

FRAUNHOFER-INSTITUT FÜR SOLARE ENERGIESYSTEME ISE

IHK KARLSRUHE

STROMSTUDIE FÜR BADEN-WÜRTTEMBERG

**REGIONALAUSWERTUNG
FÜR DEN IHK-BEZIRK KARLSRUHE**

STROMSTUDIE FÜR BADEN-WÜRTTEMBERG

Regionalauswertung IHK-Bezirk Karlsruhe

**Verena Fluri, Connor Thelen, Bin Xu-Sigurdsson, Cristina Balmus,
Markus Kaiser, Tobias Reuther, Gerhard Stryi-Hipp, Christoph Kost**

Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE

Heidenhofstraße 2, 79110 Freiburg im Breisgau
www.ise.fraunhofer.de

Die zugrunde liegende Studie, „Stromstudie für Baden-Württemberg“ wurde vom Baden-Württembergischen Industrie- und Handelskammertag (BWIHK) beauftragt und vom Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme von Dezember 2023 bis März 2024 durchgeführt.

Die vorliegende Studie wurde von der IHK Karlsruhe beauftragt und stellt eine regionale Auswertung der Daten dar.

Freiburg, Mai 2024

Inhaltsverzeichnis

Abkürzungsverzeichnis	4
1 Einleitung.....	5
2 Strombedarf im IHK-Bezirk Karlsruhe	6
2.1 Heutiger Strombedarf und Entwicklung bis 2040.....	6
2.2 Blick auf die Industriezweige.....	8
3 Erneuerbare Energien in im IHK-Bezirk Karlsruhe	10
3.1 Installierte Leistungen heute.....	10
3.2 Stromerzeugungspotenziale.....	10
3.3 Gesamtpotenziale.....	13
4 Langfristige Deckung von Angebot und Nachfrage	15
5 Literaturverzeichnis	17
6 Anhang	18

Abkürzungsverzeichnis

BW	Baden-Württemberg
EE	Erneuerbare Energien
GHD	Gewerbe Handel Dienstleistungen
GW	Gigawatt
GWh	Gigawattstunden
ha	Hektar
IHK	Industrie- und Handelskammer
km	Kilometer
kW	Kilowatt
LKW	Lastkraftwagen
MW	Megawatt
PKW	Personenkraftwagen
PV	Photovoltaik
PtX	Power-to-X
TWh	Terrawattstunden
W	Watt

Vorbemerkung

In dieser Studie ist mit der Angabe W, kW, MW für PV-Anlagen die Nennleistung Watt peak (Wp, kWp, MWp, GWp) gemeint, auf deren Nennung aus Lesbarkeitsgründen verzichtet wird.

1 Einleitung

Das Land Baden-Württemberg hat sich das Ziel gesetzt, bis zum Jahr 2040 klimaneutral zu werden. Um diese ehrgeizigen Klimaziele zu erreichen, sind umfassende Umstellungen von fossilen Brennstoffen auf erneuerbare Energien erforderlich. Dies wird hauptsächlich durch die Elektrifizierung von Prozessen und die verstärkte Nutzung von Grünstrom realisiert. Der gesteigerte Bedarf an Strom erhöht gleichzeitig die Notwendigkeit des Ausbaus erneuerbarer Energien. Dies gilt besonders vor dem geplanten Ausstieg aus der fossilen Stromerzeugung. Somit muss nicht nur der aktuelle Strombedarf durch grüne Erzeugungskapazitäten ersetzt werden, sondern es müssen zusätzliche Kapazitäten geschaffen werden, um den ansteigenden Bedarf zu decken. Der bisherige Ausbau und die Ausbaugeschwindigkeit von erneuerbaren Energien in Baden-Württemberg hat noch nicht das erforderliche Ausmaß erreicht, um die Klimaziele zu erreichen.

Das Fraunhofer ISE hat in diesem Kontext für die IHK Baden-Württemberg die Stromversorgungssituation in Baden-Württemberg bis zum Jahr 2040 untersucht¹. Demnach steigt der Strombedarf in Baden-Württemberg von 64 TWh (2021) auf 108 bis 161 TWh im Jahr 2040. Dies entspricht einer Steigerung von rund 73% bis 156%. Der Sektor Industrie hat daran, neben den Sektoren Verkehr und Haushalt, einen starken Anteil: Bis zum Jahr 2040 wird eine Steigerung des Industriestrombedarfs, je nach Szenario, von 5 bis 65% erwartet.

Um den steigenden Strombedarf klimaneutral und mit verbrauchsnahe Stromerzeugung zu decken, ist der Ausbau der erneuerbaren Energien in Baden-Württemberg unerlässlich. Die Analyse zeigt, dass das gut verfügbare Potenzial mit rund 300 TWh groß ist, die Umsetzung aber stark von der Bereitschaft, die entsprechenden Flächen zu nutzen, abhängt. Die aktuellen landespolitischen Ziele bedeuten für das Jahr 2040 eine Strommenge von ca. 92 TWh. Diese Strommenge ist allerdings nicht ausreichend, um den steigenden Strombedarf jahresbilanziell zu decken.

Ein entsprechender Zubau an erneuerbaren Energien, selbst auf Basis der aktuellen politischen Zielsetzung, ist höchst herausfordernd. Um wenigstens eine jahresbilanzielle Versorgung sicher zu stellen, müssten die politischen Zielsetzungen weiter verschärft und die Rahmenbedingungen verbessert werden. Die Studie gibt Empfehlungen für verschiedene Akteure zur schnelleren Hebung der Potenziale.

Der vorliegende Bericht gibt in diesem Kontext einen detaillierteren Blick auf den IHK-Bezirk Karlsruhe. Beschreibungen zu Annahmen und Methodik sind in der Hauptstudie zu finden. In diesem Bericht werden die Ergebnisse speziell für den IHK-Bezirk Karlsruhe mit den Landkreisen Karlsruhe und Rastatt und den Stadtkreisen Baden-Baden und Karlsruhe dargestellt. Dabei werden in Kapitel 2 die Strombedarfe dargestellt, in Kapitel 3 das Potenzial erneuerbarer Energien. Kapitel 4 stellt Strombedarf und Potenziale gegenüber.

Im Rahmen der Arbeiten für diesen Bericht wurde am 06.02.2024 ein Workshop mit VertreterInnen von Industrie, Energieversorgern und Politik in Karlsruhe durchgeführt, bei dem die Ergebnisse diskutiert wurden.

¹ Fraunhofer ISE (2024): Stromstudie für Baden-Württemberg – Versorgungssituation bis zum Jahr 2040 <https://www.ise.fraunhofer.de/de/presse-und-medien/presseinformationen/2024/bw-stromstudie-zeigt-steigender-strombedarf-benoetigt-viel-erneuerbare-energien-in-baden-wuerttemberg.html> [1].

2 Strombedarf im IHK-Bezirk Karlsruhe

Das folgende Kapitel enthält eine Strombedarfsprojektion für den IHK-Bezirk Karlsruhe basierend auf dem Referenzjahr 2021 bis zum Jahr 2040 (Jahr des Ziels Klimaneutralität für Baden-Württemberg) mit Zwischenberechnungen für die Jahre 2025, 2030 und 2035.

Die Projektion beruht auf dem Energiesystemmodell REMod des Fraunhofer Instituts für Solare Energiesystem [2]. Im Rahmen dieser Studie wurden drei Transformationsszenarien für das deutsche Energiesystem betrachtet²:

- Das Szenario *Basis* trifft technologisch ausgeglichene Maßnahmen und nimmt in den Verbrauchssektoren einen leicht steigenden Nutzenergiebedarf an, entsprechend der vergangenen Entwicklung.
- Das Szenario *Effizienz* nimmt eine effizientere Energienutzung und gesellschaftliche Verhaltensänderungen an, die zu einem sinkenden Nutzenergiebedarf in den Verbrauchssektoren führen. Die technologischen Annahmen entsprechen denen des Szenarios *Basis*.
- Das Szenario *Elektrifizierung* trifft optimistische Annahmen für Technologien (in Bezug auf technische Entwicklung und auch dem tatsächlichen Einsatz), die einer direkten Elektrifizierung in den Verbrauchssektoren entsprechen. Geringe Importmengen und hohe Importpreise für CO₂-neutrale, synthetische Energieträger sind hier zentrale Annahmen, die dazu führen, dass vermehrt auf direkte Elektrifizierung gesetzt wird. Die Entwicklung des Nutzenergiebedarfs entspricht dem Szenario *Basis*.

