

Energienutzungsplan für die Stadt Abenberg



„Gefördert vom Bayerischen Staatsministerium für Wirtschaft,
Infrastruktur, Verkehr und Technologie“

Energienutzungsplan für die Stadt Abenberg

Abschlussbericht Juli 2014

Auftraggeber:

Stadt Abenberg
Stillaplatz 1
91183 Abenberg

Auftragnehmer

Institut für Energietechnik (IfE) GmbH
an der Hochschule Amberg-Weiden
Kaiser-Wilhelm-Ring 23
92224 Amberg

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung.....	6
2	Die Energie- und CO₂-Emissionsbilanz im Ist-Zustand / Situationsanalyse im Stadtgebiet	7
2.1	Allgemeine Daten	8
2.2	Die Charakterisierung der Verbrauchergruppen.....	11
2.3	Datengrundlage bei der Ermittlung des energetischen Ist-Zustandes	13
2.4	Der Endenergieeinsatz, Primärenergieeinsatz und der CO ₂ -Ausstoß in der Stadt Aabenberg.....	21
3	Wärmekataster der Stadt Aabenberg	24
4	Potentialbetrachtung der Energieeffizienzsteigerung bzw. Energieeinsparung.....	26
4.1	Potentialbetrachtung im Bereich Private Haushalte	26
4.2	Potentialbetrachtung im Bereich Gewerbe, Handel, Dienstleistung, Industrie und Landwirtschaft	30
4.3	Potentialbetrachtung im Bereich kommunale Liegenschaften	35
4.4	Zusammenfassung	38
5	Das Angebotspotential der Erneuerbaren Energien	39
5.1	Potentialbegriff.....	40
5.2	Direkte Nutzung der Sonnenenergie	41
5.3	Biomasse.....	46
5.4	Windkraftanlagen.....	52
5.5	Zusammenfassung	53

6	Ausarbeitung von Detailmaßnahmen – Gebäudesanierung der Grund und Mittelschule Abenberg.....	54
6.1	Energieeinsparungsmöglichkeiten durch effizientere Nutzung der technischen Gebäudeausstattung	55
6.2	Nicht-investive Maßnahmen	55
6.3	Investive Maßnahmen	56
6.4	Die Bewertung der Gebäudehülle im Ist-Zustand mit Darstellung möglicher Sanierungsoptionen.....	63
6.5	Zusammenfassung der Ergebnisse der baulichen Betrachtung	85
7	Ausarbeitung von Detailmaßnahmen – Alternative Energieversorgung Grund- und Mittelschule Abenberg	86
7.1	Die wirtschaftlichen Grundannahmen	86
7.2	Darstellung möglicher Förderungen.....	93
7.3	Hinweise zu den Wärmeerzeugern.....	98
7.4	Der Wärmebedarf	100
7.5	Die Versorgungsvarianten	102
7.6	Die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung	110
7.7	Zusammenfassung	120
8	Ausarbeitung von Detailmaßnahmen – Wirtschaftlichkeits-betrachtung von Photovoltaikanlagen auf Liegenschaften der Stadt Abenberg	121
8.1	Grundschule Abenberg Variante A	123
8.2	Grundschule Abenberg Variante B	125
8.3	Abwasserhebewerk Güssübelstraße.....	127

9	Gegenüberstellung der Endenergieverbrauchssituation und der CO₂-Bilanz mit den Reduktionspotentialen	129
9.1	Strom.....	129
9.2	Wärme.....	131
9.3	Die CO ₂ -Minderungspotentiale	133
9.4	Die Entwicklungsszenarien in der Stadt Abenberg.....	135
10	Zusammenfassung / Maßnahmenempfehlung	138
11	Abbildungsverzeichnis	142
12	Tabellenverzeichnis	145

1 Einleitung

Der vorliegende Bericht beschreibt die Erstellung eines kommunalen Energienutzungsplanes für die Stadt Abenberg nach den Kriterien und Richtlinien des Bayerischen Staatsministeriums für Wirtschaft, Infrastruktur, Verkehr und Technologie.

In einer umfassenden Bestandsaufnahme wird zu Beginn die vorhandene Infrastruktur der Stadt Abenberg erfasst. Neben der Erhebung von allgemeinen Daten werden Verbrauchergruppen definiert. Die Einteilung in die Verbrauchergruppen

- private Haushalte,
- kommunale Liegenschaften und
- Gewerbe, Handel, Dienstleistung, Industrie, Landwirtschaft und Sonderkunden (nachfolgend GHDIL genannt)

ist für die weiteren Schritte des Energienutzungsplanes vorteilhaft. Anschließend werden die Energieströme im gesamten Stadtgebiet getrennt in leitungsgebundene (Strom, Erdgas, Fernwärme) und nicht-leitungsgebundene (Heizöl, Biomasse, ...) Energieträger erfasst und der Anteil erneuerbarer Energien ermittelt. Mit Kenntnis der Gesamtenergieströme kann der CO₂-Ausstoß des Stadtgebietes der Stadt Abenberg berechnet werden.

Aufbauend auf die umfangreiche Situationsanalyse werden die Potentiale zur Minderung des Energieeinsatzes aufgezeigt. Es wird für die im Vorfeld gebildeten Verbrauchergruppen eine grundlegende Potentialbetrachtung ausgearbeitet.

Anschließend wird das Angebotspotential aller Erneuerbaren Energien im Stadtgebiet der Stadt Abenberg betrachtet, worauf aufbauend die Endenergieverbrauchssituation und die CO₂-Bilanz erstellt werden, in die auch die errechneten Reduktionspotentiale mit einfließen. Mit diesen Ergebnissen werden zukünftige Entwicklungsszenarien im elektrischen und thermischen Bereich für das Stadtgebiet erstellt.

Im darauffolgenden Kapitel erfolgt eine Beschreibung und Darstellung des ausgearbeiteten Wärmekatasters für das Stadtgebiet der Stadt Abenberg, welches als Grundlage für die Ausarbeitung von Detailmaßnahmen (Nahwärmenetze, Gebäudesanierung, ...) dient.

Zum Abschluss wird eine Zusammenfassung und Empfehlung für das Stadtgebiet Abenberg gegeben.

2 Die Energie- und CO₂-Emissionsbilanz im Ist-Zustand / Situationsanalyse im Stadtgebiet

Die Grundlage eines fundierten Energienutzungsplanes stellt die möglichst detaillierte Aufnahme der Energieversorgung im Ist-Zustand dar. Insbesondere wird hier in Form einer Leitgröße die Nutzung von leitungsgebundenen und nicht-leitungsgebundenen Energieträgern für die nachfolgenden drei Sektoren erfasst:

- private Haushalte,
- kommunale Liegenschaften und
- Gewerbe, Handel, Dienstleistung, Industrie, Landwirtschaft und Sonderkunden (nachfolgend GHDIL genannt)

Die Entwicklung des Energiebedarfs der Stadt Abenberg ist jedoch nicht nur von Energieeinsparmaßnahmen in den oben aufgeführten Sektoren abhängig, sondern auch von der allgemeinen Entwicklung der Nachfrage an Energiedienstleistungen.

Um die Bilanzen im Ist-Zustand erstellen zu können, müssen daher verschiedene Entwicklungen im Voraus betrachtet werden. Allgemeine Daten, wie die geographische Lage, die Flächenverteilungen sowie die Entwicklung der Einwohnerzahlen erleichtern diese Betrachtung.

Die nachfolgende Energie- und CO₂-Bilanz wird für das Jahr 2013 (Bilanzierungsjahr) gebildet.

2.1 Allgemeine Daten

In diesem Abschnitt wird die Stadt Aabenberg kurz dargestellt. Es werden allgemeine Zahlen und Daten, wie z.B. die Einwohnerzahlen und die Flächenverteilung vorgestellt. Diese Daten bilden die Grundlage der Berechnungen, Hochrechnungen und Prognosen in den folgenden Kapiteln.

2.1.1 Einwohnerzahl

Nachfolgend werden die Einwohnerzahlen der Stadt Aabenberg aufgeführt. Diese sind in Abbildung 1 abgebildet. Im Jahr 2011 waren 5.495 Einwohner im Stadtgebiet wohnhaft.

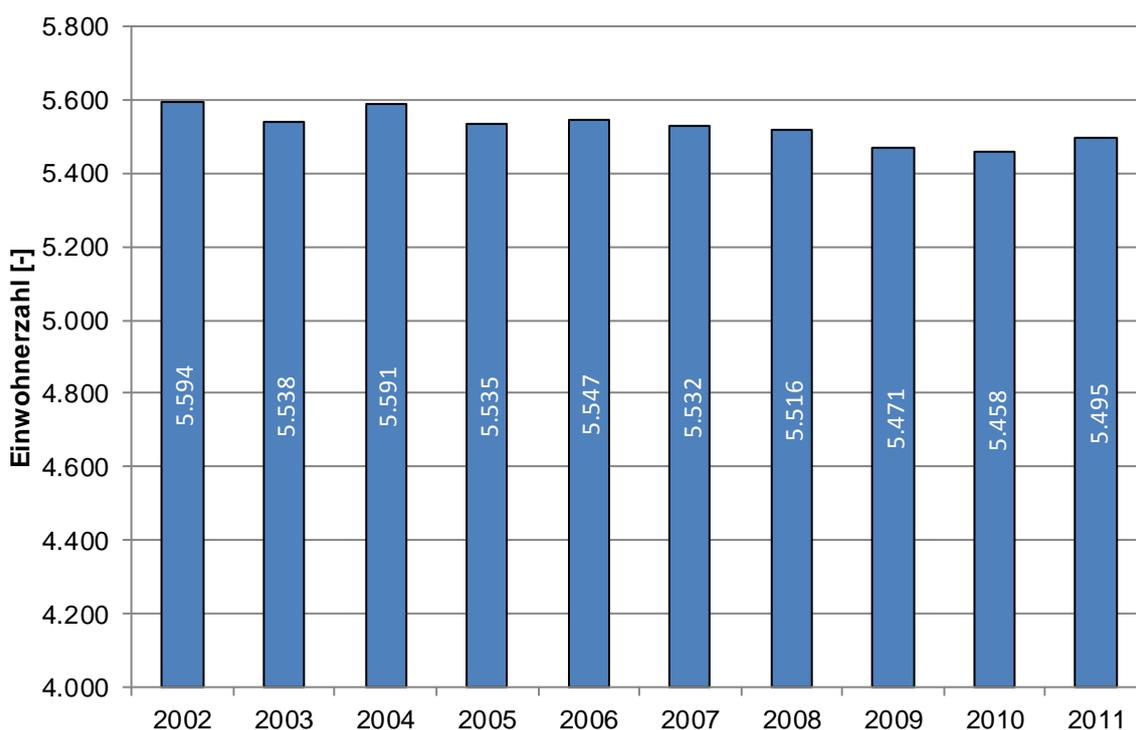


Abbildung 1: Bevölkerungsentwicklung der Stadt Aabenberg
[Quelle: Bayerisches Landesamt für Statistik und Datenverarbeitung]

2.1.2 Flächenverteilung

Das Stadtgebiet erstreckt sich über eine Gesamtfläche von 4.842 Hektar. Wird diese Fläche nach Nutzungsarten gegliedert, ergeben sich verschiedene Bereiche wie in Abbildung 2 ersichtlich ist. Aus energetischer Sicht sind die land- und forstwirtschaftlich genutzten Flächen zur Erzeugung biogener Brennstoffe von Interesse.

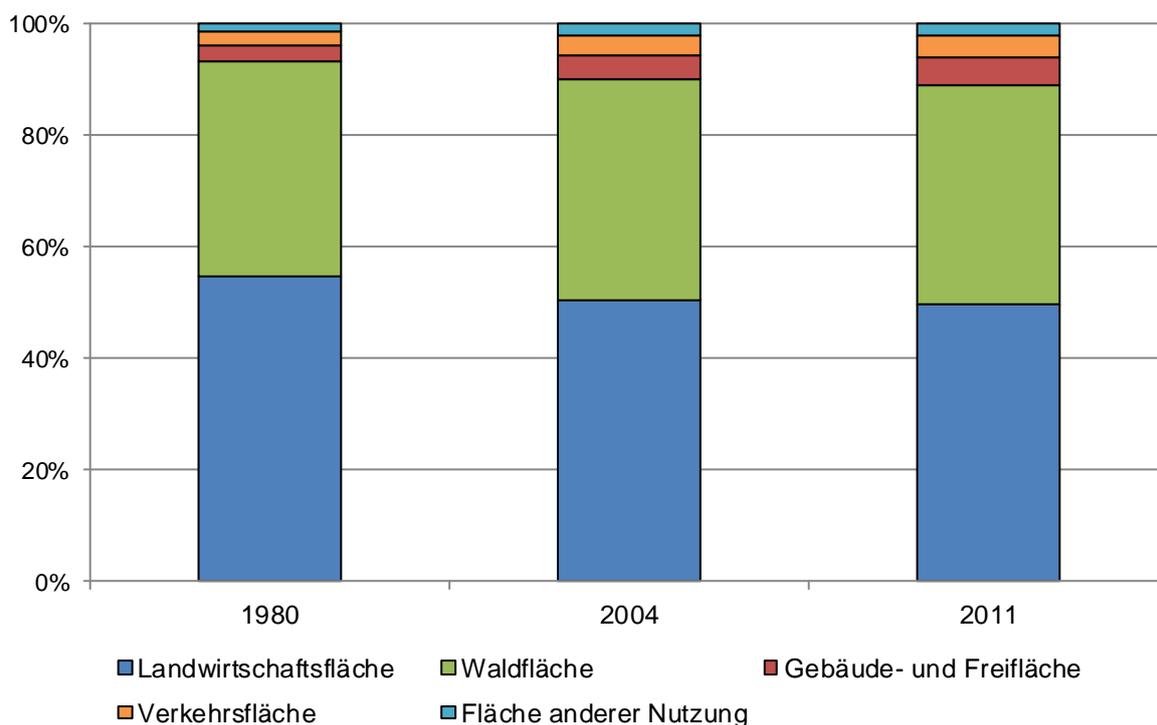


Abbildung 2: Flächenverteilung der Stadt Abenberg

[Quelle: Bayerisches Landesamt für Statistik und Datenverarbeitung]

2.1.3 Geographische Daten

Die Höhenlage der Stadt Abenberg liegt bei 414 Meter über Normalnull. In Abbildung 3 ist die geographische Lage des Stadtgebietes Abenberg im Landkreisgebiet Roth dargestellt.



Abbildung 3: Geographische Lage der Stadt Abenberg im Landkreis Abenberg [Quelle: www.wikipedia.de]

2.2 Die Charakterisierung der Verbrauchergruppen

Die Grundlage eines fundierten Energienutzungsplanes ist die möglichst genaue Darstellung der energetischen Ausgangssituation. In die Darstellung des Energieumsatzes werden der elektrische Gesamtumsatz (Strombezug) und der thermische Energieumsatz (Heizwärme und Prozesswärme) mit einbezogen. Bei der Verbrauchs- bzw. Bedarfserfassung wird auf direkt erhobene Daten aus dem Stadtgebiet, Jahresaufstellungen durch die Energieversorger sowie auf allgemein anerkannte spezifische Kennwerte für Bedarfsberechnungen zurückgegriffen.

Die Darstellung des gesamten Endenergieumsatzes im Betrachtungsgebiet und die entsprechende Aufteilung in die untersuchten Verbrauchergruppen erfolgt auf Grundlage des vorhandenen Datenmaterials.

2.2.1 Private Haushalte

Die Unterteilung in die Verbrauchergruppe „Private Haushalte“ erfolgt aufgrund der zur Verfügung gestellten Energieverbrauchsdaten. Diese Verbrauchergruppe umfasst sämtliche vom Energieversorgungsunternehmen geführte Verbraucher, deren Energieverbrauch jährlich abgerechnet wird.

Als „privaten Haushalt“ bezeichnet man im ökonomischen Sinne eine aus mindestens einer Person bestehende, systemunabhängige Wirtschaftseinheit, die sich auf die Sicherung der Bedarfsdeckung ausrichtet. Im Rahmen dieser Studie umfasst die Verbrauchergruppe private Haushalte alle Wohngebäude im Stadtgebiet und somit den Energiebedarf aller Einwohner (Heizenergie und Strom) in ihrem privaten Haushalt.

2.2.2 Kommunale Liegenschaften

Die Ermittlung des Endenergiebedarfes in der Verbrauchergruppe „kommunale Liegenschaften“ erfolgt über aktuelle Daten, die seitens der Stadt Abenberg zur Verfügung gestellt wurden.

2.2.3 Gewerbe, Handel, Dienstleistung, Industrie, Landwirtschaft und Sonderkunden

Die Unterteilung in die Verbrauchergruppe „Gewerbe, Handel, Dienstleistung, Industrie, Landwirtschaft und Sonderkunden“ erfolgt ebenfalls aufgrund der zur Verfügung gestellten Energieverbrauchsdaten. Diese Verbrauchergruppe umfasst sämtliche vom Energieversorgungsunternehmen geführte Verbraucher, deren Energieverbrauch monatlich abgerechnet wird, mit Ausnahme der kommunalen Liegenschaften.

Der Sektor „Industrie“ beinhaltet den Teil der Wirtschaft, der gekennzeichnet ist durch Produktion und Weiterverarbeitung von materiellen Gütern oder Waren in Fabriken und Anlagen, verbunden mit einem hohen Grad an Mechanisierung und Automatisierung, im Gegensatz zur handwerklichen Produktionsform.

Die Verbrauchergruppe „Gewerbe“ kann unterteilt werden in die Gruppen „Großgewerbe“ und „Kleingewerbe“. Der Sektor „Großgewerbe“ weist ähnliche oder gleiche Merkmale wie der Sektor „Industrie“ auf.

Die Verbrauchergruppe „Kleingewerbe“ definiert sämtliche Liegenschaften, die eine gewerbliche Tätigkeit selbstständig, regelmäßig und in Ertragsabsicht ausführen. Selbstständig bedeutet im Sinne der Gewerbeordnung auf eigene Rechnung und Verantwortlichkeit. Regelmäßig ist, wenn die Absicht besteht, die Handlung mehr als einmal durchzuführen, die Tätigkeit an mehr als eine Person angeboten wird oder diese Tätigkeit längere Zeit beansprucht.

Zudem werden in dieser Verbrauchergruppe sämtliche Betriebe des Handwerks und der Landwirtschaft geführt.

Nachfolgend wird diese Verbrauchergruppe mit „GHDIL“ abgekürzt.

2.3 Datengrundlage bei der Ermittlung des energetischen Ist-Zustandes

Die nachfolgenden Energieverbrauchsdaten sowie erzeugten Energiemengen durch die vor-Ort Erneuerbaren Energien beziehen sich auf das Bilanzjahr 2013.

2.3.1 Der elektrische Energiebedarf

Das örtliche Stromnetz wird von der N-ERGIE Netz GmbH betrieben.

Als Datengrundlage stehen der gesamte Stromverbrauch des Jahres 2013, sowie der detaillierte Verbrauch jeder kommunalen Liegenschaft zur Verfügung.

Insgesamt beträgt der jährlich Stromverbrauch in der Stadt Aabenberg rund 26.475 MWh. Hier ist der Bedarf an elektrischer Energie für Heizzwecke mit berücksichtigt. *[Quelle: N-ERGIE Netz GmbH]*

2.3.2 Der Erdgasbedarf

Das örtliche Erdgasnetz wird von der N-ERGIE Netz GmbH betrieben.

Als Datengrundlage stehen der gesamte Erdgasverbrauch des Jahres 2013, sowie der detaillierte Verbrauch jeder mit Erdgas versorgten kommunalen Liegenschaft zur Verfügung.

Insgesamt beträgt der jährliche Erdgasverbrauch in der Stadt Aabenberg rund 45.687 MWh_{Hi}. *[Quelle: N-ERGIE Netz GmbH]*

2.3.3 Der Heizölbedarf

Der Gesamtenergieeinsatz an Heizöl in der Stadt Abenberg beläuft sich auf rund 28.356 MWh pro Jahr (entspricht rund 2,8 Mio. Liter Heizöl). Dies wurde zum einen durch die detaillierten Verbrauchsdaten der kommunalen Liegenschaften, durch die Auswertung der rückläufigen Industriefragebögen und mithilfe einer detaillierten Aufstellung der Feuerstätten (Kaminkehrer) berechnet. *[Quelle: Auflistung Feuerstätten; Fragebögen]*

2.3.4 Der Flüssiggasbedarf

Der Gesamtenergieeinsatz an Flüssiggas in der Stadt Abenberg beläuft sich auf rund 1.177 MWh pro Jahr, was einem Heizöläquivalent von rund 170.000 Litern entspricht. Dies wurde zum einen durch die detaillierten Verbrauchsdaten der kommunalen Liegenschaften, durch die Auswertung der rückläufigen Industriefragebögen und mithilfe einer detaillierten Aufstellung der Feuerstätten (Kaminkehrer) berechnet. *[Quelle: Auflistung Feuerstätten; Fragebögen]*

2.3.5 Der Anteil bereits genutzter Erneuerbarer Energien im Ist-Zustand

2.3.5.1 Regenerative Stromerzeugung durch EEG-Anlagen

Photovoltaik

Zum Ende des Jahres 2013 waren in der Stadt Abenberg 225 Photovoltaikanlagen mit einer Gesamtleistung von 6.860 kW_p installiert. Die Stromeinspeisung im Jahr 2013 belief sich auf rund 5.200 MWh. Hierbei muss berücksichtigt werden, dass einige der Anlagen erst Ende des Jahres 2013 installiert wurden und dementsprechend im Jahr 2013 noch nicht der tatsächlich zu erwartende Ertrag erzielt wurde. *[Quelle: N-ERGIE Netz GmbH]*

Wasserkraftanlagen

In der Stadt Abenberg speisen dem Datenbestand des Jahres 2013 zufolge 2 Wasserkraftanlagen mit einer elektrischen Gesamtleistung von 45 kW ins öffentliche Netz ein. Die jährliche Stromproduktion der Wasserkraftanlage beläuft sich auf rund 214 MWh. *[Quelle: N-ERGIE Netz GmbH]*

Biomasse-KWK

Im Betrachtungsgebiet sind dem Datenbestand des Jahres 2013 zufolge 2 Biomasse-KWK-Anlagen mit einer elektrischen Gesamtleistung von rund 610 kW installiert. Die jährliche Stromproduktion aller Biomasse-KWK-Anlagen im Jahr 2012 betrug rund 4.113 MWh. Bei beiden Anlagen handelt es sich um Biogasanlagen. *[Quelle: N-ERGIE Netz GmbH]*

Zusammenfassung

Tabelle 1 zeigt eine Übersicht der im Jahr 2013 eingespeisten Strommengen aus Erneuerbaren Energien. In Summe wurden im Jahr 2013 rund 9.527 MWh durch die EEG-Anlagen eingespeist. Dies entspricht rund 36 Prozent des gesamten Stromverbrauchs in der Stadt Aabenberg im Jahr 2013.

Tabelle 1: Übersicht der regenerativen Stromerzeugung in der Stadt Aabenberg

[Quelle: N-ERGIE Netz GmbH]

	installierte Leistung	erzeugte Energie
	[kW]	[MWh]
Photovoltaik	6.860	5.200
Wasserkraft	45	214
Biogas	610	4.113
Summe	7.515	9.527

2.3.5.2 Thermische Nutzung regenerativer Energien

Solarthermie

Die Gesamtfläche der bereits installierten Solarthermieanlagen im Betrachtungsgebiet wurde mit Hilfe des Solaratlas, einem interaktiven Auswertungssystem für den Datenbestand aus dem bundesweiten „Marktanreizprogramm Solarthermie“ durchgeführt. Über das Förderprogramm wurden vom Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle (BAFA) seit Oktober 2001 über 940.000 Solarthermieanlagen gefördert.

In der Stadt Abenberg sind nach Angaben der BAFA (Stand: Ende 2013) insgesamt 221 Solarthermie-Anlagen mit einer Gesamt-Bruttoanlagenfläche aller solarthermischen Kollektortypen (Warmwasserbereitstellung und Heizungsunterstützung) von rund 2.101 m² installiert. Die mittlere Kollektorgröße beträgt demnach rund 9,5 m². *[Quelle: Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle; Berechnung IfE]*

Zur Errechnung der Wärmemenge, welche von den solarthermischen Anlagen pro Jahr erzeugt wird, wurde von einem Standardwert für eine Solarthermieanlage mit Heizungsunterstützung von 300 kWh/(m²*a) ausgegangen. Für Anlagen welche zur Bereitstellung von Warmwasser dienen wurde mit einem Standardwert von 400 kWh/(m²*a) gerechnet. Der Wert der angegebenen Wärmebereitstellung errechnet sich aus der installierten Kollektorfläche und einem mittleren jährlichen Wärmeertrag.

Insgesamt beträgt die Energiebereitstellung durch Solarthermie im Betrachtungsgebiet rund 724 MWh/a.

Feste Biomasse

Unter fester Biomasse versteht man vor allem Stückholz, Hackschnitzel oder Holzpellets, die in Heizkesseln oder Einzelfeuerstätten (z.B. Kaminöfen) zur Wärmebereitstellung eingesetzt werden. In der Stadt Abenberg werden jährlich rund 21.100 MWh an Biomasse zur Feuerung genutzt. *[Quelle: Auflistung Feuerstätten; Fragebögen]*

Biomasse-KWK

Im Betrachtungsgebiet sind dem Datenbestand des Jahres 2013 zufolge 2 Biomasse-KWK-Anlagen mit einer elektrischen Gesamtleistung von rund 610 kW installiert. Daraus ergibt sich eine installierte thermische Leistung von rund 773 kW und eine Wärmeproduktion von ca. 5.210 MWh. Beide Biogasanlagen speisen den Großteil dieser Wärme in ein Nahwärmenetz ein (Nahwärmenetz Obersteinbach und Nahwärmenetz Kleinabenberg).
[Quelle: Berechnung IfE; Biogasanlagenbetreiber]

Zusammenfassung

In Tabelle 2 ist die thermische Nutzung regenerativer Energien in der Stadt Abenberg dargestellt. In Summe beläuft sich die regenerative Wärmeerzeugung auf rund 24.950 MWh pro Jahr (entsprechend rund 25 Prozent des gesamten thermischen Energiebedarfs im Betrachtungsgebiet in der Stadt Abenberg).

Tabelle 2: Übersicht der regenerativen Wärmeerzeugung in der Stadt Abenberg

[Quelle: Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle; N-ERGIE Netz GmbH; Auflistung Feuerstätten; Fragebögen]

	erzeugte Energie [MWh]
Solarthermie	724
feste Biomasse	21.100
Biogas	3.126
Summe	24.950

2.3.6 Zusammenfassung

Dieses Kapitel gibt eine Übersicht über die Verteilung des Endenergiebedarfs in der Stadt Abenberg.

