Hamburg | Behörde für Umwelt, Klima, Energie und Agrarwirtschaft

Erneuerbare Energien Hamburg

Machbarkeitsstudie (Kurzstudie) für die Vorplanung einer Parkplatz PV-Anlage beim Gut Wulksfelde

—

Credit: Fotograf Sven Schomburg

TEOS ENERGY

Hinweis zur Sprachform:
Aus Gründen der besseren Lesbarkeit wird in dieser Studie auf die gleichzeitige Verwendung männlicher, weiblicher und diverser Sprachformen verzichtet. Sämtliche Personenbezeichnungen gelten gleichermaßen für alle Geschlechter.

Studie:
Machbarkeitsstudie, Vorplanung einer Parkplatz PV-Anlage
Bearbeitungszeitraum August 2025 - April 2026

Im Auftrag von:
Erneuerbare Energien Hamburg Clusteragentur GmbH
Wexstraße 7, 20335 Hamburg

Projektleitung Erneuerbare Energien Hamburg
Constantin Lange (EEHH)

Erneuerbare Energien Hamburg

Durchgeführt von:
Teos Energy GmbH

TEOS ENERGY

Autor:
Christoph Sult
Teos Energy GmbH

Gefördert durch:
Behörde für Umwelt, Klima,
Energie und Agrarwirtschaft
Neuenfelder Str. 19, 21109 Hamburg

Hamburg | Behörde für Umwelt, Klima, Energie und Agrarwirtschaft

Erneuerbare Energien Hamburg

Inhaltsverzeichnis:

1. Einleitung	5
2. Rahmenbedingungen für Parkplatz- /Carport-PV-Anlagen	5
2.1 Allgemeine technische und wirtschaftliche Voraussetzungen	5
2.2 Rechtliche und regulatorische Grundlagen (EEG, HmbKliSchG, Bauordnung)	8
2.3 Fördermöglichkeiten und aktuelle Marktentwicklung	8
3. Projektbeschreibung und spezifische Herausforderungen	10
3.1 Standortbeschreibung und Ausgangslage	10
3.2 Elektrische Auslegung & Netzanschluss	12
3.3 Wirtschaftlichkeit & Förderlandschaft	12
3.4 Genehmigungs- & planungsrechtliche Aspekte	13
3.5 Betriebs- und Nutzungskonzepte	13
4. Technisches Konzept und Lösungsansätze	14
4.1 Anlagenkonzept (Aufbau, Komponenten, Leistung)	14
4.2 Integration von Ladeinfrastruktur	15
4.3 Lösungsansätze zu den identifizierten Herausforderungen	16
5. Wirtschaftlichkeitsanalyse	16
5.1 Annahmen und Berechnungsmethodik	16
5.2 Szenarien vergleich (Eigenbetrieb / Eigenverbrauchsoptimierung / PPA)	17
5.3 Bewertung der Wirtschaftlichkeit	18
6. Fazit und Handlungsempfehlungen	19
6.1 Zusammenfassung der wesentlichen Ergebnisse	19
6.2 Bewertung der Machbarkeit	19
6.3 Handlungsempfehlungen für zukünftige Projekte	20
Literaturverzeichnis	21
Anhang	22

Abbildungsverzeichnung

Abbildung 1: Carport PV Anlage von unten Quelle: tritec-energy.com 6
Abbildung 2: Schematischer Aufbau einer Carport PV Anlage Quelle: thofehrn-photovoltaik.de 6
Abbildung 3: Ausschnitt PVsyst Bericht 7
Abbildung 4: Gelände des Guts Wulksfelde - Quelle: Google Earth 10
Abbildung 5: Design-Layout Gut Wulksfelde - Quelle: Teos Energy 11

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1 - Vergleich der wirtschaftlichen Kennzahlen verschiedener Betriebs- und Nutzungsszenarien 18

1. Einleitung

Die vorliegende Machbarkeitsstudie dient der Untersuchung von Möglichkeiten zur Umsetzung einer Photovoltaikanlage auf Parkplatz- bzw. Carportflächen im Großraum Hamburg. Die Untersuchung zielt darauf ab, die technische, wirtschaftliche und rechtliche Machbarkeit anhand eines konkreten Projekts zu bewerten und wesentliche Herausforderungen sowie entsprechende Lösungsansätze für vergleichbare Anwendungen zu identifizieren und zu analysieren. Als konkretes Anwendungsbeispiel dient dabei der Standort Gut Wulksfelde im nördlichen Großraum Hamburg, an dem die Umsetzung einer Parkplatz-Photovoltaikanlage unter realen Rahmenbedingungen untersucht wird.

Im Rahmen seiner Klimaschutzziele verfolgt Hamburg den Ausbau erneuerbarer Energien mit hoher Priorität. Zudem verpflichtet das Hamburgische Klimaschutzgesetz[1] Eigentümer geeigneter Stellplatzanlagen zur Installation von Photovoltaikanlagen. Ungenutzte Potenziale bieten hierbei besonders Parkplatz- und Carportanlagen. Sie kombinieren Flächeneffizienz, lokale Energieerzeugung und Wetterschutz für die darunterliegenden Stellplätze. Zudem lassen sie sich mit Ladeinfrastrukturen für die Elektromobilität koppeln. (HmbKliSchG, 2023)

Die Studie wurde im Auftrag der Erneuerbare Energien Hamburg Clusteragentur (EEHH) durchgeführt und bildet eine Grundlage zur Bewertung der wirtschaftlichen, technischen und genehmigungsrechtlichen Rahmenbedingungen für Parkplatz- und Carport-PV Anlagen. Neben der Analyse des betrachteten Standortes werden auch Erkenntnisse und Handlungsempfehlungen für zukünftige Projekte abgeleitet.

2. Rahmenbedingungen für Parkplatz- / Carport-PV-Anlagen

Dieses Kapitel beschäftigt sich mit den grundlegenden technischen, rechtlichen und wirtschaftlichen Rahmenbedingungen für die Errichtung von Photovoltaikanlagen auf Parkplatz- und Carportflächen. Es gibt einen Überblick über wesentliche Einflussfaktoren, die für die Planung, Genehmigung und Wirtschaftlichkeit solcher Anlagen relevant sind.

2.1 Allgemeine technische und wirtschaftliche Voraussetzungen

Parkplatz- und Carport-Photovoltaikanlagen kombinieren die Überdachung von Stellflächen mit der Stromerzeugung aus Solarenergie. Sie ermöglichen damit eine effiziente Nutzung von bereits versiegelten Flächen im Stadtgebiet und tragen zur lokalen Energieversorgung sowie zum Klimaschutz bei.

Parkplatz- und Carport-Photovoltaikanlagen kombinieren die Überdachung von Stellflächen mit der Stromerzeugung aus Solarenergie. Sie ermöglichen damit eine effiziente Nutzung von bereits versiegelten Flächen im Stadtgebiet und tragen zur lokalen Energieversorgung sowie zum Klimaschutz bei.
Die Anlagen bestehen in der Regel aus einer tragenden Stahl-, Aluminium- oder Holzkonstruktion, auf der die stromerzeugenden PV-Module montiert werden. Holzkonstruktionen stellen dabei eine mögliche Alternative dar und können je nach Ausführung auch wirtschaftliche Vorteile bieten. Zum Einsatz kommen dabei überwiegend monokristalline PV-Module, wobei je nach Anforderungen auch unterschiedliche Modultypen und Bauformen berücksichtigt werden können. Die Auswahl der Module erfolgt zudem unter Berücksichtigung konstruktiver Randbedingungen wie Bauteilgeometrie, Spannweiten und statischer Anforderungen, wodurch in der Praxis häufig kompaktere Modulformate zum Einsatz kommen. Somit können je nach Nutzung und Flächengeometrie Einzelstellplatz-, Reihen- oder Flächenüberdachungen realisiert werden. Die finale Dimensionierung richtet sich zudem nach Normen zu Schnee- und Windlasten (DIN EN 1991-1-3/-1-4). (Landesministerium Niedersachsen, 2012)

[1] Freie und Hansestadt Hamburg (2025): Hamburgisches Klimaschutzgesetz (HmbKliSchG), §16a. Online verfügbar unter: https://www.landesrecht-hamburg.de

Abbildung 1: Carport PV Anlage von unten Quelle: tritec-energy.com (eigentlich iStock)

