



AUSBAU DER ERNEUERBAREN ENERGIEN FÜR EINE WIRKSAME KLIMAPOLITIK IN BADEN-WÜRTTEMBERG

Entscheidende Schritte in den nächsten zehn Jahren

Autor: Dr. Joachim Nitsch

Redaktion: Magdalena Magosch

Stand Mai 2020

Vorwort der Plattform Erneuerbare Energien Baden-Württemberg

Die Corona-Pandemie führt uns deutlich vor Augen, welche Herausforderungen eine globale Krise mit sich bringt. In diesen außergewöhnlichen Zeiten zeigen Regierungen und die Bevölkerung, dass sie handlungsfähig sind und schnell auf Gefahren von außen reagieren können. Die Folgen des Klimawandels sind im Gegensatz dazu schleichend und werden daher trotz ihrer Dramatik unterschätzt. Der Klimaschutz ist eine dringliche Aufgabe, die keinen Aufschub erlaubt. Der Ausbau der erneuerbaren Energien und mehr Energieeffizienz sind dabei unverzichtbar.

Die Wissenschaft macht klar, dass das kommende Jahrzehnt für den Klimaschutz entscheidend wird – denn bislang fehlt es an ausreichend konkreten Maßnahmen und ihrer Umsetzung. Die vorliegende Studie zeichnet auf, wie Baden-Württemberg einen angemessenen Beitrag zum Erreichen des Pariser Klimaziels, der Begrenzung der Erderwärmung auf deutlich unter 2°C, leisten kann.

Für den starken Ausbau erneuerbarer Energien, der im Fokus der Szenarien steht, braucht es stabile und stimulierende politische Rahmenbedingungen. Das Land spielt zwar mit der Solaroffensive, dem Ausbau ländlicher Wärmenetze und dem Erneuerbaren Wärmegesetz bundesweit eine Vorreiterrolle, aber der Ausbau der erneuerbaren Energien ist auch im Südwesten deutlich hinter den notwendigen Zuwachsraten zurückgeblieben.

Ein über das jetzige Maß hinausgehender und politisch unterstützter Ausbau der erneuerbaren Energien wird zudem helfen, die ökonomischen Auswirkungen der Corona-Krise abzumildern. Verstärkte Investitionen in eine zukunftsfähige Energieinfrastruktur müssen Teil eines grünen und nachhaltigen Konjunkturpaketes sein. Dies fordern auch der Direktor der Internationalen Energieagentur IEA Birol Fatih und die Europäische Kommissionspräsidentin Ursula von der Leyen. Lokale Wertschöpfung und neue Arbeitsplätze in der Erneuerbaren-Branche können zu einem wirtschaftlichen Wiederaufschwung in den nächsten Monaten und Jahren beitragen. Alle notwendigen Technologien stehen zur Verfügung. Es hapert an der Umsetzung, obwohl Investitionen in den Klimaschutz volkswirtschaftlich lohnend sind und ein Warten die Kosten erhöht.

Die Plattform Erneuerbare Energien Baden-Württemberg steht als Dachorganisation der Erneuerbaren-Branche im Südwesten dafür ein, dass die hier vorgestellten Ausbaupfade machbar und sinnvoll sind: Technisch, weil es weiterhin Effizienzsteigerungen geben wird; wirtschaftlich durch rentable Investitionen; sozial, weil neue Arbeitsplätze entstehen; ökologisch vertretbar, weil die Eingriffe in Natur und Landschaft akzeptabel sind und demokratisch, weil die Gesellschaft die Möglichkeit zu Teilhabe und Beteiligung hat. Die Studie macht auf konkrete Art deutlich, wie der Zubau aller erneuerbaren Energien die Grundlage für eine gelingende und umfassende Energiewende und wirksamen Klimaschutz sein kann.

Auf einen Blick

Der Ausbau erneuerbarer Energien ist eine tragende Säule wirksamer Klimapolitik. Die vorliegende Studie zeigt an Hand von vier Szenarien für Baden-Württemberg, in welchem Umfang unterschiedliche Ausbaupfade erneuerbarer Energien zur notwendigen Reduktion von Treibhausgasen bis zum Jahr 2030 beziehungsweise 2050 führen. Der Fokus liegt dabei insbesondere auf der Strom- und Wärmeerzeugung. Der Mobilitätsbereich wird im Rahmen der Sektorkopplung am Rande behandelt.

Ausbauszenario BW PLUS – die Empfehlung der Plattform EE BW

- Entspricht einer **Halbierung der Treibhausgasemissionen** von 1990 bis 2030,
 - ermöglicht, dem im Pariser Klimaschutzabkommen festgelegten Ziel von deutlich unter 2° Erwärmung nahe zu kommen.
- Setzt für die notwendige THG-Reduktion auf einen **verstärkten Zubau der erneuerbaren Energien** und geht von einem Kohleausstieg bereits gegen 2030 aus.
- Im **Stromsektor** wird mit einer Beseitigung bestehender Hemmnisse, vereinfachten und beschleunigten Genehmigungsprozessen und einem angemessenen CO₂-Preis folgendes für das kommende Jahrzehnt erreicht werden:
 - Windenergie: durchschnittliche jährliche Zubaurate von 325 MW/a
 - PV: durchschnittliche jährliche Zubaurate von 870 MW/a
 - Biomasse und Wasserkraft: leichte Steigerung der bisherigen Kapazität
 - engagierter Einstieg in die Tiefengeothermie
 - und damit eine **EE-Gesamtleistung von 22 GW** und ein **EE-Anteil von 49 %** (ohne Einbeziehung des Stromimportsaldos)
- Im **Wärmesektor** sind eine ambitionierte kommunale Wärmeleitplanung und der Neu- und Ausbau von Wärmenetzen erforderlich, um bis 2030 unter anderem
 - die Solarkollektorfläche mit steigendem Anteil an Großanlagen auf 9 Mio. m² zu verdoppeln,
 - weiterhin etwa 25.000 neue Wärmepumpen pro Jahr zu installieren,
 - die Wärmeerzeugung aus Tiefengeothermie zu verfünffachen und aus Biomasse zu steigern,
 - und damit den **EE-Anteil am Wärmeverbrauch auf 27 %** zu steigern.
- **Realisierung des Szenarios** ist aus Sicht der Plattform EE BW unter entsprechenden politischen Rahmenbedingungen machbar, aus struktureller (Potenziale, Flächenverfügbarkeit), technischer (weiterhin zu erwartende Effizienzsteigerungen bei Wind und Solar) und unternehmerischer Sicht.

Übersicht über die verwendeten Szenarien

Die vier für diese Studie entwickelten Szenarien bauen auf dem 2017 erstellten Szenario [IEKK-17] für das Integrierte Energie- und Klimaschutzkonzept des Landes Baden-Württemberg auf. Das Szenario **ZIEL BW** ist eine Fortschreibung des damaligen Szenarios mit Ergänzungen der Werte für das Jahr 2018. Die damit mögliche THG-Reduktion von 42 % bis 2030 gegenüber 1990 entspricht dem Ziel des Landes Baden-Württemberg wie es in den Eckpunkten zur Fortschreibung des Klimaschutzgesetzes Baden-Württemberg vorgesehen ist. Das Szenario **KOHLE 38** fügt diesem Ausgangsszenario den auf Bundesebene beschlossenen Ausstieg aus der Kohleverstromung für das Jahr 2038 hinzu.

Die beiden Szenarien **BW PLUS** und Ziel PARIS bauen ebenfalls auf dem Szenario von 2017 auf, gehen aber davon aus, dass der Kohleausstieg bereits auf das Jahr 2030 vorgezogen wird und setzen auf einen verstärkten Ausbau erneuerbarer Energien vor allem zur Strom- und Wärmegewinnung. BW Plus schöpft damit vorrangig die kurzfristigen Potentiale im Stromsektor aus, während **Ziel PARIS** darüber hinaus auf verstärkte Effizienzmaßnahmen und eine noch höhere Reduktion des Energieverbrauchs in allen Sektoren setzt.

Ergebnisse der Studie

Bisher beschlossene Ziele und Maßnahmen für Klimaschutz nicht ausreichend

Die bislang beschlossenen Ziele und Maßnahmen der Landes- wie auch der Bundespolitik stellen nicht sicher, dass der Beitrag Baden-Württembergs zur Einhaltung des Pariser Klimaschutzziels angemessen ist. Dafür reicht das von der Landesregierung in der Fortschreibung des Klimaschutzgesetzes anvisierte Ziel von minus 42 % gegenüber 1990 nicht aus (Szenario ZIEL BW). Die zusätzliche Umsetzung des Kohleausstiegs im Jahr 2038 würde zwar zu einer Reduktion des Treibhausgasausstoßes von -45 % führen (Szenario Kohle 38, siehe Bild A), bleibt aber auch hinter den Anforderungen des Pariser Klimaschutzabkommens zurück.

Erst mit einer Reduktion der THG-Emissionen um 50 % bis 2030 gegenüber 1990 besteht noch Aussicht, im weiteren Verlauf bis 2050 dem in der Pariser Klimakonferenz angestrebten Ziel eines auf deutlich unter 2 Grad begrenzten Temperaturanstiegs möglichst nahe zu kommen. Eine solche Halbierung der Emissionen ist die Grundlage des Szenarios BW PLUS. Das weitergehende Szenario ZIEL PARIS verlangt gegenüber BW PLUS eine erhöhte Reduktion des Energieverbrauchs mit einem kumulierten CO₂-Budget von rund 900 Mio. t CO_{2äq} (2019-2050). Mit einer Minderung von -64 % kann es als wirklich angemessener Beitrag des Landes Baden-Württemberg zur Erreichung des Pariser Ziels angesehen werden.

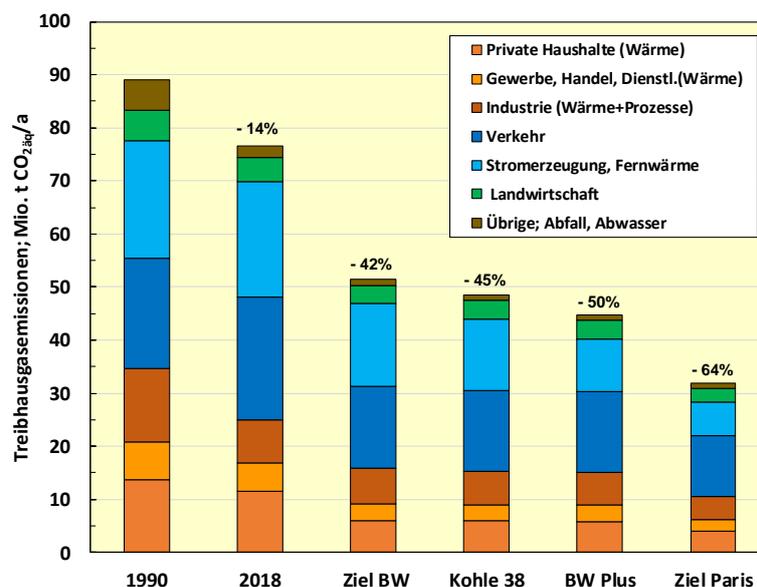


Bild A: THG-Emissionen BW im Jahr 2030 in vier Szenarien im Vergleich zu den Jahren 1990 und 2018

Jährliche THG-Reduktion muss mindestens versechsfacht werden

Um die beschriebene Senkung der CO₂-Emissionen bis 2030 beziehungsweise 2050 sicherzustellen, muss die jährliche Reduktionsrate der THG-Emissionen erheblich gesteigert werden. Bis zum Stichtag 2018 sind die THG-Emissionen in Baden-Württemberg gegenüber 1990 erst um 14 % gesunken.

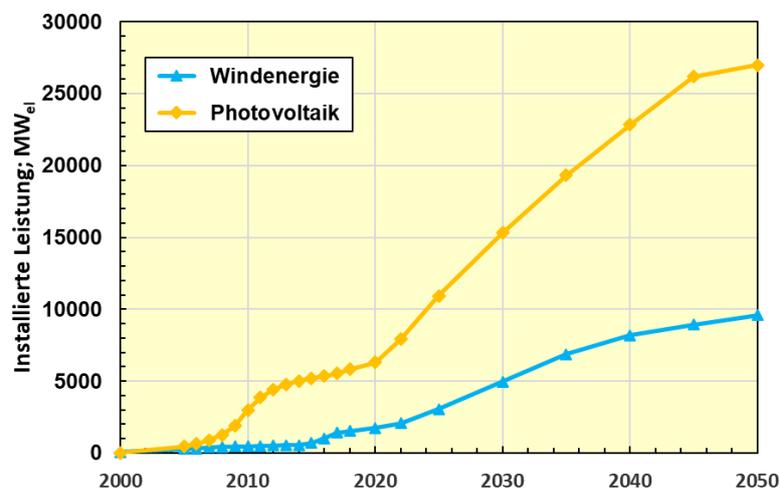
Für das Szenario BW PLUS, das die Chancen zur Erreichung der Pariser Klimaschutzziele offenhält, muss die jährliche THG-Reduktionsrate um das Sechsfache steigen. Allein diese eine Kennziffer zeigt, dass die bisherige und gegenwärtige Energiepolitik bei weitem nicht ausreicht, die Anforderungen eines erfolgreichen Klimaschutzes zu erfüllen.

Um diesen Reduktionspfad einzuschlagen, ist neben dem Energieimport aus anderen Teilen Deutschlands und Europas der verstärkte Zubau erneuerbarer Energien sowohl im Strom- und Wärmebereich notwendig. Die politischen Weichen müssen daher so gestellt werden, dass die Zubauraten nach deren Einbruch in einigen Branchen schnellstmöglich und erheblich steigen.

EE-Strom-Ausbau im Szenario BW PLUS als Mindestmaß für echten Klimaschutz

Für einen erfolgreichen Klimaschutz wie im Rahmen des Szenarios BW PLUS sind im Zeitraum 2020-2030 durchschnittliche jährliche Zubauraten im Stromsektor von 870 MW/a (PV), 325 MW/a (Wind) und 22 MW/a (restliche EE) erforderlich – an dessen Ende eine installierte Gesamtleistung von 22 GW erneuerbarer Energien im Jahr 2030 steht. Damit erreicht der EE-Anteil am Stromverbrauch 2030 einen Wert von 49 % bzw. von 70 % unter Einbeziehung des Stromimportaldos.

Dies ist technisch und strukturell (Potenziale, Flächenverfügbarkeit) prinzipiell machbar, bedarf jedoch koordinierter Anstrengungen der Politik, der Stromversorger, Unternehmen, Privathaushalte und der Kommunen. Bild B zeigt die entsprechenden Ausbaupfade für alle EE-Technologien zur Stromerzeugung in diesem Szenario unter Berücksichtigung einer Übergangszeit, in der jetzt die entsprechenden politischen und regulatorischen Rahmenbedingungen geschaffen werden müssen.



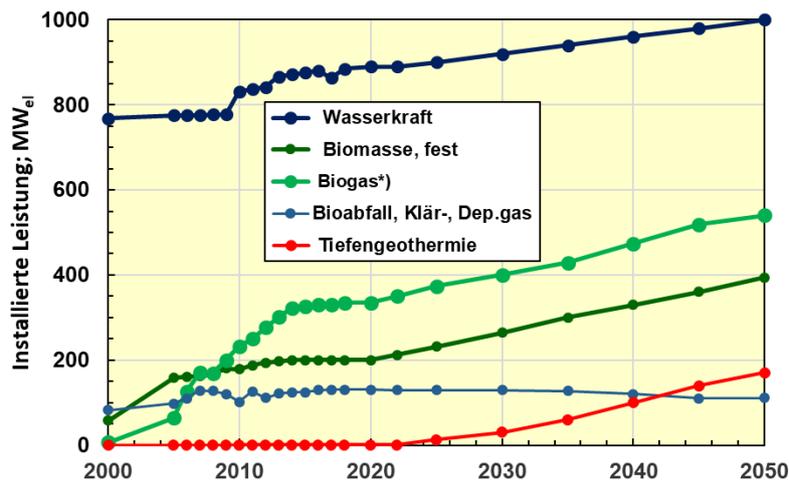


Bild B: Zubau der EE-Stromerzeugung im Szenario BW PLUS bis 2050: vorangehende Seite Windenergie und Photovoltaik; diese Seite Wasserkraft, feste Biomasse, Biogas (einschl. flüssige Biotreibstoffe), Bioabfall sowie Klär- und Deponiegas, Tiefengeothermie

Die Wärmeversorgung muss erneuerbar werden

Hinsichtlich eines erfolgreichen Klimaschutzes ist die weitere Entwicklung des Wärmesektors von zentraler Bedeutung. 2018 stammten einschließlich des Stromeinsatzes für Wärmezwecke knapp 50 % (= 37,8 Mio. t CO_{2äq}) der gesamten THG-Emissionen von BW aus diesem Bereich. Noch nahezu 60 % der für die Wärmebereitstellung eingesetzten Endenergie stammen aus dem direkten Einsatz der fossilen Energieträger Erdgas, Heizöl und (geringfügig) Kohle. Dazu kommt noch Wärme aus fossiler Kraft-Wärme-Kopplung.

