

2 Einführung und Aufgabenstellung

Die Stadt Bamberg und der Landkreis Bamberg haben zwischen Mai 2009 und Mai 2010 eine Potenzialanalyse zu erneuerbaren Energien für das Gebiet der Stadt und des Landkreises Bamberg (Kurztitel: Energiepotenzialanalyse Bamberg) durchgeführt. Das Vorhaben wurde gefördert vom Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) unter dem Förderkennzeichen: 03KS0324.

Die Ergebnisse dieser Energiepotenzialanalyse sollen als Grundlage für die weitere Konzeptionierung in der Stadt und im Landkreis Bamberg dienen mit dem Ziel, Energieautarkie über die Substitution fossiler Energieträger zu erreichen. Die regionalen und kommunalen Ziele und Maßnahmen sind in der Klimaallianz⁷ vereinbart, in der die Akteure vor Ort ihre Zusammenarbeit auf dem dafür erforderlichen Weg festlegen.

Für die fachliche Ausgestaltung sowie die wissenschaftliche Begleitung und Umsetzung des Arbeitsprogramms wurde ein Unterauftrag an das Fraunhofer-Institut für Umwelt-, Sicherheits- und Energietechnik UMSICHT (Fraunhofer UMSICHT), Oberhausen erteilt.

Im Rahmen der Potenzialanalyse sollten folgenden Projektleitfragen theoretisch sowie anhand von Beispielregionen geklärt werden:

- § Wie stellt sich der aktuelle Energieverbrauch im Untersuchungsgebiet qualitativ und quantitativ dar?
- § Welche Mengen an Strom und Wärme werden in der Region für die Zukunft kalkuliert?
- § Welche Potenziale zur Erzeugung und Nutzung von erneuerbaren Energien sind in der Region permanent und welche temporär vorhanden?
- § Welche Formen des Einsatzes erneuerbarer Energien kommen für die Region als ökologisch und ökonomisch sinnvoll in Frage?
- § Welche Maßnahmen zur Senkung des Energieverbrauchs können in der Region getroffen werden? Welche Qualität besitzen diese?
- § Welche Standorte sind zu wählen, um langfristige Versorgungssicherheit zu gewährleisten und Fehlinvestitionen zu vermeiden?
- § Welche informellen und formellen Instrumente sind anzuwenden, um den Einsatz erneuerbarer Energien in der Region zu etablieren sowie ökologisch und wirtschaftlich zu nutzen?

⁷ www.stadt.bamberg.de → klimaallianz.bamberg

- § Welche Beteiligungsmöglichkeiten der Bevölkerung an der Wertschöpfung durch erneuerbare Energien gibt es?

Die eigentliche Potenzialanalyse erfolgte in zwei Schritten:

Schritt 1: Situationsanalyse

Hierzu wurde zuerst eine Bestandsanalyse (Datenscreening) zur derzeitigen Energiesituation für das Gebiet von Stadt und Landkreis Bamberg durchgeführt. Sie diente der Abschätzung, welche vorhandenen Daten eine verlässliche Grundlage für die Energiepotenzialanalyse bilden und welche Daten noch erhoben werden müssen. Dies beinhaltete die Sichtung der vorhandenen Daten und Prüfung auf Verwertbarkeit sowie die Erstellung eines Datenkatalogs mit Angaben zu den verfügbaren Daten und der Festlegung, welche Daten noch notwendigerweise ermittelt werden müssen, sowie Vorschläge zur weiteren Vorgehensweise.

Die Analyse erfolgte auf Gemeindeebene. Folgende Energieformen waren Grundlage für die Bestandsanalyse:

- § Fossile Energien
- § Solarenergie
- § Geothermie
- § Biomasse
 - aus der Landwirtschaft
 - aus der Forstwirtschaft
 - aus der Abfallwirtschaft
- § Wasserkraft
- § Windkraft
- § Kraft-Wärme-Kopplung (sofern erhebbar)
- § Abfall
- § Abwärmenutzung (Nah- und Fernwärme)
- § Wärmepumpen

Die Daten wurden für die Bereiche Gewerbe/Industrie/Landwirtschaft, Kommunale Liegenschaften und den Privatbereich aufbereitet.

Schritt 2: Auswertung und Handlungsempfehlungen

Die Ergebnisse der Situationsanalyse bildeten die Grundlage für die Auswertung der Daten und die Erarbeitung von konkreten Handlungsempfehlungen

für die Region und die Gemeinden. Hierbei wurden folgende Punkte berücksichtigt:

- § Bestandsanalyse in Stadt und Landkreis und Darstellung in raumbezogen hoher Auflösung
- § Aufzeigen des theoretischen, technischen, wirtschaftlichen und erschließbaren Potenzials erneuerbarer Energien
- § Darstellung der erschließbaren Potenziale an erneuerbaren Energien und der zu erwartenden CO₂-Einsparungen sowie Maßnahmenbeschreibung zur Reduzierung der CO₂-Emissionen
- § Systematische und flächendeckende raumbezogene Darstellung der vorhandenen regenerativen Energiequellen sowie kartografische Darstellung des Erzeugerpotenzials erneuerbarer Energieträger
- § Modellierung des Potenzials der einzelnen Energiequellen auf Stadt- und Gemeindeebene
- § Erstellung einer fortschreibbaren Energie- und CO₂-Bilanz, einer Potenzialabschätzung sowie Erstellung von Maßnahmenkatalogen und Zeitplänen zur Minderung von Treibhausgasen und Aufzeigen des entsprechenden Einsparpotenzials
- § Zusammenfassung von Potenzial und Bedarf in einem geografischen Bilanzraster auf Gemeindeebene
- § Erstellung von Autarkieszenarien auf Gemeindeebene
- § Darstellung der Potenziale im Rahmen einer SWOT-Analyse
- § Vertiefte Potenzialanalyse zur Feststellung, in welcher Gemeinde welche Potenziale vorliegen und erschließbar sind; die Analyse erfolgte auf Gemeindeebene.
- § Erstellung eines Konzepts für die Öffentlichkeitsarbeit, Nutzermotivation und Information
- § Zusammenfassung der Ergebnisse

In diesem Bericht werden die Ergebnisse des Projekts dokumentiert.



3 Vorgehensweise und Methodik

3.1 Grundlegendes

Die Erstellung der Potenzialanalyse erfolgte in drei Schritten:

In einem ersten Schritt wurde eine Bestandsanalyse (Datenscreening) zur Abschätzung der derzeitigen Energiesituation in der Stadt und im Landkreis Bamberg durchgeführt, welche vorhandenen Daten eine verlässliche Grundlage für die Energiepotenzialanalyse bilden und welche Daten zusätzlich erhoben werden müssen. Dabei wurden vorhandene Daten gesichtet und auf Verwertbarkeit geprüft. Darauf aufbauend wurde ein Datenkatalog mit Angaben zu den verfügbaren Daten und der Festlegung, welche Daten noch notwendigerweise ermittelt werden müssen, erstellt. Die Daten wurden für die Bereiche Gewerbe/Industrie/Landwirtschaft, Kommunale Liegenschaften und den Privatbereich aufbereitet.

Die in der Situationsanalyse erhobenen Daten bildeten die Grundlage für die anschließenden Potenzialberechnungen. Dabei wurden die folgenden Punkte berücksichtigt:

- § Berechnung des theoretischen, technischen, wirtschaftlichen und erschließbaren Potenzials erneuerbarer Energien
- § Darstellung der erschließbaren Potenziale an erneuerbaren Energien und der zu erwartenden CO₂-Einsparungen
- § Systematische und flächendeckende raumbezogene Darstellung der vorhandenen regenerativen Energiequellen sowie kartografische Darstellung der Ergebnisse
- § Modellierung des Potenzials der einzelnen Energiequellen auf Stadt- und Gemeindeebene
- § Erstellung einer fortschreibbaren Energie- und CO₂-Bilanz, einer Potenzialabschätzung
- § Vertiefte Potenzialanalyse zur Feststellung, in welcher Gemeinde welche Potenziale vorliegen und erschlossen werden können; die Analyse erfolgte auf Gemeindeebene.

Anhand der berechneten Potenziale und allgemeiner Informationen zur Untersuchungsregion wurde eine SWOT-Analyse durchgeführt, die die Basis für die Ableitung von strategischen Handlungsempfehlungen bildet.

3.2 Einbeziehung der relevanten Akteure

3.2.1 Planung und Durchführung einer Auftaktveranstaltung

Am 9. Juli 2009 wurde eine Auftaktveranstaltung für das Projekt durchgeführt. Ziel der Auftaktveranstaltung war es, alle relevanten Gemeindevertreter kennenzulernen und eine für alle einheitliche Struktur der Datenerhebung abzustimmen; die Veranstaltung diente als Einstiegsveranstaltung. An der Veranstaltung sollten Vertreter aller Gemeinden des Landkreises, politische Akteure und wichtige fachliche Akteure teilnehmen. Die Auswahl der einzuladenden politischen Akteure erfolgte durch das Landratsamt Bamberg.

Im Vorfeld der Veranstaltung wurde eine Datenmatrix als Übersicht über alle in der Situationsanalyse erforderlichen Daten und Informationen sowie deren mögliche Quellen erarbeitet und mit dem Auftraggeber abgestimmt. Auf Basis dieser Informationen konnte eine Liste mit den erforderlichen fachlichen Akteuren erarbeitet werden, die ebenfalls zur Auftaktveranstaltung eingeladen wurden.

Die Versendung der Einladungen sowie die Erstellung der Teilnehmerliste erfolgten zentral durch das Landratsamt Bamberg. Ebenfalls vom Landratsamt Bamberg wurden Raumanmietung, Catering, Technik und Empfang organisiert. Um eine hohe Öffentlichkeitswirkung des Projekts zu erzielen, wurden für die Auftaktveranstaltung Vertreter der regionalen Presse eingeladen.

Die Teilnehmer erhielten Veranstaltungsmappen mit folgendem Inhalt:

- § Agenda
- § Teilnehmerliste
- § Vorträge
- § Zuordnung zu einem Workshop
- § Datenmatrix

Die inhaltliche und grafische Gestaltung der Veranstaltungsmappen erfolgte durch Fraunhofer UMSICHT in enger Abstimmung mit dem Landratsamt Bamberg.

An der Veranstaltung nahmen insgesamt ca. 80 Vertreter aus den Gemeinden, der regionalen Politik und fachliche Akteure wie Vertreter aus Landwirtschaft, Holzwirtschaft, Energieversorgung und Abfallwirtschaft teil. Bezüglich Agenda und Teilnehmerliste wird auf den Anhang 1 verwiesen.

Es wurden drei parallele Workshops mit jeweils 12, 23 und 18 Teilnehmern durchgeführt. Die Moderation der Workshops erfolgte durch Vertreter von Fraunhofer UMSICHT. Zu Beginn der Workshops wurden alle Teilnehmer nach ihren Erwartungen an die Potenzialanalyse sowie zu ihren derzeitigen Schwerpunkten in der Gemeindefarbeit befragt.

3.2.2 Planung und Durchführung von Interviews mit Gemeindevertretern

Am 25.11.2009 und 26.11.2009 wurden Interviews mit Vertretern ausgewählter Gemeinden im Landkreis Bamberg durchgeführt. Ziel der Interviews war die Klärung folgender Fragestellungen:

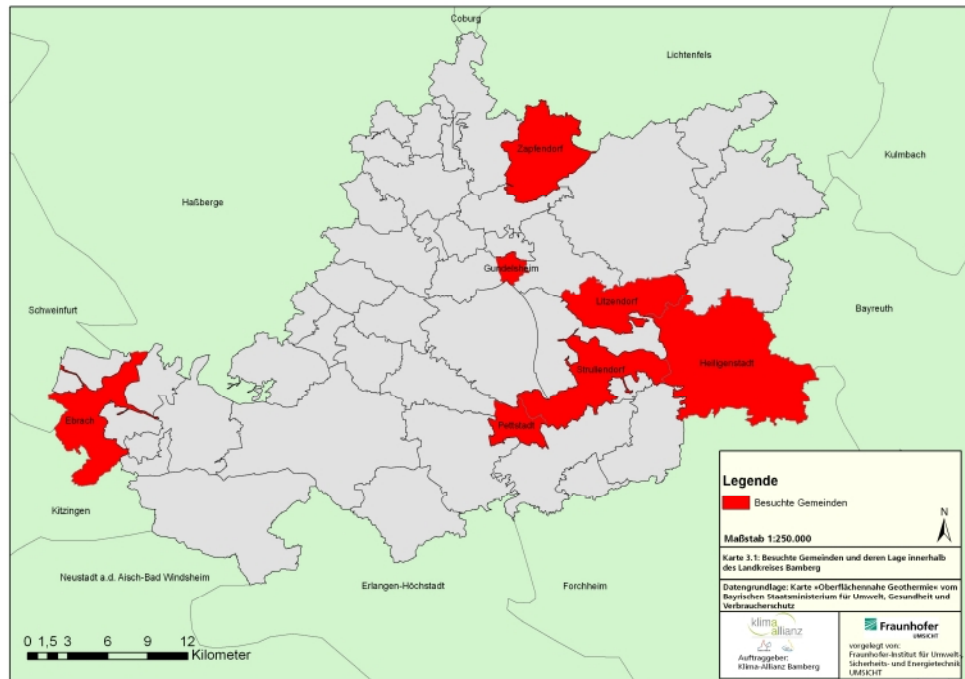
- § An welcher Stelle werden die Stärken und/oder Schwächen bei der Verwendung erneuerbarer Energien in der Gemeinde gesehen?
- § Werden in der Gemeinde spezielle Schwerpunkte für die Verwendung erneuerbarer Energien gesetzt?
- § Wo und bei welcher Energieerzeugungsart werden im Rahmen der erneuerbaren Energien in der Gemeinde die größten Hemmnisse gesehen?
- § Gibt es in der Gemeinde Ausschlussgründe für die Verwendung spezieller Energieformen und wenn ja, welcher Art (geografische, geologische, morphologisch, politisch...)?
- § Gibt es in der Gemeinde Bestrebungen, Abwärme zu nutzen?
- § Gibt es in der Gemeinde Bestrebungen, geothermische Potenziale zu erschließen?
- § Wo sieht sich die Gemeinde 2020 im energetischen Sinn?
- § Gibt es Informationsbedarf zum Thema erneuerbare Energien?

Aufgrund der Vielzahl der Gemeinden im Untersuchungsgebiet konnten nicht mit allen Vertretern Interviews durchgeführt werden. Deshalb wurden von den 36 Gemeinden im Landkreis Bamberg sieben Gemeinden ausgewählt. Die Auswahl der Gemeinden erfolgte nach folgenden Kriterien:

- § Erreichen eines geografischen Querschnitts der besuchten Gemeinden im Landkreis
Die besuchten Gemeinden sollten möglichst gleichmäßig innerhalb der geografischen Aufteilung des Landkreises verteilt sein
- § Darstellung eines guten Querschnitts in Bezug auf die eingespeiste Menge erneuerbarer Energie
Es sollten Gemeinden besucht werden, die bezogen auf den Durchschnittswert im Landkreis jeweils sehr viel, viel und eher wenig erneuerbare Energie einspeisen.

Auf Basis dieser Kriterien wurden die Gemeinden Litzendorf, Strullendorf, Pettstadt, Ebrach, Heiligenstadt, Zapfendorf und Gundelsheim besucht (vgl. Bild 3-1).

Bild 3-1:
Besuchte Gemeinden
und deren Lage inner-
halb des Landkreises
Bamberg



Um ein Bild von der Situation vor Ort zu erhalten, wurden mit Vertretern der ausgewählten Gemeinden strukturierte Interviews geführt. An den Interviews nahmen jeweils zwei Vertreter von Fraunhofer UMSICHT und – mit Ausnahme des Interviews in Markt Ebrach – ein Vertreter des Landratsamts Bamberg teil. Alle Interviews erfolgten nach einem vorab erarbeiteten Fragenkatalog (siehe Anhang 1), der offen gehandhabt wurde, um auch Raum für Themen außerhalb des Fragenkatalogs zu lassen. Folgende Gemeindevertreter standen für die Interviews zur Verfügung:

- | | |
|-------------------------|---------------------------------------|
| § Gemeinde Strullendorf | Herr Bürgermeister Schwarz |
| § Markt Zapfendorf | Herr Bürgermeister Martin |
| § Gemeinde Pettstadt | Herr Hack, Geschäftsleitung, Kämmerei |
| § Gemeinde Litzendorf | Herr Linsner, Kämmerer |
| § Markt Heiligenstadt | Herr Bürgermeister Krämer |
| § Gemeinde Gundelsheim | Herr Bürgermeister Merzbacher |

§ Markt Ebrach

Herr Bürgermeister Schneider
Herr Hanslok, Hauptverwaltung, Bauwesen,
Geschäftsleitung

Ziel der Gespräche war die Ermittlung der Akzeptanz der Akteure zum Thema erneuerbare Energien und im Speziellen die Ermittlung der präferierten Technologien in den Gemeinden. Auch die Ermittlung von politischen, geografischen, geologischen oder sonstigen Ausschlussgründen für die Verwendung bestimmter regenerativer Energieerzeugungssysteme war Bestandteil der Gespräche.

3.2.3 Planung und Durchführung von Interviews mit fachlichen Akteuren

In der Zeit vom 2. bis 3.12.2009 wurden Interviews mit verschiedenen auf dem Gebiet der erneuerbaren Energien besonders fachkundigen Akteuren durchgeführt. Ziel der Interviews war es, einen allgemeinen Überblick über die Situation spezieller Arten erneuerbarer Energien im Untersuchungsgebiet zu erhalten. Hierbei sollten möglichst praxisnahe Expertenmeinungen gehört werden. Im Rahmen der Gespräche wurden die folgenden Fragen diskutiert:

- § Welche Potenziale erneuerbarer Energien im Gebiet der Stadt und des Landkreises sehen Experten, welche Besonderheiten sehen die Experten?
- § Gibt es themenspezifische Konflikte (z. B. zwischen Naturschutz und Bauvorhaben, zwischen Ausbau erneuerbarer Energien und Naturschutzvorhaben, Konflikte zwischen Naturschutz und Ausbau einzelner Energieformen, Konflikte zwischen energetischer Sanierung und Denkmalschutz, Konflikte zwischen Naturschutz und Nutzung land- und forstwirtschaftlicher Biomasse), die berücksichtigt werden sollten?
- § Welche Hemmnisse beim Ausbau erneuerbarer Energien sehen Experten?

Kriterien für die Auswahl der Gesprächspartner waren die Lage im Untersuchungsgebiet, die Größe des Unternehmens und nachgewiesene Kompetenzen in der jeweiligen Thematik; mit folgenden Experten wurden Interviews geführt:

- § Gartiser & Piewak Ingenieurbüro für Hydrogeologie und Umweltschutz GmbH
Herr Gartiser, Diplom-Geologe
- § EBITSCH Energietechnik GmbH
Herr Ebitsch, Geschäftsführer
- § Bund für Umwelt und Naturschutz Deutschland e. V.
Frau Hertrich, Geschäftsstellenleiterin
Frau Bittschi

- § Bayerisches Landesamt für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten
Herr Wunder, Abteilungsleiter
- § Hölzlein Ingenieure GmbH
Herr Dipl.-Ing. (FH) Hölzlein
Herr Dipl.-Ing. (FH) Mischkulnig
- § WBV⁸ Bamberg
Herr Binder

3.2.4 Telefonbefragung von Vertretern aus Industrie und Gewerbe im Untersuchungsgebiet

Um einen möglichst ungefilterten Überblick über die aktuelle Situation von Industrie und Gewerbe im Bereich erneuerbare Energien zu erhalten, wurden im Untersuchungsgebiet Telefoninterviews durchgeführt. Hierzu wurden die Listen der Gewerbetreibenden im Gebiet der Stadt und des Landkreises Bamberg ausgewertet [Stadtverwaltung Bamberg-2009a], [Stadtverwaltung Bamberg-2009b], [Stadtverwaltung Bamberg-2009c]. Aus diesen Listen wurden zunächst alle Klein- und Kleinstgewerbebetriebe (z. B. Bäckereien, Arztpraxen, kleine Dienstleistungsbetriebe etc.) herausgenommen, so dass die Telefoninterviews auf folgender Basis durchgeführt werden konnten:

- § 70 Brauereien im Gebiet des Landkreises Bamberg
- § 98 Unternehmen im Gebiet des Landkreises Bamberg
- § 47 Unternehmen und Brauereien im Gebiet der Stadt Bamberg

Für die Befragung selbst wurde ein stufenweises Vorgehen gewählt: In einem ersten Schritt wurden die Unternehmen telefonisch kontaktiert und nach ihrem grundsätzlichen Interesse am Thema erneuerbare Energien befragt. Bei grundsätzlicher Bereitschaft und Interesse am Thema erneuerbare Energien wurden nach einem vorab erstellten Fragenkatalog (siehe Anhang 1) die folgenden Themen abgefragt:

- § Ist die Erneuerung der Energieversorgung in näherer Zukunft angedacht? Wenn ja, wann (kurz-, mittel- oder langfristig)?
- § Ist eine Wärme- oder Kälteversorgung über einen externen Versorger möglich und denkbar?
- § Welche Art der Wärme- bzw. Kälteversorgung gibt es aktuell?
- § Welche Wärmebedarfe gibt es? Auf welcher technischen Grundlage erfolgt die derzeitige Wärme-/Kälteversorgung?

⁸ Waldbesitzervereinigung Bamberg-West e.V. vertritt die berufsständischen, rechtlichen und forstpolitischen Interessen des privaten, kommunalen und kirchlichen Waldbesitzes.

- § Gibt es Bestrebungen/Ideen, den Wärme- bzw. Kältebedarf künftig auf Basis erneuerbarer Energien zu decken?
- § Welche Hemmnisse zur Nutzung erneuerbarer Energien gibt es aus Sicht des Unternehmens?

Die Auswertung der Interviewergebnisse erfolgte anonymisiert.

3.2.5 1. Workshop – Zwischenergebnisse

Am 02.03.2010 wurde im Landratsamt Bamberg ein Workshop für die relevanten Akteure in den Gemeinden des Landkreises und der Stadt Bamberg organisiert. Ziel des Workshops war es, die Ergebnisse der Situationsanalyse und erste Ergebnisse der Potenzialberechnungen vorzustellen und mit den Gemeindevertretern den weiteren Fortgang im Projekt zu diskutieren.

Die Versendung der Einladungen sowie die Erstellung der Teilnehmerliste erfolgten zentral durch das Landratsamt Bamberg. Ebenfalls vom Landratsamt Bamberg wurden Raumanmietung, Catering, Technik und Empfang organisiert. Um eine hohe Öffentlichkeitswirkung des Projekts zu erzielen, wurden für die Auftaktveranstaltung Vertreter der regionalen Presse eingeladen.

