

# Masterplan Solares München

***„Das Verständnis für die Systemkomponenten ergibt sich stets aus der Kenntnis des Ganzen, nicht umgekehrt.“***

(Meadows, Dennis: Die Grenzen des Wachstums:  
Bericht des Club of Rome zur Lage der Menschheit.  
Hamburg: Rowohlt Taschenbuch Verlag, 1973)

**HINWEIS:**

*Die Beschlussvorlage für den Stadtratsbeschluss wird in einem gesonderten Dokument („Sitzungsvorlage (SV)“) geführt. Der vorliegende Masterplan dient der inhaltlichen Begründung der Beschlussvorlage und ist in der Beschlussvorlage als Anhang geführt.*

**Koordinierungsstelle für Solarenergie**

██████████

RKU II-4 Bauzentrum München

████████████████████

01525-79-47839

## Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung.....	4
0 Einführung.....	6
0.1 Anlass für die Erstellung des Masterplan solares München .....	6
0.2 Status-Quo des PV-Ausbaus in München.....	7
0.3 Energiewende: der Wandel des Energiesystems .....	8
1 Ziele und Kennzahlen .....	12
1.1 Energieerzeugung.....	12
1.1.1 Studien zu einer klimaneutralen Energieversorgung .....	12
1.1.2 PV-Ausbaupfad des Masterplan solares München .....	13
1.1.3 Anteil innerstädtischer Solarenergienutzung.....	16
1.1.4 Solarpotential und Flächennutzung .....	17
1.2 Systemintegration .....	19
1.2.1 Optimaler Erzeugungsmix .....	20
1.2.2 Priorisierung der Ausgleichsoptionen .....	20
1.2.3 Optimierung des Speicher-Portfolio.....	21
1.2.4 Solarthermie und Solarkollektoren .....	22
1.2.5 Reservekraftwerke .....	22
1.3 Nutzen für die Stadt und ihre Bürger*innen.....	23
1.3.1 Wirtschaftsleistung Solarbranche .....	23
1.3.2 Kaufkrafterhalt für städt. Energieverbraucher.....	23
1.3.3 PV als Beitrag zur Daseinsvorsorge und Resilienz der Großstadt .....	24
2 Handlungsräume .....	24
2.1 Leitlinien für erfolgreiche PV-Planung.....	24
2.1.1 Richtwerte für Gebäude-PV-Flächen.....	25
2.1.2 PV-Freiflächenanlagen.....	28
2.1.3 Nutzungskonflikte auf begrenzter Fläche .....	29
2.1.4 Solare Planungsgrundsätze .....	35
2.2 Die Landeshauptstadt München als Vorbild .....	37
2.2.1 Beschlusslage der LHM.....	37
2.2.2 Gebäudeorientierte PV-Ausbau-Strategie.....	38
2.2.3 Priorisierung der Projektreihenfolge und des Umsetzungskonzepts.....	39
2.2.4 Vorbildfunktion: PV-Nutzungsgrad.....	43
2.2.5 Vorbildfunktion: Innovation .....	43
2.2.6 Vorbildfunktion: Bürgerbeteiligung.....	44
2.2.7 PV-Agentur .....	44

2.3	Information bereitstellen .....	47
2.3.1	Bauzentrum München: Infoveranstaltungen und Weiterbildung.....	47
2.3.2	Infomaterial „Leitfaden Masterplan solares München“ .....	47
2.3.3	ReThink: Solar-Kampagne .....	47
2.3.4	Quartiersarbeit und aufsuchende Beratung .....	47
2.3.5	Solarpotentialkataster .....	48
2.3.6	Wattbewerb München .....	48
2.3.7	Münchner Solararchitektur-Preis.....	48
2.4	Förderprogramm klimaneutrale Gebäude (FKG) .....	49
2.5	Weitere Maßnahmen zur Erhöhung des PV-Zubaus.....	50
2.5.1	Abbau von Hemmnissen.....	50
2.5.2	Einzelmaßnahmen zur PV-Förderung.....	51
2.6	Anhang .....	54
2.6.1	Spezifischer Jahresertrag von PV-Anlage .....	54
2.6.2	Lebensdauer von PV-Anlagen.....	54
2.6.3	PV-Kosten und Energiepreise .....	54
2.6.4	Dunkelflauten .....	55
2.6.5	Siedlungsflächen – Begriffsbestimmung .....	56

## Zusammenfassung

München hat den Klimanotstand ausgerufen und das Ziel beschlossen, bis zum Jahr 2035 Klimaneutralität anzustreben. Der Ausbau von Solarenergie gilt als ein zentraler Hebel zur Erreichung der Klimaneutralität. München ist beim PV-Ausbau erheblich im Rückstand, den es zum Wohl der Bürger\*innen aufzuholen gilt.

Der „Masterplan solares München“ hat den Anspruch, den innerstädtischen Solarenergieausbau mit allen zusammenhängenden Aspekten in umfassender thematischer Breite zu betrachten und als wesentlichen Teil der Energiewende bis zum Ende zu bedenken.

Durch die inhaltliche Breite adressiert der Masterplan verschiedene Handlungsfelder von Klimaschutz und Klimaanpassung, Energie- und Wärmeversorgung, Stadtplanung, Wirtschaft bis hin zu Architektur und berührt dabei unterschiedlichste Belange. Für die Lösung von Zielkonflikten hilft der Masterplan bei der Abwägung der Belange, indem Zusammenhänge transparent werden.

Die zeitliche Dimension des Masterplan umfasst die Transformationsphase bis 2030, in der die Solarbranche ein neues Zubau-Niveau erreicht, welches in der anschließenden Durchdringungsphase zu einem neuen Niveau der innerstädtischen Eigenversorgung mit Solarstrom führt. Schließlich findet ein gleitender Übergang in eine stationäre Phase statt, in der kontinuierlich PV-Anlagen nach einer mittleren Lebensdauer von rund 40 Jahren durch Repowering ersetzt werden.

Durch den langfristigen Betrachtungshorizont werden Konsequenzen der auf dem Weg der Energiewende zu treffenden Entscheidungen sichtbar. Die zwei Dimensionen – inhaltliche Breite und zeitliche Tiefe – geben Orientierung auf dem langen Weg der Energiewende hin zu einem klimaneutralen München.

Die Politik schafft mit der Verabschiedung des „Masterplan solares München“ einen verlässlichen Rahmen für Verwaltung, Wirtschaft, Gebäudeeigentümer und Bürgerinnen und Bürger der Stadt München. Die Umsetzung des Masterplan liegt überwiegend in der Hand der Gebäudeeigentümer. Die Landeshauptstadt München schafft hierfür den Rahmen und geht mit gutem Beispiel voran.

### Ziele und Kennzahlen: Energieerzeugung

- München strebt an, in den 2030er Jahren eine **PV-Zubauleistung von ca. 100 MWp pro Jahr** zu erreichen.
- Um die Zubauleistung von +100 MWp p. a. schnellstmöglich zu erreichen, wird in den 2020er Jahren eine **Wachstumsrate der Neuinstallationen von mindestens +40% p. a.** angestrebt<sup>1</sup>.
- Die Installationskapazität von **100 MWp p. a. wird dauerhaft erhalten** um Planungssicherheit für Solarbranche und Fachhandwerk zu gewährleisten.
- Bis sich nach 40 Jahren (= mittlere Lebensdauer der PV-Anlagen) ein Repowering-Gleichgewicht einstellt, wird die **PV-Leistung in München auf rund 4 GWp** ansteigen.
- Mit dem angestrebten Ausbaupfad können in 2035 rund 0,8 TWh, bzw. in 2050 rund 2 TWh PV-Strom in München erzeugt werden. Dies entspricht ca. 11% (2035) bzw. 24% (2050) des prognostizierten direkten Stromverbrauchs in München.
- Der weitere PV-Ausbau nach 2050 auf ca. 4 GWp bzw. 3 TWh/a bietet die Option, einen Teil der dann vorhandenen PV-Stromüberschüsse für die lokale Produktion von „grünem“ Wasserstoff einzusetzen, der ab 2040 in KWK-Anlagen und Heizwerken der SWM benötigt wird.
- Auf geeigneten Siedlungsflächen (ohne Sport-, Freizeit- und Erholungsflächen) sind im Mittel 20% der Grundstücksfläche als Modulfläche (Dächer, Fassaden, Balkone, etc.) erforderlich.

---

<sup>1</sup> In den Jahren 2020 bis 2022 wurde gegenüber 2019 ein mittleres Zubauwachstum von +21% p. a. erreicht, wobei der Zubau privater Kleinanlagen der Bürger\*innen mit +55% p. a. überproportional stark gewachsen ist und zuletzt rund ¾ der Zubauleistung erreichte.

40% der Siedlungsflächen bleiben für besondere Zwecke unberücksichtigt (z. B. Denkmalschutz, Biodiversität); Freiflächen in München werden höchstens vorübergehend benötigt, so dass diesen kein Flächenanteil zugewiesen wurde.

## Ziele und Kennzahlen: Systemintegration

Mit dem massiven Ausbau der Solarenergienutzung ist ein **Wandel des Energiesystems** von „**verbrauchsorientierter Erzeugung**“ zu „**erzeugungsorientiertem Verbrauch**“ erforderlich: Energie soll möglichst dann genutzt werden, wenn sie zur Verfügung steht. Die Systemintegration von Solarenergie erfordert:

- **Ausbau der Laststeuerung** (Demand Side Integration): „Demand-Side-Management“ (Lastverschiebung durch gesteuertes An- und Ausschalten von Lasten durch den Netzbetreiber) und „Demand-Response-Verfahren“ durch Bereitstellung von Preisinformationen für die Verbraucher (zeitvariable Stromtarife).
- weitgehende **Vermeidung des Zubaus unflexibler Lasten**
- **Ausbau von Energiespeichern**: für unterschiedliche Speicherzeiträume (Tagesspeicher, Monatsspeicher oder saisonale Speicher) mit angepassten Technologien als Stromspeicher, Wärmespeicher, chemische Speicher (z. B. Wasserstoff und Derivate)
- **Effizienz** und Suffizienz beim Energieverbrauch optimieren

München weist **ausreichend Flächenpotential** aus, um die Ziele zu erreichen. Ein maximaler PV-Ausbau ist durch **günstige Energiepreise** und **Kaufkraftverlust** für München wirtschaftlich vorteilhaft. Starke Eigenerzeugung reduziert Energieimporte und erhöht die **Resilienz der Stadt**.

## Handlungsräume

- **Flächen für den PV-Ausbau**: PV braucht viel Flächen auf Dächern, an Fassaden und auf Verkehrsflächen (Parkplatzüberdachungen etc.). München ist eine sehr dicht besiedelte Stadt. Flächen werden für diverse Belange – als Erholungsflächen auf Dächern, für Begrünung zur Klimaanpassung sowie zur Förderung der biologischen Vielfalt - benötigt. Durch **Mehrfachnutzung** in Schichten übereinander entsteht ein Mehrwert. Beispiel: Wiese und „urban gardening“ als Erholungsfläche mit Solar-Pergola und Solar-Brüstung. Zur Vermeidung von Verschattung muss PV am höchsten bzw. am nächsten zur Sonne angeordnet werden.
- **Landeshauptstadt München als Vorbild**: Strategie für eine schnelle Realisierung von PV-Anlagen auf allen städtischen Gebäuden gemäß Baualtersklassen (Neubau, Sanierung (Baualter typ. > 50 Jahre), und Nachrüstung (Baualter typ. < 20 Jahre) in Eigenregie (überwiegend bei Neubau und Sanierung), sowie durch Dritte (überwiegend bei Nachrüstung) mit Hilfe der PV-Agentur (Vermittlung von für PV geeigneten Flächen); Die stadteigenen PV-Anlagen sollen hinsichtlich Leistung und Gestaltung Maßstäbe setzen.
- **Information** bereitstellen: zielgruppenspezifische Informations- und Weiterbildungsangebote, Solarpotentialkataster und Quartiersarbeit werden verstärkt
- **finanzielle Anreize**: Förderprogramm klimaneutrale Gebäude (FKG) weiterentwickeln, insbesondere hinsichtlich optimaler Flächennutzung, Gebäudeintegration, Systemintegration
- **Fachkräfte** und Solarbranche fördern: runder Tisch Fachkräftemangel, Gewerbeförderung
- **Solararchitektur** fördern: gute ästhetische Gestaltung solarer Gebäude ist besonders wichtig für eine lebenswerte Stadt. Stiftung eines gut dotierten „Münchner Solararchitektur-Preis“
- **PV-Ausbauhemmnisse beseitigen**: Flächenstörer beseitigen, Netzanschluss beschleunigen, Messung vereinfachen, Bürokratie abbauen, etc.
- **Einzelmaßnahmen** zur PV-Förderung: Synergieeffekte nutzen, Innovationen fördern, thermische Speicher fördern, Sektorenkopplung verstärken, smarte Technologien einführen, Pilot- und Leuchtturmprojekte durchführen.

## 0 Einführung

Der Masterplan solares München umfasst zwei Hauptkapitel. In Kapitel 1 werden Ziele und messbare Kennzahlen benannt und begründet. Kapitel 2 enthält eine Vielzahl von Handlungsoptionen, die im Rahmen des politischen Prozesses priorisiert und im Zuge eines regelmäßigen Monitorings evaluiert und angepasst werden müssen.

Die Einführung erläutert Hintergrund und Anlass für die Erstellung des Masterplans und stellt den Status-Quo des PV-Ausbaus in München dar. Ein zweiter Abschnitt fasst Hintergründe und wesentliche Aspekte der Energiewende zusammen. Abgerundet wird das Einführungskapitel durch Beispiele vergleichbarer Solar-Masterpläne anderer Großstädte, die zeigen, wie diese den Solarausbau angehen.

*Hinweis: Gleichzeitig mit der Erarbeitung der vorliegenden Erstfassung des Masterplan Solares München wurde eine Sitzungsvorlage für den Münchner Stadtrat erstellt. Die Sitzungsvorlage stellt die Beschlusslage der Landeshauptstadt München zum Ausbau der Solarenergie in München dar und stellt diese in den Kontext des übergeordneten Rechtsrahmens. Priorisierte Maßnahmen aus den Handlungsräumen, die die Umsetzung des Masterplan solares München ermöglichen werden in der Sitzungsvorlage zum Masterplan solares München erläutert und begründet sowie als Beschlussanträge formuliert.*

### 0.1 Anlass für die Erstellung des Masterplan solares München

Mit Beschluss der Vollversammlung am 18.12.2019 (Sitzungsvorlage Nr.14-20 / V 16525) hat der Stadtrat den Klimanotstand ausgerufen und das 2017 beschlossene Ziel der Klimaneutralität für das gesamte Stadtgebiet vom Jahr 2050 auf das Jahr 2035 vorgezogen. Zeitgleich hat sich der Stadtrat auch das Ziel der „Klimaneutralen Stadtverwaltung bis 2030“ gesetzt und zahlreiche konkrete zielführende Maßnahmen hierfür beschlossen, um der Vorbildfunktion der Stadtverwaltung gerecht zu werden. Die Beteiligungsgesellschaften der Landeshauptstadt München wurden aufgefordert, die Zielsetzung der Klimaneutralität bis 2030 sowie die konkreten Maßnahmen zu übernehmen.

Das damalige Referat für Gesundheit und Umwelt (RGU) wurde zudem beauftragt, im Benehmen mit allen Referaten und den städtischen Beteiligungsgesellschaften und unter Einbindung der Öffentlichkeit einen Maßnahmenplan zu erstellen, der zum Ziel hat, München bereits bis 2035 zu einer klimaneutralen Stadt umzugestalten. Dieser umfangreiche Maßnahmenplan wurde im Rahmen eines extern beauftragten Fachgutachtens erstellt und zusammen mit dem Grundsatzbeschluss II des neuen Referats für Klima- und Umweltschutz (RKU) dem Stadtrat im Januar 2022 zur Entscheidung vorgelegt. Mit Beschluss der Vollversammlung vom 30.11.2022 (Sitzungsvorlage Nr. 20-26 / V 07446) wurde der vollständige Abschlussbericht zum Fachgutachten „Klimaneutralität München 2035“ mit Verweis auf einen umfassenden Szenarienbericht bekannt gegeben.

Mit Grundsatzbeschluss II – Klimaneutrales München 2035 und klimaneutrale Stadtverwaltung 2030: Von der Vision zur Aktion“ (Sitzungsvorlage Nr. 20-26 / V 05040) wurde dem Stadtrat bereits vor Fertigstellung des Gesamtgutachtens am 19.01.2022 der von den Fachgutachter\*innen zusammen mit der Stadtverwaltung und der Öffentlichkeit entwickelte Maßnahmenplan zur Klimaneutralität 2035 (Gesamtstadt) / 2030 (Stadtverwaltung) vorgelegt und beschlossen. Er umfasst rund 270 Maßnahmen in mehreren Handlungsspielräumen. (vgl. Sitzungsvorlage Nr. 20-26 / V 05040, Anlage 1).

Auf Basis dieses Maßnahmenplans wurde auch das Referat für Klima- und Umweltschutz im Rahmen des Grundsatzbeschlusses II beauftragt, einen Masterplan ‚Solares München‘ zu entwickeln, anhand dessen der dynamische Ausbau der Photovoltaik und Solarthermie geplant, gemessen und gesteuert werden kann.

## 0.2 Status-Quo des PV-Ausbaus in München

Der Status-Quo des PV-Ausbaus kann tagesaktuell dem Marktstammdatenregister<sup>2</sup> (MaStR) der Bundesnetzagentur (BNetzA) entnommen werden. Dort werden alle gemeldeten Daten aufgeführt, wobei Standortadresse der PV-Anlagen „natürlicher Personen“, also der Bürgerinnen und Bürger als Anlagenbetreiber, aus Datenschutzgründen nicht veröffentlicht werden. Einen schnellen Überblick über den Status liefert auch das Dashboard<sup>3</sup> des sog. Wattbewerb, an dem die Stadt München in Zusammenarbeit mit engagierten NGOs teilnimmt. Die Datenqualität der Münchner PV-Anlagen im Marktstammdatenregister ist sehr gut, da diese durch den Netzbetreiber SWM validiert werden. Laut Wattbewerb ist München hinsichtlich der Datenqualität auf einer Spitzenposition im städteweiten Vergleich, so dass die Daten die Realität gut widerspiegeln<sup>4</sup>.

Die Gesamtleistung der in München installierten PV-Anlagen hat im Dezember 2022 die Marke von 100 MWp überschritten (102 MWp am 31.12.2022, gemäß Datenabruf MaStR vom 12.04.2023). Der Zubau hat mit über 12 MWp im Jahr 2022 einen neuen Höchstwert erreicht.

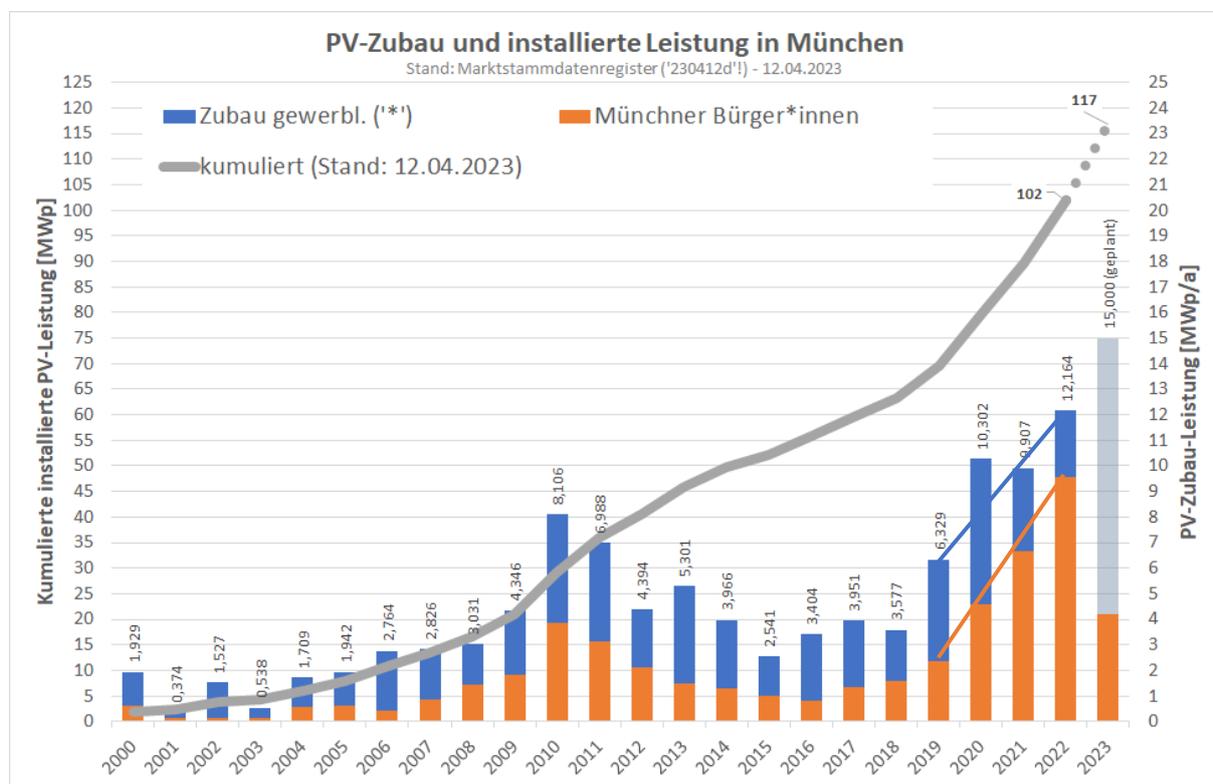


Abbildung 1: PV-Ausbau seit 2000 (Stand: 12.04.23). Ende 2022 wurden 100 MWp installierte Leistung überschritten. In 2020 bis 2022 betrug das mittlere Zubauwachstum bei Münchner Bürger\*innen +55% pro Jahr, die Gesamtwachstumsrate lag bei +21% p. a..

<sup>2</sup> siehe <https://www.marktstammdatenregister.de/MaStR>, dort unter „öffentliche Daten ansehen → Öffentliche Einheiten ansehen → Erweiterte Einheitenübersicht“; als Datenfilter ist zu setzen „Gemeindeschlüssel entspricht 09162000“ (für München), „Energieträger entspricht Solare Strahlungsenergie“, und „Betriebs-Status entspricht In Betrieb“. Die Daten können als Tabelle exportiert und weiterbearbeitet werden. (abgerufen am 17.02.2023)

<sup>3</sup> siehe <https://plattform.wattbewerb.de/ranking>, dort auf [München](#) klicken. (abgerufen am 17.02.2023)

<sup>4</sup> Die größte Abweichung in den Münchner Daten des MaStR liegt am sog. „Gebietsschlüssel-Bug“, den die BNetzA auch nach mehreren Jahren immer noch nicht korrigiert hat. Dieser führt dazu, dass 31 Anlagen unterschiedlichen Baujahrs mit einer Gesamtleistung von 3,5 MWp, die nicht im Stadtgebiet Münchens liegen trotzdem unter dem Münchner Gebietsschlüssel aufgeführt werden. Diese Datenfehler kann weder der Eigentümer noch der Netzbetreiber SWM beheben. Der Fehler wird in Auswertungen des RKU jeweils manuell korrigiert.

Der PV-Zubau wurde in 2021 und 2022 weit überwiegend (80%) von Privatpersonen getragen, die Kleinanlagen mit einer mittleren Leistung von 7,1 kWp errichtet haben. Seit 2020 ist im privaten Segment ein Marktwachstum von +55% pro Jahr zu verzeichnen. Hingegen stagnierte das Segment der gewerblichen PV-Neubauten.

Mit einer installierten Leistung<sup>5</sup> von ca. 70 Wp pro Einwohner im bundesweiten Vergleich - wie alle Großstädte – deutlich unter dem Bundesdurchschnitt von 700 Wp pro Einwohner<sup>6</sup>. Dies ist aber nicht verwunderlich, da das Stadtgebiet von München die höchste Einwohnerdichte Deutschlands aufweist. Bezogen auf die Fläche hat München mit 326 kWp pro Quadratkilometer etwa die doppelte Flächenleistung wie im Bundesdurchschnitt von 186 kWp pro Quadratkilometer. Derartige Vergleiche sind nur bedingt tauglich für die Feststellung eines Status Quo. Bezogen auf das verfügbare Flächenpotential und den Strombedarf (siehe Kap. 1.1.2) besteht eine erhebliche Diskrepanz und Nachholbedarf. Beim relativen PV-Zubau steht München mit einer Steigerung von ca. +20% gegenüber dem PV-Status vom 21.02.2021 (Start des Wettbewerbs) im oberen Mittelfeld, so dass festgestellt werden kann, dass München bei der PV-Leistung aufholt und sich positiv entwickelt.

Die Landeshauptstadt München ist mit den PV-Anlagen des Referats für Bildung und Sport größter PV-Betreiber in München. Die Landeshauptstadt samt Eigenbetrieben und Betreibergesellschaften betreibt mit über 7 MWp PV-Leistung mehr als 7% der Gesamtleistung. Dabei besteht noch ausreichend Flächenpotential, um den Anteil bis 2030 zu steigern.

Die Beschlusslage zum Münchner PV-Ausbau ist wie oben dargestellt sehr gut (siehe Kap. 0.1). Maßnahmen zur Beschleunigung des Solarausbaus, wie die Etablierung der Koordinierungsstelle für Solarenergie und der Einrichtung der PV-Agentur zur Vermittlung von Dachflächen zwischen Gebäudeeigentümern sind in Umsetzung. Das im Oktober 2021 neu aufgesetzte Förderprogramm klimaneutrale Gebäude mit einer deutlich verbesserten Solarförderung wurde bereits sehr gut angenommen und zeigt unerwartet hohen Zuspruch, der für die nähere Zukunft einen deutlichen Anstieg der Zubauraten erwarten lässt. Der strategische Ansatz der quartiersweisen Bearbeitung der Gebäudesanierung, Wärme- und Energiewende wurde erfolgreich gestartet. Mit der aufsuchenden Beratung im Rahmen des Quartiersansatzes wird auch der Solarausbau adressiert. Bestehende Ausbauhemmnisse werden mit dem Masterplan adressiert und Handlungsräume aufgezeigt, um den PV-Ausbau stark zu beschleunigen.

Zuletzt hat der Münchner Stadtrat mit sehr großer Mehrheit die „Ziele für den PV-Ausbau in München“ (Antrag von der Fraktion Die Grünen - Rosa Liste, SPD / Volt - Fraktion, CSU mit FREIE WÄHLER, FDP BAYERNPARTEI Stadtratsfraktion, Stadtratsfraktion DIE LINKE. / Die PARTEI, Fraktion ÖDP/München-Liste Nr. 20-26 / A 03652 vom 16.02.2023) beschlossen. Der Antrag nennt als Ziele für den PV-Ausbau innerhalb der Münchner Stadtgrenzen einen jährlichen PV-Zubau von 15 MWp in 2023, 20 MWp in 2024, 30 MWp in 2025 und je 60 MWp in den Jahren 2026 bis 2028. Diese ambitionierten Zubauziele stützen sich auf das im Fachgutachten „Klimaneutralität München 2035“ beschriebene Zielszenario.

### 0.3 Energiewende: der Wandel des Energiesystems

Zukünftige Generationen werden keine fossilen Energieträger verbrennen. Grund hierfür ist nicht nur, dass deren schädliche Wirkung auf das Klima inakzeptabel ist, sondern auch, dass deren

---

<sup>5</sup> AGEE-Stat: Aktuelle Schätzung zur Entwicklung der erneuerbaren Energien im Jahr 2022, UBA, 06.12.2022, [https://ag-energiebilanzen.de/wp-content/uploads/2022/11/06-Erneuerbare\\_2022.pdf](https://ag-energiebilanzen.de/wp-content/uploads/2022/11/06-Erneuerbare_2022.pdf), (am 17.02.2022): Installierte PV-Leistung Ende 2022: 66,57 GWp

<sup>6</sup> Einwohnerzahlen zum 31.12.2022: München: 1.588.330 Einwohner, Deutschland: 84.300.000 Einwohner, Fläche München: 310 km<sup>2</sup>, Fläche Deutschland: 357.592 km<sup>2</sup>, [https://www.destatis.de/DE/Home/\\_inhalt.html](https://www.destatis.de/DE/Home/_inhalt.html), (abgerufen am 17.02.2023)

Ressourcen endlich sind und die Förderung, Aufbereitung und Verteilung entlang langer Energieketten zunehmend ineffizient, teuer und unwirtschaftlich ist.

Photovoltaik ist mittlerweile die preiswerteste Form der Energieerzeugung. Die Gestehungskosten für PV-Strom werden auch weiterhin durch die technologische Weiterentwicklung fallen, z. B. aufgrund steigender Wirkungsgrade. Bei den Gesamtkosten für eine durchgehende Energieversorgung „rund um die Uhr“ sind auch die Kosten für Speicherung und Systemintegration zu berücksichtigen. Auch diese werden weiterhin fallen, so dass letztendlich ein Solar-Wind-Batterie-System die mit Abstand wirtschaftlichste und sicherste Form der Energieversorgung ist (siehe Anhang 2.6.3). Für Energieverbraucher besteht ein finanzieller Anreiz, einen Teil des Energiebedarfs durch eigene PV-Stromerzeugung zu decken, sowie durch eigene Energiespeicher (Strom und Wärme) den eigenen Strombezug so zu steuern, dass dieser zu möglichst günstigen Preisen gedeckt werden kann - aus eigenen PV-Überschüssen oder Strombezug aus dem Netz, wenn dieser preisgünstig verfügbar ist. Wesentlich hierfür ist die Verfügbarkeit zeitvariabler bzw. dynamischer Stromtarife, die in Verbindung mit SmartMetern ab 2025 verpflichtend angeboten werden müssen.

Die Veränderung im Einsatz der Energieträger und damit verbundener Technologien ist bereits im Gange. Offensichtlich ist das im Bereich der Mobilität, für den absehbar ist, dass Benzin und Diesel zunehmend durch Strom ersetzt wird. Im Bereich der Heizwärme wächst u. a. der Anteil strombetriebener Wärmepumpen und ersetzt die Verbrennung von Heizöl und Erdgas. Im industriellen Bereich gibt es etwa erste Pilotprojekte für den Einsatz von (grünem, d. h. mittels Strom elektrolysierten) Wasserstoff zum Ersatz fossiler chemischer Rohstoffe.