In Summe beläuft sich der jährliche Endenergiebedarf in der Stadt Abenberg auf rund 123.530 MWh.

Der gesamte Endenergieeinsatz für die Wärmeversorgung beläuft sich jährlich auf rund 97.980 MWh. Zur Deckung des elektrischen Bedarfs werden rund 25.560 MWh Endenergie jährlich benötigt (ohne Strom für Heizzwecke).

In Abbildung 4 ist die Aufteilung des Endenergieverbrauchs in die einzelnen Energieträger für die Stadt Abenberg dargestellt.

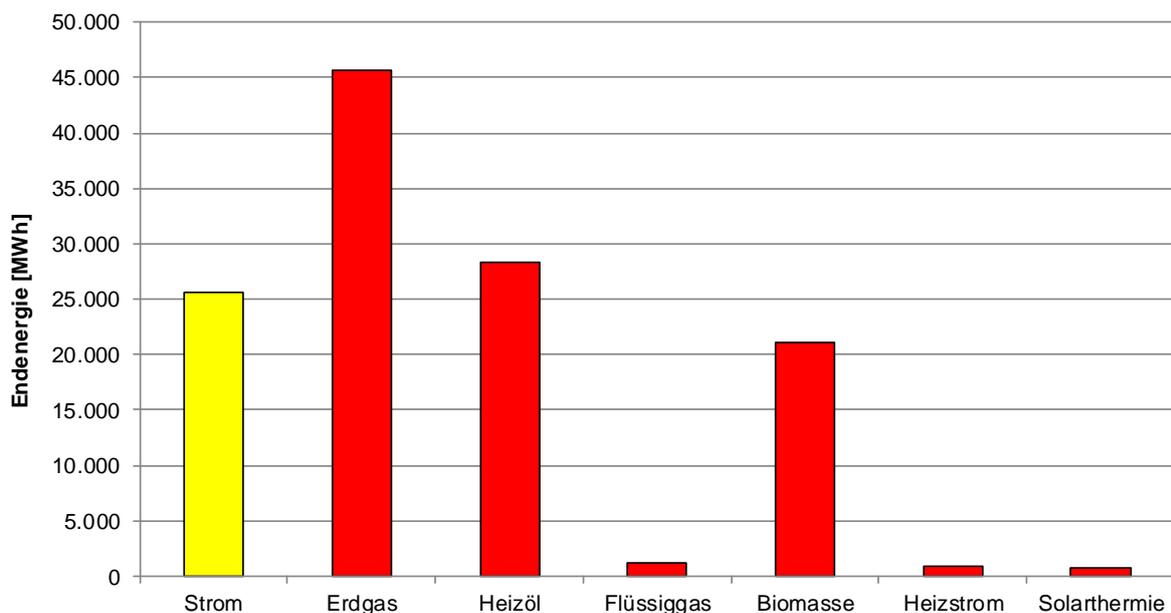


Abbildung 4: Endenergieeinsatz der einzelnen Energieträger in der Stadt Abenberg

In Abbildung 5 ist die Verteilung des Endenergieeinsatzes in die einzelnen Verbrauchergruppen dargestellt.

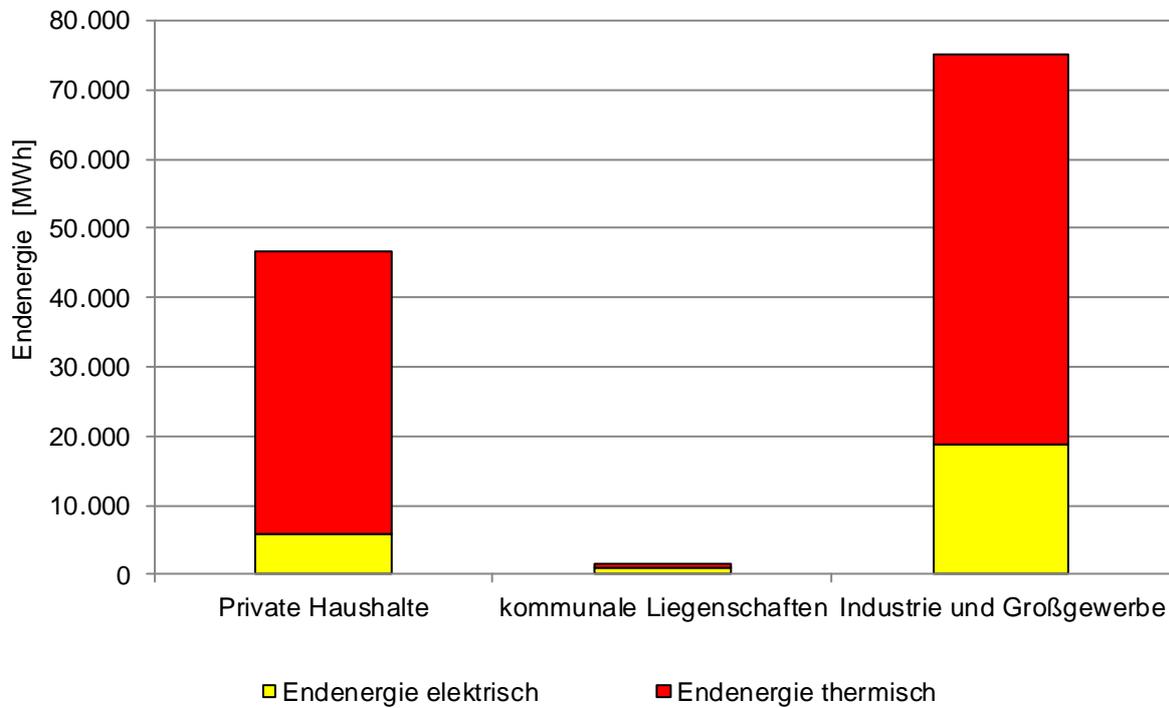


Abbildung 5: Verteilung des Endenergieeinsatzes in die betrachteten Verbrauchergruppen

2.4 Der Endenergieeinsatz, Primärenergieeinsatz und der CO₂-Ausstoß in der Stadt Abenberg

Anhand der in den vorhergehenden Kapiteln dargestellten Endenergieverbrauchsdaten der jeweiligen Verbrauchergruppen und der zugehörigen Zusammensetzung nach Energieträgern wird nachfolgend der CO₂-Ausstoß im Ist-Zustand (Ausgangslage) berechnet.

Bei der Darstellung der CO₂-Emissionen gibt es grundsätzlich eine Vielzahl unterschiedlicher Herangehensweisen. Bislang existiert bei der kommunalen CO₂-Bilanzierung keine einheitliche Methodik die anzuwenden ist, bzw. angewendet wird. Die Thematik der CO₂-Bilanz gewinnt jedoch gerade wieder entscheidend an Präsenz, da diese ein wichtiges Monitoring-Instrument für den kommunalen Klimaschutz darstellt. Bei den nachfolgenden Berechnungen zum CO₂-Ausstoß werden die CO₂-Emissionen nach CO₂-Emissionsfaktoren für die verbrauchte Endenergie der entsprechenden Energieträger berechnet. Die Emissionsfaktoren wurden vom IfE nach GEMIS berechnet.

Tabelle 3: Die CO₂-Äquivalente und Primärenergiefaktoren der jeweiligen Energieträger

CO ₂ -Äquivalente nach GEMIS 4.7 - eigene Berechnungen IfE; 01/2012			
Brennstoff	CO ₂ -Äquivalent (Gesamte Prozesskette) [g/kWh]	Primärenergiefaktoren (nicht erneuerbarer Anteil) [kWh _{prim} /kWh _{end}]	Bemerkung
Erdgas	252	1,1	Erdgas beim Endverbraucher für Heizzwecke
Heizöl EL	316	1,1	Heizöl beim Endverbraucher für Heizzwecke
Heizöl S	323	1,1	Schweres Heizöl beim Endverbraucher für Heizzwecke
Kohle	387	1,1	Steinkohlebriketts ab Fabrik
Kohle	433	1,1	Kohle-Briketts beim Endverbraucher für Heizzwecke
Flüssiggas	264	1,1	Flüssiggas beim Endverbraucher für Heizzwecke
Strom	572	2,8	Bonus für Substitution von Netzstrom auf Niederspannungsebene
Strom	566	2,4	Dt. Strommix 2010
Biogas	111	0,5	Biomethan aus 100% Mais (NawaRo) ohne Landnutzungsänderungen
Biomethan	131	0,5	Biomethan aus 100% Mais (NawRo) ohne Landnutzungsänderungen, Einspeiseanlage 500 m ³ /h, Druckwechsel/PSA-Konzept
Palmöl	203	0,5	Palmölproduktion ohne Landnutzungsänderungen inkl. Seetransport, Umschlag und 150 km Transport in Dtl.
Rapsöl	180	0,5	Rapsölproduktion ohne Landnutzungsänderungen inkl. Seetransport, Umschlag und 150 km Transport in Dtl.
Holzpellets	23	0,2	Holzpellets beim Endverbraucher für Heizzwecke
Hackschnitzel	23	0,2	Hackschnitzel beim Endverbraucher für Heizzwecke
Scheitholz	17	0,2	Stückholz beim Endverbraucher für Heizzwecke

Bezugsgröße: kWh Endenergie, Heizwert Hi

Im Untersuchungsgebiet wurde eine umfangreiche Bestandsanalyse der Energieverbrauchsstruktur und des Energieumsatzes durchgeführt. Darauf aufbauend wurde der der CO₂-Ausstoß in den jeweiligen Verbrauchergruppen im Ist-Zustand berechnet. Die Situationsanalyse stellt somit die Basis für das weitere Vorgehen einer Potentialbetrachtung zur Reduzierung des CO₂-Ausstoßes dar.

In Abbildung 6 ist die ermittelte Energiebilanz mit Endenergie, Primärenergie und dem gesamten CO₂-Ausstoß mit den bereits genutzten Anteilen an erneuerbaren Energieträgern für das Betrachtungsgebiet dargestellt.

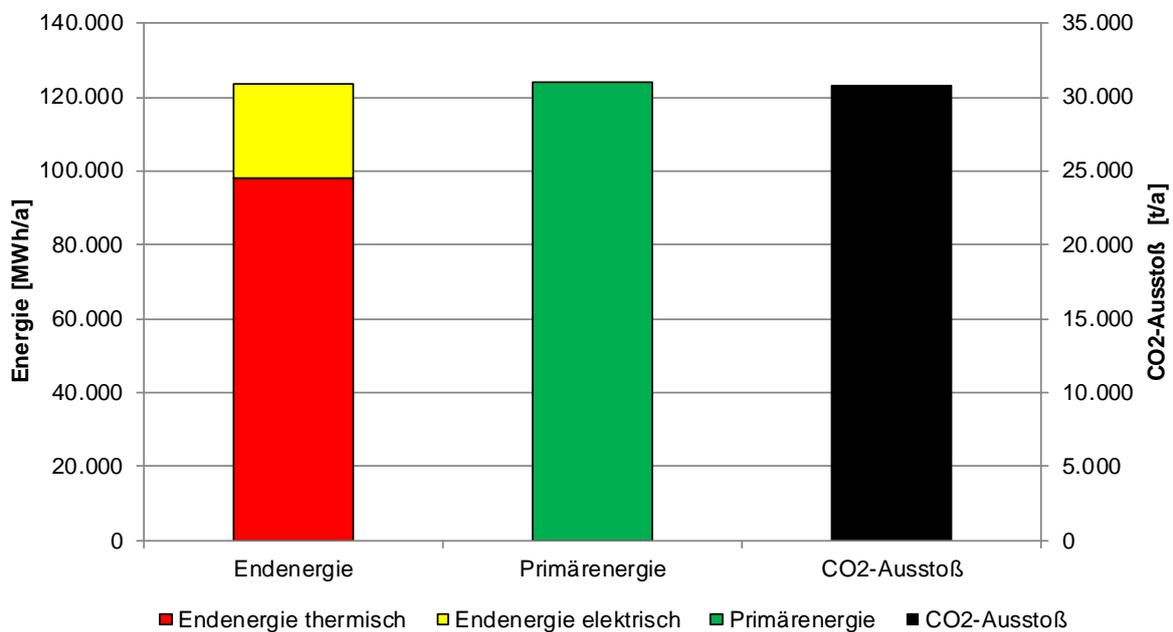


Abbildung 6: Der CO₂-Ausstoß im Ist-Zustand

Der Endenergieverbrauchsstruktur zufolge entstehen in der

- Verbrauchergruppe „private Haushalte“ rund 11.900 Tonnen jährlicher CO₂- Ausstoß,
- durch den Verbrauch in den „kommunalen Liegenschaften“ rund 670 Tonnen
- der Sektor „GHDIL“ verursacht einen Ausstoß von rund 23.690 Tonnen
- durch die Einspeisung elektrischer Energie aus erneuerbaren Energien wird insgesamt gleichzeitig ein Ausstoß von rund 5.448 Tonnen pro Jahr vermieden

Aus dem Gesamtendenergieverbrauch resultieren unter Berücksichtigung der Einspeisung des Stroms aus erneuerbaren Energien ein Ausstoß von rund 30.812 Tonnen CO₂ pro Jahr.

Dies entspricht einem jährlichen CO₂-Ausstoß pro Kopf von rund 5,6 Tonnen

Hinweis: Bei der vorher beschriebene CO₂-Bilanzierung sind die CO₂-Emissionen der Mobilität (Verkehr) nicht mit berücksichtigt. Der CO₂-Ausstoß in Höhe von rund 5,6 Tonnen pro Einwohner resultiert lediglich aus den elektrischen und thermischen Energieverbräuchen.

3 Wärmekataster der Stadt Abenberg

Aufbauend auf den detaillierten Verbrauchsdaten des Ist-Zustandes wird für die Stadt Abenberg ein Wärmekataster entwickelt. Mithilfe des Wärmekatasters werden verschiedene Potentiale ermittelt und anschließend detaillierte Maßnahmen (u.a. Nahwärmenetze) unter ökologischen und ökonomischen Aspekten betrachtet.

Das Wärmekataster für die Stadt Abenberg zeigt auf, in welchen Straßen ein hoher bzw. ein niedriger Wärmebedarf vorliegt und stellt die Wärmebelegung straßenweise dar. Dazu ist eine Reihe von Daten notwendig, die zusammengeführt werden müssen, um einen ausdrucksstarken Wärmekataster zu erhalten.

Von besonderer Bedeutung sind die Daten der Kaminkehrer, da diese genaue Information über Anzahl (Stück), Leistung (kW) und Brennstoffart (Erdgas, Heizöl, etc.) der Heizkessel aller Straßen im Stadtgebiet besitzen.

Mithilfe dieser Kaminkehrerdaten, den detaillierten Verbräuchen der kommunalen Liegenschaften und den Fragebögen der Gewerbetreibenden kann eine spezifische Wärmebelegung je Straße errechnet werden.

Um die Höhe der spezifischen Wärmebelegung deutlich zu machen, wird eine farbliche Abstufung vorgenommen, wie in Tabelle 4 ersichtlich ist.

Tabelle 4: Abstufung der Wärmebelegung und Einfärbung im Wärmekataster

spezifische Wärmebelegung	Farbe
< 1499 kWh/m*a	keine Einfärbung
1500 - 2499 kWh/m*a	gelbe Einfärbung
2500 - 3499 kWh/m*a	orange Einfärbung
> 3500 kWh/m*a	rote Einfärbung

Um eine bessere Aussage treffen zu können, wie sich die Wärmebelegung bei unterschiedlichen Anschlussdichten verhält, wird die spezifische Wärmebelegung für mehrere Anschlussdichten errechnet.

In Abbildung 7 ist das Wärmekataster der Stadt Abenberg bei einer Anschlussdichte von 100 % dargestellt.



Abbildung 7: Wärmekataster der Stadt Abenberg bei einer Anschlussdichte von 100 %

4 Potentialbetrachtung der Energieeffizienzsteigerung bzw. Energieeinsparung

Im folgenden Kapitel wird eine Potentialbetrachtung zur Energieeffizienzsteigerung durchgeführt, indem die verschiedenen Potentiale der einzelnen Verbrauchergruppen betrachtet und bewertet werden.

4.1 Potentialbetrachtung im Bereich Private Haushalte

4.1.1 Endenergieeinsparungen im thermischen Bereich

Ausgehend vom Gebäudebestand und der Gebäudealtersstruktur im Stadtgebiet Abenberg wird das energetische Einsparpotential berechnet, das durch verschiedene Gebäudesanierungsszenarien erreicht werden kann. Für den Gebäudebestand und somit die vorhandene Wohnfläche wird ein maximaler Heizwärmebedarf vorgegeben. Für die Gebäudesanierung bzw. Wärmedämmmaßnahmen an den Wohngebäuden werden zwei Szenarien betrachtet:

- **Szenario 1:**

Sämtliche Wohngebäude werden nach dem EnEV 2009 Standard saniert. Hierbei wird das energetische Einsparpotential wie in der Beispielrechnung für jede Baualtersklasse separat ermittelt.

- **Szenario 2:**

Es wird ab dem Jahr 2013 mit einer mittleren Sanierungsrate von 2 % pro Jahr auf den EnEV 2009 Standard gerechnet. Die Betrachtung wird hierbei bis zum Jahr 2033 durchgeführt. Dieses Szenario stellt eine ehrgeizige Aufgabe dar. Die mittlere Sanierungsrate in Deutschland liegt derzeit lediglich bei rund 1 %. [http://www.enefhaus.de/fileadmin/ENEFH/redaktion/PDF/Befragung_EnefHaus.pdf]

In Summe kann der thermische Endenergiebedarf im Bereich der Wohngebäude im Stadtgebiet Aabenberg durch eine EnEV 2009 Sanierung mit einer jährlichen Sanierungsrate von 2 % in den nächsten 20 Jahren um rund 9.941 MWh gesenkt werden.

Durch eine Sanierung aller Wohngebäude nach EnEV-Standard bis zum Jahr 2033 könnte der thermische Endenergiebedarf um rund 19.833 MWh gesenkt werden.

Das Ergebnis der Potentialbetrachtung der energetischen Sanierung von Bestandsgebäuden im Stadtgebiet Aabenberg ist in Abbildung 8 dargestellt.

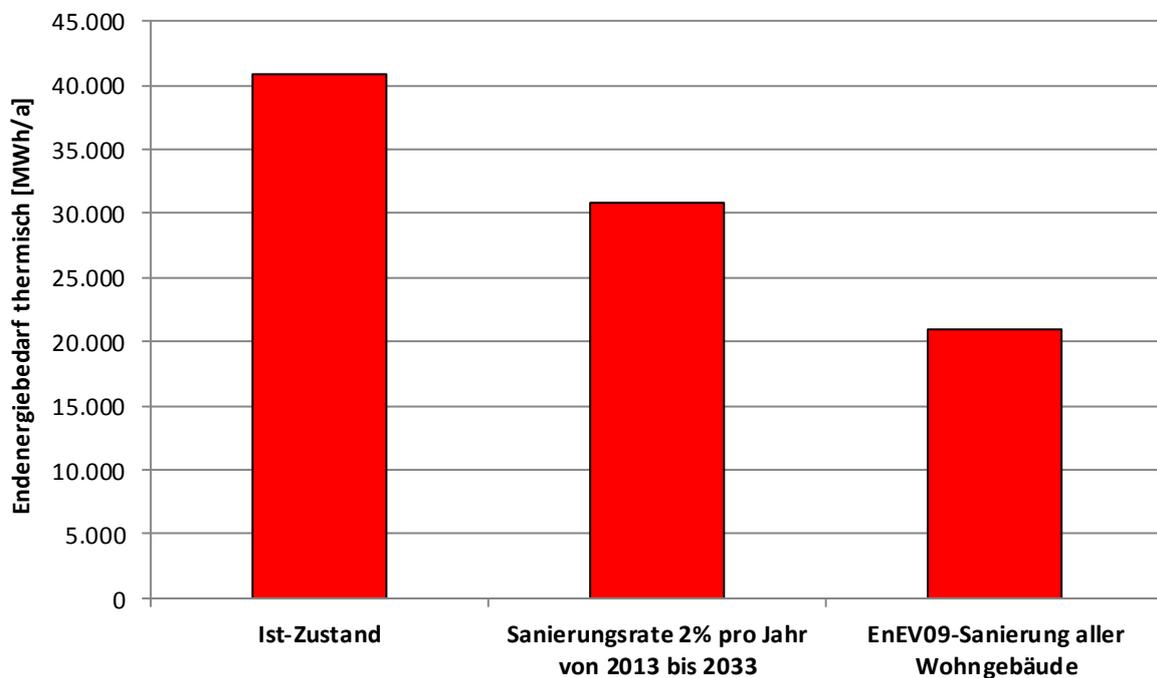


Abbildung 8: Die Potentialbetrachtung der energetischen Sanierung von Bestandsgebäuden

4.1.2 Reduzierung des Stromverbrauchs bzw. Effizienzsteigerung

Der Einsatz von stromsparenden Haushaltsgeräten trägt zu einer Reduzierung des Stromverbrauches und somit auch zu einer Reduktion des CO₂-Ausstoßes bei. Nachfolgend werden einige Energiesparmaßnahmen aufgezeigt:

- Ertüchtigung der stufengeregelten Heizungsumwälzpumpen durch geregelte Pumpen
- Einsatz effizientester Kühl- / Gefrierschränke / -truhen
- Einsatz effizienter Waschmaschinen
- Einsatz effizientester Beleuchtung (Energiesparlampen, LED)
- Vermeidung des Stand-By Betriebs

Durch konsequentes Umsetzen der aufgezeigten Maßnahmen zur Reduzierung des **elektrischen Energieverbrauchs** in den privaten Haushalten ist davon auszugehen, dass durchschnittlich eine Einsparung von rund 30 % des derzeitigen Stromverbrauches in der Verbrauchergruppe ohne Komfortverlust und wirtschaftlichen Nachteil erreicht werden kann.

4.1.3 Zusammenfassung

Durch konsequentes Umsetzen der im Anhang aufgezeigten Maßnahmen zur Reduzierung des elektrischen Energieverbrauchs in den privaten Haushalten, ist davon auszugehen, dass durchschnittlich eine Einsparung von rund 30 % des derzeitigen Stromverbrauchs in der Verbrauchergruppe ohne Komfortverlust und wirtschaftlichen Nachteil erreicht werden kann. Bei einer Umsetzung bis zum Jahr 2033 müsste eine jährliche Einsparung von 1,5 Prozentpunkten erreicht werden.

Dies entspricht auch der EU-Energieeffizienzrichtlinie, in der Energieversorger verpflichtet werden, Maßnahmen zu ergreifen, dass ihre Kunden jährlich mind. 1,5 % an Energie einsparen.

Absolut würde sich hierdurch – ausgehend vom derzeitigen Verbrauch von 5.890 MWh pro Jahr – im Bereich der privaten Haushalte ein Einsparpotential von rund 1.770 MWh pro Jahr an elektrischer Endenergie pro Jahr ergeben.

Hinweis: Im Rahmen dieser Studie wurden die elektrischen Einsparpotentiale anhand des aktuellen Stromverbrauches und der aktuell installierten Anlagentechnik berechnet. Es ist jedoch sehr wahrscheinlich, nicht mit einem tatsächlich sinkenden Stromverbrauch zu rechnen, da erzielte Einsparungen bisher meist durch neue „Anwendungsbereiche“ ausgeglichen wurden.

In Summe kann der thermische Endenergiebedarf im Bereich der Wohngebäude in der Stadt Aabenberg durch einen EnEV 2009 Sanierung mit einer von Experten als technisch und wirtschaftlich machbaren Sanierungsrate von 2 % pro Jahr (bis zum Jahr 2033) im Vergleich zum Ist-Zustand (rund 40.844 MWh) um rund 9.941 MWh gesenkt werden.

4.2 Potentialbetrachtung im Bereich Gewerbe, Handel, Dienstleistung, Industrie und Landwirtschaft

Grundsätzlich ist die Potenzialabschätzung im Sektor Gewerbe, Handel, Dienstleistung, Industrie, Landwirtschaft und Sonderkunden mit Unsicherheiten behaftet. In großen Betrieben stellt der Energiebedarf für Raumwärme meist nur einen geringen Teil des Gesamtenergiebedarfs dar, weil energieintensive Verarbeitungsprozesse durchzuführen sind. Aufgrund von gealterten Versorgungsstrukturen in den Betrieben ist das energetische Einsparpotential hierbei jedoch oft sehr groß. Selbstverständlich bleiben auch manche energieintensive Arbeitsprozesse bestehen, da eine Optimierung nicht, oder kaum mehr möglich ist.

Eine genaue Analyse der Energieeinsparpotentiale kann nur durch ausführliche Begehung sämtlicher Betriebe und umfangreiche Erhebungen erfolgen. Zudem beeinflussen die konjunktur- und strukturbedingten Entwicklungen den Energieverbrauch erheblich. Die Ermittlung der Einsparpotenziale im Strom- und Wärmebereich erfolgt an Hand bundesweiter Potenzialstudien, eigener Berechnungen nach Erfahrungswerten, sowie der Annahme einer allgemein umsetzbaren jährlichen Effizienzsteigerung.

Aus verschiedenen Quellen, wie z.B. dem „Leitfaden für effiziente Energienutzung in Industrie und Gewerbe“, der im Jahre 2009 vom Bayerischen Landesamt für Umwelt veröffentlicht wurde, lassen sich Aussagen darüber treffen, in welchen Bereichen in dieser Verbrauchergruppe Einsparpotentiale vorhanden sind. *[Quelle: Bayerisches Landesamt für Umwelt „Leitfaden für effiziente Energienutzung in Industrie und Gewerbe“]*

4.2.1 Reduzierung bzw. Effizienzsteigerung im Stromverbrauch

Maschinen-, Anlagen- und Antriebstechnik

Rund 70 % des Stromverbrauchs in Industriebetrieben entfallen auf den Bereich der elektrischen Antriebe. Mehr als zwei Drittel dieses Bedarfs an elektrischer Energie werden für den Betrieb von Pumpen, Ventilatoren und Kompressoren benötigt.

Die möglichen Maßnahmen zur Energieeffizienzsteigerung im Bereich der Maschinen-, Anlagen und Antriebstechnik werden in Tabelle 5 zusammenfassend dargestellt. Die Potentiale wurden hierbei dem „Leitfaden für effiziente Energienutzung in Industrie und Gewerbe“ entnommen. *[Quelle: Bayerisches Landesamt für Umwelt]*

Folglich können die nachfolgend aufgeführten Einsparpotentiale nur als durchschnittliche Werte gesehen werden, die in der tatsächlichen Umsetzung deutlich abweichen können. Eine ausführliche Beschreibung der Effizienzsteigerungen ist im Anhang, Kapitel Tabelle 5 dargestellt.

