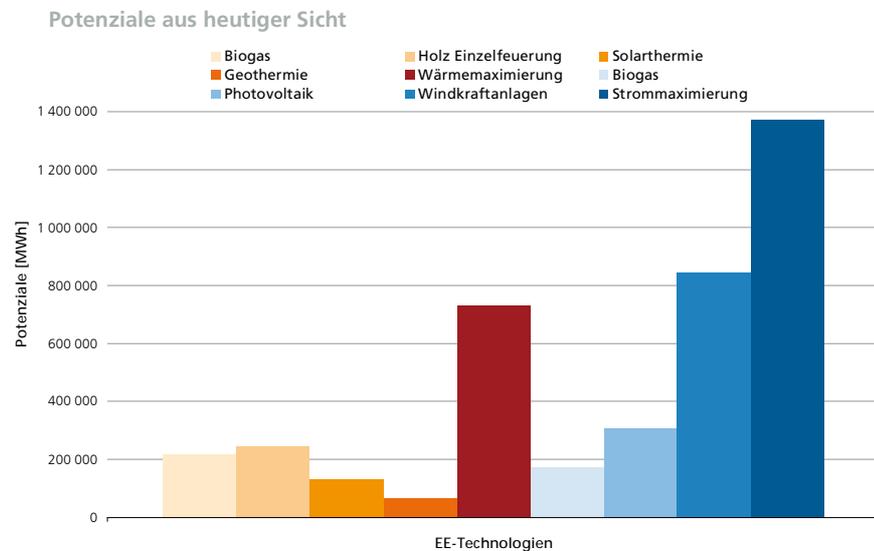


6 Ergebnisse der Potenzialberechnungen

6.1 Übersicht

Einen kompakten Überblick zu den ermittelten Potenzialen an erneuerbaren Energien in Stadt und Landkreis Bamberg gibt Bild 6-1. Da es bei den land- und forstwirtschaftlichen Potenzialen mehrere energetische Konversionsoptionen gibt, bezieht sich die Darstellung nur auf die üblichste Nutzungsform (Biogas bzw. Einzelfeuerung).

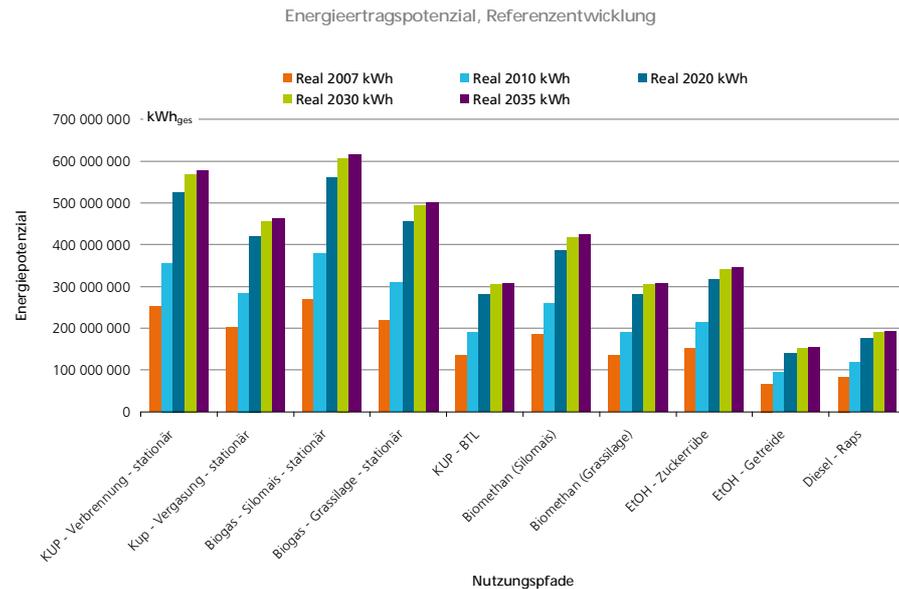
Bild 6-1:
 Übersicht zu den derzeit erschließbaren Potenzialen an erneuerbaren Energien



6.2 Landwirtschaftliche Biomasse

Eine Übersicht zum Gesamtpotenzial für Stadt und Landkreis Bamberg für elf verschiedene Nutzungspfade zeigt Bild 6-2. Wie in Kapitel 3 beschrieben werden nur die effizientesten und technologisch aussichtsreichsten Nutzungspfade – Biogas aus Silomais und Grassilage, sowie Verbrennung von Holz aus Kurzumtriebsplantagen (KUP) – weiter betrachtet. Die Übersicht zeigt die Bruttoenergie ohne Beachtung der Wirkungsgrade von BHKWs.

Bild 6-2:
Übersicht Energieer-
tragspotenzial verschie-
dener Nutzungspfade



Bei Biogas wird das Potenzial noch um die Energiegewinnung aus Wirtschaftsdüngern ergänzt. Eine Übersicht zum Potenzial aus Biogas und KUP-Verbrennung ist in Tabelle 6-1 dargestellt. Hier wird das Potenzial, das derzeit bereits erschließbar ist, dargestellt. Zu beachten ist bei Silomais, Grassilage und Holz aus Kurzumtriebsplantagen, dass der dargestellt Wert jeweils für die 100-%ige Nutzung je Anbaubiomasse der zur Verfügung stehenden Fläche gilt.

Tabelle 6-1: Energetisches Biomassepotenzial aus heutiger Sicht

Energie [MWh]	Biogas			Verbrennung KUP	
	Silomais	Grassilage	Gülle	Einzelfeuerung	Heizkraftwerk
elektrisch	134 787	109 515	36 644		58 447
thermisch	170 852	138 818	46 484	311 699	272 738

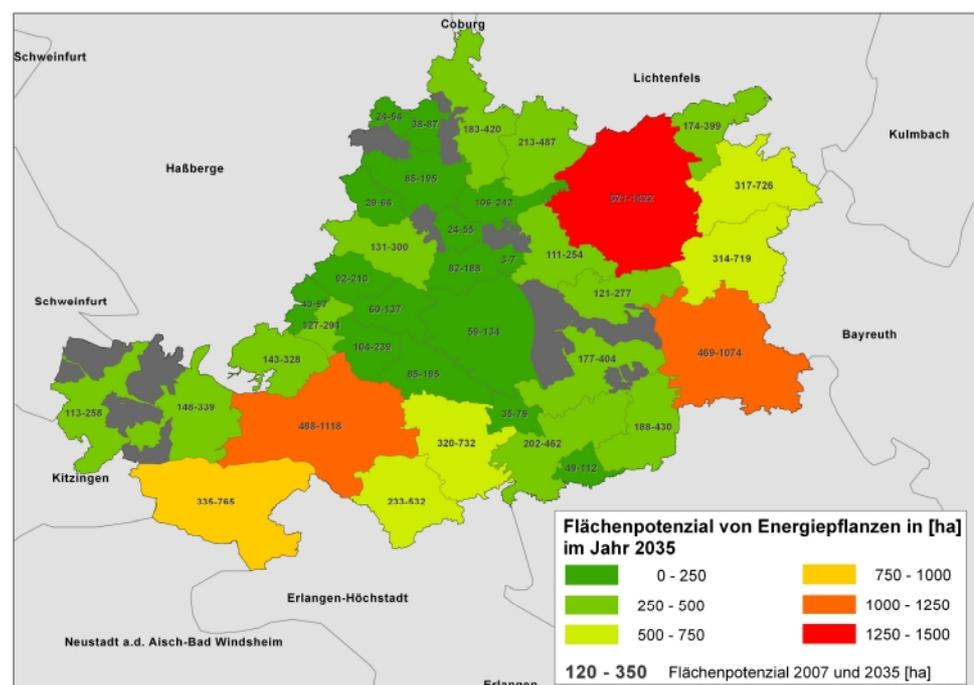
Bis zum Autarkiezieljahr gibt es durch die Ausweitung von verfügbaren Flächen zum Anbau von Energiepflanzen ein Steigerungspotenzial. Dadurch kann sich das Potenzial von Biogas aus Silomais und Grassilage auf 494 048 kWh_{th}/389 759 kWh_{el} bei Silomais und 343 685 kWh_{th}/271 136 kWh_{el} bei Grassilage erhöhen. Grundsätzlich kann in der Praxis, durch die individuelle Entscheidung der Landwirte, Substrate für die Biogasnutzung oder Verbrennung anzubauen, eine weitere Steigerung des Biomassepotenzials erfolgen.

Dies würde jedoch die in dieser Studie zugrunde gelegten Nachhaltigkeitskriterien verletzen und wird daher nicht empfohlen.

Das Flächenpotenzial stellt sich in Stadt und Landkreis Bamberg wie in Bild 6-3 dar, die Zahlen in den Flächen geben einen Vergleich zwischen dem Potenzial im Jahr 2008 und 2035 wieder. Da sowohl die Substrate für die Biogasnutzung als auch Pappeln und Weiden in Kurzumtriebsplantagen keine hohen Standortanforderungen stellen, folgt die Höhe des Potenzials der Größe der Ackerflächen in den Gemeinden.

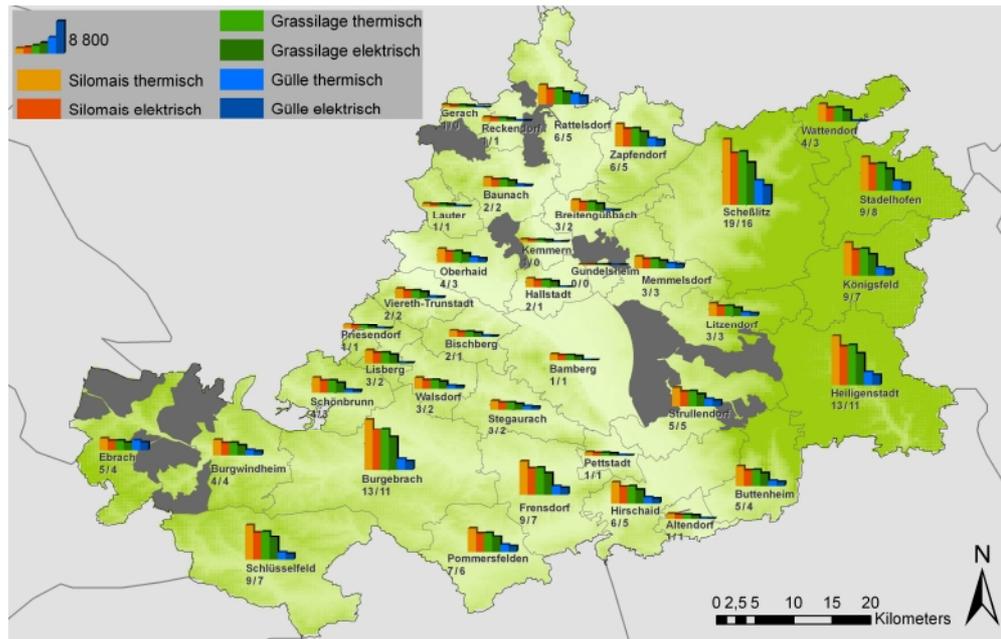
In der gegenwärtigen Praxis erfolgt die energetische Nutzung über den Biogaspfad. Die Flächen können jedoch auch für den Anbau von Kurzumtriebsplantagen genutzt werden, sofern dies von den in Region ansässigen Landwirten gewünscht ist und realisiert wird.