Das Szenario BW PLUS beinhaltet dementsprechend einen deutlichen Zubau von Solar- und Umweltwärme sowie Geothermie und die Nutzung zusätzlicher (wenn auch begrenzter) Biomassepotenziale (siehe Bild C).

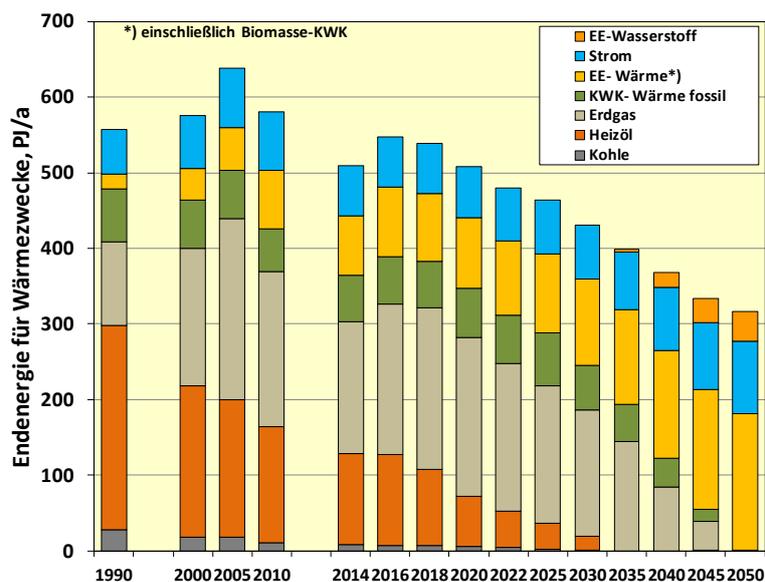


Bild C: Entwicklung der Endenergie für Wärmezwecke (Heizenergie, Warmwasser, gewerbliche und industrielle Prozesswärme) im Szenario BW PLUS

Der Bau von Wärmenetzen ist dafür unabdingbar. Der Anteil der netzgebundenen Wärmeversorgung von derzeit rund 15 % steigt im Szenario BW PLUS auf 30 % im Jahr 2030. Parallel sinkt die Gesamtnachfrage nach Wärme bis 2030 um 20 %. In dieser Kombination könnte der Anteil der EE am gesamten Wärmeverbrauch bis 2030 auf 27 % anwachsen. Hinzukommen muss eine signifikante Nutzung der industriellen Abwärme.

EE-Strom und grüner Wasserstoff machen den Verkehr klimaschonender

Im Verkehrssektor sind EE-Strom und grüner Wasserstoff erneuerbare Optionen. Beide bedienen im Szenario BW PLUS im Jahr 2050 etwa 35 % der Energienachfrage im Verkehr. Grüner Wasserstoff wird ab 2025 auch als Kraftstoff dienen und sollte dort eingesetzt werden, wo die direkte Nutzung von EE-Strom an ihre Grenzen stößt. Ein CO₂-Preis, der die Klimaschadenskosten fossiler Energie angemessen berücksichtigt, ist eine der entscheidenden Voraussetzungen für eine breite Markteinführung sowohl von EE-Strom wie von EE-Wasserstoff.

Voraussetzungen für einen starken EE-Ausbau

Der im Szenario BW PLUS dargestellte EE-Ausbau erfordert eine Anpassung und Verbesserung der politischen und regulatorischen Rahmenbedingungen. Er stellt insbesondere im Wärmesektor hinsichtlich der Schnelligkeit der notwendigen Strukturveränderungen enorme Herausforderungen an die kommunalen und privaten Akteure. Folgende Voraussetzungen müssen erfüllt sein, um einen starken Ausbau der erneuerbaren Energien zu ermöglichen:

- Umfassende Berücksichtigung der externen Kosten der konventionellen Energieerzeugung und -versorgung mittels eines angemessenen CO₂-Preises.
- Verpflichtende Wärmeplanungen in allen Kommunen. In diesem Rahmen können auch größere Projekte der (tiefen) Geothermie und Solarthermie konkretisiert sowie die Nutzung industrieller Abwärme vereinfacht werden. Die Errichtung neuer Wärmenetze, Fernwärmeschienen und Wärmespeicher ist dafür essenziell.
- Beschleunigung und Vereinheitlichung von Genehmigungsverfahren.
- Aufbau von Produktionskapazitäten für grünen Wasserstoff.

Hinsichtlich der einzelnen EE-Technologien gilt es, bestehende Hemmnisse unter anderem durch eine Überarbeitung des Erneuerbare-Energien-Gesetzes (EEG) abzubauen und weitere Anreize zu setzen:

- Beseitigung der derzeitigen Ausbaugrenzen und anderer Barrieren, unter anderem Erhöhung der Zubaukorridore und Abschaffung der Deckelung des Gesamtzubaus, keine pauschalen Abstandsregelungen zu Windenergieanlagen, Degressionsmechanismen im EEG u. a. für Tiefengeothermie.
- PV als verpflichtender Standard auf Neubauten, Prüfung der Eignung bei großen Bestandsgebäuden.
- Politische Unterstützung bei Bestandssicherung und Ausschöpfung von noch vorhandenen Potentialen bei Wasserkraft-, Biogasanlagen und Holzheizkraftwerken.

Neben dem Ausbau erneuerbarer Energien ist es unerlässlich, Strom-, Gas- und Wärmenetze besser zusammen zu denken und eine echte Sektorkopplung zwischen den Sektoren Strom, Wärme und Mobilität auf den Weg zu bringen. Dadurch wird einerseits die Dekarbonisierung des Wärme- und Mobilitätsbereichs unterstützt. Andererseits ermöglicht die Kopplung eine Flexibilisierung des Verbrauchs und zusammen mit dem intelligenten Einsatz von Batteriespeichern und Wasserstoff die effiziente Integration hoher Anteile fluktuierender Stromerzeugung aus Sonne und Wind in das Energiesystem. Die Digitalisierung des Energiesystems, zum Beispiel durch intelligente Zähler und digitales Lastmanagement im Netz und beim Verbraucher, bringt die Sektorkopplung voran und muss in den 20er-Jahren intensiver umgesetzt werden.

Dieses Papier konzentriert sich auf den Ausbau der erneuerbaren Energien in BW. Es ist aber klar, dass die Steigerung der Energieeffizienz von ebenso großer Bedeutung ist. Nur mit einer parallelen beträchtlichen Reduktion des Energieverbrauchs – vor allem im Bereich der Wärme und der Mobilität – können die Anteile von EE rasch genug wachsen, um die notwendige THG-Reduktion rechtzeitig genug zu erreichen.

Inhaltsverzeichnis

Vorwort der Plattform Erneuerbare Energien Baden-Württemberg.....	1
Auf einen Blick.....	2
1. Szenarien einer wirksamen Klimaschutzpolitik in Baden-Württemberg	9
1.1. Ausgangslage und resultierende Herausforderungen	9
1.2. Einordnung der Szenarien	10
1.3. Steigerung der Energieeffizienz und Entwicklung des Endenergieverbrauchs.....	12
2. Umbau der Kraftwerksstruktur in Baden-Württemberg	14
3. Notwendiger Zubau von EE-Anlagen zur Stromerzeugung	16
3.1. Summe aller EE-Anlagen.....	16
3.2. Ausbau der Windenergie	18
3.3. Ausbau der Photovoltaik	19
3.4. Ausbau der Biomasse.....	21
3.5. Ausbau der Tiefengeothermie.....	23
3.6. Ausbau der Wasserkraft	25
3.7. Empfehlungen zur Beschleunigung des EE-Ausbaus im Stromsektor	25
4. Umstrukturierung der Wärmeversorgung	26
4.1. Rahmenbedingungen und Entwicklung im Szenario BW PLUS	26
4.2. Ausbau der Wärmeversorgung aus Bioenergien	28
4.3. Ausbau der solarthermischen Wärmeversorgung.....	29
4.4. Ausbau der Wärmeversorgung mit Umweltwärme (Wärmepumpen)	31
4.5. Ausbau der Wärmeversorgung mit Tiefengeothermie	31
4.6. Wesentliche Handlungsempfehlungen zur wirksamen Mobilisierung der „Wärmewende“	32
5. Ausbau der EE im Verkehrssektor – Strom und Wasserstoff.....	32
6. Der effiziente Umbau der Energieversorgung – eine energiepolitische Aufgabe mit hoher Dringlichkeit.....	34

1. Szenarien einer wirksamen Klimaschutzpolitik in Baden-Württemberg

1.1. Ausgangslage und resultierende Herausforderungen

Bis zum Stichtag 2018 sind die THG-Emissionen in Baden-Württemberg gegenüber 1990 erst um 14 % gesunken. Die Sektoren Verkehr und Stromerzeugung/Fernwärme verursachen mit **31 % bzw. 28 %** den weitaus größten Anteil der THG-Emissionen, gefolgt von den Privaten Haushalten (nur Brennstoffe) mit 14 % und der Industrie mit 12 %. In der Industrie verursacht nicht nur der Verbrauch von Brennstoffen Emissionen, zu etwa einem Drittel stammen die Emissionen aus Prozessen (in BW insbesondere Zementherstellung). Der Verkehr ist der einzige Sektor, in dem die Emissionen seit 1990 gestiegen sind. Bei der Stromversorgung sind sie im Wesentlichen konstant geblieben. In den Sektoren Haushalt, Gewerbe/ Handel/ Dienstleistungen (GHD) und Industrie sind die Emissionen zwischen 1990 und 2018 merklich gesunken. Der Hauptgrund dafür war (insbesondere in der Industrie) die starke Verdrängung von Heizöl durch Erdgas in der Wärmeerzeugung. Aber auch Effizienzsteigerungen (Gebäude) führten zu einer Verringerung. Die stärkste Reduktion von -64 % erfolgte im Sektor Abfall/Abwasser durch die breite Einführung von Kläranlagen und die Stilllegung von Mülldeponien.

Wenn das derzeit diskutiertere Ziel für die weitere Reduktion von Treibhausgasen in Baden-Württemberg von -42 % bis zum Jahr 2030 erreicht werden soll, sind in der Energieversorgung Baden-Württembergs erhebliche Strukturveränderungen erforderlich, die hinsichtlich Intensität und Geschwindigkeit weit über die in der Vergangenheit erfolgten Veränderungen hinausgehen müssen. Das tatsächlich erforderliche Ausmaß und die notwendige Geschwindigkeit der für einen erfolgreichen Klimaschutz erforderlichen Strukturveränderungen sowie insbesondere der notwendige Beitrag der erneuerbaren Energien für die Annäherung an das notwendige Klimaschutzziel wird im Folgenden anhand von vier Szenarien dargestellt. Im Mittelpunkt steht dabei der mögliche bzw. notwendige Beitrag eines deutlichen Ausbaus der erneuerbaren Energien.

Ausgangsbasis der Betrachtungen ist das für die Fortschreibung des Integrierten Energie- und Klimaschutzkonzepts im Jahr 2017 erstellte Szenario [IEKK-17]. Darauf aufbauend sind in **Tabelle 1** die wesentlichen Charakteristika und wichtigsten Eckdaten von vier Szenarien dargestellt, die sukzessive zu einem verschärften Klimaschutz führen. Das Szenario **ZIEL BW** entspricht dem ursprünglichen IEKK-Szenario ergänzt um die aktuellen Werte des Jahres 2018. Will man in diesem Szenario das Ziel 2030 erreichen, so muss die jährliche THG-Reduktionsrate um das 5-fache höher sein als im Zeitraum 1990-2018. Das zeigt die enormen Herausforderungen, vor der eine wirksame Klimapolitik steht.

Tabelle 1: Kurzcharakterisierung und Eckdaten der Energieszenarien für das Jahr 2030

Name	Istzustand 2018	Szenarien 2030			
		ZIEL BW	KOHLE 38	BW PLUS	ZIEL PARIS
Kurzcharakterisierung		[IEKK-2017] ergänzt um Werte 2018	Zusätzlich vereinbarter Kohleausstieg 2038 berücksichtigt	Deutlicher Zuwachs von EE- Potenzialen im Strom- und Wärmesektor; Kohleausstieg bereits 2030	Zusätzlich starke Effizienzmaßnahmen mit deutlicher Verbrauchsreduktion in allen Sektoren, weiterer Zuwachs bei Wind und PV
EE-Stromkapazität; GW	8,9	18,1	20,3	22,0	26,4
EE-Wärmemenge; TWh/a	15,8	24,0	24,3	27,5	27,7
Endenergieverbrauch, TWh/a	286	228 (-20%)	228 (-20%)	228 (-20%)	193 (-33%)
THG-Reduktion gegenüber 1990	-14%	- 42%	-45%	-50%	-64%

Will man darüber hinaus sicherstellen, dass der Beitrag Baden-Württembergs zur Einhaltung des Pariser Klimaschutzziels noch rechtzeitig erreicht wird, so muss die jährliche THG-Reduktionsrate auf das **6-8-fache** gegenüber der Vergangenheit steigen. Für den unteren Wert steht das Szenario **BW PLUS**, das mit seinem Ausbauziel 2030 (THG -50 % gegenüber 1990) noch die Tür für das Paris-Ziel offenhält. Es kann daher hinsichtlich des angestrebten Ausbaus der EE als mindestens zu erreichende Untergrenze betrachtet werden. Größere Chancen hinsichtlich der Erfüllung des Paris-Ziels besitzt das optimistische Szenario **Ziel PARIS**, in dem bis zum Zeitpunkt 2030 die THG-Emissionen bereits um -64 % reduziert werden. Die genannten notwendigen THG-Reduktionsraten zur Zielerfüllung zeigen, dass die bisherige und gegenwärtige Energiepolitik bei weitem nicht ausreicht, die Anforderungen eines erfolgreichen Klimaschutzes zu erfüllen.

1.2. Einordnung der Szenarien

Die im **Szenario ZIEL BW** angestrebte THG-Minderung von -42 % ist für die Einhaltung des 1,5 Grad-Ziels bis 2050 bei weitem nicht ausreichend (vgl. kumuliertes CO₂-Budget bis 2050)¹. Sie dient jedoch als Grundlage für die derzeitige Fortschreibung des Klimaschutzgesetzes Baden-Württemberg bis 2030 [KSG BW]. Selbst diese aus Klimaschutzsicht unzulängliche THG-Minderung verlangt aber bereits eine erhebliche Beschleunigung der bisherigen jährlichen THG-Reduktionsraten.

¹ Das zulässige CO₂-Budget für Deutschland zur Erreichung des 1,5 Grad-Ziels mit 67%iger Wahrscheinlichkeit liegt (ab 2019) bei nur noch 3100 Mio. t CO₂ [Ramsdorf 2019]. Für die Einhaltung des 1,75 Grad-Ziel sind es 7300 Mio. t CO₂. Für BW ergibt sich - bei einem Bevölkerungsanteil von 13,2 % an D - ein Wert für das noch zulässige CO₂-Budget von **420 Mio. t CO₂** bei einer 67%igen Eintrittswahrscheinlichkeit der 1,5 Grad-Grenze. Für die 1,75 Grad-Grenze beträgt das noch zulässige CO₂-Budget **960 Mio. t CO₂**; für die sehr risikoreiche 2 Grad-Grenze steigt es auf **1 500 Mio. t CO₂**.

Zusätzlich muss der inzwischen beschlossene Kohleausstieg 2038 einbezogen werden, der im ursprünglichen IEKK-Szenario [IEKK 2017] noch nicht erfasst war (**Szenario KOHLE 38**). Damit lässt sich eine THG-Reduktion von rund -45 % bis 2030 erreichen, da der gegenüber dem Ursprungsszenario des Jahres 2017 raschere Rückbau der Kohle bereits bis 2030 etwa 3 Mio. t CO_{2äq}/a zusätzliche CO₂-Minderung erbringen würde. Die jährlich notwendige THG-Reduktionsrate zwischen 2020 und 2030 liegt dann bei 2,3 Mio. t CO_{2äq}/a, was **dem 5,2-fachen der Reduktionsrate zwischen 1990 und 2018** entspricht (**Tabelle 2; Bild 1**). Es ist also ersichtlich, dass bereits dafür eine enorme Beschleunigung der bisherigen Reduktionsgeschwindigkeit von Treibhausgasen erforderlich ist.

