchtlicher Anteil unserer Städte wird von Flächen des fahrenden und ruhenden Verkehrs vereinnahmt. Insbesondere Stellplatzflächen im Freien sind hochgradig unökologisch und flächenintensiv. Sie versiegeln die Böden, begünstigen das Entstehen von sommerlichen Hitzeinseln und sind fast ausschließlich monofunktional nutzbar.

Das Sondierungsprojekt lotet am Use Case Leoben an konkreten Orten aus, welche stadträumlichen Auswirkungen, Synergie- und Energiepotentiale neu zu entwickelnde, solaraktive Platz- und Straßenüberdachungen in Form von weitgespannten Konstruktionen in Leichtbauweise im öffentlichen urbanen Raum mit sich bringen und wie sie sich auf das Stadtbild und die Stadtfunktion auswirken. Im Fokus stehen Stellplatzflächen aber auch langsam befahrene Straßen. Ziel ist es, diese defizitären Flächen durch Nutzungsüberlagerung in funktional und räumlich wertvolle Stadträume zu verwandeln.

Die Sondierung dient der strategischen und inhaltlichen Vorbereitung eines nachfolgenden F&E Demoprojekts. Dieses F&E-Projekt soll unter Einbeziehung des Werkstoffwissens in der Region mit Fokus auf Membran-, Polymer- und Dünnglastechnologien die Anwendung bestehender und neuer Material- und Photovoltaiktechnologien bzw. Technologiekombinationen in der Stadtinfrastruktur mittels Prototypen demonstrieren und in einer marktfähigen Produktentwicklung münden.

Basierend auf einer interdisziplinären Grundlagenermittlung werden die Rahmenbedingungen und Potentiale von Stadtraum und Stadtfunktion sowie von Material, Konstruktion und Energie analysiert und eine methodische Kriterien- und Auswahlmatrix für die Standortbewertung generiert. Testentwürfe für ausgewählte Standorte stellen unterschiedliche Formvarianten und Nutzungsszenarien gegenüber. Die Abschätzung der Solarpotentiale erfolgt mittels einer eigens entwickelten vereinfachten Bewertungsmethode. Die Ergebnisse wurden in einem ExpertInnenworkshop einer externen Evaluierung unterzogen.

Als Ergebnisse liegen vor:

- interdisziplinäre Kriterien-Matrix städtebaulicher und technischer Anforderungen und Potentiale multifunktionaler solaraktiver Überdachungen im urbanen Raum
- Marktübersicht PV-Technologien
- vereinfachte Methode zur Ermittlung von Solarpotentialen
- Solarpotentiale der Grundformen und ausgewählter Standorte anhand von Testentwürfen
- Transdisziplinär abgestimmte und bewertete Lösungsvarianten für multifunktionale solaraktive Überdachungen im urbanen Freiraum
- Roadmap für nachfolgendes F&E Demoprojekt

Die Weiterbearbeitung des Themas in Form eines F&E Demoprojekts wurde im ExpertInnenworkshop empfohlen und ist beabsichtigt. Darüber hinaus konnten zahlreiche Forschungsfragen für weiterführende Projekte formuliert werden.

Abstract

Multifunctional solar canopies for urban places

A substantial part of our cities is utilized by areas of moving and stationary traffic. Particularly outdoor car parks are environmentally rather unfriendly and area-intensive. Not only do they seal the grounds and cause urban heat islands, they are almost always strictly monofunctional.

With the city of Leoben as a use case, the exploratory project examines the spatial effects, synergy- and energy potentials of newly developed wide-span light-weight solar canopies for streets and squares in urban public space as well as their implications on the cityscape and the city function. Municipal parking lots as well as intra-urban transit routes will be included in the exploration. The objective is to transform these deficient areas into functional and spatially valuable urban spaces.

The project serves the strategic and content-related preparation of a follow-up R&D demo project. This R&D project is intended to demonstrate the application of existing and new material and photovoltaic technologies or technology combinations in the city infrastructure in prototypes, including the material knowledge in the region with a focus on membrane, polymer and thin glass technologies, and lead to a marketable product development.

Based on an interdisciplinary basic assessment the general framework and potentials of urban space, urban function, material, construction and solar power were analysed and a methodical matrix of selection criteria for site evaluation was elaborated. Test designs for selected sites show different variations of form and use to be compared. To estimate solar potentials a simplified evaluation method has been developed especially. Results were presented to experts in a workshop to be critically discussed.

Deliverables are:

- interdisciplinary matrix and selection criteria of urbanistic and technical requirements and potentials for multifunctional urban solar canopies
- market overview of PV technologies
- simplified method for determining solar potentials
- solar potentials for basic form types and selected sites based on test designs
- transdisciplinary reconciled design-proposals for multifunctional solar-active roofs in urban open space
- roadmap for the subsequent R&D demo-project

The further processing of the topic as a R&D-demo-project was recommended in the expert workshop and is intended. Furthermore, numerous research questions could be phrased out for further projects.

1. Ausgangslage

Die hohe Flächeninanspruchnahme durch Verkehr produziert in großem Ausmaß unökologische, versiegelte Flächen mit monofunktionaler Nutzung, Begünstigung sommerlicher Hitzeinseln und geringer Aufenthaltsqualität. Eine Funktionserweiterung durch Überdachungen kann diesen Defiziten entgegenwirken, historisch bekannte Funktionen neu beleben und eine Vielfalt neuer oder erweiterter Synergien bieten.

1.1. Problemstellung und Motivation

Urbane öffentliche Flächen des Verkehrs – Flächennutzung

Flächen für den ruhenden und fahrenden Verkehr beanspruchen einen Großteil der urbanen Freiflächen und werden weitestgehend monofunktional genutzt. Sie leisten derzeit keinen Beitrag zur Ressourcen- und Energieeffizienz, um zu einer resilienten, lebenswerten Stadt beizutragen. Neben technischen Lösungen ist hier insbesondere der verantwortungsvolle Umgang mit der begrenzten Ressource Boden anzusprechen. Die Forderung nach Nutzungsdurchmischung als Grundlage für die nachhaltige lebenswerte Stadt, nicht nur für Gebäude und Quartiere, sondern auch für den öffentlichen Freiraum bildet die Basis für dieses Sondierungsprojekt.

In Österreich entfallen 37 % der gesamten Flächeninanspruchnahme auf Verkehrsflächen, das sind 236 m² pro EinwohnerIn.¹ Angesichts dieser enormen Flächenanteile erscheint es unverständlich, dass urbane Verkehrsflächenüberdachungen zur Nutzungsüberlagerung und Solarenergiegewinnung so wenig eingesetzt werden, obwohl historische Beispiele und aktuelle Forschungen eine Reihe von möglichen Synergien, wie z.B. die Aufwertung der Aufenthaltsqualität, aufzeigen, in die sich eine urbane Nutzung der Photovoltaik selbstverständlich und potenzierend einbinden lässt.

Stadtbild und Ästhetik als Umweltfaktoren

Die ästhetische Gestaltung des urbanen Raums ist von essentieller Bedeutung für den Lebenswert einer Stadt und die Akzeptanz der BewohnerInnen und NutzerInnen. Im Zusammenhang mit Infrastruktur- und Verkehrsflächen ist sie abseits von repräsentativen Fußgängerzonen und Platzgestaltungen ein bislang völlig vernachlässigtes Thema. Photovoltaikdächer treten vor allem als Parkplatzüberdachungen mit herkömmlichen Plattenelementen als stereotype Bauformen ohne besondere Gestalt- und Aufenthaltsqualität in Erscheinung. Weitgespannte Dachkonstruktionen in Membran-Leichtbauweise hingegen ermöglichen optimierten Ressourceneinsatz, eine höhere Nutzungsfreiheit darunter und wesentlich größere Gestaltungsvielfalt. In einigen Ausführungen sind sie aufgrund der geringeren baulichen Eingriffe leichter rückbaubar, was hilfreich dabei sein kann, Konflikte mit Interessen des Ortsbildschutzes zu minimieren und leichtere Anpassung an Veränderungen des Stadtraums und der Mobilität erlaubt. Jedoch sind weder entsprechende folienintegrierte, membranapplizierte oder Dünnglas-integrierte Photovoltaik bislang marktverfügbar oder weit verbreitet.

Urbane Nutzung der Photovoltaik – Ausgangssituation

In Städten liegt das größte Potenzial für erneuerbare Energie in Photovoltaikanlagen an bereits bebauten Flächen. Gebäude mit positiver Jahresenergiebilanz durch PV sind im Neubau von Eigenheimen Stand der Technik und etablieren sich zunehmend auch im Wohnungs- und Gewerbebau,

¹ Vormalig als „Flächenverbrauch“ titulierte.

sowie auch im Bestand. Auch auf Quartiersebene setzt der Plusenergiestandard die Zielrichtung für zukunftsfähige Städte,² jedoch mit wesentlich geringerer Gebäudehüllfläche pro Kopf als im Umland. Vor allem im urbanen Bestand ist es aus baukulturellen Gründen und aufgrund Verschattungen nicht immer möglich, Flächen zur Energiegewinnung zu nutzen. Der weitgehend private Ausbau der gebäudeintegrierten Photovoltaik (engl.: Building Integrated Photovoltaic BIPV) kann von der öffentlichen Hand lediglich durch Anreize beeinflusst werden, was bislang einen überschaubaren Beitrag zur Erhöhung der Nutzung erneuerbarer Energien in Städten zur Folge hat. Insofern ist es erforderlich, auch die Freiflächen zwischen den Gebäuden in die Überlegungen einzubeziehen. Öffentliche Infrastruktur- und Verkehrsflächen sind zwar mindergenutzt aber nicht gänzlich unbebaut (Signalanlagen, Beschilderung, etc.) bzw. unterbaut (Leitungen). Daher werden Photovoltaikeinrichtungen bislang nur an deren Rändern vorgeschlagen bzw. über privaten bzw. gewerblichen Stellplatzflächen.

Im Rahmen der Energiewende ist allerdings ein weiterer Ausbau von solarerzeugtem Strom notwendig. In diesem Zusammenhang weist der urbane Raum einen Vorteil auf, da der durch gebäudeintegrierte Anlagen erzeugte Solarstrom zunächst unmittelbar im jeweiligen Gebäude verbraucht und nicht in das öffentliche Netz eingespeist wird. Der Aufwand für die Aufrechterhaltung der Stabilität des Stromnetzes kann dadurch vermindert werden. Der Eigenverbrauchsanteil in den Gebäuden kann durch den Einsatz von Batteriespeichern und einer optimierten Verbrauchsstruktur (Lastmanagement) verbessert werden. Nachdem insbesondere in Städten der Gebäudeeigentümer und somit der Betreiber der PV-Anlagen selten identisch mit dem Gebäudenutzer bzw. den Gebäudenutzern ist, stehen diesem Vorteil insbesondere abrechnungstechnische Hürden als Barriere entgegen. Weiters kann als Hürde das Missverhältnis von Leistungsbedarf im Gebäude und zur Verfügung stehender Leistung aus der PV-Anlage gesehen werden. Dies gilt für die im urbanen Raum verstärkt vorkommenden Nichtwohngebäude sowohl während deren Nutzungszeit (Leistungsbedarf zur überwiegenden Zeit höher als die PV-Leistung) als auch während der Nichtnutzungszeiten insbesondere an Wochenenden (Leistungsbedarf zur überwiegenden Zeit geringer als die PV-Leistung). Diese asynchronen Verhältnisse können allerdings u.a. durch stationäre und mobile Speicher (Elektromobilität) teilweise ausgeglichen werden. Dies ist ebenso Gegenstand aktueller Forschung wie die optimierte Regelung der Verbrauchsstruktur.

1.2. Zielsetzung

Zentrales Innovationsziel des auf Basis transdisziplinären Sondierungsprojekts ParaSol ist es, Wege aufzuzeigen, durch solaraktive Überdachungen urbane Zonen des ruhenden und fahrenden Verkehrs für die Energieerzeugung durch PV nutzbar zu machen. Dadurch soll ein Beitrag zur Nutzung erneuerbarer Energieträger in Städten und Stadtzentren und zur urbanen Resilienz geleistet werden. Kommunen und Infrastruktureinrichtungen soll eine Möglichkeit zur stadtbildgerechten Solarenergienutzung und (Teil-)Versorgung ihrer Einrichtungen eröffnet werden. Folgende Zielsetzungen und Teilziele sind Bestandteil der Sondierung und liegen als Endprodukte vor:

- Festlegung und Priorisierung der Lagekriterien, Standorte und konstruktiven Varianten für ein nachfolgendes F&E Demoprojekt am Use Case Leoben

² Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie: ENERGIE Forschungs- und Innovationsstrategie. Wien: 2017.

- Entwickeln von Methoden zur Ermittlung und Bewertung der technischen Machbarkeit urbaner PV-Überdachungen und Übertragbarkeit der Methoden
- Aufschluss über räumliche und gestalterische Auswirkungen weitgespannter, solaraktiver Platz- und Straßenüberdachungen auf Basis von Membran- und Dünnglastechnologien im öffentlichen urbanen Raum, Auswirkungen auf das Stadtbild anhand exemplarischer Beispiele im Use Case
- Transdisziplinäre Erkenntnisse über Synergie- und Energiepotentiale durch solaraktive Verkehrsflächenüberdachung:
 - Ausloten der Energiepotentiale in Hinblick auf Standort, Verschattung, Orientierung, Geometrie und Form
 - Überprüfung der Anwendbarkeit bekannter marktverfügbarer PV-Technologien und Aufzeigen des Bedarfs für F&E neuer Technologien
 - Erkenntnisse über die Möglichkeiten zur Erhöhung der Resilienz urbaner Energieinfrastrukturen gewinnen
 - Ortung der Potentiale einer lokalen und quartiersweiten Nutzung und Speicherung des erzeugten PV-Stroms
- Abschätzung und qualitative Bewertung möglicher Synergiepotentiale durch Platz- und Straßenüberdachungen im öffentlichen urbanen Raum
 - Funktionale Synergiepotentiale: Usability, Straßendienst, Beleuchtung, Lärmschutz, etc.
 - Stadträumliche Synergiepotentiale: Verbesserung der Aufenthaltsqualität, räumliche Aufwertung, Ästhetisierung des Erscheinungsbildes von Infrastrukturflächen
 - Energetische Synergiepotentiale: Energieerzeugung in unmittelbarer Nähe der Energieverbraucher
 - Identifikation urbaner Dienstleistungen und möglicher Geschäftsmodelle zur Erschließung der Potentiale
- Erstellung eines Kriterienkatalogs, von Entwicklungsempfehlungen, Einsatzszenarien und einer Roadmap für die Umsetzung eines nachfolgende F&E Demoprojekts
- Bildung eines Projektkonsortiums und Anstoß des Genehmigungsverfahrens für das geplante F&E Demonstrationsprojekt - Roadmap

Für die Überdachung von öffentlichen Verkehrsflächen im urbanen Raum gibt es derzeit keine baurechtlich gesicherten Abläufe und Regulative. Erst konkrete Projekte werden auf rechtliche Machbarkeit hin überprüft. Im Zuge der Sondierung sind daher die relevanten Infrastrukturträger und die Stadtgemeinde Leoben sowie Behörden eingebunden, um Ideen und Fragestellungen aus der Forschung frühzeitig hinsichtlich rechtlicher, technischer, funktionaler und politischer Machbarkeit qualifiziert zu hinterfragen.

Durch das Sondierungs- und das nachfolgende Demonstrationsprojekt wird die Entwicklung neuer Bau- und Werkstoffe angestoßen und die Gestaltung und Funktion von Stadträumen positiv beeinflusst. Die Identifikation der BewohnerInnen mit dem Quartier wird gehoben und ein bilanzieller und ideeller Beitrag zu Null- oder Plus-Energie-Quartieren geleistet.

1.3. Stand der Technik und des Wissens

1.3.1. Flächennutzung im öffentlichen urbanen Raum

Verkehrsflächen für ruhenden oder fahrenden Verkehr sind üblicherweise hochgradig monofunktional genutzte, unökologische, versiegelte Flächen, als PKW-Stellplatzflächen zusätzlich meist nicht durchgehend belegt. Sie werden weitgehend zweidimensional - als Band oder Ebene - wahrgenommen. In Österreich beanspruchen sie 2.065 km², das entspricht 236 m² pro EinwohnerIn oder 37 % der gesamten Flächeninanspruchnahme.³ Die Steiermark liegt mit insgesamt 358 km² Verkehrsflächen oder 289 m² Verkehrsfläche/EW im österreichischen Durchschnitt.⁴ Im Gemeindegebiet der Stadt Leoben, dem Use Case, befinden sich 231.723 km Straßen und Radwege, davon sind 194.600 km von der Gemeinde Leoben selbst zu erhalten. Weiters gibt es 15.534 m² Fußgängerzone.⁵ Die Aufgaben- und Problemstellungen (Flächenverbrauch, Versiegelungsgrad, Instandhaltungs- und Pflegeaufwand, etc.), die sich hierdurch für die Gemeinde ergeben, können als durchaus repräsentativ für den Großteil der österreichischen Mittel- und Kleinstädte erachtet werden.

Im urbanen Raum fallen die Flächenanteile aufgrund der dichteren Bebauung statistisch zwar geringer aus (z.B. Wien 25 %, 33 m²/EW)⁶ als im Schnitt, treten als Teil des sozialen Interaktionsraums jedoch physisch und psychologisch wesentlich stärker in Erscheinung als in ländlichen Gebieten. Dennoch sind auch in Städten Fahrbahnen und PKW-Stellplätze weitestgehend monofunktional ausgelegt. An diesem eingeschränkten Zweckanspruch wird bislang weder in der Forschung noch in der Praxis gerüttelt, obwohl sich durch Überdachung die Möglichkeit zur Nutzung der ohnedies versiegelten Flächen auf mehreren Ebenen mit unterschiedlichen Zusatznutzungen und Synergien ergibt. Die offensichtlichste Synergie ist das flächenmäßig beträchtliche Potential zur solaren Energiegewinnung, die bislang hauptsächlich an Gebäuden oder großflächig im Freiland erfolgt. Die Notwendigkeit, neben Dach- und Fassadenflächen auch urbane Freiflächen zur Energiegewinnung heranzuziehen, wird bereits im Projekt ERP hoch3 – Energieraumplanung für smarte Stadtquartiere und Regionen 2015 unterstrichen.⁷ Geraldine Quénéhervé von der Universität Tübingen hat im Rahmen Ihrer Forschungsarbeit im Fachbereich Geografie die Mehrfachnutzung von Flächen in Städten mit dem Schwerpunkt Energiegewinnung untersucht und die Potentialflächen zur PV-Bestückung auf Gebäuden und über Parkplätzen kartiert.⁸ Salak, Graf und Muhar untersuchten die Potentiale zur Umwandlung von herkömmlichen Großparkplätzen in Österreich zu solaren „Energieparkplätzen“ und ermittelten insgesamt 38,1 km² Großparkplatzflächen mit einem Erwartungspotential von 4.157 GWh.⁹

1.3.2. Straßen- und Platzüberdachung als städtischer Bautyp

Während das solaraktive Dach im urbanen Freiraum noch eher Seltenheitswert hat, ist die Überdachung von Straßen und Plätzen an sich kein neuer Typus in der Stadt. In den Souks (Geschäftsvierteln) der historischen arabischen Städte gibt es eine lange Tradition überdachter, beschatteter Laden- und Handwerksgassen. Sie bilden bis heute Zentren orientalischen Geschäftslebens und sozialer Treffpunkte. Als europäischer Bautyp des 19. Jahrhunderts kommt der

³ vormalig unter der Bezeichnung „Flächenverbrauch“ geläufig.

⁴ Vgl. Umweltbundesamt.

⁵ Vgl. Stadtamt Leoben (Hrsg.) S. 115.

⁶ Vgl. Umweltbundesamt; eigene Berechnung.

⁷ Vgl. ERP hoch3 (TU Wien, TU Graz Inst. Städtebau, 2015).

⁸ Vgl. Quénéhervé.

⁹ Vgl. Salak et al.

Passage bzw. Galerie oder Arkade, eine mit Glasdach überdeckte innerstädtische Einkaufsstraße, große Bedeutung zu. Sie diene der Aufwertung und Hebung der Aufenthaltsqualität und Attraktivität vormals heruntergekommener Innenstadtgassen und Altstadtzentren, während die Städte sich rasend schnell nach außen ausdehnten und das „gute“ urbane Leben an die Ränder abzuwandern drohte. Passagen standen meist für gehobenen Einzelhandel. Neben ursprünglich über 100 Beispielen in Paris seien hier als Referenzprojekte die Galerie Royale (St. Hubert) in Brüssel von 1847 und die Galleria Vittorio Emanuele II in Mailand (1877) genannt, die heute noch für gehobene Einkaufserlebnisse stehen.¹⁰ Der Markt war im Mittelalter eine der Grundvoraussetzungen für die Verleihung des Stadtrechtes an einen Ort. Diesen Marktplätzen kam also nicht nur hinsichtlich ihrer Positionierung im Stadtraum zentrale Stellung zu. Ab dem 19. Jahrhundert wurden diese Marktplätze vielfach überdacht und zu Markthallen umgebaut, z.B. Les Halles, Paris oder die zahlreichen Markthallen in Barcelona, allen voran der Mercat de St. Josep (La Boqueria). Sie alle gehören als Typen zu den Vorläufern der Shopping-Mall des 20. Jahrhunderts. Ein aktuelles Beispiel einer offenen Markthalle findet sich in Celje, Slowenien (Architektura Krusec).

Zweck zeitgenössischer Überdachungen von Einkaufsstraßen ist eine Aufwertung gegenüber Einkaufszentren, vor allem durch Witterungsschutz. In nördlichen Städten wie z.B. Montreal oder Göteborg sind ganze Straßenzüge überdacht und beheizt, in südlicheren Regionen wie z.B. Spanien und Portugal schützt man sich vor Sonneneinstrahlung und sommerlicher Überhitzung, in Singapur zusätzlich vor Starkregen (Abbildung 6). Weitere Nutzungstypen sind Überdachungen von Veranstaltungs- und Freizeitflächen, wie z.B. Sportstadien.



Abbildung 1: links: Galeries Royales St. Hubert, Brüssel. Foto CC BY-SA 3.0, KoS.

Abbildung 2: Galleria Vittorio Emanuele II, Mailand, CCBYSA40_Giudice Monica.

Als historischen Analogien für freistehende urbane Platzüberdachungen sind exemplarisch die venezianische Loggia oder das schattenspendende Schirmdach am Dorfplatz vieler tropischer Kulturen zu nennen. Ein international bekanntes zeitgenössisches Beispiel stellt der Metropol Parasol (Architekt: Jürgen Mayer H.) in Sevilla dar. Es handelt sich um die begehbare Überdachung einer Ausgrabungsstätte auf der Plaza de la Encarnacion im Stadtzentrum. Nicht nur hat das Dach sich zu einer der Top-Sehenswürdigkeiten der Stadt entwickelt, es hat den Platz zu einem der beliebtesten und belebtesten Treffpunkte der Stadt aufgewertet. Durch die Integration der ehemaligen Markthalle samt urbaner Nebenfunktionen ist es ein rares Beispiel vielfacher Nutzungsüberlagerung. Auch in Belgien werden Plätze zur urbanen Aufwertung und Verbesserung der Aufenthaltsqualität immer öfter zumindest zum Teil überdacht. Hauptmotivation sind die häufigen Regenereignisse, aber auch der sommerlichen Überhitzung kommt diesbezüglich immer mehr Bedeutung zu. Als Beispiele seien hier

¹⁰ Vgl. Geist, Johann F. 1978.

der Place Dumon, ein Marktplatz in Brüssel von artgineering¹¹ und der Grote Markt in Vilvoorde von Omgeving Landscape Architecture¹² genannt. Die Synergie Energiegewinnung wird bisher jedoch kaum adressiert.



Abbildung 3: Metropol Parasol Sevilla, Jürgen Mayer H., Fotos CC-BY-SA-3.0, Ruben Dene.



Abbildung 4: links: Grote Markt, Vilvoorde, Omgeving, Foto © Hannelore Veeleart.

Abbildung 5: rechts: Place Dumon, Brüssel, Foto © Artgineering.



Abbildung 6: von links nach rechts: Platzbeschattung Guimares Portugal, FAHR 021.3 Architects, Foto Jose Caldeira; Singapore, Clarke Quaye, © Alsop / RSP / Sparch Architects; Pier 17, New York, © Achim Menges.

Diesen fußgängerzentrierten Nutzungsformen stehen Überdachungen von Flächen des motorisierten Verkehrs gegenüber, also reine Infrastrukturflächen, meist ohne Aufenthaltsqualität. PV-Dächer über Flächen des ruhenden Verkehrs sind durchaus verbreitet, wobei private Carports, also Kleinflächen in Eigeninitiative, und kommerzielle Großparkplätze (Einkaufszentren, Flughäfen), beide mit herkömmlichen PV-Technologien, vor kaum beachteten urbanen öffentlichen Flächen überwiegen. Die gebauten Formen folgen meist einem stereotypen Muster ohne gestalterische Ambitionen. Damit bleiben sie, wie die meisten Parkplätze, architektonisch und stadträumlich überwiegend anspruchslose Non-Spaces ohne Qualität. Gestalterisch anspruchsvolle Praxisbeispiele mit PV-Integration sind rar.

¹¹ <http://www.artgineering.eu/portfolio/dumon-square/#>

¹² <http://landezine.com/index.php/2019/07/grote-markt-vilvoorde-by-omgeving-landscape-architecture/> (14.4.2020).

1.3.3. Fahrbahnüberdachungen



Abbildung 7: Links: Solarer Bahntunnel nahe Antwerpen/Belgien, 3,4 km, 50.000 m², 3,3GWh/a. newatlas.com/solar-rail-tunnel-completed/18881/.

Rechts: stereotyp Gestaltungslösung mit PV-Plattenelementen über einem Parkplatz. <https://offgrid-gmbh.de>.

Überdachte Flächen des fahrenden Verkehrs auf Straße und Schiene gibt es kaum. Ausnahmen bilden Unterflurtrassen, Überplattungen und Über- bzw. Untertunnelungen von Straßen in Stadtgebieten (z.B. die Küstenstraße in Barcelona für die Zugänglichkeit des Stadtstrands oder der sogenannte Hamburger Deckel der A7¹³ als Lärm- und Sichtschutz). Energiegewinnung ist hier der Stadtentwicklung, wie der Rückgewinnung des öffentlichen Raums und der Steigerung der Lebensqualität untergeordnet. Fahrbahnüberdachungen werden bisher fast ausschließlich dort eingesetzt, wo das Fahrzeug steht und eine Interaktion stattfindet - an Grenzübergängen, Tankstellen, Kontrollpunkten, u.dgl. Darüber hinaus werden gegebenenfalls Autobahn- und Brückenbaustellen zum Witterungsschutz temporär überdacht.

Ähnliche Aussagen lassen sich für schienengebundene Verkehrswege treffen. Im Bahnhofsbereich sind Gleisüberdachungen seit dem 19. Jahrhundert State of the Art, darüber hinaus nicht. Ein über Witterungsschutz und Inszenierung (Bahnhöfe als Kathedralen des Reisens im 19. Jhd.) hinausgehender Zusatznutzen wird bislang wenig thematisiert. Eine der wenigen Ausnahmen bildet der erste „solarbetriebene“ Eisenbahntunnel Europas für eine belgische Hochgeschwindigkeitsbahnstrecke. Sie ist über 3 km lang, verläuft parallel zur Autobahn und produziert rd. 50% des Strombedarfs des Hauptbahnhofs von Antwerpen.¹⁴

Das kalifornische Start-Up Solar Trains schlug 2016 aufgrund der besonderen Effizienz des Transportmittels Bahn beim Transport großer Menschenmengen eine Überdachung von Bahnstrecken zur Deckung des für den Betrieb erforderlichen Energieverbrauchs vor, insbesondere für Bahnsysteme in Großstadtgebieten. Die in der Bay-Area um San Francisco verkehrenden Nahverkehrslinien BART könnten den Berechnungen zufolge durch die Installation von Solarpaneelen über bzw. neben allen überirdischen Gleisstrecken zu 51% versorgt werden. Durch Überdachung von nur 18 km der insgesamt 31 km langen Strecke könnte der gesamte Energiebedarf der Metra Electric Line in Chicago gedeckt werden.¹⁵

1.3.4. Urbane Nutzung von Photovoltaik / Solarenergiegewinnung als urbane Gestaltungsaufgabe

Die Erzeugung von Solarstrom in urbanen Räumen findet aktuell vorrangig an Gebäuden privaten Eigentums statt und dient der anteiligen Deckung des aus der Gebäudenutzung resultierenden

¹³ <http://www.hamburg.de/fernstrassen/a7-deckel/>(abgerufen am 14.5.2020,22:05).

¹⁴ newatlas.com/solar-rail-tunnel-completed/18881/.

¹⁵ Vgl. <https://understandsolar.com/solar-powered-trains-future-of-public-transportation/>; 7.4.2020.

Stromverbrauchs. Die Inanspruchnahme öffentlichen Raums zur solaren Stromerzeugung ist bislang kaum Bestandteil eines kommunalen Energieerzeugungskonzeptes.

In diesem Kontext untersuchte das Stadt der Zukunft Projekt Syn[En]ergy¹⁶ die Rolle des urbane Freiraums hinsichtlich Energieproduktion sowie möglicher Konflikte und Synergiepotentiale (Akzeptanz, Stadtbild, Verbesserung der Nutzbarkeit, Effizienz und Kosten), wobei einige stadtfunktionale Synergien aus den oben angeführten historischen Beispielen als bekannt vorausgesetzt werden dürfen und vor allem deren Ausformung am konkreten Ort interessiert. Die veröffentlichten Ergebnisse bescheinigen Parkplätzen, Überdachungen, Straßen und Fahrradwegen sowie Stadtmöbeln interessante Potenziale, gehen aber von der Fortführung stereotyper Lösungen aus, betrachten kaum das Potential neuer PV-Technologien und nicht das von weitgespannten Dächern und von Flächen des fahrenden Verkehrs. Neben dem Endbericht liegt ein „Leitfaden für Photovoltaikanwendungen in urbanen Freiräumen“ vor.¹⁷

Im urbanen Freiraum sind ambitionierte gestalterische Lösungen zur Solarenergiegewinnung bislang hauptsächlich in Form von Einzelobjekten und Prototypen, oft aus dem künstlerischen Umfeld, bekannt. Wahrzeichen der Stadt Gleisdorf ist seit 1998 ein Solarbaum des Künstlers Hartmut Skerbisch auf dem Hauptplatz, der einen Teil der Energieversorgung der Straßenbeleuchtung abdecken kann. Skulpturen und Dächer unter Einbeziehung innovativer Solartechnologien werden gerne als Prototypen auch auf den Weltausstellungen ausgestellt, z.B. Solar Tree am deutschen Pavillon bei der Expo 2015 in Mailand, später neu aufgestellt auf dem Gelände der Konzernzentrale von Merck im Darmstadt. Ein rein künstlerisches Projekt ist der von Robotern aus photo-lumineszenten Recyclingtextilien gewobene Sonnenschirm „Lumen“ der Künstlerin Jenny Sabin im MOMA in New York.



Abbildung 8: links: Solar Tree der Expo 2015 heute am Gelände von Merck, Foto © Merck KGaA. Abbildung 9: Mitte und rechts: Lumen: Jenny Sabin Studio for The Museum of Modern Art and MoMA PS1's Young Architects Program 2017, Image courtesy MoMA PS1. Foto © Pablo Enriquez.

In der Industrie und in F&E wird bislang nur die gebäudeintegrierte Photovoltaik (BIPV) als Gestaltungsaufgabe wahrgenommen, wobei in der Praxis weitgehend utilitaristisch und stereotyp den formalen Einschränkungen der ebenen, platten- und rasterförmigen PV-Paneele gefolgt wird. Die farbige Gestaltung wird erst in den letzten Jahren untersucht. Die zunehmende Notwendigkeit der urbanen Photovoltaik zum Erreichen der Klimaziele erfordert hier einen Paradigmenwechsel hin zu angemessener Ästhetik, wenn eine negative Beeinflussung des Erscheinungsbildes urbaner und non-urbaner Räume und Oberflächen verhindert werden soll. Die kreativen Möglichkeiten werden sich mit neuen PV-Flexibles und Folien-, Membran- bzw. Dünnglastechnologien in Farbe, Struktur, Textur, Geometrie und Form wesentlich vergrößern, wie auch Kapitel 1.3.6 zeigt.

¹⁶ Schauppemlehner et al 2018.

¹⁷ Schauppemlehner et al 2018a.

Eine mögliche Zukunft zeigt das gestalterisch ambitionierte Infrastrukturgebäude des Abfallwirtschaftsbetriebs der Stadt München – ein Membrandach mit Solarmodulen als Parkplatzüberdachung für hunderte Müllfahrzeuge. Es wurde mit dem deutschen Stahlbaupreis 2012 ausgezeichnet und als „Versöhnungsangebot der Photovoltaik an den architektonischen Gestaltungsanspruch“ bezeichnet.



Abbildung 10: Abfallwirtschaftsbetrieb München: Die Mittellage der luftgefüllten ETFE-Folienkissen dient als Träger der flexiblen Dünnschichtsolarzellen. Im Hintergrund das Olympiastadion. Quelle: © Ackermann+Partner Architekten BDA.

1.3.5. Weitgespannte Leichtbauweisen und Membranstrukturen

Leichtbau und seilverspannte Bauwerke haben spätestens mit der Überdachung des Olympiastadions in München 1972 von Frei Otto (Pritzker Preis 2015) weltweit Anerkennung gefunden (Abbildung 10 – rechts im Hintergrund). Seither wurden vor allem Materialeigenschaften und Materialvielfalt weiterentwickelt und die Anwendungsmöglichkeiten kontinuierlich gesteigert. Einen Überblick gibt z.B. Formfinder Software GmbH¹⁸, wo Praxisbeispiele, unterschiedlichste Konstruktionen, Formen, Materialien und Anwendungsziele in einer Datenbank gesammelt und typologisch geordnet sind. Auch in dieser internationalen Beispielsammlung sind Solarenergienutzung und öffentliche Verkehrsflächen unterrepräsentiert. Die Firma bietet einerseits eine Suchmaschine für Membrandächer und andererseits ein professionelles Entwurfswerkzeug für biomorphe Konstruktionen an. Die Software wurde im Sondierungsprojekt getestet und verwendet. Durch die sie werden die generierten Formen bereits auf deren Statik vorgeprüft, sodass keine Formen generiert werden können, welche statisch nicht realisiert werden können. Dies umgeht nicht eine professionelle statische Berechnung, sondern es wird durch die Software schon in der Formfindungsphase regulierend eingegriffen. Beispiele für die Formfindung weitgespannter Membrandachkonstruktionen finden sich in Kapitel 2.4.4, welche für dieses Projekt entwickelt wurden. Zudem können neben den bekannten Membrankonstruktionen auch andere Konstruktionsformen gewählt werden. Ein Beispiel für weitgespannte Membrandachkonstruktionen mit integrierter Photovoltaik ist hier eine Seilnetzkonstruktion mit Stützen, welche als Spinnennetz in sich verspannt ist. An den Seilnetzen können vorgefertigte Photovoltaikmodule angebracht werden, welche aus verschiedenen Materialien und Farben bestehen können, um an den Nutzen vor Ort angepasst zu sein.

¹⁸ www.formfinder.at

1.3.6. Stand der Technik / Stand der Forschung / Entwicklung der flexiblen Photovoltaik

Marktübersicht einiger Hersteller im Bereich der flexiblen / Dünnschichtfolien / semiflexiblen Photovoltaik

Solarmodule werden je nach deren verwendeten Technologie der Solarzellen in monokristalline, polykristalline, organische und Dünnschichtmodule unterteilt. In der Dünnschichttechnologie wird ein Trägermaterial mit dem Halbleitermaterial beschichtet. Bisher wurden hierfür sehr gerne auf amorphes Silizium zurückgegriffen. Doch es ist eine deutliche Verschiebung von amorphem Silizium (a-Si) zu Cadmiumtellurid (CdTe) oder Kupfer-Indium-Gallium-Diselenid (CIGS) zu beobachten.¹⁹ 2017 waren die Marktanteile im Bereich der Dünnschichttechnologie bereits mit 60 % CdTe und 25 % CIGS verteilt, amorphes Silizium erreicht nur noch 15 % weiter fallend. Im Bereich der CIGS Technologie sind starke Wachstumsraten verzeichnet worden, welche in den kommenden Jahren anhalten wird. Zudem drängen durch die gesteigerten Wirkungsgrade organische Photovoltaikzellen (OPV) und auch Zellen auf Perowskite-Basis auf den Markt.²⁰ Dennoch beruht der Markt aktuell sehr stark auf kristallinen Siliziumsolarzellen. Lediglich 5 % sind dem Bereich der Dünnschicht zuzuordnen. Auf den Weltmarkt bezogen sind dies aber 4,5 GWp.

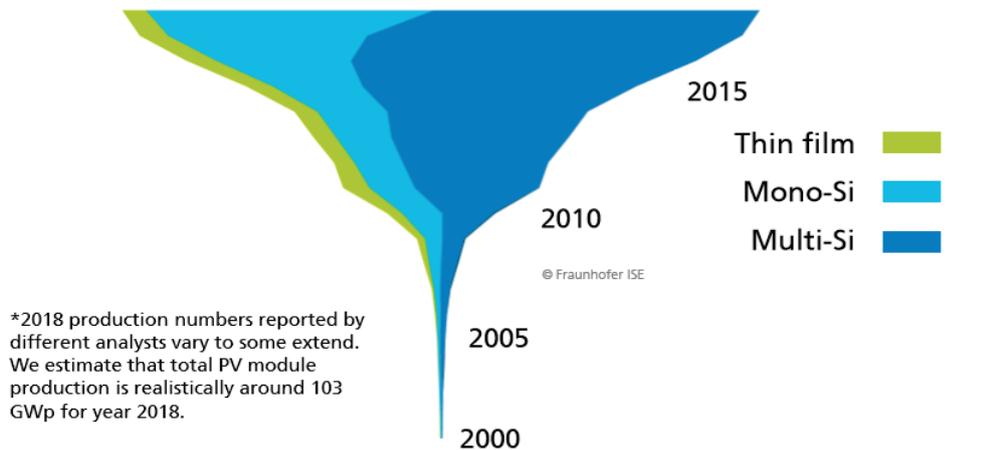


Abbildung 11: Jährliche Photovoltaikproduktion der unterschiedlichen Technologien weltweit, Quelle Fraunhofer ISE.

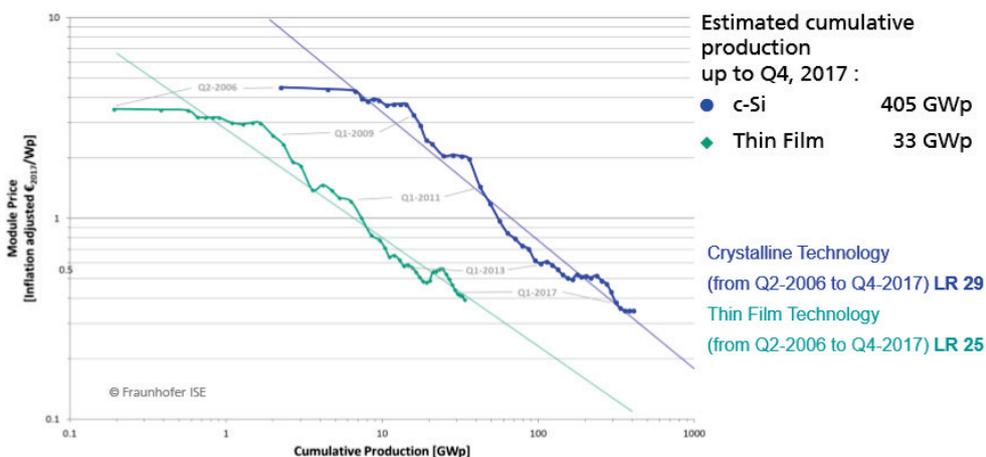


Abbildung 12: Preiskurve der Photovoltaik bis Q4/2017, Quelle Fraunhofer ISE.

¹⁹ Enkhard Sandra 2018.

²⁰ Vgl. Rau Björn, Unger Eva, Kirchatz Thomas, Hentze Norbert 2017. S.74-81.

Dünnschichtsolarmodule werden mit sehr dünnen photoaktiven Schichten auf Trägermaterialien, wie Glas, Folien oder Aluminium aufgebracht. Diese Schichtendicken sind im Vergleich zu klassischen, auf Wafer-basierten Zellen etwa um den Faktor 50-100 (im Fall OPV sogar bis Faktor 1000) mal dünner. Dies bietet in Bezug auf die Materialersparnisse Vorteile gegenüber waverbasierten Modulen sowie in deren Gestaltung. So können im Verfahren der Rolle zu Rolle (R2R) Prozesses große Flächen hergestellt werden. Somit soll sich in Zukunft kostengünstiger im Vergleich zu herkömmlichen Modulproduktionen produzieren lassen. Mit den erzielbaren Skaleneffekten in der Massenproduktion im GW Bereich sollten die Produktionskosten aber noch einmal fallen.

Zudem konnte der Wirkungsgrad bei CIGS Photovoltaikzellen in den letzten Jahren noch einmal deutlich gesteigert werden und liegt aktuell bei 23,4 % im Laborbereich. Durch die allgemeine Wirkungsgradsteigerung von dünnschichtbasierter Photovoltaik und deren immer größeren Produktionsvolumen wird sich der Preis je Kilowatt und deren Flächeneffizienz weiter verbessern. Ziel sind hierbei Kosten von 0,25 US\$/ Wp.²¹ Die folgende Abbildung zeigt die Entwicklung der Wirkungsgrade seit 1993 bis 2019.

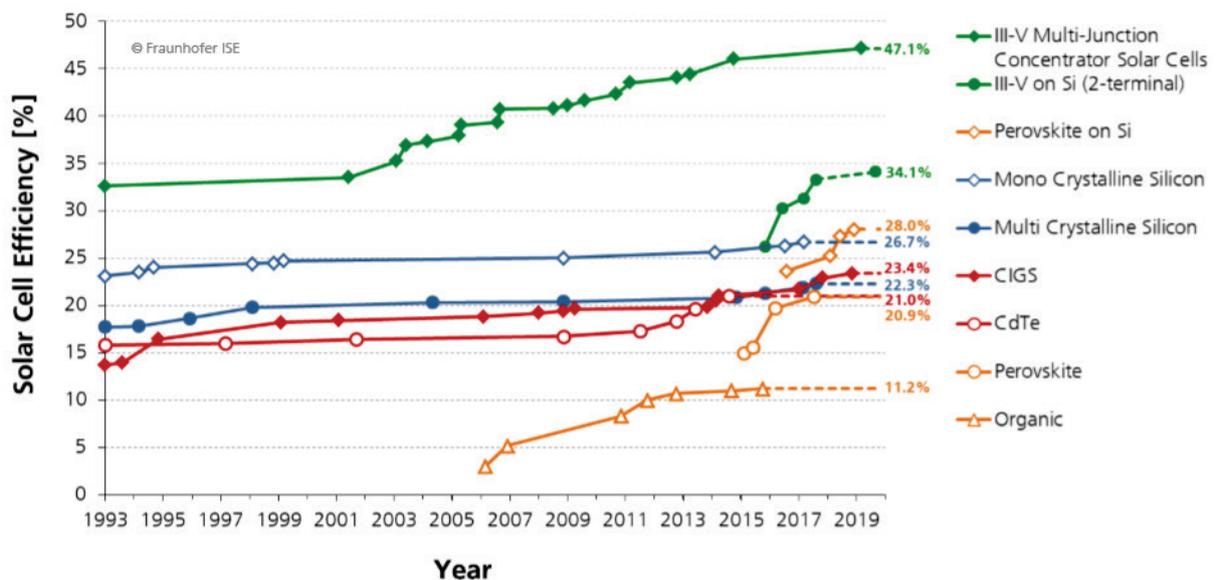


Abbildung 13: Erreichte Photovoltaikzelleneffizienz, Quelle Fraunhofer ISE.

Durch die Herstellungsverfahren von Dünnschichtmodulen wird die Beschichtung mit verschiedenen Substratformen möglich, sodass „maßgeschneiderte“ und mechanisch flexible Module (eindimensional/ zweidimensional biegsam) entstehen. Eine Variation der Farben, Formen und Modultransparenz kann erfolgen. Zudem sind sie wesentlich leichter als herkömmliche Photovoltaikmodule. Damit kann durch die Flexibilität ein neuer Markt erschlossen werden, der insbesondere für die Integration in die Gebäudehülle für stark in sich gebogene Formen, für Spannerkonstruktionen über Plätze oder Straßen angedacht ist. Zudem können gebogene Überdachungen zukünftig für die Energiegewinnung genutzt werden. Aufgrund der spezifischen Eigenschaften hat die Dünnschicht Photovoltaik aber wesentliche Vorteile, die ihnen abseits des klassischen Solarstrommarktes vor allem andere Anwendungsfelder erschließen.

Im Hinblick auf die Gestaltung der künftigen Energiewende gibt es hier genügend Potenzial, welches mit dieser Technologie ausgefüllt werden kann. Künftige Herausforderungen werden einheitliche

²¹ Rau Björn, Unger Eva, Kirchatz Thomas, Hentze Norbert 2017.

Produktionsmethoden der unterschiedlichen Hersteller sein, welche sich nach und nach erst etablieren werden und zudem eine Steigerung der Produktionsmengen, um ausreichend Module für den Markt liefern zu können. Die Forschung ist im Bereich der flexiblen Photovoltaik sehr aktiv, und hat die letzten Jahre schon beachtliche Ergebnisse geliefert, im Bereich des Aufbaues von Pilotanlagen, die Steigerung der Wirkungsgrade aller Dünnschichttechnologien für den druckbaren Prozess sowie die Senkung der Herstellungskosten.

Aus diesen resultierten Produkte, welche für spezifische Einsatzbereiche und Anwendungsfälle optimiert sind, und die Vorteile jeder Technologie und Materialkombination optimal ausnützen, wie zum Beispiel die der organischen Photovoltaik, die mit sehr dünnen Materialstärken sehr geringes Gewicht und äußerste Flexibilität mit sich bringen.²² Das Anwendungsspektrum für die BIPV und deren Einsatz bei überdachten Flächen ist enorm, und wird sukzessive die nächsten Jahre in Projekten erprobt werden, bis Massenprodukte in ausreichender Menge verfügbar sind.

Dafür wird in sehr vielen Forschungseinrichtungen und Firmen an der Thematik geforscht, um auf diese Fragen und jeweils spezielle Anforderungen das optimale Produkt liefern zu können. Zudem sind seit etlichen Jahren bereits unterschiedlichste Produkte von diversen Anbietern für flexible Photovoltaik auf dem Markt. Es folgt eine kleine Auswahl der Hersteller am Markt sowie eine Gegenüberstellung von Herstellern. Zudem wurden Forschungseinrichtungen und Firmen hinsichtlich derer Fortschritte im Bereich der Forschung und der Produktentwicklung der flexiblen Photovoltaik hinterleuchtet.

Mia Sole

Mia Solé ist ein amerikanischer Hersteller von leichten, flexiblen und leistungsstarken Solarzellen. Die Firma wurde 2004 gegründet und hat sich von einem Silicon Valley Start-up zu einem führenden Anbieter von Dünnschicht-Solarmodulen entwickelt. Im Dezember 2012 wurde Mia Solé Mitglied der Hanergy-Gruppe. Die innovative Solarzelle basiert auf der derzeit leistungsfähigsten Dünnschichttechnologie und ist aufgrund ihrer flexiblen Zellarchitektur ideal für eine Vielzahl von Lösungen geeignet, die von kommerziellen Dachsolarmodulen bis hin zur flexiblen Anwendung reichen. Das Produktportfolio umfasst aktuell vier Serien der Flex Reihe. Die Zelltechnologie ist bei allen Serien CIGS. Der Zellwirkungsgrad variiert je angebotenen Produkt (verschiedene Zelltechnologie) und liegt bei circa 17 %. Die Länge und Breite der Module variiert, und somit auch deren Modulleistung. Die Länge kann zudem je nach Kundenwunsch variiert werden.²³ Die Montage erfolgt auf die vorhandene Dachkonstruktion. Die Folien sind an der Unterseite bereits mit vollflächigen Klebestreifen versehen und werden direkt mit der Dachkonstruktion verklebt. Der Kleber hält sowohl auf Oberflächen wie Beton oder Blechdächern. Die flexiblen Solarmodule sind laut Hersteller bruchsicher. In Bezug auf die mechanische Belastbarkeit im Alpenraum, speziell auf die Schneelast, ist die Norm IEC 61215 anzuwenden. Die IEC 61215 regelt, wie sich kristalline Photovoltaikmodule unter der künstlichen Belastung von Einflüssen verhalten, welche Auswirkungen auf die Degradation und Leistung der Module haben, wie Klimabelastungen (Kälte, Wärme, Feuchtigkeit) und mechanische Belastungen (Schnee, Hagel, Windsog, Winddruck). Für das Zertifikat nach IEC 61215 mit der Belastungsobergrenze von 5,4 kN/m² für Photovoltaikmodule wird bei dieser flexiblen Modulserie nicht getestet. Da die Bahnen direkt mit einer Klebeschicht mit der

²² Sigmund 2014.

²³ Mia Sole 2019c, 2019a.

Dachkonstruktion (Membran, Blechdachkonstruktion oder ähnlichen) verklebt werden, kann hier keine Bruchgefahr wie bei Glas-Folienmodulen auftreten.²⁴

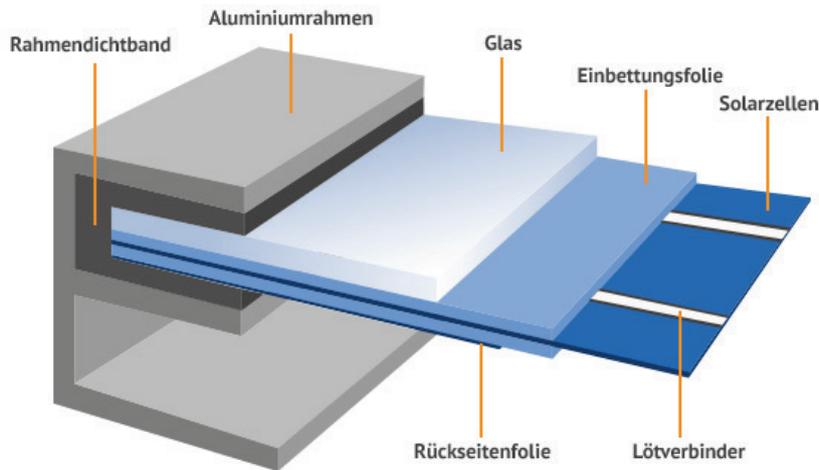


Abbildung 14: Aufbau eines Standard Glas- Folien Photovoltaikmodules. Quelle: www.photovoltaik-fachmann.at, zuletzt geprüft am: 06.12.2019

Hinsichtlich der Belastbarkeit in Bezug auf Hagelsicherheit oder Windlasten wird vom Hersteller bestätigt, dass nach IEC 61646 (wie IEC 61215, nur für Dünnschichtmodule) Hageltests ohne gemeldete visuelle Schäden oder dielektrische Durchschläge bestehen. Diese Tests verwenden typischerweise mindestens Eiskugeln mit 25 mm Durchmesser und Stahlkugeln mit 51 mm Durchmesser.²⁵ Leistungs- und Herstellergarantien: Mia Sole gib auf die flexiblen Solarpaneele 5 Jahre Werksgarantie. Die Leistungsgarantie wird nach 25 Jahren und 80 % der Modulleistung gegeben. Somit ist die Leistungsgarantie mit Standard PV Modulen aus Glas-Folie gleichzusetzen.²⁶

Global Solar

Global Solar Energy, Inc (GSE) wurde 1996 in den USA gegründet und hat sich zu einem führenden Hersteller von flexibleren Dünnschicht CIGS Solarlösungen entwickelt. 2011 erhielten die Power-Flex Serien die Zertifizierungen nach IEC 61730, 61646 und UL 1703. Breits 2015 wurde eine 350 kW große Anlage in Florida umgesetzt. Derzeit betreibt das Unternehmen eine Produktionsstätte in Tucson, Arizona, mit einer Dünnschichtproduktionskapazität von 50 Megawatt pro Jahr. Die Modulserien PowerFLEX-CIGS ist in verschiedenen Leistungsklassen von 100 W- 315 W erhältlich und erreicht einen Wirkungsgrad von 14,5 %. Oberflächenmaterial ist mit geringer Reaktivität die schmutz- und staubabweisende ETFE-Folie.

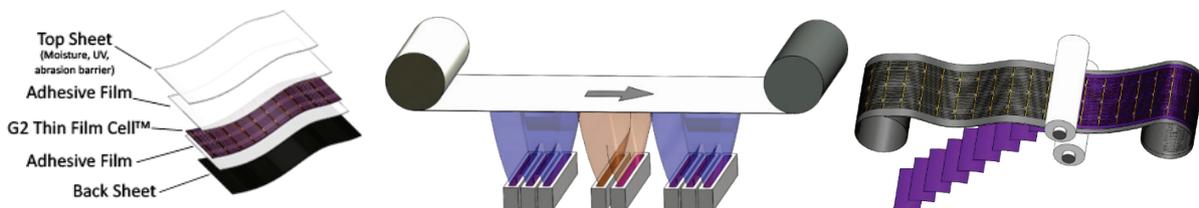


Abbildung 15: von links nach rechts: Global Solar Modulaufbau des flexiblen Moduls - Aufdampfen der Materialien auf die Folie im Verfahren „Rolle zu Rolle“ - Laminiertungsprozess von flexiblen PV-Zellen. Quelle: Global Solar, www.globalsolar.com, zuletzt geprüft am: 16.12.2019.

²⁴ Geimer, Konstantin -Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE Bereich Solarthermie und Optik 2013.

²⁵ Vgl: Mia Sole 2019b. S.3.

²⁶ TÜV Rheinland Energie und Umwelt GmbH Geschäftsfeld Regenerative Energien 2010.

Das mittige Bild zeigt, wie der Dünnschichtfilm auf das leichte Edelstrahlsubstrat aufgetragen wird. Dies erfolgt in einem 3-stufigen Prozess. Durch den geringen Materialeinsatz sind so auch niedrige Herstellungskosten möglich. Das Laminieren zu einer Polymerfolie mit strukturierten mechanischen Leitern ist schematisch im Bild rechts ersichtlich. Die Belastbarkeit in Bezug auf Hagelsicherheit oder Windlasten wird vom Hersteller bestätigt, sowohl IEC 61730, 61646 und UL 1703 Hageltests ohne gemeldete visuelle Schäden. Global Solar gibt fünf Jahre Werksgarantie. Die Leistungsgarantie wird nach 25 Jahren und 80 % der Modulleistung gegeben. Geprüft sind die Module nach EN 61646 und EN 61730, zudem noch UL 790 fire rating Klasse C.

Alwitra- Evalon

Alwitra stammt aus dem Umfeld der Flachdachabdichtung und entwickelte bereits 1999 eine integrierte flexible PV-Anlage in deren Dachabdichtungsbahnen. Mit weltweit über 2.000 erfolgreich umgesetzten Solar-Projekten kann hier auf langjährige Erfahrungen zurückgegriffen werden. Die installierte Leistung beträgt knapp 40 MWp. Die flexiblen Solardachbahnen werden direkt als Abdichtungsschicht verklebt oder nachträglich aufgebracht. Sie werden auf einer Unterlage aus nicht brennbaren Baustoffen oder als oberste Lage einer anderen harten Bedachung verlegt. Zweckmäßig ist eine Unterlage aus Mineralfaserplatten nach DIN EN 13162. Die an der Unterseite angebrachte Kleberschicht schafft somit einen festen Zusammenschluss von Solarmodul und der Dachkonstruktion bzw. deren Flachdachdämmbahnen. Die Solarpaneele besitzen ein Eigengewicht von ca. 4 kg/m². Durch die Verwendung der Triple-Junction-Technologie wird das Lichtspektrum optimal ausgenutzt. Als oberste Folienschicht wird eine ETFE-Folie verwendet.²⁷ Evalon gibt in seinen Datenblättern keine Leistungsgarantie an. Das Projekt befindet sich aktuell noch in der Pilotphase, und es werden deshalb nur ausgewählte Projekte umgesetzt. Ein Termin für die Vermarktung am Massenmarkt und außerhalb Deutschlands ist noch nicht bekannt.²⁸ Das Unternehmen ist zudem nach IEC 61646 sowie IEC 61730 zertifiziert, zusätzlich vom TÜV nach DIN EN ISO 9001 und DIN EN ISO 14001 für deren Umweltmanagementsysteme.

Solbian

Solbian mit Sitz in Graz gehört zu der Sailectron e.U. und stellt vorwiegend flexible Solarprodukte für die Verwendung auf See her. Bereits vor der Markteinführung wurden Solbian Flex-Module vielfach getestet, die IEC-Zertifikate wurden 2011 erstellt und 2015 erneuert. Das Produkt gibt es in verschiedenen Variationen, je nach Montageuntergrund. Die Standardversion zum Kleben oder aber auch mit Ösen, mit Klettverschluss oder Reißverschluss, für die Befestigung auf Planen, Zelten, Sonnensegeln und sehr flexiblen Materialien, sodass auch hier das Produkt gut an dem Material haftet und sich nicht ablöst. In vier verschiedenen Varianten sind am Markt, die SP, SXX, SR und SX Serie. Die Wirkungsgrade variieren zwischen 20-24 %. Die Herstellergarantie beträgt fünf Jahre.²⁹

Mechanische Belastbarkeit: Die Solbian Flex-Module sind semi-flexibel, und daher nur in eine Richtung biegebar. Der minimale Biegeradius beträgt einen Meter, wobei die maximale Bogenhöhe dabei 122 mm nicht überschreiten darf. Die Paneele sind begehbar, allerdings nur bei festem Untergrund, da sonst die Gefahr eines Zellenbruchs droht. Sie sind mit einem Gewicht von 2,2 kg/m² bei der SP-Serie extrem leicht. Alle Module sind IEC 61215 und 61730 zertifiziert. Durch die Verwendung von

²⁷ Alwitra 2019.

²⁸ Seibert Alexis 2019.

²⁹ Solbian Solar 2019b.

Sunpower-Hochleistungsmodulwafern sind die Wirkungsgrade der Solbian-Flex Solarzellen die mit den höchsten Wirkungsgraden am Markt der flexiblen Solarpaneele.³⁰



Abbildung 16: links: Solbian Salamandergrotte in Frankreich, rechts: Solbian Module im Projekt Gervasutti, Quelle: Solbian Solar, <https://solbian.solar/de/#works>, zuletzt geprüft am: 16.12.2019.

Die Salamandergrotte in Frankreich wurde mit SolbianFlex CP Solarpaneelen belegt, wobei die Paneele mit schwarzem Laminat ausgeführt wurden, um sich optimal ins Design einzufügen.

Das Hochalpine Projekt des italienischen Biwak Gervasutti ist auf eine Höhe von 2835 m gelegen. Die 24 Stück SP100-Module sind auf dem gebogenen Dach verklebt, und liefern ausreichend Strom für die gesamte Versorgung. Schon seit über drei Jahren halten die Module Schnee, Steinschlag und den extremen Temperaturschwankungen im alpinen Raum stand. Im Vergleich mussten am Dach bereits erste Reparaturarbeiten getätigt werden, wobei die Photovoltaikmodule unbeschädigt sind.³¹

Flisom AG:

Die Flisom AG wurde 2005 als Ausgründung durch das Laboratorium für die Festkörperphysik der ETH Zürich gegründet. Sie arbeitet eng mit der Eidgenössischen Materialprüfungs- und Forschungsanstalt (Empa) zusammen. Diese historischen Verbindungen zählen zu den weltweit führenden Forschungsinstitutionen und bilden die Basis für die kontinuierliche Verbesserung der Technologie. Die Flisom AG beschäftigt sich mit der Herstellung von CIGS-Solarzellen auf flexiblen Polymersubstrat.³²

Bisherige Milestones:

- 2005 Gründung als Ableger der Eidgenössischen Technischen Hochschule Zürich
- 2009 R2R Co-Verdampfer läuft
- 2012 Entwicklungslinie funktionsfähig
- 2013 R2R Co-Verdampfer läuft, Investition für 15 MW Pilotproduktionslinie
- 2015 R2R Co-Verdampfer läuft, 15 MW Pilotproduktionslinie verbaut
- 2016 Pilot Produktionslinie funktionsfähig³³

Die Forscher verbesserten den eigenen Wirkungsgrad der Energieumwandlung bei CIGS-Solarzellen auf flexiblem Polymersubstrat auf 20,8 %. Die Technologie der Wahl ist Kupfer-Indium-Gallium-Diselenid (CIGS). Das ermöglicht die Herstellung von flexiblen, leichten Solarzellen auf Polymerfolien. Flexible CIGS-Solarmodule sind bereits im Handel.³⁴ Die Technologie wird in einer industriellen 15 MW Fertigungslinie in der Schweiz bereits umgesetzt und soll auf 100 MW erweitert werden. Durch den R2R Prozess werden hohe Durchsatzraten erreicht. Zudem besitzt Flisom ein Alleinstellungsmerkmal:

³⁰ Solbian 2019; Solbian Solar; Solbian Solar 2019a.