Der Strombedarf wird für die zukünftigen Jahre für alle Sektoren aus den Transformationsszenarien für Gesamtdeutschland entnommen. Dabei wird zwischen den Sektoren Haushalte, Industrie, GHD und Transport, definiert im Klimaschutzgesetz, und dem Sektor Power-to-X (PtX) unterschieden. Um eine Strombedarfsanalyse auf Landkreisebene für Baden-Württemberg durchzuführen, wird die Strombedarfsprojektion für Deutschland auf die Landkreise des Bundeslands Baden-Württemberg disaggregiert. Die hierfür verwendete Methodik zur Disaggregation des Strombedarfs wird in Kapitel 2.1 der Hauptstudie erörtert.

2.1 Heutiger Strombedarf und Entwicklung bis 2040

In Abbildung 1 ist der projizierte Strombedarf des IHK-Bezirks Karlsruhe für den Zeitraum von 2021 bis 2040 der drei betrachteten Szenarien dargestellt. Im Referenzjahr 2021 wies der IHK-Bezirk, bestehend aus den Stadt- und Landkreisen Karlsruhe (Stadt), Karlsruhe Land, Baden-Baden (Stadt) und Rastatt Land, einen projizierten Gesamtstrombedarf von 6,7 TWh auf. Dieser Bedarf bestand fast zur Hälfte aus der Nachfrage des Industriesektors, der 47% ausmachte. Die Anteile der anderen Hauptsektoren betragen 26% für Gewerbe-Handel- und Dienstleistungssektor, 25% im Haushaltssektor und 3% im Verkehrssektor.

Angesichts des angestrebten Ziels der Klimaneutralität bis zum Jahr 2040 wird in sämtlichen Szenarien ein erheblicher Anstieg des Strombedarfs erwartet. Im Basisszenario wird eine Steigerung des Strombedarfs des IHK-Bezirks Karlsruhe auf 18,9 TWh prognostiziert, während im Effizienzzenario von einem Bedarf von 12,1 TWh und im Elektrifizierungsszenario von 19,3 TWh für das Jahr 2040 ausgegangen werden kann. Dies bedeutet einen Anstieg des Strombedarfs um +81% im Effizienzzenario und bis zu +189% im Elektrifizierungsszenario.

Im Basisszenario steigt der Strombedarf im Sektor Industrie von 3,1 TWh um 69% auf 5,3 TWh, was insbesondere auf die Elektrifizierung der Prozesswärme zurückzuführen ist. Im GHD-Sektor steigt der Strombedarf von 1,7 TWh auf 2,4 TWh, was einem Anstieg von etwa 43% entspricht. Im Sektor Haushalte steigt der Strombedarf von 1,7 TWh im Jahr 2021 auf 4,1 TWh im Jahr 2040. Dieser enorme Anstieg von +146%

² Die drei Szenarien stammen aus dem Ariadne Projekt [3]. Das Szenario *Basis* diente dort als Grundlage eines Berichts [4] und das Szenario *Elektrifizierung* wird für eine Web-Visualisierung [5] genutzt. Das Szenario *Effizienz* ist ein im Rahmen von Ariadne gerechnetes, bisher unveröffentlichtes Szenario, das auf einer eigenen Studie [2] aufbaut.

lässt sich durch die starke Elektrifizierung in Bereich der Raumwärme und Warmwasser zurückführen. Auch im Verkehrssektor steigt die Stromnachfrage stark an. Von etwa 0,2 TWh im Jahre 2021 auf 3 TWh im Jahr 2040. Dieser enorme Anstieg des Strombedarfs ist auf die weite Verbreitung von batterieelektrischen PKWs und LKWs zurückzuführen.

Zusätzlich dazu wird für das Jahr 2040 im Basisszenario ein Strombedarf für die Wasserstoffproduktion von 4,1 TWh für den IHK-Bezirk Karlsruhe prognostiziert.³ Davon fällt ein Anteil auf die verorteten Wasserstoffbedarfe insbesondere des Sektors Grundstoffchemie zurück, welcher auch die ansässigen Raffinerien berücksichtigt. Auch der Papierindustrie im IHK-Bezirk Karlsruhe wird ein (geringer) Wasserstoffbedarf zugeordnet.[6]. Der größere Anteil des in dem IHK-Bezirk verorteten Wasserstoffbedarfs ist jedoch auf die aktuellen Standorte konventioneller Kraftwerke zurückzuführen, welche zukünftig (anteilig) mit Wasserstoffgasturbinen ersetzt werden können [7].

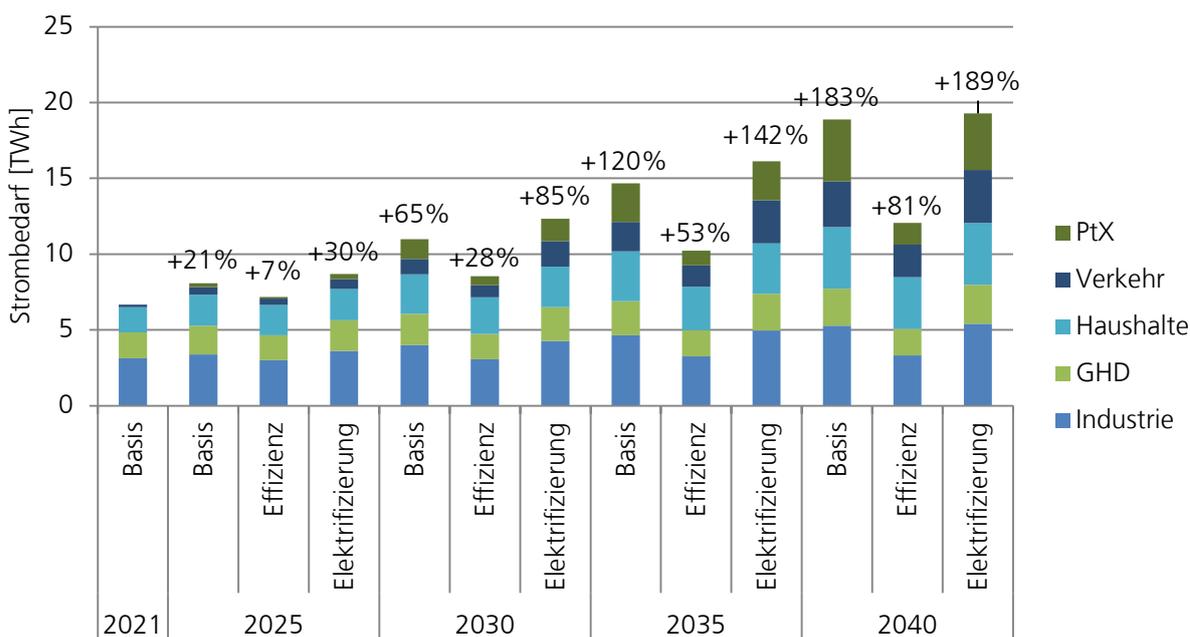


Abbildung 1: Projizierter Strombedarf von 2021 bis 2040 in Strombedarf des IHK-Bezirks Karlsruhe für die drei Szenarien Basis, Effizienz und Elektrifizierung

Durch die unterschiedlich stark steigenden Strombedarfe in allen Sektoren ändert sich auch die Verteilung zwischen den einzelnen Sektoren deutlich: So haben im Basisszenario die Sektoren Industrie und GHD trotz steigendem Strombedarf im Jahr 2040 nur einen Anteil von 28% bzw. 13% am Gesamtstrombedarf, was eine Minderung von 19 bzw. fast 13 Prozentpunkten verglichen mit dem Jahr 2021 entspricht. Der Anteil des Haushaltssektors sinkt nur leicht auf 21,6% (-3 Prozentpunkt im Vergleich zu 2021). Große Zuwächse am Anteil des Gesamtstrombedarfs erfährt nur der Verkehrssektor. Hier kann bis zum Jahr 2040 mit einem Anstieg des Anteils des Verkehrssektors am Gesamtstrombedarf von etwa 13%-Punkten auf 16% gerechnet werden.

³ Wie Kapitel 2.1 der Hauptstudie beschrieben, basiert der prognostizierte Strombedarf für die Wasserstoff- und PtX-Produktion auf dem erwarteten Wasserstoffbedarf der jeweiligen Region. Dies bedeutet nicht zwangsläufig, dass der gesamte Bedarf ausschließlich durch eine Produktion im jeweiligen Land- bzw. Stadtkreis oder im Bundesland Baden-Württemberg bereitgestellt werden muss.

