



sustainable strategies

Ausbauoffensive Erneuerbare Energien der Stadtwerke München: Zwischenbilanz, regionale Potenziale und Ausblick

Hamburg, 12. Mai 2020

Christian Maaß, Robert Werner, Sönke Häsel



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 Wärmegegewinnung 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 Wärmeherzeugung 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 Wärmegewinnung (Heizwerke Riem und Freiam, 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 BioEnergie 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	
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 ⁴ (in MW)	Erzeugung ⁵ (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.

Tabella 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.

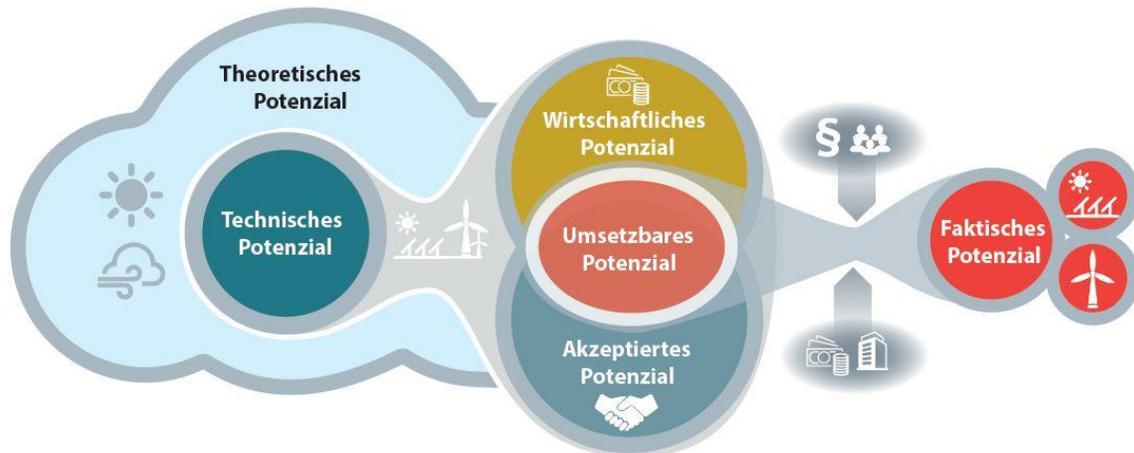
Eine verstärkte Umsetzung der Ausbauoffensive in München – oder zumindest in Bayern – setzt voraus, dass es überhaupt ein entsprechendes Potenzial für tragfähige Investitionen in Anlagen zur Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien gibt. Dabei soll auch untersucht werden, inwieweit mit lokalen oder regionalen 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 Stromlieferungsvertrages 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

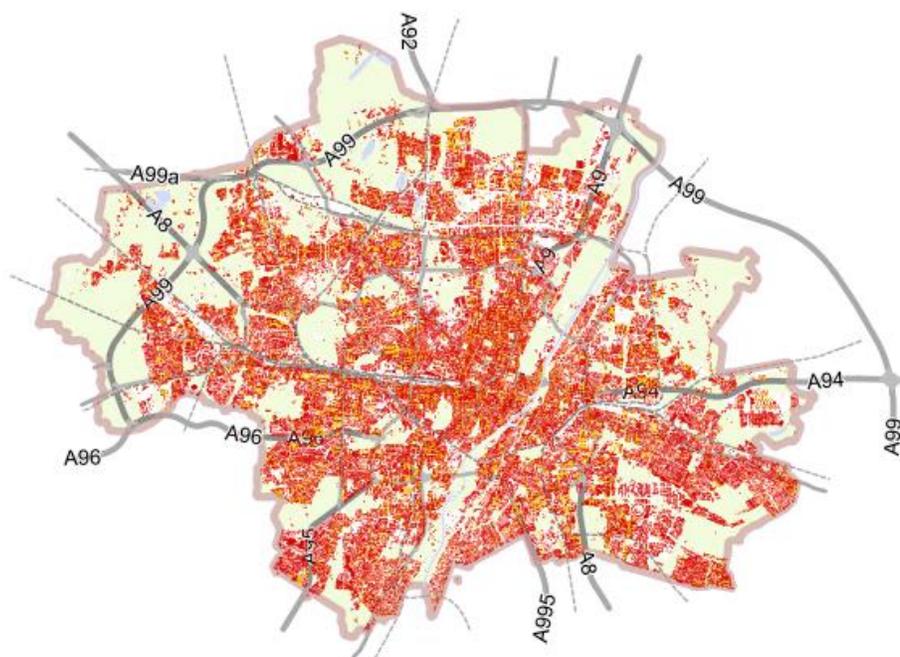
Im Jahr 2010 wurde von der Stadtparkasse München und den SWM eine Studie der K.GROUP [2010] beauftragt. Diese kommt unter Ausschluss von kleinen Dächern (Ein- und Zweifamilienhäusern) sowie von allen Dächern mit Ost-, West- oder Nordausrichtung auf ein technisch und wirtschaftlich verfügbares PV-Potenzial 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 Luftbildaufnahmen, 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-aufgeloeset-.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].

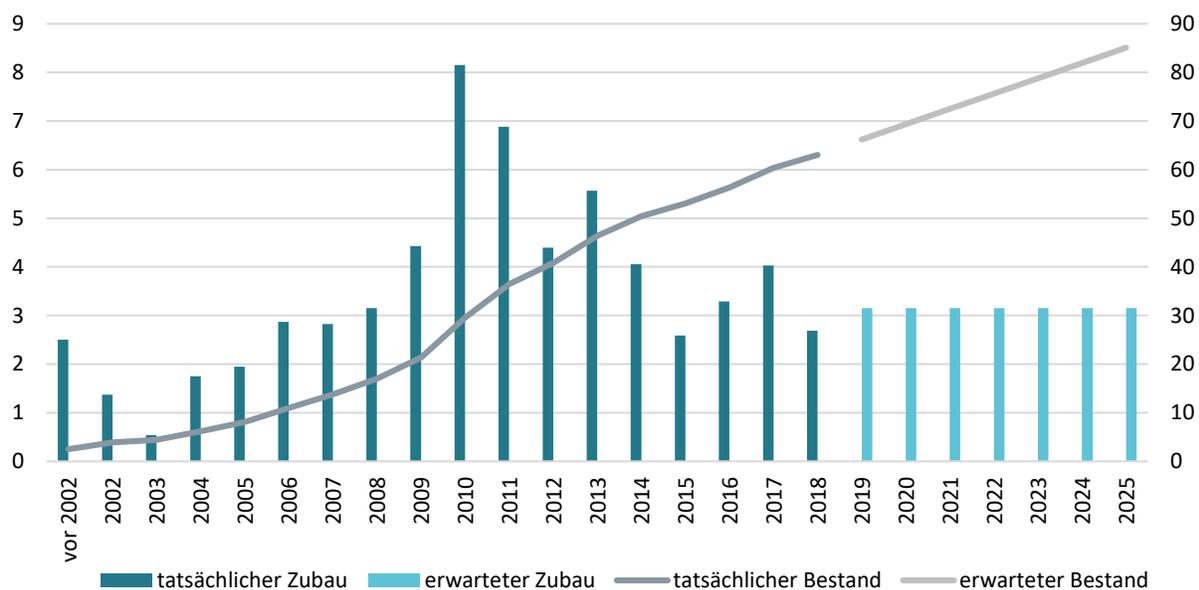
Dieser Literaturüberblick zum EE- bzw. PV-Potenzial in München und anderen Großstädten offenbart eine enorme Streuung der abgeschätzten Potenziale. Die Ergebnisse sind nur bedingt miteinander vergleichbar, weil die Studien verschiedene Potenzialbegriffe verwenden. Eine Abschätzung des PV-Potenzials für 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

„Masterplan Solarcity“ umfassende Vorschläge zur Aktivierung der Stadtgesellschaft entwickelt [Styri-Hipp et al. 2019], um langfristig in Berlin auf einen Anteil von 25% lokal erzeugtem PV-Strom zu kommen. Auf Basis einer Hemmnisanalyse werden für verschiedene Planungsphasen und Zielgruppen (z.B. Handwerk, Architekturbüros, Wohnungseigentümergeinschaften, öffentliche Gebäude, etc.) insgesamt 27 spezifische Maßnahmen empfohlen (insbesondere Kampagnen, Förderprogramme, Ausbildung, Beratung, Information, Denkmalschutz, Ordnungsrecht u.a.).

Insgesamt erscheint eine langfristige Erhöhung des PV-Anteils in Richtung 25% nur im Zusammenwirken der politischen Akteure im Bund, im Land und in München möglich.

Da das PV-Potenzial somit von nicht absehbaren technologischen Veränderungen sowie politischen Entscheidungen abhängt, ist es methodisch nicht seriös möglich, eine Einschätzung für das *zukünftige* faktische PV-Potenzial einer Stadt abzugeben. Es können lediglich folgende Feststellungen getroffen werden:

- Bei Fortschreibung des erkennbaren Trends und ohne gravierende Veränderungen der ökonomischen, technologischen und rechtlichen Rahmenbedingungen wird die in München installierte PV-Kapazität auch bis 2025 und darüber hinaus keine quantitativ relevante Rolle für die Stromversorgung Münchens spielen (s.o. Abbildung 3).
- Nur bei einer sehr ambitionierten Weiterentwicklung der politisch-rechtlichen Rahmenbedingungen und weiteren technologischen Fortschritten wären – in allen denkbaren Abstufungen, je nach Ambitionsgrad der politischen Steuerung – realisierbare Potenziale zwischen den beiden oben genannten Extremen – Fortschreibung des bisherigen geringen Wachstums bis hin zu langfristigem PV-Wachstum auf bis zu 25% des Strombedarfs der Stadt – vorhanden. **Bei einer – heute noch nicht für Bayern erkennbaren – sehr ambitionierten Weiterentwicklung der (landes-)rechtlichen und kommunalen Rahmenbedingungen erscheint ein langfristiges Wachstum der PV-Stromproduktion auf bis zu 25% des Strombedarfs der Stadt denkbar.**¹⁸

Potenzial Bayern

Der PV-Ausbau verlief in Bayern – insbesondere durch Freiflächenanlagen – deutlich dynamischer als im Münchener Stadtgebiet: Im Jahr 2017 konnten mit den bisher installierten

¹⁸ Dieser Aussage liegt keine eigene Erhebung des Potenzials zugrunde, sondern eine Abschätzung des aus heutiger Sicht höchsten plausiblen solaren Anteils, der unter Übertragung der zitierten Ergebnisse aus Studien für andere Städte abgeschätzt wurde. Dies entspräche einer vollständigen Realisierung des von der FfE genannten technischen Potenzials. Aufgrund individueller Unterschiede zwischen den Städten ist diese Übertragung methodisch angreifbar, so dass der Wert lediglich einen groben Anhaltspunkt darstellt, der im Einzelnen überprüft werden müsste.

knapp 12 GW PV-Leistung (2018: ca. 12,5 GW) rechnerisch gut 13% des Bruttostrombedarfs des Landes gedeckt werden (Energieatlas Bayern 2019). Damit verfügt Bayern über ca. ein Viertel der insgesamt in Deutschland installierten PV-Leistung.