³¹ Solbian Solar 2019c.

³² Flisom 2019.

³³ Flisom AG 2019a.

³⁴ Reisch 2019.

Die Produktionsbreite der Polymerbahn beträgt 1 Meter, und schafft somit fast die doppelte Breite wie die Konkurrenz. Seit 2013 sind in die Firma Investitionen von über 50 Millionen CHF getätigt worden, vor allem vom Großinvestor, der Tata Group aus Indien.³⁵

Umgesetzte Projekte:

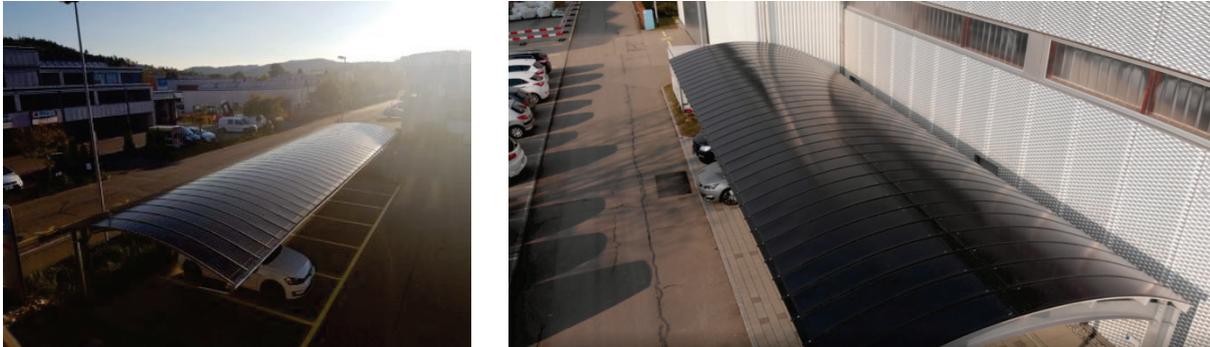


Abbildung 17: Flisom Carportprojekte in der Schweiz, Quelle: Flisom AG, www.flisom.com/reference-projects/, zuletzt geprüft am: 08.02.2019.



Abbildung 18: Flisom Folienglashausprojekt in Italien und den Niederlanden, Quelle: Flisom AG, www.flisom.com/reference-projects/, zuletzt geprüft am: 08.02.2019.

Forschungsaktivitäten:

CIGS-Roll-to-roll manufacturing of high efficiency and low cost flexible CIGS solar modules (2012-2015)

Forschungsstelle: FP7-NMP Projektnummer: 283974

Die R2R-Prozesse werden in Verbindung mit einer 500 mm breiten modularen R2R-Pilotlinie oder einer 300 mm breiten All-in-One Vakuum R2R CIGS-Pilotlinie implementiert und getestet. Die ersten 18 Monate des R2R-CIGS-Projekts waren hauptsächlich der Entwicklung von Prozessen und Geräten für die Pilotlinien gewidmet. In den zweiten 18 Monaten lag der Schwerpunkt auf der Realisierung der Ausrüstung und der Übertragung der Prozesse auf Pilotlinien. Es wurden flexible CIGS-Solarzellen auf Polyimidsubstrat mit Wirkungsgraden über 19,5 % und 20 sowie flexible CIGS-Mini-Module mit einem Wirkungsgrad von 16,9 % durch einen statischen, mehrstufigen Niedertemperatur-Co-Verdampfungsprozess hergestellt. Die Verkapselung erfolgte durch das Beschichten mit einer flexiblen Polymerfolie, die auf einer wetterfesten Polymerfolienschiicht laminiert wird, um eine flexible Vorderfolie herzustellen.³⁶

³⁵ Flisom AG 2019b.

³⁶ Bolt 2015.

Sharc25-Super high efficiency Cu(In,Ga)Se₂ thin-film solar cells approaching 25 % (2015-2018)

Forschungsstelle: Horizon 2020 Projektnummer: 641004

Das Hauptziel des Sharc25-Projekts ist es, die Leistung und den Wirkungsgrad der Cu(In,Ga)Se₂ (CIGS)-basierten Dünnschicht-Photovoltaiktechnologie in Richtung theoretischer Grenzen zu steigern. Mit innovativen Prozessen und fortschrittlichen Materialien wird der Single-Junction-CIGS-Solarzellen-Energieumwandlungswirkungsgrad in Richtung 25 % gesteigert, 3 % mehr als die bisherige Bestmarke für dieses Material. Ziel des Sharc25-Projekts ist es, die derzeitigen Einschränkungen bei hocheffizienten CIGS-Solarzellen zu verstehen und letztendlich zu überwinden und die praktische Leistung näher an die theoretischen Grenzen zu bringen.

Resultate aus dem Projekt:

Durch die Einführung zusätzlicher Alkalienelemente in der Nachbehandlung von CIGS-Absorbern konnte eine CIGS-Solarzelle mit einem Wirkungsgrad von 22,6 % erzeugt werden. Darüber hinaus wurden vielversprechende Methoden zur Realisierung der Vorder- und Rückpassivierung der CIGS-Absorberschicht entwickelt und analysiert. Die in Sharc25 entwickelte neuartige Gerätearchitektur und Verarbeitungskonzepte werden der europäischen PV-Industrie den entscheidenden Vorteil bieten, eine maximale CIGS-Modulleistung mit optimierten Dünnschichtproduktionsprozessen und PV-Technologie zu realisieren. Darüber hinaus wird die angestrebte Leistungssteigerung und die daraus resultierenden signifikanten Kostensenkungen zu vielen neuen Geschäftskonzepten für die Implementierung kostengünstiger, leistungsstarker Energieumwandlungslösungen in bestehende oder neue Produkte führen.³⁷

PVsites (2016- 2019)

Forschungsstelle: Horizon 2020 Projektnummer: 691768

PVSITES bietet robuste BIPV-Technologie-Lösungen. Das Ziel ist es, die Entwicklung des BIPV-Marktes kurz- und mittelfristig deutlich zu verbessern. PVSITES entwickelt ein breites Portfolio von BIPV-Produkten auf Basis von kristallinem Silizium und CIGS-Photovoltaiktechnologien, die diese Anforderungen erfüllen und die Zuverlässigkeit dieser Lösungen unter realen Bedingungen unter Beweis stellen. Die BIPV-Systeme werden in sechs realen Gebäuden demonstriert.

PVCOM (2017- laufend)

Forschungsstelle: Eurostars, European Kommission

Ziel dieses Projekts ist es, neue Photovoltaik-Technologien und Materialien zu entwickeln und ihre Anwendung als multifunktionales Material zu demonstrieren. Diese sollen die spezifischen Bedürfnisse und Anforderungen der Märkte für gebäudeintegrierte Photovoltaik erfüllen. Dieser Ansatz wird für BIPV und Stadtmobilitätsanwendungen durch die Kombination von CIGS-Technologie und transparentem faserverstärktem Verbundmaterial als innovative Modulfertigungstechnologie umgesetzt und als innovative Modulfertigungstechnologie verfolgt.³⁸

PanelPV - Verbundpanelen mit integrierter PV und Wahlfreiheit bei Dimension und Farbe (2018-2020)

Forschungsstelle: BFE Projektnummer: SI/501698

³⁷ Witte 2018.

³⁸ PVCOM 2017.

Das Hauptziel des Projektes PanelPV ist es, visuell attraktive Fassadenelemente zu entwickeln, welche zudem günstig produziert werden können. Das Projekt zielt auf die Entwicklung neuer Fassadenelemente mit integrierter PV auf Basis von Sandwichplatten von Holland und CIGS-basierter PV-Folie von Flisom ab. Im Projekt werden beide zu einem neuen energieerzeugenden Fassadenelement zusammengeführt. Zusätzlich soll die PV-Folie lichtdurchlässig gemacht werden. Dies ermöglicht, dass das integrierte Produkt die gleiche Farbe zeigt wie die darunterliegende Sandwichplatte.³⁹

Sunplugged - Solare Energiesysteme

Die Firma Sunplugged – Solare Energiesysteme entwickelt in Kooperation mit Unternehmens- und Forschungspartnern aktuell eine flexible Photovoltaik-Folie bei der Größe, Form und elektrische Spannung frei eingestellt werden können. Mit dieser Technologie werden maßgeschneiderte Lösungen für Gebäudehüllen und Formen realisierbar. Aktuell ist noch kein Endprodukt am Markt verfügbar.

³⁹ Aramis 2019.

Forschungsprojekte:

simpliCIS 2 - Flexible Dünnschichtsolarmodule für die Gebäude- und Geräteintegration (2011-2013)

Die Photovoltaikindustrie richtet ihre Anstrengungen vor allem darauf, durch Standardisierung und Skaleneffekte die Kosten der Photovoltaik zu reduzieren. Im Vorgängerprojekt simpliCIS war das Ziel die Entwicklung einer flexiblen Dünnschichtsolarzelle, speziell für mobile Anwendungen und für die Gebäude- und Geräteintegration. Der Wirkungsgrad soll über 12 % liegen sowie die Kosten unter 1,5 € je kWp. Im Zuge des SimpliCIS2 Projekts werden flexible Dünnschichtsolarmodule entwickelt, bei denen die elektrischen und geometrischen Spezifikationen in einem neuartigen Herstellungsprozess eingestellt werden können. Das Projekt umfasst die Entwicklung aller Beschichtungs- und Kristallisationsprozesse zur Herstellung einer folienartigen Solarzelle. Die elektrische Spannung, die Größe und die Form der Solarfolie können in einem weiteren experimentellen Entwicklungsschwerpunkt mit Hilfe einer einzigartigen Kombination aus Laser- und Druckprozessen angepasst werden.⁴⁰

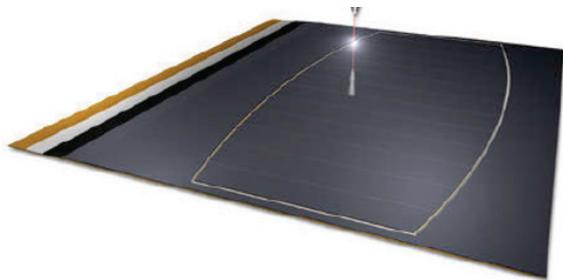


Abbildung 19: Sunplugged Laserzuschnitte der Endformate, Quelle: Sunplugged GmbH.

SOIpol3: Solar-electrical Systems based on Polymeric Materials: Novel Polymeric Encapsulation Materials for PV Modules (2011-2015)

Energieforschung- Projektnummer: 829761

Mit den entwickelten Prüf- und Charakterisierungsmethoden wurden die neuartigen Einbettungsmaterialien und Rückseitenfolien verbessert. Ein besonderes Augenmerk wurde auf die Prozessierbarkeit und das Alterungsverhalten gelegt. Von den untersuchten Rückseitenfolien und einer Hybridfolie zeigte das Hybridlaminat die beste Performance unter praxisrelevanten Einsatzbedingungen. Sowohl die neuartigen Einbettungsmaterialien und die Hybrid-Rückseitenfolie wurden bezüglich der kommerziellen Umsetzbarkeit sehr positiv bewertet. Ein besonderes Augenmerk wurde auf die Entwicklung von flexiblen Modulen mit CIGS-Solarzelle gelegt. Die besten Ergebnisse in Bezug auf Haftung, Schrumpfung und Verarbeitbarkeit wurden für Lamine mit CIGS-Solarzellen auf Polyimidsubstrat und Ionomer-Einkapselung erzielt.⁴¹

⁴⁰ Zimmermann Andreas 2013.

⁴¹ Lang Reinhard, Wallner Gernot, Fischer Jörg: Solar-electrical Systems based on Polymeric Materials. Novel Polymeric Encapsulation Materials for PV Modules. Linz 2015.

Flexible CIGS solar cells with efficiencies above 16 % and costs below 0.6 Euro per Watt for bespoke photovoltaic modules (2017-2019)

Energieforschung- Projektnummer: 858779

Das Projekt zielte auf eine Wirkungsgraderhöhung und Kostensenkung bei der Herstellung von flexiblen CIGS Solarzellen ab. Es wurde ein R2R Basisprozess entwickelt, bei dem CIS Solarzellen mit einem Wirkungsgrad von 10,6 % auf flexiblen Niedertemperatursubstraten (Polyimide) hergestellt wurden. Hinsichtlich des Zellwirkungsgrades von Solarzellen mit Gallium konnte der ursprünglich angestrebte Zielwert von 14 % im Projekt in der R2R Versuchsanlage im Projektverlauf nicht realisiert werden. So konnte zunächst eine Wirkungsgradverbesserung durch Anpassung der Natrium-Menge und des Gallium-Profiles in der CIGS-Absorberschicht erreicht werden. Aufgrund der Feststellungen kann bei der weiteren Umsetzung durch die Optimierungsarbeiten mit einer weiteren Steigerung der Effizienz gerechnet werden. Das angestrebte Effizienzziel von 14 % (ohne Nachbehandlung) kann in einem industriellen Rolle-zu-Rolle Verfahren umgesetzt werden. Die Kostensenkungen erfolgten einerseits durch Prozessoptimierung sowie durch Kostensenkung im Bereich der Herstellung.⁴²

Scale Up-Forschung für die Hochskalierung von flexiblen Dünnschichtsolarzelle (2018-2020)

FFG- Energieforschung 4. Ausschreibung

Dünnschichtphotovoltaik gilt als vielversprechende Alternative im Vergleich zu auf Wafern basierender Photovoltaik. Dünnschicht-Technologien ebnen den Weg für kostengünstige Produktionsverfahren und eröffnen neue Anwendungsgebiete der Photovoltaik. Im Hinblick auf die industrielle Verwertung gelten Dünnschichtsolarzellen auf Basis von Kupfer-Indium-Gallium-Selen (CIGS) als ein vielversprechender Kandidat für zukünftige Photovoltaikanwendungen. Sie vereinen hohes Wirkungsgradpotenzial, gute Langzeitstabilität und können auf unterschiedlichen Substraten wie Folien aufgebracht werden.

Aktueller Forschungsstatus:

- Die Entwicklung einer CIGS-Solarzelle mit Spitzenwirkungsgraden von 15,2 % im Labor und über 10 % in der Rolle-zu-Rolle auf Kunststofffolien.
- Aufbau von Rolle-zu-Rolle Pilotanlagen für die Herstellung von flexiblen Solarzellen.
- Druckbare Modulverschaltung, welche es erlaubt, ohne großen Rüstaufwand die Eigenschaften eines Photovoltaikmoduls (Größe, elektrische Spannung und Geometrie) zu bestimmen.
- Entwicklung eines stabilen, rissfreien Verbunds aus Substrat und Rückkontakt, der hochskalierte CIGS Solarzellen mit geringen Wirkungsgradverlusten zulässt.
- Entwicklung eines Verfahrens, welches die kostengünstige Zugabe von Alkalimetallen ermöglicht.
- Vergrößerung der Homogenität eines neuen Hybridprozesses zur Rolle-zu-Rolle Herstellung von CIGS Absorbern.
- Konzeption und Entwicklung von Mess- und Prüfsystemen für anwendungsspezifische herstellbare PV-Module (nach Zellprozess, nach Verschaltungsprozess) Konzeption von neuen, individualisierten Photovoltaikprodukten.⁴³

⁴² Zimmermann Andreas 2019a.

⁴³ Sunplugged GmbH 2018.

Ausblick:

Dank den Projektabschlüssen ist es möglich, den CIGS-Prozess für ein Produktionsvolumen von mindestens 5 MWp in Tirol zu skalieren. Kernstück der Anlage wird eine R2R CIGS Anlage. Die CIGS Produktionslage und alle vor- und nachgeschalteten Beschichtungsanlagen werden so ausgelegt, um 5 MWp Dünnschichtsolarzellen jährlich produzieren zu können. Das geplante Werk soll Pilotkunden mit maßgeschneiderten, flexiblen PV-Lösungen beliefern. Gleichzeitig wird die Kleinproduktion als Blaupause für größere Anlagen dienen, um flexible Solarmodule im größeren Maßstab kostengünstig herstellen zu können. Um die Produktionskosten von CIGS Solarzellen weiter zu senken, wird die Entwicklung und Optimierung von cadmiumfreien Frontschichten forciert, welche in einem R2R Prozess mit der Herstellung der transparenten Frontkontaktschichten kombinierbar sind. Die Produkte der Firma Sunplugged sollen bis 2022 zur Marktreife gebracht werden.

Crystalsol GmbH

Crystalsol beschäftigt sich am Standort in Wien und Tallin mit der Entwicklung von flexiblen Photovoltaikfolien mit signifikanten Anwendungsvorteilen und deutlich niedrigeren Herstellungskosten. Die Photovoltaikfolien dienen vor allem dem Einsatz in der gebäudeintegrierten Photovoltaik (BIPV). Die Kerninnovationen sind das kristalline Halbleiterpulver, bestehend aus einem neuen, patentierten Halbleitermaterial, und das kontinuierliche, kostengünstige Rolle-zu-Rolle-Herstellungsverfahren. Die neuartige PV-Folie lässt sich kostengünstig in Gebäudeelemente wie Fenster, Glasfassaden- oder Dachelemente integrieren bzw. aufbringen.

Forschungsprojekte:

PV-Folie als Halbzeug zur Integration in Standardindustrieprozesse der GIPV (2011-2013)

Energieforschung - Projektnummer: 829922

Im Zuge des Projektes konnte ein Halbzeug entwickelt werden, welches sich mittels Laminierprozess in einen Glasverbund integrieren lässt. Das Ergebnis ist ein flexibles PV-Halbprodukt, welches im R2R Verfahren hergestellt wurde. Das Halbprodukt weist die nötige Stabilität auf, um im weiteren Verarbeitungsprozess laminiert werden zu können. Es wurden im Zuge des Projektes verschiedene transparente Polymere auf Ihre Eignung als Frontseitenstabilisierungsmaterial untersucht. Dabei zeigte sich, dass nicht jedes Polymer geeignet ist. Mit Silikonen oder auch Polyurethanen konnte kein zufriedenstellendes Ergebnis erreicht werden. Durch experimentelle Versuche ist es im Zuge des Projektes gelungen, ein geeignetes Material zu finden. Zudem sollen der Aufbau und die Verarbeitung des Halbzeuges so gestaltet werden, dass dies in Zukunft mit einem vergleichsweise einfachen Prozess hergestellt werden kann.⁴⁴

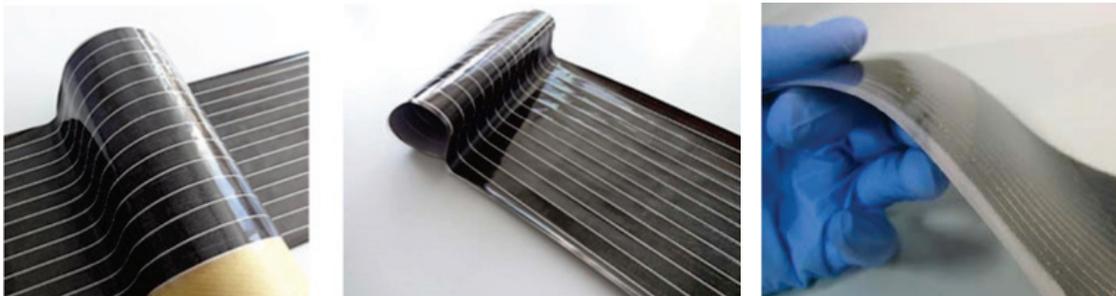


Abbildung 20: links + Mitte: Endergebnis des Halbleiterproduktes, rechts: weiterverarbeitet mit Laminatdeckschicht, Quelle: Neisser et al 2014, S.8+10.

⁴⁴ Neisser Alex, Glatz Christoph, Moser Sebastian, Waldauf Christoph 2014.

Kostengünstig gedruckte Kontakte für Photovoltaik-Module im Rolle-zu-Rolle Produktionsprozess (2012-2013)

Energieforschung- Projektnummer: 858779

In diesem Projekt konnte ein Prozess entwickelt werden, der es erlaubt, Rückschlüsse auf die Kosten- und Aufwandseffizienz in den Produktionsprozess zu geben. Die Produktion erfolgt auf Maschinen der Firma Forster. Ein erfolgreicher Transfer der Produktionsschritte war erfolgreich, so konnte die Produktion von flexiblen PV-Modulen erstmals in einer Größe von 30 x100 cm² erfolgen. Dies ist der Ausgangspunkt und liefert den Nachweis, dass das Druckverfahren mittels industrieller Druckverfahren umsetzbar ist.⁴⁵

flex!PV.at – Modulkonzepte und Produktionsverfahren für hocheffiziente flexible PV-Module basierend auf emergenten Zelltechnologien (2013-2015)

Energieforschung- Projektnummer: 838621

Durch die Entwicklung der Beschichtung für Backsheets im Laufe des Projektes wurden wichtige Grundsteine für weitere Entwicklungsprojekte bei ISOVOLTAIC gelegt. Besonderen wirtschaftlichen Bezug hat die Entwicklung alternativer Pufferschichten - die vielversprechenden Ergebnisse mit Inx(OH)ySz-Pufferschichten zeigen einen Weg zu CdS-freien Modulen auf. Zudem wurden gute Ergebnisse im Bereich der lösungsbasierten Frontkontakte erzielt, welche eine Produktion ganz ohne Vakuumprozess ermöglichen. Aufbauend auf den Erfolgen wird sich ein Nachfolgeprojekt einerseits mit der Effizienzverbesserung von schwermetallfreien Kesteritzellen beschäftigen und andererseits sollen die gewonnenen Erkenntnisse auf die derzeit sehr erfolgreiche Perowskite-PV-Technologie übertragen werden.⁴⁶

print.PV Flexographic printing of photovoltaic power- Towards 0,3 €/W (2014-2017)

Energieforschung- Projektnummer: 845017

Hauptziel des Projekts war die Entwicklung einer Prozessreihe, die für eine Rolle-zu-Rolle-Produktion von CZTS-Monogramm-Membranen bei 40 m/min geeignet ist. Bei solch hohen Webgeschwindigkeiten sollten die Kosten unter 0,3 €/Wp Herstellung liegen. Die Ergebnisse zeigen, dass eine Hochdurchsatzproduktion von CZTS-Monograin-Membranen zu geringen Kosten realisiert werden kann. Das Hauptziel des Projektes wurde erreicht und das Know-how zur Realisierung aller Einzelprozesse bei einer Bahngeschwindigkeit von 40 m/min liegt vor. Zudem eröffnete das Projekt eine Roadmap für die Photovoltaik- und Drucktechnikbranche in Österreich, um sich in eine weltweit wachsende Photovoltaikindustrie zu integrieren.⁴⁷

Isovoltaik

ISOVOLTAIC ist in der Entwicklung und Produktion von Rückseitenfolien für Photovoltaikmodule am Weltmarkt tätig und prägt maßgeblich die geltenden Industriestandards. Das Unternehmen hat seinen Hauptsitz in Lebring/Österreich und verfügt über mehr als 25 Jahre Erfahrung in der Erzeugung hochwertiger Verbundstoff-Schutzfolien für Solarzellen. Das Unternehmen schlitterte aber 2018 in die Insolvenz durch den steigenden Preisdruck aus Fernost, wird aber weitergeführt.

⁴⁵ Rumman Sayed 2013.

⁴⁶ Six Birgit, Dimopoulos Theodoros, Trimmel Gregor, Scharber Markus, Boeffel Christine, Plessing Lukas, Schen Verena 2015.

⁴⁷ Rumman Sayed 2017.

Das Unternehmen beschäftigt sich zudem mit der Erforschung und Entwicklung neuer kosteneffizienter Technologien zur Einkapselung von Solarzellen, um diese auch als flexible Module anbieten zu können. Im Rahmen einer mehrjährigen Kooperation mit Forschungspartnern wurde ein 34 Meter langes, auf eine Dachbahn aufgebrachtes, flexibles Solarmodul entwickelt. Das Projekt umfasst die Produktentwicklung von Hochbarrierematerialien zur Einkapselung von flexiblen Solarzellen, die nachfolgende Rolle-zu-Rolle Fertigung und anschließende Rolle-zu-Rolle Laminierung. Ziel ist es, die Erkenntnisse der diskontinuierlichen Herstellung von flexiblen PV-Modulen in den kontinuierlichen Rolle-zu-Rolle Prozess zu übertragen. Mithilfe der neu entwickelten Verfahren können große Mengen von flexiblen PV-Dachbahnen kosteneffizient und qualitativ hochwertig hergestellt werden. Die in Form einer flexiblen Rolle vorliegenden Solarmodule lassen sich wie konventionelle Dachbahnen verarbeiten und sind kaum schwerer als diese, wodurch weitere große Einsparungen bei den Installationskosten erzielt werden. Die gefertigten Dachbahn-PV-Module werden vom Austrian Institute of Technology (AIT) / Energy Department an drei Standorten in Versuchsanlagen installiert. In der Folge wird vom AIT ein optisches und technisches Monitoring durchgeführt.⁴⁸

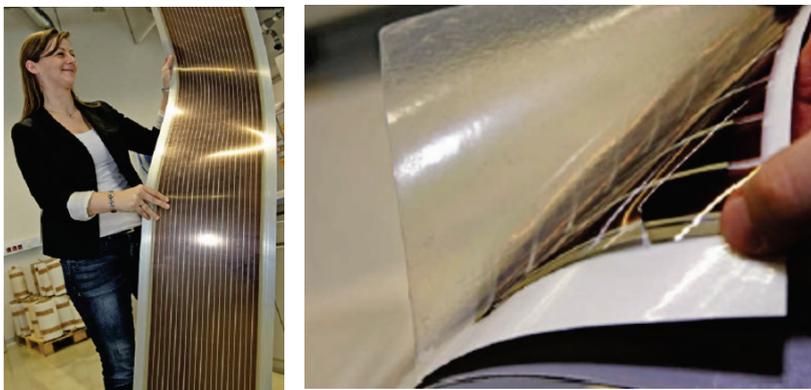


Abbildung 21: Flexibles Solarmodul von ISOVOLTAIC, Quelle: Energy Innovation Austria, 02/2013, S.4.

Forschungsprojekte:

Flexible PV-Systeme - Hochbarrierematerial zum Schutz sensibler Solarzellen und Verfahren zur R2R-Herstellung flexibler PV-Module und Dachbahnen (2010-2014)

Energieforschung- Projektnummer: 821834



Abbildung 22: Forschungsteam mit den Endergebnissen aus dem Projekt, Quelle: Isovoltaic, Isosport, Belectric 2012.

Ziel war es, flexible, witterungsbeständige Folien und Hochbarrierematerialien zur Einkapselung von flexiblen Solarzellen zu entwickeln und diese im R2R Prozess umzusetzen. So können große Mengen von flexiblen PV Dachbahnen effizient und qualitativ hochwertig hergestellt werden. Im Rahmen des

⁴⁸ Ringhofer/ Energy Innovation Austria 2013.

Projekts wurden die Materialkombinationen für die Herstellung eines Hochbarrierematerials untersucht und festgelegt. Auf dieser Grundlage wurde mit der Produktion eines Hochbarrierematerials begonnen und so ein flexibles, transparentes Material in einer Breite über 1000 mm hergestellt. Parallel wurden Einbettungsmaterialien für flexible Solarzellen entwickelt, die speziell auf CIGS-Zellen abgestimmt sind.⁴⁹

Heliatek

Heliatek ist ein 2006 gegründetes Unternehmen mit Sitzen in Ulm und Dresden. Das Unternehmen hat eine ultraleichte, flexible, einen Millimeter dünne organische Solarfolie entwickelt. Die Massenproduktion soll im Rolle-zu-Rolle Prozess erfolgen und Ende 2019 starten.⁵⁰ Laut Hersteller bestehen die flexiblen Solarmodule aus ultradünnen Schichten organischer, kohlenstoff-basierter Moleküle, die bei sehr niedrigen Temperaturen auf eine flexible PET-Folie aufgetragen werden. Die bisherigen Folien wurden in einer Pilotanlage produziert und befinden sich bereits in der Praxiserprobung in unterschiedlichen Pilotprojekten. Des Weiteren werden für die Erzeugung der Folien keinerlei toxische Stoffe eingesetzt und ausschließlich recycelbare Rohstoffe verwendet. Im Februar 2019 erzielte Heliatek mit einer neuen organischen Solarzelle einen Wirkungsgrad von 13,2 %. Damit verbessert Heliatek seinen eigenen Rekord von 2013 um 1,2 Prozentpunkte. Dies erreicht zwar die Wirkungsgrade herkömmlicher Solarzellen nicht, stellt aber in Anbetracht des noch jungen Bereichs der organischen PV ein Ausrufezeichen in puncto Leistungsstärke. Mitte 2020 sollen dann auch für den Massenmarkt zugängliche Produkte aufliegen. Die aktuelle Zelleffizienz bei den Pilotanlagen erreicht aber nicht 13,2 %, sondern liegt aktuell bei 6-7 %. Der Wirkungsgrad soll aber weiter erhöht werden, sodass mit der Markteinführung 2020 die zweite Generation mit höheren Wirkungsgraden verkauft werden kann.⁵¹ Die Folien der zweiten Generation werden 5 Jahre Produktgarantie sowie 20 Jahre Leistungsgarantie laut Hersteller besitzen. Im April 2016 gewann das Unternehmen den GreenTec Award in der Kategorie "Produktion". Ausgezeichnet wurde Heliatek für sein innovatives Rolle-zu-Rolle-Produktionsverfahren, bei dem pro Quadratmeter nur ein Gramm Material benötigt wird.⁵²

Projekte:

Photovoltaikfolie auf Getreidesilo in Donauwörth



Abbildung 23: OPV-Projekt von Heliatek mit 230 m² an einem Getreidesilo, Quelle: PV-Magazin, 05/2019, <https://www.pv-magazine.de/2019/05/27/heliatek-und-lechwerke-testen-photovoltaik-folie-auf-getreidesilo/>, zuletzt geprüft am: 12.05.2020.

⁴⁹ Plessing Albert, Schinagl Christina, Muckenhuber Harald 2014.

⁵⁰ Hannen Petra 2019.

⁵¹ Innogy SE 2019.

⁵² Heliatek 2019a.

Eine 230 m² große Fläche eines Getreidesilos in Donauwörth wurde mit der speziellen Solarfolie beklebt. Im Pilotversuch sollen Langzeittests mit der Technologie auf rauem Beton gemacht werden. Die Leistung der Photovoltaik-Anlage ist mit 10 kWp beziffert. Die jährliche Stromproduktion wird bei etwa 6.700 kWh erwartet. Der erzeugte Solarstrom soll dabei zum Eigenverbrauch in dem Getreidesilo verwendet werden. Heliatek will die Ergebnisse in die eigene Produktentwicklung einfließen lassen. Vor dem Start der geplanten Serienproduktion der Solarfolien im kommenden Jahr soll das Produkt weiter optimiert werden. Zudem soll in den Pilotprojekten aufgezeigt werden, dass die Montage der Folien wesentlich schneller und somit kostengünstiger als mit herkömmlichen PV-Systemen erfolgen kann.⁵³

Projekt Hybrid Windkraftanlage, Albacete, Spanien

120 Solarfolien – zur optimalen Nutzung der Sonneneinstrahlung nach Südost-Südwesten ausgerichtet – bedecken ca. 173 m² des Turms und erzeugen eine Gesamtleistung von 9,36 kWp.⁵⁴



Abbildung 24: links: OPV Folien von Heliatek auf eine WKA in Spanien, Quelle: Windkraftjournal 05/2019, Acciona Energy. Rechts: OPV Anlage von Heliatek in Frankreich, Quelle: Heliatek, <https://www.heliatek.com/de/projekte/biopv-la-rochelle/>, zuletzt geprüft am: 12.05.202.

Im südwestlichen Hafen von La Rochelle, Frankreich, wurden 500 m² Solarfolien von Heliatek auf dem Dach der Mittelschule "Pierre Mendès France" installiert. Das Ergebnis ist die bisher größte BiOPV – Gebäudeintegrierte OPV Anlage. Mit einer installierten Leistung von 22,5 kWp werden jährlich rund 23,8 MWh Strom erzeugt.⁵⁵

Solliance - Thin Film Solar Research

Solliance ist eine Partnerschaft von F&E-Organisationen von 2010 aus den Niederlanden, Belgien und Deutschland, die im Bereich der Dünnschicht Photovoltaik tätig sind. Um sich weltweit zu positionieren, schafft Solliance die erforderlichen Synergien, indem sie die Aktivitäten von 250 Forschern in der Industrie, an Forschungseinrichtungen und Universitäten bündelt und koordiniert. Kooperationspartner sind unter anderem ECN, TNO, Holst Centre, Forschungszentrum Jülich, Universität Hasselt und Delft University of Technology.⁵⁶

Das Energieforschungszentrum der Niederlande (ECN) ist das größte Energieforschungsinstitut der Niederlande. ECN entwickelt neue Technologien und betreibt bahnbrechende Forschung auf verschiedene Weise zu innovativen Lösungen, um den Übergang zu einem nachhaltigen

⁵³ Enkhard Sandra 2018.

⁵⁴ Vgl. Windkraft Journal 2019.

⁵⁵ Vgl. Heliatek.

⁵⁶ Vgl. Holst Centre 2019.

Energiemanagement zu erleichtern. Die rund 500 Mitarbeiter sind in Projekten im In- und Ausland in Zusammenarbeit mit der Industrie, Behörden und Forschungseinrichtungen tätig.⁵⁷

Holst Centre wurde 2005 von imec (Flandern, Belgien) und TNO (Niederlande) gegründet und ist ein unabhängiges Forschungs- und Entwicklungszentrum, das Technologien für drahtlose autonome Sensortechnologien entwickelt. Das Holst Centre befindet sich auf dem High Tech Campus Eindhoven und beschäftigt über 200 Mitarbeiter.⁵⁸

TNO ist eine unabhängige niederländische Organisation für angewandte wissenschaftliche Forschung, die 1932 gegründet wurde, um es Unternehmen und Behörden zu ermöglichen, Wissen anzuwenden. TNO verbindet Menschen und Wissen, um Innovationen zu schaffen, die die Wettbewerbsfähigkeit der Industrie und das Wohlergehen der Gesellschaft nachhaltig stärken.⁵⁹

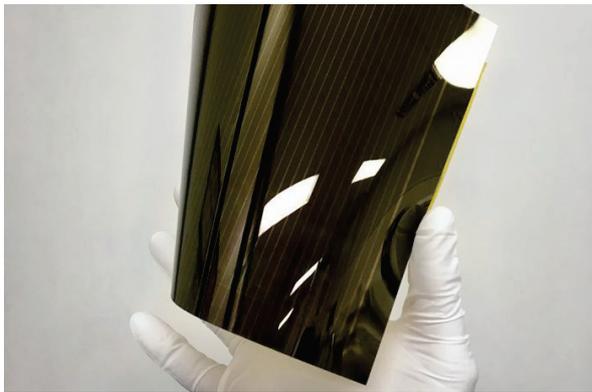


Abbildung 25: Perowskit PV-Zelle von Solliance, Quelle: Solliance, <https://www.solliance.eu/2017/solliance-sets-more-world-records-for-r2r-perovskite-solar-cells-and-modules/>, zuletzt geprüft am: 06.12.2019.

Solliance gibt den Nachweis eines industriell anwendbaren „Roll-to-Roll“-Prozesses für die Fertigung von Solarzellen bekannt, mit dem eine Rekordumwandlungseffizienz von 12,6 % auf Zellniveau erzielt wurde. Perowskit-Mikrokristalle sind ein vielversprechendes Material für die Herstellung von ertragreichen Dünnschichtsolarzellen. Solliance und seine Forschungspartner konzentrieren sich auf die Anwendung skalierbarer industrieller Verfahren zur Produktion großflächiger Module, die letztlich für die nahtlose Integration in eine ganze Reihe von PV-Systemen geeignet sind. Das R2R-Verfahren wurde sowohl für die Elektronentransport- wie auch die Perowskitschichten von Solliance entwickelt.⁶⁰

Zukunftspotenziale: Solarzellen aus Perowskiten gehören zu den Hoffnungsträgern der Photovoltaikindustrie. Sie schaffen höhere Wirkungsgrade als herkömmliche, auf Silizium basierte Zellen, haben die Forschungslabore aber noch nicht verlassen. Eine neue Absorberschicht verspricht Vorteile in der Massenfertigung. Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler vom lichttechnischen Institut des Karlsruher Instituts für Technologie haben eine neue, hocheffiziente Lochleiterschicht aus Nickeloxid entwickelt. Sie ist großflächig abscheidbar und erhöht bei Perowskite-Solarzellen die Effizienz. Mit Wirkungsgraden von über 24 % im Labor gehören Perowskit-Solarzellen heute zu den effizientesten Dünnschichttechnologien der Photovoltaik. Sie versprechen im Vergleich zu den Silizium-Solarzellen, die derzeit den Markt dominieren, eine deutlich günstigere und einfachere Herstellung. Die Schicht auf Basis von Nickeloxid ist nicht nur kostengünstig, sondern auch im

⁵⁷ Vgl. ECN 2019.

⁵⁸ Vgl. Holst Centre 2019.

⁵⁹ TNO 2019.

⁶⁰ Vgl. Andriessen Ronn 2019.

Gegensatz zu den üblichen organischen Materialien unempfindlicher gegenüber Temperaturen von mehr als 70 Grad Celsius.⁶¹

In aktuellen Forschungsprojekten PersiST – Perowskit-Silicium Tandemsolarzellen vom Fauenhofener ISE in Kooperation mit der Albert-Ludwigs-Universität Freiburg, Helmholtz-Zentrum Berlin für Material und Energie, sowie Heraeus Deutschland und Merck sollen Perowskit Tandemsolarzellen mit einem Wirkungsgrad von 29 % entstehen. Ergebnisse werden Anfang 2020 erwartet.

Glas-Glas Module

Sunovation

Sunovation ist ein deutscher Hersteller von Spezialgläsern für die Verwendung in der Architektur. Seit 2001 werden am Standort Aschaffenburg Fassaden und Dachelemente entwickelt und hergestellt. Seit 2014 besteht ein neuer Produktionsstandort in Aschaffenburg-Obernau, wo Produktlösungen für besondere architektonische Leistungen produziert werden. Sunovation bietet individuelle Formgebung und Abmessungen, auch gebogene Modulformen und deren optischen Farbgestaltung sind möglich. Als Photovoltaikzellen werden mono- und polykristalline PV-Zellen verwendet. Die Wahl des Transparenzgrades beeinflusst die Gesamtoptik jeder BIPV-Anlage, sodass auch dieser je nach Einsatzgebiet spezifisch angepasst werden kann.⁶²



Abbildung 26: Gebäude mit transparenten Glas-Glas Modulen und zwei gebogenen Modulen, Quelle: PV-Technologies, <https://www.pvtechnologies.at/sondermodule/>, zuletzt geprüft am: 12.05.2020.



Abbildung 27: Gebogene Glas-Glas Module, Quelle: Sunovation, <https://sunovation.de/de/produkte>, zuletzt geprüft am: 12.05.202.

Die Verwendung von gebogenen Gläsern für moderne Gebäude oder Baukörper ist auch mit Glas-Glas Modulen möglich. Durch die spannungsfreie Einbettung der PV-Zellen können Module mit teilvorgespanntem Glase entstehen, welche einen Biegeradius ab 450 mm aufweisen können. In

⁶¹ photovoltaik 2019.

⁶² Sunovation 2020.

Abbildung 27 ist eine GIPV zu sehen, welche mit gebogenen Glas-Glas Modulen ausgestattet ist. Diese haben hier einen Biegeradius von 3,5 m.⁶³

Die Größen und Formen der Module sind individuell anpassbar, denn die Glas-Glas-Module werden projektspezifisch dimensioniert und produziert. Der Glasaufbau ergibt sich aus den spezifischen Anforderungen eines Projektes. Zudem werden technische, statische und rechtliche Vorgaben beachtet. Es können VSG, farbige, bedruckte oder beschichtete Gläser mit Zusatzfunktionen zum Einsatz kommen.

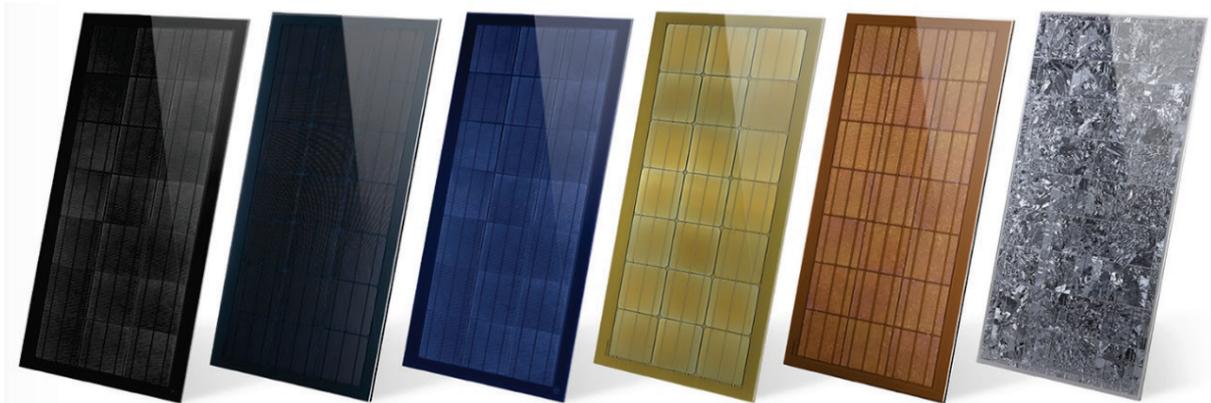


Abbildung 28: Module mit verschiedener Farbgebung, Quelle: Sunovation, <https://sunovation.de/de/produkte>, zuletzt geprüft am 12.05.2020.

Solitek

Solitek ist ein schnell wachsendes Unternehmen, angesiedelt in Vilnius in Litauen, welches 2009 als Forschungszentrum für Photovoltaikzellen und mit kleinen Produktionszentren begonnen hat. Seitdem erfolge die Entwicklung zu einem Solartechnologiehersteller mit großem Know-How. In Österreich arbeitet die Firma PVTechnologies GmbH als Planungs- und Vertriebspartner von Solitek und gibt bei Kundensonderwünschen diese an Solitek für deren Produktion weiter.⁶⁴

Zudem erfolgt eine Zusammenarbeit mit vielen Universitäten wie

- ISC Konstanz (Deutschland)
- Fraunhofer ISE (Deutschland)
- Fraunhofer CSP (Deutschland)
- DTU (Dänemark)



Abbildung 29: Projekte der Firma Solitek, Quelle PV-Technologies, <https://www.pvtechnologies.at/sondermodule/>, zuletzt geprüft am: 12.05.2020.

⁶³ Vgl. Ley Heribert 2020.

⁶⁴ Solitek 2020; Sunovation 2020.

Ertex Solartechnik GmbH

Ertex Solar ist ein österreichisches Unternehmen mit Hauptsitz in Amstetten. Auch die Fertigung der Photovoltaikmodule erfolgt hier. Die Produktion für kundenspezifische Lösungen in ästhetischer und technischer Hinsicht ist möglich, sodass hier auch ausgefallene Formen produziert werden können. Ertex Solar bietet kundenspezifische Lösungen an, die Photovoltaik mit den ästhetischen Aspekten vereinen, in unterschiedlichen Farben und Transparenzgraden. Folgende Abbildung zeigt eine 9 kWp Fassadenanlage, bestehend aus 44 Modulen mit einem Transparenzgrad von 65 %.⁶⁵

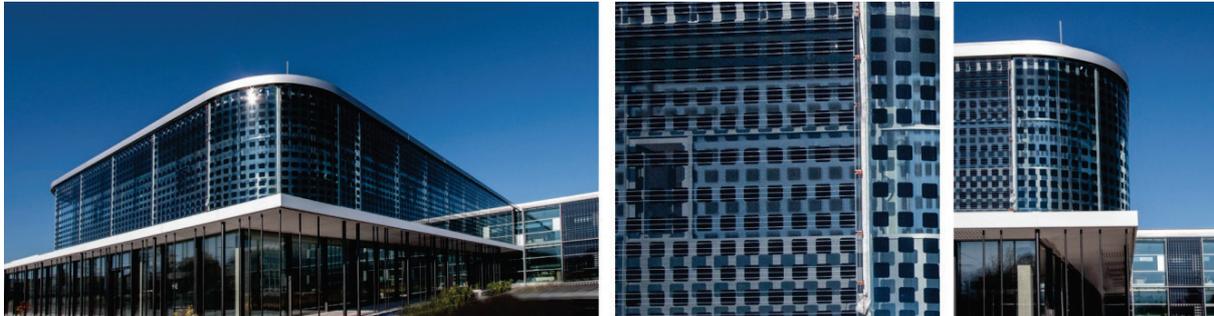


Abbildung 30: Bürogebäude von Fronius in Pettenbach, Quelle Ertex Solar, <https://www.ertex-solar.at/produkte/referenzen/>, zuletzt Geprüft am 12.05.2020.

ETFE- Membranfolien

Membranfolien werden für Dach- und Fassadenkonstruktionen vieler Gebäude rund um den Globus bereits seit vielen Jahren eingesetzt, z.B. in Anwendungen wie Sonnenschutzsegel oder Membrankissen. Dies öffnet ein weiteres einzigartiges gestalterisches Potenzial für Bauten, welche als permanente Überdachung auch für große Plätze geeignet ist. Durch das geringe Gewicht der Ethylen-Tetrafluorethylen (ETFE)-Folien und deren Lichtdurchlässigkeit, bieten sie Möglichkeiten der Überdachung und zudem eine natürliche Belichtung. Bedingt durch deren Größe besitzen viele dieser Flächen keine Verschattung und sind zur Sonne ausgerichtet, sodass sich diese Flächen für die PV-Nutzung hervorragend eignen würden. Durch die technische Entwicklung von Dünnschichtsolarzellen auf CIGS-Basis mit der Herstellung im R2R-Verfahren und der Einbettung in ETFE-Folien haben sich neue Einsatzmöglichkeiten ergeben, sodass jetzt eine Umsetzung und Energiegewinnung durch Membrandachkonstruktionen möglich erscheint.⁶⁶

Als Material für Membrankonstruktionen hat sich die Ethylen-Tetrafluorethylen (ETFE) aufgrund seiner mechanischen Eigenschaften und der guten Beständigkeit schon im Baubereich und als transparentes Deck- und Trägermaterial von Photovoltaikmodulen bewährt. Wesentliche Materialeigenschaften bei der Verwendung von Photovoltaik sind die Selbstreinigung der Oberfläche sowie die nahezu vollständige Recyclingfähigkeit und das Brandverhalten. Dennoch sind ETFE-Folien nicht vollkommen dampfdiffusionsdicht, sodass hier noch eine alternative Barriere Schicht oder Materialmix zugefügt werden muss.⁶⁷ Neben der Gesamtlichtdurchlässigkeit von über 90 % ist auch die schwere Entflammbarkeit ein wichtiger Punkt. ETFE-Folien, wie die ET-Folie von NOWOFLON, erfüllen die Anforderungen gemäß DIN 4102-B1 (Brandschutzklasse B1- schwer entflammbar)⁶⁸ sowie DIN EN 13501-1 (europäische Baustoffklassifizierung für die Beurteilung des Brandverhaltens von Baustoffen und Bauprodukten)⁶⁹ d.h. die Folie ist selbstlöschend und nicht brennend abtropfend. Zudem besitzt

⁶⁵ Vgl. ertex solartechnik GmbH 2019.

⁶⁶ Vgl. Bernhard Weller 2015.S.6-8

⁶⁷ Vgl. Bernhard Weller 2015.S.8-11

⁶⁸ DIN 4102-1:1998-05

⁶⁹ DIN EN 13501-1:2019-05

der Werkstoff eine gute Beständigkeit gegen allerlei Umwelteinflüsse. Wie die folgende Abbildung zeigt, ist auch die Verwendung von ETFE mit Seilnetz oder Profilkonstruktionen anwendbar.



Abbildung 31: Seilnetzkonstruktion mit ETFE-Folienkissen, Quelle, LeCuyer Annette, ETFE- Technologie und Entwurf, Basel, Boston, Berlin: Birkhäuser Verlag AG.2008.

Langzeittests zeigten, dass nach 10.000 Stunden konzentrierter künstlicher Bewitterung der ETFE-Folien die Materialfestigkeit um 10 % abgenommen hat, die wird aber wiederum durch die Zunahme der Festigkeit infolge der molekularen Neuordnung bei Windeinwirkung ausgeglichen. In den USA und Deutschland wurden auf Testgeländen Langzeittests von 30 Jahren durchgeführt, die Ergebnisse zeigen, dass sich das Material selbst nach so langer Zeit nicht in dessen Farbgebung (ausbleichen) verändert oder spröde wird.⁷⁰ Trotz der langen Verwendung zeigt sich in der Optik und dem Verschleiß keine Veränderung. Für den Einsatz als Membranwerkstoff und als Material für die flexible Photovoltaik bringen diese Folien geeignete mechanische Eigenschaften mit sich. Neben der hohen Reißfestigkeit sind die hohe Weiterreiß- und Durchstoßfestigkeit zu nennen. In der Praxis kommt es daher bei Schnitten oder Löchern kaum zu einer Rissausbreitung, wie es bei Geweben unter Last der Fall ist. Aufgrund der für ETFE typischen Oberflächeneigenschaft kommt es zu keiner Trübung der Folie durch Schmutz oder Staub und dies auch über langjährige Zeiträume. Meistens werden Verunreinigungen auf der Folienoberfläche selbstreinigend durch Wind und Regen wieder abgewaschen.⁷¹

⁷⁰ LeCuyer Annette 2008.

⁷¹ Schiemann 2009.

Zusammenfassung und Ausblick:

Organische Photovoltaikzellen erreichen aktuell in der Produktion in Pilotanlagen einen Wirkungsgrad von bis zu 7 %, im Labor hingegen bereits 13,2 %. Somit kann davon ausgegangen werden, dass sich der Wirkungsgrad mit laufender Forschung noch weiter nach oben steigern lässt. Die Firma Heliatek rechnet mit deren Markteintritt des Produktes in dem 2/3 Quartal 2020.⁷² OPV-Folien, wie die von Opvius und InfinityPV sind bereits im Handel. InfinityPV bietet Breiten von 30-110 mm als Endlosband, welches aber nur für kleinere Anwendungen geeignet ist. In Verbundanwendungen von 1,4 m² können Leistungen von 30 W/m² abgerufen werden. Der Wirkungsgrad liegt bei zirka 4 % und wird hier auch weiter steigen.⁷³

Die Auflistung in **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** zeigt einige derzeit am Markt verfügbare Produkte, welche nach Prüfverfahren DIN EN 61215 bei STG geprüft wurden. Da es noch viele weitere Hersteller mit geeigneten Produkten am Markt gibt, dient die Tabelle lediglich einer eingeschränkten Übersicht.

Neben den organischen Solarzellen bietet die CIGS Technologie höhere Wirkungsgrade. Diverse Anbieter, wie die Flisom AG aus der Schweiz forschen und entwickeln flexible Photovoltaikmodule auf CIGS Basis. Die Erweiterung der Produktionsanlage auf 100 MW ist am Entstehen, sodass zukünftig der R2R Prozess höhere Output Leistungen für den Markt erzielen kann. Auch hier wird noch an der Steigerung des Wirkungsgrades in den Pilotanlagen gearbeitet, um den bereits erzielten Laborwerten von 23,2 % möglichst nahe zu kommen.⁷⁴ Zudem wird durch die Sunplugged GmbH der Prozess für ein Produktionsvolumen von mindestens 5 MWp in Tirol realisiert. Das geplante Werk soll Pilotkunden mit maßgeschneiderten, flexiblen beliefern.

⁷² Heliatek 2019b.

⁷³ infinitypv 2019.

⁷⁴ Flisom AG 2019a.

Prüfverfahren nach DIN EN 61215 bei STG				
Modulhersteller	Renogy	Flisom AG	Soliban	Evalon
Modulbezeichnung	RNG-160DB-H	e-flex 3.1m	Solibanflex SX	Evalon Solar cSi
Verwendete Folie	ETFE-Folie	ETFE-Folie	ETFE-Folie	ETFE-Folie
Leistung Wp	160	120	216	2x230
Abmessungen LxB cm	150,4x67,3	310,5x41,1	136,4x99,6	347x155
Modulgewicht kg/m ²	K.A	3,3	3	3,3
Flächenbedarf m ² /kWp	6,3	10,6	6,3	9,95
Moduleffizienz %	21	K.A	20	K.A
PV-Basismaterial	Monokristallin	CIGS	Monokristallin	c Silizium
Leerlaufspannung VOC	23	48,6	30,7	34,59
Kurzschlussstrom ISC	8,88	3,9	9	8,72
Spannung Vmpp	19,1	36,2	25,1	27,91
Strom Impp	8,38	3,31	8,6	8,29
Temperaturkoeffizient Leistung Pmpp %/°C	-0,420	-0,350	-0,380	-0,387
Temperaturkoeffizient Leerlaufspannung VOC %/°C	-0,310	-0,300	-0,270	-0,295
Temperaturkoeffizient Kurzschlussstrom ISC %/°C	0,050	0,010	0,050	0,055
Produktgarantie	5 Jahre	5 Jahre	5 Jahre	K.A
Leistungsgarantie 80%	25 Jahre	20 Jahre	K.A	K.A

Prüfverfahren nach DIN EN 61215 bei STG				
Modulhersteller	Global Solar	Mia Sole	Uni Solar	Fuji Electric
Modulbezeichnung	Power Flex	FlexSeries/03/330	Power Bond e PVL	FWAVE
Verwendete Folie	ETFE-Folie	ETFE-Folie	ETFE-Folie	ETFE-Folie
Leistung Wp	315	330	144	92
Abmessungen LxB cm	541x494	590,5x348	541,2x37,3	339,9x46
Modulgewicht kg/m ²	3	2,4	7,4	1,7
Flächenbedarf m ² /kWp	8,48	6,22	14	16,9
Moduleffizienz %	14,50	18,3	K.A	K.A
PV-Basismaterial	CIGS	CIGS	Amorphes Silizium	Amorphes Silizium
Leerlaufspannung VOC	119,4	96,4	46,2	429
Kurzschlussstrom ISC	3,8	4,4	5,3	0,39
Spannung Vmpp	96,3	80	33	319
Strom Impp	3,3	4,14	4,4	0,288
Temperaturkoeffizient Leistung Pmpp %/°C	-0,36	-0,38	-0,38	-0,35
Temperaturkoeffizient Leerlaufspannung VOC %/°C	-0,31	-0,28	-0,31	-0,28
Temperaturkoeffizient Kurzschlussstrom ISC %/°C	0,01	0,008	0,1	0,08
Produktgarantie	5 Jahre	5 Jahre	5 Jahre	2 Jahre
Leistungsgarantie 80%	25 Jahre	25 Jahre	25 Jahre	20 Jahre

Tabelle 1: Auflistung der Modulhersteller mit deren Daten aus den Moduldatenblättern nach DIN EN 61215 (eigene Darstellung).

Gleichzeitig wird die Kleinproduktion als Blaupause für größere Anlagen dienen, um flexible Solarmodule im größeren Maßstab kostengünstig herstellen zu können. Die Solarfolie kann leicht angepasst werden, die entsprechend den spezifischen Anforderungen (Spannung, Größe, Anschlussdosen) angepasst werden. Die Produkte der Firma Sunplugged sollen bis 2022 zur Marktreife gebracht werden.⁷⁵

Zudem weist der Technologiebereich der CIGS eine starke Wachstumskurve auf, wie die folgende Abbildung zeigt.

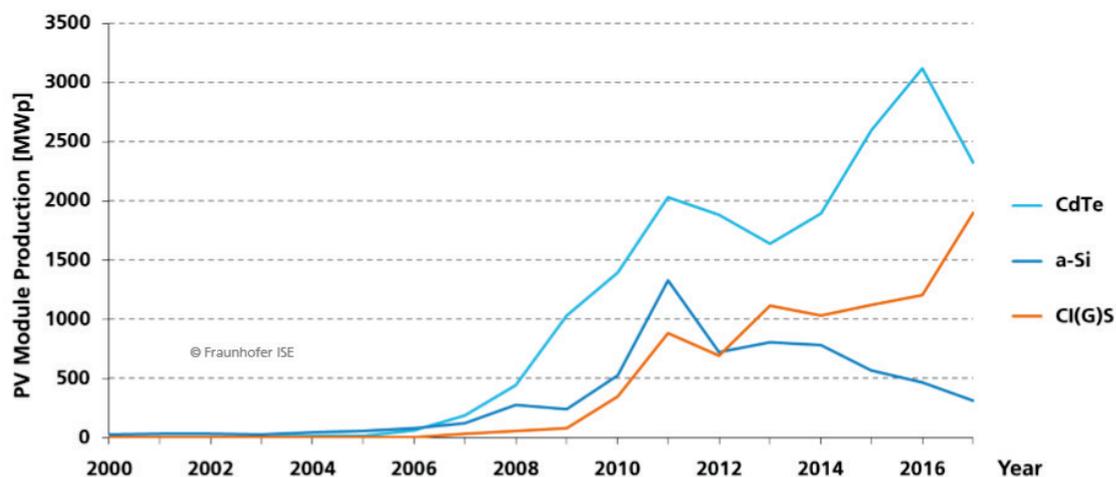


Abbildung 32: Dünnschichttechnologien und deren jährliche Produktionsmengen im MWp, Quelle Fraunhofer ISE.

Solarzellen erreichen höhere Wirkungsgrade als herkömmliche kristalline Zellen, haben die Forschungslabore aber noch nicht verlassen. Dennoch liegt der Vorteil der Technologie in deren erzielbaren Wirkungsgraden und der industriellen R2R Fertigung. Die aktuellen Wirkungsgrade im Fertigungsprozess von 12,6% liegen deutlich unter dem der Laborwerte, wo bereits 24 % erzielt wurden. In aktuellen Forschungsprojekten, wie „PersiST“ des Fraunhofer ISE sollen Perowskit Tandemsolarzellen mit einem Wirkungsgrad von 29 % entstehen. Ergebnisse werden Anfang 2020 erwartet. Somit wird in Zukunft der Wirkungsgrad im Endlosverfahren auch noch deutlich gesteigert werden können. Die Technologie ist für die Glas-Folien Produkte sehr zukunftssträftig und soll zudem auch bei flexiblen Photovoltaikmodulen zur Anwendung kommen.

Flexible Photovoltaikmodule können einen Markt erschließen, der in Zukunft viele Anwendungsfälle abdecken kann, welche durch herkömmliche starre PV-Module nicht bedient werden können. Durch die Herstellungsverfahren sind somit maßgeschneiderte Module möglich, welche sich insbesondere für die Integration in die Gebäudehülle, für Sonderformen oder Gebäudefreiformen eignen. Zudem können ein- und zweidimensional gebogene Konstruktionen zukünftig für die Energiegewinnung genutzt werden.

Im Hinblick auf die Gestaltung der künftigen Energiewende gibt es genügend Potenzial, welches mit dieser Technologie genutzt werden kann. Auch der Integration im Sonnenschutz für Flächenüberdachungen zur Energiegewinnung sowie auf gestalterischen Fassaden sind keine Grenzen gesetzt. Dennoch müssen erst die ökonomischen Herausforderungen der Technologie beseitigt werden, um diese auch im Massenmarkt zur Anwendung zu bringen. Künftige Herausforderungen

⁷⁵ Zimmermann Andreas Sunplugged GmbH 2019.

werden eine einheitliche Produktionsmethode der unterschiedlichen Hersteller sein, welche sich nach und nach erst etablieren wird und die nötigen Produktionsmengen für den Markt bereitstellen kann.