2.2 Blick auf die Industriezweige

In Abbildung 2 ist der Strombedarf der Sektoren Industrie und GHD des IHK-Bezirks Karlsruhe für das Basisszenario nach Wirtschaftsbranchen aufgeschlüsselt. Es ist erkennbar, dass der Sektor GHD sowohl im Jahr 2021 mit 1,7 TWh als auch im Jahr 2040 mit 2,4 TWh den größten Anteil am Strombedarf der aufgeführten Branchen hat. Dennoch ist der Anstieg mit etwa 43% moderat. Das liegt daran, dass bereits viele Prozesse im Sektor GHD elektrifiziert sind und vergleichsweise wenig Prozesswärme benötigt wird. Somit sind die heutigen Verbräuche von konventionellen Energieträgern zur Wärmeerzeugung gering. Der projizierte Strombedarfsanstieg ist daher in weiten Teilen aus der Elektrifizierung des Energiebedarfs für Raumwärme und Warmwasserbedarf zurückzuführen.

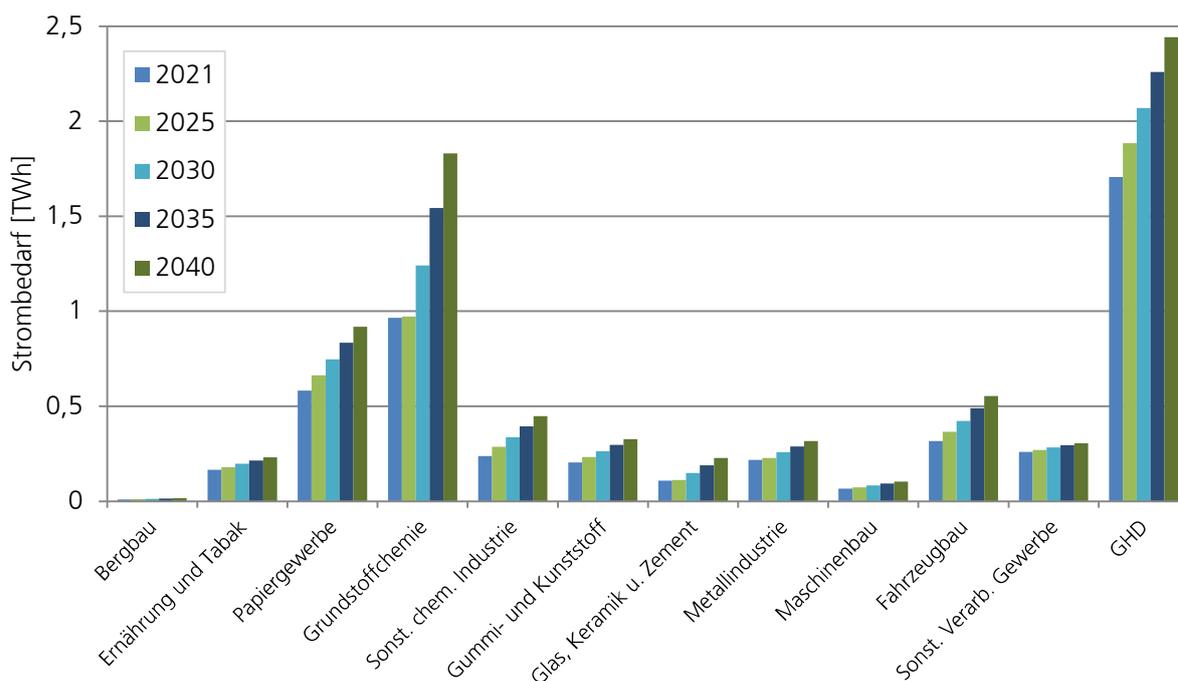


Abbildung 2: Strombedarfsprojektion nach Branchen für die Sektoren Industrie und GHD im Basisszenario für den IHK-Bezirk Karlsruhe

Auch wenn in den einzelnen Branchen der Industrie der absolute Strombedarf deutlich geringer projiziert wird als im GHD-Sektor, fallen die Strombedarfssteigerung in den Industriebranchen deutlich höher aus. Das ist damit begründet, dass in vielen Industriebereichen große Energiemengen zur Bereitstellung von Prozesswärme aufgebracht werden. Hier muss zur Erreichung der Klimaneutralität im Jahr 2040 eine starke Elektrifizierung der Prozesse stattfinden, bei der insbesondere Wärmepumpen für Niedertemperatur- und Elektrodenkessel für Hochtemperaturanwendungen genutzt werden, wann immer die Wirtschaftlichkeit gegeben ist.

Einen besonders starken Anstieg der Stromnachfrage im IHK-Bezirk Karlsruhe verzeichnet die Grundstoffchemie. Bereits im Jahr 2021 wird der Branche nach dem Sektor GHD mit knapp 1 TWh der größte Strombedarf einer einzelnen Branche zugeordnet. Insbesondere der Stadtkreis Karlsruhe hat mit der hier ansässigen Mineralö Raffinerie Oberrhein einen erheblichen Anteil daran. Für die Branche wird im IHK-Bezirk Karlsruhe ein Strombedarfsanstieg zwischen den Jahren 2021 und 2040 von 90% projiziert, was einem Anstieg von 0,9 TWh entspricht. Dies liegt unter anderem an den hohen Energiebedarfen für die Bereitstellung von Prozesswärme in dieser Branche. Auch in absoluten Zahlen ist dies die höchste Bedarfssteigerung einer einzelnen Branche in dieser Region, was insbesondere auf den hohen Energiebedarf der bereits angesprochenen ansässigen Unternehmen zurückzuführen ist. Den höchsten relativen Anstieg von 111% weist die Glas-, Keramik- und Zementindustrie auf, auch wenn hier der absolute Anstieg mit etwa 0,1 TWh gering ausfällt.

Eine Besonderheit des IHK-Bezirks Karlsruhe ist der, verglichen mit dem baden-württembergischen Durchschnitt, hohe Strombedarfsanteil des Papiergewerbes am Gesamtstrombedarf des Industriesektors. Während die Branche in Baden-Württemberg 2040 einen durchschnittlichen Anteil von etwa 13% am Industriestrombedarf haben soll, liegt der prognostizierte Wert des IHK-Bezirks Karlsruhe bei 17,4%. Darüber hinaus ist ein Anstieg von 58% von 2021 bis 2040 projiziert, was einem Bedarfsanstieg von knapp 0,34 TWh entspricht.

3 Erneuerbare Energien in im IHK-Bezirk Karlsruhe

Im Folgenden werden die Potenziale erneuerbarer Energien für den IHK-Bezirk Karlsruhe quantifiziert. Hierzu wurden die Daten des Energieatlas Baden-Württemberg [8] ausgewertet. Die Ergebnisse sind somit konsistent mit anderen Untersuchungen und die Datenbasis ist öffentlich zugänglich und nachvollziehbar. Die Methodik der Auswertung wird in der Hauptstudie in Kapitel 3 beschrieben. Die Potenziale der Geothermie, der Solarthermie und der Umweltwärme werden in diesem Bericht nicht betrachtet, da keine regionalbezogene Untersuchung vorliegt.

3.1 Installierte Leistungen heute

Im Oktober 2023 waren im IHK-Bezirk Karlsruhe erneuerbare Energien mit einer Leistung von rund 900 MW installiert (siehe Abbildung 3). Der größte Anteil davon waren PV-Aufdachanlagen mit 69% der installierten Leistung. Der Anteil der Wasserkraft betrug 23%. Auf Platz drei stehen PV-Freiflächenanlagen (5%), gefolgt von Biomasse (2%) und Windenergie (1%).

Abbildung 3 zeigt auch die Verteilung der installierten Leistung erneuerbarer Energien im IHK-Bezirk Karlsruhe auf Landkreisebene. Rastatt Land hat mit 397 MW die größte installierte Gesamtleistung, während der Stadtkreis Karlsruhe mit 75 MW die geringste installierte Leistung hat. Eine hohe Fokussierung auf PV-Aufdachanlagen findet sich im Stadtkreis Karlsruhe mit 92%, dicht gefolgt vom Karlsruhe Land mit 91%. Im Landkreis Rastatt hat Wasserkraft einen starken Anteil mit 51%.