Auf der Basis dieses Szenarios würden bis 2030 rund 700 Mio. t CO_{2äq} emittiert werden (siehe Fußnote 1). Daran zeigt sich, dass die vollständige Erreichung der im IEKK definierten Ziele im Jahr 2030 bei weitem kein Garant dafür ist, dass Baden-Württemberg auf einen tolerierbaren Klimaschutzpfad einschwenkt. Das 1,5 Grad-Ziel wird verfehlt, bestenfalls wäre die Einhaltung der 2 Grad-Grenze möglich. Die jetzt in der politischen Entscheidungsfindung befindliche Fortschreibung des Klimaschutzgesetzes (KSG) ist daher zwar ein wichtiger Schritt in Richtung einer erfolgreichen Klimaschutzstrategie; er reicht jedoch nicht aus, um den notwendigen Klimaschutzpfad über das Jahr 2030 hinaus zu etablieren und abzusichern.

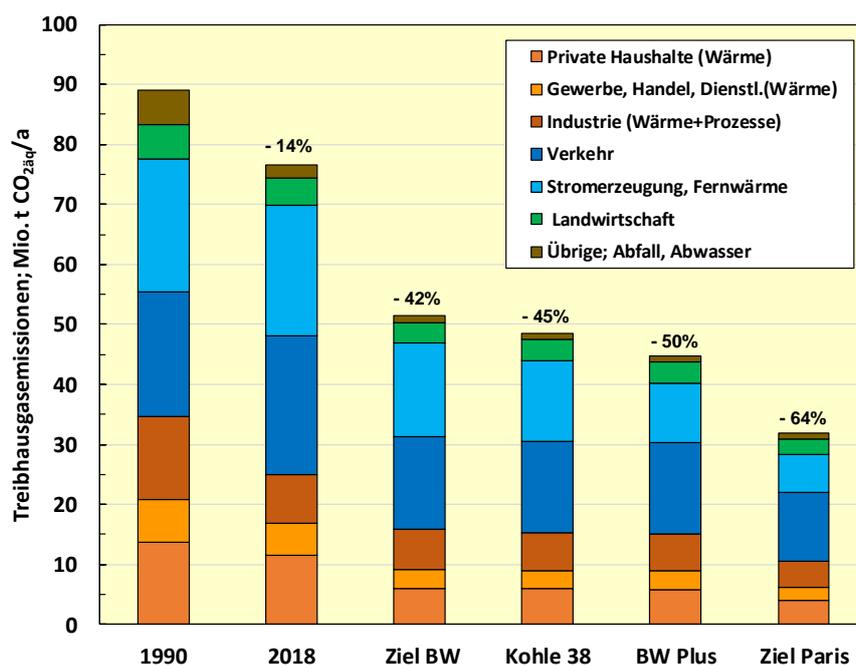


Bild 1: THG-Emissionen BW im Jahr 2030 in vier Szenarien im Vergleich zu den Jahren 1990 und 2018

Eine Beschleunigung der THG-Reduktion kann durch einen auf das Jahr 2030 vorgezogenen Kohleausstieg kombiniert mit einem entsprechend verstärkten Ausbau der EE-Stromerzeugung erreicht werden (**Tabelle 1; Bild 1**). Die Wirkung dieser Maßnahme ist im Szenario **BW PLUS** dargestellt. Damit wäre eine THG-Reduktion in 2030 um weitere 3,7 Mio. t CO_{2äq}/a auf knapp 45 Mio. t CO_{2äq}/a bzw. um rund **-50 % gegenüber 1990** erreichbar. Im Stromsektor allein könnten dadurch die Emissionen gegenüber 1990 um -55 % reduziert werden (**Tabelle 2**). Erforderlich dafür ist eine Steigerung der EE-Stromleistung in 2030 auf 22

GW. Unterstützt wird diese Strategie auch durch eine Steigerung der EE-Wärmebereitstellung von 15,8 TWh/a (2018) auf 26,1 TWh/a (Tabelle 1).

Mit dieser Strategie ließe sich eine jährliche THG-Reduktion von -2,65 Mio. t CO₂/a erreichen (Tabelle 2), was gegenüber der bisherigen durchschnittlichen Reduktionsrate eine Steigerung um das **Sechsfache** ist.

Tabelle 2: THG-Emissionen BW in den einzelnen Verbrauchssektoren zwischen 1990 und 2018 sowie für das Jahr 2030 in vier Szenarien mit steigender Intensität der Minderung der THG-Emissionen

THG-Emissionen, Mio. t CO ₂ äq/a	Bisherige Entwicklung				Szenarien in 2030			
	1990	2000	2014	2018	Ziel BW	Kohle 38	BW Plus	Ziel Paris
Private Haushalte (Wärme)	13,7	16,2	11,3	11,6	5,9	5,9	5,8	3,7
Gewerbe, Handel, Dienstl. (Wärme)	7,0	5,7	5,2	5,2	3,3	3,1	3,1	2,1
Industrie (Wärme+Prozesse)	14,0	10,3	9,0	8,1	6,6	6,3	6,1	4,4
Verkehr	20,8	24,0	22,4	23,1	15,4	15,2	15,1	11,3
Stromerzeugung, Fernwärme	22,1	20,8	21,4	21,9	15,7	13,4	9,9	6,4
Landwirtschaft	5,8	5,2	4,6	4,5	3,5	3,5	3,5	2,7
Übrige; Abfall, Abwasser	5,7	4,3	2,2	2,3	1,1	1,1	1,1	1,0
Gesamt	89,1	86,5	76,1	76,7	51,5	48,5	44,6	31,6
Jährl. Reduktionsrate (ab 1990):		-0,26	-0,54	-0,44				
Jährl. Reduktionsrate (ab 2019):					-2,10	-2,34	-2,67	-3,76
Abnahme gegenüber 1990 (%) nach Sektoren								
(1) Private Haushalte (Wärme)	100	18	-17	-15	-57	-57	-58	-73
(2) Gewerbe, Handel, Dienstl. (Wärme)	100	-19	-26	-26	-53	-55	-56	-70
(3) Industrie (Wärme+Prozesse)	100	-26	-36	-42	-53	-55	-56	-68
(4) Verkehr	100	15	8	11	-26	-27	-27	-46
(5) Stromerzeugung, Fernwärme	100	-6	-3	-1	-29	-39	-55	-71
(6) Landwirtschaft	100	-10	-20	-23	-40	-40	-40	-54
(7) Übrige; Abfall, Abwasser	100	-26	-61	-60	-81	-81	-81	-83
Gesamte Abnahme ggü. 1990 (%)	100	-2,9	-14,6	-14,0	-42,3	-45,6	-50,0	-64,6
kumulierte CO₂-Emissionen 2019- 2030 (Mio. t/a)					724	702	666	554

Übersicht; 26.4.20

1.3. Steigerung der Energieeffizienz und Entwicklung des Endenergieverbrauchs

Eine weitere Reduktion der THG-Emissionen bis zum Zeitraum 2030 verlangt parallel zum EE-Ausbau noch eine stärkere Steigerung der **Effizienz der Energienutzung in allen Verbrauchssektoren** über das in ZIEL BW bzw. BW PLUS unterstellte Maß hinaus (**Tabelle 3**). Dies beinhaltet die Senkung des Wärmebedarfs durch Sanierung des Altbaubestands, den Ausbau von Wärmenetzen, die Umstrukturierung des Individualverkehrs, den Ausbau des öffentlichen Verkehrs in der Fläche, den Ausbau des Bahnverkehrs (auch Güter) und eine erhöhte Stromeffizienz in der Stromversorgung. Auch die **Energiebereitstellung** muss effizienter werden, insbesondere durch mehr Kraft-Wärme-Kopplung.

Die Anforderungen an eine rasche Ausschöpfung aller Effizienzpotenziale wachsen in allen Sektoren erheblich. Bezogen auf 2018 muss der Endenergieverbrauch bis 2030 um rund 20 % reduziert werden, wobei sich die Schwankungsbreite von -13 % (Industrie) bis -26 % (Verkehr) beläuft. Im anspruchsvollen Szenario **Ziel Paris** mit einer THG-Reduktion um -64 % bis 2030 werden alle Effizienzpotenziale möglichst weitgehend erschlossen. Damit beläuft sich die Reduktion der Endenergie sogar auf -33 % (Industrie -23 %; Haushalte -32 %; GHD -31 % und Verkehr -40 %). Hierzu ist eine weitere erhebliche Beschleunigung der Energiewende erforderlich, die u.a. in einer Steigerung der jährlichen Reduktionsrate der THG-Emissionen **um rund das 8-fache** gegenüber der Vergangenheit zum Ausdruck kommt. In der Weiterführung dieses Szenarios bis 2050 auf eine dann praktisch **THG-freie Energieversorgung** ergibt sich ein kumuliertes CO₂-Budget (ab 2019) von rund 900 Mio. t CO_{2äq}. Diese wären näherungsweise gerade noch mit dem 1,75 Grad-Ziel kompatibel (vgl. Fußnote 1), was aus heutiger Sicht ein großer Erfolg für den Klimaschutz wäre. Das 1,5 Grad-Ziel, für das ein Maximalwert von etwa 420 Mio. t CO_{2äq} „zulässig“ wäre, kann aber selbst mit diesem sehr ehrgeizigen Szenario nicht mehr eingehalten werden.

Tabelle 3: Sektorale und gesamte Reduktion des Endenergieverbrauchs durch Effizienzsteigerung in den Verbrauchssektoren im Jahr 2030

		2030			
		Ziel BW	Kohle 38	BW Plus	ZIEL Paris
	2018	Verbrauchsreduktion bis 2030 in %			
Gesamte Endenergie (TWh/a)	286	228	228	228	193
Private Haushalte	79	-19	-19	-19	-32
Gewerbe, Handel, Dienstleist.	53	-21	-21	-21	-31
Industrie	62	-13	-13	-13	-23
Verkehr	92	-26	-26	-26	-40
gesamte Reduktion (%)		-20	-20	-20	-33
Anteil EE an Endenergie (%)	16,2	30,7	32,2	37,0	45,8
		Übersicht; 26.4.20			

Bereits dieser Umbau des „konventionellen“ Teils der Energieversorgung – zu dem darüber hinaus der Ersatz von 2.700 MW Kernkraftwerksleistung² bis 2022 hinzukommt – verlangt also eine rasch wirksame und zielgerichtete Investitionsstrategie der Stromversorger, der Stadtwerke, der Bauwirtschaft sowie aller gewerblicher Energieerzeuger. Im wichtigen Wärmesektor müssen dabei die Kommunalverwaltungen bzw. deren Stadtwerke die Planungen koordinieren und kommunizieren (insbesondere mittels kommunaler Wärmeleitpläne), die notwendigen Investitionen anstoßen und den gesamten Umbauprozess steuern. Dazu muss das Land die rechtlichen und finanziellen Rahmenbedingungen deutlich verbessern.

² Stand 2018, wie in Tabelle 4 dargestellt. Nach Abschaltung des Reaktorblocks Philippsburg 2 sind derzeit noch 1400 MW Kernkraft am Netz.

2. Umbau der Kraftwerksstruktur in Baden-Württemberg

Um die Klimaschutzziele von Paris erreichen zu können, ist neben dem Ausbau der erneuerbaren Energien eine Reduzierung der Treibhausgasemissionen aus dem konventionellen Kraftwerkspark erforderlich. Die in den Szenarien dazu getroffenen Annahmen zu notwendigen Veränderungen in der Kraftwerksstruktur sind in Tabelle 4 dargestellt. Um den aktualisierten Referenzfall (Szenario **Kohle 38**) einhalten zu können, ist bereits bis 2030 eine Umstrukturierung der konventionellen Kraftwerksleistung in Richtung Erdgas von 1.500 MW und ein Rückbau der Steinkohleleistung um insgesamt 2.270 MW erforderlich. Das sind 340 MW mehr als im ursprünglichen Szenario **ZIEL BW** (wo Kohlekraftwerke noch bis etwa 2045 in Betrieb sind) noch angenommen wurde. Für ambitionierteren Klimaschutz ist dem Szenario **BW PLUS** ein vorgezogener Kohleausstieg 2030 und der Zubau bis zu diesem Zeitpunkt von insgesamt **2.400 MW Gasleistung** (bzw. Umbau von Kohleleistung) zugrunde gelegt. Das sind 900 MW mehr als bei einem auf 2038 festgelegten Kohleausstieg. Der vollständige Rückbau der Kohleleistung beläuft sich auf rund **5.000 MW**.

Eine Konsequenz daraus ist, dass die bis dato stark kohlebasierte Fernwärmeversorgung (Stuttgart, Heilbronn, Mannheim, Karlsruhe) zeitgleich auf erneuerbare Energien oder gasgefeuerte HKW und BHKW umgestellt wird. Gleichzeitig ist auf eine Verdopplung der derzeit mit Gas bereitgestellten KWK-Leistung innerhalb der nächsten zehn Jahre zu achten. Dabei können neben GUD-Anlagen in KWK-Betrieb in größerem Umfang auch Groß-BHKW (Kieler Modell) zum Einsatz kommen.³ Diese können am Ort des bisherigen Kohleheizkraftwerks konzentriert werden, sie können aber auch dezentral über die Fernwärmenetzgebiete verteilt werden. Zudem sollten die Tiefengeothermie und industrielle Abwärme miteinbezogen werden. Der vermehrte Einsatz von Erdgas ist, auch vor dem Hintergrund des Methanschlupfs bei Gewinnung und Transport, als Übergangsstrategie hin zu erneuerbaren Energien und grünem Wasserstoff zu sehen.

BW ist beim jetzigen Kohleausstiegskonzept Deutschlands grundsätzlich benachteiligt. Zum einen sind derzeit Stilllegungsprämien nur für Braunkohle (BK)-Kraftwerke vorgesehen, zum anderen sind die Steinkohle (SK)-Kraftwerke in BW relativ neu (z.B. Inbetriebnahme Block 9 in Mannheim in 2015, von RDK8 in Karlsruhe in 2014), sodass selbst bei einem Abschalttermin 2038 ihre normale Lebensdauer (rund 40 Jahre) noch lange nicht erreicht ist. Zudem sind die Kraftwerke derzeit als systemrelevant eingestuft, das heißt es sind Kraftwerke, die für eine reibungslose Stromversorgung unverzichtbar sind und deshalb möglichst lange am Netz bleiben sollten. Damit sind Verluste beim Betreiber (vorwiegend EnBW) verbunden, die

³ Mit dem Rückbau des Kohleeinsatzes wurde von der EnBW bereits in kleinen Schritten durch den Umbau des Kraftwerks Gaisburg begonnen. Die bisherige kohleversorgte Fernwärme (~ 280 MW_{th}) wird durch eine auf Gaskesseln basierte Versorgung (ohne KWK), die bisherige Stromerzeugung (30 MW_{el}) wird durch gasgefeuerte BHKW ersetzt. Angesichts der geringen Dimensionen der Anlage kann dies allerdings nur ein erster kleiner Schritt sein. Vorrangig ist in den Kraftwerken Altbach (465+428 MW_{el}) und Münster (164 MW_{el}) der dortige Kohleeinsatz durch einen Mix von erneuerbaren Energien und Erdgas zu ersetzen.

Ein gutes Beispiel für eine erfolgreiche Umstellung kohlebasierter HKW bietet Kiel [Stadtwerke Kiel]. Dort wurde in den letzten Jahren ein Gasmotoren-Heizkraftwerk mit 20x10 MW Leistung errichtet. Das Kohle-HKW wurde im Frühjahr 2019 abgeschaltet. Damit ist die Fernwärmeversorgung in Kiel komplett auf Erdgas umgestellt. Andere Stadtwerke (Wiesbaden; Chemnitz) haben mit dem Bau von GHKW begonnen.

eigentlich in gleicher Weise wie die BK-Kraftwerke entschädigt werden sollten. Allerdings sollte diese Entschädigung zweckgebunden zur Ausweitung einer auf Erdgas und EE basierenden KWK verwendet werden.

Anstelle von Stilllegungsprämien für SK-Kraftwerke wäre aus klima- und energiepolitischer Sicht eine Verknüpfung mit einer Weiterentwicklung der Kraftwerksstruktur auch über 2030 hinaus sinnvoll [z.B. Nitsch, 2019]. Die Begründung für eine entsprechende finanzielle Unterstützung wäre die Notwendigkeit eines beschleunigten Umbaus der Kraftwerke – deren Leistung erhalten bleiben soll – und der damit verknüpften Fernwärmeversorgungen in Richtung Erdgas und nach 2030 auch in Richtung grüner Wasserstoff. Das fossile Erdgas muss nämlich spätestens ab 2040 durch EE-Gas (Wasserstoff) und die direkte Nutzung erneuerbarer Energien ersetzt werden, damit neben ausreichender Stromerzeugungskapazität auch die netzgestützte Wärmeversorgung bis zur Jahrhundertmitte emissionsfrei aufrechterhalten werden kann.