Die Forschung ist sehr aktiv, und hat die letzten Jahre schon beachtliche Ergebnisse geliefert, wie die deutliche Steigerung der Wirkungsgrade aller Dünnschichttechnologien für den druckbaren Prozess sowie die Senkung der Herstellungskosten. Dies alles wird in den kommenden Jahren Produkte auf den Markt bringen, die für deren Einsatzbereich und Anwendungsfall optimiert sind und die Vorteile jeder Technologie optimal ausnützen. Der Anwendungsbereich für die BIPV und deren Einsatz bei überdachten Flächen sind enorm, und werden sukzessive die nächsten Jahre durch Pilotprojekte umgesetzt werden. Dadurch sind Installationen von Systemen in Bereichen möglich, für die Standardprodukte nicht geeignet sind. Somit ist die Frage des Wirkungsgrades hinsichtlich deren Anwendung und deren direkten Vergleichbarkeit hinfällig, da die flexible Photovoltaik sich klar von der Glas-Folien unterscheidet. Auch die Verwendung von Glas-Glas Modulen für ausgewählte eindimensionale Formen kann hier zur Anwendung kommen. Hier ist die Produktstabilität, der Wirkungsgrad und die Langlebigkeit bereits erprobt und auf dem Markt verfügbar.

Somit kann gesagt werden, dass ein etwas weniger effizientes System der flexiblen PV akzeptiert werden kann, da die Anwendungsbereiche sich klar zu den herkömmlichen, nicht flexiblen Hocheffizienzzellen unterscheiden. Zudem eröffnen sind bedingt durch die flexiblere Formgebung neue gestalterische Ansätze, die mit herkömmlichen Glas-Folien Modulen nicht umgesetzt werden können.

Forschungsbedarf

- Langzeittests der flexiblen Photovoltaik in Bezug auf die Haltbarkeit und Ausfallshäufigkeit unter starker Belastung (mechanisch sowie thermisch)
- PV-Zellen und Membranintegration für Anwendungsfälle mit höherer mechanischer und Belastung im Vergleich zu konventionellen Aufbauten
- Anfertigungen von individuellen, frei zu gestalteten Photovoltaikerelementen, die auch hinsichtlich deren Biegung (zweidimensional), Form und Abmessungen frei wählbar sind.
- Langzeittests für das Verhalten der PV-Module in Bezug auf Teilverschattung, diffuses Licht, Schwachlichtverhalten, um maximale Energieerträge zu erzielen.
- Eine flexible Verschaltung der PV-Zellen in Abhängigkeit von der Konstruktionsform und deren Abmessungen, sodass hier bei einer möglichen Teilverschattung konstruktiv das Modul angepasst werden kann.
- Verbindungstechnologie am Trägermaterial, die Einbettung der Photovoltaik in das Material sowie die Langlebigkeit der Verbindungstechnologie in Betracht der möglichen mechanisch starken Belastungen
- Konstruktionsformen der Unterkonstruktion, wie Seilnetze mit Glas/Glas/PV (Dünnglas)
- Adaptive, wandelbare Systeme zur Ertragssteigerung

2. Methoden und Kriterien

2.1. Vorgehensweise und Methoden

2.1.1. Integrative, transdisziplinäre Grundlagenermittlung (AP2)

Das Arbeitspaket 2 diente als Projekteingangsphase und beinhaltete die Vorbereitung und Grundlagenaufbereitung für die nachfolgenden Arbeitspakete. Folgende Inhalte und Ziele wurden integrativ, inter- und transdisziplinär unter Einbeziehung von Stakeholdern und ExpertInnen bearbeitet:

- Abgleich der Rahmenbedingungen, Bezugssysteme, Terminologie und Methodik zur Schaffung einer einheitlichen, teamübergreifenden Arbeitsbasis
- Sichtung und Vorselektion von digitalen und analogen Datenbeständen zu den potentiellen Pilotprojektgebieten, insbesondere Planmaterial als Arbeitsgrundlage
- Recherche & Analyse der legislativen und institutionellen Erfordernisse und Rahmenbedingungen, insbesondere Einflussfaktoren und Implikationen aus der Sphäre von Raumplanung, Flächenwidmungsplanung, Baurecht, Brandschutz, etc.
- Definition der ausschlaggebenden räumlichen und funktionalen Parameter aus architektonischer und städtebaulicher Sicht anhand von Referenzprojekten sowie Analyse und Vorbewertung der Ist-Zustände der potentiellen Pilotprojektgebiete
- Benennung, Sichtung und methodische Vorselektion potentieller Pilotprojektgebiete als Use-Cases inklusive Vordefinition der Selektionskriterien für die Arbeitspakete 3 und 4
- Formulierung von technischen, stadträumlichen und gestalterischen Zielkriterien für die Auswahl von drei Pilotprojektgebieten anhand derer in AP3 und AP4 konkrete Lösungsvorschläge entwickelt werden.
- Recherche zur räumlichen und Tragwerksbildung zugverspannter Konstruktionen, Überblick über konstruktive und materialtechnische Möglichkeiten und Innovationen
- Modellbildung für den Ertrag ausgewählter urbaner Zonen durch Adaptierung bestehender Modelle
- Entwickeln und Erstellen der Anforderungs- und Potentialmatrix durch Synthese aus oa. Recherchen, ExpertInneninterviews und interdisziplinärer Feedbackschleifen

Im Zentrum der Grundlagenermittlung lag die integrative, teamübergreifende Formulierung der Selektionskriterien für die Pilotprojektgebiete und das Erarbeiten einer Selektionsmethode. Die Kriterien wurden dafür einzeln bzw. themenweise anhand der theoretischen Grundlagen erarbeitet und gesammelt sowie vor Ort mit den tatsächlichen Eigenschaften und Anforderungen der potentiellen Pilotprojektgebiete abgeglichen, um eine praxisnahe und umfassende, allgemeingültige und übertragbar anwendbare Kriterienformulierung zu erzielen. Bei besonders komplexen Fragestellungen wurden externe ExpertInnen hinzugezogen. Diese Einzelkriterien wurden in Gruppen geclustert und daraus ein Beurteilungsschema in Form einer Matrix erstellt. Mithilfe dieser Matrix wurden alle in Frage kommenden Untersuchungsgebiete einer Multikriterienanalyse unterzogen, wobei die einzelnen Fragekomplexe den Teammitgliedern jeweils zugeordnet wurden. Auf diese Weise wurden die für die weitere Bearbeitung geeignetsten Standorte für eine solaraktive Überdachung und urbane Aufwertung ermittelt.

2.1.2. Architektur & Stadtraum (AP3)

Anhand der Ergebnisse der integrativen transdisziplinären Grundlagenermittlung bzw. in Feedbackschleifen mit diesen wurden mithilfe von Testentwürfen für drei vorselektierten Standorte und Verkehrsflächentypen die allgemeinen aber auch standortspezifischen architektonischen und stadträumlicher Randbedingungen, Zielsetzungen und Potenziale für die weiteren Entscheidungsfindungsprozesse erarbeitet und priorisiert, sowie in einem Selektionsprozess optimierte, prototypische Lösungsvarianten generiert. Dies erfolgte auf Basis einer eingehenden stadträumlichen Analyse aller infrage kommenden Standorte samt Erstellung von Steckbriefen als erstem Schritt.

Für jeden der ausgewählten Standorte wurde ein digitales stadträumliches Umgebungsmodell generiert (statt analoger Architekturmodelle) für das von je einem Teammitglied mehrere Lösungsvarianten entworfen und dreidimensional eingefügt wurden. Diese Testentwürfe wurden in teaminternen Workshops gegenseitig evaluiert, verbessert und weiter selektiert, angelehnt an die Toyota-Problemlösungsstrategie.⁷⁶ Der gesamte Entwicklungs- und Selektionsprozess erfolgte in permanenter Rückkopplung mit dem Team Material, Konstruktion, Energie, insbesondere hinsichtlich Konstruktions- und Formtypen. Parallel wurden die Testentwürfe hinsichtlich der jeweiligen erwünschten bzw. durch Wechselwirkungen erzielbaren funktionalen und nutzungsrelevanten Synergiepotenziale hinterfragt und im AP 4 vom Partnerteam hinsichtlich Solarertrag und Energiepotential bearbeitet. Die Ergebnisse wurden grafisch und als dreidimensionale Computermodelle dargestellt, qualitativ beschrieben und als Arbeitsgrundlage für AP5 aufbereitet.

2.1.3. Technische Machbarkeit / konstruktive und energietechnische Potentiale (AP4)

Um eine Berechnungsgrundlage für die Simulationen zu schaffen, wurden zu Beginn Grundformen für die Membrandachkonstruktionen definiert. Dazu wurden fünf Grundtypen für Membrandachkonstruktionen ausgewählt, welche nach Auffassung der Autoren einerseits als repräsentativ betrachtet werden können und andererseits eine gewisse Formvielfalt widerspiegeln.

Die fünf Grundtypen, welche für die weiteren Berechnungen in Betracht gezogen wurden:

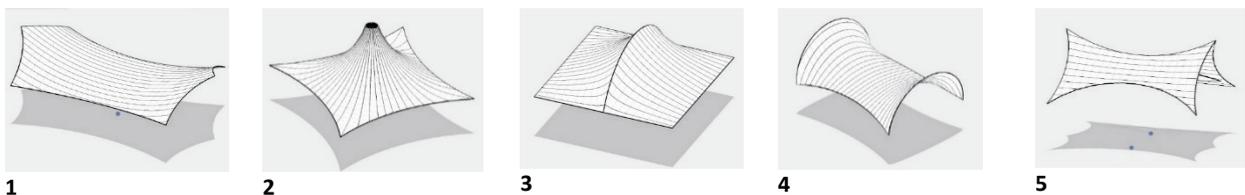


Abbildung 33: Fünf verwendete Grundtypen von Membrandachkonstruktionen lt. Typologie Formfinder GmbH.

- Grundtyp 1: Segelfläche | Sechspunktsegel
- Grundtyp 2: Punktgestützte Fläche | Hochpunktfläche
- Grundtyp 3 Bogengestützte Fläche | Gestützer Mittelbereich
- Grundtyp 4 Bogengestützte Fläche | Gestützer Randbereich
- Grundtyp 5 Kehl- und Gratform

⁷⁶ Benannt nach Saichi Toyota. Zugrunde liegt das Prinzip, dass Probleme viele Ursachen haben können und diese daher mehrfach und tiefgehend hinterfragt werden müssen (Root-Cause-Analysis / 5 Whys). Oft sind auch Außenstehende eher in der Lage zu objektiver Analyse. Vgl. https://en.wikipedia.org/wiki/Toyota_Kata; https://en.wikipedia.org/wiki/Five_whys, zuletzt geprüft 9.10.2020.

Die Grundtypen wurden der Formtypologie der Formfinder GmbH entlehnt. Die weitere Modellierung der Geometrien erfolgte mit Hilfe der Software Formfinder 4.5. Diese Software unterstützt die PlanerInnen bei der Formgebung, um statisch funktionierende Formen entwerfen zu können. Als Funktionseinheit wurde für alle Modelle eine projizierte Grundfläche von etwa 100 m² gewählt, um eine Vergleichbarkeit unter den Grundformen zu ermöglichen. Die Anzahl der gewählten Grundtypen sowie deren Variation (Himmelsrichtung, Krümmung, Membranfläche etc.) musste innerhalb des Sondierungsprojektes begrenzt werden. Weiterhin wurden keine detaillierten Untersuchungen zum Verhältnis der Kollektorfläche zur Membranfläche angestellt. Dieses Verhältnis wurde jedoch als freier Parameter in die Methodik integriert. Für die Berechnungen des Solarpotentials wurden die Grundformen in Rhinoceros 6.0 importiert.

Durch die Modellierung der Grundtypen 1 bis 5 konnte ein guter Überblick geschaffen werden, welche gestalterischen Möglichkeiten sich im Entwurf der Membrandachkonstruktion ermöglichen lassen. Durch die Entwurfsintegration der Formfindermodelle in ein Umgebungsmodell konnte aus städteplanerischer Sicht ein Erstentwurf erarbeitet werden. Bedingt durch die kurze Projektdauer im Sondierungsprojekt konnten nicht mehr Grundtypen entwickelt werden, welche ein größeres gestalterisches Potenzial zugelassen hätte.

2.1.4. Solarpotentiale (AP4)

Im Rahmen einer Projektentwicklung kann der potentielle Solarertrag, der in Verbindung mit einer Membrandachkonstruktion generiert werden kann, von Interesse sein. Aufgrund der komplexen Formgebung ist eine detaillierte Bewertung nur in Verbindung mit einer konkreten Entwurfsplanung und einer Simulationsberechnung möglich. Für eine Abschätzung des Solarertrags wurde daher eine vereinfachte Methode entwickelt, mit der bereits in der frühen Planungsphase ein Ertrag ermittelt werden kann. Durch die Verwendung der Grundtypen, kann somit für jeden Typen der potenzielle Energieertrag berechnet werden. Für die Berechnung wurden die Formfinder Grundtypen in die Simulationssoftware Rhinoceros 6.0 importiert. Die Simulationsberechnung wurde mit den Klimadaten für den Standort Leoben (Quelle: Meteonorm 6.0) durchgeführt. Die Grundtypen wurden mit einer Gitternetzfläche belegt, um hier die Strahlungsintensität besser berechnen zu können. Das Gitternetz für die Simulation wurde aus verfahrenstechnischen Gründen auf 110 Gitter begrenzt. Je nach Größe der Membranfläche variiert die durchschnittliche Gitterfläche. Das Ergebnis der Berechnungen waren Stundenwerte für die Strahlungsintensität je Gitterfläche. Diese wurden anschließend mit einem angenommenen Gesamtwirkungsgrad für ein unspezifiziertes Photovoltaiksystem bewertet. Die Sensitivität der Größe der Gitternetzfläche wurde im Rahmen des Sondierungsprojektes nicht untersucht.

Als neuartig kann dabei die Ertragsberechnung angesehen werden, welche für die Grundtypen zur Anwendung gekommen ist. Normale Ertragsberechnungsprogramme für Photovoltaik berechnen nur gerade Flächen mit deren Neigung und Ausrichtung. Diese können bei Membrandachflächenkonstruktionen nicht verwendet werden. Somit musste eine eigene Methodik entwickelt werden, welche es ermöglicht, die Solarpotentiale zu berechnen, und auch einen Rückschluss liefert, wo eine Belegung mit Photovoltaikerelementen in der Membrankonstruktion als sinnvoll erachtet werden kann. Die Herleitung der Methodik und deren Anwendung ist in Abschnitt 4 beschrieben.

2.1.5. Synthese & Reflexion: Transdisziplinäre, mehrphasige Multikriterienanalyse (AP5)

Dieses Arbeitspaket beinhaltete das Zusammentragen der Ergebnisse der vorangegangenen Arbeitspakete und Synthese sowie eine qualitative 2-Phasen Analyse zur Grenzlinienziehung zwischen theoretischem Potential und technisch & rechtlich machbarem Potential. Die Durchführung der mehrstufigen Multikriterienanalyse zur Optimierung der Machbarkeitswahrscheinlichkeit eines nachfolgenden Realisierungsprojektes erfolgte während der gesamten Projektdauer sowohl in Form eines permanenten laufenden teaminternen Erkenntnisaustauschs bzw. in Form interner Workshops aber auch durch ergänzende und vertiefende ExpertInnen- und Stakeholdergespräche zu fachbezogenen Spezialfragen.

Im Zentrum stand die gemeinschaftliche Analyse und Synthese der Sondierungsergebnisse der vorangegangenen Arbeitspakete. Zur Erweiterung und Vertiefung der Blickwinkel und des Meinungsspektrums wurde ein interdisziplinärer ExpertInnenworkshop veranstaltet, wo das Projekt vorgestellt und zur Diskussion gestellt wurde. Das reichhaltige Feedback und der Erkenntnisgewinn daraus wurden in einer finalen Reflexionsphase in die Ergebnisse eingearbeitet.

Diese bestehen aus einem Maßnahmen- und Kriterienkatalog samt Roadmap mit für ein nachfolgendes F&E Demoprojekt sowie dem Endbericht.

Die Erkenntnisse und entwickelten Methoden aus dem Projekt werden weiters Eingang in die forschungsgeleitete Lehre finden.

2.2. Auswahl- und Eignungskriterien für Pilotprojektgebiete

Zur Auswahl und Beurteilung der Pilotprojektgebiete wurden diese eingehend theoretisch und praktisch untersucht, also durch Studium von Plänen, Planungsinstrumenten und theoretischen Machbarkeitsaspekten aber auch durch Lokalaugenschein und ExpertInnenfeedback. Diese Auswahl- und Eignungskriterien wurden aus den Anforderungen der Aufgabenstellung heraus mit der Zielsetzung einer Realisierung entwickelt und anhand der praktischen Gegebenheiten vor Ort ergänzt und abgestimmt. Zur besseren Übersicht wurden sie thematisch und fachlich gegliedert und zu Gruppen zusammengefasst.

Die potentiellen Pilotprojektgebiete wurden in unterschiedliche Nutzungs- und Gebietstypen kategorisiert. Die Bandbreite der Nutzungen und städtebaulichen Zuordnungen wurde bewusst breit gehalten, um zu einer möglichst gestreuten Typenvielfalt zu kommen. Aus demselben Grund wurde zu Beginn des Projekts auch die Anzahl der Untersuchungsgebiete bewusst hoch angesetzt. Ziel war eine optimale Palette an Standorten zur Auswahl für ein F&E Realisierungsprojekt inklusive Reserven.

Pilotprojektgebiete und Beurteilungskriterien wurden zu einer Multikriterien-Matrix verwoben. Beurteilt wurde nach den lokal gültigen Richtlinien situationsbezogen, die Kategorien und Kriterien selbst sind jedoch verallgemeinerbar über den Use Case Leoben hinaus.

Die Beurteilung selbst erfolgt nach möglichst objektiven Kriterien der Realisierbarkeit. Diese beinhalten die Notwendigkeit des Abwiegens zwischen technischer und rechtlicher Machbarkeit und der städtebaulichen und architektonischen Sinnhaftigkeit bzw. Verträglichkeit. Hinsichtlich dieser Aspekte, die nicht ausschließlich nach den Kategorien richtig/falsch einordbar sind, wurde zum Teil intuitiv aus ExpertInnensicht gewichtet. Für die Sondierung genauso ausschlaggebend sind aber Forschungsrelevanz und Übertragbarkeit über das Projekt hinaus, weshalb auch Standorte aus diesen

Gesichtspunkten heraus zur weiteren Bearbeitung einbezogen wurden, auch wenn die unmittelbare Realisierungswahrscheinlichkeit gering einzuschätzen ist.

Die Beurteilungskriterien wurden wie folgt gegliedert:

Tabelle 2: Beurteilungskriterien

Allgemeine Realisierungsfaktoren

- Eigentumsverhältnisse
- Handlungsbedarf
- Realisierungsmöglichkeiten
- Sichtbarkeit/Öffentlichkeitswirksamkeit

Stadtraum / Stadtbild

- Räumlicher Kontext
- stadträumliches Synergiepotential
- Stadträumliche Auswirkung/ Aufwertungspotential

Nutzungspotential

- Möglichkeiten zur Nutzungsüberlagerung/ Mehrfachnutzung

Bau- und planungsrechtliche Aspekte

- FLÄWI/STEK
- Ortsbildschutz
- Baurecht/OIB Richtlinien allgemein
- Straßenrecht / Straßenbaurichtlinien

Brandschutz / Rettungswege

- Brandschutzbestimmungen
- Rettungswege
- Brandüberschläge / Abstände
- Material

Technische Machbarkeit

- Physische Hindernisse
- Untergrund
- Konstruktion
- Niederschläge

Solarpotentiale

- Einstrahlung
- Beschattung
- Lokale Verbraucher / Speicherung
- Geschäftsmodelle / Dienstleistungen

Die Untergliederung der potentiellen Pilotprojektgebiete erfolgt in unterschiedliche Gebietstypen bzw. Gebietskategorien.

Tabelle 3: Gebietstypen bzw. Gebietskategorien

Parkplätze weitgehend kontextfrei

- 1 Parkplatz Holding Prettschachstraße
- 2 Parkplatz Eishalle
- 3 Parkplatz Asia Spa
- 4 Parkplatz Parkstraße
- 5 Parkplatz Logistikzentrum Knapp
- 6 Parkplatz TTZ
- 7 Parkplatz Zentralfriedhof
- 8 Parkplatz Tivoli/Interspar Dreieck

Parkplätze im urbanen Gefüge

- 9 Parkplatz Stadtfeuerwache
- 10 Stadtwerke KFZ-Zentrale
- 11 Gösser Brauerei

Parkplätze für kleinteilige Überdachungen

- 12 Parkplätze Martin Luther Kai
- 12 Parkplätze Gösserstraße

urbane Plätze

- 13 Parkplatz Peter-Tunner-Park
- 14 Vorplatz Neues Rathaus
- 15 Parkplatz Roseggerstraße
- 16 Parkplatz Max-Tendler-Straße

Verkehrsflächen im Siedlungskontext

- 17 Wohnblock Kärntnerstraße 37-49
- 18 Wohnsiedlung Am Lerchenfeld
- 19 Parkplatz Fichtlplatz

Hauptverkehrsstraßen

- A Josef-Heißl-Straße
- B Kärntnerstraße
- C S6 Semmering Schnellstraße

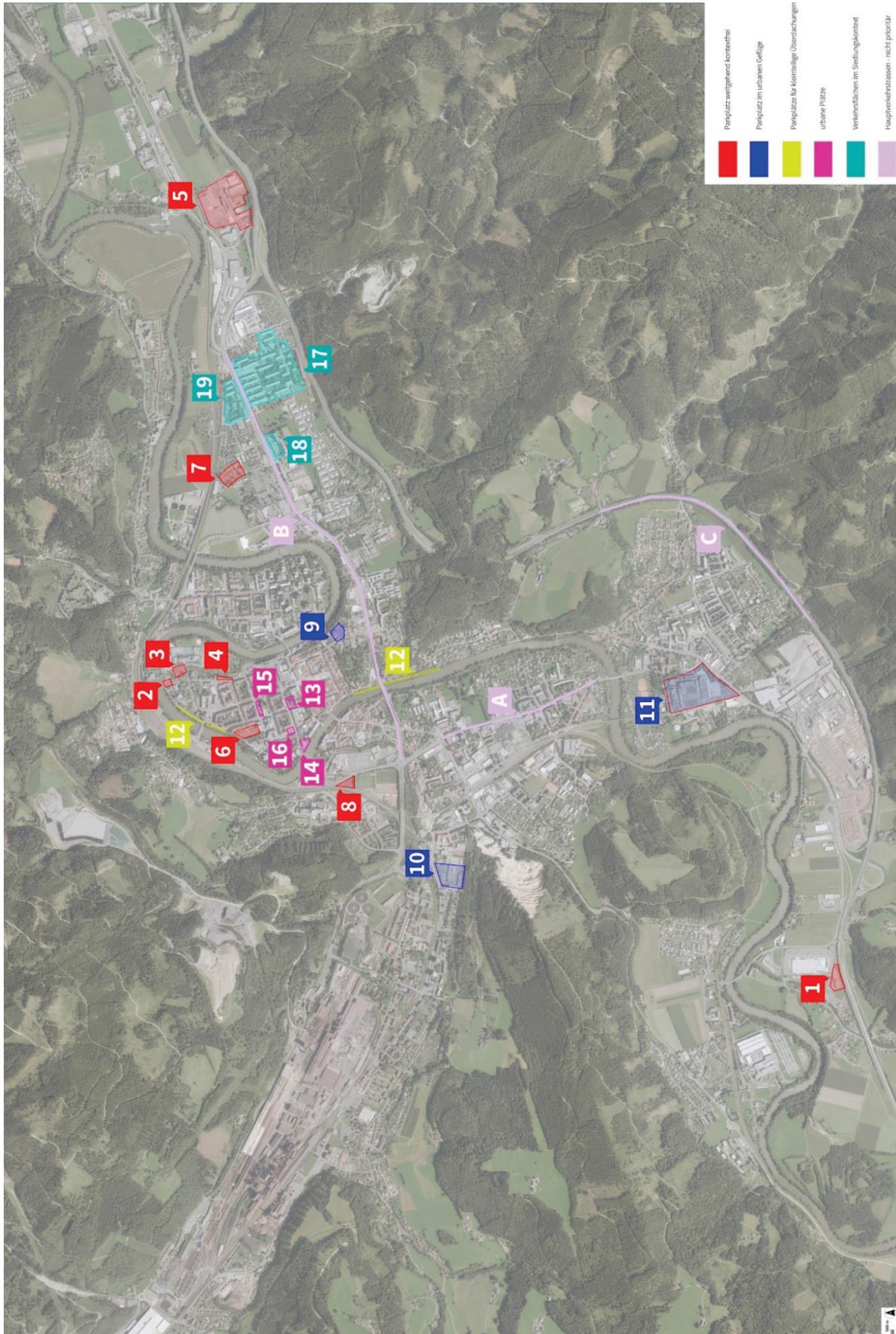


Abbildung 34: Übersichtsplan potentielle Pilotprojektgebiete, Datenbasis Orthofoto © GIS Steiermark, eigene Bearbeitung.

2.2.1. Allgemeine Realisierungsfaktoren

Hinsichtlich der Eigentumsverhältnisse wurden Besitzer festgestellt und gegebenenfalls der Kontakt hergestellt, um das grundsätzliche Interesse am Vorhaben abzufragen. Handlungsbedarf für das jeweilige Areal wurde einerseits aufgrund der Einschätzung des Projektkonsortiums sowie gegebenenfalls der Eigentümer beurteilt.

Die grundsätzliche Realisierbarkeit stellte eine Mindestanforderung für die Auswahl zum Pilotprojektgebiet dar und wurde auf die Verfügbarkeit bzw. Bebaubarkeit des jeweiligen Standortes bezogen. Dabei wurde differenziert in praktische bzw. theoretische Realisierungswahrscheinlichkeit. Auch wurde hinterfragt, welche Arten und Größenordnungen von Überdachungen am Standort überhaupt denkbar wären. Zumindest eine theoretische Wahrscheinlichkeit musste gegeben sein, um für das Sondierungsprojekt in Frage zu kommen. Eine Siedlung im Wohnungseigentum (Kärntnerstraße 37-49) schied zum Beispiel aus, weil eine Zustimmung aller EigentümerInnen unrealistisch erschien. Ebenso wurden die Fahrstrecken der öffentlichen Straßen nicht weiterbehandelt, weil eine klare Zielformulierung nicht formulierbar war bzw. die Themenstellung des Sondierungsprojekts gesprengt hätte. Beim Parkplatz TTZ der Montanuniversität war absehbar, dass er bereits in absehbarer Zeit wegen eines Neubauprojekts nicht mehr zur Verfügung stehen würde.

Die Aspekte Sichtbarkeit und Öffentlichkeitswirksamkeit wurden sowohl in dieser Kategorie mitbewertet, als auch als Einzelaspekt hervorgehoben. Standorte mit schlechter Sichtbarkeit können sehr wohl gut geeignet für Realisierungen sein. Für ein weiterführendes F&E Demoprojekt sind Sichtbarkeit und Öffentlichkeitswirksamkeit, der Meinung aller Projektbeteiligten nach, jedoch besonders wichtige Eigenschaften, um die gewünschte Breitenwirkung und Imagebildung zu erzielen.

2.2.2. Stadtraum und Stadtbild

In der Vorauswahl der Pilotprojektgebiete wurden die Standorte typologisch und hinsichtlich ihres räumlichen Kontexts, ihrer Erreichbarkeit und ihrer derzeitigen Nutzung eingeordnet – siehe auch die Einteilung in die unterschiedlichen Gebietstypen und -kategorien. Die möglichen Auswirkungen einer Überdachung auf Stadtraum und Stadtbild und Nutzung wurden nach den vorhandenen städtebaulichen und gestalterischen Rahmenvorgaben bzw. nach Augenschein einer ersten Grobeinschätzung unterzogen, ebenso das stadträumliche Synergiepotential. Stadträumliche Verbesserungs- und Aufwertungspotentiale in einem übergeordneten, der Allgemeinheit der StadtbenutzerInnen zugutekommenden Sinne wurden hier mit Bestnoten bewertet.

2.2.3. Nutzungspotential

Unter diesem Punkt wurden die möglichen Auswirkungen einer Überdachung auf die gegenwärtigen Nutzungen der Verkehrsflächen betrachtet und vorabgeschätzt, aber auch die Potentiale für Nutzungsüberlagerung. Mehrfache Nutzungsüberlagerung bzw. die Möglichkeit zu Alternativnutzungen mit echtem Mehrwert für die Stadtbevölkerung, z.B. sichtbare Potentiale zu Aneignungsflächen mit Aufenthaltsqualität außerhalb der Betriebszeiten der Stellplätze sind in dieser Kategorie am höchsten bewertet.

2.2.4. Bau- und planungsrechtliche Aspekte

In diesem Unterkapitel werden die speziell für die solaraktive Überdachung von Flächen im öffentlichen urbanen Raum relevanten rechtlichen Vorgaben und Einschränkungen dokumentiert und

kommentiert. Dabei liegt der inhaltliche Fokus auf der für die lokale Situation in Leoben maßgeblichen Rechtsmaterie und den dort gültigen Planungsinstrumenten.

Städtebauliche Planungsinstrumente

Flächenwidmungsplan und Stadtentwicklungskonzept

Die Raumordnungsgesetze der Bundesländer und übergeordnete gesetzliche Grundlagen verlangen, basierend auf den überörtlichen Raumordnungsprogrammen der Länder, von jeder Gemeinde Planungen und Strategien für die mittel- bis längerfristige räumliche Entwicklung als Planungsinstrumente. Bezogen auf die Steiermark bedingt das zumindest ein örtliches Entwicklungskonzept (in Städten Stadtentwicklungskonzept), bestehend aus planlicher Darstellung, Erläuterungs- und Verordnungstext zur Festlegung grundlegender Entwicklungsstrategien und -leitlinien und dem Flächenwidmungsplan, in dem Nutzungszonen, Beschränkungs- und Gefahrenzonen und die erlaubte Grundstücksausnutzung in Form von zulässigen Geschoßflächenzahlen parzellenscharf ausgewiesen sind. Die Kategorien dafür sind in den entsprechenden gesetzlichen Vorgaben der Länder geregelt. Der Flächenwidmungsplan ist Grundlage für baubehördliche Entscheidungen.

Als die für die Sondierung kritischsten Informationen aus dem Flächenwidmungsplan der Stadt Leoben stellten sich die Ortsbildschutzbereiche heraus.

Bebauungspläne

Bebauungspläne sind über den Weg der Verordnung von der Gemeinde erlassene, konkrete Bebauungsrichtlinien für Grundstücke, Baufelder und Quartiere in Plan- und Textform. Sie basieren auf dem Raumordnungsgesetz und dem Flächenwidmungsplan und sind im Baugenehmigungsverfahren rechtlich verbindlich. Für die potentiellen Pilotprojektgebiete in Leoben lagen im Projektzeitraum keine relevanten Bebauungspläne vor.

Straßenbaurecht / Straßenbaurichtlinien

Je nach Straßenerhalter sind unterschiedliche Rechtsgrundlagen relevant. Für die Sondierungsphase sind vorrangig Abstandsregeln maßgeblich.

Landesstraßenverwaltungsgesetz Stmk LStVG §24

Allgemein gelten folgende Abstandsregeln für Bebauung bzw. Baufluchtlinien:

von Gemeindestraßen mindestens 5m – 2m

von Landesstraßen mind. 15m – 5m

Schneeablagerung muss möglich sein.

Auf Durchzugsstraßen im Ortsgebiet sind bestehende Baufluchten einhalten, wobei innerorts unter Rücksicht auf das übliche Ortsbild auch ein direktes Anbauen an Straßen möglich ist.

Auf Antrag können Ausnahmen gewährt werden.

Zur Überbauung von Straßen wird keine Aussage getroffen, in diesem Fall wäre aber ohnedies die Straßenverwaltung selbst zuständig.

Bundesstraßengesetz BStG §21

Das BStG betrifft Autobahnen A und Schnellstraßen S. Die ehemaligen „Bundestraßen“ mit der Bezeichnung B unterliegen den Landesstraßenverwaltungen.

Folgende Mindestabstände zu Bebauung/Baufluchtlinien sind definiert:

Autobahnen mindestens 40m

Schnellstraßen, Rampen, Anschlussstellen, zu- und Abfahrten mindestens 25m

Auf Antrag sind Ausnahmen möglich, zB kann der Mindestabstand auf 15m reduziert werden, wenn den Grundeigentümern sonst Nachteile entstehen.

Baurecht / OIB allgemein

Definition Gebäude:

Laut Steiermärkischem Baugesetz §4 (29) sind Gebäude „überdeckte, allseits oder überwiegend umschlossene Bauwerke“, die Begriffsbestimmungen der OIB-Richtlinien ergänzen diese Definition noch zusätzlich um den Passus „..., die von Personen betreten werden können.“ Das Bauwerk ist laut OIB wie folgt definiert: „Eine Anlage, die mit dem Boden in Verbindung steht und zu deren fachgerechter Herstellung bautechnische Kenntnisse erforderlich sind.“ Rechtlich sind überdachte Stellplätze somit Bauwerke aber nicht Gebäude, daher gelten auch nicht die Abstandsregeln für Gebäude.

2.2.5. Brandschutz und Flächen für die Feuerwehr

Die Frage des Brandschutzes erweist sich für die Machbarkeit von Stellplatzüberdachungen im urbanen Kontext als bestimmender Faktor mit großem Auslegungsspektrum. Maßgeblich ist die OIB Richtlinie 2.2 (2015), sowie die landesrechtlichen Bestimmungen der Bundesländer, im konkreten Fall das Steiermärkische Baugesetz in der aktuellen Fassung. Aus den allgemeinen Brandschutzrichtlinien der OIB 2 sind einige Absätze der Erläuternden Bemerkungen nützlich sowie die allgemeinen Begriffsbestimmungen. Zusammenfassend kann zumindest für die Steiermark festgehalten werden, dass in Baugenehmigungsverfahren die verpflichtende Hinzuziehung von Sachverständigen zur Erstellung von Brandschutzkonzepten üblich ist. Ausgenommen sind Kleinprojekte bzw. Projekte geringer Komplexität und eindeutiger Sachlage. Auf diese Weise sind auch gut argumentierte Abweichungen von der Richtlinie genehmigungsfähig.

Begriffsdefinition und Abgrenzung

Überdachte Stellplätze sind keine Gebäude, denn Gebäude sind als überdeckte, allseits oder überwiegend umschlossene Bauwerke, die von Personen betreten werden könne, definiert. Dies legt auch das steiermärkische Baugesetz klar. Folglich sind die Gebäudeabstände lt. Stmk. BauG nicht relevant.

Überdachte Stellplätze sind an mindestens zwei Seiten offen und eingeschößig und dienen dem Abstellen von Kraftfahrzeugen, wobei Fahrräder auch untergebracht werden dürfen. Die OIB-Richtlinie trifft keine Aussage über das Ausmaß der Öffnungen, auch zwei offenen Schmalseiten mit sehr geringem Anteil an der Gesamtumfassungsfläche wären hier ausreichend. Als Umschließung gelten jedoch nicht nur geschlossene Wände, sondern z.B. auch Gitter oder Netze. Darin besteht auch die Abgrenzung zu Parkdecks und Garagen, die mehrgeschößig sein können und für deren Öffnungsanteil für Be- und Entlüftung ein Mindestmaß definiert ist.⁷⁷

Weniger eindeutig ist die Definition der überdachten Stellplätze bei direktem Anbau an Gebäude. In solchen Fällen sind auch die Brandschutzanforderungen des Gebäudes zu beachten und zu bewerten. Hierbei können rasch wesentlich schwerwiegendere Bestimmungen zum Tragen kommen. Bei der

⁷⁷ Vgl. OIB-Richtlinie 2.2 Erläuternde Bemerkungen.

Definition der Brandschutzanforderung von Flächen mit Mehrfachnutzungen sollte grundsätzlich vom Worst Case hinsichtlich Gefährdung ausgegangen werden.⁷⁸

Brandschutzbestimmungen

Die OIB Richtlinie 2.2 gliedert überdachte Stellplätze und die an sie gestellten Brandschutzanforderungen nach Nutzflächen und nach Geometrie. Für überdachte Stellplätze und Garagen mit jeweils höchstens 15 m² Nutzfläche (entspricht ca. 1 PKW-Stellplatz), die auf eigenem Grund oder von Verkehrsflächen für die Brandbekämpfung zugänglich sind, werden keine Anforderungen hinsichtlich des Brandschutzes gestellt.⁷⁹ Je nach Nutzfläche und Abstand zu Gebäuden werden unterschiedliche Materialanforderungen gestellt.

1. Nutzfläche bis 50m² (entspricht ca. 4 PKW-Stellplätzen)

Einzuhalten sind entweder 2 m Mindestabstand zur Nachbargrenze bzw. Bauplatzgrenze oder eine geschlossene Wand zur Grenze in Feuerwiderstandsklasse REI 30 bzw. EI 30 über die volle Länge bis zur Dacheindeckung. Ausnahmen: wenn eine künftige Bebauung ausgeschlossen ist (z.B. Verkehrsflächen im Sinne der raumordnungsrechtlichen Bestimmungen, öffentliche Parkanlagen oder Gewässer) oder wenn aufgrund der baulichen Umgebung eine Brandübertragung auf Bauwerke der Nachbargrundstücke nicht zu erwarten ist.⁸⁰

2. Nutzfläche über 50-250m²

Einzuhalten sind 2 m Mindestabstand zum Nachbargrundstück/Bauplatz sowie zu Gebäuden am selben Grundstück. Brandverhalten von Wänden, Stützen und Decken/Überdachungen aber auch Wand- und Deckenverkleidungen mindestens D.

Wenn der Mindestabstand zu Nachbarn unterschritten ist: Wand über volle Länge bis zur Dacheindeckung in Feuerwiderstandsklasse REI 60 bzw. EI 60, außer wenn aufgrund der baulichen Umgebung eine Brandübertragung auf Bauwerke der Nachbargrundstücke nicht zu erwarten ist.

Wenn der Mindestabstand zu Gebäuden am eigenen Grund unterschritten ist:

zu Gebäudeklasse GK 1+2: Brandverhalten D

zu GK 3-GK5: Überdachung Feuerwiderstandsklasse REI 30 oder Brandverhalten A2 und Wand in REI 30 bzw. EI 30 über die gesamte Länge bis zur Dacheindeckung oder gemeinsame Wand EI30 bis zur Stellplatzüberdachung (bei GK5 zusätzlich A2).⁸¹

3. Nutzfläche über 250m² bei nicht überdachten Fahrgassen

Bis zu einer maximalen Längenausdehnung von 60 m gelten die Regeln wie unter Punkt 2.

4. Nutzfläche über 250m² mit überdachter Fahrgasse

Brandverhalten aller Bauteile mindestens A2, ausgenommen Bodenbeläge Brandschutzklasse Bfl

Zu Nachbargrundstück bzw. Nachbarbauplatz mindestens 2 m Abstand oder Wand in Feuerwiderstandsklasse REI 90 bzw. EI 90 über die volle Länge bis zur Dacheindeckung, Überdachung Feuerwiderstandsklasse REI 90.

Zu Gebäuden auf demselben Grundstück ist ein Mindestabstand von 4 m einzuhalten oder eine Wand in Feuerwiderstandsklasse REI 90 bzw. EI 90 über die volle Länge bis zur Dacheindeckung (oder gemeinsame Wand REI 90 / EI 90) auszuführen, die Überdachung in REI 90. Anmerkung: Hier besteht

⁷⁸ Vgl. Landesstelle für Brandverhütung in Steiermark, Gespräch mit Dipl.-HTL-Ing. Hubert Kraxner, 3.7.2019.

⁷⁹ Vgl. OIB-Richtlinie 2.2 Vorbemerkung S.2

⁸⁰ Vgl. OIB-Richtlinie 2.2, §2.

⁸¹ Vgl. OIB Richtlinie 2.2, §3.

ein Widerspruch in der Richtlinie zu ähnlichen Bauregulativen, da die Abstände innerhalb des eigenen Grundstücks mit 4 m größer sein müssen als zu den Nachbarn mit 2 m. Üblicherweise ist der Schutz zu den Nachbarn höher bewertet.⁸²

Flächen für Feuerwehren auf Grundstücken laut TRVB 134F

Diese Richtlinien sind vor allem für die Grundstücke relevant, auf denen sich auch Gebäude befinden bzw. an Gebäude angrenzen und regeln Rettungs- und Bergewege.

Feuerwehruzufahrten: mindestens 3,5 m breit, Kurvenradien mindestens 11 m sowie Verbreiterung der Fahrbahn; mindestens 4 m lichte Durchfahrthöhe (Höhensprünge beachten)
Durchfahrtmöglichkeit ohne Wenden (mit öffentlichen Flächen an zwei Stellen verbunden) oder Wendemöglichkeit mindestens 15 x 15m und breit genug für zwei Feuerwehrfahrzeuge. In Ausnahmefällen sind Sackgassen mit maximal 80m Länge möglich.

Feuerwehruzugänge: mindestens 1,2 m breit, mindestens 2,1 m hoch, vereinzelt Höhensprünge bzw. Niveauunterschiede sind in beschränktem Ausmaß erlaubt.

Für tragbare Schiebeleitern mindestens 1,8 m breit – in Kurven entsprechende Schleppkurve beachten!

Feuerwehraufstellflächen: Zwischen Aufstellfläche und anzuleitender Außenwand dürfen keine Hindernisse angeordnet sein, Objekte, die nicht behindern folglich schon. So kann zum Beispiel über nicht allzu hohe Dächer hinweg angeleitet werden. Ob Stellplatzüberdachungen als hindernd anzusehen sind oder nicht, bzw. in welchen Abmessungen, liegt im Ermessensspielraum, hängt auch von der Ausstattung der lokalen Feuerwehr ab und ist im Einzelfall zu hinterfragen.⁸³

- Für tragbare Leitern (bis max. 14 m Bergehöhe = ca. 3-4 Geschoße, Gebäudeklasse 1-4): 4 x 8 m; bis 15 m Anleiterhöhe 3-12 m Abstand
- Für Feuerwehrfahrzeuge / Hubrettungsfahrzeuge: Breite mindestens 5,5 m + 1 m freier Geländestreifen an gebäudeabgewandter Seite, bzw. bei senkrechter Anordnung beidseitig 1 m; Länge mind. 11 m bzw. Gebäudefront + 3 m; bis 15 m Anleiterhöhe 3-12 m Abstand
bis 23 m: 3-10 m Abstand
über 23 m: 3-5 m Abstand

Die Anordnung von Aufstellflächen ist je nach Gebäude im Einzelfall festzulegen und hängt davon ab, wo konkret im individuellen Objekt Bergeöffnungen positioniert sind. Detaillierte Kenntnisse über das Gebäude sind also erforderlich, wenn man mit Überdachungen nahe herangehen möchte. Aus jeder Wohnung/jeder Betriebseinheit ist mindestens ein Rettungsweg (z.B. ein Fenster) erforderlich.

Fazit Brandschutz

In Bezug auf Brandschutz und Feuerwehrflächen besteht für überdachte Stellplätze ein besonderer Abstimmungsbedarf, handelt es sich doch um hochrelevante Sicherheitsaspekte, vor allem auch im verdichteten urbanen Raum. Abseits von kleinen, einfach gehaltenen Stellplatzüberdachungen unter strenger Einhaltung der Mindestabstände sind die Brandschutzbestimmungen der OIB bei den im Projekt adressierten Materialtechnologien und urbanen Kontexten in wörtlicher Auslegung jedoch

⁸² vgl. OIB Richtlinie 2.2, §4.

⁸³ Landesstelle für Brandverhütung in Steiermark, Gespräch mit Dipl.-HTL-Ing. Hubert Kraxner, 3.7.2019.

kaum einzuhalten, andererseits handelt es sich im öffentlichen urbanen Raum um einen Bautyp und Technologien, die aufgrund der Seltenheit bzw. Neuheit nicht spezifisch beschrieben sind. Daraus lässt sich jedoch keineswegs eine generelle Verunmöglichung solcher Projekte ableiten. Die Richtlinien räumen bei Vorliegen gut argumentierter Brandschutzkonzepte auch die Bewilligungsfähigkeit alternativer Lösungsvorschläge ein, delegieren die Verantwortung also an sachverständige ExpertInnen weiter. Für großflächige Überdachungen im urbanen Raum scheint die frühzeitige Einbeziehung entsprechender FachplanerInnen ins Planungsteam jedenfalls empfehlenswert.

2.2.6. Ortsbildschutz und weitere ortsspezifische Verordnungen

Jede österreichische Gemeinde kann über die allgemeingültige Rechtsmaterie hinaus lokalspezifische rechtsverbindliche Regeln festlegen, die gegebenenfalls auch Einfluss auf Bauprojekte und Nutzungen nehmen können. Die mögliche Vielfalt und Bandbreite ist nicht zu unterschätzen.

Ortsbildschutz Leoben

Die Schutzmaßnahmen des Ortsbildkonzepts 2.0 beziehen sich auf sieben klar definierte Zonen und sind sehr streng formuliert. Alle Maßnahmen, die das Ortsbild beeinflussen können, sind davon betroffen. Damit werden auch bewilligungsfreie Vorhaben laut Baugesetz bewilligungspflichtig.⁸⁴ Bauliche und sonstige Veränderungen sollen sich unter Rücksichtnahme auf „das äußere Erscheinungsbild, Baustruktur, Bausubstanz und Zweckbestimmung“ auch von Standpunkten außerhalb der Schutzzonen aus betrachtet „harmonisch in das Ortsbild einfügen.“⁸⁵ Für die Altstadtbereiche der mittelalterlichen Stadt, in denen sich mehrere potentielle Pilotprojektgebiete befinden, gelten besondere Gestaltungsrichtlinien. Auf Erhalt und Pflege der bestehenden Dachlandschaft wird hoher Wert gelegt,⁸⁶ zusätzlich verstärkt durch starke Einschränkungen für die Errichtung von Solarkollektoren, Sonnenschutzeinrichtungen und Markisen.⁸⁷ Eine grundsätzliche Ablehnung von solaraktiven Verkehrsflächenüberdachungen ist daraus nicht ableitbar. Das wurde auch in Gesprächen mit der Baudirektion bestätigt. Es besteht jedoch die Notwendigkeit zu einer besonderen gestalterischen Sensibilität.

Sonstige Verordnungen der Stadtgemeinde Leoben

Aus der Parkgebührenordnung der Stadt Leoben⁸⁸ geht hervor, dass analoge Einzelparkscheine nur aus Parkscheinautomaten bezogen werden können. Sie stellen potentielle lokale Verbraucher für die gewonnene Solarenergie dar. Darüber hinaus sind die derzeitigen Tarife für Parkplätze wesentlich niedriger als für Zonenplätze.

Alle weiteren Verordnungen erscheinen aus Sicht des Sondierungsprojekts nicht relevant, was jedoch keine Aussage über die Relevanz der Verordnungen anderer Gemeinden trifft.

2.2.7. Technische Machbarkeit

Die Kriterienmatrix, welche für die Bewertung aller als geeignet erscheinenden Straßen und Plätze erschaffen wurde, kommt als Auszug zur Beurteilung der technischen Machbarkeit zur Anwendung. Hierfür wurden folgende Kriterien ausgewählt:

⁸⁴ §§ 1-2, Ortsbildkonzept 2.0, 11.7.1996.

⁸⁵ Ebda, §3.

⁸⁶ Ebda, §6.

⁸⁷ Ebda, §§7+9.

⁸⁸ Parkgebührenverordnung, 15.12.2017.

- **Physische Hindernisse**
Unter physischen Hindernissen können beispielsweise Bäume und Pflanzen oder auch Gebäude und infrastrukturelle Bauwerke fallen, welche einer Überdachung im Wege stehen könnten.
- **Untergrund**
Es ist jeweils projektspezifisch zu klären, welche Gründungsarbeiten erforderlich sind, um die im Regelfall punktförmigen Lasten, die sich aus der Tragkonstruktion ergeben, in den Baugrund einleiten zu können. Die Einzelfundamente bedürfen im Regelfall einer tiefen Einbindung ins Erdreich, sodass sich eine Kollision mit der vorhandenen, im Erdreich verlegten Infrastruktur ergeben kann.
- **Tragwerk**
Die erforderlichen Unterkonstruktionen, Unterstützungs- und Befestigungspunkte des Membrandachs sind abhängig von der gewählten Dachform. Es ist projektspezifisch zu betrachten, ob beispielsweise entsprechende Flächen für die Befestigungspunkte der Seilverspannungen vorhanden sind oder ob an der angrenzenden Bebauung das Anbringen von Befestigungspunkten möglich ist.
- **Entwässerung**
Die Lage der Entwässerungspunkte der versiegelten Verkehrsfläche, welche überdacht werden soll, sind gegebenenfalls nicht identisch mit den Entwässerungspunkten, die sich aus der gewählten Dachform ergeben. Weiters kann sich deren Anzahl unterscheiden, was Einfluss auf die Abflussmengen nehmen kann. Beide Umstände können Anpassungsarbeiten am Entwässerungssystem erforderlich machen.
- **Versiegelung**
Sofern die Fläche des in Betracht gezogenen Projektgebiets bereits versiegelt ist, sind hinsichtlich der Entwässerung keine zusätzlichen, als die bereits zuvor benannten Überlegungen im Rahmen der Konzeption anzustellen. Im Falle einer nicht versiegelten, versickerungsfähigen Fläche sollten zusätzlich eventuelle Auswirkungen auf den Wegfall dieser Fläche auf die unmittelbare Umgebung betrachtet werden.
- **Zusätzlicher Strombezug**
Die überdachte Fläche wird im Regelfall eine zusätzliche Beleuchtung benötigen. Weiters kann mit der Überdachung auch ein erweitertes Nutzungskonzept verbunden sein. Beides kann zu einem erhöhten Leistungsbedarf führen, der, unabhängig von dem auf der Dachfläche produzierten Solarstrom, gedeckt werden müsste.
- **Überwärmung**
Eine Überdachung kann bei nicht ausreichender Belüftung zu einer Überwärmung der darunter liegenden Fläche führen, wenn diese nicht ausreichend belüftet werden kann. Dies könnte beispielsweise der Fall sein, wenn eine Überdachung zwischen bestehenden Gebäuden angeordnet wird oder bei sehr großen Membranflächen ohne Öffnungen.
- **Belüftung**
Die Frage nach einer ausreichenden Belüftung unterhalb der Dachflächen wird sich vorrangig in Verbindung mit der geplanten darunterliegenden Nutzung stellen.

- Schallschutz
Die Trommelwirkung von Regen, Hagel und Starkregen auf das Membrandach kann Lärmimmissionen hervorrufen, welche insbesondere von den Bewohnern von Wohngebäuden, die sich in unmittelbarer Nähe befinden, als störend empfunden werden kann. Zu dem Ausmaß einer sich eventuell ergebenden Beeinträchtigung wären zusätzliche Untersuchungen erforderlich.

Am Beispiel des Parkplatzes angrenzend an die Stadtfeuerwache Leoben soll die Anwendung der obigen Kriterien unabhängig von einem Entwurf für eine multifunktionale Überdachung veranschaulicht werden. Sie wurde für jedes potentielle Pilotprojektgebiet erstellt und in die Beurteilungsmatrix (Abschnitt 2.3) aufgenommen. In den Projektdatenblättern der ausgewählten Standorte im Kapitel 3.1 ist die Kriterienanalyse exemplarisch enthalten.

Parkplatz Stadtfeuerwache Leoben:

- Physische Hindernisse:
Baumbewuchs im östlichen Randbereich sowie Laternen zur Beleuchtung der Parkplatzfläche
- Untergrund:
Es sind zunächst keine Einschränkungen augenscheinlich.
- Entwässerung:
Es handelt sich um eine versiegelte Fläche mit entsprechenden Entwässerungspunkten.
- Versiegelung:
Die Fläche ist bereits versiegelt.
- Zusätzlicher Strombezug:
Aufgrund des Membrandachs kann der elektrische Leistungsbedarf für die Beleuchtung steigen. Zusätzlicher Leistungsbedarf kann sich durch die erweiterten Nutzungsmöglichkeiten ergeben.
- Überwärmung:
Die zu überdachende Fläche wird nicht durch Bauwerke begrenzt, sodass zunächst von einer Wärmeabfuhr durch Querlüftung ausgegangen werden kann.
- Belüftung:
Die zu überdachende Fläche wird nicht durch Bauwerke begrenzt, sodass zunächst von einer Abfuhr der Abgase durch Querlüftung ausgegangen werden kann. Zusätzliche Anforderungen aufgrund einer erweiterten Nutzung wären zu definieren.
- Schallschutz:
Es befindet sich in südlicher Richtung eine Wohnbebauung, die auch oberhalb des Membrandachs angeordnet ist. Der Einfluss auf das Umfeld kann zum derzeitigen Zeitpunkt nicht bewertet werden.

In der Gesamtschau der obigen Kriterien kann zunächst festgestellt werden, dass aus technischer Sicht kaum Einschränkungen zu erwarten sind.

2.2.8. Solarpotentiale

Für die Bewertung der Solarpotentiale an den jeweiligen Standorten wurden nachstehende Kriterien erarbeitet, die in die Matrix aufgenommen werden. Die Beurteilungskriterien berücksichtigen zunächst nicht die multifunktionale Überdachung. Der Einfluss deren Dachform wird bei der rechnerischen Abschätzung berücksichtigt.

- Verschattung (Fremdverschattung)
Eine Verschattung durch angrenzende Bebauung wirkt sich nachteilig auf den Solarertrag aus. Gleiches gilt für vorhandenen Baumbestand. Weiters sollten mögliche künftige Bauaktivitäten in unmittelbarer Umgebung in Betracht gezogen werden.
- Verschmutzung
Eine Verschmutzung der Solarkollektoren ist insbesondere an verkehrsreichen Straßen und in der Nähe von Bäumen zu erwarten. Durch eine hohe Neigung an den Rändern der Membranflächen kann beispielsweise der Selbstreinigungseffekt begünstigt werden.
- Lokale Stromverbraucher
Für einen hohen Eigen- oder Direktverbrauch des solarerzeugten Stroms sind die bereits vorhandenen als auch die durch eine Nutzungserweiterung geplanten Stromverbraucher zu bewerten.

Die quantitative Bewertung der Solarpotentiale kann nur in Verbindung mit Dachform, Größe und Orientierung der multifunktionalen Überdachung erfolgen. Hierzu wird auf Abschnitt 4.3 verwiesen.

Am Beispiel des Parkplatzes angrenzend an die Stadtfeuerwache Leoben soll auch hier die Anwendung der obigen Kriterien unabhängig von einem Entwurf für eine multifunktionale Überdachung veranschaulicht werden.

- Verschattung (Fremdbeschattung)
Es ist kein signifikanter Schattenwurf durch die umliegende Bebauung zu erwarten.
- Verschmutzung
Der Straßenverkehr auf der angrenzende Mühltaler Straße sowie die Bäume entlang der Mur können eine zusätzliche Verschmutzung bewirken, die zu einer Reduzierung des Solarertrags führen könnte.
- Lokale Stromverbraucher
Neben der aktuellen Nutzung als Parkplatz sind keine konkreten Nutzungserweiterungen bekannt. Der lokale Stromverbrauch beschränkt sich daher mutmaßlich auf Beleuchtung, Parkscheinautomaten u.ä.

In der Gesamtschau der obigen Kriterien kann zunächst festgestellt werden, dass die Solarpotentiale gegebenenfalls infolge der erhöhten Verschmutzungsneigung geringer ausfallen. Hier ist allerdings anzumerken, dass dies im Zusammenhang mit der Überdachung öffentlicher Flächen sehr häufig der Fall sein wird.

2.3. Bildung einer Beurteilungs- und Auswahlmatrix

The table is a large grid with approximately 23 columns representing project areas and many rows representing evaluation criteria. The columns are grouped into categories like 'Kategorie 1', 'Kategorie 2', etc. The rows are organized into sections, with some rows highlighted in red (indicating knock-out criteria), yellow, or blue. The cells contain text descriptions of criteria and their corresponding evaluations for each project area.

Abbildung 35: Beurteilungsmatrix

Als Verschneidung der zuvor beschriebenen Kriterien bzw. Kriteriengruppen und der in 6 Gruppen unterteilten 23 Projektgebiete wurde eine tabellarische Auswahlmatrix erstellt. Die Wertung der Kriterien erfolgt sowohl verbal beschreibend als auch nach Punkten von 0 (unbekannt, unbewertet, wenig geeignet), bis 5 (beste Beurteilung). Je Kriteriengruppe wurde aus den Einzelkriterien ein Durchschnittswert ermittelt. Einige Kriterien sind darüber hinaus als Knock-Out-Kriterien definiert, allen voran die Realisierbarkeit. Diese musste zumindest theoretisch gegeben sein. Der Ortsbildschutz stellte dort ein Knock-Out-Kriterium dar, wo durch eine Überdachung keinerlei stadträumlichen Verbesserungen zu erwarten sind. Baumfällungen im größeren Ausmaß wurden ebenso als nicht erfüllbare Grundbedingung gewertet. Solche Ausschließungsgründe wurden in der Tabelle rot markiert und führten unabhängig von der weiteren Bewertung zum Ausscheiden des Areals.

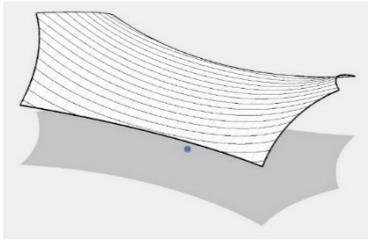
Dem Kriterium der Sichtbarkeit und Öffentlichkeitswirksamkeit (in der Tabelle türkis) wurde erhöhtes Gewicht verliehen, weil Sichtbarkeit und öffentliche Zugänglichkeit für ein nachfolgendes Demoprojekt zur Imagebildung und Sensibilisierung für die adressierte Thematik als besonders essentiell angesehen werden.

Die Kategorie Fahrbahnen/Hauptverkehrsstraßen wurde aus den zuvor schon angeführten Gründen vorzeitig ausgeschieden. Für alle anderen Gebietstypen wurde je ein „bestgeeignetes“ Pilotprojektgebiet zur weiteren Bearbeitung herausgefiltert. Reservemöglichkeiten mit Realisierungspotentialen sind in allen Kategorien vorhanden.

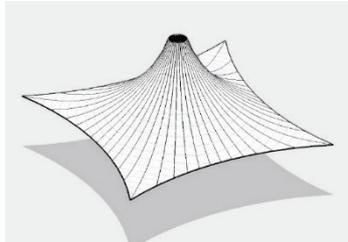
Die Anwendung der Auswahl- und Beurteilungsmatrix ergibt die Beschreibung der potentiellen Pilotprojektgebiete. Die vollständige, befüllte Beurteilungsmatrix als Kriterienkatalog in lesbarer Größe findet sich im Anhang 10.1.

2.4. Methode zur quantitativen Bewertung des Solarpotentials

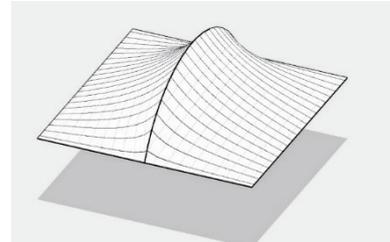
2.4.1. Allgemeine Vorgehensweise



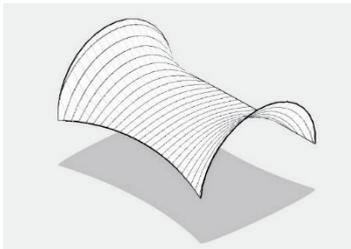
Typ 1: Segelfläche |
Sechspunktsegel



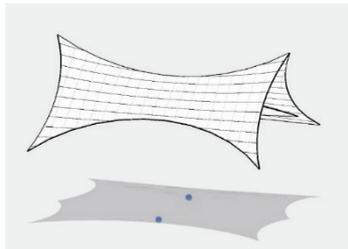
Typ 2: Punktgestützte Fläche |
Hochpunktfläche



Typ 3: Bogengestützte Fläche |
Gestützter Mittelbereich



Typ 4 Bogengestützte Fläche |
Gestützter Randbereich



Typ 5 Kehl- und Gratform

Abbildung 36: Verwendete Grundtypen von Membrandachkonstruktionen.