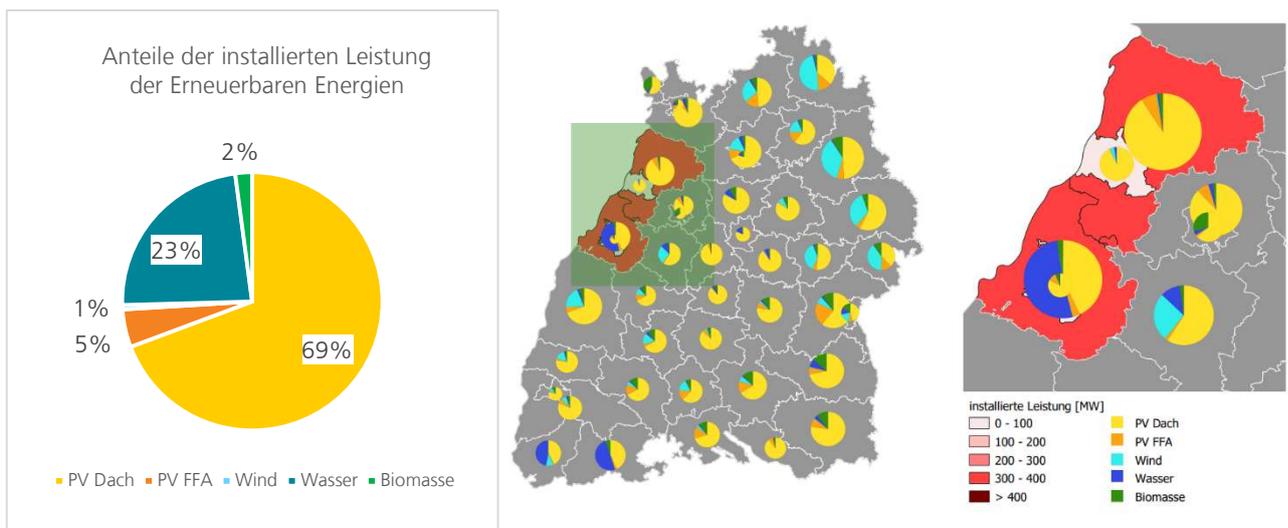


Abbildung 3: Erneuerbare Energien im IHK-Bezirk Karlsruhe nach Land- und Stadtkreisen in 2023

3.2 Stromerzeugungspotenziale

PV-Potenziale auf Gebäudedächern

Das PV-Dachpotenzial des IHK-Bezirk Karlsruhe macht 9% des gesamten Potenzials von Baden-Württemberg aus. Eine Aufteilung der Potenziale der PV-Leistung auf Flach- und Schrägdächer für die Ost-West-Ausrichtung wird für jeden der vier Landkreise im IHK-Bezirk Karlsruhe in Abbildung 4 dargestellt.

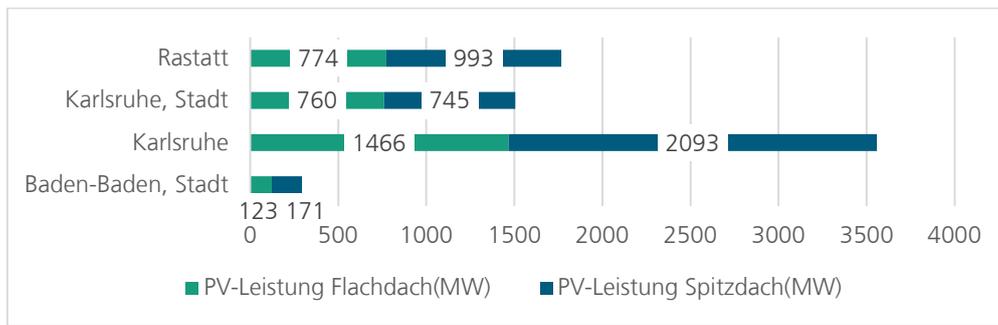


Abbildung 4: Aufteilung des technischen Potenzials der PV-Leistung auf Flach- und Schrägdächern bei Installation der PV-Modulreihen in Ost-West-Ausrichtung nach Landkreisen

Windkraft-Potenziale

Die im Energieatlas BW identifizierte gesamt geeignete Windpotenzialfläche für den IHK-Bezirk Karlsruhe beträgt 32.003 ha, aufgeteilt auf 10.202 ha generell geeignete Flächen und 21.801 ha bedingt geeignete Flächen. Die gesamt geeignete Windpotenzialfläche entspricht ca. 15% der Regionsfläche (213.702 ha). Das Potenzial ist somit wesentlich höher als die politische Zielsetzung von 1,8% der Landesfläche. Die geographische Verteilung der geeigneten und bedingt geeigneten Flächen wird in der Abbildung 5 gezeigt.

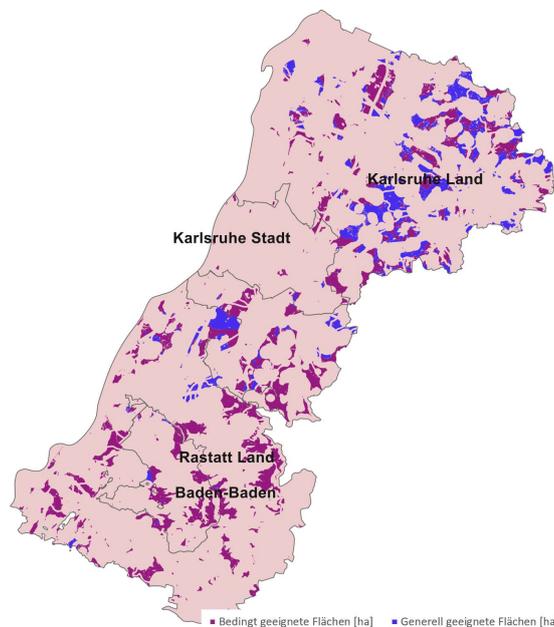


Abbildung 5: Generell und bedingt geeignete Windpotenzialflächen im IHK-Bezirk Karlsruhe (eigene Darstellung)

Auf den gesamt geeigneten Windpotenzialflächen für den IHK-Bezirk Karlsruhe könnten 1.544 Windkraftanlagen mit einem möglichen Netto-Windstromertrag von ca. 17 TWh stehen (siehe Tabelle 1).

Tabelle 1: Windpotenzialflächen sowie Potenziale an Windkraftanlagen und deren Stromertrag im IHK-Bezirk Karlsruhe

IHK-Bezirk Karlsruhe	Fläche absolut	Fläche in % der Gesamtfläche Karlsruhe	Anzahl mögl. Anlagen	Windstromertrag jährlich
	ha	Prozent	-	TWh
Generell geeignete Fläche	10.202	4,8%	644	6,7
Bedingt geeignete Fläche	21.801	10,2%	900	10,3
Gesamt geeignete Fläche	32.003	15,0%	1.544	17,0

Sonstige Stromerzeugungspotenziale

PV-Potenziale auf Freiflächen

Die Ermittlung der Flächenpotenziale erfolgte für die Acker- und Grünlandflächen innerhalb von benachteiligten Gebieten, die bestehenden Konversionsflächen und die Seitenrandstreifen entlang von Autobahnen und Schienenstrecken. Im Energieatlas BW wurde für den IHK-Bezirk Karlsruhe eine Potenzialfläche für PV-Freiflächenanlagen von 4.565 ha ermittelt, die sich auf 3.310 ha bedingt geeignete und 1.255 ha geeignete Flächen aufteilt und insgesamt 2% der gesamten Regionsfläche ausmacht. Für diese gesamt geeigneten Flächen für PV-Freiflächenanlagen (generell geeignete Flächen und bedingt geeignete Flächen) wurde für den IHK-Bezirk Karlsruhe eine installierbare PV-Leistung von 5,5 GW errechnet. Auf Landkreisebene aufgeschlüsselte Daten sind in Tabelle 5 im Anhang hinterlegt.

PV-Potenziale im Bereich Parkplatzüberdachungen

PV-Anlagen eignen sich auch als Überdachung von Parkplätzen. Da die Stellplatzflächen üblicherweise bereits versiegelt sind und die solare Parkplatzüberdachung die Nutzung der Stellplätze in der Regel nicht beeinträchtigt, bietet es sich an, auch diese Potenziale zu nutzen. Für den IHK-Bezirk Karlsruhe wurden 233.864 Stellplätze auf bestehenden Parkplätzen mit mehr als 35 Stellplätzen und ein daraus resultierendes PV-Potenzial von 265 MW ermittelt. Auf Landkreisebene aufgeschlüsselte Daten sind in Tabelle 6 im Anhang hinterlegt.

Biomasse-Potenzial

Im IHK-Bezirk Karlsruhe beträgt das energetische Potenzial aus Energieholz ca. 298 GWh/a, während das Potenzial aus der Landwirtschaft zur Stromerzeugung (am sinnvollsten in Form von Biogas) bei 57 GWh/a liegt. Eine Aufteilung dieser Potenziale nach Landkreisen im IHK-Bezirk Karlsruhe kann Tabelle 7 im Anhang entnommen werden.