Kennzeichen dieses Wandels in der Energietechnik von Verbrennungsprozessen zur Stromwandlung ist der erheblich bessere Wirkungsgrad: während für die Wärmebereitstellung mit fossilen Verbrennungsprozessen immerhin ein Wirkungsgrad von 100% erreicht werden kann<sup>7</sup>, ermöglichen Wärmepumpen unter Einbeziehung von überall verfügbarer Umweltwärme einen elektrischen „Wirkungsgrad“ von bis zu 500%<sup>8</sup>. Antriebs- bzw. Bewegungsenergie aus fossilen Brennstoffen in Verbrennungskraftmaschinen erreicht einen Wirkungsgrad von typ. 20 – 30%, im seltenen Ausnahmefall in hocheffizienten Turbinen auch über 60%, während bei Elektromotoren regelmäßig Wirkungsgrade über 80% erreicht werden. Die Umstellung von Mobilität und Wärmeversorgung von Verbrennungsprozessen auf strombasierte Prozesse als notwendiger Schritt wird im Rahmen des Masterplans als gegeben vorausgesetzt und nicht weiter betrachtet.

Einerseits ist der Wirkungsgradvorteil strombasierter Anwendungen gegenüber Verbrennungsprozessen signifikant, andererseits sind fossile Brennstoffe sehr leicht in Tanks, Kavernen, Halden etc. speicherbar. Die Speicherung und der Transport von Strom ist aufwändiger und mit Wirkungsgradverlusten verbunden, insbesondere bei der chemischen Langzeitspeicherung über Wasserstoff und dessen Derivate. Daher ist es eine kluge Strategie, den Bedarf aufwändiger Speicher möglichst gering zu halten.

Die Speicherung von Strom mittels physikalischer oder chemischer Prozesse schreitet voran. Für jedermann erkennbar ist dies im Bereich der Batteriespeicher, die in stark steigenden Stückzahlen in Elektrofahrzeugen, Home-Batteriespeichern u. v. a. ihre Leistungsfähigkeit und Zuverlässigkeit beweisen.

---

<sup>7</sup> d. h. sämtliche chemische Energie des Brennstoffs wird letztlich in Wärme umgewandelt

<sup>8</sup> physikalisch korrekt ist hier die sog. Leistungszahl bzw. engl. „Coefficient of Performance (COP)“ von Wärmepumpen gemeint. Wärmepumpen ermöglichen es, mit Einsatz einer Einheit von Strom und vier Einheiten von Umgebungswärme (aus Luft, Grundwasser oder Boden) insgesamt fünf Einheiten an nutzbarer Wärme bereitzustellen.

Neben dem Energiewende-Ziel der „CO<sub>2</sub>-Freiheit“ („sauber“) sind „Versorgungssicherheit“ und „Bezahlbarkeit“ zu berücksichtigen. Dementsprechend ist neben dem Ausbau der Erzeugung von Solarenergie gleichrangig zu planen, wie das Energiesystem so anzupassen ist, dass Solarenergie wirtschaftlich, d. h. kostengünstig und zuverlässig integriert werden kann. Dies gelingt insbesondere durch geschickte Kombination unterschiedlicher Technologien sowohl auf der Erzeuger- als auch der Verbraucherseite:

- Erzeugerseitig ist der Anteil an Stromerzeugung aus überwiegend Sonne und Wind, ergänzt durch kleinere, aber wichtige Beiträge aus Wasserkraft, Bioenergie oder Geothermie so abzustimmen, dass der saisonal unterschiedliche Verbrauch im Sommer und Winter möglichst gut abgedeckt wird. Die Erzeugungskosten von Strom aus Sonne und Wind sind mittlerweile signifikant kostengünstiger als die aller anderen Stromerzeugungstechnologien.
- Verbraucherseitig ermöglicht die sog. Sektorenkopplung und intelligentes, dynamisches Lastmanagement<sup>9</sup> den Stromverbrauch viel stärker als bislang an das Stromdargebot<sup>10</sup> anzupassen. Die Voraussetzungen für die konsequente zeitliche Optimierung von Stromangebot und Stromnachfrage sind durch bereits vorhandene, sehr leistungsfähige Strom- und Datennetze – insbesondere im Stadtgebiet München – bereits in guter Qualität gegeben.
- Für den verbleibenden Abgleich von Stromangebot und Nachfrage werden Speicher benötigt. Durch die Auswahl angepasster Technologien<sup>11</sup> für die jeweils benötigte Speicherdauer können die Kosten der Speicherung minimiert werden.
- Zur Minimierung der Gesamtsystemkosten ist das Verhältnis von (billiger) Stromerzeugungs- und (teurer) Speicherkapazität so zu optimieren, dass im Jahresmittel die Summe der Erzeugungs- und Speicherkosten möglichst gering sind. Es ist zu erwarten, dass niedrigsten Gesamtkosten dann erreicht werden, wenn Erzeugungsleistung stark überdimensioniert und Speicherkapazität knapp gewählt wird. Als Nebeneffekt ergibt sich für lange Zeiträume die reichliche Verfügbarkeit nahezu kostenloser Überschussenergie<sup>12</sup>.

---

<sup>9</sup> Lastverschiebung nutzt bzw. aktiviert ohnehin vorhandene technische Prozesse, die ohne Komfort- oder Qualitätsverlust vorzeitig oder verzögert aktiviert werden können, z. B. für Wärme (Pufferspeicher, Bauteilaktivierung) oder Kälte (Kühlhäuser), Elektromobilität (Fahrzeugbatterien incl. Vehicle to Grid), etc.

<sup>10</sup> der Fachbegriff „Dargebot“ zeigt – im Gegensatz zum Begriff „Angebot“ – an, dass es sich bei dem Angebot aus erneuerbaren Ressourcen um fluktuierende oder nachhaltig nutzbare Angebotsmengen handelt, die gewissen naturgegebenen Angebotslimitierungen unterliegen.

<sup>11</sup> Tagesspeicher: z. B. Batterien bzw. Akkus mit sehr hohem Wirkungsgrad (> 85%), hoher Zyklenzahl (>200 p. a.), hoher Investitionskosten pro kWh, kleiner Kapazität (typ. 12-24 h); Wochen-Speicher: z. B. Wärme-Pufferspeicher, Redox-Flow-Nasszellen, mittlerer Wirkungsgrad (typ. 75-80%), mittlere Zyklenzahl 20 – 200 p. a., niedrige Investitionskosten pro kWh, große Kapazität (typ. 1-10 Tage); saisonale Langzeit-Speicher: z. B. Wasserstoff und Derivate, niedriger Wirkungsgrad (typ. ca. 40% Strom zzgl. ggf. nutzbarer Abwärme), sehr große Kapazität und lange, teilweise nahezu verlustfreie Speicherdauer, niedrige Zyklenzahl, Kosten abhängig von Verfügbarkeit von sehr preiswertem (Überschuss-) Strom und Betriebsstunden des Elektrolyseurs.

<sup>12</sup> siehe U-Kurve Erneuerbarer Energien-Systeme, Adam Dorr & Tony Seba, „Rethinking Energy 2020-2030“, Okt. 2020, <https://www.rethinkx.com/energy>

Für ein klimaneutrales Energieversorgungssystem auf Basis einer volatilen Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien<sup>13</sup> ist ein sog. „zellulärer Ansatz“<sup>14</sup> anwendbar: „jede Zelle“ sollte eine möglichst ausgeglichene Energiebalance anstreben, und möglichst geringe Energiemengen mit benachbarten Zellen austauscht. Dies gilt auch für Verbünde gleichartiger Zellverbände gemäß ihrer hierarchischen Ordnung (Wohnung, Gebäude, Wohnblock, Kundenanlage, Quartier, Stadtteil, Stadt, Regionalnetz, Überlandnetz, Höchstspannungsnetz / Übertragungsnetz, internationaler Netzverbund). Der VDE empfiehlt<sup>15</sup>: „Der zellulare Ansatz, lokal, regional und deutschlandweit angewandt, gewährleistet eine erfolgreiche Energiewende und sollte als Basis für weitere Entwicklungsschritte jetzt verbindlich angewendet werden, um die Sektorenkopplung, die Laststeuerung sowie nachhaltige Geschäftsmodelle zu unterstützen. Der zellulare Ansatz ermöglicht eine hohe Resilienz bei hoher Automatisierung. Es ist verbindlich festzulegen und zu überprüfen, den Datenaustausch auf das Notwendige zu reduzieren.“

#### Fazit:

Als Bindeglied zwischen der charakteristisch fluktuierenden Solarenergieerzeugung und dem Energiebedarf von Gesellschaft und Wirtschaft sind solar-spezifische Maßnahmen erforderlich. Maßnahmen zur Lastverschiebung, Abstimmung mit anderen Energiequellen, Speicherung von (Solar-) Energie, sowie Reservekraftwerke zur Überbrückung von Deckungslücken sind zwingend für den Ausbau der Solarenergienutzung zu berücksichtigen:

***Gleichrangig mit dem Ausbau der Erzeugung von Solarenergie ist deren Systemintegration.***

---

<sup>13</sup> Der Stromsektor unterscheidet sich in technischer Hinsicht signifikant vom Wärmesektor: bei der Solarenergie ist die Effizienz nahezu unabhängig von der Anlagengröße, und die gewinnbare Energie ist an jedem Standort gleich, der Transport vergleichsweise verlustarm möglich. Bei Wärme gilt einerseits, dass großtechnische Anlagen ggf. effizienter sein können (z. B. Tiefengeothermie-Bohrungen, Großspeicher, Hochtemperatur-Wärmepumpen), andererseits sind die Wärmeverluste in (langen) Rohrleitungen zu berücksichtigen. Fern- und Nahwärmenetze – besonders bei nicht zu hohem Temperaturniveau – sind als großräumige Strukturen ggf. sinnvoll. Für Wärme ist daher die räumliche Planung relevant (z. B. als Energienutzungsplan), für Strom mehr die zeitliche Planung.

<sup>14</sup> Energietechnische Gesellschaft im VDE (ETG), „Der Zellulare Ansatz: Grundlage einer erfolgreichen, regionenübergreifenden Energiewende“, VDE-Studie

<sup>15</sup> Energietechnische Gesellschaft im VDE (ETG), „Zukunftsbild Energie“, VDE-Studie, November 2022: „Zellulärer Ansatz (Definition): basiert auf der Bildung von Energiezellen in einem räumlich abgegrenzten definierten Gebiet unter Einbeziehung aller Arten von Energie. Ziel ist es, die Erzeugung und den Verbrauch von Energie zu jeder Zeit so weit wie technisch möglich und wirtschaftlich sinnvoll auszubalancieren.“

# 1 Ziele und Kennzahlen

## 1.1 Energieerzeugung

Der innerstädtische Solarenergieausbau ist im Gesamtkontext einer klimaneutralen Energieversorgung zu betrachten. Studien für eine klimaneutrale Energieversorgung mit 100% Erneuerbaren Energien gibt es für alle Ebenen der Gebietshierarchie: EU, Deutschland, Bayern und die Stadt München.

### 1.1.1 Studien zu einer klimaneutralen Energieversorgung

#### 1.1.1.1 Deutschland-Studie Sektorenkopplung

Bei der Umstellung der Sektoren Strom, Wärme und Verkehr steigt der Stromverbrauch bei gleichbleibenden Verhaltens- und Konsummustern auf mehr als das Doppelte an, sofern ambitionierte Effizienzmaßnahmen ergriffen werden. Würden Effizienzmaßnahmen nicht oder nur teilweise umgesetzt, stiege der Strombedarf auf den bis zu fünf-fachen Wert an<sup>16</sup>.

#### 1.1.1.2 Bayernstudie

In der Bayernstudie<sup>17</sup> der TU-München und des Bayerischen Zentrum für Angewandte Energieforschung (ZAE Bayern) wurde untersucht, wie sich Bayern im Jahr 2040 vollständig erneuerbar versorgen ließe. Mittels stundengenauer Simulationen wurde die optimale Zusammensetzung des bayerischen Energiesystems mit den Sektoren Strom, Wärme und Verkehr im Austausch mit angrenzenden Energiesystemen einschließlich Speicherung und synthetischer Kraftstoffe betrachtet. Zielgröße war die Minimierung der Kostenfunktion. Im Basisszenario verdoppelt sich der Stromverbrauch von derzeit rund 75 TWh/a auf über 160 TWh/a. Davon werden über 40% (68,4 TWh/a) mittels Photovoltaik, ca. 50% (80 TWh) durch Windkraft und ca. 10% durch Laufwasserkraft und Kraft-Wärme-Kopplung bereitgestellt werden. Die erforderliche PV-Leistung von rund 67 GWp wurde zu 80% auf Dachflächen und 20% in Freiflächenanlagen angenommen. Die bayerische Gebäudegrundrissfläche ist rund dreimal so groß wie die geschätzt benötigte Dachfläche. Falls der Windkraftausbau in Bayern weiterhin stark limitiert wird (Szenario Windlimit 15 GW), so würde der Bedarf an PV-Anlagen in Bayern um rund 2/3 auf über 100 GWp zunehmen und sich der Speicherbedarf stark erhöhen.<sup>18</sup>

#### 1.1.1.3 Fachgutachten Klimaneutralität München 2035

Für die Landeshauptstadt München wurden im Rahmen des Fachgutachten „Klimaneutralität München 2035“ Szenarien<sup>19</sup> für die zukünftigen Energieverbräuche und die Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien entwickelt. Darin wurde ein „Zielszenario“<sup>20</sup> entwickelt, das einen Pfad zur

---

<sup>16</sup> Siehe Volker Quaschnig et al., HTW-Studie Sektorenkopplung durch die Energiewende, 2016, <https://solar.htw-berlin.de/studien/sektorkopplungsstudie/>

<sup>17</sup> Siehe Hartmut Spliethoff et al, Bayernstudie, TUM und ZAE, 2021, <https://www.epe.ed.tum.de/es/publikationen/bayernstudie/>

<sup>18</sup> Es ist anzunehmen, dass die Deckungsanteile des Münchner Gesamtenergiebedarfs aus den verschiedenen Technologien grundsätzlich vergleichbar sind mit dem gesamt-bayerischen Szenario. Unterschiede ergeben sich insbesondere bei der Wärme durch das gut ausgebaute Münchner Fernwärmenetz der SWM mit perspektivisch einem hohen Anteil an Geothermie. Dies reduziert den Anteil an benötigter Windkraft, so dass für München anteilig etwa gleich hohe Bedarfe an PV- und Windstrom erwartet werden können.

<sup>19</sup> „Szenarien“: Öko-Institut, Hamburg Institut, Intraplan, Szenarien für ein klimaneutrales München 2035, Aug. 2022 <https://www.oeko.de/publikationen/p-details/szenarien-fuer-ein-klimaneutrales-muenchen-bis-2035>

<sup>20</sup> Die Zielgröße des Klimagutachtens sind CO<sub>2</sub>-Emissionen. Um diese mittels bekannter Emissionsfaktoren auf Energieverbräuche zurückrechnen zu können, werden für alle Sektoren die Energiemengen in Wattstunden angegeben (bzw. (kilo-) kWh, (Mega-) MWh, (Giga-) GWh oder (Tera-) TWh). Als Zielgröße für den Masterplan solares München wird als Messgröße die installierte PV-Leistung mit der Einheit „Kilowatt-peak“ [kWp], also die Leistung von PV-Anlagen unter Standardbedingungen verwendet. Als Umrechnungsfaktor zwischen Energiemengen des Fachgutachten (GWh bzw. TWh) und PV-Leistung im Masterplan (MWp bzw. GWp) wird ein

Klimaneutralität für die Landeshauptstadt aufzeigt. Im Zielszenario (Szenarien, Abb. 5-4) steigt der direkte Stromverbrauch von 6,8 TWh (2018, „Ist“<sup>21</sup>) auf 8,5 TWh (204X, „Ziel“), was einem Anstieg des Stromverbrauchs um +25% entspricht<sup>22</sup>.

In den Kraft-Wärme-Kopplungs-Anlagen (KWK) und den Heizwerken der SWM soll nach 2035 in erheblichem Umfang von 6 TWh „grüner“ Wasserstoff eingesetzt werden. Für dessen Herstellung werden mindestens 7 TWh klimaneutraler Strom benötigt<sup>23</sup>. Im Rahmen der territorialen CO<sub>2</sub>-Bilanzierung des Fachgutachtens wird der „grüne“ Wasserstoff als klimaneutral angenommen und daher nicht berücksichtigt.

In den Szenarien des Fachgutachten ist weiterhin die Entwicklung des Ausbaus der Photovoltaik dargestellt. Im Zielszenario nimmt der PV-Zubau bis 2030 exponentiell zu. Zwischen 2035 und 2040 nimmt der Jahresertrag aus Solarenergie von 684 GWh auf 1.105 GWh um 421 GWh zu, was einem jährlichen PV-Mehrertrag von +84,2 GWh pro Jahr entspricht. Umgerechnet auf den hierfür erforderlichen PV-Zubau wird pro Jahr eine zusätzliche PV-Leistung von rund +100 MWp pro Jahr entspricht, unter Annahme eines mittleren spezifischen Ertrags<sup>24</sup> am Standort München von 850 kWh/kWp bei einem Mix von PV-Anlagen auf Dächern unterschiedlicher Ausrichtung (~ 950 kWh/kWp) und PV-Anlagen an Fassaden (~ 650 kWh/kWp). Im Jahr 2050 werden im Zielszenario des Fachgutachtens 1,8 TWh an PV-Strom in München produziert, was ca. 21% des direkten Stromverbrauchs Münchens von 8,5 TWh in 204X (ohne Beitrag zur Wasserstoffspeicherung) entspricht.

### 1.1.2 PV-Ausbaupfad des Masterplan solares München

Der PV-Ausbaupfad des Masterplan solares München stützt sich im Wesentlichen auf das Zielszenario des Fachgutachten München klimaneutral 2035. Kernaussagen des Zielszenarios sind, dass zwischen 2035 und 2040 ein maximaler PV-Zubau zu einem Stromertragszuwachs von +84,2 GWh pro Jahr von 684 GWh/a auf 1.105 GWh/a erfolgt, sowie dass im Jahr 2050 mit einem Solarstromertrag von 1.760 GWh pro Jahr zwischen 20 und 25% des direkten Stromverbrauchs Münchens von 8.500 GWh mit innerstädtischen PV-Anlagen gedeckt werden kann.

Der Masterplan solares München präzisiert den PV-Ausbaupfad und leitet aus den Kernaussagen des Fachgutachtens messbare Kennzahlen ab, die für das Monitoring und die Steuerung des PV-Zubaus geeignet sind.

Die grundlegende Kennzahl für den PV-Ausbau ist die maximal erreichte jährliche Zubauleistung. Diese bestimmt einerseits die erforderliche Leistungsfähigkeit der Solarbranche und des Fachhandwerks, sowie andererseits die langfristig erreichbare Maximalleistung der PV-Anlagen bzw.

---

standorttypischer, mittlerer spezifischer Jahresertrag von PV-Anlagen von 850 kWh/kWp verwendet. Siehe dazu auch den Beitrag zum spezifischen PV-Jahresertrag im Anhang 2.6.1.

<sup>21</sup> Dies entspricht knapp 10% des aktuellen bayerischen Stromverbrauchs (ca. 75 TWh).

<sup>22</sup> Der geringe Stromverbrauchsanstieg verwundert zunächst, da dieser im Widerspruch zu den vorgenannten Energiewende-Studien auf Bundes- und Bayernebene zu stehen scheint. Die Ursache für die scheinbare Diskrepanz liegt darin begründet, dass in den „Szenarien für ein klimaneutrales München bis 2035“ der „indirekte Stromverbrauch zur Herstellung des in den Anlagen der SWM in 2040X eingesetzten „grünen“ Wasserstoffs (...) in dieser Darstellung, die sich auf die territoriale Bilanzierung bezieht, nicht berücksichtigt (wird).“

<sup>23</sup> Der Wirkungsgrad der Elektrolyse ist von der Bauart und Betriebsweise abhängig und erreicht derzeit typ. 70 bis 80%. Aufgrund technischer Weiterentwicklung könnte der Wirkungsgrad steigen. Angenommen werden 85%.

<sup>24</sup> Die Zahlenangaben zur PV in Tabelle 5-1 der „Szenarien“ sind aus fachlicher Sicht nicht plausibel. Siehe dazu auch den Beitrag zum spezifischen PV-Jahresertrag im Anhang 2.6.1.

des Stromertrags aus PV (siehe Abschnitt 1.1.3) und somit auch den Flächenbedarf für PV-Module (siehe Abschnitt 1.1.4).

Im Zielszenario des Fachgutachten wird das maximale PV-Ertragszuwachs mit 84,2 GWh pro Jahr beziffert. Im Jahr 2035 wird lt. Fachgutachten mit einer installierten PV-Leistung von 795 MWp ein Stromertrag von 684 GWh pro Jahr erzeugt. Dies entspricht einem mittleren spezifischen Jahresertrag am Standort München von 860 kWh/kWp. Dieser Wert ist plausibel und wird in Anhang 2.6.1 näher diskutiert. Für den PV-Ertragszuwachs von +84,2 GWh pro Jahr ist ein Leistungszuwachs von etwa +100 MWp<sup>25</sup> pro Jahr erforderlich.

Somit ergibt sich als Kennzahl:

**PV-Zubauleistung: +100 MWp pro Jahr**

Im Jahr 2022 wurde mit einem PV-Zubau von über 11 MWp eine installierte Gesamtleistung von 100 MWp überschritten. Der PV-Zubau ist nach 2019 stetig gewachsen und hat ein mittleres Zubauwachstum von +21% p. a. erreicht. Im Bereich privater PV-Betreiber lag das mittlere Zubauwachstum in dem Dreijahreszeitraum sogar bei +55% pro Jahr. Der tatsächliche PV-Ausbau der letzten zwei Jahre hat die Werte des Zielszenarios im Fachgutachtens bereits überschritten. Die Ausbaudynamik ist deutlich höher als im Fachgutachten unterstellt, da seither infolge der akuten Energiekrise im Zusammenhang mit dem Ukraine Konflikt und der hohen Bedeutung, die dem Ausbau erneuerbarer Energien auch auf Bundesebene beigemessen wird sich die Rahmenbedingungen für den PV-Zubau wesentlich verbessert haben. Mit der EEG-Novelle 2023, der Änderungen im Steuerrecht für PV-Anlagen (Wegfall Umsatz- und Einkommensteuer bei Anlagen bis 30 kWp) und im Baurecht (PV-Pflicht bei gewerblichen Immobilien, etc.) hat sich infolge der Erhöhung aller Energiepreise die Wirtschaftlichkeit von PV-Anlagen drastisch verbessert, so dass bei Eigenverbrauch in der Regel immer von einer sehr guten Wirtschaftlichkeit ausgegangen werden kann.

Das Fachgutachten geht im Zielszenario von einem exponentiellen PV-Zubauwachstum<sup>26</sup> von mehr als +30% pro Jahr bis 2030 aus. Aufgrund der seither deutlich verbesserten Rahmenbedingungen erscheint ein PV-Zubauwachstum von +40% pro Jahr plausibel, zumal in München ein erheblicher Nachholbedarf an PV-Installationen zu konstatieren ist. Bei einem PV-Zubauwachstum in dieser Höhe wird bereits bis Ende der 2020er Jahre die geplante PV-Zubauleistung von +100 MWp pro Jahr erreicht. Mit dem Beschluss „Ziele für den PV-Ausbau in München I“ vom 16.03.2023<sup>27</sup> hat der Stadtrat für den Zeitraum bis 2028 jährliche Ausbauziele beschlossen, die voll im Einklang mit dem vorliegenden Masterplan solares München sind.

Im Zielszenario des Fachgutachten geht die PV-Zubauleistung nach dem Jahr 2040 auf ca.  $\frac{3}{4}$  der maximalen Zubauleistung zurück. Dies wäre gleichbedeutend mit einem Abbau von Arbeitsplätzen in der bis dahin aufgebauten Solarbranche. Um dies zu vermeiden und für den Kapazitätsausbau von Solarbranche und Fachhandwerk verlässliche politische Rahmenbedingungen zu bieten sollte die Zubauleistung auch nach 2040 auf in etwa konstantem Niveau erhalten werden. Die Leistungsfähigkeit bzw. Kapazität der Solarbranche und des Fachhandwerks wird auch nach dem

<sup>25</sup> Das Fachgutachten gibt hier einen geringeren Wert an, der aus PV-fachlicher Sicht nicht bestätigt werden kann. Siehe Diskussion zum spezifischen Jahresertrag von PV-Anlagen im Anhang 2.6.1.

<sup>26</sup> Exponentielles Wachstum ermöglicht, dass Solarbranche und Fachhandwerk über mehrere Jahre hinweg Zubau-Kapazitäten gezielt und nachhaltig erhöhen. Dynamisch wachsende Märkte zeigen in der Regel eine Wachstumsrate von bis zu 60% über mehrere Jahre, um mit einem neuen Zubau-Kapazitätsniveau innerhalb von ein bis zwei Jahrzehnten einen Technologiewechsel zu erreichen.

<sup>27</sup> Siehe auch Kap. 0.2

Umbau zu einer klimaneutralen Energieversorgung dauerhaft benötigt, um Altanlagen nach Ende der Lebensdauer zu erneuern.

Somit ergibt sich als Kennzahlen:

**PV-Zubauwachstum: +40% pro Jahr bis Ende der 2020er Jahre**

**danach: dauerhafte Erhaltung der Kapazität der Solarbranche ab 2030**

Der konstante PV-Zubau ab 2030 führt zu einem linearen Anstieg der PV-Leistung, bis die Lebensdauer der PV-Altanlagen erreicht wird, und durch Abbau und Ersatz von Altanlagen ein in etwa konstantes Niveau der installierten PV-Leistung erreicht wird. Die langfristig erreichbare installierte PV-Leistung im „Repowering-Gleichgewicht“ errechnet sich aus dem Produkt der mittleren Lebensdauer der PV-Anlagen und der Installationskapazität. Bei einer prognostizierten mittleren Lebensdauer von Photovoltaikanlagen von 40 Jahren und einer Installationskapazität von 100 MWp pro Jahr ergibt sich eine Gesamtleistung von rund 4 GWp, was einer PV-Stromerzeugung von rund 3 TWh pro Jahr entspricht.

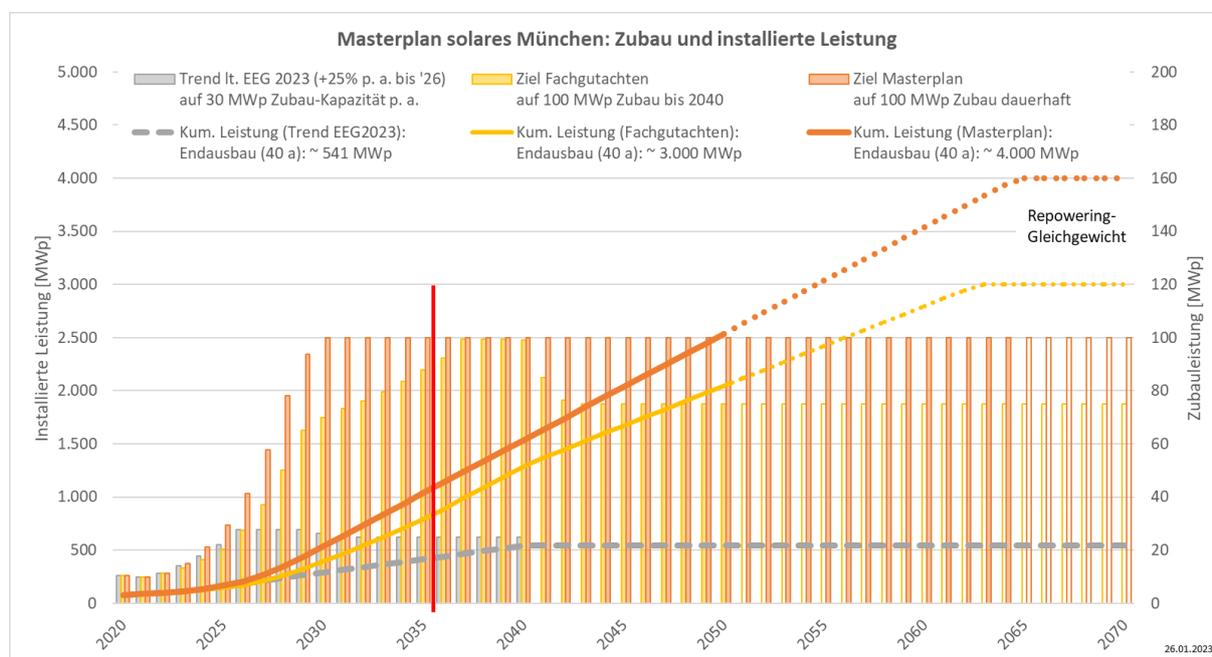


Abbildung 2: Zubauszenarien nach Trend (EEG 2023), Fachgutachten und Masterplan. Im Fachgutachten wird zwischen 2035 und 2040 ein PV-Zubau von ca. 100 MWp p. a. angestrebt, das nach 2040 wieder zurückgeht. Der Masterplan sieht langfristig Kontinuität beim Ausbau vor.

Der PV-Ausbaupfad ist in Abbildung 2 dargestellt. Die Abbildung enthält Balken, die den PV-Zubau im jeweiligen Jahr repräsentieren, sowie Linien, die die kumulierte bzw. installierte PV-Leistung darstellt. Die als Trendszenario grau dargestellten Balken bzw. Linien zeigen den Ausbau, der sich allein aus dem in der EEG-Novelle 2023 definierten Wachstumspfad ergibt<sup>28</sup>. Die gelben Balken und Linien entsprechen dem PV-Ausbau im Zielszenario des Fachgutachtens<sup>29</sup>. Der Ausbaupfad des Masterplan

<sup>28</sup> Die Bundesregierung hat in der EEG-Novelle 2023 ein PV-Zubauwachstum von +25% p. a. im Zeitraum von 2022 bis 2026 festgeschrieben. Sofern München nur den bundesweiten Trend aufnimmt, wird die PV-Zubauleistung in München von +11 MWp/a (in 2022) auf +28 MWp/a (in 2026) ansteigen. Lt. EEG-Novelle 2023 würde die PV-Zubauleistung nach 2026 leicht auf +25 MWp p. a. sinken, so dass München in 2035 eine PV-Leistung von ca. 416 MWp erreichen würde. Die EEG-Novelle sieht weiterhin vor, dass ab 2040 die PV-Leistung konstant erhalten werden sollte, was einem signifikanten Rückgang der Installationskapazität gleichkäme.

