



sustainable strategies

Ausbauoffensive Erneuerbare Energien der Stadtwerke München:

Zwischenbilanz, regionale Potenziale und Ausblick

Hamburg, 12. Mai 2020



Inhalt

A.	Zusammenfassung	1
B.	Herausforderungen der Dekarbonisierung urbaner Energieversorgung.....	6
C.	Zwischenbilanz des Ausbaus Erneuerbarer Energien durch die SWM.....	7
C.1	Energiewirtschaftlicher Kontext der Ausbauoffensive	7
C.2	Regionale Projekte.....	8
C.3	Internationale und überregionale Projekte.....	10
C.4	Ergebnis und Bewertung.....	11
D.	Möglichkeiten und Grenzen der lokalen Energiewende durch die SWM.....	13
D.1	Grundlagen und Einordnung der Potenzialanalyse	13
D.2	Photovoltaik.....	17
D.3	Wind.....	25
D.4	Biomasse.....	27
D.5	Wasserkraft.....	29
D.6	Geothermie.....	29
D.7	Ergebnis	30
E.	Handlungsoptionen zur Fortsetzung der Ausbauoffensive.....	32
E.1	Lokaler Ausbau erneuerbarer Stromerzeugung	32
E.2	Lokale erneuerbare Wärmeerzeugung.....	35
E.3	Ausbau erneuerbarer Stromerzeugung im Ausland	35
F.	Ausblick	41
	Literaturverzeichnis	43



A. Zusammenfassung

- 2008 haben sich die SWM mit der „**Ausbauoffensive Erneuerbare Energien**“ (AO EE) ein ambitioniertes Ziel gesetzt: Bis 2025 wollen die SWM so viel Ökostrom in eigenen Anlagen erzeugen, wie ganz München benötigt.
- In dieser Studie geht es darum,
 - eine **Zwischenbilanz der Ausbauoffensive** zu ziehen: Wo stehen die SWM bei der Erreichung der Ziele der Ausbauoffensive?
 - inwieweit die Umsetzung der Ausbauoffensive vor allem im Hinblick auf ein stärkeres lokales und regionales Engagement **neu justiert** werden sollte.
- Anlass hierfür ist neben der eigenen Standortbestimmung auch die verschiedentlich geäußerte **Kritik**, wonach ein zu hoher Anteil der **Investitionen der SWM im Ausland** getätigt werde und zu wenig in der Stadt oder der Region.

Zwischenbilanz der AO EE

- Zum heutigen Stand beläuft sich die Jahresproduktion aus bestehenden oder im Bau befindlichen EE-Anlagen der SWM auf rund 6,0 TWh/a; dies entspricht rund 80% der aktuell angestrebten jährlichen Produktion i.H.v. 7,2 TWh/a.
- Den weitaus **größten Anteil** der Jahresstromproduktion aus Anlagen zur Erzeugung erneuerbarer Energien der SWM hat die **Windenergie** (90,5%), mit deutlichem Abstand gefolgt von der Wasserkraft (5,8%). Strom aus Sonne (1,7%), Geothermie (1,6%) und Biomasse (0,4%) machen jeweils nur einen sehr niedrigen Anteil aus.
- Mit knapp 5,5 TWh **überwiegt deutlich die Produktion aus Anlagen außerhalb der Stadt** und der Region. Innerhalb der Stadt werden mit Anlagen der SWM jährlich rund 0,46 TWh erzeugt, was ca. 6% des Strombedarfs der Stadt entspricht.
- Die aus klimapolitischer Sicht sehr wichtige **Schnelligkeit** der Annäherung an die Ziele der Ausbauoffensive (80% Zielerreichung nach elf Jahren) war nur mit einem **hohen Anteil an überregionalen und an Auslandsinvestitionen erreichbar**. In München und auch in Bayern wäre ein vergleichbar schneller Ausbau an SWM-Stromerzeugungskapazitäten mangels umsetzbaren Potenzials nicht möglich gewesen.

Potenzialanalyse

- Mit einer genaueren Untersuchung der **Potenziale** zur lokalen und regionalen regenerativen Stromerzeugung soll analysiert werden, inwieweit mit Investitionen in Anlagen in München oder Bayern das Ziel der Ausbauoffensive erreicht werden könnte.



- Für die Beurteilung des lokalen und regionalen Potenzials zum Ausbau erneuerbarer Energien werden verschiedene Studien untersucht. Diese verwenden zum Teil unterschiedliche **Potenzialbegriffe**, was die Vergleichbarkeit erschwert. Das maßgebliche faktisch zu realisierende Potenzial hängt stark davon ab, wie sich die technologischen, gesetzlichen und wirtschaftlichen **Rahmenbedingungen** entwickeln bzw. welche Annahmen dazu unterstellt werden.
- Das quantitativ relevante zusätzliche Potenzial zur Stromerzeugung im Münchner Stadtgebiet besteht hauptsächlich in **Photovoltaik**, der Großteil auf Dachflächen. Das technische Potenzial hierfür liegt zwischen 1,8 und 5 TWh/a, das tatsächlich umsetzbare faktische Potenzial ist erheblich niedriger (100 GWh/a bis 2030).
- Dieses Potenzial konnte dementsprechend bisher auch nur zu einem kleinen Bruchteil realisiert werden. Bei Fortschreibung der **bisherigen Entwicklung** und ohne gravierende Veränderungen der ökonomischen und rechtlichen Rahmenbedingungen wird die in München installierte PV-Kapazität auch bis 2025 und darüber hinaus **keine quantitativ relevante Rolle** für die Stromversorgung der Stadt spielen.
- Bei einer sehr **ambitionierten Weiterentwicklung** der politisch-rechtlichen Rahmenbedingungen und weiteren technologischen Fortschritten wären höhere Anteile der Stromversorgung durch PV grundsätzlich denkbar. Aktuelle Studien für Berlin halten sogar einen Anteil der Stromproduktion aus Dach-PV von **bis zu 25% am städtischen Stromverbrauch** bis 2050 für zielführend und möglich, allerdings nur bei einer derzeit nicht absehbaren sehr ambitionierten Weiterentwicklung der politisch-rechtlichen Rahmenbedingungen und des weiteren technologischen Fortschritts.
- Die **notwendige Weiterentwicklung der Rahmenbedingungen** für eine derart ambitionierte Erhöhung des Anteils erneuerbarer Energien am städtischen Stromverbrauch ist vielfältig: Insbesondere eine **landesrechtliche Pflicht** zur Installation von PV-Anlagen bei Neubauten sowie bei Dach-Erneuerungen, wie sie das Land Hamburg aktuell in seinem Klimaschutzgesetz eingeführt hat, kann dabei eine wichtige Rolle spielen. **Bundesrechtlich** sind eine Abschaffung des 52-GW-PV-Deckels und die Schaffung attraktiver wirtschaftlicher Rahmenbedingungen im EEG notwendig (z.B. Mieterstrom und Eigenstrom-Nutzung). Aus **technologischer Sicht** sind z.B. Erhöhungen des Wirkungsgrades, Innovationen zur leichteren Gebäudeintegration sowie zusätzliche Kapazitäten im Handwerk wichtige Randbedingungen. Ergänzend müssten auf **kommunaler Ebene** die Bemühungen zur Aktivierung verschiedener Akteure verstärkt werden, um das PV-Wachstum zu vervielfachen.
- Auf Basis des heutigen EEG-Ausbaupfades werden (bei Abschaffung des 52-GW-Deckels) voraussichtlich **bis 2025 in Bayern im Umfang von ca. 3 GW zusätzliche PV-Kapazitäten** geschaffen.
- Selbst bei einem starken regionalen Engagement werden die SWM aufgrund der **hohen Wettbewerbsintensität bei der PV-Projektentwicklung** nur einen Teil dieser Kapazitäten in ihr Portfolio aufnehmen können. Um die Lücke zur Zielerreichung der SWM-Ausbauoffensive bis 2025 mit Investitionen in neue bayerische PV-Anlagen zu schließen,

müssten die SWM mehr als die Hälfte davon errichten. Dies ist angesichts der Kleinteiligkeit des dezentralen PV-Ausbaus und des Wettbewerbs bei der PV-Projektentwicklung keine realistische Option.