Wasserkraftpotenzial

Das vorhandene Wasserkraftpotenzial in Baden-Württemberg wird schon gut ausgenutzt, Ausbaupotenziale bestehen in relativ geringem Umfang. In einer detaillierten Potenzialanalyse aus den Jahren 2015 und 2016, auf die der Energieatlas BW sich bezieht, wurden sowohl die Ausbaupotenziale an bereits für die Wasserkraft genutzten Standorten als auch die Neubaupotenziale an bislang genutzten und noch nicht genutzten Standorten untersucht. Laut dieser Potenzialanalyse gibt es im IHK-Bezirk Karlsruhe 64 installierbare kleine Wasserkraftanlagen (bis 1 MW Leistung) mit einem möglichen Jahresstromertrag von 97 GWh/a. Auf Landkreisebene aufgeschlüsselte Daten sind in Tabelle 8 im Anhang hinterlegt.

Wichtig zu erwähnen an dieser Stelle für den IHK-Bezirk Karlsruhe ist das Rheinkraftwerk Iffezheim als Bestandteil der Staustufe Iffezheim, das größte Laufwasserkraftwerk in Deutschland und eines der größten Laufwasserkraftwerke in Europa mit einer Leistung von 145 MW⁴. Das Laufwasserkraftwerk produziert mit seinen fünf Rohrturbinen Strom aus Wasserkraft für 250.000 Haushalte⁵.

⁴ EnBW Unternehmen, *Wasserkraft: Wie Wasserkraftwerke zur Energiewende beitragen*. [Online]. Verfügbar unter: [https://www.enbw.com/unternehmen/eco-journal/wasserkraftwerke.html#:~:text=Mit%20dem%20Rheinkraftwerk%20Iffezheim%20\(146,Laufwasserkraftwerk%20Deutschlands%20in%20ihrem%20Kraftwerkspark.](https://www.enbw.com/unternehmen/eco-journal/wasserkraftwerke.html#:~:text=Mit%20dem%20Rheinkraftwerk%20Iffezheim%20(146,Laufwasserkraftwerk%20Deutschlands%20in%20ihrem%20Kraftwerkspark.) (Zugriff am: 29. April 2024).

⁵ EnBW, *Laufwasserkraftwerke am Oberrhein*. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.enbw.com/erneuerbare-energien/wasser/standorte.html> (Zugriff am: 29. April 2024).

3.3 Gesamtpotenziale

Eine Übersicht der gut verfügbaren Potenziale für die Stromerzeugung mit erneuerbaren Energien im IHK-Bezirk Karlsruhe, die in den vorigen Abschnitten vorgestellt wurden, ist in Tabelle 2 nach Landkreisen aufgelistet dargestellt.

Tabelle 2: Übersicht der Potenziale für die Stromerzeugung aus erneuerbare Energien nach Landkreisen im IHK-Bezirk Karlsruhe

Landkreis	PV Dachanlagen	PV-Freifläche 2% der Landesfläche	PV Parkplätze	Windkraft auf generell geeigneten Flächen	Energieholz	Biogas	Kleine Wasserkraft (große Wasserkraft nicht berücksichtigt)	Summe
	GWh/a	GWh/a	GWh/a	GWh/a	GWh/a	GWh/a	GWh/a	GWh/a
Baden-Baden	276	330	10	194	29	0	0	839
Karlsruhe Stadt	1.470	276	103	65	17	0	0	1.931
Karlsruhe Land	3.448	2.641	59	5.449	127	29	3	11.756
Rastatt Land	1.687	1.671	67	1.007	125	28	94	4.679
IHK-Bezirk Karlsruhe	6.881	4.918	239	6.715	298	57	97	19.205

Tabelle 3 stellt außerdem die ermittelten gut verfügbaren Potenziale und die aktuellen politischen Ziele zur Potenzialausnutzung gegenüber. Dabei wurde für PV-Freiflächen nicht das technische Potenzial, sondern das Potenzial auf 2% der Landesfläche und für die Windkraftanlagen nur das Potenzial auf generell geeigneten Flächen aufgelistet, die deutlich kleiner sind als die technischen Potenziale. Zum Vergleich sind die aktuellen politischen Zielsetzungen der Landesregierung Baden-Württemberg, soweit vorhanden, dargestellt bzw. die Angaben von Studien zur Klimaneutralität.

Die Zielsetzung von 2,7 GW PV-Leistung auf Dächern entspricht einer Potenzialausnutzung von ca. 40%, bei PV-Freiflächen entspricht die Vorgabe von 1,0 GW nur 20% des 2% Potenzials. Für PV-Parkplatzüberdachungen wird von 50% Potenzialausschöpfung ausgegangen. Bei der Windkraft wird vom aktuellen Ziel der Nutzung von 1,8% der Landesfläche ausgegangen, dies entspricht einem Stromerzeugungspotenzial in Baden-Württemberg von ca. 32 TWh, das über das Potenzial auf generell geeigneten Flächen auf die Landkreise verteilt wurde. Die Stromerzeugung aus fester Biomasse (Holz) geht zwar vom gleichen Holzeinschlag wie heute aus, allerdings mit einem deutlich erhöhten KWK-Anteil in dessen Nutzung. Biogas bleibt unverändert zur heutigen Erzeugung. Für die Wasserkraft wird eine volle Ausschöpfung des technischen Potenzials angenommen, das etwa 11% höher als die heutige Wasserkraftnutzung ist.

Tabelle 3: Gut verfügbare Potenziale zur Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien und aktuelle politische Zielsetzung zur Potenzialausnutzung im IHK-Bezirk Karlsruhe

Potenzialart	Gut verfügbare Potenziale		Politische Ziele bzw. Studienziele		Politische Zielsetzung Baden-Württemberg bzw. getroffene Annahmen
	Installierte elektrische Leistung	Stromerzeugung	Installierte elektrische Leistung	Stromerzeugung	
	GW	TWh/a	GW	TWh/a	
PV-Dachpotenzial	7,1	6,9	2,7	2,6	ca. 40% Potenzialausnutzung [9]
PV-Freiflächen 2% Landesfläche	4,9	4,9	1,0	1,0	16,6 GW Freiflächenanlagen für gesamt Baden-Württemberg [9]
PV-Parkplatzüberdachung	0,3	0,2	0,1	0,1	Annahme: 50% Pot.-Ausschöpfung
Windpotenzial auf generell geeignete Flächen		6,7		1,7	1,8% der BW-Landesfläche [10], entsprechend 32 TWh, verteilt auf Landkreisebene über generell geeignete Flächen
Feste Biomasse		0,3		0,3	Gleichbleibende Gesamtmenge Holzeinschlag, Erhöhung KWK
Biogas		0,1		0,1	Gleichbleibende Menge
Wasserkraft * (große Wasserkraftwerke nicht berücksichtigt)		0,1		0,1	Studie BW klimaneutral 2040 [11]
Summe		19,2		5,9	

4 Langfristige Deckung von Angebot und Nachfrage

Abbildung 6 zeigt den Strombedarf im IHK-Bezirk Karlsruhe heute und die Ergebnisse für das Jahr 2040. Im Vergleich dazu sind die aktuelle politische Zielsetzung sowie das gut verfügbare Potenzial dargestellt. Die Windenergiemengen bei der aktuellen politischen Zielsetzung entsprechen 32 TWh für Baden-Württemberg (entsprechend 1,8% der Landesfläche), und sind anhand der generell geeigneten Flächen auf die Landkreise verteilt. Außerdem wird angenommen, dass rund 40% des maximalen PV-Dachpotenzials genutzt wird und rund 0,4% der Fläche für PV-Freiflächenanlagen (in Anlehnung an die Sektorziele 2040 Baden-Württemberg [9]). Es wird davon ausgegangen, dass die Stromerzeugung aus Wasserkraft und Biomasse sich nur geringfügig erhöht. Ein Ausbau von Photovoltaik und Windkraft in dieser Größenordnung ist ambitioniert, doch selbst mit diesen Strommengen kann die errechnete Stromnachfrage in 2040 von 12,1 bis 19,3 TWh nicht annähernd gedeckt werden. Ein Importsaldo von 6,2 bis 13,4 TWh würde verbleiben. Der IHK-Bezirk Karlsruhe mit einem starken Verbrauch und vergleichsweise geringen Flächen mit hoher Flächenkonkurrenz wird besonders auf Stromerzeugung aus Regionen mit geringerem Verbrauch und mehr Flächen angewiesen sein. Insbesondere bedingt dies auch einen starken Netzausbau, um einen Ausgleich zwischen Stromnachfrage und Stromerzeugung in der Region und überregional zu ermöglichen.