Der Freistaat hätte nach den oben zitierten Untersuchungen der Forschungsgesellschaft für Energiewirtschaft [FfE 2018b] und [Tröndle et al. 2019] sogar ein ausreichend großes technisches Potenzial zur bilanziellen Vollversorgung mit PV-Strom. Dies gilt sogar unter Berücksichtigung der derzeit rechtlich möglichen Flächenkulisse. Laut [FfE 2019] besteht ein PV-Potenzial in Bayern von 40 GW (Dachanlagen) und 479,3 GW (Freiflächenanlagen). Das entspräche zusammen etwas mehr als 500 TWh Stromerzeugung aus PV pro Jahr. Zum Vergleich: Der Stromverbrauch des Bundeslandes liegt heute in der Größenordnung von 80 TWh/a.¹⁹

Limitierender Faktor für den weiteren PV-Ausbau auf Landesebene ist die Finanzierung aus dem EEG. Da ein großvolumiger Ausbau von Freiflächen-PV ohne EEG-Vergütung mittels PPA (Power Purchase Agreement) in der heutigen Marktsituation nicht wirtschaftlich darstellbar wäre und auch die Möglichkeit der Eigenstromnutzung bei Freiflächenanlagen limitiert ist, bedarf es in der Regel einer Förderung mittels Marktprämie oder Einspeisevergütung aus dem EEG. Die Begrenzung der Kapazitäten, die jährlich in die wettbewerbliche Ausschreibung der Marktprämie gehen, wirkt daher bremsend.

Unter der Voraussetzung, dass der bisherige „52-GW-Deckel“ abgeschafft wird und die Menge der jährlichen PV-Ausschreibungen deutlich ansteigt, ist langfristig eine bilanzielle Vollversorgung des Freistaats allein mit PV theoretisch denkbar. Hierzu müsste die installierte PV-Leistung in Bayern bei unterstellter Stagnation des Stromverbrauchs gegenüber heute um den Faktor 6 auf ca. 80 GW ausgebaut werden. Allerdings ist dies aus mehreren Gründen nicht zu erwarten. Zum einen ist fraglich, ob die Akzeptanz für den dafür nötigen starken Ausbau der Freiflächen-PV vorhanden ist. Zum anderen würde sich damit der Anteil Bayerns an der bundesdeutschen PV-Kapazität stark erhöhen. Für die sektorübergreifende Dekarbonisierung des Energiesystems ist ein PV-Anteil von 20 bis 25% an der Energieversorgung kosteneffizient und zielführend [Fraunhofer ISE 2013 und 2015]. Bei einem deutschen Energiebedarf von heute ca. 556 TWh/a entspräche dies einer PV-Kapazität von 137 GW in ganz Deutschland.²⁰ Es erscheint weder realistisch noch energiewirtschaftlich zielführend, in Bayern künftig mehr als die Hälfte dieser Kapazität zu errichten. Geht man davon aus, dass in Bayern weiterhin rund ein Viertel der installierten PV-Kapazität in Deutschland errichtet wird und der PV-Anteil am (stagnierenden) deutschen Gesamtstrombedarf langfristig auf 25% ausgebaut wird, beträgt die künftige PV-Kapazität in Bayern dann 34 GW. [Öko-Institut und Prognos 2018] gehen in ihrem

¹⁹ Bayerisches Landesamt für Statistik, www.statistik.bayern.de/statistik/bauen_wohnen/energie/index.html.

²⁰ Die zitierten Studien gehen aufgrund einer starken Elektrifizierung der Sektoren Wärme und Mobilität von einer deutlichen Steigerung des Strombedarfs aus. Bei einem zukünftigen Energiebedarf von mehr als 1300 TWh/a in Deutschland wäre eine installierte PV-Leistung von 200 bis 400 GW anzuvizieren. Dies ändert allerdings nichts am beschriebenen Verhältnis zwischen dem PV-Ausbau in Bayern und dem Rest der Bundesrepublik.

Energiewendeszenario für den WWF für eine vollständige Dekarbonisierung Deutschlands für Bayern von einer installierten PV-Leistung in Höhe von 39 GW in 2050 aus (2035: 26 GW); ein weiteres dort untersuchtes Szenario mit dem Fokus auf PV (und deutlich weniger Windkraft) geht sogar von einem PV-Ausbau in Bayern auf 106 GW aus.

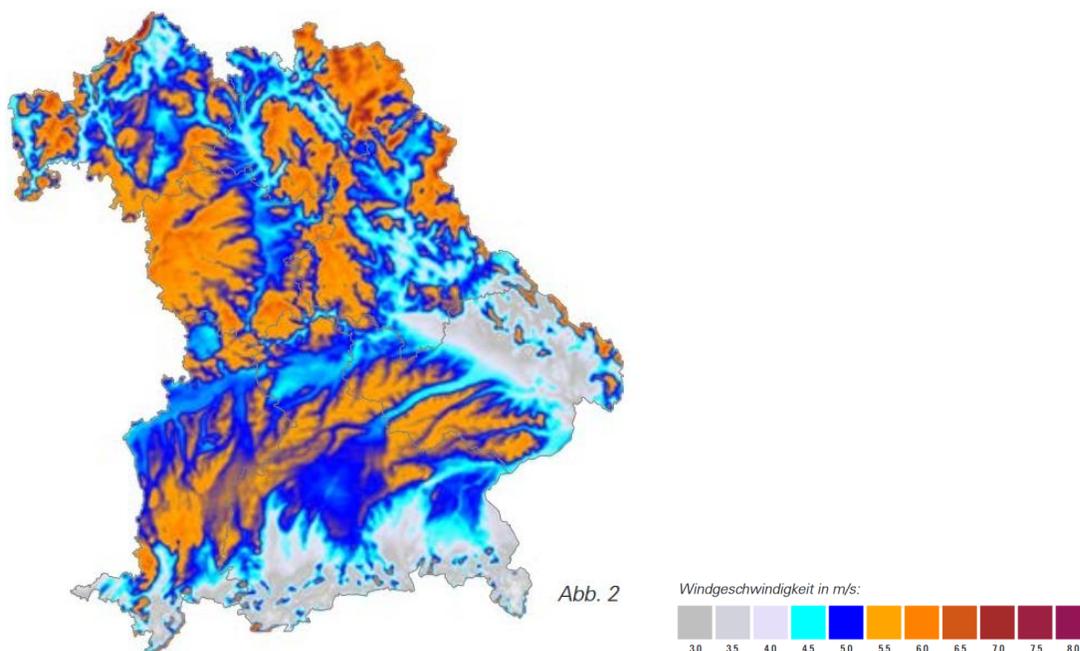
Allerdings liegen wegen des quantitativ beschränkten Ausbaupfades im EEG aktuell nicht die erforderlichen Rahmenbedingungen für einen entsprechenden PV-Ausbau vor. Selbst wenn der 52-GW-Deckel im EEG wie erwartet aufgehoben wird, könnte mit dem gesetzlichen Ausbaupfad in Höhe von 2,5 GW/a bis 2025 und einem auf Bayern entfallenden Anteil von 25% dieser Leistung nur im Umfang von ca. 3 GW zusätzliche PV-Kapazitäten im Freistaat geschaffen werden. 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. Wie bereits in der Vergangenheit ist auch dies angesichts der Kleinteiligkeit des dezentralen PV-Ausbau und aufgrund eines regen Wettbewerbs bei der PV-Projektentwicklung jedoch keine realistische Option.

D.3 Wind

Auf der Ebene des Stadtgebiets von München sind aufgrund der dichten Bebauung ausweislich der bereits oben zitierten Potenzialanalysen keine relevanten zusätzlichen Kapazitäten für Windkraftanlagen vorhanden.

Betrachtet man das Potenzial in Bayern, so gibt es von technischer und wirtschaftlicher Seite her relevante Potenziale für zusätzliche Windkraftanlagen.