<sup>29</sup> Die Strommengen wurden ab 2035 mit einem konstanten spezifischen Ertrag von 860 kWh/kWp in die entsprechende PV-Leistung umgerechnet, siehe Anhang 44

solares München ist orange eingefärbt. An den Balken (rechte Y-Achse: Zubauleistung in [MWp] pro Jahr] ist erkennbar, dass in den 2020er Jahren ein dynamisches Zubauwachstum bis zu einem Wert von 100 MWp pro Jahr erfolgen soll, dass dann in einem stabilen Markt erhalten werden soll. Die eingezeichnete Linie (linke Y-Achse: Installierte Leistung in [MWp]) zeigt die kumulierte Leistung. Diese steigt ab 2030 linear an und erreicht im Zieljahr 2050 mit ca. 2.500 MWp ein Leistungsniveau, das einen PV-Jahresertrag von rund 2.000 GWh erwarten lässt. Nach 2050 steigt die installierte PV-Leistung weiter an, bis in den 2060er Jahren der Ersatz der in den 2020er Jahren gebauten PV-Anlagen den weiteren Leistungsanstieg bremst und zu einem Repowering-Gleichgewicht führt.

### 1.1.3 Anteil innerstädtischer Solarenergienutzung

Für den innerstädtischen Photovoltaikausbau wird im Fachgutachten Klimaneutralität München 2035<sup>30</sup> empfohlen, bis zum Jahr 2050 einen Anteil von 20 – 25 % des (direkten) Strombedarfs der Stadt durch erneuerbare Erzeugung im Stadtgebiet zu decken<sup>31</sup>.

Mit dem dargestellten PV-Ausbaupfad kann bis 2035<sup>32</sup> rund 11% des Stromverbrauchs mit innerstädtischen PV-Anlagen gedeckt werden und bis 2050 sogar 25%. Wenn nach 2050 der PV-Ausbau mit konstanter Zubaurate fortgesetzt wird, ist es möglich, auch einen Teil des „grünen“ Wasserstoffbedarfs, der laut Fachgutachten im Zielszenario 6 TWh beträgt, lokal zu produzieren. Für die Herstellung dieser Menge Wasserstoff werden ca. 7,5 TWh Strom benötigt, wobei das Fachgutachten unterstellt, dass der „grüne“ Wasserstoff vollständig außerhalb Münchens hergestellt und importiert wird. Bei einem starken PV-Ausbau in München gibt es ab etwa 2040 erhebliche PV-Strommengen, die dann auch lokal längerfristig bzw. „saisonal“ in Form von Wasserstoff gespeichert werden können.

In Tabelle 1 werden die Ausbautzahlen des Zielszenarios des Fachgutachtens, sowie des Masterplan solares München dargestellt. Der Masterplan stützt sich dabei im Zeitraum bis 2030 auf den Leistungszuwachs der PV-Anlagen des Zielszenarios, wobei die Ist-Werte in 2022 aufgrund der positiven Entwicklung beim PV-Ausbau bereits um ca. 8% über den im Fachgutachten prognostizierten Werten liegen.

	Einheit	2022	2025	2030	2035	2040	2045	2050	>2060
(FZS) PV-Strom	GWh	(68)	(108)	(316)	<b>684</b>	<b>1.105</b>	1.438	1.760	
(FZS) PV-Leistung	MWp	(95)	145	395	<b>795</b>	(1.195)	(1.445)	(1.645)	
(MsM) PV-Strom	GWh	103	158	486	894	1.278	1.652	2.006	~3.000
(MsM) spez. Ertrag	$\frac{kWh}{kWp}$ $\frac{GWh}{MWp}$	1.000	950	900	<b>860</b>	830	810	790	750
(MsM) PV-Leistung	MWp	<b>Ist: 103</b>	167	540	1.040	1.540	2.040	2.540	~4.000
(FZS) Stromverbr.	GWh	6.825	7.159	7.493	7.827	8.052	8.276	8.501	
(MsM) PV-Anteil	%	1,5%	2,2%	6%	11%	16%	20%	24%	

Tabelle 1: Wertetabelle für das PV-Ausbauszenario gemäß Fachgutachten-Zielszenario (FZS) und Masterplan solares München (MsM). Bezugs- und Zielwerte sind fett hervorgehoben, unplausible Werte in Klammern, interpolierte Werte kursiv.

<sup>30</sup> „Fachgutachten“: Öko-Institut, Hamburg Institut, Intraplan, Abschlussbericht zum Fachgutachten Klimaneutralität München 2035, August 2022, <https://risi.muenchen.de/risi/dokument/v/7337573>

<sup>31</sup> Dass 25% des innerstädtischen Jahresstrombedarfs von Großstädten mittels innerstädtischer Photovoltaikanlagen gedeckt werden kann, zeigen auch vergleichbare Masterpläne beispielsweise in Berlin und Wien. Die Zielmarke von 25% innerstädtischer PV-Erzeugung gilt als sehr ambitioniert, aber langfristig umsetzbar.

<sup>32</sup> In dieser Phase der Energiewende ist München stark auf den Import von PV-Strom aus (Freiland-) PV-Anlagen außerhalb Münchens angewiesen. Freiland-PV-Anlagen können wesentlich schneller errichtet werden als im urbanen Umfeld. Diese Anlagen können nach ca. 30 – 40 Jahren wieder rückstandsfrei zurückgebaut werden. Bei entsprechender Planung können diese durchaus wichtige ökologische Funktionen für Biodiversität z. B. als Trittsteinbiotope erfüllen.

Zielgröße ist der Strommengenanstieg zwischen 2035 und 2040 (fett gedruckte Werte), der im Fachgutachten mit 421 GWh im Fünfjahreszeitraum, bzw. 84,2 GWh pro Jahr angegeben wird. Bei einem plausiblen, mittleren spezifischen Jahresertrag der PV-Anlagen auf Dächern und an Fassaden von rund 850 kWh/kWp wird dementsprechend ein PV-Zubau von 100 MWp pro Jahr benötigt.

#### 1.1.4 Solarpotential und Flächennutzung

Sonnenstrahlung trifft mit einer Leistung von rund 1.000 W/m<sup>2</sup> auf die Erdoberfläche. Solarmodule mit einem derzeitigen Wirkungsgrad von gut 20% ernten somit rund 200 Watt pro Quadratmeter Modulfläche. Aus diesen physikalischen Randbedingungen lässt sich der Flächenbedarf aus dem Energie- bzw. Leistungsbedarf ableiten. Pro „Kilowatt-peak<sup>33</sup>“ ist somit (derzeit) eine Modulfläche von 5 m<sup>2</sup> erforderlich. Aufgrund der technologischen Weiterentwicklung verbessert sich der Wirkungsgrad von Solarmodulen stetig<sup>34</sup> um ca. 0,6%<sub>absolut</sub> pro Jahr. In 2030 wird somit für die selbe Leistung eine Fläche von ca. 4 m<sup>2</sup> benötigt, und ab ca. 2044 nur noch 3 m<sup>2</sup>. Im Betrachtungszeitraum des Masterplans wird ein mittlerer Flächenbedarf von rund 4 m<sup>2</sup>/kWp angenommen.

Anhand der langfristig angestrebten Zielleistung von 4 GWp PV-Leistung im Stadtgebiet lässt sich somit einerseits anhand der verfügbaren Gesamtflächen in einem „top-down-Verfahren“ abschätzen, welcher mittlere Flächenanteil für PV-Module benötigt wird. Andererseits lässt sich mit einem „bottom-up-Verfahren“ von Einzelflächen ausgehend auch prüfen, ob die verfügbaren Bestandsflächenpotentiale der Stadt ausreichen, um das PV-Ausbauziel zu erreichen.

Für eine Zielleistung von 4 GWp an PV-Leistung wird bei einem mittleren Flächenbedarf von 4 m<sup>2</sup>/kWp eine PV-Modulfläche von 16.000.000 m<sup>2</sup> bzw. 1.600 ha benötigt. Dies entspricht bei einer typischen Modulfläche von 2 m<sup>2</sup> rund 8.000.000 Solarmodulen.

##### 1.1.4.1 Flächenbedarf für PV-Anlagen

Das Stadtgebiet von München hat eine Gesamtfläche von 31.070 ha<sup>35</sup>. Die Gesamtfläche gliedert sich in Siedlungsfläche<sup>36</sup> (18.127 ha = 58,3%), Verkehrsfläche (5.251 ha = 16,9%), Vegetationsfläche (7.268 ha = 23,4%), sowie Gewässer (425 ha = 1,4%). Da PV-Anlagen (langfristig) im Sinne des Masterplan weit überwiegend auf und an Gebäuden angebracht werden, werden für die weitere Betrachtung des Flächenbedarfs nur Siedlungsflächen – ohne Sport-, Freizeit- und Erholungsflächen – angesetzt<sup>37</sup>.

Da auf einem Teil der Siedlungsflächen aufgrund anderer Belange keine PV-Anlagen installiert werden können, wird analog zur Vorgehensweise der Solarpotentialanalyse für Gebäude in der Landeshauptstadt München (ENIANO, 2020) ein Reduktionsfaktor von -40% verwendet, um den Flächenbedarf auf PV-geeigneten Siedlungsflächen zu ermitteln.

---

<sup>33</sup> „Kilowatt-peak“ [kWp] ist die Spitzen-Nennleistung von Solarmodulen unter Normbedingungen (1.000 W/m<sup>2</sup>, Modultemperatur 25°C, senkrechte Einstrahlung).

<sup>34</sup> Fraunhofer ISE, 06/2021, „Kurzgutachten Innovative Energietechnologien“ im Rahmen der DENA Leitstudie, <https://www.dena.de/newsroom/publikationsdetailansicht/pub/kurzgutachten-im-rahmen-der-dena-leitstudie-aufbrauch-klimaneutralitaet-fraunhofer-institut-fuer-solare-energiesysteme-ise/>

<sup>35</sup> Ein Hektar [ha] (100 m x 100 m) entspricht ca. 1,5 Fußballfeldern; 1 km<sup>2</sup> = 100 ha

<sup>36</sup> siehe Begriffsbestimmung in Abschnitt 2.6.5

<sup>37</sup> Dies schließt nicht aus, dass zumindest für eine Übergangszeit von ca. 30 Jahren teilweise auch Solaranlagen auf Freiflächen errichtet werden können. Dies ist aufgrund der schnelleren und vergleichsweise preiswerteren Umsetzbarkeit hilfreich, um die notwendige Geschwindigkeit für den Solarenergieausbau zur Abwehr der Energiekrise zu erreichen. Diese Anlagen können jedoch zu gegebener Zeit problemlos und rückstandslos rückgebaut werden, so dass die Flächen auch zukünftigen Generationen zur Verfügung stehen. Weiterhin soll die Beschränkung auf Siedlungsflächen für die Abschätzung des Flächenbedarfs ausdrücklich nicht ausschließen, dass PV-Anlagen auch auf Verkehrsflächen, d. h. in Kombination mit Verkehrsinfrastruktur (z. B. als Parkplatzüberdachungen, Radweg-Überdachungen oder Solarstraßen) errichtet werden. Dies würde ggf. den Flächenbedarf für PV im Siedlungsbereich verringern.

In Tabelle 2 werden die priorisierten PV-Flächen dargestellt. Wenn langfristig auf 60% der verfügbaren und geeigneten Siedlungsflächen PV-Module mit einer Fläche von knapp 20% der Grundfläche angebracht werden, ist das Leistungsziel erreichbar. Bis zum Jahr 2035 sind etwa 20% des PV-Ausbaus realisierbar, bis 2050 etwa die Hälfte.

Fläche in [ha]	Flächenkategorie	rel.	PV?	langfristiger PV-Modulflächenbedarf bei x60% (Reduktionsfaktor) x20% (PV-Fakt.)
31.000	Münchens Gesamtfläche	100%		(Summe PV: 1.600)
18.100	Siedungsfläche gesamt	58%		
8.500	<b>Wohnbau</b>	28%	PV	<b>ca. 2.500 MWp (~ 60%) bzw. 1.000 ha</b>
2.600	<b>Industrie &amp; Gewerbe</b>	8%	PV	<b>ca. 750 MWp (~ 20%) bzw. 300 ha</b>
1.300	<b>Gemischte Nutzung</b>	4%	PV	<b>ca. 375 MWp (~ 10%) bzw. 150 ha</b>
1.400	<b>Besondere funkt. Prägung</b>	4%	PV	<b>ca. 375 MWp (~ 10%) bzw. 150 ha</b>
3.900	Sport/Freizeit/Erholung	13%		
5.300	Verkehr	17%	(opt.)	(optional)
7.300	Vegetation	23%	(opt.)	(optional / vorübergehend)
400	Gewässer	1%		

Tabelle 2: Flächen unterschiedlicher Kategorie in München. Unter der Annahme, dass langfristig nur auf 60% der Siedlungsflächen (ohne Erholungsflächen) PV-Module installiert werden, wird eine PV-Modulfläche benötigt, die knapp 20% der Siedlungsfläche entspricht. Die Module werden überwiegend auf Dachflächen und an Fassaden eingesetzt.

Fast zwei Drittel des PV-Zubaus wird dabei auf Wohngebäude entfallen, wobei eine mittlere Leistung von rund 2,5 kWp pro Wohneinheit erreicht wird. Zum Vergleich: Balkonsolaranlagen mit 2 Modulen a 400 Wp würden bereits rund ein Drittel der benötigten PV-Leistung pro Wohneinheit abdecken.

#### Praxistest:

*Im Neubaugebiet Freiham (2. Bauabschnitt) beträgt die „Grundfläche Hochbau“ ca. 40% der Wohnbau-Siedlungsfläche. Die „Grundfläche Hochbau“ entspricht i. d. R. der Brutto-Dachfläche moderner Wohngebäude mit Flachdächern, so dass die PV-Ziele erreicht werden, wenn die Solar-Modulfläche ca. 50% der Brutto-Dachfläche entspricht.*

*Bei realen Wohngebäuden (WA2-Ost, WA4-Süd, WA9) mit PV-Mieterstromanlagen im 1. BA des Neubaugebiets Freiham wurde ein mittlerer PV-Modulflächenanteil von 20% bezogen auf die Grundstücksflächen nachgewiesen. Die PV-Anlagen wurden dabei mit einer darunter liegenden Biodiversitätsbegrünung kombiniert, zwei der insgesamt sechs betrachteten Gebäude haben zusätzlich Dachterrassen als Aufenthalts- und Erholungsflächen. Die PV-Leistung erreicht ca. 2,5 kWp pro Wohneinheit in den Gebäuden. PV-Fassadenanlagen wurden bei den Objekten nicht realisiert und würden ein zusätzliches PV-Potential bieten.*

Bei Wohngebäuden sind folgende Kennzahlen in der Regel gleichwertig:

- 20% Modulfläche bezogen auf die Grundstücksfläche („Wohnbau-Siedlungsfläche“)
- 50% Modulfläche bezogen auf die „Grundfläche Hochbau“ bzw. „Brutto-Dachfläche“ (bei Flachdächern, bzw. senkrechte Projektion bei Schrägdächern)
- 2,5 kWp pro Wohneinheit

#### 1.1.4.2 Verifizierung des PV-Flächenpotentials

Für Photovoltaik beziffert die Münchner Solarpotenzialstudie<sup>38</sup> alleine das theoretische Dachflächenpotential gut geeigneter Dächer bei heutiger Modultechnik auf ca. 4,5 GWp, davon nach Abzug von Reduktionsfaktoren aufgrund Eigentümerstruktur und Denkmalschutz derzeit ein

<sup>38</sup> ENIANO GmbH, Solarpotentialanalyse für Gebäude in der Landeshauptstadt München, 2020, [Link](#)

realisierbares Dachflächenpotential von ca. 2,7 GWp. Münchner Fassaden bieten lt. einer Studie<sup>39</sup> eine zusätzliche Fläche, die etwa 2,5 mal so groß wie die Dachfläche ist. Auch wenn der spezifische Stromertrag an Fassaden signifikant geringer ist als bei PV-Anlagen auf Dächern, so ist der Strom von Fassadenanlagen doch besonders nützlich bei tiefstehender Sonne im Winter, insbesondere da Fassadenmodule nicht von Schnee bedeckt werden. „Winterstrom“ von Fassaden kann einen kleinen Beitrag leisten, um die geringe innerstädtische Eigenversorgung im Winter zu reduzieren. Das Flächenpotential auf Verkehrsflächen in München wurde bislang noch nicht wissenschaftlich ermittelt. In einigen Bundesländern (Baden-Württemberg, Nordrhein-Westfalen, Rheinland-Pfalz, Schleswig-Holstein) gibt es bereits eine Solarpflicht auf Parkflächen. Die doppelte Nutzung von Flächen in Verbindung mit PV hilft den Ausbau der Solarenergie zu beschleunigen und führt vielfach zu einer Win-win-Lösung (z. B. Entlastung bei sommerlicher Hitze durch Verschattung, Ladestrom für Fahrzeuge).

Das Gesamtpotential für Photovoltaikanlagen auf Dächern, an Fassaden und auf Verkehrsflächen in München übertrifft selbst mit heute üblichen Modulwirkungsgraden eine realisierbare PV-Leistung von 4 GWp. Bei stetig steigenden Modulwirkungsgraden kann die Leistung weiter gesteigert werden, oder dieselbe Leistung auf weniger Fläche realisiert werden. Bei einem mittleren spezifischen Jahresertrag von rund 750 kWh/kWp<sup>40</sup> erlaubt das realisierbare Münchner Flächenpotential einen Solarstromertrag von mehr als 4 TWh. Ein Anteil von 25% innerstädtischem PV-Eigenstrom am Gesamtstromverbrauch ist möglich<sup>41</sup>.

## 1.2 Systemintegration

Beim Umbau des Energiesystems auf erneuerbare Energien sind die spezifischen Eigenschaften der überwiegend eingesetzten Energiequellen – Sonne und Wind – zu berücksichtigen. Das Angebot erneuerbarer Energien unterliegt einerseits regelmäßigen Zyklen unterschiedlicher Zeitdauern, wie dem täglichen Zyklus (Tag / Nacht) und dem saisonalen Zyklus (Sommer / Winter). Diesen regelmäßigen Zyklen sind durch die Wetterlage chaotische Abweichungen auf einer Wochen-Zeitskala überlagert. Nicht zuletzt werden die regelmäßigen Zyklen, sowie das Wetter, von dem langsamen und über Generationen voranschreitenden Trend, dem Klima (-Wandel) modifiziert.

Für den Masterplan solares München ist nicht nur der Ausbau der Solarenergie-Erzeugung relevant, sondern auch die Integration von Solarenergie im Rahmen der Energiewende, so dass zu jeder Stunde eines Jahres eine hinreichend stabile Energieversorgung gewährleistet ist, die gleichzeitig aus gesamtwirtschaftlicher Sicht optimal, d. h. möglichst kostengünstig bereitgestellt werden kann. Dabei müssen in die wirtschaftliche Betrachtung auch sämtliche „externen Kosten“ einbezogen werden. Das vorliegende Kapitel adressiert daher die wesentlichen Aspekte, die für eine Einbettung der Solarenergie im Rahmen des Masterplan in die Gesamtversorgung Münchens mit erneuerbaren Energien zu berücksichtigen sind.

---

<sup>39</sup> Martin Behnisch et al.: Anwendungsszenarien von Geomassendaten zur Modellierung von Grünvolumen und Solarflächenpotenzial, 2020, [https://www.ioer-monitor.de/fileadmin/user\\_upload/monitor/DFNS/2020\\_12\\_DFNS/025\\_behnisch.pdf](https://www.ioer-monitor.de/fileadmin/user_upload/monitor/DFNS/2020_12_DFNS/025_behnisch.pdf)

<sup>40</sup> Der mittlere spezifische Solarertrag nimmt mit zunehmender Nutzung von PV ab, z. B. aufgrund zunehmender Anteile gebäudeintegrierter Photovoltaik (BIPV), der Nutzung von Fassadenflächen und von Lösungen, bei denen Architektur und Ästhetik höher gewichtet werden als die Maximierung spezifischer Erträge. Ein Rückgang des mittleren spezifischen Jahresertrags kann dann ggf. durch eine höhere Flächennutzung (d. h. höhere installierte Nennleistung) kompensiert werden.

<sup>41</sup> Windkraft ist im Stadtgebiet nur in sehr geringem Umfang nutzbar. Wasserkraft hat im Stadtgebiet kaum Erweiterungspotential.

### 1.2.1 Optimaler Erzeugungsmix

Die einfachste Maßnahme zur Minimierung der Stromkosten einer Stromerzeugung aus (weitgehend) CO<sub>2</sub>-freien erneuerbaren Energien ist die Auswahl eines kostenoptimalen Mix unterschiedlicher Erzeugungsarten. Im saisonalen Zyklus ergänzen sich Sonne und Wind perfekt: im Sommer hat Solarenergie ein Erzeugungsmaximum, im Winter die Windkraft. Kleine, aber wichtige, weil kontinuierliche und steuerbare Beiträge liefern insbesondere Wasserkraft und Bioenergie.

Der Erzeugungsmix kann von der Landeshauptstadt München nur wenig beeinflusst werden, da in München im Wesentlichen nur die Solarenergie zur Nutzung bereit steht.

### 1.2.2 Priorisierung der Ausgleichsoptionen

Zum Ausgleich des volatilen Angebots gibt es zahlreiche Optionen, deren kluge Auswahl maßgeblich zu einer Kostenoptimierung beiträgt:

- 1.) Effiziente Nutzung und Einsparung von Energie ist vielfach die kostengünstigste Option der Energiekostenreduzierung
- 2.) Ein weitgehend strombasiertes Energieversorgungssystem eignet sich sehr gut für Sektorkopplung. Viele Prozesse, deren Wirkungsgrad z. B. aufgrund des Carnot-Wirkungsgrads (z. B. bei Verbrennungskraftmaschinen) physikalisch bedingt gering ist, können oft mit vielfach besserem Wirkungsgrad durch elektrische Systeme ersetzt werden.
- 3.) Demand side management, d. h. die zeitliche Verschiebung von Verbräuchen nutzt faktisch bereits vorhandene Möglichkeiten, den Zeitpunkt des Stromverbrauchs – häufig ohne Komforteinbußen – zu wählen bei vergleichsweise sehr geringem Kostenaufwand (v. a. durch smarte Daten-Technologien wie Lastmanagement in Verbindung mit Wetterprognosemodellen)
- 4.) Optimierung des Verhältnisses von Stromerzeugung und Speicherung: die „U-Kurve der erneuerbaren Energien“<sup>42</sup> besagt, dass es günstiger ist, einen Überschuss erneuerbarer Energien zu erzeugen und dafür Speicher zu sparen, als die Speicher so groß zu bauen, dass jede erzeugte Kilowattstunde auch verbraucht werden kann. Als Nebeneffekt gibt es viele Zeiten mit reichlich preiswertem Überschussstrom.
- 5.) Optimierung des Speicher-Portfolios. Energie wird in einem Energieversorgungssystem, das auf CO<sub>2</sub>-armen erneuerbaren Energien basiert, mit unterschiedlichen Technologien gespeichert. Diese unterscheiden sich wesentlich in den Investitions- und Betriebskosten, im Wirkungsgrad, der Energieform beim Ausspeichern (Strom, Wärme, etc.), der Speicherfähigkeit für längere Zeiträume, sowie der Transportfähigkeit und Handelbarkeit. Aufgrund der besonderen Bedeutung der Speichertechnologien für die Nutzung von Solarenergie werden diese in einem eigenen Kapitel weiter unten behandelt.
- 6.) Vorausschauende Planung zur Beherrschung von Dunkelflauten. Sogenannte „Dunkelflauten“ mit wenig Sonne und wenig Wind sind eher seltene Ereignisse<sup>43</sup>, die aber sehr große

---

<sup>42</sup> RethinkDisruption, 2021, <https://rethinkdisruption.com/how-to-achieve-rapid-cheap-energy-decarbonization-using-the-rethinkx-clean-energy-u-curve/>

<sup>43</sup> Als „Dunkelflauten“ werden mehrtägige Zeiträume bezeichnet, an denen das Dargebot von Sonne und Wind bei weitem nicht ausreicht, um den Strombedarf zu decken. Die charakteristische Größe einer Dunkelflaute ist die Länge des Zeitraums, der als 10% des Verbrauchs mit Erneuerbaren Energien gedeckt werden kann, sind relativ seltene Ereignisse. Diese treten mehrmals jährlich durchschnittlich zweimal jährlich für 48 Stunden bzw. etwa alle zwei Jahre für zwei Wochen auf. Im Vergleich zum heutigen Energiesystem ist der benötigte Speicherzeitraum eher kürzer, aber die Speicherung von „Strom“ ist komplexer als bislang. Zum Vergleich: Deutschlands strategische Öl- und Gasreserven reichen jeweils für ca. 90 Tage Vollversorgung. Bei Kohlekraftwerken liegt in der Regel Kohle für ca. 30 Tage Vollversorgung am Kraftwerksstandort auf Halde. Allerdings ist die Bevorratung von Rohöl und Gas z. B. in unterirdischen Kavernen oder von Kohle auf Halden relativ kostengünstig.

Relevanz für eine sichere und bezahlbare Energieversorgung haben. Während im fossilen Energiesystem die Kraftwerke und Brennstoffe „eh da“ waren, müssen in einem erneuerbaren Energiesystem bei „Ausfall“ von Sonne und Wind Alternativen bereitgestellt werden, die letztlich ausschließlich in den Dunkelflauten zum Einsatz kommen. Da die jährliche Betriebsdauer der oft als Backup- oder „Schattenkraftwerke“ bezeichneten Anlagen sehr niedrig ist, sind deren Energiekosten in den kurzen Betriebszeiten extrem hoch. Daher macht es Sinn, möglichst frühzeitig darauf hin zu planen, dass deren Einsatz nur in möglichst geringem Maß erforderlich ist. Während einer Dunkelflaute Strom für eine Wärmepumpe aus dem öffentlichen Stromnetz zu beziehen kann sehr teuer werden. Sinnvoller bzw. preiswerter kann es beispielsweise sein, die Wärmeversorgung von Gebäuden über 2 Wochen einer Dunkelflaute mit möglichst geringem Strombedarf aus einem großen Wärmepufferspeicher (z. B. in der Dimension des Wärmespeichers des Projekts „Solare Nahwärme am Ackermannbogen“) zu bedienen. Ein derartiger Wärmespeicher kann auch im Winter sehr preiswert mit billigem (Windkraft-) Überschussstrom aus dem Netz beladen werden.

Die Erzeugung und Nutzung von Solarenergie in München darf im Rahmen des Masterplan solares München nicht isoliert betrachtet werden. Die Einbindung in das Gesamtsystem mit verschiedensten Facetten ist zwingend erforderlich, damit die Energieversorgung nicht nur CO<sub>2</sub>-neutral wird, sondern auch sicher und bezahlbar bleibt.

### 1.2.3 Optimierung des Speicher-Portfolio

Ein Großteil des Solarertrags wird an wenigen Stunden eines Tages um die Mittagszeit erzeugt, während nachts keinerlei Ertrag erzeugt wird. Das Verbrauchsprofil unterscheidet sich wesentlich durch eine viel gleichmäßigere Verteilung. Allein die Unterschiedlichkeit der Tagesprofile macht den Bedarf an Speichern unausweichlich. In ähnlicher Weise ergibt sich ein Speicherbedarf aus saisonalen Unterschieden von Erzeugung und Verbrauch, wobei zu berücksichtigen ist, dass der Jahresgang von PV- und Winderzeugung teilweise komplementär ist.

Nachfolgend beispielhaft Speichertechnologien für drei typische Speicher-Zeiträume vorgestellt.

- a. Tagesspeicher: Batterie- bzw. Akkusysteme weisen in der Regel hohe Investitionskosten auf, haben aber einen sehr guten Wirkungsgrad und niedrige Betriebskosten. Batterien eignen sich vorzugsweise als Tages- bzw. Kurzzeitspeicher. Dabei erreichen Sie hohe Zykluszahlen (z. B. 200 Be- und Entladezyklen pro Jahr als Solarspeicher), so dass sich trotz hoher Investitionskosten aufgrund der intensiven Nutzung akzeptable Speicherkosten ergeben.
- b. Wochenspeicher: da Wochenspeicher ca. einen Faktor 10 niedrigere Zyklenzahlen aufweisen als Tagesspeicher, müssen deren Kosten für das Speichermedium um einen Faktor 10 preiswerter sein, so dass sich trotzdem akzeptable Speicherpreise ergeben. Das Speichermedium wird dabei oftmals in großen Tanks gelagert, z. B. die Elektrolyte in Redox-Flow-Speichern, Wasser oder Beton/Gestein in Wärmespeichern etc..
- c. Langfrist-Speicher: bei Langfrist-Speichern liegt oft ein erheblicher Zeitraum zwischen Einspeichern der Energie und deren Rückgewinnung. Wichtig ist dabei, dass die gespeicherte Energie lange möglichst verlustfrei gelagert werden kann und sich somit auch als Handelsprodukt und für Sonderanwendungen eignet, die nicht sinnvoll direkt mit Strom betrieben werden können. Die Herstellung von „grünem“ Wasserstoff mittels Brennstoffzellen und die Umwandlung in diverse chemische Derivate (Methan, Methanol, Ammoniak, „E-Fuels“, etc.) erlaubt die Nutzung in fernen Zeiten oder an fernen Orten und bietet somit eine sehr hohe Flexibilität, wenn auch bei bescheidenem Wirkungsgrad und zu hohen Kosten.

#### 1.2.4 Solarthermie und Solarkollektoren

Der Einsatz von Solarenergie für die Wärmebereitstellung hat eine sehr lange Tradition. Schon mit einfachsten Mitteln der sog. „passiven“ Solarenergienutzung durch intelligente Architektur können Gebäude zu „Solar-Kollektoren“ werden. Seit den Ölkrisen in den 1970er-Jahren fand Solarthermie mittels wasserdurchströmter Kollektorsysteme breitere Anwendung als Heizungsergänzung zur Brennstoffeinsparung. Neben dem besonders guten Flächenwirkungsgrad wasser- oder luftdurchströmter Solarkollektoren ist ein gewichtiger Vorzug von Solarthermie, dass Wärme sehr kostengünstig gespeichert werden kann: sowohl Wasser, als auch Baustoffe wie Beton, Steine, etc. weisen eine hohe Wärmespeicherkapazität auf und können entsprechend viel Energie aufnehmen, mittelfristig (je nach Dämmung) speichern, und wieder als Wärme abgeben. Die thermische Speicherung von Energie hat gerade bei Münchner Breitengraden langfristig einen hohen Stellenwert als preiswerteste Form der Energiespeicherung. Dabei erscheint es unerheblich, ob die gespeicherte Energie aus durchströmten Sonnenkollektoren, aus photovoltaischen Modulen oder etwa aus Windkraft herkommt. Zukünftig ist vielmehr entscheidend, dass durch ein hinreichend großes Speichervolumen Erzeugung und Verbrauch zeitlich entkoppelt werden können.