Bild 6-3:
Karte der Flächenpotenziale der landwirtschaftlichen Biomasse



In Bild 6-4 ist die Situation für Biogas abgebildet, da dies die für die Region wahrscheinlichste Nutzung ist. Die Höhe der Säulen entspricht dabei dem Potenzial des jeweiligen Substrats im Jahr 2008 bei alleiniger Nutzung als Inputstoff.

Bild 6-4:
Karte der Biogaspotenziale von Silomais, Grassilage und Wirtschaftsdünger



Die unter dem Gemeindennamen angegebenen Zahlen stellen die realisierbare Anlagenanzahl an 150 kW-Biogasanlagen dar, einmal mit Silomais und Wirtschaftsdünger als Input und einmal mit Grassilage und Wirtschaftsdünger als Input. Auch in diesen Zahlen spiegelt sich der hohe Hektarertrag und Nettoenergieertrag von Silomais wider.

Gegenwärtig sind überwiegend kleinere landwirtschaftliche Biogasanlagen mit einem hohen Substratanteil an Wirtschaftsdüngern in der Untersuchungsregion vorzufinden. Die vorangegangenen Darstellungen erfolgten daher auch mit relativ kleinen Biogasanlagen der 150 kW-Leistungsklasse. Im Folgenden werden die Auswirkungen auf Anbauflächen und Transporte an zwei Modellbiogasanlagen mit 500 kW_{el} Leistung, die unterschiedlich beschickt werden, dargestellt. Es wird davon ausgegangen, dass der größte Teil der tierischen Reststoffe bereits gebunden oder aber nicht transportwürdig ist und dass Gülle lediglich zum Animpfen des Fermenters zum Einsatz kommt.

Tabelle 6-2: Leistungsdaten für den Betrieb einer 500 kW-Anlage auf Maisbasis

Kultur	Beschickung	Leistung [kW]	Substratbedarf [t]	Bedarf LW-Fläche [ha]
Mais	0,8	400	8 198	172
Grassilage	0,1	50	1 315	41
Roggen	0,05	25	592	19
Weizen	0,05	25	592	15

Für den Betrieb der 500 kW-Anlage auf Maisbasis sind jährlich mindestens 360 Versorgungsfahrten sowie mindestens die gleiche Anzahl an Fahrten für die Gärproduktausbringung notwendig, wenn ein 28 t fassendes Fahrzeug eingesetzt wird.

Tabelle 6-3: Leistungsdaten für den Betrieb einer 500 kW-Anlage auf Roggen-/Weizen-Basis

Kultur	Beschickung	Leistung [kW]	Substratbedarf [t]	Bedarf LW-Fläche ²⁷ [ha]
Mais	0,1	50	1 025	21
Grassilage	0,1	50	1 315	41
Roggen	0,4	200	4737	155
Weizen	0,4	200	4737	119

Für den Betrieb der 500 kW-Anlage auf Getreidebasis sind jährlich mindestens 420 Versorgungsfahrten sowie mindestens die gleiche Anzahl an Fahrten für die Gärproduktausbringung notwendig, wenn ein 28 t fassendes Fahrzeug eingesetzt wird.

Betrachtet man den Bedarf an landwirtschaftlichen Flächen für die zwei Modellbiogasanlagen, so benötigt eine maisbasierte Anlage mit 206 ha Ackerfläche und 41 ha Grassilage von Acker- oder Grünlandfläche etwas weniger Raum als die getreidebasierte Anlage mit 295 ha Ackerland und 41 ha von Acker- oder Grünland.

Insgesamt lässt sich auf Basis der jetzt vorliegenden Zahlen und Analysen die Aussage treffen, dass ein hohes Biomassepotenzial vorhanden und eine verstärkte Biogasproduktion aus Sicht der Substratversorgung möglich ist.

6.3 Forstwirtschaftliche Biomasse

Analog zu den vorhandenen Ackerflächen können die Angaben bezüglich des Holzpotenzials aus den betrachteten Szenarien und Fortschreibungen genutzt werden.

Diese Daten sind allerdings mit erheblicher Unsicherheit verbunden; gerade um die langfristige Verfügbarkeit von Holz wird eine sehr kontroverse Debatte geführt, die im Rahmen dieser Studie nicht aufgearbeitet werden konnte. Verschiedene Einschätzungen gehen aber in die Richtung, dass Holz ein knappes Gut ist und es auch absehbar bleiben wird. Diese Annahmen deuten darauf

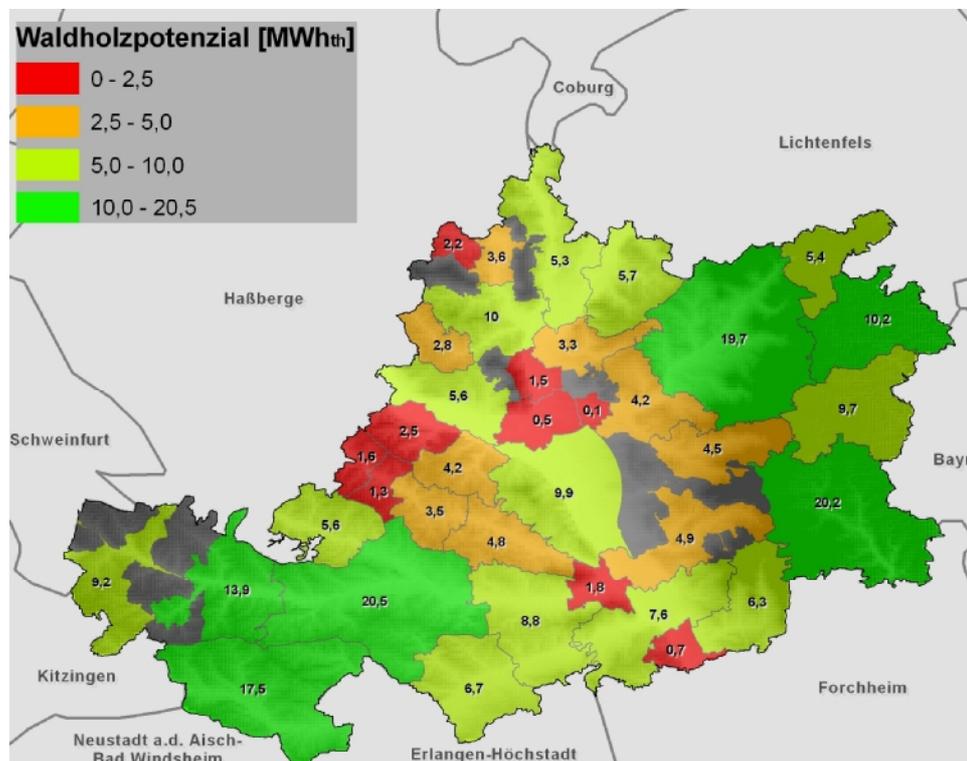
²⁷ Landwirtschaftliche Fläche

hin – verbunden mit den zugrunde gelegten Potenzialanalysen – dass das regionale nachhaltig nutzbare Holzpotenzial bis 2020 erschlossen sein wird.

Festzuhalten ist, dass etwa die Erfassung von Holzrohstoffen einen großen Umfang von Datenerhebungen erfordert, da diese nicht in der offiziellen Statistik erfasst werden [Mantau-2006].

Eine Erhöhung des inländischen Rohholzangebotes scheint technisch möglich, ist aber begrenzt, da neben den regional unterschiedlichen Holzaufkommen, der forstpolitischen Situation und gesellschaftlichen Strukturen einer Region zudem noch Klimaveränderungen und neuartige Waldschäden einen Einfluss auf das Rohholzaufkommen haben. All diese Faktoren stellen Risiken dar, die das Potenzial absehbar eher schrumpfen lassen werden.

Bild 6-5:
Energieholzpotenzial
aus heutiger Sicht



In Bild 6-5 ist das Potenzial aus heutiger Sicht für eine nachhaltige Nutzung des Waldholzes in Haushalten (Einzelfeuerung) abgebildet, da dies die für die Region wahrscheinlichste bzw. häufigste Nutzung ist. Für Stadt und Landkreis Bamberg liegt – wie in den meisten Regionen Deutschlands – keine nach Besitzverhältnissen gesonderte Statistik über Baumbestände und gegenwärtigen Einschlag vor – damit folgt die abgebildete Höhe des Potenzials der Größe der Waldflächen in den Gemeinden. Aus der Studie der Bayerischen Landesanstalt

für Wald und Forstwirtschaft und Gesprächen vor Ort kann jedoch gefolgert werden, dass sich das Waldholzpotenzial wie in Tabelle 6-4 dargestellt in die unterschiedlichen Besitzformen gliedern. Demnach liegt das größte noch erschließbare Potenzial zur energetischen Nutzung in Privatwäldern mit weniger 20 ha Größe. Diese Verortung ist überzeugend, da eine kleine Parzellierung eine wirtschaftliche Nutzung erschwert und so viele Privatwaldbesitzer eine forstwirtschaftliche Nutzung ihrer Waldbestände bislang unterlassen. Größere Waldeinheiten werden heute bereits stofflich und energetisch genutzt, so dass das Potenzial in diesen Bereichen kleiner ausfällt.

Tabelle 6-4: Waldflächen, Holzpotenziale und Besitzverhältnisse

	Gesamt	Privatwald < 20 ha	Privatwald > 20 ha	Körperschaftswald	Staatswald
Waldfläche [ha]	47 218	20 764	3 858	4 256	18 340
Waldfläche [%]	100	43,97	8,17	9,01	38,84
Potenzial [t_{atro}/ha]	1,55	0,94	0,12	0,08	0,41
Potenzial [MWh/ha]	8,15	4,95	0,62	0,44	2,14

Mit diesen Angaben kann eine Verteilung des energetischen Potenzials angenommen werden. Je nachdem ob mehr Strom- oder mehr Wärme zur Erreichung der Energieautarkie benötigt wird, empfiehlt sich entweder eine Nutzung in Heizkraftwerken (thermisch und elektrisch) oder in Einzelfeuerungen (thermisch) in Haushalten.