- Bei der **Windkraft** gibt es im Münchner Stadtgebiet keine relevanten Potenziale, in Bayern sind aufgrund der 10H-Regelung die Potenziale ebenfalls stark beschränkt. Bei der **Biomasse** gibt es weder lokal noch regional absehbare Potenziale zur erheblichen Steigerung der produzierten Strommenge. Für die **Wasserkraft** gibt es regional begrenzte Potenziale, die bereits teilweise realisiert werden. Bei der **Geothermie** bestehen erhebliche Potenziale zur energetischen Nutzung – allerdings ginge eine Verstromung zu Lasten der Ziele zur CO₂-Neutralität der Fernwärme bis 2040.
- Mit den derzeit bekannten bzw. absehbaren Technologien wird München daher – wie andere Großstädte – **auch langfristig auf hohe Stromimporte** und auf große Speicherkapazitäten außerhalb der Städte angewiesen bleiben. Gleichwohl bestehen im Bereich der Aufdach-PV noch relevante mittelfristige Potenziale zum lokalen Ausbau und im Bereich Freiflächen-PV Potenziale zum regionalen Ausbau von Erzeugungskapazitäten der SWM.
- Im Vergleich zur Stromerzeugung hat die **Wärmeerzeugung** mit erneuerbaren Energien im Hinblick auf die lokale Erzeugung eine höhere Bedeutung, weil erneuerbare Wärme (mit Ausnahme von Biomasse) nicht überregional transportiert werden kann. Vor diesem Hintergrund erscheint die Differenzierung der SWM schlüssig, sich beim Strom vor allem auf die Standorte mit den besten Bedingungen zu konzentrieren, aber bei der Wärme auf das lokale Potenzial zu setzen. Der lokale Ausbau erneuerbarer Wärmegewinnung sollte entsprechend **mit hoher Priorität** weiterverfolgt werden.

Handlungsoptionen zur Fortsetzung der Ausbauoffensive

- Bei der Untersuchung der Frage, inwieweit für die Vollendung der Ausbauoffensive eine veränderte Verteilung der Investitionen zwischen lokalen und regionalen sowie internationalen Projekten sinnvoll ist, sind **verschiedene Zieldimensionen** zu beachten.
- Neben wirtschaftlichen und klimapolitischen Zielen hat die Energiewende auch eine **kulturelle Dimension**: Sie wird teilweise nicht allein als Projekt zur möglichst kosteneffizienten Dekarbonisierung der Energieversorgung verstanden, sondern auch als Mittel zur Dezentralisierung und „**Demokratisierung**“ der Energieversorgung. Es gibt daher teilweise eine Erwartung insbesondere an kommunale Unternehmen, lokal verfügbare und wirtschaftliche Potenziale zur erneuerbaren Stromerzeugung mit hoher Priorität zu entwickeln.
- Aus **klimapolitischer** Sicht ist ein **möglichst schneller Ausbau** der erneuerbaren Energien wichtig, unabhängig vom Ort ihrer Aufstellung. Eine Begrenzung der SWM-Investitionen auf die nur eingeschränkt vorhandenen lokalen Potenziale wäre klimapolitisch daher kontraproduktiv.

- Aus **wirtschaftlicher** Sicht müssen Investitionen in erneuerbare Energien für Stadtwerke unabhängig vom Ort der Realisierung rentabel sein. Nur mit rentablen Projekten können Finanzmittel für weitere, anschließende Projekte in den Ausbau erneuerbarer Energien (ggf. auch renditeschwächere Projekte) und neue Geschäftsmodelle erwirtschaftet werden.
- Das technische, wirtschaftliche, akzeptable und das umsetzbare Potenzial zur lokalen Stromerzeugung auf Basis erneuerbarer Energien können von kommunalen Stadtwerken kaum beeinflusst werden. Jedoch können **Stadtwerke** – in einem quantitativ überschaubaren Rahmen – dazu **beitragen, das faktisch realisierbare Potenzial stärker auszuschöpfen** (zu den Potenzialbegriffen siehe unten D.1).
- Eine mögliche Rolle der SWM beim **Ausbau von lokalen PV-Erzeugungskapazitäten** könnte darin bestehen, gemeinsam mit der Landeshauptstadt München eine **aktivierende Funktion** gegenüber den Gebäudeeigentümern einzunehmen und durch die Vermarktung niedrigschwelliger Produkte, wie z.B. die bereits angebotenen Produkte M-Solar, M-Solar Plus und Sonnenbausteine, zu einer verstärkten Realisierung von PV-Anlagen in München beizutragen.
- Aufgrund der beschriebenen faktischen Grenzen beim lokalen Ausbau erneuerbarer Energien spielt der **überregionale Ausbau** erneuerbarer Energien eine fundamentale Rolle für die vollständige Erreichung der Ziele der Ausbauoffensive der SWM.
- Indem Anlagen dort in Europa entstehen, wo sie am **kostengünstigsten erneuerbaren Strom** produzieren können, wird **Strom aus fossilen und atomaren Kraftwerken am schnellsten verdrängt**. Für die Klimawirkung des Ausbaus erneuerbarer Energien bei Verdrängung fossiler Energien ist es unerheblich, wo dieser Umstieg stattfindet.
- Ein europaweit gestreuter EE-Ausbau mit unterschiedlichen Technologien verbessert die **Versorgungssicherheit**. Unregelmäßigkeiten des lokalen Wettergeschehens können ausgeglichen werden.

Ausblick

- Bis zum Erreichen der Ziele der AO EE erscheint es sinnvoll, neben den lokalen und regionalen Projekten der SWM auch weiter in internationale Projekte zu investieren, da die verbleibenden Kapazitäten mangels ausreichend kurzfristig verfügbarer regionaler Potenziale voraussichtlich auch außerhalb der Region entwickelt werden müssen.
- Mittelfristig wird der Strombedarf Münchens durch die Bevölkerungsentwicklung, die sukzessive Elektrifizierung des Verkehrs, der dezentralen Wärmezeugung sowie zahlreicher Industrieprozesse wahrscheinlich ansteigen, so dass zum Erreichen der von der AO EE angestrebten ausgeglichenen Erzeugerbilanz voraussichtlich noch weitere erneuerbare Erzeugungskapazitäten errichtet werden müssen.
- Sobald auch dieser gegenüber dem heutigen Stand erhöhte Strombedarf von den SWM mit eigenen Anlagen gedeckt werden kann und damit die Ziele der AO EE erreicht sind, stellt sich die Frage, inwieweit die SWM weiter in den Ausbau der erneuerbaren Energien



investieren sollen. Aus Sicht des Klimaschutzes wäre ein fortgesetztes Engagement der SWM im Rahmen der kommunalrechtlichen Möglichkeiten sinnvoll.

- Es wird empfohlen, dass die SWM vor diesem Hintergrund ihr Portfolio an erneuerbaren Energien weiterentwickeln, fortlaufend überprüfen und optimieren im Hinblick auf die Risikostreuung, Wirtschaftlichkeit und Regionalisierung, um so durch Erneuerung und stetige Optimierung des Anlagenparks dauerhaft und nachhaltig eine Erzeugungsposition in Höhe des Münchner Strombedarfs aus erneuerbaren Energien zu halten.
- Soweit zukünftig profitable regionale Projekte von den SWM entwickelt oder akquiriert werden können, sollten die SWM diese Chancen zur Regionalisierung nutzen. Eine solche Strategie ist jedoch davon abhängig, dass die politischen Rahmenbedingungen künftig ausreichend profitable regionale Projekte ermöglichen.
- Es wird angeregt, gemeinsam mit der Gesellschafterin Möglichkeiten zu diskutieren und voranzutreiben, um einen möglichst großen Anteil des lokalen Potenzials auszuschöpfen.



B. Herausforderungen der Dekarbonisierung urbaner Energieversorgung

München steht – wie alle europäischen Großstädte – vor der Herausforderung, innerhalb weniger Jahrzehnte aus der Verbrennung fossiler Brennstoffe nahezu vollständig auszusteigen. Die heutige Abhängigkeit von der Verbrennung großer Mengen importierter fossiler Brennstoffe soll beendet werden, um einen wichtigen Beitrag zum Erreichen der Klimaneutralität und damit zur Begrenzung der globalen Erderhitzung zu leisten.

Die Stadtwerke München (SWM) als kommunaler Energieversorger verstehen sich dabei als zentraler Akteur für die Energiewende der Landeshauptstadt München. Bereits in den Jahren 2008 und 2009 haben sich die SWM mit der „Ausbauoffensive Erneuerbare Energien“ das Ziel gesetzt, bis 2025 so viel Strom aus regenerativen Energien zu erzeugen, wie ganz München benötigt. 2012 wurde sie mit der Fernwärme-Vision um einen entscheidenden Baustein erweitert: Bis 2040 wollen die SWM den Münchner Bedarf an Fernwärme CO₂-neutral decken.¹

Gut zehn Jahre nach dem Start der Ausbauoffensive stellen die SWM die Frage nach einer Zwischenbilanz. Dabei soll es nicht nur um eine Bilanzierung des Erreichten gehen, sondern auch um die Frage, inwieweit die Umsetzung der Ausbauoffensive neu justiert werden soll. Anlass hierfür ist die verschiedentlich geäußerte Kritik, wonach im Vergleich zu den lokalen Projekten ein zu hoher Anteil der Investitionen der SWM für erneuerbare Energien im Ausland getätigt werde. Diese von den SWM beauftragte Studie geht beiden Fragen nach:

- Wo stehen die SWM bei der Erreichung der Ziele der Ausbauoffensive?
- Inwieweit ist für die Vollendung der Ausbauoffensive eine veränderte Verteilung der Investitionen zwischen lokalen, überregionalen und internationalen Projekten sinnvoll?

