

Executive Summary

Die vom Erneuerbare Energien Cluster Hamburg (EEHH) in Auftrag gegebene Studie sollte vor dem Hintergrund eines angestrebten Ausbaus der Nutzung erneuerbarer Energien in Hamburg eine Analyse der Solarpotenziale innerhalb des Hamburger Stadtgebiets erarbeiten. Die Ziele der Studie sind unterteilt in die systematische Ermittlung des Solarpotenzials für Hamburg sowie einer datenbasiert abgeleiteten Typologisierung der Hamburger Dachflächen zur Erstellung von Handlungsempfehlungen für repräsentativ ermittelte Fallbeispiele.

Solarpotenzial. Die Ermittlung des Solarpotenzials wurde dabei auf drei Ebenen untersucht – theoretisch, technisch und realisierbar – und dies jeweils für das Flächen-, Leistungs- und Ertragspotenzial von Photovoltaik(PV)-Anlagen durchgeführt. Zur Quantifizierung dieser Aspekte des Solarpotenzials wurden einerseits die nutzbaren Flächen in Hamburg und andererseits spezifische energetische Erträge von PV-Anlagen simulationsgestützt ermittelt. Die Ermittlung nutzbarer Flächen für die Installation von PV-Anlagen wurde hierbei anhand öffentlich zugänglicher georeferenzierter Datenbanken durchgeführt. Zunächst wurden für das gesamte Stadtgebiet Hamburgs die vier Bodennutzungskategorien Siedlung, Vegetation, Verkehr und Gewässer auf deren Kompatibilität der Installation von PV-Anlagen untersucht. Der anschließende primäre Fokus auf der Ermittlung nutzbarer Flächen lag auf den Dachflächen sowie den landwirtschaftlich genutzten Flächen (Agri-PV). Zu den wichtigsten Ergebnissen der Studie zählen folgende Aussagen:

- Hamburg verfügt über ein realisierbares Leistungspotenzial von 9,4 GWp, welches einem realisierbaren Ertragspotenzial von knapp 7 TWh/a und somit bilanziell ca. 2/3 der Hamburger Stromnachfrage (11 TWh im Jahr 2021) entspricht.
- Hamburgs größtes realisierbares Potenzial liegt im Bereich der gebäudeintegrierten Photovoltaik, insbesondere Dach-PV.
- Hamburg besitzt jedoch auch nennenswerte realisierbare Potenziale im Bereich der Agri-PV, dem zweitgrößten Solarpotenzial.
- Das drittgrößte realisierbare Potenzial liegt im Bereich der urbanen Photovoltaik, insbesondere bei Parkplatz-Überdachungen.
- Das größte Einzelpotenzial stellen die Dächer auf Einfamilienhäusern dar. Zu dieser Gruppe zählen neben freistehenden Einfamilienhäusern auch Doppel-, Reihen- und Gruppenhäuser.
- Das zweitgrößte Einzelpotenzial kann auf den Dächern von Mehrfamilienhäusern – sowohl freistehend als auch in Blockrandbebauung – verortet werden.
- Die großen Gewerbe- und Industriehallen bilden das drittgrößte Einzelpotenzial in Hamburg, wobei die großen Speditions- und Logistikhallen besonders hervorstechen.