Im Rahmen einer Projektentwicklung kann der potentielle Solarertrag, der in Verbindung mit einer Membrandachkonstruktion generiert werden kann, von Interesse sein. Aufgrund der komplexen Formgebung ist eine detaillierte Bewertung nur in Verbindung mit einer konkreten Entwurfsplanung und einer Simulationsberechnung möglich. Für eine Abschätzung des Solarertrags wurde daher eine vereinfachte Methode entwickelt, mit der bereits in der frühen Planungsphase ein Ertrag ermittelt werden kann. Hierzu wurden innerhalb des Sondierungsprojektes zunächst Grundtypen von Membrandachkonstruktionen recherchiert. Daraus wurden jene Typen ausgewählt, die einerseits zunächst mutmaßliche Unterschiede hinsichtlich des Solarpotentials aufweisen und andererseits im Zusammenhang mit der Projektaufgabe als geeignet erscheinen. Die Auswahl reduzierte sich auf fünf Grundtypen, die in Abbildung 36 dargestellt sind.

Für die Herleitung des Verfahrens wurden aus verschiedenen Grundtypen, die für Membrandachkonstruktionen Anwendung finden, zwei Vergleichskategorien entwickelt. Dazu wurden Simulationsrechnungen durchgeführt, welche anhand von Berechnungsergebnissen für die jeweiligen Entwurfsvarianten validiert wurden.

2.4.2. Anwendungsgrenzen

Die Anzahl der gewählten Grundtypen sowie deren Variationen (Himmelsrichtung, Krümmung, Membranfläche etc.) musste innerhalb dieses Sondierungsprojektes begrenzt werden. Weiterhin wurden keine detaillierten Untersuchungen zum Verhältnis der Kollektorfläche zur Membranfläche angestellt. Dieses Verhältnis wurde jedoch als freier Parameter in die Methodik integriert, siehe Abschnitt 2.4.4.

Das Gitternetz für die Simulation wurde innerhalb des Sondierungsprojektes aus verfahrenstechnischen Gründen auf 110 Gitter begrenzt. Je nach Größe der Membranfläche variiert

daher die durchschnittliche Gitterfläche. Die Sensitivität der Größe der Gitternetzfläche konnte im Rahmen des Sondierungsprojektes nicht untersucht werden.

2.4.3. Methodik

Die fünf Grundtypen wurden mit Hilfe der Software Formfinder 4.5 modelliert. Diese Software unterstützt den Planer bei der Formgebung, um funktionierende Formen entwerfen zu können. Als Funktionseinheit wurde für alle Modelle eine projizierte Grundfläche von etwa 100 m² gewählt. Das Dachmodell wurde dann zur Simulation in die Software Rhinceros 6.0 importiert. Für die Simulationsberechnungen wurden die Klimadaten für den Standort Leoben (Herkunft: Meteonorm 6.0) verwendet. Das Ergebnis der Berechnungen waren Stundenwerte für die Strahlungsintensität je Gitterfläche. Diese wurden dann mit einem angenommenen Gesamtwirkungsgrad für ein nicht weiter spezifiziertes Photovoltaiksystem bewertet.

Die Membranfläche und die projizierte Grundfläche, nachfolgend nur noch Grundfläche genannt, sind in nachstehender Tabelle 4 zusammengestellt.

Das kleinste Verhältnis von Membran- zur Grundfläche weist Typ 5 (Kehl- und Gratform) mit 0,98 auf, das heißt, die Membranfläche ist kleiner als die Grundfläche. Den größten Verhältniswert weist der Typ 4 (Bogengestützte Fläche | Gestützer Randbereich) mit 1,27 auf, das heißt, dass die Membranfläche 27 % größer ist als die korrespondierende Grundfläche. Mit größer werdendem Verhältniswert wird auch die mögliche Kollektorfläche und damit der potentielle Solarertrag größer.

		Typ 1	Typ 2	Typ 3	Typ 4	Typ 5
Membranfläche	[m ²]	104	132	119	127	78
Grundfläche	[m ²]	98	105	100	100	80
Verhältnis Membran- zur Grundfläche	[-]	1,06	1,26	1,19	1,27	0,98

Tabelle 4: Zusammenstellung der Membranflächen, der Grundflächen und deren Verhältnis zueinander für die gewählten Grundtypen.

2.4.4. Solarertrag des PV-Systems

Der Solarertrag wurde auf Basis der berechneten Strahlungsintensitäten, einem Gesamtwirkungsgrad des PV-Systems von 10 % und einem Verhältnis der Kollektorfläche zur Membranfläche von 0,70 abgeleitet. Damit sollen zugleich geometrische und konstruktive Zwänge berücksichtigt werden, die sich zum Beispiel aus Modulgröße und Krümmungsradius des Membrandachs ergeben können.

Jahres-Dauerlinie

Die Auswertung der Daten erfolgt mit Hilfe einer geordneten Dauerlinie für ein Jahr. Die Angabe des Solarertrags erfolgt in kWh pro Stunde und Quadratmeter Membranfläche bzw. Quadratmeter Grundfläche.

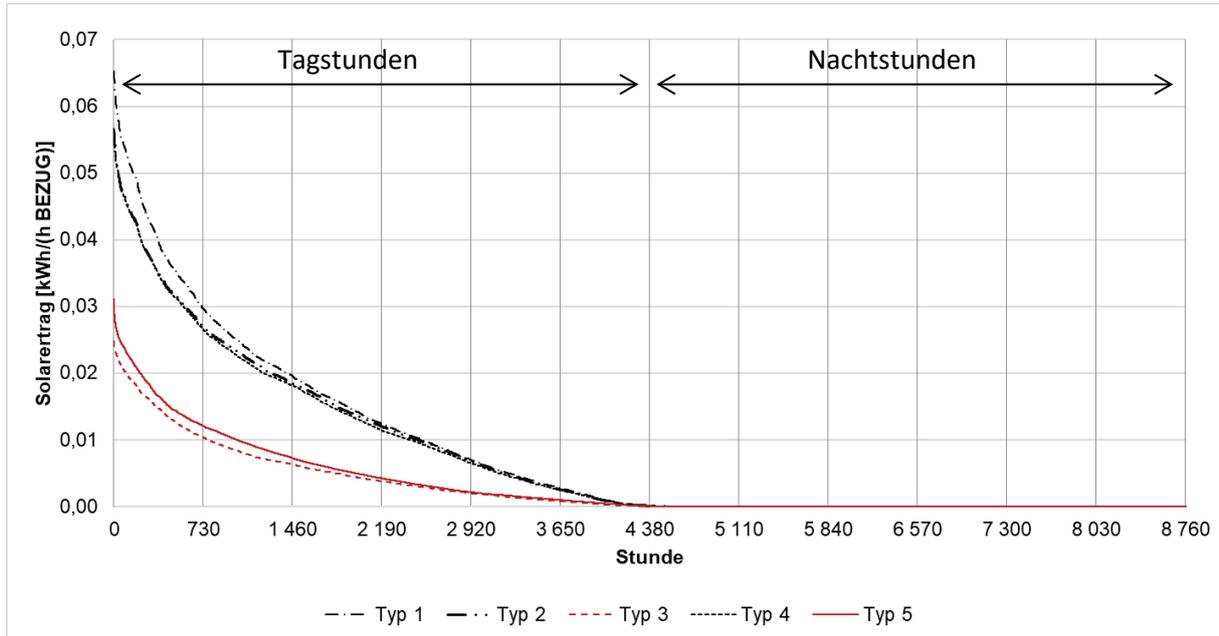


Abbildung 37: Geordnete Jahres-Dauerlinie des Solarertrags in $[kWh/(hm^2_{\text{Membranfläche}})]$ für die betrachteten Grundtypen.

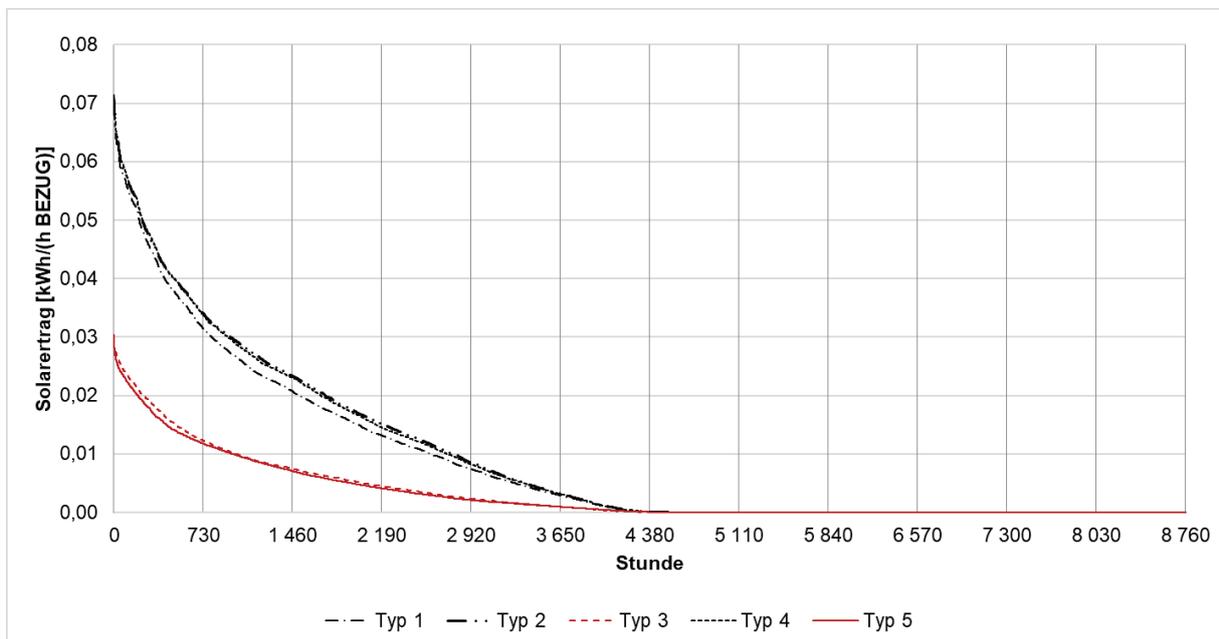


Abbildung 38: Geordnete Jahres-Dauerlinie des Solarertrags in $[kWh/(hm^2_{\text{Grundfläche}})]$ für die betrachteten Grundtypen.

Beide Auswertungen bringen das gleiche Ergebnis: Die Typen 1, 2 und 4 sowie die Typen 3 und 5 zeigen jeweils einen annähernd gleichen Verlauf der Dauerlinien. Daraus wird abgeleitet, dass eine Zusammenfassung der Grundtypen möglich ist.

Monats- und Jahreserträge

Aufgrund des angewandten Stundenverfahrens können die Solarerträge auch zu Monatswerten kumuliert werden, sodass daraus auch Monatswerte für die jeweilige Gruppe von Grundtypen bereitgestellt werden können.

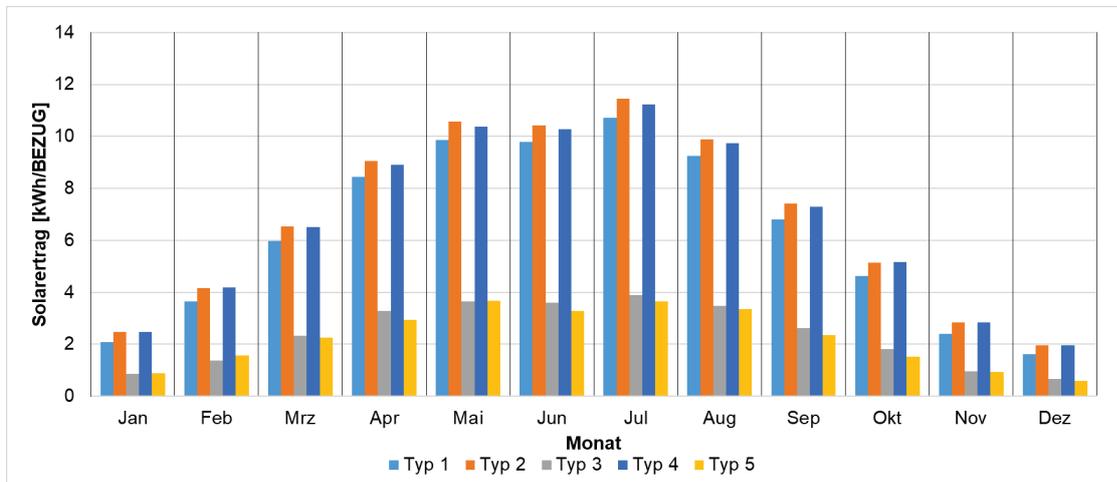


Abbildung 39: Monatswerte des Solarertrags in [kWh/(m²_{Grundfläche})] für alle Grundtypen.

In der nachfolgenden Tabelle sind die Jahreserträge für die Grundtypen sowohl bezogen auf die Membranfläche als auch auf die Grundfläche dargestellt. Weiterhin ist, bezogen auf eine Gitteranzahl des Simulationsmodells von 110, die mittlere Gitterfläche angegeben.

		Typ 1	Typ 2	Typ 3	Typ 4	Typ 5
Jahresertrag bezogen auf Membranfläche	[kWh/(m ² a)]	70,8	65,1	24,0	63,7	27,7
Jahresertrag bezogen auf Grundfläche	[kWh/(m ² a)]	75,2	81,9	28,5	81,0	27,0
mittlere Gittergröße	[m ²]	0,95	1,2	1,1	1,2	0,71

Tabelle 5: Jahreserträge für die Grundtypen bezogen auf die Membran- bzw. Grundfläche sowie die mittlere Gitterfläche.

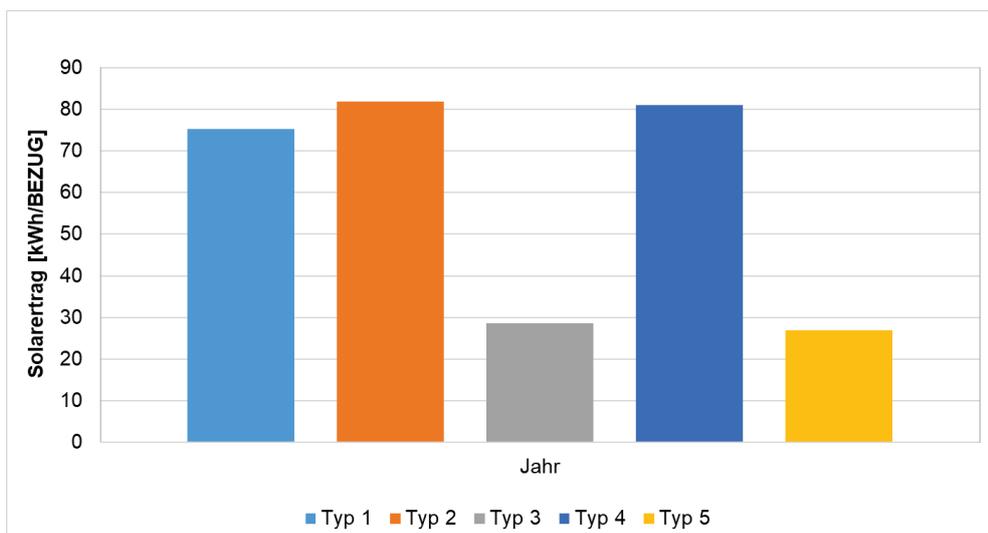


Abbildung 40: Jahreswerte des Solarertrags in [kWh/(m²_{Grundfläche})] für alle Grundtypen.

Ableitung einer vereinfachten Bewertungsmethodik

Aufgrund der obigen Erkenntnisse können für die Abschätzung der Monats- und Jahreswerte für den Solarertrag die Grundtypen in zwei Kategorien eingestuft werden:

- Normal
- Gering

Für die Kategorie *Normal* wird der Mittelwert der Jahreserträge der Typen 1, 2 und 4 und für die Kategorie *Gering* der Typen 3 und 5 genommen.

Nachdem im Rahmen der Entwurfsplanung die projizierte Grundfläche bekannt sein dürfte, hingegen die Ermittlung der Membranfläche aufwendig ist, werden die spezifischen Jahreserträge auf die Grundfläche bezogen.

Kategorie		Solarertrag W_{prod} bezogen auf 1 m ² Grundfläche												
		Jan	Feb	Mrz	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr
Normal	[kWh/(m ² a)]	2,34	4,00	6,34	8,81	10,3	10,2	11,1	9,63	7,17	4,99	2,70	1,85	79,3
Gering	[kWh/(m ² a)]	0,87	1,47	2,30	3,12	3,66	3,46	3,78	3,43	2,50	1,69	0,95	0,62	27,8

Tabelle 6: Monats- und Jahreserträge für die Vergleichskategorien Normal und Gering bezogen auf 1 m² Grundfläche.

Sofern Randbedingungen vorliegen, die eine abweichende Bewertung erforderlich machen, können zunächst folgende Parameter korrigiert bzw. zusätzlich berücksichtigt werden:

- Abweichender Gesamtwirkungsgrad des PV-Systems
- Abweichendes Verhältnis der Kollektor- zur Membranfläche
- Zusätzliche Verschattung

Für abweichende Klimadaten kann aufgrund der verwendeten Methodik eine entsprechende Korrektur vorgenommen werden. Die dafür erforderliche Prozedur konnte im Rahmen des Sondierungsprojektes jedoch nicht erarbeitet werden.

Die Korrektur des Monats- bzw. Jahresertrags W_{prod} kann wie nachstehend beschrieben erfolgen:

$$W_{prod,corr} = f_s \cdot \frac{f_{AC}}{0,7} \cdot \frac{f_{eta}}{0,10} \cdot W_{prod} \quad [\text{kWh}/(\text{m}^2\text{a})]$$

Dabei ist

f_s zusätzlicher Verschattungseinfluss [-]

f_{AC} vorhandenes Verhältnis der Kollektor- zur Membranfläche [-]

f_{eta} vorhandener Gesamtwirkungsgrad des PV-Systems [-]

Validierung des Verfahrens

Im Rahmen des Sondierungsprojektes wurden für drei Projektgebiete insgesamt acht Entwürfe erarbeitet. Für diese wurden unter den gleichen Randbedingungen wie für die Grundtypen die Solarerträge berechnet. Die Berechnungsergebnisse werden dann mit den Jahresdauerlinien und den Monatserträgen der Kategorien Normal und Gering verglichen. Zusätzlich findet ein Vergleich der geometrischen Kenngrößen statt.

Die Validierungsergebnisse sind in Abschnitt 4.3 dokumentiert.

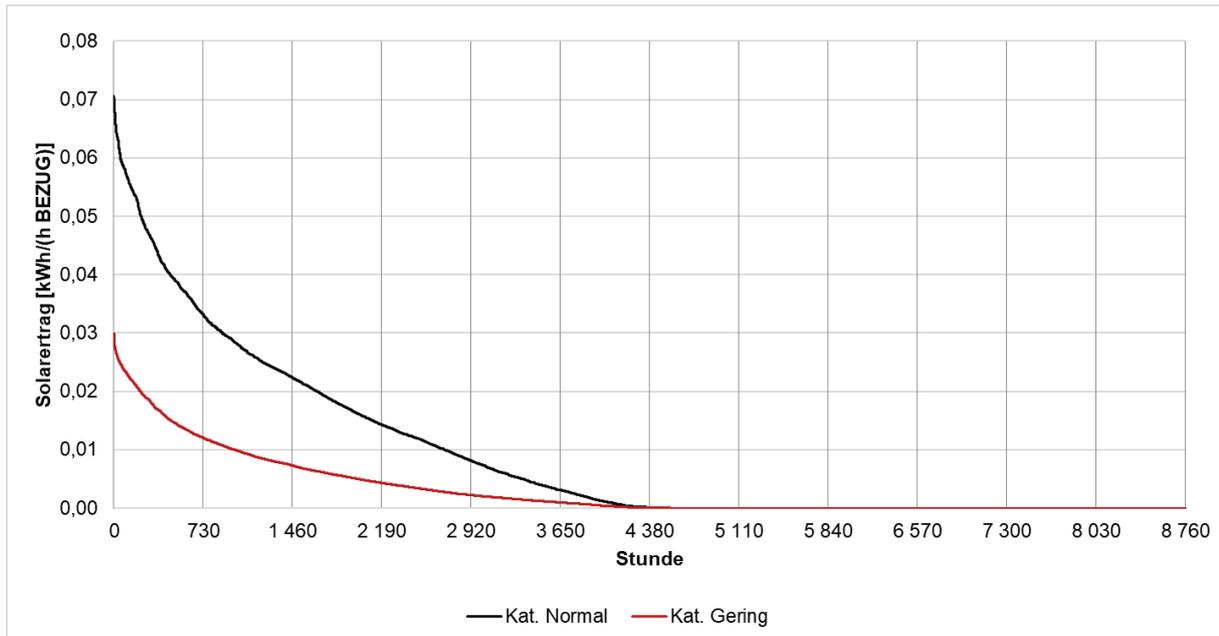


Abbildung 41: Geordnete Jahres-Dauerlinie des Solarertrags in $[\text{kWh}/(\text{h}^2_{\text{Grundfläche}})]$ für die Kategorien Normal und Gering.

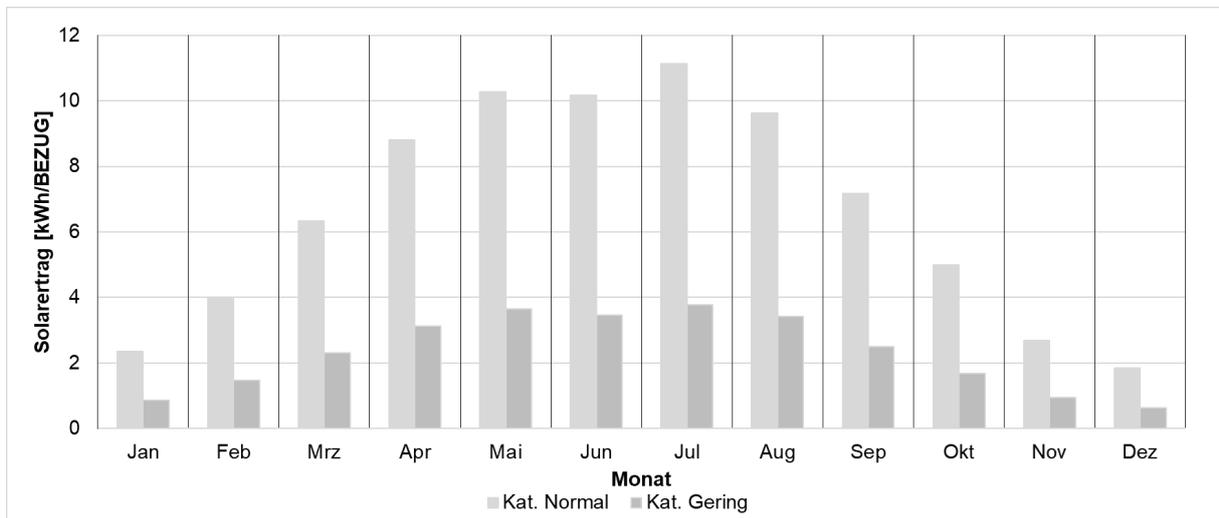


Abbildung 42: Monatswerte des Solarertrags in $[\text{kWh}/\text{m}^2_{\text{Grundfläche}}]$ für die Kategorien Normal und Gering.

3. Architektur & Stadtraum

3.1. Pilotprojektgebiete Auswahl

Die Gebietskategorie „Hauptverkehrsstraßen“ wurde frühzeitig ausgeschieden und nicht weiter behandelt. In allen anderen Kategorien wurde mindestens ein Pilotprojekt zur vertieften Analyse und Weiterbearbeitung ausgewählt.

3.1.1. Parkplätze weitgehend kontextfrei

Diese Kategorie behandelt Parkplätze in isolierter Lage bzw. ohne signifikante städtebauliche Einbindung, mehrere davon in Stadtrandlage bzw. als Teil von Firmengeländen. Mit Ausnahme des Parkplatzes beim Zentralfriedhof, der aufgrund des Baumbewuchses als nicht geeignet beurteilt wurde, und dem Parkplatz TTZ, der demnächst einem Universitätsbau weichen wird, sind alle anderen Plätze grundsätzlich durchaus für eine solaraktive Überdachung geeignet, vielfach sogar sehr gut. Jedoch sind in den meisten Fällen die Multiplikatoren Sichtbarkeit/ Öffentlichkeitswirksamkeit und Aneignbarkeit für Mehrfachnutzungen unterdurchschnittlich ausgeprägt.

Zur weiteren Bearbeitung ausgewählt wurden der Parkplatz bei der Eissporthalle und der Parkplatz an der Parkstraße. Ersterer hauptsächlich wegen der geringen Nutzungsfrequenz bzw. Auslastung und der unkomplizierten Nachbarschaft, beides Umstände, die ihn hochgradig geeignet erscheinen lassen für multiple Nutzungsüberlagerung mit urbanen Funktionen. Der Parkplatz an der Parkstraße befindet sich am Rand urbaner Blockbebauung und erscheint daher stadträumlich und gestalterisch interessant, weniger jedoch hinsichtlich Aneignbarkeit.

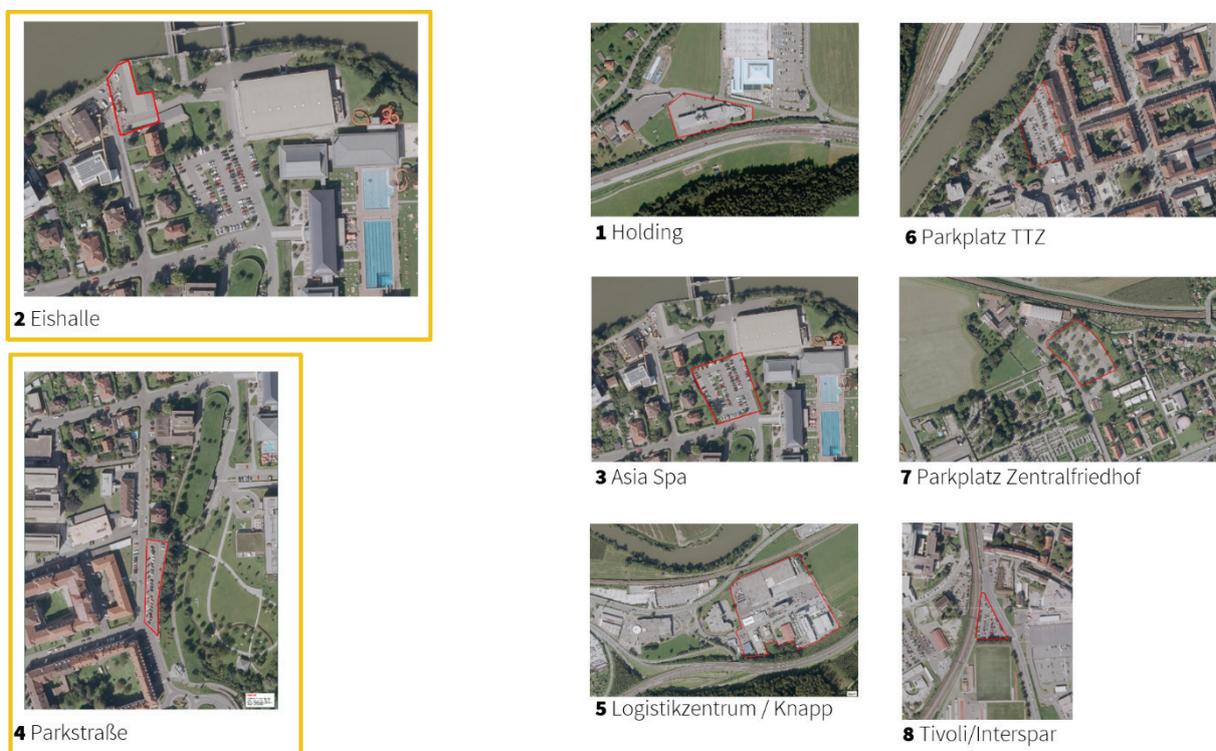


Abbildung 43: Kategorie "Parkplatz kontextfrei" - die gelb umrahmten Standorte 2 und 4 wurden zur vertieften Untersuchung ausgewählt. Hintergrundbild Orthofoto © GIS Steiermark.

2 Parkplatz Eishalle

KURZSTECKBRIEF

Allgemein

- Eigentümer: Gemeinde betrieblich
- Gesamtfläche: ca. 900m² Stellplatzfläche
- Handlungsbedarf: bessere Auslastung herstellen

Sichtbarkeit/Öffentlichkeitswirksamkeit

mittel:

- gut erreichbare Lage
- bei populärer Mehrfachnutzung stadmarketingrelevant

Stadtraum Stadtbild

- mindergenutzter Parkplatz der öffentlichen Freizeitbetriebe mit Potential für Zusatznutzungen

Bau- und planungsrechtliche Aspekte

- keine erwartbaren Hindernisse

Brandschutz und Rettungswege

- Brandschutzkonzept erforderlich

Technische Machbarkeit

- Keine Einschränkungen zu erwarten

Solarpotentiale

- Keine signifikanten Einschränkungen



Abbildung 44: Spiderdiagramm der Parameter des Steckbriefs

Nutzungspotentiale

- Gebietsaufwertung durch Mehrfachnutzung, zB. überdachte Freizeitfläche/Markt außerhalb der Veranstaltungszeiten in der Eishalle
- Witterungsschutz,
- Integration von Beleuchtung, E-Tankstelle, Ticketautomaten, Serviceinseln, etc.



Abbildung 45: Parkplatz Eissporthalle, Foto Ida Pirstinger.

Einzelkriterien technische Machbarkeit

- Physische Hindernisse:
Straßenlaternen, die aber als Ersatz in die Konstruktion integriert werden können.
- Untergrund:
Es sind keine Einschränkungen ersichtlich.
- Entwässerung:
Es sind keine Einschränkungen ersichtlich.
- Versiegelung:
Die Fläche ist bereits versiegelt.
- Strombezug aus dem öffentlichen Netz:
Aufgrund der Überdachung kann der elektrische Leistungsbedarf für die Beleuchtung steigen. Zusätzlicher Leistungsbedarf kann sich durch die erweiterten Nutzungsmöglichkeiten ergeben.
- Schallschutz:
Die Ausbreitung universitärer Nutzungen in der Nachbarschaft verdrängt den lärmempfindlicheren Wohnbau zunehmend



Abbildung 46: Orthofoto Parkplatz Eishalle, © GIS Steiermark.

Einzelkriterien Solarpotentiale

Verschattung /Fremdbeschattung:

Es ist kein signifikanter Schattenwurf durch die umliegende Bebauung zu erwarten.

- Verschmutzung (bewertet wird, ob die Umgebung mutmaßlich eine erhöhte Verschmutzung der Kollektoren verursachen kann):
Es befindet sich keine Hauptverkehrsstraße und keine hohen Bäume in unmittelbarer Nähe, sodass von keiner überdurchschnittlichen Verschmutzung auszugehen ist.

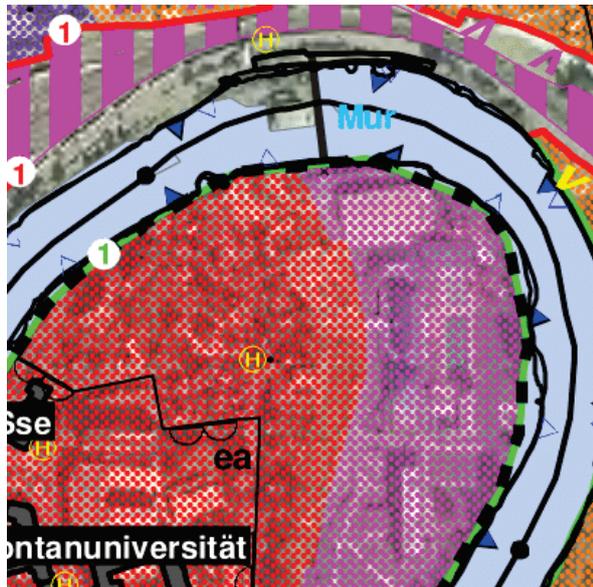


Abbildung 47: Eishalle, Stadtentwicklungskonzept STEK, ©GIS Steiermark.

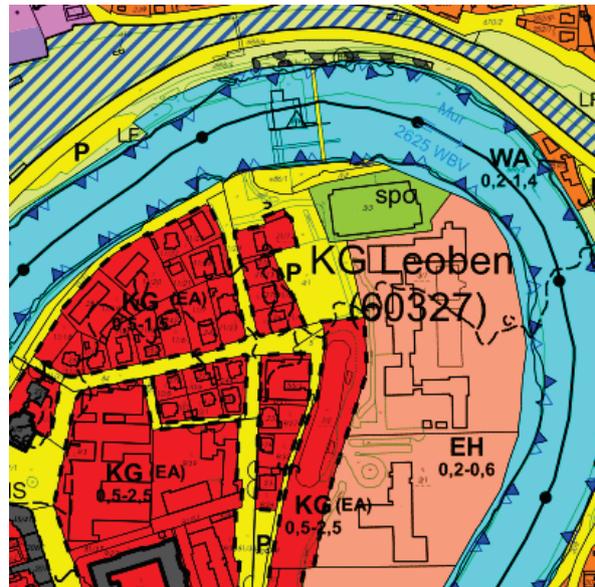


Abbildung 48: Eishalle, Ausschnitt Flächenwidmungsplan, ©GIS Steiermark.

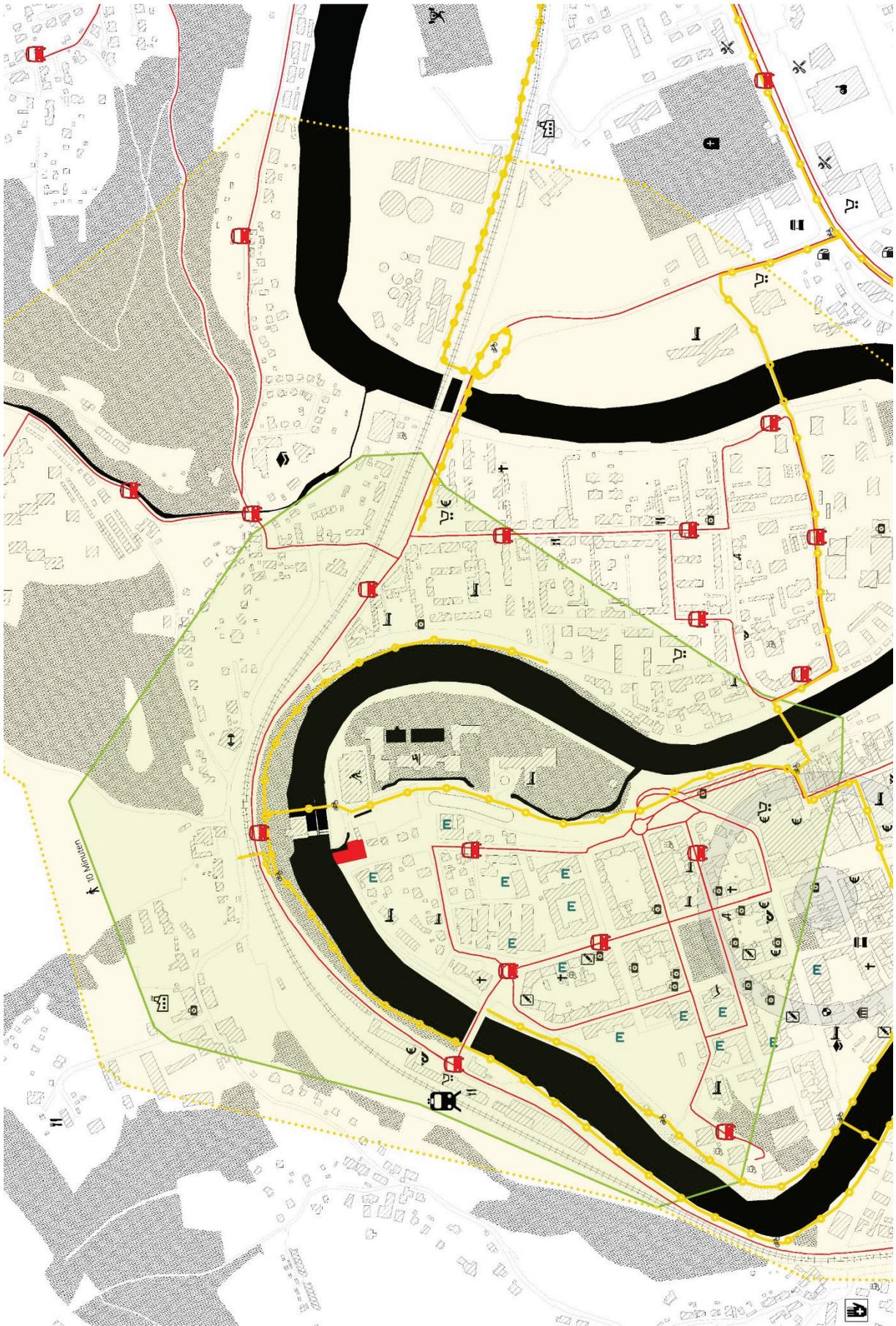


Abbildung 49: Urbaner Kontext Parkplatz Eishalle, Bearbeitung TU Graz Institut für Städtebau.

STADTRÄUMLICHE CHARAKTERISTIK

Lage

Der Parkplatz der Eishalle liegt direkt am südlichen Murufer angrenzend an den Kraftwerksbereich. Im Westen grenzen ein Villen- und Univiertel und im Osten das öffentliche Sport- und Freizeitzentrum mit Parkplatz an, im Süden einige Einfamilienhäuser. Durch den direkt bei der Eishalle situierten Fuß- und Radweg über die Mur ist er perfekt an das Wegenetz auf der Nordseite des Flusses und an den Hauptbahnhof angebunden. Das Innenstadtzentrum ist zu Fuß in wenigen Minuten erreichbar, auf dem Fahrrad die gesamte Stadt.

Trotz der guten Erreichbarkeit ist der Standort als Randlage zu bezeichnen. In unmittelbarer fußläufiger Entfernung leben nur wenige Menschen. Gegenseitiges Störpotential mit der direkten Nachbarschaft ist kaum vorhanden, zumal die Wohnfunktion zunehmend durch universitäre Nutzungen verdrängt wird.

Nutzung und Wirkung

Der Platz ist ein gebührenpflichtiger öffentlicher Parkplatz mit Basisausstattung (Schranksanlage, Beleuchtung, Ticketautomaten) und ohne Zusatzfunktionen. Angrenzend befinden sich weitere öffentliche Stellplätze. Obwohl der Parkplatz immer zugänglich ist, wird er fast ausschließlich dann genutzt, wenn Ligaspiele oder Großevents stattfinden.

Außerhalb dieser kurzzeitigen Auslastungsspitzen steht er meist leer und bildet eine Nullfläche im urbanen Raum. Zudem verfügt der im Süden anschließende Parkplatz des Asia Spa samt Parkhaus über großzügige Reserven. Der nahegelegene Flussübergang macht ihn außerdem zu einem Durchzugsbereich für FußgängerInnen und RadfahrerInnen.

Hinsichtlich gestalterischer und räumlicher Qualität kann man den Platz selbst als anspruchslos bezeichnen. Hohes Potential ist aber in der unmittelbaren Anbindung an die Freizeit- und Erholungsgebiete entlang der Mur zu sehen.



Abbildung 50: Blick zum Kraftwerkssteg, Foto Ida Pirstinger.

Beschreibung Synergiepotentiale

Der Standort zeichnet sich durch gute Sichtbarkeit bei Events in der Eissporthalle und bei denkbaren publikumsträchtigen Mehrfachnutzungen aus. Er könnte als überdachter multifunktionaler Platz hohen Nutzwert aber auch Signaturwirkung für StadtbürgerInnen und BesucherInnen entfalten.

Es besteht hohes Potential zur Aufwertung dieser derzeit vernachlässigten, mindergenutzten urbanen Randflächen, sowohl in stadträumlicher als auch in stadtfunktioneller Hinsicht und das bei sehr geringem gestalterischem Risiko.

Mehrfache Funktionsüberlagerung bei entsprechender Gestaltung könnte das gut erreichbare Areal gegenüber den angrenzenden hochwertigen Wohn- und Universitätsbauten sowie Freizeiträumen von einer Randlage ins Zentrum rücken und urbanen Mehrwert für ein weiterräumiges urbanes Umfeld schaffen. Aufgrund des geringen Störpotentials gegenüber der Nachbarschaft sind auch geräuschintensivere Aktivitäten und Funktionen gut denkbar.

Der Platz bietet sich für zusätzliche temporäre Nutzungen für die jeweils entsprechenden mobilen Zielgruppen an. Dies könnte sowohl auf informeller Basis als auch zeitlich durchorganisiert stattfinden.

Die Nähe zum Kraftwerk legt eine Kooperation mit dem Kraftwerksbetreiber nahe, zumindest was die Erzeugung und Vermarktung erneuerbarer Energieformen betrifft.

Mögliche Nutzungsbeispiele:

Jugendspielplatz - urbane Sportarten - mobiler Funpark
Konzert- und Veranstaltungsbühne
Flohmarkt / Bauernmarkt / Kirtag
witterungsgeschützter Parkplatz
integrierte Ver- und Entsorgungsinfrastruktur
Imageträger



Abbildung 51: Blick zum neuen Gebäude der Montanuni, Foto Ida Pirstinger.

3.1.2. Parkplätze im urbanen Gefüge

Im Gegensatz zu den weitgehend kontextfreien Parkplätzen handelt es sich bei dieser Kategorie um Flächen des ruhenden Verkehrs im Quartierszusammenhang bzw. in Ensembles mit markantem Gebäudebestand in gut sichtbarer Position an Stadteinfahrten. Das Areal der Brauerei Göss, das seit einiger Zeit als „Grüne Brauerei“ bewirtschaftet wird, bietet eine große Bandbreite an Überdachungsmöglichkeiten von an den öffentlichen Raum angebundenen Besucherparkplätzen bis zu Manipulationsflächen für den Produktions- und Auslieferungsbetrieb. Auch über die werbewirksame solaraktive Gestaltung der Außenwände von Betriebshallen wurde diskutiert und nachgedacht. Das Areal der KFZ-Hallen der Leoben Holding bietet von der Busgarage, Reparaturwerkstatt und Verwaltung bis zur Reststoffsammelstelle und zum öffentlichen Parkplatz ebenfalls eine Vielzahl von Handlungsoptionen. Beide Standorte vereinen jeweils eine komplexe Gemengelage an Themen und Fragestellungen, die jeweils nicht isoliert betrachtet werden sollten.

Zur weiteren Bearbeitung wurde der öffentliche, kostenpflichtige Parkplatz bei der Feuerwache ausgewählt. Seine Lage direkt an einer der Hauptzufahrtsstraßen zur Altstadt macht ihn zu einem sehr gut frequentierten Pendler- und Besucherparkplatz. Das Vorhaben, zur Erweiterung der Synergiepotentiale auch das Feuerwehrareal selbst in die Bearbeitung einzubeziehen, fand keine Zustimmung des Feuerwehrkommandanten, da der Vorplatz zur Feuerwehrzentrale zu Übungs- und Manipulationsflächen frei bleiben soll.

Die Hauptpotentiale des gewählten Standorts liegen in der Ausformulierung einer Torsituation und in der guten Sichtbarkeit.



Abbildung 52: Kategorie "Parkplätze im urbanen Gefüge" - Der gelb umrahmte Standort 9 wurde zur vertieften Untersuchung ausgewählt. Hintergrundbild Orthofoto © GIS Steiermark.

9 Parkplatz bei der Stadtfeuerwache

KURZSTECKBRIEF

Allgemein

- Eigentümer: Gemeinde betrieblich
- Gesamtfläche: ca. 3.000m²
- Handlungsbedarf:
Gestaltqualität der Altstadtzufahrt verbessern

Sichtbarkeit/Öffentlichkeitswirksamkeit

hoch:

- Torsituation zur Altstadt
- stark frequentierter Pendlerparkplatz

Stadtraum Stadtbild

- gut genutzter öffentlicher Parkplatz (und angrenzende Stadtfeuerwache) in interessanter stadträumlicher Lage

Bau- und planungsrechtliche Aspekte

- im Randbereich des Ortsbilschutzgebiets gelegen
- keine erwartbaren Hindernisse

Brandschutz und Rettungswege

- Brandschutzkonzept erforderlich

Technische Machbarkeit

- Kaum Einschränkungen zu erwarten

Solarpotentiale

- Keine signifikanten Einschränkungen

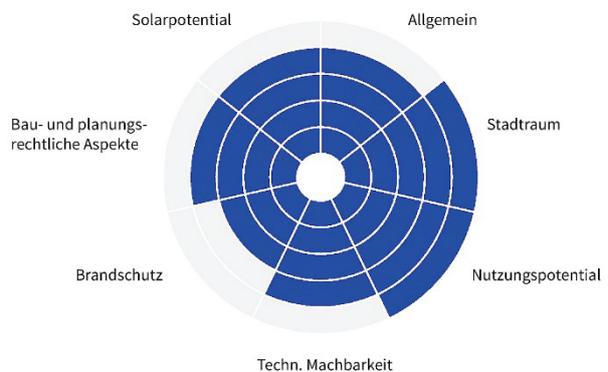


Abbildung 53: Spiderdiagramm zu den Parametern des Steckbriefs

Nutzungspotentiale

- Schaffung eines „Stadttore“ durch Straßenüberdachung
- Witterungsschutz für Parkplatz
- Integration von Ticketautomaten, Beleuchtung, E-Tankstelle, Schrankenanlage, etc.
- Integration städtischer Ver- und Entsorgungsinfrastruktur, wie zB. Reststoffsammelstellen, Verteiler, etc.



Abbildung 54: Parkplatz bei der Stadtfeuerwache, Foto Ida Pirstinger.

Einzelkriterien technische Machbarkeit

- Physische Hindernisse: Baumbewuchs im östlichen Randbereich; Laternen können ersatzweise in die Konstruktion integriert werden
- Untergrund: Es sind keine Einschränkungen ersichtlich.
- Entwässerung: Es sind keine Einschränkungen ersichtlich.
- Versiegelung: Die Fläche ist bereits versiegelt. Vorhandene begrünte Sickermulden können ggf. beibehalten werden
- Strombezug aus dem öffentlichen Netz: Aufgrund der Überdachung kann der elektrische Leistungsbedarf für die Beleuchtung steigen. Zusätzlicher Leistungsbedarf kann sich durch die erweiterten Nutzungsmöglichkeiten ergeben
- Schallschutz: Die Trommelwirkung von Hagel und Starkregen auf die Überdachung kann Lärmimmissionen hervorrufen. Ausmaß, Auswirkungen und Abhilfen sollten Untersuchungsgegenstand im weiterführenden Folgeprojekt sein. Teils angrenzende Wohnbebauung in südlicher Richtung, die auch oberhalb des Membrandachs angeordnet ist.

Einzelkriterien Solarpotentiale

- Verschattung / Fremdbeschattung: Die Verschattung durch angrenzende Bebauung wirkt sich nachteilig auf den Solarertrag aus. Die Höhe des Einflusses ist abhängig von der Grundform. Gleiches gilt für die Eigenverschattung des Dachs. Es ist kein signifikanter Schattenwurf durch die umliegende Bebauung zu erwarten.



Abbildung 55: Orthofoto Stadtfeuerwache, ©GIS Steiermark.

- Verschmutzung (bewertet wird, ob die Umgebung mutmaßlich eine erhöhte Verschmutzung der Kollektoren verursachen kann): Eine Verschmutzung der Solarkollektoren ist insbesondere an verkehrsreichen Straßen und in der Nähe von Bäumen zu erwarten. Durch eine hohe Neigung an den Rändern kann beispielsweise der Selbstreinigungseffekt begünstigt werden. Der Straßenverkehr auf der angrenzende Mühltaler Straße sowie die Bäume entlang der Mur können eine zusätzliche Verschmutzung bewirken.

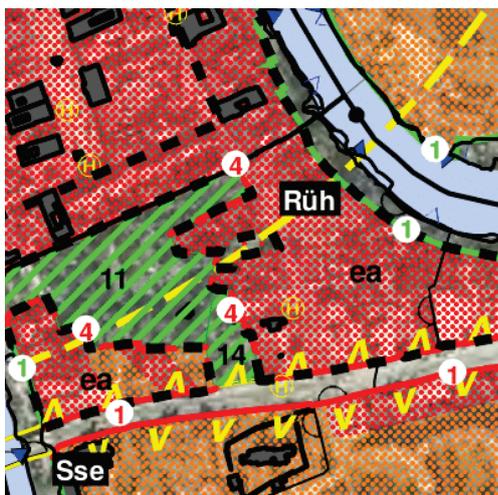


Abbildung 56: Stadtfeuerwache Ausschnitt Stadtentwicklungskonzept STEK, © GIS Steiermark.

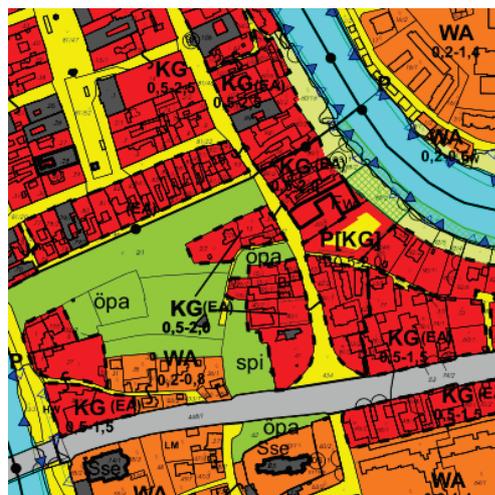


Abbildung 57: Stadtfeuerwache, Ausschnitt Flächenwidmungsplan, © GIS Steiermark.

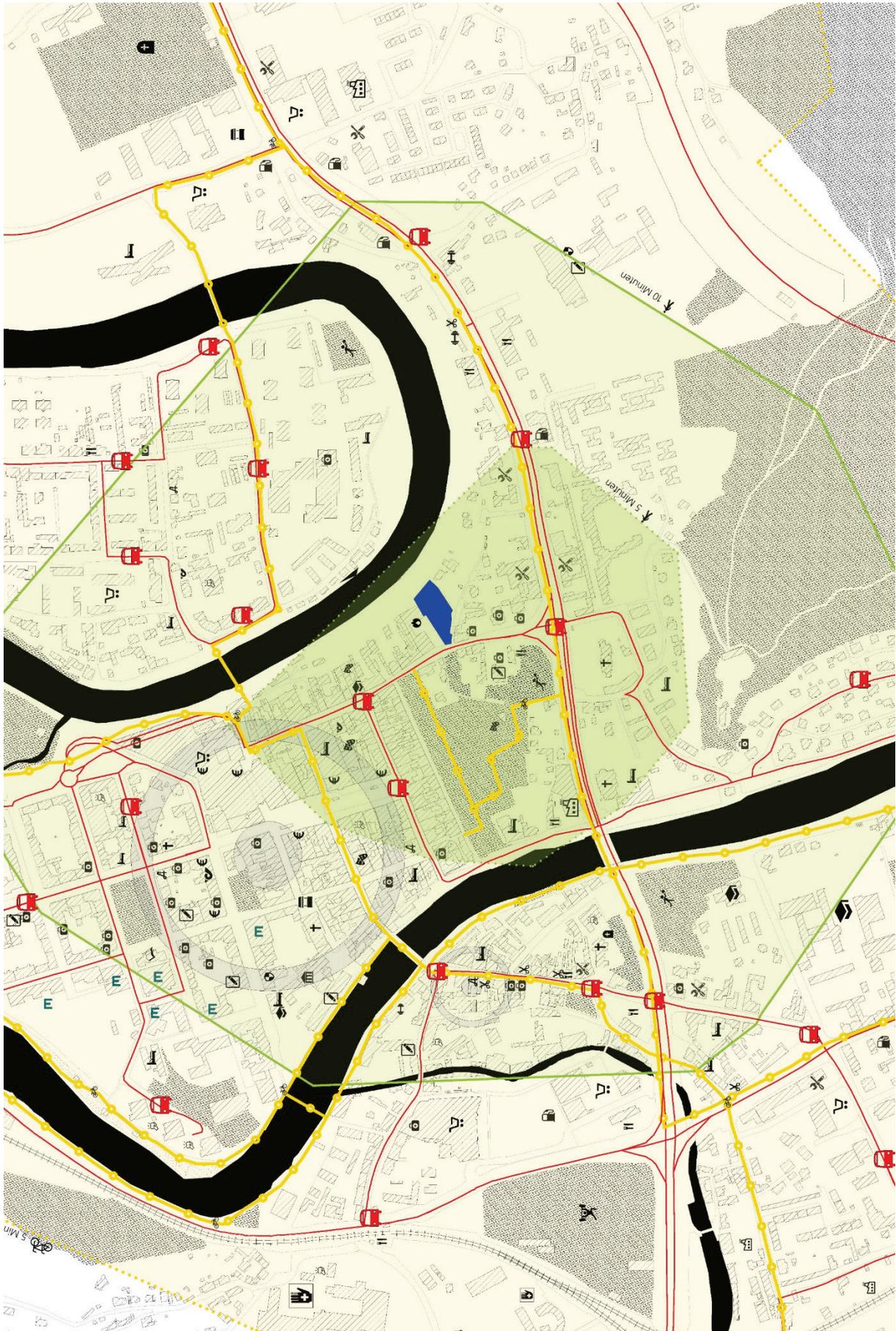


Abbildung 58: Urbaner Kontext Parkplatz bei der Stadtfeuerwache, Bearbeitung TU Graz Institut für Städtebau.

STADTRÄUMLICHE CHARAKTERISTIK

Lage

Der Parkplatz bei der Hauptfeuerwachen ist ein öffentlicher Parkplatz. Er ist zwischen Flussufer im Osten und Glacispark im Westen in einer "Torsituation" zur Altstadt situiert. Im Süden grenzen Geschoßwohnbauten aus unterschiedlichen Epochen unmittelbar an (Hinterhofcharakter), im Norden die Altstadt. Nur durch einen Maschendrahtzaun getrennt vom Parkplatz befinden sich die Freibereiche der Stadtfeuerwache.

Eine Bearbeitung beider Flächen wäre sowohl getrennt oder gemeinsam denkbar unter Einbeziehung des vorgelagerten öffentlichen Raums oder ohne diesen. Die Einbeziehung der angrenzenden Wohnbauten erscheint unrealistisch.

Nutzung und Wirkung

Der Platz ist ein beschränkter, gebührenpflichtiger öffentlicher Parkplatz mit Basisausstattung (Schranken, Beleuchtung, Ticketautomaten) und ohne weitere Zusatzfunktionen. Er wird hauptsächlich an Wochentagen während üblicher betrieblicher Öffnungszeiten gut frequentiert. Nachts, an Sonn- und Feiertagen ist er jedoch mindergenutzt.

Direkt an der Zufahrt und auch knapp außerhalb im Süden im öffentlichen Raum befinden sich Serviceinseln zur Reststoffsammlung im urbanen Freiraum.

Hinsichtlich gestalterischer und räumlicher Qualität kann man den Platz selbst als anspruchslos bezeichnen. Die gebaute Umgebung im unmittelbaren Umfeld verfügt jedoch durchaus über berücksichtigungswerte Qualitäten und erfordert sensiblen Umgang (angrenzende Ortsbilschutzgebiete).



Abbildung 59: Blick zur Feuerwehrezentrale, Foto Roland Sterrer.

Beschreibung Synergiepotentiale

Der Standort zeichnet sich durch gute Sichtbarkeit an der Altstadteinfahrt aus. Er könnte als überdachter Platz hohen Nutzwert und Signaturwirkung für StadtbürgerInnen und BesucherInnen entfalten.

Eine umfassende, integrierte Betrachtung von Parkplatz, Hauptfeuerwache und vorgelagertem öffentlichem Raum verspricht die besten Potentiale zur stadträumlichen Aufwertung und mehrfachen Nutzungsüberlagerung, ist jedoch von der Feuerwehr aus nutzungstechnischer Sicht unerwünscht. Die Möglichkeit zur Akzentuierung der Torsituation hin zur sensiblen Altstadt inkl. Bereinigung gestalterischer Missstände (zB. Reststoffsammelstelle) bleibt aber auch ohne Feuerwache gegeben, wenn auch weniger umfangreich. Nur von geringer stadträumlicher Relevanz mit geringem räumlich-gestalterisches Aufwertungs-potential wäre jedoch die alleinige Überdachung des Parkplatzes.

Mögliche Nutzungsbeispiele:

Witterungsgeschützter Parkplatz
Integrierte Ver- und Entsorgungsinfrastruktur
Stadttorbildung
Imageträge



Abbildung 60: Parkplatz bei der Stadtfeuerwache, Foto Ida Pirstinger.

3.1.3. Parkplätze für kleinteilige Überdachungen - Insellösungen

In zahlreichen Städten trifft man auf öffentliche straßenbegleitende Stellflächen in Längs- oder Queraufstellung. Sie stellen eine weitverbreitete Standardform der Stellplatzanordnung dar, so auch in Leoben. Hauptmerkmal ist die Längsausdehnung entlang von Straßen und Gassen. Sie können in unterschiedlichsten Konstellationen, Gruppierungen und Größenausdehnungen in Erscheinung treten. Je nach Anzahl und Abstand von Kreuzungspunkten, Zufahrten, etc. aber auch anderen Unterbrechungen dieser Parkstreifen wie Haltestellen, Fahrradständern, Straßenbäumen, Reststoffsammelstellen und dergleichen entstehen unterschiedliche Stellplatzzeilen bzw. Gruppen.

Überdachungen bieten sich hier als modulare Systeme jeweils für kleine Gruppen von Stellplätzen in Längs- bzw. Queraufstellung an. Diese könnten gegebenenfalls zu größeren Einheiten gekoppelt werden und wären in ihrer Anwendbarkeit nicht an einen spezifischen Ort gebunden. Die Entwicklung samt Integration urbaner Infrastrukturen wie Ticketautomaten, Straßenbeleuchtung, Mülltonnen, etc. stellt eine Designaufgabe dar. Solaraktive Dächer dieser Kategorie könnten als Stadtmöblierung von Systemanbietern international vermarktet werden.

In Leoben wurden in dieser Kategorie zwei Gebiete zur Bearbeitung ins Auge gefasst, die jeweils eine namhafte Zahl an öffentlichen gebührenpflichtigen Stellplätzen aufweisen:

Das Areal „Stadtkai Nord“ befindet sich gegenüber dem Hauptbahnhof im Bereich um den Ignaz-Buchmüller Platz und entlang des Martin-Luther-Kais. Auf ca. 300 m Länge finden sich hier am flussseitig überwiegend Queraufstellungen und gegenüber meist Längsaufstellung. Am Ignaz-Buchmüller Platz gibt es darüber hinaus einen kleinen mehrzeiligen Parkplatz. Die Gösserstraße südlich der Altstadt nördlich und südlich der Kärntner Straße ist ebenfalls eine Uferstraße. Neben den herkömmlichen straßenbegleitenden Parkzeilen gibt es hier auf einer Gesamtstrecke von ca. 320 m auch einige Parkplatzbereiche mit getrennter Erschließungsfahrbahn.

Da diese Kategorie vordringlich das Potential zur Entwicklung modularer Insellösungen in sich birgt, wurden beide Areale in der Auswahl belassen, um auf die gesamte Bandbreite an Möglichkeiten zurückgreifen zu können.