Tabelle 5: Energieeffizienzsteigerung in der Maschinen-, Anlagen- und Antriebstechnik *[Quelle: Bayerisches Landesamt für Umwelt „Leitfaden für effiziente Energienutzung in Industrie und Gewerbe; eigene Darstellung]*

Maßnahmen	wirtschaftliches Einsparpotential
Verbesserung des Antriebs	
Einsatz hocheffizienter Motoren	3%
Einsatz drehzahlvariabler Antriebe	11%
Systemverbesserungen	
bei Druckluftsystemen	33%
bei Pumpensystemen	30%
bei Kältesystemen	18%
bei raumluftechnischen Anlagen und Ventilatoren	25%
Motorensysteme gesamt	25-30%

Beleuchtung

Die Beleuchtung in Industrie und Gewerbe/Handwerksbetrieben weist bei einem Großteil der Unternehmen jährlich einen Anteil zwischen 15 und 25 % des gesamten elektrischen Energieverbrauchs auf.

Durch gezielte Maßnahmen, wie z.B. der Installation von:

- modernen Spiegelrasterleuchten
- elektronischen Vorschaltgeräten
- Dimmern

kann dieser Anteil, wie in Abbildung 11 dargestellt, um bis zu 80 % gesenkt werden.

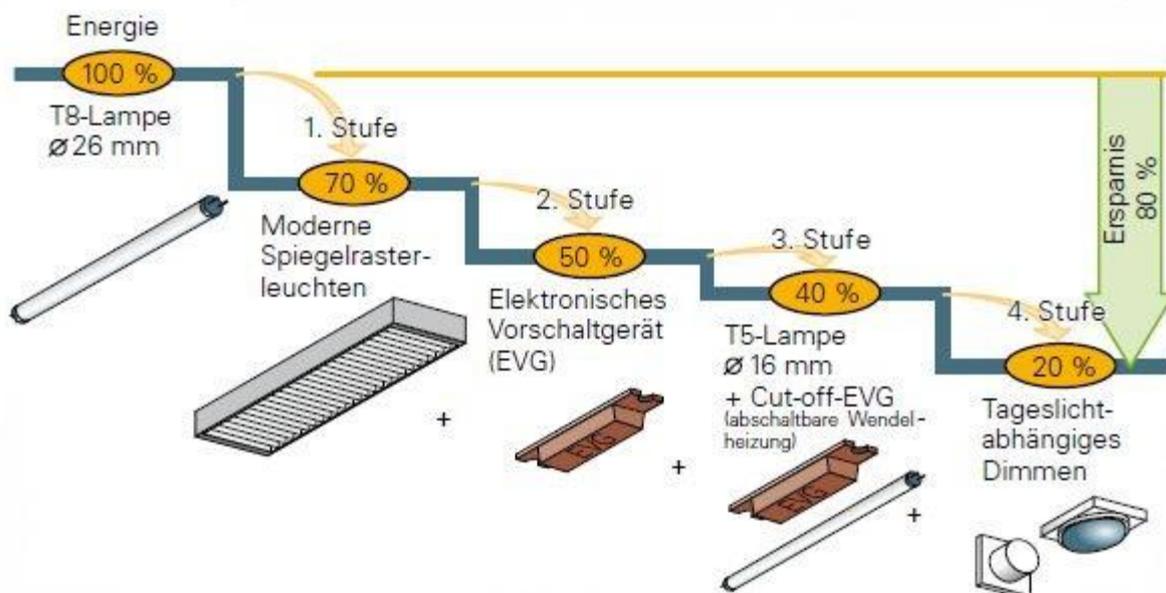


Abbildung 9: Die Einsparpotentiale im Bereich der Beleuchtung

[Quelle: Bayerisches Landesamt für Umwelt „Leitfaden für effiziente Energienutzung in Industrie und Gewerbe; eigene Darstellung]

4.2.2 Einsparung bzw. Effizienzsteigerung im Bereich Raumheizung, Prozesswärme und Warmwasserbereitung

Ein Großteil des betrieblichen Energieverbrauchs entfällt auf die Bereitstellung von Wärmeenergie (Raumwärme und Prozesswärme). Die am häufigsten erkannten Einsparpotentiale in Industrie und Gewerbe/Handwerksbetrieben werden nachfolgend aufgeführt.

- Einsatz von Strahlungsheizungen zur Hallenbeizung
- optimierte Dimensionierung der Heizkessel
- Einsatz von modulierenden Brennern im Teillastbetrieb
- Vorwärmung der Verbrennungsluft durch Abwärmenutzung
- Einsatz eines Luftvorwärmers bzw. Economizers bei der Dampferzeugung
- Wärmedämmung von Rohrleitungen
- Anpassung der Heiztechnik an die benötigten Prozesstemperaturen

4.2.3 Zusammenfassung

Der thermische Endenergieverbrauch für die Verbrauchergruppe Gewerbe, Handel, Dienstleistung, Industrie, Landwirtschaft und Sonderkunden beläuft sich im Ausgangszustand auf etwa 56.380 MWh/a. Der elektrische Endenergieverbrauch beläuft sich im Ist-Zustand auf rund 18.830 MWh/a.

Unter der Annahme, dass kein Produktionszuwachs stattfindet, könnte der **thermische** Endenergiebedarf bei einer jährlichen Effizienzsteigerung von 1,5 Prozentpunkten (EU-Energieeffizienzrichtlinie) in den nächsten 20 Jahren bis zum Zieljahr 2033 um insgesamt 30 % verringert werden, was einer Einsparung von 16.914 MWh Endenergie ergibt.

Unter der Annahme, dass kein Produktionszuwachs stattfindet, könnte der **elektrische** Endenergiebedarf bei einer konservativ eingeschätzten, jährlichen Effizienzsteigerung von 1,5 Prozentpunkten (EU-Energieeffizienzrichtlinie) in den nächsten 20 Jahren bis zum Zieljahr 2033 um insgesamt 30 % verringert werden, was einer Einsparung von 5.649 MWh Endenergie ergibt.

Hinweis:

Die aufgeführten Einsparpotentiale können nur als durchschnittliche Werte gesehen werden. Bei der tatsächlichen Umsetzung im Betrachtungsgebiet können sich deutliche Abweichungen ergeben.

4.3 Potentialbetrachtung im Bereich kommunale Liegenschaften

Aus Sicht der EU und des Bundes kommt den Städten und Kommunen eine zentrale Rolle bei der Umsetzung von Energieeinsparmaßnahmen zu. Nur auf kommunaler Ebene besteht die Möglichkeit einer direkten Ansprache der Akteure. Die Motivation zur eigenen Zielsetzung und Mitwirken bei der Reduktion der CO₂-Emissionen für die Städte und Kommunen kann dabei auf mehrere Ebenen untergliedert werden:

- Die Selbstverpflichtung aus Überzeugung in die Notwendigkeit des Handelns
- Die Vorbildfunktion für alle Bürger
- Die wirtschaftliche Motivation

Zudem können die Aktivitäten, dem Klimawandel und seinen Herausforderungen eine aktive Handlungsbereitschaft und eine klare Zielsetzung entgegenzusetzen, auch Vorteile im Zusammenhang mit privaten und unternehmerischen Standortentscheidungen hervorrufen.

Die Städte und Kommunen bilden somit das Verbindungsglied zwischen EU, Bund, Land und dem Endverbraucher.

4.3.1 Energetische Gebäudesanierung und Wärmedämmung

Nach der Grundlage der Berechnungen des Einsparpotentials im Bereich der Wohngebäude ergibt sich für die kommunalen Liegenschaften ebenfalls ein Einsparpotential im Bereich der energetischen Gebäudesanierung.

Die thermischen Energieeinsparpotentiale werden gemäß der EU-Effizienzrichtlinie mit 1,5 % jährlich angesetzt. Es ergibt sich somit eine Einsparung an thermischer Endenergie von rund 230 MWh/a bezogen auf das Jahr 2033 (Ist-Zustand rund 770 MWh/a im Jahr 2013).

4.3.2 Straßenbeleuchtung

Nach Auskunft der N-ERGIE Netz GmbH sind im Stadtgebiet insgesamt 1.060 Leuchtmittel (Stand 2013) installiert, welche einen Stromverbrauch von rund 353 MWh verursachen. Eine detaillierte Aufstellung der Straßenbeleuchtung im Ist-Zustand ist in Tabelle 6 aufgeführt.

Tabelle 6: Die installierten Leuchtmittel im Stadtgebiet Abenberg

Leuchtmittel	Leistung [W] [N-ERGIE]	Anzahl [-] [N-ERGIE]	installierte Leistung [kW] [IfE]
HME	80	183	14,6
HME	125	26	3,3
HSE/T	50	186	9,3
HSE/T	70	441	30,9
HSE/T	100	46	4,6
HSE/T	150	29	4,4
LS	36	86	3,1
LS	58	63	3,7
Summe		1.060	73,8

Zur Betrachtung der Potentiale im Bereich der Straßenbeleuchtung wurde zwei Szenarien betrachtet:

- Mittelfristiges Szenario:
 - Umrüstung der 80 Watt HME-Leuchtmittel auf 42 Watt Kompaktleuchtstofflampe.
 - Umrüstung der 125 Watt HME-Leuchtmittel auf 70 Watt HSE.
- Langfristiges Szenario: Umrüstung aller HME-, HSE- und LS-Leuchtmittel auf LED-Module.

Die Ergebnisse der Berechnungen sind in Tabelle 7 dargestellt. Durch Umsetzung der langfristigen Potentialbetrachtung (Umstellung auf LED-Module) ergibt sich eine Energieeinsparung von rund 170 MWh pro Jahr.

Tabelle 7: Die Straßenbeleuchtung im Ist-Zustand in der Stadt Abenberg
[Quelle: N-ERGIE Netz GmbH]

		Ist-Zustand	Mittelfristig	Langfristig
Verbrauch	[MWh]	353	312	183
Einsparung	[MWh]		41	170
	[%]		11%	48%
	[€]		8.910	37.350
Investition	[€]		27.930	428.220
statische Amortisation	[a]		3,1	11,5

4.3.3 Zusammenfassung

Durch konsequentes Umsetzen der aufgezeigten Maßnahmen zur Reduzierung des elektrischen Energieverbrauchs bei den kommunalen Liegenschaften könnte der Stromverbrauch von aktuell 830 MWh auf rund 330 MWh reduziert werden (entsprechend rund 30 Prozent). Des Weiteren kann der Stromverbrauch im Bereich der Straßenbeleuchtung von 353 MWh auf rund 184 MWh verringert werden. In Summe kann der thermische Endenergiebedarf im Bereich der kommunalen Liegenschaften in der Stadt Abenberg durch eine energetische Sanierung um rund 30 Prozent bis zum Jahr 2033 gesenkt werden. Dies entspricht einer Einsparung von rund 540 MWh pro Jahr.

4.4 Zusammenfassung

In Tabelle 8 sind die Potentiale hinsichtlich der Energieeffizienzsteigerung bzw. der Energieeinsparung in den einzelnen Verbrauchergruppen zusammenfassend dargestellt.

Tabelle 8: Zusammenfassung der verbrauchergruppenspezifischen Einsparpotentiale

		Endenergie Ist-Zustand [MWh/a]	Maßnahme	Einsparpotential		Endenergie 2033 [MWh/a]	CO ₂ - Einsparung [t/a]
				[%]	[MWh/a]		
Private Haushalte	Endenergie thermisch	40.840	Wärmedämmmaßnahmen Sanierungsrate 2 %/a auf EnEV 2009	24%	8.450	32.390	2.462
	Endenergie elektrisch	5.890	Steigerung der Elektroeffizienz (EU-Richtlinie 1,5%/a)	30%	1.770	4.120	516
Kommunale Liegenschaften	Endenergie thermisch	770	Wärmedämmmaßnahmen auf EnEV 2009 (EU-Richtlinie 1,5%/a)	30%	230	540	67
	Endenergie elektrisch	470	Steigerung der Elektroeffizienz (EU-Richtlinie 1,5%/a)	30%	140	330	41
	Straßenbeleuchtung	353	Umrüstung auf LED	48%	169	184	49
GHDI / Landwirtschaft	Endenergie thermisch	56.380	Steigerung der th. Effizienz (EU-Richtlinie 1,5%/a)	30%	16.914	39.466	4.928
	Endenergie elektrisch	18.840	Steigerung der Elektroeffizienz (EU-Richtlinie 1,5%/a)	30%	5.652	13.188	1.647
Summe	Endenergie gesamt	123.500			33.300	665.981	9.709

Im Bereich der elektrischen Endenergie ergibt sich ausgehend vom Ist-Zustand (rund 25.553 MWh/a) eine Einsparung von rund 7.731 MWh/a bzw. rund 30 Prozent.

Im Bereich der thermischen Endenergie ergibt sich ausgehend vom Ist-Zustand (rund 97.990 MWh/a) eine Einsparung von rund 25.594 MWh/a bzw. rund 26 Prozent.

5 Das Angebotspotential der Erneuerbaren Energien

In der nachfolgenden Ermittlung wird eine Datenbasis über das grundsätzliche und langfristig zur Verfügung stehende Potential aus diversen erneuerbaren Energiequellen im Stadtgebiet Aabenberg zusammengestellt. Als Erneuerbare Energien in diesem Sinne werden Energieträger bezeichnet, die im gleichen Zeitraum in dem sie verbraucht werden wieder neu gebildet werden können, oder grundsätzlich in unerschöpflichem Maße zur Verfügung stehen.

In dieser Studie werden insbesondere Wind- und Wasserkraft, Verfügbarkeit von Biomasse sowie die direkte Sonnenstrahlung genauer betrachtet. Einen Sonderfall stellt die Geothermie dar, die ebenfalls zu den erneuerbaren Energieträgern gezählt wird, da sie für menschliche Zeitstäbe ebenfalls als unerschöpflich angesehen werden kann.

Abbildung 10 gibt eine Übersicht der Möglichkeiten zur Nutzung des regenerativen Energieangebots.

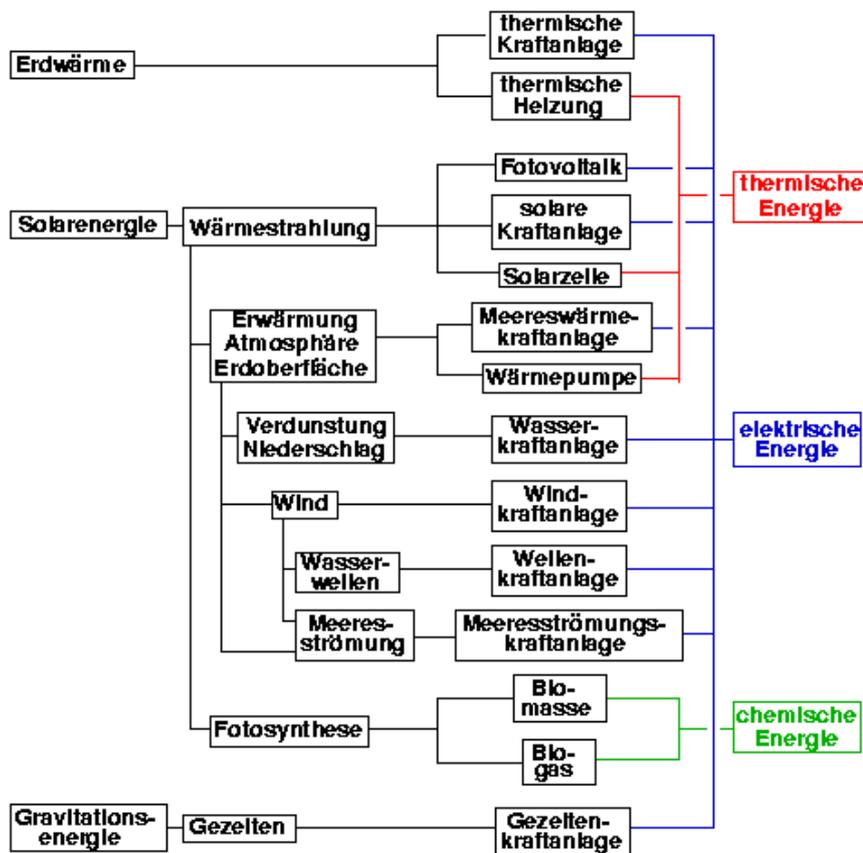


Abbildung 10: Die Möglichkeiten der Nutzung erneuerbarer Energiequellen

[Quelle: Universität Kassel, Geothermie-Vorlesung im SS 2013, www.uni-kassel.de]

5.1 Potentialbegriff

Für die Darstellung von zur Verfügung stehenden „Energienmengen“ wird grundsätzlich der Begriff Potential verwendet. Es werden verschiedene Potentialbegriffe gebraucht. Unterschieden werden kann zwischen den theoretischen, den technischen, den wirtschaftlichen und den erschließbaren Potentialen, wie in Abbildung 11 dargestellt wird.

Da die wirtschaftlichen und insbesondere die erschließbaren Potentiale erheblich von den sich im Allgemeinen schnell ändernden energiewirtschaftlichen und –politischen Randbedingungen abhängig sind, wird auf diese Potentiale bei den folgenden Ausführungen zu den jeweiligen Optionen zur Nutzung regenerativer Energien nicht detailliert eingegangen.

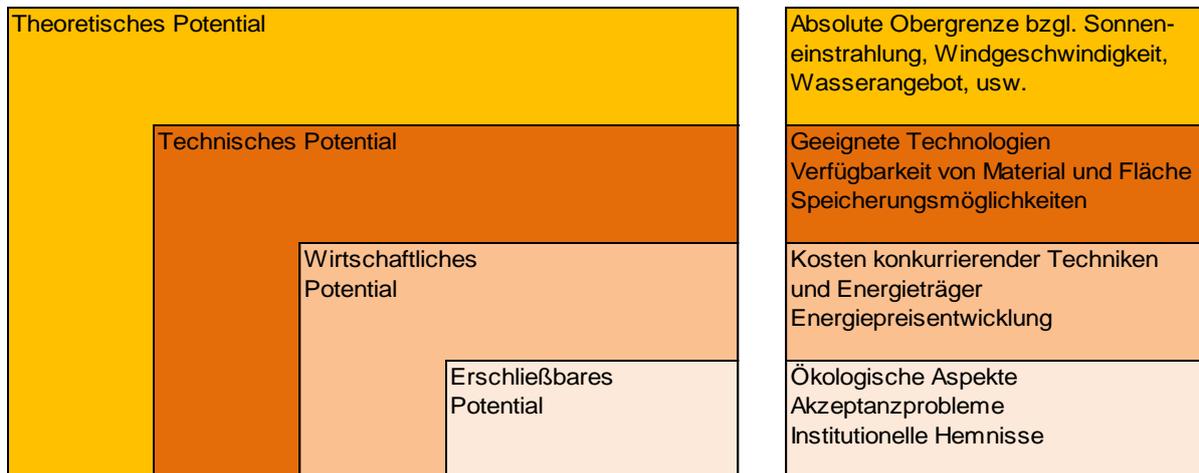


Abbildung 11: Definition des Potentialbegriffs

5.2 Direkte Nutzung der Sonnenenergie

Die Nutzung der direkten Sonneneinstrahlung ist auf verschiedene Arten möglich. Zum einen stehen Möglichkeiten der passiven Nutzung von Sonnenlicht und –wärme zur Verfügung, die vor allem in der baulichen Umsetzung bzw. Gebäudearchitektur Anwendung finden. Zum anderen gibt es die aktive Nutzung der direkten Sonnenstrahlung, die in erster Linie in Form der Warmwasserbereitung (Solarthermie) und der Stromerzeugung (Photovoltaik) in technisch ausgereifter Form zur Verfügung steht.

Dachflächen

Zur Abschätzung der zur Verfügung stehenden Flächen für die Installation von Photovoltaik oder Solarthermie werden die nachfolgend beschriebenen Annahmen getroffen. Zunächst wird bei der Ermittlung der potentiellen Fläche nicht nach einer photovoltaischen oder solarthermischen Nutzung unterschieden.

Der „Statistik Kommunal“ [Quelle: Bayerisches Landesamt für Statistik und Datenverarbeitung] ist der Gesamtbestand an Wohngebäuden im Betrachtungsgebiet zu entnehmen. Da eine Erfassung aller Gebäude mit Ausrichtung, Dachneigung und Verbauung im Einzelnen nicht möglich ist, müssen pauschalisierte Annahmen getroffen werden. Alle Wohngebäude haben entweder geneigte Dächer mit einer Dachneigung zwischen 30 und 60 Grad oder besitzen ein Flachdach. Die Ausrichtung der Gebäude (Firstrichtung) ist nahezu gleich verteilt, d.h. es stehen genauso viele Häuser hauptsächlich in Ost-West-Richtung, wie in Nord-Süd –Richtung. Wird davon ausgegangen, dass bis zu einer Abweichung von +/- 45 Grad zur optimalen Südausrichtung, die nach Süden geneigte Dachfläche grundsätzlich nutzbar ist, so errechnet sich eine Fläche von rund 25 % der gesamten geneigten Dachfläche. Von dieser grundsätzlich nutzbaren Fläche müssen Verbauungen und Verschattungen durch Erker, Dachfenster, Schornsteine und sonstige Hindernisse abgezogen werden. Hierfür wird von der grundsätzlich nutzbaren Fläche ein Fünftel abgezogen. Zudem wurden denkmalgeschützte Bereiche in der Betrachtung nicht berücksichtigt. Demzufolge bleiben rund 20 % der gesamten schrägen Dachfläche zur Installation von Photovoltaik oder Solarthermie zur Verfügung. Zudem bietet sich die Installation von Solarthermie / PV-Anlagen auf vorhandenen Dächern der Gewerbe / Industriebetriebe an. Die Berechnung der geeigneten Fläche auf Schrägdächern erfolgt äquivalent zur Berechnung der Wohngebäude. Auf Flachdächern sollten die Anlagen aufgeständert installiert werden. Die Anlagen können somit in Neigung und Ausrichtung optimal zur Sonne ausgerichtet werden.

Durch die Aufständigung am Flachdach ergeben sich jedoch zwischen den einzelnen Reihen in Abhängigkeit vom Sonnenstand Verschattungen, wodurch nur etwa ein Drittel der Grundfläche als Modulfläche nutzbar ist. Auch bei Flachdächern wird noch ein Fünftel der grundsätzlich nutzbaren Fläche aufgrund von Verbauungen und Verschattungen von Hindernissen abgezogen, sodass letztendlich ca. 25 % der Flachdachfläche als Modulfläche nutzbar sind.

Mithilfe der Anzahl der Wohngebäude aus der Statistik Kommunal, den vorhandenen Dächern der Gewerbe/Industriebetrieben, der Auswertung von Luftbildaufnahmen und unter Berücksichtigung der erläuterten Annahmen kann die für die Nutzung von Solarthermie und Photovoltaik geeignete Dachfläche (Modulfläche) bestimmt werden. In Summe beläuft sich die nutzbare Modulfläche im Betrachtungsgebiet auf rund 151.000 m².

Ausgehend vom heutigen Stand der Technik kann bei der Verwendung von monokristallinen PV-Modulen zur solaren Stromproduktion von einem Flächenbedarf von rund 7,5 m²/kW_p ausgegangen werden. Mit einer solarthermischen Anlage können pro m² Kollektorfläche ca. 300 kWh Wärme pro Jahr bereitgestellt werden. Jedoch kann dieser technische Vorteil nur bedingt genutzt werden, da die schlechte Transportfähigkeit und die mangelnde Speicherfähigkeit einen Durchbruch dieser Technik erschweren. So ist beispielsweise die Wärmeerzeugung in den Sommermonaten am höchsten, während der Wärmebedarf erst in den Wintermonaten merklich ansteigt.

Aus diesem Grund besitzt die Photovoltaik, welche bezüglich der Dachflächen in direkter Konkurrenz zur solarthermischen Nutzung steht einen deutlichen Wettbewerbsvorteil, da der Bedarf an elektrischer Energie über das gesamte Jahr betrachtet deutlich konstanter ist.

Für die weiteren Berechnungen wird von folgenden Annahmen ausgegangen:

- **Photovoltaik (Aufdach)** → **mittl. jährlicher Ertrag:** 900 kWh_{el}/kW_p
- **Solarthermie** → **mittl. jährlicher Ertrag:** 300 kWh_{th}/m²

Es wird davon ausgegangen, dass die für solare Nutzung geeignete Dachfläche für die Installation von Solarthermieanlagen für die Warmwasserbereitung und die Installation von Photovoltaikanlagen für die Stromproduktion genutzt werden.

Aufgrund der direkten Standortkonkurrenz der beiden Techniken muss eine prozentuale Verteilung berücksichtigt werden. Um ein praxisbezogenes Ausbausoll an Solarthermiefläche vorgeben zu können, wird als Randbedingung ein Deckungsziel von 50 % des Warmwasserbedarfs in der Verbrauchergruppe „Private Haushalte“ anvisiert. Der Warmwasserbedarf kann mit verschiedenen Annahmen abgeschätzt werden. Ausgehend von einem spezifischen Warmwasserbedarf von $12,5 \text{ kWh}_{\text{th}}/\text{m}^2_{\text{WF}} \cdot \text{a}$ ergibt sich für das Betrachtungsgebiet ein jährlicher Gesamt-Warmwasserwärmebedarf von rund $3.048 \text{ MWh}_{\text{th}}$, von dem rund $1.524 \text{ MWh}_{\text{th}}$ durch Solarthermie gedeckt werden sollen (entsprechend 50 %). Um die Randbedingung des 50 prozentigen Deckungsgrades zu erreichen, werden insgesamt rund 5.081 m^2 an Kollektorfläche benötigt. Diese Fläche stellt gleichzeitig das Gesamtpotential für die Solarthermie dar.

Derzeit sind im Betrachtungsgebiet Solarthermieanlagen mit einer Gesamtfläche von rund 2.101 m^2 bereits installiert. Zur Erreichung des oben definierten Gesamtpotentials müssen demnach noch 2.979 m^2 zugebaut werden (solarthermisches Ausbaupotential).

Ausgehend von der Annahme, dass die benötigten Solarthermie-Kollektoren installiert werden, ergibt sich eine maximale nutzbare Restdachfläche für Photovoltaikmodule von 145.924 m^2 . Nachfolgend wird das realistische Szenario betrachtet, falls **lediglich 50 %** dieser grundsätzlich für Photovoltaik geeigneten Dachfläche belegt werden (entspricht rund 72.962 m^2). In der weiteren Betrachtung wird diese Fläche zur Ermittlung des PV-Ausbaupotentials herangezogen. In Summe können auf dieser Modulfläche Photovoltaikmodule mit einer Gesamtleistung in Höhe von rund 9.728 kW_p installiert werden. Im Jahr 2013 sind bereits Module mit einer Gesamtleistung von rund 6.202 kW_p installiert. Das Ausbaupotential beträgt folglich noch rund 3.526 kW_p . Hierdurch können jährlich rund 8.755 MWh an Strom produziert werden.