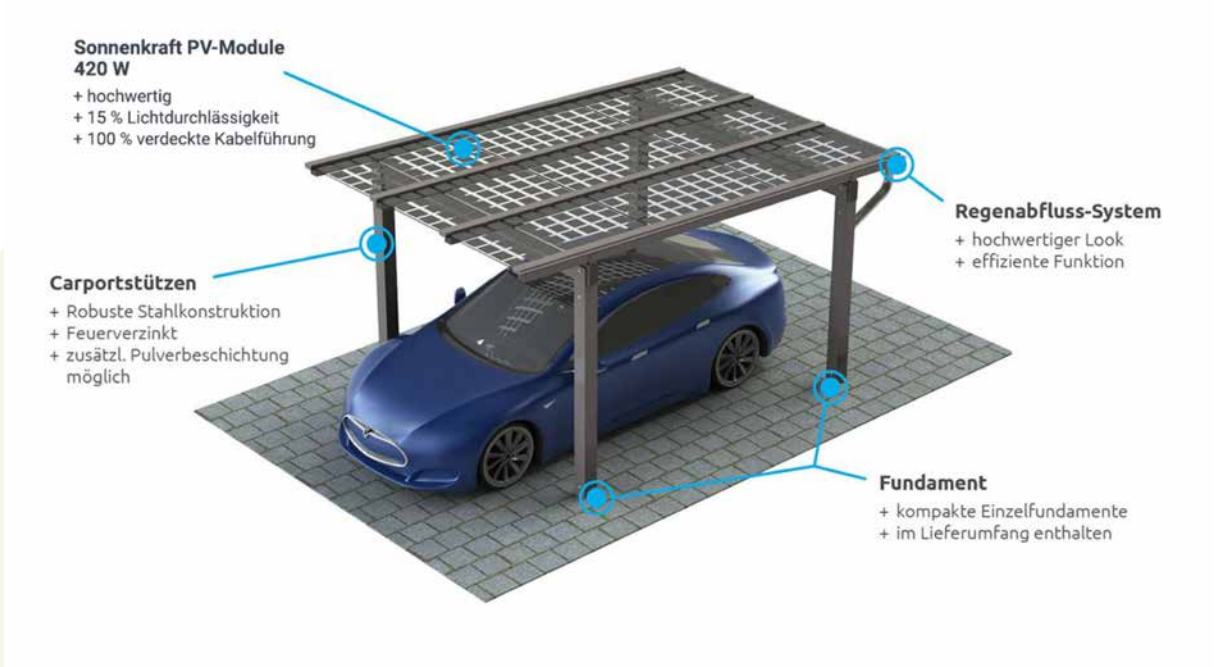

Abbildung 2: Schematischer Aufbau einer Carport PV Anlage Quelle:

Neben der Frage des konstruktiven Aufbaus sind auch Ertrags- und Flächenaspekte mit einzubeziehen. Ein gleichmäßiger Tagesertrag wird demnach durch horizontale oder leicht geneigte Modulflächen erzielt, was bereits in der Planungsphase – ebenso wie mögliche Ertragsminderung durch Verschattung durch Bäume oder Gebäude – berücksichtigt werden muss. Zur Maximierung des Ertrags spielen die Anordnung der Modulfelder eine entscheidende Rolle. Diese Kriterien und Planungsparameter werden in speziellen Ertragsberichten dokumentiert. Ein Ausschnitt eines solchen Berichts kann in Abbildung 3 eingesehen werden.

General parameters

Grid-Connected System

Orientation #1
Fixed plane
Tilt/Azimuth 5 / 0 °

Sheds system

Sheds configuration
Nb. of sheds 49 units
Set of tables
Shading limit angle
Limit profile angle 38.7 °

Sizes
Sheds spacing 5.08 m
Sensitive width 4.60 m
GCR Shading 90.4 %

Models used
Transposition Perez
Diffuse Perez, Meteonorm
Circumsolar separate

Horizon
Average Height 1.5 °

Near Shadings
Linear shadings : Fast (table)

User's needs
Unlimited load (grid)

PV Array Characteristics

PV module
Manufacturer Jinkosolar
Model JKM-54HL4R-(V)-445
(Original PVsyst database)
Unit Nom. Power 445 Wp
Number of PV modules 1176 units
Nominal (STC) 523 kWp
Modules 49 string x 24 In series
At operating cond. (50°C)
Pmpp 487 kWp
U mpp 741 V
I mpp 656 A

Inverter
Manufacturer Sungrow
Model SG125CX-P2
(Original PVsyst database)
Unit Nom. Power 125 kWac
Number of inverters 4 units
Total power 500 kWac
Operating voltage 180-1000 V
Pnom ratio (DC:AC) 1.05
Power sharing within this inverter

Total PV power
Nominal (STC) 523 kWp
Total 1176 modules
Module area 2350 m²
Cell area 2104 m²

Total inverter power
Total power 500 kWac
Number of inverters 4 units
Pnom ratio 1.05

Array losses

Array Soiling Losses
Loss Fraction 2.5 %

Thermal Loss factor
Module temperature according to irradiance
Uc (const) 29.0 W/m²K
Uv (wind) 0.0 W/m²K/m/s

DC wiring losses
Global array res. 15 mΩ
Loss Fraction 1.20 % at STC

LID - Light Induced Degradation
Loss Fraction 1.00 %

Module Quality Loss
Loss Fraction -0.45 %

Module mismatch losses
Loss Fraction 1.00 % at MPP

Strings Mismatch loss
Loss Fraction 0.10 %

IAM loss factor
Incidence effect (IAM): Fresnel, AR coating, n(glass)=1.526, n(AR)=1.290

0°	30°	50°	60°	70°	75°	80°	85°	90°
1.000	0.999	0.987	0.963	0.892	0.814	0.679	0.438	0.000

Abbildung 3: Ausschnitt PVsyst Bericht

Die Investitionskosten einer Parkplatz- und Carport-PV Anlage sind wirtschaftlich betrachtet, im direkten Vergleich zu den klassischen Dachanlagen, aufgrund aufwendigerer Tragkonstruktionen, Fundamente und Montage, höher. Ein Mehrwert entsteht durch den integrierten Wetterschutz sowie durch die Verschattung der Stellplätze, wodurch insbesondere in den Sommermonaten eine Reduzierung der Aufheizung der Fahrzeuge erreicht werden kann. Zusätzlich bietet die Anlage die Möglichkeit, Ladeinfrastrukturen für die Elektromobilität zu integrieren, wodurch der Eigenverbrauchsanteil und die Wirtschaftlichkeit verbessert werden können. Ein vollständige Ertragsbericht ist im Anhang E angefügt.

2.2 Rechtliche und regulatorische Grundlagen (EEG, HmbKliSchG, Bauordnung)

Unter anderem für die im Rahmen dieser Studie untersuchten Parkplatzflächen gelten die nachfolgend beschriebenen rechtlichen und baurechtlichen Regelwerke und Bedingungen. In ihnen wird geregelt unter welchen Voraussetzungen ein solches Projekt genehmigt, gebaut und betrieben werden darf. Speziell in Hamburg sind dies unter anderem das Hamburgische Klimaschutzgesetz (HmbKliSchG) sowie die Hamburgische Bauordnung (HBauO). (Bauordnung, §2 HBauO, 2025) (Bauordnung, §3 HBauO, 2025) (Bauordnung, §59 HBauO, 2025)

Das HmbKliSchG verpflichtet Eigentümer in §16a geeigneter Stellplatzanlagen zur Installation von Photovoltaikanlagen. Hierzu zählen insbesondere neu errichtete oder wesentlich geänderte Parkplätze mit mehr als 35 Stellplätzen. Ziel ist die konsequente Nutzung von urbanen Flächen zur Erzeugung erneuerbarer Energien und die Reduktion von CO_2-Emissionen im Stadtgebiet. (HmbKliSchG, 2023)

Baurechtliche Anforderungen nach der HBauO sind darüber hinaus zusätzlich zu berücksichtigen. Demnach gelten Carport- und Parkplatzüberdachungen gemäß §2 HBauO als bauliche Anlagen und sind in der Regel genehmigungspflichtig. Vorgaben zu Abstandsflächen, Standsicherheit, Fundamentierung, Brandschutz und Barrierefreiheit sind hier maßgeblich. Insbesondere bei größeren Anlagen mit versiegelten Flächen können lokal Vorgaben zur Entwässerung und Regenwassernutzung relevant werden.

Um potenzielle Verzögerungen im Genehmigungsverfahren im Rahmen der Projektplanung zu vermeiden, empfiehlt sich eine frühzeitige Abstimmung mit der zuständigen Bauprüfabteilung. Dies gilt insbesondere bei Flächen im öffentlichen Raum oder in Gebieten mit städtebaulichen Besonderheiten, wie z.B. denkmalgeschützten Arealen[2]. (Bauordnung, §2 HBauO, 2025) (Bauordnung, §59 HBauO, 2025)

Die rechtlichen Vorgaben bilden die Grundlage für die spätere Bewertung der Genehmigungsfähigkeit im betrachteten Projektgebiet.

2.3 Fördermöglichkeiten und aktuelle Marktentwicklung

Verfügbare Förderprogramme und die allgemeine Marktentwicklung spielen neben den rechtlichen Rahmenbedingungen eine entscheidende Rolle für die Wirtschaftlichkeit der Anlagen.

Anlagen mit einer installierten Leistung bis zu 1 MW können gemäß dem Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG 2023) eine Marktprämie oder Einspeisevergütung erhalten. Sofern Parkplatzanlagen im Zusammenhang mit einer baulichen Überdachung errichtet werden, gelten diese als Aufdachanlagen. Diese Einstufung ist relevant, da sie über die Förderfähigkeit und Vergütungshöhe entscheidet. Aufdachanlagen erhalten nach EEG in der Regel höhere Vergütungssätze und unterliegen vereinfachten Bedingungen im Vergleich zu Freiflächenanlagen.