Tabelle 4: Veränderung der Kraftwerksstruktur bis 2030 in den vier Szenarien

Installierte Leistung (MW)	2018	2030			
		Ziel BW	Kohle 38	BW Plus	ZIEL Paris
Gaskraftwerke (+ Öl)	2000	3500	3500	4400	4400
- davon KOND	800	1300	1300	2000	2000
- davon KWK	1200	2000	2000	2400	2400
Kohlekraftwerke; Sonst.	5030	3100	2760	0	0
- davon KOND	3120	1400	1060	0	0
- davon KWK	1910	1700	1700	0	0
Fossil ges. (+ Sonst)	7030	6600	6260	4400	4400
- KOND	3920	2700	2360	2000	2000
- KWK	3110	3700	3700	2400	2400
Kernenergie	2710	0	0	0	0
Pumpspeicher; Batterien	1870	1870	1870	1900	1900
Erneuerbare Energien	8929	18074	20263	22021	26355
Ges. Leistung in BW	20539	26544	28393	28321	32655
davon KWK einschl. Bio	3590	4100	4150	2880	2950
Bruttostromverbr. (TWh/a)	73,3	72,1	72,1	72,6	72,2
Stromimportsaldo (TWh/a)	10,5	17,2	18,1	22,4	19,0
davon EE-Strom (TWh/a)	3,7	10,5	11,0	16,4	14,3

Als zusätzliche Herausforderung kommt der erhebliche Zusatzbedarf an Strom aus erneuerbaren Energiequellen hinzu, der zu größeren Teilen ebenfalls dezentral bereitgestellt werden sollte. Zusätzlich muss dazu aber auch eine größere überregionale Vernetzung zum Ausgleich schwankender EE-Stromangebote treten. Die Vernetzung innerhalb Deutschlands (vgl. Stromimportsaldo; z.B. Offshore-Wind; Tabelle 4) und mit den Nachbarländern wird dabei größer, nach 2030 wird auch die Wasserstoffbereitstellung aus importiertem Wind- und

Solarstrom (übriges Deutschland, ggf. Ausland) sowie der direkte Import von grünem Wasserstoff eine wachsende Bedeutung erlangen (vgl. Kapitel 5). Die Importabhängigkeit von Energie (derzeit Import Öl und Erdgas mit rund 70 %) wird jedoch wesentlich geringer und bei einer hundertprozentigen Versorgung mit EE bei maximal 20-30 % liegen.

3. Notwendiger Zubau von EE-Anlagen zur Stromerzeugung

3.1. Summe aller EE-Anlagen

Im Strombereich stellten im Jahr 2018 die EE in BW rund **8.930 MW**: 1.534 MW Wind; 5.845 MW Photovoltaik; 200 MW Holz (Frisch- und Altholz) und 465 MW Biogas, Klär- und Deponiegas, biogene Abfälle und 885 MW Wasserkraft [EE in BW 2018].⁴ Damit liefern sie mit **17.300 GWh/a** derzeit rund 24 % des Bruttostromverbrauchs. Berücksichtigt man das Stromimportsaldo, dessen EE-Anteil näherungsweise mit dem Mittelwert der deutschen Stromversorgung steigt, so erhält man einen Anteil der EE-Stromerzeugung von 28 %. In der Bandbreite der hier dargestellten Szenarien wird die gesamte EE-Leistung zwischen 2018 und 2030 um mindestens 11.334 MW (KOHLE 38) bis idealerweise um 17.425 MW (ZIEL PARIS) gesteigert (**Tabelle 5**), also im Jahresdurchschnitt in einer Bandbreite zwischen 945 und 1.450 MW/a.

Tabelle 5: Entwicklung der EE-Stromleistung und der EE-Stromerzeugung 2018 und in den vier Szenarien

Erneuerbare Energien Install. Stromleistung (MW)	2018	2030			
		Ziel BW	Kohle 38	BW Plus	ZIEL Paris
Windenergie	1534	5652	4256	4952	6047
Fotovoltaik	5845	10980	14379	15325	18500
Wasserkraft	885	890	920	920	920
Geothermie	0,3	20	20	30	60
Biomasse, fest	200	192	223	264	296
- davon KWK	130	130	150	180	200
Biogas, Klär-Dep-gas, Abfälle	465	340	465	532	532
- davon KWK	350	270	300	300	350
EE-Leistung, gesamt	8929	18074	20263	22023	26355
EE-Stromerzeugung(TWh/a)	17,3	29,9	32,4	35,4	41,0
- Anteil an gesamt (%)	23,6	41,5	45,0	48,8	56,8

Einen repräsentativen „Mittelwert“ dieser Bandbreite, der ambitioniert, aber zugleich wirtschaftlich machbar ist, stellt das Szenario **BW PLUS** dar. Eine intensivere politische Stimulierung führt zum aus Klimaschutzsicht notwendigen beschleunigten Zubau erneuerbarer Energien.⁵ Für das Szenario **BW PLUS** stellt sich so ein EE-Zubau zwischen 2018 und 2030

⁴ Für 2019 belaufen sich die Werte für Wind auf **1.550 MW** und für Photovoltaik auf **6.285 MW**, für EE gesamt auf geschätzt rund **9.385 MW**.

⁵ Ein starker Ausbau der erneuerbaren Energien leistet immer einen Beitrag zum Klimaschutz, da erneuerbare Energien im täglichen Einsatz Kohlestrom verdrängen.

von knapp **13.100 MW** bzw. jahresdurchschnittlich von **1.090 MW/a** ein. Der EE-Anteil am Bruttostromverbrauch im Jahr 2030 liegt dann bei **49 %** (bzw. bei **70 %** unter Einbeziehung des Stromimportsaldo).

Es ist ersichtlich, dass dazu spätestens ab 2022 eine erhebliche Steigerung der derzeit relativ niedrigen EE-Zubauraten (insbesondere Wind) erforderlich sein wird (**Bild 2**), wenn die EE die o.g. Beiträge bis 2030 erbringen sollen. Im Zeitraum 2019-2020 sind die jährlichen Zubauraten aller EE, die zwischen 2010 und 2018 durchschnittlich bei rund 510 MW/a lagen (davon Wind = 121 MW/a und PV = 365 MW/a) auf lediglich **470 MW/a** zurückgegangen, was hauptsächlich auf den Zusammenbruch des Windenergiezubaues zurückzuführen ist.

Für einen erfolgreichen Klimaschutz sind dagegen im Zeitraum 2020-2030 durchschnittliche jährliche Zubauraten von **mindestens 1.215 MW/a (BW PLUS)** für die Summe aller EE-Anlagen zur Stromerzeugung erforderlich. Dies entspricht dem **2,6-fachen** des derzeitigen jährlichen Zubaues (Bild 2). Dies ist strukturell (Potenziale, Flächenverfügbarkeit) prinzipiell machbar und wäre aus wirtschaftlicher, ökologischer und unternehmerischer Sicht zu bewerkstelligen. Auch die fortlaufende technische Entwicklung v.a. im Bereich der Sonnen- und Windenergie trägt dazu bei. So wurde die Leistung eines klassischen Solarmoduls von 120 Watt im Jahre 2005 auf 350 Watt heute gesteigert, ein Sprung auf 500 Watt ist schon 2021 zu erwarten. Ähnlich bei Windenergieanlagen, bei denen durch Schwachwindanlagen die Stromerzeugung an einem mittleren Standort in Baden-Württemberg von jährlich 4 Mio. kWh im Jahr 2011 auf über zehn Millionen bei neuen Anlagen im Jahr 2021 steigen wird. Weitere Fortschritte sind auch im kommenden Jahrzehnt zu erwarten.

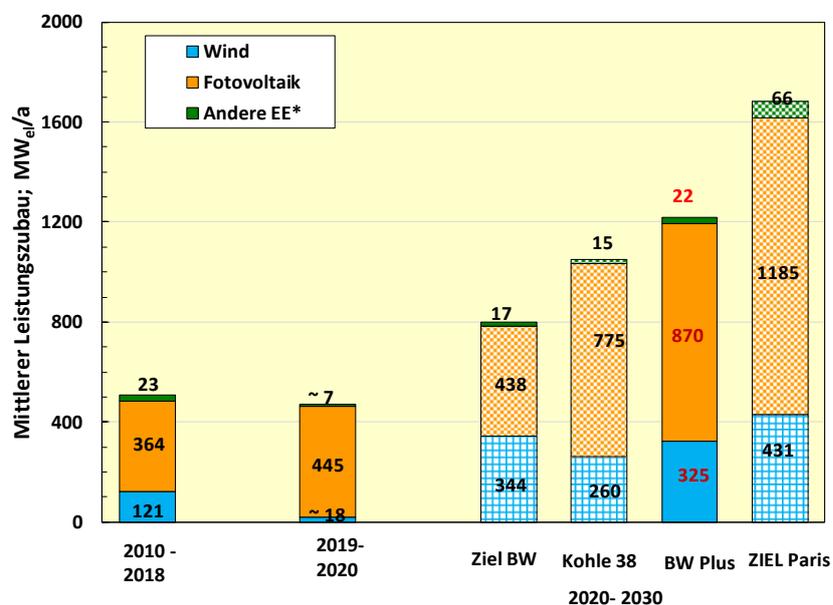


Bild 2: Mittlerer Zuwachs 2020-2030 der gesamten EE-Stromleistung in Baden-Württemberg in den Szenarien ZIEL BW; KOHLE 38, BW PLUS und ZIEL PARIS im Vergleich zu den Perioden 2010-2018 und 2019-2020.

Dieser Ausbau bedarf jedoch koordinierten Anstrengungen der Politik, der Stromversorger, Unternehmen, Privathaushalte und der Kommunen. Darüber hinaus erfordert dieser EE-Ausbau die rasche Beseitigung zentraler Ausbauhemmnisse (PV-Deckel; Abstandsregelung

Wind) sowie ein überarbeitetes und effizienteres EEG [Agora, 2020]. Unverzichtbar ist auch die umfassende Berücksichtigung der externen Kosten der konventionellen Stromversorgung mittels eines angemessenen CO₂-Preises.

3.2. Ausbau der Windenergie

Ende 2019 betrug die installierte Windleistung in BW 1.550 MW. 735 Anlagen mit einer mittleren Größe von 2,1 MW produzierten in diesem Jahr 2.280 GWh/a Strom mit einer mittleren Auslastung der Volllast von 1.470 h/a. Der Windenergieausbau ist in BW in 2019 mit noch 16 MW/a praktisch zum Erliegen gekommen, nachdem er bereits in 2018 mit noch 114 MW/a stark zurückgegangen war. In den Jahren 2016 und 2017 betrug der Nettozuwachs dagegen noch rund 350 MW/a. Im ursprünglichen IEKK-Szenario, das in 2017 erstellt wurde, waren ähnliche Zubauraten daher auch für die nächsten Jahre angenommen worden (Mittelwert 2020-2030 = 344 MW/a). Sie wurden unverändert ins Szenario ZIEL BW übernommen, sind aber aus heutiger Sicht als zu optimistisch anzusehen. Unterstellt man eine baldige Auflösung der Zubaublockade, kann man frühestens ab 2022 wieder mit einer deutlichen Steigerung rechnen. Mit jahresdurchschnittlichen Zubauraten zwischen 2020 und 2030 in Höhe von 260 MW/a (KOHLE 38); und **325 MW/a (BW PLUS)** wird wieder an die Größenordnung der Jahre 2016 und 2017 angeknüpft werden. Nur im sehr optimistischen Szenario ZIEL PARIS werden höhere jährliche Zubauraten von 430 MW/a angenommen. Dagegen spricht aus Sicht der Flächenverfügbarkeit, des Naturschutzes und der möglichen Genehmigungsgeschwindigkeiten nichts, wie die Jahre 2016 und 2017 zeigen.

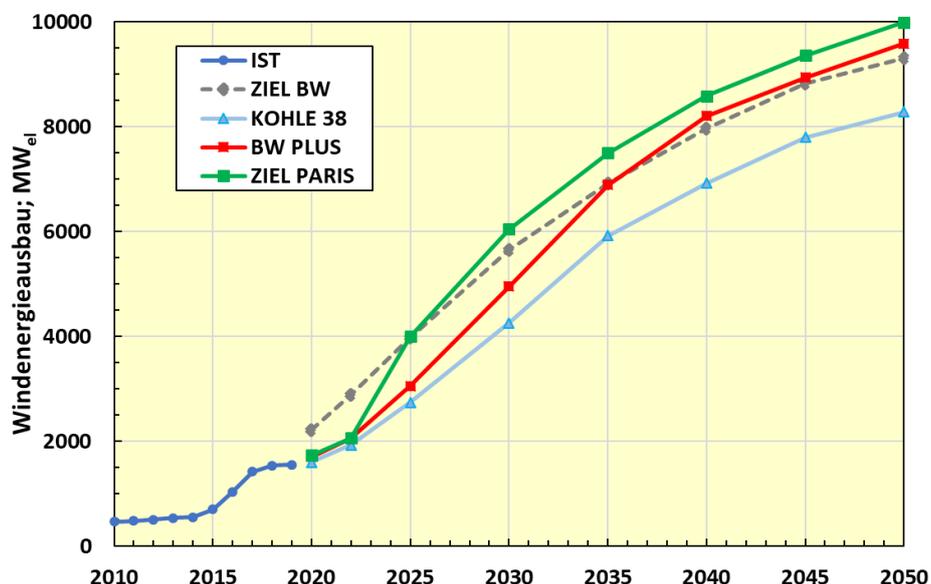


Bild 3: Zubaupfade für Windenergie in den Szenarien KOHLE 38, BW PLUS und ZIEL PARIS im Vergleich zu den Annahmen des IEKK-Szenarios ZIEL BW (gestrichelt)

Mit diesen Annahmen können damit im Szenario KOHLE 38 im Jahr 2030 eine Leistung der Windenergie von 4.255 MW mit einer Stromerzeugung von 9.300 GWh/a erreicht werden, im Szenario **BW PLUS von 4.950 MW mit 10.400 GWh/a Strom** (Bild 3) und im Szenario ZIEL PARIS von 6.050 MW mit 13.000 GWh/a Strom. Die entsprechenden Anlagenanzahlen liegen zwischen 1.370 (KOHLE 38) und 1.950 (ZIEL PARIS) mit einem Mittelwert von **1.600 Anlagen**

in BW PLUS. Die in 2030 neu installierten Neuanlagen haben eine Leistung von 6-7 MW. Unterstellt man ein Repowering der Altanlagen nach 22 Jahren, so steigt die durchschnittliche Leistung aller 2030 vorhandenen Windanlagen auf rund 3,1 MW. Die Windenergie könnte dann rund 15 % des Bruttostromverbrauchs von BW (2019 = 3 %) decken. Aus Potenzialsicht wäre nach 2030 ein weiterer Ausbau, wie in Bild 3 skizziert bis zu einer Leistung von rund 10.000 MW um 2050 prinzipiell möglich [Windatlas Baden-Württemberg, 2019]. Damit läge man bei Deckungsbeiträgen der heimischen Windenergie am gesamten Bruttostromverbrauch von rund 25 %.

Von jährlichen Zubauraten um 300-400 MW/a und mehr ist man jedoch derzeit und in naher Zukunft weit entfernt. Zweierlei muss geschehen, wenn man an die bisherigen Erfolge anknüpfen will und die heimischen Windenergienutzung eine angemessene Bedeutung gemäß obigen Szenarien erhalten soll. Zum einen muss im Zuge des fortschreitenden Klimawandels und der damit notwendigen ehrgeizigen Zielsetzungen beim Klimaschutz bundesweit wieder eine deutlich windfreundlichere Energiepolitik betrieben werden. Diese muss rasch zur Aufhebung der jetzigen Abstandregelung und zu einer generellen Beschleunigung von Genehmigungsverfahren führen. Dazu ist auch die europäische Erneuerbaren-Richtlinie, die eine Stärkung der dezentralen, bürgernahen Aktivitäten vorsieht, ohne Abstriche in nationales Recht umzusetzen (z.B. in der anstehenden EEG-Novelle).

Zum zweiten muss die spezielle baden-württembergische Blockadesituation im Genehmigungsbereich aufgelöst werden. So waren Mitte 2018 rund 97 Projekte mit einer Leistung von insgesamt 805 MW_{el} wegen fehlender oder wieder entzogener Genehmigung aufgegeben worden [BWE; August 2019]. Hauptgründe waren Belange des Artenschutzes (38%; Rotmilan, Wespenbussard) und des Planungsrechts (35 %; nicht ausgewiesene Vorrangflächen im Flächennutzungsplan). Das Klagerisiko ist sehr hoch, was auch an der relativ großen Erfolgswahrscheinlichkeit von Privatpersonen und Bürgerinitiativen bei der Anfechtung von Projektgenehmigungen liegt. Derzeit sind rund 100 Projekte in BW davon betroffen. Verschiedene Unternehmen haben sich wegen der wachsenden Zeitdauer und Kosten bereits aus dem Projektgeschäft zurückgezogen. Generell muss die Planungssicherheit bei Anträgen zur Windenergienutzung erhöht werden. Eine transparente Flächenplanung, eine einheitliche Verwaltungspraxis und eine generelle Standardisierung der bereitzustellenden Natur- und Artenschutzvorgaben ist Voraussetzung für eine schnellere Bearbeitung von Einwendungen und Klagen. Genehmigungsverfahren müssen gestrafft werden, damit die Rechtssicherheit größer wird und die Abwicklungsprozeduren schneller werden.