Tabelle 6-5: Technische Holzpotenziale aufgeteilt in Besitzverhältnisse

	Gesamt	Privatwald < 20 ha	Privatwald > 20 ha	Körperschaftswald	Staatswald
Potenzial [MWh]	384 753	102 872	2 380	1 854	39 274

6.4 Geothermie

Der Einsatz der Geothermie ist in sämtlichen Formen in Stadt und Landkreis Bamberg grundsätzlich möglich. Jedoch sind generell – teilweise äußerst umfangreiche und kostenintensive – Voruntersuchungen notwendig. Zu empfehlen ist ein Team aus Geologen, Heizungsbauern und Bohrspezialisten. In Stadt

und Landkreis Bamberg sind keine tiefen Aquifere²⁸ bekannt, die eine Nutzung der tiefen Geothermie nach dem heutigen Stand der Technik rentabel erscheinen lassen. Daher wird das Potenzial der tiefen Geothermie nicht weiterverfolgt.

6.4.1 Oberflächennahe Geothermie

Der Einsatz oberflächennaher Geothermie ist in Stadt und Landkreis Bamberg an nahezu allen Orten möglich. In den vor allem in der östlichen Region des Landkreises verbreiteten Karstgebieten bedarf es aufgrund hydrogeologisch ungünstiger Verhältnisse stets einer spezifischen Einzelfallprüfung.

Zur Ermittlung des Potenzials der oberflächennahen Geothermie wurden zunächst Annahmen getroffen, wie viele Gebäude einer Gemeinde potenziell dazu geeignet sind, mit einer geothermischen Anlage ausgestattet zu werden. Hier wurde die Annahme getroffen, dass in den Gemeinden in Stadt und Landkreis Bamberg, die einen eher ländlichen Charakter aufweisen, 30 % des Gebäudebestandes über ausreichenden Platz und eine hydrogeologisch günstigen Untergrund verfügen. In den Räumen mit einer urbanen Siedlungsstruktur wurde aufgrund der dichteren Bebauung und dem damit einhergehende Mangel an Platz für Bohrungen von einer Verringerung der mittels oberflächennaher Geothermie versorgbaren Gebäude um 90 % ausgegangen. Diese als urban eingestuft Gebiete sind:

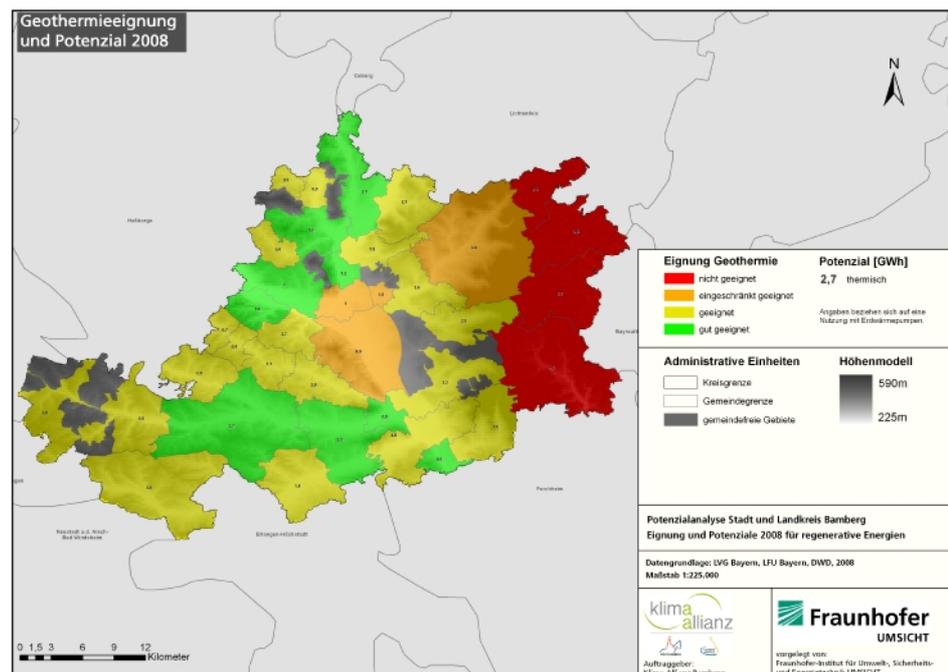
- § Stadt Bamberg
- § Stadt Hallstadt

Für die Ermittlung des Potenzials der oberflächennahen Geothermie wurde von dem Einsatz einer Wärmepumpe mit 12 kW Leistung bei einer Jahresarbeitsleistung von 1 800 Std. ausgegangen. Aufgrund des Eigenenergiebedarfs der Wärmepumpe wurde eine Verringerung der Energieausbeute von 75 % angenommen. Damit ergibt sich folgende Berechnung:

$$\text{Potenzial}[\text{MWh/a}] = \frac{\text{Anzahl}_{\text{Gebäude}} * 12\text{kW} * 1800 \frac{\text{h}}{\text{a}}}{1000 * 4} \quad (\text{Gl. 6.1})$$

²⁸ Aquifere sind Grundwasserführende Speichergesteine, deren Temperatur hauptsächlich von der Tiefe abhängig ist und durchschnittlich um 3 °C pro 100 m entsprechend der geothermischen Tiefenstufe zunimmt.

Bild 6-6:
 Eignungskarte oberflächennahe Geothermie und Potenzial 2008



Auf Bild 6-6 ist deutlich zu erkennen, dass sich die am besten für die oberflächennahe Geothermie geeigneten Gebiete entlang der Fließgewässer in Stadt und Landkreis Bamberg befinden. Ebenfalls sind die nicht geeigneten Gebiete im Osten des Landkreises deutlich zu erkennen. Bild 6-6 kann jedoch nur als erster Anhaltspunkt für eine konkrete Planung einer die Erdwärme nutzenden Anlage dienen. Für eine konkrete Planung ist stets die fachliche Beratung eines Geologen, einer Bohrfirma und eines Heizungsbauers notwendig.

6.5 Wind

Zur Einschätzung und zum Verständnis der Windenergiepotenziale ist folgende Auflistung der Einflussparameter für die regionale Verteilung der Windpotenziale hilfreich:

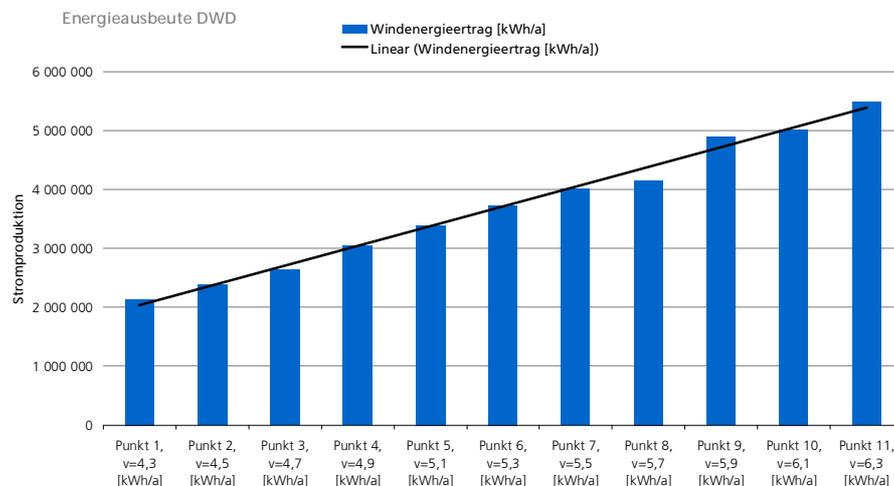
- § Allgemein gesehen nimmt die Windgeschwindigkeit mit der Höhe zu. In Höhenlagen bis 500 m über NN ist diese Zunahme der Windgeschwindigkeit jedoch gering, oberhalb 500 m über NN wird die Höhenabhängigkeit ausgeprägter.
- § Die Bodenrauigkeit (parametrisiert durch den prozentualen Anteil an bebauten oder bewaldeten Flächen im Umkreis von 500 m um die Station) führt zu starken Änderungen der Windgeschwindigkeit auf engstem Raum

und überdeckt in der Regel den Einfluss von Geländehöhe und geografischer Lage.

- § Topografische Formen (parametrisiert über die mittlere prozentuale Geländesteigung in den acht Hauptwindrichtungen) bewirken eine mehr oder weniger stark ausgeprägte Verringerung des Jahresmittels der Windgeschwindigkeit in Tal- oder Muldenlagen und eine Überhöhung bei Kuppen- oder Kammlagen.

Auf der Grundlage von digitalen topografischen Daten (Rasterdaten von Geländehöhe und Landnutzung) stehen alle o. a. Einflussgrößen zur Verfügung oder können aus ihnen berechnet werden. Unter Zuhilfenahme von Weibull-Parametern (siehe Kapitel 3) ist man in der Lage, flächendeckende Verteilungen des Jahresmittels und der Verteilung der Windgeschwindigkeit über das Jahr kartografisch darzustellen. In Bild 6-7 sind exemplarisch die Windenergieerträge an elf Standorten innerhalb des Untersuchungsgebietes dargestellt.

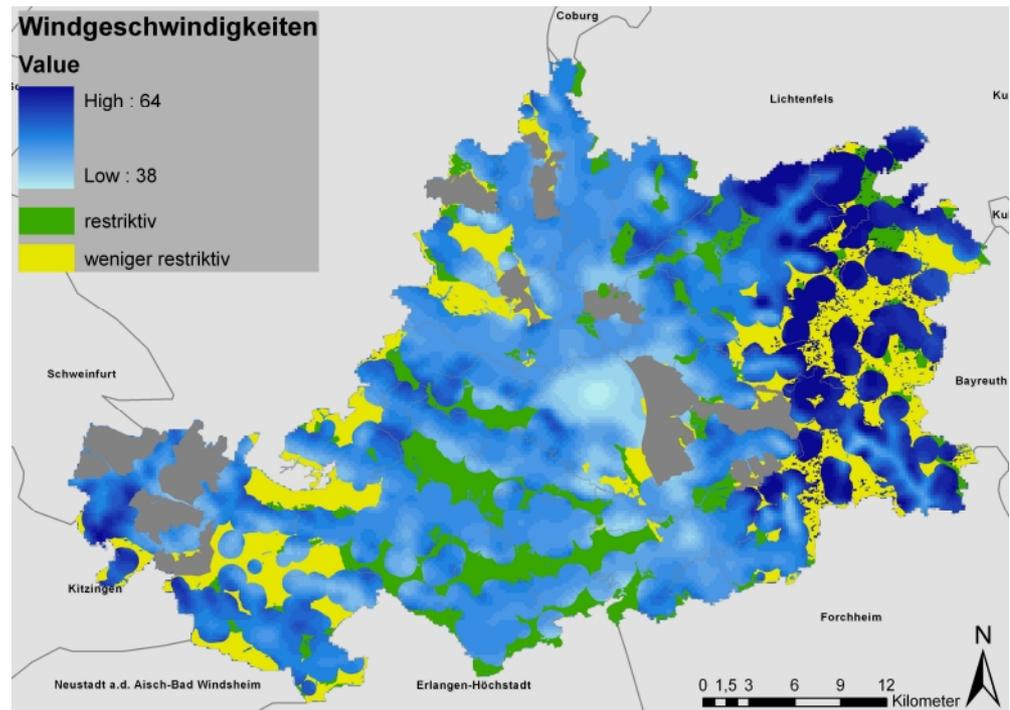
Bild 6-7:
Windenergieertrag an elf Standorten mit unterschiedlichen durchschnittlichen Windgeschwindigkeiten



Für die Nutzung der Windenergie sind rechtliche Rahmenbedingungen für die Standortwahl zu beachten, die in Bild 6-8 dargestellt sind. Bei einer restriktiven Auslegung des Genehmigungsrechts sind die in grün dargestellten Gebiete nutzbar. Diese liegen den Kalkulationen des Windenergiepotenzials in dieser Studie zugrunde. Die gelb eingefärbten Bereiche sind mögliche zusätzliche Standorte, die sich durch die Genehmigung für Windenergieanlagen in Landschaftsschutzgebieten ergeben würden. Die Nutzung dieser Gebiete ist generell bereits heute rechtlich möglich, stellt allerdings immer eine Einzelfallent-

scheidung dar. Da solche Fragestellungen im Rahmen einer Potenzialanalyse nicht entschieden werden können, wurden diese Flächen für die Ableitung von Handlungsempfehlungen ausgeschlossen.