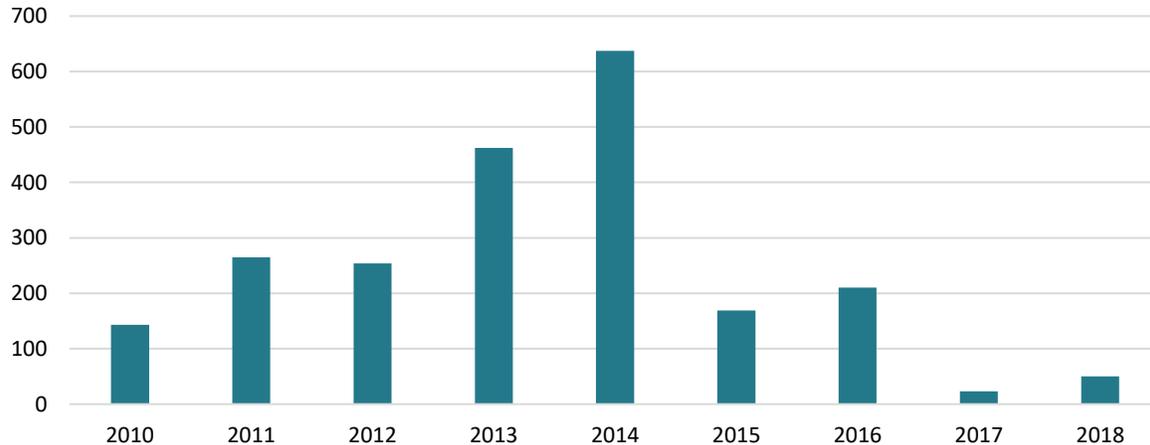
Abbildung 4: Windgeschwindigkeit in 130 m Höhe über Grund



Quelle: Bayerischer Windatlas 2019

Diese Potenziale können jedoch aufgrund der in Bayern 2014 in Kraft getretenen Regelungen zum Mindestabstand zur Wohnbebauung („10H-Regelung“ der Bayerischen Bauordnung) nicht gehoben werden. Der Neubau von Windkraftanlagen ist in der Folge stark gebremst worden.

Abbildung 5: Jährliche neue Genehmigungen für WEA in Bayern (MW)

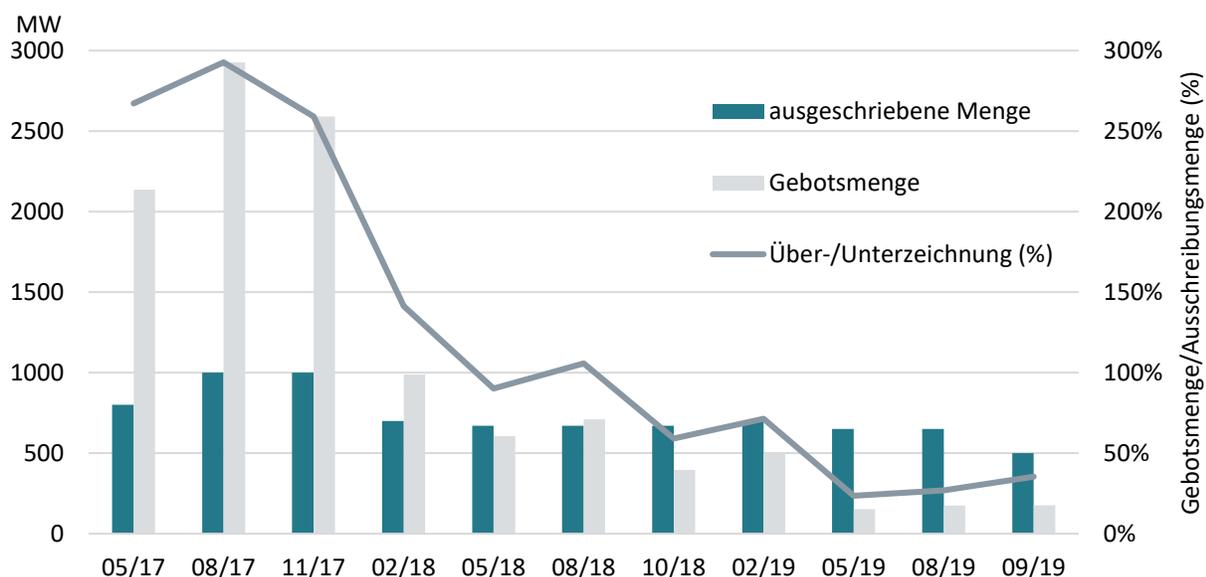


Quelle: Plappert et al. [2019]

Es kann daher nicht davon ausgegangen werden, dass sich in absehbarer Zukunft die Möglichkeit zum Ausbau relevanter Mengen neuer Windkraftanlagen ergibt. Als Konsequenz haben die SWM die 2012 gegründete Gesellschaft SWM Bayernwind GmbH bereits nach wenigen Jahren Geschäftstätigkeit liquidiert, da nur noch eine geringe Erfolgsaussicht für das Geschäftsziel bestand, größere Windkraftprojekte in Bayern zu akquirieren, planen und umzusetzen.

Auch im übrigen Deutschland sind die Investitionsbedingungen und tatsächlichen Möglichkeiten zum Bau von Windkraftanlagen mittlerweile so schlecht geworden, dass der angestrebte Wachstumspfad nicht erreicht werden kann.

Abbildung 6: Über-/Unterzeichnung der Ausschreibungsmengen Onshore-Wind



Quelle: Bundesnetzagentur²¹

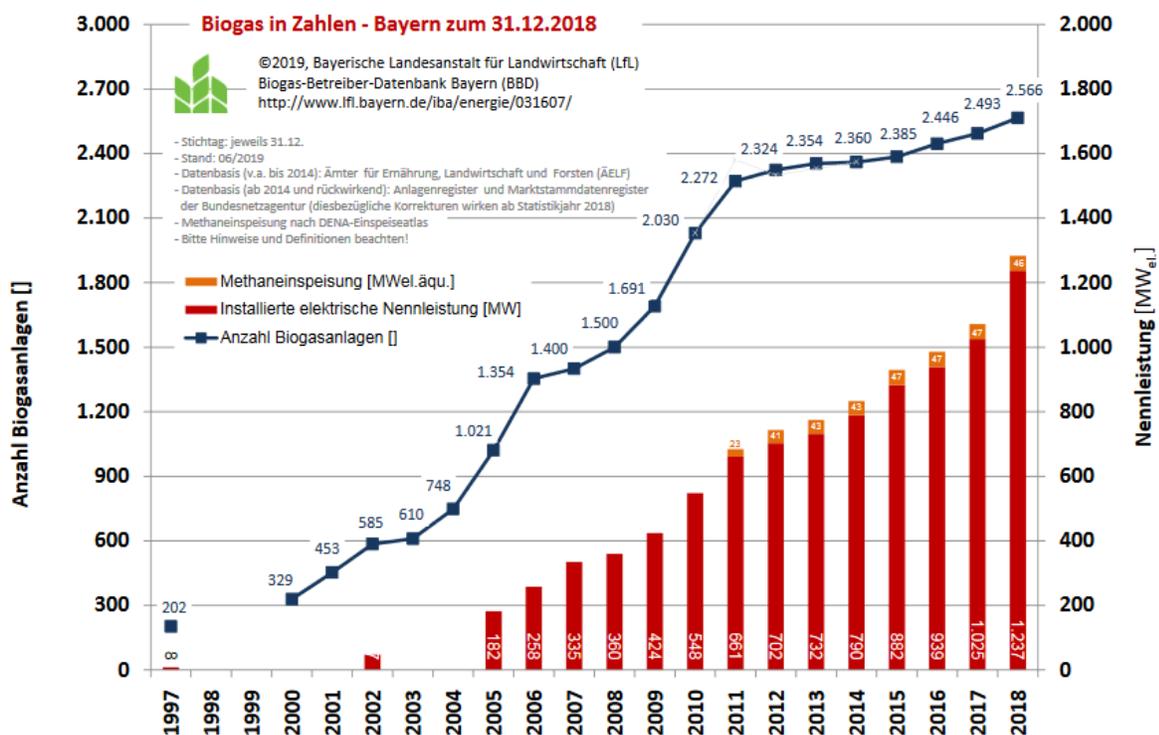
Während in 2017 in den Ausschreibungen jeweils mehr als das Doppelte der ausgeschriebenen Menge von Projektentwicklern angeboten wurde, waren 2019 die Ausschreibungen für Onshore-Wind immer um mehr als die Hälfte unterzeichnet.

D.4 Biomasse

Im gesamten SWM-Versorgungsgebiet sind aktuell insgesamt 20 Biomasse-Anlagen in Betrieb; diese produzieren jährlich rund 22 GWh Strom [Landeshauptstadt München 2017]. In ganz Bayern beträgt die installierte Kapazität rund 1,2 GW [LfL 2019].

²¹ https://www.bundesnetzagentur.de/DE/Sachgebiete/ElektrizitaetundGas/Unternehmen_Institutionen/Ausschreibungen/Wind_Onshore/BeendeteAusschreibungen/BeendeteAusschreibungen_node.html

Abbildung 7: Installierte elektrische Leistung von Biogasanlagen in Bayern



Quelle: Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL)

Die Studie des [Öko-Institut 2007], die von den SWM als wissenschaftliche Grundlage der Ausbauoffensive Erneuerbare Energien in Auftrag gegeben wurde, hat seinerzeit ein relevantes Potenzial der Stromerzeugung mit Biomasse aus dem Münchner Umland angenommen.

Aus heutiger Sicht ist allerdings fraglich, ob und inwieweit es noch weiteres umsetzbares und auch faktisches Potenzial zur Stromproduktion aus Biomasse gibt. Das technische Potenzial beträgt laut [LfL 2013] in ganz Bayern jährlich gut 3 TWh. Aufgrund der vergleichsweise hohen Stromgestehungskosten ist dieses technische Potenzial unter heutigen Marktgegebenheiten nur bei Inanspruchnahme von Förderung nach dem EEG wirtschaftlich erschließbar.

Die Ausschreibungsmengen für Biomasse im EEG sehen für die Jahre 2020 – 2022 lediglich eine jährliche Ausschreibungsmenge von 200 MW für das gesamte Bundesgebiet vor (EEG 2017, §4). Da in den nächsten Jahren viele Biogasanlagen aus der EEG-Förderung fallen und im Falle einer nicht erfolgreichen Teilnahme an den Ausschreibungen zur Anschlussfinanzierung stillgelegt werden müssen, reichen die nach dem EEG ausgeschriebenen Mengen nicht aus, um netto relevante zusätzliche Strommengen zu erzeugen. Das EEG zielt bei der Biomasse-Verstromung heute vorrangig darauf, den Betrieb vorhandener Biogasanlagen zu flexibilisieren.