3.3. Ausbau der Photovoltaik

Bei der Photovoltaik als zweitem, unverzichtbarem Standbein der EE-Stromerzeugung war das bisherige Wachstum trotz des Einbruchs zwischen 2012 und 2016 weitgehend stabil (**Bild 4**). Ende 2019 waren insgesamt 6.285 MW installiert, die rund 6.125 GWh/a Strom erzeugten. Zwischen 2010 und 2019 stieg die Photovoltaikleistung mit durchschnittlich 364 MW/a, wobei in den Jahren 2010 und 2011 mit 1.100 MW/a und 850 MW/a Spitzenwerte erreicht wurden

und um 2016 ein Minimum von rund 140 MW/a eintrat. Ein kontinuierliches weiteres Wachstum der Photovoltaik ist ohne größere technische und strukturelle Probleme möglich und auch zwingend notwendig, wenn die THG-Emissionen rasch zurückgedrängt werden sollen. Mit jährlichen Zuwachsraten zwischen 440 MW/a und **870 MW/a** wird im Jahr 2030 ein Ausbauzustand von 14.380 MW (KOHLE 38) bis **15.325 MW (BW PLUS)** erreicht. Im sehr ehrgeizigen Szenario ZIEL PARIS wird mit einer durchschnittlichen Zubaurate von 1.185 MW/a etwa die dreifache Leistung von 2019 erreicht (18.500 MW 2030). Vergleichsweise wird in [Agora 2020] für ganz Deutschland eine jährliche Zuwachsrate der Photovoltaik von 10 GW/a für notwendig gehalten, wenn die sich bis 2030 anbahnende „Ökostromlücke“ zum Ziel einer 65 %-igen EE-Versorgung geschlossen werden soll.

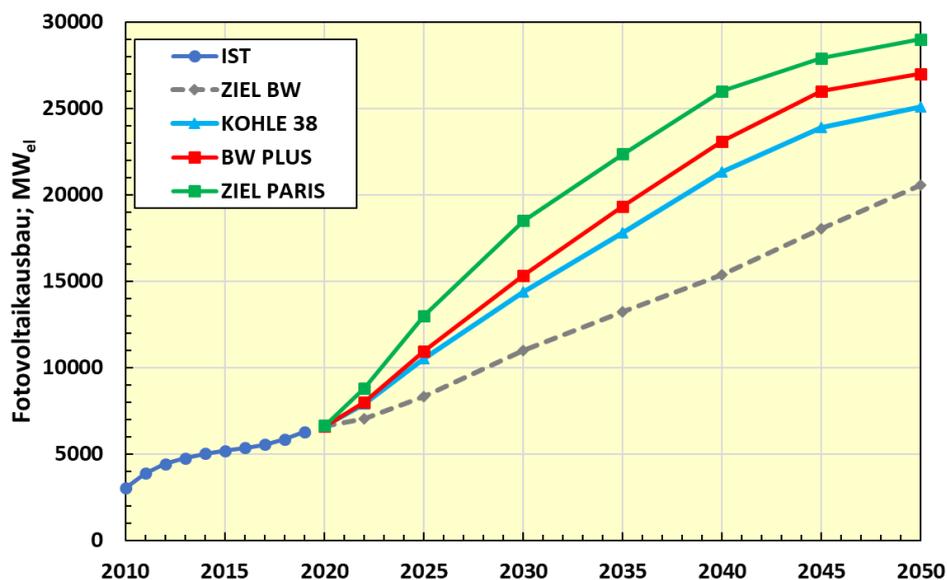


Bild 4: Zubaupfade für Photovoltaik in den Szenarien KOHLE 38, BW PLUS und ZIEL PARIS im Vergleich zu den Annahmen des IEKK-Szenarios ZIEL BW (gestrichelt)

Der Flächenbedarf für die Photovoltaik beläuft sich gegenwärtig (2019 = 6.125 GWh/a) auf rund 37 km², ist also noch relativ klein – etwa rund 1 % im Vergleich zur gesamten Siedlungsfläche von rund 3.300 km². Der [Energieatlas Baden-Württemberg] gibt als „Dachflächenpotenzial“ rund 36.000 GWh/a an, was einer erforderlichen Modulfläche von rund 200 km² entspricht. Dieses Potenzial beansprucht also nur rund 6 % der Siedlungsfläche. Auch bei der Ausbaudynamik der obigen Szenarien können die in 2030 erforderlichen Flächen also noch leicht in der Siedlungsstruktur (Dachflächen, Fassaden, Parkplätze, Haltestellen, Verkehrswege u. ä.) untergebracht werden.

Der Flächenbedarf im Jahr 2030 beläuft sich, mit einem maximalen Stromertrag von 17.670 GWh/a (Szenario ZIEL PARIS), auf 96 km², also knapp die Hälfte der obigen Potenzialgrenze. Wird diese Zubaudynamik bis 2050 durchgehalten, so würden rund 150 km² an Modulfläche installiert. Dabei sind noch keine weiteren Effizienzsteigerungen berücksichtigt, die jedoch zu erwarten sind. Von Seiten der in der Siedlungsstruktur befindlichen Dachflächen von Wohnhäusern, öffentlichen Gebäuden und Gebäuden für industrielle und gewerbliche Nutzung (und anderen versiegelten Flächen in der Siedlungsstruktur) bestehen daher keine grundsätzlichen Begrenzungen für den weiteren Ausbau der Photovoltaik. Jede Bautätigkeit

bzw. Sanierungstätigkeit sollte daher für die Installation weiterer Photovoltaikanlagen genutzt werden. Entsprechend sind auch die Baugenehmigungen anzupassen.

Ein Teil der Photovoltaikanlagen würde allerdings als Freilandanlagen installiert. Derzeit werden rund 7,5 % des PV-Stroms in BW in Freilandanlagen erzeugt. Dies sind derzeit meist minderwertige Flächen wie Seitenrandstreifen von Autobahnen oder Schienenwegen, sowie Konversionsflächen, in geringfügigem Maße auch Acker- oder Grünlandflächen. Eine Ausweitung des Zubaus würde keine überbordenden Eingriffe darstellen. Für ein MW PV-Leistung wird aktuell etwa ein Hektar an Fläche benötigt. Zukünftig wird sich wegen der stetigen Weiterentwicklung der Photovoltaik der Flächenbedarf noch verringern. Würden die in Baden-Württemberg aktuell auf Acker- und Wiesenflächen möglichen 100 MW/pro Jahr an PV-Freilandanlagen gebaut, würden in zehn Jahren nur 0,1 % dieser Flächen dafür genutzt. Dabei kann weiterhin eine Bewirtschaftung (Mahd, Schafbeweidung) stattfinden. Zukünftig kann auch die intelligente Kombination von Landwirtschaft und Photovoltaik (Agrophotovoltaik) einen Anteil an der Freiflächennutzung von Photovoltaik darstellen.

Zur umfassenden Nutzung der Photovoltaik müssen die kommerziellen Einsatzmöglichkeiten der lokalen Stromnutzung wesentlich ausgeweitet werden. Derzeitig ist eine Nutzung der PV auf den Eigenverbrauch beschränkt. Zusätzlich gibt es das sog. „Mieterstrommodell“, das aber an harte Auflagen gebunden ist und derzeit nur ein Nischendasein führt, [Energy Sharing, 2020]. Eine darüberhinausgehende energiewirtschaftliche Nutzung von Privatpersonen und Genossenschaften ist nahezu unmöglich, sobald das öffentliche Netz genutzt werden soll. Hier sollte über weitgehende Lockerungen nachgedacht werden.

3.4. Ausbau der Biomasse

Die Nutzung von **Biomassen** zur Stromerzeugung hat in BW eine lange Tradition und ist heute ein zentraler Baustein der EE-Stromversorgung. Mit **4.690 GWh/a** im Jahr 2018 liefern Biomassen (Biogas, Klärgas, Deponiegas, flüssige Brennstoffe, biogener Anteil des Abfalls; feste Brennstoffe) einen Anteil von rund 27 % am EE-Strom Baden-Württembergs. Insgesamt stehen dafür Anlagen mit einer Leistung von **665 MW** (200 MW feste Biomasse; 335 MW Biogas; 130 MW Bioabfall, Klär- und Deponiegas) zur Verfügung [EE in BW, 2018]. Ihr Einsatz ist ähnlich wie die Nutzung fossiler Energien über längere Zeiträume weitgehend planbar. Für die Sicherung und Stabilisierung einer Stromversorgung mit wachsenden Wind- und Photovoltaikanteilen sind sie daher von großer Bedeutung. Aus Effizienzgründen sollte ihr Einsatz weitgehend in Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) erfolgen. Deren derzeitiger Anteil ist mit insgesamt 300 MW (130 MW feste Biomasse; 170 MW übrige Biomasse), entsprechend 45 % an der gesamten Stromerzeugung aus Biomasse, noch steigerungsfähig. Für 2030 wird von einem Anteil von rund 55 % ausgegangen.

Im Segment **Biogase, Klär- und Deponiegas, sowie biogene Abfälle** ist das Potenzial im Strombereich größtenteils ausgeschöpft. Noch ungenutzte Potenziale, wie sie bei der Gülle- und Mistvergärung [Messner, 2017] noch vorhanden sind, dürften bei unveränderten, eher ungünstigen Marktbedingungen und dem Auslaufen der EEG-Vergütung für die ersten Anlagen ab 2021 kaum mehr zusätzlich erschlossen werden. Es ist daher ab 2021 mit einem

Rückgang der installierten Leistung zu rechnen, wie es auch im Szenario ZIEL BW abgebildet wurde (gestrichelte Linie). Die insgesamt installierte Leistung wird mit der Flexibilisierung ansteigen, ebenso wie die Gasspeicher und die Endlager für Gärreste.

Bei verstärkten Klimaschutzbemühungen (Szenario KOHLE 38) wird von einer mindestens konstanten Leistung von Biogasanlagen ausgegangen; bei deutlich energischeren Anstrengungen (**BW PLUS**) könnte noch ein Zuwachs von heute 465 MW auf **530 MW in 2030** und langfristig auf rund **650 MW** möglich sein, wenn die restlichen Potenziale bei der Gülle- und Mistvergärung im technisch erschließbaren Umfang ausgeschöpft und die Rahmenbedingungen für die Reststoff- und Abfallvergärung praxisgerecht gestaltet werden (**Bild 5**). Dies führt allerdings nur zu einer geringen Steigerung der erzeugten Strommengen (2018 = 4.690 GWh/a; 2030 = 4.880 GWh/a in BW PLUS). Mit steigendem EE-Ausbau werden diese Anlagen verstärkt zum Ausgleich fluktuierender Leistung von Wind und Sonne eingesetzt. Die damit verknüpften erhöhten Flexibilitätsanforderungen führen zu kürzeren Volllaststunden der Anlagen (Mittelwert 2018 ~ 7000 h/a; Mittelwert 2030 ~ 4000-6000 h/a; Mittelwert 2050 ~ 3000-5000 h/a).



Bild 5: Zubaupfade für Biogas -, Klärgas und Deponiegasanlagen sowie für den biogenen Anteil des Abfalls in den Szenarien KOHLE 38, BW PLUS und ZIEL PARIS im Vergleich zu den Annahmen des IEKK-Szenarios ZIEL BW (gestrichelt); (Szenario ZIEL PARIS ist identisch mit Szenario BW PLUS)

Die Voraussetzung für den Erhalt bzw. Ausbau der Biogasnutzung im oben genannten Umfang ist ein (politisches) Bekenntnis zur energetischen Nutzung von Biogas, die praxisgerechte Ausgestaltung von Ausschreibungen und des Genehmigungsrechtes, die weitere Förderung von Flexibilisierung und Kraft-Wärme-Kopplung, der Aufbau von Förderungen für Klimaschutz- und Biodiversitätsleistungen sowie insbesondere der rasche Ausbau von Nahwärmenetzen.

Feste Biomasse in Form von **Holz** wird traditionell zur Wärmegewinnung eingesetzt. Zwar wird in Holzheizkraftwerken in Kraft-Wärme-Kopplung auch Strom produziert, der Fokus wird aber

auch zukünftig auf der Wärmeerzeugung liegen (siehe Kapitel 4.1). Aus Holz (Altholz) wurde 2018 in Holzheizkraftwerken mit einer Leistung von 200 MW_{el} rund 1.150 GWh/a Strom erzeugt. Seit 2012 ist der Betrag kaum gewachsen. Während die Altholzpoteziale ausgeschöpft sind, gibt es in BW jedoch etwa 12.000 bis 14.000 TJ ungenutzten Holzzuwachs, die für Wärme- und Stromerzeugung eingesetzt werden können [Eigene Abschätzung (1); Plattform EE BW, 2019]. Diese Waldressourcen sollten konsequenter genutzt werden, ebenso wie Landschaftspflegematerial und Straßenbegleitgrün. Damit ließe sich die Leistung von Holzheizkraftwerken bis 2030 auf 220-300 MW steigern. Für das Szenario **BW PLUS** wurden 260 MW_{el} angenommen; langfristig (2050) kann der Wert etwa auf rund 400 MW_{el} steigern, was jährlich etwa 1 Mio. Tonnen (lufttrocken) zusätzliches Frischholz beanspruchen würde. Ein entsprechender jährlicher Zubau wird daher in den Szenarien mit verstärktem Klimaschutz BW PLUS und ZIEL PARIS unterstellt (**Bild 6**). In 2030 produzieren dann Holzheizkraftwerke rund 1.400 bis 1.600 GWh/a Strom und zugleich Wärme für städtische Wärmenetze (siehe Kapitel 4.1). Bis 2050 kann diese KWK- Strommenge auf maximal 2.000 GWh/a steigen. Auch bereits im Szenario KOHLE 38 wird im Vergleich zum Szenario ZIEL BW ein geringer Zuwachs unterstellt, der durch den früheren Ausstiegstermin bei der Kohle stimuliert wird. Hier sind in 2030 etwa 225 MW_{el} angenommen worden.

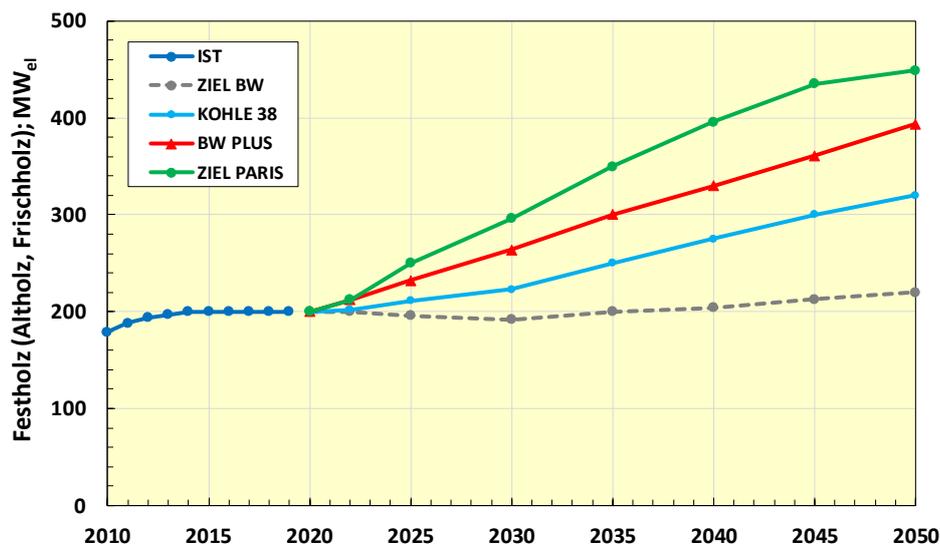


Bild 6: Zubaupfade für Holz-Heizkraftwerke (Altholz und Frischholz) in den Szenarien KO-38, KO-30 und Ziel-64 im Vergleich zu den Annahmen des IEKK-Szenarios (gestrichelt)

Die Voraussetzung für einen weiteren Ausbau von Holz-HKW in obigem Umfang ist ein (politisches) Bekenntnis zur energetischen Nutzung von Holz, die Berücksichtigung von Holzheizkraftwerken in den Wärmeleitplänen der Kommunen, die weitere Förderung von Kraft-Wärme-Kopplung sowie insbesondere der rasche Ausbau von Nahwärmenetzen.