[2] Freie und Hansestadt Hamburg (2025): Hamburgische Bauordnung (HBauO), insbesondere §2 (Begriff bauliche Anlage) und §59 (Genehmigungspflicht). Online verfügbar unter: https://www.landesrecht-hamburg.de/bsha/document/jlr-BauOHA2025pIVZ

Bei größeren Projekten ist häufig die Direktvermarktung des erzeugten Stroms wirtschaftlich attraktiver, insbesondere in Kombination mit Ladeinfrastruktur oder Eigenverbrauchmodellen[3]. (Bundesministerium der Justiz und für Verbraucherschutz, 2023)

Darüber hinaus ist zu berücksichtigen, dass zentrale Förderbestandteile des Solarpakets I eine Erhöhung der Vergütungssätze für PV-Dachanlagen um rund 1,5 ct/kWh vorsehen[4]. Für spezielle Anlagenformen wie Parkplatz-Photovoltaikanlagen sind darüber hinaus Anpassungen im Rahmen von Ausschreibungen vorgesehen, deren konkrete Ausgestaltung derzeit noch unter beihilferechtlicher Prüfung durch die Europäische Kommission steht. Die Maßnahmen können erst wirksam werden, sobald die EU die staatliche Förderung genehmigt hat. Hintergrund ist, dass die Kommission staatliche Subventionen im Hinblick auf mögliche Wettbewerbsverzerrungen prüft und hierfür sogenannte Claw-Back-Mechanismen fordert, die eine Rückführung („Abschöpfung“) überhöhter Einnahmen ermöglichen.

Solange diese Genehmigung aussteht, besteht eine gewisse regulatorische Unsicherheit. Sobald die Freigabe erfolgt, könnten die geplanten Bonuselemente eine zusätzliche wirtschaftliche Verbesserung für Stellplatz-PV-Projekte darstellen – insbesondere im Zusammenspiel mit Ladeinfrastruktur oder Speicherkonzepten. (Deutscher Bauernverband, 2025)

Zusätzlich stehen auf Bundesebene Förderprogramme zur Verfügung, die Investitionen in Photovoltaikanlagen unterstützen. Relevanz besitzt insbesondere das KfW-Programm 270 („Erneuerbare Energien – Standard“), das zinsgünstige Kredite für PV-Anlagen, Batteriespeicher und zugehörige Infrastruktur bietet. Auf Landesebene existieren aktuell keine spezifischen Förderprogramme für Carport- oder Parkplatz-PV-Anlagen in Hamburg. Die Behörde für Umwelt, Klima, Energie und Agrarwirtschaft (BUKEA) begleitet jedoch Pilot- und Innovationsprojekte im Bereich nachhaltiger Energie- und Mobilitätslösungen, wodurch sich perspektivisch zusätzliche Unterstützungsmöglichkeiten ergeben könnten. (KFW Bank, 2026)

Parkplatz- und Carport-PV-Anlagen zeigen bundesweit ein deutliches Wachstum. Neben gesetzlichen Verpflichtungen und steigenden Strompreisen tragen insbesondere Förderinitiativen für E-Mobilität und kombinierte Energielösungen zu dieser Dynamik bei. Integrierte Konzepte aus Photovoltaik, Ladeinfrastrukturen und Energiespeicherung gewinnen in urbanen Räumen wie Hamburg zunehmend an Bedeutung. Von der Verfügbarkeit geeigneter Flächen, der Weiterentwicklung standardisierter Bausysteme sowie einer effizienten Netzintegration hängt der zukünftige Ausbau maßgeblich ab.

Vor dem Hintergrund dieser Rahmenbedingungen werden im folgenden Kapitel die projektspezifischen Voraussetzungen und Herausforderungen näher betrachtet.

[3] Bundesministerium der Justiz (2023): Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG 2023), insbesondere §§ 19/20-21/48. Online verfügbar unter: https://www.gesetze-im-internet.de/eeg_2014/

[4] Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (2024): Solarpaket I – Maßnahmen zur Förderung von Photovoltaikanlagen. Online verfügbar unter: https://www.bundeswirtschaftsministerium.de/Redaktion/DE/Artikel/Energie/solarpaket-1.html

3. Projektbeschreibung und spezifische Herausforderungen

In diesem Kapitel werden die für das betrachtete Projekt relevanten Rahmenbedingungen und Herausforderungen dargestellt. Anders als in Kapitel 2 liegt der Fokus hier nicht auf allgemeinen Grundlagen, sondern auf der konkreten Standortanalyse, den technischen und wirtschaftlichen Anforderungen sowie den genehmigungsrechtlichen und betrieblichen Aspekten. Diese bilden die Grundlage für eine spätere Bewertung der technischen Machbarkeit und der wirtschaftlichen Umsetzbarkeit des Projekts.

3.1 Standortbeschreibung und Ausgangslage

Der für diese Studie betrachtete Standort ist das Gut Wulksfelde im nördlichen Großraum Hamburgs (53°43‘6.12“N; 10°6‘42.32“E). Das Gut betreibt einen ökologischen Landwirtschaftsbetrieb mit Hofladen, Restaurant, Bäckerei, Tierhaltung und einem umfangreichen Lieferdienst, wodurch ein durchgehend hoher Strombedarf entsteht, unter anderem für Kühltechnik, Backstubenbetrieb, Gastronomie und Logistik (z.B.: Lieferdienste).

Abbildung 4: Gelände des Guts Wulksfelde - Quelle: Google Earth

Das Gelände umfasst neben landwirtschaftlich genutzten Flächen auch verschiedene versiegelte Parkplatz- und Zufahrtsbereiche, die grundsätzlich Potenzial für die Installation einer Parkplatz- bzw. Carport-Photovoltaikanlage bieten. Da die vorhandenen Dachflächen bereits weitgehend mit einer PV-Anlage belegt sind, stehen nur begrenzte zusätzliche Flächen zur Verfügung. Parkplatz-PV stellt daher eine Möglichkeit dar, weitere Erzeugungskapazitäten zu erschließen, ohne zusätzliche Flächen zu versiegeln und gleichzeitig einen funktionalen Mehrwert für die Besucher- und Lieferlogistik zu schaffen. Auf Basis der derzeit nutzbaren Parkplatzbereiche ist voraussichtlich eine Anlagenleistung im Bereich von rund 523 kWp (DC) bzw. 500 kWac (AC) realisierbar. Ein wesentlicher Anteil des erzeugten Stroms könnte vor Ort verbraucht werden, insbesondere durch die Bäckerei, den Hofladen und den Lieferdienst. Eine schematische Darstellung des geplanten Layouts ist in Abbildung 2 dargestellt.