Alle 50 Teilnehmer erhielten Veranstaltungsmappen mit Agenda und Teilnehmerliste (siehe Anhang 1). Die inhaltliche und grafische Gestaltung der Veranstaltungsmappen erfolgte durch Fraunhofer UMSICHT in enger Abstimmung mit dem Landratsamt Bamberg.

Im Verlauf der Projektbearbeitung hat sich das Thema energetische Sanierung und Denkmalschutz als sehr bedeutend für die Stadt und den Landkreis Bamberg herausgestellt. Um die Gemeindevertreter über Möglichkeiten der energetischen Sanierung gerade bei denkmalgeschützten Gebäuden zu informieren, wurde ein Experte aus diesem Themengebiet eingeladen. Weiterhin hat sich gezeigt, dass die Gemeinden des Landkreises auch von Erfahrungen anderer Gemeinden profitieren können. Aus diesem Grund wurde der Bürgermeister der Gemeinde Wildpoldsried im Allgäu eingeladen: diese Gemeinde hat ebenfalls ausgehend von einer Potenzialanalyse erneuerbare Energien eine Reihe von sehr erfolgreichen Maßnahmen umgesetzt, die sie auch für Öffentlichkeitsarbeit und Marketing intensiv nutzt. Neben den Präsentationen und Expertenreferaten waren Ergebniskarten im Veranstaltungsraum aufgestellt, so dass die Gemeindevertreter die Ergebnisse direkt an diesen »Points of Results« diskutieren konnten. Im Rahmen des Workshops wurden die folgenden Themen diskutiert:

- § Präsentation zum Stand der Projektbearbeitung und zu allgemeinen Ergebnissen

- § Präsentation zu den Ergebnisse der Ist-Analyse
- § Präsentation zum Ergebnisstand der Potenzialberechnungen
- § Expertenreferat Energetische Sanierung und Denkmalschutz (Prof. Alexander Eichenlaub, Universität Kassel)
- § Erfahrungsbericht Gemeinde Wildpoldsried zum Thema Erneuerbare Energien und Energieautarkie (Arno Zengerle, 1. Bürgermeister)

3.2.6 2. Workshop – Handlungsempfehlungen

Am 15.04.2010 wurde für die Akteure aus Stadt und Landkreis Bamberg ein weiterer Workshop im Großen Sitzungssaal des Landratsamtes Bamberg durchgeführt. Ziel dieses Workshops war es, die endgültigen Ergebnisse der Potenzialberechnungen vorzustellen und die daraus abgeleiteten Handlungsempfehlungen zu diskutieren.

Die Versendung der Einladungen sowie die Erstellung der Teilnehmerliste erfolgten zentral durch das Landratsamt Bamberg. Ebenfalls vom Landratsamt Bamberg wurden Raumanmietung, Technik und Empfang organisiert. Zur Vorbereitung der Veranstaltung wurden die ausgefüllten Gemeindestammdatenblätter und erste gemeindespezifische Handlungsempfehlungen an die Vertreter der Gemeinden verschickt. Alle Gemeindevertreter wurden im Vorfeld der Veranstaltung telefonisch kontaktiert, um erste Fragen zu den Stammdatenblättern klären zu können.

Alle 50 Teilnehmer erhielten Veranstaltungsmappen mit Agenda und Teilnehmerliste (siehe Anhang 1). Die inhaltliche und grafische Gestaltung der Veranstaltungsmappen erfolgte durch Fraunhofer UMSICHT in enger Abstimmung mit dem Landratsamt Bamberg.

Für den 2. Workshop wurden durch Vertreter von Fraunhofer UMSICHT die folgenden Präsentationen vorbereitet:

- § Vorstellung der Ergebnisse der Potenzialberechnungen
- § Vorstellung der Ergebnisse der SWOT-Analyse und allgemeiner Handlungsempfehlungen für das Gebiet von Stadt und Landkreis Bamberg
- § Vorstellung gemeindebezogener Handlungsempfehlungen

3.2.7 Planung und Durchführung einer Abschlussveranstaltung

Am 18.05.2010 wurden alle Akteure aus den Gemeinden sowie Vertreter aus Politik und Wirtschaft aus Stadt und Landkreis Bamberg zu einer Abschlussveranstaltung im Spiegelsaal der Harmonie des ETA-Hofmann Theaters in Bam-

berg eingeladen. Ziel der Abschlussveranstaltung war es, einem breiten Kreis von Interessenten die Ergebnisse der Potenzialanalyse vorzustellen. Im Rahmen der Abschlussveranstaltung wurde weiterhin der Abschlussbericht an den Auftraggeber übergeben. Die Vertreter der Gemeinden erhielten ihre jeweiligen Gemeindestammdatenblätter sowie alle relevanten Ergebniskarten zu Bestand, Potenzialen und Eignungen für die untersuchten Energiearten per E-Mail zugesandt.

Die organisatorische Vorbereitung der Veranstaltung (Versendung der Einladungen, Erfassung der Teilnehmer, Raumanmietung, Technik und Empfang) erfolgte zentral durch die Stadt Bamberg. Die Gestaltung der Veranstaltungunterlagen (Namensschilder, Tischkarten, Agenda, Teilnehmerliste) wurde von Fraunhofer UMSICHT in enger Abstimmung mit dem Auftraggeber durchgeführt.

Für die Veranstaltung war folgende Agenda geplant:

- § Begrüßung und Einführung
Dr. Günther Denzler, Landrat des Landkreises Bamberg
Andreas Starke, Oberbürgermeister Stadt Bamberg
- § Vorstellung der Ergebnisse der Potenzialanalyse (Fraunhofer UMSICHT)
Gesamtüberblick über das Projekt (Dr.-Ing. Hartmut Pflaum)
Potenziale für erneuerbare Energien (Boris Dresen M.A.)
Handlungsempfehlungen (Dr. Sylke Palitzsch)
- § Übergabe der Abschlussberichte
- § Diskussion
- § Stehimbiss

3.3 Ist-Analyse

Für die computergestützte Datenanalyse mittels eines Geoinformationssystems (GIS) war es notwendig, die im Datenscreening erhobenen Daten gleichförmig in eine tabellarische Organisationsform zu überführen. Hierfür wurde eine Datenmatrix in Form von Excel®-Sheets (Datenstammlblätter) erarbeitet. Für jede Gemeinde/Stadt wurde ein eigenes Datenstammlblatt eröffnet und mit den erhobenen Daten versehen. Die Datenstammlblätter bestehen jeweils aus vier gleich aufgebauten Tabellenblättern. Sie beinhalten nachfolgend aufgeführte Themenbereiche:

- § Allgemeine Angaben
- § Energieverbrauch
- § Energiequellen Bestand

§ Energiequellen Potenziale

Die Daten der Datenmatrix wurden für Berechnungen innerhalb der Matrix verknüpft und an ein GIS außerhalb der Matrix angebunden. Auf diese Weise lassen sich Änderungen innerhalb des Datenbestandes unmittelbar auf die verknüpften, durch Berechnung weitergeführten sowie an das GIS angebundenen Daten nachverfolgen bzw. anpassen. Eine einfache Fortschreibbarkeit der Daten wurde durch die nicht proprietäre⁹ Ablage der Daten in Tabellenform gewährleistet. Die Bearbeitung erfolgte mit Microsoft® Excel®, eine weitere Bearbeitung ist aber auch mit Open-Source Office-Anwendungen, wie z. B. Open-Office.org, problemlos möglich.

3.3.1 Vorgehensweise bei der Ermittlung der allgemeinen Angaben

Auf der ersten Seite des Datenstammblasses befinden sich die allgemeinen Angaben zu der jeweils untersuchten Gemeinde/Stadt. Diese Daten dienen der allgemeinen Übersicht über den untersuchten Raum und als Datenhintergrund für spätere Berechnungen. Beispielsweise wird die gesamte Wohnfläche für die Ermittlung des Wärmeverbrauchs benötigt. Enthaltene Daten sind:

- § Administrative Daten
- § Einwohner und Einwohnerentwicklung
- § Flächendaten
- § Landwirtschaftliche Bodennutzung
- § Forstwirtschaftliche Bodennutzung
- § Viehzahlen
- § Wohnsituation
- § Ausgewählte Liegenschaften
- § Politische Daten (alle [Statistik kommunal-2008])
- § Kurzbeschreibung der Gemeinde (auf Basis einer Internetrecherche)
- § Gemeindewappen
- § Geografische Lage im Raum

Für die Gemeindebeschreibungen wurden die Internetpräsenzen der Gemeinden genutzt. Diese Beschreibungen geben eine Übersicht über die Lage im Raum, besondere und infrastrukturelle Gegebenheiten sowie über wirtschaftliche und naturräumliche Besonderheiten.

⁹ Proprietäre Software oder Dateiformate beschreibt Software oder Dateiformate, die »unfrei« sind und z. B. durch Urheberrechte geschützt sind oder nur auf einem bestimmten System verwendbar sind.

3.3.2 Vorgehensweise bei der Ermittlung der Grundlagendaten und Ermittlung des Energieverbrauchs

Die Ermittlung der Grundlagendaten für die Ermittlung des Energieverbrauchs der Gemeinden und Städte in Stadt und Landkreis Bamberg wurde in verschiedene Arbeitsschritte untergliedert:

- § Anschreiben der kommunalen Vertreter und Abfrage der Energieverbräuche in kommunalen Liegenschaften
- § Anschreiben der lokalen und überregionalen Energieversorger und Netzbetreiber und Abfrage der Anzahl der Anlagen und Netzabsatzmengen (Strom in kWh und Erdgas in kWh) für Stadt und Landkreis Bamberg
- § Erfassung der Anzahl der Kraftfahrzeuge in Stadt und Landkreis Bamberg, getrennt nach Kraftfahrzeugart und Kraftstoffart
- § Abfrage bei Flughäfen, Schifffahrtsunternehmen und der Deutschen Bahn AG zu Kraftstoffverbräuchen
- § Erfassung landkreisbezogener statistischer Daten (Einwohnerzahlen, Wohnfläche usw.) sowie allgemeiner statistischer Daten (Verbrauchswerte u. a.)
- § Ergänzung fehlender Daten bzw. Bereinigung mangelhafter Daten anhand statistischer Werte, Literaturdaten, eigener Berechnungen und einschlägiger Normen
- § Ermittlung des CO₂-Ausstoßes anhand der erhobenen Werte und Umrechnungsfaktoren des Öko-Instituts [Öko-Institut-2007], ifeu-Instituts [ifeu-2009] und des Umweltbundesamtes [UBA-2010].

Die erhobenen Grundlagendaten wurden in der Datenmatrix in verschiedene Themenbereiche untergliedert, umgerechnet und abschließend zusammengefasst. Die Themenbereiche sind:

- § Straßenverkehr (Diesel, Benzin [l/a], Erdgas [kg/a])
- § überregionaler Verkehr (Diesel, Flugbenzin [l/a], Strom [MWh/a])
- § Stromverbrauch (MWh/a)
- § Wärmeverbrauch (MWh/a)
- § CO₂-Ausstoß (t/a)
- § Zusammenfassung Wärme, Strom (MWh/a) und Kraftstoff (l/a, kg/a)

Die Ermittlung des Energieverbrauchs des Straßen- und überregionalen Verkehrs wird im Kapitel 3.3.3 aufgeführt, die Ermittlung des CO₂-Ausstoßes wird ab Kapitel 3.4 beschrieben.

Stromverbrauch
der Städte und
Gemeinden

Der aktuelle Stromverbrauch der Gemeinden und Städte wurde vom überregionalen Netzversorger (E.ON Bayern) zur Verfügung gestellt [E.ON-2009c]. Er wurde ergänzt durch die Verbrauchsdaten des regional ansässigen Stromversorgers (Stadtwerke Bamberg, STWB). Die STWB bedienen primär den Strommarkt der Städte Bamberg und Hallstadt. Die E.ON stellte die Daten der Netzabsatzmengen Strom für das Kalenderjahr 2007 zur Verfügung. Diese wurden differenziert in jährlich und monatlich abgerechnete Anlagen der Gemeinden und Gesamtverbrauch. Die Anlagen der Gemeinden wurden von der Gesamtabsatzmenge subtrahiert. Das Ergebnis repräsentiert den Stromverbrauch der Haushalte, der Landwirtschaft und der Industrie. Die Netzdaten lassen sich in diesem Bereich nicht weiter differenzieren. Zur Ermittlung der Verbrauchsdaten der Industrie- und Gewerbebetriebe kann bei Bedarf eine Befragung mittels Fragebögen durchgeführt werden. Die Stadt Bamberg veröffentlicht ihre Daten zum Stromverbrauch jährlich in den »Bamberger Zahlen« [Stadt Bamberg-2009]. In dieser Statistik finden sich die Verbrauchsdaten aufgeschlüsselt in die Bereiche Haushalte, Industrie/Gewerbe, US-Streitkräfte, Landwirtschaft und Straßenbeleuchtung. Aus diesem Grund wurde das Datenstammbblatt der Stadt Bamberg im Bereich Industrie und Gewerbe um die Position »US-Streitkräfte« erweitert und ist als das genaueste anzusehen.

Der Bereich Wärmeverbrauch wurde in den Datenstammbblättern in die Sektoren Haushalt/Landwirtschaft, Industrie/Gewerbe, kommunale Liegenschaften und Fernwärme untergliedert. Hauptenergieträger für die Wärmeerzeugung sind Erdgas, Öl, Strom, Fernwärme und Holzhackschnitzel. Die Verbräuche der unterschiedlichen Energieträger werden in MWh/a angegeben.

Wärmeverbrauch
der Städte und
Gemeinden

Der Wärmeverbrauch der Städte und Gemeinden wurde nach Angaben der Gemeindevertreter sowie der Netzenturen erfasst. In Gemeinden, in denen keine Daten erhoben werden konnten, weil keine Daten bereitgestellt werden konnten, wurde der temperaturbereinigte Energiebedarf mittels auf die Wohnfläche bezogener Kennwerte ermittelt. Hierzu wurde der Energiebedarf je Wohnfläche [UGR-2008] in kWh/m² mit der tatsächlich vorhandenen Wohnfläche [Statistik kommunal-2008] berechnet und die bekannten Verbrauchswerte [E.ON-2009c] abgezogen.

$$Q_{\text{Verbrauch}} \text{ [kWh / a]} = 161,8 \text{ [kWh / (a * m}^2\text{)] * A [m}^2\text{]} - Q_{\text{bekannt}} \text{ [kWh / a]} \quad (\text{Gl. 3.1})$$

$Q_{\text{Verbrauch}}$ durchschnittlicher Verbrauch der Städte und Gemeinden

Q_{bekannt} bekannte Verbrauchswerte der Städte und Gemeinden

A tatsächlich vorhandene Wohnfläche

Tabelle 3-1: Wohnfläche und Energiebedarf für Raumwärme nach Haushaltsgrößenklassen (gekürzt) [UGR-2008]

Merkmale	Einheit	2005	2006
Bevölkerung in Haushalten	1 000	81 869	81 772
Haushalte	1 000	38 697	38 888
1 Personen-Haushalte	%	37,5	37,9
2-Personen-Haushalte	%	33,8	34,1
3-und-mehr-Personen-Haushalte	%	28,7	28,0
Energie für Raumwärme je Haushaltsmitglied	kWh	6 530	6 399
1-Personen-Haushalte	kWh	10 468	10 100
2-Personen-Haushalte	kWh	7 369	7 123

Die Fernwärmeversorgung von Stadtteilen in Bamberg und Hallstadt erfolgt durch die Fernwärme Bamberg GmbH; die notwendige Wärme wird im Müllheizkraftwerk (MHKW) Bamberg erzeugt.

Die von zentralen Energieversorgern übermittelten Verbräuche (Gas und Strom) sowie die von den Kommunen erhobenen Verbräuche aller Energieträger können als sehr präzise angesehen werden, weil sie zentral von den Energieversorgern (E.ON-Bayern, Stadtwerke Bamberg) erfasst werden, während die dezentral beschafften fossilen (Öl, Kohle) und regenerativen (Holzhackschnitzel, Pellets usw.) Energieverbräuche aufgrund einer unvollständigen Datenlage mit Unsicherheiten behaftet sind. Sie wurden unter Zuhilfenahme von Mittelwerten errechnet (s. o.). Lediglich die Stadt Bamberg hat in ihrer Veröffentlichung, den »Bamberger Zahlen«, eine Differenzierung der Verbräuche in Haushalte und Industrien und Gewerbe sowie die US-Streitkräfte vorgenommen. Eine Möglichkeit, um Wärmeverbrauchsdaten präzise zu erheben, ist z. B. über die Erhebungen des Kaminkehrerhandwerks und deren Auswertung möglich. Eine solche Erhebung ist allerdings mit einem erheblichen Aufwand verbunden, da die Daten nicht digital, sondern lediglich von jedem Haushalt als Ausdrucke vorliegen. Von der Digitalisierung einiger tausend Bescheinigungen wurde aufgrund des damit verbundenen Zeit- und Kostenaufwands abgesehen. Außerdem decken sich die Kehrbezirke nicht mit den administrativen Grenzen, die in dieser Studie als räumliche Abgrenzung dienen.

3.3.3 Vorgehensweise bei der Datenermittlung des Energieverbrauchs im Verkehrsbereich

Die Daten für die Bereiche Straßenverkehr und den überregionalen Verkehr entstammen unterschiedlichen Quellen und wurden mittels statistischer Daten ergänzt bzw. berechnet. Für die Datenermittlung wurden folgende Quellen herangezogen:

§ Kfz-Bestanzahlen	Landratsamt/Zulassungsstelle Bamberg
§ Schifffahrt	Personenschifffahrt Kropf
§ Schienenverkehr	Deutsche Bahn AG
§ Flugverkehr	Aero-Club Bamberg e. V.
§ Durchschnittsverbräuche	Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung (DIW); Shell PKW-Szenarien bis 2030
§ Fahrleistungen	Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung (DIW)

In der Datenmatrix wurde der Abschnitt Verkehr in die Sektoren Straßenverkehr und überregionaler Verkehr untergliedert. Diese beiden Sektoren werden wie nachfolgend dargestellt weiter untergliedert und nach Kraftstoffsorte unterteilt.

Straßenverkehr:

§ PKW	Benzin Diesel Gas Hybrid
§ LKW	Diesel
§ landwirtschaftliche Kfz	Diesel
§ Busse	Diesel
§ sonstige Kfz	Diesel

Überregionaler Verkehr:

§ Schifffahrt	Diesel
§ Flugverkehr	Jet-A1 Avgas Mogas
§ Schienenverkehr mit Güterverkehr	Diesel Strom

Bei dem Kraftstoff Jet-A1 handelt es sich um Kerosin, bei Mogas um handelsübliches SuperPlus Benzin und bei Avgas um einen 100 Oktan-Kraftstoff [Flugplatz Bamberg-2009].

Straßenverkehr

Die gemeindegrenzüberschreitende Anzahl der Fahrzeuge, unterteilt in Fahrzeugart und genutzten Energieträger wurde vom Landratsamt Bamberg zur Verfügung gestellt [LRA Bamberg-2009]. Diese Daten bilden die Basis für die Ermittlung des Energieverbrauchs des Sektors Verkehr. Für die Ermittlung der Kraftstoffverbräuche wurde folgender Rechenweg verwendet:

$$\text{Kraftstoffverbrauch}[l/a] = \sum_{\text{Fahrzeugart}} \left(\frac{\bar{x}Fl.}{100} * \bar{x}V \right) \quad (\text{Gl. 3.2})$$

$\bar{x}Fl.$ = durchschnittliche Fahrleistung / (Fahrzeug * a)

$\bar{x}V$ = durchschnittlicher Verbrauch Liter / 100 km

Anschließend wurden die Fahrzeuge nach ihrer Energiequelle geordnet summiert und zusammengefasst dargestellt. Die Ermittlung der durchschnittlichen Verbräuche und Fahrleistungen nach Fahrzeugart und verwendeter Energiequelle findet sich aufgeschlüsselt in den Datenstammblätern wieder [Landratsamt Bamberg-2009], [DIW-2008], [Stadt Bamberg-2009], [DIW-2004], [Shell-2009].

ÖPNV

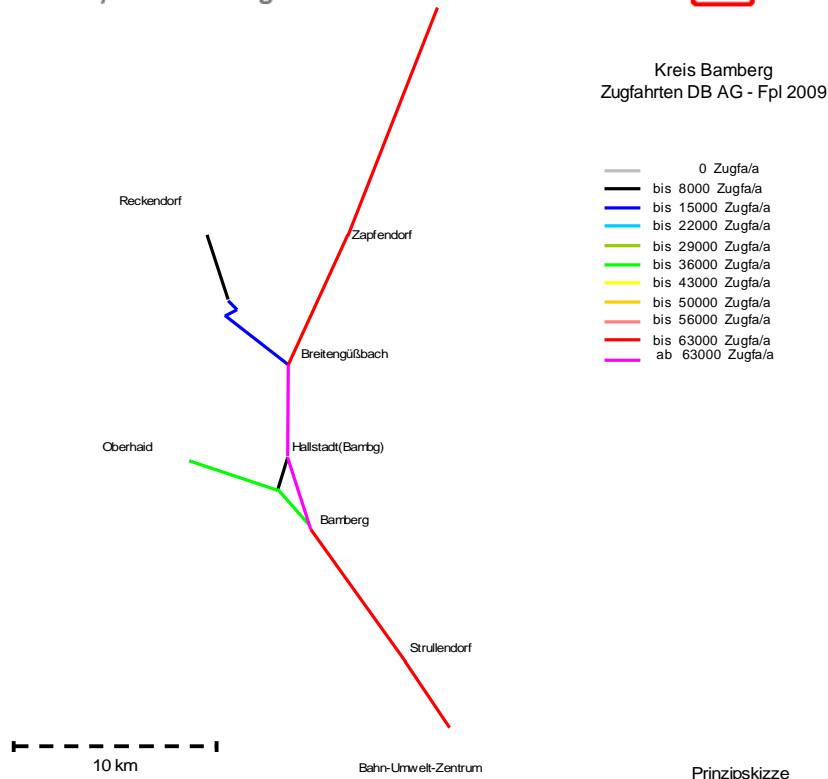
Für den öffentlichen Personennahverkehr (ÖPNV) liegen die Daten der Städtischen Verkehrsbetriebe der Stadt Bamberg vor.