An diesen Leitfragen orientiert sich auch die Gliederung dieser Studie:

In einem ersten Teil (Kapitel C.) wird eine Zwischenbilanz gezogen. Dabei werden sowohl die lokalen Investitionen in erneuerbare Energien wie auch die überregionalen und internationalen Projekte dargestellt.

Im zweiten Teil (D.) wird anhand einer Auswertung vorhandener Studien untersucht, inwieweit Anlagen zur Erzeugung erneuerbarer Energien in München oder zumindest in Bayern ausreichend Strom für eine bilanzielle Vollversorgung Münchens bereitstellen könnten.

Im Zentrum des dritten Teils der Studie (E.) steht eine Auseinandersetzung mit den Forderungen nach einer stärkeren Gewichtung von Investitionen in die Erzeugung regenerativer Energien an lokalen und regionalen Standorten. Vor dem Hintergrund der seit 2009 drastisch veränderten Rahmenbedingungen erfolgt eine fachliche Einordnung der lokalen und regionalen Potenziale sowie der überregionalen und internationalen Investitionstätigkeit in den Kontext der europäischen Energiewende.

¹ Soweit Informationen die SWM betreffen und keine weitere Quelle angegeben ist, stammen sie direkt von den SWM.



C. Zwischenbilanz des Ausbaus Erneuerbarer Energien durch die SWM

Im Jahr 2008 haben die SWM die „Ausbauoffensive Erneuerbare Energien“ gestartet. Vorausgegangen war ein Stadtratsbeschluss, wonach die Stromerzeugung aus regenerativen Energien bis zum Jahr 2020 auf 20 Prozent des Stromverbrauchs in München gesteigert werden soll. Aufgrund eines weiteren Stadtratsbeschlusses haben die SWM die Ökostrom-Zielvorgaben bereits in 2009 deutlich erhöht: Ziel der SWM ist seitdem, so viel Strom aus regenerativen Energien zu erzeugen, dass bis zum Jahr 2025 alle Haushalte und Unternehmen rechnerisch zu 100% versorgt werden könnten. Der heutige – und auch für das Jahr 2025 erwartete – Stromverbrauch in München beträgt rund 7,2 TWh. Für die Zielerreichung wurden seitens der SWM insgesamt € 9 Mrd. Budget eingeplant.

Mit dieser Zielsetzung haben die SWM im bundesweiten und internationalen Vergleich seinerzeit eine Vorreiterrolle unter den Metropolen eingenommen. Vergleichbare Zielsetzungen aus anderen deutschen Metropolen existierten seinerzeit und auch in den Folgejahren – soweit ersichtlich – nicht.

Im folgenden Kapitel geht es zunächst darum, die Zielsetzung der Ausbauoffensive energiewirtschaftlich näher einzuordnen. Im Anschluss wird im Einzelnen analysiert, inwieweit die SWM der Zielerreichung durch regionale und internationale Projekte zur Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien bislang nähergekommen sind.

C.1 Energiewirtschaftlicher Kontext der Ausbauoffensive

Die Zielsetzung der SWM bezieht sich auf eine ausgeglichene Bilanz zwischen der Erzeugung von Strom aus erneuerbaren Energien und dem Stromverbrauch in München. Dabei kommt es weder auf den Ort der Erzeugung an noch auf die Lieferung des Stroms an Verbrauchsstellen in München. Diese rein bilanzielle Betrachtung ohne konkrete Zuordnung der Stromerzeugung zu Münchner Stromkunden ist den besonderen Eigenschaften des Handels mit Strom geschuldet. Dabei kommen folgende Faktoren zum Tragen:

- Eine **physische Belieferung** von bestimmten Stromkunden aus bestimmten, vom Verbrauchsort entfernten Stromquellen ist aus physikalischen Gründen praktisch unmöglich: Strom sucht sich stets vom Erzeugungsort über das Stromnetz den Weg des geringsten Widerstands zu einem Stromverbrauch. Da in dem weit verzweigten Stromnetz permanent Änderungen in der Stromerzeugung sowie beim Stromverbrauch auftreten, kann weder im Vorwege bestimmt noch im Nachhinein festgestellt werden, welchen Weg die Elektronen im Stromnetz zu einem Verbrauchsort nehmen. Auch bei Stromquellen, die im Münchner Umland betrieben werden, ist nicht garantiert, dass der Strom in München verbraucht wird.
- Eine **rechtlich-wirtschaftliche Belieferung** aller Münchner Verbrauchsstellen durch die SWM ist aufgrund der Liberalisierung des Strommarktes in Deutschland ausgeschlossen. Jeder Stromkunde kann sich seinen Stromanbieter und auch die Qualität seiner Stromlieferung (Graustrom oder Ökostrom) selbst aussuchen. Zwar sind die SWM der mit

Abstand größte Stromlieferant in München, jedoch beliefern sie bei weitem nicht alle privaten und gewerblichen Kunden der Stadt.

- Eine **Zuordnung der grünen Stromqualität** des Stroms aus allen von den SWM betriebenen regenerativen Strom-Erzeugungsanlagen über Herkunftsnachweise ist u.a. aus rechtlichen Gründen nicht möglich. Die „grüne Eigenschaft“ von Strom aus Anlagen, die eine Vergütung nach dem EEG erhalten, wird über die rechtsverbindlichen Regeln zur Stromkennzeichnung allen EEG-Umlagezahlern zugeordnet und steht zur Belieferung als Ökostrom nicht mehr zur Verfügung.

Das Ziel der Ausbauoffensive verknüpft daher ohne physikalischen Bezug, sondern im Wege einer bilanziellen Zuordnung die Menge des Münchner Stromverbrauchs mit der von den SWM erzeugten Strommenge aus erneuerbaren Energien.

C.2 Regionale Projekte

Tabelle 1 gibt einen Überblick über die in Betrieb befindlichen erneuerbaren Stromerzeugungsanlagen der SWM in der Metropolregion München.

Auf den ersten Blick fällt die große Bedeutung der Wasserkraft auf – fast drei Viertel des aus regenerativen Quellen erzeugten Stroms entfallen auf diesen Energieträger. Seit dem Beginn der industriellen Stromerzeugung in München im Jahr 1891 [Rotter 2018] wird die Wasserkraft u.a. durch die SWM kontinuierlich ausgebaut. Das geschieht durch die Ertüchtigung bestehender Anlagen (z.B. Isarwerk 2 im Jahr 2010 und Isarwerke 3 in 2017) sowie durch den Bau neuer Wasserkraftwerke. In den Zeitraum der AO EE fallen drei Neubauten durch die SWM: Praterkraftwerk (2010), Sempt (2011) und Floriansmühle (2019).

Die zweitgrößte Quelle von erneuerbarem Strom im lokalen Erzeugungspark der SWM ist mit einem Anteil von gut 21% die tiefe Geothermie. Diese Technologie nutzen die SWM je nach Bohrtiefe und entsprechender Temperatur des geförderten Wassers für die Stromerzeugung (Kraftwerke Dürrnhaar und Kirchstockach), die Wärmeengewinnung (Heizwerke Riem und Freiham, siehe auch Abschnitt B.2) oder für beide Energieformen gemeinsam in Kraft-Wärme-Kopplung (Sauerlach). Auch bei der Geothermie setzen die SWM beim Ausbau der Erzeugungskapazitäten auf eine Kombination von eigenen Neubauprojekten (Sauerlach 2014 fertiggestellt) und Zukauf fertiger Anlagen (Dürrnhaar und Kirchstockach 2016 übernommen).

Einen nennenswerten Anteil der EE-Stromproduktion liefert außerdem die Biomasse: In 2019 übernahmen die SWM die BioEnergy Taufkirchen, eine Anlage südlich von München, die aus Biomasse sowohl Strom als auch Wärme generiert.

Aus der Windenergie hingegen kommt bisher kein maßgeblicher Beitrag. Der bislang einzigen Windenergieanlage (WEA) auf dem Münchner Stadtgebiet in Fröttmaning aus dem Jahr 1999 soll jedoch in den nächsten Jahren eine zweite, größere Anlage in unmittelbarer Nachbarschaft hinzugefügt werden, womit sich die lokale Stromerzeugung aus Windkraft dann verdreifachen dürfte.