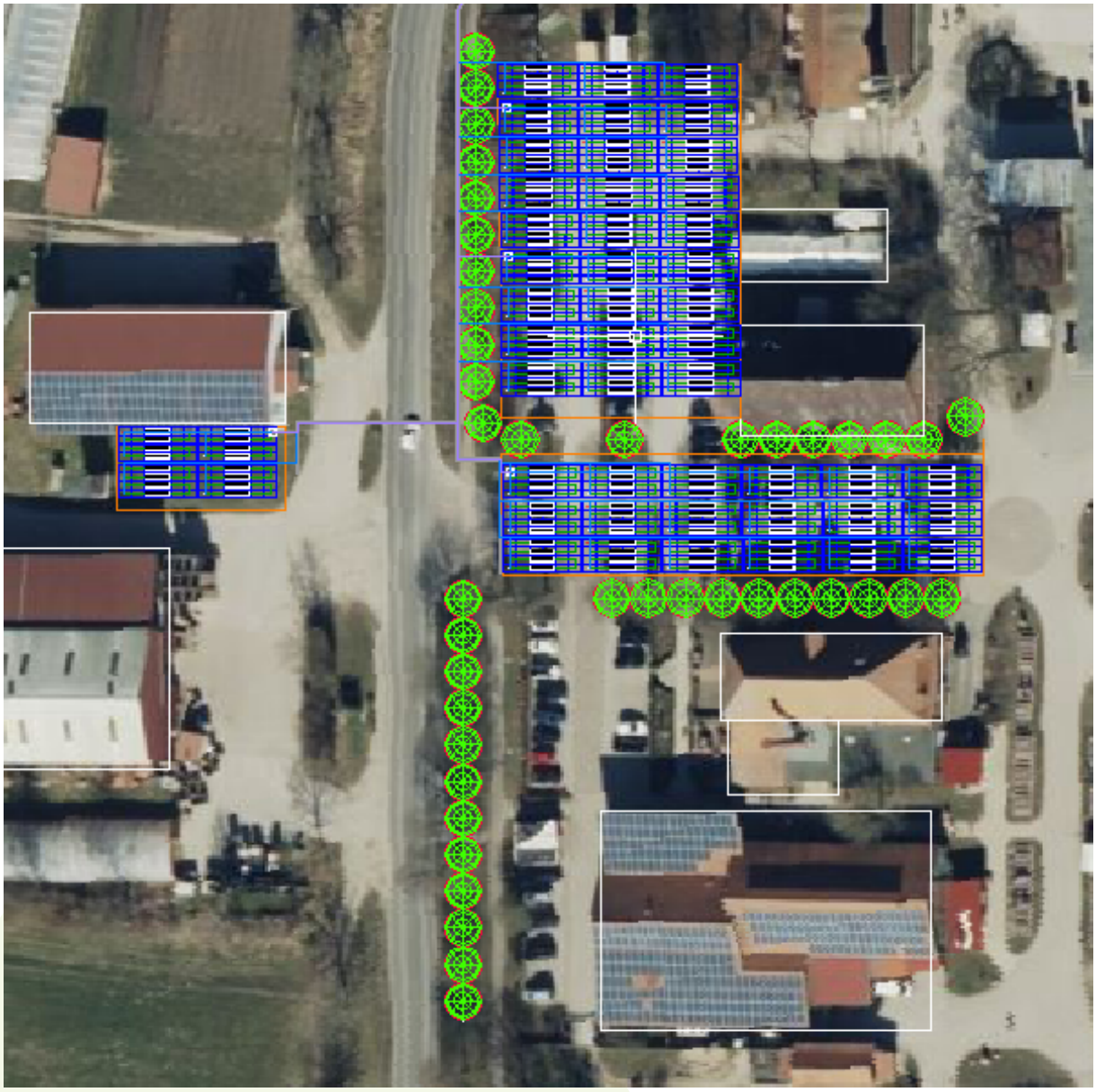

Abbildung 5: Design-Layout Gut Wulksfelde - Quelle: Teos Energy

Mehrere Flächenbereiche weisen durch ihre gleichmäßige Anordnung und geringe Verschattung ein hohes Potenzial für die Errichtung von PV-Carports auf. Sie sind überwiegend befestigt und einzelne Bereiche durch Gebäude oder Vegetation abgegrenzt. Die topografischen und infrastrukturellen Gegebenheiten bilden die Grundlage für eine technische und wirtschaftliche Bewertung und werden im weiteren Verlauf der Studie näher betrachtet. Zudem besteht die Möglichkeit, eine Ladeinfrastruktur zu integrieren, um den erzeugten Strom direkt vor Ort zu nutzen und den Eigenverbrauch weiter zu erhöhen.

Neben diesen Potenzialen bestehen jedoch auch standortspezifische Einschränkungen, die bei der weiteren Planung berücksichtigt werden müssen. Eine erste Herausforderung ergibt sich aus der künftigen Flächennutzung. Nach Angaben des Betreibers des Guts sollen einzelne Bereiche des Parkplatzareals in den kommenden Jahren für andere betriebliche Zwecke vorgesehen werden. Diese Flächen stehen somit nicht dauerhaft für die Installation der PV-Carports zur Verfügung, was die nutzbare Gesamtfläche und damit auch die mögliche

Anlagengröße einschränkt. Eine flexible und modulare Planung ist daher erforderlich, um auf künftige Veränderungen der Flächennutzung reagieren zu können.

3.2 Elektrische Auslegung & Netzanschluss

Eine der zentralen technischen Grundlagen des Projekts ist die elektrische Auslegung. Sie bestimmt maßgeblich, wie die erzeugte Energie ins Netz eingespeist oder vor Ort genutzt werden kann.

Eine wesentliche Herausforderung betrifft den Netzanschluss. Der grundzuständige Verteilnetzbetreiber am Standort ist die Schleswig-Holstein Netz GmbH (SH Netz). Aufgrund der unmittelbaren Nähe zur Hamburger Landesgrenze wird zusätzlich geprüft, ob ein möglicher Netzverknüpfungspunkt im Netzgebiet der Hamburger Energienetze GmbH (HH Netz) genutzt werden kann.

Nach Angaben des Gutbetreibers ist der nächstgelegene potenzielle Anschluss bereits ausgelastet. Ein alternativer Einspeisepunkt wurde in Aussicht gestellt, liegt jedoch mehrere Kilometer entfernt und weist derzeit unklare Kapazitätsreserven auf. Die Netzsituation ist damit aktuell nur eingeschränkt bewertbar und stellt eine wesentliche Unsicherheit für die weitere Planung dar.

Für die elektrische Auslegung sind Kabelwege, Querschnitte und Schutzkonzepte auf die geplante Leistung und Entfernung abzustimmen. Berücksichtigt werden müssen die technischen Anschlussbedingungen des Netzbetreibers sowie die Anforderungen der DIN VDE 0100-443/534 (Überspannungsschutz und dessen Auswahl & Installation). Die Normen regeln unter anderem die Errichtung von Niederspannungsanlagen und den Überspannungsschutz, der ebenso wie weitere Schutzkonzepte und die Integration von Ladeinfrastruktur zu berücksichtigen ist. Die technische Machbarkeit hängt somit stark von der Netzverträglichkeit und den Kosten des Anschlusses ab, weshalb mögliche Anschlussalternativen und deren Auswirkungen in Kapitel 4 näher untersucht werden.

Ergänzend könnte die Integration eines Batteriespeichersystems (BESS) in Betracht gezogen werden. Dieses würde ermöglichen, erzeugte Energie zeitversetzt zu nutzen, Lastspitzen zu reduzieren und die Eigenstromversorgung des Guts zu stärken. Ein solcher Ansatz kann insbesondere bei eingeschränkter Netzkapazität einen technischen Vorteil bieten. Die wirtschaftliche Bewertung erfolgt in Kapitel 3.3.

3.3 Wirtschaftlichkeit & Förderlandschaft

Investitionskosten (CAPEX), Betriebskosten (OPEX), Energieerträge – insbesondere in Verbindung mit einem optimierten Eigenstromverbrauch – sowie mögliche Förderungen bestimmen maßgeblich die Wirtschaftlichkeit von Parkplatz- und Carport-PV-Anlagen.
Die spezifischen Errichtungskosten liegen im Vergleich zu konventionellen Dachanlagen voraussichtlich höher. Grund hierfür ist der erhöhte Material- und Montageaufwand für Tragkonstruktion, Fundamente, mögliche Entwässerungserfordernisse sowie zusätzliche Kosten infolge der unklaren Netzanschlusssituation. Dabei können jedoch je nach gewählter Bauweise deutliche Preisunterschiede zwischen Stahl- und Holzkonstruktionen auftreten. Hohe Anschlussdistanzen können die Wirtschaftlichkeit durch zusätzliche Tiefbau-, Kabel- und Trafokosten spürbar beeinträchtigen. Regelmäßige Inspektionen, Reinigungen und Instandhaltungsmaßnahmen sind Aufwendungen im Bereich der Betriebskosten. Diese lassen sich durch den Einsatz von korrosionsbeständigen Materialien und standardisierten Komponenten reduzieren, da die Betriebssicherheit verbessert und der Wartungsaufwand reduziert wird.

Besonderes wirtschaftliches Potenzial besteht in der lokalen Nutzung des erzeugten Stroms. Durch die Kombination mit einer Ladeinfrastruktur sowie optional einem Batteriespeichersystem (BESS) kann der Eigenver-

brauchsanteil deutlich gesteigert und gezielt optimiert werden. Zusätzlich besteht die Möglichkeit, bestimmte Verbrauchsprozesse zeitlich stärker in die Tagesstunden zu verlagern, um die direkte Nutzung des erzeugten Stroms weiter zu erhöhen.

Dies ermöglicht eine direkte Nutzung der Energie für betriebliche Verbraucher wie beispielsweise den Hofladen, die hofeigene Bäckerei oder perspektivisch eine elektrisch betriebene Lieferflotte. Dadurch sinkt die Abhängigkeit von schwankenden Einspeisevergütungen, während gleichzeitig ein unmittelbarer Mehrwert für den Betrieb, Mitarbeitende sowie Kundschaft entsteht.

Die endgültige Wirtschaftlichkeit hängt somit stark von der finalen technischen Auslegung, den Netzanschlusskosten und dem geplanten Nutzungskonzept ab. Eine Wirtschaftlichkeitsanalyse mit unterschiedlichen Szenarien (Volleinspeisung, Eigenverbrauch, Hybridmodell) ist im weiteren Studienverlauf vorgesehen und wird für die Bewertung einer langfristigen Rentabilität benötigt.

3.4 Genehmigungs- & planungsrechtliche Aspekte

Die Errichtung einer Parkplatz- oder Carport-Photovoltaikanlage unterliegt in Hamburg unterschiedlichen bau- und planungsrechtlichen Anforderungen. Das Projekt am Gut Wulksfelde würde sich vermutlich als neue bauliche Anlage klassifizieren und benötigt somit in der Regel eine Baugenehmigung nach § 60 BauO Hamburg. Hierbei sind gemäß DIN EN 1991-1-3/-1-4 sowie der Hamburgischen Bauordnung besonders statische Nachweise, Brandschutzanforderungen und Abstandsflächen zu berücksichtigen.