Schienenverkehr

Daten zum Verkehrsaufkommen, Energieverbrauch und CO₂-Ausstoß des Schienenverkehrs wurde vom DB Umweltzentrum Berlin zur Verfügung gestellt. Das Aufkommen des Schienengüterverkehrs wurde dabei nicht getrennt vom Personenverkehr betrachtet. Die Daten der Deutschen Bahn weisen Bahnhöfe für Güter oder Personenverkehr in sieben Gemeinden des Landkreises aus. In der Stadt Bamberg befinden sich außerdem der Bahnhof Bamberg und die Haltestelle Höflein. Der Bahnhof Bamberg stellt das Zentrum des Personenverkehrs im Landkreis Bamberg dar und ist der einzige Bahnhof mit Fernverkehrsanschluss. Er ist ein Regionalknoten mit möglichem Fernverkehrshalt (Bahnhofskategorie 3) vgl. [DB-2009b]. Der Stromverbrauch des Fernverkehrs wird auf die durchfahrenen Gemeinden verrechnet [DB-2009a]. Es ist geplant, ab dem Jahr 2011/2012 die Strecke Bamberg–Coburg (elektrisch mit etwa 1,7 Mio. Zug-km) privat zu vergeben [Schienennahverkehrsplan-2005].

Bild 3-2:
Streckenschema
und Auslastungs-
schema des
Schienennetzes
im Landkreis
Bamberg [DB-
2009a]

Mobility Networks Logistics



Schiffsverkehr

Der Schiffsverkehr auf den das Untersuchungsgebiet querenden Wasserstraßen lässt sich in Bezug auf den Binnenfrachtverkehr nicht bilanzieren, weil die Schiffe Bamberg nur passieren oder im örtlichen Hafen ihre Fracht umschlagen. Im Hafen Bamberg finden keine Betankungen statt, auf deren Grundlage eine Emission errechenbar wäre und eine Aufnahme des durchschnittlichen Schiffsverkehrs auf den Wasserstraßen lag zum Zeitpunkt der Berichtserstellung nicht vor. Die CO₂-Emissionen der Binnenschiffe werden am Ort der Betankung bilanziert. Lediglich die Daten der Personenschiffahrt Kropf liegen vor und werden der Bilanz beim Dieselkraftstoff zugeschlagen [Kropf-2009].

Flugverkehr

Im Untersuchungsgebiet Bamberg befindet sich der Flugplatz Bamberg Breitenau (Bamberg US Airfield), ein Flugplatz der US-Armee, der aber mittlerweile in erster Linie zivil – vor allem für privaten Sportflugverkehr – genutzt wird.

Tabelle 3-2: Statistischer Jahresbericht zum nichtgewerblichen Luftverkehr auf Flugplätzen [Flugplatz Bamberg-2009]

Flugart	Streckenflug (S) Platzrunde (P)	Insgesamt	Anzahl der Starts				
			Luftfahrzeugklasse				
			Flugzeuge				Hubschrauber
			über 5,7 t	2 t bis 5,7 t	bis 2 t		
					einmotorig	zweimotorig	
A, B, C*	F, I*	E*	G*	H*			
Motorflüge insgesamt	S + P	2 908		68	2 771	28	41
Überführungsflüge	S						
Werkverkehr	S	56		40		12	4
	P	4		1		2	1
Nichtgewerbliche Schulflüge	S	39			39		
	P	1 100			1 100		
Flüge von Staatsluftfahrzeugen	P	1					1
Flugzeugschleppstarts		277			277		
Sonstiger nichtgewerblicher Flugzeugverkehr	S	457		25	384	14	34
	P	974		2	971		1
Abkürzungen der Luftfahrzeugmuster nach Startgewichtsklassen (MTOW):							
E	bis 2 t MTOW einmotorig						
G	bis 2 t MTOW mehrmotorig						
F	über 2 t bis 5,7 t MTOW einmotorig						
I	über 2 t bis 5,7 t MTOW mehrmotorig						
C	über 5,7 t bis 14 t MTOW						
B	über 14 t bis 20 t MTOW						
A	über 20 t MTOW						
H	Hubschrauber						

Der das Untersuchungsgebiet querende überregionale Flugverkehr wird in dieser Bilanz nicht aufgenommen. Die CO₂-Emissionen werden Flughäfen außerhalb des Landkreises Bamberg zugeordnet.

3.3.4 Vorgehensweise bei der Datenermittlung zum Energiequellen-Bestand

Um den Bestand der Energiequellen im Untersuchungsraum zu ermitteln, wurden alle verfügbaren Quellen abgefragt (siehe Kapitel 3.3.2). Der hier abgebildete Bestand der Energiequellen in Stadt und Landkreis Bamberg kann nicht als 100 % vollständig angesehen werden, weil diffuse Energiequellen, wie z. B. die weitverbreitete private Holzfeuerung nicht genau zu erfassen sind. Bei der ersten Rundreise wurde während des Gesprächs in Ebrach vermutet, dass bis zu 50 % der privaten Haushalte über eine private Holzfeuerung verfügen [Schneider-2009]. Des Weiteren sind alle nicht meldepflichtigen und/oder nicht in oder aus öffentlichen Netzen einspeisenden Energiequellen wie z. B. Flüssiggas und Heizöl schwer fassbar. Die erfassten Daten wurden aus folgenden Quellen erhoben:

- § Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle (BAFA) zur Ermittlung der Kollektorenflächen für Solarthermie sowie der Anzahl geförderter Wärmepumpen
- § Anfrage bei den Städten und Gemeinden nach Wärmeverbräuchen der kommunalen Liegenschaften
- § Anschreiben der lokalen und überregionalen Energieversorger und Netzbetreiber und Anfrage nach der Anzahl der Anlagen und Einspeisemengen (Strom in kWh und Erdgas in kWh) für Stadt und Landkreis Bamberg
- § Anfrage beim Landratsamt Bamberg zur Bereitstellung von Daten zu Biogas-, Biomasseanlagen und Blockheizkraftwerken (BHKW)

Die bereitgestellten Daten wurden aufgrund verschiedener Maßeinheiten mittels gängigen Rechenmethoden in die in den Datenstamblättern festgelegten Maßeinheiten umgewandelt. Für Anlagen zur reinen Stromgewinnung konnten die Leistung bzw. die eingespeisten Strommengen aus den EEG-Zahlen der Energieversorger ermittelt werden. Da Anlagen zur Energiegewinnung in verschiedenen Ausfertigungen existieren, wurden Referenzanlagen erstellt, mit denen die Energiegewinnung berechnet wurde. Dies betrifft insbesondere Anlagen zur gekoppelten Strom- und Wärmeerzeugung. Hierfür wurden folgende Anlagendimensionierungen definiert:

Biogasanlagen

- § 8 000 Betriebsstunden/a für Anlagen zur Wärme- und Stromerzeugung
- § Elektrischer Wirkungsgrad bei Anlagen zur Stromerzeugung: 37,5 %

- § Thermischer Wirkungsgrad bei Anlagen zur Stromerzeugung: 47,5 %
- § Inputsubstrate: Wirtschaftsdünger (von Rind und Schwein) und Silagen

Holz-Heizkraftwerk

- § Elektrischer Wirkungsgrad bei Anlagen zur Wärmeerzeugung: 15 %
- § Thermischer Wirkungsgrad bei Anlagen zur Wärmeerzeugung: 70 %
- § Inputsubstrate: Holz aus Kurzumtriebsplantagen und Waldholz

Holz-Einzelfeuerung (Haushalt)

- § Thermischer Wirkungsgrad bei Anlagen zur Wärmeerzeugung: 80 %
- § Inputsubstrate: Holz aus Kurzumtriebsplantagen und Waldholz

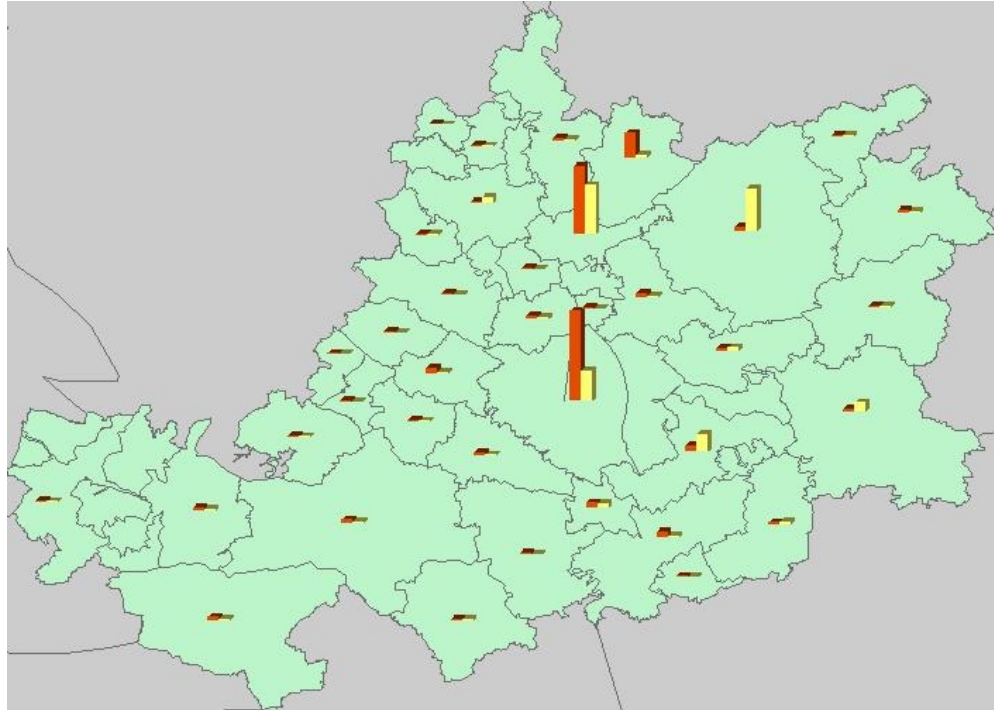
3.3.5 Visualisierung der Daten

Die erhobenen und berechneten Daten werden in zwei Formen dargestellt, visualisiert und erläutert. Die erste Form ist die Darstellung innerhalb einer Datenmatrix (siehe Kapitel 3.3). Weil solch eine Datenmatrix für einen ungeübten Leser z. T. schwer verständlich sein kann, werden die Daten mittels eines GIS (Geoinformationssystem) in eine leichtverständliche und übersichtliche Kartenform – nach Themengebieten sortiert – gebracht. Die Werte, die in den Karten dargestellt werden, sind durch Balkendiagramme oder in der einfacheren Form, als Choroplethenkarten¹⁰ dargestellt. Bereiche, für die keine Daten oder Werte vorliegen, werden grau gekennzeichnet. Dies betrifft insbesondere die gemeindefreien Gebiete im Landkreis Bamberg. Diese gemeindefreien Gebiete sind unbewohnte, abgegrenzte Gebiete, die keiner politischen Gemeinde angehören. Sie sind Eigentum der Bundesrepublik Deutschland oder des Bundeslandes, in dem sie sich befinden und werden vom Landratsamt verwaltet.

Bei der Visualisierung der Daten, besonders im Bereich der Verbräuche, Bestände und Potenziale mussten die vorliegenden Daten teilweise überhöht werden, damit bei besonders großen Differenzen zwischen den Gemeinden eine gute Darstellbarkeit gewährleistet werden konnte (siehe Bild 3-3). Diese Überhöhungen sind in den Karten explizit beschrieben, die »Klarden« sind vermerkt.

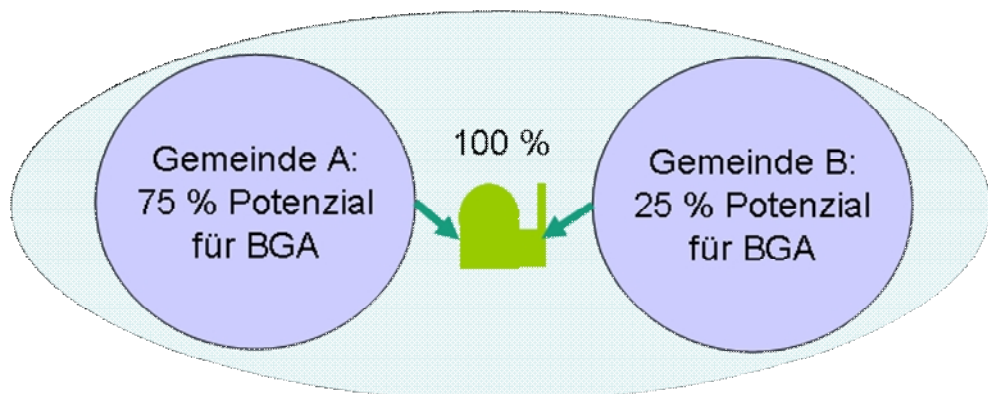
¹⁰ Choroplethenkarten nutzen Farben oder Schraffuren zur Darstellung konkreter, quantitativer Werte in einer Karte. Die dargestellten Werte haben einen Bezug auf bestimmte Erhebungs- oder Ermittlungsflächen.

Bild 3-3:
Beispiel einer Darstellung in einer Karte mit stark unterschiedlichen Werten ohne Überhöhung



Die Karten wurden basierend auf den politischen Grenzen (Gemeinde- und Landkreisgrenzen) erstellt. Dieses Vorgehen erlaubt eine Evaluierung der Daten, um den potenziellen (Selbst-)Versorgungsgrad der einzelnen Gemeinden bezüglich ihrer individuellen Möglichkeiten für eine nachhaltige Versorgung auf einer quantitativen Basis zu beurteilen. Zusätzlich werden durch diese Darstellungen zum einen Vergleichbarkeiten zwischen den Gemeinden gegeben, aber auch Synergien und mögliche Netzwerksansätze werden deutlich.

Bild 3-4:
Beispiel für Synergien bei aneinander angrenzenden Gemeinden



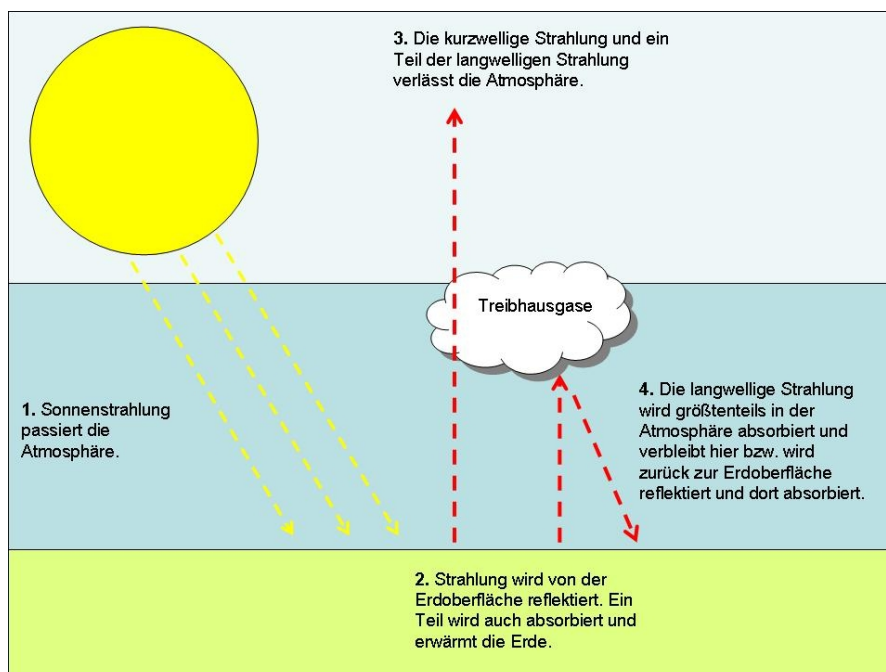
3.4 CO₂-Emissionen

3.4.1 Der Treibhauseffekt

Kohlendioxid ist ein farb- und geruchloses Gas, in der Luft ist es mit einem Anteil von ca. 0,04 Vol-% enthalten. Chemisch entsteht Kohlendioxid aus der Reaktion von Kohlenstoff und Sauerstoff, so z. B. bei der Verbrennung von kohlenstoffhaltigen Substanzen und ausreichendem Sauerstoffangebot in der Umgebung oder als Produkt der Zellatmung von Lebewesen. Gleichzeitig entnehmen Pflanzen und manche Bakterien Kohlendioxid aus der Luft auf und wandeln es in Biomasse um [Römpp-1999].

Kohlendioxid als energetisch stabilste C-Verbindung ist eine Schlüsselverbindung im Kohlenstoffkreislauf der Natur. In Bild 3-5 ist schematisch dargestellt, wie Sonneneinstrahlung von der Erdoberfläche reflektiert wird, ein Teil der Strahlung wird auch absorbiert. Kohlendioxid gehört zu den sogenannten Treibhausgasen, d. h. langwellige Strahlung aus der Sonne wird in der Atmosphäre absorbiert und verbleibt dort. Dieser sogenannte Treibhauseffekt ist ein natürlicher Prozess, welcher jedoch vom Menschen besonders seit Beginn der Industrialisierung verstärkt wird. Folge ist ein globaler Temperaturanstieg.

Bild 3-5:
Ablauf des Treibhauseffekts – schematisch
[eigene Darstellung]



3.4.2 Kohlendioxid als Treibhausgas

In Tabelle 3-3 sind die relevanten Treibhausgase und ihre wichtigsten Kennwerte dargestellt.

Tabelle 3-3: Anthropogen verursachte oder verstärkt wirkende Treibhausgase und ihre wichtigsten Kennwerte [Strogies-2007], [Profft-2007], [Sorokhtin-2007]

Treibhausgas	Hauptquelle der Emissionen	Konzentration in der Atmosphäre		Verweildauer in der Atmosphäre	GWP ¹¹	Anthropogene Emissionen in CO ₂ e (Gg) (BRD 2005)	Anteil am Treibhauseffekt	
		1750	2005				Natürlich ¹²	Anthropogen
CO ₂	Verbrennung fossiler Energieträger (Kraftwerke, Verkehr, etc.)	280 ppm	379 ± 0,65 ppm	ca. 120 Jahre	1	836 446	21 %	ca. 60 %
CH ₄	Abbau organischer Substanzen (anaerob), Landwirtschaft	700 ppb	1,774 ± 1,8 ppb	9 – 15 Jahre	21	47 632	2 %	ca. 15 %
N ₂ O	Landwirtschaft, Verbrennungsprozesse, Industrie, Verkehr	270 ppb	319 ± 0,12 ppb	120 Jahre	310	66 501	7 %	ca. 5 %
PFKW / FKW	Chemieproduktion, Treibgas, Einsatz als Kühl- oder Feuerlöschmittel	CFC-11: 0 HCFC-22: 0	CFCs-11 ¹³ : 251 ± 0,36 ppt HCFC-22 ¹⁴ : 169 ± 1,0 ppt	> 1 000 Jahre 1,5 – 264 Jahre	Bis 20 000	HFCs: 9 362 PFCs: 718	-	15 %
SF ₆	Einsatz als Isolations-, Ätz- oder Füllgas; Herstellung von Magnesium		5,6 ± 0,038 ppt	20 – 3 000 Jahre	23 900	4 740		< 5 %

¹¹ Das relative Treibhauspotenzial (GWP = Global Warming Potential bzw. CO₂e = CO₂-Äquivalent) gibt an, wie viel eine festgelegte Menge eines Treibhausgases zum Treibhauseffekt beiträgt. Es wird die mittlere Erdwärmungswirkung über einen Zeitraum von 100 Jahren betrachtet. Als Vergleichswert wird in der Berechnung Kohlendioxid zugrunde gelegt, vgl. [UBA; 2006], [BMU; 2007]

¹² Sonstige: 3 %

¹³ Wegen der Vielzahl an PFKWs und FKWs werden hier nur beispielhaft die beiden relevantesten aufgeführt.

¹⁴ Wegen der Vielzahl an PFKWs und FKWs werden hier nur beispielhaft die beiden relevantesten aufgeführt.

Treibhausgas	Hauptquelle der Emissionen	Konzentration in der Atmosphäre		Verweildauer in der Atmosphäre	GWP ¹¹	Anthropogene Emissionen in CO ₂ e (Gg) (BRD 2005)	Anteil am Treibhauseffekt	
		1750	2005				Natürlich ¹²	Anthropogen
O ₃	Verkehr (Boden, Luft)	10 ppb	30 – 40 ppb				7 %	< 5 %
H ₂ O	Indirekter Einfluss: Mehr Verdunstung durch höhere Temperatur						60 %	

Der hohe Anteil von CO₂ am anthropogen verursachten Treibhauseffekt wird vor allem durch Verbrennungsprozesse verursacht und gilt deshalb aktuell als eine der größten ökologischen Bedrohungen.

Nach dem vierten Sachstandsbericht des IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) [IPCC-2007] wird mit einer Wahrscheinlichkeit von über 90 % vermutet, dass die menschlichen Emissionen an CO₂, gefolgt von Methan und Lachgas (N₂O), die Hauptursache der Erderwärmung sind. Der ermittelte Trend der vergangenen 50 Jahre zeigt eine Erwärmung um 0,13 °C pro Jahrzehnt, was nahezu doppelt so hoch ist wie in den letzten 100 Jahren. Als Folgen der Erderwärmung nennt der Bericht unter anderem das Schmelzen von Gletschern, das verstärkte Auftreten heftiger Niederschläge, die Verringerung der schneebedeckten Erdoberfläche, den beschleunigten Rückgang des Polareises und einen folgenden Meeresspiegelanstieg. Es werden vier mögliche Szenarien dargestellt, wie sich die Erderwärmung, abhängig von dem Verhalten der Menschheit, bis 2100 entwickeln könnte. So wird im günstigsten Fall mit einer Erwärmung um 1,8 °C und im ungünstigsten Fall um 4,0 °C gerechnet. Für den Anstieg des Meeresspiegels sind mindestens 18-38 und maximal 26-59 cm prognostiziert.

Weiterhin wurde am 30. Oktober 2006 von Nicholas Stern der sogenannte Stern Report veröffentlicht. Es wird vermutet, dass die Konzentration von Treibhausgasen in der Atmosphäre bis 2035 das Doppelte ihres vorindustriellen Niveaus erreicht haben wird. Dies würde einen Durchschnittstemperaturanstieg von mehr als 2 °C zur Folge haben. Der Bericht spricht von einer momentanen Treibhausgaskonzentration von 430 ppm CO₂-Äquivalent (CO_{2e})¹⁵ und von einem Anstieg über 2 ppm pro Jahr. Als anzustrebendes Ziel genannt, die Konzentration zwischen 450 und 550 ppm CO_{2e} zu stabilisieren. Um eine Sta-

¹⁵ Das CO₂-Äquivalent gibt an, wie viel eine festgelegte Menge eines Treibhausgases zum Treibhauseffekt beiträgt. Referenzwert ist der Effekt von Kohlendioxid.

bilisierung zu ermöglichen, ist eine Senkung der jährlichen Emissionen um mehr als 80 % des momentanen Niveaus notwendig.

Abgesehen von der Notwendigkeit zu CO₂-Einsparungen nennt der Bericht aber auch vorteilhafte Entwicklungen, so z. B. das Wachstum neuer Märkte in kohlenstoffarmen Energietechnologien oder anderen kohlenstoffarmen Waren und Dienstleistungen. Im Stern Report wird anhand einer Vielzahl von unterschiedlichen Aspekten und Beweisen geschlussfolgert, dass die Vorteile eines entschiedenen und frühen Handelns die wirtschaftlichen Kosten des Nichthandelns bei Weitem überwiegen.