Handlungsempfehlungen. Aufgrund der Dominanz der Dachflächen am realisierbaren Flächenpotenzial wurden diese detaillierter betrachtet, um Handlungsempfehlungen je typologisiertem Gebäudetyp erstellen zu können. Für die Typologisierung wurden die in der Solarpotenzialermittlung verwendeten georeferenzierten Datenbanken verwendet, um datenbasiert repräsentative Fallbeispiele in Hamburg zu ermitteln. Die größten Flächenpotenziale der Dachflächen stellen hierbei zunächst die Einfamilienhäuser (freistehend sowie Reihenhäuser und weitere) dar, gefolgt von Mehrfamilienhäusern und Gewerbe- und Industriehallen (insbes. Speditionsgebäuden, Produktionsgebäuden und weitere). Es wurden 12 Gebäudetypen als Fallbeispiele abgeleitet, welche zusammen über 90 % der Hamburger Dachflächen darstellen. Für jeden Gebäudetyp wurde ein repräsentatives Fallbeispiel datenbasiert generiert mitsamt typischer Gebäudegeometrie, Dachflächenorientierung sowie unterstellten elektrischen Nachfragelastprofilen. Für diese Fallbeispiele wurde eine spezifische energetische und wirtschaftliche Bewertung durchgeführt. Hierbei wurden Szenarien mit einer Variation der wirtschaftlichen Rahmenbedingungen sowie einer zusätzlichen elektrischen Nachfrage durch E-Mobilität betrachtet und bewertet. Für alle untersuchten Fallbeispiele konnte unter den getroffenen Annahmen und Rahmenbedingungen die Wirtschaftlichkeit einer Investition in eine PV-Anlage nachgewiesen werden. Bei der zusätzlichen Betrachtung einer erhöhten elektrischen Nachfrage durch die E-Mobilität steigt grundsätzlich die Wirtschaftlichkeit der Fallbeispiele. Speziell die Fallbeispiele der Bürogebäude, der Gebäude des Einzelhandels, der Produktionsgebäude und der Speditionsgebäude weisen eine durchschnittliche jährliche Rendite von über 9 % auf.

Zusätzlich wurden die Ergebnisse sowohl der Ermittlung des Solarpotenzials als auch der erarbeiteten Handlungsempfehlungen an den an aktuellen regulatorischen Rahmenbedingungen (z. B. Erneuerbare-Energien-Gesetz (2023), Hamburger Solardachpflicht) gespiegelt und reflektiert. Hierbei konnte eine grundsätzlich als positiv zu bewertende Passung der regulatorischen Rahmenbedingungen zu den größten Hamburger Solarpotenzialen der Dach-PV und der Agri-PV nachgewiesen werden.

Gesamtergebnisse der Studie

Hamburg – als zweitkleinstes Bundesland – steht bei der angestrebten Defossilisierung vor einer doppelten Herausforderung. Zum einen liegt die flächenbezogene Stromnachfrage aufgrund der hohen Bevölkerungs- und Industriedichte in der Metropole deutlich über dem Bundesdurchschnitt und zum anderen stehen innerhalb des vergleichsweise kleinen Hoheitsgebietes potenzielle Solarempfangsflächen nur sehr begrenzt zur Verfügung und befinden sich überdies in Konkurrenz zu den bereits etablierten Primärnutzungen.

Dennoch konnten im Rahmen dieser Studie Solarpotenziale in erheblichem Umfang innerhalb des Untersuchungsgebietes identifiziert werden. Hierfür wurden sämtliche Flächen Hamburgs – quasi aus der Vogelperspektive – auf ihre Kompatibilität zu den verschiedenen PV-Anwendungen überprüft. Hierbei wurde das Augenmerk insbesondere auf die Funktionserhaltung der aktuellen Flächennutzung als auch auf die dreidimensionale Ausformung der Oberflächen in Bezug auf die Strahlungsgeometrie des Hamburg-spezifischen Solarangebotes gelegt. Aus den gefundenen theoretischen Flächenpotenzialen wurden in Abstufungen und unter Einbeziehung technischer, regulatorischer und sozioökonomischer Randbedingungen das technische und das realisierbare Potenzial ermittelt. Im Ergebnis können die folgenden übergeordneten Erkenntnisse festgehalten werden.

Hamburg verfügt über ein realisierbares Solarpotenzial in Höhe von rund zwei Drittel der jährlichen Stromnachfrage. Auf einer Fläche von insgesamt rund 60 km² – also ca. 8 % des hamburgischen Staatsgebietes – ist unter den aktuellen restriktiven Randbedingungen eine PV-Anwendung realisierbar. Auf dieser Fläche ist eine PV-Leistung von rund 9,4 GWp installierbar, welche einen Solarertrag von knapp 7 TWh/a realisieren kann. Dies entspricht rund zwei Drittel der jährlichen Stromnachfrage in Hamburg. Damit wird deutlich, dass allein durch Solartechnologien bereits ein erheblicher Anteil der Stromnachfrage in der FHH gedeckt werden kann – zumindest bilanziell, denn aufgrund der tageszeitlichen und saisonalen Schwankungen des solaren Strahlungsangebots müssten Ertragsüberschüsse durch Speicherlösungen o. ä. zeitlich verschiebbar gemacht werden. Derartige Betrachtungen liegen jedoch außerhalb der für diese Studie gezogenen Untersuchungsgrenzen.