3.5. Ausbau der Tiefengeothermie

Stromerzeugung aus Erdwärme mittels hydrothermalen Tiefengeothermie erfolgt derzeit in Deutschland in zehn Projekten mit einer Leistung von 41 MW_{el} und einer jährlichen Stromproduktion von 165 GWh/a (2018). Schwerpunkt ist Bayern mit sieben Projekten mit 23,5

MW_{el} . In Baden-Württemberg erfolgt die Stromerzeugung aus Erdwärme derzeit lediglich an einem Standort (Bruchsal) in einem Forschungsprojekt mit 440 kW_{el} Leistung.

Prinzipiell verfügt die Tiefengeothermie über relativ große Potenziale. Sie sind in Deutschland im Wesentlichen auf drei Regionen verteilt: in der norddeutschen Tiefebene, im Oberrheingraben und im bayrischen Alpenvorland (süddeutsches Molassebecken). Die südlichen Regionen sind mit Temperaturen bis zu 170°C auch für eine Stromerzeugung geeignet. Für rund 80 Projekte ist laut Bundesverband Geothermie eine bergrechtliche Aufsuchungserlaubnis vergeben worden. Die typische Größe stromerzeugender Anlagen liegt bei $35\text{-}40\text{ MW}_{th}$ bzw. 5 MW_{el} . Dieses Verhältnis zeigt, dass die alleinige geothermische Stromerzeugung nicht im Mittelpunkt zukünftiger Energiekonzepte stehen dürfte, sondern ihre nennenswerte Ausweitung nur Sinn im Rahmen einer Gesamtstrategie im Wärmebereich macht.

Der stromseitige Ausbau wird hier in Anlehnung an [IEKK-17] und [Eigene Abschätzung (2), Plattform EE-BW; 2020] vorgenommen. Es wird davon ausgegangen, dass in den nächsten zehn Jahren bis 2030 zwischen 4 und 10 Anlagen mit einer Gesamtleistung zwischen 20 MW_{el} und maximal 50 MW_{el} in Baden-Württemberg in Betrieb gehen können mit einem Mittelwert in **BW PLUS von 30 MW_{el}** und einer Stromproduktion von **150 GWh/a** . Damit würde das Land an die Aktivitäten in Bayern anschließen. Dies erfordert aber eine baldige Konkretisierung im Rahmen detaillierter Wärmeleitplanung geeigneter Kommunen und eine konstruktive und engagierte Beteiligung der Genehmigungsbehörden. Gelingt dieser engagierte Einstieg bis 2030, so wäre bis 2050 ein Ausbau auf rund 170 MW_{el} in 2050 vorstellbar, womit rund 850 GWh/a Strom bereitstellbar wäre.

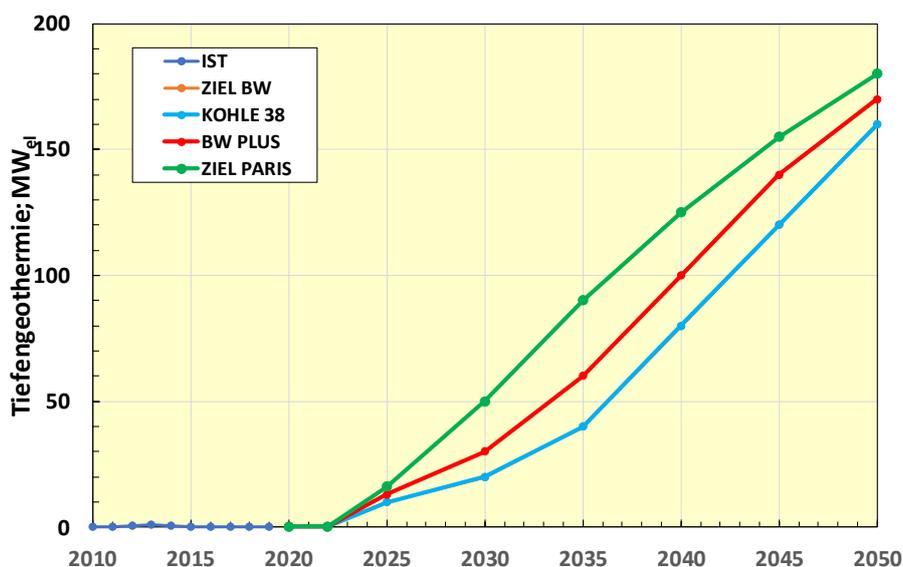


Bild 7: Mögliche Zubaupfade für geothermische Kraft- und Heizkraftwerke in den Szenarien KOHLE 38, BW PLUS und ZIEL PARIS (Szenario ZIEL BW ist identisch mit KOHLE 38)

3.6. Ausbau der Wasserkraft

Schließlich besitzt die **Wasserkraft** als traditionsreichste EE-Stromerzeugungsquelle des Landes Baden-Württemberg auch dann noch weitere Steigerungspotenziale, wenn man der Gewässerökologie nach der EU-Wasserrahmenrichtlinie angemessen Rechnung trägt. Ganz wesentlich sind dafür Modernisierungen der großen Wasserkraftwerke an Rhein, Neckar, Donau und Iller. Sie werden von leistungsstarken Energieversorgern betrieben, die den Stromertrag der teilweise älteren Wasserkraftanlagen erhöhen könnten. Auch bei den Pumpspeicherkraftwerken sind zusätzliche Potentiale zu heben.

Aber auch die kleine Wasserkraft kann durch Modernisierung und Neubau an bestehenden Querverbauungen noch einen zusätzlichen Beitrag zur Versorgungssicherheit und zum Klimaschutz leisten. Dabei könnten das Land und die Versorger und Stadtwerke eine wichtigere Rolle spielen und in die bestehenden Wasserkraftwerke investieren. Innovative Schachtkraftwerke, bei denen sich Turbine und Generator unter der Wasseroberfläche in einem Schacht befinden, könnten dabei zunehmend zum Einsatz kommen. Sie erhalten die Gewässerstruktur und sind damit ökologisch optimal verträglich. Gleichzeitig bieten sie den notwendigen Fischschutz und sind aufgrund ihrer Konstruktion relativ kostengünstig sowie optisch wenig störend.

Die derzeitig installierte Leistung von 885 MW_{el} (mit 4.550 GWh/a) kann mittelfristig (2030) durch Modernisierung von Altanlagen auf rund 920 MW_{el} (mit rund 4.600 GWh/a) gesteigert werden. Längerfristig können noch Neuanlagen bzw. Erweiterungen mit einer Stromproduktionskapazität von rund 380 GWh/a erstellt werden. Dafür sind die Orte Gamsheim (Elsass), Reckingen und Kadelburg (beide Hochrhein) im Gespräch [Abschätzung (3); Plattform EE BW]. Das bis 2050 erschließbare Gesamtpotenzial wird auf rund 1.000 MW bzw. 5.000 GWh/a geschätzt, davon rund 4000 GWh/a in Anlagen >1 MW.

Neben der klassischen Wasserkraft kann auch die Nutzung der Potentiale im Trinkwassernetz oder bei Kläranlagen angegangen werden. Hier kann teilweise Strom erzeugt werden, wo heute Pumpen Strom verbrauchen.

3.7. Empfehlungen zur Beschleunigung des EE-Ausbaus im Stromsektor

Erfolgreicher Klimaschutz im Energiebereich setzt ein erhebliches Wachstum erneuerbarer Energien voraus. Insbesondere müssen in größerem Ausmaß Flächen für die Hauptquellen Photovoltaik und Windenergie bereitgestellt werden. Dachflächen von Gebäuden bieten ein sehr großes Potenzial zur Bereitstellung von Strom aus Photovoltaik. Um das weitere Wachstum zu beschleunigen, sollte auf allen **Neubauten** deshalb die Nutzung von Photovoltaik (je nach Planungskonzept auch Solarthermie) verpflichtend sein. Auch die Integration in Gebäudefassaden ist einzuschließen. Die Dächer von **größeren Bestandsgebäuden** (Mehrfamilienhäuser, Nicht-Wohn-Gebäude, Gewerbeparks, Industriedächer, Sporthallen u. ä.) sollten einer systematischen Prüfung zur Eignung für Photovoltaikanlagen unterzogen werden. Ist diese gegeben, sollte eine baldige Installation von PV-Anlagen durch den Eigentümer oder andere Akteure (z.B. Stadtwerke, Bürger-

Genossenschaften etc.) verpflichtend sein. Landeseigene Gebäude sollten hier zum Vorreiter werden. Die Überprüfung kann ggf. mit der verpflichtenden kommunalen Wärmeleitplanung verknüpft werden (z.B. für größere solarthermische Anlagen).

Es gilt auch dringend, die **Flächennutzung für Windanlagen und für PV-Freilandanlagen** zu erleichtern, Genehmigungsverfahren zu beschleunigen und zu vereinheitlichen, da Wind- und größere Photovoltaikanlagen in erheblichem Ausmaß zugebaut werden müssen. Dazu sollten die bestehenden Ausschlusskriterien für eine Flächennutzung durch EE dringend überprüft und weniger restriktiv gestaltet werden; dazu gehören auch die geltenden bzw. geplanten Abstandsregelungen. Speziell für Windanlagen sind die Genehmigungsverfahren immer aufwändiger und langwieriger geworden. Sie werden zudem von den federführenden Behörden (Landkreise) uneinheitlich gehandhabt. Die Landesregierung sollte hier für eine Vereinheitlichung und Straffung sorgen. Die bestehenden Rahmenbedingungen (Belange des Naturschutzes; Landschaftsbild; Ausnahmeregelungen für Flugsicherheit; Telekommunikation; Wetterstationen etc.) müssen überprüft und ggf. geändert werden. Repowering von Windanlagen an bestehenden Standorten sollte grundsätzlich möglich sein. Auch der Bau von Photovoltaik-Freiflächenanlagen (z.B. als Agro-Photovoltaik) soll in größerem Umfang ermöglicht und unterstützt werden (Privilegierung).

Eine weitere Steigerung der Stromerzeugung aus Biomasseanlagen wird nur gelingen, wenn in den vorgeschlagenen verpflichtenden kommunalen Wärmeleitplanungen die Biomasse-KWK als selbstverständlicher Bestandteil berücksichtigt wird. Die hier vorgeschlagene stromseitige Erweiterung der Biomasse ist damit eng an den unten erläuterten Umbau der EE-Wärmeversorgung geknüpft. Hinsichtlich der Nutzung weiterer Potenziale der Wasserkraft sollten die Schaffung des guten ökologischen Zustandes der Gewässer und die Möglichkeit des Aus- und Neubaus von Wasserkraftanlagen gleichwertig behandelt werden.

4. Umstrukturierung der Wärmeversorgung

4.1. Rahmenbedingungen und Entwicklung im Szenario BW PLUS

Für einen erfolgreichen Klimaschutz ist die weitere Entwicklung des Wärmesektors von zentraler Bedeutung. Im Jahr 2018 stammten einschließlich des Stromeinsatzes für Wärmezwecke knapp 50 % (= 37,8 Mio. t CO_{2äq}) der gesamten THG-Emissionen von BW aus diesem Bereich. Seit 1990 haben sich die THG-Emissionen des Wärmesektors in dieser Abgrenzung um -28 % reduziert. Die Abnahme der gesamten CO_{2äq}-Emissionen von BW gegenüber 1990 betrug dagegen lediglich -14 %. Der Hauptgrund für diese deutliche Reduktion war der erhebliche Ersatz von Heizöl durch Erdgas im Prozesswärme- und im Heizungsbereich und erst in zweiter Linie die Verringerung des Wärmebedarfs im Gebäudesektor. Die Emissionen der Stromerzeugung sind dagegen praktisch unverändert geblieben und die des Verkehrssektors sogar angestiegen sind.

Zur Wärmebereitstellung (Raumwärme, Warmwasser, Prozesswärme für Gewerbe und Industrie) wurden in 2018 mit 540 PJ/a (davon 66 PJ/a Strom für Wärmezwecke) rund 52 %

der Endenergie eingesetzt. Nur **17 %** (= 90 PJ/a) davon kommen derzeit aus EE; 12 % deckt Strom und ebenfalls knapp 12 % stammen aus fossiler KWK-Wärme. Noch **nahezu 60 %** (320 PJ/a) stammen also aus dem direkten Einsatz fossiler Energieträger Erdgas, Heizöl und (geringfügig) Kohle (**Bild 8**).

Die weitere Entwicklung des Wärmesektors wird hier am Beispiel des Szenarios **BW PLUS** beschrieben. Der Stromverbrauch für Wärmezwecke bleibt bis 2030 etwa unverändert; der Mehrbedarf in neuen Anwendungsfelder für EE-Strom kann (noch) durch Effizienzgewinne bei der Stromnutzung kompensiert werden. Nach 2030 nimmt die Stromnachfrage jedoch deutlich zu, da EE-Strom zunehmend Öl und Erdgas auch im Wärmesektor ersetzt. Beginnend ab 2035 wird EE-Strom in wachsender Menge aber auch benötigt, um mittels Elektrolyse EE-Gas (Wasserstoff) bereitzustellen.

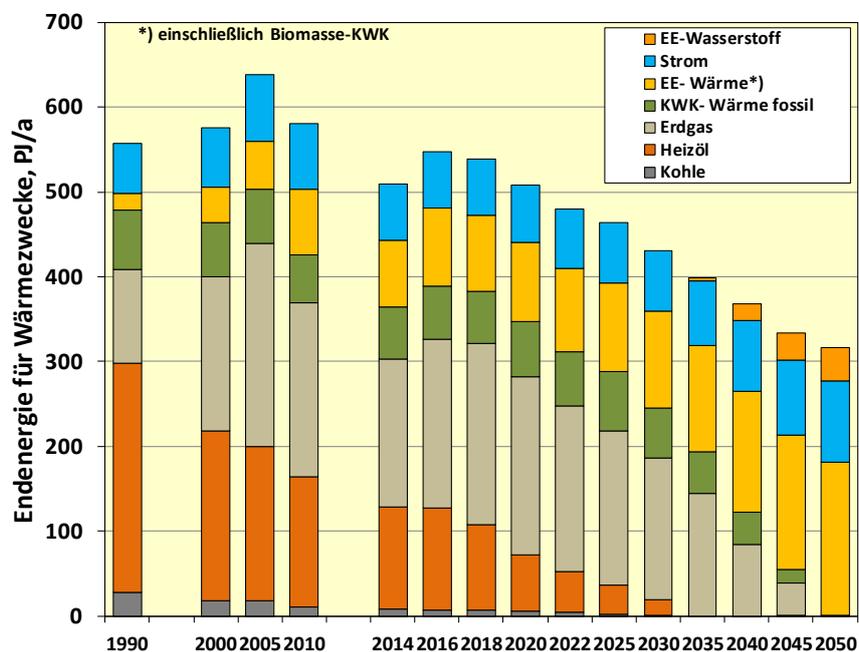


Bild 8: Entwicklung der Endenergie für Wärmezwecke (Heizenergie, Warmwasser, gewerbliche und industrielle Prozesswärme) im Szenario BW PLUS

Die Gesamtnachfrage nach Wärme kann bei einer engagierten Sanierungsstrategie bis 2030 um rund 20 % sinken (Bild 8), deutlich höher fällt die Reduktion des Wärmeverbrauchs für Gebäude mit rund -35 % aus. Neben zunehmendem Stromeinsatz für Wärmezwecke und verstärkter Effizienz ist parallel auch ein deutlicher Zubau von Solar- und Umweltwärme und Geothermie erforderlich, da die zusätzlichen Biomassepotenziale zur Wärmebereitstellung begrenzt sind. In dieser Kombination könnte der Anteil der EE am gesamten Wärmeverbrauch bis 2030 auf 27,5 % anwachsen (BW PLUS, Tab. 6).

Tabelle 6: EE-Wärmebereitstellung 2018 und in den vier Szenarien

Wärmeerzeugung (TWh/a)	2018	2030			
		Ziel BW	Kohle 38	BW Plus	ZIEL Paris
Biomasse	17,3	16,3	16,3	18,9	19,0
Solarthermie	1,9	3,0	3,0	3,6	3,6
Umweltwärme, Geothermie	1,6	4,7	5,0	5,0	5,0
EE-Wasserstoff	0	0,0	0,0	0,0	0,1
EE-Wärme, gesamt	20,8	24,0	24,3	27,5	27,7
Anteil an ges. Wärme (%)	15,8	24,0	24,3	27,5	35,6

Das hier beispielhaft vorgestellte Szenario BW PLUS stellt hinsichtlich der Schnelligkeit der notwendigen Strukturveränderungen im Wärmesektor enorme Herausforderungen an die kommunalen und privaten Akteure. Insbesondere wird es darauf ankommen in umfassenden **kommunalen Wärmeleitplanungen in jeder Kommune** die jeweils beste Strategie zur Verdrängung der derzeit noch hohen Anteile an Heizöl und Erdgas in den einzelnen Siedlungsquartieren zu definieren und sie möglichst zügig und weitgehend umzusetzen. Denn nur bei äußerst günstigen energie- und klimapolitischen Rahmenbedingungen und dem guten Willen aller Akteure in Politik, Wirtschaft und den privaten Akteuren (Gebäudebesitzer; Unternehmen), den Umbau in konstruktiver Weise in allen Bereichen durchzuführen, sind die notwendigen Umbau- und Zubauraten in dem vorgegebenen Zeitraum erreichbar.