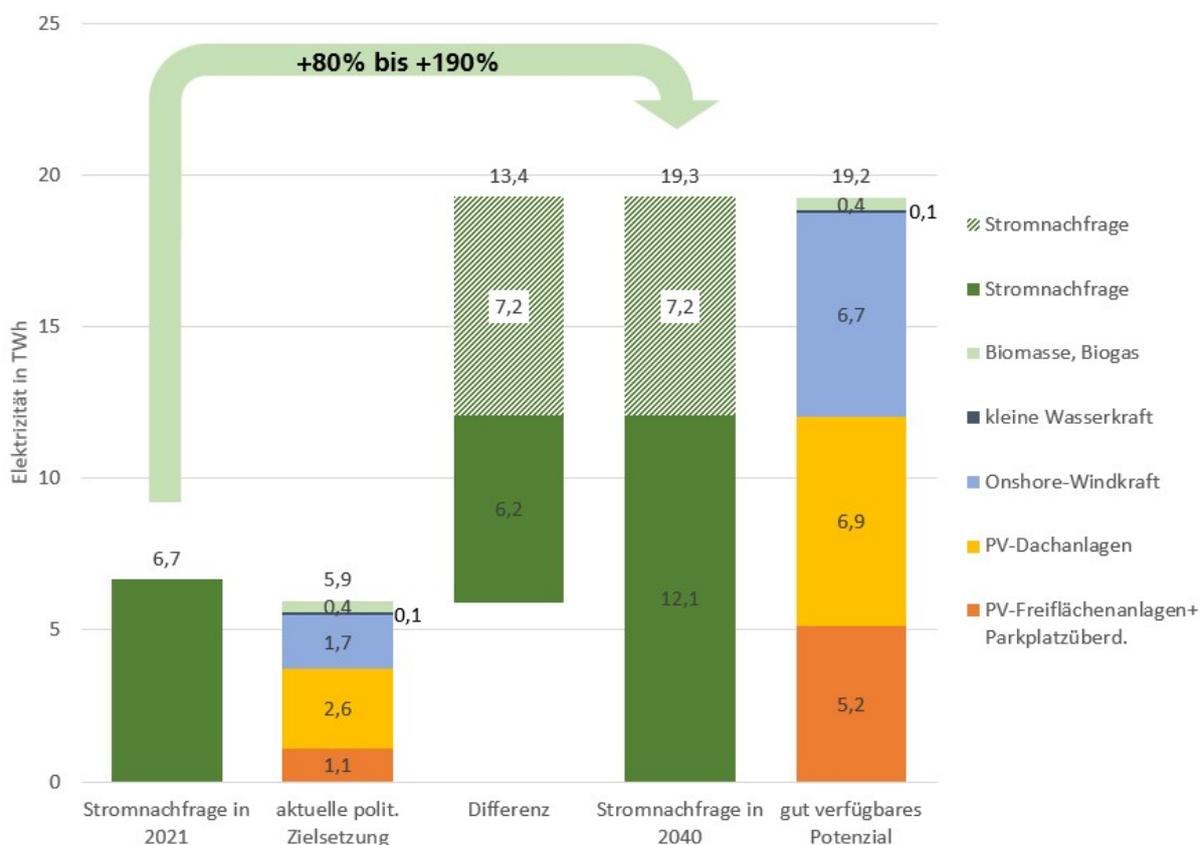


Abbildung 6: Gegenüberstellung von Stromnachfrage (die Bandbreite repräsentiert die Szenarien Effizienz bis Elektrifizierung) und gut verfügbarem Potenzial⁶ in 2040 für den IHK-Bezirk Karlsruhe

Mit Bezug auf die Ergebnisse wurden im Expertenworkshop insbesondere die folgenden Themen diskutiert:

⁶ 2% der Landesfläche für PV-Freiflächenanlagen, Windkraft nur auf generell geeigneten Flächen. Große Wasserkraft ist nicht enthalten, da in der Studie keine landkreisscharfe Betrachtung erfolgte. Das technische Potenzial erneuerbarer Energien liegt deutlich höher als das gut verfügbare Potenzial.

Aktive Nutzung der Potenziale in BW zur Stromerzeugung: Es wurde hervorgehoben, dass die Potenziale zur Stromerzeugung in Baden-Württemberg aktiv genutzt werden sollten. Eine Vereinfachung der Genehmigungsverfahren und die Schaffung wirtschaftlicher Anreize wurden als notwendig erachtet, um das maximal mögliche Potenzial, z. B. durch die Installation von Solaranlagen auf Dächern, auszuschöpfen.

Ausbau der Stromnetze: Es wurde betont, dass der Ausbau der Stromnetze aktiv vorangetrieben werden muss, da die Planung und Realisierung von Konverter-Stationen und ähnlicher Infrastruktur oft mehr als zehn Jahre in Anspruch nehmen. Ein verzögerter Ausbau könnte langfristig zu Problemen führen.

Direktstrombezug aus Windkraftanlagen: Einzelne Unternehmen haben Interesse an der Direktstromnutzung von Windenergie gezeigt, was für Unternehmen mit großem Strombedarf als Ergänzung zur Solarenergie interessant sein kann.

Wasserstoffnetz für Baden-Württemberg: Es besteht Einigkeit darüber, dass Wasserstoff eine wichtige Rolle bei der Dekarbonisierung spielen wird. Es wurde betont, dass ein Wasserstoffnetz für Baden-Württemberg von großer Bedeutung ist, insbesondere für die Industrie und den Flugverkehr (weniger für Haushalte).

Der Workshop verdeutlichte die aktuellen Herausforderungen im Energiesektor und die Bedeutung einer effizienten und koordinierten Vorgehensweise, um diese anzugehen.

5 Literaturverzeichnis

- [1] Fraunhofer ISE und IHK Baden-Württemberg, Hg., "Stromstudie für Baden-Württemberg: Versorgungssituation bis zum Jahr 2040", Jan. 2022. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.ihk.de/karlsruhe/fachthemen/energie/aktuellesenergie/bw-stromstudie-strombedarf-steigt-6043064>.
- [2] Julian Brandes, Markus Haun, Daniel Wrede, Patrick Jürgens, Christoph Kost, Hans-Martin Henning, "Wege zu einem klimaneutralen Energiesystem: Die deutsche Energiewende im Kontext gesellschaftlicher Verhaltensweisen. Update November 2021: Klimaneutralität 2045", Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE, 2021. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.ise.fraunhofer.de/content/dam/ise/de/documents/publications/studies/Fraunhofer-ISE-Studie-Wege-zu-einem-klimaneutralen-Energiesystem-Update-Klimaneutralitaet-2045.pdf>.
- [3] *Ariadne Projekt*. [Online]. Verfügbar unter: <https://ariadneprojekt.de/> (Zugriff am: 14. Dezember 2023).
- [4] G. Luderer *et al.*, "Deutschland auf dem Weg aus der Gaskrise", 2022.
- [5] F. Bartels, C. Auer, F. Benk, G. Luderer und D. Soergel, *Ariadne Transformation Tracker*. [Online]. Verfügbar unter: <https://tracker.ariadneprojekt.de/de/> (Zugriff am: 14. Dezember 2023).
- [6] Marius Neuwirth, *The future potential hydrogen demand in energy-intensive industries - a site-specific approach applied to Germany: Energy Conversion and Management*. [Online]. Verfügbar unter: <https://isi.pages.fraunhofer.de/pshp/> (Zugriff am: 15. Dezember 2023).
- [7] BNetzA, *Marktstammdatenregister: MaStR-Daten registriert ab 31.01.2019 (Stand 22.08.2022)*. Bundesnetzagentur (BNetzA). [Online]. Verfügbar unter: https://www.bundesnetzagentur.de/DE/Sachgebiete/ElektrizitaetundGas/Unternehmen_Institutionen/DatenaustauschundMonitoring/Marktstammdatenregister/MaStR_node.html.
- [8] Landesanstalt für Umwelt Baden-Württemberg, *Energieatlas Baden-Württemberg*. [Online]. Verfügbar unter: www.energieatlas-bw.de/ (Zugriff am: 10. Dezember 2023).
- [9] ZSW, ifeu, Öko-Institut und Fraunhofer ISI, Hamburg Institut, "Sektorziele 2030 und klimaneutrales Baden-Württemberg 2040: Teilbericht Sektorziele 2030", 2022.
- [10] Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg, *Windenergie und Klimaschutz - eine untrennbare Verbindung: Wind-an-Land-Gesetz*. [Online]. Verfügbar unter: <https://klimaschutzland.baden-wuerttemberg.de/windkraft> (Zugriff am: 10. Dezember 2023).
- [11] J. Nitsch und M. Magosch, "Baden-Württemberg klimaneutral 2040: Erforderlicher Ausbau der Erneuerbaren Energien", 2021. [Online]. Verfügbar unter: https://erneuerbare-bw.de/fileadmin/user_upload/pee/Startseite/Magazin/Projekt/PDF/20211027_Studie_EE-Ausbau_fuer_klimaneutrales_BW.pdf. Zugriff am: 12. Dezember 2023.
- [12] Landesanstalt für Umwelt Baden-Württemberg, *Wasserkraftpotenzial auf Gebietsebene: Daten- und Kartendienst der LUBW*. [Online]. Verfügbar unter: https://udo.lubw.baden-wuerttemberg.de/projekte/api/processingChain?repositoryItemGlobalId=energie_wasser.Ermitteltes+Wasserkraftpotenzial.energie%3Aeebw_wasser_pot_gebietsebene.sel&conditionValuesSetHash=A9B99DD&selector=energie_wasser.Ermitteltes+Wasserkraftpotenzial.energie%3Aeebw_wasser_pot_gebietsebene.sel&sourceOrderAsc=false&offset=0&limit=2147483647 (Zugriff am: 10. Dezember 2023).