Das realisierbare Solarpotenzial setzt sich aus nur drei PV-Anwendungen zusammen. In Hamburg sind unter den aktuellen Rahmenbedingungen nur drei PV-Anwendungen in einem nennenswerten Umfang realisierbar. Es handelt sich dabei um PV auf Gebäudedächern, welche einen Solarertrag von mindestens 80 % gegenüber einer optimal orientierten Fläche aufweisen, Agri-PV auf landwirtschaftlich genutzten Flächen, bei welchen durch die Agri-PV eine Ertragssteigerung der angebauten Kulturen zu erwarten ist, und PV im Kontext zum urbanen Stadtmobiliar, vorzugsweise Parkplatzüberdachungen.

Hamburgs größtes realisierbares Potenzial liegt im Bereich der gebäudeintegrierten PV, insbesondere Dach-PV. Das realisierbare Flächenpotenzial auf Hamburgs Dachflächen beträgt mehr als 43 km² und stellt allein bereits 71,6 % des gesamten realisierbaren Flächenpotenzials dar. Anhand von Häufigkeitsverteilungsuntersuchungen zu bestimmten Dachflächengeometrien und -ausrichtungen konnte gezeigt werden, warum in Hamburg ein derart hoher Anteil der Dachflächen Solarerträge erzielen kann, die im Vergleich zu einer optimal ausgerichteten Empfangsfläche immerhin noch 80 % des maximal möglichen Ertrages erreichen. Aufgrund dieser überdurchschnittlichen solaren Eignung erwirtschaften die als Dach-PV installierbaren 8,7 TWh ein realisierbares Solarertragspotenzial von 6,4 TWh/a; dies sind 91 % des gesamten realisierbaren Solarertragspotenzials. Hamburg sollte daher seinen Fokus bei der Erschließung solarer Empfangsflächen auf Dach-PV setzen.

- **Das größte Einzelpotenzial stellen Dächer auf Einfamilienhäusern dar.** Die Dachflächen der freistehenden Einfamilienhäuser zusammen mit Doppel-, Reihen- und Gruppenhäusern sowie den Dachflächen der zugehörigen Nebengebäude wie beispielsweise Carports und Gartenhäuser ergeben fast ein Drittel (knapp 32 %) der gesamten Hamburger Dachlandschaft. Damit befindet sich das mit Abstand größte Dachflächenpotenzial in der Hand von Privatpersonen.
- **Das zweitgrößte Einzelpotenzial kann auf den Dächern von Mehrfamilienhäusern verortet werden.** Die Dachflächen auf freistehenden Mehrfamilienhäusern sowie auf Blockrandbebauungen ergeben zusammen mit den ihnen zugeordneten Nebengebäuden wie beispielsweise Sammelgaragen und -carports ergeben rund ein Viertel (ca. 25,3 %) der gesamten Dachfläche Hamburgs. Das zweitgrößte Dachflächenpotenzial Hamburgs befindet sich somit in der Hand von Wohnungseigentümergeinschaften oder Unternehmen der Wohnungswirtschaft.
- **Die großen Gewerbe- und Industriehallen bilden das drittgrößte Einzelpotenzial in Hamburg.** Durch die konzentrierte Ansiedlung von Gewerbe- und Industrieunternehmen in der Metropole verfügt Hamburg über überdurchschnittlich viele Hallengebäude mit großen Dachflächen. Rund ein Sechstel (etwa 16 %) der gesamten Dachlandschaft Hamburgs besteht somit aus (größtenteils) Flachdächern über großen Produktions-, Speditions- und Lagerhallen sowie den ihnen zugeordneten Außenlager oder Überdachungen. Hinzukommen – als Besonderheit Hamburgs – die Werften. Als herausragendes Potenzial stechen in dieser Gruppe vor allem die besonders großen Speditions- und Logistikhallen hervor, welche rund 1,5 Mio. m² Dachfläche auf weniger als 500 Einzelgebäuden konzentrieren. Im Gegensatz zu den Einfamilienhäusern, wo sich 23 Mio. m² auf 175 000 Gebäude verteilen, könnte hier aufgrund der geringen Anzahl der Eigentümer bzw. Pächter, eine direkte Ansprache der Stakeholder erfolgen.