Das Vorhaben steht zudem grundsätzlich im Einklang mit den Zielen des Hamburgischen Klimaschutzgesetzes, das den Ausbau erneuerbarer Energien im Stadtgebiet fördert. Die Nutzung von Parkplätzen für Photovoltaik trägt somit direkt zur Erreichung der landesweiten Klimaziele bei.
Mögliche Restriktionen durch bestehende Nutzungen oder Vegetationsflächen sind planungsseitig zu prüfen. Dazu zählen unter anderem Schattenwurf, Verkehrsführung und Zufahrtsregelungen, insbesondere im Hinblick auf die Brandschutzanforderungen auf dem Gelände, die bei der Anordnung der Carportreihen zu berücksichtigen sind. Ebenso sollte eine frühzeitige Abstimmung mit den zuständigen Behörden, wie dem Bezirksamt Wandsbek und gegebenenfalls der Unteren Naturschutzbehörde erfolgen, um Anforderungen aus Natur-, Umwelt- oder Denkmalschutz zu klären.

Die konkreten baulichen Ausführungen, die Integration in das bestehende Umfeld und die Einhaltung der geltenden technischen Normen sind somit maßgeblich für die Genehmigungsfähigkeit. Eine enge Abstimmung zwischen Bauherrn, Fachplanern und Behörden ist Voraussetzung für eine zügige Projektumsetzung.

3.5 Betriebs- und Nutzungskonzepte

Die Definition eines geeigneten Betriebs- und Betreiberkonzepts ist für den langfristigen Erfolg des Projekts ebenso entscheidend wie die technische und wirtschaftliche Planung. Das Konzept sollte festlegen, wer die Anlage errichtet, betreibt und wirtschaftlich nutzt. Es hat damit direkten Einfluss auf die Wirtschaftlichkeit, Haftung und Versicherung der Gesamtanlage.

Der Eigenbetrieb durch das Gut Wulksfelde wäre hierbei ein mögliches Szenario. In diesem Fall würde das Gut Wulksfelde die Anlage auf den eigenen Flächen errichten lassen und selbst betreiben. Der erzeugte Strom würde vorwiegend für betriebliche Verbraucher wie den Hofladen, die Bäckerei oder die Verwaltung genutzt werden. In Kombination mit Ladeinfrastruktur könnte zudem eine künftige Elektrifizierung der Lieferfahrzeuge unterstützt werden. Der Eigenbetrieb bietet den Vorteil, dass eine hohe Eigenverbrauchsquote durch entsprechende Betriebs- und Lastmanagementstrategien gezielt umgesetzt und somit eine langfristige Unabhän-

gigkeit von Strompreissteigerungen erreicht werden kann. Gleichzeitig erfordert er jedoch Investitionsmittel sowie ein grundlegendes Verständnis für Betrieb, Wartung und Abrechnung.

Ein hoher Eigenverbrauch bzw. Direktverbrauch kann jedoch grundsätzlich auch in Modellen mit externem Betreiber erreicht werden, beispielsweise im Rahmen von PPA- oder Contracting-Modellen.

Alternativ gäbe es die Möglichkeit eines Betreibermodells mit einem externen Betreiber, beispielsweise einem Energieversorger oder Projektentwickler, der die Anlage errichten lässt und wirtschaftlich betreibt. In diesem Fall vermarktet der Betreiber den erzeugten Strom – entweder über das öffentliche Netz oder durch direkte Belieferung des Guts. Für das Gut kann dieses Modell trotz geringerer direkter Erträge finanziell attraktiv sein, da es vom vergünstigten Strombezug profitieren und zugleich den Investitionsaufwand vollständig vermeiden würde. Die Flächennutzung wird hierbei in der Regel über eine Pachtvergütung abgegolten, während der Betreiber die Verantwortung für Betrieb, Wartung und Vermarktung trägt.

Ein gemeinschaftliches Betreibermodell würde eine dritte Variante darstellen, bei dem sowohl das Gut als auch ein externer Partner beteiligt sind. Diese Lösung kann wirtschaftliche Risiken verteilen und gleichzeitig sicherstellen, dass die wirtschaftlichen Vorteile der Stromerzeugung in der Region bleiben. Sie ist insbesondere dann interessant, wenn Fördermittel oder Beteiligungsmodelle in Anspruch genommen werden sollen.

Ergänzend sollte das Versicherungskonzept frühzeitig geklärt werden. Da es sich um eine neu errichtete bauliche Anlage handelt, kann eine Erweiterung bestehender Gebäude- oder Betriebshaftpflichtversicherungen nicht immer ausreichen. In der Regel ist eine separate Photovoltaikversicherung sinnvoll, die Sachschäden (z. B. Sturm, Hagel, Vandalismus sowie Brandereignisse) sowie Ertragsausfälle abdeckt. Darüber hinaus ist bei Carport-PV-Anlagen die Haftungsfrage für Personen- oder Sachschäden im öffentlichen Bereich zu berücksichtigen, insbesondere wenn Stellplätze der Öffentlichkeit zugänglich sind.

Welches Betreiberkonzept letztlich zum Einsatz kommt, hängt von den strategischen Zielen des Guts, der Investitionsbereitschaft und den vertraglichen Rahmenbedingungen ab. In den folgenden Kapiteln werden daher potenzielle Lösungsansätze und technische Umsetzungsszenarien weiter untersucht, um die jeweils wirtschaftlich und organisatorisch sinnvollste Variante bewerten zu können.

4. Technisches Konzept und Lösungsansätze

Das folgende Kapitel beschreibt das technische Konzept der geplanten Parkplatz- und Carport-Photovoltaikanlage am Gut Wulksfelde. Aufbauend auf den zuvor dargestellten Rahmenbedingungen und Herausforderungen werden hier die technischen Lösungsansätze für die Umsetzung erläutert. Neben dem grundsätzlichen Anlagenaufbau werden auch die Integration von Ladesäulen sowie Maßnahmen zur Bewältigung der identifizierten Herausforderungen betrachtet. Ziel ist es, ein umsetzbares, wirtschaftliches und zukunftsfähiges Konzept zu entwickeln, das die Anforderungen des Standortes erfüllt und eine nachhaltige Energieversorgung sicherstellt.

4.1 Anlagenkonzept (Aufbau, Komponenten, Leistung)

Das Anlagenkonzept basiert auf einer modularen Carportstruktur, die die vorhandenen Parkplatzflächen optimal ausnutzt und gleichzeitig die konstruktiven Vorgaben für Carport-PV-Anlagen berücksichtigt. Aufgrund der baulichen Abmessungen kommen kompakte PV-Module mit einer Leistung von 445 Wp (pro Modul) zum Einsatz, da größere Modulformate die maximale zulässige Carportmaße überschreiten würden.

Die Module werden mit einer leichten Neigung von 5–10° installiert. Dieser Neigungsbereich ist typisch für

Carportanlagen und stellt einen funktionalen Kompromiss zwischen Energieertrag, Windsoglasten und einer flachen Bauhöhe dar. Im vorliegenden Projekt erfolgt die Ausrichtung der Anlage nach Süden, um einen möglichst hohen spezifischen Energieertrag zu erzielen. Die geringe Neigung ermöglicht zudem eine unauffällige Integration in das Parkplatzumfeld.

Eine typische Carportreihe besteht aus einer tragenden Unterkonstruktion mit aufgesetzten Modulträgern, auf denen mehrere Module zu längeren Strings verschaltet werden. Die Konstruktion wird so ausgelegt, dass sie den statischen Anforderungen sowie der Verkehrsführung und den vorhandenen Zufahrtswegen des Guts entspricht.

Für die elektrische Auslegung wird ein DC/AC-Verhältnis von etwa 1,1 bis 1,2 vorgesehen. Damit ist die installierte Gleichstromleistung der Module bewusst etwas höher als die Nennleistung der Wechselrichter ausgelegt. Dieser Ansatz erhöht die Auslastung der Wechselrichter über das Jahr hinweg und führt zu einem wirtschaftlich optimierten Betrieb, ohne die Wechselrichter übermäßig groß dimensionieren zu müssen.

In der technischen Planung werden die zentralen Anlagenteile, wie Modulfelder, Strings, Wechselrichter, Schutz- und Schalttechnik, auf Basis der verfügbaren Fläche und der erwarteten Anschlussleistung dimensioniert. Das vorläufige Layout dient dabei als Grundlage für die Variantenanalyse, in der unterschiedliche Modulanzahlen, Carporttiefen und Zwischenraumabstände bewertet werden.

Ziel des Anlagenkonzepts ist eine technisch robuste und betrieblich effiziente Struktur, die sowohl die zukünftige Nutzung des Parkplatzareals als auch eine mögliche Integration von Ladeinfrastruktur unterstützt.

4.2 Integration von Ladeinfrastruktur

Die Integration von Ladeinfrastruktur stellt eine funktionale Ergänzung der geplanten Parkplatz-Photovoltaikanlage dar und bietet die Möglichkeit, den vor Ort erzeugten Solarstrom direkt für die Elektromobilität zu nutzen. Am Standort Gut Wulksfelde ergibt sich durch Besucher, Mitarbeitende sowie den betrieblichen Fuhrpark – u. a. für Lieferdienste – ein grundsätzliches Potenzial für Ladeanwendungen, wodurch der Eigenverbrauchsanteil der Anlage erhöht werden kann.