Bild 6-8:
Geeignete Flächen zur Nutzung des Windenergiepotenzials



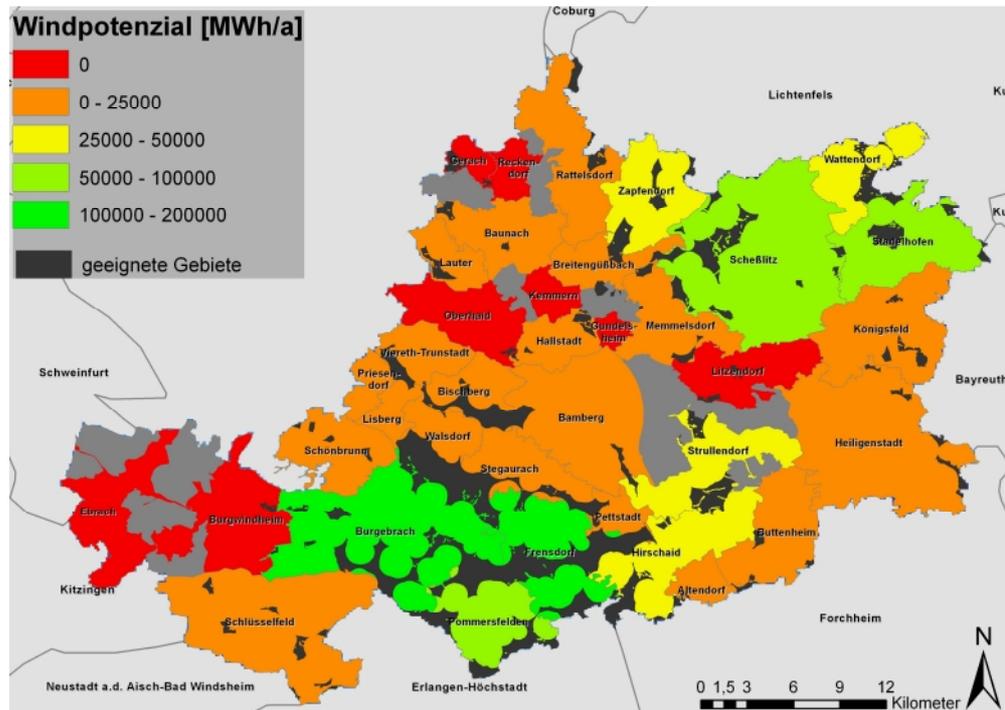
Wie in Tabelle 6-6 dargestellt, ist das Potenzial der Windenergieerzeugung zur Stromproduktion sehr groß und übersteigt das Potenzial der anderen Technologien zur Stromerzeugung. Mit weniger als sechzehn Windkraftanlagen der 2-MW-Leistungsklasse je Gemeinde ließe sich der größte Teil des Strombedarfs (inklusive Kraftstoffstrom) in der Region decken. Dies ließe sich jedoch nur realisieren, sofern auch Windenergieanlagen in Landschaftsschutzgebieten gebaut werden dürften. Aber auch ohne diese Bedingung ist der potenzielle Anteil der Windenergie zur Deckung des Strombedarfs in der Region mit 262 Anlagen beachtlich.

Tabelle 6-6: Erzeugbarer Strom aus Windenergie in der Region

Anlagenanzahl min	Anlagenanzahl max	Stromertrag min [MWh/a]	Stromertrag max [MWh/a]	durchschnittlicher Stromertrag je Anlage [MWh/a]
262	594	847 218	2 090 958	3 385

Das Ergebnis der Windpotenzialanalyse für alle Gemeinden und die Verteilung der nutzbaren Flächen sind in Bild 6-9 dargestellt.

Bild 6-9:
Windenergiepotenzials
in den Gemeinden



6.6 Wasserkraft

Die Erhöhung der Energieerzeugung der Wasserkraft kann durch mehrere Maßnahmen erfolgen:

- § Neubau an neuen Standorten
- § Neubau an bestehenden Querbauwerken
- § Ausbau an bestehenden Anlagen:
 - Modernisierung: Maßnahmen zur Erhöhung der Ausbauleistung /Jahresarbeit in Betrieb befindlicher Anlagen ohne Änderung des Nutzungsumfanges
 - Nachrüstung: Erweiterung bestehender Anlagen zur Erhöhung der Ausbauleistung/Jahresarbeit durch Vergrößerung des Nutzungsumfanges
- § Reaktivierung: Maßnahmen zur Wiedereinbetriebnahme stillgelegter Anlagen [E.ON-2009d].

Die großen Fließgewässer sind in Bayern für die Wasserkraftnutzung weitgehend ausgebaut. Es existieren nur wenige Standorte, die für den Bau großer Wasserkraftanlagen mit einer Ausbauleistung ab rund 1 MW geeignet sind. In Stadt und Landkreis Bamberg werden für den Neubau großer Wasserkraftanlagen keine geeigneten Standorte gesehen [E.ON-2009d].

Um die Leistung bestehender Wasserkraftanlagen zu erhöhen, gibt es unterschiedliche Möglichkeiten:

- § Verbesserung des Ausbaugrades
 - Erhöhung der Fallhöhe
 - Zubau von Turbinen
- § Modernisierung der Kraftwerkstechnik
 - Optimierung der Steuerung
 - Erhöhung des Wirkungsgrads der Turbine und des Generators
- § kurzfristige oder dauerhafte Stauzielerhöhung

Zurzeit sind keine Ausbaubestrebungen zur Potenzialerrhöhung bekannt.

Reaktivierungspotenziale werden in Stadt und Landkreis Bamberg nicht gesehen [E.ON-2009d].

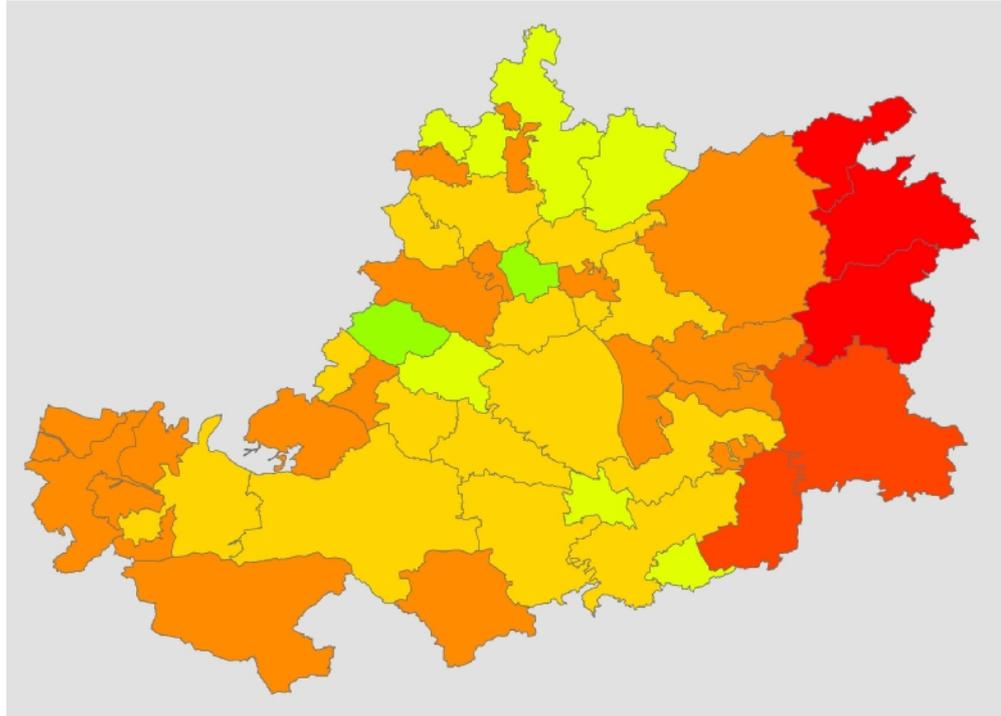
Da auch hier gemessen am Gesamtverbrauch in Stadt und Landkreis Bamberg keine nennenswerten Steigerungen am Anteil der Stromversorgung zu erwarten sind, wird angenommen, dass die Stromgewinnung aus Wasserkraft konstant bleibt.

6.7 Solarthermie/Fotovoltaik

Das theoretische Potenzial ist in Kapitel 3.5.6 erläutert worden. Diese Darstellung liefert zwar die genaueste Wiedergabe des berechneten Potenzials, da sie Rückschlüsse auf die Geländehöhe, Neigung und Verschattungen zulässt, jedoch liefert sie dem Betrachter keine Gemeinden vergleichende Aussage. Dies ist erst mit der Berechnung der durchschnittlichen Globalstrahlung pro Gemeinde möglich (siehe Bild 6-10). Der höchste Wert liegt bei 1 071 kWh/(m²*a) und der niedrigste Wert bei 1 016 kWh/(m²*a).

Bild 6-10:
Durchschnittliche Globalstrahlung pro Gemeinde

Grün = niedriger Wert
Rot = hoher Wert



Diese Berechnung bildet nun die Grundlage für die Ermittlung des technischen Potenzials, welches für Entscheider und Anwender aus den Bereichen Politik und Wirtschaft aber auch für Privatpersonen eine planerische Größe darstellt. Die zweite relevante Größe bildet die Dachfläche. Diese wurde nach Wohn- und Nichtwohngebäuden, sowie nach Schräg- und Flachdach unterschieden (siehe Tabelle 6-7). Für diesen und alle weiteren Rechenzwischenschritte wird im folgenden Verlauf die Stadt Bamberg betrachtet.