Tabelle 1: Von SWM betriebene EE-Stromerzeugungsanlagen in der Region München

	Anlagen	Kapazität	Erzeugung 2019	Summe (Anteil) ²
Wasser	Maxwerk	0,4 MW	2,7 GWh	341,5 GWh (73,5%)
	Isarwerke	9,5 MW	52,2 GWh	
	Uppenbornwerke	43 MW	172,0 GWh	
	Leitzachwerke	99,5 MW	104,5 GWh	
	Hammer	0,02 MW	0,2 GWh	
	Forstenrieder Park	0,3 MW	1,0 GWh	
	Stadtbachstufe	0,05 MW	0,4 GWh	
	Praterkraftwerk ³	1,75 MW	6,1 GWh	
	Floriansmühle	0,07 MW	0,5 GWh	
	Deisenhofen	0,5 MW	1,7 GWh	
	Sempt	0,05 MW	0,1 GWh	
	Sauerbruchstraße	0,05 MW	0,2 GWh	
Geothermie	Sauerlach	5,3 MW	29,2 GWh	96,1 GWh (20,7%)
	Dürrnhaar	5,5 MW	34,7 GWh	
	Kirchstockach	5,5 MW	32,2 GWh	
Biogas / Biomasse	Michaelibad	0,4 MW	1,1 GWh	24,0 GWh (5,2%)
	Taufkirchen	5,0 MW	22,9 GWh	
Wind	Fröttmaning	1,5 MW	1,8 GWh	1,8 GWh (0,4%)
PV	32 einzelne PV-Anlagen	1,5 MW	1,6 GWh	1,6 GWh (0,3%)
Summe		179,9 MW	464,9 GWh	

Einen ebenfalls bislang sehr geringen Anteil steuert die Photovoltaik bei. Die SWM selbst betreiben aktuell 32 einzelne Dach-PV-Anlagen mit Peak-Leistungen zwischen 6 und knapp 300 kW, überwiegend auf eigenen Gebäuden wie z.B. Straßenbahndepots und Kraftwerken, aber auch auf öffentlichen Gebäuden wie Schulen. Bislang befinden sich weniger als 3% (ca. 1,5 MWp) der Münchner PV-Kapazität (63 MWp Ende 2018) in der Hand der SWM.

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass die SWM mit ca. 0,46 TWh Strom aus eigenen regionalen Anlagen in 2019 etwa 6% der insgesamt angestrebten erneuerbaren Stromerzeugung i.H.v. 7,2 TWh erreicht haben.

² Dargestellt ist der Anteil an der Produktion aus erneuerbaren Energien der SWM.

³ Das Praterkraftwerk gehört den SWM zu 70%, und nur dieser Anteil ist hier berücksichtigt.

Exkurs: Fernwärme-Vision 2040

Auf der regionalen Ebene tritt - neben dem Ausbau erneuerbarer Stromkapazitäten – für die SWM der Ausbau erneuerbarer Fernwärme in den Vordergrund. Die SWM haben die Fernwärme-Vision 2040 entwickelt, wonach bis 2040 der gesamte Fernwärmebedarf der Landeshauptstadt CO₂-neutral gedeckt werden soll. Derzeit beträgt der Fernwärmeabsatz rund 4 TWh jährlich [Öko-Institut 2017] – zukünftig soll das Fernwärmenetz weiter ausgebaut und mit den Netzen einiger Nachbargemeinden verbunden werden.

Die SWM planen, zur Umsetzung der Fernwärme-Vision 2040 in erster Linie die ausgesprochen guten Potenziale der tiefen Geothermie im Alpenvorland [s. z.B. FfE 2018a, Öko-Institut 2017] zu nutzen, der erste Standort Riem ist bereits seit 2004 in Betrieb (siehe *Tabelle 2*). 2020 soll eine vierte Anlage mit 50 MW Leistung am Heizkraftwerk Süd fertiggestellt werden und die erneuerbare Wärmeerzeugungskapazität der SWM verdoppeln. Außerdem sollen die Geothermieanlagen Dürrnhaar und Stockach, die bislang nur Strom produzieren, spätestens nach Auslaufen der EEG-Vergütung zu reinen Wärmeanlagen umgerüstet werden. Mit den Nachbargemeinden Grünwald und Pullach wurden Kooperationsvereinbarungen zur Zusammenlegung der Wärmenetze und zur gemeinsamen Suche nach potenziellen neuen Geothermiestandorten getroffen. Abgerundet wird die erneuerbare Fernwärmeerzeugung der SWM durch die Bioenergieanlage Taufkirchen, die 2019 übernommen wurde (Verbrennung von Holzhackschnitzeln).

Tabelle 2: Von SWM betriebene EE-Wärmeerzeugungsanlagen in der Region München

	Anlagen	Kapazität (MW)	Erzeugung 2019 (GWh)	Summe (Anteil)
Geothermie	Riem	9	75,4	176,8 GWh (54,1%)
	Freiham	11	92,5	
	Sauerlach	8	8,9	
Biomasse	Taufkirchen	20	150	150 GWh (45,9%)
Summe		48	326,8	

C.3 Internationale und überregionale Projekte

Über die Region München hinaus investieren die SWM in ein breites Portfolio an EE-Stromerzeugungsanlagen. Tabelle 3 gibt eine Übersicht; einige der hier genannten Anlagen befinden sich derzeit noch im Bau, z.B. der Windpark Jasna in Polen. Diese Breite bezieht sich dabei einerseits auf die Erzeugungstechnologien – Windkraft onshore und offshore, PV-Freiflächenanlagen und ein Parabolrinnenkraftwerk –, andererseits aber auch auf die geographische Streuung. Die direkt im Besitz der SWM befindlichen Anlagen sind auf sechs europäische



Länder verteilt. Außerdem halten die SWM 33% an der wpd europe GmbH, mit Anlagen in derzeit fünf europäischen Ländern.

Tabelle 3: EE-Stromerzeugungsanlagen der SWM-Beteiligungen in Europa (Stand: Mai 2020)

Anlagen	Land	Kapazität (in MW)	Erzeugung (in GWh)
Wind offshore	Deutschland	381,8	1.603
	Wales	172,8	521
Wind onshore	Deutschland	194,1	312
	Frankreich	32,5	59
	Norwegen	417,7	1.340
	Polen	132	400
	Schweden	144	389
Solar	Deutschland	13,1	15
	Spanien	24,5	83
über Beteiligung (33%) an wpd europe:			
Wind onshore	Belgien, Frankreich, Kroatien, Polen, Spanien, Schweden, Finnland	266,1	757
Solar	Italien und Portugal	1,7	3
Summe		1.780	5.482

In der Tabelle nicht genannt sind einige WEA, die die SWM über ihre 100%ige Tochter Hanse Windkraft GmbH betreibt. Das seit März 2018 tätige Unternehmen kauft bestehende Windparks oder Einzelanlagen kurz vor Ende der Förderung, um sie dann über den Förderzeitraum hinaus weiter zu betreiben. In den ersten neun Monaten der Geschäftstätigkeit wurden 16 WEA gekauft.⁶

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass die SWM aktuell mit ca. 5,5 TWh/a Strom aus eigenen überregionalen und internationalen Anlagen etwa 75% der insgesamt angestrebten erneuerbaren Stromerzeugung i.H.v. 7,2 TWh/a erreicht haben.

C.4 Ergebnis und Bewertung

Zum heutigen Stand beläuft sich die Jahresproduktion aus bestehenden oder im Bau befindlichen EE-Anlagen der SWM auf rund 6,0 TWh; dies entspricht rund 80% der angestrebten jährlichen Produktion i.H.v. 7,2 TWh. Dabei hat die Stromerzeugung aus Wind den weitaus größten Anteil, gefolgt von Wasser, Solar und Geothermie (siehe Tabelle 4). Mit

⁴ Die Werte für ‚Kapazität‘ und ‚Erzeugung‘ beziehen sich ggfs. auf den Beteiligungsanteil der SWM an den jeweiligen Anlagen.

⁵ Bei Anlagen, die 2019 noch nicht (voll) in Betrieb waren, beziehen sich die Werte auf die prognostizierten Erzeugungsmengen.

⁶ Siehe Süddeutsche Zeitung vom 29.9.2019, www.sueddeutsche.de/muenchen/stadtwerke-muenchen-solarparks-1.4620372



knapp 5,5 TWh/a überwiegt deutlich die Produktion aus Anlagen außerhalb der Region München. Innerhalb der Region München werden mit Anlagen der SWM jährlich rund 0,46 TWh/a erzeugt, was ca. 6 % des Strombedarfs der Stadt entspricht.

Table 4: EE-Technologien und ihr Anteil an der Zielerreichung

Technologie	Erzeugung 2019	Anteile
Wind	5,383 TWh	90,5%
Wasser	0,342 TWh	5,8%
Solar	0,103 TWh	1,7%
Geothermie	0,096 TWh	1,6%
Biogas / Biomasse	0,024 TWh	0,4%
Summe	5,947 TWh	

Somit wurden innerhalb von elf Jahren seit Beginn der Ausbauoffensive über 80% der angestrebten Zielmenge erfüllt. Für die restlichen rund 20% verbleiben bis 2025 noch rund fünf Jahre Zeit.