Diese gesetzliche Ausgangslage reflektiert, dass aus energiesystemischer Sicht kontrovers diskutiert wird, inwieweit zusätzliche Biomasse zukünftig in die Stromerzeugung gehen sollte. Laut [Fraunhofer IWES 2017] ist in Deutschland bis 2030 keine Erhöhung der aus Biomasse

erzeugten Strommenge anzustreben und zu erwarten. Anzustreben sei jedoch eine deutliche Aufstockung der installierten Leistung, um die Anlagen künftig nicht mehr im Grundlastbetrieb zu fahren, sondern zur Abdeckung des Strombedarfs in Zeiten mit wenig Strom aus Wind und Sonne. Das Potenzial zum Ausbau der Biomasse-Nutzung wird vorrangig in Sektoren gesehen, die nicht einfach mit Strom dekarbonisiert werden können, z.B. im Güter- und Flugverkehr und in industriellen Prozessen.

Dementsprechend erhöht die in Abbildung 7 dargestellte Steigerung der installierten Leistung auch in der Praxis weder ihren Substratverbrauch noch ihre jährlich eingespeiste Strommenge [LfL 2019]. Vor diesem Hintergrund dürfte quantitativ kein relevantes Ausbaupotenzial für Strom aus regionaler Biomasse bestehen.

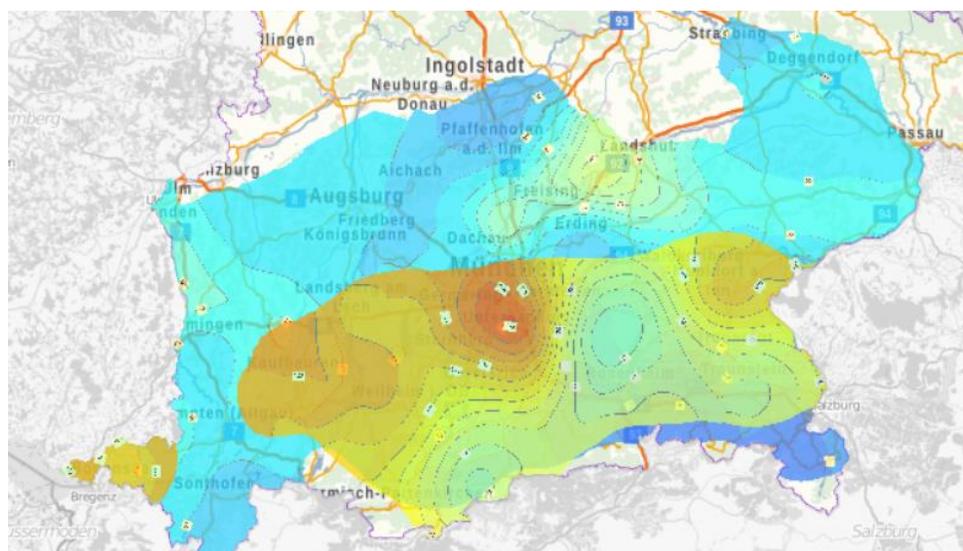
D.5 Wasserkraft

Das Potenzial zur Steigerung der Stromerzeugung aus Wasserkraft ist in Deutschland als überschaubar anzusehen, da Leistungserhöhungen i.d.R. nur punktuell an bestehenden Kraftwerken erfolgen können und Neubauten durch die Auflagen zur Erfüllung der Vorgaben der Wasserrahmenrichtlinie nur selten mit nennenswerter Leistung umgesetzt werden können. So werden für große Wasserkraftanlagen (ohne Pumpspeicher) bundesweit ein wirtschaftlich realisierbares Potenzial von 2,7 TWh und für kleine und mittlere Anlagen von 0,6 TWh berechnet [BMU 2010]. Für Bayern wird das Potenzial der zwei größten Wasserkraftwerksbetreiber auf maximal ca. 1 TWh/a geschätzt [e.on / BEW 2009]. Die SWM sind bereits in Projekte für neue Laufwasserkraftwerke am Westerhamer Wehr und, gemeinsam mit den Bayerischen Landeskraftwerken, am Volkmannsdorfer Wehr engagiert. Auch die Möglichkeit eines Kleinwasserkraftwerks auf dem Gelände des Tierparks Hellabrunn wird untersucht.

D.6 Geothermie

Die Potenziale zur energetischen Nutzung von Geothermie sind in der Region um München sehr gut (vgl. Abbildung 8). Jedoch besteht auch hier wie bei den Flächen für Solarenergie eine teilweise Nutzungskonkurrenz zwischen Wärme und Strom. Die SWM haben sich sehr klar für die Nutzung der geothermischen Potenziale in und um München zur Wärmeherzeugung entschieden, um den Wärmesektor sukzessive auf erneuerbare Energie umzustellen (vgl. Exkurs: Fernwärme-Vision 2040 auf Seite 8). Eine stärkere Verstromung der geothermischen Wärme ginge daher zulasten der Dekarbonisierung der bislang noch stark von fossilen Energieträgern, einschließlich Kohle, geprägten Fernwärme, was aus klimapolitischer Sicht kontraproduktiv wäre.

Abbildung 8: Temperaturverteilung im südlichen Bayern (blau hervorgehoben) in 3000m Tiefe



Quelle: [Energie-Atlas Bayern](#)

D.7 Ergebnis

Das Potenzial zum Ausbau der erneuerbaren Energien ist im Stadtgebiet Münchens im Wesentlichen auf Photovoltaik beschränkt. Die anderweitig verfügbaren Potenziale fallen quantitativ nicht ins Gewicht. Die PV-Nutzung ist im Stadtgebiet auf Dachflächen sowie ggf. Doppelnutzungen anderweitig genutzter Flächen begrenzt. Das hierfür aus rein technischer Sicht verfügbare Potenzial ist erheblich und liegt – je nach Studie und Potenzialbegriff – zwischen 1.800 GWh/a und 5.000 GWh/a.

Dieses verfügbare Potenzial ist jedoch wegen verschiedener Hindernisse faktisch nur zu einem geringen Teil realisierbar. Bei Fortschreibung der bisherigen Entwicklung wird die in München installierte PV-Kapazität auch bis 2025 und darüber hinaus keine quantitativ relevante Rolle für die Stromversorgung Münchens spielen. Nur mit einer ambitionierten Weiterentwicklung der regulatorischen Rahmenbedingungen (z.B. verbindliche solare Dachnutzungspflichten, verbessertes Mieterstrommodell) und weiteren technologischen Fortschritten sind bis 2050 realisierbare Potenziale von bis zu 25% des Strombedarfs zu heben. Dieser Wert stellt eine Abschätzung des höchsten plausiblen PV-Anteils dar, dabei wurden Ergebnisse aus Studien zu anderen Städten auf München übertragen (siehe S. 22).

Insgesamt wird deutlich, dass München auch bei sehr ambitionierten Ausbauzielen langfristig von Stromimporten abhängig sein wird. Während inzwischen weitgehend unstrittig ist, dass die Bundesrepublik und das Land Bayern bei entsprechenden Rahmenbedingungen zu 100%

erneuerbar mit Strom versorgt werden können²², gilt gleiches nicht immer für kleinere geographische Einheiten.²³ Speziell in urbanen Räumen, wo Windenergie und Freiflächen-PV kaum in Frage kommen, bleibt die „Import-Export“-Beziehung zwischen Stadt und Land bestehen. Als die am dichtesten besiedelte Stadt Deutschlands hat München diesbezüglich besonders große Herausforderungen.²⁴

²² Auf die sehr umfangreiche Literatur zu diesem Punkt, die schließlich auch Grundlage der aktuellen Gesetzgebung ist, kann hier nicht im Detail eingegangen werden. Siehe beispielhaft nur Fraunhofer ISE [2012, 2019b] sowie Fraunhofer ISI et al. [2017].

²³ Zur hier nicht näher analysierten Landesebene, siehe beispielhaft nur Jäger et al. [2016] (unzureichendes Wind-Potenzial in Baden-Württemberg), FfE [2018b] (ausreichendes PV-Potenzial in Bayern) und BMVI [2015] sowie weitere Quellen darin.

²⁴ Während der Nachteil der hohen Bevölkerungsdichte auch für die EE-Wärmeversorgung gilt, herrschen dort dank des guten Potenzials an tiefer Geothermie ungleich bessere Voraussetzungen; siehe Abschnitt D.6.

E. Handlungsoptionen zur Fortsetzung der Ausbauoffensive

In der Einleitung wurde die Kritik an den Auslandsinvestitionen der SWM dargestellt. Vor diesem Hintergrund sowie angesichts der oben festgestellten Potenziale zum Ausbau der lokalen regenerativen Stromerzeugung soll in diesem Kapitel untersucht werden, inwieweit für die Vollendung der Ausbauoffensive eine veränderte Verteilung der Investitionen zwischen lokalen und internationalen Projekten sinnvoll ist.

Die Beantwortung dieser Frage muss sich mit verschiedenen Dimensionen befassen:

- **Klimapolitische Dimension:** Zur Bekämpfung der Klimakrise bedarf es möglichst schnell möglichst großer Reduktionen der Treibhausgasemissionen. Der Ort der Emissionsreduzierung ist dabei irrelevant. Der Faktor Zeit ist hingegen besonders wichtig (s.o.). Aus dieser Logik heraus sind Investitionen in erneuerbare Stromerzeugung möglichst dort zu verorten, wo pro investiertem Euro am schnellsten die größten Treibhausgas-Einsparungen erzielt werden können.
- **Wirtschaftliche Dimension:** Wie jedes Unternehmen können auch die SWM langfristig nur dann überleben, wenn ihre Investitionen sich wirtschaftlich tragen. Investitionen können daher i.d.R. nur in solche Stromerzeugungs-Projekte getätigt werden, die wirtschaftlich sind.
- **Kulturelle Dimension:** Die Energiewende wird teilweise als weit mehr als ein wirtschaftlich-technologischer Transformationsprozess verstanden, der möglichst kosteffizient umzusetzen ist, sondern beinhaltet demzufolge auch einen tiefgreifenden gesellschaftlichen Wandel. Zur DNA der Anti-AKW- und Energiewende-Bewegung in Deutschland gehört auch die Idee einer „Demokratisierung“ der Energieversorgung und einer „Energiewende von unten“. Diese Haltung richtete sich ursprünglich gegen die monopolartigen Strukturen in der Energiewirtschaft und der Konzentration der Energieerzeugung in wenigen, großen Kraftwerken. „Bürgerenergie“ sieht als Gegenentwurf eine möglichst dezentrale Energieerzeugung in „Bürgerhand“ vor. Jenseits der Frage, inwieweit dies energiewirtschaftlich effizient oder zielführend ist, prägt dieses Konzept auch heute noch das Bewusstsein. Dies zeigt sich beispielsweise in der Vielzahl von Bürgerenergie-Genossenschaften, „100%-EE-Regionen“, „energieautarker Gemeinden“ oder dem Wunsch vieler Haushalte nach „Energie-Autarkie“. In dieser historisch geprägten Dimension der Energiewende liegt ein wichtiger Grund für das grundsätzliche Misstrauen in kapitalintensive internationale EE-Großprojekte.