Das Kyoto-Protokoll wurde 1997 von den Vereinten Nationen mit dem Ziel der Reduzierung der Treibhausgase beschlossen. Hier werden zum ersten Mal konkrete Zielwerte für sechs Treibhausgase gefordert. So ist im Zeitraum von 2008 bis 2012 für die klimarelevanten Gase CO₂, CH₄, N₂O, HFC-x, C_xF_x und SF₆ eine durchschnittliche Reduzierung um 5,2 % gegenüber den Emissionen von 1990 anzustreben (vgl. Tabelle 3-4).

Tabelle 3-4: Entwicklung der Treibhausgasemissionen von 1990 bis 2004 in Mio. t CO_{2e} pro Jahr [NAP-2006]

Treibhausgas	1990	1995	2000	2001	2002	2003 (vorl.)	2004 (vorl.)	Durchschnitt 2000 - 2002	Ziel 2008 - 2012
CO ₂	1 030,2	920,2	886,3	899,3	886,5	892,5	885,9	890,7	851,5
CH ₄	99,8	81,7	64,9	62,1	59,2	56,2	51,4	62,1	Keine Differenzierung
N ₂ O	84,8	77,7	59,6	60,4	59,8	62,4	54,3	59,9	
HFCs	4,4	6,6	6,6	8,0	8,6	8,5	8,8	7,7	
PFCs	2,7	1,7	0,8	0,7	0,8	0,9	0,8	0,8	
SF ₆	4,8	7,2	5,1	4,9	4,2	4,3	4,5	4,7	
Summe Nicht-CO ₂	196,5	174,9	137,0	136,1	132,6	132,3	119,8	135,2	120,5
Insgesamt	1 226,7	1 095,1	1 023,3	1 035,4	1 019,1	1 024,8	1 005,7	1 025,9	972,0

In der 15. Klimakonferenz in Kopenhagen im Dezember 2009 wurden folgende Ergebnisse erzielt [BR-online-2009]:

- § »Die Teilnehmer stimmen darin überein, dass die Erwärmung der Erde auf weniger als zwei Grad begrenzt werden soll. Konkrete Maßnahmen, wie dieses Ziel erreicht werden kann, wurden allerdings nicht beschlossen.
- § Auf eine verbindliche Reduktion der Treibhausgase konnten sich die Teilnehmer nicht einigen. Bis zum 31. Januar 2010 sollen die Staaten nationale Klimaziele für das Jahr 2020 vorlegen. Einzelne Industrieländer haben zwar Ziele formuliert, die aber nicht im Abschlussdokument erwähnt sind.
- § 30 Milliarden US-Dollar bekommen die Entwicklungsländer von den Industrienationen von 2010 bis 2012 für Anpassungen an den Klimawandel. Ab 2020 wollen die reichen Nationen pro Jahr 100 Milliarden US-Dollar für ärmere Länder bereitstellen, aber nur, wenn die finanzierten Klimaschutzaktionen »bedeutungsvoll und transparent« sind.
- § Die Schwellen- und Entwicklungsländer müssen internationale Beratungen und Analysen zu ihren Klimaschutzaktivitäten zulassen. Aber – auf speziellen Wunsch Chinas – basierend auf »nationalen Prioritäten«.
- § Die Staatengemeinschaft ist sich einig, dass man den Wald schützen und dafür Geld bereitstellen müsse. Wie dieser Waldschutz finanziert werden soll, blieb offen.
- § Alle Vereinbarungen wurden von den beteiligten Staaten »zur Kenntnis genommen«, aber nicht beschlossen. Ein Verweis auf die Ausarbeitung eines völkerrechtlich verbindlichen Abkommens 2010 wurde kurz vor Schluss wieder gestrichen.«

Die Vereinbarungen der Konferenz blieben weit hinter den Erwartungen der internationalen Staatengemeinde zurück, die Ergebnisse wurden von UN-Generalsekretär Ban Ki Moon zusammengefasst: »Es mag nicht alles sein, was sich alle erhofft hatten. Aber es ist ein Anfang, ein wichtiger Anfang« [EurActiv-2009a].

3.4.3 Die Rolle der EU und der Bundesrepublik im Klimaschutz

Die EU hat sich zum Ziel gesetzt, den Ausstoß von Treibhausgasen bis 2020 um 20 % zu senken und den Anteil erneuerbarer Energien und die Energieeffizienz um 20 % zu erhöhen. Bis 2012 soll im Rahmen der Vereinbarungen des Kyoto-Protokolls der Kohlendioxid ausstoß um 8 % gegenüber 1990 gesenkt werden [EurActive-2009].

Außerdem wurden im Kyoto-Protokoll die Grundlagen für den Handel mit Emissionsrechten gelegt. Dieser ermöglicht den Transfer von Emissionsrechten zwischen Ländern mit Emissionszielen. Grundgedanke ist hierbei, dass dieser

Handel zunächst auf staatlicher Ebene stattfindet und daraufhin für jedes Unternehmen Emissionsgrenzen festgelegt werden. Für die Menge der Emissionen unterhalb dieser Grenze wird jeweils eine bestimmte Menge an handelbaren Zertifikaten ausgestellt. Diese Menge wird im Laufe der Zeit verringert, um die Emissionen zu reduzieren. Letztendlich ist es somit einem Unternehmen möglich, über seine festgelegten Grenzen zu emittieren, wenn es die entsprechenden Rechte erwirbt. Ein umweltschonend produzierendes Unternehmen kann seine überschüssigen Zertifikate somit verkaufen.

Deutschland beeinflusste den internationalen Klimaschutzprozess bislang maßgeblich und verpflichtete sich im Rahmen der EU-Lastenteilung zum Kyoto-Protokoll zu einer THG-Emissionsminderung in Höhe von 21 %.

Das Bundesministerium für Umwelt fordert in seiner Veröffentlichung zum Klimaschutz in Deutschland [Erdmenger-2007], dass Deutschland eine Vorreiterrolle im Klimaschutz spielt und bis zum Jahr 2020 eine 40-%ige Minderung seiner Emissionen gegenüber 1990 erreichen soll. Die hierfür festgelegten Zwischenziele bis 2012 sind Tabelle 3-4 zu entnehmen.

In Deutschland wird die Emissionshandelsrichtlinie seit dem Jahr 2004 durch das Treibhausgas-Emissionshandelsgesetz (TEHG) umgesetzt. Dieses regelt die grundlegenden Strukturen der nationalen Umsetzung des Emissionshandels wie Verwaltung, Genehmigung, Handel, Sanktionen.

Die Mengen der Zuteilungen von Emissionsberechtigungen werden über den Nationalen Allokationsplan (NnAP), das Zuteilungsgesetz (ZuG) und die Zuteilungsverordnung (ZuV) geregelt.

Mit dem im August 2007 auf der Kabinettsklausur in Meseberg beschlossenen Eckpunktepapier für ein integriertes Energie- und Klimaprogramm wird Deutschland dem Ziel, bis zum Jahr 2020 den Ausstoß von Treibhausgasemissionen gegenüber dem Basisjahr 1990 um 40 % zu reduzieren, sehr nahe kommen: Nach unabhängigen Untersuchungen werden 35 % erreicht. Das Programm enthält die folgenden wesentlichen Ziele für das Jahr 2020:

- § die Reduktion der deutschen Treibhausgasemissionen um 40 % gegenüber 1990 als Beitrag zur globalen Emissionsminderung;
- § der Anteil erneuerbarer Energien an der Stromerzeugung soll bei mindestens 30 % liegen;
- § der Anteil erneuerbarer Energien an der Wärmeerzeugung soll 14 % betragen;
- § den Ausbau von Biokraftstoffen ohne die Gefährdung von Ökosystemen und Ernährungssicherheit.

Bedingt durch den Emissionshandel wird der Ausstoß von Treibhausgasen zum Bestandteil der betriebswirtschaftlichen Kostenrechnung; so dass ein Anreiz besteht, effiziente Technologien und CO₂-arme Brennstoffe verstärkt zu nutzen. Während in der ersten Handelsperiode den Unternehmen alle Zertifikate noch kostenlos zur Verfügung gestellt wurden, wurden in der seit 2008 laufenden zweiten Handelsperiode bereits 10 % der Zertifikate versteigert. In der dritten Handelsperiode ab 2013 sollen die Zertifikate für den Strombereich vollständig und für die Industrie teilweise versteigert werden.

Aus dem Erlös der Zertifikate aus dem Emissionshandel stehen dem Bundesumweltministerium seit 2008 zusätzliche Haushaltsmittel zur Verfügung, die für die Umsetzung der Klimaschutzinitiative eingesetzt werden. Ziel der Klimaschutzinitiative ist es, die Erschließung vorhandener Potenziale zur Emissionsminderung und die Unterstützung innovativer Modellprojekte zu unterstützen. Es werden konkrete Klimaschutzmaßnahmen zur Steigerung der Energieeffizienz und der verstärkten Nutzung erneuerbarer Energien gefördert.

Für den Landkreis Bamberg bedeutet dies konkret, dass hier Fördergelder zur Verfügung stehen, die für Modellprojekte genutzt werden könnten¹⁶. Konkrete Fördermöglichkeiten sind daher in Kapitel 4.7 zusammengestellt.

Ein wichtiger Beitrag zur Versorgungssicherheit und zur Erreichung der Klimaschutzziele ist die Steigerung der Energieeffizienz. Ziel ist es, die Energieproduktivität bis 2020 gegenüber 1990 zu verdoppeln. Dazu ist eine Erhöhung der Energieeffizienz über die gesamte Energiekette notwendig. Für die Gemeinden im Landkreis Bamberg sind hier vor allem effiziente Gebäudeheizung und -lüftung, Gebäudeisolierung und effiziente Beleuchtungssysteme von Bedeutung.

Ca. 20 % an der bundesweit für den Zeitraum 1990-2005 angestrebten CO₂-Reduktion von jährlich 230 Mio. t wurden allein im Abfallsektor durch das Verbot der Deponierung unbehandelter Abfälle erreicht. Konkret wird dies durch Maßnahmen wie Einsparung von Roh- und Brennstoffen durch die stoffliche und energetische Verwertung, die Bioabfallverwertung, die Altpapierverwertung sowie die Verwertung von Metallschrott und Verpackungen und die Müllverbrennung erbracht.

Im Jahr 2007 wurden durch die Landwirtschaft mit 51,5 Mio. t CO₂-Äquivalenten knapp 5,5 % der deutschen Treibhausgasemissionen erzeugt. Wesentliche Emissionsquellen sind Lachgas (N₂O), welches durch die Bewirtschaftung landwirtschaftlicher Böden entsteht sowie Methan (CH₄) aus der Fütterung und Verdauung bei Nutztieren und der Düngewirtschaft.

¹⁶ Die Klimaschutzinitiative wurde im Frühjahr 2010 überraschend als Förderinstrument ausgesetzt. Möglicherweise wird die Förderung – abhängig von der Haushaltslage des Bundes – fortgesetzt.

Minderungspotenziale im landwirtschaftlichen Produktionsprozess sind zum Beispiel die Änderung der Futterzusammensetzung bei Wiederkäuern, effizienter Einsatz von Betriebsmitteln, Extensivierung der Landwirtschaft, Nutzung von CO₂-Senken, Nutzung von Biogas und Biokraftstoffen [Thüringen-2009].

3.4.4 Berechnungsgrundlagen für CO₂-Emissionen

Für die Berechnung der CO₂-Emissionen aus dem Wärme-, Strom und Kraftstoffverbrauch in Stadt und Landkreis Bamberg wurden Emissionsfaktoren aus drei Studien herangezogen:

- § Strom: 0,605 kg CO₂/kWhel [UBA-2010], 5-Jahresdurchschnitt der Jahre 2003-2007
- § Wärme: 0,340 kg CO₂/kWhth, [ifeu-2009]
- § Kraftstoffe: Diesel 3,125 CO₂/l, Benzin 2,975 CO₂/l, Erdgas 2,852 CO₂/kg, Kerosin 2,52 CO₂/l, [Öko-Institut-2007]

Diese Emissionsfaktoren werden mit dem tatsächlichen Verbrauch eines Kalenderjahres der jeweiligen Energieformen innerhalb einer Gemeinde multipliziert. Das Ergebnis liegt somit gemeindespezifisch vor und ist auch in den Gemeindestammdaten enthalten.

Wie aus den Zahlen zu ersehen ist, wurde der deutsche Strom- und Wärmemix den Berechnungen zugrunde gelegt. Es wurden keine speziellen Zahlen für die »physische« Lieferung der Energieversorgung herangezogen, weil:

- § die Energieversorgung – speziell die Stromversorgung – in Stadt und Landkreis Bamberg nicht von der gesamtdeutschen Energieversorgung zu trennen ist. Das Energiesystem funktioniert ganzjährig und unterbrechungsfrei nur in einem größeren Verbund an verschiedenen Energieerzeugungsstätten,
- § der Bilanzrahmen zur Förderung erneuerbarer Energien Deutschland ist; die Motivation der Förderung erneuerbarer Energien bspw. durch das EEG existiert nur aufgrund der deutschen Ziele zum Klimaschutz; die Nutzung eines »Bamberger Strommixes« würde den Bilanzrahmen verletzen,
- § eine Vergleichbarkeit mit anderen Regionen bzw. Bilanzräumen nicht mehr gegeben wäre,
- § auch die Nutzung der erneuerbaren Energien in Bamberg zu den deutschen Zielen zum Klimaschutz beiträgt, was durch die Förderung der vorliegenden Studie durch das BMU zum Ausdruck kommt.

3.5 Potenzialberechnungen

Bei der Ermittlung der Potenziale wurden folgende Teilaspekte berücksichtigt:

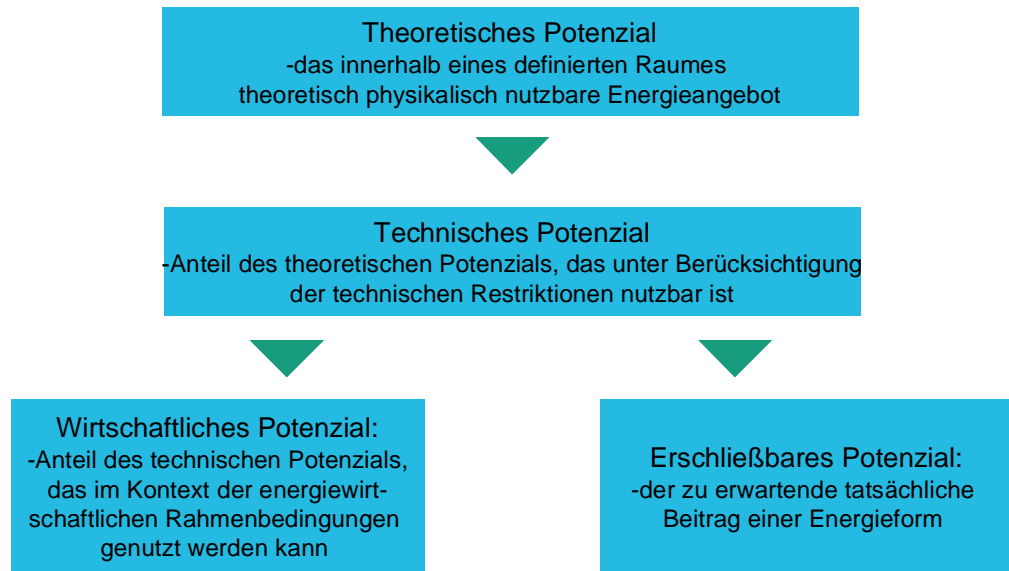
- § Biomasse aus der Landwirtschaft
 - Biogas aus Silomais
 - Biogas aus Gülle
 - Biogas aus Grünschnitt
 - Verbrennung KUP¹⁷
- § Biomasse aus der Forstwirtschaft
 - Einzelfeuerung der Haushalte
 - Nutzung in Heizkraftwerken
- § Biomasse aus der Abfallwirtschaft
 - Biogas aus Biotonne
- § Solarthermie
- § Fotovoltaik
- § oberflächennahe Geothermie
- § Windkraft
- § Wasserkraft
- § MHKW Fernwärme
- § BHKW-Anlagen

Die Definition des Potenzialbegriffs ist nicht einheitlich geregelt, es werden aber vier Potenzialbegriffe grundsätzlich von einander unterschieden. Diese Potenzialbegriffe sind:

- § das theoretische Potenzial
- § das technische Potenzial
- § das wirtschaftliche Potenzial
- § und das erschließbare Potenzial.

¹⁷ KUP – Eine Kurzumtriebsplantage (KUP) ist eine Anpflanzung schnell wachsender Gehölze mit dem Ziel, innerhalb kurzer Umtriebszeiten Holz als nachwachsenden Rohstoff zu produzieren.

Bild 3-6:
Abgrenzung der unterschiedlichen Potenzialbegriffe [vgl. Kaltschmitt-2006]



Das theoretische Potenzial beschreibt das nach den physikalischen Gesetzmäßigkeiten theoretisch nutzbare Energieangebot [Kaltschmitt-2006] und ist zur Ableitung von Handlungsempfehlungen für die Stadt und den Landkreis Bamberg ungeeignet. Die in der Region grundsätzlich nutzbaren Potenziale wurden unter Berücksichtigung der technischen und anderen zwingenden Restriktionen auf der Strom- und auf der Wärmeseite ermittelt.

3.5.1 Landwirtschaftliche Biomasse

Landwirtschaftliche Biomasse bezeichnet in dieser Studie Energieträger aus Phyto- und Zoomasse und deren Folge- und Nebenprodukte sowie Abfälle und Rückstände [BiomasseV, §2 (1)] mit einem engen Bezug zur Agrarwirtschaft. Landwirtschaftliche Biomasse kann in fester, flüssiger oder gasförmiger Form vorliegen und kann z. T. energetisch genutzt werden. Landwirtschaftliche Biomasse tritt in zahlreichen Formen auf und kann stofflich vielfältig genutzt werden (Futtermittel, Bau- und Dämmstoffe). Energetisch können alle Endenergieformen (Wärme, Kälte, Strom, Kraftstoff) gewonnen werden. Die effizienteste Verwendungsart von Biomasse im energetischen Sinn ist die Nutzung zur Umwandlung in Strom oder Wärme.

$$\text{nutzbares Potenzial} = A[m^2] * \text{Ertrag}[GJ / ha] * \eta_{th / el} \quad (\text{Gl. 3.3})$$

- A verfügbare Fläche
- η Wirkungsgrad (thermisch/elektrisch)

Die Informationen zur verfügbaren Fläche und dem Hektarertrag stammen aus dem BMU-Leitszenario 2008. Für die Wirkungsgrade des BHKWs wurden 47,5 % thermisch und 37,5 % elektrisch als Durchschnittswerte angenommen.

Die zur Verfügung stehende Fläche wird durch Angaben aus dem BMU-Leitszenario dynamisiert und folgt der darin angegebenen Entwicklung. Es wird davon ausgegangen, dass der stärkste Anstieg bei der Erschließung des landwirtschaftlichen Potenzials bis 2020 erfolgt.

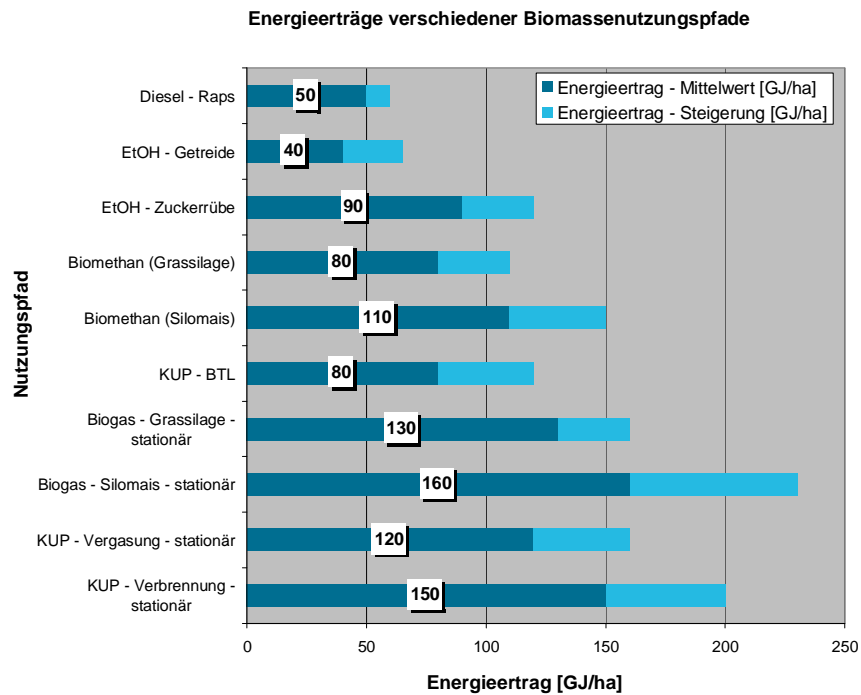
Tabelle 3-5: Entwicklung der für die energetische Nutzung von landwirtschaftlicher Biomasse zur Verfügung stehenden Fläche

Verfügbare Fläche	2007	2010	2020	2030	2035	2040	2050
in [%] der Ackerfläche	14,8	21,0	31,0	33,5	33,9	34,4	35,2
in [ha] der Ackerfläche	6 045	8 538	12 636	13 661	13 832	14 002	14 344

Da das Ziel der vorliegenden Studie die Energieautarkie der Untersuchungsregion ist, sollten nur die effizientesten Nutzungspfade für die energetische Biomassenutzung von landwirtschaftlichen Flächen gewählt werden, da die verfügbare Fläche begrenzt ist. Die Übersicht zu den Nettoenergieerträgen pro Hektar landwirtschaftlicher Fläche verdeutlicht, dass der Einsatz von Biomasse zur Kraftstofferzeugung die niedrigsten Energieerträge pro Hektar liefert (siehe Bild 3-7). Daher werden diese Nutzungspfade bei der Potenzialermittlung nicht weiter betrachtet.

Gegenwärtig erfolgt keine Nutzung von Holz aus Pappeln oder Weiden von Kurzumtriebsplantagen in der betrachteten Region. Durch die Verbreitung von ertragsschwachen Böden an einigen Standorten in Stadt und Landkreis Bamberg bieten sich diese aufgrund ihrer geringen Standortansprüche für eine zukünftige Nutzung an. Aus diesem Grund, verbunden mit einem hohen Energieertrag pro Hektar, wird die Nutzung von KUP zur Wärmeerzeugung durch Verbrennung als Alternative zur Biogasnutzung angesehen und in dieser Studie betrachtet.