Der Faktor Zeit spielt aus klimapolitischer Sicht eine herausragende Rolle, weil das global zur Einhaltung der Klimaziele noch zur Verfügung stehende Emissionsbudget mit jeder Verzögerung der Emissionsreduzierung schneller aufgezehrt wird – und anschließend umso drastischere Maßnahmen erforderlich werden, um die Klimaziele noch einhalten zu können.

Das hohe Tempo bei der Realisierung der Ausbauoffensive ist daher klimapolitisch ein großer Vorteil der von den SWM gewählten Umsetzung im Ausland. Auf Münchner Stadtgebiet wäre ein vergleichbar schneller Ausbau erneuerbarer Energien mangels realisierbarer Potenziale (siehe dazu näher gleich unten) nicht möglich gewesen. Grundsätzlich gilt dies auch für eine Umsetzung in Bayern: Zwar hat es seit 2007 ein hohes Wachstum der PV (und zwischenzeitlich auch der Windenergie) im Freistaat gegeben, jedoch wäre es angesichts des hohen Wettbewerbs unter Projektentwicklern und aufgrund der bereits angesprochenen Kleinteiligkeit von PV-Projekten kaum möglich gewesen, dass die SWM in Bayern in demselben Zeitraum einen ähnlich hohen Ausbau wie überregional und im Ausland hätten erreichen können.



D. Möglichkeiten und Grenzen der lokalen Energiewende durch die SWM

Der hohe Anteil der Investitionen der SWM in Anlagen zur Erzeugung erneuerbarer Energien im Ausland stößt teilweise auf Kritik. Von einigen Interessensgruppen und engagierten Bürgerinnen und Bürgern wird gefordert, dass die Stadtwerke statt des Engagements im Ausland deutlich stärker in Anlagen in München oder zumindest in der Region investieren sollten.

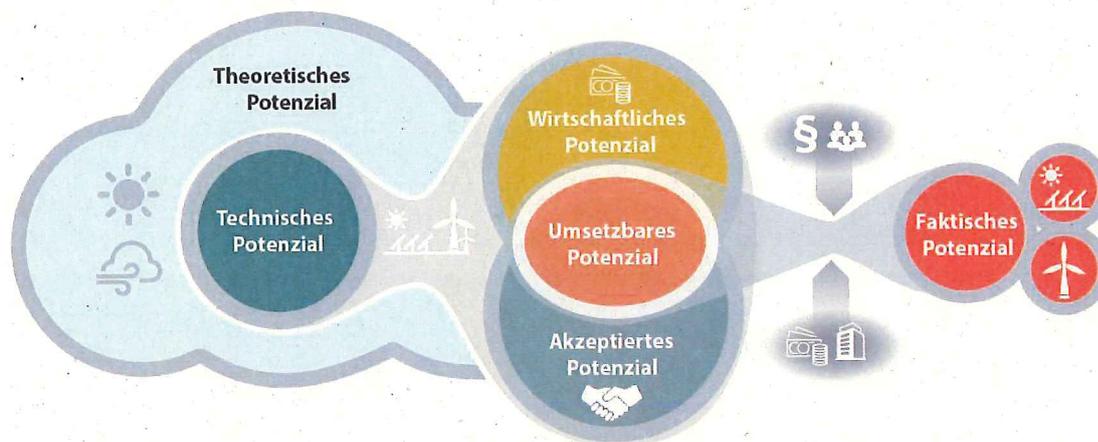
Eine verstärkte Umsetzung der Ausbauoffensive in München – oder zumindest in Bayern – setzt voraus, dass es überhaupt ein entsprechendes Potenzial für tragfähige Investitionen in Anlagen zur Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien gibt. Dabei soll auch untersucht werden, inwieweit mit lokalen oder regionalen Anlagen eine bilanzielle Versorgung Münchens aus erneuerbaren Energien möglich wäre. Da im Rahmen dieser Kurzstudie keine eigenen Daten erhoben werden können, erfolgt die Potenzialabschätzung im Wege einer Auswertung verschiedener einschlägiger Studien zu den Potenzialen und somit zur Möglichkeit der Selbstversorgung mit Strom aus erneuerbaren Energien.⁷

D.1 Grundlagen und Einordnung der Potenzialanalyse

Einleitend dazu ist vorab auf den zentralen Begriff des „Potenzials“ einzugehen, welcher unterschiedlich verwendet wird und dessen Verständnis deshalb unerlässlich für die Interpretation der Studienergebnisse ist. Abbildung 1 zeigt schematisch die Hierarchie der Potenzialbegriffe.

⁷ Zu den Möglichkeiten der CO₂-Einsparung und der Vollversorgung im Wärmesektor siehe Forschungsgesellschaft für Energiewirtschaft [FFE 2018a].

Abbildung 1: Schematische Darstellung verschiedener Potenzialbegriffe



- Als **theoretisches Potenzial** gilt im vorliegenden Zusammenhang diejenige Energiemenge, die innerhalb eines Zeitraumes und einer geographischen Einheit anfällt, unabhängig von den Möglichkeiten ihrer Nutzbarmachung.
- Das **technische Potenzial** ist dann derjenige Teil des theoretischen Potenzials, der sich mithilfe der angenommenen Technologien (z.B. PV-Anlagen mit einem gewissen Wirkungsgrad) in Nutzenergie (hier Strom) umwandeln lässt.
- Das **wirtschaftliche Potenzial** umfasst nur solche Standorte, die für einen Investor zur Stromproduktion hinreichend attraktiv sind (z.B. ausreichende örtliche Windgeschwindigkeit für Windkraftanlagen). Die Größe des wirtschaftlichen Potenzials ist von vielen externen Faktoren abhängig und kann sich dementsprechend mit Änderung dieser Rahmenbedingungen verändern:
 - **Technologische Entwicklung:** Durch die Weiterentwicklung von Technik können vormals unwirtschaftliche Projekte in die Wirtschaftlichkeit wachsen. Beispielsweise waren sowohl die Photovoltaik als auch die Windkraft noch im vergangenen Jahrzehnt Techniken, die nur mit hohen öffentlichen Zuschüssen wirtschaftlich betrieben werden konnten. Zukünftig könnte der weitere technische Fortschritt z.B. auch gebäudeintegrierte PV auf Fassaden oder in Fensterflächen wirtschaftlich werden lassen, z.B. durch günstigere Produktionsverfahren.
 - **Ausschreibungsmengen:** Ein maßgeblicher rechtlich determinierter Wirtschaftlichkeitsfaktor ist z.B. für Windkraftanlagen, große PV-Anlagen sowie Biogasanlagen die Menge der jährlich im Wege einer Auktion nach dem EEG ausgeschriebenen Kapazitäten. Je größer die ausgeschriebene Menge ist, desto mehr Standorte profitieren von einer Marktprämie und desto mehr Anlagen können wirtschaftlich betrieben werden.

- **Regulatorische und durch den Markt bedingte Veränderungen der Erlöse:** Eine weitere wichtige Einflussgröße sind die Marktbedingungen und preislichen Regelungen, welche die Rentabilität der Stromproduktion beeinflussen. Anlagen, die ohne EEG-Förderung realisiert werden sollen, sind auf ein Modell der Eigenstromversorgung oder auf den Verkauf im Rahmen eines Stromliefervertrages angewiesen. Für Anlagen der Eigenstromversorgung ist die Belastung mit Abgaben und Umlagen von entscheidender Bedeutung.
- Ein weiterer Aspekt können hohe **Transaktionskosten und Risiken** aufgrund rechtlicher Regelungen sein (z.B. Komplexität und steuerliche Risiken für Immobilienunternehmen bei EEG-Mieterstrommodellen).
- Ein weiterer Teil der Standorte ist aufgrund rechtlicher Regeln, die einer begrenzten Akzeptanz Ausdruck verleihen, nicht umsetzbar. Dies betrifft insbesondere die Windenergie sowie Freiflächen-Photovoltaik. Das **akzeptierte Potenzial** bezeichnet daher solche Standorte, auf denen keine rechtlichen oder sozialen Normen einer Realisierung der Erzeugungsanlagen entgegenstehen.
- Die Schnittmenge des wirtschaftlichen und des sozial akzeptierten Potenzials bildet schließlich das **umsetzbare Potenzial**.

Das umsetzbare Potenzial ist wiederum nicht gleichzusetzen mit der Menge der tatsächlich zu erwartenden Realisierung. Die faktisch mögliche Umsetzung kann aufgrund verschiedener Faktoren deutlich vom „umsetzbaren Potenzial“ abweichen.