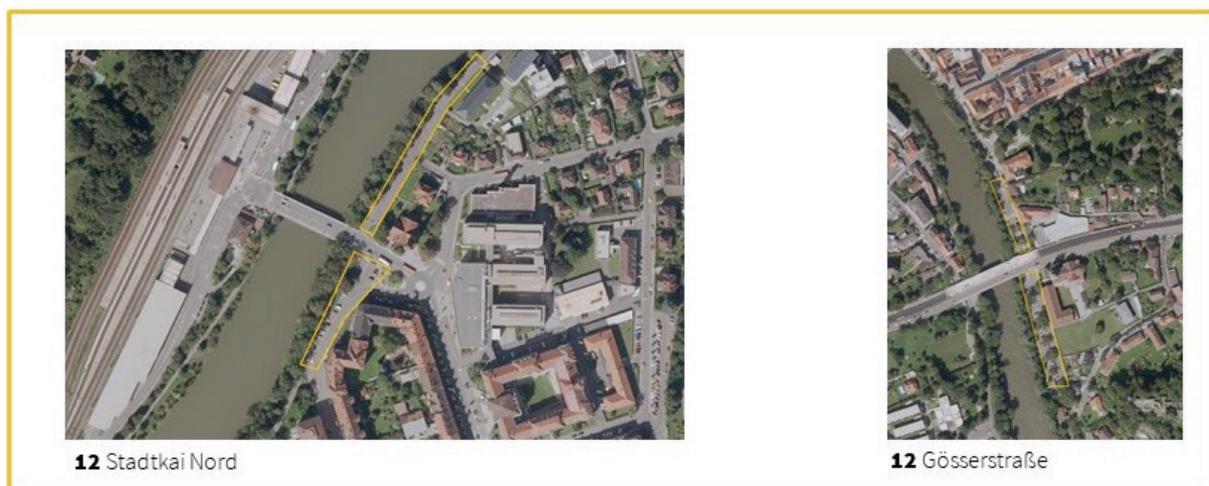


Abbildung 61: Kategorie „Parkplätze für kleinteilige Überdachungen“ – Beide Standorte wurden zur vertieften Untersuchung ausgewählt. Hintergrundbild Orthofoto © GIS Steiermark.

12 Parkplätze Gösserstraße & Stadtkai Nord

KURZSTECKBRIEF

Allgemein

- Eigentümer: öffentliches Gut Gemeinde
- Gesamtfläche: relevant ca. 4.300m²
- Handlungsbedarf: nicht vordergründig

Sichtbarkeit/Öffentlichkeitswirksamkeit

mittel bis hoch:

- abhängig von konkreter Positionierung und Größe der Insellösungen

Stadtraum Stadtbild

- überwiegend langgestreckte, ufer- und straßenbegleitende Stellplatzflächen

Bau- und planungsrechtliche Aspekte

- Ortsbildschutzgebiet
- keine erwartbaren Hindernisse

Brandschutz und Rettungswege

- geringste Komplexitätsstufe, da freistehende Kleinflächen

Technische Machbarkeit

- erhebliche Einschränkungen zu erwarten

Solarpotentiale

- Einschränkungen sind gegeben



Abbildung 62: Spiderdiagramm zu den Parametern des Steckbriefs

Nutzungspotentiale

- modulare kleinräumige Gruppenüberdachungen, Zeilenformen; Prototypen mit Multiplikationsfähigkeit
- Witterungsschutz
- Integration von E-Tankstelle, Ticketautomaten, etc.
- Stadtmöblierung als Designaufgabe



Abbildung 63: Parkplätze Martin Luther Kai, Foto Ida Pirstinger.

Einzelkriterien technische Machbarkeit

- Physische Hindernisse: Uferbepflanzung und sonstige, teils großkronige Bäume (unüberwindbar); Laternen können ersatzweise in die Konstruktion integriert werden
- Untergrund: Es sind keine Einschränkungen ersichtlich.
- Entwässerung: Es sind keine Einschränkungen ersichtlich.
- Versiegelung: Die Flächen sind bereits versiegelt.
- Strombezug aus dem öffentlichen Netz: Aufgrund der Überdachung kann der elektrische Leistungsbedarf für die Beleuchtung steigen. Zusätzlicher Leistungsbedarf kann sich durch die erweiterten Nutzungsmöglichkeiten ergeben
- Schallschutz: Die Trommelwirkung von Hagel und Starkregen auf die Überdachung kann Lärmimmissionen hervorrufen. Ausmaß, Auswirkungen und Abhilfen sollten Untersuchungsgegenstand im weiterführenden Folgeprojekt sein. Das Projektgebiet verläuft teilweise an Wohngebäuden.



Abbildung 64: Orthofoto Gösserstraße, © GIS Steiermark.

Einzelkriterien Solarpotentiale

- Verschattung / Fremdbeschattung: Die Verschattung durch angrenzende Bebauung wirkt sich nachteilig auf den Solarertrag aus. Die Höhe des Einflusses ist abhängig von der Grundform. Gleiches gilt für die Eigenverschattung der Überdachungen. Die unmittelbar angrenzende Bebauung bzw. der Baumbestand erzeugen einen signifikanten Schattenwurf.

- Verschmutzung (bewertet wird, ob die Umgebung mutmaßlich eine erhöhte Verschmutzung der Kollektoren verursachen kann): Eine Verschmutzung der Solarkollektoren ist insbesondere an verkehrsreichen Straßen und in der Nähe von Bäumen zu erwarten. Durch eine hohe Neigung an den Rändern kann beispielsweise der Selbstreinigungseffekt begünstigt werden. Aufgrund der innerstädtischen Lage und der vorhandenen Bäume ist mit einer verstärkten Verschmutzung zu rechnen.



Abbildung 65: Gösserstraße, Ausschnitt Stadtentwicklungskonzept STEK, © GIS Steiermark.

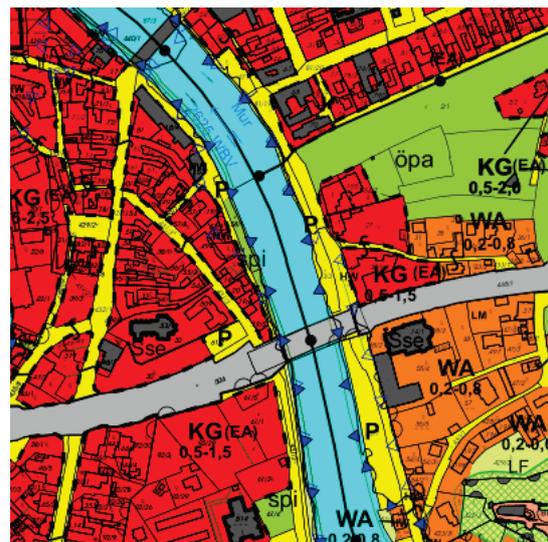


Abbildung 66: Gösserstraße, Ausschnitt Flächenwidmungsplan, © GIS Steiermark.

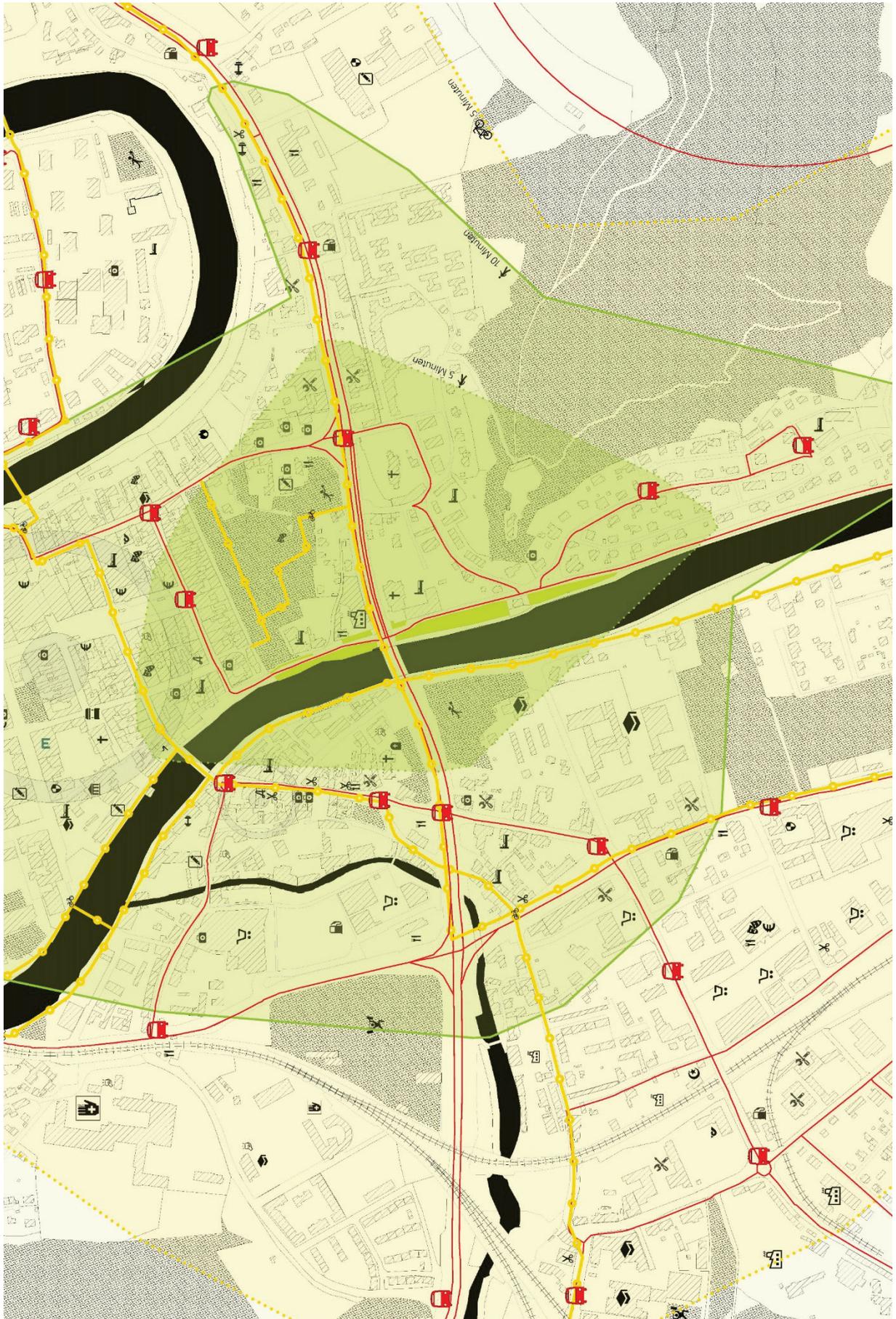


Abbildung 67: Urbaner Kontext Gösserstraße, Bearbeitung TU Graz Institut für Städtebau.

STADTRÄUMLICHE CHARAKTERISTIK

Lage

Bei beiden Standorten handelt es sich um Uferstraßen am Rand der Altstadt entlang derer straßenbegleitend Stellplätze angeordnet sind. Sie sind leicht erreichbar, gut frequentiert und sichtbar. Die Stellplätze sind öffentlich und gebührenpflichtig.

Der nördliche Bereich des Stadtkais befindet sich direkt gegenüber dem Hauptbahnhof an der Einfahrt in die gründerzeitliche Altstadt. Sowohl Bahnhof als auch Stadtzentrum sind in wenigen Minuten zu Fuß erreichbar.

Die Gösserstraße schließt südwestlich direkt an die mittelalterliche Altstadt an und verläuft entlang der Stadtmauer unterhalb des Glacisparks. Die Stellplätze sind direkt über eine Treppe mit Park und Altstadt verbunden.

Nutzung und Wirkung

Die Stellplätze sind an beiden Standorten gut frequentiert und genutzt.

Hinsichtlich gestalterischer und räumlicher Qualität kann man die Straßen selbst als anspruchslos bezeichnen. Anders verhält es sich jedoch mit dem Ignaz-Buchmüller-Platz und der Gösserstraße im Bereich der Stadtmauer. In beiden Fällen handelt es sich um Randbereiche des Ortsbildschutzgebietes.

Während der Martin Luther Kai eher Seitenstraßencharakter ausstrahlt, ist der Ignaz-Buchmüller-Platz der erste offene Platz gegenüber dem Bahnhof, gesäumt von bedeutenden Gebäuden, wie der evangelischen Kirche, der Arbeiterkammer und dem Hörsaalzentrum der Montanuniversität.

Der Bereich Gösserstraße direkt an der Stadtmauer und dem Freimannsturm hat einen eigenen, bemerkenswerten Charakter.

Beschreibung Synergiepotentiale

Beide Standorte zeichnen sich durch gute Sichtbarkeit aufgrund verkehrsgünstiger Lage und hoher Frequenz aus.

Während die uferseitigen Stellplätze aufgrund des dichten Baumbestandes entlang der Uferböschung für Solarenergienutzung wenig geeignet sind, eröffnen sich in den freier angeordneten Bereichen Potentiale zur punktuellen gruppenweisen modularen Stellplatz-überdachung. Dieses Konzept ist leicht auch auf andere Standorte und Städte anwendbar.

Ein weiterer Vorteil kleiner Module liegt darin, dass die Überdachungen flächenmäßig unterhalb der brandschutztechnischen Grenzgrößen von 250m² bleiben können.

Gut gestaltete Insellösungen für Stellplatzgruppen im Sinne einer designorientierten Stadtmöblierung könnten hohen Nutzwert und Signaturwirkung für StadtbürgerInnen und BesucherInnen entfalten. Hierfür bietet sich auch an, nach Möglichkeit weitere Features wie Haltestellen, Fahrradständer, Ticketschalter, Abfallbehälter, Straßenbeleuchtung, etc. zu integrieren.

Mögliche Nutzungsbeispiele:

Witterungsgeschützte Stellplätze in Gruppen
Integrierte Ver- und Entsorgungsinfrastruktur
Integrierte Stadtmöblierung
Image- und Werbeträger
Modulare Überdachungslösungen für urbane Anwendungen mit internationalem Designanspruch



Abbildung 68: Parkplatz Gösserstraße, Foto Roland Sterrer.



Abbildung 69: Ignaz Müller Platz/Stadtkai, Foto Ida Pirstinger.

3.1.4. Urbane Plätze

In der Kategorie „Urbane Plätze“ sind Stellplatzflächen zusammengefasst, die mit dem urbanen Gewebe eng verflochten sind. Sie stellen keine in sich abgeschlossenen Bereiche dar, sondern werden als Teil des öffentlichen urbanen Raums wahrgenommen, selbst wenn sie sich auf Privatgrund befinden bzw. durch Schrankenanlagen abgetrennt sind. Im Hinblick auf die Zielsetzungen des Sondierungsprojekts, wie Aufwertung des urbanen Raums, Nutzungsüberlagerung und Mehrwert stellen sie die interessantesten aber auch diffizilsten Standorte dar. Sie lassen sich am ehesten als das betrachten und interpretieren, was gemeinhin als urbaner Raum verstanden wird und strahlen daher einen öffentlicheren Charakter aus als Parkplätze in Randlagen. Sie müssen nicht erst in diesen eingegliedert werden, weil sie bereits Teil davon sind. Sämtliche der hier dargestellten und untersuchten Standorte befinden sich im Stadtzentrum innerhalb des geordneten und strukturierten Stadtraums und unterliegen dem Ortsbildschutz.

Das Areal Roseggerstraße besteht aus einer Zeile straßenbegleitender Querparker entlang einer repräsentativen Gebäudefront aus der Gründerzeit. Gegenüber befindet sich ein attraktiver Quartierspark. Stadträumlich kann man das Gebiet als mängelfrei bezeichnen. Es ist von zahlreichen denkmalgeschützten Gebäuden umgeben und daher gestalterisch als sensibel zu bezeichnen. Lediglich die übliche Überfrachtung des öffentlichen (Verkehrs-)Raums mit Einbauten, Verkehrszeichen und sonstiger Infrastruktur beeinträchtigt das Bild. Aufgrund der hohen Bestandsqualität wird ein stadträumliches Verbesserungspotential durch Nutzungsüberlagerung und Überdachung angezweifelt und das Gebiet nicht weiter bearbeitet.

Der Vorplatz des neuen Rathauses an der Erzherzog Johann Straße stellt einen Sonderfall unter den potentiellen Pilotprojektgebieten dar. Es handelt sich nicht um einen Parkplatz, sondern einen öffentlichen Park mit vorgelagerten Verkehrsflächen und straßenbegleitenden Stellflächen zwischen Rathaus, Museum und Schulzentrum direkt am Fluss. Neben dem derzeit defekten Brunnen und der Skulptur „Double Wedding“ von Dennis Oppenheim dominiert ein Riesiger, ausladender Baum den Platz. Die hypothetische Möglichkeit, durch solaraktive Überdachung unterschiedliche urbane Bereiche und Funktionen (Platz, Straße, Park, Uferpromenade, Mursteg, Rad- und Laufroute) miteinander zu überlagern bzw. zu verschmelzen und so die Attraktivität und Nutzungsintensität weiter zu steigern, macht das Gebiet für das Forschungsprojekt besonders interessant, auch wenn es sich um keine reine Verkehrsflächenüberdachung handeln würde. Aufgrund mittelfristiger anderer Prioritäten der Stadt, insbesondere der in näherer Zukunft geplanten Rathaussanierung und daraus folgender geringer Chancen für ein zeitnahes Demoprojekt wurde von einer weiteren Bearbeitung dieses Platzes abgesehen. Zudem haben sich VertreterInnen der Stadt skeptisch gegenüber einer Überdachung an dieser Stelle geäußert. Stattdessen wurde angeregt, den benachbarten Mursteg zu überdachen.

Nur einen Häuserblock entfernt ebenfalls an der Erzherzog Johann Straße befindet sich der Standort Peter-Tunner-Park. Hierbei handelt es sich um straßenbegleitende Stellplätze entlang eines kleinen Quartiersparks und den quer dazu positionierten, zeit- und nutzungsbeschränkten Parkplätzen des Standesamtes. Trotz der an sich guten stadtstrukturellen Einbindung, die Interventionen nicht unbedingt erforderlich macht, wäre eine weitere Aufwertung durch solaraktive Überdachung denkbar und sinnvoll, insbesondere zur Anbindung an den nahegelegenen Bauernmarkt am Kirchplatz.

Als der Standort mit dem größten Aufwertungspotential hat sich der Parkplatz von Finanzamt und Montanuniversität an der Max Tandler Straße herausgestellt. Zwar wirkt er aufgrund seiner Einbettung

in das Stadtgefüge wie ein öffentlicher Platz, ist jedoch als beschränkter Parkplatz nur exklusiv nutzbar und der Allgemeinheit weitgehend entzogen. Lediglich als befestigte Abstandsfläche zwischen den Bauvolumen tritt er derzeit positiv in Erscheinung. Gestalterisch erhebt er keinen Anspruch und liefert mangels Baumbestandes auch keinerlei Beitrag zu einer durchgrünten Innenstadt. Aufgrund seiner eingeschränkten Nutzungszeiten und der zentralen Lage könnte er für die fußläufig entfernten InnenstadtbewohnerInnen attraktiv zur informellen Aneignung außerhalb der Betriebszeiten sein. Obwohl seitens des Eigentümers (Bundesimmobiliengesellschaft) aktuell kein entsprechender Handlungsbedarf geäußert wurde, stellt er aufgrund seiner Eigenschaften im Hinblick auf Stadtbild, Stadtstruktur und Nutzungsüberlagerungspotentialen innerhalb dieser Kategorie das höchste und interessanteste Potential für das Sondierungsprojekt dar.



Abbildung 70: Kategorie "Urbane Plätze" - Der gelb umrahmte Standort 16 wurde zur vertieften Untersuchung ausgewählt. Hintergrundbild Orthofoto © GIS Steiermark.

16 Parkplatz Max Tandler Straße

KURZSTECKBRIEF

Allgemein

- Eigentümer: Bundesimmobiliengesellschaft
- Gesamtfläche: 1.090m² + umgebende Straßen
- Handlungsbedarf: gestalterisch und stadträumlich vernachlässigtes Areal

Sichtbarkeit/Öffentlichkeitswirksamkeit

sehr hoch:

- gut erreichbare, frequentierte innerstädtische Lage
- bei populärer Mehrfachnutzung stadtmärketinrelevant

Stadtraum Stadtbild

- innerstädtischer Parkplatz im repräsentativen Gründerzeitquartier

Bau- und planungsrechtliche Aspekte

- Ortsbildschutz, darüber hinaus keine erwartbaren Einschränkungen

Brandschutz und Rettungswege

- Brandschutzkonzept erforderlich

Technische Machbarkeit

- Keine Einschränkungen zu erwarten

Solarpotentiale

- Keine signifikanten Einschränkungen

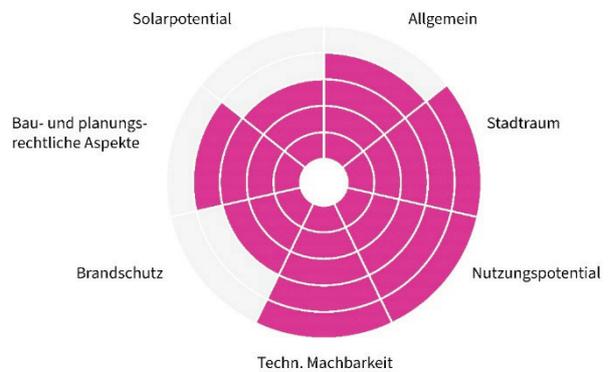


Abbildung 71: Spiderdiagramm zu den Parametern des Steckbriefs

Nutzungspotentiale

- "Stadtplatz" zur informellen Aneignung und für vielfältige temporäre Nutzungen außerhalb der Betriebszeiten
- Witterungsschutz
- Beschattung
- Integration von Beleuchtung, E-Tankstelle, Ticketautomaten, Reststoffsammlung, etc.



Abbildung 72: Parkplatz Max Tandler Straße, Foto Ida Pirstinger.

Einzelkriterien technische Machbarkeit

- Physische Hindernisse:
 - Untergrund: Es sind keine Einschränkungen ersichtlich.
 - Entwässerung: Es sind keine Einschränkungen ersichtlich.
 - Versiegelung: Die Fläche ist bereits versiegelt.
 - Strombezug aus dem öffentlichen Netz: Aufgrund der Überdachung kann der elektrische Leistungsbedarf für die Beleuchtung steigen. Zusätzlicher Leistungsbedarf kann sich durch die erweiterten Nutzungsmöglichkeiten ergeben.
 - Schallschutz: Die Trommelwirkung von Hagel und Starkregen auf das Dach kann Lärmimmissionen hervorrufen. Ausmaß, Auswirkungen und Abhilfen sollten Untersuchungsgegenstand im weiterführenden Folgeprojekt sein. Umliegende, höhere Bebauung (betrifft Nicht-Wohnnutzungen) ergibt möglicherweise zusätzliche Reflexionsflächen der Fassaden.

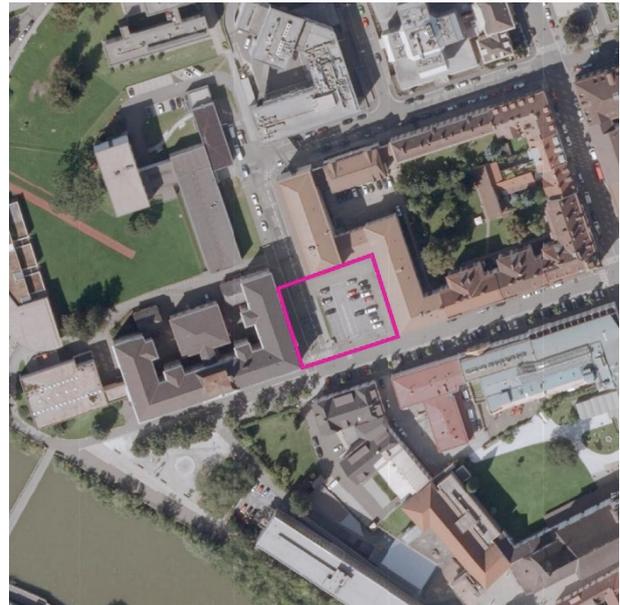


Abbildung 73: Orthofoto Max Tandler Straße, © GIS Steiermark.

Einzelkriterien Solarpotentiale

- Verschattung /Fremdbeschattung: Die Verschattung durch angrenzende Bebauung wirkt sich nachteilig auf den Solarertrag aus. Die Höhe des Einflusses ist abhängig von der Grundform. Gleiches gilt für die Eigenverschattung der Überdachung. Die unmittelbar angrenzende Bebauung in östlicher und westlicher Richtung erzeugt einen signifikanten Schattenwurf.

- Verschmutzung (bewertet wird, ob die Umgebung mutmaßlich eine erhöhte Verschmutzung der Kollektoren verursachen kann): Eine Verschmutzung der Solarkollektoren ist insbesondere an verkehrsreichen Straßen und in der Nähe von Bäumen zu erwarten. Durch eine hohe Neigung an den Rändern kann beispielsweise der Selbstreinigungseffekt begünstigt werden. Der Straßenverkehr auf der angrenzende Max Tandler Straße und Erzherzog-Johann-Straße Straße können eine zusätzliche Verschmutzung bewirken.

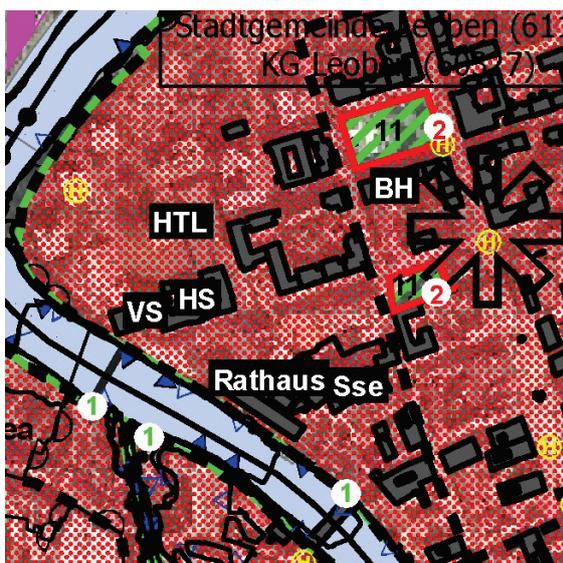


Abbildung 74: Max Tandler Straße, Ausschnitt Stadtentwicklungskonzept STEK, © GIS Steiermark.



Abbildung 75: Max Tandler Straße, Ausschnitt Flächenwidmungsplan, © GIS Steiermark.

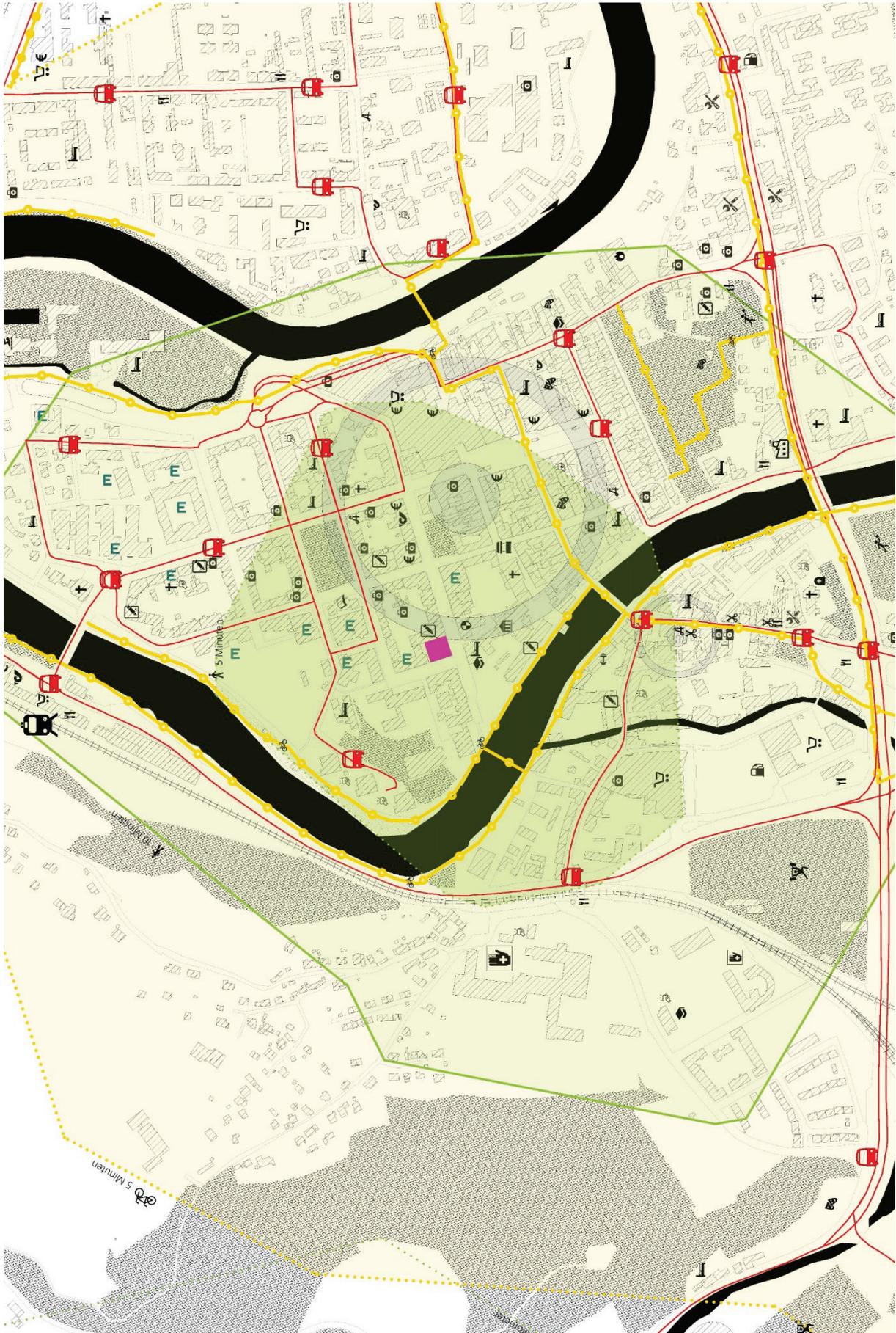


Abbildung 76: Urbaner Kontext Parkplatz Max Tandler Straße, Bearbeitung TU Graz Institut für Städtebau.

STADTRÄUMLICHE CHARAKTERISTIK

Lage

Der Parkplatz an der Max Tandler Straße ist eine rechteckige Ausnehmung in einer geschlossenen Blockrandbebauung in einem repräsentativen Gründerzeitquartier innerhalb der Altstadt von Leoben. Der Erscheinung nach erweitert er die beiden flankierenden Straßen (Max Tandler Straße und Erzherzog Johann Straße) zu einem urbanen Platz. Die Umgebung ist geprägt von öffentlichen Bauten wie Universitäts- und Verwaltungsgebäuden. Sämtliche Zentrumsfunktionen mit Einkauf, Gewerbe, Behörden, etc. sind innerhalb von weniger als fünf bis zehn Minuten Fußweg zu erreichen. Zum Bahnhof geht man ca.12 Minuten.

Die direkt flankierenden Gebäude des Finanzamts und der Montanuniversität sind modernistisch geprägt. Auf der gegenüberliegenden Straßenseite der Max Tandler Straße bildet die NMS Leoben die Platzfassade, an der Erzherzog Johann Straße das Collegium Josefinum und weitere Gebäude. Daran schließen das neue Rathaus mit seinem Vorplatz und die Kunsthalle an.

Nutzung und Wirkung

Der Parkplatz ist ein nicht öffentlicher, beschränkter Parkplatz, dessen Stellplätze ausschließlich für Finanzamt und Montanuniversität zur Verfügung stehen. Aufgrund der eingeschränkten Betriebszeiten im Amtsgebäude und in der Universität kommt es zu zyklischen Nutzungsspitzen bzw. Zeiten von Leerstand. Vor allem abends und an Wochenenden kann von Mindernutzung gesprochen werden.

Die geringe Gestaltqualität des Platzes wertet den sensiblen Ort ab, ebenso eine Müllinsel auf angrenzendem öffentlichem Gut.

Beschreibung Synergiepotentiale

Die stadträumliche Situation ist als gestalterisch sehr anspruchsvoll zu bezeichnen. Gleichzeitig besteht hohes gestalterisches Aufwertungspotential, genauso wie beträchtliches Aufwertungspotential hinsichtlich der vorhandenen Nutzungen.

Außerhalb der Betriebszeiten sollte die Duldung urbaner Aneignung und temporärer Zusatznutzungen des im öffentlichen Besitz stehenden "Stadtplatzes" angestrebt werden, um den Innenstadtbewohnerinnen zumindest informell einen weiteren Betätigungs- und Entfaltungsraum zu ermöglichen.

In dieser hochgradig versiegelten urbanen Zone der Stadt würde eine Überdachung zudem Beschattung und damit Schutz vor sommerlicher Überwärmung bringen.

Mögliche Nutzungsbeispiele:

- Witterungsgeschützte Stellplätze
- "Stadtplatz" zur Aneignung und für vielfältige temporäre Nutzungen außerhalb der Betriebszeiten
- Platzbeschattung
- Integrierte Ver- und Entsorgungsinfrastruktur
- Integrierte Stadtmöblierung
- Image- und Werbeträger



Abbildung 77: Max Tandler Straße, Foto Ida Pirstinger.



Abbildung 78: Max Tandler Straße, Foto Ida Pirstinger.

3.1.5. Verkehrsflächen im Siedlungskontext

Ein großer Teil unserer Städte bestehen aus Wohnsiedlungen, oft in Stadtrandlage und ohne nennenswerte urbane Funktionsdurchmischung, Ein nennenswerter Teil der städtischen Bevölkerung lebt in solchen Siedlungsgebieten.

Üblicherweise bestehen solche Siedlungen aus einer geordneten Ansammlung ähnlicher Gebäude, die in zeitlichem Zusammenhang geplant und gebaut wurden. Meist verfügen sie über eine gemeinsame urbane bzw. häusliche Infrastruktur und Verwaltung.

Oft folgen solche Wohnsiedlungen weit verbreiteten Grundtypen und Mustern und haben daher einen hohen Multiplikationsfaktor, was sie über lokale Zusammenhänge hinaus relevant und interessant für das Sondierungsprojekt macht.

Zusätzlich zu Stellplatzflächen für motorisierte Fahrzeuge sind auch die Gestaltung von Infrastruktureinrichtungen wie Reststoffsammelstellen, Fahrradstellplätzen und weiteren gemeinschaftlich nutzbaren Bereichen ein Thema.

Innerhalb des Projekts ParaSol wurden drei Siedlungen näher betrachtet:

Die Großstruktur des Wohnblocks Kärntner Straße 37-49 mit dem vorgelagerten Parkplatz und Garagen direkt an einer lärmintensiven Hauptverkehrsachse wäre zwar ein hinsichtlich der Problemstellungen ein interessantes Untersuchungsobjekt, wurde aber aufgrund der Eigentümerstruktur ausgeschieden.

Gegenüber dem Siedlungsgebiet rund um den Fichtlplatz wurde der Siedlung Am Lerchenfeld der Vorzug gegeben. Am Lerchenfeld ist typologisch weniger fragmentiert, sondern sogar ausgesprochen homogen. Darüber hinaus beinhaltet es Bauformen und Bautypen sowie Problemstellungen, die von überregionaler, wenn nicht sogar internationaler Relevanz sind.

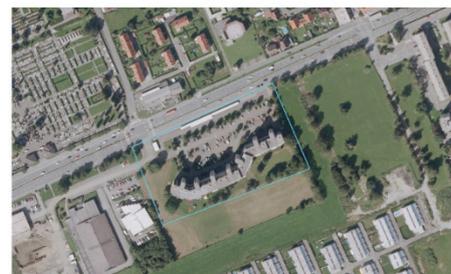
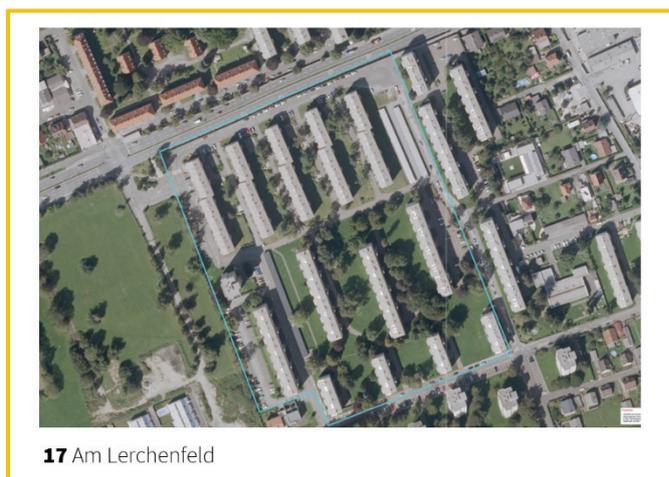


Abbildung 79: Verkehrsflächen im Siedlungskontext - Der gelb umrahmte Standort 17 wurde zur vertieften Untersuchung ausgewählt. Hintergrundbild Orthofoto © GIS Steiermark.

17 Am Lerchenfeld

KURZSTECKBRIEF

Allgemein

- Eigentümer: Gemeinde
- Gesamtfläche: im Bereich der Stellplätze ca. 2.000m² zuzüglich Service- und Infrastrukturareale
- Handlungsbedarf: Verkehrsflächen und allgemeine Infrastruktur integrativ betrachten

Sichtbarkeit/Öffentlichkeitswirksamkeit

mittel bis hoch:

- vor Ort beschränkt, aber vielfältigbar

Stadtraum Stadtbild

- Freibereiche, Verkehrsflächen und Infrastrukturen einer typischen Nachkriegssiedlung

Bau- und planungsrechtliche Aspekte

- keine absehbaren Hindernisse

Brandschutz und Rettungswege

- wenig komplex bei Aussparung der internen Erschließungswege

Technische Machbarkeit

- keine Einschränkungen zu erwarten

Solarpotentiale

- kaum Einschränkungen



Abbildung 80: Spiderdiagramm zu den Parametern des Steckbriefs

Nutzungspotentiale

- Witterungsschutz
- Integration von E-Tankstellen, Beleuchtung, etc.
- bei Fahrbahnüberdachung witterungsgeschützte Interaktions- und Freizeitflächen,
- Gestaltung von Fahrradabstellflächen & Müllsammelstellen



Abbildung 81: Siedlung am Lerchenfeld, Foto Ida Pirstinger.

Einzelkriterien technische Machbarkeit

- Physische Hindernisse:
vereinzelte Bäume – umgehbar
Laternen – Ersatz integrierbar
- Untergrund: Es sind keine Einschränkungen ersichtlich.
- Entwässerung: Es sind keine Einschränkungen ersichtlich.
- Versiegelung: Die Fläche ist bereits versiegelt.
- Strombezug aus dem öffentlichen Netz:
Aufgrund der Überdachung kann der elektrische Leistungsbedarf für die Beleuchtung steigen. Zusätzlicher Leistungsbedarf kann sich durch die erweiterten Nutzungsmöglichkeiten ergeben.
- Schallschutz: Die Trommelwirkung von Hagel und Starkregen auf das Dach kann Lärmimmissionen hervorrufen. Ausmaß, Auswirkungen und Abhilfen sollten Untersuchungsgegenstand im weiterführenden Folgeprojekt sein. Die Projektfläche grenzt an ein Wohngebäude an. Sie grenzt aber auch unmittelbar an die Kärtnerstraße.



Abbildung 82: Orthofoto Am Lerchenfeld, Hintergrundbild © GIS Steiermark.

Einzelkriterien Solarpotentiale

- Verschattung /Fremdverschattung:
Die Verschattung durch angrenzende Bebauung wirkt sich nachteilig auf den Solarertrag aus. Die Höhe des Einflusses ist abhängig von der Grundform. Gleiches gilt für die Eigenverschattung des Membrandachs. Das Wohngebäude ist südlich der Parkplatzfläche angeordnet und kann eine signifikante Verschattung verursachen.

- Verschmutzung (bewertet wird, ob die Umgebung mutmaßlich eine erhöhte Verschmutzung der Kollektoren verursachen kann):
Eine Verschmutzung der Solarkollektoren ist insbesondere an verkehrsreichen Straßen und in der Nähe von Bäumen zu erwarten. Durch eine hohe Neigung an den Rändern kann beispielsweise der Selbstreinigungseffekt begünstigt werden. Der Straßenverkehr auf der Kärtner Straße kann eine zusätzliche Staubbelastung verursachen.

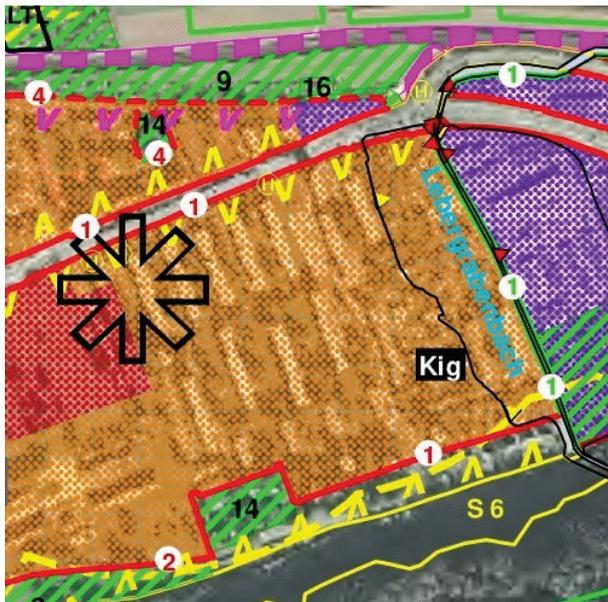


Abbildung 83: Am Lerchenfeld, Ausschnitt Stadtentwicklungskonzept STEK © GIS Steiermark.

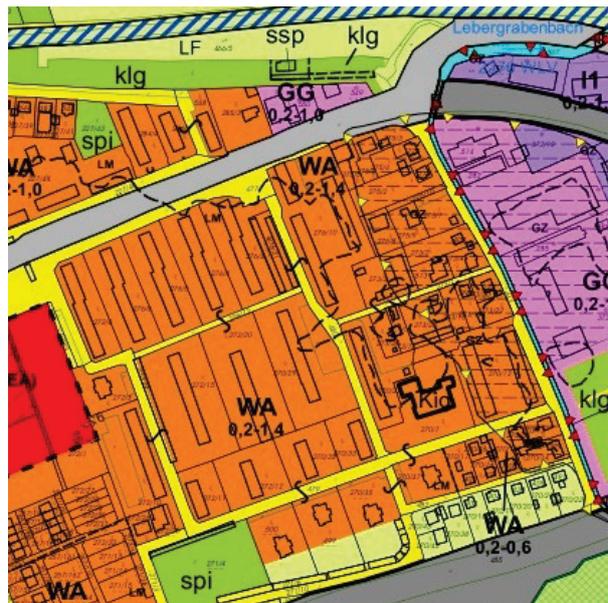


Abbildung 84: Am Lerchenfeld, Ausschnitt Flächenwidmungsplan © GIS Steiermark.

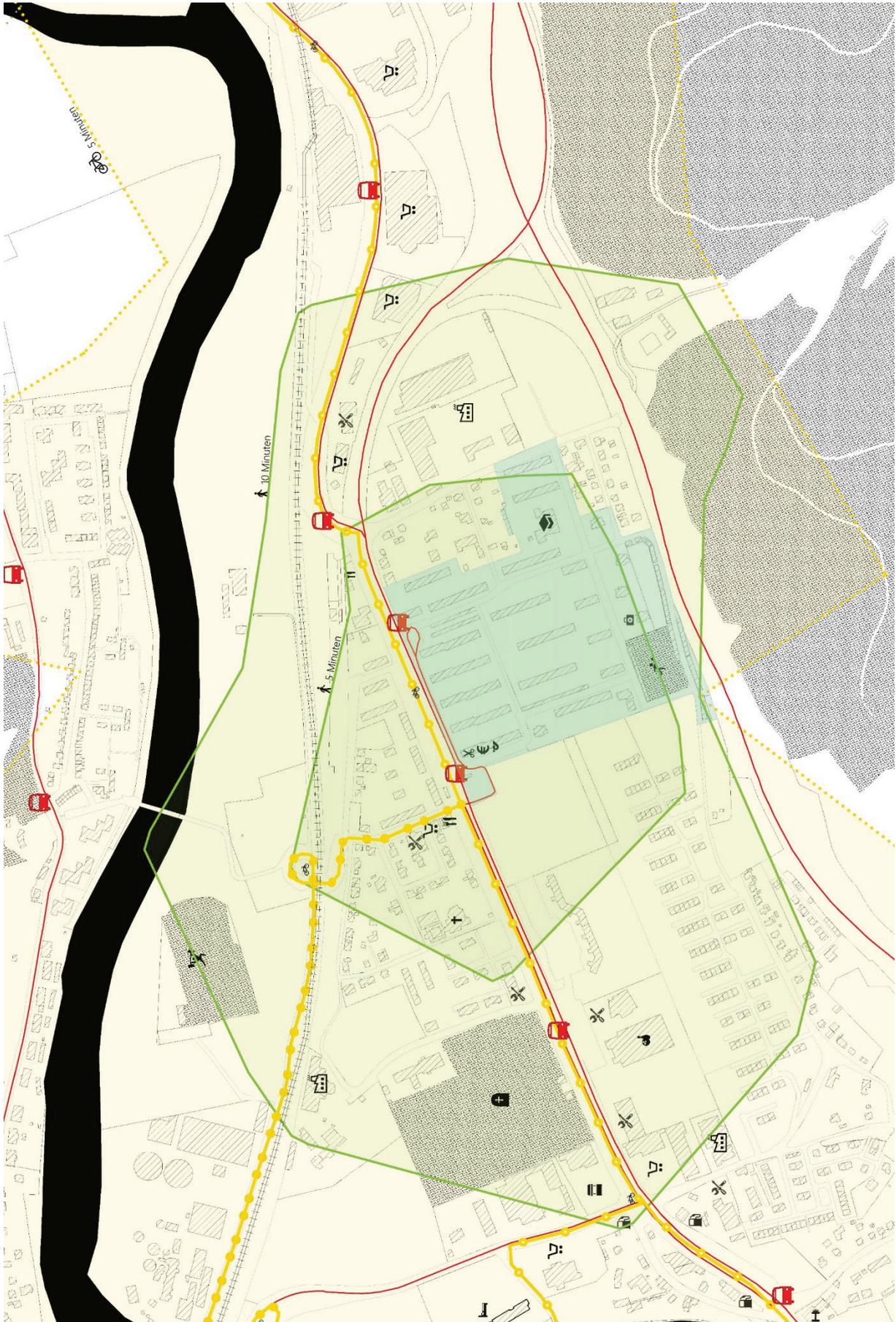


Abbildung 85: Urbaner Kontext Am Lerchenfeld, Bearbeitung TU Graz Institut für Städtebau.

STADTRÄUMLICHE CHARAKTERISTIK

Lage

Die Siedlung Am Lerchenfeld liegt südlich der mehrspurigen, stark befahrenen Kärntnerstraße. Im Osten folgt nach einem Einfamilienhausgebiet mit Schulen und Kinderbetreuungseinrichtungen ein Gewerbe- und Industriegebiet. Aufgrund des Neubaus einer weiteren Großsiedlung mit hauptsächlich Reihenhäusern im Westen erfolgt dort derzeit auch eine Aufwertung der lokalen Nahversorgungsinfrastruktur. Auf der gegenüberliegenden Straßenseite befindet sich ein weiteres Siedlungsgebiet mit Kirche, Gastronomie und Kleingewerbe. Die Kärntner Straße ist jedoch nur schwer zu überqueren und daher als stadträumliche Zäsur zu betrachten. Nach Süden hin steigt das Gelände an. Oberhalb der Siedlung befindet sich die Trasse der Semmering -Schnellstraße mit Lärmschutzwand, dahinter beginnt der Naturraum.

Nutzung und Wirkung

Beim Wohngebiet Am Lerchenfeld handelt es sich um eine typische Wohnsiedlung der Nachkriegsära mit Zeilenbebauung und Punkthäusern in parkähnlicher Einbettung. Die Mietwohnungen befinden sich im Eigentum der Gemeinde.

Die für das Sondierungsprojekt relevanten Freibereiche umfassen Carports, Freistellplätze und Fahrbahnen, Fahrrad- und Müllbereichen, etc.

Das ideale Zeitfenster zur Umsetzung ist aufgrund einer bereits erfolgten teilweisen Sanierung verstrichen, jedoch sind darüber hinausreichende weitere Potentiale vorhanden bzw. blieb die integrative Betrachtung der Frei- und Infrastrukturbereiche aus.

Ähnliche Siedlungstypen und Problemstellungen sind typologisch vielfach übertragbar vorhanden und daher von übergeordneter Relevanz.

Beschreibung Synergiepotentiale

Trotz teilweiser Generalsanierung blieben einige Bereiche und Fragestellungen unbehandelt, insbesondere Infrastruktur- und Servicebereiche, Gliederung der Freiräume, etc.

Sowohl konkret als auch als prototypische monofunktionale Siedlungsform der Nachkriegszeit ist das Areal interessant für Weiterentwicklungs- und Aufwertungspotentiale hinsichtlich der Gestaltung nutzungsüberlagerter Siedlungsinfrastruktur- und Allgemeinbereiche.

Die Potentiale hinsichtlich Sichtbarkeit und Reichweite liegen bei einem derartigen Standort in der Multiplizierbarkeit der Typologien. Ähnliche Siedlungen mit den entsprechenden Nutzungsanforderungen gibt es überall auf der Welt.

Mögliche Nutzungsbeispiele:

- Witterungsgeschützte Stellplätze
- Integrierte Ver- und Entsorgungsinfrastruktur bei Fahrbahnüberdachung witterungsgeschützte
- Interaktions- und Freizeitflächen
- Gestaltung von Fahrradabstellflächen



Abbildung 86: Am Lerchenfeld, Foto: Ida Pirstinger.



Abbildung 87: Am Lerchenfeld, Foto: Ida Pirstinger.

3.1.6. Auswahl für Testentwürfe und weitere Untersuchungen

Basierend auf den Ergebnissen der stadträumlichen Analysen und unter Berücksichtigung der technischen und rechtlichen Machbarkeit wurde interdisziplinär die Vorauswahl auf drei Standorte eingeschränkt, für die in Folge Testentwürfe erstellt wurden. In diese Entscheidungsfindung wurden auch die ExpertInnen der Baudirektion einbezogen. Ausschlaggebende Entscheidungskriterien waren neben der grundsätzlichen Machbarkeit und Sinnhaftigkeit auch das Aufwertungspotential bzw. der Mehrwert für die stadträumliche Umgebung, die Sichtbarkeit und die Umsetzbarkeit in einem Demoprojekt.



Abbildung 88: Vorselektierte Pilotprojektgebiete, die gelb umrahmten Standorte wurden für Testentwürfe ausgewählt. Hintergrundbild Orthofoto, © GIS Steiermark.

Sowohl für das Siedlungsgebiet am Lerchenfeld als auch für die Insellösungen am Stadtkai und an der Gösserstraße gab es klar argumentierbare Präferenzen. Beide Kategorien heben sich durch die hohe Multiplizierbarkeit hervor. In beiden Fällen handelt es sich um vielfach vorhandene, universelle Aufgabenstellungen, für die modulare, übertragbare Lösungsansätze entwickelt werden könnten, sowohl in technischer, als auch in gestalterischer Hinsicht. Auch eine höhere Realisierungswahrscheinlichkeit wurde solchen kleineren Einheiten gegenüber großflächigen Überdachungsvarianten zugeschrieben. Andererseits können sowohl die Wohnsiedlung als auch die modularen Insellösungen entlang von Verkehrswegen in Richtung Designaufgabe und Einzelobjektlösung bis hin zur Stadtmöblierung interpretiert werden. Sie erfüllen insofern nicht ideal die in der Aufgabenstellung und Zielsetzung formulierten Anforderungen an Pilotprojektgebiete.

Aus diesen Gründen wurde die Entscheidung zugunsten der Standorte Max Tandler Straße und Parkplatz Stadtfeuerwache getroffen. Ausschlaggebend dafür waren die größere stadträumliche Wirksamkeit, der engere städtebauliche Kontext und die bessere Sichtbarkeit.

Unter den kontextfreien Parkplätzen wurde dem Parkplatz bei der Eishalle aufgrund der höheren Potentiale zur mehrfachen Nutzungsüberlagerung der Vorzug gegenüber dem Parkplatz an der Parkstraße gegeben.

3.2. Formale Lösungsansätze

Überdachungen überspannen Räume und markieren Orte. Dadurch heben sie diese aus ihrer Umgebung hervor, wodurch sie an Bedeutung gewinnen und im Idealfall Aufwertung erfahren. Gegenüber bisher gebräuchlichen ebenen Solardächern liegt der Vorteil weitgespannter Leichtbauweisen in Form von Seilnetzwerken, Membrankonstruktionen und ähnlichen in der Formenvielfalt, Leichtigkeit und Luftigkeit der Konstruktionen und in der Transparenz einiger der geeigneten Materialien. In Ermangelung qualifizierter gebauter Beispiele als Anschauungsobjekte müssen diese Eigenschaften mithilfe von architektonischen Entwürfen überprüft werden.

Zielsetzung der Testentwurfsphase ist es, neben der Herstellung konkreter Fallbeispiele für die Simulation und Berechnung von Erträgen den Nachweis schlüssiger, stadträumlich verträglicher Gestaltungsvarianten zu erbringen und neben der Überprüfung der räumlichen und technischen Machbarkeit auch eine Vision eines urbanen Mehrwerts hinsichtlich Nutzung zu generieren. Dabei bestand der Anspruch, die derzeit bestehende Stellplatzsituation nicht zu beeinträchtigen.

Sowohl der Ort und sein Umfeld selbst, als auch die Hülle geben für solche Nutzungsszenarien Ideen vor. Nutzungsszenarien entwickeln sich also während der Entwurfsphase bis über die Fertigstellung hinaus weiter. Eine der Hauptzielsetzungen der Aufwertung ist es, die Nutzungszeiten der Plätze zu erweitern und das Nutzungsspektrum über die Nutzung als Stellplatz für Fahrzeuge hinaus zu verbreitern. Für beide Zielsetzungen kann Überdachung hilfreich und nützlich sein.

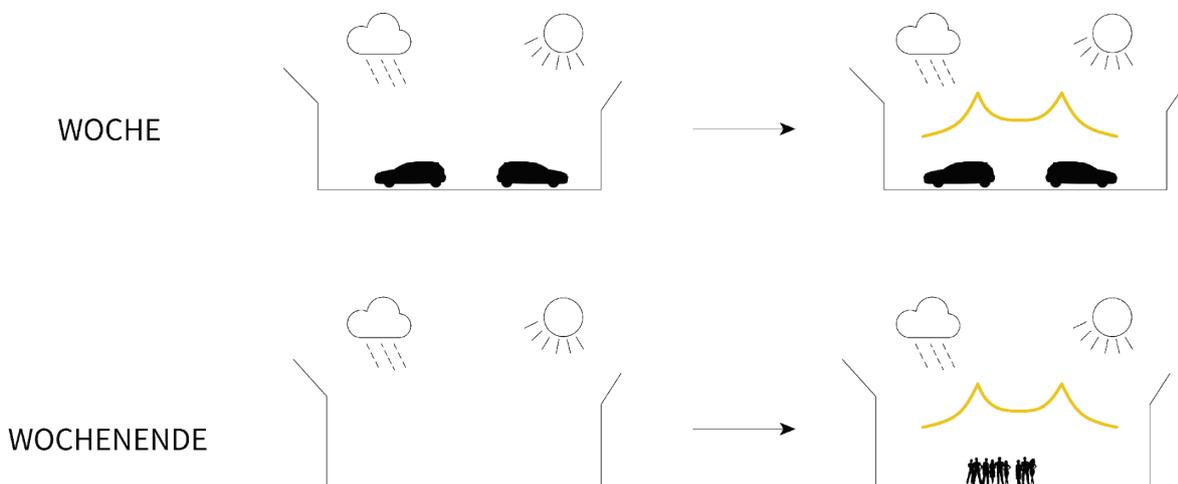


Abbildung 89: Platznutzung mit und ohne Dach: Wochentags zu Betriebszeiten bzw. an Wochenenden und abends. Grafik TU Graz, Institut für Städtebau.

Der öffentliche urbane Freiraum wie wir ihn kennen, ist überfrachtet mit Einbauten und Infrastrukturelementen wie Verkehrsschildern, Straßenbeleuchtung, Müllinseln, Haltestellen, Stadtmöblierung, etc. Überdachungen haben immer auch ein ordnendes Moment und bieten somit die Gelegenheit solche Elemente zu strukturieren, zu bündeln und zu integrieren.

Auf Basis der stadträumlichen Analysen und unter Einbeziehung sinnvoller, auf den konkreten Ort abgestimmter Nutzungsszenarien wurden pro Standort je drei Testentwürfe konzipiert und als 3D-Modelle digital dargestellt. Methodisch wurden die Entwürfe von unterschiedlichen Personen erstellt

mit der Zielrichtung, ausschließlich Entwurfsansätze mit möglichst positiven Effekten für den Standort zu verfolgen, also keine absichtlichen Negativbeispiele zu erzeugen. Die Entwürfe wurden im Team gegenseitig evaluiert, weiterentwickelt und bis zum Stadium eines Vorentwurfs finalisiert. Das entspricht im Wesentlichen einer formalen Grundkonzeption samt Einbettung in den städtebaulichen Kontext, jedoch ohne Klärung konstruktiver und gestalterischer Detailfragen oder konkreter Materialentscheidungen. Die Endauswahl erfolgte diskursiv im EntwerferInnenteam der TU Graz unter Hinzuziehung der Expertise der FH Salzburg. Dabei wurde den Stadtraum absehbar ungünstig beeinflussendes bereits in der Frühphase des Entwurfs verworfen bzw. nicht weiterverfolgt.

Basis der 3D-Modellierungen sind die im Vorfeld als Formvorgaben festgelegten fünf Grundtypen aus der Formfinder Typologie (siehe *Abbildung 36*). Diese wurden auf die bestehenden Umgebungsparameter und Nutzungsvorstellungen des jeweiligen Standorts hin angepasst. Als Werkzeug zur Festlegung der Geometrien wurde die Spezialsoftware Formfinder⁸⁹ verwendet, die sich für die Planungsaufgabe als äußerst nützlich erweist, da sie eben nicht nur für Formfindung ausgelegt ist. Diese könnte auch in gängigen Architektur-Applikationen erfolgen. Der Vorteil von Formfinder liegt darin, dass ausschließlich technisch umsetzbare Konstruktionen in Sinne der Aufgabenstellung des Sondierungsprojekts generiert werden. Gleichzeitig steht eine umfangreiche Datenbank mit gebauten Beispielen und Glossar zur Verfügung.

Die Umgebungsmodelle wurden in den CAD-Programmen Archicad bzw. Rhinoceros, zu dem eine Formfinder-Schnittstelle gegeben ist, erstellt, wo auch die in Formfinder erstellten Überdachungen eingefügt und weiterbearbeitet wurden. Als Testentwürfe liegen also für die drei Pilotprojektgebiete jeweils drei digitale 3D-Modelle vor. Für jedes der drei Testareale wurde weiters ein Modell in Form eines collageartigen Schaubilds als Vision einer zukünftigen Nutzung dargestellt.

⁸⁹ www.formfinder.at

3.2.1. Testentwurf Parkplatz Eissporthalle

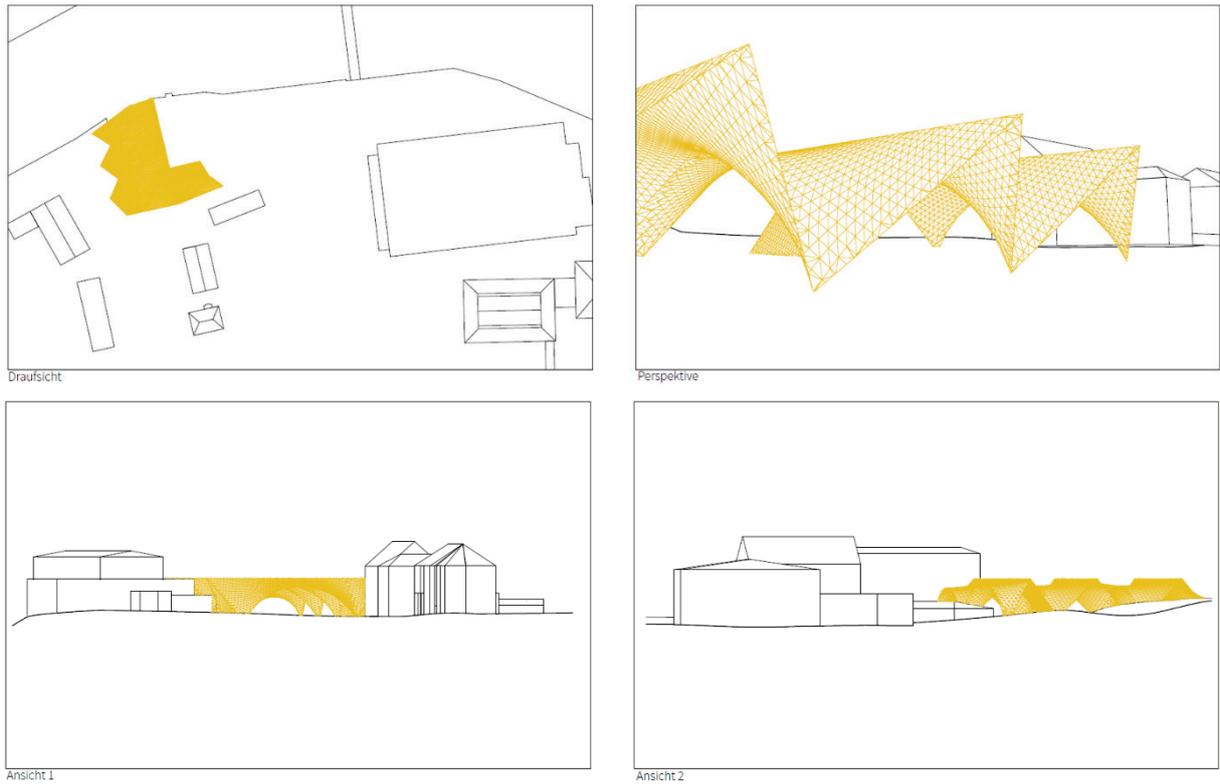


Abbildung 90: Eishalle Variante 1, weitgespannte Kehl- und Gratform; TU Graz, Institut für Städtebau.