Bild 3-7:
Vergleich der Nutzungspfade der energetischen Biomassenutzung vgl. [Kaltschmitt-2006]



Die Nutzung von Silomais und Grassilage in Biogasanlagen sowie der Anbau von Holz auf Kurzumtriebsplantagen zur Bereitstellung von Wärmeenergie stellen die für die Region sinnvollsten und effektivsten Verwertungswege dar. Die Vergasung von Holz ist zwar ebenfalls eine effiziente Nutzungsform, jedoch technisch noch nicht ausgereift und wird daher nicht weiter betrachtet. Die in der Abbildung hellblau gekennzeichneten Balkenabschnitte zeigen das Steigerungspotenzial des jeweiligen Nutzungspfades an, das sich durch technische Entwicklung und Steigerung der Hektarerträge ergeben kann.

Die für die Biogasnutzung ausgewählten Substrate – Silomais und Grassilage – werden in der Region bereits an zahlreichen Standorten angebaut und stellen damit ein übliches Substrat für den landwirtschaftlichen Anbau dar. Die Kulturspezifische Faktoren für die Gaserträge sind in Tabelle 3-6 dargestellt.

Tabelle 3-6: Kulturspezifische Faktoren für Gaserträge [KTBL-2006],[eigene Erhebungen Fraunhofer UMSICHT]

Kultur	TS-Gehalt [%]	Gasertrag [Nm ³ /tFM]	Methangehalt [%]
Silomais	33	200	52
Grassilage	28	150	54

Silomais stellt unter den Nawaro das dominierende Substrat für Biogasanlagen dar und kommt laut Bundesmessprogramm zu 50-75 % als Substrat in Biogasanlagen zum Einsatz [BMU-2008b]. In Stadt und Landkreis Bamberg wird derzeit auf lediglich 10 % der Ackerfläche Silomais angebaut mit einem leicht überdurchschnittlichen Hektarertrag von 45,7 t/ha im Vergleich zu Deutschland (siehe Tabelle 3-7). Die Anbauempfehlung bezüglich des maximalen Anteils in der Fruchtfolge liegt in erosionsgefährdeten Lagen bei 33 %, auf leichten ebenen Böden bei bis zu 50 %. Aus agrarbaulicher Sicht besteht demnach noch Potenzial für die Ausweitung des Anbaus in der Region.

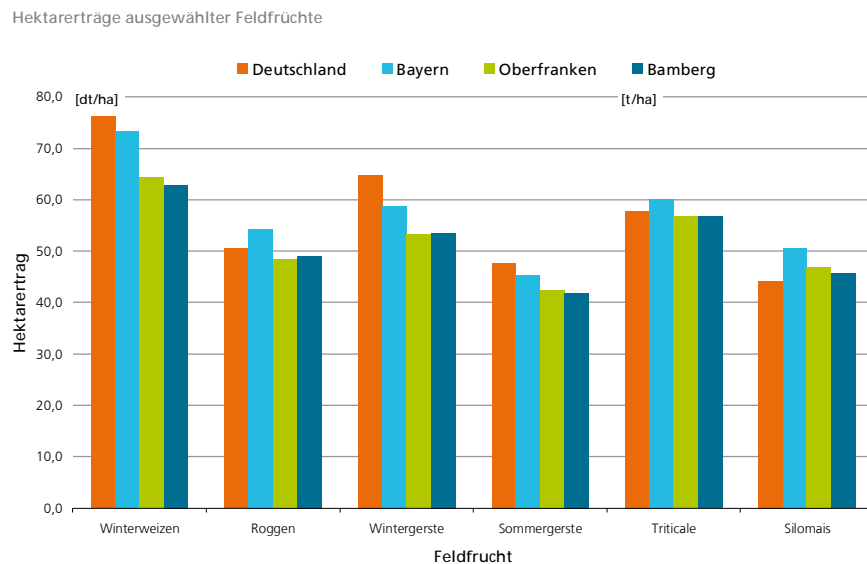
Tabelle 3-7: Statistische Angaben Silomais [DESTATIS-2009]

Raumbezug	Anteil Silomais an Ackerfläche [%]	Durchschnittsertrag [t/ha]
Untersuchungsgebiet	9,7	45,7
Bayern	13,8	50,2
Bundesrepublik	12,4	44,2

Als weiteres Co-Substrat in Biogasanlagen kann Grassilage von Dauergrünland und Ackerland eine wichtige Rolle spielen. Die Erträge werden als Heuwert angegeben, der sich mit dem Faktor 4 [KTBL-2006] zu Tonnen Frischmasse umrechnen lässt. Zwischen Grassilage von Acker- und Grünland bestehen nur geringe Unterschiede beim Hektarertrag, so dass in den weiteren Berechnungen ein einziger Wert verwendet wird. In Stadt und Landkreis Bamberg wird derzeit auf 2 000 ha (5 %) der Ackerfläche Ackergras angebaut. Da die Nutzung von Grassilage von Dauergrünlandflächen ökonomisch schwierig ist und dieses für die Viehhaltung Verwendung findet, wird es im Weiteren nicht betrachtet.

Weitere geeignete Substrate für die Biogasnutzung stellen Winterweizen, Roggen, Sommer- und Wintergerste sowie Triticale dar, die ebenfalls in der Region mit nennenswerter Verbreitung angebaut werden. Die Hektarerträge (in Dezitonnen Kornertrag pro Hektar, für Triticale und Silomais als Ganzpflanze in Tonnen pro Hektar) sind in Bild 3-8 im Vergleich zu Deutschland, Bayern und Oberfranken dargestellt.

Bild 3-8:
Vergleich der Hektarerträge verschiedener Ackerpflanzen in Bamberg, Oberfranken, Bayern und Deutschland



Zu den dargestellten Flächenpotenzialen aus der landwirtschaftlichen Erzeugung wird bei der Betrachtung des Biogasverwertungsweges noch das Potenzial aus Wirtschaftsdüngern von Rindern und Schweinen hinzugerechnet. Andere tierische Reststoffe von bspw. Geflügel, Pferden und Schafen werden nicht berechnet, da das Potenzial in der Region zu gering ist. Für die Kenndaten der Biogasnutzung aus Wirtschaftsdüngern wurden die Werte in Tabelle 3-8 verwendet.

Tabelle 3-8: Kennzahlen für die Nutzung von Wirtschaftsdüngern in einer Biogasanlage

Tierart	Biogasenertrag (Nm ³ /t total input)	Biomethanenertrag (Nm ³ /t total input)	Sicherheitsabschlag 4 % [Nm ³ /t]	kWh _{el} /t*a	kWh _{th} /t*a
Rinder	24	13	23	47	60
Schweine	21	13	20	46	58
Sonstige	Geringes Potenzial, Stoffe werden nicht weiter betrachtet				

Im Gegensatz zu ackerbaulichen nachwachsenden Rohstoffen ist die Transportwürdigkeit von Wirtschaftsdüngern durch einen sehr geringen Trockenstoffanteil stark beschränkt. Eine Entfernung von fünf Kilometern zwischen Viehhaltungs-Standort und Biogasanlage gilt im Allgemeinen als Maximum. Da für einen störungsfreien Betrieb das Gärsubstrat mit Bakterien angeimpft wird

und dies meist über einen kleinen Gülleanteil realisiert wird, ist es auch für Biogasanlagenbetreiber die vorwiegend Nawaro als Gärsubstrat einsetzen, sinnvoll, zumindest einen Anteil an Wirtschaftsdüngern zu vergären.

3.5.2 Forstwirtschaftliche Biomasse

Forstwirtschaftliche Biomasse beschreibt in dieser Studie die Phytomasse und deren Folge- und Nebenprodukte sowie Abfälle und Rückstände, die aus der Forstwirtschaft stammt. Forstwirtschaftliche Biomasse kann in fester Form vorliegen und kann stofflich und energetisch genutzt werden. Hauptsächlich werden aus ökonomischen Gesichtspunkten für die Wärme- und Stromerzeugung Erntereste (Geäst, Sägespäne) und minderwertige Hölzer (Fichte, Kiefer, Tanne) genutzt. Höherwertige Hölzer (Buche, Eiche) werden energetisch fast ausschließlich für die Scheitholznutzung verwendet.

Die Grundlage für die Ermittlung des tatsächlich nutzbaren, energetischen Potenzials bildeten die Bundeswaldinventur II und Experteneinschätzungen. Ausgehend vom theoretischen Potenzial wurde mithilfe von Restriktionsfaktoren das nachhaltig mobilisierbare Dendromassepotenzial bei der Waldholzbereitstellung bestimmt. Dabei handelt es sich um holzartige Biomasse, die stofflich und energetisch verwendet werden kann, die aufgrund von Qualitätsmängeln aber nicht höherwertig zur Anwendung kommt. Praktisch umfasst dies Schwachholz, Kronenholz, X-Holz¹⁸, Schadholz und Reisigmateriale.

$$\text{nutzbares Potenzial} = A[m^2] * \text{Ertrag}[t_{\text{atro}} / \text{ha}] * F * \eta_{\text{th/el}} \quad (\text{Gl. 3.4})$$

- A verfügbare Fläche
- F Faktor
- η Wirkungsgrad

Die Datengrundlage für die Berechnung des Waldpotenzials im Untersuchungsgebiet ist die von der Bayerischen Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft (LWF) 2006 veröffentlichte Studie »Energieholzmarkt Bayern« [LWF-2006]. Das potenzielle Holzaufkommen basiert hier auf der zweiten Bundeswaldinventur und wurde um Daten aus Privatwalderhebung und Holzaufkommensprognose für Bayern erweitert. Abschließend wurden diese Ergebnisse mit Branchenexperten diskutiert, so dass die Ausgangsdatenlage insgesamt als gut einzustufen ist.

In der Studie des LWF wird für jeden Regierungsbezirk ein nachhaltiges energetisches Waldholzpotenzial in t_{atro} angegeben und auf verschiedene Besitzver-

¹⁸ Holz, das bearbeitet, verbucht und entlohnt wurde, aber im Wald verbleibt, weil es untauglich ist (Faulstücke, splinterhaltiges oder stark gekrümmtes Holz)

hältnisse (Privatwald, Staatswald, Körperschaftswald) und Baumarten bezogen. Die Einheit »t_{atro}« wurde über Festmeter »Fm« in »MWh« umgerechnet. Dazu wurde Tabelle 3-9 genutzt.

Tabelle 3-9: Energieinhalte verschiedener Brennstoffsortimente in Abhängigkeit vom Wassergehalt [LWF-2006]

Wassergehalt in %		0	15	20	30	50
Baumart/Dichte		Einheit	Heizwert in kWh			
Fichte	kg	5,20	4,32	4,02	3,44	2,26
	Fm	1 970	1 930	1 900	1 860	1 710
	Rm	1 380	1 350	1 330	1 300	1 200
Kiefer	kg	5,20	4,32	4,02	3,44	2,26
	Fm	2 240	2 190	2 170	2 120	1 950
	Rm	1 570	1 530	1 520	1 480	1 360
Buche	kg	5,00	4,15	3,86	3,30	2,16
	Fm	2 790	2 720	2 700	2 630	2 410
	Rm	1 950	1 910	1 890	1 840	1 690
Birke	kg	5,00	4,15	3,86	3,30	2,16
	Fm	2 630	2 570	2 540	2 480	2 270
	Rm	1 840	1 800	1 780	1 740	1 590

Über die Anteile der einzelnen Baumarten am Baumbestand in Stadt und Landkreis Bamberg wurde ein durchschnittlicher Kennwert für den Heizwert ermittelt, 1 Fm entspricht damit 2 350 kWh. Daraus konnte ein nutzbares Potenzial von 8,148 MWh/ha Waldbestand in Stadt und Landkreis Bamberg bestimmt werden. Das Potenzial jeder Gemeinde ergibt sich durch die Multiplikation mit dem vorhandenen Waldbestand.

Durch die Aufteilung in Besitzverhältnisse lässt sich das Potenzial zudem genauer lokalisieren (siehe Bild 3-9). Wie dargestellt ist der größte Teil des Waldpotenzials im Privatwald zu finden, da dieser aufgrund einer kleinräumigen Parzellierung, die den Besitzverhältnissen entspricht, schwieriger zu erschließen ist als Staats- und Körperschaftswald. Dies spiegelt sich auch in den jährlichen Holzeinschlagsmengen wider. Die durchschnittliche Nutzung des jährlichen

Holzzuwachses wird mit etwa zwei Drittel angegeben [LWF-2006], die Nutzung speziell im Privatwald jedoch mit weniger als 50 %. Die waldreichsten Gebiete in Stadt und Landkreis Bamberg sind die gemeindefreien Gebiete (siehe Bild 3-10). Diese gemeindefreien Gebiete sind im Eigentum des Landes in dem sie sich befinden oder im Eigentum der Bundesrepublik Deutschland. Die Verwaltungshoheit liegt beim Landratsamt oder der Kreisverwaltung des Landkreises.

Bild 3-9: Verteilung des Potenzials in Besitzverhältnisse in Besitzverhältnisse

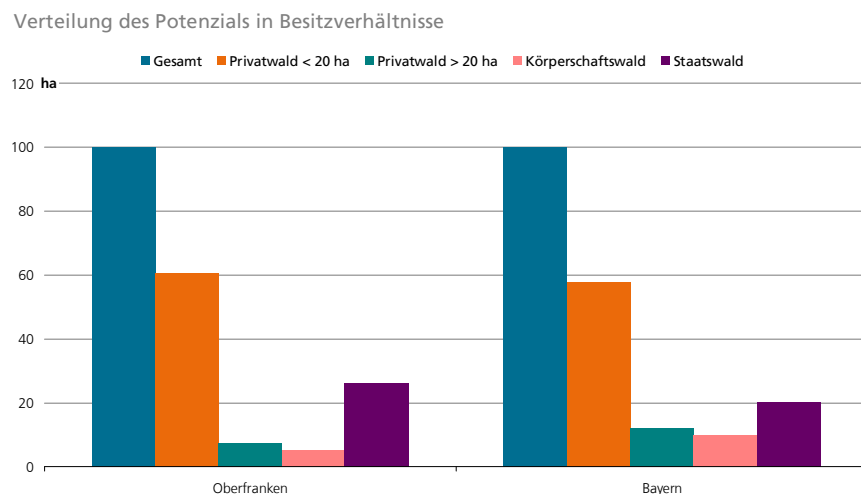
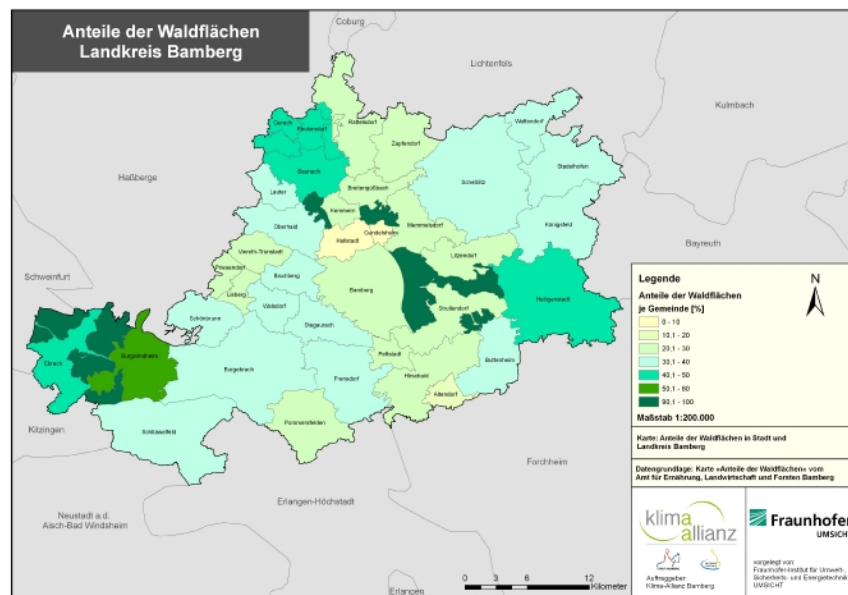


Bild 3-10: Prozentuale Verteilung der Waldflächen je Gemeinde



3.5.3 Geothermie

Für die Planung und Auslegung von Geothermieranlagen sind Kenntnisse über den geologischen und hydrogeologischen Aufbau des Untergrundes notwendig. Die benötigten Informationen umfassen z. B. Angaben über Art, Mächtigkeit und Verbreitung des anstehenden Gesteins und Aussagen über Grundwasserstand und Fließverhältnisse sowie Angaben über das thermische Potenzial. Für jede geothermische Anlage ist daher eine vorherige, standortgenaue Überprüfung dieser Parameter geboten.

Die Geothermie gilt als nahezu unerschöpfliche Energiequelle, die stetig durch den natürlichen Zerfall radioaktiver Isotope im Erdinneren und durch während der Erdentstehung gespeicherte Energie gespeist wird. Der Energiegehalt (theoretisches Potenzial, siehe Bild 3-6) wird, basierend auf vereinfachten Annahmen, auf 12 bis $24 \cdot 10^{30}$ Joule abgeschätzt. Dieser Wert entspricht dem 210 000-Fachen des Verbrauchs an Primärenergie weltweit (2004) [BMU-2007]. Die Erschließung dieser sehr tief gelegenen Energiequelle ist zum Teil mit einem hohen technischen Aufwand verbunden und somit – nach dem heutigen Stand der Technik – nicht an allen Standorten geeignet. Die Geothermie wird je nach Erschließungstiefe in oberflächennahe und tiefe Geothermie differenziert.

Tiefe Geothermie

Die tiefe Geothermie nutzt die Wärmeenergie der Erde in einer Tiefe unter 400 m und kann neben der Wärmeversorgung – bei ausreichend hohen Temperaturen – auch zur Stromerzeugung in entsprechenden Kraftwerken genutzt werden.

Hydrothermale Geothermie

Die tiefe Geothermie wird wiederum in hydrothermale und petrothermale Geothermie sowie tiefe Erdwärmesonden unterschieden. Bei der hydrothermalen Geothermie nutzt man das energetische Potenzial von niedrigthermalen (40 bis 100 °C) oder hochthermalen (über 100 °C) Tiefenwässern. Diese Wässer werden über Bohrungen an die Oberfläche geleitet, wo sie ihre Wärme an die angeschlossenen Verbraucher abgeben. Anschließend wird das Wasser über eine zweite Bohrung in den Untergrund zurückgeführt, um die Mengenbilanz des Grundwassers nicht nachhaltig zu verändern und hydraulischen Problemen vorzubeugen. Zudem sind viele Thermalwässer hochmineralisiert und können somit oberirdisch aus Umweltschutzgründen nicht entsorgt werden [Kaltschmitt-2006].

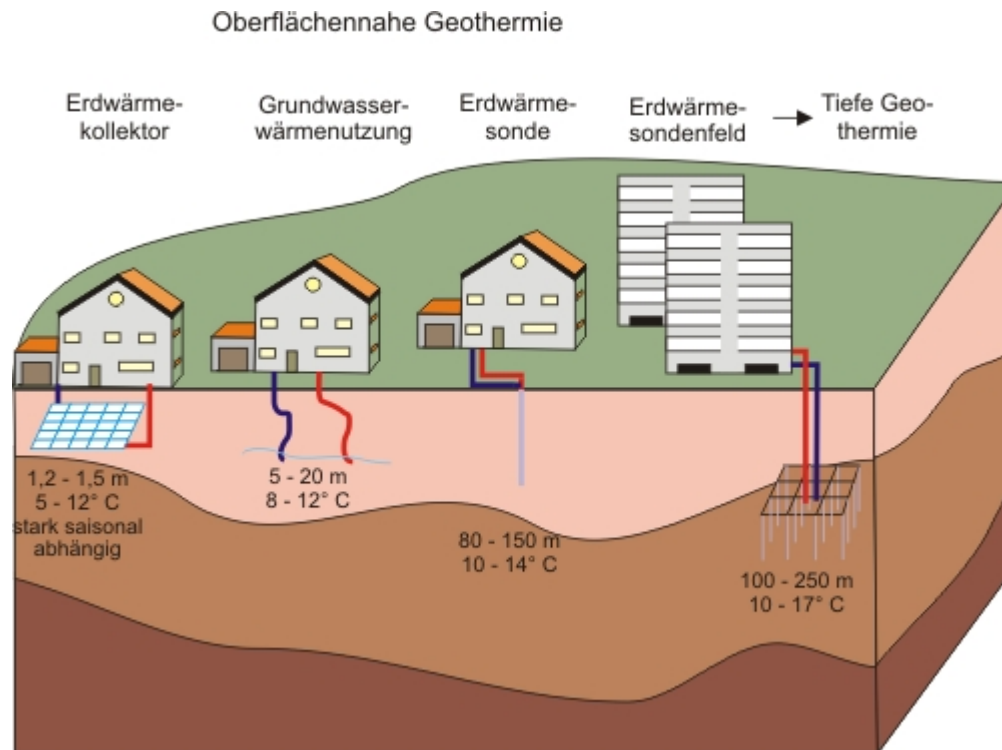
Petrothermale Geothermie

Die petrothermale Geothermie beschreibt die Nutzung heißer, wenig oder nicht wasserführender Gesteinsschichten (»Enhanced Geothermal System oder Hot Dry Rocks«). Bei dieser Nutzungsart wird Wasser (selten eine andere Flüssigkeit) in unterschiedlichen Verfahren und in geschlossenen oder offenen Kreisläufen in die heißen, trockenen Gesteinsschichten gepresst. Idealerweise verfügen diese Gesteinsschichten über Klüfte, in die die Flüssigkeit verpresst werden kann. Es befinden sich aber auch Systeme in der Anwendung, die über

eine leichte bis hin zu einer massiven »Stimulation« die benötigten Hohlräume künstlich erzeugen. Der Wärmeentzug wird hier ebenfalls mittels der zirkulierenden Flüssigkeiten realisiert.

Tiefe Erdwärmesonden werden verwendet, wenn die Zielsetzung der Tiefenbohrung nicht erfüllt werden konnte. Grund kann z. B. ein nicht ausreichendes Thermalwasservorkommen sein. Um keinen Totalverlust zu erleiden, kann man die Bohrung zu einer tiefen Erdwärmesonde ausbauen, um Niedertemperaturwärme verfügbar zu machen. Dafür werden das Casing- und Tubingrohr¹⁹ der Bohrung verwendet. Diese Rohre bilden ein isoliertes, geschlossenes System, das nur den unmittelbaren Erdwärmestrom nutzen kann. Die erreichbaren Temperaturen am Bohrlochausgang liegen selten über 40 °C [BMU-2007].