Eine **Einschränkung des umsetzbaren Potenzials** kann sich z.B. aus **Nutzungskonkurrenzen** zur Stromerzeugung ergeben:

- **Solarenergie:** Auf den meisten Dächern ist es sowohl technisch als auch wirtschaftlich und rechtlich möglich, entweder eine Photovoltaikanlage oder eine Solarthermie-Anlage zu betreiben. Der begrenzte Platz auf den Dächern kann jedoch nur einmal genutzt werden. Im Hinblick auf den deutlich höheren Energieertrag pro Quadratmeter Dachfläche könnte es daher aus energiewirtschaftlicher Sicht sinnvoll sein, zumindest einen Teil der Dachfläche mit Solarthermie zu belegen, was wiederum das Potenzial für die PV-Stromerzeugung senkt. Darüber hinaus gibt es im stark verdichteten Stadtraum Münchens noch weitere Nutzungskonkurrenzen, wie etwa Dachbegrünung oder Nutzung als Freifläche (Dachterrasse).
- **Biomasse:** Diese kann neben der Verstromung zur Erzeugung von Wärme oder von Biokraftstoffen oder als erneuerbarer Grundstoff (z.B. als Mineralöl-Ersatz in der chemischen Industrie) eingesetzt werden. Je nach Ausgestaltung der Rahmenbedingungen in den verschiedenen Märkten werden entsprechend große Biomasseströme in anderen Nutzungspfaden verwendet und senken damit das Potenzial zur Stromerzeugung.

Eine weitere, begrifflich schwer fassbare Einschränkung ergibt sich aus der eingeschränkten **faktischen Realisierbarkeit** mancher umsetzbarer Potenziale innerhalb begrenzter Zeiträume. So ist es heute auf den allermeisten Dächern in Deutschland technisch, rechtlich und wirtschaftlich möglich, eine PV-Anlage zu errichten und zu betreiben. Trotzdem ist der Anteil der mit PV-genutzten Dachflächen noch immer äußerst gering. Die Gründe für die ausbleibende Hebung der vorhandenen umsetzbaren Potenziale sind vielfältig: Mangelndes Interesse oder ästhetische Ablehnung durch die Hauseigentümer, das Scheuen der Mühe und des Zeitaufwandes für die Planung und den Kauf der Anlage, der Mangel an leicht verfügbaren Fachkräften zur Realisierung, schwierige Eigentumsverhältnisse und Entscheidungsprozesse (z.B. in WEGs), das Offenhalten von Optionen zur anderweitigen späteren Dachnutzung (z.B. Aufstockung von Gebäuden), nicht ausreichende Statik und zahlreiche weitere Gründe sorgen in vielen Fällen dafür, dass umsetzbare Potenziale bisher nicht realisiert wurden und – bei gleichbleibenden Rahmenbedingungen – auch zukünftig nicht realisiert werden.

Wir halten es vor diesem Hintergrund für geboten, die Debatte um den neuen Begriff des **faktischen Potenzials** zu erweitern. Hiermit ist der Anteil des umsetzbaren Potenzials gemeint, der unter Einbeziehung der faktisch vorhandenen Hindernisse und Transaktionskosten tatsächlich gehoben werden kann. Wie auch die Begriffe des „wirtschaftlichen Potenzials“, des „akzeptierten Potenzials“ sowie des „umsetzbaren Potenzials“ ist das faktische Potenzial keine statische Größe, sondern eine von externen Einflüssen beeinflusste dynamische Größe.

Eine **Erhöhung des Anteils der faktisch realisierten Projekte** kann sich durch verschiedene Faktoren ergeben:

- **Rechtliche Nutzungspflichten:** Beispielsweise wurde in Baden-Württemberg durch die Einführung einer landesrechtlichen Pflicht zur Nutzung von erneuerbarer Wärme der Anteil der Solarthermie und auch der PV (als alternative gesetzliche Erfüllungsoption) in den Bestandsgebäuden signifikant erhöht [Umweltministerium BW 2018]. Die Einführung einer verpflichtenden Nutzung von Photovoltaik auf neuen Dachflächen sowie auf zu sanierenden Dächern wird aktuell in verschiedenen Bundesländern (darunter Bayern) politisch diskutiert.
- **Soziale Veränderungen:** Auch gesellschaftliche Veränderungen des ästhetischen Empfindens sowie der sozioökonomischen und politischen Einstellungen können zu Veränderungen des faktisch realisierbaren Potenzials führen. So spielt ein verändertes Bewusstsein des Handlungsdrucks beim Klimaschutz voraussichtlich eine Rolle in der Bereitschaft zur Umsetzung konkreter Klimaschutzmaßnahmen. Dies kann auch zu kollektiven Veränderungen führen: In manchen Nachbarschaften ist das Phänomen zu beobachten, dass von der Realisierung einiger PV-Anlagen eine Art Dominoeffekt ausgeht – nachdem einige Eigentümer vorangehen, ziehen viele andere nach.
- **Verringerung der Transaktionskosten:** Dienstleister und neue Geschäftsmodelle können dafür sorgen, die Transaktionskosten für die Beschaffung von PV-Anlagen zu senken. Dies gilt beispielsweise für Informationskampagnen gegenüber privaten Gebäudeeigentümern

sowie PV-Pachtmodelle, bei denen Stadtwerke den größten Teil der Abwicklung der Investition und des Betriebs der Anlage übernehmen.

- Auch ein **besonderes Engagement** einzelner Akteure, z.B. von Stadtwerken oder Kommunen, kann zu einer erhöhten Abschöpfung des umsetzbaren Potenzials beitragen. So können beispielsweise Kampagnen zur strukturierten Untersuchung öffentlicher Gebäude für PV dazu führen, umsetzbare Potenziale zu erkennen und zu implementieren.

Aus alledem wird deutlich, dass weder das „umsetzbare Potenzial“ noch das „faktische Potenzial“ statische Größen sind. Diese hängen vielmehr stark davon ab, wie sich die technologischen, regulatorischen und wirtschaftlichen Rahmenbedingungen entwickeln bzw. welche Annahmen dazu bei der Potenzialuntersuchung unterstellt werden.

D.2 Photovoltaik

Aus mehreren Studien ergibt sich übereinstimmend, dass das mit Abstand größte Potenzial Münchens zur Erzeugung erneuerbarer Energien in der Nutzung von Photovoltaik besteht. Pro Quadratmeter Modulfläche können in den sonnigeren Regionen Deutschlands mit heute üblichen Modulen ca. 150 kWh Strom pro Jahr erzeugt werden [Fraunhofer ISE 2019b].

Potenzial im Stadtgebiet München

Wie viel von diesem theoretischen Potenzial in München nutzbar gemacht werden kann, hängt von einer Vielzahl von Faktoren ab. Ende 2018 waren in München rund 63 MW PV-Leistung installiert. Tatsächlich produzierten die Münchner PV-Anlagen im Jahr 2018 ca. 49 GWh Strom [SWM 2019], also deutlich weniger als 1% des jährlichen Stromverbrauchs der Stadt.

Das Wachstum der installierten PV-Leistung in München verlief in den letzten Jahren unterschiedlich, insgesamt jedoch moderat. Schreibt man den in den vergangenen rund 20 Jahren zu verzeichnenden jährlichen Zubau in Höhe von durchschnittlich 3 bis 4 MW für die nächsten Jahre fort, so ergäbe sich auch für die kommenden Jahre kein signifikanter Beitrag der Photovoltaik zur Deckung des Strombedarfs der Landeshauptstadt.

Dieser empirisch nachweisbaren Entwicklung stehen die in verschiedenen Studien ermittelten Potenziale gegenüber, die in der Zukunft unter veränderten regulatorischen Rahmenbedingungen möglich erscheinen. Tabelle 5 gibt einen ersten Überblick über die nachfolgend etwas detaillierter vorgestellten Studien. Alle beziffern Potenziale der Photovoltaik (sowie teilweise auch anderer erneuerbarer Energien) innerhalb der Stadt oder der Region München. Bereits hieraus wird deutlich, wie stark sich die Studien unterscheiden – und dass die ermittelten Potenziale jeweils um ein hohes Vielfaches über dem aktuell in der Realität ausgeschöpften Potenzial liegen. Die oben beschriebenen Ursachen für die großen Unterschiede zwischen dem technischen Potenzial, dem umsetzbaren Potenzial und dem faktisch realisierbaren Potenzial kommen hier also besonders sichtbar zum Tragen. Den hier aufgeführten Studien liegen jeweils unterschiedliche Potenzialbegriffe zugrunde, sie sind deshalb nicht direkt vergleichbar. Darüber hinaus liegen den Studien auch unterschiedliche



Annahmen über die zukünftige Entwicklung regulatorischer Rahmenbedingungen oder technologischer Fortschritte zugrunde:

Tabelle 5: Übersicht von Studien zu PV-Potenzialen in München⁸

Studie		PV-Strom (GWh/a)
K.GROUP 2010	verfügbares Potenzial	700
	faktisches Potenzial innerhalb von 7 Jahren	300
Öko-Institut 2017 (Klimaneutralität-Szenario)	faktisches Potenzial bis 2030	200
	faktisches Potenzial bis 2050	500
FfE 2018b	technisches Potenzial	1.800
Tröndle et al. 2019	technisches Potenzial	5.000
<i>Zum Vergleich: tatsächlich realisiertes Potenzial 2018</i>		49

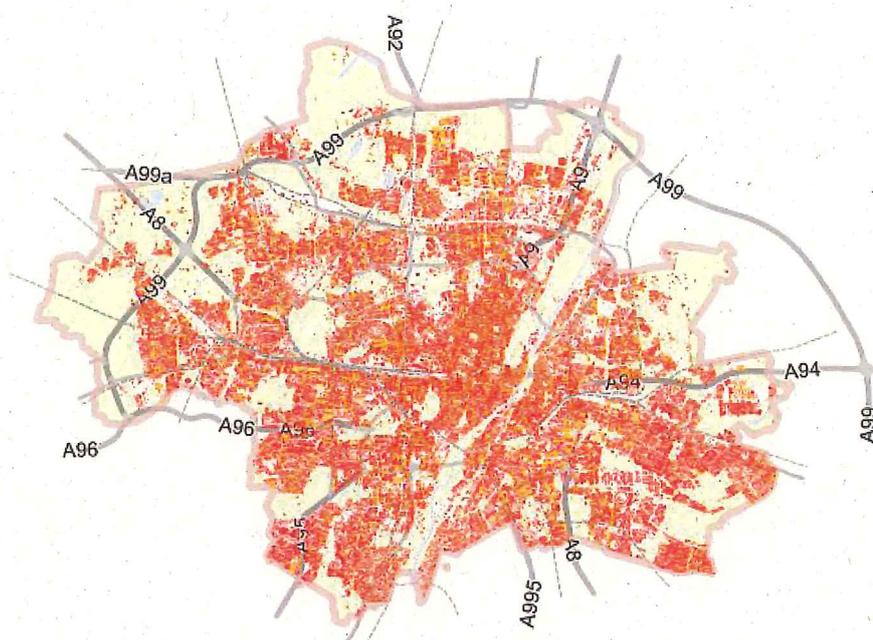
Im Jahr 2010 wurde von der Stadtparkasse München und den SWM eine Studie der K.GROUP [2010] beauftragt. Diese kommt unter Ausschluss von kleinen Dächern (Ein- und Zweifamilienhäusern) sowie von allen Dächern mit Ost-, West- oder Nordausrichtung auf ein technisch und wirtschaftlich verfügbares PV-Potenzial von knapp 700 MW. Von diesem Potenzial schätzt die Studie, seien innerhalb von sieben Jahren rund 300 MW im Rahmen einer offensiven „Solarinitiative“ umsetzbar, was in etwa 300 GWh Jahresertrag entspricht.⁹ In der Folge ist es der zur Umsetzung gegründeten Solarinitiative München GmbH & Co. KG, an der die SWM und die Landeshauptstadt München mehrheitlich beteiligt waren, mangels ausreichender wirtschaftlicher und weiterer Rahmenbedingungen nicht gelungen, im entsprechenden Umfang Projekte zu realisieren, so dass die Gesellschaft liquidiert wurde.¹⁰ Grundlage der Studie waren Daten aus Luftbilddaufnahmen, die das Referat für Umwelt und Gesundheit der LHM aufbereitet hat. Der 150.000 Gebäude umfassende Datensatz wird online als Solarpotenzialkarte visualisiert.

⁸ Eine von den SWM beauftragte Studie vom Öko-Institut [2007] ist hier nicht aufgeführt, da sie sich nicht mit dem Gesamtpotenzial der Photovoltaik im Stadtgebiet befasst, sondern mit Vorschlägen für das EE-Portfolio der SWM (Vorschlag seinerzeit: 9 GWh/a). Ebenfalls nicht hier dargestellt, jedoch später erläutert, ist eine allein auf das Segment „Mieterstrom“ bezogene Studie des DMB (2017), welche hierfür zu einem Potenzial von 200 MW kommt.

⁹ Die Studie geht von 1.000 Volllaststunden für Dach-PV in München aus. Da sich diese Annahme mit vielen weiteren Quellen deckt, wird sie im Folgenden beibehalten.

¹⁰ <https://www.photovoltaikeu/Archiv/Meldungsarchiv/article-623163-110949/solarinitiative-muenchen-wird-aufgeloest-.html>

Abbildung 2: Solarpotenzialkarte München



Quelle: Landeshauptstadt München, siehe <http://maps.muenchen.de/rgu/solarpotenzial>

Das Öko-Institut [2017] hat in einem Fachgutachten zu aktuellen und zukünftigen Klimaschutzanstrengungen der LHM zwar keine Potenziale des PV-Ausbaus in der Stadt ermittelt, aber doch verschiedene Ziel-Szenarien aufgestellt. Tabelle 6 fasst die Szenarien zusammen. Das ambitionierteste Szenario sieht eine PV-Stromerzeugung von 500 GWh im Jahr 2050 vor.

Tabelle 6: Szenarien zur PV-Stromerzeugung gemäß Öko-Institut [2017]

Szenario	2030	2050
Referenzszenario	94 GWh/a	150 GWh/a
Klimaschutz moderat	155 GWh/a	350 GWh/a
Klimaneutrales München	200 GWh/a	500 GWh/a

Eine Steigerung auf 200 GWh/a bis 2030 entspricht einer Vervielfachung gegenüber der heute produzierten Menge und würde einen Ausbau von ca. 150 MW voraussetzen, was einem jährlichen Zubau von 15 MW bis 2030 entspräche¹¹ und damit ca. eine Verfünffachung der

¹¹ Grobe Herleitung: Vom Ziel 200 GWh in 2030 werden derzeit 50 GWh/a erzeugt. Das erfordert einen Zubau von 150 GWh. Diese 150 GWh (= 150.000 MWh) entsprechen bei Annahme von 1 MWh pro 1 kWp einer zu installierenden Leistung von 150 MW. Verteilt auf 10 Jahre zwischen 2020 und 2030 entspricht dies einem durchschnittlichen Zubau von 15 MW pro Jahr.

bisherigen jährlichen Ausbaumenge erfordern würde, die in den vergangenen Jahren zwischen 2 bis 4 MW lag.

Während die oben genannten Studien sich damit befassen, welche Potenziale faktisch unter definierten regulatorischen Rahmenbedingungen realisierbar erscheinen, widmen sich andere Studien einer technischen Potenzialerschließung:

Eine gemeinsame Studie von vier Verbänden zum Mieterstrompotenzial in den 20 größten deutschen Städten [DMB 2017] hat für München wiederum 164 MW an zusätzlichem Dach-PV-Potenzial allein im Segment Mieterstrom ermittelt, also ohne Eigenheime, Hallendächer, öffentliche Gebäude usw. Zusammen mit der bereits installierten Leistung entspräche das gut 200 GWh/a PV-Strom, der auf den Dächern von Münchner Mietshäusern erzeugt werden könnte. In der Praxis bleibt das Mieterstrommodell allerdings weit hinter den Erwartungen der Bundesregierung: Aktuell wird in Deutschland nur ein Prozent der möglichen Kapazität genutzt.¹²

Die Forschungsgesellschaft für Energiewirtschaft [FfE 2018b] hat im Zusammenhang des Netzentwicklungsplans detaillierte Karten zum Wind- und PV-Potenzial in Deutschland im Jahr 2030 erstellt. Unterhalb der Länderebene nennt die Studie keine konkreten Potenziale, die FfE hat aber auf Anfrage mitgeteilt, dass die der Veröffentlichung zugrundeliegenden, auf Gemeindeebene aufgelösten Daten für die Stadt München ein technisches PV-Potenzial von gut 1,8 GW ergeben,¹³ also eine Jahresstromproduktion von ca. 1.800 GWh (ca. ein Viertel des aktuellen Münchner Stromverbrauchs).

In einer aktuelleren Studie untersuchen Tröndle et al. [2019], inwieweit das technische EE-Potenzial ausreicht, um den aktuellen Stromverbrauch auf europäischer, nationaler, regionaler und Gemeindeebene zu decken. Betrachtet werden Dach- und Freiflächen-PV sowie Windkraft onshore und offshore. Die Ergebnisse zeigen, dass eine EE-Vollversorgung auf europäischer Ebene sowie für jedes einzelne untersuchte Land theoretisch möglich wäre. Je kleiner jedoch die betrachtete geographische Einheit, desto häufiger können einzelne Gebiete ihren Strombedarf nicht rein erneuerbar decken – insbesondere ist die Bevölkerungsdichte der wichtigste begrenzende Faktor.¹⁴ Dementsprechend sei eine EE-Vollversorgung für das Bundesland Bayern „wahrscheinlich möglich“, für die Landeshauptstadt München hingegen nicht.¹⁵ Im Einzelnen wird für München ein jährliches Potenzial an Dach-PV von 5 TWh veranschlagt, die

¹² <https://www.haufe.de/immobilien/wirtschaft-politik/bundesregierung-novelle-zum-mieterstromgesetz-im-herbst-84342-500816.html>

¹³ Für Hamburg wird mit der gleichen Methodik ein fast identisches PV-Potenzial von 1,72 GW errechnet, siehe Jetter et al. [2016].