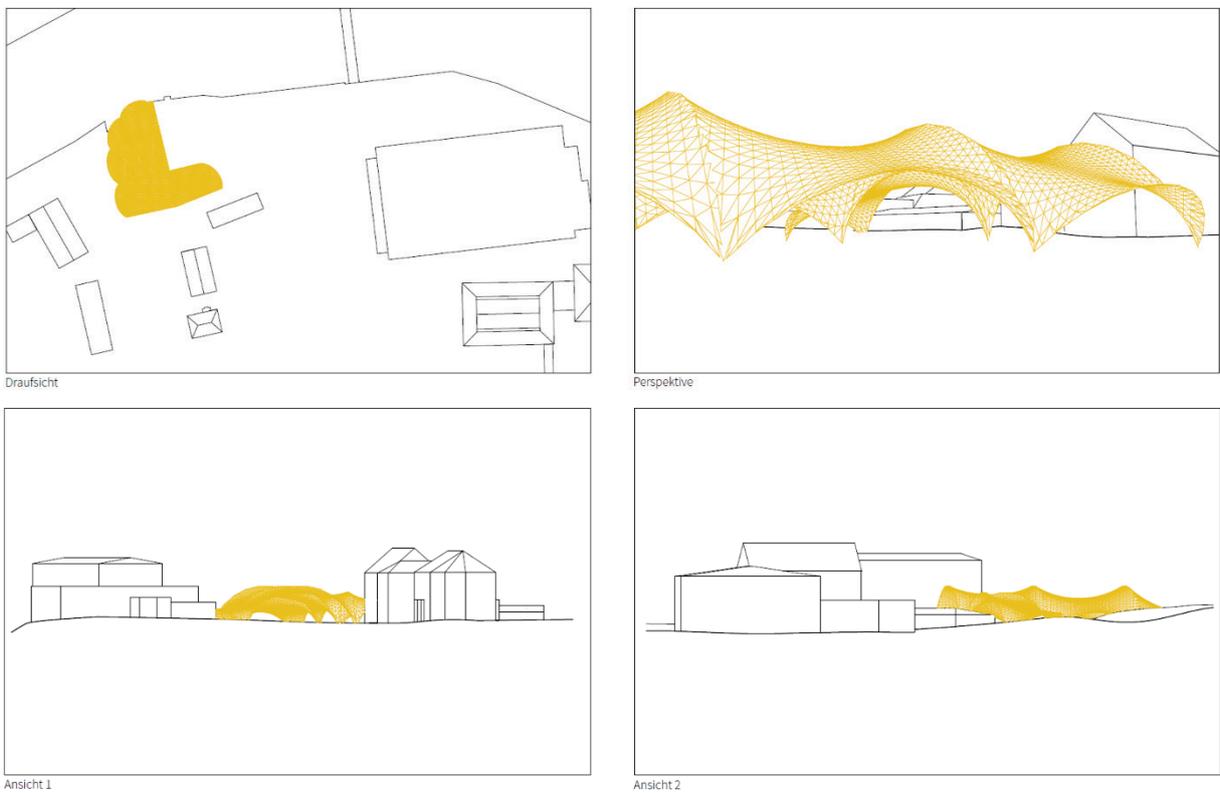


Abbildung 91: Eishalle Variante 2, Bogengestützte Dachflächen bis Bodennähe; TU Graz, Institut für Städtebau.

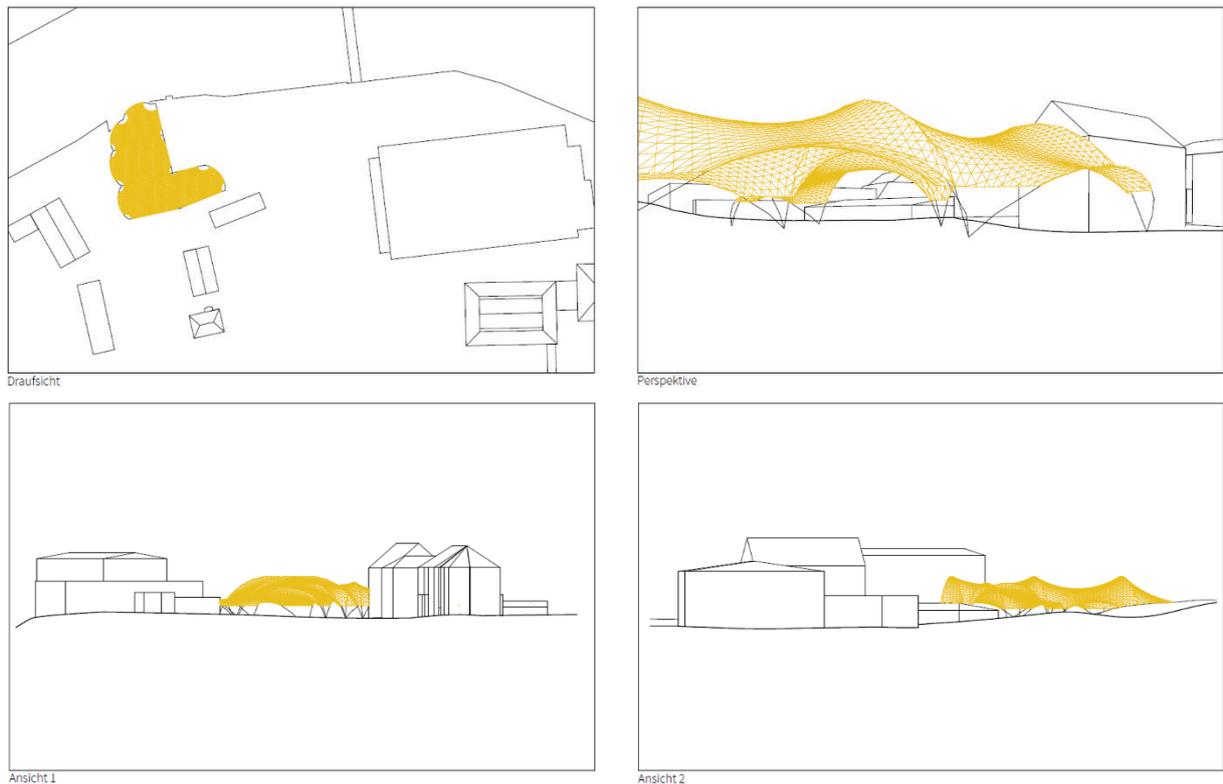


Abbildung 92: Eishalle Variante 3, Bogengestützte Dachflächen in Überkopfhöhe; TU Graz, Institut für Städtebau.

Eishalle Variante 1 – weitgespannte Kehl- und Gratform

Die Überdachung besteht aus drei in West-Ost-Richtung gespannten waagrechten Firsten. An der Westseite ragen die Firste in den öffentlichen Verkehrsraum hinein und überdachen teilweise die angrenzenden Stellplätze mit. Die Kehlen sind bogenunterstützt, woraus sich zehn markante Fußpunkte mit tief heruntergezogenen Dachflächen ergeben. Räumlich ergibt sich ein differenziertes Bild mit hohen und niedrigen Bereichen, was eventuell die Nutzbarkeit einschränken könnte.

Eishalle Variante 2 - Bogengestützte Dachflächen bis Bodennähe

Der gesamte Parkplatzbereich wird mithilfe weitgespannter Bogenformen überdacht. Nur an wenigen Punkten gibt es eine Bodenberührung. Die gesamte Konstruktion steht frei. Durch die tiefgezogenen Dachflächen entsteht eine Innenraumartige Situation mit geschützten Randbereichen als Rückzugsorte. Trotzdem ist die Überdachung nach allen Richtungen offen und gewährt Ein- und Ausblicke.

Die große Höhe der Konstruktion lässt vielfältige Aktivitäten und Nutzungen zu, von diversen urbanen Sportarten bis hin zu Bühnenaufbauten. Die Bögen können auch als Tragkonstruktion für Hängeelemente, Beleuchtung, und weitere Ausstattungselemente dienen.

Eishalle Variante 3 - Bogengestützte Dachflächen in Überkopfhöhe

Bei Variante 3 handelt es sich um eine Überarbeitung und Abwandlung der Variante 1. Bis zu einer Höhe von Zirka 2 Metern wurden sämtliche Membranflächen entfernt. Nur noch die Stützkonstruktion reicht bis zum Boden. Der Hintergrund für diese Maßnahme ist in erster Linie ein praktischer. Membranen bis knapp über den Boden sind im überwachungsfreien öffentlichen urbanen Raum, vor

allem wenn es um die freie Nutzung durch eine jugendliche Zielgruppe geht, nicht ideal. Die Gefahr einer Beschädigung ist recht groß. Eine vandalensichere Ausführung setzt im zugänglichen Bereich robuste, beschädigungsresistente Materialien und Oberflächen voraus. In der Umsetzung zeigt sich, dass diese Maßnahme auch die räumliche Wirkung der Überdachung stark verändert. Während die bis knapp über Bodenniveau reichenden Membranen der Variante 1 ein komplexes Gefüge von Innenräumen und Rückzugsmöglichkeiten erzeugen, ist Variante 3 stärker auf die Form Dach reduziert. Die Innenraumbildung tritt in den Hintergrund. Der gesamte Bereich ist besser von außen einsehbar und bietet auch mehr Ausblicke von innen.

3.2.2. Testentwurf Parkplatz bei der Stadtfeuerwache

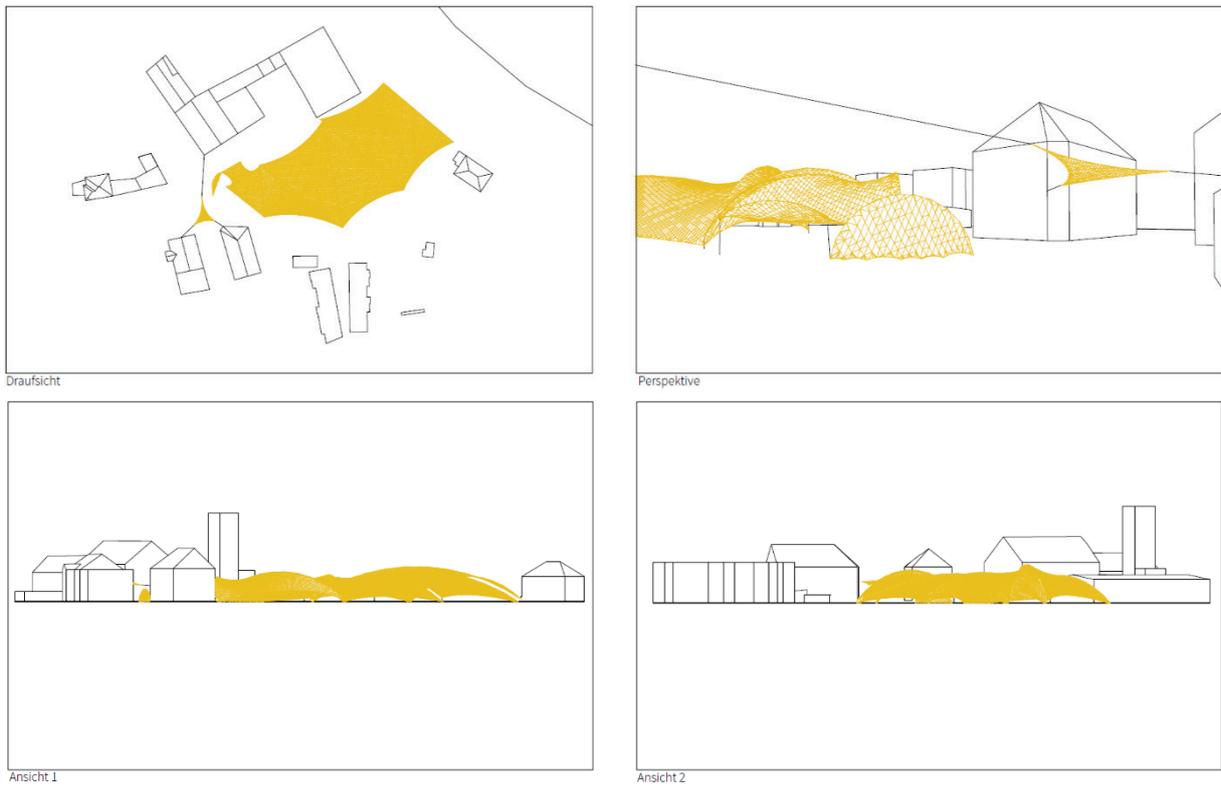


Abbildung 93: Stadtfeuerwache Variante 1, Bogengestützte Dachflächen; TU Graz, Institut für Städtebau.

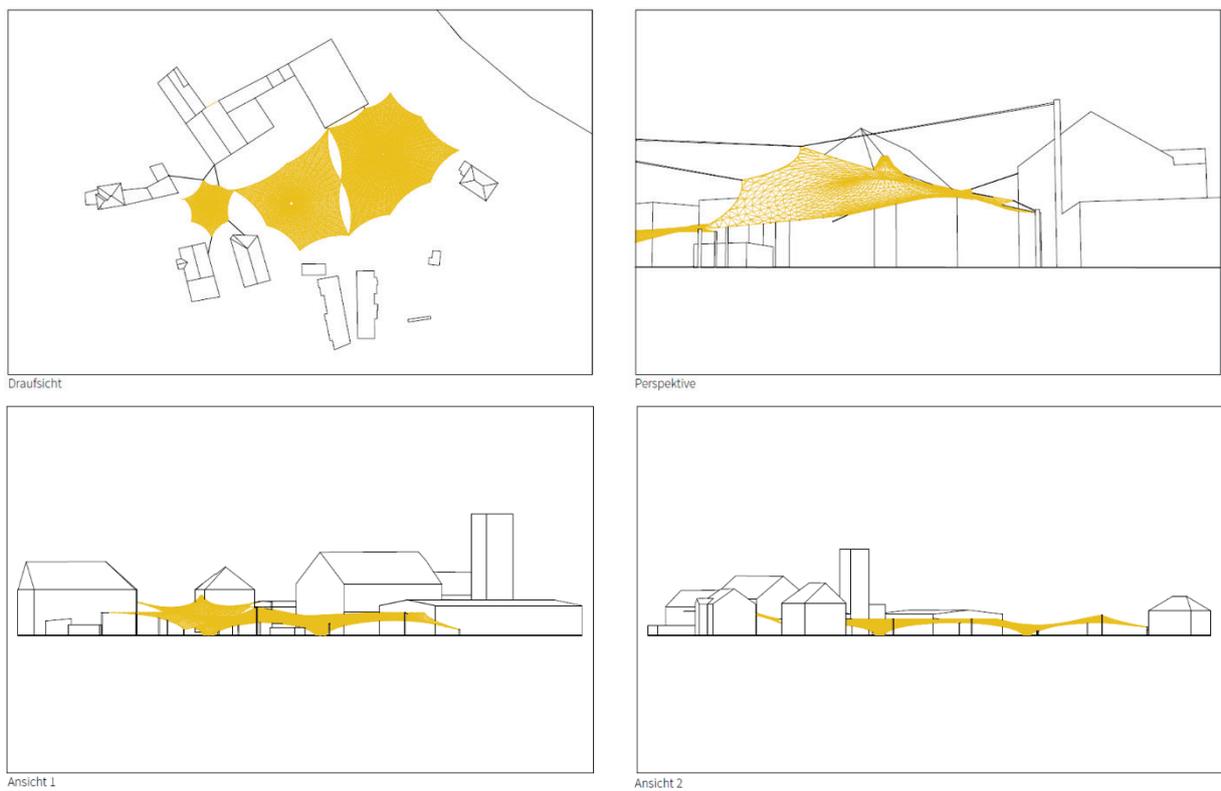


Abbildung 94: Stadtfeuerwache Variante 2, Tiefpunktflächen; TU Graz, Institut für Städtebau.

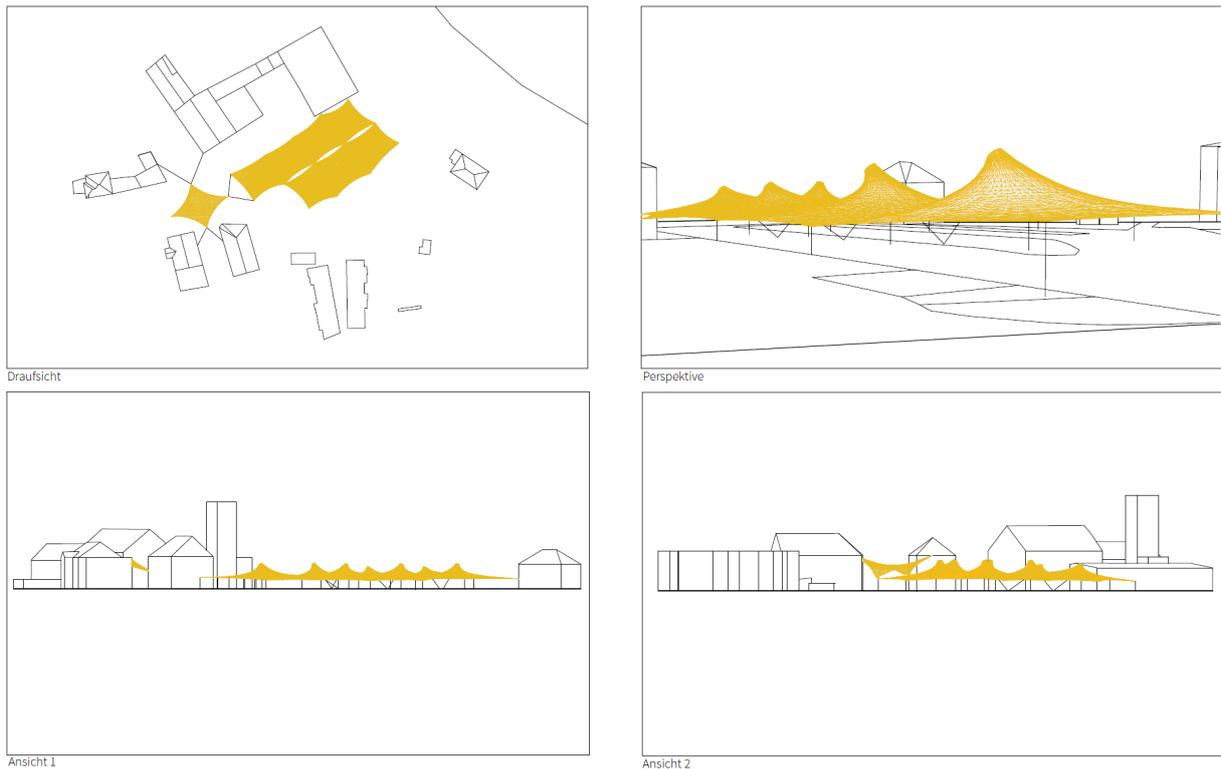


Abbildung 95: Stadtfeuerwache Variante 2, Hochpunktflächen; TU Graz, Institut für Städtebau.

Parkplatz Stadtfeuerwache Variante 1 – Bogengestützte Dachflächen

Der gesamte Parkplatz wird mit sechs randgestützten Bogenformen über dreieckigen Grundrissen überdacht. Die Dreipunktbögen sind jeweils gegeneinander höhenversetzt, so dass sich im Innenraum interessante Durchblicke und Leichteinfälle ergeben. Müllinsel und Stellplätze der Bergwacht an der parkplatzeinfahrt sind mit Sonderelementen - einer senkrechten Bogenform und einem Vierpunktsegel – in die Überdachung integriert. Alle diese Elemente sind freistehend. Ein von den angrenzenden Gebäuden abgespanntes Dreipunktsegel überspannt die Straße im Bereich der Parkplatzeinfahrt und markiert so ein Stadttor.

Parkplatz Stadtfeuerwache Variante 2 – Tiefpunktflächen

Zwei punktgestützte Dachflächen mit je einem Tiefpunkt überdachen den gesamten Parkplatz. Die größere Fläche umfasst außen neun Haltepunkte, die kleinere sieben. Die zirka mittig positionierten Tiefpunkte befinden sich über der begrüneten Sickermulde zwischen den Stellplatzeilen, so dass die Dachflächen überwiegend hierhin entwässert werden können. Im Zufahrtbereich wird über der Mühltaler Straße mit einer weiteren punktgestützten Fläche überspannt. Bei dieser handelt es sich um eine Hochpunktfläche mit sechs Haltepunkten an den Rändern, die zum Teil mit den angrenzenden Gebäuden verspannt sind.

Parkplatz Stadtfeuerwache Variante 3 – punktgestützte Hochpunktflächen

Die Parkplatzüberdachung besteht aus sieben in zwei Reihen aneinander gefügten punktgestützten Flächen mit je einem Hochpunkt. Im Gegensatz zu den beiden anderen Varianten gibt es hier keinerlei Dachflächen in Bodennähe. Die Entwässerung erfolgt über die Ränder in die bestehenden Grünflächen und Sickermulden. Im Zufahrtbereich wird die Mühltaler Straße mit einem Vierpunktsegel, das teilweise von den angrenzenden Gebäuden abgespannt wird, überdeckt.

3.2.3. Testentwurf Parkplatz Max Tendler Straße

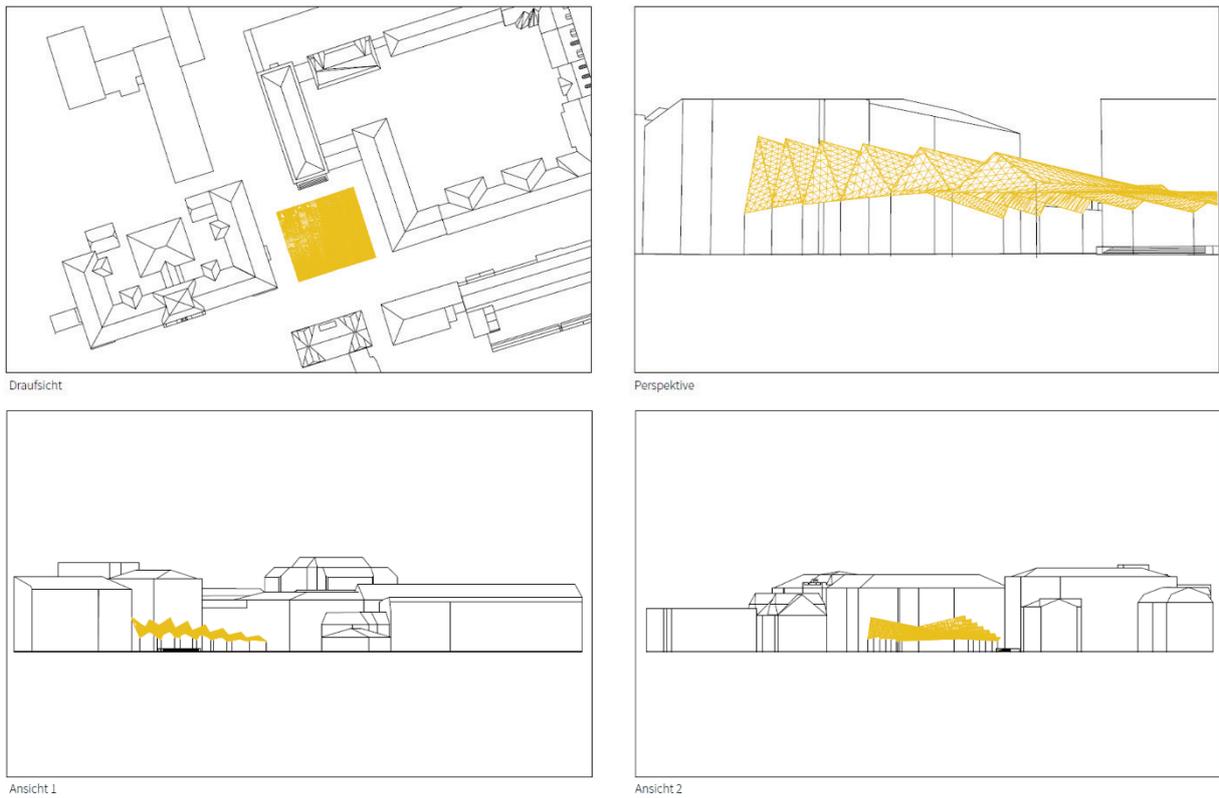


Abbildung 96: Max Tendler Straße Variante 1, Kehl- und Gratform; TU Graz, Institut für Städtebau.

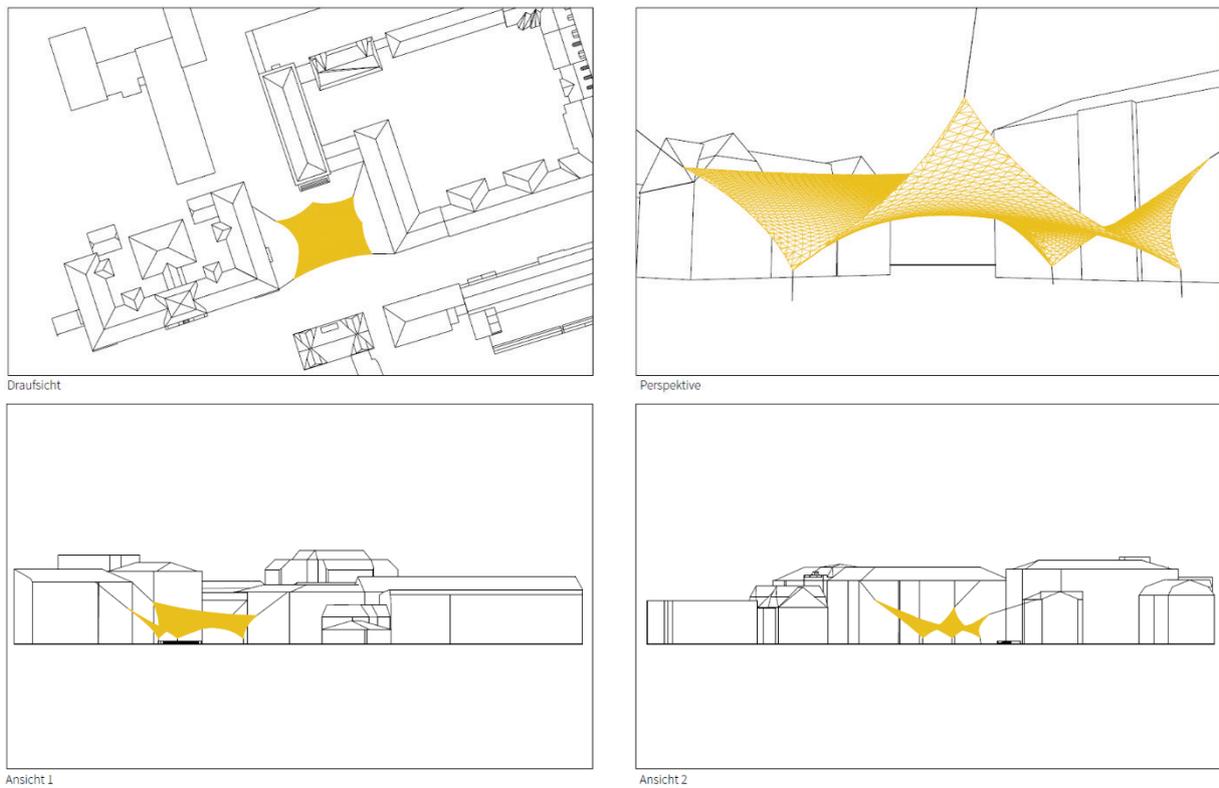


Abbildung 97: Max Tendler Straße Variante 2, Siebenpunktsegel; TU Graz, Institut für Städtebau.

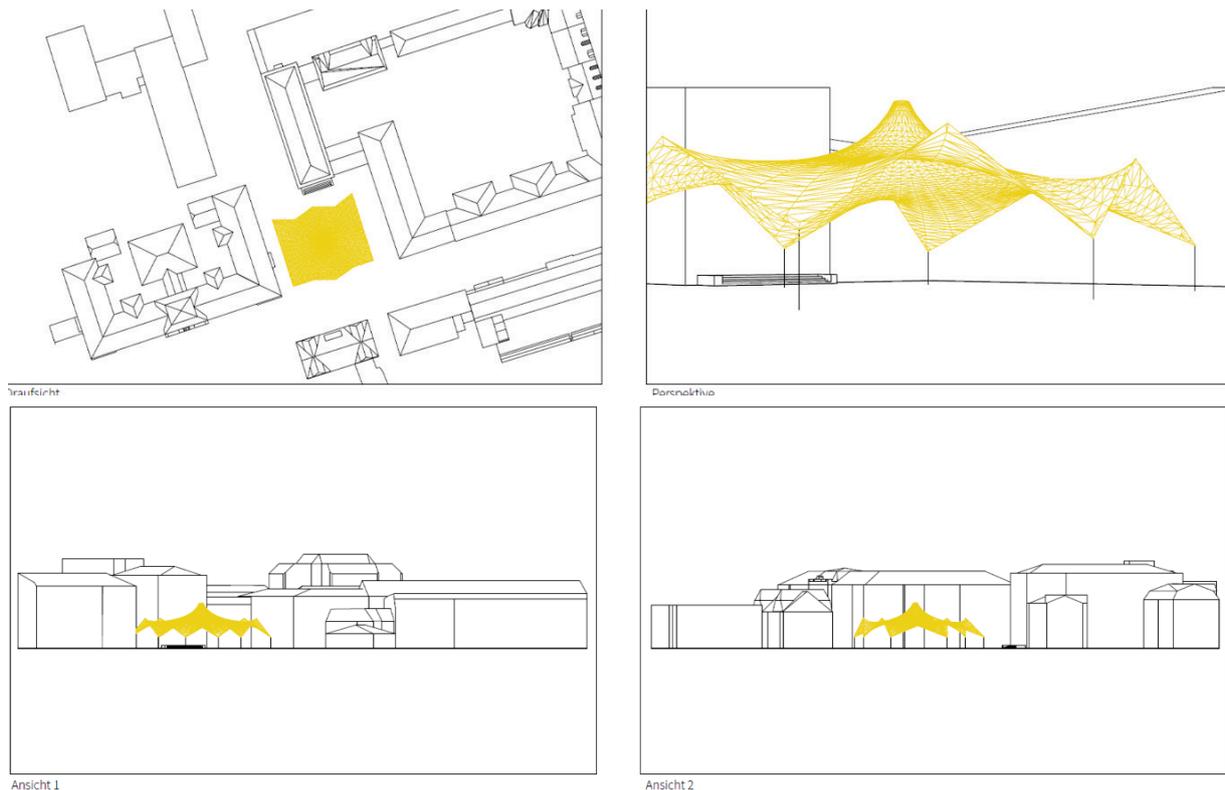


Abbildung 98: Max Tandler Straße Variante 3, Hochpunktfläche; TU Graz, Institut für Städtebau.

Parkplatz Max Tandler Straße Variante 1 – Kehl- und Gratform

Über nahezu quadratischem Grundriss werden in annähernder Nord-Süd-Richtung sechs Firstachsen gebildet. Trauf- bzw. Firstpunkte sind jeweils nicht auf einer Höhenlinie, sondern versetzt. 14 Hauptstützen sorgen für größtmögliche Stützenfreiheit am Platz darunter. Dadurch ist neben der Parkplatzfunktion auch eine vielfältige andere urbane Nutzung möglich. Die gesamte Überdachung ist mit Abstand von den Gebäuden freistehend positioniert.

Parkplatz Max Tandler Straße Variante 2 – Siebenpunktsegel

Die Platzüberdachung ist als Segel mit vier von umliegenden Gebäuden abgespannten Hochpunkten und drei zum Boden abgespannten Tiefpunkten konzipiert. Bis auf diese drei Tiefpunkte bleibt der gesamte Platzbereich unberührt. Das Dach scheint frei über dem Platz zu schweben. Eine nahezu ungehindert bespielbare Fläche entsteht, die neben der Stellplatzfunktion offen für vielfältige Nutzungen ist.

Parkplatz Max Tandler Straße Variante 3 – Hochpunktfläche

Die Überdachung ist charakterisiert durch den mittig positionierten Hochpunkt. Die westlichen und östlichen Ränder sind im Grundriss linear gestaltet mit abwechselnden Hoch- und Tiefpunkten. Im Norden und Süden sind die Ränder mit Vor- und Rücksprüngen gestaltet. Es ist davon auszugehen, dass die Unterstützungsstruktur für den zentralen Hochpunkt komplex ausfallen müsste, um darunter einen stützfreien Platz zu erhalten.

3.2.4. Stadträumliche und gestalterische Potentiale

Hinsichtlich Nutzungssynergien geben sowohl der Ort selbst, als auch die Hülle Ideen und Möglichkeiten vor. Das heißt, eine Aufwertung und Nutzungsüberlagerung könnte grundsätzlich auch ohne Überdachung erfolgen, jedoch geben Dächer einem Ort andere Möglichkeiten und Bedeutung.

Bei näherer Betrachtung sind die räumlichen und gestalterischen Auswirkungen weitgespannter, solaraktiver Platz- und Straßenüberdachungen auf Basis von Membran- und Dünnglastechnologien im öffentlichen urbanen Raum auf das Stadtbild so divers wie die Fallbeispiele. Wirkungsfreie Überdachungen vormals freier Flächen kann es weder gestalterisch noch räumlich geben, jedoch bestimmt der konkrete Standort über Aufgaben- und Fragestellungen, Möglichkeiten und Potentiale und damit auch die Wirkung. Eine Evaluierung von faktischen Auswirkungen ist mangels bestehender Beispiele mit der im Projekt ParaSol adressierten konkreten Aufgabenstellung nicht möglich, wohl aber eine fachkundige Herleitung und Einschätzung, basierend auf der Kenntnis historischer und aktueller Referenzbeispiele und der vorhandenen praktischen und wissenschaftlichen Erfahrung.

Eine Verallgemeinerung der räumlichen und gestalterischen Auswirkungen und Möglichkeiten erfolgte auf abstrakter Ebene bezogen auf stadträumliche Typen, Nutzungstypen, etc. und verlangt immer ein genaues Abwiegen zwischen Ähnlichkeiten und Unterschieden. Tatsächliche Gleichheit ist in Architektur und Städtebau praktisch inexistent. Für die ausgewählten Use-Cases in Leoben konnten jedoch sehr klare konkrete Aussagen getroffen werden, die wiederum für vergleichbare ähnliche Anwendungsfälle verallgemeinert werden können.

Je eine Variante wurde als Collage visualisiert und stellt eine prototypische Vision für die lokale stadträumliche Alternativnutzung zum bestehenden Parkplatz dar. Gleichzeitig liegen damit Gestaltungsbeispiele vor, die die Grundannahme der Formenvielfalt, Leichtigkeit und Luftigkeit weitgespannter Leichtbauweisen in Form von Seilnetzwerken und Membranen bestätigen. Auch die Prämisse, dass derartige Überdachungen ein Mittel zur Aufwertung des öffentlichen urbanen Raums sein können, wurde untermauert.

Priorisierung aus städtebaulicher und nutzungstechnischer Sicht

Parkplatz bei der Eissporthalle:

Hinsichtlich Nutzungsvielfalt und Gebrauchstauglichkeit erscheint Variante 3 am geeignetsten. Nicht nur lassen sich aus Form und Konstruktion heraus die geringsten Einschränkungen für die Nutzung ableiten, auch was die Robustheit und Vandalensicherheit angeht, sind hier die meisten Vorteile zu erwarten. Der Bereich unter dem Dach ist von allen Seiten offen und einsehbar, was für Sicherheit sorgt.

Die Bögen dienen sowohl als Tragkonstruktion des Daches, als auch für Einbauten, Beleuchtung, Hängeelemente. Es wäre sogar denkbar, „Möblierung“ mittels Seilzügen aufzuhängen und während des Stellplatzbetriebs in den Bögen verschwinden zu lassen. Alternativ kann diverse Platzausstattung in den Randbereichen kompakt und ordentlich verstaut werden.

Aufgrund seiner Lage bietet sich der Standort ideal für stark aktive Nutzungen wie Märkte, Events oder Sport an. Aber auch Bühnenbetrieb wäre möglich. Zum einen ist der Platz für eine mobile Zielgruppe

gut erreichbar, gleichzeitig sind kaum lärm- oder aktionsbedingte Konflikte mit der Nachbarschaft zu erwarten.

Die Collage zeigt eine Nutzung als Jugendspielplatz, der Aktivitäts- und Sportbereiche mit Rückzugsmöglichkeiten vereint. Er ist als Treffpunkt für eine junge urbane Zielgruppe gedacht, an dem man sich ungestört aber auch ohne zu stören frei entfalten kann.



Abbildung 99: Der Parkplatz bei der Eissporthalle vorher und nachher. Collage, TU Graz, Institut für Städtebau.

Parkplatz bei der Stadtfeuerwache:

Bei allen drei Varianten steht die Aufrechterhaltung der Parkplatzfunktion im Mittelpunkt. Eine Nutzungsüberlagerung durch Aneignungsfunktionen oder geplante Sondernutzungen außerhalb der Hauptnutzungsphasen ist nicht angedacht.

Als Zusatzfunktion ist die der Landmarke von stadträumlicher Bedeutung. Durch Platzierung eines Überdachungselements über der Mühltaler Straße wird die Hauptzufahrt zur Altstadt inszeniert und gleichzeitig öffentlichkeitswirksam ein Zeichen für erneuerbare Energien und neue Technologien gesetzt.

Als gestalterisch und stadträumlich geeignetste Variante wurde für die Visualisierung Variante 2 mit den beiden Tiefpunktflächen als Parkplatzüberdachung und der Hochpunktfläche als Straßenüberspannung gewählt. Reststoffsammelstelle und eine neue E-Ladestation für Elektrofahrzeuge werden gebündelt bzw. eingefasst. Der Zugang zum Glacisark markiert.

Das Schaubild zeigt die Gegenüberstellung dieses stadträumlich bedeutenden Ortes vor und nach einer entsprechenden Umgestaltung.



Abbildung 100: Zufahrt zum Parkplatz bei der Stadtfeuerwache vorher und nachher. Collage, TU Graz, Institut für Städtebau.

Parkplatz an der Max Tandler Straße

Alle drei Entwurfsvarianten sind als Dächer mit möglichst wenig Bodenberührung konzipiert. Ziel ist, den Platz möglichst stützenfrei zu gestalten und möglichst wenig räumliche Einschränkungen zu erzeugen. Sowohl der Parkplatz in seiner derzeitigen Form, als auch mannigfaltige urbane Aneignungsformen außerhalb der Nutzungszeiten sollen so möglich sein.

Die Überdachung verbessert nicht nur den Parkplatz an sich, sie markiert einen Raum, der außerhalb der Amts- und Arbeitszeiten in den angrenzenden Gebäuden zur freien Verfügung steht. Als gestalterisch und stadträumlich geeignetste Variante wurde für die Visualisierung Variante 2 mit dem zwischen die Häuser gespannten Siebenpunktsegel gewählt.

Die Schaubilder zeigen die Gegenüberstellung des urbanen Platzes vor und nach der Überdachung in Tagesnutzung als Parkplatz und in Freizeitnutzung als belebten Treffpunkt und Interaktionsort ohne Konsumzwang.



Abbildung 101: „Max Tandler Platz“ derzeitige Nutzung werktags, TU Graz, Institut für Städtebau.



Abbildung 102: „Max Tandler Platz“ als überdachter Parkplatz (oben) und als urbane Aneignungsfläche außerhalb der Betriebszeiten (unten). Collage, TU Graz, Institut für Städtebau.

4. Material, Konstruktion und Energie – Randbedingungen und Potentiale

In Abschnitt 2.4 ist die Herleitung einer vereinfachten Methodik beschrieben, die für die Abschätzung der Solarerträge eines integrierten PV-Systems im Rahmen der Entwurfsplanung herangezogen werden kann. Dieses Verfahren soll anhand der insgesamt acht Entwürfe für die drei Projektgebiete überprüft werden.

4.1. Varianten

Die drei Projektgebiete sind in Abschnitt 3.1 beschrieben, die Testentwürfe in Abschnitt 3.2. Die Modelle der dazugehörigen Entwurfsvarianten sind nachfolgend vereinfacht dargestellt:

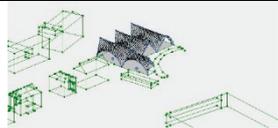
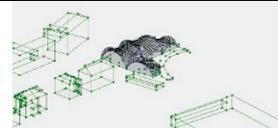
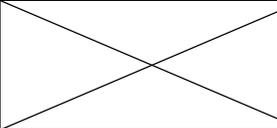
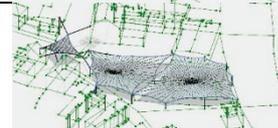
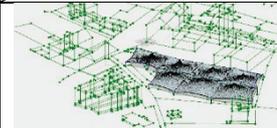
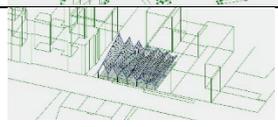
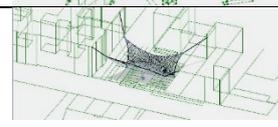
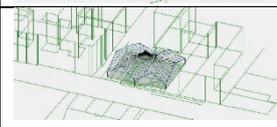
Projektgebiet	Variante 1	Variante 2	Variante 3
Eissporthalle (EH)			
Feuerwache (FW)			
Max-Tandler-Straße (MTP)			

Tabelle 7: Entwurfsvarianten für die drei Projektgebiete.

Die Simulationsberechnungen wurden unter Berücksichtigung der vorhandenen Bebauung, sofern Daten dafür vorlagen, durchgeführt. Die bauliche Verschattung ist somit in die Ertragsberechnung eingeflossen. Die nachstehenden geometrischen Kennwerte werden für eine vergleichende Bewertung verwendet.

- Membranfläche
- Grundfläche
- Verhältnis Membran- zur Grundfläche
- Mittlere Größe des Gitters

Die Gegenüberstellung dieser Werte dient dem Abgleich der Werte mit den Grundtypen, auf Basis derer das Verfahren abgeleitet wurde.

Obleich die überspannten Grundflächen stark variieren (MTP2: 596 m², FW2: 2 659 m²) wirkt sich dies kaum auf das Flächenverhältnis aus. Die Entwurfsvarianten liegen im Wertebereich der beiden Vergleichskategorien.

Auffällig sind bei den Entwurfsvarianten FW1 bis FW3 die hohen Werte für die mittlere Gittergröße. Der Grund hierfür liegt in der bereits beschriebenen Begrenzung der Gitteranzahl auf 110, siehe Abschnitt 2.1.4. Mit größer werdender Membranfläche steigt entsprechend auch die Gitterfläche. Im Falle der Weiterentwicklung dieses Verfahrens ist der Einfluss der Gitterfläche noch detailliert zu untersuchen.

		EH1	EH2	FW1	FW2	FW3	MTP1	MTP2	MTP3	Normal	Gering
Membranfläche	[m ²]	1 173	1 045	2 645	2 702	2 275	1 314	653	844	121	99
Grundfläche	[m ²]	928	930	2 402	2 659	2 200	1 018	596	781	101	90
Verhältnis Membran- / Grundfläche	[-]	1,26	1,12	1,10	1,02	1,03	1,29	1,10	1,08	1,20	1,09
Mittlere Gittergröße	[m ²]	10,7	9,6	24,0	24,6	20,7	10,3	5,9	7,8	1,1	0,90

Tabelle 8: Zusammenstellung der Membranflächen, der Grundflächen und deren Verhältnis zueinander sowie die mittlere Gittergröße für die Entwurfsvarianten sowie den beiden Vergleichskategorien.

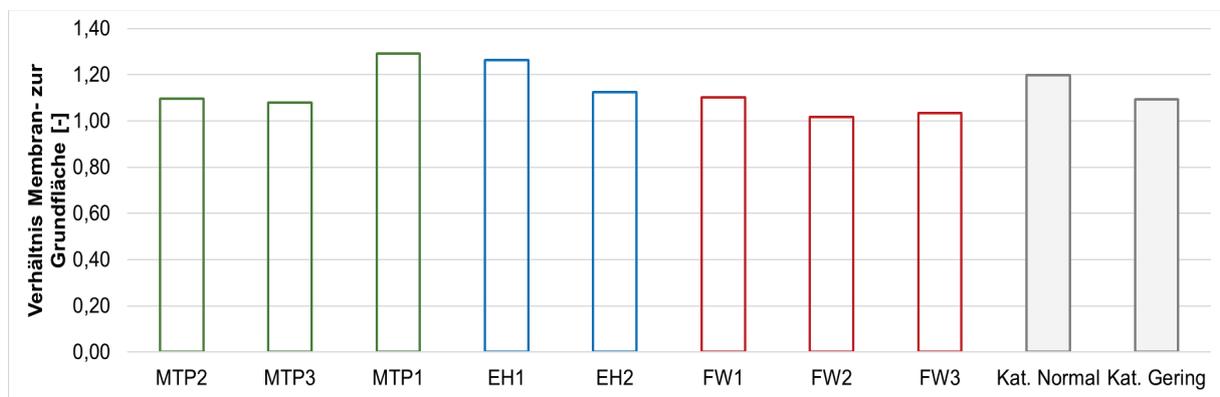


Abbildung 103: Verhältnis der Membran- zur Grundfläche für alle Entwurfsvariante sowie der beiden Vergleichskategorien.

4.2. Neue Materialien zur Solarenergienutzung

Die Einbettung von Dünnschichtzellen in Polymerfolien wie ETFE sind technologisch erforscht, dennoch ist die Frage der ausreichenden Langlebigkeit unter den zu erwartenden hohen mechanischen und thermischen Belastungen im Vergleich mit starren Glas-Folien Modulen nicht gänzlich geklärt. Konventionelle a-Si-Module sind langlebig im ETFE-Folienverbund, haben jedoch einen geringen Biegeradius. Durch die unterschiedlichen temperaturbedingten Ausdehnungen der ETFE-Folie und der PV-Einheit kann es zu Spannungen und zum Faltenwurf kommen. Beide haben einen Einfluss auf den Ertrag und auf die Haltbarkeit des ETFE-PV-ETFE-Laminats. Die Belastungen auf die Folie und deren Schichtaufbau könnten durch Verkleinerung der Modulflächen reduziert werden. Hier sind weitere spezifische Produkttests für die spezielle Anwendung der einzelnen Produkte erforderlich.

Die Zelltechnologien und die anwendbaren Zellen unterscheiden sich je nach Hersteller. Andere Photovoltaikbasismaterialien, angefangen von kristallinen Zellen, amorphen Siliziumzellen über Dünnschicht wie CIGS und organischen Zellen werden angeboten. Damit werden auch deren Wirkungsgrad und der damit verbundene Energieertrag beeinflusst. Auch die Eigenschaften im Schwachlichtverhalten unterscheiden sich. Als problematisch ist die Langlebigkeit der Zellen zu erachten, trotz Herstellergarantien. Die außerordentlichen Belastungen (durch Zug bei starkem Wind oder Schnee, Hagel) können die flexiblen Zellmodule frühzeitig zum Ausfall bringen. Als Alternative zu den flexiblen Photovoltaikzellen können auch Dünnschicht Glas-Glas PV-Zellen eingesetzt werden. Mit Glas-Glas Zellen können nicht nur höhere Wirkungsgrade und damit verbundener Energieertrag erreicht werden, sondern es werden auch Produktgarantien von bis zu 20 Jahren gegeben. Um die

Frage der Langlebigkeit der unterschiedlichen Zellentechnologien zu klären, wäre ein Feldversuch mit kleinen Aufbauten der Grundformen durchzuführen. Verschiedene Zellentechnologien sollten dabei zum Einsatz kommen, um diese direkt auf die Form bezogen miteinander vergleichen zu können.

Aktuell sind keine neuen Materialien hierfür marktverfügbar. Es besteht Forschungsbedarf im Bereich der Fertigung von individuellen und hinsichtlich Biegung flexiblen Formen der Photovoltaik. Besonders das Verhalten der PV-Module in Bezug auf Teilverschattung, diffuses Licht, Schwachlicht und deren daraus resultierenden Minderertrag der Photovoltaikanlage sind zu untersuchen, zudem die individuelle Verschaltung der PV-Zellen in Abhängigkeit von der Konstruktionsform.

Dennoch bieten die Konstruktionsformen neue gestalterische Potentiale. Welche bei den herkömmlichen Konstruktionsformen und durch die Verwendung von starren Modulen nicht möglich war.

4.3. Solarpotentiale

4.3.1. Bewertungsgrundlage Jahresdauerlinie

Die Jahres-Dauerlinien des grundflächenbezogenen Solarertrages der jeweiligen Projektgebiete werden nachfolgend den beiden Vergleichskategorien Normal und Gering gegenübergestellt und bewertet.

Parkplatz Eissporthalle

Für die Eisporthalle wurden die beiden Entwurfsvarianten EH1 und EH2 bewertet. Die dafür ermittelten Jahres-Dauerlinien sind weitestgehend deckungsgleich mit der Vergleichskategorie Normal.

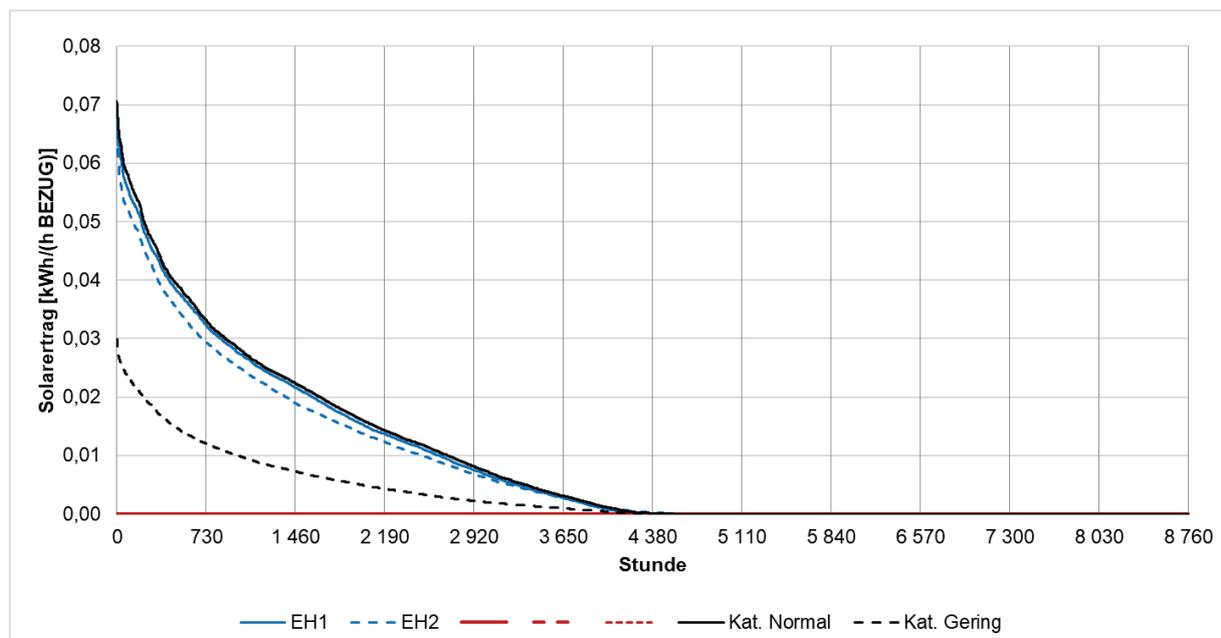


Abbildung 104: Solarertrag für die Entwurfsvarianten EH1 und EH2 sowie der Vergleichskategorien Normal und Gering jeweils als Jahres-Dauerlinie

Der Einfluss der Kehl- und Gratform (Typ 5) in der Variante EH1 wirkt sich weniger stark aus, als es gegebenenfalls zu erwarten gewesen wäre.

Parkplatz bei der Stadtfeuerwache

Für die Feuerwache wurden die drei Entwurfsvarianten FW1 bis FW3 bewertet. Die dafür ermittelten Jahres-Dauerlinien sind ebenfalls weitestgehend deckungsgleich mit der Vergleichskategorie Normal.

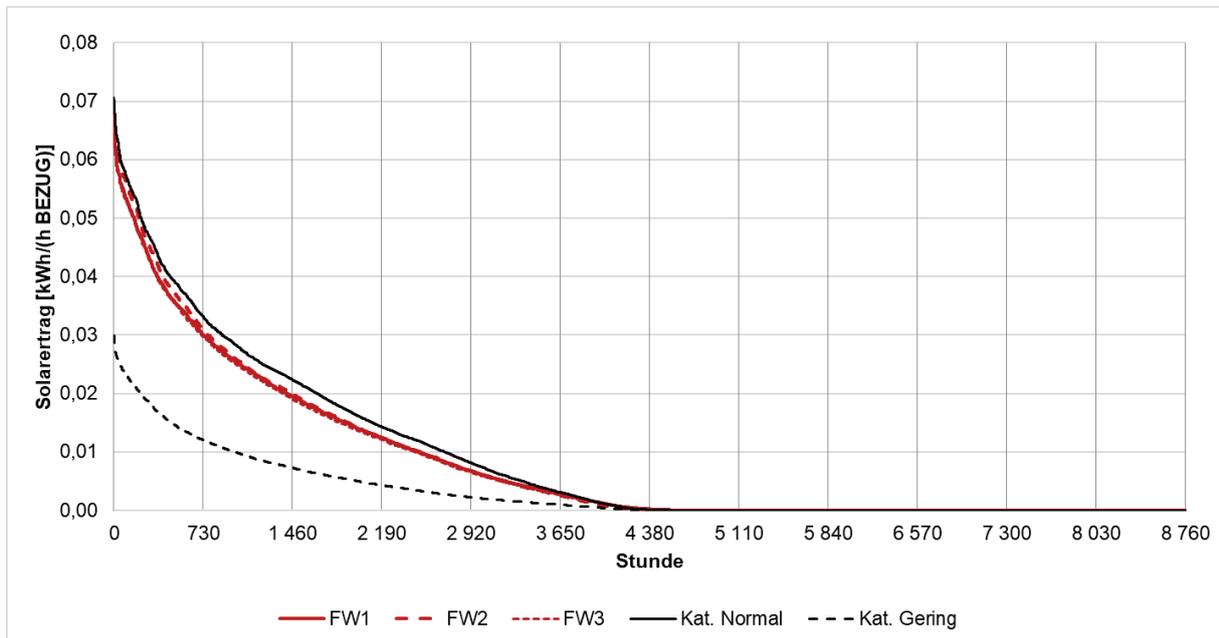


Abbildung 105: Solarertrag für die Entwurfsvarianten FW1 bis FW3 sowie der Vergleichskategorien Normal und Gering jeweils als Jahres-Dauerlinie.

Die sehr ähnlichen Jahres-Dauerlinien für die drei Entwurfsvarianten lassen sich mutmaßlich dadurch begründen, dass die Membrandachkonstruktion jeweils eher mit gering ausgeprägten Hoch- und Tiefpunkten geplant wurde.

Parkplatz an der Max-Tendler-Straße

Für den Platz an der Max-Tendler-Straße wurden ebenfalls drei Entwurfsvarianten (MTP1 bis MTP3) bewertet. Die dafür ermittelten Jahres-Dauerlinien weichen allerdings von beiden Vergleichskategorien deutlich ab.

Nachdem in diesem Projektgebiet eine ausgeprägte bauliche Verschattung vorhanden ist, wird der Solarertrag zusätzlich ohne den Einfluss der baulichen Verschattung berechnet.

Der Einfluss der baulichen Verschattung wird besonders bei der Variante MTP3 deutlich. Wenn diese nicht berücksichtigt wird, ist der Verlauf der Dauerlinie nahezu identisch mit dem Verlauf der Vergleichskategorie Normal. Für die Variante MTP2 ist gleichfalls ein deutlicher Einfluss der baulichen Verschattung erkennbar, wohingegen für MTP1 eindeutig die Dachform für den geringen Solarertrag ursächlich ist. Die Kehl- und Gratform (Typ 5) mit einer Firstausrichtung in Nord-Süd-Richtung ist hier als ungünstig einzustufen.

Um den Einfluss der örtlichen Bebauung berücksichtigen zu können, wurde eine Korrektur des Jahresertrags W_{prod} infolge baulicher Verschattung eingeführt. Eine quantitative Festlegung konnte im Rahmen des Sondierungsprojektes allerdings nicht erfolgen.

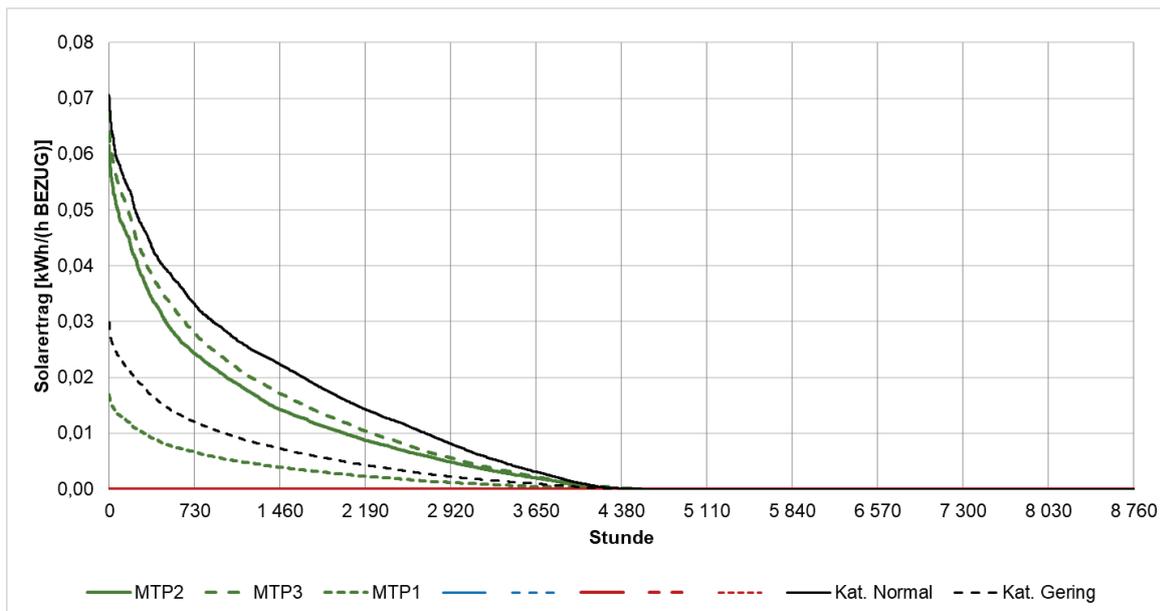


Abbildung 106: Solarertrag für die Entwurfsvarianten MTP1 bis MTP3 sowie der Vergleichskategorien Normal und Gering jeweils als Jahres-Dauerlinie.