Bild 3-11:
Technologische Varianten für die Nutzung der oberflächennahen Geothermie. Nach: [CREGE-2010], [VDI-4640]



Das Potenzial der oberflächennahen und tiefen Geothermie ist – je nach angewandeter Technologieform und Investitionshöhe – in Stadt und Landkreis Bamberg analog zum restlichen Bundesgebiet dazu ausreichend, den gesamten Energiebedarf zu decken. Jedoch ist es nach heutigem Stand der Technik unrealistisch, davon auszugehen, dass der massive Ausbau – insbesondere der tiefen Geothermie – in den nächsten Jahren so forciert wird, dass er zur De-

¹⁹ Bohrrrohr und Steigrohr

ckung des Energiebedarfs einen bedeutenden Anteil beitragen wird. Im tiefen Untergrund von Stadt und Landkreis Bamberg sind keine ausreichend heißen und wasserführenden Schichten bekannt, die eine effiziente Nutzung der Energie aus dem Erdinneren – besonders auch unter dem Gesichtspunkt der Stromerzeugung – ermöglichen. Die einzige tiefe geothermische Bohrung im Landkreis Bamberg befindet sich in Mürsbach (Markt Rattelsdorf). Sie war für die Nutzung eines Thermalbades geplant, ist aber aus heutiger Sicht ohne eine Neubohrung nicht mehr verwendbar [LEK-2005]. Die Bohrung (Mürsbach B1) ist auf 1 309 m abgeteuft, die Temperatur der Lagerstätte liegt bei 56,9 °C [Schulz-2007].

Die oberflächennahe Geothermie wird bereits in zahlreichen kleindimensionierten Anlagen in Stadt und Landkreis Bamberg genutzt. Die Eignung der Gemeinden für die Anwendung oberflächennaher Geothermieanlagen wurde anhand der nach derzeitigem Kenntnisstand grundsätzlich geeigneten bzw. zulässigen Grundwässer oder Böden ermittelt (siehe Bild 3-12). Berücksichtigt wurden Grundwasserwärmepumpen, Erdwärmesonden und Erdwärmekollektoren.

Grundwasser-
nutzung

Für die Nutzung des Grundwassers wurden die Grundwasserflurabstände von < 10 m bis < 20 m betrachtet. Menge und Beschaffenheit des Grundwassers fanden keine Berücksichtigung, weil hierfür keine Daten vorlagen. Generell ist die Nutzung des Grundwassers auch in Festgesteinengebieten möglich, sofern die hydrogeologischen Verhältnisse bekannt sind. In Gebieten, in denen die Grundwassernutzung möglich ist, ist grundsätzlich (nach genauer Bestimmung der lokalen Verhältnisse) auch die Nutzung der Erdwärme mittels Erdwärmekollektoren oder durch Erdwärmesonden möglich [StMUGV-2006a].

Festgesteinengebiete

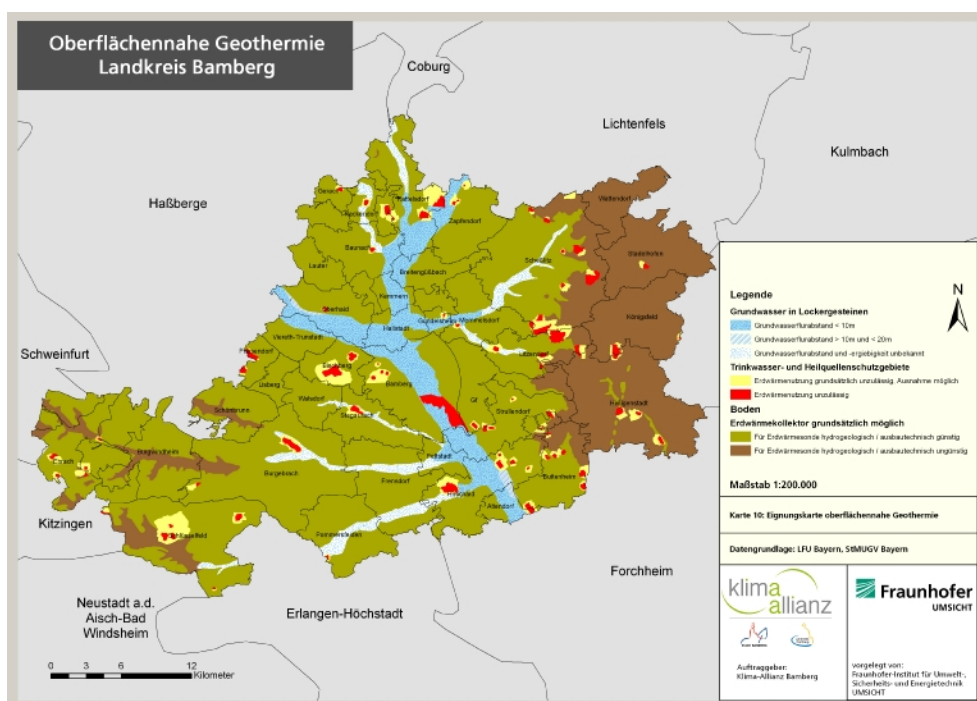
Bei der Beurteilung der Festgesteinengebiete im Hinblick auf ihre Nutzung mit Erdwärmesonden wurde zwischen hydrogeologisch/ausbautechnisch günstigen und hydrogeologisch/ausbautechnisch ungünstigen Formationen unterschieden [StMUGV-2006a]. Hydrogeologisch/ausbautechnisch ungünstige Gebiete sind im Landkreis Bamberg insbesondere die östlich gelegenen Karstgebiete. Besondere Vorsicht ist bei Gebieten geboten, die eine ausgeprägte Stockwerksgliederung (Karst) und/oder artesisch gespanntes Grundwasser²⁰ besitzen. Gebiete, die für die Trinkwasserversorgung vorgesehen sind, wurden ebenfalls berücksichtigt. Die Trinkwasser- und Heilquellenschutzgebiete stellen den Stand des Bayerischen Landesamtes für Umwelt vom 29.03.2006 dar [StMUGV-2006a]. Keine Berücksichtigung fanden die Einzugsgebiete öffentlicher Trinkwassergewinnungsanlagen oder im Verfahren befindliche Schutzgebiete. Außerdem fanden Einzugsgebiete privater Anlagen zur Trinkwassergewinnung keine Berücksichtigung. In der inneren Schutzzone von Trinkwasser-

Schutzgebiete

²⁰ Artesisch gespanntes Grundwasser ist vorhanden, wenn ein Grundwasserleiter durch eine wasserundurchlässige Schicht nach oben abgedichtet wird und gleichzeitig die geologische Struktur des Grundwasserleiters den Aufbau von hydrostatischem Druck ermöglicht.

und Heilquellenschutzgebieten ist die Nutzung von Erdwärme unzulässig, in den äußeren Schutzzonen kann in einer Einzelfallabwägung eine Erdwärmeeinnahme genehmigt werden.

Bild 3-12: Eignungskarte oberflächennahe Geothermie

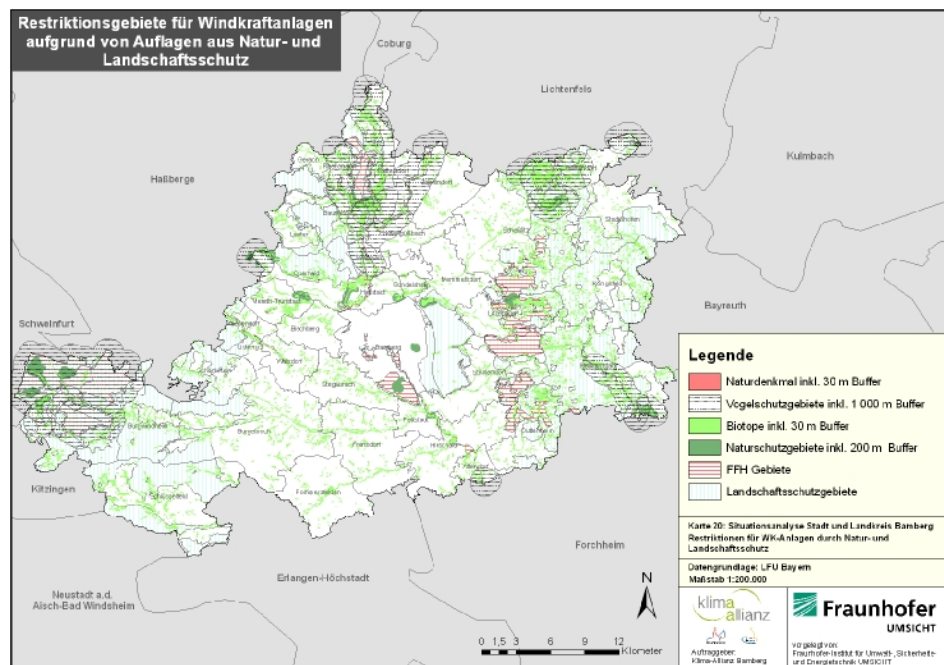


3.5.4 Windkraft

Neben dem Wasserkreislauf hält die solare Strahlung auch die Bewegung der Luftmassen innerhalb unserer Atmosphäre in Bewegung. Die in den Luftmassen enthaltene Energie lässt sich mittels Windenergieanlagen in mechanische bzw. elektrische Energie umwandeln. Diese Energie stellt also letztlich eine sekundäre Form solarer Energie dar [Kaltschmitt-2006]. Die Nutzung der Windenergie stellt zum aktuellen Stand der Technik die effizienteste Form der regenerativen Energie dar. Moderne Windkraftanlage (WKA) mit einer Nabenhöhe von über 100 m verfügen über eine Nennleistung von bis zu 2 500 kW, Konverter in der Leistungsklasse 3-5 MW befinden sich in der Entwicklung und werden Offshore bereits eingesetzt. Die Energiebilanz von Windkraftanlagen liegt mit einem Energiegewinn in einer 20-jährigen Nutzungszeit etwa 30 bis 82-fach über dem Energiebedarf für Herstellung, Nutzung und Entsorgung. Bei konventionellen Kraftwerken liegt dieser Faktor nur bei 0,3 bis 0,4, weil während des Betriebes ständig Energie durch Zuführung von Rohstoffen verbraucht wird [BWE-2001].

Um die Potenziale für die Nutzung der Windkraft ermitteln zu können, werden die Gebiete bestimmt, in denen es aufgrund von Restriktionen untersagt ist, Windkraftanlagen zu errichten. Restriktionen ergeben sich aus Gesetzen und Bestimmungen des Natur- und Landschaftsschutzes (siehe Bild 3-13), den Abstandsregelungen und dem Gewässerschutz.

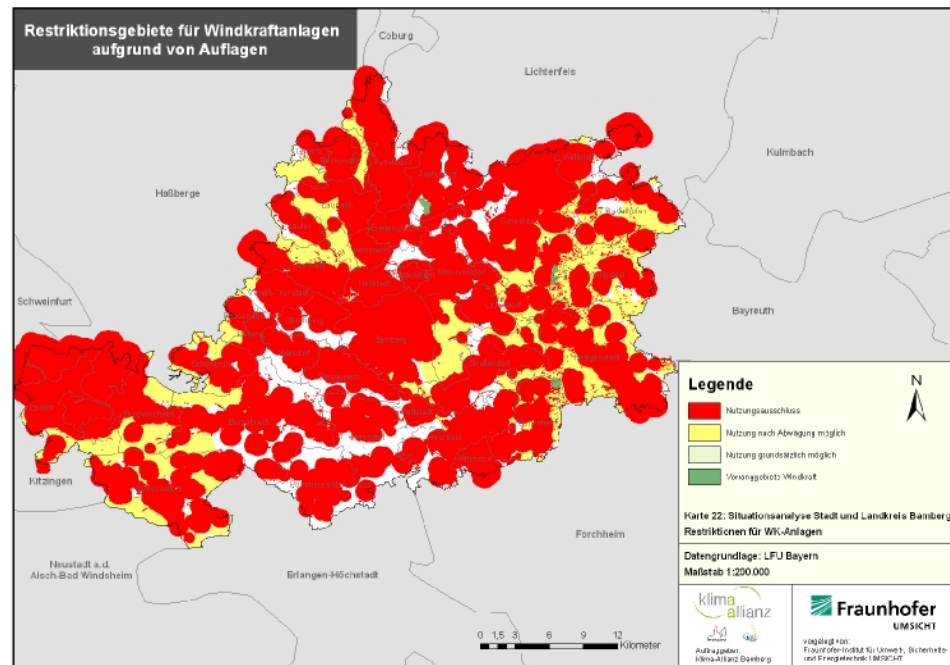
Bild 3-13:
Restriktionsgebiete für
Windkraftanlagen
aufgrund von Auflagen
aus Natur- und Land-
schaftsschutz



Die Schutzgebiete wurden aus den ATKIS²¹-Daten erhoben und den jeweiligen Kategorien entsprechend (Naturdenkmale, Vogelschutzgebiete etc.) in einem GIS (Geoinformationssystem) mit Buffern, welche die entsprechenden Abstände beinhalten, versehen. Dasselbe Verfahren wurde für die der Abstandregelung unterliegenden Flächen (Ortslagen, Gewerbeflächen etc.), und die Flächen für den Gewässerschutz (Wasserschutzgebiete etc.) angewendet. Die unterschiedlichen, durch Restriktionen wegfallenden Gebiete wurden anschließend miteinander verschnitten (siehe Bild 3-14). Die verbliebenen Gebiete sind potenziell, nur aus Betrachtung der Abstandsregelungen, für die Anwendung von Windkraft nutzbar.

²¹ Amtliches Topographisch-Kartographisches Informationssystem

Bild 3-14:
Restriktionsgebiete für
Windkraftanlagen
aufgrund von Auflagen

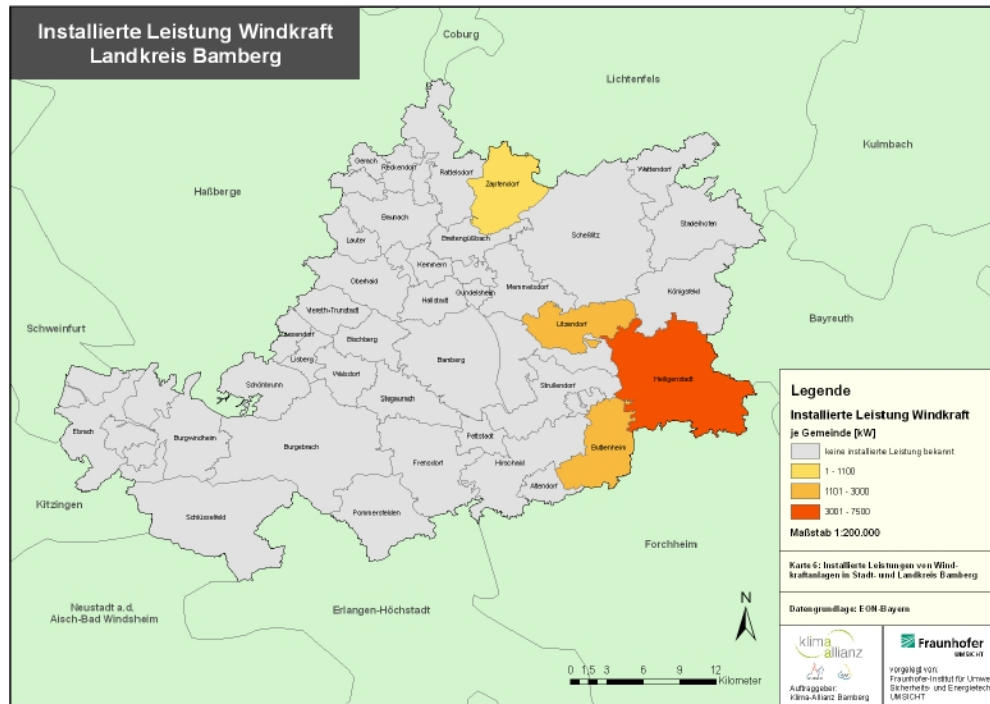


In Stadt und Landkreis Bamberg sind zum Berichtszeitpunkt dieser Studie sieben Windkraftanlagen in Betrieb. Diese verteilen sich auf einen Windpark auf den Gemarkungen der Stadt Markt Heiligenstadt und der Gemeinde Buttenheim (7,5 MW) sowie zwei Einzelanlagen in Litzendorf (3 MW) und Zapfendorf (1,1 MW). Der aktuelle Ausbau der Windkraft ist im Bereich der Stadt und des Landkreises Bamberg als gering anzusehen.

Um das Windenergiepotenzial eines Gebietes oder Standortes ermitteln zu können, benötigt man eine klimatologisch aussagekräftige Statistik der Windgeschwindigkeiten in Rotornabenhöhe. Die Kenntnis der Hauptwindrichtung bzw. Windrichtungsverteilung besitzt nur eine untergeordnete Bedeutung, weil moderne WKA über eine automatische Windrichtungsnachführung verfügen. Zur Präzisierung der Vorhersage ist es von Vorteil, wenn man zusätzlich über Kenntnisse der mittleren Windgeschwindigkeit, der Weibull-Parameter²², der mittleren Windenergieflussdichte und der Jahresenergieertragsprognosen verfügt [meteo-2010]. Mittels Weibull-Parameter kann die durchschnittliche Verteilung der Windgeschwindigkeiten an einem Standort in die Kalkulation einfließen.

²² Die Weibull-Verteilung ist die übliche Methode, die zeitlichen Häufigkeiten der verschiedenen Geschwindigkeiten innerhalb eines Jahres mathematisch zu beschreiben.

Bild 3-15:
Installierte Leistung von
Windkraftanlagen in
Stadt und Landkreis
Bamberg



Dies ist entscheidend, da in der Leistungsberechnung von Windenergieanlagen die 3. Potenz der Windgeschwindigkeit eingeht, höhere Windgeschwindigkeiten in einem bestimmten Zeitraum niedrige Windgeschwindigkeiten in einem anderen Zeitraum demnach überkompensieren.

$$\text{nutzbares Potenzial} = A[m^2] * \text{Ertrag}[GJ / ha] * h_{el} \quad (\text{Gl. 3.5})$$

η = Wirkungsgrad

A = verfügbare Fläche

Für die Berechnung des Energieertrags wurde eine 2 MW-Referenzanlage mit den in Tabelle 3-10 dargestellten Parametern genutzt, die an die vom deutschen Wetterdienst (DWD) genutzten Referenzanlagen angelehnt ist. Die Leistungsgröße von 2 MW stellt eine derzeit übliche Größe bei der Installation von Windenergieanlagen dar. Zum Vergleich enthält die Tabelle eine Vergleichsanlage der Firma Enercon. Diese ist für die Region nicht geeignet, da Sie ihre höchste Leistung erst bei höheren Windgeschwindigkeiten erreicht. Dies verdeutlicht ebenfalls die Notwendigkeit einer sorgfältigen standortangepassten Planung für die Ausnutzung des vorhandenen Windpotenzials.

Tabelle 3-10: Referenzanlagen für die Berechnung des Windenergiepotenzials

Anlage	Anschaltgeschw. [m/s]	Abschaltgeschw. [m/s]	Rotorfläche [m ²]	Referenertrag [MWh/5a]	60 %-Referenz [MWh/5a]	Referenertrag [MWh/a]	60 %-Referenz [MWh/a]
DWD	3	25	5 281	22 793	13 676	4 559	2 735
Enercon	3	28	5 281	28 150	16 890	5 630	3 378

Bei der Berechnung des regionalen Windpotenzials in den Gemeinden wurde überprüft, ob die Windenergieproduktion ausreicht um das 60 %-Kriterium, das im EEG enthalten ist, zu erfüllen. Erst ab diesem Kriterium – dem Erreichen von mindestens 60 % des Referenertrags eines bestimmten Anlagentyps – besteht ein Anspruch auf Vergütung durch das EEG. Der Referenertrag selbst ist die 5-Jahres-Summe der jährlich produzierbaren Strommenge an einem Referenzstandort.

Innerhalb der mit den Flächenrestriktionen aus genehmigungsrechtlicher Sicht ermittelten Flächen, die ebenfalls ein ausreichendes Windpotenzial bieten, um das 60 %-Kriteriums des EEG zu erfüllen, wurde das Windenergiepotenzial der Gemeinden ermittelt. Dazu wurden so viele Windräder kalkuliert, wie bei einem 5-fachen Rotordurchmesser-Abstand innerhalb der Flächen installierbar sind. Diese Prämisse kann als konservative Kalkulation angesehen werden, da auch ein geringerer Abstand zwischen den Windrädern möglich ist (bis minimal 3-facher Rotordurchmesser).

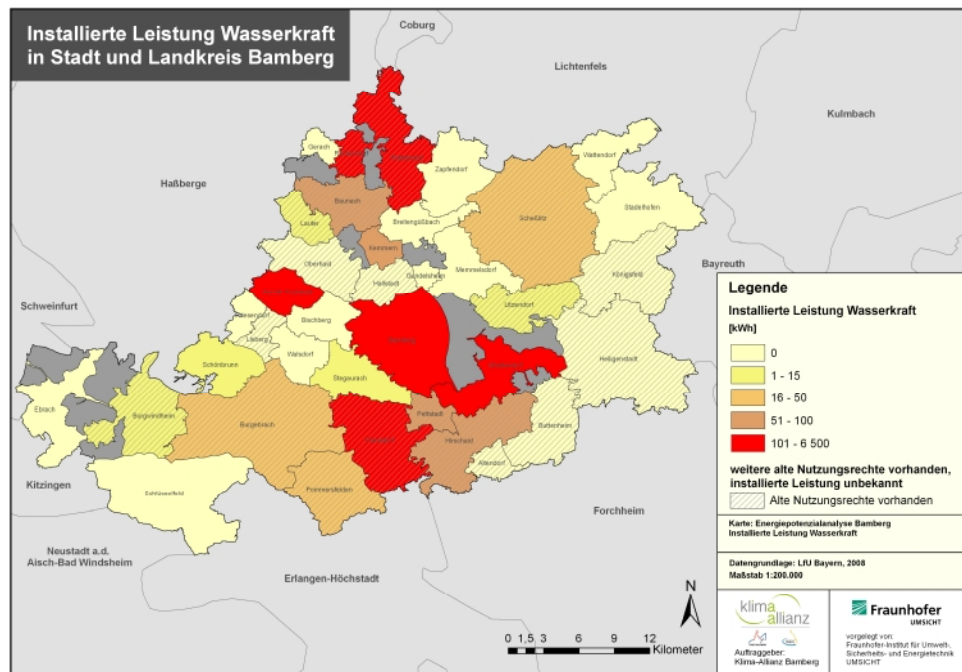
3.5.5 Wasserkraft

Die Wasserkraft wird seit über 2 000 Jahren für die Bereitstellung mechanischer Energie genutzt, seit Beginn des 19. Jh. wird sie auch zur Erzeugung von elektrischer Energie verwendet. Die heutige Wasserkraftnutzung dient primär der Erzeugung elektrischer Energie. Die Ausbeute der Potenziale (technische Erzeugungspotenziale) ist deutschlandweit bis zum heutigen Tag zu etwa 80 % realisiert, was die Wasserkraft in Bezug auf ihre Potenziale zur am weitesten ausgebauten erneuerbaren Energiequelle macht. 80-90 % der installierten Leistung von großen Laufwasser- und Pumpspeicherkraftwerken befindet sich an den großen Flussläufen in Bayern und Baden-Württemberg. Ein weiterer Ausbau der Wasserkraft und die Erschließung der brachliegenden Potenziale ist in Deutschland grundsätzlich möglich. Jedoch befinden sich geeignete Standorte i. d. R. an den letzten unzerschnittenen Gewässerstrecken [Kaltschmitt-2006]. Diese unterliegen häufig Restriktionen aus dem Naturschutz. Zusätzlich gelten die Regeln der Wasserrahmenrichtlinie (WRRL) der EU, die grundsätzlich hinsichtlich des Zustands eines Gewässers sowohl ein Verbes-

serungsgebot als auch ein Verschlechterungsverbot gebietet. Eine Möglichkeit, die Potenziale der Wasserkraft besser nutzen zu können, liegt somit primär im Ausbau und der Effizienzsteigerung bestehender Wasserkraftanlagen. Bei Kleinanlagen ist – bei Vorliegen alter Wasserrechte – auch die Reaktivierung der alten Anlage möglich.