Tabelle 6-7: Übersicht verfügbare Dachflächen der Stadt Bamberg

Gebäudetyp	Dachfläche Gesamt [m ²]	Fläche Schrägdach [m ²]	Fläche Flachdach [m ²]
Wohngebäude	2 396 530	2 228 773	167 757
Nichtwohngebäude	2 037 050	814 820	1 222 230

Die verfügbaren Dachflächen werden für die Betrachtung der Fotovoltaik auf die Nutzbarkeit überprüft und weitere Annahmen werden hinsichtlich der Verluste aufgestellt. So entstehen insgesamt acht Kategorien, unterschieden nach Wohn- und Nichtwohngebäuden mit jeweils zwei Klassen sowie Schräg- und Flachdach. Daraus leiten sich letztendlich auch die nutzbaren Flächen ab, aus

denen wiederum unter Betrachtung der Globalstrahlung, der Neigungsverluste, der Performance Ratio und des Modulwirkungsgrads das Stromerzeugungspotenzial ermittelt wird (siehe Tabelle 6-8).

Tabelle 6-8: Übersicht nutzbare Dachflächen und Stromertrag der Stadt Bamberg

Gebäudetyp	Klasse	Dachtyp	Dachfläche [m ²]	Stromerzeugungspotenzial [MWh/a]
Wohngebäude	Klasse 1	Schrägdach	139 298	16 069
		Flachdach	17 614	1 964
	Klasse 2	Schrägdach	417 895	41 634
		Flachdach	17 614	2 167
Nichtwohngebäude	Klasse 1	Schrägdach	50 926	5 874
		Flachdach	128 334	15 791
	Klasse 2	Schrägdach	152 779	15 221
		Flachdach	128 334	14 311

Aus der Tabelle ergibt sich somit ein technisches Stromerzeugungspotenzial der Fotovoltaik für die Stadt Bamberg von 113 033 MWh/a.

Bei der Berechnung des Solarthermiepotenzials werden mit einem Anteil von 25 % an der verfügbaren Dachfläche nur halb so viele Dachflächen in Betracht gezogen wie bei der Fotovoltaik. Dies ergibt sich aus der technischen Voraussetzung, dass die Solarthermie hauptsächlich direkte Strahlung benötigt, während die Fotovoltaikmodule auch indirekte Strahlung in Energie umsetzen können. Für Bamberg ist ein Solarthermiepotenzial von 277 121 MWh/a ermittelt worden.

Aufgrund der direkten Standortkonkurrenz beider Techniken muss eine prozentuale Verteilung berücksichtigt werden. Für die die Fotovoltaik ergibt sich daher bei einem Anteil von 85 % ein Potenzial von 96 079 MWh/a und für die Solarthermie bei 15 % ein Potenzial von 41 568 MWh/a.

Für eine Überprüfung der Werte wurden die Ergebnisse der deutlich genaueren Laserscanbefliegung der Stadt Mülheim an der Ruhr herangezogen, welche im Rahmendes Projektes SUN-AREA ermittelt wurden [Stadt Mülheim-2010]. Dabei wurde ein Potenzial von 202 533 MWh/a ausgewiesen. Dieser Ertrag entspricht 19 % des gesamten Stromverbrauchs Mülheims (Privat, Gewerbe, Industrie und Infrastruktur). Bamberg verbrauchte 2008 insgesamt 610 435 MWh/a [Stadt Bamberg-2009]. Somit könnte die Fotovoltaik 15,7 % des Stromverbrauches decken. Somit unterscheiden sich beide Prozentsätze

zwar leicht, dies kann jedoch auf die unterschiedliche Globalstrahlung, eine andere industrielle Struktur bzw. eine abweichende Annahmenbildung bezüglich der nutzbaren Flächen und deren Verluste zurückgeführt werden. Daher sind die Ergebnisse als realistisch anzusehen.

Tabelle 6-9 gibt die Summe der Potenziale aller Gemeinden und Städte des Untersuchungsgebietes wieder. Eine detaillierte Übersicht ist dem Anhang 1 beigefügt.

Tabelle 6-9: Summen der Fotovoltaik- und Solarthermiefpotenziale der Dachflächen in West- bis Ost-Ausrichtung von Stadt und Landkreis Bamberg

Potenzialarten	Gesamtpotenzial [MWh/a]	Potenzial Wohngebäude [MWh/a]	Potenzial Nicht-Wohngebäude [MWh/a]
Fotovoltaikpotenzial aller Dachflächen	361 068	197 476	163 592
Fotovoltaikpotenzial für 85 % der Dachflächen	306 907	167 854	139 053
Solarthermiefpotenzial aller Dachflächen	881 747	476 620	405 127
Solarthermiefpotenzial für 15 % der Dachflächen	132 262	71 493	60 769

6.8 Energieautarkie

Die Stadt und der Landkreis Bamberg verfolgen im Rahmen der Klimaallianz das Ziel, bis zum Jahr 2035 Energieautarkie mithilfe der Substitution fossiler Energieträger, der Steigerung der Energieeffizienz und dem Einsatz erneuerbarer Energieträger zu erreichen.

6.8.1 Autarkiebegriff

Bedingt durch die Sensibilisierung der Öffentlichkeit, aber auch aus Gründen der Versorgungssicherheit streben von privaten Haushalten über mittelständische Unternehmen, Gemeinden bis hin zu souveränen Staaten (z. B. Schweden) den Zustand der »Energieautarkie« an. Für den Begriff »Energieautarkie« gibt es keine einheitliche Definition.

Der Begriff autark stammt aus dem Griechischen und bedeutet: sich selbst genügend; vom Ausland wirtschaftlich unabhängig [Duden-2006] und bezeichnet im Allgemeinen die Fähigkeit eines Systems oder einer Gruppe, alles,

was sie verbraucht, aus am eigenen Standort verfügbaren Ressourcen selbst zu erzeugen. Unter autarken Gruppen und Systemen kann man wirtschaftliche Einheiten (Volkswirtschaften, Wirtschaftsregionen oder Haushalte), aber auch ganze Ökosysteme verstehen. Ihnen allen gemein ist, dass vollständige Autarkie nie gänzlich erreicht werden kann, weil zumindest ein diffuser, standortfremder Einfluss existent ist (z. B. Nährstoffeintrag über die Luft in ein autarkes Ökosystem).

Autarkie bedeutet wirtschaftliche Unabhängigkeit, Autonomie politische. Im Zusammenhang mit regionaler Energieversorgung werden häufig die Begriffe Energie und Autonomie vermischt. Energieautarkie im wörtlichen Sinn bedeutet dann, dass eine Region völlig unabhängig vom Import von Energieressourcen wäre. Energieautonomie im wörtlichen Sinn hingegen würde bedeuten, dass eine Region weiter Energie importiert, hingegen die politische Kontrolle über diese Ressourcen ausüben würde [DynamoEffekt-2010].

Der Zustand der Autarkie ist nicht in jedem Fall ein langfristiger Garant konstanter oder sinkender Energiekosten, auch werden bei Erreichen des autarken Zustandes die Kosten nicht sofort sinken, allerdings werden Kostenrisiken gegenüber dem nichtautarken Zustand minimiert. Energieautarkie bewirkt eine versorgungsseitige Ausfallssicherheit und eine höhere Diversität an Bezugsquellen; aufgrund des nachhaltigen Charakters findet Energieautarkie auch große öffentliche Akzeptanz [Energieautark-2010].

Grundsätzlich bedeutet Energieautarkie, dass die Summe aller Energieverbräuche innerhalb bestimmter Systemgrenzen gleich der Summe aller Energiequellen innerhalb dieser Systemgrenzen ist, Energieautarkie ist also zunächst ein rein rechnerischer Begriff.

$$\sum E_{\text{Verbrauch}} = \sum E_{\text{Quellen}} + \sum E_{\text{Bestand}} \quad (\text{Gl. 6.2})$$

Das Ziel Energieautarkie wird in verschiedenen Anwendungsbereichen verfolgt:

§ Bauwesen:

Sowohl im privaten Baubereich als auch in öffentlich genutzten Gebäuden werden zunehmend Maßnahmen zur Energieeffizienz umgesetzt. Im Neubaubereich sind energieautarke Bauten im Trend. Hierbei geht man von folgender Begriffsdefinition aus:

»Die Summe der im Gebäude verbrauchten Energie für die Benutzung und für die Erzeugung des Warmwassers und des gesamten sonstigen Stromverbrauches über einen Jahresverlauf hinweg betrachtet, ist niedriger oder gleich der Summe der im und mit dem Gebäude gewonnenen Energie. Kurz gesagt: Energieverbrauch und Energiegewinnung halten sich die Waage.« [Architektur-Werkstatt-2010].

§ Regionalpolitik

Im Rahmen von Regionalentwicklungsplänen und Zukunftsstrategien für verschiedene Regionen werden unterschiedliche Begriffe verwendet. So gibt es in der Literatur Energieautonome Regionen, Bioenergieregionen, Regionen mit nachhaltiger Energienutzung. Je nach Maßstabebene werden energieautarke Dörfer, Kommunen, Regionen oder Länder als Ziel gesetzt. Hierbei werden auch unterschiedliche Definitionen für den Begriff Energieautarkie genutzt:

Unter dem Begriff energieautonom wird die vollständige Umstellung auf erneuerbare Energiequellen verstanden [Petrick-2006].

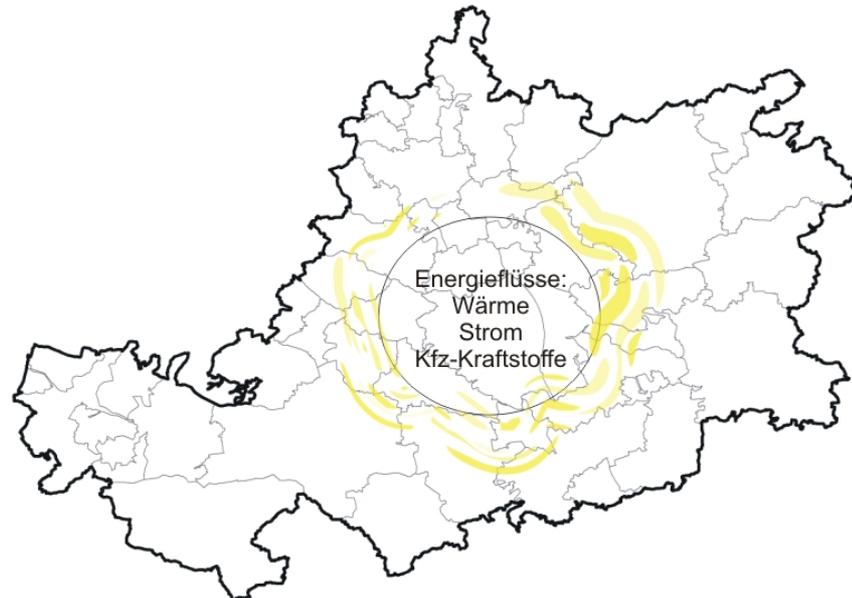
»Energieautarkie ist das Bestreben einer Gemeinde oder Region, die Energieversorgung in den Bereichen Wärme, Strom und Verkehr von Importen sowie von fossiler Energie weitgehend unabhängig zu machen. Energieautarkie ist nicht als Abkapselung nach außen zu verstehen, sondern besteht in der optimalen und effizienten Nutzung der vorhandenen lokalen Potenziale und Ressourcen an erneuerbaren Energien« [Klimaaktiv-2010].