4.2. Ausbau der Wärmeversorgung aus Bioenergien

Nach wie vor dominiert feste Biomasse, also Holz, die EE-Wärmeversorgung. 72,5 % der gesamte EE-Wärme stammen davon. Weitere 10,5 % stammen aus Biogas, Klärgas, Deponiegas und weiteren Bioabfällen, insgesamt 83 % (= 17,3 TWh/a) der EE-Wärme sind also biologischen Ursprungs. Die „technischen“ Systeme, wie solarthermische Anlagen mit 9,2 %, Wärmepumpen mit 7,2 % Anteil, und die Nutzung der Tiefengeothermie mit 0,6 % spielen vergleichsweise noch eine geringe Rolle (**Bild 9**).

Die weitere Entwicklung der Biomasse im Wärmebereich ist ein Spiegelbild der im Abschnitt 3.4 dargestellten Entwicklung im Strombereich. Bei Biogas und Bioabfällen ist von einer nur geringen Zunahme auszugehen. Neben der besseren Ausnutzung von Mist- und Gülleabfällen (vgl. Stromerzeugung aus Biogas) besteht eine wesentliche Wachstumsmöglichkeit in einer gesteigerten Wärmenutzung bei etwa zwei Dritteln der bestehenden Anlagen durch den Anschluss an bestehende oder neu zu errichtende Wärmenetze.

Die netzgebundene Wärmeversorgung ist sehr effizient, bietet Anknüpfungspunkte zur Sektorkopplung und sollte deshalb ausgebaut werden. Im Bereich der Einzelwärmeversorgung (siehe Kapitel 4.4) werden neben Wärmepumpen vor allem automatische Holzfeuerungen eine Rolle spielen. So werden derzeit insbesondere in Ein- und Zweifamilienhäusern alte

Ölheizungen durch moderne Pelletanlagen ausgetauscht. Weitere Impulse kommen aus dem Neubau von Wohnhäusern und Gewerbe und vom Ersatz alter, wenig effizienter Holzheizungen durch moderne Anlagen.

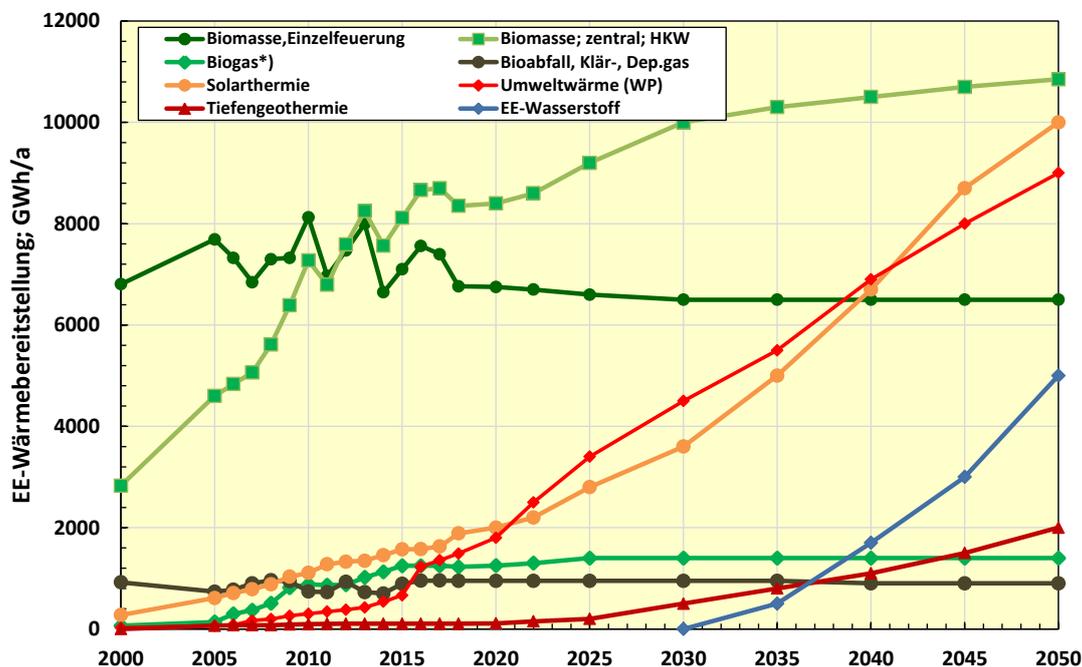


Bild 9: Wärmebereitstellung mittels EE nach Einzeltechnologien im Szenario BW PLUS

Größere Wachstumsmöglichkeiten zeigen sich bei der Nutzung von zusätzlichem Festholz in Heizkraftwerken (ggf. auch reine Heizwerke) in Wärmenetzen. Beide Optionen müssen Bestandteil der von Kommunen zu erstellenden Wärmeleitpläne für ihre Siedlungsgebiete sein. Bei Holz-Einzelheizungen wird – bei etwa gleichbleibender Anzahl – wegen insgesamt sinkenden Wärmebedarfs von einem Rückgang ausgegangen (Bild 9). Aus diesen Überlegungen ergibt sich insgesamt ein Anstieg der Wärmeerzeugung aus Bioenergie von derzeit 17.290 GWh/a (2018) auf 18.550 GWh/a (2030: **BW PLUS**) mit einem deutlich wachsenden Anteil von KWK-Wärme von derzeit 24 % auf 33 % in 2030 (Tabelle 7).

Tabelle 7: Wärmebereitstellung aus Bioenergie im Szenario BW PLUS

in GWh/a	2018	2030	2050
Holz-Einzelheizung	6.764	6.500	6.500
Holz-HW, Holz-HKW	8.350	10.000	10.850
Biogas, Bioabfall, Klärgas	2.176	2.350	2.300
Biowärme gesamt	17.290	18.850	19.650
Davon KWK-Wärme	4.220	6.230	6.300

4.3. Ausbau der solarthermischen Wärmeversorgung

Derzeit werden mit einer Kollektorfläche von 4,75 Mio. m² in BW knapp 1900 GWh/a Solarwärme bereitgestellt, die typische spezifische Ausbeute beläuft sich auf rund 400 kWh pro m² und Jahr. Zum weitaus größten Teil sind dies Anlagen auf Einzelgebäuden, mit einer typischen Größe von 15-25 m² bzw. einer Jahresproduktion von 6.000-10.000 kWh/a. Größere

Anlagen mit Flächen zwischen 1.000 m² bis rund 15.000 m² und Pufferspeicher für Nah- und Fernwärmenetze sind in BW noch eine Ausnahme. Jedoch ist in den letzten Jahren eine deutliche Belegung sowohl im Bereich dörflicher Wärmenetze als auch bei mittelgroßen städtischen Fernwärmesystemen zu verzeichnen. Sie summieren sich in BW auf rund 50.000 m², also auf 1 % Anteil an der gesamt installierten Solarthermie. Typische Anlagen sind das Projekt SolarHeatGrid der Stadtwerke Ludwigsburg-Kornwestheim (14.800 m², Kopplung mit Biomasse-Heizkraftwerk), die Nahwärmeversorgung in Crailsheim (7.300 m², mit saisonalem Erdsondenwärmespeicher mit 37.500 m³) und in Büsingen/Hochrhein (1.090 m², Kopplung mit Biomasse-Heizwerk).

Trotz einiger innovativer Einzelkonzepte verzeichneten Solarkollektoren in der Vergangenheit kein besonders dynamisches Wachstum, obwohl ein großer Anteil des deutschlandweiten Zubaus in Baden-Württemberg stattfindet (bei Solarthermie in Verbindung mit Wärmenetzen ist rund die Hälfte der bundesweit installierten Leistung in BW verortet). Sie musste sich in den letzten 15 Jahren mit mittleren Wachstumsraten um 90 GWh/a bzw. von 225.000 m²/a zufriedengeben [Monitoring 2019]. Zudem steht sie inzwischen oft im Schatten der Photovoltaik, die insbesondere durch die jüngsten Kostensenkungen auch im Wärmebereich zu einer ernsthaften Konkurrenz geworden ist.

Bezogen auf die spezifische Wärmeausbeute sind Kollektoren jedoch um gut das Dreifache ergiebiger. Es gilt daher diesen Flächenvorteil systematisch zu nutzen und in entsprechenden Wärmeversorgungs-, Siedlungs- und Gebäudekonzepten gründlich zu prüfen, ob und wie Solarkollektoren zukünftig einen wichtigen Beitrag zur Wärmeversorgung leisten können. Dabei werden größere gebäudeintegrierte Anlagen oder Freiflächenanlagen in Verbindung mit Wärmenetzen eine immer größere Rolle spielen.

Vor diesem Hintergrund wird von einem deutlichen Wachstum der Wärmebereitstellung aus Solarkollektoren ausgegangen. Bis 2030 verdoppelt sich die Kollektorfläche auf 9 Mio. m² (Szenario BW PLUS); bis 2050 steigt sie auf 25 Mio. m². Das verlangt im Zeitraum 2020 bis 2030 eine Verdopplung der bisherigen jährlichen Zubauraten, nach 2030 eine knappe Vervierfachung. Das novellierte Erneuerbare-Wärme-Gesetz bietet genügend Ansatzpunkte, diese erhebliche Beschleunigung der jährlichen Zubauraten von Solaranlagen für Wohngebäude und Nichtwohngebäude zu ermöglichen.

Der Anteil von Großanlagen sollte jedoch wesentlich stärker steigen von derzeit 0,5 % (25.000 m²) auf 25 % in 2030 (2,25 Mio. m²) und bis 2050 auf 50 % (12,5 Mio. m²). Das entspricht mehreren Hundert Anlagen in der Größenordnung von 10.000 m² je Anlage. Ihre rechtzeitige Planung und Errichtung erfordert höchste Anstrengungen von Planern und Kommunen und eine eindeutige politische Unterstützung mit entsprechenden Rahmenbedingungen: steigender CO₂-Preis für fossile Energien; umfassende Wärmeleitkonzepte mit Priorität zum Bau von Wärmenetzen und Solaranlagen in dafür geeigneten Siedlungsquartieren; die konsequente Integration in bestehende Wärmeversorgungsstrukturen und gezielte Förderstrategien.

4.4. Ausbau der Wärmeversorgung mit Umweltwärme (Wärmepumpen)

Eine wirksame Wärmestrategie verlangt zum einen den gezielten Zubau von Wärmenetzen. Erforderlich ist eine Ausdehnung der netzgebundenen Wärmeversorgung von derzeit rund 15 % auf 25-30 % im Jahr 2030 (Tabelle 6). Trotzdem verbleibt immer noch eine große Anzahl von Einzelwärmeversorgung, die von fossiler Versorgung (vorrangig Heizöl; nach 2030 auch deutlich Erdgas) auf EE umgestellt werden müssen. Eine wichtige Option ist die Versorgung mittels Wärmepumpen auf der Basis von Erdwärme, Grundwasser und (eingeschränkt auch Luft) und EE-Strom. Derzeit sind in BW rund 145.000 Wärmepumpen in Betrieb mit einer Ausbeute an Umweltwärme in Höhe von 1.500 GWh/a und einem dafür erforderlichen Stromeinsatz von rund 800 GWh/a.

In den letzten fünf Jahren war das Wachstum mit knapp 250 GWh/a bzw. rund 25.000 Anlagen pro Jahr beachtlich und deutlich höher als dasjenige von solarer Wärme. Dieses Wachstum kann ohne größere Anstrengungen bis 2030 fortgesetzt werden, wenn in den kommunalen Wärmeleitplänen in Siedlungsquartieren mit Einzelversorgungen differenziert auch Wärmepumpen als Option berücksichtigt und entsprechend installiert werden. Damit werden dann mit 4.500 GWh/a Umweltwärme bzw. rund 450.000 Anlagen bereits 17 % der gesamten EE-Wärme mittels Wärmepumpen bereitgestellt. Wird das jährliche Wachstum bis 2050 fortgesetzt so kann sich ihr Beitrag bis dahin auf rund 9.000 GWh/a verdoppeln (Bild 9). Mit tendenziell wachsender Jahresarbeitszahl der Wärmepumpen (derzeitiger Mittelwert = 2,875) auf 3,25 werden dafür rund 4.000 GWh/a EE-Strom benötigt, was dann rund 5 % des gesamten EE-Stroms entspricht.

4.5. Ausbau der Wärmeversorgung mit Tiefengeothermie

Neben der möglichen Nutzung der Tiefengeothermie zur Stromerzeugung (Abschnitt 3.5) wird die direkte Verwertung der Wärme stärker in den Mittelpunkt von kommunalen Wärmeleitplanungen rücken. Dabei steht deren Nutzung in Quartieren, größeren Gebäudekomplexen und industriellen Prozessen in Verbindung mit Wärmenetzen im Vordergrund, da die Erschließung tiefer Geothermiefelder mit größerem Aufwand verbunden ist und nur gemeinschaftlich im Rahmen von kommunalen Wärmenutzungskonzepten sinnvoll ist. So plant beispielweise die Stadt München bis zum Jahr 2040 eine Vollversorgung mit Fernwärme auf EE-Basis, wobei die tiefe Geothermie dabei eine zentrale Rolle spielen [Leibniz 2019]. In Baden-Württemberg sind die Lagerstätten am Oberrheingraben besonders heiß und ergiebig. Daneben sind auch in Oberschwaben erhebliche Mengen an Geothermie verfügbar, die Temperatur der Lagerstätten erlaubt hier ausschließlich eine Wärmenutzung.

Bisher wird Tiefengeothermie mit rund 100 GWh/a Nutzwärme in BW nur in geringem Umfang genutzt. Bis 2030 sollten mindestens 15 Anlagen mit zusammen rund 500 GWh/a Nutzwärme in Betrieb genommen werden (Szenario BW PLUS). Bis 2050 kann dieser Wert auf rund 2.000 GWh/a gesteigert werden. Bei einer konsequenten kommunalen Wärmeplanung mit entsprechender energiepolitischer Unterstützung sind aus der Sicht des Geothermiefotenzials auch größere Nutzwärmemengen vorstellbar (z.B. Szenario ZIEL PARIS). Dazu ist gerade im Bereich des Oberrheingrabens eine Erweiterung der Fernwärmeschiene Mannheim-

Heidelberg in Richtung Karlsruhe und darüber hinaus notwendig. Die Dekarbonisierung der Fernwärmenetze und ein Abschalten der Kohlekraftwerke in Nordbaden würde so möglich.

4.6. Wesentliche Handlungsempfehlungen zur wirksamen Mobilisierung der „Wärmewende“

An Technologien für eine emissionsfreie Wärmeversorgung besteht kein Mangel. Schwerwiegende Defizite bestehen jedoch in der konkreten Planung und Umsetzung integrierter Wärmekonzepte für kommunale Siedlungsquartiere und Gewerbeflächen. Der konsequente Umbau der Wärmeversorgung muss daher zu **einem zentralen Element der kommunalen Daseinsvorsorge** werden. Alle Kommunen müssen verpflichtet werden, mittels langfristig angelegter **Wärmeleitplanungen** Konzepte für den weitgehenden Umbau der Wärmeversorgung in ihren jeweiligen Siedlungsquartieren zu entwickeln und für ihre zügige Umsetzung Sorge zu tragen. Die in der geplanten Novelle des baden-württembergischen Klimaschutzgesetzes vorgesehene Verpflichtung für größere Städte sollte **auf alle Kommunen** ausgedehnt werden. Kleinere Gemeinden sollten dabei vom Land unterstützt werden. Bis spätestens 2025 sollte jede Kommune eine Umsetzungsrangfolge geordnet nach Siedlungsquartieren vorliegen haben und konkrete Vorschläge zur sukzessiven Umsetzung vorstellen.