In Stadt und Landkreis Bamberg existieren zahlreiche Anlagen mit installierten Leistungen zwischen 10 und 100 kW, eine mit 300 kW und zwei Großanlagen. Das Laufwasserkraftwerk Hirschaid in Strullendorf (3,9 MW) wird von der Regnitz angetrieben, das leistungsstärkste Laufwasserkraftwerk liegt am Main bei Viereth (6,2 MW). Die installierte Leistung von Wasserkraftanlagen je Gemeinde ist in Bild 3-16 visualisiert.

Bild 3-16:
Installierte Leistung von
Wasserkraftanlagen in
Stadt und Landkreis
Bamberg



3.5.6 Solarthermie/Fotovoltaik

In Form von elektromagnetischer Strahlung gelangt jährlich eine große Menge Energie auf die Erdoberfläche, obwohl diese in und an der Atmosphäre durch Reflexion, Absorption und Streuung reduziert wird. Die Reduktion ist dabei abhängig vom Sonnenstand, der atmosphärischen Trübung, der Dichte der atmosphärischen Medien und damit auch von der Höhe über dem Meeresspiegel.

Derjenige Teil der Strahlung, welcher auf die Erdoberfläche gelangt, wird als Globalstrahlung bezeichnet. Sie setzt sich zusammen aus der direkt eintreffenden Solarstrahlung und der diffusen Strahlung, welche erst über eine Streuung an Wolken oder Staubteilchen auf die Erde gelangt. Der Anteil der direkten Strahlung liegt in Deutschland bei wolkenlosem Himmel bei ca. 75 % und im Jahresdurchschnitt bei ca. 50 %. Bei starker Bewölkung können jedoch auch deutlich niedrigere Werte erreicht werden. Wie hoch die Anteile und Stärken der Strahlungsarten sind, ist vom Einstrahlungswinkel zwischen Sonne und Erde abhängig, welcher je nach Jahres- und Tageszeit unterschiedlich ist. Spanien hat aufgrund seiner geografischen Lage z. B. deutlich höhere Globalstrahlungswerte als Deutschland.

Der Momentanwert wird in der Einheit Watt pro Quadratmeter (W/m^2) angegeben. Durch Aufsummierung der Momentanwerte erhält man die Energieeinträge, welche auf Stunden, Tage, Monate oder Jahre bezogen werden. Diese Einträge werden in Kilowattstunden pro Quadratmeter (kWh/m^2) angegeben. In Deutschland liegen die Werte der Globalstrahlungsjahressummen ($kWh/m^2 \cdot a$) je nach Region zwischen 900 und 1 200 ($kWh/m^2 \cdot a$). Bei allen Angaben gilt es zu beachten, dass sich diese auf eine horizontale Fläche beziehen, um so die Vergleichbarkeit zwischen den Werten zu gewährleisten.

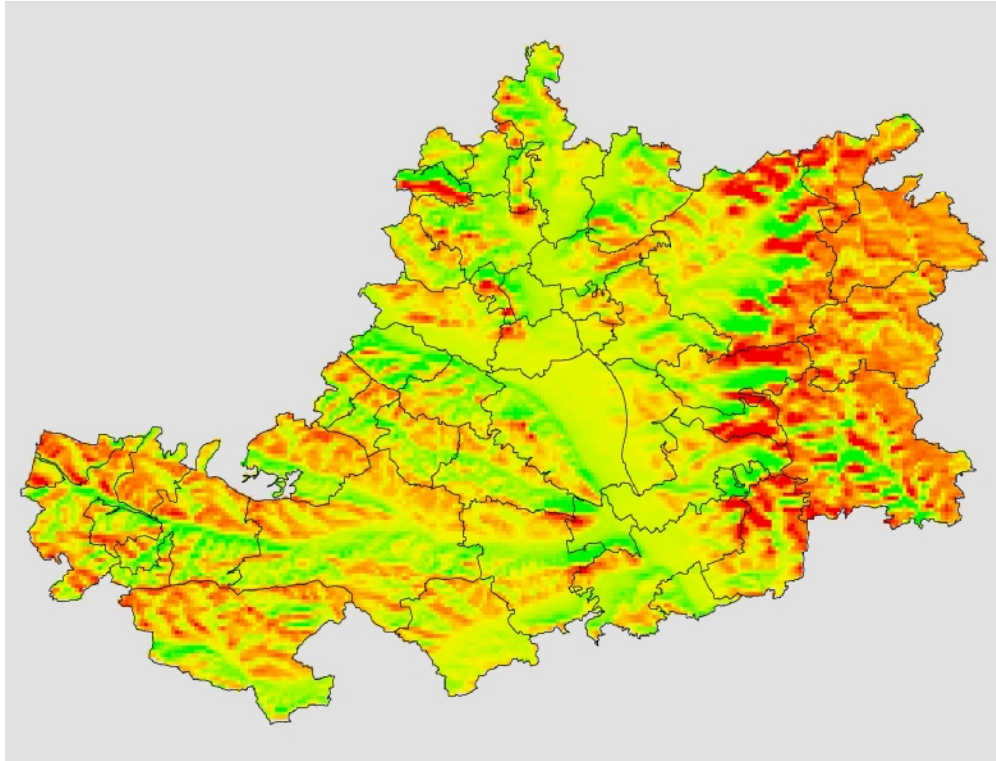
Die Bestimmung der energetischen Nutzungsmöglichkeiten des solaren Angebotes geschieht über die Berechnung des Potenzials. Dabei wird zwischen dem theoretischen, dem technischen, dem wirtschaftlichen und dem erschließbaren Potenzial unterschieden, wobei ausschließlich zu den beiden erstgenannten Potenzialen fundierte Aussagen getroffen werden können. Für eine differenziertere Betrachtung ist eine hausgenaue Untersuchung notwendig.

Das theoretische Potenzial beschreibt das physikalische Angebot auf einer bestimmten Landfläche zu einer bestimmten Zeit. Die für Gesamtdeutschland berechneten Werte liegen bei $3,8 \cdot 10^{14} kWh/a = 1\,368 EJ/a$ [Quaschning-2000] bzw. bei $1\,285 EJ/a$ [Kaltschmitt-2006]. Dabei übersteigt selbst der niedrigere Wert den Primärenergieverbrauch Deutschlands um das Fünffache.

Für die Berechnung des theoretischen Solarpotenziales für den Landkreis und die Stadt Bamberg wurde das Werkzeug »Area Solar Radiation« des Programms ArcGIS 9.3™ der Firma ESRI® verwendet. Dieses Werkzeug kann den Jahresgang der Sonne effektiv simulieren. Als Ausgangsbasis diente ein 100 m Geländemodell, um so die topografischen Eigenschaften (Geländehöhe; Neigung; Ausrichtung; Horizontabschattung) des Untersuchungsgebietes in der Berechnung zu berücksichtigen. Als Ergebnis entsteht eine Karte der Globalstrahlungsjahressummen im Rasterformat (siehe Bild 3-17). Der niedrigste Wert liegt bei $875 kWh/m^2 \cdot a$ und der höchste Wert bei $1\,175 kWh/m^2 \cdot a$.

Bild 3-17:
Jahressummen der
Globalstrahlung

Rot = hohe Werte
Grün = niedrige Werte



Um die Vergleichbarkeit zwischen den Gemeinden zu gewährleisten, wurde die durchschnittliche Einstrahlung pro m² für jede Gemeinde ermittelt. Diese Werte dienen in späteren Berechnungsschritten als Einstrahlungswerte.

Das Strahlungsmodell wurde mit gemessenen Daten an ausgewählten Standorten überprüft. Hierzu boten sich die Orte Kleingressingen, Wiesengiech und Großziegenfeld an, da diese Ortschaften im bzw. in unmittelbarer Nähe zum Untersuchungsgebiet liegen und hier die Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL) jeweils eine Messstation unterhält. Daher sind hierzu langjährige Messreihen (1991-2009) der Globalstrahlung verfügbar. Ebenfalls wurden zu diesen Stationen die Daten aus zwei weiteren Quellen, nämlich »Solar Radiation Data« [SoDA-2010] und dem »Photovoltaic Geographical Information System« [PVGIS-2010] ermittelt. PVGIS stellt Solarstrahlungsdaten in Form von Monatsmittelwerten zur Verfügung, welche auf einem digitalen Höhenmodell und klimatischen Daten (Auflösung 1 km x 1 km) basieren. SoDa ist ein von der Europäischen Kommission gefördertes Projekt des »MINES PariosTech, Centre Energétique et Procédés« in Sophia-Antipolis in Frankreich, wobei die Daten auf Grundlage einer satellitengestützten Analyse erhoben wurden (vgl. Tabelle 3-11).

Tabelle 3-11: Vergleich der Globalstrahlungswerte

Ort	Gemeinde	Eigene Berechnung [kWh/a]	LfL [kWh/a]	SoDa [kWh/a]	PVGIS [kWh/a]
Kleingressingen	Ebrach	1 033	1 033	1 058	1 050
Wiesengiech	Scheßlitz	1 046	1 003	1 047	1 040
Großziegenfeld	Weismain	1 077	1 009	1 036	1 030

Die Vergleiche zeigen, dass die berechneten Werte im Vergleich mit den gemessenen Werten des LfL um maximal 6,7 %, gegenüber SoDa um maximal 4 % und gegenüber PVGIS um maximal 4,6 % abweichen (vgl. Tabelle 3-12). Dies trifft immer auf Großziegenfeld zu. Diese Abweichung kann z. B. auf spezifische örtliche Gegebenheiten (z. B. Bewölkung, Abschattung) zurückgeführt werden, welche in einem Geländemodell (DGM-100²³) nicht berücksichtigt werden können. Da jedoch auch schon die Messungen der Wetterstationen einen Unsicherheitsfaktor von +/- 3 % beinhalten und die jährlichen Schwankungen zum Jahresmittel bei bis zu 10 % liegen können [Fraunhofer-2009], kann das berechnete Strahlungsmodell als realistisch betrachtet werden.

Tabelle 3-12: Prozentuale Abweichung des berechneten Strahlungsmodells im Vergleich mit anderen Quellen

Ort	Gemeinde	Eigene Berechnung [kWh/a]	LfL [kWh/a]	SoDa [kWh/a]	PVGIS [kWh/a]
Kleingressingen	Ebrach	1 033	+/- 0 %	- 2,4 %	- 1,6 %
Wiesengiech	Scheßlitz	1 046	+ 4,3 %	- 0,1 %	+ 0,6 %
Großziegenfeld	Weismain	1 077	+ 6,7 %	+ 4,0 %	+ 4,6 %

Theoretisch kann auch das Wetter über die Faktoren »diffuse proportion« und »transmittivity« im Werkzeug »Area Solar Radiation« exakt nachgebildet werden [Huang-2008], [Kromp-Kolb-2005]. Diese Berechnungsweise erhöht zwar die Genauigkeit, jedoch wird dies nicht durch das Aufwand/Nutzen-Verhältnis gerechtfertigt, da zuvor eine arbeits- und kostenintensive Kalibrierung durchgeführt werden muss.

Insgesamt besitzt das theoretische Potenzial jedoch keinen direkten praktischen Nutzen, da diese Größe nie in Gänze genutzt werden kann. Daher werden in den nächsten Schritten die technischen Beschränkungen berücksichtigt, um so

²³ Ein DGM-100 ist ein digitales Geländemodell, das aus dem Airborne-Laserscanning-Verfahren resultiert (digitales, Scannverfahren der Erdoberfläche aus Fluggeräten). Die daraus erhobenen Daten haben eine Genauigkeit von +/-0,5 m. Das DGM-100 hat ein 100 m x 100 m-Raster, das Bezugssystem ist das Deutsche Haupthöhennetz 1992.

das Erzeugungspotenzial bzw. das technische Potenzial als aussagekräftigeren Wert zu erlangen. Zunächst erfolgt die Methodikdarstellung zur Berechnung der photovoltaischen Stromerzeugung und anschließend die der Solarthermie.

Berechnung des Fotovoltaikpotenzials

Der elektrische Energieertrag von netzgekoppelten Anlagen berechnet sich nach folgender Gleichung [Quaschnig-2008]:

$$E_{\text{elektrisch}} = \frac{H_{\text{Solar}} \cdot f_{\text{Neigung}} \cdot P_{\text{MPP}} \cdot \text{PR}}{1 \frac{\text{kW}}{\text{m}^2}} \quad (\text{Gl. 3.6})$$

H_{Solar} jährliche solare Bestrahlung [kWh/(m²*a)]

f_{Neigung} Neigungsgewinne bzw.-verluste

P_{MPP} Nennleistung der Fotovoltaikmodule [kW_p]

PR Performance Ratio (Verhältnis realer Wirkungsgrad zum Nennwirkungsgrad)

Die installierbare Fotovoltaikleistung P_{MPP} setzt sich aus nutzbarer Fläche und Modulwirkungsgrad zusammen [Quaschnig-2008]:

$$P_{\text{MPP}} = A \cdot \eta \cdot 1 \frac{\text{kW}}{\text{m}^2} \quad (\text{Gl. 3.7})$$

A nutzbare Fläche

η Modulwirkungsgrad

Diese Gleichungen decken sich grundsätzlich mit anderen in der Praxis verwendeten Berechnungsformeln [Klarle-2008]. Änderungen sind dabei nur marginal.

Aus den beiden oben angeführten Gleichungen ergeben sich für das Stromerzeugungspotenzial insgesamt drei maßgebliche Hauptfaktoren:

- § die verfügbaren Flächen für die Solarmodulinstallation
- § das Strahlungsangebot
- § die Anlagentechnik

Die jährliche solare Bestrahlung

Als Eingangsgröße für das Strahlungsangebot wird die durchschnittliche Globalstrahlung aus der Berechnung des theoretischen Potenziales verwendet.

Die nutzbare Fläche

Für die Bestimmung der nutzbaren Fläche müssen zunächst einige Annahmen getroffen werden. So können grundsätzlich nicht nur Dachflächen verwendet werden, sondern auch Fassadenflächen, Freiflächen und Sonderflächen (Verkehrswege; Vorgärten; Überdachungen, etc.), wobei mehr als 60 % der Potenziale auf Dachflächen und knapp 20 % auf Freiflächen entfallen [Quaschnig-2000], [Kaltschmitt-2005]. Fassaden und Sonderflächen werden in dieser Untersuchung ebenso wenig betrachtet wie Freiflächen, da für diese strenge Richtlinien gelten.

In einem nächsten Schritt ist die Dachfläche A_{Dach} berechnet worden. Da in amtlichen Statistiken jedoch die grundlegenden Informationen über Dachflächen sowie über ihre Typisierung fehlen, müssen diese abgeschätzt werden. Diese Abschätzung wurde auf Grundlage einer Unterscheidung in Wohn- und Nichtwohngebäude durchgeführt, um den unterschiedlichen Dacharten gerecht zu werden. Folgende Annahmen und Restriktionen müssen ebenfalls berücksichtigt werden:

- § Anteil Flach- bzw. Schrägdach
- § Bauliche Restriktionen (Tragfähigkeit; Denkmalschutz; Dachaufbauten)
- § Abschattungen
- § Neigungswinkel
- § Dachausrichtung

Diese Unterscheidung ist aufgrund einer direkten Beeinflussung des Stromertrages notwendig. Verschiedenste Studien haben über exemplarische Erhebungen Umrechnungsfaktoren hergeleitet, um aus der Wohnfläche A_{Wohn} in Wohngebäuden auf die Dachfläche schließen zu können. Der Vergleich einiger süddeutscher Studien ergibt Werte zwischen 0,72 und 0,82 sowie einen Flachdachanteil bei Wohngebäuden zwischen 0 % und 13 % [Quaschnig-2000]. Andere Quellen geben einen Faktor von 0,82 und einen Wohngebäudeflachdachanteil von 6,6 % an [Kaltschmitt-1993]. Die weitere Berechnung folgt Quaschnig, der ein Verhältnis von Dachfläche zu Wohnfläche von 0,8 und einen Flachdachanteil von 7 % annimmt. Dies liegt in den Vergleichen mehrerer Studien und der regionalen Nähe zum Untersuchungsgebiet begründet. Die Wohnflächen für Stadt und Landkreis Bamberg bezogen auf das Jahr 2008 wurden der Statistik-kommunal 2009 entnommen. Bezüglich der Nichtwohngebäude liegen keine gesicherten Zahlen vor. Daher muss sich diesem Wert

über einen Vergleich von Wohn- und Nichtwohngebäuden genähert werden. Für Deutschland ist eine Dachfläche auf Wohngebäuden von 2 345 Mio. m² und auf Nichtwohngebäuden von 2 000 Mio. m², wobei der Flachdachanteil bei 60 % liegt [Kaltschmitt-1993]. Daraus ergibt sich ein Umrechnungsfaktor von 0,85, um aus den zuvor berechneten Wohngebäudedachflächen die Nichtwohngebäudedachflächen abzuleiten.

Da sich die berechneten Werte aus einem Mittelwert ableiten, können einzelne Gemeinden aufgrund standortspezifischer Gegebenheiten in der Realität hiervon abweichen.

Somit ergeben sich vier Dachtypen:

- § Wohngebäude mit Schrägdach
- § Wohngebäude mit Flachdach
- § Nichtwohngebäude mit Schrägdach
- § Nichtwohngebäude mit Flachdach

Dachausrichtung

Die Typisierung der Dächer folgt dem Vorschlag von Quaschnig, der teils eigene Kriterien ermittelt bzw. sich auf andere Quellen bezieht. Demnach sind 40 % aller Dachflächen durch bauliche Restriktionen und Dachaufbauten nicht für die Errichtung von Dachaufbauten geeignet. Hierunter fällt auch der Denkmalschutz [Quaschnig-2000], [Kaltschmitt-2005]. In Bayern sind weniger als 1 % der Gebäude, 0,1 % aller Kirchenbauten sowie 2,5 % aller baulichen Anlagen vom Ensembleschutz oder Denkmalschutz erfasst [BLFD-2010]. Da vor allem in dem UNESCO-Welterbe Bamberg sowie einigen anderen Ortschaften von einem erhöhten Anteil ausgegangen werden muss, wird im Sinne einer konservativen Schätzung der geeignete Dachflächenanteil auf 50 % reduziert. Dies trifft jedoch nur auf Wohngebäude mit Schrägdächern zu, da hier der prozentual höchste Anteil zu erwarten ist. Für alle anderen Dachtypen kann von einem normalen nutzbaren Anteil von 60 % ausgegangen werden.

Neigungswinkel, Dachausrichtungen sowie Abschattungen werden über eine Klassifizierung erfasst. Die nutzbaren Dächer werden jeweils in zwei Klassen unterschieden, so dass insgesamt acht unterschiedliche Typen entstehen. Zur Vereinfachung werden die Wohn- und Nichtwohngebäude in der Erläuterung zusammengefasst, da sich diese nur in der Bruttodachfläche unterscheiden, die Faktoren aber gleich sind.

Die Wohn- und Nichtwohngebäude - Schrägdach - Klasse 1 weist einen maximalen Neigungswinkel von 60° und eine maximale Abweichung von 45° bezüglich der Südausrichtung auf. Dies entspricht 25 % der Schrägdächer. Aus der Abweichung bezüglich der Ausrichtung (Süd 30°) ergibt sich ein mittlerer

Neigungsverlust von 10 %. Da durch Verschattung maximal 5 % Verluste in Klasse 1 auftreten sollen, reduziert sich der Anteil noch einmal um 50 %.

Somit gehören 6,25 % aller Schrägdächer zu dieser Kategorie.

Neigungsverluste treten bei Wohn- und Nichtwohngebäuden - Flachdach - Klasse 1 nicht auf, da durch die Aufständigung die optimale Neigung gewählt werden kann. Um gegenseitige Verschattung zu vermeiden, können nur 35 % der Dachfläche genutzt werden [Quaschnig-2008], so dass sich die Module nur noch zu maximal 5 % selbst verschatten.

Dieser Kategorie entsprechen somit 10,5 % aller Flachdächer.

Unter Wohn- und Nichtwohngebäude - Schrägdach - Klasse 2 fallen nun alle Schrägdächer, welche nicht zur Klasse 1 gehören, maximal 90° von der Südrichtung abweichen und einen maximalen Neigungswinkel von 60° haben, so dass durchschnittlich 15 % an Neigungsverlusten zu verzeichnen sind. In dieser Klasse sollen bis zu 15 % an Abschattungsverluste akzeptiert werden.

Zu dieser Kategorie gehören 37,5 % aller Schrägdächer.

Bei Wohn- und Nichtwohngebäuden - Flachdach - Klasse 2 liegen wie bei den Schrägdächern der Klasse 2 maximal 15 % Verlust durch Fremdschattung vor. Hinzu kommen, wie für Flachdächer üblich, ein weiterer Verlust von max. 5 % durch die Eigenabschattung sowie ein maximaler Anteil von 35 % nutzbarer Dachfläche.

Somit gehören 10,5 % aller Flachdächer zu dieser Kategorie.

Der Modulwirkungsgrad

Grundsätzlich kann nur ein Bruchteil der eintreffenden Strahlungsenergie überhaupt genutzt werden, da ein hoher Anteil durch Reflexions-, Transmissions- und Rekombinationsverluste verloren geht. Die Energie, welche nun noch genutzt werden kann, wird durch den Modulwirkungsgrad bzw. den theoretisch maximalen Wirkungsgrad beschrieben.

Unter Standardtestbedingungen (AM 1,5²⁴; Bestrahlungsstärke 1 000 W/m²; Temperatur 25 °C) erreichen die Module aus großtechnischer Produktion je nach Typ Wirkungsgrade von 13 bis 25 %. Da diese Bedingungen in der Praxis nur sehr selten und zeitlich nie konstant auftreten, liegen die realen Werte niedriger. Folgende Materialien mit entsprechenden realen Wirkungsgraden werden derzeit verwendet [Solarserver-2010], [Quaschnig-2010]:

²⁴ AM 1,5 = Einfallswinkel des Lichts von 48° bezogen auf Senkrechte

- § Monokristallines Silizium (Standard) = ca. 15,5 %
- § Monokristallines Silizium (high efficiency) = ca. 18 %
- § Polykristallines Silizium = ca. 14,5 %
- § Amorphes Silizium = ca. 6 %

In der Realität kommt nicht grundsätzlich das Material zum Einsatz, welches den höchsten Wirkungsgrad verspricht, denn beispielsweise spielen auch Kosten/Nutzen-Rechnungen eine Rolle. Daher wird für den Modulwirkungsgrad zur konservativen Abschätzung ein Mittelwert von 13,5 % angekommen.