Hamburg besitzt nennenswerte realisierbare Potenziale im Bereich der Agri-PV. Obwohl Hamburg als Metropole im Vergleich zu den Flächenländern nur einen geringen

Anteil landwirtschaftlich genutzter Flächen aufweist, sind dennoch erhebliche realisierbare Flächenpotenziale für Agri-PV vorhanden. Das größte realisierbare Flächenpotenzial liegt hierbei im Bereich des Dauergrünlandes. Überdies kommt Hamburg ein einzigartiger und spezifischer Umstand entgegen – der überdurchschnittlich hohe Anteil an Dauerkulturen; insbesondere für die in Hamburg außerordentlich häufig vorkommenden Apfel-Plantagen konnten in mehrjährigen Feldstudien deutliche Synergieeffekte durch eine Kombination mit Agri-PV-Anlagen nachgewiesen werden. Lediglich im Bereich des Acker- und Gartenbaus konnten (mit Ausnahme der Salate) kaum potenzielle Agri-PV-Flächen in Hamburg identifiziert werden, da ausschließlich diejenigen Ertragspflanzen als realisierbar eingestuft wurden, welche bei langjähriger Betrachtung Ertragssteigerungen durch Agri-PV erwarten lassen. Unter Berücksichtigung aller untersuchten Restriktionen erreicht die Agri-PV dennoch mit rund 17 km² einen Anteil von 28,1 % des gesamten Flächenpotenzials in Hamburg. Das als Agri-PV installierbare Leistungspotenzial von rund 700 MWp erzielt jedoch nur ein realisierbares Solarertragspotenzial von rund 574 GWh/a, was ca. 8 % des gesamten Ertrags entspricht. Dies ist dem Umstand geschuldet, den Pflanzkulturen weiterhin die benötigte Lichtmenge zur Verfügung stellen zu müssen, weshalb – anders als bei Dach-PV – eine vollflächige Belegung ausgeschlossen ist. Nichtsdestotrotz liegt das Potenzial der landwirtschaftlichen Flächen – selbst für eine Metropole wie Hamburg – oberhalb der Relevanzschwelle und sollte daher ebenfalls in die gesamtstrategischen Überlegungen mit einbezogen werden.

Das drittgrößte realisierbare Potenzial liegt im Bereich der urbanen PV, insbesondere bei Parkplatz-Überdachungen. Gegenüber den sehr dominanten Anteilen der gebäudeintegrierten PV und Agri-PV zeigt die Untersuchung solarer Parkplatz-Überdachungen immerhin ein realisierbares Flächenpotenzial von 21 ha (0,3 % des gesamten realisierbaren Flächenpotenzials). Dieses Potenzial könnte auch noch deutlich höher ausfallen, wenn zu den hier betrachteten öffentlichen Parkplätzen auch jene Parkflächen vor Supermärkten, Sporthallen oder großen Wohnanlagen miteinbezogen werden würden. Mit einer installierbaren Leistung von 42 MWp liegt das realisierbare jährliche Solarertragspotenzial der Parkplatzüberdachung bei 30 GWh/a (0,4 % der Stromnachfrage in der FHH). Wenngleich die Solarisierung der Parkflächen gegenüber den anderen Maßnahmen kein großes Gewicht besitzt, stellt es dennoch eine gute Ergänzung und Diversifizierung potenzieller Empfangsflächen dar.