¹⁴ Hier ist München klar im Nachteil als die deutsche Stadt mit der höchsten Bevölkerungsdichte: über 4.700 Einwohner pro km², verglichen z.B. mit nur 2.430 in Hamburg. Quelle: Wikipedia.

¹⁵ Die Ergebnisse der Studie werden u.a. auf einer interaktiven Karte gezeigt, siehe <https://timtroendle.github.io/possibility-for-electricity-autarky-map>.

Potenziale anderer Erzeugungsarten sind dagegen verschwindend gering. Wohlgermerkt handelt es sich hierbei um die Abschätzung des technischen Potenzials, d.h., jedes Dach mit geeigneter Neigung und Ausrichtung wird genutzt.¹⁶ Die Abweichungen zu vorherigen Potenzialabschätzungen für Aufdach-Anlagen ergeben sich z.T. daraus, dass auch kleine Dächer sowie Dächer mit Ost- und Westausrichtung einbezogen werden.

Das von Tröndle et al. [2019] angenommene PV-Potenzial übersteigt sowohl die für München als auch die für andere Städte [Fraunhofer ISE 2019a sowie Siegel et al. 2017] ermittelten Potenziale deutlich. Nur bei Freiflächen-PV wird für eine Abschätzung des „sozial-ökologischen“ Potenzials das technische Potenzial durch 10 dividiert, bei Dach-PV wird hingegen keine solche Korrektur vorgenommen. Technische Einschränkungen, die sich in der Praxis z.B. aus unzureichender Statik von Flachdächern ergeben können, sowie andere faktische Hindernisse für PV-Dachanlagen (vgl. hierzu z.B. K-Group 2010) bleiben dadurch unberücksichtigt. Weiterhin werden optimistische, derzeit noch nicht realisierte Werte bei der Energieausbeute angenommen. Auch aus energiewirtschaftlicher Sicht wäre ein solches Szenario kaum sinnvoll.¹⁷ Das angegebene Potenzial muss daher als rein technisches Potenzial eingeordnet werden.

Unter Einbeziehung der Ergebnisse der aktuellen umfassenden Studien zum verfügbaren und faktisch umsetzbaren PV-Potenzial für Berlin [Fraunhofer ISE 2019a sowie Siegel et al. 2017], dürfte das dort ermittelte Potenzial in Höhe von rund 25% des städtischen Strombedarfs auch für andere Großstädte unter der Voraussetzung stark verbesserter regulatorischer Rahmenbedingungen eine realistischere Größenordnung darstellen. In Berlin wurde ein technisches Potenzial von knapp 9 GW PV-Leistung auf bestehenden, nicht-denkmalgeschützten Gebäudedächern ermittelt. Um die 25%-Marke zu erreichen, müssten auf der Hälfte dieser Dächer PV-Anlagen nachgerüstet werden. PV auf Freiflächen, gebäudeintegrierte PV sowie PV auf neuen Gebäuden sind dabei noch nicht berücksichtigt [Styri-Hipp 2019].

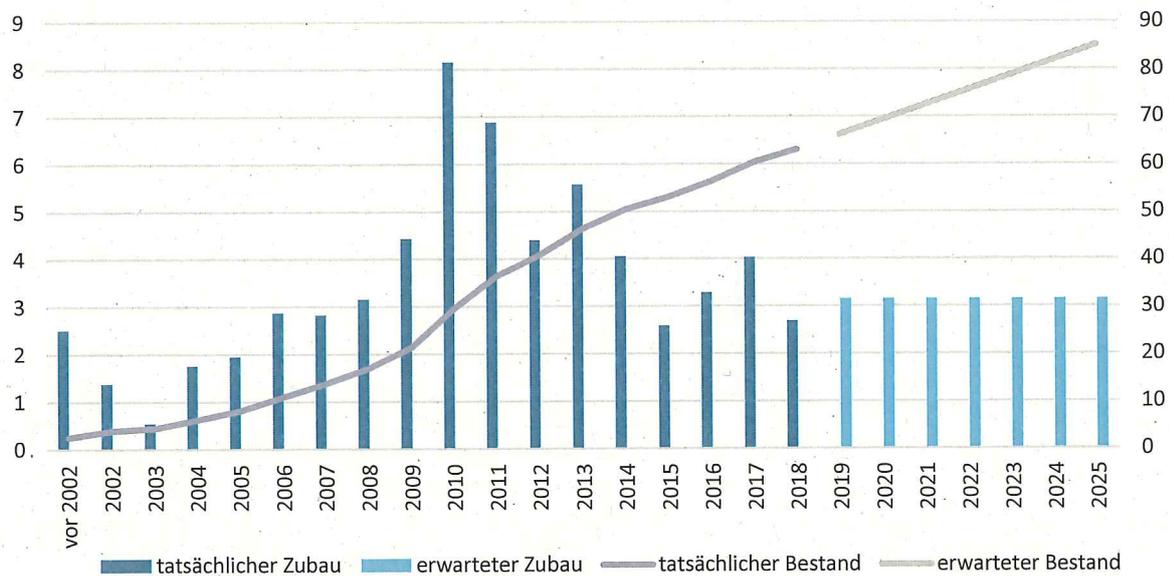
Dieser Literaturüberblick zum EE- bzw. PV-Potenzial in München und anderen Großstädten offenbart eine enorme Streuung der abgeschätzten Potenziale. Die Ergebnisse sind nur bedingt miteinander vergleichbar, weil die Studien verschiedene Potenzialbegriffe verwenden. Eine Abschätzung des PV-Potenzials für München bedarf daher einer sorgfältigen Einordnung und Berücksichtigung der jeweils vorausgesetzten Veränderungen der wirtschaftlichen, politisch-regulatorischen und technologischen Rahmenbedingungen.

Ohne wesentliche Änderungen dieser Rahmenbedingungen bewegt sich das zu erwartende faktisch realisierbare Potenzial im Rahmen des vom Öko-Institut [2017] dargestellten Referenzszenarios von unter 100 GWh/a bis 2030.

¹⁶ Die eigentliche Eignung der Münchner Dächer wird in der Studie nicht erhoben, sondern mit Hilfe von Durchschnittswerten von schweizerischen Dächern extrapoliert.

¹⁷ Zu den Grenzen der Sinnhaftigkeit eines solchen Szenarios siehe z.B. Peter [2013] oder Tröndle et al. [2019].

Abbildung 3: Jährlicher PV-Zubau und Bestand in München (MW) mit Fortschreibung bis 2025



Quelle: SWM (2019)

Erwartung: Fortschreibung des durchschnittlichen Wachstums der Jahre 2015 bis 2018 (3,15 MW)

Nur unter der Voraussetzung wesentlicher Änderungen der Rahmenbedingungen ist es denkbar, die in den Studien dargestellten deutlich höheren umsetzbaren Potenziale für Dach-PV stufenweise zu realisieren. Hierzu bedürfte es jedoch tiefgreifender Änderungen, um die dabei bestehenden Hindernisse auszuräumen.

Exkurs: Rahmenbedingungen für hohe PV-Anteile in Städten

Nur mit deutlich verbesserten Rahmenbedingungen können hohe PV-Anteile am städtischen Stromverbrauch erreicht werden. Maßgebliche Einflussfaktoren sind insbesondere:

- **Technologisch/wirtschaftlich:** Wirkungsgrade, Innovationen für gebäudeintegrierte PV (Fassaden, Dachziegel, Dachfolien, Fenster etc.), Modulkosten
- **Bundespolitisch:** Streichung des 52-GW-Deckels; attraktive EEG-Vergütung für nicht selbst-genutzten Strom; einfache, attraktive Mieterstrommodelle; verringerte Abgaben auf Eigenstromnutzung größerer Anlagen
- **Landespolitisch:** Landesrechtliche Pflicht zur Installation von PV-Anlagen bei Neubauten sowie bei Dach-Erneuerungen (Hamburgisches Klimaschutzgesetz)
- **Kommunalpolitisch:** Nutzung der kommunalpolitischen Spielräume zur Festsetzung von PV im Neubau, z.B. in städtebaulichen Verträgen oder Bebauungsplänen (Tübingen, Waiblingen); konsequente PV-Nachrüstung kommunaler Gebäude und kommunaler Unternehmen; Solardachbörsen. Für Berlin wurden jüngst im