»In einem Bioenergiedorf wird das Ziel verfolgt, möglichst die gesamte Wärme- und Stromversorgung eines Ortes auf die Basis des erneuerbaren Energieträgers Biomasse zu stellen und die Bioenergieanlagen in Eigenregie zu betreiben« [FNR-2008].

§ Bioenergiedörfer:

Bioenergiedörfer sind Gemeinden, deren Strom- und Wärmebedarf überwiegend durch Nutzung regional bereitgestellter Biomasse selbst gedeckt wird.

Bild 6-11:
Energieflüsse einer
Region



Ein wesentlicher Baustein für eine nachhaltige Entwicklung ist die Nutzung regional verfügbarer Ressourcen. Demnach fördert Energieautarkie die regionale Wertschöpfung. Zudem kann Energieautarkie Image und Identität einer Region stärken. Im Rahmen der Potenzialanalyse wird für den Begriff Autarkie die folgende Definition festgelegt:

»Autarkie ist die Deckung des in der Region benötigten Gesamtenergieverbrauchs (Wärme, Strom, Kraftstoffe) mittels aller in der Region vorhandenen regenerativen Energiequellen unter Ausschluss von Stoff- oder Energieimporten aus anderen Regionen, mit der Möglichkeiten von Exporten von Stoffen oder Energien zur Steigerung der regionalen Wertschöpfung.«

6.8.2 Maximierungsszenarien zur Feststellung der Energieautarkie

Ein Maximierungsszenario zeigt am Beispiel einer ausgewählten Energieform (z. B. Strom aus Biogas), ob bei einem maximalen Einsatz der gewählten Energieform eine vollständige Deckung des Energiebedarfs des Energiesektors (z. B. Strom) grundsätzlich möglich ist. Es setzt voraus, dass für die Erzeugung eines Energiesektors (Strom/Wärme) der maximal mögliche Ressourceneinsatz einer Technologieform (Biogasanlage, Windkraft) angesetzt wird.

Bild 6-12:
Maximierungsszenario
A

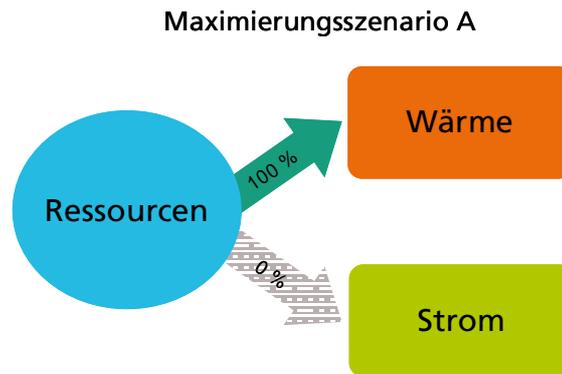
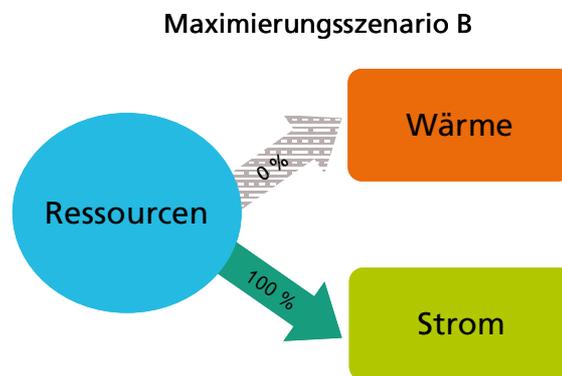


Bild 6-13:
Maximierungsszenario B



Der natürliche Energiemix wird in diesem Szenario vernachlässigt. Jedoch kann durch den Einsatz der Maximierungsszenarien aufgezeigt werden, wie viele Anlagen einer bestimmten Technologieform für die Deckung des Energiebedarfs maximal notwendig wären (siehe Anhang 1).

Weil die Gesamtfläche von Stadt und Landkreis Bamberg für eine Produktion von biogenen Kraftstoffen zur Deckung des Gesamtkraftstoffverbrauchs nicht ausreicht, wurde für den Kraftstoffverbrauch das Äquivalent Kraftstoff-Strom genutzt. Kraftstoff-Strom beschreibt die Strommenge, die von sämtlichen Kraftstoffkonsumenten in Stadt und Landkreis Bamberg benötigt werden würde, wenn sie auf einen elektrischen Antrieb umgerüstet wären. Als Kenngrößen für die Umwandlung der Energie von Kraftstoff [l/a] in elektrische Energie [kWh/a] wurden folgende Annahmen getroffen:

Ein Fahrzeug mit 5 l Kraftstoffverbrauch je 100 km entspricht einem Verbrauch von 20 kWh_{el} je 100 km bei einem Fahrzeug mit Elektroantrieb.

Die Maximierungsszenarien in Gemeindegrenzen befinden sich in Anhang 1.

Tabelle 6-10: Maximierungsszenarien inkl. Kraftstoff-Strom für die gesamte Region

Gemeinde	Energieart	Verbrauch [GWh/a]	Bestand [GWh/a]	Potenzial [GWh/a]	Differenz [GWh/a]	Autarkie
						möglich ü nicht möglich ê
Gesamt	Wärme	2161,7	374,1	728,6	-1059	ê
	Strom	2018,4	236,2	1371,7	-410,5	ê

Tabelle 6-11: Maximierungsszenarien ohne Kraftstoff-Strom für die gesamte Region

Gemeinde	Energieart	Verbrauch [GWh/a]	Bestand [GWh/a]	Potenzial [GWh/a]	Differenz [GWh/a]	Autarkie
						möglich ü nicht möglich ê
Gesamt	Wärme	2161,7	374,1	728,6	-1059	ê
	Strom	1 262,8	236,2	1371,7	345,1	ü

6.8.3 Energieszenarien für die Ziele der Klimaallianz

Für die Ausarbeitung von Handlungsempfehlungen und die Abschätzung ob, wann und wie Energieautarkie in Bamberg zu erreichen ist, werden zwei verschiedene Datengrundlagen verwendet:

- § Fortschreibung des Bestandes an erneuerbaren Energien 2008 (mittels des BMU-Leitszenarios bis 2050 [Szenario ZUKUNFT])
- § Potenzialberechnung: Darstellung des Potenzials, das aus technischer, rechtlicher und ökologischer Sicht unter den 2008 geltenden Bedingungen erschließbar ist [Szenario HEUTE]

Wichtig für die BMU-Leitszenariobedingung ist das diesem zugrunde liegende Ziel, 80 % der Emissionen des Jahres 1990 einzusparen. Dieses leitet sich aus dem 2 °C-Ziel des IPCC für Industrieländer ab. Wenn man dieses Ziel verfolgt, ist die Entwicklung, wie sie im Leitszenario dargestellt wird, ein Weg, das Einsparungsziel zu erreichen. Dieser Entwicklungsweg ist sowohl technisch als auch ökonomisch machbar, demografische Entwicklungen werden dabei berücksichtigt.

Das Zieljahr des BMU-Leitszenarios ist 2050, in dem die Emissionseinsparung sowohl durch Energieeinsparung in allen relevanten Bereichen als auch durch eine Energieversorgung, die zu 50 % (Primärenergie) aus regenerativen Energien stammt, erreicht wird.

Das BMU-Leitszenario wird als Referenzentwicklung bis 2035 und darüber hinaus (2050) herangezogen. Dadurch können Aussagen getroffen werden, wie sich die Energieversorgung und damit zusammenhängende CO₂-Emissionen in Bamberg im Vergleich zu Deutschland entwickeln können, wenn Bamberg sich von heute an so entwickelt, wie es für den deutschen Durchschnitt vorgesehen ist.

Aus dem Vergleich der Ziele der Klimaallianz Bamberg mit den Zielen des BMU-Leitszenarios ist ersichtlich, dass die Entwicklung in Bamberg schneller und intensiver als im Bundesdurchschnitt ablaufen muss, um das gesteckte Ziel »Energieautarkie 2035« zu erreichen, da das Ziel sowohl größer ist (100 % erneuerbare Energien anstatt 50 %) als auch schneller erreicht werden soll (bereits im Jahr 2035 anstatt im Jahr 2050).

Die Ausgangssituation zur Zielerreichung ist dabei positiv zu beurteilen: Im Vergleich zu Deutschland als Ganzem ist der Energieverbrauch aus Haushalten, Gewerbe, Industrie und Verkehr pro Einwohner geringer (-0,6 MWh/EW im Stromsektor, Wärmesektor pro Einwohner nicht darstellbar) und der Versorgungsgrad an erneuerbaren Energien höher (+4 % im Stromsektor und +39 % im Wärmesektor).

Berechnung der Fortschreibung mittels Leitszenario

Die ermittelten Werte des Bestandes an erneuerbaren Energien für die Stadt und die Gemeinden im Landkreis Bamberg sind die Ausgangsdaten für die Fortschreibung. Dabei wird nicht jede Technologie einzeln fortgeschrieben, sondern die Summen von Strom und Wärme (Strom- und Wärmemaximierung) genutzt.

Die Datenberechnung erfolgt für die Jahre 2010, 2020, 2030, 2035, 2040 und 2050. Dafür wird aus der aktuellen BMU-Leitstudie für jedes dieser Jahre eine Prozentzahl ermittelt, um die sich der Wert des Basisjahres erhöht. Dadurch kommt dem aktuellen Bestand an regenerativen Energien in den Gemeinden eine hohe Bedeutung zu. Entscheidend ist demnach auch der Wert des Basisjahres. Die Ausgangslage für Stadt und Landkreis Bamberg ist als gut einzuschätzen; da der Bestand an erneuerbaren Energien über dem deutschen Durchschnitt liegt, womit auch der Selbstversorgungsgrad im Jahr 2035 an produzierbarer Wärme und Strom hoch ist.

Die Stromproduktion in Stadt und Landkreis Bamberg liegt bereits heute mit ca. 4 % über dem deutschen Durchschnitt.