Sofern thermische Speicher ausreichend dimensioniert sind, um den Wärmebedarf für ca. 20 Tage ohne Nacherwärmung und (weitgehend) ohne weiteren Stromverbrauch zu decken, ist schon heute absehbar, dass solche Systeme die mit großem Abstand niedrigsten Kosten für die Energiebeschaffung aufweisen. Denn in einem klimaneutralen Energiesystem wird es zwangsläufig zu vielen Zeiten Stromüberschüsse geben, die zu sehr geringen Preisen (Preise nahe Null an der Strombörse, oder Überschussstrom aus der eigenen PV-Anlage) zur Verfügung stehen.

Aufgrund der hohen Bedeutung der Energiespeicherung in einem Energiesystem mit volatilem Energieangebot sollten in der Regel Wärmesysteme mit großen Speichern ausgerüstet werden. Aufgrund der höheren volumetrischen Speicherkapazität sind im urbanen Kontext insbesondere Latentwärmespeicher vorteilhaft.

#### 1.2.5 Reservekraftwerke

Die vorgenannten Maßnahmen tragen dazu bei, die fluktuierende Energieerzeugung durch einfache und möglichst kostengünstige Maßnahmen bestmöglich an den Strombedarf anzupassen. Insbesondere in der Übergangszeit bestehen – neben zunehmend längeren Phasen europaweiter Stromüberschüsse – auch Zeiten von Deckungslücken, die (noch) den Einsatz herkömmlicher Verbrennungskraftmaschinen erfordern. Aufgrund der abnehmenden Laufzeiten dieser Kraftwerke ist der dort erzeugte Strom sehr teuer. Es bleibt abzuwarten, wie die Bereitstellung von Leistung auf bundesdeutscher oder europäischer Ebene finanziert und geregelt wird.

Auf kommunaler Ebene besteht ggf. die Möglichkeit, vorhandene oder neu zu errichtende Notstromaggregate so zu ertüchtigen bzw. auszulagern, dass diese auch für die Überbrückung kalter Dunkelflauten eingesetzt werden können. Dafür sind in der Regel folgende Maßnahmen erforderlich:

- a) Notstromaggregate müssen auch netzparallel betrieben werden können
- b) Kraftstoffbevorratung muss von 48 h auf ca. 480 h (= 20 Tage) erhöht werden
- c) Abwärme sollte nach Möglichkeit zur Beheizung verwendet werden können

Notstromaggregate dienen in der Regel der öffentlichen Daseinsvorsorge und unterliegen somit nicht wirtschaftlichen Kriterien. (Zusatz-) Kraftwerke für Dunkelflauten haben nur sehr geringe Jahreslaufzeiten von wenigen hundert Stunden pro Jahr und sind wirtschaftlich kaum darstellbar. Durch eine sinnvolle Verwendung von Notstromaggregaten als „Dunkelflautenreserve“ kann ggf. mit vertretbarem Aufwand eine win-win-Lösung gefunden werden. Aufgrund der geringen Laufzeiten

(nur bei Dunkelflauten) erscheint ein Weiterbetrieb der Anlagen selbst mit fossilen Brennstoffen (Heizöl, Diesel) für einige Jahrzehnte vertretbar.

### 1.3 Nutzen für die Stadt und ihre Bürger\*innen

Die Entscheidung, einen hohen Anteil innerstädtischer Solarenergieerzeugung anzustreben ist dadurch begründet, dass die Eigenerzeugung in der Stadt wesentliche Vorteile gegenüber dem Import aufweist. Der Nutzen für die Stadt, ihre Bürger\*innen und die Wirtschaft ist dabei nicht nur finanzieller Natur mit den Aspekten der Wirtschaftsleistung der Solarbranche und des Kostenvorteils für die Stromverbraucher (Kaufkraftherhalt). Ein Nutzen kann sich auch im Hinblick auf Sicherheitsaspekte („Resilienz einer Großstadt“) ergeben.

Eine Auswirkung eines ambitionierten PV-Ausbaus wird sein, dass sich das Stadtbild optisch verändert. Damit München auch mit PV auf Dächern und Fassaden schön bleibt und sogar moderner und attraktiver aussieht, muss Photovoltaik selbstverständlicher Bestandteil einer hochwertigen und ästhetischen Baukultur mit „photovoltaischen Baustoffen“ für attraktive Dach- und Fassadenoberflächen werden. Architekten sind gefordert, um etwaige negative optische Auswirkungen für die Stadt durch gelungene Integration in die Gestaltung zu vermeiden.

#### 1.3.1 Wirtschaftsleistung Solarbranche

Im 2022 wurden in München PV-Anlagen mit einer Leistung von 12 MWp (also 12.000 kWp) gebaut. Bei mittleren Investitionskosten von rund 2.500 €/kWp (netto)<sup>44</sup> werden in München also jährlich (nur) rund 30 Mio. Euro für PV-Installationen investiert. Bei einer Verachtfachung des PV-Zubaus auf 100 MWp würden die Investitionskosten bei 250 Mio. Euro pro Jahr liegen. Dementsprechend bietet ein Ausbau der PV-Installationsleistung auch Chancen für die lokale Wirtschaft und das Fachhandwerk. Photovoltaik bietet durch den langfristigen und kontinuierlichen PV-Ausbau und die erforderlichen Kapazitäten für ein zukünftiges „Repowering“ (ab bzw. nach 2060 in nennenswertem Umfang) eine langfristige Perspektive für Unternehmen.

Die Solarbranche hat in München Tradition: mit Siemens Solar war ein bedeutendes Unternehmen der Solar-Pionierzeit mit Forschung und Produktion am Standort München beheimatet. Diese Tradition wurde – wenn auch in kleinerem Umfang – fortgeführt, und große Unternehmen der Solar- und Energiebranche sind mit ihren Headquarters in München vertreten. Hier bietet sich – insbesondere auch in Verbindung mit den bedeutenden Münchner Hochschulen bzw. Universitäten – ein Anknüpfungspunkt, der für den Wirtschaftsstandort München in Verbindung mit einem starken lokalen PV-Ausbau genutzt werden sollte.

#### 1.3.2 Kaufkraftherhalt für städt. Energieverbraucher

Eigengenutzter PV-Strom stellt für die Nutzer eine wirksame Strompreisbremse dar. Durch die niedrigeren Stromgestehungskosten im Vergleich zu Strombezugspreisen für Endverbraucher ergibt sich für diese ein finanzieller Vorteil durch Einsparungen, bzw. ein Kaufkraftherhalt. Im Gegensatz dazu fließt bei Energieimporten ins Stadtgebiet ein entsprechender monetärer Geldstrom aus München ab.

Bei der geringen derzeit installierten PV-Leistung spielt der Kaufkraftherhalt in der Stadt noch keine nennenswerte Rolle. Sofern in 2050 in München PV-Anlagen mit einem Jahresertrag von rund 2 TWh

---

<sup>44</sup> Die spezifischen Investitionskosten werden hier als Erfahrungswert nur grob abgeschätzt. Zu berücksichtigen ist, dass die Bandbreite der Investitionskosten sich je nach Objekt (Einfamilienhaus bis zu Gewerbehallen), sowie nach Wunsch des Eigentümers („schöne“ Anlage auf dem Einfamilienhaus, oder möglichst kurzfristig amortisierbare Anlage für den Gewerbebetrieb) stark unterscheiden können und im Bereich von unter 1.000 €/kWp bis über 3.000 €/kWp variieren. Fassadenanlagen sind derzeit selten, aber in der Regel eher im Preissegment von 5.000 €/kWp anzusiedeln.

PV-Ertrag installiert sind und der finanzielle Vorteil (in heutigen Preisen) rund 10 Ct/kWh beträgt, verbleiben bei einer geschätzten mittleren Eigenverbrauchsquote von 50% somit eine Kaufkraft 100 Mio. Euro pro Jahr bei den PV-Strom-Direktnutzern (insbesondere z. B. bei Mieter\*innen von Gebäuden mit Mieterstrom).

Je höher der Anteil an eigenerzeugtem PV-Strom im Stadtgebiet ist, desto höher ist der Kaufkraftehalt, der zum Wohlstand der Bürger\*innen beiträgt.

### 1.3.3 PV als Beitrag zur Daseinsvorsorge und Resilienz der Großstadt

Dezentrale Energieversorgungsstrukturen sind vom Grundsatz her in Katastrophen- oder Krisenfällen widerstandsfähiger, da kleine Zellen weiter funktionieren können, auch wenn ein Teil der Struktur ausfällt. Auch wenn selbst ein noch so starker PV-Ausbau nie zu einer Autarkie Münchens führen wird, so ist dennoch zu erwarten, dass die Resilienz Münchens durch einen höheren Anteil an Eigenversorgung, Speicher sowie ggf. Kraftwerken für die Residuallast in Dunkelflauten steigt.

## 2 Handlungsräume

Dieses Kapitel zeigt Handlungsräume, um den Ausbau der Solarenergie in einer Großstadt zu beschleunigen. Dabei werden spezifische Hemmnisse für den PV-Ausbau und insbesondere der kommunalen Hemmnisse Münchens berücksichtigt. Strategische Konzepte und Herangehensweisen zeigen auf, wie der Ausbau klug und effizient angegangen werden kann.

Die aufgezeigten Handlungsräume und Maßnahmen sind zu priorisieren und als Beschlüsse zu fassen. Die konkreten Beschlüsse werden in der Sitzungsvorlage zum Masterplan aufgegriffen. Die Umsetzungen und Wirkungen der Beschlüsse müssen im zeitlichen Verlauf evaluiert und ggf. nachgesteuert werden. In diesem Sinne ist der Masterplan stetig weiterzuentwickeln und ggf. mit zukünftigen Stadtratsbeschlüssen zu unterfüttern.

### 2.1 Leitlinien für erfolgreiche PV-Planung

Grundlage für den erfolgreichen Ausbau der Solarenergienutzung ist eine gute Planung, die die physikalischen Gegebenheiten sowohl der Solarstrahlung als Energiequelle, als auch der Architektur, Kollektoren oder Modulflächen als Energiesammler berücksichtigt. Während die Ausrichtung von Gebäuden und Flächen für die passive Solarnutzung durch gute Solararchitektur entscheidend ist, und auch für die Ausrichtung und Neigung thermischer Solarkollektoren eine hohe Bedeutung hat, tritt dieser Aspekt bei Photovoltaik zunehmend in den Hintergrund. Denn die technologische und industrielle Weiterentwicklung von Photovoltaik hat dazu geführt, dass diese so kostengünstig und leicht anwendbar ist, dass Photovoltaikmodule zunehmend wie gewöhnliches Baumaterial eingesetzt werden können. Dies eröffnet neue Freiheiten für Stadtplanung und Architektur, wobei gleichzeitig die Belange der Nutzer, sowie der Klimaneutralität und Klimaanpassung in Einklang gebracht werden können.

Für die praktische Umsetzung guter Photovoltaiklösungen gibt es in München noch erhebliches Entwicklungspotential. Herausragende Solararchitektur ist in Deutschland bislang sehr selten anzutreffen. Dass diese möglich ist zeigen regelmäßig die preisgekrönten Projekte des internationalen „Architekturpreis Gebäudeintegrierte Solartechnik“, der vom in München ansässigen Solarenergieförderverein Bayern e. V. ausgetragen wird. Die Preisträger entstammen überwiegend europäischen Nachbarländern, insbesondere der Schweiz<sup>45</sup>.

---

<sup>45</sup> Siehe <https://www.sev-bayern.de/2023/01/02/architekturpreis-gebaeudeintegrierte-solartechnik-2022/>, zuletzt abgerufen am 17.02.2023

Die nachfolgenden Leitlinien für erfolgreiche PV-Planung dienen als Hilfestellung für grundlegende Fragestellungen im Zuge des PV-Ausbaus. Adressiert werden die Aspekte des Leistungs- bzw. Flächenbedarfs, der Flächennutzungskonflikte mit anderen Belangen und Verschattungsproblematik bei Photovoltaik. Daraus abgeleitet werden grundsätzliche „solare Planungsempfehlungen“.

### 2.1.1 Richtwerte für Gebäude-PV-Flächen

An, auf und in räumlichem Zusammenhang mit Gebäuden ist eine PV-Nutzung besonders gut möglich. Die Flächen sind ohnehin vorbelastet bzw. genutzt, so dass kein zusätzlicher Flächenverbrauch für die Energieerzeugung anfällt. In den Gebäuden kann zumindest ein Teil des erzeugten Stroms direkt verbraucht werden, so dass eine PV-Nutzung angesichts der Energiepreise für Endverbraucher in der Regel wirtschaftlich darstellbar ist. Außerdem ist eine Anbindung an das Stromnetz bereits vorhanden, die vielfach für die Einspeisung von Überschussstrom hinreichend ist.

Fast zwei Drittel der für die PV-Nutzung geeigneten Siedlungsflächen dienen dem Wohnbau. Daher werden die Richtwerte für Gebäude-PV-Flächen exemplarisch am Beispiel von Neubaugebieten mit Wohnbebauung dargestellt.

#### 2.1.1.1 Herleitung und Validierung des Leistungsziels für PV auf Wohngebäuden

Gemäß dem PV-Ausbaupfad des Masterplan solares München soll in Siedlungsgebieten die PV-Fläche 20% bezogen auf die Grundstücksfläche ausmachen. Dieser stadtweite Mittelwert kann herunter gebrochen werden auf Stadtbezirke oder Stadtteile, Quartiere, Baugebiete oder einzelne Gebäude. Ebenso kann der Richtwert auf Gesellschaften bzw. Eigentümer angewendet werden, die eine größeres Portfolio an Gebäuden verantworten.

Bei der Herleitung dieser Kennzahl wurde bereits berücksichtigt, dass 40% der Grundstücke aus diversen Gründen auch langfristig nicht für PV genutzt werden können (z. B. Nutzungsart, Bestandsstatik, Denkmalschutz, Naturschutz, etc.). Weiters wurde berücksichtigt, dass aufgrund der technologischen Weiterentwicklung der Solartechnik der Flächenbedarf pro Leistung im Laufe der Jahre sinkt. In zunehmendem Maß wird allerdings für die bessere architektonische Integration die PV-Oberflächen strukturiert oder eingefärbt, so dass die Wirkungsgradverbesserung auf Zellebene durch Veränderung der Optik auf Modulebene teilweise kompensiert wird. Nicht zuletzt werden in zunehmendem Maß auch Fassaden mit PV bestückt, die einen erheblich niedrigeren spezifischen Jahresertrag aufweisen. Auch wenn die Gebäudeintegration von Photovoltaik dem technischen Fortschritt auf Zellebene entgegen läuft, so ist dies doch im Sinne einer ansprechenden Ästhetik der Architektur voll zu rechtfertigen, um die notwendige Akzeptanz für eine intensive Solarenergienutzung zu gewährleisten. Schließlich soll eine Stadt auch schön sein, um hohe Lebensqualität und ein Wohlfühlklima zu erhalten.

Die aus dem PV-Ausbaupfad abgeleitete Kennzahl kann für Wohngebäude zusätzlich aus unterschiedlichen Blickwinkeln betrachtet werden:

- a) in Bezug auf den Strom- bzw. Gesamtenergieverbrauch des Gebäudes und seiner Nutzer
- b) in Bezug auf gesetzliche Rahmenbedingungen (z. B. PV-Pflicht) oder Fördervoraussetzungen z. B. für KfW40+

Zu a) Laut Fachgutachten Klimaneutralität München 2035 soll im Zielszenario bis zu 25% des (direkten) Stromverbrauchs durch innerstädtische Solarenergienutzung erzeugt werden. Die mit den Wohngebäuden verbundenen Haushalte verbrauchen (perspektivisch im Jahr 2035) Strom für Haushaltsanwendungen (ca. 3.000 kWh), Ladestrom für Elektrofahrzeuge (ca. 3.000 kWh), für die

Trinkwarmwasserbereitung und Heizwärme ( $\sim 4.000 \text{ kWh}$ )<sup>46</sup>. Um 25% des Strombedarfs eines Haushalts zu decken ist dementsprechend aus heutiger Sicht eine PV-Leistung von 2,5 kWp pro Wohneinheit erforderlich, unter Annahme von 1.000 kWh/kWp spezifischem Solarertrag. Mit zunehmendem Fassadenanteil steigt der Leistungsbedarf auf 3 kWp pro Wohneinheit und mehr.

*Plausibilitätstest: „Ist es möglich, auf der Hüllfläche von Wohngebäuden 3 kWp PV-Leistung pro Wohneinheit zu installieren?“*

*3 kWp pro Wohneinheit benötigen eine Fläche von 15 m<sup>2</sup> pro Wohneinheit (Stand 2023). Eine durchschnittliche Wohneinheit in den Münchner Neubaugebieten hat eine Wohnfläche von ca. 90 m<sup>2</sup>. Mit 90 m<sup>2</sup> Dachfläche könnten bis zu 6 Wohneinheiten mit dem notwendigen PV-Strom versorgt werden (bei 100% Dachnutzung). Bei einem angestrebten PV-Nutzungsgrad von 50% der Dachfläche könnten 3 Haushalte mit PV-Strom vom Dach versorgt werden – ausreichend für ein 3-stöckiges Wohngebäude. Ab dem 4. Stockwerk werden also ggf. Fassadenflächen für PV erforderlich (oder alternativ ein höherer PV-Flächennutzungsgrad auf der Dachfläche). Eine Wohnung mit 90 m<sup>2</sup> Wohnfläche hat in der Regel ca. 40 m<sup>2</sup> Fassadenfläche, wovon die Hälfte in nördliche Richtungen zeigt und für PV-Nutzung ungeeignet ist. Von den verbleibenden Fassadenflächen ( $\sim 20 \text{ m}^2$ ) sind Fensteranteile abzuziehen. Im Endeffekt sind Fassadenflächen knapp ausreichend, um den PV-Strombedarf von Haushalten zu decken.*

Zu b.) Eine PV-Pflicht für Wohngebäude besteht in Bayern bislang nicht. Der Stadtrat hat beschlossen, dass für München eine PV-Pflicht in neuen Bebauungsplänen festgesetzt werden soll. Derartige Festsetzungen stellen jedoch nur Mindestanforderungen, die im Sinne des Masterplan solares München nicht ausreichend sind. Spezifische Förderprogramme, wie z. B. die Förderung nach KfW 40+ haben Mindestanforderungen an die PV-Stromerzeugung<sup>47</sup>. Gefordert werden beispielsweise 500 kWh/a je Wohneinheit zuzüglich 10 kWh/a je Quadratmeter Nutzfläche, also bei 90 m<sup>2</sup> Wohnfläche 900 kWh/a, insgesamt also ca. 1.400 kWh/a je Wohneinheit. Sofern die PV-Anlage dafür auf dem Dach errichtet werden kann (also bei Wohngebäuden mit max. 6 Stockwerken) entspricht dies ungefähr der Hälfte des Leistungsziels nach Ausbauziel des Masterplan solares München. Allerdings muss der Jahresertrag nach Normbedingungen (z. B. „Standort Potsdam“) berechnet werden. Falls die PV-Anlage bei hohen Gebäuden auch an der Fassade angebracht werden muss, entspricht der Flächenbedarf (aufgrund des nur halb so hohen spezifischen Ertrags an Fassaden) in etwa der Flächenkennzahl des Masterplan (siehe Punkt a).

Am Beispiel des 2. Realisierungsabschnitts im Neubaugebiet Freiham zeigt sich, dass in den Wohnbaugebieten die Grundfläche Hochbau etwa 40% der Grundstücksfläche entspricht. Somit ist die Kennzahl von „20% Modulfläche bezogen auf die Grundstücksfläche“ gleichwertig mit der Anforderung „50% der Modulfläche bezogen auf die Brutto-Dachfläche bzw. Grundfläche Hochbau“.

**Fazit: Der Kennwert für die hinreichende Solarnutzung zur Erreichung des PV-Ziels im Sinne des Masterplan von 20% Modulfläche bezogen auf die Grundstücksfläche ist sowohl mit einem Strombedarfs-bezogenen Ansatz – 2,5 kWp pro Wohneinheit – in guter Übereinstimmung, als auch**

<sup>46</sup> Die Energieverbrauchswerte für die verschiedenen Sektoren Haushaltsstrom, (Elektro-) Mobilität, Warmwasser und Heizung sind als grobe Daumenwerte zu verstehen, die im Einzelfall erheblich abweichen können. Die Energiebedarfe für Wärme (Warmwasser und Heizung) werden nur anteilig mittels Strom gedeckt, da ein Teil davon aus Umweltwärme (Wärmepumpen) oder Geothermie gedeckt werden kann. Als Mittelwert für Warmwasser und Heizung über die Münchner Haushalte (Fernwärme und Wärmepumpen) werden hier grob 4.000 kWh angesetzt.

<sup>47</sup> Siehe Anlage zum Merkblatt „Energieeffizient Bauen“, KfW, 01/2020, [https://www.kfw.de/PDF/Download-Center/F%C3%B6rderprogramme-\(Inlandsf%C3%B6rderung\)/PDF-Dokumente/6000003465\\_M\\_153\\_EEB\\_TMA\\_2018\\_04.pdf](https://www.kfw.de/PDF/Download-Center/F%C3%B6rderprogramme-(Inlandsf%C3%B6rderung)/PDF-Dokumente/6000003465_M_153_EEB_TMA_2018_04.pdf), zuletzt abgerufen am 17.02.2023

**mit einem Dachflächen-bezogenen Ansatz von 50% Modulfläche bezogen auf die Brutto-Dachfläche bzw. der entsprechenden Grundfläche Hochbau.***2.1.1.2 Mindestanforderung für PV auf / an Wohngebäuden*

Vielfach wurde z. B. in Bebauungsplänen als Festsetzung für PV ein Flächenanteil von "x Prozent der (zu begrünenden) Dachflächen" angegeben. Diese Angabe ist nicht eindeutig, da die die Angabe „zu begrünende Dachfläche“ nicht auf eine eindeutige Flächenzahl umgerechnet werden kann<sup>48</sup>. Die konkrete Flächengröße hängt von der Interpretation dessen, wie die Aussage gemeint sei – also z. B. in- oder exklusiv Attika, Attikarandstreifen und technischen Aufbauten – und dementsprechend stark von der Gebäudegeometrie, sowie technischen Aufbauten etc. beim konkreten Gebäude ab. Aus Gründen der Einfachheit und Klarheit sollten Flächenanteile auf die Modulfläche (= Anzahl an Modulen x Fläche eines Moduls) und Brutto-Dachfläche (bzw. Gebäudegrundfläche, Grundfläche Hochbau, oder Außenabmessungen) bezogen werden.

Bislang wurde – insbesondere bei hohen Gebäuden – die Möglichkeit, PV an Fassaden anzubringen kaum genutzt. Dabei ist z. B. die Anbringung von PV-Module an Balkonbrüstungen relativ einfach und kostengünstig zu lösen. Bei hohen Gebäuden, bei denen der Anteil der Dachfläche an der Gebäudehüllfläche einen geringen Anteil hat, sollten PV-Flächen an Fassaden für die Erreichung der Richt- bzw. Zielwerte regelmäßig einbezogen werden. Im Masterplan werden deren höhere Kosten, geringere Wirkungsgrade und Erträge insofern bereits berücksichtigt, als die Kennzahlen nicht auf die PV-Leistung oder gar PV-Erträge abzielen, sondern nur auf die PV-Fläche. Dies vermeidet, dass die Notwendigkeit zur Belegung von Teilflächen an Fassaden zu unzumutbaren Belastungen führt.

PV-Anlagen an Fassaden weisen zwar einen signifikant niedrigeren Stromertrag auf, liefern aber besonders wertvollen Strom in den Morgen- und Abendstunden, sowie im Winter, wenn andere PV-Flächen mit Schnee bedeckt sind ("Winterstrom"). Immer dann, wenn die Sonne tief steht, leisten Fassadenanlagen einen besonders wichtigen Beitrag - in der Regel genau dann, wenn auch der Bedarf besonders hoch ist. Gerade bei hohen Gebäuden sind Flächen an Fassaden in der Regel nicht stark durch Nachbargebäude oder Bäume verschattet: es bieten sich insbesondere Flächen oberhalb des 4. Stockwerks (einschließlich Attiken) für Fassaden-PV besonders an.

Es ist offensichtlich, dass Klimaneutralität nicht für jedes konkrete Einzelgebäude zu erreichen ist (z. B. aus Denkmalschutzgründen), und insbesondere nicht innerhalb der angestrebten Zeitspanne bis 2035 ergibt sich, dass es vorteilhaft ist, bei allen Neubau- und Sanierungsmaßnahmen die durchschnittlichen Ziele der Einzelmaßnahmen im konkreten Objekt eher über zu erfüllen, um eine kostenintensive externe Kompensation der innerstädtischen Umsetzungslücke möglichst gering zu halten. Insofern ist die PV-Leistung bei Neubauten und Sanierungen zumindest bis 2030/35 weniger auf den PV-Bedarf der konkret beplanten Gebäude zu beschränken, als vielmehr auf den übergeordneten Gesamtbedarf der jeweiligen Gebäudeeigentümer. Aus gesamtstädtischer Sicht wäre es ideal, wenn zumindest in den nächsten Jahren auf jedem Gebäude die maximal mögliche PV-Leistung installiert wird, unabhängig vom eigenen Bedarf des Gebäudes und seiner Nutzer.

*2.1.1.3 Anforderung für PV-Flächen auf industriellen und gewerblichen Objekten*

Die Richtwerte können sinngemäß auf andere Siedlungskategorien, wie Flächen für Industrie & Gewerbe, gemischte Nutzungen, sowie besondere funktionale Prägung übertragen werden.

---

<sup>48</sup> Angaben wie „zu begrünende Dachfläche“ oder „Solarfläche“ sind nicht klar definiert und manipulierbar, und daher für Kennzahlen ungeeignet. Zu präzisieren ist der Begriff "Dachfläche" als "Brutto-Dachfläche", da insbesondere bei Flachdächern breite Attiken, Abstandsflächen für Brandschutz und Absturzsicherungen ansonsten das PV-Potential erheblich einschränken könnten.

Im Zuge der Novellierung des bayerischen Klimaschutzgesetzes wurde auch Artikel 44a der bayerischen Bauordnung (BayBO) ergänzt, die nun Vorgaben einer Solarpflicht beinhaltet. Konkret gilt eine Solardachpflicht für neue Gewerbe- und Industriegebäude, deren Bauantrag oder vollständige Bauvorlagen ab dem 1. März 2023 bei der zuständigen Behörde eingehen. Ab dem 1. Juli 2023 wird diese Regelung auf alle sonstigen Nicht-Wohngebäude ausgeweitet. Bei einer umfassenden Dachsanierung greift die Vorschrift zudem ab dem 1. Januar 2025 auch für Bestandsgebäude.

Für die betreffenden Gebäude fordert die BayBO die Errichtung von Photovoltaikanlagen zur Solarstromerzeugung „in angemessener Auslegung“. Wann die Auslegung im Sinne des Gesetzes als angemessen anzusehen ist, definiert sich anteilig an derjenigen Dachfläche, die für die Installation einer Photovoltaikanlage geeignet ist. So muss die installierte Modulfläche wenigstens einem Drittel der geeigneten Dachfläche entsprechen.

Darüber hinaus ist gemäß PV-Ausbaupfad des Masterplan nach Möglichkeit eine PV-Modulfläche von 20% der Grundstücksfläche bzw. 50% der Dachfläche anzustreben.

#### *2.1.1.4 PV-Anlagen auf Sportflächen*

Siedlungsflächen für Freizeit, Sport und Erholung wurden nicht im Rahmen der Flächenkennzahl nach Kap. 1.1.4.1 erfasst. Nichts desto trotz gibt es eine kleine Anzahl geeigneter Dachflächen auf Sportflächen, z. B. Vereinsheime, Umkleide- und Sanitärräume etc. die für eine PV-Nutzung geeignet sind. Diese sollten nach Möglichkeit vollflächig für PV genutzt werden.

#### *2.1.1.5 Ausnahmen und Abweichungen von den Richtwerten*

Zu berücksichtigen ist, dass die Richtwerte für Gebäude-PV-Flächen – insbesondere im Bestand – nicht immer erfüllt werden können. Der Nutzungszweck und -Anspruch kann die Erreichung der Richtwerte einschränken, z. B. wenn auf Schulgebäuden im knappen innerstädtischen Bereich auf den Dächern „Pausenhöfe“ oder Ballsportplätze benötigt werden, oder Aufenthalts- und Erholungsflächen in hochverdichteten Neubaugebieten teilweise auf Dachflächen ausweichen müssen. Bei anderen Objekten können Denkmalschutzgründe oder Naturschutzgründe z. B. Dachflächen mit entscheidender Habitat- oder Trittstein-Funktion für (seltene) Tierarten einer PV-Nutzung entgegenstehen. Im Gebäudebestand können gebäudespezifische Eigenheiten, wie z. B. zu geringe Traglast bei Industriehallen, oder eine Vielzahl an Gauben und Kaminen auf Wohngebäuden eine sinnvolle PV-Nutzung verhindern. In den Flächen-Richtwerten des Masterplan wird dies durch den Reduktionsfaktor von -40% (siehe Kap. 1.1.4.1) bereits berücksichtigt. Sofern eine Übererfüllung der Flächenrichtwerte möglich ist, sollten diese genutzt und keinesfalls behindert oder begrenzt werden, um die Richtwerte als Mittelwert über den gesamtstädtischen Bestand als langfristiges Ziel erreichen zu können.

#### *2.1.2 PV-Freiflächenanlagen*

Für Freiflächen ist im Masterplan solares München kein Richtwert aufgeführt. Da das Münchner Stadtgebiet nur einen sehr geringen Vegetationsanteil von nur 23% aufweist und im Grüngürtel vielfältige Erholungs- und Ressourcenschutzfunktionen zu beachten sind, sollten diese zunehmend knappen Flächen für die Solarenergienutzung innerhalb der Stadtgrenzen so wenig wie möglich beansprucht werden<sup>49</sup>. Abgesehen davon ist der Vorteil von PV-Freiflächenanlagen, dass diese sehr schnell und kostengünstig errichtet werden können, und so den langsameren PV-Ausbau auf

---

<sup>49</sup> Dies schließt jedoch nicht explizit aus, dass für einen vorübergehenden Zeitraum geeignete Freiflächen mit PV-Anlagen belegt werden. Freilandanlagen können nach dem Nutzungszeitraum von typischerweise 30 Jahren rückstandsfrei zurückgebaut werden. Falls im Einzelfall Konsens über die Eignung spezifischer Freiflächen für PV besteht, so gilt es, eine möglichst schnelle Realisierung auch seitens der Verwaltung maximal zu unterstützen, insbesondere um die akute Energiekrise abzumildern.