Diese unterschiedlichen Dimensionen sind bei der Diskussion der Handlungsmöglichkeiten der SWM zur Fortsetzung der Ausbauoffensive zu berücksichtigen.

E.1 Lokaler Ausbau erneuerbarer Stromerzeugung

In der obigen Potenzialuntersuchung wurde festgestellt, dass beim Ausbau der Aufdach-PV in München relevante zusätzliche Potenziale vorhanden sind, die derzeit noch durch restriktive

regulatorische Rahmenbedingungen begrenzt werden. Diese Potenziale können nicht von den SWM alleine gehoben werden, sondern bedürfen in erster Linie Aktivitäten der privaten und öffentlichen Gebäudeeigentümer. In der Potenzialuntersuchung ist deutlich geworden, dass die Einflussmöglichkeiten von Stadtwerken zur Vergrößerung der EE-Potenziale nur begrenzt vorhanden sind: Das technische, das wirtschaftliche, das akzeptable und das umsetzbare Potenzial können von kommunalen Stadtwerken kaum beeinflusst werden. Jedoch können Stadtwerke in einem – quantitativ überschaubaren – Rahmen dazu beitragen, das faktisch realisierbare Potenzial stärker auszuschöpfen.

Eine mögliche Rolle der SWM könnte darin bestehen, eine aktivierende Funktion gegenüber den Gebäudeeigentümern einzunehmen und durch die Vermarktung niedrigschwelliger Produkte, zu einer verstärkten Realisierung von PV-Anlagen in München beizutragen. Entsprechende Produkte würden einen besonderen Mehrwert für die (regionale) Energiewende bieten, weil damit der faktisch auszuschöpfende Anteil am verfügbaren Potenzial vergrößert wird und alle Zieldimensionen (klimapolitisch, wirtschaftlich, kulturell) adressiert werden.

Die Investition in regionale Anlagen und den Aufbau einer möglichst regionalen Energieversorgung bietet zudem eine Reihe von Vorteilen:

- Regionales Engagement steigert die lokale Wertschöpfung. Durch die räumliche Nähe von Erzeugung und Verbrauch kann sich – je nach konkreter Ausgestaltung – zudem der Importbedarf von Strom sowie der Bedarf an Transportkapazitäten (Stromnetzausbau) reduzieren.²⁵
- Die SWM als kommunales Unternehmen haben einen „Heimvorteil“ bei der Umsetzung der Energiewende in der Region. Sie genießen als etabliertes, öffentliches Unternehmen einen Vertrauensvorschuss, verfügen über eine hohe Marktkenntnis und können hierdurch mit geringeren Transaktionskosten kalkulieren.
- Investitionen im Inland tragen nicht nur zur Erreichung der Ziele der Ausbauoffensive bei, sondern auch unmittelbar zu den Klimazielen der Bundesrepublik. Investitionen im Ausland in erneuerbare Energien werden nach den geltenden Bilanzierungsregeln dem jeweiligen Zielland zur Erfüllung ihrer Verpflichtungen gegenüber der EU und der Weltgemeinschaft gutgeschrieben.

Vor diesem Hintergrund gehen die Aktivitäten der SWM für einen beschleunigten PV-Ausbau in der Region in die richtige Richtung. Die Stadtwerke evaluieren derzeit alle eigenen Dachflächen sowie jene der LHM in Hinblick auf ihre PV-Eignung. Darüber hinaus sollen bei allen Gebäudeneubauten und Dachsanierungen der SWM PV-Anlagen installiert werden. Weiterhin gibt es Planungen sowohl zum Bau als auch zum Kauf bestehender Freiflächenanlagen im Münchner Umland, die sich insgesamt auf über 40 MWp belaufen.

²⁵ Auf der anderen Seite können höhere Kosten wegen des ggf. notwendigen Bedarfs für den Verteilnetzausbau, von Stromspeichern oder anderer Flexibilitätsoptionen entstehen. Diese Aspekte werden hier nicht vertieft untersucht.

Konkrete Überlegungen gibt es schließlich auch zu innovativen PV-Projekten, und zwar ‚Floating PV‘ (schwimmende Solarmodule, möglicher Standort Moosburger Speichersee) und ‚Agrar-PV‘ (PV-Module über landwirtschaftlicher Anbaufläche, z.B. in Ismaning) – beides Technologien, die den Flächenverbrauch der EE reduzieren und somit Akzeptanz schaffen.

Über den Ausbau ihrer eigenen Erzeugungsanlagen hinaus unterstützen die SWM die Installation von PV-Anlagen durch andere Akteure in der Landeshauptstadt, sie bieten sich gewissermaßen als Multiplikator für den privaten PV-Ausbau an. Dies geschieht über zwei Produkte der SWM.

- Erstens sind seit 2016 die Produkte „M-Solar“ und „M-Solar Plus“ auf dem Markt, seit 2017 auch in der Version „M-Solar Business“ für Geschäftskunden. Hierbei handelt es sich um ein Bündel an Leistungen, die Kunden bei der Einrichtung und dem Betrieb ihrer eigenen PV-Anlage unterstützen. Als „Rundum-sorglos-Paket“ bieten die SWM gemeinsam mit einigen lokalen Partnerunternehmen die nötige Hardware (PV-Module, Steuerung, bei Bedarf auch Speicher und Ladestationen für E-Autos), Software (Energiemanagementsystem), Installation, Netzanschluss und den Service an. Dieses Angebot ist gut angenommen worden: Zum Ende des Jahres 2019 nähert sich die Gesamtkapazität der mit Hilfe dieses Produkts installierten PV-Anlagen 2 MWp – und übertrifft damit die Kapazität der SWM-eigenen Anlagen. Dieser Erfolg wird auch getragen von der finanziellen Unterstützung durch das Münchner Förderprogramm Energieeinsparung und das Bayerische PV-Speicher-Programm. Die SWM unterstützen jeweils die Antragstellung.
- Zweitens wurde zum Ende des Jahres 2019, zunächst als Pilotprojekt, der Markteintritt des Produkts „M-Solar Sonnenbausteine“ vorgenommen. Dieses Angebot richtet sich an Menschen, die die lokale Energiewende vorantreiben wollen, aber keine eigene Dachfläche zur Verfügung haben. In dieser Form der Bürgerbeteiligung geben die Kundinnen und Kunden den SWM ein fünfjähriges Darlehen (ein „Sonnenbaustein“ entspricht € 500 Darlehenssumme) und beziehen gleichzeitig das Ökostromprodukt „M-Sonnenstrom“. Die SWM investieren die Sonnenbausteine in neue PV-Anlagen in München und Umgebung und beliefern die Kunden mit Strom aus diesen Anlagen, was über Regionalnachweise sichergestellt wird.

Am 2. Oktober 2019 machte der Münchner Stadtrat den Weg für die SWM frei, in den nächsten fünf Jahren deutschlandweit für einen mittleren zweistelligen Millionenbetrag bis zu 12 bestehende Solarparks zu kaufen. Die SWM rechnen dank ihrer Erfahrung damit, solche Anlagen über das Ende der Förderung hinaus besser als die bisherigen Eigentümer betreiben zu können, die angesichts der Erlörisiken die Anlagen möglicherweise vom Netz nehmen müssten.

E.2 Lokale erneuerbare Wärmeerzeugung

Im Vergleich zum Strombedarf ist der Wärmebedarf in München (Erdgas, Heizöl, Fernwärme) laut [Energieatlas Bayern] mit 15 TWh rund doppelt so hoch. Der Fernwärmesektor in München hat eine Größenordnung von rund 4 TWh/a und ist damit gut halb so groß wie der Stromabsatz in München. Dies unterstreicht die hohe Relevanz der Fernwärme-Vision 2040 der SWM für den lokalen Klimaschutz in München. Das damit bis 2040 avisierte Ziel zur Klimaneutralität der Fernwärme in München überwiegend aus lokaler Geothermie übersteigt das oben ermittelte Potenzial zur lokalen Stromerzeugung mit erneuerbaren Energien deutlich. Der neben der Umstellung der Wärmeerzeugung beabsichtigte deutliche Aus- und Umbau des Fernwärmenetzes steigert die Bedeutung dieses Vorhabens weiter. Im Vergleich zur Stromerzeugung hat die Wärmeerzeugung mit erneuerbaren Energien somit eine höhere Bedeutung für die Stadt und sollte entsprechend mit hoher Priorität weiterverfolgt werden.

E.3 Ausbau erneuerbarer Stromerzeugung im Ausland

Die Wurzeln der Kritik

Die Investitionen der SWM in Anlagen im Ausland stoßen zum Teil auf erhebliche Vorbehalte. Bereits oben wurde darauf hingewiesen, dass viele dieser Vorbehalte womöglich ihren Ursprung in der kulturellen Verankerung der Energiewende in der Ökologie-Bewegung haben. In Abgrenzung zum damaligen monopolisierten, zentralistischen, von wenigen Konzernen gesteuerten atomar-fossilen Energiesystem wurden neben einer Zuwendung zu regenerativen Energien auch die damit verbundenen Ideen der Dezentralität („Energiewende vor Ort!“), Kleinteiligkeit („Small is beautiful!“) und Bürgerenergie („Energie in Bürgerhand!“) geboren.