Tabelle 6-12: Stromproduktion (MWh/(EW*a)) aus erneuerbaren Energien in Deutschland und Bamberg im Vergleich [BMU-2008a], [eigene Berechnung]

in MWh/(EW*a)	Deutschland	Bamberg	Differenz BA-DE
Einwohner	82 400 000	214 832	-
Wasserkraft	0,25	0,29	0,04
Windenergie	0,48	0,10	-0,38
Fotovoltaik	0,04	0,13	0,09
Biomasse	0,29	0,57	0,39
- Biogas, Klärgas	0,15	0,03	-0,11
- feste Biomasse	0,09	0,01	0,03
- biogener Abfall	0,05	0,53	0,48
Erdwärme	0,00	0,00	0,00
EE-Strom gesamt	1,06	1,10	0,04

Die Wärmeproduktion aus erneuerbaren Energien in Stadt und Landkreis Bamberg liegt ca. 39 % über dem deutschen Durchschnitt.

Tabelle 6-13: Wärmeproduktion (MWh/(EW*a)) aus erneuerbaren Energien in Deutschland und Bamberg im Vergleich [BMU-2008a], [eigene Berechnung]

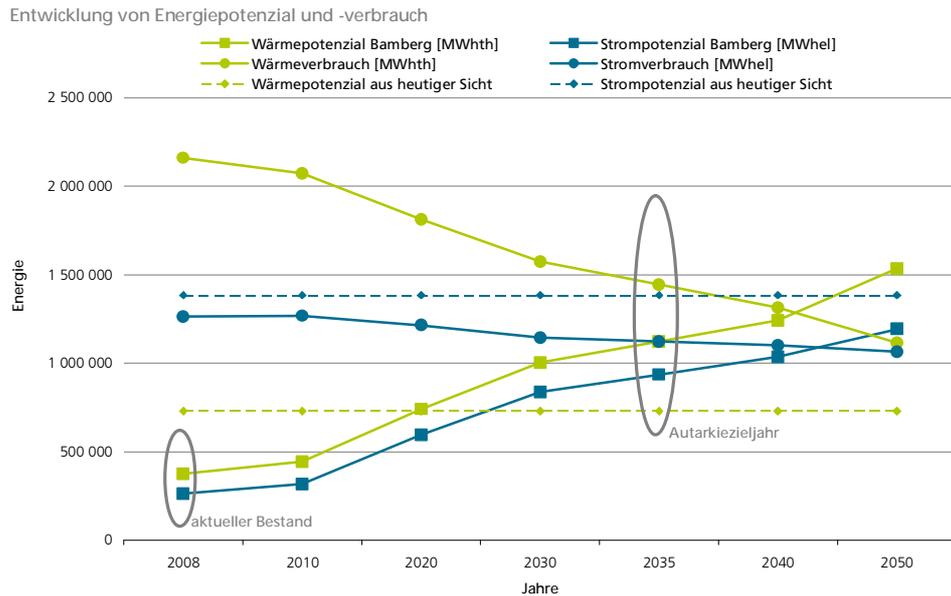
in MWh/(EW*a)	Deutschland	Bamberg	Differenz BA-DE
Einwohner	82 400 000	214 832	-
Biomasse	1,02	1,45	0,51
- Biogas, Klärgas	0,10	0,04	-0,06
- feste Biomasse	0,87	0,68	-0,19
- biogener Abfall	0,06	0,72	0,75
Solarkollektoren	0,04	0,06	0,02
Erdwärme	0,03	0,01	-0,02
EE-Wärme gesamt	1,09	1,52	0,43

Im gesamten Landkreis werden keine Biokraftstoffe erzeugt.

Das Ergebnis des fortgeschriebenen Bestandes und des Energiepotenzials aus Sicht des Jahres 2008 wird mit dem Energiebedarf an Strom, Wärme und Kraftstoff im Jahr 2035 (2050) verglichen. Dieser ist zwar rückläufig, in beiden Fällen ergibt sich jedoch eine Differenz. Diese Deckungslücke kann durch sin-

kende Verbräuche und gleichzeitige Effizienz- und Verbrauchsengungsmaßnahmen sowie einer Steigerung des Anteils an erneuerbaren Energien geschlossen werden.

Bild 6-14:
Entwicklung von Energiepotenzial und -verbrauch ohne Kraftstoffstrom



Das ermittelte Wärmepotenzial aus heutiger Sicht wird bei beständigem Ausbau der Nutzung 2020 erschlossen sein. Ein weiterer Ausbau ist jedoch durch eine stärkere Nutzung von Geothermie, Solarthermie, BHKW-Abwärme und Effizienzverbesserungen möglich. Eine Steigerung der Holznutzung aus heimischen Beständen würde Nachhaltigkeitskriterien verletzen und kann daher nicht empfohlen werden. Bis zum Jahr 2035 nähern sich Verbrauch und Produktion im Wärmebereich an, jedoch verbleibt eine Deckungslücke, die bei gleich bleibendem Ausbau voraussichtlich erst nach 2040 geschlossen werden kann.

Wenn das ermittelte Strompotenzial aus heutiger Sicht (siehe Bild 6-14) ausgeschöpft wird, genügt es, um den derzeitigen Bedarf an Strom der Haushalte, Gewerbe und Industrie über erneuerbare Energien zu decken. Ausgehend vom derzeitigen Bestand wird der Bedarf bei einem Ausbautempo, das dem Bundesdurchschnitt entspricht, ebenfalls erst nach 2040 gedeckt werden können. Die Deckungslücke fällt 2035 jedoch kleiner aus als im Wärmebereich.

Im Kraftstoffbereich wird der Primärrohstoff Öl derzeit durch Biokraftstoffe ersetzt. Eine komplette Kompensation kann es weltweit nicht geben, da der Bedarf an Öl und daraus gewonnen Kraftstoffen größer ist, als die zur Verfügung stehende Anbaufläche für Bioenergiepflanzen. Diese Problematik stellt sich in

kleinerem Maßstab ebenfalls im Untersuchungsgebiet. In Stadt und Landkreis Bamberg existieren nicht ausreichend Anbauflächen, um den Bedarf direkt durch Biokraftstoffe – weder Biodiesel noch BtL²⁹ – zu kompensieren. Dieser Sachverhalt ändert sich auch nicht im Zeitverlauf (siehe Tabelle 6-14). Bei Biodiesel würde selbst die komplette Fläche von Stadt und Landkreis Bamberg nicht ausreichen, um den reduzierten Verbrauch des Jahres 2050 zu decken. Beim Nutzungspfad BtL müsste im Jahr 2035 die gesamte landwirtschaftliche Nutzfläche mit Kurzumtriebsplantagen (KUP) bepflanzt werden, um den Bedarf zu decken.

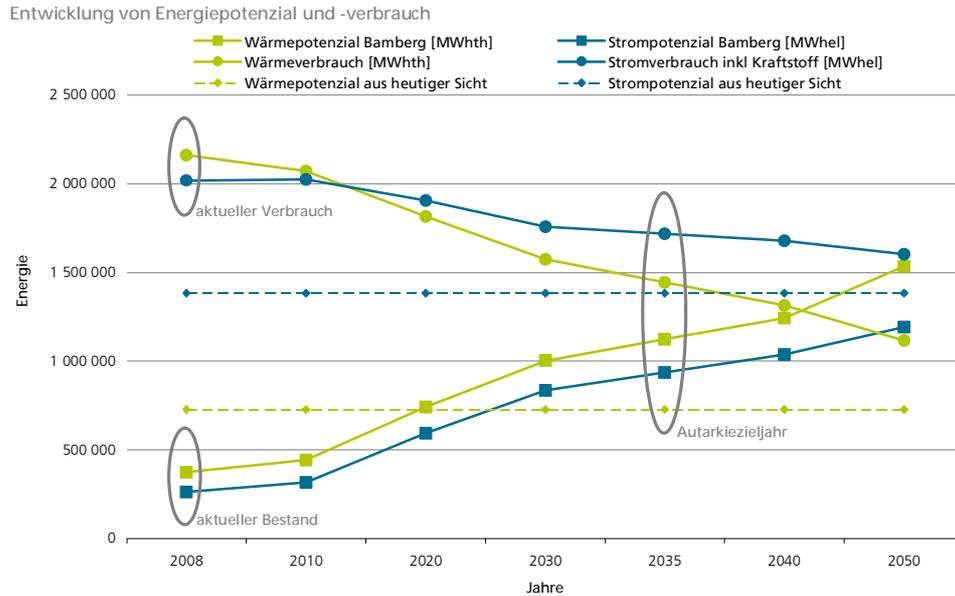
Tabelle 6-14: Verbrauch an Kraftstoffen und benötigte Anbauflächen zur Deckung des Verbrauchs

Nutzungsvariante	2007	2035	2050
Verbrauch Kraftstoff [l]	187 727 760	147 885 321	133 501 903
Biodiesel - Raps - Hektarbedarf	208 586	164 317	148 335
Biodiesel - Anteil an Ackerfläche	512	403	364
Biodiesel - Anteil an LF	409	322	291
Biodiesel - Anteil an Gesamtfläche	171	134	121
BtL - KUP - Hektarbedarf	67 046	52 816	47 679
BtL - Anteil an Ackerfläche	165	130	117
BtL - Anteil an LF	132	104	94
BtL - Anteil an Gesamtfläche	55	43	39

Das Ziel der Energieautarkie der Klimaallianz Bamberg ist daher im Kraftstoffbereich nur zu erreichen, wenn der derzeit genutzte fossile Kraftstoff durch eine andere Energiebereitstellung kompensiert wird, die letztlich auch auf regenerativer Basis hergestellt werden wird. Da auf lange Sicht durch die Endlichkeit der fossilen Ressourcen davon ausgegangen werden kann, dass auch im mobilen Bereich der Energiebedarf durch Strom gedeckt werden könnte, ist der derzeitige flüssige und gasförmige Kraftstoffverbrauch in Kraftstoff-Strom umgerechnet worden.

²⁹ BTL – Biomass to Liquid. Kraftstoffe, die aus Synthesegas auf Biomassebasis gewonnen werden.

Bild 6-15:
Entwicklung von Energiepotenzial und -verbrauch inklusive Kraftstoffstrom



Zieht man ein heutiges Mittelklasseauto heran, so entspricht ein Verbrauch von 5 l Kraftstoff auf 100 km etwa 20 kWh Strom. Dadurch entspricht der derzeitige Verbrauch von 187 Mio. l fossilem Kraftstoff etwa 0,75 Mio. MWh Strom. Mit diesem zusätzlichen Bedarf an Strom aus erneuerbaren Quellen erhöht sich der Deckungsbedarf (siehe Bild 6-15) zur Energieautarkie.