6 Anhang

Im nachfolgenden findet sich der Strombedarf des Sektors Industrie aufgeschlüsselt nach verschiedenen Branchen für die Land- und Stadtkreise des IHK-Bezirks Karlsruhe. Des Weiteren Strombedarfe und die EE-Potenziale nach Landkreisen in Tabellenform dargestellt.

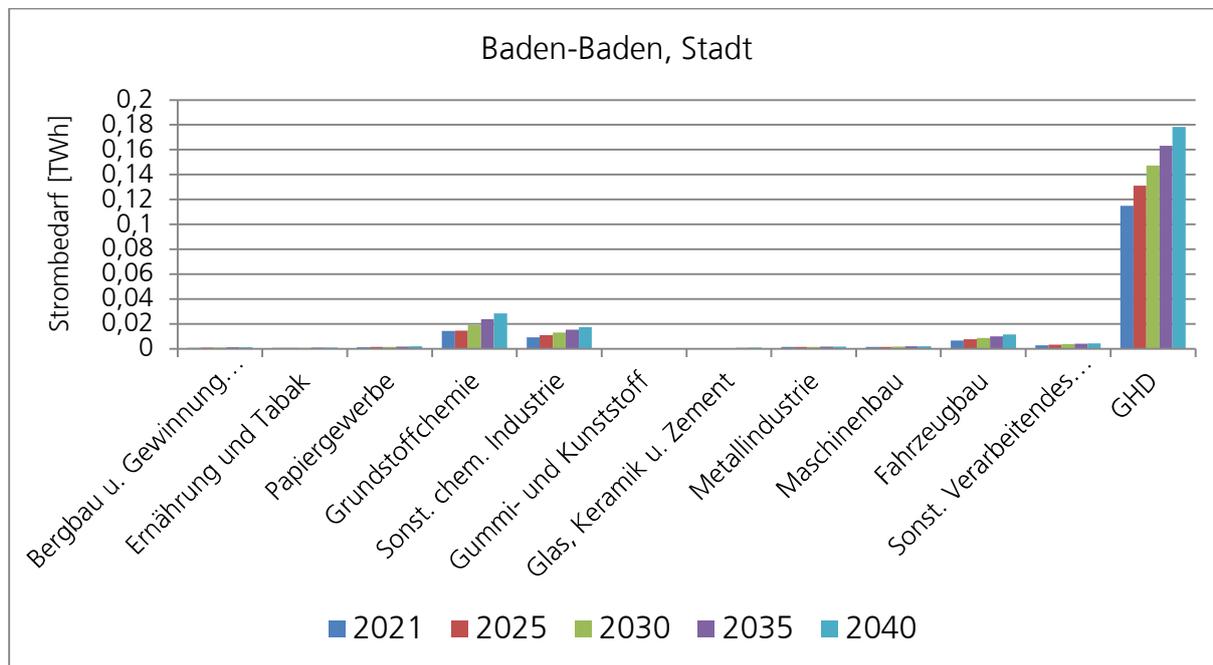


Abbildung 7: Industriestrombedarf nach Branchen für den Stadtkreis Baden-Baden im Basisszenario

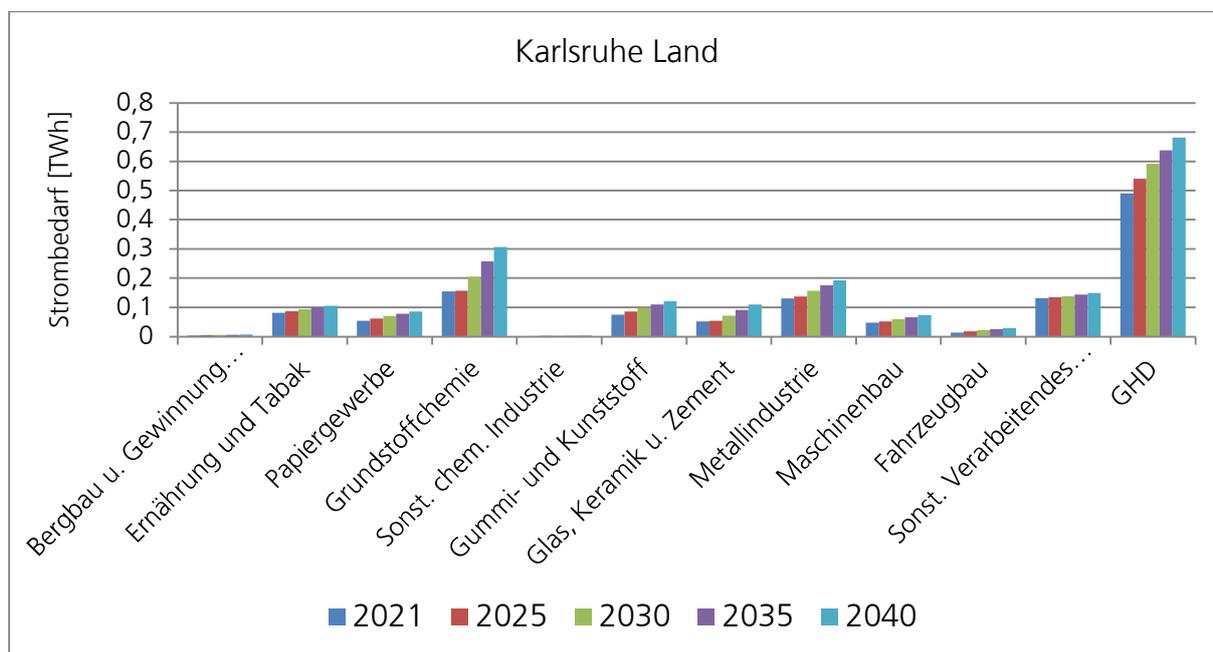


Abbildung 8: Industriestrombedarf nach Branchen für den Landkreis Karlsruhe im Basisszenario