Gebäuden als Interimslösung gut unterstützen können. Freiflächen benötigen insbesondere vergleichsweise wenige Fachkräfte, um große Leistungen zu bauen. Nachteil von Freiflächenanlagen ist, dass bei diesen meist kein Eigenverbrauch möglich ist, außer es liegen große Stromverbraucher in räumlicher Nähe und können mit einer Direktleitung erschlossen werden. Durch den fehlenden Eigenverbrauch ist eine langfristige wirtschaftliche Perspektive<sup>50</sup> eines Weiterbetriebs über den Förderzeitraum hinaus für Freiflächenanlagen oft ungewiss<sup>51</sup>.

Das Anfang 2023 in Kraft getretene „Gesetz zur sofortigen Verbesserung der Rahmenbedingungen für die erneuerbaren Energien im Städtebaurecht“ sieht vor, dass PV-Freiflächenanlagen baurechtlich privilegiert sind, wenn sie auf einer Fläche längs von Autobahnen und mehrgleisigen Schienenwegen gebaut werden. Die Privilegierung bezieht sich nur auf Flächen mit einem maximalen Abstand von 200 Metern vom äußeren Fahrbahnrand. Dies bedeutet, dass für Vorhaben auf diesen Flächen kein Bebauungsplan erstellt werden muss. Im dennoch notwendigen Zulassungsverfahren wird geprüft, ob öffentliche Belange oder Ziele der Raumordnung entgegenstehen. Das im § 2 EEG vor kurzem eingeführte überragende öffentliche Interesse am Ausbau der erneuerbaren Energien dürfte auf der anderen Seite ein ordentliches Gewicht in die Waagschale bringen.

Das Fernstraßen-Bundesamt hat auf das überragende öffentliche Interesse am Ausbau der Erneuerbaren bereits reagiert. Das bisher gültige Verbot von Bauten in einem Abstand von 40 Metern zur Fahrbahn gilt nicht mehr generell, sondern kann nach Prüfung des Einzelfalls entfallen.

Für PV-Anlagen in nicht privilegierten Bereichen wäre ein aufwändiges Verfahren mit Änderung der Flächennutzungspläne, naturschutzfachlicher Prüfung, Öffentlichkeitsbeteiligung etc. erforderlich. Die Dauer des Verfahrens wird auf ca. 3-4 Jahre geschätzt, mit eher geringen Erfolgchancen. Da Freiflächenanlagen möglichst kurzfristig benötigt werden sind PV-Anlagen auf diesen Flächen eher nicht empfehlenswert. Bei als besonders aussichtsreich erscheinenden Vorhaben sollte seitens der Initiatoren frühzeitig Kontakt mit der Verwaltung aufgenommen werden, um vorab Realisierungschancen abzuklären.

PV-Anlagen auf Gebäuden werden in München gefördert, um die Zubaurate möglichst schnell zu steigern, Freilandanlagen werden nicht gefördert. Grundsätzlich bestünde bei Freiflächenanlagen die Möglichkeit einer kommunalen Beteiligung an den Erträgen. Im Vergleich zu den Förderbeträgen auf Gebäuden, die die Stadt München zahlt, sind die Beträge einer Beteiligung, die die Stadt München erhalten würde, marginal. Daher erscheint es angemessen, in der Regel keine Beteiligung bei Freiflächen zu vereinbaren, um deren Realisierung – insbesondere im privilegierten Bereich – nicht zu erschweren, sowie um bürokratischen und Verwaltungsaufwand einzusparen.

### 2.1.3 Nutzungskonflikte auf begrenzter Fläche

München gilt mit rund 4.800 Einwohnern je Quadratkilometer als am dichtesten-besiedelte Stadt Deutschlands. Allein diese Tatsache mag schon nahelegen, dass eine hohe Flächennutzungs-Effizienz in München einen besonders hohen Stellenwert hat. Ein PV-Flächennutzungsfaktor von 20% der Grundstücksfläche erscheint bei Grundstücken mit großem Hochbau-Grundflächenanteil relativ leicht auf den Dachflächen erreichbar. Gerade die Dachflächen werden jedoch auch von anderen Belangen beansprucht.

---

<sup>50</sup> Die Wirtschaftlichkeit des Betriebs von Freilandanlagen innerhalb des Förderzeitraum ergibt sich durch eine Vergütungshöhe, die marktwirtschaftlich über Ausschreibungen gemäß EEG festgelegt wird.

<sup>51</sup> Bei Eigen- bzw. Direktverbrauch, wie er bei Gebäuden in der Regel möglich ist, kann zumindest ein Teil des Stroms dauerhaft mit hohem finanziellem Wert genutzt werden. Der Wert entspricht den vermiedenen Strombezugskosten für Stromlieferungen über das öffentliche Netz, die voraussichtlich dauerhaft über den Stromgestehungskosten für PV-Strom liegen, insbesondere bei „abgeschriebenen“ Anlagen.

Die Landeshauptstadt München hat als Planungsträger im Rahmen der Bauleitplanung die Planungshoheit. Nach § 1 Abs. 3 BauGB hat sie Bauleitpläne (Flächennutzungs- und Bebauungspläne) aufzustellen, sobald und soweit es für die städtebauliche Entwicklung und Ordnung erforderlich ist. Sie kann entscheiden, ob allgemeine Vorgaben gesetzt werden, wann diese gesetzt werden und wie sie gesetzt werden. Diese gemeindliche Planungshoheit ist durch Art. 28 Abs. 2 S. 1GG geschützt.

Nach § 1 Abs. 7 BauGB sind bei der Aufstellung der Bauleitpläne die öffentlichen und privaten Belange gegeneinander und untereinander gerecht abzuwägen. Die Belange sind in § 1 Abs. 5 und 6 nicht abschließend geregelt und werden von § 1a BauGB ergänzt. Diese Belange umfassen eine Vielzahl von Interessen, die für die städtebauliche Entwicklung von Bedeutung sind. Hierzu gehören insbesondere die allgemeinen Anforderungen an gesunde Wohn- und Arbeitsverhältnisse, die Belange der Baukultur und des Umwelt- und Klimaschutzes.

Die Landeshauptstadt München hat aufgrund ihrer Planungshoheit Spielraum bei der Abwägung der einander gegenüberstehenden Belange und Maßstäbe.

Je nach Flächentyp (Dach, Fassade, Freifläche etc.) sind unterschiedliche Belange zu berücksichtigen. Nachfolgend werden für die relevantesten Flächentypen die Nutzungskonflikte unterschiedlicher Belange dargestellt und Lösungsstrategien aufgezeigt.

#### 2.1.3.1 Dachflächen

Dachflächen werden für folgende Belange benötigt:

1. als Flächen für die bestimmungsgemäße Nutzung des Gebäudes (z. B. Ballsportfläche bei Schulen)
2. als Funktionsflächen für technische Anlagen des Gebäudes (z. B. Lüftungsgeräte und Klimatechnik bei Wohn- und Bürogebäuden)
3. als Aufenthalts- und Erholungsflächen für Bewohner\*innen (z. B. Dachterrassen, urban gardening)
4. als Funktionsflächen für Klimaanpassung
5. als Lebensraum zur Förderung der Artenvielfalt
6. als Funktionsflächen für Klimaschutz und Energiegewinnung aus Solarenergie (z. B. für PV-Module, Solarthermie-Kollektoren)

Zu 1.) Insbesondere für die notwendigen neuen Schulbauten aufgrund steigender Schülerzahlen und sehr knappen Schulbauflächen wird zunehmend diskutiert, Dachflächen für Pausenhöfe oder Freiluft-Ballsportanlagen zu verwenden. Diese können teilweise nicht mit PV-Anlagen überdacht werden, da insbesondere der Freiluftcharakter gegeben sein soll. In diesen Fällen steht das Dachflächenpotential nur in stark eingeschränktem Maß für PV-Anlagen zur Verfügung. Ggf. kann geprüft werden, die PV-Module in Pergolen zum Sonnenschutz, oder die seitlichen Ballfangwände zu integrieren. Pausenflächen werden in der Regel mit intensiver Dachbegrünung in entsprechenden Pflanztrögen mit Sträuchern oder kleinen Bäumen kombiniert.

Zu 2.) Gebäude benötigen Dachflächen beispielsweise für Attika, Wartungstreifen und -Wege, Entwässerung, Schneefang, Arbeitsschutz etc. In der Regel werden hierfür ca. 20% der Brutto-Dachfläche benötigt. Diese Flächen sind meist nicht mit anderen Belangen kombinierbar. Zudem werden in zunehmendem Maß Anlagen für Gebäudetechnik (Lüftungs- und Klimatechnik) auf Dachflächen untergebracht. Diese benötigen teilweise einen erheblichen Anteil der Dachflächen. Diese technischen Anlagen können idealerweise mit PV-Anlagen eingehaust werden. Einzelne PV-Module können beispielsweise vergleichsweise leicht z. B. zu Wartungszwecken entfernt oder aufgeklappt werden. Es ist dringend zu vermeiden, dass technische Aufbauten Schatten auf PV-Anlagen werfen, daher muss die Höhenbegrenzung technischer Anlagen in der Regel niedriger sein,

als die Höhenbegrenzung von PV-Anlagen (Ausnahme: Blitzschutz und Antennenanlagen). Wenn technische Anlagen unter gut gestalteten PV-Flächen verdeckt werden lässt sich eine bessere Ästhetik der Dachlandschaft gestalten.

Zu 3.) Aufgrund der hohen Verdichtung sollen in zunehmendem Maß auch Aufenthalts- und Erholungsflächen für die Einwohner auf Dachflächen geschaffen werden. In Schulen werden beispielsweise Sport- und Pausenflächen auf Dächern angeordnet, im Wohnungsbau sind Dachterrassen und Dachgärten ("urban gardening") zunehmend beliebt. Aufenthaltsflächen auf Dächern können zeitweise eine hohe Lebensqualität und urbanen Lifestyle ermöglichen. Bezüglich der Aufenthaltsqualität sind diese aber nicht mit Grünflächen auf dem Boden in Grünanlagen und Parks zu vergleichen, da Dachflächen in ungleich höherem Maß den Unbilden von Wind und Wetter ausgesetzt sind. Für Aufenthaltsflächen können laut Beschluss des Ausschusses für Stadtplanung und Bauordnung vom 08.02.2023 (Sitzungsvorlage Nr. 20-26 / V 04273) „Grün- und Freiflächenversorgung in der Bebauungsplanung – Orientierungswerte“ bis zu 4 m<sup>2</sup> auf Dächern nachgewiesen werden. Aufenthaltsflächen auf Dächern benötigen für deren sinnvolle Nutzbarkeit in längeren Zeiträumen sowohl Wind- als auch Sonnenschutzmaßnahmen. Auf Dachflächen können in der Regel keine großen Bäume mit schattenspendenden Baumkronen angepflanzt werden. Zum Gesundheitsschutz sind daher ausreichend große Pergolen auf nutzbaren Dachflächen empfehlenswert. Zudem sind insbesondere im Frühjahr und Herbst Windschutzwände erforderlich, um einen behaglichen Aufenthalt auf dem Dach zu erlauben. Gepflasterte Terrassenbereiche könnten beispielsweise ca. 1/4 der nutzbaren Aufenthaltsfläche ausmachen, die restlichen Flächen könnten als Wiese, als Biodiversitätsfläche oder z. B. für gärtnerische Nutzung, Blumen- und Gemüsebeete genutzt werden.

Aufenthaltsflächen auf Dächern ermöglichen oftmals eine dreifache Kombination in der Nutzung: als Aufenthaltsfläche, als Grün- oder Biodiversitätsfläche und als PV-Fläche (Brüstungen, Pergolen, Windschutzwände) genutzt werden.

Zu 4.) Klimaanpassung: Laut einem kürzlich erschienen UNO-Bericht (UNEP, 2022) befinden wir uns auf einem Pfad in dem die globale Durchschnittstemperatur bis zum Ende des Jahrhunderts um ca. 2,8°C gegenüber dem vorindustriellen Niveau steigen wird (in etwa SSP2-4.5 Szenario in IPCC (2021)). Durch den Klimawandel wird neben einer Zunahme der Hitzeextrema und länger andauernden Hitzeperioden eine Zunahme von lokalen Starkregenereignissen (Häufigkeit und Intensität) erwartet. Die maximale Dauer von Trockenperioden in München (20,9 Tage im langjährigen Mittel (1971-2000)) wird dabei laut regionalen Klimaprojektionen in etwa gleich bleiben (-0,3 bis + 0,1 Tage je nach Szenario (LfU, 2022)).

Als wichtige Maßnahme der Klimaanpassung insbesondere im Neubaubereich gilt die Dachbegrünung. Eine wichtige Funktion begrünter Dächer ist die Wasserretention, welche zu einer Erhöhung der Verdunstungsrate (Evapotranspiration) führt. Dies beinhaltet

- die Reduktion des Wasserabflusses aus Niederschlägen,
- die Verzögerung des Abflusses überschüssigen Wassers bei Starkregenereignissen und
- die pflanzenverfügbare Speicherung des zurückgehaltenen Niederschlagswassers

Die stadtklimatische Funktion von Dachbegrünung bezieht sich auf:

- eine Temperaturminderung im unmittelbaren Umfeld (bspw. auf der Fläche selbst oder bei niedrigen Dachflächen auf die umgebende höhere Bebauung)
- eine gesamtstädtische Wirkung (Lufttemperaturreduktion und Reduzierung des Zeitraums mit hoher Hitzebelastung tagsüber). Hierfür sollte der Anteil der Dachbegrünung weiter erhöht werden (Skoryi et al., 2022)

- hinreichende Bodenfeuchte (Substrathöhe, Retentionsvolumen oder künstlicher Bewässerung), da so Kühleffekte durch (Evapo-) Transpiration bei längeren Trockenperioden wirksam bleiben
- bepflanzte Flächen (je intensiver umso größer die mikroklimatische Wirkung) und abhängig von der Pflanzenauswahl (vgl. Untersuchung der LUBW 2014, Skoryi et al., 2022).

Die Evapotranspiration und somit die Kühlleistung von Gründächern korreliert bei genügend Bodenfeuchte stark mit der absorbierten Globalstrahlung (Strahlungsterm) und Luftbewegung (Feuchte-Ventilations-Term). Bei längeren Trockenperioden ist die Wirkung aufgrund der fehlenden Wasserversorgung – wenn das Dach nicht künstlich bewässert wird – deutlich reduziert (Berardi et al. 2014, Morakinyo et al. 2017, Skoryi et al., 2022). Dadurch, dass die Kühlwirkung eines Gründachs insbesondere an heißen, meist niederschlagsarmen Tagen benötigt wird, sind für die Erbringung der Kühlleistung also v.a. die Wasserspeicherfähigkeit des Substrats und eine möglichst hohe Verdunstungsrate der Pflanzen bei Hitze ausschlaggebend. Daher sollte der Substrataufbau so gewählt werden, dass auch während längeren Trockenperioden die Verdunstung aufrechterhalten bleiben kann, bzw. könnten Gründächer künstlich (bspw. mit Grauwasser) bewässert werden. Insgesamt ergibt sich ein hohes Synergiepotential für die Hitze- und Starkregenregulation in Städten.

Mit guten planerischen Lösungen lassen sich Flächenkonkurrenzen reduzieren und Funktionen kombinieren. Zur Erfüllung der Wasserretention und stadtklimatischer Funktionen sind angemessene Besonnung und Niederschlagsversorgung für die Vegetation erforderlich. Ein höherer Substrataufbau ermöglicht eine größere Wirkung in Bezug auf Wasserretention und stadtklimatische Wirkung.

Zu 5.) Dachflächen können bei entsprechender Ausgestaltung (z.B. arten- und strukturreiche Begrünung) auch Lebensraum oder Trittstein für Flora und Fauna in der Stadt bieten. Es bestehen viele Synergien zu Punkt 4 „Klimaanpassung“ in Form von Dachbegrünungen.

Zu 6.) Solarenergienutzung erfordert ausreichend große Flächen, um den Bedarf an klimaneutral erzeugter Energie zu decken (siehe Kap. 1.1.2). Neben den quantitativen Anforderungen sind insbesondere für Photovoltaik auch qualitative Anforderungen an die Flächen zu berücksichtigen.

Bei Photovoltaikmodulen müssen aus technischen Gründen Verschattungen dringend vermieden werden. Insbesondere Teilverschattungen einzelner Solarzellen innerhalb der Module führen zu überproportionalen Ertragsverlusten<sup>52</sup>, sowie Erhitzung einzelner Solarzellen, bzw. zu einer Erwärmung (teil-) verschatteter Module, bis hin zur dauerhaften Schädigung der Module<sup>53</sup> oder Anlagen. Insbesondere Verschattungen durch Stäbe (z. B. Antennen, Blitzfanganlagen, Geländer, technische Dachaufbauten etc.) aber auch durch Pflanzenteile (z. B. hochwachsende Blütenstängel) sind unbedingt zu vermeiden. Insbesondere bei einer Begrünung von Flächen unter Solarlagen ist ein großer Abstand zwischen PV-Modulen und Begrünung hilfreich, um einerseits Verschattung durch aufwachsende Pflanzenteile zu vermeiden, als auch um die Pflege der Begrünung (z. B. das Entfernen hochwachsender Pflanzenteile) zu erleichtern. Erfahrungsgemäß gilt, dass mögliche Konflikte durch Verschattung umso geringer sind, je größer der Abstand ist.

Die Temperatur der Solarmodule und der umgebenden Luft sind auf zweifache Weise durch physikalische Gesetzmäßigkeiten miteinander verknüpft:

- je niedriger die Modultemperatur, desto höher der Modulwirkungsgrad

---

<sup>52</sup> siehe Metastudie von Sailor et al. (2021)

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378778821007635>, zuletzt abgerufen am 07.03.2023

<sup>53</sup> z. B. Zellverbinderbrüche durch thermischen Stress, lokale Verkohlungen der Rückseitenfolien

- je höher der Modulwirkungsgrad, desto niedriger die Modultemperatur und Wärmeabgabe an die Umgebung

Wenn Solarpaneele mit Sonnenenergie bestrahlt werden, wird ein Teil der einfallenden Energie reflektiert (sog. Albedo, d. h. Rückstrahlung kurzwelliger Strahlung in den Himmel). Der vom Modul absorbierte Anteil an Energie wird entsprechend des Modulwirkungsgrads in Strom umgewandelt, der Rest wird in Wärme umgewandelt (sog. „Energieerhaltungssatz“). Die entstehende Wärme wird durch Wärmestrahlung, Wärmeübergang (Konvektion) und Wärmeleitung (bei PV nicht relevant) an die Umgebung abgegeben, wobei sich eine Gleichgewichts-Modultemperatur einstellt, so dass der Energieeintrag (durch Sonne) und die Energieabgabe (i. w. als „warme Luft“) betragsmäßig gleich hoch sind. Um einen möglichst guten Modulwirkungsgrad zu erreichen wird in der Regel eine möglichst gute Hinterlüftung der Solarmodule angestrebt, da damit die Wärmeabgabe erleichtert werden kann und die Modultemperatur sinkt. Die vom Solarmodul abgegebene Wärmemenge ändert sich dabei jedoch nicht (Energieerhaltung).

Die Wärmeabgabe von Solaranlagen unterscheidet sich von anderen Bauteiloberflächen dadurch, dass ein Teil der eingestrahnten Solarenergie als Nutzenergie (Strom oder Wärme) entnommen wird. Der Teil an eingestrahelter Energie, der nicht in Wärme umgewandelt und abgegeben wird, kann mit der sog. „effektiven Albedo“ beschrieben werden, die einerseits den von der Oberfläche in den Himmel zurückgestrahlten Energieanteil beinhaltet, als auch den nutzbaren Solarenergieanteil. Die (Strahlungs-) Albedo von PV-Modulen liegt bei ca. 5-10%<sup>54</sup>, der (Arbeits-) Wirkungsgrad von Solarmodulen liegt derzeit bei typisch 19%, so dass sich mit heutigen Modulen eine effektive Albedo von ca. 24 – 29% ergibt. Zum Vergleich liegt die Albedo von beispielsweise Bitumendächern bei ca. 15%, bei und bei Ziegeldächern (je nach Farbe) bei ca. 10 – 35%. Der Wirkungsgrad von PV-Modulen steigt mit ca. 0,6% absolut pro Jahr, so dass sich auch die effektive Albedo zukünftig installierter PV-Anlagen entsprechend erhöht.

Bei PV-Anlagen auf Flachdächern ist allgemein anerkannt, dass der Ertrag – wenn auch nur geringfügig – durch eine Dachbegrünung unter den PV-Modulen ansteigen kann. Grund hierfür ist, dass durch die Verdunstung von Feuchtigkeit im Dachsubstrat die Temperatur sinkt, wobei die Luftfeuchtigkeit ansteigt. Da ein Wärmeaustausch mit den Oberflächen der Solarmodule nur über die sog. „sensible Wärme“ (landläufig „Temperatur“) stattfindet, und die sog. „latente Wärme“ (landläufig: „Feuchte“) keine Rolle spielt (Fußnote: Module „schwitzen“ nicht.), führt die niedrigere Umgebungstemperatur durch Verdunstung in der Begrünung unterhalb der PV-Module zu einer erwünschten Verbesserung des Strom-Wirkungsgrads. Damit die Modulkühlung durch Verdunstung möglichst gut und langanhaltend wirkt, sollte möglichst viel Wasser unterhalb der Module gespeichert werden. Dies gelingt beispielsweise bei PV-Anlagen auf Flachdächern, wenn Niederschläge durch Spalte zwischen den Modulen abfließen und auf dem Boden möglichst gut gespeichert werden kann. Da PV-Anlagen auf Flachdächern in der Regel durch ein Substrat bzw. einen Dachbegrünungsaufbau ballastiert werden, ist häufig eine gute Wasserspeicherung unter den Modulen möglich.

Sofern der Untergrund oder die Umgebung von PV-Anlagen mit gut reflektierenden Oberflächen versehen ist, können sich ggf. zusätzliche Ertragsvorteile durch den höheren Anteil an Diffus- und Rückstrahlung (bei bifacialen PV-Modulen) ergeben.

Alternativen für eine klimaneutrale Energieerzeugung in Städten sind nicht verfügbar.

*Fazit zum Belang Flächen für klimaneutrale Energiegewinnung / PV:  
PV-Anlagen benötigen ausreichend Fläche. (Teil-) Verschattungen sind zu vermeiden. Eine gute*

---

<sup>54</sup> Fraunhofer ISE, Max Mittag, Dr. Harry Wirth, Albedo von Solarmodulen (Zwischenbericht), Jan. 2023

*Kühlung der Module durch Belüftung oder Verdunstungskälte ist für den Wirkungsgrad bzw. Ertrag vorteilhaft und kann durch ausreichend hohe und gut hinterlüftete Unterkonstruktionen bzw. wasserspeichernde Untergründe.*

Aufgrund der Dringlichkeit und Wichtigkeit aller Belange für die Nutzung der Dachflächen ist Flächeneffizienz bei der Stadtplanung oberstes Gebot. Ziel sollte sein, den Nutzflächenanteil auf rund 125 - 150% der Bruttodachflächen zu erhöhen. Eine Flächen-Mehrwert-Planung gelingt durch konsequente vertikale Kombination unterschiedlicher Nutzungsarten:

$$F_{\text{Grün}} = F_{\text{Garten-Grün}} + F_{\text{Solo-Grün}} + F_{\text{PV-Grün}} > 75\% \times F_{\text{Bruttodachfläche}}$$

$$F_{\text{PV}} = F_{\text{PV über Grün}} + F_{\text{PV über Technik}} + F_{\text{PV über Aufenthaltsflächen}} > 50\% \times F_{\text{Bruttodachfläche}}$$

$$F_{\text{Nutzen}} = F_{\text{Grün}} + F_{\text{PV}} > (125\% \text{ bis } 150\%) \times F_{\text{Bruttodachfläche}}$$

wobei die Summe unterschiedlicher Flächennutzungen ( $F_{\text{Nutzen}}$ : Summe der Fläche aller Nutzungsarten) für verschiedene Varianten von Begrünung (ohne PV-Überdeckung „Solo-Grün“, mit PV-Überdeckung „PV-Grün“, gärtnerischer Nutzung „Garten-Grün“), von PV-Installationen („PV über Grün“, „PV über Gebäudetechnik“ und „PV über Aufenthaltsflächen“) höhere Werte erreichen kann, als die verfügbare Brutto-Dachfläche<sup>55</sup> nahelegt.

### 2.1.3.2 Fassadenflächen

Wesentliche Nutzelemente von Fassaden sind Fenster, Türen und Balkone. Die Größe der Fensterflächen ist bestimmt durch die Belichtungsansprüche für die Nutzung der Innenräume. Die Flächenanteile von Fenstern, Türen und Balkonen dienen wesentlich der Gebäudefunktion. Verbleibende Restflächen der Fassaden können ggf. für anderweitige Belange genutzt werden.

Mit Beschluss der Vollversammlung am 18.12.2019 (Sitzungsvorlage Nr.14-20 / V 16525) hat der Stadtrat beschlossen, bei Neubau oder Sanierungen erhebliche Teile der Fassadenflächen zur Verbesserung des städtischen Mikroklimas und der Behaglichkeit bzw. Aufenthaltsqualität zu begrünen. Gleichzeitig sind Fassaden auch geeignet, um Solarstrom zu erzeugen, so dass auch hier unterschiedliche Nutzungsansprüche bestehen.

Bei Fassadenflächen können Funktionen in der Regel nicht „voreinander geschichtet“ werden (Ausnahme: z. B. Fenster mit durchsichtiger PV). Bei Fassaden werden die funktionalen Flächen nebeneinander angeordnet. In der Regel eignen sich bodennahe Flächen (bis zum 2. OG) besonders gut für die Begrünung – dort ist die Begrünung „nahe am Menschen“ und kann somit die positive Wirkung auf das menschliche Wohlbefinden voll entfalten. Für die Nutzung solarer Strahlungsenergie eignen sich in der Regel Flächen in größerer Höhe (oberhalb des 2. OG), da diese dort seltener verschattet werden (Straßenbegleitgrün / Bäume, Nachbargebäude. Priorität haben an Fassaden die Fenster, die unabdingbar für die Funktion des Gebäudes sind. PV kann ggf. als auskragendes Verschattungselement oberhalb von Fenstern angebracht werden.

Als Empfehlungen für Fassaden lassen sich ableiten:

- ✓ unten Begrünung, oben PV
- ✓ bei Gebäuden ab 5 Stockwerken ist PV an Fassaden besonders wichtig, weil die Dachfläche für eine hinreichende Versorgung mit PV-Strom dann nicht mehr ausreicht.

### 2.1.3.3 Verkehrsflächen

Verkehrsflächen werden in Kap. 1.1.4.1 nicht in die PV-Kennzahlenberechnung einbezogen, da der für PV nutzbare Anteil gering erscheint, da die Verkehrs-Funktion der Flächen nicht beeinträchtigt

<sup>55</sup> die Brutto-Dachfläche entspricht in der Regel der sog. „Grundfläche Hochbau“ (ohne begrünte Tiefgaragen).

werden darf. Dennoch gibt es einzelne Situationen in denen Verkehrsflächen gut mit PV kombiniert werden können. Beispiele:

- PV-Parkplatzüberdachungen, PV-Carports, (Parkflächen zählen in der Regel zum Siedlungsbereich)
- PV-Sonnenschutz über Radrouten (z. B. auch über Rad-Hochwege, „Holz-Radschnellwege <https://www.urb-x.ch/>); Ein Sonnenschutz durch die PV-Überdachung ist aufgrund des Klimawandels und dem urbanen Hitzeinseleffekt vorteilhaft und erhöht ggf. die Attraktivität der Fahrradwege durch die Verschattung
- Lärmschutzwände

Damit PV-Anlagen im Verkehrsbereich wirtschaftlich vertretbar werden, ist jeweils ein Konzept zu erarbeiten, wie der produzierte Strom möglichst direkt genutzt werden kann. Anzustreben wäre ggf. ein Direktverbrauch des PV-Stroms im Verkehrssektor, z. B. als Einspeisung ins Tram- oder U-Bahnnetz, für Ladeinfrastruktur für öffentlichen Nahverkehr oder für PKW (P+R-Plätze).

#### 2.1.3.4 Aufenthaltsflächen im Freien: Gesundheitlicher Nutzen von Verschattung

Das physiologische Wärmeempfinden des Menschen wird nicht nur von der Lufttemperatur, sondern auch von den Einstrahlungsbedingungen (Sonneneinstrahlung, Schattenwurf, Wärmeabstrahlung der Gebäude), der Windgeschwindigkeit, sowie der Luftfeuchtigkeit beeinflusst. Dabei ist die Lufttemperatur nicht immer der maßgebliche Faktor, sondern je nach Situation und Tageszeit können die Strahlungs- und Windverhältnisse dominierend sein. Generell zeigt sich, dass durch die Reduktion oder Vermeidung von Globalstrahlung durch Verschattung Hitzestress maßgeblich reduziert werden kann. Veränderungen der Lufttemperatur und der Luftfeuchte sind in Städten nicht leicht modifizierbar. Schnelle, effektive, sowie kostengünstige Maßnahmen sind eher bei Abschattungseffekten zu erzielen<sup>56</sup>. Mit Solarmodulflächen lassen sich kostengünstig und schnell Verschattungen schaffen.

Innovative Konzepte ermöglichen sogar eine steuerbare, temporäre Verschattung mit „faltbaren PV-Anlagen“<sup>57</sup>, die nicht nur bei Sturm oder Schneefall eingefahren werden können, sondern z. B. auch abends, um durch eine freie Sichtlinie auf den Himmel eine schnelle abendliche Abkühlung durch ungestörte thermische Abstrahlung zu ermöglichen. Denkbar wäre perspektivisch, bei besonders hitzebelasteten Orten, wie z. B. Straßenschluchten oder Innenhöfen durch temporäre, semitransparente PV-Flächen die Aufenthaltsqualität bei Hitzeereignissen signifikant zu verbessern.

Durch die Verschattung von Aufenthaltsflächen im Freien ergibt sich auch hier ein Mehrwert durch die kombinierte Nutzung für den Menschen und die PV-Stromerzeugung.