Im Rahmen dieser Machbarkeitsstudie wird die Integration von AC-Ladepunkten betrachtet. Diese Ladepunkte mit einer typischen Ladeleistung von 11 kW oder 22 kW eignen sich insbesondere für Standorte mit längeren Parkzeiten, wie sie bei Mitarbeitenden oder Kunden des Hofladens und Restaurants zu erwarten sind. DC-Schnellladesysteme werden aufgrund der deutlich höheren Investitionskosten, der komplexeren technischen Anforderungen sowie der zusätzlichen Belastung des Netzanschlusses nicht weiter berücksichtigt.

Die Ladeinfrastruktur kann direkt an das elektrische System der Photovoltaikanlage angebunden werden. Durch ein intelligentes Last- und Energiemanagement ist es möglich, die Ladeleistung dynamisch an die aktuelle PV-Erzeugung und den betrieblichen Strombedarf anzupassen. Auf diese Weise lassen sich Lastspitzen begrenzen und die Netzanschlussleistung effizient nutzen, was insbesondere vor dem Hintergrund der eingeschränkten Netzkapazitäten am Standort von Bedeutung ist.

Darüber hinaus kann die Ladeinfrastruktur perspektivisch zur Elektrifizierung des betrieblichen Lieferverkehrs beitragen. Insbesondere bei regelmäßig wiederkehrenden Ladezyklen bietet sich eine Kombination aus PV-Erzeugung und zeitlich gesteuertem Laden an. Dies stärkt zudem auch die ökologische Ausrichtung des Betriebs.

Die konkrete Auslegung der Ladeinfrastruktur, insbesondere die Anzahl der Ladepunkte, deren Leistungsstufen sowie die Integration eines Abrechnungs- und Zugangssystems, ist abhängig vom tatsächlichen Nutzungsverhalten und sollte in einer vertieften Planungsphase definiert werden. Im Rahmen der Machbarkeitsstudie

wird die Ladeinfrastruktur daher als optionales, jedoch wirtschaftlich und betrieblich sinnvolles Erweiterungselement betrachtet.

4.3 Lösungsansätze zu den identifizierten Herausforderungen

Auf Grundlage, der in Kapitel 3 dargestellten standortspezifischen Herausforderungen lassen sich verschiedene Lösungsansätze ableiten, um die technische und wirtschaftliche Umsetzbarkeit einer Parkplatz-Photovoltaikanlage am Standort Gut Wulksfelde zu bewerten. Ziel ist es, potenzielle Risiken frühzeitig zu identifizieren und eine belastbare Grundlage für weitere Entscheidungsprozesse zu schaffen.

Eine zentrale Herausforderung stellt die eingeschränkte und derzeit nur bedingt abschätzbare Netzanschlusssituation dar. Als Lösungsansatz würde eine an die verfügbare Netzkapazität angepasste Anlagenkonfiguration in Betracht kommen, ergänzt durch eine eigenverbrauchsorientierte Betriebsweise, um die Abhängigkeit vom öffentlichen Netz zu reduzieren.

Aufgrund der teilweise unsicheren langfristigen Flächennutzung würde im Rahmen der Machbarkeitsstudie ein variantenbasierter Planungsansatz verfolgt. Dabei könnten unterschiedliche, in sich abgeschlossene Ausbauvarianten hinsichtlich Flächennutzung und installierter Leistung betrachtet werden. Die Auswahl einer konkreten Variante würde vor einer möglichen Detailplanung und Beschaffung erfolgen, da insbesondere die Auslegung von Wechselrichtern, MPPT-Strukturen, String-Konfigurationen sowie Trafostation und Netzanschluss auf eine klar definierte Endausbaustufe abgestimmt sein müsste.

Zur Verbesserung der Wirtschaftlichkeit ließe sich die Kombination der Photovoltaikanlage mit lokalem Stromverbrauch betrachten. Die Nutzung des erzeugten Stroms durch betriebliche Verbraucher sowie perspektivisch durch Ladeinfrastruktur könnte den Eigenverbrauchsanteil erhöhen. Optional könnte der Einsatz eines Batteriespeichersystems zur zeitlichen Entkopplung von Erzeugung und Verbrauch beitragen.

Auch genehmigungs- und planungsrechtliche Herausforderungen ließen sich durch eine frühzeitige Abstimmung mit den zuständigen Behörden, insbesondere zu Themen wie Brandschutz, Verkehrsführung und Entwässerung, adressieren.

Zusammenfassend zeigen die dargestellten Lösungsansätze, dass die identifizierten Herausforderungen durch eine angepasste technische Auslegung, eine frühzeitige Variantenbetrachtung sowie eine integrierte Betrachtung von Erzeugung und Verbrauch grundsätzlich beherrschbar wären. Die weitere Konkretisierung folgt in den nächsten Kapiteln.

5. Wirtschaftlichkeitsanalyse

Im Anschluss an die technische und konzeptionelle Betrachtung wird im folgenden Kapitel die wirtschaftliche Umsetzbarkeit der geplanten Carport-Photovoltaikanlage untersucht. Ziel ist es, auf Basis plausibler Annahmen unterschiedliche Betriebs- und Nutzungsszenarien vergleichbar zu bewerten.

5.1 Annahmen und Berechnungsmethodik

Die Wirtschaftlichkeitsanalyse dient der Bewertung der finanziellen Umsetzbarkeit der geplanten Carport-Photovoltaikanlage am Standort Gut Wulksfelde. Grundlage der Berechnungen ist das in den vorangegangenen Kapiteln beschriebene Anlagenlayout mit einer installierten Leistung von rund 523 kWp (DC).

Der jährliche Energieertrag wurde im Rahmen eines PVsyst-Ertragsberichts unter Berücksichtigung standort-

spezifischer Einstrahlungsdaten, der geplanten Anlagengeometrie sowie einer Verschattungssimulation ermittelt.

Der wirtschaftliche Nutzen der Anlage ergibt sich somit primär aus der Eigenstromnutzung und den dadurch vermiedenen Strombezugskosten. Für den Strombezug aus dem öffentlichen Netz wurde ein Arbeitspreis von 0,25 €/kWh angenommen. Sekundär wurden Einspeiseerlöse, sofern im jeweiligen Szenario relevant, mit 0,07 €/kWh berücksichtigt.

Investitionskosten (CAPEX) und laufende Betriebskosten (OPEX) wurden auf Basis interner Vergleichsprojekte, vorliegender Richtwerte sowie plausibler Annahmen abgeschätzt. Die Wirtschaftlichkeit wird anhand jährlicher Netto-Einsparungen, Amortisationszeiten sowie einer daraus abgeleiteten einfachen Rendite bewertet. Ziel ist es, unterschiedliche Betriebs- und Nutzungsszenarien vergleichbar darzustellen.

5.2 Szenarien vergleich (Eigenbetrieb / Eigenverbrauchsoptimierung / PPA)

Aufbauend auf der beschriebenen Berechnungsmethodik werden im Folgenden verschiedene Betriebs- und Nutzungsszenarien gegenübergestellt. Der Fokus liegt dabei auf eigenverbrauchsorientierten Betriebsformen sowie deren wirtschaftlichen Auswirkungen. Ergänzend wird ein Drittbetreibermodell (PPA) als Referenz betrachtet.

Im Eigenbetriebsmodell („Operator“) wird die Photovoltaikanlage durch den Standortbetreiber selbst errichtet und betrieben. Dabei wurden ein konservatives sowie ein optimistisches Eigenverbrauchsszenario untersucht, bei denen überschüssiger Strom nach Deckung des Eigenbedarfs in das öffentliche Netz eingespeist wird.

Im konservativen Szenario wird ein Eigenverbrauchsanteil von 55 % angenommen. Dieser basiert auf einer weitgehend unveränderten Verbrauchsstruktur des Betriebs, bei der die Stromnutzung nur begrenzt an die Erzeugungszeiten der PV-Anlage angepasst wird.

Im optimistischen Szenario wird ein Eigenverbrauchsanteil von 75 % angesetzt. Dieser höhere Anteil ergibt sich durch eine gezielte Optimierung des Eigenstromverbrauchs. Hierbei wird davon ausgegangen, dass bestimmte Verbrauchsprozesse – wie beispielsweise in der Bäckerei, bei Kühlketten oder im allgemeinen Betriebsablauf – verstärkt in die Tagesstunden mit hoher PV-Erzeugung verlagert werden. Zusätzlich wird eine intensivere Nutzung vorhandener oder geplanter elektrischer Verbraucher während der Erzeugungszeiten angenommen.