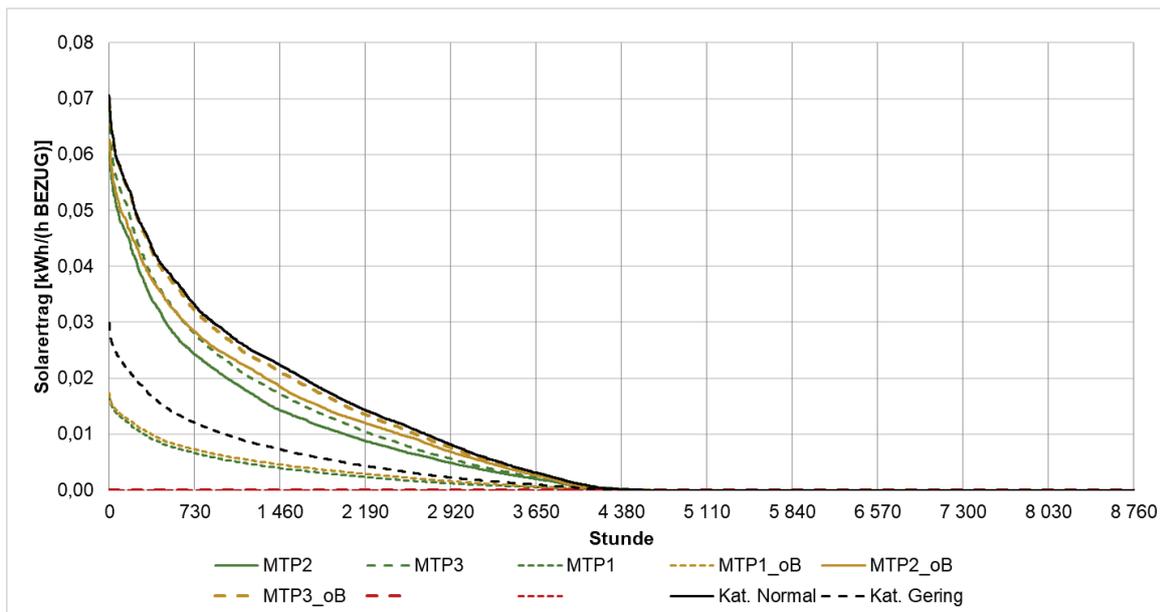


Abbildung 107: Solarertrag für die Entwurfsvarianten MTP1 bis MTP3 (mit und ohne Berücksichtigung der baulichen Verschattung) sowie der Vergleichskategorien Normal und Gering jeweils als Jahres-Dauerlinie.

4.3.2. Bewertungsgrundlage Monatswerte

Nachfolgend werden die Monatswerte der Solarerträge je Projektgebiet mit der bzw. den Vergleichskategorien gegenübergestellt. Aus den Darstellungen kann abgelesen werden, ob jahreszeitliche Schwankungen auftreten.

Parkplatz Eissporthalle

Grundsätzliche folgen die beiden Entwurfsvarianten dem Monatswert der Vergleichskategorie. Für die Variante EH2 ist der Verlauf allerdings unsteter und bei EH1 weicht der Wert für Dezember deutlich ab. Eine Auswertung des Verhältniswertes des monatlichen Solarertrags der Entwurfsvariante zur Vergleichskategorie macht dies deutlich (Abbildung 109). Dachform und Orientierung sind

augenscheinlich von Bedeutung für die Bewertung des monatlichen Ertrags. Eine weitergehende Untersuchung dieses Effektes erfolgte im Rahmen des Sondierungsprojektes allerdings nicht.

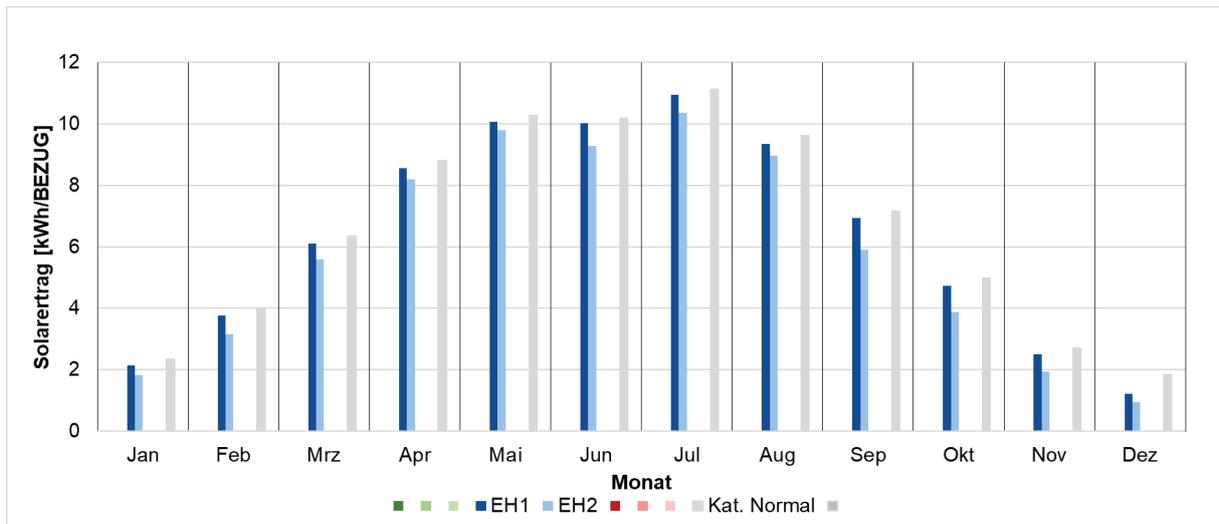


Abbildung 108: Solarertrag für die Entwurfsvarianten EH1 und EH2 sowie der Vergleichskategorie Normal als Monatswerte.

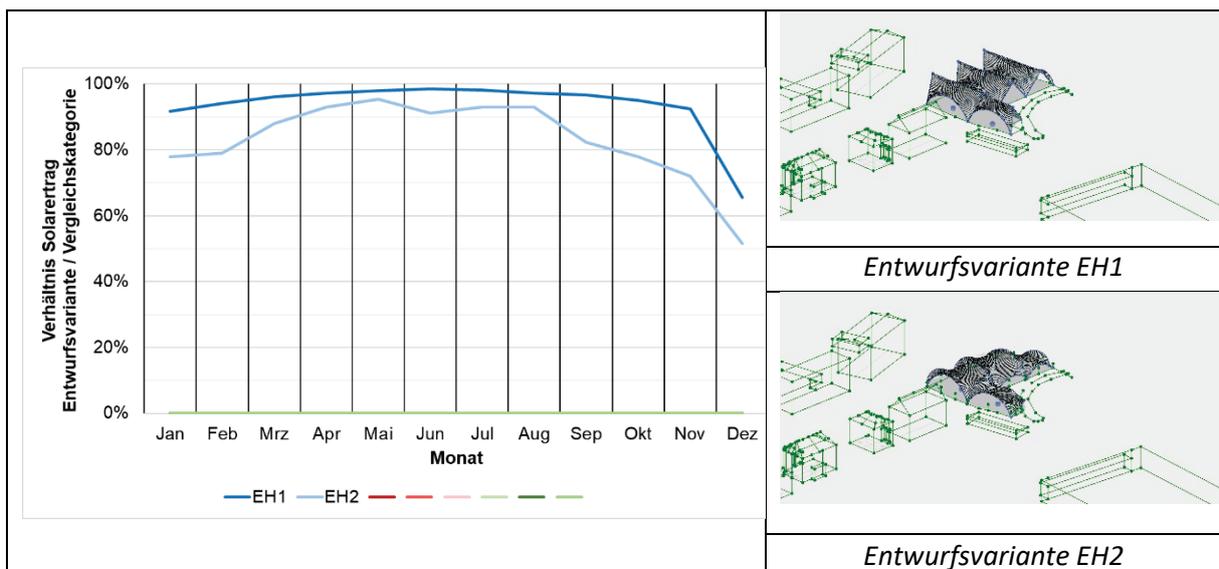


Abbildung 109: Verhältniswert des monatlichen Solarertrags von Entwurfsvariante zur Vergleichskategorie Normal für EH1 und EH2.

Parkplatz bei der Stadtfeuerwache

Grundsätzliche folgen auch hier die Entwurfsvarianten dem Monatswert der Vergleichskategorie. Hier werden die Abweichungen in der zweiten Jahreshälfte jedoch größer.

Die Dachformen der Varianten FW1 und FW3 verhalten sich im Jahresverlauf identisch. Es gibt monatliche Abweichungen in Bezug auf die Vergleichskategorie. Wohingegen die Dachform der Entwurfsvariante FW2 einen steteren Verlauf zeigt. Allerdings sind auch hier in den Wintermonaten stärkere Abweichungen feststellbar.

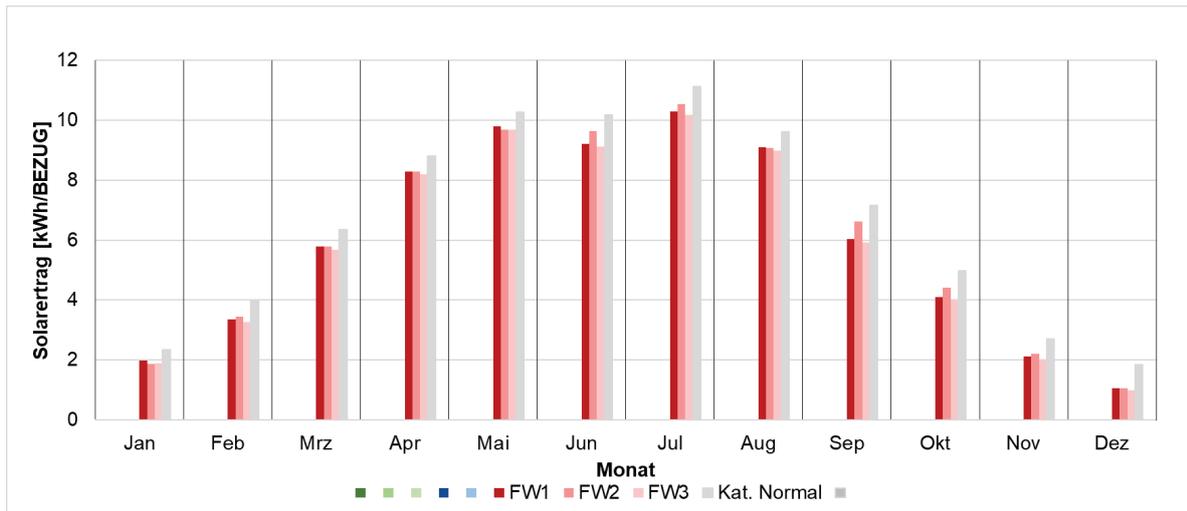


Abbildung 110: Solarertrag für die Entwurfsvarianten FW1 bis FW3 sowie der Vergleichskategorie Normal als Monatswerte

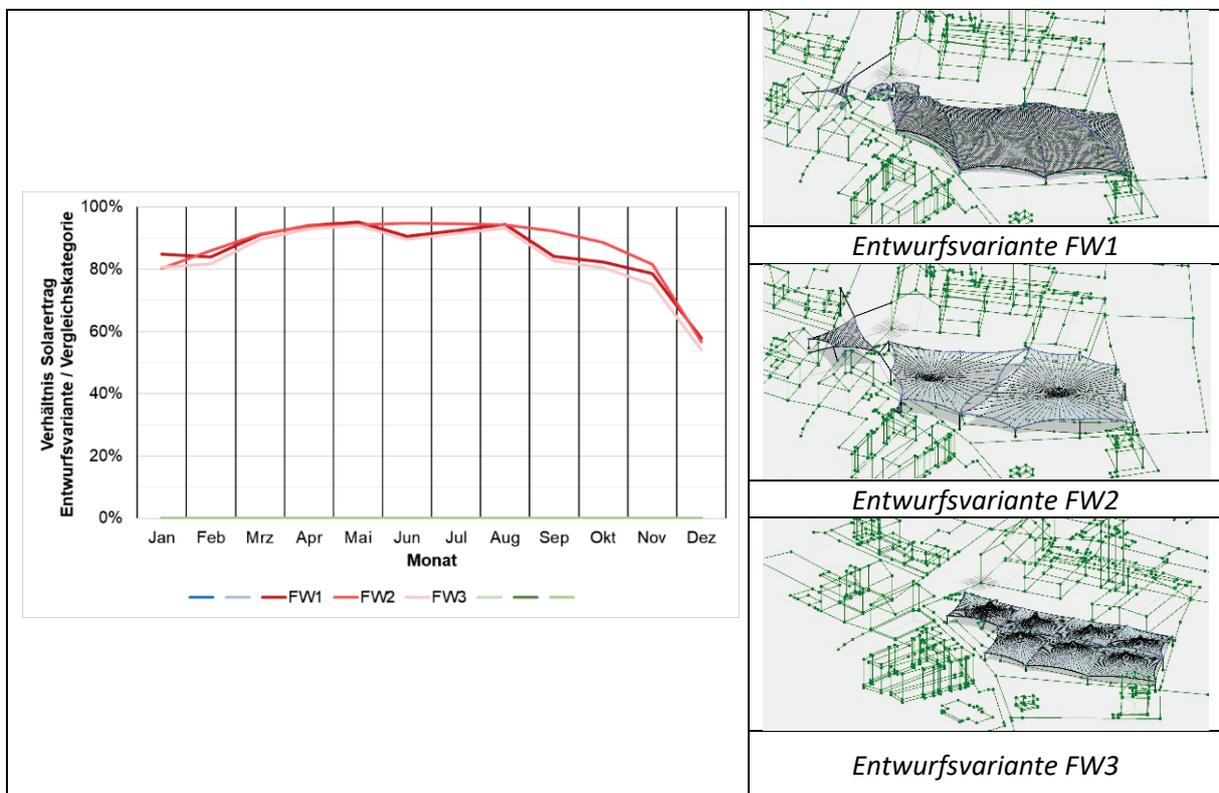


Abbildung 111: Verhältniswert des monatlichen Solarertrags von Entwurfsvariante zur Vergleichskategorie Normal für FW1 bis FW3

Parkplatz an der Max-Tendler-Straße

Der Vergleich der Monatswerte macht den Einfluss der baulichen Verschattung deutlich. Im Vergleich zu den beiden anderen beiden Projektgebieten ist Verhältniswert hier deutlich kleiner. Dies ist auf die umliegende Bebauung zurückzuführen. Weiterhin wird deutlich, dass insbesondere bei einer vorhandenen baulichen Verschattung die Wahl der Dachform für den Solarertrag von besonderer Bedeutung ist.

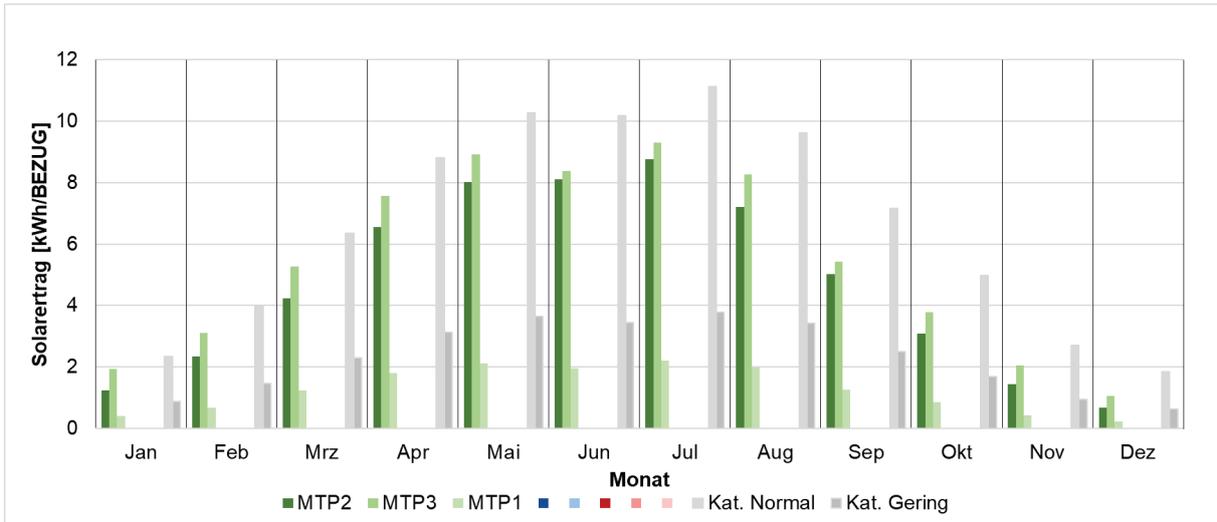


Abbildung 112: Solarertrag für die Entwurfsvarianten MTP1 bis MTP3 sowie der Vergleichskategorien Normal und gering als Monatswerte

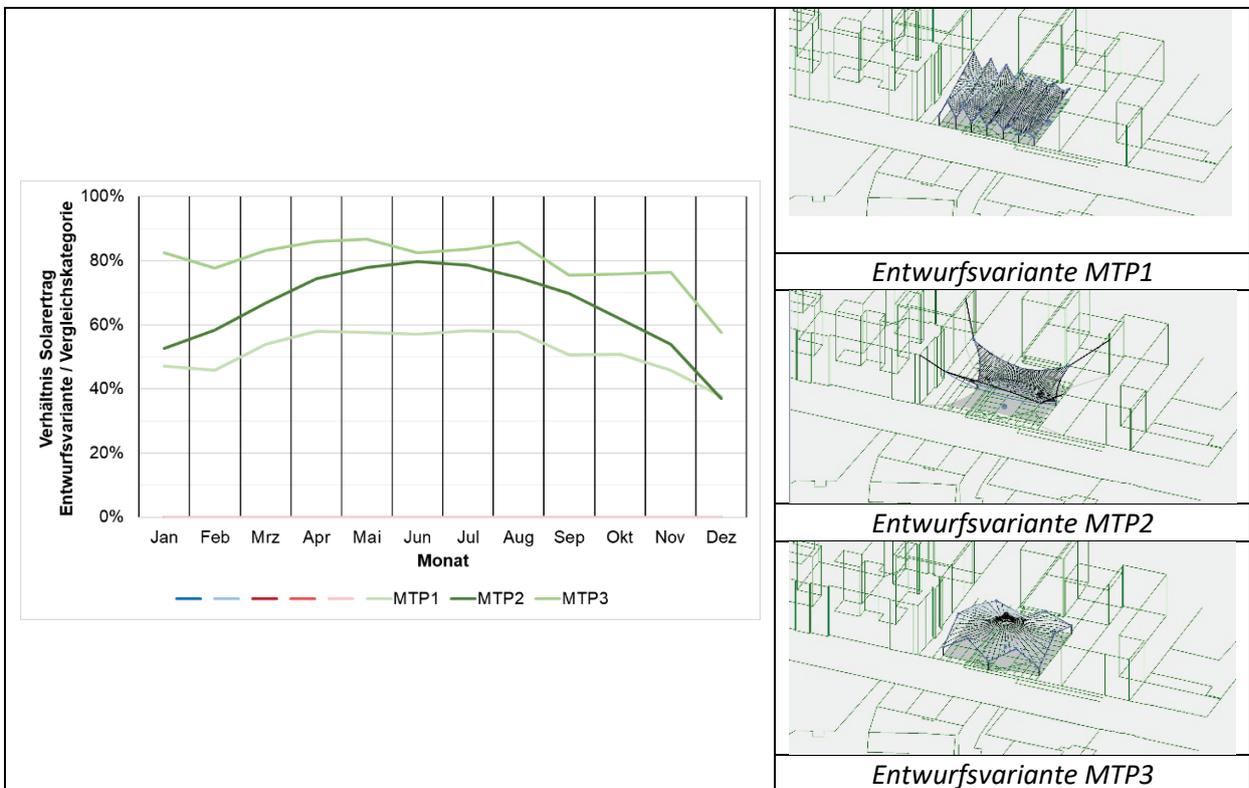


Abbildung 113: Verhältniswert des monatlichen Solarertrags von Entwurfsvariante zur Vergleichskategorie Normal für MTP2 und MTP3 sowie zur Vergleichskategorie Gering für MTP1

Jahreswerte

Auch in der Bewertung auf Basis des Jahreswertes spiegeln sich die bereits zuvor beschriebenen Effekte wider.

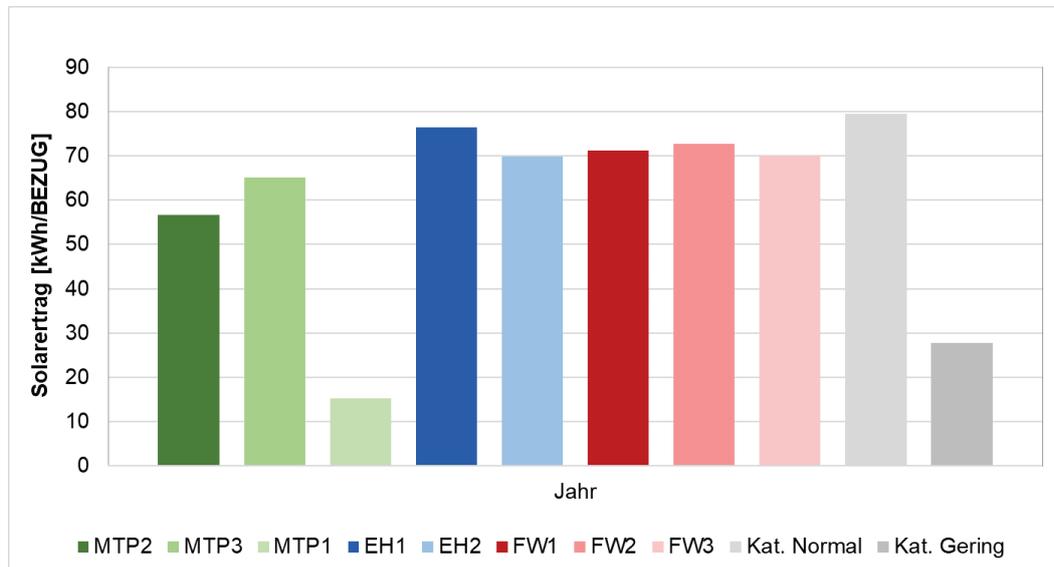


Abbildung 114: Jahreswerte der Solarerträge für alle Entwurfsvarianten und die beiden Vergleichskategorien.

4.3.3. Zusammenfassende Bewertung

Die Validierung der vereinfachten Methodik zur Abschätzung des Solarertrags mit Hilfe von acht Entwurfsvarianten in insgesamt drei Projektgebieten zeigt, dass sich mit dem gewählten Ansatz plausible Werte ermitteln lassen.

Mit Bezug auf die Jahreswerte wäre nur eine zusätzliche Abschätzung des Einflusses der Verschattung erforderlich. Hierfür wäre die Methodik entsprechend zu erweitern. Dies konnte nicht im Rahmen des Sondierungsprojektes erfolgen.

Sollen für eine Bewertung die Monatswerte herangezogen werden, erscheint ergänzend zur baulichen Verschattung auch eine detailliertere Betrachtung der Dachform und mutmaßlich der Orientierung für sinnvoll. Beide Einflüsse konnten im Rahmen des Sondierungsverfahrens allerdings ebenfalls nicht weiterverfolgt werden.

In der Gesamtschau kann die hier vorgestellte vereinfachte Berechnungsmethodik als mögliche Grundlage für eine Abschätzung des Solarertrags verwendet bzw. weiterentwickelt werden.

4.4. Bewertung Eigenverbrauchsanteil

Für die Bewertung des Eigenverbrauchsanteils des solarproduzierten Stroms wird ein Nutzungsprofil benötigt. Zieht man die Größe der Membranfläche ins Kalkül, in den Entwurfsvarianten liegen diese zwischen 1.000 m² und 2.700 m² mit Spitzenleistungen von 90 bis 180 kW, wird schnell deutlich, dass eine Kombination mit der überdachten Nutzung nur zur geringen Eigenverbrauchsanteilen führen wird. Daher wird im Weiteren unterstellt, dass der erzeugte Strom in ein angrenzendes Gebäude eingespeist wird. Als Gebäudenutzung soll eine Büronutzung angenommen werden.

4.4.1. Standardlastprofil Bürogebäude

Als Standardlastprofil wird vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie, Bekanntmachung der Regeln für Energieverbrauchswerte und der Vergleichswerte im Nichtwohngebäudebestand⁹⁰ herangezogen. Für die Lastprofile werden Viertelstundenwerte in Watt je 1 000 kWh Jahresverbrauch angegeben. Zusätzlich werden die Lastprofile differenziert nach Samstag, Sonntag und Werktag.

Aus⁹¹ kann für Bürogebäude mit unterschiedlicher technischer Ausstattung der Jahresstromverbrauch je Quadratmeter Nettogrundfläche entnommen werden:

- Bürogebäude, nur beheizt: 35 kWh/(m²a)
- Bürogebäude, temperiert und belüftet 85 kWh/(m²a)
- Bürogebäude, vollklimatisiert 105 kWh/(m²a)

Die sich daraus ergebenden Lastprofile auf Stundenwerte sind jeweils für eine Nettogrundfläche von 100 m² nachfolgend dargestellt.

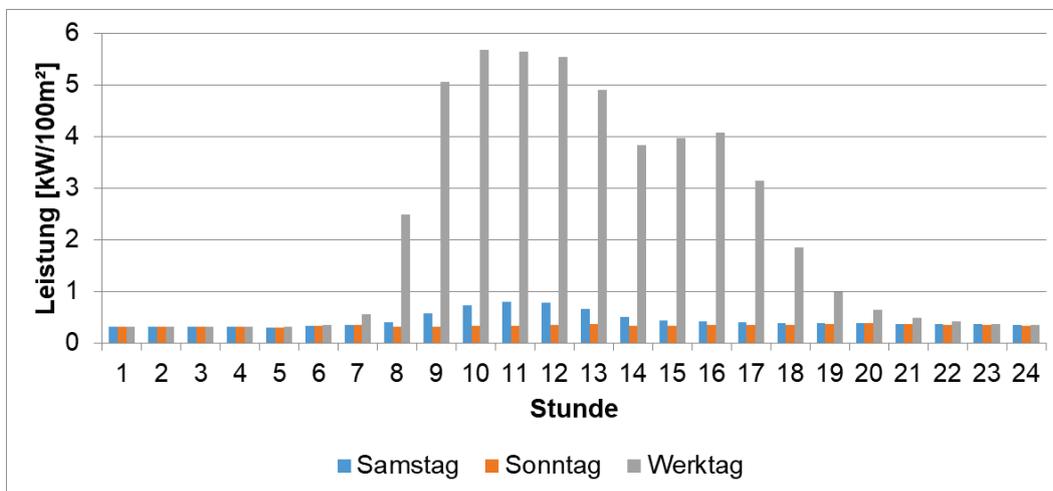


Abbildung 115: Stundenwerte des Standardlastprofils G1 für einen Stromverbrauch von 35 kWh/(m²a) bezogen auf 100 m².

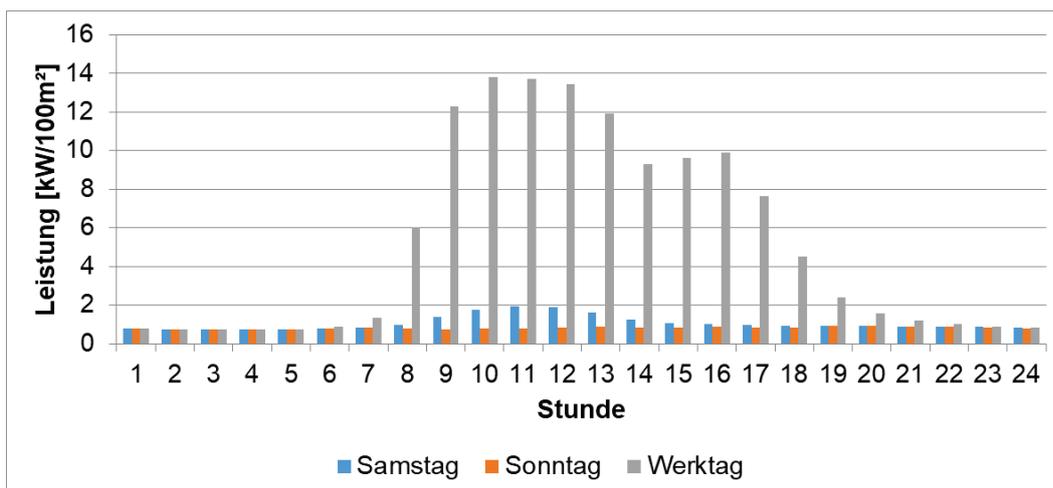


Abbildung 116: Stundenwerte des Standardlastprofils G1 für einen Stromverbrauch von 85 kWh/(m²a) bezogen auf 100 m².

⁹⁰ Bundesministerium für Wirtschaft und Energie und Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit 2015.

⁹¹ Bundesministerium für Wirtschaft und Energie und Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit 2015.

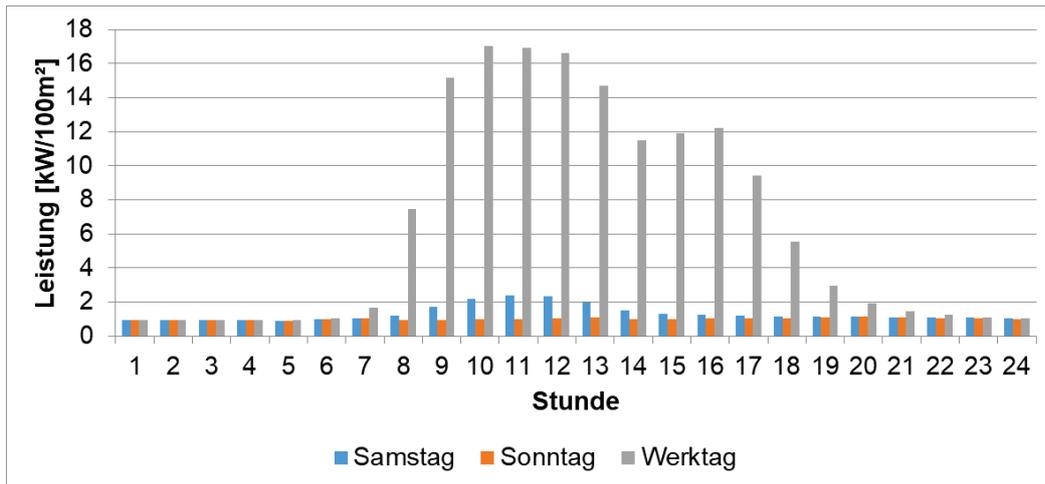


Abbildung 117: Stundenwerte des Standardlastprofils G1 für einen Stromverbrauch von 105 kWh/(m²a) bezogen auf 100 m².

4.4.2. Eigenverbrauchsanteil

Für jede Entwurfsvariante soll der Eigenverbrauchsanteil für zwei Szenarien ermittelt werden. Im ersten Szenario soll der kumulierte Jahresstromverbrauch gleich dem Solarertrag entsprechen. Im zweiten Szenario soll der produzierte Strom vollständig im Gebäude verbraucht werden, das heißt basierend auf den vorliegenden Stundenwerten darf keine Einspeisung in das öffentliche Stromnetz erfolgen.

Der Eigenverbrauchsanteil wird wie folgt berechnet:

$$\text{Eigenverbrauchsanteil} = \frac{\text{produzierte Strommenge} - \text{Netzeinspeisung}}{\text{produzierte Strommenge}}$$

Szenario 1

Der Eigenverbrauchsanteil soll für jede Entwurfsvariante auf Grundlage des Jahresstromverbrauchs eines temperierten und belüfteten Bürogebäudes unter der Voraussetzung ermittelt werden, dass der jährliche Solarertrag gleich dem Jahresverbrauch entspricht. Für die vergleichende Bewertung der Entwurfsvarianten stehen dann der Eigenverbrauchsanteil und die erforderliche Nettogrundfläche des Bürogebäudes zur Verfügung.

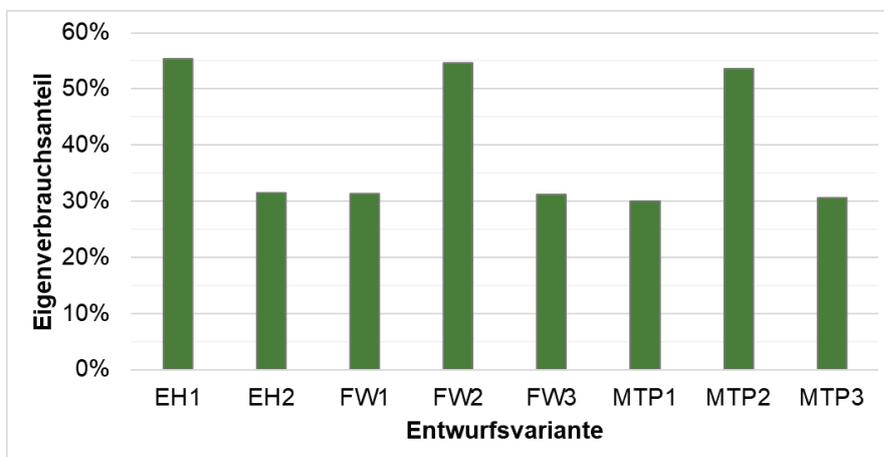


Abbildung 118: Eigenverbrauchsanteil je Entwurfsvariante für den Fall, dass der Jahresstromverbrauch der produzierten Strommenge entspricht.

Der Eigenverbrauchsanteil liegt bei fünf Variante bei etwa 30 % und bei drei Varianten bei etwa 55 %. Es lässt sich jedoch aufgrund der bekannten Entwurfparameter keine Regel daraus ableiten.

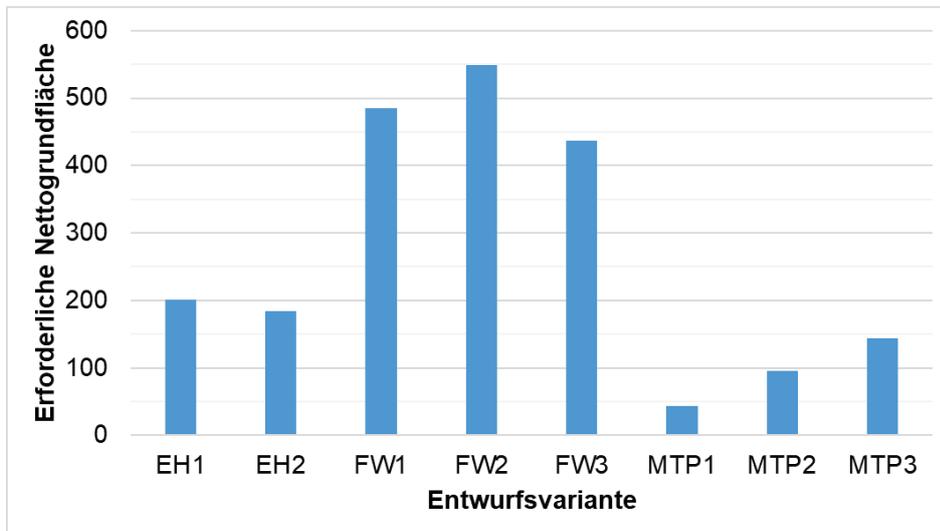


Abbildung 119: Erforderliche Nettogrundfläche des fiktiven Bürogebäudes je Entwurfsvariante für den Fall, dass der Jahresstromverbrauch der produzierten Strommenge entspricht.

Die Größe der Nettogrundfläche des fiktiven Bürogebäudes, welches den produzierten Strom verbraucht, variiert natürlich in Abhängigkeit der Größe der Membranfläche und der Dachform. Es lässt sich jedoch feststellen, dass auch bei den großen Membranflächen (Projektgebiet FW) unter den zuvor beschriebenen Randbedingungen, die erforderliche Nettogrundfläche recht klein sein kann.

Szenario 2

Mit dem zweiten Szenario soll untersucht werden, in welchem Maße die Nettogrundfläche steigt, wenn der Eigenverbrauchsanteil 100 % betragen soll. Es soll also keine Einspeisung in das öffentliche Netz stattfinden.

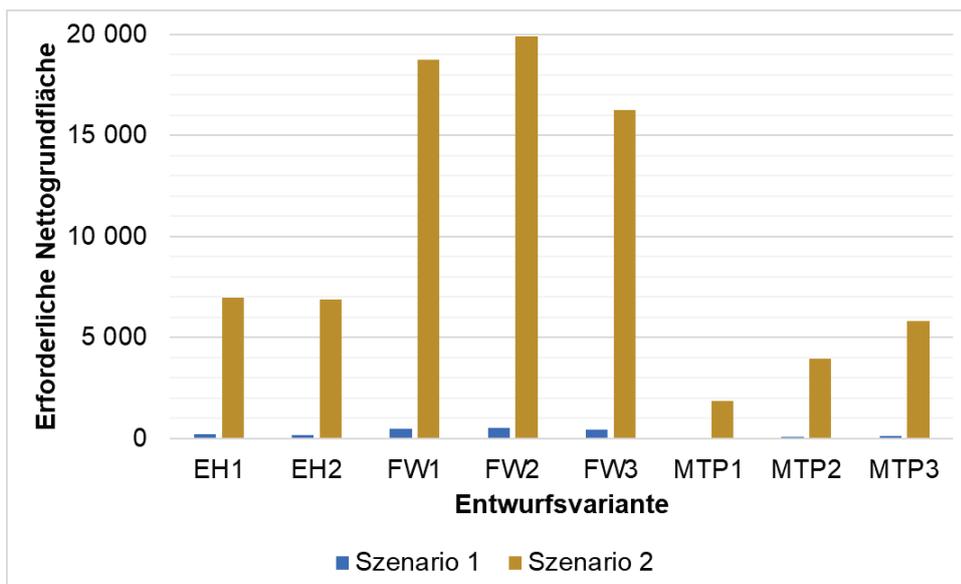


Abbildung 120: Erforderliche Nettogrundflächen des fiktiven Bürogebäudes je Entwurfsvariante für die Szenarien 1 und 2.

Der Vergleich zeigt deutlich, dass das Szenario 2 signifikant auf die erforderliche Größe der Nettogrundfläche auswirkt. Insbesondere die großen Flächen des Projektgebiets FW führen dazu, dass ein entsprechender Verbraucher vorhanden sein müsste.

4.5. Fazit Solarpotentiale

Die Anwendung der vereinfachten Bewertungsmethodik auf die unterschiedlichen Entwürfe hat gezeigt, dass für den Entwurfszeitpunkt hinreichend genaue Werte ermittelt werden können. Die Methodik im Detail jedoch noch verfeinert werden sollte, um weitere projektspezifische Aspekte berücksichtigen zu können.

Die Betrachtungen zum Eigenverbrauchsanteil zeigen, dass im Rahmen der Projektentwicklung, sofern die Nutzung des solarproduzierten Stroms eines der Projektziele ist, Zielvorgaben und Erwartungshaltungen frühzeitig geklärt werden müssen.

5. Ergebnisse

5.1. Transdisziplinäre Erkenntnisse über Synergie- und Energiepotentiale durch solaraktive Verkehrsflächenüberdachung

Als wichtigste Synergie einer gut positionierten solaraktiven Verkehrsflächenüberdachung im urbanen Raum wurde im ExpertInnenworkshop die Sichtbarkeit identifiziert– der gesamtgesellschaftliche Mehrwert als Imageträger zur Bewusstseinsbildung und Förderung des Diskurses über die Möglichkeiten der alternativen Energiegewinnung und Fragen des Klimawandels. Eine Imageträgerschaft ist für unterschiedliche Bereiche und Themen möglich: zB. Stadtmarketing, Eigentümer/Betreiber, Werbefläche, Produktpräsentation, vor allem aber für ideelle Ziele, wie Klimaschutz und erneuerbare Energie. Dabei bestimmt der konkrete Standort die Möglichkeiten für Synergie und Mehrwert. Eine attraktive, qualitätsvolle Platzüberdachung wäre grundsätzlich auch ohne Energiegewinnung erfolgreich. Im Vordergrund einer erfolgreichen Realisierung stehen daher Stadtbild, Stadtfunktion und Nutzen, die Energiegewinnung ist ein wertvoller und bewusst eingesetzter zusätzlicher Mehrwert.

5.1.1. Energiepotentiale:

Es zeigte sich, dass sowohl Standort und Verschattung, die gewählte Geometrie als auch die Orientierung dieser Geometrie wie erwartet wesentlichen Einfluss auf den solaren Ertrag haben. Mithilfe der Bewertungsmatrix, der digitalen Prototypen und der Testentwürfe konnte der komplexe Einfluss der einzelnen Aspekte untersucht und analysiert werden. Die Erkenntnisse stellen wesentliche Grundlagen für nachfolgende Projekte, insbesondere das angestrebte Demonstrationsvorhaben, dar.

Anwendbarkeit bekannter marktverfügbarer PV-Technologien:

Besonders geeignet sind grundsätzlich Dünnschichtzellen auf Basis von a-Si oder CIGS sowie organische Solarzellen. Ist die Einbettung von Dünnschichtzellen in Polymerfolien wie ETFE zwar technologisch erforscht, so ist die Frage der ausreichenden Langlebigkeit unter den zu erwartenden hohen mechanischen und thermischen Belastungen im Vergleich mit starren Glas-Folien Modulen nicht gänzlich geklärt. Besonders das Verhalten der PV-Module in Bezug auf Teilverschattung, diffuses Licht, Schwachlicht und deren daraus resultierenden Minderertrag der Photovoltaikanlage sind zu untersuchen.

Zusätzlicher Forschungsbedarf

- Langzeittests der flexiblen Photovoltaikzellen in Bezug auf die Haltbarkeit und Ausfallshäufigkeit unter starker Belastung (mechanisch sowie thermisch)
- PV-Zellen und Membranintegration für Anwendungsfälle mit höherer mechanischer und thermischer Belastung im Vergleich zu konventionellen Aufbauten
- Anfertigungen von individuellen, frei zu gestaltenden Photovoltaikerelementen, die auch hinsichtlich Biegung (zweidimensional), Form und Abmessungen frei wählbar sind.
- Langzeittests zum Verhalten der PV-Module in Bezug auf Teilverschattung, diffuses Licht, und Schwachlichtverhalten, zur Optimierung der Energieerträge

- flexible Verschaltung der PV-Zellen in Abhängigkeit von der Konstruktionsform und deren Abmessungen, sodass hier bei einer möglichen Teilverschattung konstruktiv das Modul angepasst werden kann
- Verbindungstechnologie am Trägermaterial, die Einbettung der Photovoltaikzelle in das Material sowie die Langlebigkeit der Verbindungstechnologie angesichts der möglichen starken mechanischen Belastungen.
- Konstruktionsformen der Unterkonstruktion, wie Seilnetze mit Glas/Glas/PV (Dünnglas)
- Adaptive, wandelbare Systeme zur Ertragssteigerung

5.1.2. Transdisziplinäre Erkenntnisse über die Möglichkeiten der erneuerbaren Energieerzeugung und Erhöhung der Resilienz urbaner Energieinfrastrukturen:

Der hohe Bedarf an Kühlenergie während Hitzewellen führt zu einem hohen Strombedarf, der die Verteilnetze stark belastet. Durch die Koppelung der solaraktiven Verkehrsflächenüberdachungen an angrenzende Gebäude können Lastspitzen im öffentlichen Netz reduziert werden.

Die solaraktiven Verkehrsflächenüberdachungen können zur kommunalen Stromversorgung durch erneuerbare Energien beitragen.

5.1.3. Potentiale einer lokalen und quartiersweiten Nutzung und des erzeugten PV-Stroms

Bei solaraktiven Verkehrsflächenüberdachungen handelt es sich meist um großflächige Anlagen, die bei entsprechendem Solarangebot ein hohes Leistungspotential aufweisen. Dieses Leistungsangebot harmonisiert nicht mit den vor Ort zu erwartenden Nutzungen.

Für die ganzjährige Bereitstellung von Stromtankstellen, müssen – sofern nicht eine Betankung über Nacht als Regelszenario betrachtet wird – eine Schnellentladung und entsprechende Wiederbeladung ermöglicht werden. Dieses Lastprofil ist nur bedingt mit dem Erzeugungsprofil zu harmonisieren.

Als sinnvolle Anwendung erachtet wird die Koppelung von solaraktiven Verkehrsflächenüberdachungen mit angrenzenden Gebäuden, deren elektrische Grundlast in etwa der Spitzenlast der PV-Anlage entspricht. Sie könnten so unabhängig vom öffentlichen Stromnetz betrieben werden.

5.1.4. Identifikation urbaner Dienstleistungen und möglicher Geschäftsmodelle zur Erschließung der Potentiale

In Verbindung mit einem Realisierungsprojekt wird ein mittel- bis langfristiges Nutzungskonzept als sinnvoll erachtet, um die Aufwertung der Fläche dauerhaft sicherzustellen.

Der lokale Bezug wird als sehr bedeutsam angesehen. Der produzierte Strom könnte ein Baustein der lokalen Energiewende sein, um den Anteil der erneuerbaren Energien an der Stromerzeugung innerhalb der Stadtgrenzen zu erhöhen.

Die erzeugte Energie sollte primär in der unmittelbaren Umgebung zur Verfügung gestellt werden, um eine Beziehung zwischen Stromerzeugung und Stromnutzung herzustellen.

Eine zwingende Koppelung der solaren Stromerzeugung mit dem Nutzungskonzept erscheint nicht zielführend. Die erzeugte Strommenge bzw. die zur Verfügung stehende elektrische Leistung müsste dafür in einem günstigen Verhältnis zu den angedachten Nutzungen stehen.

Eine autarke Energieversorgung der mit der Überdachung in Verbindung stehenden Nutzung wird auch unter Verwendung von Batteriespeichern als eher unrealistisch bewertet.

5.2. Funktionale und stadträumliche Synergiepotentiale

Im Fokus des Interesses steht die Abschätzung und qualitative Bewertung möglicher Synergiepotentiale durch Platz- und Straßenüberdachungen im öffentlichen urbanen Raum. Sie werden unterteilt in funktionale (Usability, Straßendienst, Beleuchtung, Lärmschutz, etc.) und stadträumliche Implikationen (Verbesserung der Aufenthaltsqualität, räumliche Aufwertung, Ästhetisierung des Erscheinungsbildes von Infrastruktur- und Verkehrsflächen).

5.2.1. Stadträumlich

Bei entsprechendem bau- und ingenieurkünstlerischem Anspruch ist eine Ästhetisierung des Erscheinungsbildes und damit ein positiver, aufwertender Effekt für das Stadtbild und den umgebenden Raum nahezu immer erreichbar. Die Auswirkungen sind jedenfalls gravierend, weshalb in sensiblen Schutzzonenbereichen nur solche Orte bearbeitet wurden, die tatsächlich als verbesserungsfähig betrachtet wurden. Für die Beurteilung ist baukünstlerische Fachexpertise erforderlich. Objektive, auch für Nicht-Fachleute anwendbare Bewertungskriterien lassen sich dafür nur sehr eingeschränkt festlegen.

Interessanterweise wurde im ExpertInnenworkshop in AP5 ausgerechnet auch von Nicht-ArchitektInnen sehr stark die Meinung vertreten, dass speziell im innerstädtischen Kontext die ästhetische und räumliche Qualität, also die gestalterische Aufwertung der Aufenthaltsqualität des Raumes im Vordergrund stehen sollte, um Akzeptanz und Mehrwert zu erzeugen. Energiegewinnung wurde als willkommener Zusatznutzen betrachtet. Im Sondierungsprojekt bleibt sie jedenfalls als vordefinierte Mindestbedingung der Nutzungsüberlagerung mit einer ursprünglich monofunktionalen Stellplatzfläche bestehen.

Grundsätzlich gibt der Ort die Möglichkeiten hinsichtlich Gestaltung, Funktionalität und Aufwertung weitgehend vor, das zeigen die Untersuchungen der potentiellen Pilotprojektareale deutlich. Je monofunktionaler und isolierter der Standort und seine Umgebung, desto geringer die Überlagerungsmöglichkeit mit Mehrfachnutzungen. Andererseits können in Randlagen sonst ungeliebte Nutzungen möglich gemacht werden – z.B. für geräuschintensive Aktivitäten wie auf Jugendspielplätzen oder Eventlocations.

Von besonderem Interesse ist neben der räumlich-ästhetischen Aufwertung die Verbesserung der Aufenthaltsqualität. Sie ist auch objektiv am besten zu beurteilen. Im Zusammenhang mit Verkehrsflächen geht es hier vor allem um die Initiierung von Alternativnutzungen außerhalb der Betriebszeiten bzw. wenn z.B. Stellplätze schwach ausgelastet sind. Urbaner Raum soll zur Aneignung durch Menschen statt Autos attraktiv gemacht werden. Auch Event Spaces/ Public Viewing Plätze sind denk- und machbar. Im Vordergrund stadtplanerischen Interesses stehen aber konsumfreie Nutzungen und niedrighschwellige Aneignungsmöglichkeiten.

Der innerstädtisch gelegene Platz an der Max-Tendler-Gasse bietet sich zur Aneignung abends und an Wochenenden an, wenn das Finanzamt und die Universität geschlossen sind.

Der Parkplatz der Eishalle hingegen, der nur bei Eishockeyspielen an wenigen Tagen im Jahr ausgelastet ist, könnte fast permanent als multifunktionaler Jugendtreffpunkt und Spielplatz, Markt- und Eventplatz an gut erreichbarer, aber konfliktfrei gelegener Stelle im Stadtraum ganzjährig ein Angebot bieten, über das nur wenige andere Städte verfügen.

Eine besondere Bedeutung kommt der Signaturwirkung solcher Überdachungen im öffentlichen Raum zu. Der größte Mehrwert laut Meinung der beigezogenen ExpertInnen liegt in der Sichtbarmachung der Klimaschutzthematik und der Notwendigkeit und Möglichkeiten zur Erzeugung erneuerbarer Energien auch im urbanen Umfeld. Der Parkplatz bei der Stadtfeuerwache an der Einfahrt zur Altstadt ist aus dieser Perspektive ein besonders interessanter Standort. Es handelt sich um einen der wichtigsten Pendlerparkplätze der Stadt, was die Aneignbarkeit für alternative Zwecke einschränkt. Allerdings markiert die im Testentwurf vorgeschlagene Mit-Überdachung der Straße stadträumlich den Eingang ins Stadtzentrum sowie den Parkplatz selbst und transportiert zusätzlich implizit die Botschaften „Erneuerbare Energie“, „Klimaschonung“, „Ressourcenschonung.“ Auf diese Weise wird nicht nur Stadtmarketing betrieben, sondern gleichzeitig auch Bewusstseins- und Imagebildung.

5.2.2. Funktional

Funktionale Synergiepotentiale durch solaraktive Verkehrsflächenüberdachungen können anhand folgender Kriterien bewertet werden:

Multifunktion der Überdachung

Ausgehend vom Witterungsschutz für Verkehrsfläche und Alternativnutzung – vorrangig vor Regen und Schnee – als Grundfunktion einer Überdachung ist hier zuerst die zusätzliche Möglichkeit der Stromproduktion zu nennen. Darüber hinaus kann die Überdachung im Sommer Schutz vor Überwärmung und UV-Strahlung bieten. Dabei ist auf ausreichende Durchlüftung zur Vermeidung von Hitzestau zu achten. Eine Überdachung von Verkehrswegen kann gegebenenfalls auch als Blendschutz genutzt werden. Auf Firmengeländen kann die Überdachung der Stellplätze ein Mehrwertangebot für MitarbeiterInnen bedeuten.

Multifunktion der überdachten Fläche

Für Parkplätze kann durch eine Überdachung eine Mehrfachnutzung erschlossen werden, da die Fläche für gewerbliche, kulturelle und soziale Zwecke (z.B. Märkte, Ausstellungen, Veranstaltungen), etc. oder auch für die informelle oder institutionalisierte Inanspruchnahme durch StadtbewohnerInnen, insbesondere Kinder und Jugendliche interessant werden kann. Hierfür kann die Möglichkeit einer klaren zeitlichen Zuordnung der jeweiligen Nutzung zweckhaft sein. Die Überdachung einer Fläche kann mit Blick auf die Klimaveränderungen eine Nutzung gegebenenfalls auch erst interessant machen – beispielsweise durch Beschattung bei Sommerhitze oder Überdachung gegen Dauerregen. Mit der Entwicklung einer neuen Nutzung auf einer dann überdachten Fläche ist auch die Erhöhung der Attraktivität verbunden, die z.B. durch Pflanzen und Sitzmöbeln noch weiter gesteigert werden könnte.

Parkplatzüberdachungen in der Stadt können eine Transformation weg vom Parkplatz bewirken. Zu bedenken ist aber auch, dass eine Überdachung einen Parkplatz gleichzeitig als solchen aufwertet und als PKW-Abstellort attraktiver machen kann. Eine gänzliche Nutzungstransformation z.B. von Parkplatz

zum Lager- bzw. Warenumschlagplatz und zur Manipulations- statt passiven Fläche, wie beim Gewerbezentrum Leoben angedacht, ist standortspezifisch jedenfalls denkbar.

Zusätzliche Effekte für die Bewirtschaftung

Öffentliche Verkehrsflächen müssen bewirtschaftet werden. Eine Überdachung kann den Reinigungs- und Wartungsaufwand (z.B. Schneeräumung, Laubsammeln) für den Betreiber der Fläche reduzieren bzw. verzögern. Allerdings ist gleichzeitig zu berücksichtigen, dass der Aufwand sich zumindest teilweise von der Verkehrsfläche auf die Fläche der Überdachung verlagern kann, z.B. im Fall von sehr starken Schneefällen, wodurch ein Zusatzaufwand entstehen kann.

5.3. Konkrete Produkte und Anwendungsmaterialien

5.3.1. Methodenentwicklung

Aufgrund der komplexen Formgebung der Überdachungen ist grundsätzlich eine detaillierte Bewertung des Solarpotentials nur in Verbindung mit einer konkreten Entwurfsplanung und einer darauf aufbauenden Simulationsberechnung möglich. Für eine Abschätzung des Solarertrags wurde daher eine vereinfachte Methode entwickelt, mit der bereits in der frühen Planungsphase ein Ertrag ohne Simulationsberechnung ermittelt werden kann. Durch die Verwendung von Grundtypen, kann somit für vermeintlich jeden Entwurf der potenzielle Energieertrag berechnet werden. Dafür wurden die Grundtypen aus der Software Formfinder in die Simulationssoftware Rhinceros 6.0 importiert. Die Grundtypen wurden mit einer Gitternetzfläche belegt, um hier die Strahlungsintensivität berechnen zu können. Das Gitternetz für die Simulation besteht aus verfahrenstechnischen Gründen aus maximal 110 Teilflächen. Je nach Größe der Membranfläche variiert die durchschnittliche Teilfläche des Gitternetzes. Das Ergebnis der Berechnungen waren Stundenwerte für die Strahlungsintensität je Teilfläche. Diese wurden anschließend mit einem angenommenen Gesamtwirkungsgrad für ein unspezifiziertes Photovoltaiksystem bewertet. Die Sensitivität der Größe der Gitternetzfläche wurde im Rahmen des Sondierungsprojektes nicht untersucht. Als neuartig kann dabei die Methode zur Ertragsberechnung angesehen werden, welche für die Grundtypen zur Anwendung gekommen ist. Normale Ertragsberechnungsprogramme für Photovoltaik berechnen nur gerade Flächen mit deren Neigung und Ausrichtung. Diese können bei Membrandachflächenkonstruktionen nicht verwendet werden. Somit musste eine eigene Methodik entwickelt werden, welche es ermöglicht, die Solarpotentiale zu berechnen, und auch einen Rückschluss liefert, wo eine Belegung mit Photovoltaik-elementen in der Membrankonstruktion als sinnvoll erachtet werden kann.

Im Rahmen des Sondierungsprojektes wurden die Simulationsberechnungen mit den Klimadaten für den Standort Leoben (Herkunft: Meteonorm 6.0) durchgeführt. Die Methode ist jedoch auch mit anderen Klimadaten bzw. für andere Standorte anwendbar.

In Bezug auf die verwendeten Grundformen kann abgeleitet aus den Berechnungsergebnissen eine Aussage getroffen werden, welche Potentiale für Solarerträge diese Konstruktionsformen jeweils besitzen. Die Grundtypen 1-Segelfläche/Sechspunktsegel, 2-punktgestützte Fläche/Hochpunktfläche und 4-bogengestützte Fläche mit gestütztem Randbereich erzielen die höchsten Erträge in den Berechnungen. Die Erträge der Grundtypen 3-bogengestützte Fläche mit gestütztem Mittelbereich und 5-Kehl- und Gratform fallen deutlich niedriger aus. Die formbedingten Ertragsunterschiede der Grundtypen 1,2 und 4 sind aber gering, sodass hier diese Grundformen grundsätzlich in Bezug auf

deren Ertrag als normal zu bezeichnen sind. Die Solarerträge erreichen hierbei bis zu 81,9 kWh/m² und Jahr auf die Grundfläche bezogen. Die Grundformen 3 und 5 sind in Bezug auf den Solarertrag als niedrig einzustufen, mit 28,5 kWh/m²a und 27 kWh/m² und Jahr.

Für den Entwurfsprozess kann dieses Vorwissen für eine formale Priorisierung ausschlaggebend sein.

5.3.2. Kriterienkatalog

Für die Auswahl und Bewertung bzw. auch den Vergleich von Standorten liegt ein Kriterienkatalog in Form einer Matrix vor. Dieser kann sowohl zur Vorauswahl durch einfache Augenscheinanalyse als auch zur detaillierten Standortbewertung verwendet werden. Die Beurteilungskriterien sind in sieben Kategorien mit weiteren Unterthemen untergliedert und bedarfsgerecht erweiterbar:

- Allgemeine Realisierungsfaktoren
- Stadtraum Stadtbild
- Nutzungspotential
- Bau- und planungsrechtliche Aspekte
- Brandschutz/Rettungswege
- Technische Machbarkeit
- Solarpotentiale

5.3.3. Roadmap

Die Roadmap in Form eines fünfphasigen Ablauf- und Beziehungsdiagramms skizziert die notwendigen strategischen und operativen Schritte und Maßnahmen von der Sondierung bis zur Realisierung und Evaluierung eines nachfolgenden F&E Demoprojekts. Zusätzlich werden Querverbindungen bzw. Abhängigkeiten zwischen einzelnen Ablaufsträngen und Themenbereichen dargestellt. Es ist vorzuschicken, dass der Projektablauf nicht ausschließlich linear bzw. kaskadierend erfolgen kann, sondern die einzelnen Phasen gegebenenfalls praxisnah dynamisch ineinandergreifen bzw. parallel verlaufen werden und Feedbackschleifen erforderlich sind.

Die Startphase besteht aus der Standortfestlegung, Konsortialbildung und Sicherstellung der Finanzierung, wofür teilweise die Einbeziehung unterschiedlicher Stakeholder erforderlich ist.

Die Konkretisierung der Aufgabenstellung sowie die Vorentwurfserstellung in architektonischer, stadträumlicher, gestalterischer, konstruktiver und energietechnischer Sicht erfolgen in der Konzeptphase. Parallel muss die Richtungsweisung für alle F&E Zielsetzungen getroffen und ein Zeitplan erstellt werden.