#### 2.1.4 Solare Planungsgrundsätze

Die wichtigste Voraussetzung für einen erfolgreichen und starken Ausbau der Nutzung von Solarenergie ist die Verfügbarkeit von viel (und) gut geeigneten Flächen. Folgende Grundsätze unterstützen den PV-Ausbau:

- a) Verschattung vermeiden.  
Die Lage und Ausrichtung von Gebäuden ist im urbanen Kontext in der Regel kaum beeinflussbar und müssen in der Regel hingenommen werden (z. B. zeitweise Verschattung von Nachbargebäuden, Gebäudekörper entlang Straßenachsen). Aktiv beeinflusst und vermieden werden können jedoch schädliche Verschattungen am betreffenden Objekt selber: Solaranlagen sind am äußersten Rand der Gebäudehülle anzuordnen, wobei andere

---

<sup>56</sup> Andreas Matzarakis, „Stadtklima – Mit Stadtbäumen gegen den Klimawandel“, KommP spezial, 4/2019

<sup>57</sup> siehe z. B. Solarfaltdächer, <https://dhp-technology.ch/>

Nutzungen (z.B.: Aufzugüberfahrten, Entlüftung, Begrünung) möglichst unterhalb von Solaranlagen anzuordnen sind, so dass diese nicht unbillig verschattet werden. Technische Anlagen und Aufbauten können sehr gut mit Solarflächen eingehaust werden.

b) Flächen gut ausnutzen.

Um einen möglichst hohen Flächennutzungsgrad auf den verfügbaren Flächen zu erreichen, sollte bei der Belegung von PV-Modul darauf geachtet werden, dass diese möglichst dicht und kompakt mittels PV-Modulen belegt wird. Ermöglicht wird dies z. B. durch eine „Rücken an Rücken“-Anordnung von PV-Modulen auf Flachdächern (häufig als Ost-West-Aufständigung bezeichnet, aber mit nahezu identischem Ertrag in alle Himmelsrichtungen, sogar als „Süd-Nord-Aufständigung“ umsetzbar).

Beispiel: Um im Falle einer Kombination mit Dachbegrünung die Pflege unterhalb der PV-Modulen zu erleichtern, können die Module mit der Traufe zueinander und der Wartungsgang zwischen den Modul-Firsten angeordnet werden („Trog-Anordnung“ statt „Satteldach-Anordnung“).

c) Nutzungen kombinieren.

Bei der Kombination verschiedener Nutzungsansprüche mit Photovoltaik ergeben sich vielfach „win-win-Lösungen“, bei der alle Nutzungen profitieren. Bei der Kombination entsteht ein Flächen-Nutzungs-Mehrwert, wenn auf die Anforderungen der jeweiligen Belange Rücksicht genommen wird, und seitens der (Stadt-) Planung der kombinierten Nutzung genug Raum bzw. Abstand eingeräumt wird: Pflanzen brauchen Platz zum Wachsen, der Gärtner braucht Platz für die Pflegearbeiten, die PV-Module sollen nicht durch Pflanzenteile verschattet werden. Für eine Kombination mit optimaler bzw. maximaler Flächenausnutzung ist ein minimaler Abstand zwischen Begrünung und Traufkanten der Module von mindestens 40 cm empfehlenswert. Um Dachgärtner unterhalb großflächiger PV-Strukturen die Pflege zu ermöglichen, wird für den Zugang unter diese Flächen zumindest eine Firsthöhe von 2 m benötigt. Unter derartigen Flächen kann auch ein großer Teil der notwendigen Gebäudetechnik auf dem Dach unterhalb der PV-Anlage versteckt werden (z. B. Strangentlüfter, Aufzugüberfahrten, etc.) und die Einbindung klar strukturierter PV-Flächen in die Architektur wird möglich.

d) Rücksicht nehmen.

Wenn seitens der PV-Planung Anforderungen anderer Belange ernst genommen und berücksichtigt werden, entsteht Bereitschaft, die Nutzung der Flächen (auch) für Photovoltaik zu akzeptieren. Beispielsweise sollte der Solarplanung zur Selbstverständlichkeit werden, auf eine regenwassersensitive Planung zu achten. PV-Anlagen sollten so konstruiert werden, dass der darunter liegenden Begrünungsebene möglichst viel Licht<sup>58</sup> und sämtliche Niederschläge zukommen. Die PV-Modulflächen könnten aktiv genutzt werden, um Regenwasser zu sammeln und in kleine „Teiche“ bzw. dauerfeuchte Wassermulden in den Grünflächen unterhalb der Solarmodule einzuleiten: dies ermöglicht neue Aspekte von Biodiversität durch Photovoltaik.

e) neue Flächen für PV erschließen.

Bei der PV-Nutzung liegt traditionell ein starker Fokus auf Dachflächen. Für die Gestaltung einer attraktiven Solarstadt sollte der Blick dafür geöffnet werden, welche Flächen zusätzlich genutzt werden können, und wie eine ansprechende(re) Gestaltung mit PV möglich wird.

---

<sup>58</sup> gemeint ist hier, dass trotz – hinsichtlich Nutzung der solaren Strahlungsenergie vorrangiger - PV-Nutzung möglichst viel Restlicht zu den Pflanzen kommt. Dafür trägt z. B. bei die Verwendung semitransparenter (Glas-Glas-) Solarmodule (mit normaler Zellbelegungs-Dichte), die Verwendung rahmenloser Module (reduziert die Lichtundurchlässigkeit durch den Rahmenanteil), ein geeignetes Konzept zur Führung und Verteilung des Regenwassers unterhalb der Module im Begrünungssubstrat etc.

Im Bestand können Flächen durch die Entfernung von Störelementen auf den Dächern gewonnen werden, z. B. durch den Rückbau überkommener Antennen und Kamine, oder die Versetzung von Dachausstiegsfenstern, Abwasserstrangentlüftern, oder die Umgestaltung von Gauben z. B. in Verbindung mit Gebäudeaufstockungen.

Balkonbrüstungen bieten sich – idealerweise in architektonisch gut gestalteter Form – an, um vergleichsweise kostengünstig PV an die Fassade zu bringen. Aufgrund der mittlerweile deutlich gesunkenen Kosten für Solarmodule können ausgedehntere Flächen und Flächen auch mit suboptimaler Ausrichtung für PV genutzt werden. Durch gebäudeintegrierte Photovoltaik ergibt sich nicht nur mehr PV-Fläche, sondern auch die Chance für eine neue solare Baukultur und -Ästhetik. Photovoltaik kann – mit dem Gestaltungswillen der Architekten vom ungeliebten „Add-on“ auf Dächern zu einem wichtigen „Baustoff“ und Flächenelement der Gebäudehülle werden.

## 2.2 Die Landeshauptstadt München als Vorbild

### 2.2.1 Beschlusslage der LHM

In der Sitzung vom 18.12.2019 hat der Stadtrat einen umfassenden Beschluss (Sitzungsvorlage Nr.14-20 / V 16525) gefasst, mit dem Ziel Klimaneutralität im gesamten Stadtgebiet bereits bis 2035 erreichen zu wollen. Gemäß Beschlusspunkt 2 „nimmt die Landeshauptstadt München eine Vorbildfunktion beim Klimaschutz wahr, insbesondere bei der Energieeinsparung, der effizienten Bereitstellung, Umwandlung, Nutzung und Speicherung von Energie, der Nutzung erneuerbarer Energien und ihren Beschaffungen mit dem Ziel, bis zum Jahr 2030 eine klimaneutrale Stadtverwaltung zu erreichen.“ Für die Solarenergienutzung wird im 5.ten Beschlusspunkt weiter ausgeführt „Die Errichtung von Solaranlagen ist – soweit rechtliche, technische und nutzungsbedingte Gründe nicht dagegensprechen – für alle stadteigenen Liegenschaften Pflicht. Dabei wird auch die Anbindung von Ladeinfrastruktur stadteigener Elektrofahrzeuge an die Photovoltaik-Anlagen, die Kombination der Photovoltaik mit Batteriespeichern und der Einsatz von Photovoltaik im Wärmebereich standardmäßig bei allen Neubau- und Sanierungsvorhaben geprüft. Sollte eine Nutzung der Solarenergie nicht erfolgen, muss dies begründet werden.“. In Beschlusspunkt 18 wird erläutert, dass die vorgenannten Beschlüsse nicht nur bei städtischen Liegenschaften einschließlich derjenigen der Eigenbetriebe, sondern „dass in allen städtischen Beteiligungsgesellschaften die in den Ziffern II. 2. - 16. beschlossenen Ziele und Maßnahmen entsprechend umgesetzt werden (sollen), um auch dort bis 2030 Klimaneutralität zu erreichen.“

Beschlüsse zur „Weitere(n) Steigerung der Energieeffizienz und der erneuerbaren Energienutzung in städtischen Gebäuden - Sofortprogramm Hochbau“ gehen bereits auf das Jahr 2009 zurück (Sitzungsvorlage Nr. 08-14 / V 02504 vom 22.07.2009). In der Beschlussvorlage „Zentrales Energiemanagement für stadteigene Gebäude - Stand und Ausbau der Photovoltaik auf städtischen Dächern“ (Sitzungsvorlage Nr. 14-20 / V 00578 vom 14.11.2014) wurden Ergebnisse einer Ersteinschätzung stadteigener Gebäude im Rahmen einer Solarpotentialanalyse (SPA) vorgestellt. Obwohl die dort prognostizierten Zubauzahlen nicht erreicht wurden, konnten insgesamt 206 PV-Anlagen mit einer installierten Leistung von rund 7 MWp in Betrieb genommen werden. Das Referat für Bildung und Sport ist lt. Marktstammdatenregister der Anlagenbetreiber mit der höchsten installierten PV-Leistung Münchens.

Mit dem Beschluss vom 18.12.2019 wurde durch die Festlegung des Zielzeitpunkts 2030 eine neue Qualität hinsichtlich der zeitlichen Konkretisierung der beschlossenen Maßnahmen gesetzt. Während in den Jahren 2009 bzw. 2014 der Umsetzungszeitraum bis 2050 im Hinblick auf die Lebensdauer von

PV-Anlagen<sup>59</sup> bzw. der darunter liegenden Dachabdichtung keine starken Implikationen bezüglich einer zeitlichen Planung des PV-Ausbaus. Vor dem Hintergrund der gemäß Beschlusslage verbleibenden Zeit von nur ca. 8 Jahren gilt es, klar aufzuzeigen, was beim PV-Ausbau in dieser Zeit erreichbar ist, bzw. was nicht mehr möglich ist, und die Umsetzungsstrategie dahingehend zu optimieren, dass der erreichbare Anteil maximiert wird.

### 2.2.2 Gebäudeorientierte PV-Ausbau-Strategie

Ob eine PV-Anlage zu einem bestimmten Zeitpunkt auf einem Gebäude installiert werden kann oder nicht hängt wesentlich davon ab, in welcher Phase des Lebenszyklus sich das Gebäude befindet. In der Planungs- und Neubauphase ist die Einplanung einer PV-Anlage problemlos möglich, die Architektur des Gebäudes kann sogar bezüglich der PV-spezifischen Anforderungen angepasst werden. Nach Abnahme und Bezug des Gebäudes befindet sich das Gebäude im Gewährleistungszeitraum. In diesem Zeitraum ist die Nachrüstung einer PV-Anlage problematisch, da im Falle eines Schadens Konflikte bezüglich Gewährleistung und Mangelbehebung nahezu unvermeidlich sind. Daher gilt es als empfehlenswert, den Ablauf des Gewährleistungszeitraums der mit PV zu belegenden Flächen abzuwarten. In den folgenden 15 bis 20 Jahren sind Dächer und sonstige Flächen in der Regel „jung“ genug, um mit PV-Anlagen bestückt werden zu können. Bei den „jungen“ Bestandsgebäuden kann davon ausgegangen werden, dass die Restlebensdauer der Flächen hinreichend lang ist, um einen langen Zeitraum der PV-Belegung zu erlauben, ohne dass eine Erneuerung, Sanierung oder Reparatur der entsprechenden Flächen nötig wird. In der Regel ist es zwar problemlos möglich, PV-Anlagen für derartige Maßnahmen zurückzubauen und nach Durchführung der Maßnahmen wieder zu montieren. Die Kosten dafür sind mit typ. ca. 5 – 10 % der Kosten der Hauptmaßnahme relativ gering. Trotzdem wird allgemein versucht, diesen Zusatzaufwand zu vermeiden. Ab einem bestimmten Zeitpunkt, der sich je nach Dachhaut bzw. Beschaffenheit der mit PV zu belegenden Fläche unterscheidet, gilt ein Bauteil als „zu alt“, um noch eine PV-Anlage zu montieren. Grundsätzlich wäre dies zwar weiterhin möglich, man müsste dann aber von vornherein die Mehrkosten für die De- und Remontage der PV-Anlage für die Sanierung des Untergrunds einkalkulieren. Aufgrund begrenzter Ressourcen ist dies aus heutiger Sicht nicht empfehlenswert. Zuletzt – nach Ablauf der Lebensdauer z. B. der Dacheindeckung – steht beim Gebäude eine (General-) Sanierung des Daches bzw. der Gebäudehüllflächen an. Gleiches gilt für Maßnahmen zur Nachverdichtung im Bestand bzw. Gebäude-Aufstockungen. Im Zuge dieser Maßnahmen ist es – ähnlich wie beim Neubau – leicht möglich, im Zuge der ohnehin durchgeführten Maßnahme eine PV-Anlage mit zu errichten.

Klar zu unterscheiden sind also PV-Anlagen, die a) im Zuge des Neubaus, b) im Zuge von (General-) Sanierungen bzw. Aufstockungen, oder c) als Nachrüstung „junger“ Bestandsgebäude erfolgen.

Mit Hilfe dieser Fallunterscheidung wird einerseits offensichtlich, dass bis 2030 nicht der gesamte Gebäudebestand nachgerüstet werden kann: bei einer Sanierungsrate von ca. 2% können in 8 Jahren etwa 16% des Gebäudebestands im Zuge von (General-) Sanierungsmaßnahmen mit PV-Anlagen ausgestattet werden. Ein weiteres Drittel des Gebäudebestands kann als „junge“ Bestandsbauten gelten. Konkret ist im Jahr 2023 das Nachrüstpotezial dadurch bestimmt, dass Gebäude, die um ca. das Jahr 2000 (oder frühestens in den 1990er Jahren) neu gebaut oder saniert wurden, noch mit PV-Anlagen nachgerüstet werden können, ohne mit hoher Wahrscheinlichkeit eine Reparatur oder

---

<sup>59</sup> In 2009 bzw. 2014 war man aufgrund noch fehlender Erfahrung mit PV-Anlagen konservativ von einer Lebensdauer von typ. 20 bis 30 Jahren ausgegangen. Mittlerweile werden PV-Anlagen seit mehr als zwei Jahrzehnten betrieben. Ein erheblicher Teil der Bestandsanlagen funktioniert nach wie vor mit guten Erträgen. Aufgrund des technischen Fortschritts ist die Qualität heutiger Module signifikant besser als vor 20 Jahren, so dass man aufgrund des Erfahrungswissens heute von einer Lebensdauer von Solarmodulen von mindestens 30 bis 40 Jahren ausgehen darf.

Sanierung der PV-Fläche während der PV-Lebensdauer einkalkulieren zu müssen. Mit jedem weiteren Jahr wird das Nachrüstpotential aufgrund der weiter fortschreitenden Alterung der Bauteile kleiner. Um das vorhandene Nachrüstpotential optimal auszuschöpfen, ist es sinnvoll, zunächst die „ältesten“ der „jungen“ Bestandsgebäude, also diejenigen mit dem Sanierungs- oder Errichtungs-Jahr um 2000 zu priorisieren.

Eine grobe Abschätzung der Flächen der Liegenschaften der LHM<sup>60</sup> lässt vermuten, dass das langfristige PV-Potential bei durchaus 200 MWp oder mehr liegen könnte (einschließlich städtischem Besitz von Flächen in den Bereichen Wohnen, Handel, Wirtschaft und Dienstleistungen, Soziales, Gesundheit etc.). Dies ist im Rahmen der Fortschreibung des Masterplans tiefergehend zu analysieren.

Sofern die Nachrüstungen wie vom Stadtrat beschlossen bis zum Jahr 2030 abgeschlossen sind, ist die installierte PV-Leistung bei Nachrüst-Objekten etwa doppelt so hoch, wie bei Sanierungsobjekten. Zusätzlich werden noch PV-Anlagen auf Neubauten errichtet. Während die PV-Anlagen im Zuge von Neubauten und Sanierungen mit den bestehenden Bauabteilungen im Zuge der Ausschreibungen in den gewohnten Arbeitsprozessen in der Regel miterledigt werden können, werden für Nachrüstungen im „jungen“ Bestand erhebliche zusätzliche Personalkapazitäten und Ressourcen erforderlich. Daher macht es insbesondere bei den Nachrüst-Objekten Sinn, ggf. zusätzliche Ressourcen durch die Umsetzung durch Dritte einzubeziehen. Dabei kann ggf. die neu am Bauzentrum München eingerichtete PV-Dachagentur unterstützen (siehe Kap. 2.2.7)

### 2.2.3 Priorisierung der Projektreihenfolge und des Umsetzungskonzepts

Der Stadtrat, Bezirksausschüsse und die interessierte Öffentlichkeit fragen regelmäßig und durch zahlreiche Anträge belegt nach Listen mit der Umsetzungsreihenfolge von PV-Installationen auf Gebäuden der Landeshauptstadt München. Die geforderte Erstellung dieser Listen – teilweise über hunderte von Projekten - wäre extrem zeitaufwändig und ist mit den vorhandenen personellen Kapazitäten nicht sinnvoll zu leisten. Der Nutzen derartiger Listen wäre auch beschränkt, da sich gerade in der Photovoltaik gesetzliche Rahmenbedingungen häufig und drastisch ändern. Nichtsdestotrotz ist der Wunsch und Bedarf nach einem Überblick über den geplanten PV-Ausbau insbesondere der städtischen Liegenschaften nachvollziehbar und berechtigt. Um dem Rechnung zu tragen wird im Rahmen des Masterplans solares München einerseits ein klarer und zeitlich differenzierter (Mengen-) Ausbaupfad definiert, und andererseits aufgezeigt, wie die Auswahl der umzusetzenden PV-Projekte erfolgt und wie die Umsetzung durch eigene Kapazitäten innerhalb der Stadtverwaltung und durch Einbeziehung Dritter durch Vermittlung der PV-Agentur gelingen kann.

Aufgrund der Knappheit von Zeit, personellen Kapazitäten und Ressourcen ist eine Priorisierung bezüglich der Reihenfolge der umzusetzenden Projekte erforderlich. Bei der Priorisierung müssen unterschiedliche Aspekte bewertet und gewichtet werden. Sowohl die Bewertung als auch die Gewichtung muss in der Regel in Abhängigkeit von Anforderungen des Gebäudeeigentümers, der Nutzungsart, sowie äußeren Rahmenbedingungen stetig angepasst werden. Für die nachfolgenden Aspekte werden Empfehlungen für die Bewertung und Gewichtung vorgeschlagen. Die Aspekte können in einer Bewertungsmatrix ausgewertet werden.

Ergebnis der Priorisierung kann nicht nur sein, in welcher Reihenfolge die Gebäude mit PV-Anlagen nachgerüstet werden sollen, sondern auch ob die PV-Anlagen in Eigenregie soll oder gegebenenfalls

---

<sup>60</sup> Lt. Geoportal der Stadt München sind Flächen mit insgesamt 6.450 ha im Besitz der Landeshauptstadt, davon ca. 20% in potentiell PV-geeigneten Nutzungsarten. Vermutlich ist der Anteil z. B. an Denkmal geschützten Objekten höher als gesamtstädtischen Durchschnitt, so dass mit einem höheren Reduktionsfaktor gerechnet werden muss. Falls nur 400 ha der Grundstücksflächen PV-geeignet sind, wären dort langfristig 200 MWp an PV-Leistung realisierbar.

durch Dritte durchgeführt werden könnte. Mit der Einrichtung der PV-Agentur, die Flächen für die PV-Belegung an Dritte vermitteln soll, hat der Stadtrat ein Werkzeug beschlossen, um zusätzliche Kapazitäten für den PV-Ausbau für die Stadt zu aktivieren (siehe Kap. 2.2.7).

Sofern als Ergebnis der Priorisierung ein Objekt in die nähere Auswahl gelangt ist, sind vor der Umsetzung die üblichen Detailprüfungen durchzuführen:

- Dachzustand vor Ort (Dämmung, Dacheindeckung, usw.)
- statische Standsicherheitsnachweise zum Tragwerk und zur Solaranlage
- Anforderungen der Branddirektion an Brand- und Blitzschutz
- technische Anforderungen (z. B. Anbindung an die Technikzentrale)
- architektonische Anforderungen (z.B. gestalterische Einbindung der Solaranlage)

Diese Detailprüfungen, zu denen bei Bedarf Sachverständige hinzugezogen werden, können einen Finanzbedarf von bis zu 15.000 Euro pro Dach auslösen. Neben diesen Kosten ist die Untersuchung der Dachflächen und die Betreuung externer Sachverständiger sehr zeitintensiv und bedarf einer Personalkapazität von etwa einem VZÄ je sechs Anlagen.

Auch durch die Auslagerung der Prüfung an externe Betreibergesellschaften wird weiterhin ein erheblicher Aufwand bei den Projektverantwortlichen der Vermieterreferate und dem Baureferat durch Vor-Ort-Termine, bzw. die zur Verfügungstellung von erforderlichen Unterlagen verursacht. Die Entlastung der Stadtverwaltung durch Vergabe der Dachflächen an Dritte wird seitens des Baureferats als eher gering eingeschätzt. Durch die Unterstützung der PV-Agentur sollte versucht werden, z. B. durch Standardisierung der Abläufe und Prozesse, sowie den Einsatz der PV-Spezialisten der PV-Agentur, eine substantielle Optimierung der Einbindung Dritter zu erreichen.

#### *2.2.3.1 Denkmalschutz*

Der Versuch einer Realisierung von PV-Anlagen auf denkmalgeschützten Gebäuden, in Ensembles oder im Umfeld von Denkmälern war bislang oftmals sehr aufwändig und selten erfolgreich. Falls PV-Anlagen realisiert werden konnten, war deren Leistung oft erheblich beeinträchtigt und die Kosten aufgrund der Auflagen hoch.

Derzeit wird das bayerische Denkmalschutzgesetz novelliert. Mit der Novellierung ist mit signifikanten Erleichterungen für die Solarnutzung zu rechnen.

Aufgrund des hohen Zeitaufwands und der geringen Erfolgsaussichten sollten PV-Anlagen im Denkmalschutzbereich bei Sanierungen bis auf weiteres mit einer niedrigen Bewertung, aber hohen Gewichtung priorisiert werden. Nachrüstungen bei denkmalgeschützten Objekten sollten zurückgestellt werden. Sobald das neue Denkmalschutzgesetz in Kraft tritt, muss diese Einschätzung neu hinterfragt werden.

#### *2.2.3.2 Abstimmungsaufwand mit anderen Beteiligten*

Je nach Objekt kann der Abstimmungsaufwand mit anderen Beteiligten unterschiedlich hoch sein. Objekte mit hohem Abstimmungsaufwand innerhalb der Stadtverwaltung sollten nach Möglichkeit immer durch das Baureferat bzw. die städtischen Bauabteilungen durchgeführt werden. Im Neubau und Sanierungsfall sind die Abstimmungen unvermeidlich und können daher nicht für eine Priorisierung verwendet bzw. gewichtet werden. Im Nachrüstfall sollten die Objekte entsprechend der Abstimmungsaufwands bewertet und mittelstark gewichtet werden. Objekte mit geringem Abstimmungsaufwand eignen sich gut für die Umsetzung durch Dritte mit Vermittlung durch die PV-Agentur.

### 2.2.3.3 Größe und Homogenität des Objekts

Um einen möglichst hohen Impact auf die PV-Zubauraten Münchens zu erzeugen sollten große und homogene Objekte mit hohen Bewertungen und einer starken Gewichtung in die Bewertung eingehen. Kleinere Objekte sind oftmals auch weniger komplex, so dass sich diese u. U. gut für die Vermittlung an Dritte eignen.

### 2.2.3.4 Eigentümer–Nutzer-Konstellation

Die Liegenschaften der Stadt lassen sich je nach Eigentümer-Nutzer-Konstellation in drei Gruppen gliedern:

- a) Gebäude im Eigentum der LHM, die von der LHM selber genutzt werden, Beispiel: Rathaus
- b) Gebäude im Eigentum der LHM, die von Dritten bzw. sog. „Betriebsträgern“ genutzt werden, z. B. Kindergärten, die von Dritten betrieben werden
- c) Gebäude von Dritten, die von der LHM genutzt werden, Beispiel: Bürogebäude, die von den Referaten zur Nutzung angemietet werden

Zu a) Die höchste Priorität haben zunächst Gebäude im Eigentum der LHM, die von der LHM auch selbst genutzt werden. Hier ist nicht nur die öffentliche Vorbildwirkung am stärksten, sondern auch der finanzielle Vorteil der LHM durch Einsparung von Stromkosten. Die PV-Installation bei Neubauten oder Sanierungen wird in der Regel ohnehin im Zuge der Maßnahmen durch das Baureferat miterledigt werden. Im Ausnahmefall könnte bei Nachrüstungen auch die PV-Agentur tätig werden, wenn Handlungsbedarf besteht und keine freien Kapazitäten im Baureferat verfügbar sind.

Zu b) Wenn Gebäude der LHM von Dritten genutzt werden, dann sollte auch der PV-Strom den Dritten als Nutzern angeboten werden. Für die LHM führt es zu einem Mehraufwand, den Stromverkauf an Dritte durchzuführen. Daher ist es in diesem Fall insbesondere bei Nachrüstungen einfacher bzw. zielführend, wenn die Dachfläche per Gestattungsvertrag durch die PV-Agentur an Dritte vermittelt wird. Im Falle von Neubau- oder Sanierungsmaßnahmen könnten die PV-Anlagen im Zuge der Baumaßnahmen auch vom Baureferat bzw. den zuständigen Bauabteilungen (zum Beispiel im Kommunalreferat) durchgeführt werden, und die fertigen PV-Anlagen durch Vermittlung der PV-Agentur an einen PV-Betreiber verpachtet werden.

Zu c) Im Fall von Gebäuden Dritter, die von der LHM genutzt werden, sollte die PV-Agentur aktiv per aufsuchender Beratung auf die Gebäudeeigentümer zugehen, diese für eine PV-Nutzung sensibilisieren bzw. motivieren und ggf. Hilfestellungen, z. B. durch die Vermittlung der Dachflächen an Dritte anbieten.

Die Bewertung der Eigentümer-Nutzer-Konstellation ist sowohl für Neubau und Sanierung, als auch für Nachrüstung ähnlich, wobei in Fall c) die Installation einer PV-Anlage im Falle eines Neubaus oder einer (General-) Sanierung in der Regel ohnehin eigenständig seitens des Gebäudeeigentümers durchgeführt wird und somit auch die Dienstleistung der PV-Agentur nicht benötigt wird.

### 2.2.3.5 Alter des Objekts

Bei Nachrüstungen in Bestandsobjekten sind zunächst „junge“ Bestandsobjekte in der engeren Auswahl. Die höchste Bewertung erhalten die Gebäude, bei denen eine PV-Nutzung „gerade noch“ möglich ist, ohne eine Dachsanierung während der PV-Lebensdauer mit hoher Wahrscheinlichkeit einkalkulieren zu müssen. Bei Neubau oder Sanierungsobjekten ist nicht das Alter des Objekts relevant, sondern der Stand der Planung. Sofern ein Bauvorhaben schon weit fortgeschritten ist, eignet sich das Objekt möglicherweise besser für eine Vermittlung an Dritte, da die Prozesse innerhalb der Stadtverwaltung oftmals zeitaufwändiger sind, als in der Privatwirtschaft. Bei Neubau- oder Sanierungsvorhaben in einem frühen Planungsstadium kann die Installation problemlos im Zuge der Gesamtbaumaßnahme miterledigt werden.

### 2.2.3.6 Energetische Sanierung

Die Frage der Notwendigkeit einer energetischen Sanierung betrifft in Ausnahmefällen „junge“ Bestandsobjekte, sofern diese noch einen unzureichenden Dämmstandard aufweisen sollten. Um die Wärmewende nicht zu blockieren, sollte vor Installation einer PV-Anlage geprüft werden, ob ggf. vor der PV-Installation eine energetische Sanierung durchgeführt werden sollte, oder ob diese auch nach der Installation der PV-Anlage problemlos und ohne Behinderung durchgeführt werden kann (z. B. als Innendämmung). Falls erkennbar ist, dass vor der Installation der PV-Anlage eine energetische Sanierung durchgeführt werden sollte und diese auch absehbar innerhalb weniger Jahre erfolgt, sollte das Objekt für die PV-Installation zurückgestellt werden. Andernfalls ist bei der Montage der PV-Anlage besonders darauf zu achten, dass diese leicht demontiert und wieder montiert werden kann, so dass bei der Durchführung der energetischen Sanierung nur geringe Mehrkosten<sup>61</sup> für den zeitweisen Abbau der PV-Anlage zu tragen sind.

### 2.2.3.7 Einstrahlungspotential und Verschattung

Während in der Anfangszeit der Photovoltaik das Einstrahlungspotential und die Verschattung einen hohen Stellenwert bei der Beurteilung und Priorisierung von PV-Projekten hatten, spielt dies mittlerweile nur noch eine sehr untergeordnete Rolle. Hintergrund ist, dass Photovoltaik sehr stark im Preis gefallen ist und nun nicht mehr eine Maximierung des spezifischen Ertrags angestrebt werden muss, sondern die Maximierung des Gesamtertrags, da diese wesentlich den PV-Deckungsgrad und somit die Wirkung der PV als Strompreisbremse für den Gebäudenutzer beeinflusst. PV-Anlagen mit Modulbelegungen in zwei entgegengesetzte Himmelsrichtungen, bekannt als „Ost-West-Ausrichtung“ erreichen in München bei einer typischen Modulneigung von 10° einen spezifischen Jahresertrag von ca. 950 kWh/kWp. Dies gilt weitgehend unabhängig von der Ausrichtung auch für Kombinationen in SO-NW-, SW-NO- oder S-N-Ausrichtungen. Relevant ist bei dieser Anordnung, dass ein signifikant höherer Flächennutzungsgrad erreicht werden kann.

Verschattungen können ggf. mit technischen Mitteln (z. B. PowerOptimizer) dahingehend optimiert werden, dass keine hohen Ertragseinbußen durch Teilverschattungen zu erwarten sind. Insbesondere bei architektonisch ansprechenden Lösungen ist eine Teilverschattung z. B. durch Gebäudevorsprünge oftmals unvermeidbar. Dies kann akzeptiert werden und ist in der Priorisierung nur von nachrangiger Relevanz.