Im Bereich der Moor-PV, Floating-PV und Verkehrswege-PV konnten keine realisierbaren Potenziale für Hamburg gefunden werden. Im Rahmen dieser Untersuchung wurde die Möglichkeit des Einsatzes aller bisher bekannten PV-Anwendungen untersucht, die derzeit auf dem Markt verfügbar sind. Dazu zählen auch verschiedene Anwendungen auf oder entlang von Verkehrswegen, auf Wasserflächen, Unland oder Mooren. Wenngleich für alle diese Sonderanwendungen theoretische Flächenpotenziale in Hamburg identifiziert werden konnten, konnte aufgrund von spezifischen Restriktionen wie beispielsweise des Natur- oder Gewässerschutzes, aufgrund

geometrischer Rahmenbedingungen oder einer nachweislichen Unwirtschaftlichkeit unter den aktuellen technischen, regulatorischen und sozio-ökonomischen Rahmenbedingungen keine realisierbare Potenziale ermittelt werden.

Für alle untersuchten Fallbeispiele konnte ein wirtschaftlicher Betrieb nachgewiesen werden. Über die reine Detektierung potenzieller solarer Empfangsflächen hinaus wurde speziell für das mit Abstand größte Flächenpotenzial, die Dach-PV, eine Fallstudie zu den häufigsten Vertretern durchgeführt, indem – basierend auf einer Typologisierung der Hamburgischen Dachlandschaft – für fiktive, repräsentative Beispielgebäude umfassende Berechnungen energetischer und wirtschaftlicher Kennzahlen durchgeführt wurden. Für alle diese datenbasiert abgeleiteten Fallbeispiele konnten (unter den getroffenen Annahmen und bei Verwendung der entsprechenden Standardlastprofile) durchweg positive durchschnittliche jährliche Renditen und somit ein grundsätzlich wirtschaftlicher Betrieb festgestellt werden. Vier Fallbeispiele weisen hierbei sogar durchschnittliche jährliche Renditen von über 9 % auf. Diese sind Bürogebäude, Gebäude des Einzelhandels, Produktionsgebäude sowie Speditiousgebäude. Für diese Gebäudetypen wird folglich eine Prüfung der Möglichkeit einer Installation von PV-Anlagen vornehmlich empfohlen.

Die Wirtschaftlichkeit der PV-Anlagen steigt für alle Fallbeispiele im Szenario einer zunehmenden E-Mobilität. Im Zuge der angestrebten Sektorenkopplung wird es zukünftig zu einer verstärkten Durchdringung des Mobilitätssektors und einer damit verbundenen zusätzlichen elektrischen Nachfrage zur Beladung der E-Pkw kommen. Die Untersuchung dieses Szenarios zeigt in allen untersuchten Fallbeispielen unter den getroffenen Rahmenbedingungen einen Anstieg der Eigenverbrauchswerte und folglich auch die Wirtschaftlichkeit der PV-Anlagen.

Fazit. Insgesamt konnte in der vorliegenden Solarpotenzialstudie für Hamburg festgestellt werden, dass Hamburg trotz seiner Sonderstellung als Stadtstaat, über ein ausreichend großes Empfangsflächenpotenzial für Solarenergiegewinnung verfügt, um einen erheblichen Anteil der Stromnachfrage zu decken. Auf der Ebene des technischen Potenzials wäre sogar eine Vollversorgung – zumindest bilanziell – möglich. Voraussetzung hierfür ist, dass die Hemmnisse und Barrieren, welche derzeit das technische auf das realisierbare Potenzial reduzieren, durch geeignete politische Maßnahmen in der Zukunft sukzessive abgebaut werden können. Hierbei ist jedoch zu bedenken, dass es sich beim Bausektor um ein träges System handelt. Während die Erneuerungszyklen im IT- oder Automobilsektor meist nach wenigen Jahren einsetzen, umfasst die Lebens- und Erneuerungsspanne von Immobilien meist mehrere Jahrzehnte oder gar Jahrhunderte. Dies führt vor Augen, dass politische Impulse und der Wissenstransfer an die Stakeholder äußerst zielgerichtet und passgenau ausgeführt werden müssen, um die Motivation zu einer zeitnahen Investition deutlich zu erhöhen.