Die SWM standen in dem seit den 1970er Jahren andauernden Konflikt als kommunales Unternehmen zwar nicht völlig auf einer Ebene mit den „geborenen Gegnern“, den großen Energiekonzernen, jedoch auch lange nicht auf derselben Seite wie die frühen Verfechter der Energiewende. Dies mag zu einem andauernden Misstrauen gegenüber den SWM bei manchen Akteuren geführt haben.

Es soll daher im Folgenden der Versuch unternommen werden, losgelöst von den beschriebenen geschichtlichen Wurzeln der Energiewende und den noch bestehenden kommunikativen Verhärtungen, eine Bewertung der Auslandsinvestitionen durch die SWM anhand der aktuellen Herausforderungen der Klimakrise vorzunehmen.

Klimaschutz als Prüfungsmaßstab für große überregionale und Auslandsinvestitionen

Der Maßstab, an dem die Auslandsinvestitionen im Folgenden gemessen werden, ist ihr Beitrag zum Klimaschutz. Damit wird die Energiewende auf ihr Kernanliegen reduziert. Dieses besteht darin, eine CO₂-freie Wirtschaft zu schaffen, um die Erderhitzung auf ein noch erträgliches Maß zu begrenzen. Die anderen Werte wie lokale Dezentralität, Kleinteiligkeit und Bürgernähe sind bei näherer Betrachtung kein Selbstzweck, sondern haben ihre Berechtigung in ihrer dienenden Funktion, um das ursprünglich bestehende Oligopol des zentralistischen fossil-

atomaren Energiesystems zu durchbrechen und damit den erneuerbaren Energien den Weg zu ebnen.

Lokale Dezentralität, Kleinteiligkeit und Bürgereigentum sind jedoch keine Werte an sich, sondern dienen nur einem übergeordneten Ziel: dem Ausbau der erneuerbaren Energien. Deutlich wird dies dadurch, dass Kleinteiligkeit und Dezentralität auch in anderen Wirtschaftsbranchen kein Selbstzweck sind. So wäre es volkswirtschaftlich erkennbar töricht, z.B. die Autoproduktion oder die Produktion von anderen komplexen Konsumgütern auf möglichst viele kleine Manufakturen im Privateigentum einzelner Personen an zahllosen Standorten verteilen zu wollen.

Misst man die Konzepte der lokalen Dezentralität, Kleinteiligkeit und der Bürgerfinanzierung an ihrem Beitrag zum Klimaschutz, so haben sie eine Berechtigung, soweit sie dem Ausbau der Erneuerbaren dienen. Stehen sie hingegen dem Ausbau der erneuerbaren Energien im Weg, spricht nichts dafür, sie als eigenständiges Ziel weiterzuverfolgen.

Beschleunigung der Energiewende

Sehr lange wurde die gewaltige Dimension der Klimakrise unterschätzt. Noch immer ist vielen dabei die Bedeutung des Faktors Geschwindigkeit nicht bewusst. Je länger die Menschheit Treibhausgase in die Atmosphäre ausstößt, desto stärker reichern sich diese dort an. Je länger mit der Umsetzung wirksamer Maßnahmen gewartet wird, desto stärker steigen die Temperaturen, desto schneller nähert sich die Erde einer potenziell unkontrollierbaren Erhitzung um mehr als 2° C. Die globale Klimapolitik orientiert sich daher an einem Emissionsbudget, welches noch ausgestoßen werden darf, um das Risiko einer unkontrollierbaren Klimakrise zu vermeiden. Je später damit angefangen wird, die Emissionen zu reduzieren, desto schwerwiegender werden die Maßnahmen, die später ergriffen werden müssen, damit das 2°-Klimaziel noch eingehalten werden kann.

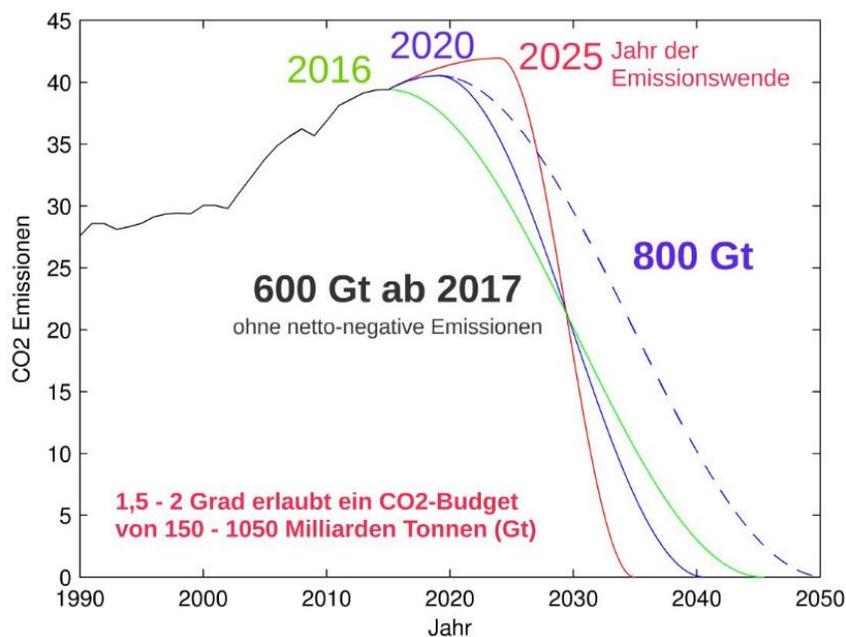


Abbildung 9: Globales Treibhausgasbudget und Emissionspfade

Exemplarische Emissionspfade mit einem Gesamtausstoß von jeweils 600 Gt CO₂, aber unterschiedlichen Jahren, in denen der Wendepunkt erreicht wird. Gestrichelt: ein Beispiel mit 800 Gt CO₂-Ausstoß. Quelle: Prof. Stefan Rahmstorf, Creative Commons BY-SA 4.0

Es ist daher für den Klimaschutz unabdingbar, in möglichst kurzer Zeit möglichst hohe Reduktionen an Treibhausgasen zu bewirken. Hierzu können überregionale und Auslandsinvestitionen auf verschiedene Weise beitragen:

- **Ortsunabhängigkeit der Emissionseinsparungen:** Für die positive Klimawirkung des Ausbaus erneuerbarer Energien bei gleichzeitiger Verdrängung fossiler Energien ist es unerheblich, wo dieser Umstieg stattfindet. Dies sollte als Chance begriffen werden, global mittels Arbeitsteilung die Energiewende zu beschleunigen. Eine in Norwegen erzeugte Kilowattstunde Strom, die in einem über das Stromnetz verbundenen anderen europäischen Land (z.B. Deutschland) eine fossile Kilowattstunde Strom verdrängt, hat die gleiche CO₂-mindernde Wirkung wie eine Kilowattstunde aus einer lokalen PV-Anlage im Stadtgebiet von München.
- **Große Projekte, große Treibhausgas-Einsparungen:** Durch erneuerbare Großprojekte können auf einen Schlag große Mengen Energie klimaneutral erzeugt werden. Allein der mit SWM-Mitteln finanzierte Teil des Offshore-Windparks DanTysk erzeugt innerhalb eines Jahres mehr Energie als alle heute bestehenden PV-Anlagen in München (d.h. auch solche, die nicht im Eigentum der SWM stehen) zusammen in zwanzig Jahren produzieren können.
- **Mehr CO₂-Einsparungen pro Euro:** Mit den knappen Ressourcen der SWM und anderer Investoren kann der größtmögliche Klimaeffekt dann bewirkt werden, wenn Erzeugungsanlagen dort in Europa finanziert und gebaut werden, wo sie am kostengünstigsten und schnellsten erneuerbaren Strom produzieren können. Dadurch

können insgesamt am meisten Anlagen gebaut werden und Strom aus fossilen und atomaren Kraftwerken wird am effektivsten verdrängt.

- **Große Projekte = große technologische Hebelwirkung:** Je größer die Anlagen, desto schneller verläuft die Kostendegression in den jeweiligen Technologien, desto schneller fallen die Preise auch für kleinere und Kleinstanlagen und desto schneller verläuft der Aufbau lokaler Kapazitäten.
- **Mangelnde lokale Flächenverfügbarkeit:** Die Belegung bestehender Dächer mit Photovoltaik ist die flächeneffizienteste Herangehensweise und sollte stets konsequent angestrebt werden. Der lokale PV-Ausbau ist jedoch für eine vollständige Energiewende bei weitem nicht ausreichend und in der Umsetzung viel zu langsam, da die Investitionsentscheidung beim Eigentümer der jeweiligen Liegenschaften liegt.
- **Niedrigere kWh-Kosten für große Anlagen:** Kleine Anlagen sind wegen der fixen Planungskosten besonders auf niedrige Materialkosten angewiesen: Der Aufwand für die Planung einer 100 kW Photovoltaikanlage ist nicht proportional niedriger im Vergleich zu einer 1 MW Anlage, sondern durchaus ähnlich. Insbesondere bei großen Windparks führt dieser Skaleneffekt zu einer erheblichen Kostensenkung und Risikominimierung für den Projektentwickler.
- **Schaffung finanzieller Spielräume für Innovationen und lokale Projekte:** Um eine Dekarbonisierung im Gesamtsystem der Energieversorgung so zügig wie möglich zu erzielen, brauchen Investoren Umsätze mit positiven Renditen, um diese auch in renditeschwache Erzeugung und zukünftige Geschäftsmodelle investieren zu können. Diese Renditen müssen künftig aus wirtschaftlich zu betreibenden großen erneuerbaren Einheiten stammen. Es sei an dieser Stelle insbesondere auf die großen finanziellen Herausforderungen hingewiesen, die eine langfristige Umstellung von erdgasgefeuerten Anlagen auf erneuerbar erzeugtes Methan mit sich bringen werden.
- **Systemstabilisierung und Versorgungssicherheit durch überregionale Energiewende:** Ein wesentlicher Paradigmenwechsel beim Umstieg auf erneuerbare Energien ist der Umstand, dass diese im Gegensatz zu fossilen Energieträgern nicht an den Ort der Erzeugung transportiert werden, sondern die Stromerzeugung dort erfolgt, wo das natürliche Dargebot die wirtschaftlichsten Rahmenbedingungen setzt. Diese grundlegende Umkehrung der Geographie der Energieversorgung führt deshalb zu einer neuen Parallelität von lokaler und dezentraler Erzeugung auf der einen Seite – und auf der anderen Seite zu großen Distanzen zwischen Regionen mit „erneuerbarer Strom-Überproduktion“ und Regionen, die auch bei Ausreizen ihrer lokalen Potenziale auf Stromimporte angewiesen sind.