Die Potentiale für Erneuerbare Energien aus PV- und Solarthermieanlagen sind in der nachfolgenden Tabelle 9 als Übersicht zusammengefasst.

Tabelle 9: Das Potential Erneuerbarer Energien aus Solarthermie und Photovoltaik (Dachflächen)

Solarthermie und Photovoltaik	
geeignete Modulfläche im Stadtgebiet (Dachneigung, Denkmalschutz, etc.)	152.000 m ²
Warmwasserbereitung durch Solarthermie	
(50% des WW-Bedarfes der Privaten Haushalte)	
Erforderliche Kollektorfläche	5.081 m ²
bereits installiert	2.101 m ²
Ausbaupotential	2.979 m ²
→ gesamte Wärmeproduktion	1.520 MWh/a
Stromproduktion durch Photovoltaik	
(50% der übrigen geeigneten Dachfläche)	
Gesamtpotential	9.728 kW _p
bereits installiert	6.202 kW _p
Ausbaupotential	3.526 kW _p
→ gesamte Stromproduktion	8.760 MWh/a

Freifläche

Neben der Nutzung von geeigneten Dachflächen besteht auch noch die Möglichkeit Sonnenenergie auf Konversionsflächen und sonstigen Freiflächen zu nutzen. Ähnlich wie beim Flachdach kann hier die Ausrichtung der zu installierenden Anlage optimal gewählt werden. Dementsprechende Freiflächen bieten auch die Möglichkeit Großanlagen mit ggf. einer Nachführung nach dem Sonnenstand zu installieren und den Energieertrag zu optimieren.

Nach dem Erneuerbaren-Energien-Gesetz ist aktuell auf folgenden Flächen eine Vergütung möglich:

- Konversionsflächen (Deponien, Kiesgruben)
- Entlang von Bahnlinien
- Entlang von Autobahnen

Das Stadtgebiet Aabenberg wird weder von Bahnlinien noch von Autobahnen durchquert. Nach Absprache mit den beteiligten Akteuren steht auch keine geeignete Konversionsfläche zur Verfügung. Daher wurden in der Potentialbetrachtung keine Freiflächen für Photovoltaiknutzung berücksichtigt.

5.3 Biomasse

Als Biomasse wird im allgemeinen Sprachgebrauch die Gesamtheit der Masse an organischem Material in einem Ökosystem bezeichnet.

Die Biomasse kann in Primär- und Sekundärprodukte unterteilt werden, wobei erstere durch die direkte Ausnutzung der Sonnenenergie (Photosynthese) entstehen. Im Hinblick auf die Energiebereitstellung zählen hierzu land- und forstwirtschaftliche Produkte aus einem Energiepflanzenanbau oder pflanzliche Rückstände und Abfälle aus der Land- und Forstwirtschaft sowie der Industrie und aus Haushalten (z. B. Rest- und Altholz).

Sekundärprodukte entstehen durch den Ab- bzw. Umbau der organischen Substanz in höheren Organismen (Tieren). Zu ihnen zählen unter anderem Gülle oder Klärschlamm.

Im Rahmen dieser Studie wird unter Biomassepotential das Potential an

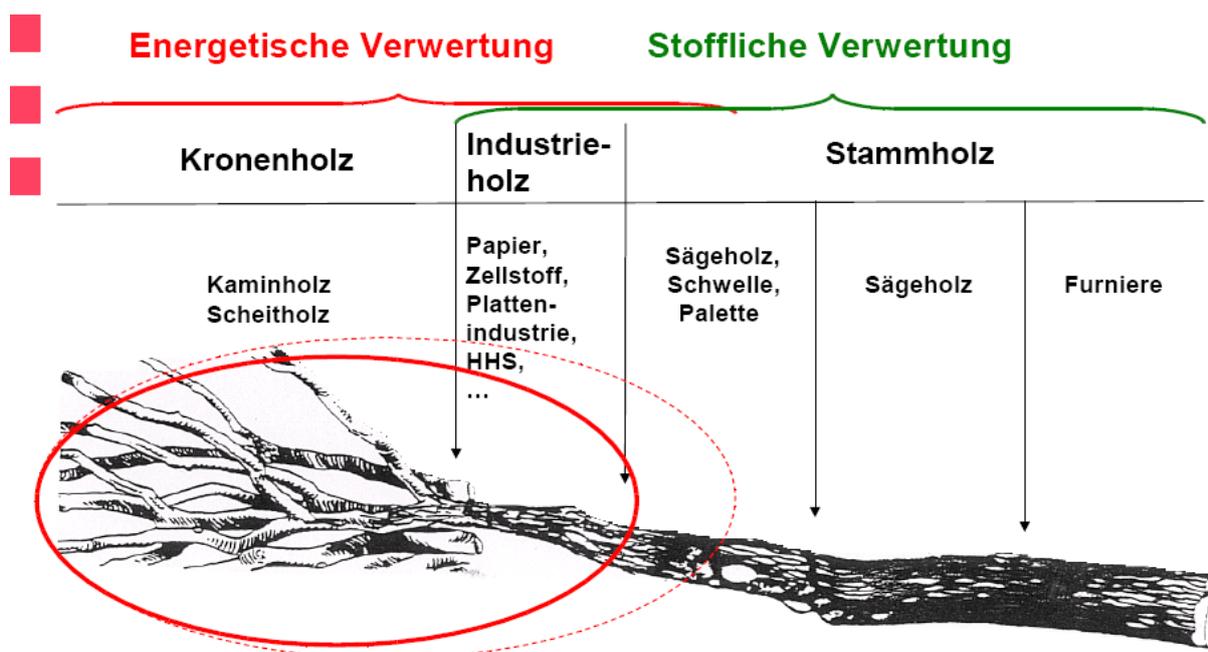
- Primärprodukten für die energetische Nutzung,
- Gülle durch den Viehbestand,
- Klärschlammnutzung der kommunalen Kläranlagen
- Nutzung des Bioabfallaufkommens

im Betrachtungsgebiet ermittelt. Es erfolgt eine Aufteilung in land- und forstwirtschaftliche Potentiale unter Einbeziehung der zur Verfügung stehenden Flächen.

5.3.1 Forstwirtschaft

Bei der Ermittlung des maximal zur Verfügung stehenden Potentials an Primärenergie aus Holz wird von einem durchschnittlichen Holzzuwachs von etwa 6 Festmetern je ha und Jahr ausgegangen. *[Quelle: Amt für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten Roth]*

Nach Rücksprache mit dem Amt für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten in Roth steht in der Stadt Aabenberg eine Waldfläche von rund 1.908 ha zur Verfügung, was einem Anteil von rund 39 % an der Gesamtfläche entspricht. Das jährliche Potential an Energieholz wird hierbei auf rund 24.110 MWh pro Jahr prognostiziert. Bei dem so zur Verfügung stehenden Potential an Holz steht der Anteil, welcher energetisch genutzt werden kann in Konkurrenz mit der stofflichen Verwertung. Insofern besteht ein Konkurrenzverhältnis zwischen Holz zur stofflichen Anwendung bzw. Verwertung und Holz zur energetischen Nutzung. In Abbildung 12 sind die unterschiedlichen Verwertungsmöglichkeiten dargestellt.



Holger Pflüger-Grone; 30.10.2006

Aspekte der energetischen Holzverwertung

Abbildung 12: Die Aufteilung der energetischen und stofflichen Verwertung von Holz

[Quelle: Pflüger-Grone Holger; Aspekte der energetischen Holzverwertung]

Brennholz, Sägenebenprodukte, Industrierestholz

Für Brennholz wird in der Regel nicht das gesamte Holzsortiment, sondern nur Schwachholz und Waldrestholz verwendet. Der Großteil geht in die weiterverarbeitende Holz- oder Papierindustrie. In der Holz verarbeitenden Industrie fallen Abschätzungen zufolge ca. 30 bis 40 % des Inputs an Nebenprodukten (Abfallholz, Sägereste) an, wovon ungefähr die Hälfte der stofflichen Verwertung zugeführt wird (z. B. Spanplatten), der Rest steht potentiell wiederum für die energetische Nutzung (z. B. in Form von Pellets) zur Verfügung. Als nutzbares Potential zur thermischen Verwendung werden hier nach Rücksprache mit dem Amt für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten in Weiden 20 Prozent des jährlichen Holznachwachses berücksichtigt.

Das nutzbare Gesamtpotential (Holzbrennstoffefertrag) beläuft sich auf rund 4.822 MWh/a.

Landschaftspflegeholz

Landschaftspflegeholz (Holz aus öffentlichem und privatem Baum-, Strauch- und Heckenschnitt) unterliegt keiner sonstigen Nutzung und steht somit – theoretisch – komplett zur Verfügung. Unter der Annahme eines jährlichen Anfalls an Landschaftspflegeholz von rund 126 kg pro Einwohner entspricht dies einem Energieertrag von rund 1.526 MWh pro Jahr. *[Quelle: Abfallbilanz Bayern]*

Altholz

Eine Sonderstellung kommt dem Altholz zu. Pro Einwohner und Jahr fallen im Landkreis Abenberg rund 21,9 kg Altholz an. Bezogen auf die Einwohnerzahl in der Stadt Abenberg steht dadurch ein Energieertrag von rund 274 MWh jährlich zur Verfügung. *[Quelle: Bayerisches Landesamt für Umwelt]*

Zusammenfassung

In Tabelle 10 ist das Potential zur Energiebereitstellung aus holzartiger Biomasse zusammenfassend aufgelistet.

Tabelle 10: Übersicht der Energiebereitstellungspotentiale aus Holz

Energiebereitstellung	[MWh/a]
Nachwuchs auf gesamter Waldfläche <i>(rund 1.900 ha; regenerativer Nachwuchs ca. 8,2 Fm/ha x a)</i>	24.110
davon als Brennholz nutzbar	4.822 (rund 20%)
<u>zusätzlich:</u>	
Landschaftspflegeholz	1.526
Altholz	274
Summe nutzbares Gesamtpotential	6.622 MWh/a

In Summe beträgt das nutzbare Gesamtpotential an fester Biomasse für das Stadtgebiet rund 6.622 MWh/a.

Zum Zeitpunkt der Datenerhebung (für das Bilanzjahr 2013) werden bereits rund 21.100 MWh durch heimische Biomasse bereitgestellt. Somit ergibt sich im Bereich der holzartigen Biomasse kein weiteres Ausbaupotential.

5.3.2 Landwirtschaft

Biogas aus Energiepflanzen

Bei der Abschätzung des Potentials an Biomasse aus der landwirtschaftlichen Produktion wird in dieser Studie von einem Anbau von Energiepflanzen (z.B. Raps, Mais oder sonstige) auf 20 % der zur Verfügung stehenden landwirtschaftlichen Fläche ausgegangen. Folglich würden weiterhin 80 % der Flächen für die Nahrungsmittelproduktion zur Verfügung stehen.

Bei einer ausgewiesenen landwirtschaftlichen Nutzfläche von rund 2.406 ha im gesamten Betrachtungsgebiet stünden demnach rund 481 ha für den Anbau von Energiepflanzen zur Verfügung.

Durch einen wechselnden Anbau verschiedener Energiepflanzen ist das Ertragsspektrum sehr weit. Die Erträge sind von den jährlichen klimatischen Bedingungen sowie von der Art und dem Endprodukt der Pflanze abhängig.

Die Nutzungsmöglichkeiten dieser nachwachsenden Rohstoffe zur Energiewandlung sind ebenfalls sehr vielfältig. Eine Möglichkeit der energetischen Nutzung besteht beispielsweise in Biogasanlagen. Das durch Sie erzeugte Biogas kann in sog. BHKW's effizient in Strom und Wärme umgewandelt werden.

Der prognostizierte **Biogasertrag** liegt bei ca. 6.600 m³ pro Hektar. Somit ließe sich mit der zur Verfügung stehenden Fläche im Betrachtungsgebiet eine Energiemenge von ca. **17.244 MWh pro Jahr** bereitstellen. *[Quelle: Bayerisches Landesamt für Statistik und Datenverarbeitung; Berechnung IfE]*

→ Diese Biogasenergie kann z. B. in Blockheizkraftwerken in elektrische und thermische Energie umgewandelt werden, wodurch rund 6.897 MWh_{el} und 7.760 MWh_{th} bereitgestellt werden können (Grundlage: $\eta_{el} = 0,40$; $\eta_{th} = 0,45$;). Bei einer durchschnittlichen Jahresbetriebszeit von 8.000 Stunden ergibt sich eine installierte elektrische Leistung von rund 862 kW.

Biogas aus Gülle

Eine weitere Möglichkeit der energetischen Nutzung in der Landwirtschaft stellt der Reststoff „Gülle“ dar. Eine Großvieheinheit produziert ca. 15 Tonnen Gülle im Jahr. Mit einer Tonne Gülle können in Biogasanlagen ca. 20-30 m³ Biogas erzeugt werden.

Unter der Voraussetzung, dass etwa 50 % der anfallenden Gülle als Input für Biogasanlagen genutzt werden, ergibt sich für das Betrachtungsgebiet derzeit ein Potential von rund 2.023 MWh/a an Biogas.

Diese Biogasenergie kann z. B. in Blockheizkraftwerken in elektrische und thermische Energie umgewandelt werden. Bei angenommenen Nutzungsgraden von $\eta_{el} = 0,40$ und $\eta_{th} = 0,45$ können somit 809 MWh_{el} sowie 910 MWh_{th} erzeugt werden. Bei einer durchschnittlichen Jahresbetriebszeit von 8.000 Stunden ergibt sich eine installierte elektrische Leistung von rund 101 kW. *[Quelle: Bayerisches Landesamt für Statistik und Datenverarbeitung]*

Biogas aus Bioabfällen

Gemäß der Abfallbilanz Bayern des Landkreises Roth fallen jährlich pro Einwohner rund 35 kg Bioabfall an. Dies ergibt einen jährlichen Bioabfallanfall für das Bilanzgebiet von rund 192 Tonnen. Bei einem mittleren Biogasertrag von rund 100 m³ pro Tonne Bioabfall könnten folglich rund 46 MWh_{el} sowie 52 MWh_{th} erzeugt werden. Bei einer durchschnittlichen Jahresbetriebszeit von 8.000 Stunden ergibt sich eine installierte elektrische Leistung von rund 6 kW. *[Quelle: Abfallbilanz Bayern]*

Biogas aus Klärschlamm

Gemäß der Abfallbilanz Bayern des Landkreises Roth fallen jährlich pro Einwohner rund 17 kg Klärschlamm an. Eine weitere Möglichkeit stellt die Biogaserzeugung aus Klärschlamm dar. Unter der Annahme eines mittleren Biogasertrages von rund 300 m³ pro Tonne Trockenmasse Klärschlamm, könnten im Bilanzgebiet folglich rund 146 MWh_{el} (ca. 18 kW_{el}) sowie 164 MWh_{th} erzeugt werden. *[Quelle: Abfallbilanz Bayern]*

Zusammenfassung

In der Stadt Aabenberg steht ein rechnerisches Gesamtpotential an Energiepflanzen, Gülle und Bioabfälle zur Installation von Biogasanlagen von insgesamt rund 987 kW zur Verfügung. Das Gesamtpotential beinhaltet die energetische Verwertung von Energiepflanzen auf 20 % der gesamten landwirtschaftlichen Nutzfläche und der energetischen Nutzung von rund 50 % des gesamten Gülleanfalls in der Stadt Aabenberg.

Tabelle 11: Zusammenfassung Biogaspotential

Potential an Biogas	
Energieträger	
Energiepflanzen	17.240 MWh/a
Gülle	2.023 MWh/a
Klärschlamm	365 MWh/a
→Leistung Biogasanlage	987 kW_{el}
→Stromproduktion gesamt	7.900 MWh/a
→Wärmeproduktion gesamt	5.334 MWh/a

Hinweis:

Hierbei muss erwähnt werden, dass die Errichtung der BHKW`s für einen langfristig wirtschaftlichen Betrieb an einer Wärmesenke installiert werden muss, um die anfallende Wärme sinnvoll nutzen zu können (Forderung EEG: mind. 60 % Wärmenutzung).

5.4 Windkraftanlagen

Bei der Bestimmung des technischen nutzbaren Potentials der Windenergie wurde der aktuelle Planungsstand des Regionalplanes herangezogen (Teilfortschreibung Windkraft zur Änderung des Regionalplanes).

In nachfolgender Abbildung 13 ist der relevante Auszug des aktuellen Planungsstandes der Teilfortschreibung abgebildet.

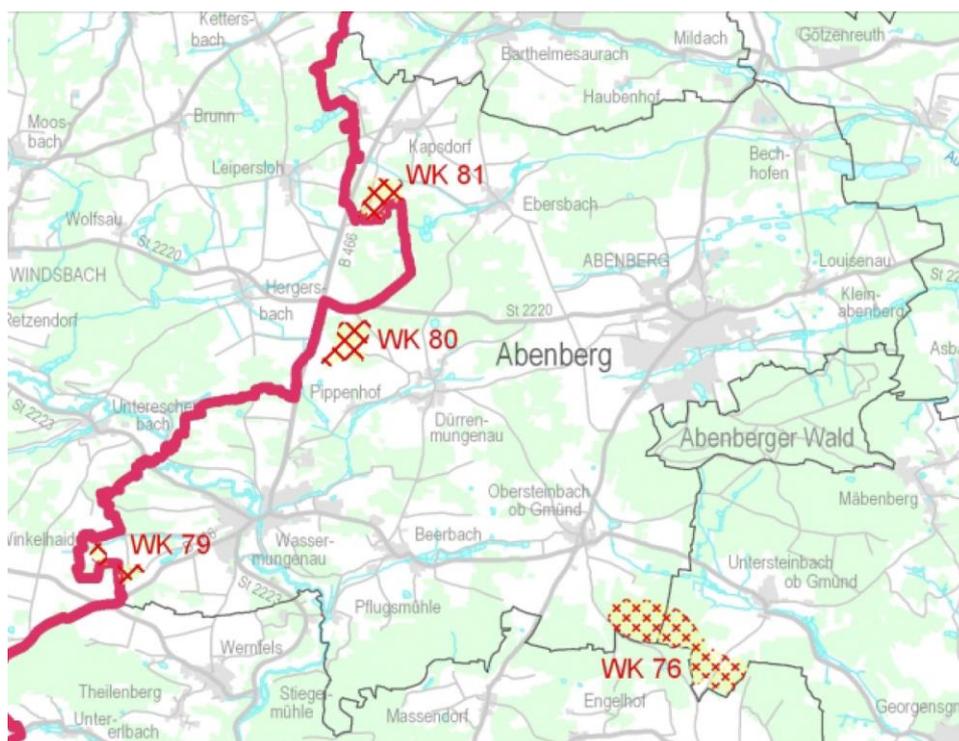


Abbildung 13: Auszug aus dem Regionalplan der Region „Industrieregion Mittelfranken“ [Quelle: Regierung von Mittelfranken]

Bei der nachfolgenden Potentialbetrachtung wird lediglich die Fläche berücksichtigt, welche auf dem Kommunalgebiet der Stadt Abenberg liegt.

Nach Auswertung des aktuellen Planungsstandes und in enger Abstimmung mit den beteiligten Akteuren seitens der Stadt Abenberg wird hier als Potential die Errichtung von sechs Windenergieanlagen berücksichtigt.

Unter Berücksichtigung einiger Annahmen (Windenergieanlage der 3 MW-Klasse), kann im Bereich der Windkraft ein technisch nutzbares Gesamtpotential von rund 33.900 MWh berücksichtigt werden.

5.5 Zusammenfassung

In nachfolgender Tabelle 12 ist der Ist-Zustand sowie das noch als realistisch anzusehendes Zubaupotential der Erneuerbaren Energien in der Stadt Abenberg dargestellt.

Tabelle 12: Die Potentiale im Bereich der erneuerbaren Energien

Potential Erneuerbarer Energien		Bestand		Gesamtpotential		Ausbaupotential	
		Endenergie elektrisch	Endenergie thermisch	Endenergie elektrisch	Endenergie thermisch	Endenergie elektrisch	Endenergie thermisch
		[MWh/a]	[MWh/a]	[MWh/a]	[MWh/a]	[MWh/a]	[MWh/a]
Photovoltaik	50% der geeigneten Fläche	5.200	-	8.760	-	3.560	-
Freiflächen-PV	keine Fläche berücksichtigt	-	-	-	-	-	-
Solarthermie	50% WW-Deckung	-	724	-	1.520	-	796
Wind	6 Anlagen	-	-	33.900	-	33.900	-
Biomasse	Wald/Altholz/Nebenprod.	-	21.100	-	21.100	-	-
Biogas	landw. Nutzfläche, Gülle	4.110	3.130	7.900	5.330	3.790	2.200
Wasserkraft	kein Querbauwerk	214	-	214	-	-	-
Summe		9.524	24.954	50.774	27.950	41.250	2.996

Durch Umsetzung der realistischen Potentiale im Bereich der erneuerbaren Energien könnten zusätzlich jährlich rund 41.250 MWh elektrische Energie und rund 2.996 MWh thermische Energie bereitgestellt werden.

6 Ausarbeitung von Detailmaßnahmen – Gebäudesanierung der Grund und Mittelschule Aabenberg

Im Rahmen des kommunalen Energieeinsparkonzeptes für die Stadt Aabenberg werden Möglichkeiten der Effizienzsteigerung in der Grund- und Mittelschule Aabenberg untersucht.

Die Basis für sämtliche Untersuchungen bildet die Aufnahme des Ist-Zustandes und der bestehenden Infrastruktur. Dabei wird anhand der zur Verfügung gestellten Unterlagen und einer Vor-Ort-Begehung der Ist-Zustand aufgenommen und anschließend ein detailliertes Wärmedämmkonzept entwickelt. Daraufhin werden angepasste energetische Sanierungen vorgeschlagen und das Energieeinsparpotential aufgezeigt sowie die Amortisationszeit der Maßnahmen dargestellt.

Als Datengrundlage werden die zur Verfügung gestellten Unterlagen und Aufzeichnungen, sowie bei verschiedenen Vor-Ort-Terminen aufgenommenen Daten verwendet.

6.1 Energieeinsparungsmöglichkeiten durch effizientere Nutzung der technischen Gebäudeausstattung

Im Folgenden werden Maßnahmen zur Reduzierung des Energieverbrauchs im Bereich der technischen Gebäudeausstattung vorgestellt.

6.2 Nicht-investive Maßnahmen

Nicht-investive Maßnahmen zur Energieeinsparung bauen auf der Änderung der Nutzungsgewohnheiten auf. Hierzu zählt die Information der Mitarbeiter bzw. Nutzer, wie und wo Energie gespart werden kann. Nicht-investive Maßnahmen sind richtiges Lüften, Abschaltung nicht genutzter Geräte/Maschinen und effizienter Einsatz vorhandener Heizungstechnik.

Lüften:

Richtiges Lüften ist vor allem in Gebäuden ohne geregelte Lüftungstechnik wichtig, um ein gesundes Raumklima zu schaffen, Pilzbefall zu vermeiden und die Heizkosten möglichst niedrig zu halten.

Das Heizkörperthermostat unter dem Fenster sollte geschlossen werden, um unnötige Wärmeverluste während des Lüftens zu vermeiden. Querlüften (Lüften bei weit geöffneten, gegenüberliegenden Fenstern) ist effektiver als die Fenster über lange Zeit gekippt zu lassen. Zu empfehlen sind grundsätzlich Lüftungszeiten von ca. 15 Minuten. Je niedriger die Außentemperatur, desto kürzer die benötigte Lüftungsdauer.

Optimale Raumtemperatur/ -bedingungen:

Grundsätzlich gilt, dass Temperaturen von 19 bis 22°C und eine relative Luftfeuchtigkeit von 35 bis 60 % eingehalten werden sollten, um das Raumklima als behaglich zu empfinden. Die optimale Luftfeuchtigkeit kann mit einem Hygrometer überprüft werden.

Häufig werden Räume überheizt, d. h. es werden Temperaturen von über 22° bis 24°C eingestellt. Durch die Absenkung der Raumtemperatur um 1°C kann der Energieverbrauch um bis zu 6 % gesenkt werden. Die Einstellung der Raumtemperaturen kann z. B. durch den Hausmeister in regelmäßigen Abständen kontrolliert werden. Des Weiteren sollte die Raumtemperatur nach Nutzungsende um rund 5°C abgesenkt werden.

Beleuchtung:

In den WC-Räumen und wenig frequentierten Gebäudeteilen sollte das Licht ausgeschaltet werden. Oftmals sind in WC-Bereichen die Beleuchtungen den ganzen Tag in Betrieb. Bei einer angenommenen Nutzungszeit von rund 10 Stunden am Tag ergibt sich bei drei 60 Watt Glühbirnen ein täglicher Energieverbrauch von 1,8 kWh/d bzw. 450 kWh/a. Unter der Annahme, dass bei regelmäßigem Ausschalten der WC-Beleuchtung die tägliche Betriebsdauer auf rund 3 Stunden gesenkt werden kann, ergibt sich eine jährliche Energieeinsparung von 315 kWh/a. Bei einem Strompreis von rund 20 Cent/kWh (netto) können jährlich rund 65 € und 200 kg CO₂ eingespart werden. Um die Sensibilisierung der Nutzer zu erhöhen, sollten in diesen Bereichen Hinweisschilder angebracht werden. Alternativ kann die Nachrüstung von Bewegungsmeldern sinnvoll sein.

6.3 Investive Maßnahmen

Im Folgenden werden Maßnahmen zur Optimierung der bedarfsgerechten Wärmeübergabe und die Ausnutzung von Einsparpotentialen in der Beleuchtungstechnik vorgestellt.

6.3.1 Optimierung der Beleuchtungstechnik

In der Grund- und Mittelschule Abenberg wird das benötigte Licht über Leuchtstofflampen bereitgestellt. Diese sind zum Großteil mit einem konventionellen Vorschaltgerät ausgestattet. Hierbei wird grundsätzlich unterschieden zwischen:

- KVG (konventionelles Vorschaltgerät)
- VVG (verlustarmes Vorschaltgerät)
- EVG (elektronischen Vorschaltgerät)

Einsparpotentiale bieten bei Leuchtstofflampen in erster Linie die Vorschaltgeräte. So haben beispielsweise konventionelle Vorschaltgeräte hohe Verlustleistungen im Vergleich zu elektronischen Vorschaltgeräten. Abbildung 14 zeigt die mögliche Einsparung durch Ersatz energiesparender Leuchtstofflampen und Vorschaltgeräten.