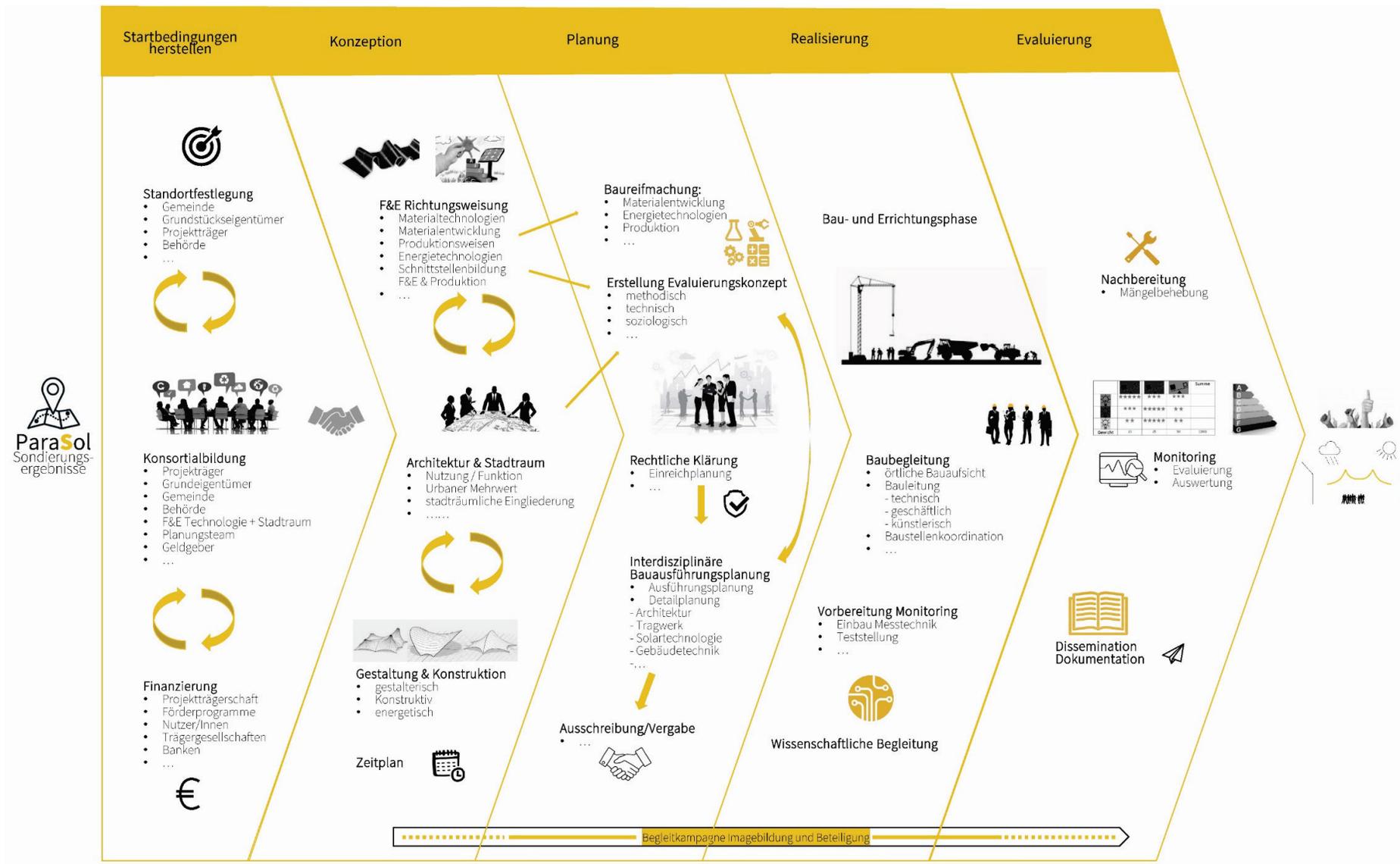


Abbildung 121: Roadmap für ein nachfolgendes F&E Demoprojekt (Eigene Darstellung).

Die Planungsphase entspricht der eines herkömmlichen Bauprojekts von der bau- und planungsrechtlichen Klärung bis zur Vergabe der Gewerke für die Umsetzung. Sie wird auf Materialentwicklungsseite begleitet von der Baureifmachung der erforderlichen Technologien. Auch das Konzept für Monitoring und Evaluierung ist in dieser Phase zu erarbeiten.

Die Realisierungsphase entspricht einer herkömmlichen Bau- und Errichtungsphase begleitet von der Vorbereitung des Monitorings und einer gesamtwissenschaftlichen Begleitung. Darauf folgt eine Evaluierungsphase in der die Annahmen aus der Sondierung und aus dem Forschungsprojekt am Objekt überprüft und ausgewertet werden. Diese Nachphase beinhaltet auch die Nachbereitung mit Mängelbehebung sowie Dissemination und Dokumentation.

Empfohlen wird, den Gesamtablauf durch eine Begleitkampagne zur Imagebildung und Beteiligung der NutzerInnen zu unterstützen.

5.4. Innovationen

Die Hauptinnovationen des Projekts sind in der integrierten Betrachtungsweise von Stadtraum, Stadtbild, Stadtfunktion und Energiegewinnung und der gleichwertigen Anerkennung der Ästhetik als Umweltfaktor zu sehen. Durch das Konzept der architektonisch ansprechenden solaraktiven Überdachung urbaner Zonen des ruhenden und fahrenden Verkehrs werden diese zuvor mindergenutzten Flächen für die Energieerzeugung durch PV nutzbar gemacht und Stadtraum aufgewertet. Solarenergiegewinnung wird über bisherige Initiativen zur BIPV hinaus als Gestaltungsaufgabe anerkannt. Durch Nutzungsüberlagerung entstehen neue Nutzungen für die Stadt, wodurch auch bisher mindergenutzte urbane Flächen zur Erreichung der Klimaziele beitragen.

Eine methodische Innovation stellt die qualitative Mehrphasenanalyse zur Ermittlung des theoretischen Potentials und des technisch und rechtlich machbaren und sinnvollen Potentials dar. Die im Sondierungsprojekt angewandte Methode der systemübergreifenden, transdisziplinären und mehrere Phasen durchlaufende Multikriterienanalyse ist ein integrativer Problemlösungs- und Planungsansatz und steht im Gegensatz zu bisher gebräuchlichen sektoralen und fachspezifischen Betrachtungsweisen. Sie liefert zuverlässigere, nachhaltigere Ergebnisse, da in der Entscheidungsfindung alle Fachbereiche und thematischen Aspekte gleichwertig und gleichberechtigt behandelt werden und spiegelt die Berührungspunkte, Abhängigkeiten und Beziehungen zwischen den unterschiedlichen Säulen der Nachhaltigkeit wider und trägt so zur Qualitätssicherung bei

Als weitere Innovation kann die Modellierung der Berechnung des Solarertrages gesehen werden. Denn herkömmliche Photovoltaik- Analyseprogramme können den Solarertrag nur auf geraden Flächen berechnen. Durch die Entwicklung eines Verfahrens zu der Anwendung für die Abschätzung von Überdachungen/ Konstruktionsformen und deren Solarpotentialen ist dadurch erst möglich.

5.5. Einpassung in die Gesamtziele des Programms „Stadt der Zukunft“

Mit dem Projekt wurden die Ausschreibungsschwerpunkte „Technologieentwicklung und Lösungen für die Stadt der Zukunft“ und „Wand- und Dachsysteme und innovative Bau- und Werkstoffe“ im Rahmen der 5. Ausschreibung der Programmlinie „Stadt der Zukunft“ adressiert.

Solaraktive Überdachungen für Verkehrsflächen im urbanen Raum mit dem Anspruch, Stadtraum nicht nur durch Nutzungsüberlagerung effizienter zu nutzen, sondern auch ästhetisch aufzuwerten und

zusätzliche Aneignungs- und Aufenthaltszonen für die Stadtbevölkerung zu schaffen, können in vielerlei Hinsicht zu den Programmzielen beitragen.

Das Ziel der Steigerung des Anteils an erneuerbaren Energien im urbanen Umfeld wird im Projekt nicht isoliert, sondern Hand in Hand mit dem Ziel einer Verbesserung der urbanen Lebensqualität betrachtet. Lokale, erneuerbare Energieproduktion nahe am Verbraucher leistet einen Beitrag zur Entwicklung resilienter Städte und Stadtteile und erhöht deren Ressourcen- und Energieeffizienz. Erneuerbare Energieträger werden verstärkt genutzt und einer breiten Masse sichtbar und damit bewusst gemacht. Hohe gestalterische Ansprüche begünstigen die Akzeptanz über vernunftbasierte Argumente hinaus. Durch die weitgehende Übertragbarkeit der Projektergebnisse über den Use Case hinaus kann ein Beitrag zur Optimierung und Anpassung der städtischen Infrastruktur und zur Erweiterung des städtischen Dienstleistungsangebots auch vor dem Hintergrund fortschreitender Urbanisierung und drohender Ressourcenverknappung geleistet werden.

Insbesondere durch den ExpertInnenworkshop wurden Schlüsselkompetenzen in Form von lokalem Technologie- und Material-Know-How vernetzt und mit dem Aufbau einer Forschungscommunity zur weiterführenden Produktentwicklung im Rahmen eines nachfolgenden F&E Demoprojekts begonnen.

6. Schlussfolgerungen

6.1. Fachliche Einschätzung

Eine Realisierung ist sinnvoll und chancenreich, wenn das konkrete Projekt stadtplanerisch in verschiedener Hinsicht sinnvoll ist. Eventuell sind Pilotprojekte im kleinen Umfang vorerst chancenreicher. Als besonders interessant und vielversprechend werden übertragbare bzw. skalierbare Lösungen unter Einbeziehung verschiedener (Material)Technologien und Konstruktionsformen eingeschätzt. Vor allem im Bereich Zelle / Zellintegration / Membran ist entsprechender Forschungsbedarf gegeben, der durch ein Demoprojekt in einer Kooperation zwischen Materialentwicklern, Herstellern und Forschungslaboren (Langzeittests) vorangetrieben werden könnte.

Ein besonderer Wert eines Demoprojekts ist in der Integration der Themen Form, Konstruktion, PV-Technologie und lokale Energiegewinnung zu sehen.

Voraussetzung für eine erfolgreiche Realisierung (Prototypenschaffung) sind neben der Finanzierung ein geeigneter Standort und das Innovationsbewusstsein bzw. die Innovationsbereitschaft aller Beteiligten. Auch die Kommunikation des Mehrwerts des Projekts in Form eines strategischen und politischen Storyboards wird für den Erfolg ausschlaggebend sein.

Ein stadträumlich erstrebenswerter Mehrwert des Projekts ist die Schaffung witterungsgeschützter Aufenthaltsorte in Zeiten des Klimawandels.

Es besteht konkreter Forschungs- und Entwicklungsbedarf zu Seilnetzen mit Glas/Glas/PV, auch mit Dünnglas, zu adaptierbaren Systemen (Form, Ausrichtung, Orientierung), zu Verbindungstechnologien und zu ökologischen Materialien. Aus ökologischer Sicht könnte der Einsatz von Glas statt Kunststoff in den Vordergrund gerückt werden.

6.1.1. Einsatzgebiet Fahrbahnen und extraurbaner Raum

Der Überdachung von Freilandstraßen stehen die baukulturellen Leitlinien des Landes Steiermark entgegen. Zusätzliche gebaute Strukturen sollen nur dort errichtet werden, wo es unbedingt erforderlich ist. Die Überdachung der Fahrbahnen von Schnellstraßen und Autobahnen erscheint derzeit aufgrund komplexer nutzungs- und sicherheitstechnischer Zwänge undenkbar. Auch erscheint Photovoltaikeinsatz nur direkt am Verbraucher sinnvoll. Potentiale finden sich im ruhenden Verkehr, bei Park- und (LKW-)Rastplätzen für die dortigen lokalen Verbraucher wie Parkplatzbeleuchtung mit Speichersystemen, Energiebedarf für LKW-Kühlaggregate aber auch als Witterungsschutz.

Ein großes mögliches Einsatzgebiet für solaraktive Überdachungen und lokalen Verbrauch bieten Bahntrassen aber auch Bahnhofsareale und die Park and Ride Anlagen bei den Bahnhöfen, auch im ländlichen Bereich, sowie Park & Ride Ablagen ganz generell.

Zudem bietet sich als weiteres Forschungs- und Entwicklungsthema die Betrachtung solaraktiver Vertikalelemente entlang von Bahn, Autobahn, Schnellstraße, etc. an.

Insbesondere Bahngesellschaften, Autobahngesellschaften und Betreiber von Park & Ride Anlagen sind demnach Zielgruppen für weitere Entwicklungen zu sehen.

6.2. Verwertung und Verbreitung

Eine unmittelbare wirtschaftliche Verwertbarkeit ist zu Ende des Sondierungsprojekts erwartungsgemäß noch nicht gegeben. Aus wissenschaftlicher Sicht lassen sich aus den Aktivitäten und Erkenntnissen im Rahmen des Sondierungsprojekts ParaSol jedoch mehrere neue bzw. weiterführende Forschungsfragen und Entwicklungsaufgaben mit unterschiedlichen Schwerpunktsetzungen ableiten. Eine Weiterverwendung und Weiterbearbeitung der Resultate im Rahmen zukünftiger Forschungsschwerpunkte, Kooperationen und Calls, abhängig von nationalen und internationalen Funding-Möglichkeiten ist naheliegend und beabsichtigt. Entsprechende Kontakte für Kooperationen konnten im Rahmen des Projekts bereits geknüpft werden.

Die weiterführenden Anbahnungsaktivitäten für ein konkretes F&E Demoprojekt sind auch über den UseCase Leoben hinausgehend im Laufen. Es ist geplant, diese Aktivitäten nach Projektende weiterzuführen.

Lehre:

Die forschungsgeleitete Lehre ist an den beteiligten Bildungsinstitutionen TU Graz und FH Salzburg Grundprinzip.

Öffentliche Präsentationen:

Eine Projektpräsentation vor Interessierten BürgerInnen ist in der Stadtwerkstatt Leoben für Mai 2020 geplant. Eine wissenschaftliche Dissemination im Rahmen der Konferenz- und Publikationsaktivitäten der Konsortialpartner ist vorgesehen.

7. Ausblick und Empfehlungen

7.1. Weiterführender Forschungs- und Entwicklungsbedarf

Die Herausforderung bei der Dachintegration der PV-Module ist eine mechanisch möglichst spannungsfreie und niedrig beanspruchte Integration in die Konstruktion. Spinnennetzähnliche Konstruktionen ermöglichen kleinere und spannungsärmere Teilflächen, an die die Photovoltaikmodule hinsichtlich Form und Größe angepasst werden könnten. Die Befestigung könnte mittels Ösen und Seilen erfolgen. Die mechanische Beanspruchung des einzelnen Moduls wäre aufgrund der freien Beweglichkeit, der geringeren Größe und der damit verbundenen Reduktion von Zwängungsspannungen geringer. Ein weiterer Vorteil wäre die einfache Austauschbarkeit der Module sowie die verdeckte Kabelführung entlang der Querverbindungen. Weitere Integrationsmöglichkeiten wären folienintegrierte PV (Dünnschicht- oder Silizium-Zellen) genietet, mit Klett- oder Reißverschluss befestigt, in aufgeklebte Taschen eingelegt, mit Kederverschlüssen befestigt oder "eingenäht" (mit Ösen und Seilen befestigt). Ebenso erfolgversprechend sind Seilnetzkonstruktionen mit Deckungen aus Glas-Glas-Photovoltaik-Modulen, insbesondere unter Verwendung chemisch gehärteten Dünnglases zur Reduktion des Eigengewichtes, wobei darauf geachtet werden muss, dass ein zu geringes Eigengewicht Probleme hinsichtlich der Windbeständigkeit aufweisen kann. Ebenso wichtig ist es zu berücksichtigen, dass die Möglichkeit zur Einleitung von Auflagerkräften in Bestandsbauwerke nicht grundsätzlich angenommen werden kann. Freistehende Bauweisen mit eigenen Fundierungen und Auflagern stellen autonome Lösungsansätze dar.

Im Zuge der Projektbearbeitung und Recherche ergaben sich deutliche Defizite im Hinblick auf Material und PV-Integration, die im Zuge eines nachfolgenden Demonstrationsvorhabens zu adressieren sein werden.

Bezüglich der Integration von kristallinen Photovoltaikzellen in Membrane und Seilnetze:

- Konstruktive Ausbildung zur Reduktion von Spannungen auf die Zellen
- Austauschbarkeit
- Leitungsführung
- Strangbildung und Verschaltung bei Eigen- und Fremdverschattung
- Transparenz von Deckfolien
- Dauerhaftigkeit der Konstruktion
- Glas-Glas-PV mit chemisch gehärtetem Dünnglas – Herstellung, Befestigung, Verformbarkeit
- Anpassung an die Form (Zwei sowie Dreidimensional)

Bezüglich der Integration von flexiblen Dünnschicht-Zellen:

- Art der Befestigung (Kleben, Nieten, Zippverschluss, Klettverschluss, Nieten, Einbringen in aufgeklebte Taschen)
- Mechanische Belastbarkeit der Zellen
- Dauerhafter Ertrag der Zellen (Moduldepression)
- Freie Formgebung
- Strangbildung und Verschaltung bei Eigen- und Fremdverschattung
- Transparenz von Deckfolien
- Dauerhaftigkeit der Konstruktion

- Bezüglich Konstruktion und Tragwerk
- Windbeständigkeit
- Reduktion von Zwängungsspannungen für die PV-Zellen
- Auflagerausbildung und Krafteinleitung
- Alternative Tragwerkskonzepte

Es ist aus diesen Gründen bei der Konsortialbildung und beim Forschungsdesign darauf zu achten, dass:

- a. ExpertInnen aus den Bereichen Tragwerk, Materialtechnologie, Zelltechnologie und Modulherstellung jedenfalls Konsortialmitglieder sind,
- b. für die wissenschaftliche und praktische Lösung der offenen Fragen ausreichend Zeit vorgesehen wird und
- c. aufgrund des hohen Entwicklungsrisikos alternative Szenarien geplant werden, die eine Realisierung auch dann ermöglichen, wenn die erforderlichen Entwicklungsschritte kein positives Ergebnis ergeben. Als potentiell erfolgreiche und relativ rasch umsetzbare Möglichkeit werden Seilnetze mit Glas-Glas-PV in Dünnglastechnologie gesehen.

7.2. Realisierungspotential

Das Realisierungspotential kann mit Projektende als überaus interessant und realistisch beurteilt werden. Die Bildung eines Projektkonsortiums für ein F&E Demonstrationsvorhaben innerhalb der Laufzeit des Sondierungsprojekts hat sich allerdings als herausfordernd erwiesen, weil die Zeithorizonte und Entscheidungsfindungsprozesse im öffentlichen Sektor wesentlich längerfristig angelegt sind als die Projektdauer der Sondierung. Eine Jahresfrist ist hier nicht ausreichend, zumal veranschaulichende Ergebnisse erst gegen Ende der Projektlaufzeit vorliegen und den politischen Entscheidungsträgern präsentiert werden können. Auch die Finanzierungsfrage musste daher offen bleiben. Aus demselben Grund kann zu Projektende trotz großer Kooperationsbereitschaft seitens der Stadtbaudirektion kein konkreter Standort für ein F&E Demoprojekt genannt werden. Das Projektteam hat zusätzlich von Beginn des Projekts an in Leoben ansässige international tätige Betriebe in die Gespräche und Überlegungen einbezogen, ebenso Infrastrukturträger wie ASFINAG und Landesbaudirektion. Das Interesse für das Projekt ist groß, auch für Standorte außerhalb von Leoben, bzw. mit teilweise abgeänderter Aufgabenstellung, jedoch bisher noch ohne Konkretisierung. Das Projektkonsortium gemeinsam mit einigen weiteren InteressentInnen (größtenteils aus dem Kreis der LOI-PartnerInnen und TeilnehmerInnen am ExpertInnenworkshop) hat aber die Absicht, sich auch über die Projektlaufzeit hinaus weiterhin aktiv um eine Umsetzung als Demonstrationsvorhaben im Living Lab Leoben oder an einem anderen Ort zu bemühen.

8. Verzeichnisse

8.1. Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: links: Galeries Royales St. Hubert, Brüssel. Foto CC BY-SA 3.0, KoS.	15
Abbildung 2: Galleria Vittorio Emanuele II, Mailand, CCBYSA40_Giudice Monica.	15
Abbildung 3: Metropol Parasol Sevilla, Jürgen Mayer H., Fotos CC-BY-SA-3.0, Ruben Dene.	16
Abbildung 4: links: Grote Markt, Vilvoorde, Omgeving, Foto © Hannelore Veeleart.	16
Abbildung 5: rechts: Place Dumon, Brüssel, Foto © Artgineering.	16
Abbildung 6: von links nach rechts: Platzbeschattung Guimares Portugal, FAHR 021.3 Architects, Foto Jose Caldeira; Singapore, Clarke Quaye, © Alsop / RSP / Sparch Architects; Pier 17, New York, © Achim Menges.	16
Abbildung 7: Links: Solarer Bahntunnel nahe Antwerpen/Belgien, 3,4 km, 50.000 m ² , 3,3GWh/a. newatlas.com/solar-rail-tunnel-completed/18881/. Rechts: stereotype Gestaltungslösung mit PV-Plattenelementen über einem Parkplatz. https://offgrid-gmbh.de	17
Abbildung 8: links: Solar Tree der Expo 2015 heute am Gelände von Merck, Foto © Merck KGaA.	
Abbildung 9: Mitte und rechts: Lumen: Jenny Sabin Studio for The Museum of Modern Art and MoMA PS1's Young Architects Program 2017, Image courtesy MoMA PS1. Foto © Pablo Enriquez. .	18
Abbildung 10: Abfallwirtschaftsbetrieb München: Die Mittellage der luftgefüllten ETFE-Folienkissen dient als Träger der flexiblen Dünnschichtsolarzellen. Im Hintergrund das Olympiastadion. Quelle: © Ackermann+Partner Architekten BDA.	19
Abbildung 11: Jährliche Photovoltaikproduktion der unterschiedlichen Technologien weltweit, Quelle Fraunhofer ISE.	20
Abbildung 12: Preiskurve der Photovoltaik bis Q4/2017, Quelle Fraunhofer ISE.	20
Abbildung 13: Erreichte Photovoltaikzelleneffizienz, Quelle Fraunhofer ISE.	21
Abbildung 14: Aufbau eines Standard Glas- Folien Photovoltaikmodules. Quelle: www.photovoltaik-fachmann.at , zuletzt geprüft am: 06.12.2019.	23
Abbildung 15: von links nach rechts: Global Solar Modulaufbau des flexiblen Moduls - Aufdampfen der Materialien auf die Folie im Verfahren „Rolle zu Rolle“ - Laminierungsprozess von flexiblen PV-Zellen. Quelle: Global Solar, www.globalsolar.com , zuletzt geprüft am: 16.12.2019.	23
Abbildung 16: links: Solbian Salamandergrotte in Frankreich, rechts: Solbian Module im Projekt Gervasutti, Quelle: Solbian Solar, https://solbian.solar/de/#works , zuletzt geprüft am: 16.12.2019.	25
Abbildung 17: Flisom Carportprojekte in der Schweiz, Quelle: Flisom AG, www.flisom.com/reference-projects/ , zuletzt geprüft am: 08.02.2019.	26
Abbildung 18: Flisom Folienglashausprojekt in Italien und den Niederlanden, Quelle: Flisom AG, www.flisom.com/reference-projects/ , zuletzt geprüft am: 08.02.2019.	26
Abbildung 19: Sunplugged Laserzuschnitte der Endformate, Quelle: Sunplugged GmbH.	29
Abbildung 20: links + Mitte: Endergebnis des Halbleiterproduktes, rechts: weiterverarbeitet mit Laminatdeckschicht, Quelle: Neisser et al 2014, S.8+10.	31
Abbildung 21: Flexibles Solarmodul von ISOVOLTAIC, Quelle: Energy Innovation Austria, 02/2013, S.4.	33

Abbildung 22: Forschungsteam mit den Endergebnissen aus dem Projekt, Quelle: Isovoltaic, Isosport, Belectric 2012.....	33
Abbildung 23: OPV-Projekt von Heliatek mit 230 m ² an einem Getreidesilo, Quelle: PV-Magazin, 05/2019, https://www.pv-magazine.de/2019/05/27/heliatek-und-lechwerke-testen-photovoltaik-folie-auf-getreidesilo/ , zuletzt geprüft am: 12.05.2020.....	34
Abbildung 24: links: OPV Folien von Heliatek auf eine WKA in Spanien, Quelle: Windkraftjournal 05/2019, Acciona Energy. Rechts: OPV Anlage von Heliatek in Frankreich, Quelle: Heliatek, https://www.heliatek.com/de/projekte/biopv-la-rochelle/ , zuletzt geprüft am: 12.05.202.....	35
Abbildung 25: Perowskit PV-Zelle von Solliance, Quelle: Solliance, https://www.solliance.eu/2017/solliance-sets-more-world-records-for-r2r-perovskite-solar-cells-and-modules/ , zuletzt geprüft am: 06.12.2019.....	36
Abbildung 26: Gebäude mit transparenten Glas-Glas Modulen und zwei gebogenen Modulen, Quelle: PV-Technologies, https://www.pvtechnologies.at/sondermodule/ , zuletzt geprüft am: 12.05.2020.....	37
Abbildung 27: Gebogene Glas-Glas Module, Quelle: Sunovation, https://sunovation.de/de/produkte/ , zuletzt geprüft am: 12.05.202.....	37
Abbildung 28: Module mit verschiedener Farbgebung, Quelle: Sunovation, https://sunovation.de/de/produkte/ , zuletzt geprüft am 12.05.2020.....	38
Abbildung 29: Projekte der Firma Solitek, Quelle PV-Technologies, https://www.pvtechnologies.at/sondermodule/ , zuletzt geprüft am: 12.05.2020.....	38
Abbildung 30: Bürogebäude von Fronius in Pettenbach, Quelle Ertex Solar, https://www.ertex-solar.at/produkte/referenzen/ , zuletzt Geprüft am 12.05.2020.....	39
Abbildung 31: Seilnetzkonstruktion mit ETFE-Folienkissen, Quelle, LeCuyer Annette, ETFE-Technologie und Entwurf, Basel, Boston, Berlin: Birkhäuser Verlag AG.2008.....	40
Abbildung 32: Dünnschichttechnologien und deren jährliche Produktionsmengen im MWp, Quelle Fraunhofer ISE.....	43
Abbildung 33:Fünf verwendete Grundtypen von Membrandachkonstruktionen lt. Typologie Formfinder GmbH.....	46
Abbildung 34: Übersichtsplan potentielle Pilotprojektgebiete, Datenbasis Orthofoto © GIS Steiermark, eigene Bearbeitung.....	50
Abbildung 35: Beurteilungsmatrix.....	60
Abbildung 36: Verwendete Grundtypen von Membrandachkonstruktionen.....	61
Abbildung 37: Geordnete Jahres-Dauerlinie des Solarertrags in [kWh/(hm ² _{Membranfläche})] für die betrachteten Grundtypen.....	63
Abbildung 38: Geordnete Jahres-Dauerlinie des Solarertrags in [kWh/(hm ² _{Grundfläche})] für die betrachteten Grundtypen.....	63
Abbildung 39: Monatswerte des Solarertrags in [kWh/(m ² _{Grundfläche})] für alle Grundtypen.....	64
Abbildung 40: Jahreswerte des Solarertrags in [kWh/(m ² _{Grundfläche})] für alle Grundtypen.....	64
Abbildung 41: Geordnete Jahres-Dauerlinie des Solarertrags in [kWh/(hm ² _{Grundfläche})] für die Kategorien Normal und Gering.....	66
Abbildung 42: Monatswerte des Solarertrags in [kWh/m ² _{Grundfläche}] für die Kategorien Normal und Gering.....	66

Abbildung 43: Kategorie "Parkplatz kontextfrei" - die gelb umrahmten Standorte 2 und 4 wurden zur vertieften Untersuchung ausgewählt. Hintergrundbild Orthofoto © GIS Steiermark.	2
Parkplatz Eishalle	67
Abbildung 44: Spiderdiagramm der Parameter des Steckbriefs	68
Abbildung 45: Parkplatz Eissporthalle, Foto Ida Pirstinger.	68
Abbildung 46: Orthofoto Parkplatz Eishalle, © GIS Steiermark.	69
Abbildung 47: Eishalle, Stadtentwicklungskonzept STEK, ©GIS Steiermark.....	69
Abbildung 48: Eishalle, Ausschnitt Flächenwidmungsplan, ©GIS Steiermark.	69
Abbildung 49: Urbaner Kontext Parkplatz Eishalle, Bearbeitung TU Graz Institut für Städtebau.	70
Abbildung 50: Blick zum Kraftwerkssteg, Foto Ida Pirstinger.	71
Abbildung 51: Blick zum neuen Gebäude der Montanuni, Foto Ida Pirstinger.....	71
Abbildung 52: Kategorie "Parkplätze im urbanen Gefüge" - Der gelb umrahmte Standort 9 wurde zur vertieften Untersuchung ausgewählt. Hintergrundbild Orthofoto © GIS Steiermark.....	72
Abbildung 53: Spiderdiagramm zu den Parametern des Steckbriefs.....	73
Abbildung 54: Parkplatz bei der Stadtfeuerwache, Foto Ida Pirstinger.	73
Abbildung 55: Orthofoto Stadtfeuerwache, ©GIS Steiermark.	74
Abbildung 56: Stadtfeuerwache Ausschnitt Stadtentwicklungskonzept STEK, © GIS Steiermark.....	74
Abbildung 57: Stadtfeuerwache, Ausschnitt Flächenwidmungsplan, © GIS Steiermark.....	74
Abbildung 58: Urbaner Kontext Parkplatz bei der Stadtfeuerwache, Bearbeitung TU Graz Institut für Städtebau.	75
Abbildung 59: Blick zur Feuerwehrzentrale, Foto Roland Sterrer.....	76
Abbildung 60: Parkplatz bei der Stadtfeuerwache, Foto Ida Pirstinger.	76
Abbildung 61: Kategorie „Parkplätze für kleinteilige Überdachungen" – Beide Standorte wurden zur vertieften Untersuchung ausgewählt. Hintergrundbild Orthofoto © GIS Steiermark.....	77
Abbildung 62: Spiderdiagramm zu den Parametern des Steckbriefs.....	78
Abbildung 63: Parkplätze Martin Luther Kai, Foto Ida Pirstinger.....	78
Abbildung 64: Orthofoto Gösserstraße, © GIS Steiermark.....	79
Abbildung 65: Gösserstraße, Ausschnitt Stadtentwicklungskonzept STEK, © GIS Steiermark.....	79
Abbildung 66: Gösserstraße, Ausschnitt Flächenwidmungsplan, © GIS Steiermark.	79
Abbildung 67: Urbaner Kontext Gösserstraße, Bearbeitung TU Graz Institut für Städtebau.	80
Abbildung 68: Parkplatz Gösserstraße, Foto Roland Sterrer.....	81
Abbildung 69: Ignaz Müller Platz/Stadtkai, Foto Ida Pirstinger.	81
Abbildung 70: Kategorie "Urbane Plätze" - Der gelb umrahmte Standort 16 wurde zur vertieften Untersuchung ausgewählt. Hintergrundbild Orthofoto © GIS Steiermark.....	83
Abbildung 71: Spiderdiagramm zu den Parametern des Steckbriefs.....	84
Abbildung 72: Parkplatz Max Tandler Straße, Foto Ida Pirstinger.	84
Abbildung 73: Orthofoto Max Tandler Straße, © GIS Steiermark.	85
Abbildung 74: Max Tandler Straße, Ausschnitt Stadtentwicklungskonzept STEK, © GIS Steiermark. .	85
Abbildung 75: Max Tandler Straße, Ausschnitt Flächenwidmungsplan, © GIS Steiermark.....	85
Abbildung 76: Urbaner Kontext Parkplatz Max Tandler Straße, Bearbeitung TU Graz Institut für Städtebau.	86

Abbildung 77: Max Tandler Straße, Foto Ida Pirstinger.	87
Abbildung 78: Max Tandler Straße, Foto Ida Pirstinger.	87
Abbildung 79: Verkehrsflächen im Siedlungskontext - Der gelb umrahmte Standort 17 wurde zur vertieften Untersuchung ausgewählt. Hintergrundbild Orthofoto © GIS Steiermark.....	88
Abbildung 80: Spiderdiagramm zu den Parametern des Steckbriefs.....	89
Abbildung 81: Siedlung am Lerchenfeld, Foto Ida Pirstinger.	89
Abbildung 82: Orthofoto Am Lerchenfeld, Hintergrundbild © GIS Steiermark.	90
Abbildung 83: Am Lerchenfeld, Ausschnitt Stadtentwicklungskonzept STEK © GIS Steiermark.....	90
Abbildung 84: Am Lerchenfeld, Ausschnitt Flächenwidmungsplan © GIS Steiermark.....	90
Abbildung 85: Urbaner Kontext Am Lerchenfeld, Bearbeitung TU Graz Institut für Städtebau.	91
Abbildung 86: Am Lerchenfeld, Foto: Ida Pirstinger.	92
Abbildung 87: Am Lerchenfeld, Foto: Ida Pirstinger.	92
Abbildung 88: Vorselektierte Pilotprojektgebiete, die gelb umrahmten Standorte wurden für Testentwürfe ausgewählt. Hintergrundbild Orthofoto, © GIS Steiermark.....	93
Abbildung 89: Platznutzung mit und ohne Dach: Wochentags zu Betriebszeiten bzw. an Wochenenden und abends. Grafik TU Graz, Institut für Städtebau.	94
Abbildung 90: Eishalle Variante 1, weitgespannte Kehl- und Gratform; TU Graz, Institut für Städtebau.	96
Abbildung 91: Eishalle Variante 2, Bogengestützte Dachflächen bis Bodennähe; TU Graz, Institut für Städtebau.	96
Abbildung 92: Eishalle Variante 3, Bogengestützte Dachflächen in Überkopfhöhe; TU Graz, Institut für Städtebau.	97
Abbildung 93: Stadtfeuerwache Variante 1, Bogengestützte Dachflächen; TU Graz, Institut für Städtebau.	99
Abbildung 94: Stadtfeuerwache Variante 2, Tiefpunktflächen; TU Graz, Institut für Städtebau.....	99
Abbildung 95: Stadtfeuerwache Variante 2, Hochpunktflächen; TU Graz, Institut für Städtebau.	100
Abbildung 96: Max Tandler Straße Variante 1, Kehl- und Gratform; TU Graz, Institut für Städtebau.	101
Abbildung 97: Max Tandler Straße Variante 2, Siebenpunktsegel; TU Graz, Institut für Städtebau. .	101
Abbildung 98: Max Tandler Straße Variante 3, Hochpunktfläche; TU Graz, Institut für Städtebau. ..	102
Abbildung 99: Der Parkplatz bei der Eissporthalle vorher und nachher. Collage, TU Graz, Institut für Städtebau.	104
Abbildung 100: Zufahrt zum Parkplatz bei der Stadtfeuerwache vorher und nachher. Collage, TU Graz, Institut für Städtebau.	106
Abbildung 101: „Max Tandler Platz“ derzeitige Nutzung werktags, TU Graz, Institut für Städtebau.	107
Abbildung 102: „Max Tandler Platz“ als überdachter Parkplatz (oben) und als urbane Aneignungsfläche außerhalb der Betriebszeiten (unten). Collage, TU Graz, Institut für Städtebau. .	108
Abbildung 103: Verhältnis der Membran- zur Grundfläche für alle Entwurfsvariante sowie der beiden Vergleichskategorien.....	110
Abbildung 104: Solarertrag für die Entwurfsvarianten EH1 und EH2 sowie der Vergleichskategorien Normal und Gering jeweils als Jahres-Dauerlinie.....	111

Abbildung 105: Solarertrag für die Entwurfsvarianten FW1 bis FW3 sowie der Vergleichskategorien Normal und Gering jeweils als Jahres-Dauerlinie.....	112
Abbildung 106: Solarertrag für die Entwurfsvarianten MTP1 bis MTP3 sowie der Vergleichskategorien Normal und Gering jeweils als Jahres-Dauerlinie.....	113
Abbildung 107: Solarertrag für die Entwurfsvarianten MTP1 bis MTP3 (mit und ohne Berücksichtigung der baulichen Verschattung) sowie der Vergleichskategorien Normal und Gering jeweils als Jahres-Dauerlinie.	113
Abbildung 108: Solarertrag für die Entwurfsvarianten EH1 und EH2 sowie der Vergleichskategorie Normal als Monatswerte.....	114
Abbildung 109: Verhältniswert des monatlichen Solarertrags von Entwurfsvariante zur Vergleichskategorie Normal für EH1 und EH2.	114
Abbildung 110: Solarertrag für die Entwurfsvarianten FW1 bis FW3 sowie der Vergleichskategorie Normal als Monatswerte.....	115
Abbildung 111: Verhältniswert des monatlichen Solarertrags von Entwurfsvariante zur Vergleichskategorie Normal für FW1 bis FW3	115
Abbildung 112: Solarertrag für die Entwurfsvarianten MTP1 bis MTP3 sowie der Vergleichskategorien Normal und gering als Monatswerte	116
Abbildung 113: Verhältniswert des monatlichen Solarertrags von Entwurfsvariante zur Vergleichskategorie Normal für MTP2 und MTP3 sowie zur Vergleichskategorie Gering für MTP1..	116
Abbildung 114: Jahreswerte der Solarerträge für alle Entwurfsvarianten und die beiden Vergleichskategorien.....	117
Abbildung 115: Stundenwerte des Standardlastprofils G1 für einen Stromverbrauch von 35 kWh/(m ² a) bezogen auf 100 m ²	118
Abbildung 116: Stundenwerte des Standardlastprofils G1 für einen Stromverbrauch von 85 kWh/(m ² a) bezogen auf 100 m ²	118
Abbildung 117: Stundenwerte des Standardlastprofils G1 für einen Stromverbrauch von 105 kWh/(m ² a) bezogen auf 100 m ²	119
Abbildung 118: Eigenverbrauchsanteil je Entwurfsvariante für den Fall, dass der Jahresstromverbrauch der produzierten Strommenge entspricht.	119
Abbildung 119: Erforderliche Nettogrundfläche des fiktiven Bürogebäudes je Entwurfsvariante für den Fall, dass der Jahresstromverbrauch der produzierten Strommenge entspricht.	120
Abbildung 120: Erforderliche Nettogrundflächen des fiktiven Bürogebäudes je Entwurfsvariante für die Szenarien 1 und 2.	120
Abbildung 121: Roadmap für ein nachfolgendes F&E Demoprojekt (Eigene Darstellung).....	128

8.2. Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Auflistung der Modulhersteller mit deren Daten aus den Moduldatenblättern nach DIN EN 61215 (eigene Darstellung)	42
Tabelle 2: Beurteilungskriterien	49
Tabelle 3: Gebietstypen bzw. Gebietskategorien	49
Tabelle 4: Zusammenstellung der Membranflächen, der Grundflächen und deren Verhältnis zueinander für die gewählten Grundtypen.....	62
Tabelle 5: Jahreserträge für die Grundtypen bezogen auf die Membran- bzw. Grundfläche sowie die mittlere Gitterfläche.....	64
Tabelle 6: Monats- und Jahreserträge für die Vergleichskategorien Normal und Gering bezogen auf 1 m ² Grundfläche.	65
Tabelle 7: Entwurfsvarianten für die drei Projektgebiete.....	109
Tabelle 8: Zusammenstellung der Membranflächen, der Grundflächen und deren Verhältnis zueinander sowie die mittlere Gittergröße für die Entwurfsvarianten sowie den beiden Vergleichskategorien.....	110

9. Literaturverzeichnis

- Alwitra: Evalon_Solar_cSi_Datenblatt. Alwitra (Hrsg). Trier 2019. Online verfügbar unter https://www.dbz.de/download/371583/prospekt_evalon_solar_de.pdf (abgerufen am 25.11.2019; 15:10)
- Andriessen Ronn: Solliance sets more world records for R2R perovskite solar cells and modules. In: Solliance (Hrsg). Eindhoven, Genk 2019 Online verfügbar unter <https://www.solliance.eu/2017/solliance-sets-more-world-records-for-r2r-perovskite-solar-cells-and-modules/>(abgerufen am 06.12.2019; 12:30)
- Aramis: PANELPV: Verbundpanelen mit integrierter PV und Wahlfreiheit bei Dimension und Farbe. In: Schweizerische Eidgenossenschaft (Hrsg). Bern 2019 Online verfügbar unter <https://www.aramis.admin.ch/Grunddaten/?ProjectID=43181>(abgerufen am 29.11.2019; 12:22)
- Bolt Dieter: Roll-to-roll manufacturing of high efficiency and low cost flexible CIGS solar modules. CORDIS- European Commission (Hrsg). Brüssel 2015 Online verfügbar unter <https://cordis.europa.eu/project/rcn/109418/factsheet/en> (abgerufen am 04.12.2019; 10:12)
- Bundesministerium für Wirtschaft und Energie; Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit: Bekanntmachung der Regeln für Energieverbrauchswerte und der Vergleichswerte im Nichtwohngebäudebestand. Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (Hrsg). Berlin 2015 Online verfügbar unter https://www.febs.de/fileadmin/Gesetze_und_Normen/bekanntmachung-nwg-regeln-verbrauchswerte-2015.pdf (abgerufen am 04.03.2020; 12:10)
- DIN 4102-1:1998-05: Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen - Teil 1: Baustoffe; Begriffe, Anforderungen und Prüfungen. Online verfügbar unter <https://www.beuth.de/de/norm/din-4102-1/5241696> (abgerufen am 19.12.2019; 12:30)
- DIN EN 13501-1:2019-05: Klassifizierung von Bauprodukten und Bauarten zu ihrem Brandverhalten - Teil 1: Klassifizierung mit den Ergebnissen aus den Prüfungen zum Brandverhalten von Bauprodukten; Deutsche Fassung EN 13501-1:2018. Online verfügbar unter <https://www.beuth.de/de/norm/din-en-13501-1/292529605> (abgerufen am 19.12.2019, 10:12)
- Dumke Hartmut, Fischbäck Johannes, Hirschler Petra et al: EnergieRaumPlanung für Smart City Quartiere und Smart City Regionen (ERP-hoch3), Projektbericht im Rahmen des Programms Stadt der Zukunft, BMVIT, Graz-Wien 2017. Online unter: https://nachhaltigwirtschaften.at/resources/sdz_pdf/berichte/endbericht_2017-16_erphoch3.pdf (abgerufen am 14.5.2020, 18:30).
- ECN: Company. Online verfügbar unter <https://www.tno.nl/nl/aandachtsgebieden/ecn-part-of-tno/> (abgerufen am 05.12.2019; 10:23)
- Enkhard Sandra: Kristalline vs. Dünnschicht-Photovoltaik – oder doch am besten als Tandem. In: PV Magazine (Hrsg). pv magazine group GmbH & Co. KG Berlin 2018 Online verfügbar unter <https://www.pv-magazine.de/2018/05/15/kristalline-vs-duennschicht-photovoltaik-oder-doch-am-besten-als-tandem/> (abgerufen am 18.12.2019; 11:54)

- Enkhard Sandra: Heliatek und Lechwerke testen Photovoltaik-Folie auf Getreidesilo. In PV-Magazin (Hrsg) pv magazine group GmbH & Co. KG, Berlin 2019. Online verfügbar unter <https://www.pv-magazine.de/2019/05/27/heliatek-und-lechwerke-testen-photovoltaik-folie-auf-getreidesilo/> (abgerufen am 18.12.2019; 11:34)
- ertex solartechnik GmbH: Individuell gefertigte Photovoltaik-Module zur kreativen Gebäudeintegration. In ertex solartechnik GmbH (Hrsg). Amstetten 2019 Online verfügbar unter https://www.ertex-solar.at/fileadmin/user_upload/ReferenzenNeu/Fassade/VSG/AT_FACADE_Fronius_Baumann_Glas_VSG.pdf (abgerufen am 20.02.2020;10:35)
- Flisom AG: Projekte. Flisom AG (Hrsg). 2019 Online verfügbar unter <https://flisom.com/reference-projects> (abgerufen am 04.12.2019; 09:23)
- Flisom AG: About us. Flisom AG (Hrsg).2019 Online verfügbar unter <https://flisom.com/reference/aboutus> (abgerufen am 04.12.2019; 14:32)
- Flisom AG: Investment. Flisom AG (Hrsg).2019 Online verfügbar unter <https://flisom.com/investment-from-tata-group-2/> (abgerufen am 04.12.2019; 15:32)
- Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems ISE (2019): Photovoltaics Report. Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems ISE (Hrsg). Freiburg 2019 Online verfügbar unter <https://www.ise.fraunhofer.de/content/dam/ise/de/documents/publications/studies/Photovoltaics-Report.pdf> (abgerufen am 18.12.2019; 09:52)
- Geimer, Konstantin -Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme: Projektabschlussbericht „MechTest“ Charakterisierung der mechanischen Lastfälle durch Schnee- und Windlasten an solarthermischen Kollektoren mit ihren Befestigungs- und Montagesystemen. Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE (Hrsg). Freiburg 2013. Online verfügbar unter https://www.ise.fraunhofer.de/content/dam/ise/de/downloads/pdf/130910_STO2-KGe-130902-E_MechTest-Abschlussbericht_FINAL_Rev2_KGe.pdf (abgerufen am 06.12.2019; 08:32)
- Geist, Johann F.: Passagen, ein Bautyp des 19. Jahrhunderts. 2., durchges. Aufl, Prestel. München 1978.
- Global Solar: Technology. Online verfügbar unter <http://www.globalsolar.com/technology>, zuletzt geprüft am 06.12.2019.
- hamburg.de (offizielles Stadtportal für Hamburg): Hamburger Deckel, <http://www.hamburg.de/fernstrassen/a7-deckel/>(abgerufen am 14.5.2020,22:05).
- Hannen Petra: Heliatek fährt Serienfertigung organischer Solarfolien hoch. PV-Magazin. pv magazine group GmbH & Co. KG, Berlin 2019, Online verfügbar unter <https://www.pv-magazine.de/2019/08/21/heliatek-faehrt-serienfertigung-organischer-solarfolien-hoch/> (abgerufen am 25.11.2019; 10:31)
- Heliatek: Ultra-Thin, Organic and Flexible Solar Energy Solution Heliatek. Übersicht von Heliatek (Hrsg) 2019, Online verfügbar unter <https://www.heliatek.com/product/> (abgerufen am 08.08.2019; 11:33)

Heliatek: Produkte. Online verfügbar unter <https://www.heliatek.com/de/produkt/> (abgerufen am 05.12.2019; 16:09)

Heliatek: Projektübersicht. Heliatek (Hrsg). Online verfügbar unter <https://www.heliatek.com/de/projekte/> (abgerufen am 05.12.2019; 16:10)

Holst Centre: About Holst Centre. Online verfügbar unter <https://www.holstcentre.com/about-holst-centre/holst-centre-in-a-nutshell/> (abgerufen am 05.12.2019;15:12)

infinitypv: Solartape. Online verfügbar unter <https://infinitypv.com/products/opv/solar-tape> (abgerufen am 19.12.2019; 12:11)

Innogy SE: Grüner Strom von der Rolle, Flexible Solarfolien erobern neue Märkte. Innogy Se (Hrsg), 2019, Online verfügbar unter <https://iam.innogy.com/ueber-innogy/webstories/flexible-solarfolien-von-heliatek> (abgerufen am 04.12.2019; 15:55)

Jimenez, Javier: Aufbau von Photovoltaikmodule. Online verfügbar unter <https://www.photovoltaike-fachmann.at/pv-module.html> (abgerufen am 06.12.2019; 11:31)

Landezine: Grote Markt Vilvoorde, Ljublijana 2019, <http://landezine.com/index.php/2019/07/grote-markt-vilvoorde-by-omgeving-landscape-architecture/> (abgerufen am 14.4.2020, 11:03).

LeCuyer Annette: ETFE- Technologie und Entwurf. Birkhäuser Verlag AG, Basel, Boston, Berlin 2008

Ley Heribert: Sunovation Produktkaterlog 2020. Online verfügbar unter https://sunovation.de/de/produkte/eFORM_optionen#gebogene-glaeser (abgerufen am 14.02.2020; 11:22)

Mia Sole: FLEX-03NL_5.9m_Datasheet. Online verfügbar unter http://miasole.com/miasole2017/wp-content/uploads/2019/01/flex-03nl_5.9m_datasheet_5.pdf (abgerufen am 25.11.2019;11:55)

Mia Sole: MiaSolé FLEX FAQ. Online verfügbar unter http://miasole.com/wp-content/uploads/2016/11/FAQ_Customer.pdf (abgerufen am 06.12.2019; 09:32)

Mia Sole: SolarCell_Datasheet_43mm Endlos. Online verfügbar unter http://miasole.com/wp-content/uploads/2014/09/SolarCell_Datasheet_5.pdf (abgerufen am 12.05.2020; 08:54)

Muckenhuber Harald: Flexible PV-Systeme - Hochbarrierematerial zum Schutz sensibler Solarzellen & Verfahren zur R2R-Herstellung flexibler PV-Module & Dachbahnen In: ISOVOLTAIC AG (Hrsg). 2014 Online verfügbar unter <https://www.energieforschung.at/assets/project/final-report/Flexible-PV-Systeme-Publizierbarer-Endbericht-final.pdf> (abgerufen am 04.12.2019; 09:44)

Neisser Alex, Glatz Christoph, Moser Sebastian, Waldauf Christoph: PV-Folie als Halbzeug zur Integration in Standardindustrieprozesse der GIPV. In: Energieforschung (Hrsg) Wien 2014 Online verfügbar unter <https://www.energieforschung.at/projekte/668/pv-folie-als-halbzeug-zur-integration-in-standardindustrieprozesse-der-gipv> (abgerufen am 19.12.2019; 10:55)

Österreichisches Institut für Bautechnik (Hrsg): oib Richtlinien 1,2,3,4,5,6 (2015) inklusive Nebenprodukte und Erläuterungstexte, etc., Online unter: <https://www.oib.or.at/oib-richtlinien/richtlinien/2015> abgerufen am 14.5.2020, 19:20).

- photovoltaik: Neues Verfahren für Perowskit-Zellen. In: Erwin Fidelis Reisch (Hrsg). Photovoltaik, Gentner Verlag, Stuttgart 2019, Online verfügbar unter <https://www.photovoltaik.eu/Archiv/Meldungsarchiv/article-882030-110949/neues-verfahren-fuer-perowskit-zellen-.html> (abgerufen am 06.12.2019; 14:45)
- photovoltaik: Neuer Rekord für CIGS-Solarzellen. In: Erwin Fidelis Reisch (Hrsg). Photovoltaik, Gentner Verlag, Stuttgart 2019, Online verfügbar unter <https://www.photovoltaik.eu/Archiv/Meldungsarchiv/article-881377-110949/neuer-rekord-fuer-cigs-solarzellen-.html> (abgerufen am 04.12.2019; 11:56)
- Plessing Albert, Schinagl Christina, Muckenhuber Harald: Hochbarrierematerialien zum Schutz sensibler Dünnschichtsolarzellen und Verfahren zur Rolle zu Rolle Herstellung flexibler PV-Module und PV-Dachbahnen. In: Klima- und Energiefonds (Hrsg). Lebring. 2014 Online verfügbar unter <https://www.energieforschung.at/assets/project/final-report/Flexible-PV-Systeme-Publizierbarer-Endbericht-final.pdf> (abgerufen am 19.12.2019; 14:30)
- PVCOM: Projektbeschreibung. Online verfügbar unter <https://www.eurostars-eureka.eu/project/id/11104> (abgerufen am 29.11.2019; 09:50)
- PVTechnologies GmbH: PVT Produktkaterlog. Online verfügbar unter https://www.pvtechnologies.at/wp-content/uploads/2017/11/Katalog_PVT_DE_web.pdf (abgerufen am 14.02.2020; 14:54)
- Quénéhervé Geraldine: Mehrfachnutzung von Flächen – solare Energieproduktion im Quartier, in: AGIT – Journal für Angewandte Geoinformatik, 4-2018, S114-122, Wichmann Verlag, VDE VERLAG GMBH · Berlin · Offenbach, 2018.
- Rau Björn, Unger Eva, Kirchatz Thomas, Hentze Norbert: Innovationen für die Energiewende. In: ForschungsVerbund Erneuerbare Energien FVEE (Hrsg). Berlin 2017 Online verfügbar unter <https://www.fvee.de/fileadmin/publikationen/Themenhefte/th2017/th2017.pdf> (abgerufen am 18.12.2019; 10:30)
- Ridden Paul: Infrabel and Enfibility announce completion of 16.000-panel solar train tunnel. In: New Atlas, 2011, <https://newatlas.com/solar-rail-tunnel-completed/18881/> (abgerufen am 14. Mai 2020, 20:39).
- Ringhofer: Flexible PV-Systeme, Hochbarrierematerial zum Schutz sensibler Solarzellen. In: Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie (Hrsg). Energy innovation austria, Wien 2013. Online verfügbar unter <https://www.energy-innovation-austria.at/issue/eia-2013-02-de/> (abgerufen am 19.12.2019; 12:50)
- Rumman Sayed (2013): Gedruckte Kontakte Kostengünstig gedruckte Kontakte für Photovoltaik-Module im Rolle-zu-Rolle Produktionsprozess. In: Crystasol GmbH (Hrsg). Wien 2013. Online verfügbar unter <https://www.energieforschung.at/projekte/949/kostenguenstig-gedruckte-kontakte-fuer-photovoltaik-module-im-rolle-zu-rolle-produktionsprozess> (abgerufen am 29.11.2019; 10:33)
- Rumman Sayed: print.PV Flexographic printing of photovoltaic power Towards 0.3 €/W. In: Crystasol GmbH (Hrsg). Wien. 2017 Online verfügbar unter

<https://www.energieforschung.at/projekte/910/flexographic-printing-of-photovoltaic-power-towards-0-3-w> (abgerufen am 17.12.2019; 15:50)

Salak Boris, Graf Christoph, Muhar Andreas: Urbane Photovoltaikproduktion auf österreichischen Großparkplätzen: ein Beitrag zu nachhaltiger Energieversorgung, zukünftiger Elektromobilität und Bewusstseinsbildung bei EntscheidungsträgerInnen; In: Schrenk Manfred et al: REAL CORP 2017, Tagungsband.

Schauppenlehner, T., Muhar, A., Kugler, K., Salak, B., Gebetsroither-Geringer, E., Schneider, A., Stollnberger, R., Schnepfer, M., Köstl, M., Grimm-Pretner, D., Bautz, G., Tusch, R., Dallinger, A., Sehnal, E.: Syn[En]ergy - Ein Leitfaden für Photovoltaikanwendungen in öffentlichen Freiräumen. Wien 2018. Online unter: https://synenergy.boku.ac.at/wp-content/uploads/2018/04/SynEnergy_Leitfaden.pdf (abgerufen am 14.5.2020, 18:20).

Schauppenlehner, T., Muhar, A., Kugler, K., Salak, B., Gebetsroither-Geringer, E., Schneider, A., Stollnberger, R., Schnepfer, M., Köstl, M., Grimm-Pretner, D., Bautz, G., Tusch, R., Dallinger, A., Sehnal, E.: Syn[En]ergy - Synergiepotenziale zwischen Stadtplanungszielen und Photovoltaiknutzung auf urbanen Freiflächen. Projektbericht im Rahmen des Programms Stadt der Zukunft, BMVIT, Wien 2018. Online unter: <https://nachhaltigwirtschaften.at/de/sdz/projekte/syn-en-ergy-synergiepotenziale-zwischen-stadtplanungszielen-und-photovoltaiknutzung-auf-freiflaechen.php#publications> (abgerufen am 14.5.2020, 18:20).

Schiemann Lars: Tragverhalten von ETFE-Folien unter biaxialer Beanspruchung. In: Technische Universität München, Fakultät für Architektur Institut für Entwerfen und Baukonstruktion Lehrstuhl für Tragwerksplanung (Hrsg). München 2009

Seibert Alexis (2019): Auskunft EVALON Solar cSI, 13.02.2019. Mail an Michael Moltinger.

Sigmund Bettina (2014): Organische Photovoltaik. Neue Generation gebäudeintegrierter Solartechnologie. Online verfügbar unter <https://www.detail.de/artikel/organische-photovoltaik-neue-generation-gebaeudeintegrierter-solartechnologie-11905/> (abgerufen am 18.12.2018; 12:30)

Six Birgit, Dimopoulos Theodoros, Trimmel Gregor, Scharber Markus, Boeffel Christine, Plessing Lukas, Schen Verena: Modulkonzepte und Produktionsverfahren für hocheffiziente flexible PV-Module basierend auf emergenten Zelltechnologien. In: Energieforschung (Hrsg) Weiz. 2015 Online verfügbar unter <https://www.energieforschung.at/assets/project/final-report/Publizierbarer-Endbericht-v2.pdf> (abgerufen am 19.12.2019; 12:35)

Solbian: SOLBIAN- Datenblatt Soliban SXflex-Serie. Online verfügbar unter <https://www.solbian.solar/wp-content/uploads/2019/03/Datasheet-SX.pdf> (abgerufen am 25.11.2019; 11:45)

Solbian Solar: SOLBIAN-Solar_Datasheet_SP-Serie_DE. Online verfügbar unter https://www.solbian.solar/wp-content/uploads/2019/03/SOLBIAN-Solar_Datasheet_SP-Serie_DE.pdf (abgerufen am 12.12.2019; 11:50)

- Solbian Solar: Datenblatt SXX-Serie. Online verfügbar unter https://solbian.solar/wp-content/uploads/2019/11/SOLBIAN-Solar_Datasheet_SXX-Serie_DE.pdf (abgerufen am 12.12.2019; 11:56)
- Solbian Solar: DE_SOLBIAN-Solar_Inspirationen-2019. Online verfügbar unter https://www.solbian.solar/wp-content/uploads/2019/01/DE_SOLBIAN-Solar_Inspirationen-2019.pdf (abgerufen am 12.12.2019; 13:44)
- Solbian Solar: Works. Online verfügbar unter <https://solbian.solar/de/#focus> (abgerufen am 12.12.2019; 14:30)
- Solitek: About Solitek. Online verfügbar unter <https://solitek.eu/solar-technology-company-solitek-sells-and-installs-top-quality-glass-glass-solar-panels/> (abgerufen am 20.02.2020; 12:22)
- Solliance: About Us. Online verfügbar unter <https://www.solliance.eu/about-us/> (abgerufen am 05.12.2019; 15:12)
- Stadtamt Leoben (HG): Statistisches Jahrbuch 2016, Leoben 2017.
- Sunovation: Über uns. Online verfügbar unter <https://sunovation.de/de/ueber-uns> (abgerufen am 20.02.2020; 12:22)
- Sunplugged GmbH (2018): Scale Up. Hg. v. FFG-Projektblatt. Online verfügbar unter <https://projekte.ffg.at/projekt/2926669/pdf> (abgerufen am 18.12.2019; 14:44)
- TNO: About TNO. Online verfügbar unter <https://www.tno.nl/en/> abgerufen am 05.12.2019; 15:30)
- TÜV Rheinland Energie und Umwelt GmbH Geschäftsfeld Regenerative Energien (2010): Bauartzertifizierung von PV-Modulen entsprechend IEC 61215:2005 IEC 61646:2008. Hg. v. TÜV Rheinland. Online verfügbar unter https://www.tuv.com/media/germany/10_industrialservices/downloads/IEC_61215_61646_Info_20101029.pdf (abgerufen am 06.12.2019; 12:45)
- Umweltbundesamt (Hrsg.): Flächeninanspruchnahme 2016. Wien, 2017, www.umweltbundesamt.at/fileadmin/site/umweltthemen/raumplanung/Pdfs/Flaecheninanspr_2016.pdf, (aufgerufen am 12.2.2018, 15:20).
- Understand Solar: Solar-Powered Trains: The Future of Sustainable Public Transportation? <https://understandsolar.com/solar-powered-trains-future-of-public-transportation/> (abgerufen am 7.4.2020, 10:07).
- Weller Bernhard: Technologieentwicklung leichter, flexibler Photovoltaikmodule auf der Basis von ETFE und CIGS Foliensolarzellen für die Architektur. In: Fraunhofer IRB Verlag (Hrsg). Stuttgart 2015
- Witte Wolfram: Projektergebnisse Sharc 25. Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung Baden-Württemberg (Hrsg) Stuttgart 2018 Online verfügbar unter <http://sharc25.eu/results/> (abgerufen am 28.11.2019; 15:30)

Windkraft Journal: Sonnenenergie für Windkrafttürme. Online verfügbar unter <https://www.windkraft-journal.de/2019/05/31/sonnenenergie-fuer-windkrafttuerme/136133> (abgerufen am 12.05.2020; 16:22)

Zimmermann Andreas: SimpliCIS 2 - Flexible Dünnschichtsolarmodule für die Gebäude- und Geräteintegration. In: Energieforschung (Hrsg). Wildermiming 2019

Zimmermann Andreas: Solarfoil. Online verfügbar unter <http://sunplugged.at/solarfoil/new-production-process> (abgerufen am 27.11.2019; 12:50)

Zimmermann Andreas: Endbericht: Flexible CIGS solar cells with efficiencies above 16% and costs below 0,6 Euro per Watt for bespoke photovoltaic modules. In: 03. Ausschreibung Energieforschungsprogramm, Energieforschung (Hrsg). Wildermiming 2019 ..

10. Anhang

10.1. Kriterienmatrix – Vorselektion potentieller Pilotprojektgebiete und Kriterienkatalog

ParaSolMatrix.pdf

**Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie,
Mobilität, Innovation und Technologie (BMK)**

Radetzkystraße 2, 1030 Wien

[bmk.gv.at](https://www.bmk.gv.at)