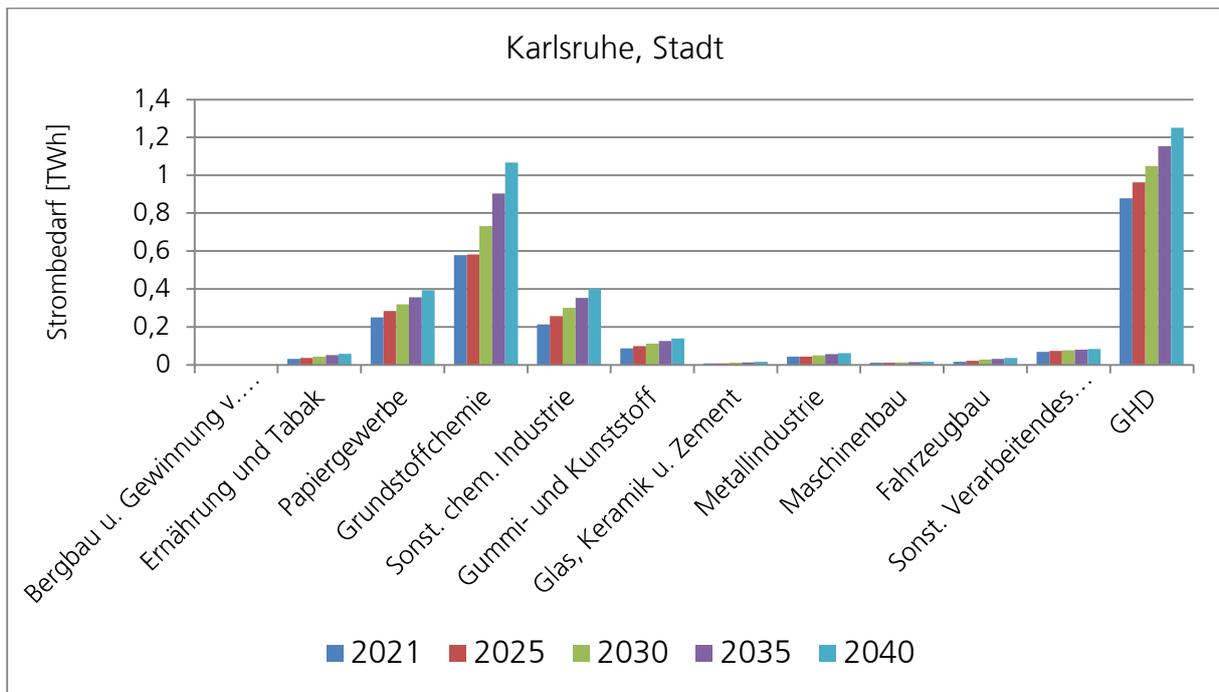


Abbildung 9: Industriestrombedarf nach Branchen für den Stadtkreis Karlsruhe im Basisszenario

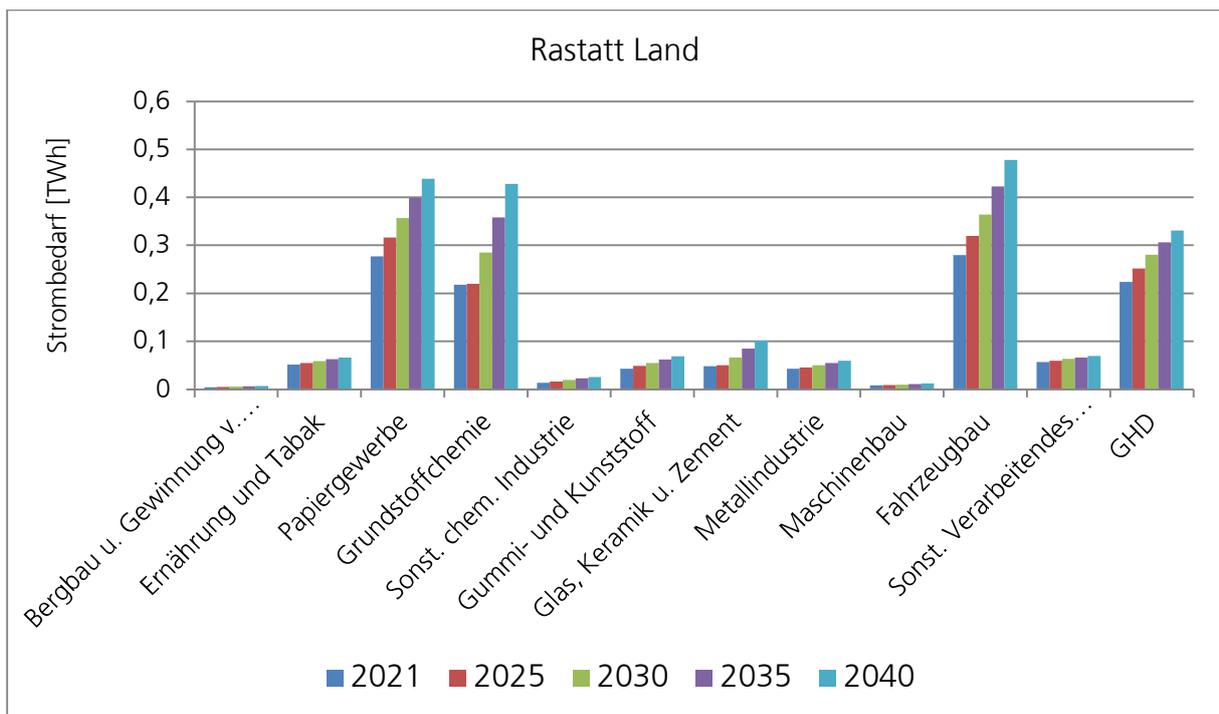


Abbildung 10: Industriestrombedarf nach Branchen für den Landkreis Rastatt im Basisszenario

Tabelle 4: Windkraftpotenziale je Landkreis

Landkreis	Windkraftpotenziale							
	Geeignete Windpotenzialfläche	Bedingt geeignete Windpotenzialfläche	Gesamt geeignete Windpotenzialfläche	Mögliche Windkraftanlagen in geeigneten Flächen	Mögliche Windkraftanlagen in bedingt geeigneten Flächen	Mögl. Netto-Stromertrag in geeigneten Flächen	Mögl. Netto-Stromertrag in bedingt geeigneten Flächen	Mögl. Netto-Stromertrag in gesamt geeigneten Flächen
	ha	ha	ha	Anzahl	Anzahl	GWh	GWh	GWh
Baden-Baden	88	2.178	2.266	15	95	194	1.232	1.426
Karlsruhe Stadt	39	480	519	6	35	65	377	442
Karlsruhe Land	8.711	10.905	19.616	529	362	5.449	3.878	9.327
Rastatt Land	1.364	8.238	9.602	94	408	1.007	4.815	5.822
IHK-Bezirk Karlsruhe	10.202	21.801	32.003	644	900	6.715	10.302	17.017
Baden-Württemberg	220.492	199.325	419.817	12.034	8.045	124.957	85.409	210.366

Tabelle 5: Potenziale der PV-Leistung und des Solarstromertrags für PV-Freiflächenanlagen nach Landkreisen im IHK-Bezirk Karlsruhe (Vergleich mit Baden-Württemberg)

Landkreis	Generell geeignete Fläche	Bedingt geeignete Fläche	Gesamte geeignete Fläche	Installierbare PV-Leistung	Solarstromertrag jährlich
	ha	ha	ha	GW	TWh
Baden-Baden	95	180	275	0,3	0,3
Karlsruhe Stadt	71	159	230	0,3	0,3
Karlsruhe Land	750	1.918	2.667	3,2	3,2
Rastatt Land	339	1.054	1.392	1,7	1,7
IHK-Bezirk Karlsruhe	1.255	3.310	4.564	5,5	5,5
Baden-Württemberg	384.913	304.510	689.423	827	827

Tabelle 6: PV-Potenzial auf bestehenden Parkplätzen ab 35 Stellplätzen nach Landkreisen im IHK-Bezirk Karlsruhe (Vergleich mit Baden-Württemberg)

Landkreis	Fläche des Landkreises	Gesamtfläche Parkplätze	Anzahl Stellplätze	Potenzial PV-Leistung
	ha	m ²		MW
Baden-Baden	14.019	245.302	9.812	11
Karlsruhe Stadt	17.342	1.458.986	58.359	66
Karlsruhe Land	108.498	2.511.514	100.461	114
Rastatt Land	73.843	1.630.792	65.232	74
IHK-Bezirk Karlsruhe	213.702	5.846.594	233.864	265
Baden-Württemberg	3.574.783	57.569.028	2.302.764	2.615

Tabelle 7: Verteilung des Energieholz- und Biogas-Potenzials nach Kreisen im IHK-Bezirk Karlsruhe

Landkreis	Energieholz	Biogas	Summe
	<i>GWh/a</i>	<i>GWh/a</i>	<i>GWh/a</i>
Baden-Baden	29	0	29
Karlsruhe Stadt	17	0	17
Karlsruhe Land	127	29	156
Rastatt Land	125	28	153
IHK-Bezirk Karlsruhe	298	57	355

Tabelle 8: Installierbare kleine Wasserkraftanlagen bis 1 MW Leistung im IHK-Bezirk Karlsruhe (Stand: 2015/2016, Quelle: Energieatlas Baden-Württemberg [12]) (Vergleich mit Baden-Württemberg)

Landkreis	Installierbare kleine Wasserkraftanlagen nach Potenzialanalyse 2015/2016		
	<i>Anzahl</i>	<i>Leistung in MW</i>	<i>Stromertrag in GWh/a</i>
Baden-Baden	5	0	0
Karlsruhe Stadt	3	0	0
Karlsruhe Land	23	3	3
Rastatt Land	33	38	94
IHK-Bezirk Karlsruhe	64	41	97
Baden-Württemberg	1.775	289	963