### 2.2.3.8 Wirtschaftlichkeit von PV-Anlagen

Schon im Stadtratsbeschluss vom 18.12.2019 zur Klimaneutralität 2030/35 wurde in Beschlusspunkt 4 festgelegt, dass „bei Wirtschaftlichkeitsberechnungen (...) künftig ein die Umweltfolgekosten berücksichtigender Preis pro vermiedene Tonne CO<sub>2</sub> in Ansatz gebracht“ wird.

Im Ausschuss für Stadtplanung und Bauordnung vom 11.1.2023 wurde im Beschluss zu „Mieter\*innenstrom bei den Wohnungsbaugesellschaften“ (Sitzungsvorlage Nr. 20-26 / V 07847 vom 3.1.2023) bereits der Vorbehalt der Wirtschaftlichkeit für die Umsetzung von PV-Projekten gestrichen.

---

<sup>61</sup> Die Demontage und Wiedermontage einer PV-Anlage zu Reparatur- oder Sanierungszwecken wird standardmäßig im Bereich der Dachverpachtung von PV-Anlagen berücksichtigt. Erfahrungen der letzten zwei Jahrzehnte zeigen, dass in wenigen Fällen tatsächlich und in der Regel unerwartet Dacharbeiten erforderlich wurden, die eine De- und Wiedermontage von PV-Anlagen erforderlich gemacht haben. Die Kosten hierfür liegen bei unter 200 €/kWp, bzw. bei weniger als 5% bezogen auf die Kosten einer energetischen Sanierung als Hauptmaßnahme.

Sofern der Strom zumindest teilweise direkt im Objekt verbraucht werden kann, ist bei heutigen Energiekosten und bei Berücksichtigung der voraussichtlichen Nutzungsdauer von (mindestens) 30 Jahren<sup>62</sup> die Nutzung von PV-Strom in der Regel wirtschaftlich.

Aktuelle Wirtschaftlichkeitsprognosen sind sehr sensitiv hinsichtlich der Eingangsparameter. Da entscheidende Faktoren in den nächsten 30 Jahren in hohem Maße unvorhersehbar sind, wie z. B. der Endkundenstrompreis, die Inflationsrate, die CO<sub>2</sub>-Vermeidungskosten bzw. Umweltfolgekosten etc. ist die Aussagekraft von Wirtschaftlichkeitsberechnungen gering.

Die Wirtschaftlichkeit sollte daher nicht oder allenfalls mit geringer Gewichtung in die Priorisierung von Projekten eingehen.

Nur im Ausnahmefall sollten PV-Anlagen mit Volleinspeisung betrieben werden. Die Vergütungssätze liegen bei Volleinspeisung trotz Zuschlag nach EEG 2023 weit unter dem Wert des Stroms bei Eigenverbrauch. Zudem ist eine Vergütung nur für 20 Jahre gesichert. Nach Ablauf des Vergütungszeitraums muss der PV-Strom möglicherweise zu Börsenpreisen verkauft werden. Der Marktwert Solar wird mittelfristig aufgrund der zu erwartenden hohen installierten PV-Leistung und des zeitweiligen Strom-Überangebots sehr gering sein. Der Strom aus PV-Anlagen soll vorzugsweise direkt von Nutzern in Gebäuden oder in unmittelbarer Nähe ohne Durchleitung durch das öffentliche Netz genutzt werden, um einen langfristig wirtschaftlichen Betrieb der PV-Anlagen zu ermöglichen.

#### 2.2.4 Vorbildfunktion: PV-Nutzungsgrad

Die Landeshauptstadt München will hinsichtlich der PV-Nutzung Vorbild sein. Dies wurde bislang oftmals so verstanden, dass „jedes Gebäude mit einer PV-Anlage ausgerüstet sein soll“. In der Vergangenheit wurde oftmals mit dem Argument der „Optimierung auf den Eigenverbrauch“ die PV-Anlagenleistung absichtlich reduziert. Im Nachhinein betrachtet erweist sich diese „Optimierung“ bei gestiegenen Strompreisen als „sub-optimal“, da der PV-Deckungsgrad, der mit der Wirkung der PV-Anlage als Strompreisbremse korreliert, nicht voll ausgenutzt wird. PV-Anlagen haben in der Vergangenheit die verfügbaren Flächenpotentiale nicht optimal genutzt.

Mit dem Ziel einer klimaneutralen Energieversorgung und eines hohen PV-Ausbauziels sollte die Stadt auch Vorbild sein hinsichtlich des PV-Nutzungsgrads. Wo immer möglich sollte die LHM daher die Flächenrichtwerte einhalten oder übertreffen („Modulfläche soll (mindestens) 20% der Siedlungsfläche erreichen“). Zu diesem Zweck sollen ggf. auch Fassadenflächen, Parkplatzüberdachungen etc. in Betracht genommen werden. Je höher der PV-Nutzungsgrad bei den einzelnen Objekten, desto schneller und leichter wird das gesamtstädtische Ausbauziel erreicht. Durch die Erhöhung des PV-Nutzungsgrads ändert sich in der Regel der personelle Aufwand in der Stadtverwaltung nur gering. Ein hoher Flächennutzungsgrad ist insofern auch hinsichtlich der Verwaltungs-Effizienz vorteilhaft.

#### 2.2.5 Vorbildfunktion: Innovation

Neben der Vorbildfunktion hinsichtlich PV-Flächennutzungsgrad kann die Stadt auch eine Vorbildfunktion hinsichtlich des innovativen Einsatzes von Photovoltaik sein. Innovationen können im Bereich der gebäudeintegrierten Photovoltaik zu besonders ästhetischen Lösungen führen. Bei der Kombination mit Dachbegrünung können neue Ansätze zur Erreichung eines möglichst hohen Flächennutzungsgrads und/oder einer größeren Artenvielfalt genutzt werden. Pausenhöfe auf Schulhausdächern könnten ggf. mit faltbaren PV-Anlagen die Schüler\*innen vor hoher

---

<sup>62</sup> 30 Jahre ist hier als konservativer Ansatz im Rahmen einer Wirtschaftlichkeitsberechnung gewählt. Die technische Nutzungsdauer ist aller Voraussicht nach länger (40 Jahre).

Sonnenbelastung schützen. Dachrand-Absturzsicherungen könnten mit PV-Modules ausgeführt werden.

Entsprechende innovative Objekte sollten dokumentiert und öffentlich präsentiert werden, um die Vorbildfunktion auch zu einem entsprechenden Nachahmungseffekt zu verhelfen.

### 2.2.6 Vorbildfunktion: Bürgerbeteiligung

Eine gute Möglichkeit, um die Vorbildfunktion der Landeshauptstadt München auch in die Stadtbevölkerung hinein wirksam werden zu lassen ist es, Projekte mit Bürgerbeteiligung zu ermöglichen. PV-Bürgerbeteiligungsprojekte haben in München eine lange Tradition: erste Bürgerbeteiligungsprojekte fanden bereits Ende der 1990er Jahre guten Zuspruch. Die Beteiligungsangebote „M-Solar Sonnenbausteine“ der Stadtwerke München sind schnell vergriffen. Auch Bürgerenergiegenossenschaften bieten niederschwellige Beteiligungsangebote an.

Die Landeshauptstadt München sollte die Chance der Bürgerbeteiligung nutzen, um den PV-Ausbau stärker ins Gespräch und ins Bewusstsein der Stadtgesellschaft zu bringen. Dazu brauchen die Anbieter von Bürgerbeteiligungsprojekten (SWM, Bürgerenergiegenossenschaften, etc.) geeignete Flächen, die ggf. durch die PV-Agentur vermittelt werden könnten.

### 2.2.7 PV-Agentur

Mit Beschluss vom 16.12.2020 hat der Stadtrat die Einrichtung einer „PV-Dachagentur“ gemäß Stadtrats-Antrag Nr. 20-26 / A 00716 vom 19.11.2020 beschlossen. Die PV-Agentur soll Flächen städtischer und nicht-städtischer Gebäudeeigentümer\*innen an PV-Betreiber vermitteln, um den PV-Ausbau möglichst schnell zu steigern. Da Photovoltaikmodule nicht nur auf Dächern, sondern auch an Fassaden, Parkplatzüberdachungen etc. angebracht werden können, wurde der Name entsprechend der breiteren Bedeutung in „PV-Agentur“ weiterentwickelt. Seitens der Koordinierungsstelle für Solarenergie wurde die PV-Agentur in den Grundzügen konzipiert und vorbereitet. Seit 1.1.2023 ist eine erste Stelle der Dachagentur besetzt, weitere 4 VZÄ befinden sich derzeit im Besetzungsverfahren. Erste Objekte zur Vermittlung wurden bei den städtischen Referaten und Beteiligungsgesellschaften akquiriert.

Die PV-Dachagentur soll mit hoher Kunden- und Serviceorientierung Gebäudeeigentümern (oder auch Gebäudenutzern) mit einem niederschweligen Dienstleistungsangebot den Weg zu einer Nutzung der Gebäudeflächen für PV-Anlagen durch Dritte eröffnen. Dazu beraten die Maker\*innen der PV-Agentur die Gebäudeeigentümer hinsichtlich geeigneter Umsetzungskonzepte, die dem Bedarf der Gebäudeeigentümer und/oder der Gebäudenutzer möglichst gut entsprechen. Je nachdem ob der Gebäudeeigentümer das Gebäude selber nutzt, oder ein Dritter Nutzer des Gebäudes ist, ergeben sich unterschiedliche Vertragskonstruktionen, die jeweils mit einem passenden Vermittlungsangebot unterstützt werden können.

Mögliche Vermittlungstypen sind (Beispiele):

- Gebäudeeigentümer gleich Gebäudenutzer:  
Flächenverpachtung mit Direktstromlieferung an den Verpächter = Solar-Contracting (bzw. Strom-Contracting)  
Durch die beabsichtigte Stromlieferung an den Gebäudeeigentümer handelt es sich um eine Contracting- bzw. Beschaffung, die bei ausschreibungspflichtigen Gebäudeeigentümern ausgeschrieben werden muss. Die Art des Vergabeverfahrens hängt dabei vom voraussichtlichen Wert des gelieferten Stroms, bzw. Anlagengröße und Verbrauchsquote ab:
  - PV-Leistung bis ca. 10 kWp: voraussichtlichen Auftragswert < 5.000 Euro (ohne Umsatzsteuer) ==> Direktauftrag ohne Durchführung eines Vergabeverfahrens zulässig

- PV-Leistung bis ca. 200 kWp: voraussichtlicher Auftragswert < 100.000 Euro (ohne Umsatzsteuer) ==> Beschränkte Ausschreibung ohne Teilnahmewettbewerb ohne weitere Einzelbegründung zulässig: 3 bis 10 Bewerber sind zur Abgabe eines Angebots aufzufordern.
- PV-Leistung bis ca. 400 kWp: voraussichtlicher Auftragswert < 215.000 Euro (ohne Umsatzsteuer) ==> Ausschreibung mit Teilnahmewettbewerb
- PV-Leistung > 400 kWp: europaweite Ausschreibungspflicht

Die genannten Leistungsgrenzen sind Richtwerte und können leicht für das jeweilige Projekt in Abhängigkeit des spezifischen Ertrags, der Eigenverbrauchsquote und des geschätzten Marktpreises berechnet werden. Die meisten PV-Anlagen werden in der Leistungsklasse zwischen 10 - 200 kWp liegen, also per "beschränkter Ausschreibung ohne Teilnahmewettbewerb" auszuschreiben sein.

- Gebäudeeigentümer nicht gleich Gebäudenutzer:  
Flächenverpachtung ohne Stromüberlassung an Gebäudeeigentümer  
Die Fläche (Dach, Fassade, Parkplatzüberdachung etc.) wird an einen Investor verpachtet, ohne dass die Energie (Strom aus PV oder Wärme aus Solarthermie) vom Gebäudenutzer abgenommen wird. Der Strom oder die Wärme wird voll ins Netz eingespeist.  
Flächenverpachtung mit Direktstromnutzung  
Da es sich nicht um eine Beschaffungsmaßnahme des Gebäudeeigentümers, sondern um eine reine Verpachtung handelt, ist die Verpachtung nicht ausschreibungspflichtig
- PV-Mieterstrom  
Das Gebäude soll eine PV-Anlage erhalten, wobei der Strom mehreren Nutzungsparteien im Haus angeboten werden soll.
- PV-Leasing  
Es soll eine Solaranlage errichtet werden, die vom Gebäudeeigentümer geleast werden soll.
- PV-Pacht
- PV-Kauf (Vergabe von Bauleistung, nicht für ausschreibungspflichtige Gebäudeeigentümer geeignet); Der Gebäudeeigentümer wünscht die Errichtung einer Solaranlage und sucht dafür einen ausführenden Solarfachbetrieb (nicht für städt. Liegenschaften)
- PV-Bündelausschreibung für Klein-PV in Quartieren – Beteiligungsangebot für Gebäudeeigentümer / Ausschreibung für Umsetzungspartner
- PV-Bündelausschreibung für Balkon-PV in Quartieren – Beteiligungsangebot für Gebäudeeigentümer / Ausschreibung für Umsetzungspartner
- PV-Beratung/Planung (in Quartieren / für WEGs)
- Solar-Interessent sucht Berater oder Planer
- sonstige, z. B. Contracting für Nahwärmenetze / Speicher
- evtl. zukünftige Vermittlungstypen, werden derzeit noch nicht angeboten.

Die vorgenannten Vermittlungstypen werden sukzessive und je nach Nachfrage schrittweise ausgebaut. Geplant ist zunächst mit Vermittlungen für eine reine Dachverpachtung (Gebäudeeigentümer ist nicht gleichzeitig Nutzer) zu starten.

Für die Vermittlung wird eine Internetpräsenz der PV-Agentur unter [www.muenchen.de/pv-agentur](http://www.muenchen.de/pv-agentur) eingerichtet, sowie ein Email-Gruppenpostfach unter [pv-agentur@muenchen.de](mailto:pv-agentur@muenchen.de). Die Internetpräsenz enthält neben der Vorstellung der PV-Agentur und deren Dienstleistungsangebot eine Datenbank „Solarbörse“, sowie eine Datenbank „Bieterverzeichnis“.

In der Solarbörse werden alle verfügbaren Vermittlungsangebote mit einem anonymisierten Kurz-Exposé öffentlich aufgeführt. Der Makler der PV-Agentur erstellt in Zusammenarbeit mit dem Gebäudeeigentümer ein Kurz-Exposé, das in der Solarbörse veröffentlicht wird. In der Solarbörse

wird neben groben Projektdaten der gewünschte Vermittlungstyp, Wertungskriterien für die Angebotsauswertung, sowie der Submissionstermin angegeben. Bieter, die im Bieterverzeichnis aufgeführt sind, können sich für die Projekte Angebote abgeben.

In der Bieterliste sind alle Bieter verzeichnet, die für bestimmte Vermittlungstypen angemeldet sind. Die Aufnahme in die Bieterliste steht allen geeigneten Bewerbern frei. Voraussetzung für die Aufnahme ist die vollständige Erfassung aller Daten der Firma, sowie ein Eignungsnachweis je nach Vermittlungstyp, z. B. durch Zertifikate oder Referenzen. Die Bieter, die in der Bieterliste verzeichnet sind, haben die Möglichkeit, weitergehende, notwendige Informationen zum Projekt, die für die Abgabe eines qualifizierten Angebots erforderlich sind, bei der PV-Agentur abzufragen. Da die Liste öffentlich einsehbar ist, wissen die Gebäudeeigentümer, welchen Bietern bei Bedarf weitergehende Informationen zum Projekt weitergegeben werden, so dass die Weitergabe der Daten DSGVO-konform gewährleistet werden kann.

Nach dem Submissionstermin werden die Gebote gemäß der zuvor bekannten Bewertungskriterien ausgewertet und dem Gebäudeeigentümer übergeben. Der Vertragsabschluss zwischen Gebäudeeigentümer und Bieter bleibt den Vertragspartnern vorbehalten. Die PV-Agentur unterstützt bei Bedarf mit Standard-Musterverträgen, Beratung oder ggf. sonstigen Hilfestellungen, die der Umsetzung des PV-Projekts dienen. Die Auskünfte der PV-Agentur stellen weder eine Leistung für die Planung und Ausführung noch eine persönliche rechtliche oder steuerliche Beratung für die Vertragspartner dar. Für die Umsetzung von baulichen Maßnahmen tragen Bauherrinnen und Bauherren die Verantwortung dafür, dass zahlreiche technische, sicherheitsrelevante Verordnungen und Regeln (z. B. Normen im Bereich Elektrotechnik und Statik), sowie rechtliche und steuerrechtliche Vorgaben eingehalten werden. Hierzu sind sachkundige Planer\*innen bzw. Elektro- bzw. Solarfachbetriebe zu beauftragen. Für eine persönliche Rechtsberatung wird an spezialisierte Fachanwälte, für individuelle Steuerfragen an Steuerberater\*innen verwiesen. Die Einhaltung der Datenschutzvorschriften (DSGVO) wird durch geeignete Prozesse der PV-Agentur gewährleistet.

Die PV-Agentur achtet in einvernehmlicher Abstimmung mit dem Anbieter eines Vermittlungsprojekts darauf, dass die Ziele des Masterplan solares München für den Solarenergieausbau bei der Vermittlung erreicht werden. Insbesondere eine ausreichende Flächennutzung, ggf. geeignete Kombination mit Begrünung, oder Bürgerbeteiligung werden bei der Bewertung der Angebote entsprechend angesprochen.

Zunächst – insbesondere in der Aufbauphase der PV-Agentur – richtet sich die Vermittlung an städtische Gebäudeeigentümer, die Eigenbetriebe und Beteiligungsgesellschaften. Zu einem späteren Zeitpunkt und je nach Verfügbarkeit personeller Kapazitäten wendet sich die PV-Agentur auch an Dritte. Da ein großes Potential im Wohnungsbau liegt, und Mieterstrom auch aus sozialen Gründen zu begrüßen ist, ist geplant speziell auch Mieterstrom im Leistungsangebot der PV-Agentur besonders zu berücksichtigen. Da die PV-Agentur voraussichtlich auch mittels aufsuchender Beratung Gebäudeeigentümern für die Weitergabe der Dachflächen an Dritte interessieren kann, sollte – sofern Kapazitäten zur Verfügung stehen – auch dieser Vermittlungsweg adressiert werden.

## 2.3 Information bereitstellen

Das Referat für Klima- und Umweltschutz soll den Werkzeugkasten zur Unterstützung einer raschen und gleichzeitig zukunftsorientierten Entwicklung der Solarenergiegewinnung in München weiterentwickeln: Dafür werden die bewährten bestehenden Maßnahmen und Kanäle im Hinblick auf den Masterplan solares München aktualisiert und intensiviert, sowie durch neue Werkzeuge ergänzt.

### 2.3.1 Bauzentrum München: Infoveranstaltungen und Weiterbildung

Das Bauzentrum München in der Messestadt Riem, als das Informations- und Beratungszentrum des Referats für Klima- und Umweltschutz für die Themen nachhaltiges Wohnen, Sanieren und Bauen, bietet in vielfältigen Veranstaltungsformaten Bürger\*innen und der Fachbranche umfassende Informationen, Beratung, Fortbildung und Netzbildung zu sämtlichen Fragestellungen rund um Wohnen, Sanieren und Bauen. Seit 2021 greift das Bauzentrum München dabei verstärkt sowohl im Veranstaltungsprogramm wie auch im Beratungsangebot die Themenfelder Photovoltaik und Solarthermie auf. Mit kostenfreien Vorträgen und Infoabenden informiert das Bauzentrum München beispielsweise regelmäßig Bürger\*innen in diesen Bereichen. Das vielfältige Beratungsangebot umfasst unter anderem auch kostenfreie, halbstündige Beratungen zu Photovoltaik und Solarthermie. Alle Beratungen am Bauzentrum München werden von ehrenamtlich tätigen Berater\*innen durchgeführt. Weitergehende Informationen zu den verschiedenen Angeboten des Bauzentrums München bietet die Webpräsenz [muenchen.de/bauzentrum](http://muenchen.de/bauzentrum).

### 2.3.2 Infomaterial „Leitfaden Masterplan solares München“

Der Ausbau der Solarenergieernutzung wie im vorliegenden Masterplan solares München dargestellt hin zu einer vollständig klimaneutralen Energieversorgung ist bislang in einer Großstadt beispiellos. Insbesondere bei der Solararchitektur zur ästhetischen Integration großflächiger PV-Oberflächen in der Großstadtbebauung, als auch bei der verbraucherseitigen Integration mit Lastmanagement mangelt es mindestens an Routine, auch wenn durchaus Einzelbeispiele bereits realisiert wurden. Dementsprechend ist für die Umsetzung des Masterplan geeignetes Infomaterial erforderlich, um sowohl Ziele und Kennzahlen, als auch Lösungen sowohl bei der Solarstromerzeugung als auch bei der Solarstromverwendung breit verfügbar zu machen. Als Zielgruppen müssen sowohl Endverbraucher als auch Fachexperten wie Architekten, Planer, und ausführende Fachbetriebe angesprochen werden. Aufgrund der zu erwartenden dynamischen inhaltlichen Entwicklung bietet sich für einen derartigen Leitfaden das Format einer digitalen „Loseblattsammlung“ mit Autorenpapieren zu relevanten Aspekten und Ausführungsbeispielen an. Die Koordinierungsstelle für Solarenergie des Referat für Klima- und Umweltschutz könnte die Beiträge der digitalen Loseblattsammlung „Leitfaden Masterplan solares München“ editieren.

### 2.3.3 ReThink: Solar-Kampagne

Mit der Kampagne „Re:think München“ will das Referat für Klima- und Umweltschutz (RKU) die Bürger\*innen für den Klimaschutz aktivieren. Dafür geht die Landeshauptstadt dahin, wo man mit klimaneutralem Handeln viel bewegen kann und selbst großen Nutzen davon hat: im eigenen Quartier. „Re:think München“ motiviert die Menschen vor Ort mit Aktionen und Events, mit Service- und Informationsangeboten z. B. zu Energieberatungen oder Förderprogrammen dazu, klimabewusst zu leben und sich dafür zu engagieren. Durch den direkten Kontakt zu den Menschen vor Ort eignet sich die Kampagne „Re:think München“ besonders gut, um die Ziele des schnellen Solarenergieausbaus bei Privatpersonen zu verankern.

### 2.3.4 Quartiersarbeit und aufsuchende Beratung

Im Rahmen der sog. Quartiersarbeit werden konzentriert in räumlichen Zusammenhang Beratungskampagnen für Immobilienbesitzer durchgeführt. Zahlreiche Energieberater informieren

mit „aufsuchender Beratung“ über energetische Sanierung, Wärmewende und auch die Nutzung solarer Energien. Durch Weiterbildungsangebote für die Berater werden die Ziele und Lösungsansätze des Masterplan solares München qualitativ abgesichert.

### 2.3.5 Solarpotentialkataster

#### 2.3.5.1 *Nutzerschnittstelle verbessern: interaktiver Zugang, evtl. über Emanager*

Im Rahmen der Erstellung des Energienutzungsplans wurde für jedes Dach Münchens eine hoch aufgelöste Solarpotenzialanalyse durchgeführt. Um die Ergebnisse Planer\*innen, Berater\*innen und Eigentümer\*innen einfach zugänglich zu machen, sollen diese zielgruppengerecht in einem interaktiven Solarkataster bereitgestellt werden. Zudem sollen sowohl die Potenziale der Photovoltaik als auch der Solarthermie dargestellt und die Themen Stromspeicher, E-Mobilität, Sektorenkoppelung, Mieterstrommodelle und PV-Großanlagen mit aufgegriffen werden. Das GeoPortal der Landeshauptstadt München bietet dafür eine geeignete technologische Plattform.

#### 2.3.5.2 *Erweiterung auf Fassaden und Verkehrsflächen*

Im Rahmen des Teil-Energienutzungsplanes wurde ein hoch aufgelöstes Solarkataster für alle Dachflächen Münchens erstellt. Ziel dieser Maßnahme ist es, die Daten der wiederkehrenden Luftbildbefliegungen des GeodatenService München für eine automatisierte Aktualisierung des Münchner Solarkatasters zu nutzen. Darüber hinaus bietet die stetige Detaillierung der Befliegungsdaten die Möglichkeit, Bestandsanlagen mittels Künstlicher Intelligenz zu identifizieren, die Solarpotenziale von Fassadenflächen zu analysieren und die Sichtbarkeit von Photovoltaik- bzw. Solarthermieanlagen auf Dachflächen aus dem öffentlichen Raum zu evaluieren (vor allem bei denkmalgeschützten Gebäuden), um dieses Wissen verstärkt in Planungs- und Informationsprozesse zu integrieren.

### 2.3.6 Wattbewerb München

Die Landeshauptstadt München ist seit dem Jahr 2021 Teilnehmerin an Wattbewerb, einem bundesweiten Contest zum Ausbau der Photovoltaikleistung. Sieger ist die Kommune, die den höchsten Photovoltaik-Zubau in Watt pro Einwohner\*in erreicht. Ziel ist dabei, die Energiewende gemeinsam mit der Stadtgesellschaft voranzubringen und den weiteren Ausbau von Photovoltaik und damit den Klimaschutz deutlich zu fördern. Dazu initiierte das Referat für Klima- und Umweltschutz die Kampagne Wattbewerb München ([muenchen.de/wattbewerb](https://muenchen.de/wattbewerb)). Im Rahmen dieser Kampagne setzt sich die Taskforce Wattbewerb, ein Zusammenschluss Münchner Initiativen, gemeinsam mit der Landeshauptstadt München aktiv für den Photovoltaik-Ausbau ein. Darüber hinaus vernetzt sich das Bauzentrum München mit seiner fachlichen Expertise und Kompetenz zu Solarthemen mit Wattbewerb München und bietet mit der Programmreihe „Wattbewerb für Bürger\*innen“ vielfältige Informationen rund um Photovoltaik.

### 2.3.7 Münchner Solararchitektur-Preis

Der notwendige Zubau an Solaranlagen macht die Technik zunehmend sichtbar, womit Akzeptanzprobleme, gerade im urbanen Raum, wahrscheinlicher werden. Es ist deshalb wichtig, von Anfang an den Ausbau der Technologie mit Gestaltqualität in der Umsetzung der Solaranlagen zu verknüpfen, um damit Solartechnik und Architektur miteinander in Bezug zu bringen. Ein geeignetes Mittel, um einerseits baukulturellen Anspruch zu fordern und zu fördern, andererseits Hilfestellung zu einem auch in seiner ästhetischen Wirkung wahrzunehmenden Umsetzungsprozess zu bieten, ist die Etablierung eines Münchner Solararchitektur-Preises.

Ein Preis hat den Vorteil, dass sowohl Auslobung wie Preisvergabe sich gut für Maßnahmen der Kommunikation und Öffentlichkeitsarbeit eignen und gerne von Medien aufgegriffen werden. Die Preisverleihung lässt sich als öffentlichkeitswirksames Ereignis inszenieren, das im Turnus der Wettbewerbsausschreibungen regelmäßig das Thema wieder in den Fokus rückt. Ein weiterer Vorteil

von Einreichungen zu einem Wettbewerb ist zudem die Generierung von Informationen und Materialien, die sich über die Preisverleihung hinaus verwerten lassen: Als Ausstellung, in Publikationen unterschiedlichsten Zuschnitts (von eher bildorientierten Medien bis zum Fachbeitrag) – und selbstverständlich auch zur internen Auswertung bezüglich Technologien, Produkten, Kosten, konstruktiver Einbindung etc.

Das Einreichmaterial kann auch immer wieder unter anderen Blickwinkeln beleuchtet werden, sodass der Fokus nicht nur auf den explizit ausgezeichneten Projekten liegen muss, sondern sukzessive sich weitet und die Beteiligten einbezieht – es lässt sich eine Kommunikation mit den „Playern“ entwickeln, die auch für die jeweiligen Folgeprojekte Bedeutung haben kann.

Der Preis sollte offen für alle Bauwerkstypologien sein – vom Wohnungsbau bis zum Infrastrukturbauwerk, vom Gewerbebau bis zum Bildungsbau, von Einfamilienhaus bis zum Sonderbau (Kirche, Museum, Sportstätte). Es ist selbstverständliche Aufgabe der Jury hier jeweils die herausragenden Umsetzungen zu identifizieren und zu würdigen bzw. ggf. eben auch nicht zu würdigen, wenn es keine Realisierungen mit beispielhaftem Charakter gibt.

Der Preis sollte in 2-jährigem Turnus ausgelobt werden, um eine größere Projektauswahl zu haben, als bei jährlicher Ausschreibung, und um auch einen ausreichenden Zeitraum zur Aus- und Verwertung der Materialien zu erlauben. Gleichzeitig sorgt ein 2-Jahres-Turnus doch auch für regelmäßige Präsenz.

Die Jury sollte hochkarätig besetzt sein (Architektenkammer, Universitäten, Hochschulen), mit starkem Fokus auf die gestalterische Umsetzung. Eine Besetzung aus hälftig ständigen und hälftig jeweils wechselnden JurorInnen hält die Waage zwischen Langzeiterfahrung und „frischem Wind“. Zumindest der 1. Preis sollte gut dotiert sein (Größenordnung 20.000 EUR), weitere Preise können erheblich niedriger sein bzw. auch als undotierte Anerkennungen erfolgen. Von Anfang sollte auf einen hohen Qualitätsstandard geachtet werden. Um eine längerfristig Perspektive zu bieten, hat eine Anerkennung des Preises in der Fachwelt hohe Bedeutung.

## 2.4 Förderprogramm klimaneutrale Gebäude (FKG)

Das Referat für Klima- und Umweltschutz stellt mit dem Förderprogramm Klimaneutrale Gebäude bereits eine äußerst attraktive Incentivierung von Photovoltaik und Solarthermie bereit, die von Beratungsleistungen über Photovoltaik-Anlagen und Stecker-Solar-Geräten (PV-Balkon-Modulen) bis hin zu Mieterstrom bzw. Direktverkauf reichen. Diese erst zum 04.10.2023 in Kraft getretenen Maßnahmen wurden in enger Abstimmung mit der Koordinierungsstelle Solarenergie der Landeshauptstadt München unter der Prämisse eines raschen PV-Zubaus entwickelt.