Ergänzend wurde ein erweitertes Szenario („Operator + Electric Vehicle & BESS“) betrachtet, bei dem durch den Einsatz von Ladeinfrastruktur und eines Batteriespeichers ein sehr hoher Eigenverbrauchsanteil von rund 92 % erreicht werden soll. Der Batteriespeicher ermöglicht dabei eine zeitliche Verschiebung der Stromnutzung, indem überschüssige Energie zwischengespeichert und zu späteren Zeitpunkten genutzt wird. Gleichzeitig wird durch die Integration von Ladeinfrastruktur, beispielsweise für betriebliche Fahrzeuge oder Lieferdienste, zusätzlicher Verbrauch in die Erzeugungszeiten verlagert. Die hierfür erforderlichen zusätzlichen Investitions- und Betriebskosten wurden explizit berücksichtigt, um eine konsistente Bewertung sicherzustellen.

Zur Beurteilung der Finanzierbarkeit wurde zusätzlich ein „Bankability“-Szenario analysiert. Dieses basiert ausschließlich auf dem wirtschaftlichen Nutzen aus vermiedenen Strombezugskosten und berücksichtigt keine Einspeiseerlöse. Auf diese Weise wird ein stabiler und gut planbarer Cashflow dargestellt, wie er typischerweise für Finanzierungsbewertungen relevant ist.

Szenario	CAPEX [€]	OPEX [€/a]	Eigenverbrauchsanteil [%]	Netto-Cashflow [€/a]	Amortisation [Jahren]	Rendite [%]
operator konservativ	823.609,53	10.000,00	55	65.705,56	12,5	7,98
operator optimistisch	823.609,53	10.000,00	75	81.832,19	10,1	9,94
operator EV&BESS	953.609,53	15.600,00	92	89.939,83	10,6	9,43
bankability	823.609,53	10.000,00	55	51.594,76	N/A	6,26
bankability (EV&BESS)	953.609,53	15.600,00	92	87.431,24	N/A	9,17
PPA (Gut Wulksfelde)	N/A	N/A	75	30.237,43	N/A	N/A

Als Referenz wurde außerdem ein PPA-Modell betrachtet, bei dem die Anlage durch einen Drittbetreiber errichtet und betrieben wird. Der Standortbetreiber bezieht den lokal erzeugten Strom zu einem vertraglich vereinbarten Arbeitspreis, ohne selbst Investitions- oder Betriebskosten zu tragen.

Die in Tabelle 1 dargestellten Kennzahlen basieren auf einheitlichen technischen und wirtschaftlichen Annahmen und dienen der vergleichenden Darstellung der betrachteten Szenarien. Der ausgewiesene Netto-Cashflow beschreibt den jährlichen Überschuss aus vermiedenen Strombezugskosten sowie gegebenenfalls erzielten Einspeiseerlösen nach Abzug der laufenden Betriebskosten.

Die Rendite ergibt sich aus dem Verhältnis des jährlichen Netto-Cashflows zu den jeweiligen Investitionskosten und entspricht der inversen Netto-Amortisationszeit. Sie stellt eine dimensionslose Kenngröße dar, die einen Vergleich der Szenarien unabhängig von der absoluten Investitionshöhe ermöglicht.

Für die Szenarien „Bankability“ sowie „PPA“ wird keine Amortisationszeit ausgewiesen (N/A), da diese Betrachtungen nicht auf die vollständige Refinanzierung der Investition aus Sicht des Standortbetreibers abzielen. Während im Bankability-Szenario der Fokus auf der Darstellung eines stabilen jährlichen Cashflows liegt, entfällt im PPA-Szenario eine Investitionsbetrachtung vollständig, da Errichtung und Betrieb der Anlage durch einen Drittbetreiber erfolgen.

Detailliertere Berechnungen zu den einzelnen Szenarien sind in tabellarischer Form im Anhang dargestellt.

5.3 Bewertung der Wirtschaftlichkeit

Die Wirtschaftlichkeitsanalyse zeigt, dass die geplante Carport-Photovoltaikanlage am Standort Gut Wulksfelde unter den getroffenen Annahmen wirtschaftlich betrieben werden kann. Entscheidend für den wirtschaftlichen Nutzen ist der Eigenverbrauchsanteil, da die Einsparung von Strombezugskosten den größten Einfluss auf den jährlichen Cashflow hat.

Im Eigenbetrieb ergeben sich bereits bei konservativen Annahmen positive jährliche Netto-Cashflows. Mit steigendem Eigenverbrauch verkürzt sich die Amortisationszeit, während die daraus abgeleitete Rendite entsprechend zunimmt. Dies verdeutlicht, dass eine möglichst direkte Nutzung des erzeugten Stroms für die Wirtschaftlichkeit der Anlage entscheidend ist.

Durch den Einsatz von Ladeinfrastruktur und eines Batteriespeichers kann der Eigenverbrauch weiter erhöht werden. Die hierfür notwendigen zusätzlichen Investitionen führen zwar zu höheren Investitions- und Betriebskosten, werden jedoch durch höhere jährliche Einsparungen weitgehend ausgeglichen. Der jährliche Cashflow bleibt dadurch stabil und weniger abhängig von Einspeiseerlösen sowie von möglichen zukünftigen Strompreissteigerungen.

Tabelle 1 - Vergleich der wirtschaftlichen Kennzahlen verschiedener Betriebs- und Nutzungsszenarien

Das Bankability-Szenario betrachtet bewusst nur den Nutzen aus Eigenverbrauch ohne Einspeisung. Auch unter diesen konservativen Annahmen zeigen sich stabile jährliche Cashflows, was die grundsätzliche Finanzierbarkeit des Projekts unterstützt.

Das PPA-Modell stellt eine Alternative ohne eigene Investition dar, bei der Errichtung und Betrieb der Anlage durch einen Drittbetreiber erfolgen. Der wirtschaftliche Vorteil für den Standortbetreiber ergibt sich dabei aus reduzierten Strombezugskosten, bleibt jedoch im Vergleich zum Eigenbetrieb geringer, da ein Teil der Wertschöpfung beim Drittbetreiber verbleibt.

Insgesamt zeigt die Analyse, dass eigenverbrauchsorientierte Carport-Photovoltaikanlagen auf bestehenden Parkflächen wirtschaftlich sinnvoll sind und eine tragfähige Grundlage für eine weitere Projektentwicklung bieten.

6. Fazit und Handlungsempfehlungen

Dieses Kapitel fasst die wesentlichen Ergebnisse der Machbarkeitsstudie zusammen, bewertet die Umsetzbarkeit des Projekts und leitet daraus konkrete Handlungsempfehlungen ab.

6.1 Zusammenfassung der wesentlichen Ergebnisse

In dieser Machbarkeitsstudie wurde die potenzielle Errichtung einer Carport-Photovoltaikanlage am Standort Gut Wulksfelde untersucht. Dabei wurden sowohl die technischen und standortspezifischen Rahmenbedingungen als auch wirtschaftliche Aspekte betrachtet. Ziel war es, die Umsetzbarkeit des Projekts sowie relevante Randbedingungen zu bewerten.

Die Untersuchung zeigt, dass der Standort grundsätzlich für eine Carport-PV-Anlage geeignet ist. Die vorhandenen Parkplatzflächen bieten ausreichend Potenzial für eine bauliche Integration der Anlage, ohne die bestehende Nutzung wesentlich einzuschränken. Technische und planerische Herausforderungen, insbesondere in Bezug auf Netzanschluss, Flächennutzung und Anlagenauslegung, können im Rahmen einer angepassten Planung berücksichtigt werden.

Ergänzend wurde eine Wirtschaftlichkeitsanalyse durchgeführt. Diese zeigt, dass insbesondere eigenverbrauchsorientierte Betriebsmodelle wirtschaftlich sinnvoll sind. Der Eigenverbrauch stellt dabei den zentralen Einflussfaktor für den wirtschaftlichen Erfolg dar. Die betrachteten Szenarien zeigen, dass sowohl konservative als auch erweiterte Anlagenkonzepte stabile Ergebnisse ermöglichen.

Es ist zu beachten, dass im Rahmen dieser Studie aus organisatorischen Gründen keine Vor-Ort-Begehung durchgeführt werden konnte. Die Bewertung basiert daher auf verfügbaren Standortdaten und Annahmen, die im weiteren Projektverlauf zu verifizieren sind.

6.2 Bewertung der Machbarkeit

Die durchgeführten Untersuchungen zeigen, dass die Errichtung einer Carport-Photovoltaikanlage am Standort Gut Wulksfelde umsetzbar ist. Wesentliche technische oder wirtschaftliche Ausschlusskriterien konnten nicht identifiziert werden.

Technisch ist die Integration der Anlage in die bestehenden Parkplatzflächen möglich. Die erforderlichen Anlagenkomponenten sowie unterschiedliche Ausbaustufen lassen sich im Rahmen einer geeigneten Planung

berücksichtigen. Herausforderungen ergeben sich vor allem aus standortabhängigen Randbedingungen, wie der konkreten Netzanschlusssituation, den genehmigungsrechtlichen Anforderungen sowie der finalen Flächenaufteilung. Diese Punkte müssen im weiteren Projektverlauf detaillierter untersucht werden.