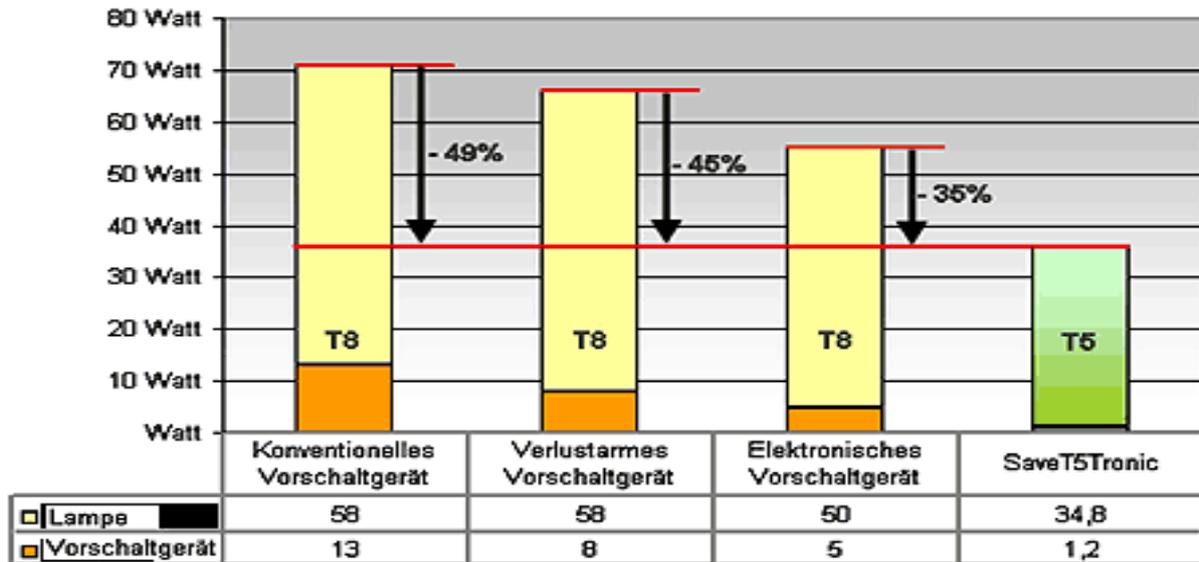


Abbildung 14: Einsparpotential bei Leuchtstofflampen

Es ist jedoch zu beachten, dass bei Leuchten, die 15 Jahre und älter sind, eine Umrüstung der Vorschaltgeräte zum Teil aus technischen Gründen nicht möglich.

Bevor ein Tausch des Vorschaltgerätes in Betracht gezogen wird, sollte auch berücksichtigt werden, dass sich bei Leuchten über die Jahre der Wirkungsgrad verschlechtert hat und die Leuchtmittel zudem den größten Teil ihrer Betriebsdauer hinter sich haben. Ferner sind die Raster und Reflektoren häufig verschmutzt oder verblichen. Aus diesen Gründen ist die Lichtausbeute gegenüber neuer Leuchten bis zu 40 % geringer. Bei Leuchten diesen Alters ist auch zu bedenken, dass es oftmals keine Ersatzteile wie Abdeckungen, Raster usw. mehr gibt. Durch Austausch der bestehenden Leuchten gegen neue Leuchtkörper mit einer höheren Lichtausbeute, kann zudem die Anzahl der benötigten Leuchten reduziert werden und die geforderten Werte für die Beleuchtungsstärke trotzdem erreicht werden.

Teilweise können die Bestandsleuchtmittel durch LED-Technik ersetzt werden. Der Einsatz von LED-Leuchtstoffröhren kann den Stromverbrauch deutlich senken. Es ist zu beachten, dass bei KVG und VVG der vorhandene Starter gegen einen entsprechenden Überbrückerstarter zu tauschen ist. Der Einsatz von LED-Leuchtstoffröhren bei EVG ist nicht ohne weitere Umbaumaßnahmen möglich.

Bei LED-Röhren ist darauf zu achten, dass die Röhren eine VDE oder TÜV Zertifizierung aufweisen. LED-Röhren müssen die aktuellen VDE-Direktiven einhalten und mit VDE oder TÜV zertifiziert sein. Mit zugelassenen LED-Röhren gibt es aktuell keine rechtlichen und versicherungstechnischen Probleme mehr.

Vorbeugend ist es jedoch ratsam Ihre Haftpflicht-Versicherung über Umbaumaßnahmen von Leuchtstoffröhren auf LED-Röhren zu informieren, um die Schadensdeckung zu klären.

Die vorgestellten Tauschoptionen basieren nicht auf einer detaillierten Lichtplanung. Es kann daher zu Unterschieden in der Beleuchtungsstärke kommen. Eine Lichtplanung wird vor allem im Bereich von Bürogebäuden, Altenheimen und sonstigen öffentlichen Einrichtungen wie Schulen empfohlen.

6.3.2 Bedarfsgerechte Wärmeübergabe durch elektronische Thermostate

Im Gebäude sind an den Heizkörpern manuell regelbare Thermostate installiert. Eine Einstellung auf Position 3 am Thermostat bewirkt in der Regel Raumtemperaturen von 20 bis 21°C. Zum Einstellen der gewünschten Raumtemperatur ist allerdings eine manuelle Betätigung durch den Benutzer notwendig. Während eines Tages kann die benötigte Heizenergiemenge durch Abwesenheitszeiten schwanken. Eine genaue manuelle Regulierung ist während des Arbeitsalltags oder Unterrichtsbetriebes nicht möglich. Hier kann die Installation einer zentralen Steuerung in Bezug auf präsenzorientierte Bereitstellung der Heizenergie Abhilfe schaffen. Eine weitere Möglichkeit ist die Verwendung von programmierbaren Thermostaten, die automatisch den benötigten Wärmezufluss regeln und die Raumtemperatur auf dem Sollwert halten. Fehleinstellungen werden vermieden, und die Thermostate senken die Raumtemperatur bei Abwesenheit um einen definierten Wert herab und reduzieren dadurch den Energieverbrauch. Durch entsprechende Programmierung kann für jeden Raum ein individuelles Zeit-Temperatur-Profil erstellt, und somit eine bedarfsgerechte Versorgung sichergestellt werden. Einige Geräte verfügen zudem über eine Offenes-Fenster-Erkennung. In den meisten Fällen sind die Heizkörper unterhalb eines Fensters angeordnet. Wenn die Fenster zum Lüften geöffnet werden erzeugt das Einströmen der Außenluft niedrige Temperaturen am Thermostat und das Heizkörperventil wird geöffnet. Durch das automatische Erkennen eines offenen Fensters regelt das Gerät selbstständig die Wärmezufuhr zum Heizkörper herab und schließt somit Verluste durch fehlerhafte manuelle Einstellung aus.

Die Heizenergieeinsparung durch den Einbau programmierbarer Thermostatventile beträgt laut Stiftung Warentest bis zu 10 %. Dieser Wert gilt für Wohngebäude und bezieht sich auf den Austausch sogenannter Behördenthermostate, die vom Benutzer nicht reguliert werden können. Bei den manuell regulierbaren Thermostaten verringert sich dieser Wert. Trotz der geringeren Nutzungszeit im Vergleich zu Wohngebäuden ergibt sich in Bezug auf die präsenzgerechtere Wärmebereitstellung dennoch Einsparpotential. Eine dauerhafte Temperaturabsenkung um 1°C reduziert den Heizenergiebedarf um ca. 6 %.

6.3.3 Heizungsanlage

Wärmeerzeuger

Die Lebensdauer für Wärmeerzeuger beträgt nach VDI 2067 20 Jahre. Kessel die über 20 Jahre alt sind, haben damit ihre Lebensdauer nach VDI 2067 erreicht und weisen meist geringe Anlagennutzungsgrade auf. Eine erforderliche Kesselerneuerung ist absehbar. Der Anlagennutzungsgrad wird bestimmt durch den Wirkungsgrad des Brenners und des Kessels, den Abgasverlust und den Bereitschaftsverlusten. Durch eine Erneuerung des Kessels kann der Energiedurchsatz im Gegensatz zum alten Kessel um ca. 5 bis 10% gesenkt werden. Neue Heizanlagen weisen neben besserer Wärmedämmung auch eine effizientere Brennstoffausnutzung auf.

Eine Nutzung des im Verbrennungsabgas enthaltenen Brennwertes kann die Effizienz der Wärmeerzeuger deutlich steigern. Voraussetzung für die maximale latente Wärmenutzung ist eine Unterschreitung des Abgastaupunktes um 15°C. (Der Taupunkt bei Erdgas liegt bei ungefähr 55°C und bei Heizöl bei 47°C.) Die niedrigen Rücklauftemperaturen setzen eine geeignete Anlagentechnik mit Wärmeübergabe durch Flächenheizungen wie z.B. Fußboden- oder Wandheizung bzw. die entsprechende Dimensionierung der Heizkörper voraus. Bei Systemen mit Heizkörpern kommt es in den Wintermonaten, in denen hohe Heizleistungen notwendig sind zu deutlich höheren Rücklauftemperaturen, wodurch die Brennwerttechnik nur teilweise oder nicht genutzt werden kann. Um die Nutzung des Brennwertes sicher zu stellen sollten die Systemtemperaturen überprüft und gegebenenfalls korrigiert werden.

Pumpen

Die Heizkreise des untersuchten Gebäudes werden durch stufengeregelte Umwälzpumpen versorgt. Ein Austausch und Ersatz dieser Pumpen durch hocheffiziente elektronisch geregelte Umwälzpumpen hat sich in der Regel bereits nach wenigen Jahren amortisiert. Der Stromverbrauch je Pumpe kann bis zu 75 % gesenkt werden.

Mit Hilfe des Pumpenchecks der Pumpenhersteller werden entsprechende Tauschpumpen ausgewählt und die Wirtschaftlichkeit des Pumpentausches ermittelt. Für jedes Gebäude werden die Pumpen im Detail untersucht und eine Wirtschaftlichkeitsbetrachtung durchgeführt. Als Grundannahme wird ein Strompreis von 20,12 Cent/kWh (netto) berücksichtigt. Die Investitionskosten werden mit Hilfe des Wilo- Pumpenchecks ermittelt. Tabelle 13 zeigt die Bestandspumpen und die empfohlenen Austauschpumpen mit ihrer jeweiligen Leistungsaufnahme.

Tabelle 13: Bestandspumpen der Grund- und Mittelschule Abenberg

Bestandspumpe	Ersatzpumpe	Einsparung Strom [kWh/a]	Einsparung Kosten [€/a]	Investion [€]	statische Amortisation [a]
2 x WILO TOP-S 50/10 1~	WILO Stratos 50/1-12 CAN PN6/10	5.544	1.110	5.740	5
2 x WILO TOP-E 50/1-7	WILO Stratos 50/1-9 CAN PN6/10	1.572	314	5.300	17
3 x WILO TOP-E 50/1-6	WILO Stratos 50/1-8 CAN PN6/10	2.928	586	6.990	12
1 x WILO TOP-S 40/4 3~	WILO Stratos 40/1-4 CAN PN6/10	770	154	1.110	7

Hydraulischer Abgleich

Warmwasserpumpenheizungen sind aus verzweigten Rohrleitungssystemen aufgebaut. Durch diese Systeme muss überall gleich viel Wasser fließen, um ein gleichmäßiges Aufheizen zu gewährleisten und einem schlechten Regelverhalten der Thermostatventile vorzubeugen. Durch die Rohrreibung und verschiedene Einbauten in dieses Rohrsystem kommt es zum Druckverlust. Die Folge kann sein, dass nicht mehr durch alle Heizkörper die gleiche Menge an Warmwasser fließt und einige Heizkörper mehr Wärme und andere weniger Wärme abgeben. Dies hat zur Folge, dass der Pumpendruck erhöht wird (höhere Pumpenstufe, größere Pumpe). Die Folge falsch dimensionierter Pumpen sind Fließgeräusche, denen durch so genannte Überströmventile entgegengewirkt werden kann, d. h. überschüssige Energie wird vernichtet. Zudem steigt bei erhöhtem Druck die Rücklauftemperatur, wodurch der Brennwert (bei Brennwertheizungen) nicht genutzt werden kann. Um dieser Energievernichtung vorzubeugen, ist es sinnvoll die Heizanlage hydraulisch

abzugleichen. Dies erfolgt durch Begrenzung des Durchflusses an den entsprechenden Stellen des Rohrleitungssystems.

Durch diese Begrenzung wird erreicht, dass jedem Heizkörper der tatsächlich benötigte Volumenstrom zur Verfügung gestellt wird. Anschließend sollten die Pumpenleistungen überprüft werden und gegen elektronisch geregelte Pumpen ausgetauscht werden. Abbildung 15 zeigt den Vergleich einer Heizungsverteilung mit und ohne hydraulischen Abgleich.

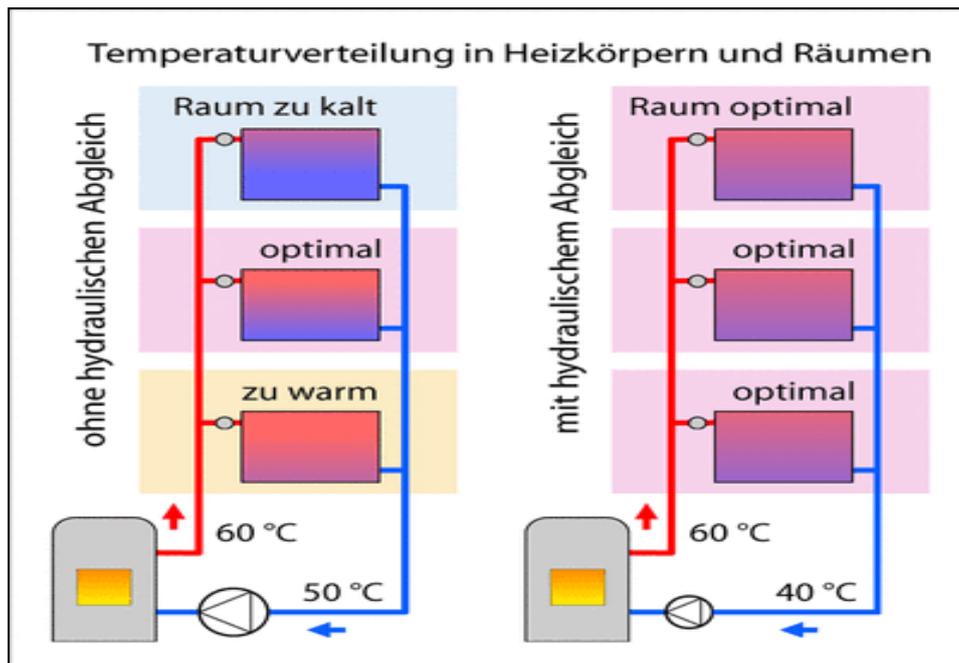


Abbildung 15: Heizkreise mit und ohne hydraulischen Abgleich

Eine regelmäßige Wartung der Wärmeerzeuger ist für einen effizienten Betrieb unerlässlich. Bei dem jährlich wiederkehrenden Kundendienst wird neben der Funktionsprüfung der Regelung, der Brenner und der Kessel gereinigt, begutachtet und defekte Teile ausgetauscht. Zudem können mit dem Fachpersonal Vorort mögliche regelungstechnisch anspruchsvolle Änderungen vorgenommen werden.

Die Entlüftung der Heizkreise zum Beginn der Heizperiode ist dringend zu empfehlen, da bei Lufteinschlüssen die Heizleistung der Wärmeübertrager geringer ausfällt und somit zum Erreichen der eingestellten Heizleistung höhere Vorlauftemperaturen bzw. eine höhere Pumpenleistung notwendig wird.

6.4 Die Bewertung der Gebäudehülle im Ist-Zustand mit Darstellung möglicher Sanierungsoptionen

Die Grund- und Mittelschule Abenberg besteht aus Altbau, Neubau und Turnhalle. Die folgende Betrachtung energetischer Sanierungsmaßnahmen an der Gebäudehülle bezieht sich nur auf den in den 1960er Jahren errichteten Altbau. In den 1970er Jahren wurde das Gebäude über der Aula (Mittelbau zwischen Ost- und Westflügel) erweitert. In diesem Zeitraum wurde auch die Turnhalle gebaut. Der Neubau wurde 2002 erbaut.

Am Altbau wurden schon diverse Sanierungsmaßnahmen durchgeführt. In den 1990er Jahren wurden die Bestandsfenster gegen Kunststofffenster ersetzt. Die oberste Geschossdecke der beiden Flügel und das Dach des Mittelbaus wurden gedämmt. Lediglich auf der Südseite des Mittelbaus befinden sich noch alte Fenster mit Aluminiumrahmen. Abbildung 1 zeigt eine Übersicht der Gebäude der Grund- und Mittelschule.



Abbildung 16: Die Gebäude der Grund- und Mittelschule Abenberg [Quelle: Bayernatlas]

Im Rahmen des Energienutzungsplans für die Stadt Abenberg werden in diesem Teilkonzept Möglichkeiten der Effizienzsteigerung am Altbau der Grund- und Mittelschule Abenberg betrachtet. Das Konzept dient der Stadt Abenberg als Entscheidungsgrundlage für die zukünftige Strategie bei der Durchführung von energetischen Sanierungsmaßnahmen am betrachteten Gebäude.

Die Basis für sämtliche Untersuchungen bildet die Aufnahme des Ist-Zustandes und der bestehenden Infrastruktur. Dabei werden anhand der zur Verfügung gestellten Unterlagen und einer Vor-Ort-Begehung der Ist-Zustand aufgenommen und anschließend ein detailliertes Wärmedämmkonzept entwickelt. Daraufhin werden angepasste energetische Sanierungen vorgeschlagen und das Energieeinsparpotential aufgezeigt, sowie die Amortisationszeit der Maßnahmen dargestellt.

Sofern im Falle entgeltlicher Beratungen Ersatzansprüche behauptet werden, beschränkt sich der Ersatz bei jeder Form der Fahrlässigkeit auf das gezahlte Honorar.

Im Folgenden werden mögliche Sanierungsoptionen an der Gebäudehülle untersucht. Die Bewertung der Hüllfläche erfolgt für die einzelnen Gebäude nach einer Vor-Ort-Besichtigung und anhand der Einordnung des Gebäudes aufgrund des Baualters, sowie der Bauweise. Sind detaillierte Pläne oder Baubeschreibungen vorhanden, werden die Bauteile entsprechend aufgenommen und die U-Werte berechnet. Soweit keine Detailpläne vorliegen werden Wandaufbauten angenommen die dem typischen Baualter entsprechen. Zugrunde gelegt wird hierfür die „Bekanntmachung der Regeln zur Datenaufnahme und Datenverwendung im Nichtwohngebäudebestand des Bundesministeriums für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung, vom 30. Juli 2009“. Im Rahmen einer Umsetzungsplanung sind im Einzelfall die Wand-, Deckenaufbauten etc. zu prüfen. Dies erfolgt durch Probebohrungen, Öffnen von Wänden und Decken. So können detaillierte Sanierungsvorschläge erarbeitet werden. Dieses detaillierte Vorgehen kann jedoch im Rahmen der Studie nicht erfolgen, d. h. es wurden keine Wandaufbauten geöffnet und keine Probebohrung etc. vorgenommen.

Es erfolgt eine Bewertung der Gebäude in Anlehnung an die EnEV 2009 und an die DINV 18599. Es wird aufgrund der überwiegenden Nutzung der Räume als Klassenzimmer das vereinfachte EnEV-Einzonen-Modell angewandt. Das ermittelte Einsparpotential der betrachteten Sanierungsmaßnahmen wird auf den realen Endenergieverbrauch bezogen.

Die spezifischen Investitionskosten sind Vollkosten. D. h. die energiebedingten Mehrkosten für beispielsweise eine zusätzliche Fassadendämmung bei einer sowieso durchgeführten

Sanierungsmaßnahme würden entsprechend geringer ausfallen. Ausnahme: Gerüstkosten sind in dieser Aufstellung nicht enthalten, da diese nicht konkret einer einzelnen Maßnahme zugeordnet werden können.

In diesem Planungsstadium kann der Aufwand für die Anbringung und Montage der Wärmedämmung bzw. erforderlichen Nacharbeiten (Versatz der Dachrinnen, Anpassung Dachüberstände, etc.) nur näherungsweise festgelegt werden, wodurch die kalkulierten Investitionskosten von den realen Kosten abweichen können. Je nach Ausführungsstandards können bei einzelnen Positionen deutliche Preisunterschiede auftreten. Vor allem die Kosten für Wand- und Bodenbekleidungen können je nach Ausführung deutlich nach oben oder unten abweichen. In der tatsächlichen Umsetzung, die von einer Ausschreibung eingeleitet wird, können daher die Preise von den hier kalkulierten abweichen.

6.4.1 Allgemeine Begriffsdefinitionen

U-Wert

Sämtliche Hüllflächen werden in der folgenden bauphysikalischen Begutachtung auf so genannte U-Werte bezogen. Der Wärmedurchgangskoeffizient (U-Wert) ist das Maß für den Wärmestromdurchgang durch eine ein- oder mehrlagige Materialschicht. Ein U-Wert einer Wand von beispielsweise $2 \text{ W/m}^2\text{K}$ sagt aus, dass bei einem Kelvin Temperaturunterschied von Innen nach Außen, 2 Watt Wärmeleistung pro Quadratmeter durch die Wand verloren gehen.

Im Folgenden werden die Bauteile und Wandaufbauten nach den jeweiligen Gebäudeteilen geordnet dargestellt und bewertet.

Primärenergie

Der Primärenergiebedarf bildet die Gesamtenergieeffizienz eines Gebäudes ab. Er berücksichtigt neben der Endenergie auch die so genannte „Vorkette“ (Erkundung, Gewinnung, Verteilung, Umwandlung) der jeweils eingesetzten Energieträger (z.B. Heizöl, Gas, Strom, erneuerbare Energien, etc.). Kleine Werte signalisieren einen geringen Bedarf und damit eine hohe Energieeffizienz, d. h. eine die Ressourcen und die Umwelt schonende Energienutzung.

Die angegebenen Vergleichswerte geben für das Gebäude die Anforderungen der Energieeinsparverordnung an, die zum Zeitpunkt der Erstellung des Konzeptes galt. Sie sind im Falle eines Neubaus oder der Modernisierung des Gebäudes nach § 9 Abs. 1 EnEV einzuhalten. Bei Bestandsgebäuden dienen sie der Orientierung hinsichtlich der energetischen Qualität des Gebäudes. Zusätzlich können die mit dem Energiebedarf verbundenen CO₂-Emissionen des Gebäudes freiwillig angegeben werden.

Endenergie

Der Endenergiebedarf gibt die nach technischen Regeln berechnete, jährlich benötigte Energiemenge für Heizung, Warmwasser, eingebaute Beleuchtung, Lüftung und Kühlung an. Er wird unter Standardklima- und Standardnutzungsbedingungen errechnet und ist das Maß für die Energieeffizienz eines Gebäudes und seiner Anlagentechnik. Der Endenergiebedarf ist die Energiemenge, die dem Gebäude bei standardisierten Bedingungen unter Berücksichtigung der Energieverluste zugeführt werden muss, damit die standardisierte Innentemperatur, der Warmwasserbedarf, die notwendige Lüftung und eingebaute Beleuchtung sichergestellt werden können.

Nutzenergie

Die Nutzenergie ist diejenige Energie, die dem Endnutzer für die gewünschte Energiedienstleistung zur Verfügung steht. Die Nutzenergie entspricht der Endenergie unter Abzug sämtlicher Verluste (Leitungsverluste, Anlagenverluste, etc.).

Verbrauchsangaben:

Der Berechnung dieses Berichts wurden das EnEV-Standardnutzerverhalten und die Standardklimabedingungen zugrunde gelegt. Daher können aus den Ergebnissen keine Rückschlüsse auf die absolute Höhe des Brennstoffverbrauchs gezogen werden.

Software:

Zur Berechnung wird die Hottgenroth Energieberater 18599 Software verwendet.

6.4.2 Maßnahmen zur energetischen Verbesserung der Gebäudehülle

Bei der Sanierung von Gebäuden, insbesondere bei der Wärmedämmung, sind entsprechende Regeln zu beachten und Grenzwerte einzuhalten. Diese sind in der EnEV 2014 geregelt. Im Anhang 3 der EnEV sind die Anforderungen, die bei einer nachträglichen Änderung von Außenbauteilen gestellt werden enthalten. In Tabelle 14 sind diese zusammengefasst dargestellt.