Die Wärmeversorgungskonzepte müssen dabei alle wesentlichen Optionen zu einer Emissionsminderung berücksichtigen und diese in ein Gesamtkonzept integrieren. Dazu gehören insbesondere umfassende Gebäudesanierung, dezentrale KWK-Anlagen, erneuerbare Energien sowie industrielle bzw. gewerbliche Abwärme. Aus den Planungen sollte hervorgehen, in welchen Siedlungsquartieren (oder Teilen davon) Wärmenetze neu erstellt oder weiter ausgebaut werden können und wo verstärkt Einzelheizungen (Wärmepumpen und ähnlichem) modernisiert werden sollten. Das Erneuerbare-Wärme-Gesetz sollte dahingehend angepasst werden, dass die bestehende Verpflichtung zum Einsatz von EE oder vergleichbarer Technologien eine permanente Erhöhung erlaubt. Hauseigentümer, Gewerbetreibende und Unternehmen müssen früh in den Gesamtprozess der energetischen Quartiersoptimierung und der Finanzierung neuer Wärmeversorgungen eingebunden werden.

5. Ausbau der EE im Verkehrssektor – Strom und Wasserstoff

Auch im Verkehrssektor müssen Kraftstoffe auf EE-Basis in Zukunft beträchtliche Beiträge leisten. Der Verkehr trägt mit derzeit nahezu 24 Mio. t CO_{2äq}/a (= 35 %) erheblich zu den THG-Emissionen BW bei. Seit 1990 sind sie um rund 10 % gestiegen, der Sektor zeigt derzeit keine Tendenz zur notwendigen deutlichen Reduktion seiner Treibhausgase. Neben einer umfassenden Umgestaltung des gesamten Verkehrssektors besteht die zweite Option darin, den Beitrag von EE erheblich auszuweiten. Derzeit tragen Biokraftstoffe (überwiegend Biodiesel) zu 4,8 % zur Deckung der Nachfrage bei. Eine weitere nennenswerte Zunahme ist

aus ökologischen und ressourcenbedingten Gründen nicht zu erwarten und sollte auch nicht forciert werden.

Tabelle 8: EE-Kraftstoffe 2018 und Entwicklung in den vier Szenarien

EE-Kraftstoffe	2018	2030			
		Ziel BW	Kohle 38	BW Plus	ZIEL Paris
EE-Kraftstoffe; TWh/a	4,4	5,3	5,3	5,3	5,9
davon EE-Wasserstoff	0,0	0,5	0,5	0,5	0,6
Anteil EE an Kraftstoffen (%)	4,8	9,2	9,2	9,2	11,7

Aussichtsreiche EE-Optionen sind dagegen EE-Strom und grüner Wasserstoff. Der Beitrag von EE-Strom ist mit derzeit 1,8 % noch unbedeutend (überwiegend Bahnstrom, nicht 100 % EE). Er steigt im Szenario BW PLUS wegen deutlich zunehmender Elektromobilität bis 2030 auf knapp 8 % und bis 2050 auf rund 35 %. Beginnend in 2025 wird auch grüner Wasserstoff als Kraftstoff (Brennstoffzelle) eingesetzt, parallel zu seiner Nutzung in der Industrie.

Ein CO₂-Preis, der die Klimaschadenskosten fossiler Energie angemessen berücksichtigt, ist eine der entscheidenden Voraussetzungen für eine breite Markteinführung sowohl von EE-Strom wie von grünem Wasserstoff (**Tabelle 9**). Auf der Basis einer derartigen konsequenten Klimaschutzstrategie kann perspektivisch Wasserstoff im Jahr 2050 rund 35 % der Energienachfrage im Verkehr decken, also eine ähnliche Größenordnung wie EE-Strom. Der zusätzliche Strombedarf für grünen Wasserstoff kann anfänglich (bis ca. 2035 ist er < 5 %) aus der allgemeinen Stromversorgung gedeckt werden. Rechnerisch kann man ihn in Bezug zu dem Import von EE-Strom darstellen (letzte Zeile in Tab. 9), der in den nächsten Jahrzehnten entsprechend den Zielsetzungen der Bundesregierung für die gesamte deutsche Stromerzeugung ansteigen wird und dabei den fossilen Anteil des Importstroms (heute vorwiegend Kohle) zurückdrängen wird.

Tab. 9: Wasserstoffbedarf im Szenario BW PLUS und Vergleich mit Stromgesamtbedarf und Stromimport

GWh/a	2018	2025	2030	2035	2040	2050
Grüner Wasserstoff	0	30	500	3.000	6.700	17.000
davon als Kraftstoff	0	30	500	2.500	5.000	12.000
Davon für Wärme*)	0	0	0	500	1.700	5.000
Strombedarf für H₂	0	43	704	4.170	9.180	22.670
Anteil an gesamt; %	0	0,06	1,0	5,0	11,5	25,0
EE-Stromimport**)	3.675	13.100	16.385	15.370	16.670	23.300

*) Brennstoff für KWK-Anlagen (ab 2035 Verdrängung von Erdgas)

**) übriges Deutschland; Offshore-Wind; längerfristig auch europäischer EE-Verbund; gesamter Stromimport 2018: 10.500 GWh/a.

Der Strombedarf für Wasserstoff erreicht erst um 2050 die Größenordnung des nach BW importierten Stroms. Für diesen Zeitpunkt mit sehr hohen EE-Stromanteilen kann man sich aber einen generellen europäischen EE-Stromverbund vorstellen [Nitsch, 2019], in dem das Lastmanagement einer weitgehend auf EE basierenden Stromversorgung am zweckmäßigsten gehandhabt werden kann.

Der massive Ausbau erneuerbarer Energien im Verkehrssektor, also insbesondere EE-Strom und grüner Wasserstoff, ist nur sinnvoll und zweckmäßig, wenn fossile Kraftstoffe nicht „Eins zu Eins“ durch sie ersetzt werden. Grüner Wasserstoff sollte zudem mittelfristig dort eingesetzt werden, wo EE-Strom nicht direkt genutzt werden kann, zum Beispiel im Schwerlastverkehr. Parallel dazu muss die gegenwärtige Verkehrsstruktur in Richtung von mehr Nachhaltigkeit und deutlich höherer Effizienz umgebaut werden. Zwei Bereiche sind dabei vorrangig:

1. ÖPNV erheblich ausbauen: Der Ausbau von Bus- und Bahnverkehren im Land muss mit großer Dringlichkeit und flächendeckend erfolgen; auch in ländlichen Regionen muss ein verlässlicher Taktverkehr eingerichtet werden, (z.B. Halbstundentakt). Mit der Deutschen Bahn ist eine baldige Elektrifizierung aller Bahnstrecken (> 90 %) in BW und der weitere Ausbau bzw. die Reaktivierung von Bahnstrecken zu vereinbaren, im gesamten Land sind günstige und einfache Verbundtarife einzuführen.

2. Städtischen Verkehr umbauen: Um ein klimaverträglicheres Gleichgewicht zwischen den Verkehrsmitteln zu erreichen, muss in städtischen Gebieten der Individualverkehr mit Kraftfahrzeugen zurückgedrängt werden, gleichzeitig müssen neue Mobilitätsangebote entstehen. Wesentliche Stichworte dazu sind: Parkraumbewirtschaftung (u.a. höhere Parkgebühren); Umwidmung bzw. Reduktion von Parkplätzen; Änderung der Landesbauordnung mit dem Ziel Stellplätze an den Betrieb eines PKW und nicht an den Bau einer Wohnung zu koppeln; Einführung einer City-Maut; Ausweisung von 30 km/h-Zonen; Ausweitung Fahrradverkehr u.a. durch Errichtung reiner Fahrradstraßen; Ausweitung Fußgängerzonen; Ausweitung Car-Sharing; Vorrang für emissionsfreie Fahrzeuge. Die Landesregierung sollte die größeren Städte bei den dazu erforderlichen Maßnahmen unterstützen (mit Fördermitteln und Gesetzen, durch Einfluss auf die Bundespolitik).

Generell sollte auf Autobahnen eine allgemeine Geschwindigkeitsbegrenzung gelten. Zudem sollte der Güterverkehr in beträchtlichem Ausmaß auf die Schiene verlagert werden.

6. Der effiziente Umbau der Energieversorgung – eine energiepolitische Aufgabe mit hoher Dringlichkeit

Dieses Papier konzentriert sich auf den Ausbau der EE in BW. Es ist aber klargeworden, dass die **Steigerung der Energieeffizienz** von ebenso großer Bedeutung ist. Nur mit einer parallelen beträchtlichen Reduktion des Energieverbrauchs können die Anteile von EE rasch genug wachsen um die notwendige THG-Reduktion rechtzeitig genug zu erreichen. Außerdem kann bei erfolgreicher Effizienzsteigerung der EE-Ausbau begrenzt werden, was die Belastung der Umwelt und den Ressourcenbedarf verringert. Zusätzlich ist in vielen Fällen die

Verbrauchsminderung die ökonomisch günstigere Option; nur durch ein intensives Zusammenwirken beider Strategien wird daher der Umbau der Energieversorgung erfolgreich und ökonomisch tragfähig sein. In **Bild 10** wird dieser in Tabelle 2 bereits dargestellte Zusammenhang nochmals eindrucksvoll deutlich. Der Wärmeverbrauch (hier: Heizwärmebedarf; industrielle Prozesswärme, Warmwasser) sinkt erheblich um -25 % bis 2030 und um -55 % bis 2050; der Kraftstoffverbrauch in denselben Zeitabschnitten um -30 % bzw. -67 %. Damit können die relativen Beiträge der EE substantiell ansteigen, ohne dass extrem hohe Zuwachsraten erforderlich sind.

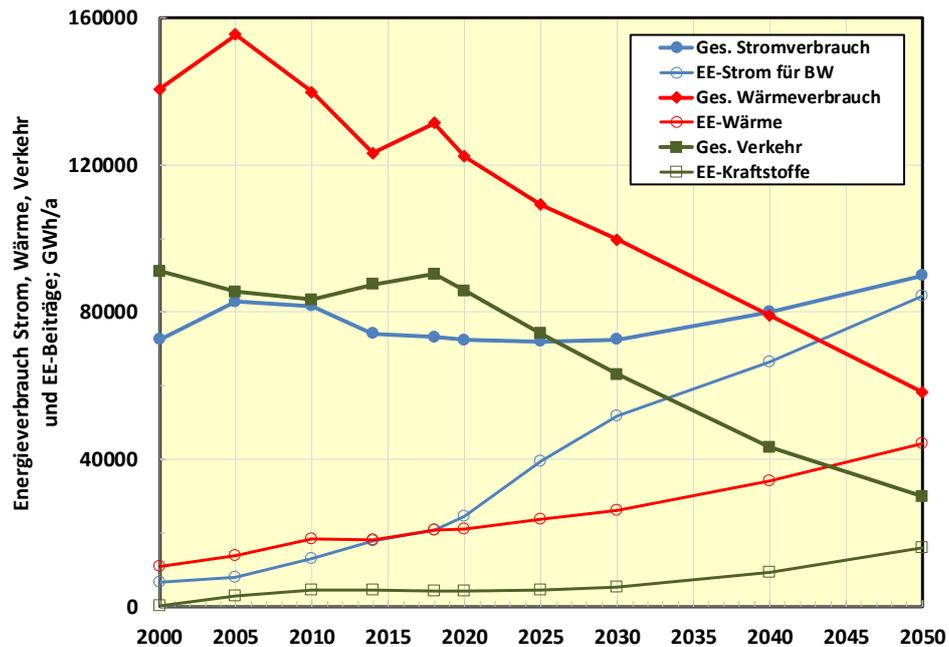


Bild 10: Verbrauchsentwicklung der Segmente „Strom“, „Wärme“ und „Verkehr“ und die entsprechenden Beiträge der EE (ohne Zuordnung des Stroms zu „Wärme“ und zu „Verkehr“) im Szenario BW-PLUS

Beim Segment Strom ist mit einem wachsenden Verbrauch zu rechnen, da substantielle Strommengen im Wärmesektor und im Verkehrssektor zur Verdrängung fossiler Energien benötigt werden (Sektorkopplung). Der Zuwachs dürfte aber erst nach 2030 größere Ausmaße annehmen. Im Szenario BW PLUS wird angenommen, dass die Stromnachfrage bis 2050 um ca. 23 % gegenüber 2018 angewachsen ist (Bild 10). Der Zuwachs der Stromnachfrage ist ein Grund, warum EE-Anlagen zur Stromerzeugung wesentlich größere Zuwachsraten haben müssen, als im Wärme- und Verkehrssektor, wenn sie baldmöglichst substantielle Anteile des Verbrauchs decken sollen. So wird im Jahrzehnt bis 2030 bei EE-Strom von einem jährlichen Zuwachs von 2.570 GWh/a ausgegangen, das ist mehr als das **Dreifache der Zuwachsrate** zwischen 2000 und 2018. Damit erreichen die EE Anteile an der Stromerzeugung im Szenario BW PLUS von 55 % in 2025, von 71 % in 2030 und von 94 % in 2050 (2018 = 28,6 %).

Im Wärmesektor ist die jährliche Zuwachsrate von EE-Wärme zwischen 2018 und 2030 mit 440 GWh/a sogar etwas geringer als in der Vergangenheit (Bild 10). Hier besteht die Herausforderung darin, die Wachstumsdynamik von dem in der Vergangenheit dominierenden Ausbau der Biomasse ohne Wachstumseinbrüche auf solarthermische Anlagen und auf Anlagen zur Nutzung der Umweltwärme und der Tiefengeothermie zu übertragen und diese effektiv in kommunale Wärmekonzepte einzubetten.

Literatur:

[Agora, 2020]: T. Lenk, G. Rosenkranz, C. Trapp u.a.: "Die Ökostromlücke, ihre Strommarkteffekte und wie sie gestopft werden kann." AGORA Energiewende und Wattsight, Version 1.0; Berlin, März 2020; Seite 9

[BWE, August 2019] Aufgabegründe von Windenergieprojekten in Baden-Württemberg- Umfrage des Landesverbandes Baden-Württemberg des Bundesverbands Windenergie e.V.,2019

[Eigene Abschätzung (1) Plattform EE BW, Nov.2019]: Frank Scholl, HEF: Ausbaupfad Holzheizkraftwerke in Baden-Württemberg, November 2019

[EE in BW, 2018]: Erneuerbare Energien in Baden-Württemberg 2018; UM Baden-Württemberg; Oktober 2019

[Eigene Abschätzung (1), Plattform EE-BW, 2019]: Ausbaupfad Holzheizkraftwerke in Baden-Württemberg, November 2019

[Eigene Abschätzung (2), Plattform EE-BW; 2020]: Potenzial Erdwärme BW „Mutiges Szenario“, Dt. Erdwärme GmbH & Co KG, Januar 2020

[Eigene Abschätzung (3), Plattform EE-BW, 2020]: Wasserkraftpotenziale in Baden-Württemberg, 22.Jan. 2020

[Energieatlas Baden-Württ. 2019] Rubrik Sonne (www.energieatlas-bw.de/sonne)

[Energy Sharing]: Impulspapier von „Energy Brainpool“ für Bündnis Bürgerenergie, Berlin 6. März 2020

[IEKK-17]: „Energie- und Klimaschutzziele 2030“ Studie im Auftrag des UM Baden-Württemberg; ZSW Stuttgart; Öko-Institut Freiburg; ifeu Heidelberg; Fraunhofer-ISI Karlsruhe; Hamburg-Institut; J. Nitsch Stuttgart; September 2017

[KSG BW]: Eckpunkte zur Weiterentwicklung des Klimaschutzgesetzes Baden-Württemberg“. Beschluss der Landesregierung vom 21. Mai 2019.

[Leibniz 2019]; J. Weber, I. Moek: Wärmewende mit Geothermie – Möglichkeiten und Chancen in Deutschland. Leibniz-Institut für angewandte Geophysik, Hannover, Juni 2019.

[Messner, 2017]: J. Messner, Landwirtschaftliches Zentrum Baden-Württemberg: „Aktueller Stand Biogasnutzung“ 15. März 2017

[Monitoring 2019]; A-L. Fuchs; T. Kelm: Monitoring der Energiewende in Baden-Württemberg, Statusbericht 2019, ZSW Stuttgart, Dezember 2019.

[Nitsch, 2019]: J. Nitsch: „Noch ist erfolgreicher Klimaschutz möglich – Die notwendigen Schritte auf der Basis aktueller Szenarien der deutschen Energieversorgung.“ Stuttgart, 6. Juni 2019.

[Solare Wärmenetze für Baden-Württemberg, 2015], Studie im Rahmen von SOLNET BW, verfasst von Steinbeis Forschungsinstitut Solites, AGFW, IER Stuttgart, Hamburg-Institut, KEA Baden-Württemberg, Stuttgart, Juni 2015

[Stadtwerke Kiel]: „Ortstermin: Kohleausstieg im Kieler Wärmenetz“; Energiedepesche 3/2019; S. 26- 27

[Windatlas Baden-Württemberg, 2019], AL-PRO GmbH & Co. KG Großheide, im Auftrag des UM Baden-Württemberg, 2019.

Kontakt

Plattform Erneuerbare Energien Baden-
Württemberg e.V.

Meitnerstraße 1

70563 Stuttgart

Info@erneuerbare-bw.de