Aus wirtschaftlicher Sicht ist die Umsetzung insbesondere bei einem hohen Eigenverbrauchsanteil sinnvoll. Die berechneten Szenarien zeigen stabile jährliche Cashflows und insgesamt tragfähige Ergebnisse. Auch konservative Betrachtungen ohne Einspeiseerlöse bestätigen die wirtschaftliche Tragfähigkeit des Projekts.
Die weitere Umsetzung hängt maßgeblich davon ab, dass die offenen technischen und organisatorischen Fragestellungen im nächsten Planungsschritt konkretisiert werden.

6.3 Handlungsempfehlungen für zukünftige Projekte

Auf Basis der Ergebnisse dieser Machbarkeitsstudie wird empfohlen, das untersuchte Projekt am Standort Gut Wulksfelde weiter zu konkretisieren. In einem nächsten Schritt sollten die getroffenen Annahmen durch projektspezifische Detailuntersuchungen validiert werden, um eine belastbare Entscheidungsgrundlage für eine mögliche Umsetzung zu schaffen.

Dabei empfiehlt es sich, den Fokus auf eine eigenverbrauchsorientierte Auslegung der Anlage zu legen. Die Ergebnisse zeigen, dass die Nutzung des erzeugten Stroms vor Ort einen wesentlichen Einfluss auf die Wirtschaftlichkeit hat. Der Einsatz von Ladeinfrastruktur sowie gegebenenfalls eines Batteriespeichers sollte daher gezielt geprüft werden, insbesondere im Hinblick auf betriebliche Anwendungen wie Lieferfahrzeuge oder interne Prozesse.

Die Ergebnisse der Studie zeigen zudem, dass Carport-Photovoltaikanlagen auf bestehenden Parkplatzflächen eine sinnvolle Möglichkeit darstellen, erneuerbare Energie lokal zu erzeugen und gleichzeitig bereits versiegelte Flächen effizient zu nutzen.

Die in dieser Machbarkeitsstudie angewandte Vorgehensweise kann darüber hinaus als Orientierung für die Bewertung ähnlicher Projekte dienen, insbesondere durch die strukturierte Kombination technischer, wirtschaftlicher und betrieblicher Aspekte.

Literaturverzeichnis

Bauordnung, H. (2025). §2 HBauO. Hamburg: Landesnorm Hamburg.
Bauordnung, H. (2025). §3 HBauO. Hamburg: Landesnorm Hamburg.
Bauordnung, H. (2025). §59 HBauO. Hamburg: Landesnorm Hamburg.
Bauordnung, H. (2025). Anlage HBauO. Hamburg: Landesnorm Hamburg.
Bundesministerium der Justiz und für Verbraucherschutz. (2014). Erneuerbare-Energien-Gesetz - EEG 2023. Berlin: Bundesministerium der Justiz und für Verbraucherschutz.
Deutscher Bauernverband. (08 2025). bauernverband.de. Von https://www.bauernverband.de/topartikel/dbk-8-2025-haengepartie-bei-solarpaket-i-und-biomassepaket abgerufen
HmbKliSchG. (13. 12 2023). §16a HmbKliSchG. Landesnorm Hamburg. Von https://www.landesrecht-hamburg.de/bsha/document/jlr-KlimaSchGHA2020V3P16a abgerufen
KFW Bank. (2026). kfw.de. Von https://www.kfw.de/inlandsfoerderung/Privatpersonen/Neubau/F%C3%B6rder-produkte/Erneuerbare-Energien-(270)/ abgerufen
Landesministerium Niedersachsen. (2012). DIN EN 1991-1-3/1-4. Hannover: Niedersächsisches Ministerialblatt.

Anhang

Anhand A — Operator only

Schritt 1: Jahresertrag								Schritt 4: Netto Amortisation		
DC-Leistung	523,32	kWp						Variante 1:		
								konversativ brutto	10,9	Jahre
spez. Ertrag	856	kWh/kWp*a						konversativ netto	12,5	Jahre
Ertrag	447.961,92	kWh/a						Variante 2:		
	447,962	MWh/a						optimistisch brutto	9,0	Jahre
								optimistisch netto	10,1	Jahre
Schritt 2: Eigenverbrauche/Einspeisung										
								Schritt 4: Rendite		
Annahme:	Viele Tagesverbraucher + Kühlketten + Gastronomie, ggf. gesteuertes Laden/Lastmanagement.									
								konversativ netto	8,0	%
Variante 1 (konversativ):	55	%	Verbrauch		45	%	Einspeisen			
	246.379,06	kWh/a			201.582,86	kWh/a		optimistisch netto	9,9	%
Variante 2 (optimistisch):	75	%	Verbrauch		25	%	Einspeisen			
	335.971,44	kWh/a			111.990,48	kWh/a				
Schritt 3: Erlöse										
Annahme:	Stromeinsparung		Einspeisevergütung		OPEX					
	0,25	€/kWh	0,07	€/kWh	10.000,00	€/a				
Variante 1 (konversativ):	61.594,76	€/a	14.110,80	€/a						
Summe		75.705,56	€/a Brutto - Jahresvorteil							
Summe		65.705,56	€/a Netto - Jahresvorteil							
Variante 2 (optimistisch):	83.992,86	€/a	7.839,33	€/a						
Summe		91.832,19	€/a Brutto - Jahresvorteil							
Summe		81.832,19	€/a Netto - Jahresvorteil							

Anhang

Anhang B – Operator mit BESS & EV

Schritt 1: Daten & Annahmen						
Ertrag	447.961,92	kWh/a				
Ep_grid	0,25	€/kWh				
Ep_feed	0,07	€/kWh				
CAPEX_ PV base	823.609,53	€	OPEX_PV base	10.000,00 €/a		
CAPEX_EV point	5.000,00	€/pcs	OPEX_EV points	50 €/month*pcs		
CAPEX_BESS	500,00	€/kWh	OPEX_BESS	2 % CAPEX		
CAPEX_6-EV points	30.000,00	€	OPEX_6-EV points	3.600,00 €/a		
CAPEX_200 kWh BESS	100.000,00	€	OPEX_200 kWh BESS	2.000,00 €/a		
CAPEX_total	953.609,53	€	OPEX_total	15.600,00 €/a		
Schritt 2: Eigenverbrauche/Einspeisung						
Annahme:	Viele Tagesverbraucher + Kühlketten + Gastronomie, ggf. gesteuertes Laden/Lastmanagement.					
	q_EV	92	%			
Energie	Verbrauch		Einspeisen			
	412.124,97	kWh/a	35.836,95	kWh/a		
Schritt 3: Erlöse						
	103.031,24	€/a	2.508,59	€/a		
Erlöse_brutto	105.539,83	€/a				
Erlöse_netto	89.939,83	€/a				
Schritt 4: Amortisation						
Brutto-Amortisation	9,0	Jahre				
Netto-Amortisation	10,6	Jahre				
Schritt 4: Rendite						
Netto-Rendite	9,4	%				

Anhang

Anhang C – PPA Model

Schritt 1: Daten & Annahmen							
Ertrag	447.961,92	kWh/a					
Ep_grid	0,25	€/kWh					
Ep_PPA	0,16	€/kWh					
CAPEX_ PV base	0.000,00	€	OPEX_PV base	0.000,00	€/a		
Schritt 2: Eigenverbrauche							
Verbrauch	EV_konservativ		EV_optimistisch		EV_Max.		
	55	%	75	%	92	%	
Energie	246.379,06	kWh/a	335.971,44	kWh/a	412.124,97	kWh/a	
Schritt 3: Einsparungen							
Evp_PPA	39.420,65	€/a	53.755,43	€/a	65.939,99	€/a	
EVp_grid	61.594,76	€/a	83.992,86	€/a	103.031,24	€/a	
Einsparungen	22.174,12	€/a	30.237,43	€/a	37.091,25	€/a	
nach OPEX	22.174,12	€/a	30.237,43	€/a	37.091,25	€/a	
Schritt 4: wirtschaftl. Effekt							
CAPEX trägt Investor	N/a	Jahre	N/a	Jahre	N/a	Jahre	

Anhang

Anhang D – Bankability

Schritt 1: Daten & Annahmen						
Ertrag	447.961,92	kWh/a				
Ep_grid	0,25	€/kWh				
CAPEX_ PV base	823.609,53	€	OPEX_PV base	10.000,00	€/a	
CAPEX_EV&BESS	953.609,53	€	OPEX_EV&BESS	15.600,00	€/a	
Schritt 2: Eigenverbräuche						
Verbrauch	EV_konservativ		EV_optimistisch		EV_Max.	
	55	%	75	%	92	%
Energie	246.379,06	kWh/a	335.971,44	kWh/a	412.124,97	kWh/a
Schritt 3: Einsparungen						
Ep_grid	61.594,76	€/a	83.992,86	€/a	103.031,24	€/a
nach OPEX	51.594,76	€/a	73.992,86	€/a	87.431,24	€/a
Schritt 4: Rendite						
	6,26	%	8,98	%	9,17	%

Anhang

Anhang E – Ertragsbericht (siehe folgende Seiten)