Tabelle 14: Höchstwerte der Wärmedurchgangskoeffizienten bei erstmaligem Einbau, Ersatz und Erneuerung von Bauteilen nach EnEV 2014

Zeile	Bauteil	Maßnahme nach	Wohngebäude und Zonen von Nichtwohngebäuden mit Innentemperaturen > 19°C	Zonen von Nichtwohngebäuden mit Innentemperaturen von 12 bis < 19°C
			Höchstwerte der Wärmedurchgangskoeffizient U_{max} ¹⁾	
1	Außenwände	Nummer 1 Satz 1 und 2	0,24 W/m ² K	0,35 W/m ² K
2a	Fenster, Fenstertüren	Nummer 2 Buchstabe a und b	1,30 W/m ² K ²⁾	1,90 W/m ² K ²⁾
2b	Dachflächenfenster	Nummer 2 Buchstabe a und b	1,40 W/m ² K ²⁾	1,90 W/m ² K ²⁾
2c	Verglasungen	Nummer 2 Buchstabe c	1,10 W/m ² K ³⁾	keine Anforderung
2d	Vorhangfassaden	Nummer 6 Satz 1	1,50 W/m ² K ⁴⁾	1,90 W/m ² K ⁴⁾
2e	Glasdächer	Nummer 2 Buchstabe a und c	2,00 W/m ² K ³⁾	2,70 W/m ² K ³⁾
2f	Fenstertüren mit Klapp-, Falt-, Schie- oder Hebemechanismus	Nummer 2 Buchstabe a	1,60 W/m ² K ²⁾	1,90 W/m ² K ²⁾
3a	Fenster, Fenstertüren, Dachflächenfenster mit Sonderverglasungen	Nummer 2 Buchstabe a und b	2,00 W/m ² K ²⁾	2,80 W/m ² K ²⁾
3b	Sonderverglasungen	Nummer 2 Buchstabe c	1,60 W/m ² K ³⁾	keine Anforderung
3c	Vorhangfassaden mit Sonderverglasungen	Nummer 6 Satz 2	2,30 W/m ² K ⁴⁾	3,00 W/m ² K ⁴⁾
4a	Dachflächen einschließlich Dachgauben, Wände gegen unbeheizten Dachraum (einschließlich Abseitenwänden), oberste Geschossdecken	Nummer 4 Satz 1 und 2 Buchstabe a, c und d	0,24 W/m ² K	0,35
4b	Dachflächen mit Abdichtung	Nummer 4 Satz 2 Buchstabe b	0,20 W/m ² K	0,35
5a	Wände gegen Erdreich oder unbeheizte Räume (mit Ausnahme von Dachräumen) sowie Decken nach unten gegen Erdreich oder unbeheizte Räume	Nummer 5 Satz 1 und 2 Buchstabe a und c	0,30 W/m ² K	keine Anforderung
5b	Fußbodenaufbauten	Nummer 5 Satz 2 Buchstabe b	0,50 W/m ² K	keine Anforderung
5c	Decken nach unten an Außenluft	Nummer 5 Satz 1 und 2 Buchstabe a und c	0,24 W/m ² K	0,35 W/m ² K

- 1) *Wärmedurchgangskoeffizient des Bauteils unter Berücksichtigung der neuen und der vorhandenen Bauteilschichten; für die Berechnung der Bauteile nach den Zeilen 5a und b ist DIN V 4108-6:2003-6 Anhang E und für die Berechnung sonstiger opaker Bauteile ist DIN EN ISO 6946:-2008-04 zu verwenden.*

- 2) *Bemessungswert des Wärmedurchgangskoeffizienten des Fensters; der Bemessungswert des Wärmedurchgangskoeffizienten des Fensters ist technischen Produkt-Spezifikationen zu entnehmen oder gemäß den nach den Landesbauordnungen bekannt gemachten energetischen Kennwerten für Bauprodukte zu bestimmen. Hierunter fallen insbesondere energetische Kennwerte aus Europäischen Technischen Bewertungen sowie energetische Kennwerte der Regelungen nach der Bauregelliste A Teil 1 und auf Grund von Festlegungen in allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassungen.*

- 3) *Bemessungswert des Wärmedurchgangskoeffizienten der Verglasung; Fußnote 2 ist entsprechend anzuwenden.*

- 4) *Wärmedurchgangskoeffizient der Vorhangfassade; er ist nach DIN EN 13947:2007-07 zu ermitteln.*

Des Weiteren schreibt die **KfW** in ihrem Programm „Energieeffizient Sanieren“ zur Gewährung von Krediten und Investitionskostenzuschüssen technische Mindestanforderungen vor. Das KfW-Programm ist als Anreiz für einen hohen Dämmstandard, der über dem der EnEV 2009 liegt, gedacht. Die im Rahmen dieses Gutachtens berechneten Energieeinsparpotentiale beziehen sich jeweils auf eine Sanierung nach den KfW-Mindestanforderungen. Tabelle 15 zeigt eine Gegenüberstellung der bauteilbezogenen Mindestanforderungen an die U-Werte nach EnEV und nach KfW.

Tabelle 15: Die Mindestanforderungen an den U-Wert nach EnEV und KfW

Bauteil	Mindestanforderungen [W/(m²*K)]	
	EnEV	KfW
Außenwand	0,24	0,20
Dachflächen	0,24	0,14
oberste Geschossdecke	0,24	0,14
Fenster	1,30	0,95
Bodenplatte	0,30	0,25

6.4.3 Die Ermittlung der energetischen und finanziellen Einsparpotentiale

In der folgenden Betrachtung werden der energetische Ist-Zustand des Altbaus der Grund- und Mittelschule dargestellt und die Energieeinsparpotentiale ermittelt. Abbildung 17 zeigt die Südhälfte des Ostflügels und einen Teil des Mittelbaus.



Abbildung 17: Südhälfte des Ostflügels

6.4.3.1 Allgemeine Angaben zum Gebäude

Der Altbau wurde in den 1960ern errichtet. In den 1970er Jahren wurde das Gebäude über dem Mittelbau erweitert. Das Gebäude ist nur teilweise unterkellert. Die Kellerräume unter Ost- und Westflügel werden hauptsächlich als Klassenzimmer genutzt und sind beheizt. Somit bildet hier die Bodenplatte den unteren Abschluss der thermischen Gebäudehülle, beim unbeheizten Kriechkeller unter dem Mittelbau ist es die Kellerdecke. Den oberen Abschluss der wärmeübertragenden Hüllfläche bildet die oberste Geschossdecke.

Das Gebäude wird nach dem vereinfachten EnEV-Einzonen-Modell betrachtet (Zone Nr. 8 „Klassenzimmer“).

Gebäudegeometrie

Beheizte Nettogrundfläche: 2.334 m²

Beheiztes Luftvolumen ($0,8 \cdot V_e$): ca. 6.535 m³

Beheiztes Gebäudevolumen V_e : ca. 8.170 m³

Wärmeübertragende Hüllfläche: 4.496 m²

A/V_e –Verhältnis (Hüllfläche zu Volumen): 0,29 1/m

Spezifischer Heizenergieverbrauch: 131 kWh/m²a

Angenommene Parameter:

Luftdichtheit: Kategorie III – Gebäudebestand

Lage im Wind: halbfreie Lage

Wärmebrücken: pauschal - 0,10 W/m²K

Wärmespeicherung: pauschal – schwer

Referenzklima:

Klimareferenzort:		Deutschland
Norm-Außentemperatur	ϑ_e :	-12 °C
Mittlere Außentemperatur	$\vartheta_{e,mittel}$:	8,9 °C
Außentemperatur Juli	ϑ_{Jul} :	24,6 °C
Außentemperatur September	ϑ_{Sep} :	18,9 °C

6.4.3.2 Die wärmewirksame Hüllfläche des Gebäudes

Tabelle 16 zeigt die Bauteile der wärmewirksamen Gebäudehülle mit ihren Flächen und zugehörigen U-Werten.

Tabelle 16: Die Hüllflächentabelle für den Altbau der Grund- und Mittelschule

Gebäudegeometrie			
Objekt:			
Gebäudehüllfläche		$\Sigma A_i = 4496,37 \text{ m}^2$	
Ausrichtung und Bauteil		Fläche A_i	U_i-Wert
		m²	W/m²K
Obere Geschossdecke (zum unbeheizten Dach)			
39	oberste Geschossdecke		0,178
		Zwischensumme =	1168,00
Wand gegen Außenluft			
3	N	Nordseite Westflügel (EG - OG)	1,400
4	N	Nordseite Ostflügel (EG - OG)	1,400
5	N	Nordseite Mittelbau	1,400
10	O	Ostseite Ostflügel (UG - OG)	1,400
15	O	Ostseite Westflügel	1,400
20	S	Südseite Westflügel	1,400
22	S	Südseite Mittelbau	1,400
26	S	Südseite Ostflügel	1,400
28	W	Westseite Westflügel	1,400
34	W	Westseite Ostflügel	1,400
		Zwischensumme =	1161,79
Wand gegen Erdreich			
33	W	Wand gegen Erdreich	1,400
38	W	Kellerwände	1,400
		Zwischensumme =	451,00
Fenster (nach außen)			
6	N	Nordseite Mittelbau (OG)	1,900
7	N	Nordseite Mittelbau (EG)	1,900
8	N	Nordseite Mittelbau (OG)	1,900
9	N	Eingang Nordseite Mittelbau (> 60% Glas)	1,900
11	O	Ostseite Ostflügel	1,900
12	O	Ostseite Ostflügel	1,900
13	O	Ostseite Ostflügel	1,900
16	O	Ostseite Westflügel	1,900
17	O	Türe Feuerterre (>60% Glas)	1,900
18	O	Ostseite Westflügel	1,900
19	O	Ostseite Westflügel	1,900
21	S	Südseite Westflügel	1,900
23	S	Südseite Mittelbau	1,900
24	S	Südseite Mittelbau	4,300
25	S	Eingang (neu; > 60% Glas)	1,900
27	S	Südseite Ostflügel	1,900
29	W	Westseite Westflügel	1,900
30	W	Westseite Westflügel	1,900
31	W	Westseite Westflügel	1,900
32	W	Eingang (> 60% Glas)	1,900
35	W	Westseite Ostflügel	1,900
36	W	Türe Feuerterre (>60% Glas)	1,900
37	W	Westseite Ostflügel	1,900
		Zwischensumme =	547,58
Boden gegen Keller/unbeheizten Raum			
2	Kellerdecke Mittelbau		1,000
		Zwischensumme =	160,00
Boden gegen Erdreich			
1	Bodenplatte		1,000
		Zwischensumme =	1008,00

Abbildung 18 zeigt die Aufteilung der Wärmeverluste über die Gebäudehülle auf die einzelnen Hüllflächenelemente.

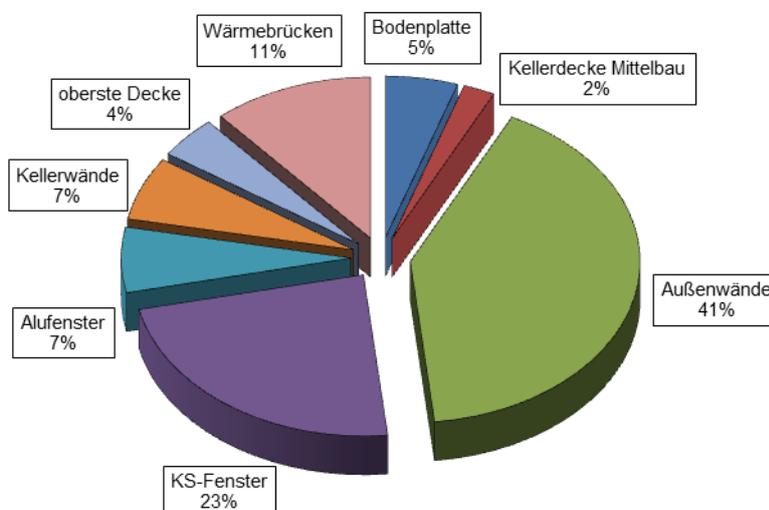


Abbildung 18: Die Aufteilung der Transmissionsverluste

Die Mindestanforderungen nach EnEV und KfW an die Bauteile mit Sanierungsoption, sowie die zugehörigen Flächen werden in Tabelle 17 aufgeführt.

Tabelle 17: Die zusammengefassten Flächen und U-Werte der Bauteile im Vergleich zu den technischen Mindestanforderungen

Bauteil	Fläche [m ²]	U-Wert Ist [W/m ² K]	U-Wert Anforderung EnEV [W/m ² K]	erforderliche Reduzierung von U-Ist [%]	U-Wert Anforderung KfW [W/m ² k]	erforderliche Reduzierung von U-Ist [%]
Bodenplatte	1.008	1,00	0,30	-70%	0,25	-75%
Kellerdecke Mittelbau	160	1,00	0,30	-70%	0,25	-75%
Außenwände	1.164	1,40	0,24	-83%	0,20	-86%
KS-Fenster	485	1,90	1,30	-32%	0,95	-50%
Alufenster	60	4,30	1,30	-70%	0,95	-78%
Kellerwände	451	1,40	0,30	-79%	0,25	-82%
oberste Decke	1.168	0,18	0,24	33%	0,14	-22%
Gesamt	4.496					

Wie in Tabelle 17 ersichtlich ist, erfüllen bis auf die oberste Geschossdecke keines der Hüllflächenelemente die von der EnEV und der KfW gestellten technischen Mindestanforderungen.

6.4.4 Beschreibung der Sanierungsmaßnahmen

Dämmung der Außenwände

Eine Möglichkeit der Reduktion des Wärmebedarfs ist die Wärmedämmung der Gebäudehülle mit einem Wärmedämmverbundsystem (WDVS). Im Folgenden wird die Heizenergieeinsparung durch Montage einer 16 cm starken Dämmung der Wärmeleitgruppe 035 betrachtet. Wärmedämmverbundsysteme zählen mittlerweile zu Standardmaßnahmen. Auf eine detaillierte Beschreibung wird deshalb verzichtet.

Vor der Montage einer Dämmung die Tragfähigkeit des Untergrundes zu überprüfen.

Zur Ermittlung der Wirtschaftlichkeit dieser Maßnahme werden spezifische Kosten in Höhe von rund 120 €/m² angesetzt.

Fenstertausch

Zur Ermittlung der energetischen Qualität eines Fensters müssen zum einen die bauphysikalischen Eigenschaften sowie die mechanischen Eigenschaften des Bauteils betrachtet werden. Die bauphysikalische Betrachtung erfolgt über den U-Wert, die mechanischen Eigenschaften beziehen sich auf die Dichtheit des Fensters. Bei nicht richtig schließenden Fenstern entsteht ein unkontrollierter Luftaustausch, die sogenannte Infiltration. Dies führt zu unnötigem Wärmeverlust. Heizenergieverluste durch undichte Fenster lassen sich im Rahmen dieses Konzeptes nicht detailliert ermitteln. In der folgenden Betrachtung werden deshalb diejenigen Fenster ersetzt, bei denen der Austausch durch die dann eintretende Reduktion des U-Wertes sinnvoll erscheint. Die Bestandsfenster werden im Sanierungsfall durch Fenster mit einem U-Wert kleiner 0,95 W/m²K ersetzt. Mit diesem U-Wert werden die Anforderungen an Einzelmaßnahmen nach KfW erreicht. Für eine Beantragung der Förderung nach KfW sind allerdings alle Bestandsfenster eines Gebäudes zu tauschen. Bei einem Austausch ist auch auf ausreichendes Lüften zu achten. Ein Lüftungskonzept wäre bei Schulgebäuden generell sinnvoll.

Bei einem Fenstertausch werden Investitionskosten von 400,- €/m² angesetzt.

Dämmung der Kellerdecke

Bei dieser Maßnahme werden die Kellerdecken von unten gedämmt. Um jedoch die Nutzung nicht zu beeinträchtigen, ist vor der Durchführung die im jeweiligen Raum notwendige lichte Höhe festzulegen. Die Stärke der Dämmung sollte so gewählt werden, dass sich nach der Maßnahme keine Nutzungseinschränkungen ergeben. In der folgenden Betrachtung der einzelnen Liegenschaften wird die Verwendung einer ca. 12 cm starken Dämmung (WLG 035) angenommen.

Die spezifischen Kosten der Maßnahme betragen 40,- €/m².

Dämmung der obersten Geschossdecken (OGD)

Es wird die oberste Geschossdecke eines Gebäudes oder Gebäudeabschnitts gedämmt. Dies erfolgt durch die Verlegung einer, je nach Bedarf mindestens 20 cm (WLG 035) starken, begehbaren Dämmung. Es sollte vor Durchführung der Maßnahme im jeweiligen Gebäude geprüft werden, ob eine Begehbarkeit der Dämmung notwendig ist. Eine nicht begehbare Dämmung verursacht geringeren Sanierungsaufwand und somit niedrigere Investitionskosten. Für zugängliche und ungedämmte oberste Geschossdecken besteht zudem nach § 10 EnEV 2009 eine Dämmpflicht.

Für eine nicht-begehbare Dämmung werden Investitionskosten von 25,- €/m² angesetzt.

6.4.5 Energieeinsparpotentiale durch Sanierungsmaßnahmen an der Gebäudehülle

In Tabelle 18 werden die U-Werte der sanierten Bauteile und die durch die Sanierungsmaßnahmen eintretende Verbrauchsreduktion an Heizenergie dargestellt.

Tabelle 18: Die U-Werte der sanierten Bauteile und die eintretende Heizenergieeinsparung

Bauteil	Fläche [m ²]	Maßnahme	U-Wert	U-Wert	Einsparung Heizenergie [kWh/a]
			Ist-Zustand [W/m ² K]	Saniert [W/m ² K]	
Kellerdecke Mittelbau	160	12cm Dämmung; WLG 035	0,23	0,23	4.600
Außenwände	1.164	16cm WDVS; WLG 035	0,19	0,19	90.600
KS-Fenster	485	Austausch	0,90	0,90	37.100
Alufenster	60	Austausch	0,90	0,90	12.900
oberste Decke	1.168	20cm zusätzliche Dämmung	0,09	0,09	5.600
Gesamt	3.037				150.800

Bei Umsetzung aller Sanierungsmaßnahmen an den Hüllflächenelementen ist eine Reduktion des Heizenergieverbrauchs um rund 151.000 kWh/a möglich. Insgesamt sind für 3.037m² der Hüllfläche Sanierungsmaßnahmen vorgesehen. Dies entspricht bei einer Gesamthüllfläche von 4.496 m² einem Anteil von ca. 68 %. Wie aus Tabelle 18 ersichtlich wird, weist die Montage eines 16 cm Wärmedämmverbundsystems an den Außenwänden das größte Einsparpotential in Höhe von insgesamt rund 90.600 kWh/a auf. Eine zusätzliche Dämmung der obersten Geschossdecken spart insgesamt ca. 5.600 kWh/a Heizenergie ein. Die berechnete Heizenergiereduktion bezieht sich hierbei auf die Verlegung einer 20 cm starken, nicht begehbaren Dämmung der Wärmeleitgruppe 035. Ein Austausch aller Fenster verringert den Heizenergieverbrauch insgesamt um rund 50.000 kWh/a. Die Montage einer 12 cm starken Dämmung an der Decke des Kriechkellers unter dem Mittelbau reduziert den Heizenergieverbrauch um rund 4.600 kWh/a. In Abbildung 19 sind die energetischen

Auswirkungen der einzelnen Sanierungsmaßnahmen bezogen auf das Gesamtgebäude dargestellt.

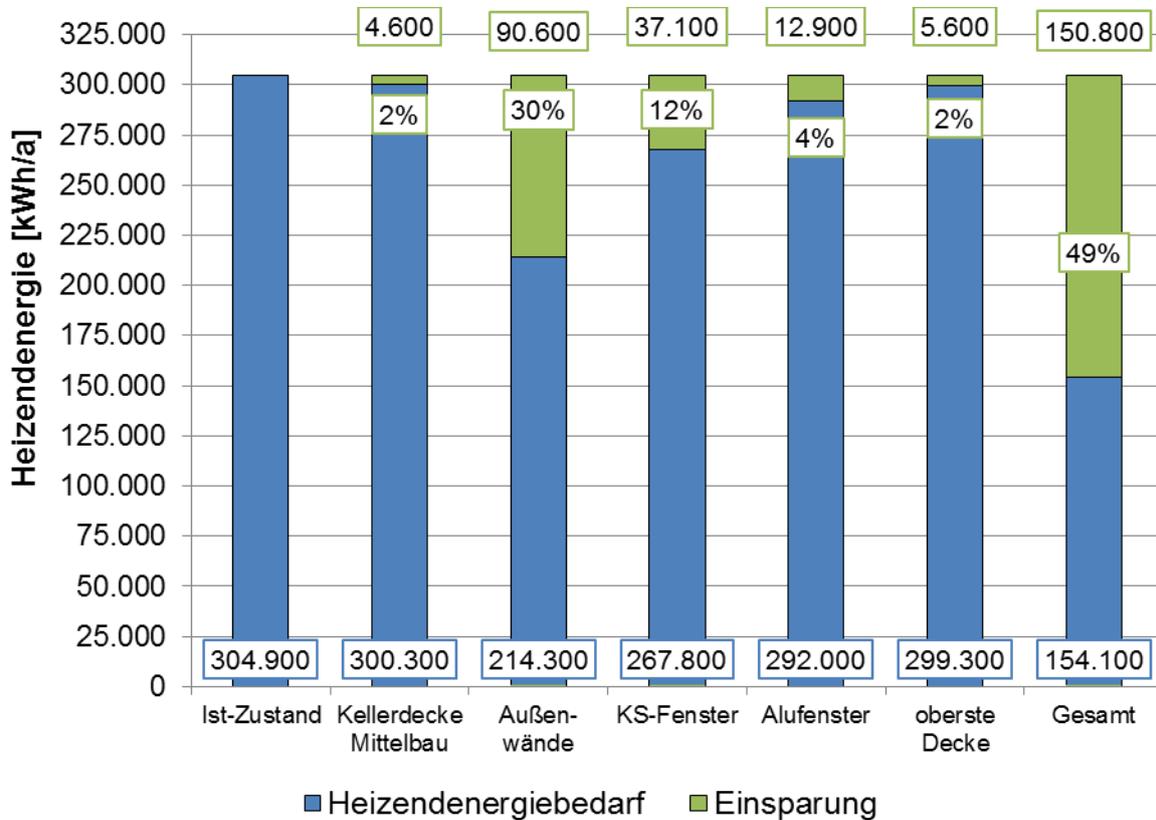


Abbildung 19: Die Einsparpotentiale der einzelnen Sanierungsmaßnahmen in Bezug auf den Gesamtheizenergieverbrauch

Wie aus obiger Darstellung ersichtlich wird, weist die Montage eines 16 cm Wärmedämmverbundsystems mit einer möglichen Reduktion des Heizenergieverbrauchs von insgesamt ca. 30 % das größte Potential aller vorgestellten Sanierungsmaßnahmen auf. Ein Austausch aller Fenster ermöglicht eine Einsparung von rund 16 % des Gesamtheizenergieverbrauchs im Vergleich zum Ist-Zustand. Eine Dämmung der obersten Geschossdecke reduziert den Heizenergieverbrauch um ca. 2 %. Die Dämmung der Kellerdecke spart rund 2 % des Energieverbrauchs für Heizzwecke ein.

6.4.6 Betrachtung der Wirtschaftlichkeit

Im Folgenden werden die verschiedenen Sanierungsmaßnahmen dargestellt und die Investitionskosten prognostiziert. Für die einzelnen Bauteile werden folgende spezifische Sanierungskosten angenommen:

- Austausch der Fenster gegen Kunststofffenster: 400,- €/m²
- Dämmung des Flachdachs: 200,- €/m²
- 16 cm Wärmedämmverbundsystem: 120,- €/m²
- Dämmung der obersten Geschossdecke (nicht begehbar): 25,- €/m²
- Dämmung der Unterseite der Kellerdecke 40,- €/m²

Die statische Amortisation der Investitionskosten wird über die jeweilige Einsparung an Heizkosten durch die Sanierungsmaßnahme berechnet. Kapitalkosten, Teuerungsraten etc. werden nicht berücksichtigt. Der angesetzte Erdgaspreis beträgt **0,07 €/kWh_{Hi}**. Die energetischen und somit auch finanziellen Auswirkungen der einzelnen Maßnahmen sind in Tabelle 19 dargestellt.

Tabelle 19: Die statische Amortisationsdauer in Abhängigkeit von der Heizkosteneinsparung

Bauteil	Fläche [m ²]	U-Wert Saniert [W/m ² K]	Einsparung Heizenergie [kWh/a]	Einsparung Heizkosten [€/a]	Vollkosten Sanierung [€]	statische Amortisationszeit [a]
Kellerdecke Mittelbau	160	0,23	4.600	320	6.400	20
Außenwände	1.164	0,19	90.600	6.340	145.400	25
KS-Fenster	485	0,90	37.100	2.590	194.200	> 40
Alufenster	60	0,90	12.900	900	24.200	30
oberste Decke	1.168	0,09	5.600	390	29.200	> 40
Gesamt	3.037		150.800	10.540	399.400	> 40

Die in Tabelle 19 aufgeführten Amortisationszeiten zeigen, dass die energetischen Sanierungsmaßnahmen unter gegebenen Bedingungen nur teilweise wirtschaftlich darstellbar sind. Die Rückflussdauer der Investitionskosten durch die entstehende Heizkosteneinsparung beträgt meist mehr als 20 Jahre. Bei der Durchführung von ohnehin erforderlichen baulichen Sanierungsmaßnahmen können die energetischen Eigenschaften allerdings durch einen geringen Kostenmehraufwand verbessert werden.

Bei den Außenwänden ist allerdings zu beachten, dass teilweise der Dachüberstand an den Giebel- und Trauseiten verlängert werden muss. Die Kosten für die Maßnahme lassen sich im Rahmen dieses Konzeptes nicht detailliert ermitteln. In den für die Berechnung der Amortisationszeit angesetzten Investitionskosten wird die Verlängerung des Dachüberstandes nicht berücksichtigt. Die angegebene Amortisationsdauer gilt nur für die Abschnitte, bei denen keine Veränderung des Daches notwendig ist. Abbildung 20 die Abschnitte der Außenwände (rot eingefärbt), bei denen der Dachüberstand bei einer Dämmmaßnahme nicht zwingend verlängert werden muss. Bei der Montage eines Wärmedämmverbundsystems ist die Dämmstärke so zu wählen, dass eine ebene Fläche mit dem vorspringenden Mauerwerk erreicht wird.



Abbildung 20: Die Abschnitte ohne notwendige Verlängerung des Dachüberstands (rot)

Die wesentlichen Einflussgrößen auf die Amortisationsdauer sind der Brennstoff- bzw. Wärmepreis. Zur Abschätzung der Kapitalrückflussdauer bzw. des Investitionsrisikos wird die zusätzlich die dynamische Amortisation angewandt. Dabei werden die betrachteten Sanierungsvarianten auf den Ist- Zustand bezogen. Dieser wird daher während des gesamten Betrachtungszeitraumes auf „Null“ gesetzt. Die dynamische Amortisation mit einer angenommenen jährlichen Erdgaspreissteigerung von 2% ist in Abbildung 21 dargestellt.