Um diese räumlichen Extreme der erneuerbaren Stromerzeugung innerhalb eines Versorgungssystems zu steuern, bedarf es eines Um- und Ausbaus des Stromnetzes auf allen Spannungsebenen. Die Auseinandersetzung um den Netzausbau darf jedoch nicht darüber hinwegtäuschen, dass insbesondere die kleinteilige Erzeugung von erneuerbaren Energien von einem **stabilen europäischen Verbundnetz** profitiert. Die stattfindende Reorganisation der europäischen Erzeugungslandschaft könnte ohne dieses Netz noch

nicht so weit erfolgt sein, wie dies heute bereits der Fall ist. So profitiert die Energiewende in allen EU-Staaten von der Ausgleichsfähigkeit der jeweiligen Lastflüsse quer durch Europa sowie der europaweiten Handelbarkeit von Strom, die zu einer Arbeitsteilung und damit erheblichen Beschleunigung der Energiewende führt.

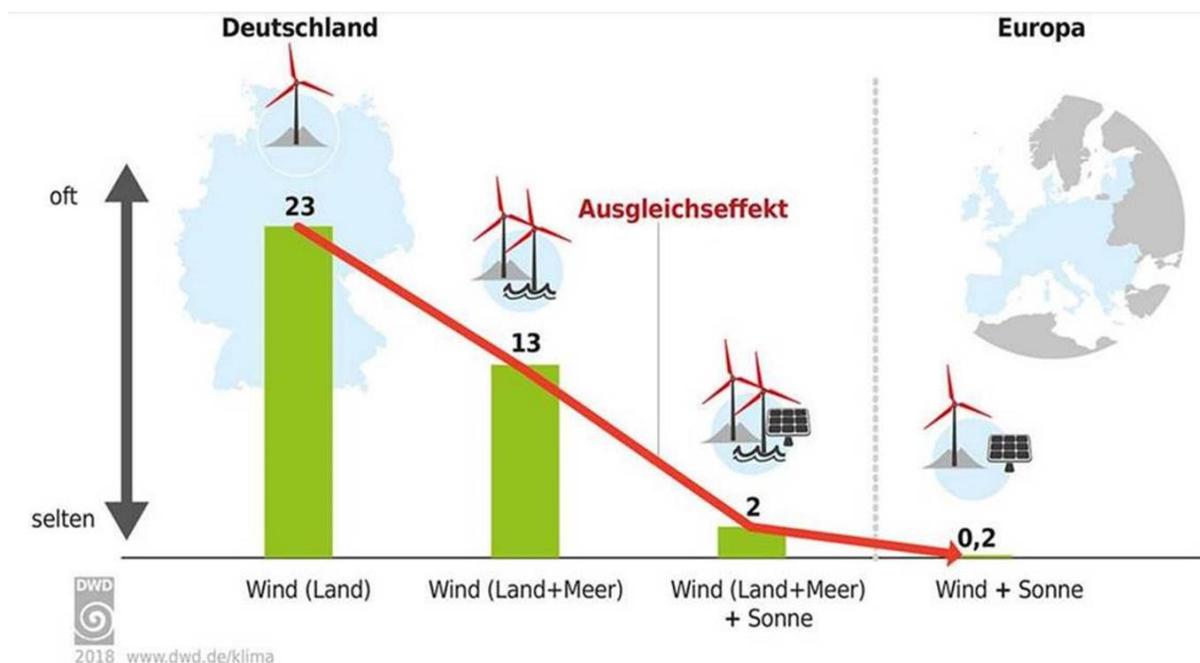


Abbildung 10: Verteilung erneuerbarer Kapazitäten im europäischen Stromverbund mindert Ertragsausfälle von erneuerbaren Energien

Abgebildet in der vom DWD mit freundlicher Genehmigung übernommenen Grafik ist die Anzahl der Situationen im Jahr, in denen zusammenhängende Flauten und sonnenarme Phasen über eine Zeitspanne von 48 Stunden über Deutschland und Europa auftraten (1995 bis 2015).

Ein europaweit geographisch gestreuter EE-Ausbau mit unterschiedlichen Technologien verbessert also die Versorgungssicherheit. Unregelmäßigkeiten des lokalen Wettergeschehens können ausgeglichen werden, was den bei rein regional ausgerichteter Erzeugung gigantischen und teuren Speicherbedarf erheblich senkt.

Vor diesem Hintergrund ist die Strategie der Stadtwerke München sowohl unternehmerisch als auch politisch verantwortungsvoll, neben dem lokalen Ausbau sowie der Unterstützung lokaler Akteure bei deren Ausbauaktivitäten in große Windparks zu investieren, mit denen sich bereits nach wenigen Jahren Überschüsse einnehmen lassen.

Insofern sollten die SWM wie tausende andere kommunale und nicht kommunale Investoren die Energiewende als ein europäisches Projekt begreifen und sich entsprechend dort als Investor engagieren, wo sich die Gelegenheit dazu ergibt.



Dies sollte selbstverständlich nicht als Widerspruch zu der weiter oben herausgestellten möglichen Rolle der SWM für das möglichst optimale Ausschöpfen der wirtschaftlichen, lokalen und regionalen erneuerbaren Strom-Ressourcen verstanden werden.

F. Ausblick

- Die erfolgreiche Energiewende in und für die Region München braucht ein Nebeneinander regionaler und europaweiter Investitionen – wobei aufgrund unzureichender Rahmenbedingungen in Deutschland die Erfüllung anspruchsvoller Ziele nur durch einen hohen Anteil überregionaler Investitionen möglich ist.
- Die SWM haben sich mit der Ausbauoffensive Erneuerbare Energien sehr früh zu ambitionierten Zielen bekannt und waren dadurch von Beginn an damit konfrontiert, dass die zur Zielerreichung notwendige Stromerzeugung nicht innerhalb der Stadt bewerkstelligt werden kann. Diese Situation hat sich seitdem nicht grundsätzlich verändert.
- Für die SWM werden sich angesichts der aktuell desolaten Rahmenbedingungen für die Windkraft in Bayern zumindest in den nächsten Jahren voraussichtlich keine Gelegenheiten ergeben, sich als Investor zu betätigen.
- Bei der Photovoltaik bieten sich den SWM verschiedene Möglichkeiten und Geschäftsmodelle, zur besseren Ausschöpfung des lokal und regional vorhandenen Potenzials beizutragen. Daneben bedarf es erheblicher Verbesserungen des gesetzlichen Rahmens sowie zusätzlicher kommunaler Anstrengungen. Selbst dann wird das faktisch zu realisierende PV-Potenzial jedoch nicht einmal annähernd ausreichen, um München bilanziell mit erneuerbaren Energien zu versorgen.
- Deshalb werden zur Vollendung der Ausbauoffensive weitere Investitionen in EE-Erzeugungsanlagen sowohl lokal als auch regional und europaweit vonnöten sein.
- Der Aufkauf und Weiterbetrieb von Anlagen, die nach spätestens 20 Jahren aus der EEG-Förderung fallen und die vom Netz gehen würden, bietet echten Mehrwert für die Energiewende in Deutschland, da diese Anlagen auf jeden Fall so lange wie möglich in Betrieb gehalten werden sollten, sofern nicht ein Repowering stattfindet.
- Auch der Aufkauf und die Errichtung von größeren PV-Anlagen in München, Bayern, Deutschland und im europäischen Ausland sind anzuraten, da viele PV-Standorte „Ewigkeitsstandorte“ sein werden, d.h. auf ihnen lassen sich alle 30 bis 40 Jahre die Module austauschen und somit dauerhaft extrem kostengünstig erneuerbare Energie erzeugen. Damit verbunden wäre ein stärkeres Engagement im Bereich der Speicher ratsam, da diese den PV-Strom aufwerten können, indem er 24 Stunden am Tag geliefert werden könnte.
- Mit der enormen Kostenreduktion für Photovoltaik in den letzten Jahren lässt sich der lokale Ausbau beschleunigen. Die Stadtwerke können hierbei jedoch nur ein Akteur von vielen sein und sollten nicht in Konkurrenz zu anderen Akteuren und ihren eigenen Kunden treten, wenn diese selbst bauen wollen. Deshalb scheint es sinnvoll, sich diesen engagierten Personen und Unternehmen wie bisher als Kooperationspartner anzubieten, und die Leistungen auszubauen, die der Einzelne nicht wirtschaftlich selbst erbringen kann.