Neigungsgewinne bzw. -verluste

Dieser Faktor, manchmal auch Korrekturfaktor genannt [Klarle-2008], ergibt sich aus der Tatsache, dass zwar die Globalstrahlung immer für horizontale Flächen angegeben wird, die Empfangsfläche aber oft nicht horizontal zur Sonneneinstrahlung steht.

Bei besonders günstiger Ausrichtung können sogar Werte bis 110 % erreicht werden [Quaschnig-2008]. Da sich der Einstrahlungswinkel allerdings stetig verändert und die zumeist fest montierten Empfangsflächen nicht immer im günstigsten Winkel stehen, ergeben sich über das Jahr verteilt gemittelte Werte. Erschwerend kommt hinzu, dass die Dachklassen nicht einer einheitlichen Neigung und Ausrichtung entsprechen, sondern mehreren Werten.

Eine für die Dachklassen ermittelte Häufigkeitsverteilung ergibt folgende Neigungsverluste [Quaschnig-2000]:

- § Wohn- und Nichtwohngebäude; Schrägdach; Klasse 1 = 10 %
- § Wohn- und Nichtwohngebäude; Schrägdach; Klasse 2 = 15 %

Diese Verluste beziehen sich auf eine optimal ausgerichtete Fläche, so dass sich für Schrägdächer der Klasse 1 ein Wert von 1,0 und für Schrägdächer der Klasse 2 ein Wert von 0,95 ergibt.

Für Flachdächer müssen keine Neigungsverluste angesetzt werden, da hier die Dachform nicht die Neigung vorgibt. Durch eine Aufständigung ist ein optimaler Winkel wählbar, so dass ein Neigungsgewinn von 10 % zu erwarten ist [Quaschnig-2008].

Die Performance Ratio

In der Performance Ratio (PR) werden sowohl Wechselrichterverluste als auch Verluste durch Verschmutzung bzw. Abschattung zusammengefasst.

Die mittleren Wirkungsgrade dieser Wechselrichter haben in den letzten Jahren deutlich zugenommen. Bei kleineren Wechselrichtern ($< 1\text{ kW}$) sollte der europäische Wirkungsgrad über 90 % betragen und bei größeren ca. 95 bis 97 % [Kaltschmitt-2006]. In der Forschung wurden sogar schon Werte von bis zu 99,05 % erreicht.

Zur Bestimmung der gesamten Performance Ratio kann Quaschnig herangezogen werden. Dieser gibt die Performance Ratio für sehr gute Lagen mit 0,85 an [Quaschnig-2008].

Da kleinste Fremdabschattungen in Klasse 1 zugelassen werden sollen, muss der Mittelwert dieser Abschattungen abgezogen werden. Da dies für die Dächer in der Klasse 1 2,5 % sind, ergibt sich eine neue Performance Ratio von 0,825. Bei Flachdächern dieser Klasse muss zudem der gleiche Prozentsatz für eine Eigenabschattung abgezogen werden, so dass hier $PR = 0,8$ ist.

In Klasse 2 sollen höhere Werte, nämlich 5 bis 15 %, für die Fremdabschattungen akzeptiert werden. Daher muss nun ein gemittelter Wert von 0,1 bei der Performance Ratio abgezogen werden. Dadurch ergibt sich für Schrägdächer der Klasse 2 $PR = 0,75$ und für Flachdächer $PR = 0,725$.

Berechnung von Freiflächenphotovoltaik

Die Berechnung der Freiflächenfotovoltaik folgt der Dachflächenfotovoltaik. Für das Untersuchungsgebiet ergibt sich eine durchschnittliche Leistung von 804 MWh/MWp der Anlagen. Bei einer idealen Süd-Ausrichtung der Module kann dieser Wert auf bis zu 1000 MWh/MWp gesteigert werden. Pro Hektar lassen sich somit zwischen 402 und 500 MWh_{el} generieren. Da die Förderung von Freiflächenfotovoltaik derzeit unsicher ist, wurden keine Flächenpotenziale ausgewiesen; sie kann damit als Reserve für das Schließen von Deckungslücken in der regenerativen Energieversorgung angesehen werden.

Berechnung des Solarthermiepotenzials

Die Effizienz der Wärmegewinnung ist gegenüber der Fotovoltaik deutlich höher. So erzeugt 1 m² solarthermisch genutzte Fläche im Durchschnitt 416 kWh_{th}. Der Wert für die gleiche Fläche mit fotovoltaischer Nutzung liegt dagegen bei nur 95 kWh [AeE-2009]. Dieser technische Vorteil wird allerdings durch die schlechte Transportfähigkeit und die noch defizitärere Speicherkapazität stark beeinträchtigt. So ist beispielsweise die Wärmeerzeugung in den Sommermonaten am höchsten, während die Wärmenachfrage erst in den Win-

termonaten deutlich steigt. Daher besitzt die Fotovoltaik, welche bezüglich der Dachflächen in direkter Konkurrenz steht, an diesem Punkt einen deutlichen Wettbewerbsvorteil, da die Stromnachfrage über das Jahr betrachtet deutlich konstanter ist. Die Berechnung des allgemein vorhandenen technischen Angebotspotenzials für die Solarthermie in Bamberg folgt der Gleichung

$$E_{th} [kWh/a] = A_{Dach} \cdot 0,15 \cdot 416 [kWh/(m^2 \cdot a)] \quad (Gl. 3.8)$$

Berechnung des technischen Angebotspotenzials der Solarthermie [Uni Stuttgart-2009]

In einigen Potenzialanalysen wird die direkte Konkurrenzsituation zwischen der Solarthermie und der Fotovoltaik nicht beachtet. Allerdings täuschen diese Werte ein Potenzial vor, welches so nicht erreicht werden kann. Im schlimmsten Fall werden jeweils 100 % der beiden Potenziale erwartet. Daher muss ein prozentualer Flächenverteilungswert zwischen diesen beiden Konkurrenzsituationen angenommen werden. Für 2008 wurde die gesamte für Solarenergie genutzte Dachfläche in der Bundesrepublik Deutschland auf 5 860 ha geschätzt [AeE-2009]. Die Solarthermie machte dabei circa 1 100 ha aus [BMWI-2010], das entspricht einem Anteil von circa 18 %.

Die Autoren gehen davon aus, dass nur rund 15 % aller Dachflächen aufgrund von Dachaufbauten, Neigungen und Ausrichtungen für solarthermische Anlagen nutzbar sind und belegen dies durch mehrere Quellen. Dieser Wert wird mit dem durchschnittlich zu erwartenden Energieertrag pro m² multipliziert. Die Werte schwanken zwischen 450 kWh [AfEE-2009] und 465 kWh [BSW-Solar-2010]. Im Sinne einer konservativen Schätzung wird der Wert von 416 kWh weiter verwendet, so dass er in der Formel nicht verändert wird.

In einer Potenzialanalyse für die Stadt Herzogenaurach wurde dagegen mit der Begründung einer schlechten Speicherfähigkeit ein Verhältnis von 10 % Solarthermie zu 90 % Fotovoltaik angenommen [Pröbstle-2003]. Daher wird für die abschließende Berechnung des Solarthermiepotenzials ein durchschnittlicher Anteil von 15 % und für die Fotovoltaik 85 % angenommen.

3.6 Erstellung der SWOT-Analyse

Die SWOT-Analyse (S-Strengths – Stärken, W-Weaknesses – Schwächen, O-Opportunities – Chancen, T-Threats – Risiken) dient dazu, aus den Stärken und Schwächen eines Untersuchungsobjektes (interne Sicht) und den Chancen und Risiken der Umwelt (externe Sicht) geeignete Strategien für die Erreichung von Zielen abzuleiten. Dabei werden aktuelle Stärken und Schwächen sowie Chancen und Risiken des Untersuchungsobjektes (dies kann ein Unternehmen, eine

Organisation oder eine Region sein) qualitativ aufgelistet und daraus Strategien und Maßnahmen abgeleitet [Orgahandbuch-2010], [Drews-2007].

Ein geeignetes Hilfsmittel für die Erstellung einer SWOT-Analyse ist eine SWOT-Matrix (siehe Tabelle 3-13). Anhand dieser Matrix wurden alle Kriterien für die Region Stadt und Landkreis Bamberg analysiert und eine auf die Untersuchungsregion bezogene SWOT-Matrix erstellt.

Tabelle 3-13: SWOT-Matrix [Orgahandbuch-2010]

Stärken	Schwächen
Interne, aktuelle Analyse	
§ Auf welche Ursachen sind vergangene Erfolge zurückzuführen?	§ Welche Schwachpunkte gilt es künftig zu vermeiden?
§ Welche Synergiepotenziale liegen vor, die mit neuen Strategien besser genutzt werden können?	§ Welche Dienstleistung ist besonders schwach?
Chancen	Risiken
Externe, potenzielle Analyse	
§ Welche Möglichkeiten stehen offen?	§ Welche Schwierigkeiten hinsichtlich der gesamtgesellschaftlichen Situation liegen vor?
§ Welche Trends gilt es zu verfolgen?	§ Was machen eventuell vorhandene Wettbewerber?
	§ Ändern sich die Vorschriften für Arbeit, Produkte oder Dienstleistungen?
	§ Bedroht ein Technologie- oder Politikwechsel die Stellung?

Im Rahmen teaminternen Fokusgruppenworkshops wurden anhand der in Tabelle 3-13 dargestellten Matrix alle Kriterien für die Region Stadt und Landkreis Bamberg analysiert und eine auf die Untersuchungsregion bezogene SWOT-Matrix erstellt.

3.7 Erarbeitung der strategischen Handlungsempfehlungen

Grundlage für die Erarbeitung der strategischen Handlungsempfehlungen bildeten die Ergebnisse der Ist-Analyse und der Potenzialberechnungen und deren Darstellung innerhalb der Gemeindestammdatenblätter sowie die Ergebnisse der SWOT-Analyse. Daraus wurden Empfehlungen in den folgenden Handlungsfeldern erarbeitet:

- § Allgemeine politische Maßnahmen
- § Allgemeine technische Maßnahmen
- § Gemeindespezifische Maßnahmen, die auf Gemeindeebene umgesetzt werden können

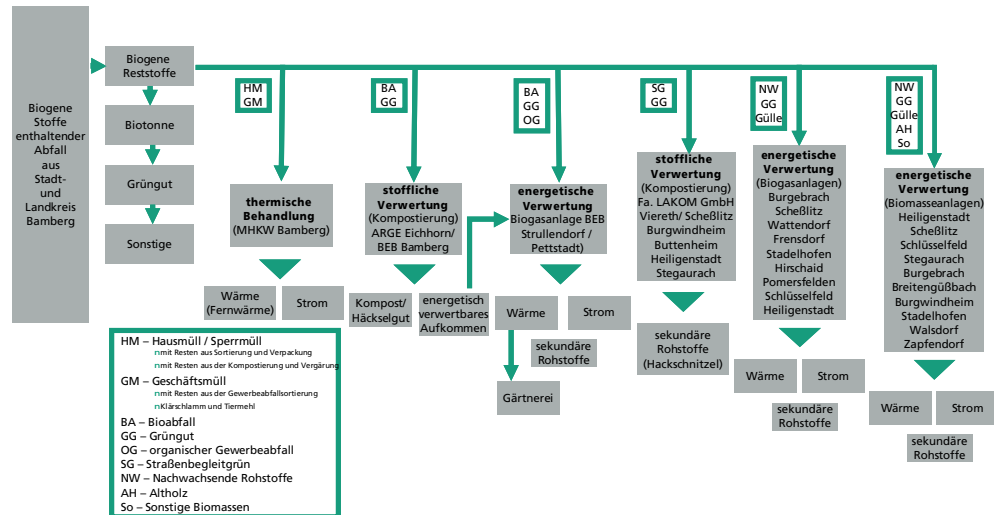
Die Handlungsempfehlungen für allgemeine politische und technische Maßnahmen leiten sich aus den Ergebnissen der SWOT-Analyse ab. Um gemeindespezifische Handlungsempfehlungen ableiten zu können, wurden aus den berechneten Potenzialen für die untersuchten Energieformen verschiedene Klassen von Empfehlungen erarbeitet, in Kategorien zusammengefasst und in Form einer Matrix dargestellt

- § Landwirtschaftliche Biomasse
- § Forstwirtschaftliche Biomasse
- § Wind
- § Erdwärme und
- § Sonnenenergie

einzelnen betrachtet.

Biomasse aus Abfall wird im Untersuchungsgebiet komplett über die grüne Tonne gesammelt und in der Kompostieranlage in Bamberg weiterverarbeitet. Dort erfolgt eine mechanische Aufbereitung in eine kompostierbare Fraktion und eine vergärbare Fraktion. Der vergärbare Anteil wird in der Vergärungsanlage in Pettstadt energetisch verwertet [Hollfelder-2004], [Pettstadt-2010]. Eine Steigerung des Potenzials für Biomasse aus Abfall wäre lediglich durch eine noch strengere Abtrennung des organischen Anteils im Restmüll, der im BHKW Bamberg entsorgt wird, möglich. Aus diesem Grund erscheint eine separate gemeindebezogene Empfehlung für den Ausbau des energetischen Potenzials aus Biomasse aus Abfall nicht sinnvoll.

Bild 3-18:
Verwertung des biogene Stoffe enthaltenden Abfalls aus Stadt- und Landkreis Bamberg



Um aus den Potenzialen für Biomassen aus der Landwirtschaft gemeinde-spezifische Empfehlungen zu Ausbaumöglichkeiten ableiten zu können, wurden theoretische Anlagenzahlen pro Gemeinde ermittelt. Hierfür wurde das gemeindespezifische Potenzial in MWh für landwirtschaftliche Biomasse auf eine Standardanlage mit einer Leistung von 150 MW und einer Betriebszeit von 8 000h/a bezogen:

$$Anlagen_{Gemeinde} = \frac{Potenzial_{el}}{8\,000\,h * P_{Standardanlage}} \quad (Gl. 3.9)$$

Für die Eignung der betrachteten Gemeinden wurden die folgenden Kategorien festgelegt (siehe auch Tabelle 3-14):

- § Nicht geeignet: kein Potenzial
- § Eingeschränkt geeignet: Potenzial für weniger als eine Anlage
- § Geeignet: Potenzial für ein bis fünf Anlagen
- § Gut geeignet: Potenzial für mehr als fünf Anlagen.

Die Grundlage für die Ermittlung gemeindespezifischer Handlungsempfehlungen für Biomassen aus der Forstwirtschaft bildet die Anzahl theoretisch möglicher Holzscheitanlagen. Diese Annahme basiert auf folgenden Überlegungen:

- § Der Bedarf an Brennstoff soll aus gemeindeeigenem Waldbestand gedeckt werden können.

- § Holzscheitanlagen werden häufig im privaten Bereich eingesetzt. Hier bietet sich die Einbeziehung der Bevölkerung in die Arbeit der Klimaallianz an, so dass eine höhere Breitenwirksamkeit erreicht werden kann.
- § Die Installation von Hackschnitzelanlagen würde große Mengen Holz binden, die teilweise nicht nur mit Holz aus dem Gebiet einer Gemeinde gespeist werden kann [Binder-2009]. Außerdem wird für die Befeuerung von Hackschnitzelanlagen auch Abfallholz genutzt, für die Berechnung müssten dann zwei verschiedene Wertschöpfungsketten kombiniert werden.
- § Für die Anlagen wurde eine Leistung von 15 kW angenommen. Das entspricht der durchschnittlichen Leistung von Scheitholzkesseln für die Beheizung des Wohnraums für einen 3-4 Personenhaushalt einer teilsanierten Altbauwohnung.

Damit ergibt sich für die gemeindebezogene theoretische Anzahl an Holzscheitanlagen:

$$Anlagen_{Gemeinde} = \frac{Potenzial_{el}}{P_{Standardanlage}} \quad (Gl. 3.10)$$

Für die Eignung der betrachteten Gemeinden wurden die folgenden Kategorien festgelegt (siehe auch Tabelle 3-14):

- § Nicht geeignet: kein Potenzial
- § Eingeschränkt geeignet: Potenzial für weniger als 50 Anlagen
- § Geeignet: Potenzial für 50 bis 500 Anlagen
- § Gut geeignet: Potenzial für mehr als 500 Anlagen.

Die Eignung der Städte, Gemeinden und Märkte innerhalb des Untersuchungsgebietes für die Nutzung von Windenergie wurde auf Basis der berechneten technischen und wirtschaftlichen Potenziale festgestellt. Hierzu wurde für die gemeindespezifischen zur Nutzung von Windenergie geeigneten Flächen, also Flächen ohne Restriktionen (siehe Bild 3-14) die Anzahl theoretisch möglicher Anlagen ermittelt. Um eine Vergleichbarkeit der Daten zu erreichen, wurde eine Referenzanlage des DWD²⁵ betrachtet. Durch das EEG²⁶ besteht eine Förderung für Anlagen, die mindestens 60 % des Ertrages einer Referenzanlage erwirtschaften [EEG-2004]. Für die Kategorisierung wurden auf dieser Basis die folgenden Eignungsklassen definiert (siehe auch Tabelle 3-14):

- § Nicht geeignet:
Keine geeigneten Flächen vorhanden, Windgeschwindigkeiten bieten Potenzial für weniger als 60 % des Referenzertrages

²⁵ Referenzanlage des Deutschen Wetterdienstes, Nabenhöhe: 78 bis 138 m, Rotordurchmesser: 82 m

²⁶ Gesetz für den Vorrang erneuerbarer Energien (Erneuerbare-Energien-Gesetz) vom 01.08.2004

- § Eingeschränkt geeignet:
Windgeschwindigkeiten bieten Potenzial für weniger als 60 % des Referenzertrages innerhalb von Flächen ohne Restriktionen
- § Geeignet:
Windgeschwindigkeiten bieten Potenzial für 60 – 100 % des Referenzertrages innerhalb von Flächen ohne Restriktionen
- § Gut geeignet:
Windgeschwindigkeiten bieten Potenzial für mehr als 100 % des Referenzertrages innerhalb von Flächen ohne Restriktionen.

Für die energetische Nutzung von Erdwärme (Geothermie) wurden die im Rahmen der Ist-Analyse ermittelten hydrogeologischen Gegebenheiten zugrunde gelegt und mit Kategorien aus der Raumordnung zur Siedlungsstruktur verknüpft. Für die Nutzung von Erdwärme sind Mindestabstände zwischen den einzelnen Bohrungen einzuhalten. Dies ist aufgrund der Bebauungsstruktur in ländlichen Gebieten leichter zu realisieren als in urbanen Gebieten. Deshalb wurde bezüglich der Siedlungsstruktur zwischen urbaner und ländlicher Siedlungsstruktur unterschieden. Dabei wurden die folgenden Kategorien festgelegt (siehe auch Tabelle 3-14):

- § Nicht geeignet:
Hydrogeologisch ausbautechnisch ungünstige Voraussetzungen (z. B. Karstgebiete)
- § Eingeschränkt geeignet:
Hydrogeologisch ausbautechnisch günstige Voraussetzungen bei urbaner Siedlungsstruktur
- § Geeignet:
Hydrogeologisch ausbautechnisch günstige Voraussetzungen bei ländlicher Siedlungsstruktur
- § Gut geeignet:
Hydrogeologisch ausbautechnisch günstige Voraussetzungen mit günstigem Grundwasserflurabstand.

Für die Empfehlungen zur Nutzung der Sonnenenergie wurden die Nutzungsarten Solarthermie und Fotovoltaik zusammengefasst. In den Berechnungen der jeweiligen Potenziale wurden Anteile von 15 % Solarthermie und 85 % Fotovoltaik angenommen (siehe Kapitel 3.5.6). Es ist jedoch davon auszugehen, dass durch technische Weiterentwicklung der Anteil an Fotovoltaikanlagen in Zukunft steigen wird. Anhand der berechneten Potenziale hat sich gezeigt, dass für alle Städte, Märkte und Gemeinden des Untersuchungsgebietes gute Voraussetzungen für die Nutzung von Sonnenenergie existieren (siehe Kapitel 3.5.6). Aus diesem Grund wurden hier nur die Kategorien geeignet und gut geeignet als gemeindespezifische Handlungsempfehlungen gewählt. Hierfür wurde der Mittelwert der durchschnittlichen Globalstrahlung pro Ge-

meinde in W/m^2 ermittelt. Demnach wird die Nutzung für Gemeinden mit Werten der Globalstrahlung unterhalb des landkreisweiten Mittelwertes als geeignet eingeschätzt, für Gemeinden mit überdurchschnittlicher Globalstrahlung wird die Nutzung als gut geeignet eingeschätzt.

Tabelle 3-14: Kategorien für gemeindespezifische Handlungsempfehlungen

Energieart	Kategorie			
	Nicht geeignet	Eingeschränkt geeignet	Geeignet	Gut geeignet
Landwirtschaftliche Biomasse	Kein Potenzial	Potenzial für < 1 Anlage	Potenzial für 1 bis 5 Anlagen	Potenzial für > 5 Anlagen
Forstwirtschaftliche Biomasse	Kein Potenzial	< 50 installierbare Scheitholzkessel mit 15 kW Leistung aus eigenem Waldbestand	50 bis 500 installierbare Scheitholzkessel mit 15 kW Leistung aus eigenem Waldbestand	> 500 installierbare Scheitholzkessel mit 15 kW Leistung aus eigenem Waldbestand
Windenergie	< 60 % EEG Referenzertrag und keine Eignungsflächen	< 60 % EEG Referenzertrag	60 - 100 % EEG Referenzertrag	> 100 % EEG Referenzertrag
Geothermie	hydrogeologisch ausbautechnisch ungünstig	hydrogeologisch ausbautechnisch günstig urbane Siedlungsstruktur	hydrogeologisch ausbautechnisch günstig ländliche Siedlungsstruktur	hydrogeologisch ausbautechnisch günstig günstiger Grundwasserflurabstand
Sonnenenergie	Entfällt	Entfällt	< 1 050 W/m^2	> 1 050 W/m^2

Demnach erhielt jede Gemeinde für alle untersuchten Energiearten Empfehlungen, so dass neben den energiebezogenen gemeindespezifischen Handlungsempfehlungen ebenfalls Möglichkeiten der gemeindeübergreifenden Zusammenarbeit in einzelnen Energiearten abgeleitet werden konnten. Die Ergebnisse sind in Kapitel 10.3 zusammengestellt.