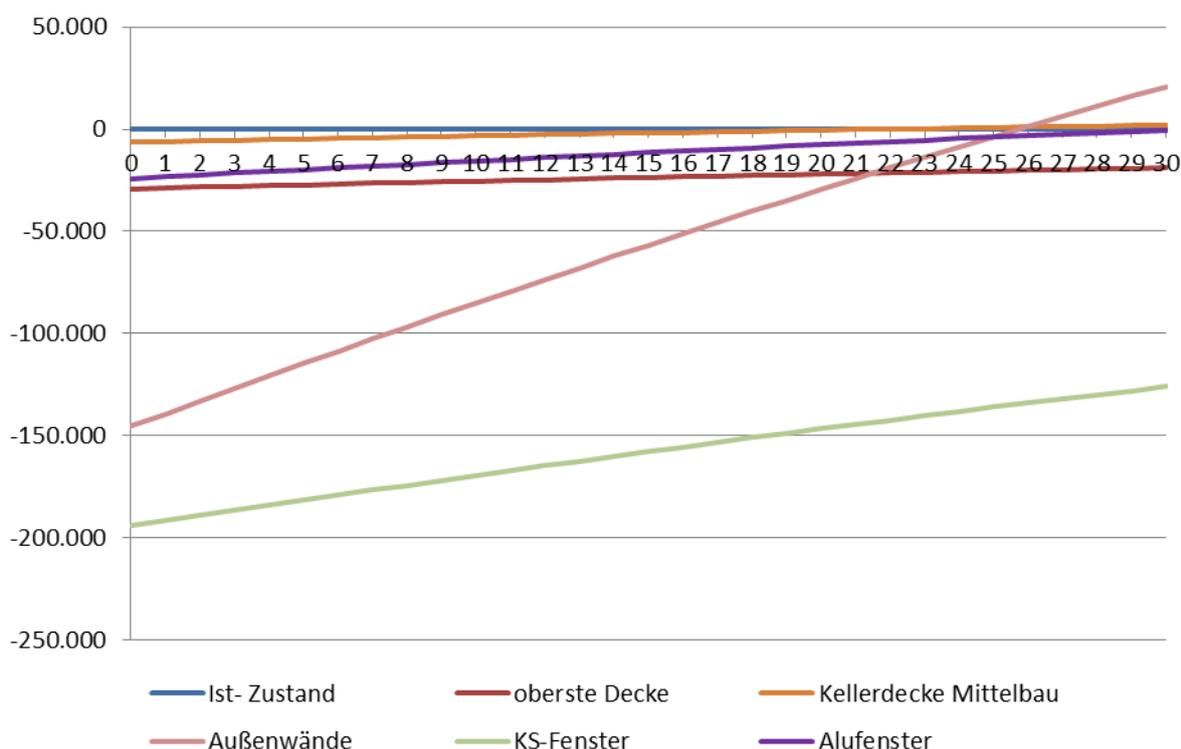


Abbildung 21: Die dynamische Amortisation der Sanierungsmaßnahmen

Obige Abbildung zeigt deutlich, dass auch bei einer Preissteigerung von 2% jährlich nicht mit einer wirtschaftlich vertretbaren Amortisation der Sanierungsvarianten oberste Decke und KS-Fenster gerechnet werden kann. Die Dämmung der zuvor beschriebenen Abschnitte der Außenwände amortisiert sich nach 25 Jahren, die Alufenster nach knapp 30. Die Dämmung der Kellerdecke des Mittelbaus amortisiert sich nach rund 20 Jahren. Die Maßnahme ist allerdings schwierig durchzuführen, da es sich um einen Kriechkeller handelt, an dessen Decke sich die Versorgungsleitungen für den Westflügel befinden.

6.4.7 Auswirkung der Sanierungsmaßnahmen auf die CO₂- Emissionen

Abbildung 22 zeigt die bei Durchführung aller vorgestellten Sanierungsmaßnahmen eintretende jährliche Reduktion des heizenergiebezogenen CO₂-Ausstoßes.

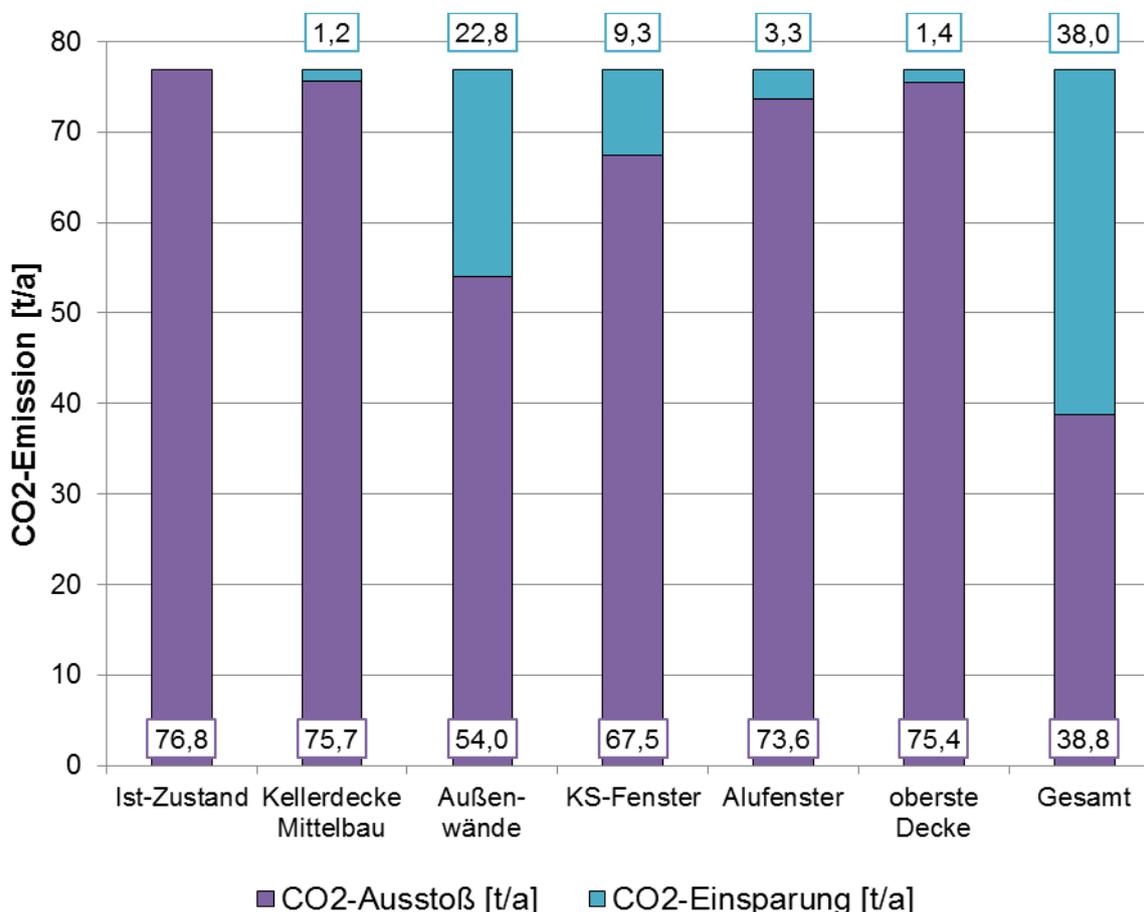


Abbildung 22: Die Reduzierung des CO₂- Ausstoßes durch die energetischen Sanierungsmaßnahmen

Die Einsparpotentiale in Bezug auf den CO₂-Ausstoß verteilen sich analog zur Heizenergieeinsparung auf die einzelnen Hüllflächenelemente. Die Montage eines Wärmedämmverbundsystems weist mit einer möglichen jährlichen Einsparung von insgesamt rund 23 t_{absolut} das größte Einsparpotential zur Reduktion der heizenergiebezogenen CO₂-Emissionen auf. Bei Durchführung aller vorgestellten Sanierungsmaßnahmen lässt sich der CO₂-Ausstoß pro Jahr um ca. 38 t_{absolut} verringern.

6.5 Zusammenfassung der Ergebnisse der baulichen Betrachtung

Wie die vorigen Berechnungen zeigen, ist die Durchführung energetischer Sanierungsmaßnahmen bei den betrachteten Gebäuden teilweise in einem wirtschaftlichen Rahmen darstellbar. Bei den meisten Maßnahmen betragen die Amortisationszeiten der genannten Sanierungsmaßnahmen ca. 30 Jahre oder mehr.

Ein Austausch der Fenster bzw. Eingangstüren verursacht die höchsten spezifischen Kosten aller vorgeschlagenen Maßnahmen zur energetischen Sanierung.

Vorgehensempfehlung:

1. Austausch der undichten oder in sonst einer Weise beschädigten Fensterelemente. Das Hauptaugenmerk sollte sich auf die Fenster mit Alurahmen auf der Südseite des Mittelbaus richten.
2. Wärmedämmverbundsystem an den Abschnitten der Außenwände, bei denen eine Veränderung des Dachüberstandes nicht notwendig ist
3. Austausch der Stufenpumpen (2 x WILO TOP-S 50/10 1~ und 1 x WILO TOP-S 40/4 3~) gegen Hocheffizienzpumpen

Die übrigen Sanierungsmaßnahmen bergen in wirtschaftlicher und energetischer Hinsicht derzeit nicht genügend Potential um eine Durchführung im wirtschaftlichen Rahmen darzustellen. Bei anfallenden Reparatur- oder Umbaumaßnahmen kann allerdings durch einen relativ geringen Kostenmehraufwand die wärmetechnische Eigenschaft des jeweiligen Bauteils verbessert werden.

7 Ausarbeitung von Detailmaßnahmen – Alternative Energieversorgung Grund- und Mittelschule Abenberg

Die Grund- und Mittelschule Abenberg ist mit einem Wärmebedarf von rund 400.000 kWh der größte thermische Verbraucher aller kommunalen Liegenschaften. Im Folgenden werden alternative Energieversorgungsvarianten hinsichtlich wirtschaftlicher und ökologischer Gesichtspunkte untersucht, darunter der Aufbau eines Nahwärmeverbundes mit Abwärmenutzung der Biogasanlage Kleinabenberg.

7.1 Die wirtschaftlichen Grundannahmen

Die hier aufgeführten wirtschaftlichen Grundannahmen gelten für alle untersuchten Versorgungsvarianten soweit nicht anders beschrieben. Basierend auf den entwickelten Energieversorgungsvarianten wird eine Wirtschaftlichkeitsbetrachtung zur Ermittlung der ökonomisch günstigsten Variante durchgeführt. Dabei werden im Rahmen einer Vollkostenrechnung nach der Annuitätenmethode in Anlehnung an die VDI-Richtlinie 2067 die Jahresgesamtkosten ermittelt. Es werden die durchschnittlichen Jahresgesamtkosten für den betrachteten Zeitraum berechnet und dargestellt. Die Jahresgesamtkosten geben an, wie viel Kosten für eine Energieversorgungsvariante unter Berücksichtigung von Kapitalkosten, Instandhaltungs- und Wartungskosten, Verbrauchskosten, sonstigen Kosten und eventuellen Einnahmen durch Stromproduktion jährlich anfallen.

Für die Wirtschaftlichkeitsberechnung gelten folgende Grundannahmen:

- Das Bezugsjahr ist 2014
- Der Betrachtungszeitraum beträgt 20 Jahre
- Alle Preise sind Nettopreise
- Bestehende Anlagen gelten als vollständig abgeschrieben
- Die Abschreibungen für Neuinvestitionen erfolgen linear über 20 Jahre
- Der kalkulatorische Zinssatz beträgt konstant 3 % über 20 Jahre soweit nicht anders beschrieben
- Die Brennstoffkosten bleiben im Betrachtungszeitraum konstant, Preisänderungen werden gesondert über eine Sensitivitätsanalyse erfasst
- Die Stromeinspeisevergütungen bleiben im Betrachtungszeitraum konstant, Änderungen werden gesondert über eine Sensitivitätsanalyse erfasst
- Strom aus Erdgas-Blockheizkraftwerken wird nach dem Kraft-Wärme-Kopplungs-Gesetz (KWKG) vergütet, für das eingesetzte Erdgas kann die Energiesteuer rückerstattet werden

- Strom aus Biomethan-Blockheizkraftwerken wird nach dem Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) vergütet, für das eingesetzte Biomethan kann die Energiesteuer rückerstattet werden.

Folgende **Kosten** bzw. **Erlöse** werden berücksichtigt:

- Investitionskosten auf Basis durchschnittlicher Nettomarktpreise für die einzelnen Komponenten
- Betriebsgebundene Kosten für die einzelnen Anlagenkomponenten (Wartung, Instandhaltung, technische Überwachung, etc.)
- Verbrauchsgebundene Kosten (Brennstoff und Hilfsenergie)
- Sonstige Kosten (Verwaltung, Versicherung)
- Erlöse aus der Stromeinspeisung

Die **Investitionskosten** sind nicht als konkrete Angebotspreise sondern lediglich als durchschnittliche Marktpreise zu verstehen und können in der tatsächlichen Umsetzung nach oben oder unten abweichen.

In diesem Planungsstadium kann der Aufwand für die Errichtung der Wärmeversorgungsstruktur nur näherungsweise festgelegt werden, wodurch die kalkulierten Kosten von den realen Kosten abweichen können. Die im Rahmen der vorliegenden Machbarkeitsstudie abgenommenen Nettoinvestitionskosten basieren ebenso wie die Brennstoff- und Betriebskosten auf durchschnittlichen Marktpreisen und nicht auf konkreten Angebotsvorlagen. In der tatsächlichen Umsetzung, die von einer Ausschreibung eingeleitet wird, können daher die Preise von den hier Kalkulierten abweichen. Vor diesem Hintergrund werden für die unterschiedlichen Varianten Sensitivitätsanalysen erarbeitet, welche den Einfluss einzelner Parameter auf die spezifischen Wärmegestehungskosten darstellen.

Die Investitionskosten umfassen im Einzelnen:

- Wärmeerzeuger
- Nahwärmeleitungen und Übergabestationen
- Umbaumaßnahmen
- Pufferspeicher

- Brennstofflager (pauschale Bauarbeiten)
- Technische Installationskosten
- Projektabwicklung
- Sicherheitszuschlag

Die Investitionskosten beziehen sich auf eine Erneuerung der Wärmeerzeuger. Eine Erneuerung der Heizungsverteilung, die Installation einer Gebäudeleittechnik oder Sonstiges ist hier nicht berücksichtigt.

Die **betriebsgebundenen Kosten** beinhalten in erster Linie Kosten für die Wartung und Instandhaltung der einzelnen Komponenten und werden in Anlehnung an die VDI 2067 als prozentualer Anteil an den Investitionskosten ermittelt. Kosten für Kaminkehrer und technische Überwachung (z.B. Abgasmessungen) werden pauschal angesetzt.

Die **verbrauchgebundenen Kosten** setzen sich aus den Brennstoffkosten und Kosten für Hilfsenergie zusammen.

Für die Brennstoffe selbst werden folgende Netto-Preise zu Grunde gelegt:

- Erdgas: 6 Cent/kWh_{Hi}
- Biomethan: 9,6 Cent/kWh_{Hi}
- Hackschnitzel: 110 €/t (G30/W30, H_i=3,5 kWh/kg)
- Pellets: 250 €/t (H_i=4,9 kWh/kg)
- Strom (Hilfsenergie): 21 Cent/kWh

Die **sonstigen Kosten** umfassen Kosten für Verwaltung und Versicherung. Die Versicherungskosten werden mit 0,5 – 1,5 % (je nach Anlage) der Investitionskosten für die Anlagentechnik angesetzt.

Nach dem Gesetz zur grundlegenden Reform des Erneuerbaren-Energien-Gesetzes vom 21. Juli 2014 ist für erzeugten und **selbst genutzten Strom** aus Erneuerbaren Energien bzw. hocheffizienten KWK-Anlagen **anteilig die EEG-Umlage abzuführen**. Die Anteile betragen:

- 30 Prozent für Strom, der nach dem 31. Juli 2014 und vor dem 1. Januar 2016 verbraucht wird,
- 35 Prozent für Strom, der nach dem 31. Dezember 2015 und vor dem 1. Januar 2017 verbraucht wird, und
- 40 Prozent für Strom, der ab dem 1. Januar 2017 verbraucht wird.

Einnahmen

Erlöse ergeben sich bei **Biomethan-BHKW** derzeit aus der Stromeinspeisung gemäß EEG (Reform des Erneuerbaren-Energien-Gesetzes vom 21. Juli 2014) über einen Zeitraum von 20 Jahren. Die Vergütung nach EEG im Bereich Biomethan setzt sich, bei einer Inbetriebnahme ab August 2014, folgendermaßen zusammen:

- bis einschließlich einer Bemessungsleistung von 150 Kilowatt 13,66 Cent pro Kilowattstunde,
- bis einschließlich einer Bemessungsleistung von 500 Kilowatt 11,78 Cent pro Kilowattstunde,
- bis einschließlich einer Bemessungsleistung von 5 Megawatt 10,55 Cent pro Kilowattstunde und
- bis einschließlich einer Bemessungsleistung von 20 Megawatt 5,85 Cent pro Kilowattstunde.

Für die Vergütung des betrachteten Biomethan-BHKW werden entsprechend die Grundvergütung von 13,66 Cent/kWh berücksichtigt.

Die Einnahmen für die Stromeinspeisung über das EEG sind über die Dauer von 20 Jahren festgeschrieben und werden aus diesem Grund in den Sensitivitätsanalysen nicht berücksichtigt.

Erlöse ergeben sich bei **Erdgas-BHKW** aus der Stromeinspeisung, aus vermiedenen Stromkosten durch Stromeigennutzung, der Zuschlagszahlung nach dem KWK-Gesetz und der Steuerrückerstattung. Die Einspeisevergütung wird durch das KWK-Gesetz geregelt. Die Novellierung des KWK-Gesetzes sieht eine deutliche Verbesserung bei der Vergütung und Förderung von kleinen KWK-Anlagen vor und ist ab August 2012 gültig.

Steuerrückerstattung Erdgas/Biomethan BHKW

Bei der Verwendung von Erdgas bzw. Biomethan in BHKW- Anlagen wird eine Steuerrückerstattung auf den eingesetzten Brennstoff gewährt. Diese Steuerrückerstattung wird im Energiesteuergesetz geregelt. Als Voraussetzung für die Steuerrückerstattung muss die BHKW Anlage einen mittleren Monats- bzw. Jahresnutzungsgrad von mindesten 70 % erreichen und hocheffizient, nach den Kriterien des Anhangs III der Richtlinie 2004/8/EG, sein. Bei der Anschaffung der KWK- Anlage muss darauf geachtet werden, dass der Hersteller diese „Hocheffizienz Kriterien“ bestätigt.

Folgende Rückerstattungen sind möglich:

1. Vollständige Steuerentlastung: 0,55 Cent/kWh_{Hs} bezogen auf die Feuerungswärmeleistung der Anlage während des Abschreibungszeitraums (AfA 10 Jahre bei BHKW)
2. Teilweise Steuerentlastung: 0,442 Cent/kWh_{Hs} nach dem Abschreibungszeitraum

Werden Hauptbestandteile erneuert und die Kosten der Erneuerung belaufen sich auf mindestens 50 % der Kosten für die Neuerrichtung der Anlage, dann verlängert sich die Frist innerhalb welcher die volle Steuerrückerstattung von 0,55 Cent/kWh_{Hs} möglich ist, solange bis die neuen Hauptbestandteile vollständig abgeschrieben sind.

Im vorliegenden Energiekonzept beziehen sich alle Berechnungen auf einen Betrachtungszeitraum von 20 Jahren. Daher wird mit einer mittleren Steuerrückerstattung von 0,496 Cent/kWh_{Hs} gerechnet.

Die wichtigsten Punkte bezüglich der Einspeisevergütung sind:

KWK-Anlagen mit einer installierten elektrischen Leistung bis 50 kW erhalten für den erzeugten KWK-Strom einen Zuschlag von 5,41 Cent/kWh - für eine Dauer von zehn Jahren oder 30.000 Volllaststunden ab Aufnahme des Dauerbetriebes.

KWK-Anlagen mit einer elektrischen Leistung bis 250 kW erhalten einen Zuschlag von 4,0 Cent/kWh und KWK-Anlagen mit einer elektrischen Leistung bis 2 MW erhalten einen Zuschlag von 2,4 Cent/kWh für 30.000 Volllastbetriebsstunden. BHKW-Anlagen einer größeren Leistungsklasse erhalten die höheren Vergütungssätze der kleineren Leistungsklasse anteilig vergütet (der Leistungsanteil bis 50 kW, bzw. 250 kW wird auch bei größeren Anlagen entsprechend mit der höheren Zuschlagszahlung von 5,11 Cent/kWh, bzw. 4,0 Cent/kWh vergütet; jedoch nur auf den begrenzten Anspruchszeitraum).

Der KWK-Zuschlag ist auch für den KWK-Strom zu zahlen, den der Betreiber der KWK-Anlage selbst verbraucht.

Darüber hinaus erhält der Anlagenbetreiber eine zusätzliche Vergütung vom Netzbetreiber für den eingespeisten Strom. Diese ist abhängig vom Strompreis für Baseload-Strom an der Strombörse und wird auf die vorangegangenen Quartale bezogen. In Abbildung 30 ist eine Entwicklung des Preises der einzelnen Quartale seit dem Jahr 2000 dargestellt. Dieser Preis („üblicher Preis“) gilt als Richtpreis, der bezahlt werden muss, wenn sich der Energieversorger und der KWK-Anlagenbetreiber auf keine andere Vergütung einigen können.

Die Verpflichtung des Netzbetreibers zur Abnahme und Vergütung von KWK-Strom aus KWK-Anlagen größer 50 kW entfällt, wenn der Netzbetreiber nicht mehr zu Zuschlagszahlung verpflichtet ist. Die Kategorien der zuschlagsberechtigten KWK-Anlagen, insbesondere von Bestandsanlagen und modernisierten Anlagen, sind im Detail dem Gesetzestext zu entnehmen.

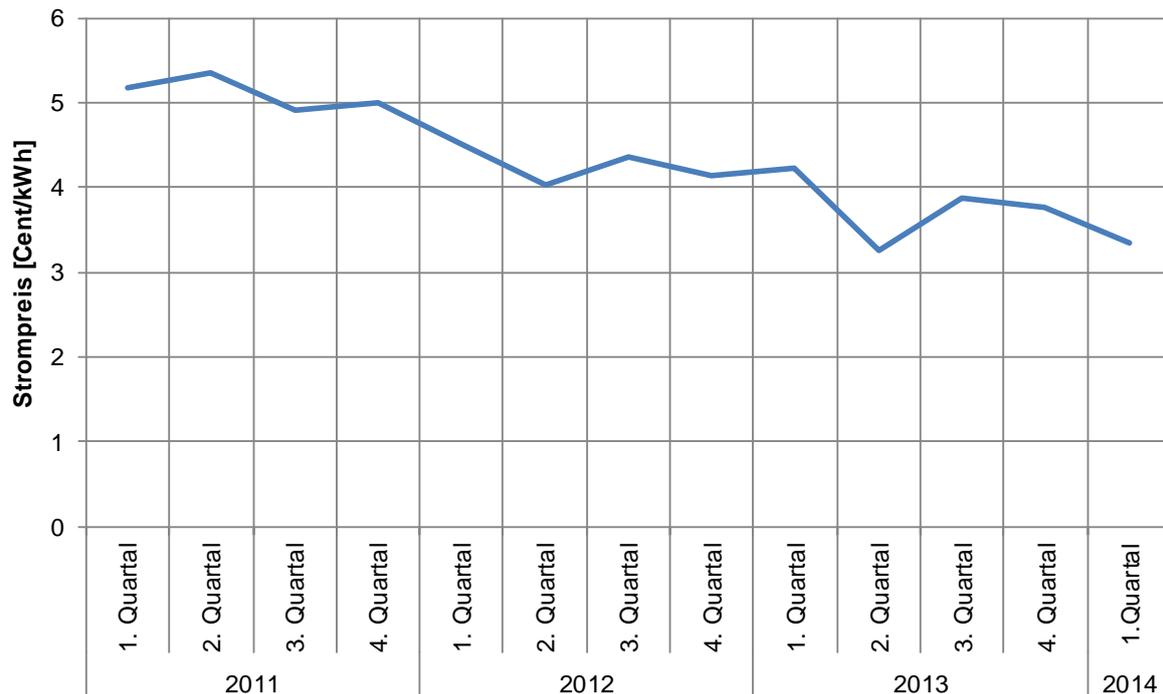
"Üblicher Preis" gem. §4, Abs. 3 Satz 3 KWKG

Abbildung 23: Die Entwicklung des „üblichen Preises“ für die KWK-Stromvergütung

Steuerrückerstattung Erdgas: 0,496 Cent/kWh_{Hs} eingesetzten Brennstoffs

KWK Zuschlag für bereitgestellte elektrische Energie:

- 5,41 Cent/kWh für den Anteil kleiner 50 kW_{el}
- 4,00 Cent/kWh für den Anteil größer 50 kW_{el} bis 250 kW_{el}
- 2,40 Cent/kWh für den Anteil größer 250 kW_{el}

Stromeinspeisung:

- Vergütung („üblicher Preis“): ca. 3,78 Cent/kWh (Mittelwert des letzten vollständigen Kalenderjahres)

Die Einnahmen sind nicht über den Betrachtungszeitraum festgeschrieben. Deshalb wird der Einfluss von Änderungen der Einnahmen durch die Stromproduktion auf die Wärmegestehungskosten bei den verschiedenen Varianten mit BHKW in der Sensitivitätsanalyse genauer betrachtet.

7.2 Darstellung möglicher Förderungen

Mögliche Förderprogramme, die z.B. für eine künftige Energieversorgung (z.B. Nahwärmenetze) oder den allgemeinen Einsatz von erneuerbaren Energien werden nachfolgend dargestellt.

Es erfolgt keine Gewähr auf Vollständigkeit der Angaben und Programme!

1. KfW-Förderprogramm – „Premium“ – Große Biomasseheizungen

Im Programmteil „Premium“ des Marktanzreizprogramms wird die Errichtung bzw. Erweiterung automatisch beschickter Anlagen zur Verfeuerung fester Biomasse für die thermische Nutzung (z.B. Hackgut- oder Pelletkessel) und zur kombinierten Wärme- und Stromerzeugung (KWK) mit einer installierten Nennwärmeleistung von 100 kW bis 2 MW gefördert.

Die Förderung erfolgt über ein Darlehen in Kombination mit Tilgungszuschüssen.

- Anlagen zur thermischen Nutzung:

Der Tilgungszuschuss (Grundförderung) beträgt 20 € je kW installierter Wärmeleistung, höchstens jedoch 50.000 € je Einzelanlage. Bei besonders niedrigen Staubemissionen und/oder Errichtung eines Pufferspeichers kann eine erhöhte Förderung (Innovationsförderung) gewährt werden. Die Gesamthöchstförderung beträgt 100.000 € je Anlage. Der Zuschuss erhöht sich bei Einhaltung von niedrigeren Staubemissionen (maximal 15 mg/m³, bei 13 % Sauerstoff im Abgas) um 20 € je kW. Bei der Errichtung eines Pufferspeichers (mindestens 30 l/kW) erhöht sich die Grundförderung um 10 €/kW.

- Anlagen zur kombinierten Wärme- und Stromerzeugung (KWK)

Der Tilgungszuschuss beträgt 40 € je kW Nennwärmeleistung bei Anlagen bis 2.000 kW. Die Anlagen müssen streng wärmegeführt betrieben werden. Der elektrische Wirkungsgrad muss größer als 10 % und der Gesamtwirkungsgrad größer als 70 % sein.