- Das absehbare Erreichen der Ziele der Ausbauoffensive sollte nicht zu einer Beendigung des Engagements der SWM zum Ausbau der erneuerbaren Energien führen, zumal der Strombedarf Münchens durch die E-Mobilität und den Umbau der Wärmeversorgung (Wärmepumpe) voraussichtlich eher zu- als abnehmen wird.
- Stattdessen wird angeregt, ab Zielerreichung der AO EE eine Strategie zu entwickeln, wie das Stromerzeugungsportfolio durch zusätzliche lokale und regionale Anlagen weiter „lokalisiert“ bzw. „regionalisiert“ werden kann. Der grundsätzlich überregionale Charakter des Portfolios wird sich hierdurch jedoch nicht signifikant verändern lassen. Zusätzlich ist zu beachten, dass aufgrund von Entwicklungen wie Elektromobilität, Sektorenkopplung und Bevölkerungszunahme der Strombedarf ab 2025 wieder in einem Maß steigen wird, der einen zusätzlichen Aufbau weiterer Kapazitäten erfordert, der mit regionalen und lokalen Potenzialen alleine weiterhin nicht zu decken ist. Wenn neue lokale und regionale regenerative Stromerzeugungspotenziale durch verbesserte Rahmenbedingungen entwickelt werden können, sollten die SWM jedoch weiter entsprechend investieren und damit einen Beitrag zum schnelleren Ausbau leisten.
- 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.
- Es wird daher angeregt, gemeinsam mit der Gesellschafterin LH München die Möglichkeiten zu diskutieren, wie der Ausbau des lokalen/regionalen PV-Potenzials gefördert und vorangetrieben werden kann.

Literaturverzeichnis

[ABB 2014] Ingenieurbüro ABB, „Energienutzungsplan Große Kreisstadt Erding“, Studie im Auftrag der Großen Kreisstadt Erding, [Online-Quelle](#)

[BAUM Consult 2013] Karg/Wedler/Blaschke/Sailer/Giglmaier/Pielniok/Reiß, „Integriertes Klimaschutzkonzept für den Landkreis Bad Tölz-Wolfratshausen“, Zugang über [Online-Quelle](#)

[Bergner et al. 2018] Bergner/Siegel/Quaschnig, „Das Berliner Solarpotenzial. Kurzstudie zur Verteilung des solaren Dachflächenpotenzials im Berliner Gebäudebestand“, [Online-Quelle](#)

[BMU 2010] Potentialermittlung für den Ausbau der Wasserkraftnutzung in Deutschland als Grundlage für die Entwicklung einer geeigneten Ausbaustrategie, Schlussbericht, [Online-Quelle](#)

[BMVI 2015] Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (Hrsg.), „Räumlich differenzierte Flächenpotenziale für erneuerbare Energien in Deutschland“, BMVI, 08/2015, [Online-Quelle](#)

[DMB 2017] DMB/EA/BSW/GdW, „Gemeinsam die urbane Solarwende starten. Pressekonferenz zum PV-Mieterstrom“, [Online-Quelle](#)

[Energieatlas Bayern] „Energieatlas Bayern“, Bayerische Staatsregierung, [Online-Quelle](#)

[e.on / BEW 2009] e.on Wasserkraft GmbH und Bayerische Elektrizitätswerke. Potenzialstudie „Ausbaupotenziale Wasserkraft in Bayern“, [Online-Quelle](#)

[FfE 2018a] Reinhold/Dufter/Kleinertz/von Roon, „Wärmewende München 2040 – Handlungsempfehlungen. Endbericht“, Studie im Auftrag der Stadtwerke München, [Online-Quelle](#)

[FfE 2018b] Schmid/Jetter/Konetschny, „Regionalisierung des Ausbaus der Erneuerbaren Energien. Begleitdokument zum Netzentwicklungsplan 2030 (v2019)“, [Online-Quelle](#)

[FfE 2019] Schmid/Jetter/Limmer, „EE-Prognose Bayern. Aktualisierung 2019“, [Online-Quelle](#)

[Fraunhofer ISE 2012] Henning/Palzer, „100% Erneuerbare Energien für Strom und Wärme in Deutschland“, [Online-Quelle](#)

[Fraunhofer ISE 2013 und 2015] H.-M. Henning und A. Palzer, „Energiesystem Deutschland 2050“, Fraunhofer Institut für Solare Energie-systeme (ISE), Freiburg, Nov. 2013, [Online-Quelle](#)

[Fraunhofer ISE 2015] H.-M. Henning und A. Palzer, „Was kostet die Energiewende? Wege zur Transformation des deutschen Energiesystems bis 2050“, Fraunhofer Institut für Solare Energiesysteme (ISE), Freiburg, Nov. 2015, [Online-Quelle](#)

[Fraunhofer ISE 2019a] Stryi-Hipp/Gözl/Bär/Wieland/Xu-Sigurdsson/Freudenmacher/Taani, „Expertenempfehlung zum Masterplan Solarcity Berlin. Masterplanstudie und Maßnahmenkatalog“, Studie im Auftrag des Landes Berlin, [Online-Quelle](#)

[Fraunhofer ISE 2019b] Wirth, „Aktuelle Fakten zur Photovoltaik in Deutschland“, [Online-Quelle](#)

Fraunhofer ISI et al. [2017] Pfluger/ Fleiter/ Kranzl/ Hartner/ Schade/ Hennecke/ Fehrenbach/ Brischke/ Tersteegen/ Sensfuß/ Steinbach, Langfristszenarien für die Transformation des Energiesystems in Deutschland, Modul 10.a: Reduktion der Treibhausgasemissionen Deutschlands um 95% bis 2050. Grundsätzliche Überlegungen zu Optionen und Hemmnissen. Studie im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie. Langfassung, 2017, [Online-Quelle](#)

Fraunhofer IWES Beitrag von Biogas zu einer verlässlichen erneuerbaren Stromversorgung, [Online-Quelle](#)

[IÖW 2011] Hirschl/Aretz/Dunkelberg/Neumann/Weiß, „Potenziale erneuerbarer Energien in Berlin 2020 und langfristig – Quantifizierung und Maßnahmengenerierung zur Erreichung ambitionierter Ausbauziele“, Studie zum Berliner Energiekonzept im Auftrag der Berliner Energieagentur, [Online-Quelle](#)

[Jäger et al. 2016] Jäger/McKenna/Fichtner, „The feasible onshore wind energy potential in Baden-Württemberg: A bottom-up methodology considering socio-economic constraints“, Renewable Energy 96: 662-675

[Jetter et al. 2016] Jetter/Bosch/Schmid, „Analyse des PV-Potenzials von Wohngebäuden anhand siedlungsgenetischer Merkmale“, Journal für Angewandte Geoinformatik 2-2016: 106-115

[K.GROUP 2010] Monhart/Schmitz/König/Albrecht/Altmann/Krekel/Rixner/Lehner, „Machbarkeitsstudie Solarinitiative München“, Studie im Auftrag der Landeshauptstadt München, der Stadtwerke München und der Stadtparkasse München

[LfL 2013] Landesamt für Landwirtschaft. Aschmann/ Effenberger/ Graf/ Halama/ Keymer/ Strobl/ Winkler, "Bayernplan – Einsatz von Biogas zum Ersatz von Gaskraftwerken", [Online-Quelle](#)

[LfL 2019] Landesamt für Landwirtschaft Biogas in Zahlen – Statistik zur bayerischen Biogasproduktion, [Online-Quelle](#)

[Landeshauptstadt München 2017]. Referat für Gesundheit und Umwelt, Entwicklung der EEG-Anlagen in München 2001-2016.

[Öko-Institut 2007] Timpe/Fritsche/Seebach/Hünecke/Moerschner, „Ausbau der Erneuerbaren Energien. Potenzialanalyse für die Stadtwerke München“, Freiburg/Darmstadt: Öko-Institut

[Öko-Institut 2017] Kenkmann/Hesse/Hülsmann/Timpe/Hoppe, „Klimaschutzziel und -strategie München 2050, Endbericht“, Freiburg: Öko-Institut

[Öko-Institut und Prognos 2018] Matthes/ Flachsbarth/ Loreck/ Hermann/ Falkenberg, Zukunft Stromsystem II – Regionalisierung der Stromerzeugung – Vom Ziel her denken. Studie im Auftrag des WWF. 2018.

[Peter 2013] Peter, „Modellierung einer vollständig auf erneuerbaren Energien basierenden Stromerzeugung im Jahr 2050 in autarken, dezentralen Strukturen“, Studie für das Umweltbundesamt, UBA: Dessau-Roßlau, [Online-Quelle](#)

[Plappert et al. 2019] Plappert/Rudolph/Vollmer, „Auswirkungen von Mindestabständen zwischen Windenergieanlagen und Siedlungen“, Studie des Umweltbundesamtes, Zugang über [Online-Quelle](#)

[Rotter 2018] Rotter, „Wasser und Strom für München. Vom Cholera-Nest zur leuchtenden Metropole“, Weissenhorn: Anton H. Konrad Verlag

[Siegel et al. 2017] PV in Städten – Erkenntnisse über Potenziale in Berlin. Bernhard Siegel, Joseph Bergner und Volker Quaschnig. 32. Symposium Photovoltaische Solarenergie, Kloster Banz, Bad Staffelstein, 8.-10. März 2017, [Online-Quelle](#)

[SWM 2019] SWM Infrastruktur GmbH & Co. KG, „Bericht nach §77 EEG für das Jahr 2018“, [Online-Quelle](#)

[Styri-Hipp et al. 2019] Expertenempfehlung zum Masterplan Solarcity Berlin, im Auftrag des Landes Berlin.

[Tröndle et al. 2019] Tröndle/Pfenninger/Lilliestam, „Home-made or imported: On the possibility for renewable electricity autarky on all scales in Europe“, Energy Strategy Reviews 26, [Online-Quelle](#)

[TÜV Süd 2019] TÜV Süd Industrie Service GmbH, „Prüfung der Umsetzung des Bürgerbegehrens ‚Raus aus der Steinkohle‘“, [Online-Quelle](#)

[Umweltministerium BW 2018] Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg, „Erfahrungsbericht zum Erneuerbare-Wärme-Gesetz Baden-Württemberg“, [Online-Quelle](#)



KONTAKT

Christian Maaß
Robert Werner

HIC Hamburg Institut Consulting GmbH
Paul-Neermann-Platz 5
22765 Hamburg

Tel.: +49 (40) 39 106 989-0
info@hamburg-institut.com
www.hamburg-institut.com