Mit denen der Szenarienrechnung zugrunde liegenden Ausgangsdaten – dem Bestand an erneuerbaren Energien in Stadt und Landkreis Bamberg – und der genutzten Fortschreibungsmethodik – dem BMU-Leitszenario – ist die festgestellte Deckungslücke zwischen Energieverbrauch und Energieerzeugung aus regenerativen Energien der Betrag, um den Bamberg »besser« sein muss als die für ganz Deutschland vorgesehene Entwicklung (»besser« im Sinne von höherem Maß an Verbrauchsreduktion – durch Effizienz und/oder Sparen – sowie Ausbau der erneuerbaren Energien sowie größere Schnelligkeit bei der Umsetzung der damit verbundenen Maßnahmen). Die errechneten Potenziale aus heutiger Sicht liegen sowohl im Wärme- als auch im Strombereich (inkl. Kraftstoff-Strom) unter dem prognostizierten Energieverbrauch für das Jahr 2035.

6.8.4 Energieautarkie in Stadt und Landkreis Bamberg

Die Berechnung der Autarkieszenarien ist sowohl für das Jahr 2008, worauf sich die meisten Verbrauchs- und Bestandsdaten beziehen, als auch für das Jahr 2035 durchgeführt worden. Dabei wird grundsätzlich zwischen den Ener-

giearten Strom und Wärme unterschieden. Eine weitere Differenzierung betrifft den Stromverbrauch, welcher jeweils unter Einbeziehung bzw. Ausschluss des Kraftfahrzeugverkehrs betrachtet werden kann. Insgesamt ist die Differenz zwischen Verbrauch und Bestand maßgeblich dafür, wie viel Energie produziert werden muss, um autark zu werden.

Nur wenige Gemeinden sind in einer oder beiden Energiearten autark. Dies ist erkennbar an den negativen Zahlen, d. h. die Gemeinden produzieren mehr erneuerbare Energie als sie insgesamt verbrauchen. Die positiven Zahlen geben an, wie viele Anlagen errichtet werden müssen um die Deckungslücke zu schließen und den gesamten Energieverbrauch mit regenerativen Energiequellen zu decken. Die Berechnung basiert dabei auf der Annahme, dass ausschließlich diese Erzeugungsart angewendet wird. Durch eine hohe Investitionsdiversität in unterschiedlichen Energiequellen können daher nicht nur die Werte pro Gemeinde gesenkt werden, sondern kann auch die Versorgungssicherheit erhöht werden.

Bei der Berechnung der zu errichtenden Anlagen, bzw. Solarfläche, wurde von folgenden Daten ausgegangen:

- § Windkraft: Bei einer Windkraftanlage mit 2 MW Leistung können durchschnittlich an einem Standort in Stadt und Landkreis Bamberg 3,5 Mio. kWh_{el} Strom erzeugt werden.
- § Holzfeuerung: Ein 15 kW-Scheitholzessel deckt einen durchschnittlichen Wärmebedarf von vier Einwohnern; jeweils 3 750 kWh_{th} /Einwohner.
- § Biogas: Eine 150 kW Anlage produziert bei Wirkungsgraden von 47,5 % thermisch und 37,5 % elektrisch 1,3 Mio. kWh_{th} und 1,03 Mio. kWh_{el}. Dafür kann die Anlage mit Grassilage aus 66,6 ha (36,4 GJ/ha), Silomais aus 52,3 ha (44,4 GJ/ha) oder 25 000 t Wirtschaftsdünger betrieben werden.
- § Solar: 1 m² solartechnisch genutzte Fläche produziert im Durchschnitt 416 kWh_{th} bzw. 95 kWh_{el}
- § Geothermie: Eine Wärmepumpe mit 12 kW Leistung erbringt bei durchschnittlich 1 800 Betriebsstunden einen Ertrag von 5,4 MWh pro Jahr.

Tabelle 6-15 stellt somit dar, wie viele Anlagen in Stadt und Landkreis Bamberg zur Erreichung der Energieautarkie 2008, bzw. 2035 errichtet werden müssten. Nimmt man beispielsweise die Energiedaten von 2008 ohne den Kraftstoff-Strom als Bezugsdaten, so müssten im Untersuchungsgebiet 293 Windkraftanlagen oder alternativ 997 Biogasanlagen zusätzlich errichtet werden, um Stromautarkie zu erreichen. Eine gemeindescharfe Darstellung ist im Anhang 1 enthalten.

Tabelle 6-15: Benötigte Anlagen zur Energieautarkie in Stadt und Landkreis Bamberg

Bezugsdaten	Energieart	Windkraft [Stk]	Holzfeuerung [Stk]	Biogas [Stk]	Solar [m ²]	Geothermie [Stk]
2008 Strom ohne Kfz	Wärme		119 196	1 375	4 297 935	331 100
	Strom	293,3		997	10 807 291	
2008 Strom mit Kfz	Wärme		119 196	1 375	4 297 935	331 100
	Strom	509,2		1730	18 760 432	
2035 Strom ohne Kfz	Wärme		21 385	247	771 102	59 403
	Strom	53,1		180	1 956 093	
2035 Strom mit Kfz	Wärme		21 385	247	771 102	59 403
	Strom	223,1		758	8 221 298	

Für das Jahr 2035 wird eine Reduktion der Verbrauchswerte gegenüber dem Jahr 2008 von 33,2 % bei der Wärme, 11,1 % beim Strom ohne Kraftfahrzeuge und 21,2 % bei Kraftstoffen prognostiziert. Diese Werte orientieren sich an dem zu erwartenden Bundesdurchschnitt [BMU-2008a]. Aufgrund dieser prognostizierten Senkung sinkt die Anzahl der benötigten zusätzlichen Anlagen zur Schließung der Deckungslücke entsprechend, wie am Beispiel von Biogas dargestellt. Eine überdurchschnittliche Reduktion des Energieverbrauchs bietet Stadt und dem Landkreis Bamberg Möglichkeit, die Anzahl der zu errichtenden Anlagen, welche für das Erreichen der Energieautarkie nötig sind, weiter zu reduzieren. Die folgende Tabelle gibt eine Übersicht, um wieweit sich die Anzahl der benötigten Anlagen im Jahr 2035 bei zusätzlichen Verbrauchsreduktionen gegenüber dem Jahr 2008 reduzieren könnten.

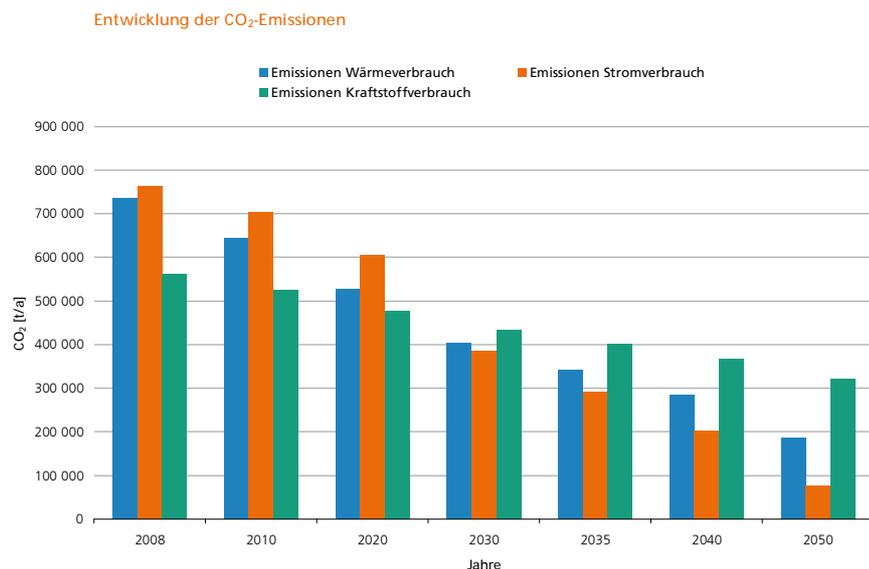
Tabelle 6-16: Reduktion der benötigten Anlagen zur Erreichung der Energieautarkie bei unterschiedlichen Verbrauchsprognosen am Beispiel von Biogasanlagen (BGA)

Szenario	BGA, Wärmeanteil [Stk]	BGA, Stromanteil (ohne Kfz) [Stk]	BGA, Stromanteil (mit Kfz) [Stk]
Prognose: -33,2 % Wärme, -11,1 % Strom, -15 % Gesamtstrom (inkl. Kraftstoff)	247	180	758
Prognose: -35 % Wärme, -15 % Strom, -20 % Gesamtstrom (inkl. Kraftstoff)	217	132	658
Prognose: -40 % Wärme, -20 % Strom, -25 % Gesamtstrom (inkl. Kraftstoff)	134	71	561

6.8.5 Fortschreibung der CO₂-Bilanz

Die berechnete CO₂-Bilanz für Stadt und Landkreis Bamberg gründet auf der Entwicklung des Strom-, Wärme und Kraftstoffverbrauchs der aus dem BMU-Leitszenario 2008 abgeleitet wurde und ist in Bild 6-16 dargestellt.

Bild 6-16:
Entwicklung der CO₂-Emissionen bis 2050



Wenn Stadt und Landkreis Bamberg ihr Ziel der Energieautarkie bis 2035 erreichen, fällt die CO₂-Bilanz noch positiver aus. Da nicht abzusehen ist, welchen Anteil die einzelnen erneuerbaren Energien 2035 im »Bamberger Energiemix« einnehmen werden, ist ein einfacher CO₂-Rechner in der Studie enthalten. Dieser enthält die CO₂-Einsparung je Energieerzeugungsform pro kWh erzeugter Energie. Durch das Eintragen der erzeugten Mengen errechnet sich die CO₂-Einsparung für den Strom- und Wärmebereich, wie sie in den Tabellen dargestellt sind.

Tabelle 6-17: CO₂-Einsparung pro kWh Strom je erneuerbare-Energie-Form [UBA-2008]

regenerative Energien	produzierte Strommenge	CO ₂ -Vermeidung [g/kWh]
Wasserkraft	Zum selbstständigen Eintragen	602
Windenergie		594
Fotovoltaik		541
Geothermie		311
Festbrennstoffe Gesamt		595

regenerative Energien	produzierte Strommenge	CO ₂ -Vermeidung [g/kWh]
Feste Biomasse Altholz (50%)		592
Feste Biomasse HKW (50%)		598
Flüssige Biomasse		395
Biogas (Silomais)		513
Biogas (Grassilage)		550
Biogener Anteil Abfall		605

Tabelle 6-18: CO₂-Einsparung pro kWh Wärme je erneuerbare-Energie-Form [Öko-Institut 2007]

regenerative Energien	produzierte Wärmemenge	CO ₂ -Vermeidung [g/kWh]
Feste Biomasse-Einzelfeuerungen (HH)	Zum selbstständigen Eintragen	336
Feste Biomasse Scheitholzessel (HH)		330
Feste Biomasse-Mix (Industrie)		336
Feste Biomasse-H(K)W		335
Flüssige Biomasse (Industrie)		340
Flüssige Biomasse (Pflanzenöl)		258
Biogas-Mix (BHKW)		324
Biogener Anteil Abfall		340
Solarthermie-Mix		277
Oberflächennahe Geothermie		141
Tiefe Geothermie H(K)W		121
Biogas (Grassilage)		331