Die Solarförderung im Förderprogramm klimaneutrale Gebäude (FKG) wird stetig weiterentwickelt. Im Rahmen der Weiterentwicklung sind folgende Punkte denkbar, um die strategischen Ansätze und Maßnahmen besonders zu fördern:

- a. die Förderung stärker daran auszurichten, dass die vorhandenen Flächenpotentiale bei Gebäuden bestmöglich ausgenutzt werden, um Solarpotentialflächen nicht zu verschwenden. Hierfür ist der Förderbetrag mit einem Flächeneffizienz-Faktor zu multiplizieren. Der Flächeneffizienzfaktor ist der Quotient aus der gesamten Modul- und Kollektorfläche am Gebäude, geteilt durch die Brutto-Gebäudegrundfläche. Bei einem Flächeneffizienzfaktor > 100% ist die Fördersumme auf höchstens 50% der Investitionskosten zu begrenzen.
- b. zusätzliche Anreize für den Rückbau von Störf lächen zu schaffen, z. B. als Zuschläge für den Rückbau von Kaminen und Antennen, die Zusammenlegung von Dachentlüftern, oder die

Versetzung von Dachluken. Dadurch wird die Dachlandschaft optisch ruhiger und aufgewertet.

- c. zusätzliche Anreize zur gleichzeitigen Kombination einer PV-Anlage mit anderen Maßnahmen an der Gebäudehülle (z. B. mit Gerüststellung, Dachdämmung, etc.) zu schaffen.
- d. (...) damit Strom- und Wärmewende kompatibel werden, müssen Wärmeverbraucher in der Lage sein, große Wärmemengen zu speichern. Daher dürfen Wärmepumpen für die Trinkwassererwärmung nur gefördert werden, wenn diese Trinkwarmwasser für den Bedarf von mindestens x Tagen vorhalten können, bzw. Wärmepumpen für Heizwärme, deren Heizungspufferspeicher oder Gebäudespeicher („Bauteilaktivierung“, Deckenspeicher etc.) den Heizwärmebedarf für mindestens x Tagen vorhalten kann.
- e. zusätzlich gefördert werden sollen dezentrale Wohnungs-Trinkwarmwasserboiler mit 200 – 400 l, um PV-Überschüsse preiswert als solare Wärme speichern zu können.
- f. zusätzlich gefördert werden elektrische Heizmatten zur Bauteilaktivierung („Deckenspeicher“ etc.), um PV-Überschüsse preiswert als solare Wärme speichern zu können.
- g. zusätzliche Förderung für Energiemanagementsysteme zur Erhöhung des Eigenverbrauchs im Gebäude durch konsequente Sektorenkopplung.

zur Kompensation der Mehrkosten für die vorgenannten stärker geförderten bzw. zusätzlichen Fördertatbestände kann ggf. die Grundförderung für PV abgesenkt werden, da aufgrund der Energiepreisentwicklung die grundsätzliche Wirtschaftlichkeit von Solarenergie gestiegen ist.

## 2.5 Weitere Maßnahmen zur Erhöhung des PV-Zubaus

Der PV-Zubau kann auf zweifache Weise erhöht werden:

- durch den Abbau von Hemmnissen
- durch Förderung bzw. Erleichterung des Zubaus

### 2.5.1 Abbau von Hemmnissen

Bei Hemmnissen ist zunächst danach zu unterscheiden, wer für diese verantwortlich ist, und entsprechende Möglichkeiten hat, diese abzubauen oder zu beseitigen.

Zahlreiche Hemmnisse auf Bundes- und Landesebene sind bekannt und können und sollten von den jeweils zuständigen Regierungen und Parlamenten beseitigt werden. Umfassende Studien und Analysen zu Hemmnissen und Hürden wurden veröffentlicht<sup>63,64,65</sup>.

Weitere Hürden liegen im Verantwortungsbereich der Landeshauptstadt München. Diese werden beispielsweise im Rahmen der zuständigen Stellen des Referat für Klima- und Umweltschutz laufend analysiert und verbessert. Der vorliegende Masterplan solares München adressiert wesentliche Aspekte und trägt dazu bei kommunale Ausbauhemmnisse abzubauen.

Als weitere Hemmnisse sind bekannt und werden adressiert:

Fachkräftemangel: Das Referat für Klima- und Umweltschutz ist federführend beauftragt zusammen mit dem RAW ein zentrales lokales Netzwerk ("Runder Tisch") zum Thema Fachkräftesicherung und -

<sup>63</sup> Quaschnig et al, „Hemmnisse und Hürden für die Photovoltaik“, HTW Berlin, 2021, <https://solar.htw-berlin.de/studien/hemmnisse-fuer-die-photovoltaik/>, zuletzt abgerufen am 03.03.2023

<sup>64</sup> vonBredow Valentin Herz, „Markthemmnisse für den beschleunigten Ausbau von Photovoltaik-Dachanlagen“, 2021, <https://www.wwf.de/fileadmin/fm-wwf/Publikationen-PDF/Klima/Klima-Allianz-Analyse-zu-Photovoltaik-Dachanlagen.pdf>, zuletzt abgerufen am 03.03.2023

<sup>65</sup> „Empfehlungen für einen starken u. effizienten Solarzubau in der 20. Legislaturperiode“, BSW-Solar, 2021, [https://www.solarwirtschaft.de/wp-content/uploads/2021/10/2021-10-04\\_20LP\\_Empfehlungen\\_kurz\\_Entwurf.pdf](https://www.solarwirtschaft.de/wp-content/uploads/2021/10/2021-10-04_20LP_Empfehlungen_kurz_Entwurf.pdf), zuletzt abgerufen am 03.03.2023

qualifikation im Baugewerbe zu bilden, das alle relevanten Akteure (wie Innungen, Verbände, IHK, Gewerkschaften, Entrepreneurs for Future, Wärmepumpenbau, Nahwärmenetze-Bau, Gebäudesanierung, Holzbau, PV und Solarthermie) zusammenführt. Ein Schwerpunkt liegt auf der Ermöglichung für einen zügigen Kapazitätsausbau. Insbesondere wird geprüft, welche Schritte erforderlich sind, um die Münchner Solarteurschule (Bildungszentrum für Solartechnik) wiederzubeleben. Der Runde Tisch zur Fachkräftesicherung arbeitet aktiv.

Netzanschluss und Zählkonzepte: In der Praxis kam es immer wieder zu Verzögerungen beim Netz-Anschluss von PV-Anlagen. Außerdem ist es oftmals schwierig, geforderte Messkonzepte im beengten Altbaubestand Münchens technisch zu realisieren. Beide Punkte sind diskutiert und im laufenden Prozess in Arbeit, so dass zu erwarten ist, dass Hemmnisse abgebaut werden.

Flächenstörer: Faktisch bestehen auf zahlreichen Dächern im Altbaubestand Hemmnisse für den PV-Ausbau durch Flächenstörer. Nicht mehr benötigte Kamine, Antennen und Dachluken behindern die PV-Montage auf potentiell geeigneten Flächen. Dachentlüfter sind oftmals ungünstig angeordnet. Die Gebäudeeigentümer haben es in der Hand, diese Flächenstörer zu beseitigen und beispielsweise bei der Sanierung oder Aufstockung von Gebäuden darauf zu achten, dass Dach- und Fassadenflächen „PV-freundlich“ gestaltet werden. Durch entsprechende Information von Gebäudeeigentümern und ggf. geeignete Fördermaßnahmen können Gebäudeeigentümer aktiviert werden, Flächenstörer zu reduzieren um homogenere PV-Flächen zu ermöglichen. Dies ist insbesondere auch förderlich für die Ästhetik der Gebäude und des Stadtbilds.

Gebäudehöhe: Die Höhe von Gebäuden im urbanen Kontext stellt eine wesentliche Hürde für den PV-Ausbau dar, da die Kosten für die notwendige Arbeitssicherheit bei der Montage für Gerüste und Absturzsicherungen sehr hoch sind. Da die Gebäudehöhe ist gegeben und nicht veränderbar ist, kann diese faktische Ausbauhürde nur indirekt adressiert werden, indem durch Informationsarbeit bei Gebäudeeigentümern, aber auch Gerüstbauern, Fassadensanierern und anderen Fachbetrieben intensiv dafür geworben wird, dass im Zuge von eh benötigten Maßnahmen am Gebäude mit Gerüst auch PV-Anlagen installiert werden. Die Nutzung derartiger Synergien könnte auch im Zuge von anderen Fördermaßnahmen (z. B. für energetische Sanierung / Fassadendämmung) angereizt werden. Fachbetriebe könnten bei der Anschaffung von erforderlichen Hilfsmitteln (Dachabsturzsicherungen, Hebebühnen etc.) unterstützt werden.

### 2.5.2 Einzelmaßnahmen zur PV-Förderung

Gewerbe und Handwerk fördern: für die Erreichung der PV-Ausbauziele und die geplante Verachtfachung der PV-Zubauleistung in München ist eine leistungsfähige Solarbranche erforderlich. Die Ansiedlung von Firmen der Solarbranche und der Aufbau von Kapazitäten beispielsweise im Fachhandwerk könnte gefördert werden. Insbesondere auch die logistischen Herausforderungen der Branche könnten ggf. mit Hilfe der Stadt abgemildert werden.

Flächenpotential ausweiten: PV-Flächen eignen sich insbesondere als Verschattung. PV-Anlagen als Parkplatzüberdachung, über Rad- oder Fußwegen, als Schatteninseln und ähnliches kosten neue Flächen als Standorte für PV-Anlagen erschließen. Da in München bislang noch keine derartigen Projekte realisiert wurden, könnten geeignete Pilotprojekte helfen um erste Erfahrungen aufzubauen.

Innovationen fördern: während die Solartechnik als solche ausgereift und erprobt ist, besteht insbesondere bei der Anwendung im urbanen Kontext noch erheblich Spielraum für Innovationen. Sowohl die Gebäudeintegration von Photovoltaik, die Verwendung von PV auf bisher nicht genutzten Flächen (z. B. mit Solarfaltdächern), die angebotsorientierte Verwendung von Solarenergie mittels smarter Steuerungen und in Verbindung mit zeitvariablen Stromtarifen stellen weite Felder für

Innovationen dar. Die Landeshauptstadt München kann hier einerseits als Auftraggeber in die Rolle als Pionier treten, als auch Pioniere bei der Umsetzung von Innovationen unterstützen, oder auch direkt innovative bzw. Innovationen in ortsansässigen Firmen fördern.

Wasserstoff: Photovoltaik und Wasserstoff sind Symbionten in einem klimaneutralen Energiesystem auf Basis erneuerbarer Energien und bedingen sich gegenseitig: Solarstrom braucht Wasserstoff als Speicher, und Wasserstoff braucht Solarstrom zur Herstellung. Bei einer starken Ausbaustrategie für Photovoltaik werden zwangsläufig Stromüberschüsse entstehen, die (nach der kurzzeitigen Speicherung für einen Tageszyklus in Batterien) auch in Form von Wasserstoff gespeichert werden müssen. Andererseits bedingt die Saisonalität von Photovoltaik – die neben Wind die zweite wichtige Säule einer klimaneutralen und erneuerbaren Energieversorgung ist – auch Wasserstoff als langfristigen Speicher und Ausgangsstoff chemischer Rohstoffe. Die Landeshauptstadt München sollte daher in Zusammenarbeit mit den Stadtwerke München, den herausragenden Hochschulen und Universitäten und bedeutenden Unternehmen mit Bezug zur Wasserstoffwirtschaft eine eigene Strategie für den Wasserstoffausbau entwickeln. Dies wird zugleich einen bedeutenden Schub für die Photovoltaikausbauziele in München bewirken.

Gewerbliche Großanlagen: München verfügt über ein großes, weitgehend ungenutztes Potential an Dachflächen, die sich für die Installation wirtschaftlicher und technisch effizienter Photovoltaik-Großanlagen eignen. Um dieses Potenzial mittelfristig verstärkt zu heben, sollen Maßnahmen zur Identifikation von Projekten, der aufsuchenden Beratung sowie zur Umsetzungsbegleitung unter Nutzung aktueller Förder- und Bündelungsmöglichkeiten durchgeführt werden. Geeignete Dachflächen von gewerblich und privat genutzten Gebäuden für Großprojekte sollten identifiziert werden und in der Folge entsprechende Eigentümer\*innen, Projektentwickler\*innen und Investor\*innen über gezielte Beratungs- und Vernetzungsaktivitäten bis in die Umsetzung begleitet werden. Die PV-Agentur, die im Referat für Klima- und Umweltschutz eingerichtet wurde, ist grundsätzlich geeignet, um diese Aufgabe zu leisten und kann dies im Rahmen der verfügbaren Kapazitäten und der Prioritätsreihenfolge bearbeiten.

Mieterstrom: Ein Drittel des Münchner Gebäudebestands sind Mehrfamilienhäuser und stellen ein sehr großes Flächenpotential für den Solarenergieausbau dar. Insbesondere Wohnanlagen der Nachkriegszeit entsprechen nicht mehr den heutigen Nutzungsanforderungen und energetischen Standards. Die erforderliche Sanierung stellt eine besonders günstige Gelegenheit dar, die großen zusammenhängenden und baukulturell wenig eingriffsempfindlichen Dach- und Fassadenflächen für die Solarenergienutzung zu erschließen und den Bestand gemäß dem städtischen Ziel der Klimaneutralität weiterzuentwickeln. Der Schlüssel, um Photovoltaikanlagen im Geschosswohnungsbau umsetzen zu können, heißt „Mieterstrom“: der Strom der Photovoltaikanlage wird an die Nutzer im Gebäude verkauft (egal ob Wohnungseigentümer, echte Mieter, oder gewerbliche Nutzungseinheiten), ohne dass der Strom durch das Netz der öffentlichen Versorgung durchgeleitet wird. Dadurch ergibt sich eine Win-Win-Situation für den PV-Strom-Hersteller und den Mieterstrom-Verbraucher: der dauerhafte, gleichmäßig übers Jahr verteilte Stromverbrauch ist in Mehrfamilienhäusern gesichert, und der Strompreis für Endverbraucher bei Bezug über das öffentliche Netz ist hoch. Dadurch ergibt sich einerseits ein gesicherter PV-Stromabsatz zu guten Preisen zur Refinanzierung der Anlageninvestition, als auch eine Stromkostensparnis für den Verbraucher durch den Anteil günstigen Solarstroms. Auf wenn die Umsetzung in der Praxis zunächst komplex erscheinen mag, ist dies doch mit zunehmender Erfahrung standardisierbar und praktikabel. Dadurch, dass PV-Strom Mieterstrom kostengünstiger macht, hat die Solarstromerzeugung auch soziale Relevanz. Mieterstrom ist in München noch deutlich ausbaufähig und wird seitens der Landeshauptstadt München im Rahmen des Förderprogramm klimaneutrale Gebäude dementsprechend bereits gefördert. Informationsangebote des Bauzentrum München und Beratung

durch die Koordinierungsstelle für Solarenergie finden reges Interesse bei Gebäudeeigentümern. Mieterstrom muss weiterhin aktiv begleitet und gefördert werden, um die positiven Wirkungen voll ausschöpfen zu können. Insbesondere ist darauf zu achten, dass Mieterstromprojekte eine möglichst hohe PV-Leistung pro Wohneinheit erreichen, so dass sowohl die PV-Potentiale voll ausgeschöpft werden als auch die Vorteile der PV-Eigenversorgung den Gebäudenutzern in möglichst großem Umfang zukommen.

## 2.6 Anhang

### 2.6.1 Spezifischer Jahresertrag von PV-Anlage

Die unterschiedlichen Zielgrößen des Klimagutachtens und des Masterplan können über den sog. „spezifischen Ertrag“ von Solarmodulen an einem bestimmten Ort gut umgerechnet werden. Am Standort München mit seinen exzellenten Sonnenscheinbedingungen können bei perfekter Ausrichtung von Solarmodulen bis zu 1.172 kWh/kWp Solarenergie geerntet werden. Da nicht alle Dachflächen eine perfekte Ausrichtung aufweisen, kann für den mittleren spezifischen Ertrag von bereits installierten Dachflächen-PV-Anlagen in München ein Wert von ca. 1.000 kWh/kWp angenommen werden. Da im Zuge eines starken PV-Ausbaus zunehmend mehr PV-Anlagen auf Flachdächern, in teilverschatteten Bereichen und an Fassaden errichtet werden, bei denen der spezifische Ertrag niedriger ist, wird der spezifische Ertrag mit zunehmendem Ausbau auf schätzungsweise 850 kWh/kWp sinken. Dies ist kein Nachteil, sondern zeigt, dass Photovoltaik mittlerweile so kostengünstig und wirtschaftlich ist, dass selbst nicht-perfekte Flächen sinnvoll belegt werden können. Außerdem erleichtert die breite Verwendung von Flächen auf Gebäuden (Building integrated PV, BIPV) eine ansprechende architektonische Einbindung von Solarenergie ins Stadtbild. Für die Umrechnung von installierter Leistung (kWp) in Ertrag (kWh) wird eine stetige Veränderung des mittleren spezifischen Jahresertrag Münchens von 1.000 kWh/kWp in 2022 nach 860 kWh/kWp in 2050 angenommen. Mit diesem Faktor lassen sich die Werte des Klimagutachtens<sup>1</sup> und des Masterplans gut vergleichen.

### 2.6.2 Lebensdauer von PV-Anlagen

Aktuell neu errichtete PV-Anlagen lassen eine Lebensdauer von mindestens 30 bis 40 Jahren erwarten. Dies zeigen die Betriebsergebnisse der sog. „Ü20-Anlagen“, die nach mehr als 20 Jahren EEG-Förderung großenteils noch gut funktionieren und auf Eigenverbrauch umgerüstet werden. Unter Annahme einer mittleren Lebensdauer von 40 Jahren von PV-Anlagen bis zu deren Repowering, d. h. dem Abbau der Alt-Anlage und Ersatz durch neue Module, lässt sich abschätzen, dass die installierte PV-Leistung in einem stationären Ausbauzustand etwa das 40-fache der Montagekapazität der Solarbranche beträgt. Das bedeutet, dass für eine Gesamt-PV-Leistung von beispielsweise 4 GWp etwa 100 MWp an PV-Leistung zugebaut bzw. erneuert werden muss. Das entsprechende stationäre Leistungsniveau wird dementsprechend erst nach rund 40 Jahren erreicht.

### 2.6.3 PV-Kosten und Energiepreise

Die Stromgestehungskosten von PV-Anlagen sind infolge der technologischen Weiterentwicklung und industriellen Massenfertigung sehr stark gefallen. Diese sind mittlerweile niedriger als für viele andere Stromerzeugungsarten<sup>66</sup>.

Da Solarstrom volatil ist und Schwankungen sowohl im Tages- als auch im Jahresverlauf aufweist, müssen auch die Kosten für den Ausgleich mit Wind, Speichern, sowie Residual-Kraftwerken berücksichtigt werden. Die Kosten für die Lieferung von Strom an Endverbraucher werden daher erheblich höher liegen als die Stromgestehungskosten. Zukünftig werden sich neben den üblichen Einheitstarifmodellen aufgrund gesetzlicher Vorgaben auf EU- und Bundesebene im Rahmen der Digitalisierung der Energiewende zunehmend dynamische Strompreismodelle verbreiten, die die Marktpreise an der Strombörse in Leipzig widerspiegeln. Bei dynamischen Strompreismodellen müssen Verbraucher intensiv beraten werden, da die Strompreise zum Zeitpunkt des Bedarfs für Endverbraucher nicht abschätzbar sind. Preisvorteile können sich für Endverbraucher dann ergeben, wenn der Zeitpunkt des Strombedarfs z. B. durch hinreichend große Speicher vom Zeitpunkt des Strombezugs entkoppelt werden kann. Dies erfordert hohe Speicherkapazitäten, die ggf. nur wenige

---

<sup>66</sup> siehe z. B. <https://www.ise.fraunhofer.de/de/veroeffentlichungen/studien/studie-stromgestehungskosten-erneuerbare-energien.html>, zuletzt abgerufen am 03.03.2023

Zyklen pro Jahr be- und entladen werden. Insbesondere bei geringer Zyklenzahl sind die Kapitalkosten für die Speicher entscheidend. Große thermische Speicher können ggf. dazu beitragen, Strom für Wärmeanwendungen zu im Jahresdurchschnitt sehr günstigen Preisen verwenden zu können.

Aus Verbrauchersicht mit teilweiser Eigenversorgung mit Solarstrom (sog. Prosumer) ergeben sich Stromkosten als Mittelwert aus den Stromgestehungskosten der eigenen PV-Anlage, ggf. den Speicherkosten eines eigenen (PV-) Stromspeichers, sowie den Stromkosten für den Reststrombezug. Da die PV-Stromgestehungskosten von den Investitionskosten für den Bau der PV-Anlage dominiert werden und im Laufe der Jahre vergleichsweise geringe Betriebskosten anfallen, die ggf. der Inflation unterliegen, bleiben die PV-Kosten langfristig weitgehend konstant. In der Regel sind die PV-Stromgestehungskosten niedriger als die Stromkosten für den Reststrombezug, so dass eine eigene PV-Anlage als sog. Strompreisbremse für den Prosumer wirkt. Diese kostendämpfende Wirkung einer eigenen PV-Stromanlage ist umso stärker, je höher der tatsächliche Deckungsanteil mit eigenem Strom ist. Der Deckungsanteil steigt mit zunehmender Anlagengröße, allerdings sinkt mit zunehmender Anlagengröße die Eigenverbrauchsquote, also der Anteil des eigenproduzierten PV-Stroms, der selber verbraucht werden kann. Durch einen eigenen Stromspeicher kann die Eigenverbrauchsquote signifikant erhöht werden. Zu berücksichtigen ist, dass der Strombedarf vieler Verbraucher mittelfristig drastisch erhöhen wird, sofern diese bei Mobilität und Wärmeversorgung auf strombasierte Technologien umsteigen: der Jahresstrombedarf für das Laden eines Elektrofahrzeugs oder den Betrieb einer Wärmepumpe entspricht jeweils in etwa dem Durchschnittsstrombedarf eines Haushalts, so dass sich der Strombedarf für viele Haushalte verdoppeln bis verdreifachen wird, wobei im Gegenzug der Bedarf an Kraft- bzw. Brennstoffe wegfällt. Für die wirtschaftliche Optimierung einer PV-Anlagen müssen nicht nur Annahmen bezüglich der Strombedarfsentwicklung, sondern insbesondere auch der Inflationsentwicklung und der Strompreisentwicklung für den Reststrombedarf getroffen werden. Die letztgenannten Werte haben einen sehr starken Einfluss auf das Ergebnis von Wirtschaftlichkeitsprognosen, sind aber – wie die aktuelle Entwicklung beider Parameter in den letzten Jahren zeigt – mit sehr großen Unsicherheiten behaftet. Eine Renditeprognose für eine eigene PV-Anlage ist in Anbetracht der Unsicherheiten der Eingangsparameter kaum seriös möglich, aber breit gefasste Worst-case- und Best-case-Betrachtungen zeigen die Risiken und Chancen unterschiedlicher Auslegungsvarianten an. Eine kleinere Dimensionierung einer eigenen PV-Anlage kann<sup>67</sup> aufgrund höherer Eigenverbrauchsquote ggf. zu einer Erhöhung der Rendite führen bei gleichzeitig höherem Kostenrisiko durch höheren Reststrombedarf. Eine größere Dimensionierung reduziert ggf. die Rendite, erhöht aber die Kostensicherheit durch geringeren Reststrombedarf.

#### 2.6.4 Dunkelflauten

Als „Dunkelflauten“ werden mehrtägige Zeiträume bezeichnet, an denen das Dargebot von Sonne und Wind bei weitem nicht ausreicht, um den Strombedarf zu decken. Die charakteristische Größe einer Dunkelflaute ist die Länge des Zeitraums. Dunkelflauten können bis zu drei Wochen anhalten, treten in dieser Länge aber sehr selten auf, nur etwa alle 5 Jahre. Dunkelflauten mit einer Länge von 2 Wochen treten etwa jedes zweite Jahr auf, kürzere Dunkelflauten ggf. auch mehrmals jährlich. Durchschnittlich dürften rund 500 Stunden pro Jahr als Dunkelflaute gelten.

Dunkelflauten sind ca. 1-2 Wochen vor deren Auftreten gut vorhersehbar. Häufig treten diese europaweit auf, so dass das Problem der Dunkelflauten nicht oder nur unzureichend mit Stromimporten aus den europäischen Nachbarländern zu lösen ist.

---

<sup>67</sup> Bei kleinen Anlagen werden die Fixkosten sowohl beim Bau als auch bei den Betriebskosten dominant, so dass dort eine (noch) kleinere Auslegung auch zu einer Reduzierung der Rendite führen kann.

Zur Lösung der Dunkelflautenproblematik können drei Ansätze kombiniert werden:

- a) Vorhaltung von Reservekraftwerken zur Deckung der Residuallast in Dunkelflauten. Da die Nutzungs- bzw. Einsatzzeiten dieser Kraftwerke nur ca. 500 Stunden erreichen, ist Strom aus diesen Kraftwerken sehr teuer. Die Kapitalkosten liegen etwa um einen Faktor 10 höher als bei heutigen Kraftwerken, da die Betriebszeit mit 500 h/a um einen Faktor 10 niedriger als bei heutigen Kraftwerken mit 5.000 h/a. Zudem sind die Brennstoffkosten von „grünem“ Wasserstoff und dessen Derivaten im Vergleich zu heutigen fossilen Brennstoffen teurer, da der technische Aufwand für deren Herstellung erheblicher größer ist, selbst wenn extrem preiswerter Überschussstrom aus Wind- und Solarkraftwerken für die Herstellung verwendet wird.
- b) Speicherung in Speichern mit einer Reichweite von ca. 20 Tagen<sup>68</sup>. Besonders geeignet sind hierfür „heiße“ Wärmespeicher, deren Energieinhalt weitgehend ohne zusätzlichen Stromverbrauch (z. B. für Wärmepumpen) genutzt werden kann. Diese thermischen Speicher können den Zusatzbedarf für Wärmestrom (z. B. in Folge der Umstellung auf Wärmepumpen) drastisch verringern und sind vergleichsweise preisgünstig.
- c) Temporäre Verbrauchsreduktion. Durch eine gezielte, spezifische Verbrauchsreduktion können die Kosten zur Beherrschung von Dunkelflauten drastisch reduziert werden. Es ist Aufgabe einer gesellschaftlichen Diskussion das Kosten-Nutzen-Verhältnis der technischen Lösungen abzuwägen. Ggf. ist es gesellschaftlich akzeptabel, z. B. alle drei bis fünf Jahre durch zeitlich begrenzte (max. 3 Wochen) spezifische Einsparmaßnahmen, wie z. B. Homeoffice (zur Reduzierung von Mobilitätskosten zur Aufladung von Elektrofahrzeugen), Absenkung der Innenraumtemperaturen, Einschränkungen unkritischer Produktionsprozesse die Kosten der Residuallast-Abdeckung erheblich zu reduzieren.

Dunkelflauten sind technisch beherrschbar. Um die Kosten dafür möglichst gering zu halten ist eine vorausschauende Herangehensweise notwendig. Insbesondere Gebäudeeigentümer haben mit energetischer Sanierung und großen, dezentralen Wärmespeichern eigene Möglichkeiten einer kostengünstigen Bewirtschaftung.

### 2.6.5 Siedlungsflächen – Begriffsbestimmung

ALKIS-Nutzungsartenverzeichnis<sup>69</sup> (Auszug für München relevanter Nutzungsarten)

(10000) Siedlung: Der Nutzungsartenbereich Siedlung beinhaltet die bebauten und nicht bebauten Flächen, die durch die Ansiedlung von Menschen geprägt sind oder zur Ansiedlung beitragen.

(11000) Wohnbaufläche: Wohnbaufläche ist eine baulich geprägte Fläche einschließlich der mit ihr im Zusammenhang stehenden Freiflächen (z.B. Vorgärten, Ziergärten, Zufahrten, Stellplätze), die ausschließlich oder vorwiegend dem Wohnen dient.

---

<sup>68</sup> Auch das bisherige Energiesystem ist und war immer auf den saisonalen Verlauf des Energiebedarfs der Jahreszeiten angepasst und auf die Bevorratung von Energie in Speichern angewiesen. Saisonale Speicherung wurde seit jeher praktiziert: das „Holz vor der Hütte“ war und ist genauso selbstverständlich wie die Kohle im Kohlenkeller oder das Heizöl im Tank. Heutige zentrale Großspeicher werden weniger öffentlich wahrgenommen, werden aber mit erheblichem Aufwand betrieben: Deutschlands strategische Öl- und Gasreserven reichen jeweils für ca. 90 Tage Vollversorgung. Bei Kohlekraftwerken liegt in der Regel Kohle für ca. 30 Tage Vollversorgung am Kraftwerksstandort auf Halde. Demgegenüber ist der Speicherbedarf eines erneuerbaren Energiesystems eher geringer, da nach 20 Tagen Dunkelflaute wieder überall verfügbare Energie aus Sonne und Wind im Übermaß zur Verfügung steht.

<sup>69</sup> DESTATIS, „Flächenerhebung nach Art der tatsächlichen Nutzung“, 2021, <https://www.destatis.de/DE/Methoden/Qualitaet/Qualitaetsberichte/Land-Forstwirtschaft-Fischerei/flaechenerhebung.pdf>, letzter Abruf 17.02.2023

(12000) Industrie- und Gewerbefläche: Industrie- und Gewerbefläche ist eine Fläche, die vorwiegend industriellen oder gewerblichen Zwecken dient.

(16000) Fläche gemischter Nutzung: Fläche gemischter Nutzung ist eine bebaute Fläche einschließlich der mit ihr im Zusammenhang stehenden Freifläche (Hofraumfläche, Hausgarten), auf der keine Art der baulichen Nutzung vorherrscht. Solche Flächen sind insbesondere ländlich-dörflich geprägte Flächen mit land- und forstwirtschaftlichen Betrieben, Wohngebäuden u.a. sowie städtisch geprägte Kerngebiete mit Handelsbetrieben und zentralen Einrichtungen für Wirtschaft und Verwaltung.

(17000) Fläche besonderer funktionaler Prägung: Fläche besonderer funktionaler Prägung ist eine baulich geprägte Fläche einschließlich der mit ihr im Zusammenhang stehenden Freifläche, auf denen vorwiegend Gebäude und/oder Anlagen zur Erfüllung öffentlicher Zwecke oder historische Anlagen vorhanden sind.

Öffentliche Zwecke (Verwaltung, Bildung und Forschung, Kultur, Religiöse Einrichtung, Gesundheit, Kur, Soziales, Sicherheit und Ordnung, sonstige Öffentliche Zwecke - nicht weiter untergliedert), Parken, Historische Anlage (Burg-, Festungsanlage, Schlossanlage, sonstige Historische Anlage - nicht weiter untergliedert), sonstige Flächen funktionaler Prägung (nicht weiter untergliedert)

(18000) Sport-, Freizeit- und Erholungsfläche: Sport-, Freizeit- und Erholungsfläche ist eine baulich geprägte Fläche einschließlich der mit ihr im Zusammenhang stehenden Freifläche, die der Ausübung von Sportarten, der Freizeitgestaltung oder der Erholung dient.