2. KfW-Förderung – „Premium“ – Nahwärmenetze

Die Errichtung oder Erweiterung von Wärmenetzen (inkl. Hausübergabestationen), wird gefördert – sofern diese nicht überwiegend zur Deckung des Wärmebedarfs in Neubauten errichtet werden – wenn:

- mindestens 50 % Wärme aus erneuerbaren Energien gespeist wird oder
- mindestens 20 % der Wärme aus solarer Strahlungsenergie gespeist wird und ansonsten fast ausschließlich Wärme aus hocheffizienter KWK, Wärmepumpen oder Wärme aus industrieller oder gewerblicher Abwärme eingesetzt wird,
- auch der biogene Anteil von Siedlungsabfällen gilt als erneuerbare Energie im Sinne dieser Regelung (Wärmenutzung aus der Abfallverbrennung)
- ein Mindestwärmeabsatz im Mittel von 500 kWh/a je Trassenmeter nachgewiesen wird.

Die möglichen Tilgungszuschüsse betragen dabei:

- 60 € je Meter Trassenlänge für Wärmenetze, für die keine Zuschlagsförderung nach dem KWK-Gesetz beantragt werden kann

3. Freistaat Bayern: Förderprogramm „BioKlima“ für Biomasseheizwerke

Gefördert werden im Förderprogramm BioKlima Neuinvestitionen zur Errichtung von automatisch beschickten Biomasse- und Pelletheizanlagen. Für die Anlagen muss eine kalkulatorische CO₂-Einsparung von mehr als 500 Tonnen innerhalb von 7 Jahren nachgewiesen werden. Als Brennstoff dürfen ausschließlich naturbelassene Holz- oder Biomassebrennstoffe aus heimischer Produktion eingesetzt werden. Der Kessel muss für die Verwendung der gewählten Brennstoffe geeignet sein.

Der Zuschuss beträgt 20 € pro Jahrestonne kalkulatorisch eingespartes CO₂. Der gesamte Zuschuss wird über einen Zeitraum von 7 Jahren berechnet. Die max. Förderung beträgt 200.000 € je Projekt.

Es dürfen keine staatliche Mittel für denselben Zweck in Anspruch genommen werden (z.B. Marktanreizprogramm des Bundes für erneuerbare Energien), sofern der Subventionswert aller ausgereichten staatlichen Mittel 30 % der förderfähigen Kosten nicht übersteigt.

Bei der Biomasseheizanlage muss eine Auslastung von mindestens 2.500 Volllaststunden erreicht werden. Bei monovalenten Anlagen (d.h. ohne Spitzenlastkessel) müssen 2.000 Stunden erreicht werden.

Es ist eine Wärmebelegung, bezogen auf den prognostizierten Wärmeabsatz von mindestens 1.500 kWh/m*a neu errichteter Trasse nachzuweisen. Ein schlüssiger und abgesicherter Kosten- und Finanzierungsplan muss vorgelegt werden.

4. BAFA / KWK-Gesetz für Wärmenetze

Im Rahmen des Kraft-Wärme-Kopplungsgesetzes (KWK-G) wird vom Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle (BAFA) u.a. der Neubau und Ausbau von Wärmenetzen gefördert.

Das KWK-Gesetz wurde neu novelliert und ist im August 2012 in neuer Fassung in Kraft getreten. In der Darstellung der Fördermöglichkeiten für Wärmenetze werden die aktuellen Inhalte des neu aufgelegten KWK-Gesetzes berücksichtigt.

Fördervoraussetzung ist unter anderem, dass bei Inbetriebnahme des Netzes mindestens 50 % der Wärmeversorgung der an das Netz angeschlossenen Abnehmer in Kraft-Wärme-Kopplung nach Voraussetzungen des KWK-Gesetzes erfolgen muss (z.B. Einsatz eines BHKW).

Im geplanten Endausbau des Netzbereichs, für den die Förderung beantragt wurde, muss für die Wärmeeinspeisung aus KWK-Anlagen mindestens ein Anteil von 60 % nachgewiesen werden.

In der Novelle ist eine Ausweitung und Vereinfachung der Förderung im Bereich Wärme- und Kältenetze gegenüber der bisherigen Regelung vorgesehen. Die neuen Fördersätze sehen wie folgt vor:

- Leitungen mit einem mittleren Nenndurchmesser bis DN 100:
 - Zuschlag von 100 € je laufendem Trassenmeter
 - max. jedoch 40 % der ansatzfähigen Investitionskosten
- Leitungen mit einem mittleren Nenndurchmesser größer DN 100:
 - Zuschlag von 30 % der ansatzfähigen Investitionskosten

Tilgungszuschüsse für Wärmenetze, die von der KfW zur Nutzung erneuerbarer Energien gewährt werden, müssen nicht in Abzug gebracht werden.

Hausübergabestationen fallen nicht in den förderfähigen Teil dieses Programmes.

Die Nachweise sind durch einen Wirtschaftsprüfer zu erbringen.

5. Marktanreizprogramm zur Förderung erneuerbarer Energien (BAFA)

Das Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle (BAFA) fördert Maßnahmen zur Nutzung erneuerbarer Energien im Rahmen des Marktanreizprogramms des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit.

Auch im Jahr 2012 wird das Marktanreizprogramm fortgesetzt. Hierfür hat das Bundesumweltministerium ausreichend Haushaltsmittel zur Verfügung gestellt.

Die folgenden Maßnahmen werden im Rahmen des Programms über das BAFA gefördert:

Die Errichtung und Erweiterung von

- Solarkollektoranlagen bis 40 m² Bruttokollektorfläche
- Solarkollektoranlagen mit mehr als 40 m² Bruttokollektorfläche auf Ein- und Zweifamilienhäusern mit hohen Pufferspeichervolumina
- automatisch beschickten Biomasseanlagen
- besonders emissionsarmen Scheitholzvergaserkesseln
- effizienten Wärmepumpen
- die Vornahme von Visualisierungsmaßnahmen

Die Investitionszuschüsse des BAFA können insbesondere Privatpersonen, kleine und mittlere Unternehmen, Freiberufler und Kommunen in Anspruch nehmen. Die Förderung erfolgt nach den Richtlinien zur Förderung von Maßnahmen zur Nutzung erneuerbarer Energien im Wärmemarkt vom 11. März 2011.

7.3 Hinweise zu den Wärmeerzeugern

Beim Einsatz von **Blockheizkraftwerken (BHKW)** muss berücksichtigt werden, dass diese wartungsintensiv sind. Je nach Hersteller, Anlagengröße und Einsatzbedingungen des BHKW kann ab etwa 20.000 Betriebsstunden eine Motorüberholung bzw. ein Austausch des Motors erforderlich werden. Bei Erdgas-BHKW können je nach Hersteller und Größe der Anlage ggf. längere Intervalle vorliegen.

Blockheizkraftwerke sollen im Dauerbetrieb zur Grundlastversorgung eingesetzt werden, ein häufiges Takten – Starten und Stoppen des Motors – ist zu vermeiden. Um einen optimierten Dauerbetrieb zu gewährleisten ist ein entsprechend großer Pufferspeicher vorzusehen.

Die Einspeisung der jeweiligen elektrischen Leistung der geplanten KWK-Anlagen in das öffentliche Stromnetz muss im Vorfeld einer Realisierung in Abstimmung mit dem lokalen Netzbetreiber/Energieversorgungsunternehmen überprüft werden.

Beim Einsatz von **Erdgas** wird der vom BHKW erzeugte Strom bei Bedarf vorrangig, soweit möglich, im eigenen Gebäude verwendet. Dadurch kann der Strombezug aus dem öffentlichen Netz verringert und Leistungsspitzen reduziert werden. Bei Stromüberproduktion wird dieser ins öffentliche Netz eingespeist. Da, wie nachfolgend noch näher beschrieben wird, eine feste Einspeisevergütung für Erdgas-BHKW nicht festgeschrieben ist, muss anhand der aktuellen Vergütung und den Stromkosten abgewogen werden, ob eine Stromeinspeisung nach dem KWK-Gesetz oder eine Stromeigennutzung wirtschaftlich sinnvoller ist.

Der produzierte Strom aus **Biomethan**-BHKW wird im Allgemeinen ins öffentliche Netz eingespeist und nach dem EEG vergütet. Beim Einsatz von **Biomethan** (auf Erdgasqualität aufbereitetes und ins Erdgasnetz eingespeistes Biogas) ergibt sich am BHKW technisch kein Unterschied gegenüber dem normalen Erdgasbetrieb. Für den Betrieb einer solchen EEG-Anlage ist entsprechend ein Kraftstoffkontingent an Biomethan zu erwerben und in der Gasbezugsleitung ein eigener geeichter Verbrauchszähler zu installieren.

Beim Einsatz eines **Hackgutkessels** muss berücksichtigt werden, dass ein Hackgutbunker oder -lagerbereich eingerichtet, bzw. errichtet werden muss. Dadurch ist bei diesen Varianten ein erhöhter Platzbedarf und Logistikaufwand zu berücksichtigen. Der jährliche Verbrauch an Hackgut wird bei den einzelnen Varianten in Tonnen angegeben. Dieser Verbrauch ist stark von der Qualität der eingesetzten Hackguts abhängig. Bei den Berechnungen wird von einem durchschnittlichen Heizwert von 3,5 kWh/kg und einer Schüttdichte von 220 kg/m³ ausgegangen (z.B. Nadelholzhackgut bis Wassergehalt w=30 %). Um einen optimierten Betrieb zu gewährleisten ist ein entsprechend großer Pufferspeicher vorzusehen.

Des Weiteren ist zu berücksichtigen, dass eine Zufahrtsmöglichkeit zur Befüllung des Lagers gegeben sein muss. Die Belieferungsintervalle sind je nach Kesselgröße von der Betriebssituation und der Lagerkapazität abhängig und können von wenigen Tagen bis wenigen Wochen variieren. Bei großen Heizwerken ist mit täglichen Anlieferungen zu rechnen. Für den Betrieb und die Brennstoffversorgung eines Hackgutkessels ist mit einem höheren Personal- und Wartungsaufwand als bei einer Erdgas- oder Heizölfeuerung zu rechnen.

Bei einem **Pelletkessel** muss ebenfalls berücksichtigt werden, dass ein Pelletlager einge-, bzw. errichtet werden muss. Im Vergleich zu einem Erdgaskessel ist mit erhöhtem Platzbedarf und Logistikaufwand zu rechnen. Der jährliche Pelletverbrauch wird in den betrachteten Varianten in Tonnen angegeben. Bei Pellets handelt es sich um naturbelassenes Holz, welches ohne chemische Bindemittel zu zylindrischen Pellets gepresst wird. Da es sich bei Pellets um einen genormten Brennstoff nach DIN 51731 (Önorm M7135, CEN/TS 14961 oder „DIN plus“) handelt, ist die Qualität der Pellets konstant und es liegt ein Heizwert von rund 5 kWh/kg, bei einem Schüttgewicht von 650 kg/m³ vor.

Zur Befüllung des Lagers muss ebenfalls eine Zufahrtsmöglichkeit vorhanden sein. Da Pellets aber über einen Schlauch in das Lager geblasen werden können, gestaltet sich die Anlieferung etwas einfacher, als beim Hackschnitzelkessel. Die Belieferungsintervalle sind im Vergleich zur Hackgutheizung meist länger und die benötigte Lagerkapazität geringer, was am höheren Heizwert und der höheren Schüttdichte der Pellets liegt.

Für den Betrieb und die Brennstoffversorgung eines Pelletkessels ist mit einem höheren Personal- und Wartungsaufwand als bei einer Erdgas- bzw. Heizölfeuerung zu rechnen.

7.4 Der Wärmebedarf

Der Wärmebedarf ergibt sich aus den Brennstoffverbräuchen und dem Nutzungsgrad der Heizungsanlage. Dieser ist vom eingesetzten System und vom Alter der Heizungsanlage abhängig. Daraus ergibt sich ein Wärmebedarf für die betrachtete Liegenschaft von rund 400.000 kWh pro Jahr.

Mit Hilfe der so genannten Gradtagmethode der VDI-Richtlinie 2067 können die monatlichen Bedarfswerte vom Jahreswärmebedarf abgeleitet werden. Die Grundidee der Gradtagmethode basiert auf empirisch ermittelten Monatsbedarfswerten und deren Anteil am Jahresbedarf. In Abbildung 24 ist der monatliche Gesamtwärmebedarf dargestellt.

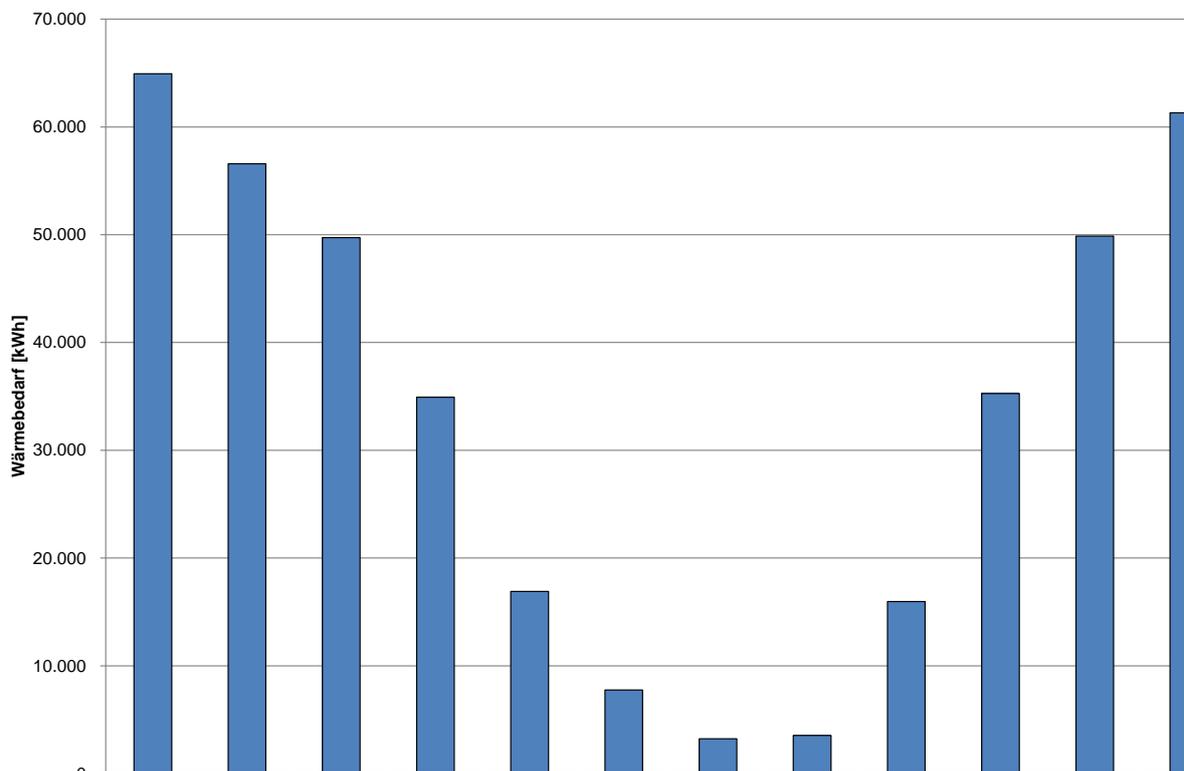


Abbildung 24: Der monatliche Wärmebedarf der Nahwärmeverbundlösung 1

Anhand des monatlichen Wärmebedarfs wird die geordnete Jahresdauerlinie des thermischen Energiebedarfs erstellt. Die geordnete Jahresdauerlinie ist das zentrale Instrument für den Anlagenplaner. Die Fläche unter der Jahresdauerlinie entspricht dem Jahresnutzwärmebedarf. Idealerweise sollten sich die meist modular aufgebauten, d.h. in Grund- und Spitzenlastabdeckung unterteilten Heizanlagensysteme der Jahresdauerlinie annähern.

Werden Wärmeerzeuger in der Grafik flächendeckend eingetragen, kann auf die Laufzeiten und den Anteil an der Jahreswärmebereitstellung der einzelnen Wärmeerzeuger geschlossen werden. Die zu installierende Spitzenleistung richtet sich nach Kennwerten der Kesselvollbenutzungsstunden und dem Wärmebedarf. Dies beruht nicht auf einer Heizlastberechnung und ersetzt nicht die technische Detailplanung.

In Abbildung 25 ist die geordnete Jahresdauerlinie des Gesamtwärmebedarfs der Grund- und Mittelschule dargestellt.

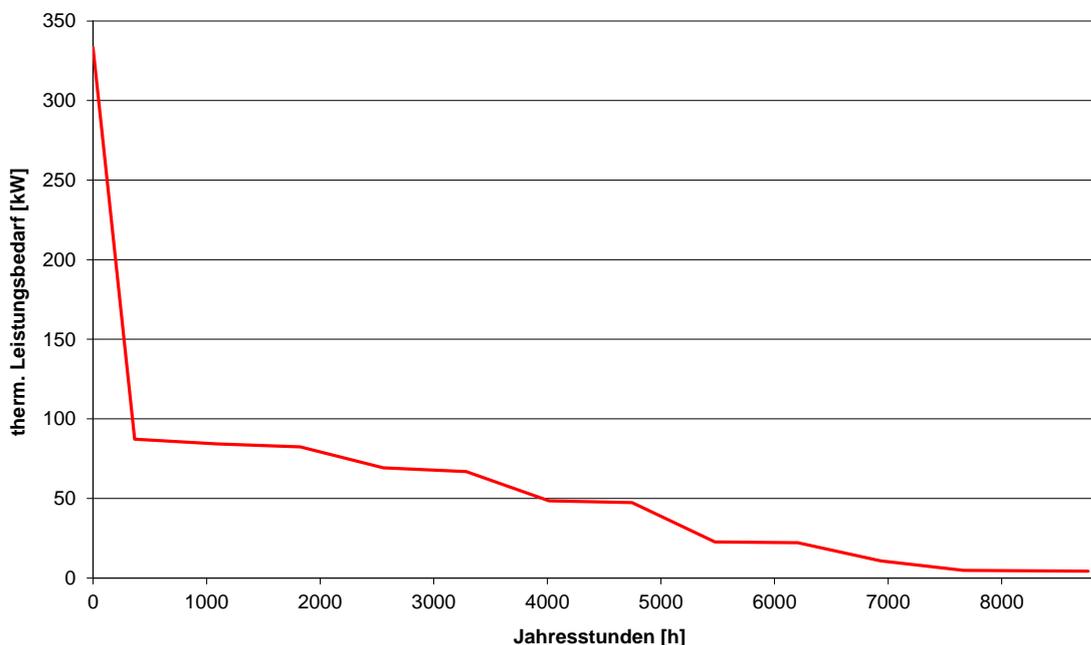


Abbildung 25: Die geordnete Jahresdauerlinie des Gesamtwärmebedarfs in der Grund- und Mittelschule Abenberg

7.5 Die Versorgungsvarianten

7.5.1 Variante 1.0: Erneuerung der Bestandskessel (Referenzvariante)

Bei der Variante 1.0 (Referenzvariante) werden die derzeitigen Erdgaskessel durch moderne Feuerungskessel ersetzt. Sie dient als Vergleichsvariante für alle alternativen Energieversorgungssysteme.

Es werden zwei Erdgaskessel mit einer thermischen Gesamtleistung von 540 kW eingesetzt. Für die Erdgaskessel ergeben sich etwa 741 Vollbenutzungsstunden im Jahr. Jährlich werden rund 435.000 kWh_{Hi} Erdgas verbraucht.

7.5.2 Variante 1.1: Biomethan-BHKW mit Spitzenlastkessel

Bei der Variante 1.1 wird ein Biomethan-BHKW mit einer thermischen Leistung von 50 kW und einer elektrischen Leistung von 22 kW zur Deckung der Grundlast eingesetzt. Zur Spitzenlastabdeckung kommt ein Erdgaskessel mit einer Nennwärmeleistung von 310 kW zum Einsatz. Bei den Investitionskosten wurde die Unterbringung der Energieerzeuger im bestehenden Heizraum berücksichtigt.

Abbildung 26 zeigt die Jahresdauerlinie mit den installierten Wärmeerzeugern. Es wird ein Pufferspeicher vorgesehen, um Schwankungen im Wärmebedarf auszugleichen. Für das Biomethan-BHKW ergeben sich etwa 5.900 Vollbenutzungsstunden im Jahr. Jährlich werden rund 509.000 kWh_{Hi} Biomethan und rund 117.000 kWh_{Hi} Erdgas verbraucht.

Das Biomethan-BHKW erzeugt jährlich rund 129.800 kWh an elektrischer Energie, welche nach dem Erneuerbare-Energien-Gesetz vergütet wird.

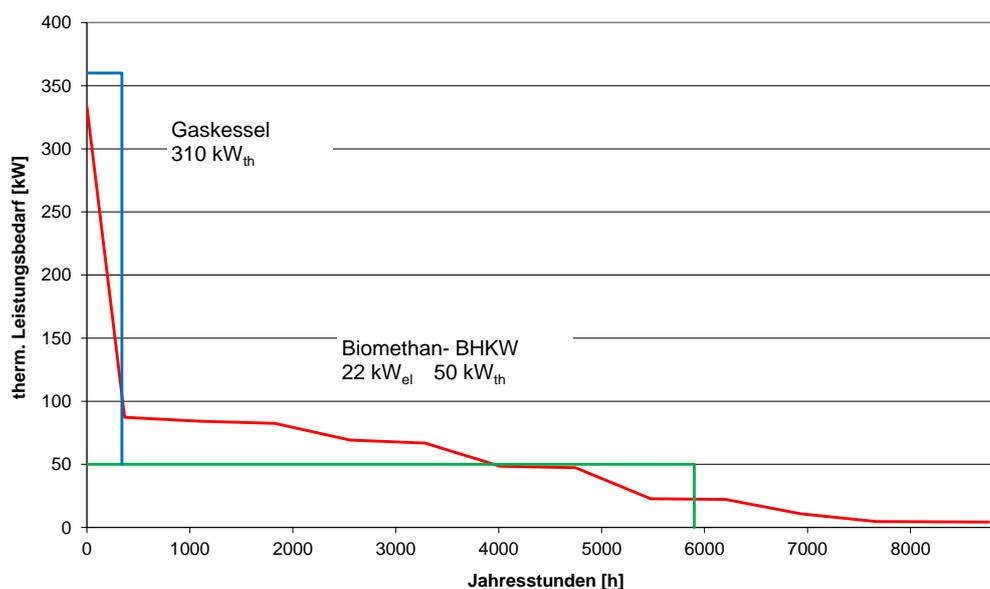


Abbildung 26: Grund- und Mittelschule Abenberg: Die Jahresdauerlinie der Variante 1.1

Wärmeerzeuger		Biomethan- BHKW	Erdgas- Kessel
Nennwärmeleistung	[kW]	50	310
Elektrische Leistung	[kW]	22	
Jahresvollbenutzungsstunden	[h/a]	5.900	300
Erzeugte Jahreswärmemenge	[kWh/a]	295.000	105.000
Anteil an Wärmeerzeugung	[%]	74	26
Erzeugte Jahresstrommenge	[kWh/a]	129.800	0
Verbrauch	[kWh _{Hi} /a]	509.000	117.000

7.5.3 Variante 1.2: Erdgas-BHKW mit Spitzenlastkessel

Bei der Variante 1.1 wird ein Erdgas-BHKW mit einer thermischen Leistung von 50 kW und einer elektrischen Leistung von 22 kW zur Deckung der Grundlast eingesetzt. Zur Spitzenlastabdeckung kommt ein Erdgaskessel mit einer Nennwärmeleistung von 310 kW zum Einsatz. Bei den Investitionskosten wurde die Unterbringung der Energieerzeuger im bestehenden Heizraum berücksichtigt.

Abbildung 27 zeigt die Jahresdauerlinie mit den installierten Wärmeerzeugern. Es wird ein Pufferspeicher vorgesehen, um Schwankungen im Wärmebedarf auszugleichen. Für das Erdgas-BHKW ergeben sich etwa 5.900 Vollbenutzungsstunden im Jahr. Jährlich werden rund 626.000 kWh_{Hi} an Erdgas verbraucht.

Das Erdgas-BHKW erzeugt jährlich rund 129.800 kWh an elektrischer Energie, welche zu rund 85 Prozent in das öffentliche Versorgungsnetz eingespeist und nach dem KWKG-Gesetz vergütet wird. Die restlichen 15 Prozent bzw. 19.470 kWh können in der Schule selbst genutzt werden.

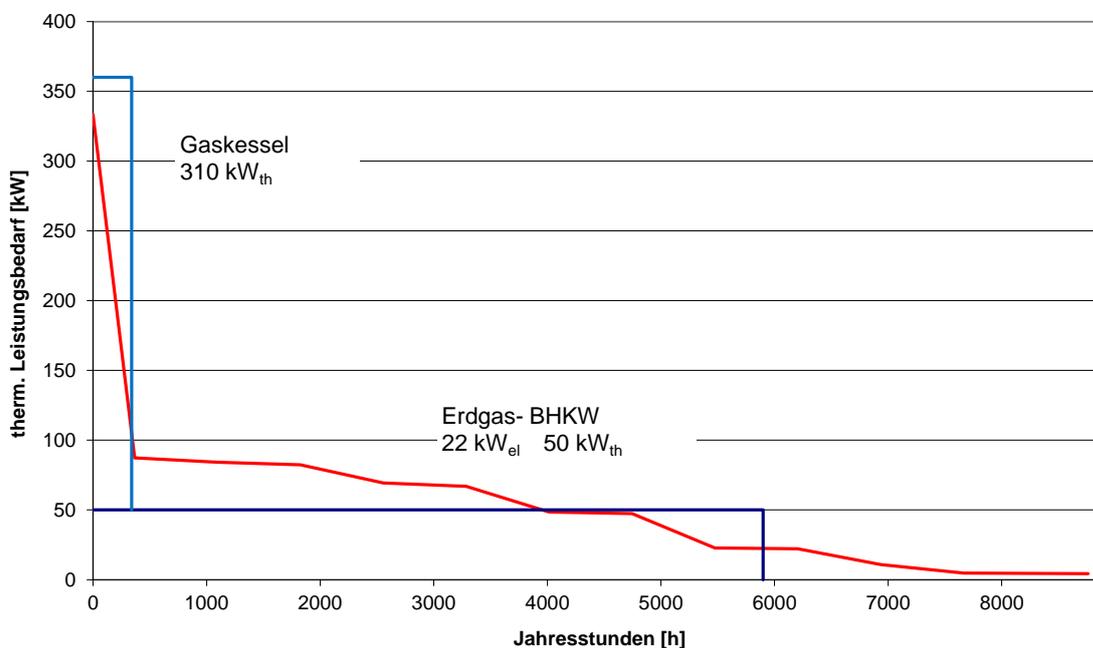


Abbildung 27: Grund- und Mittelschule Abenberg: Die Jahresdauerlinie der Variante 1.2

Wärmeerzeuger		Erdgas- BHKW	Erdgas- Kessel
Nennwärmeleistung	[kW]	50	310
Elektrische Leistung	[kW]	22	
Jahresvollbenutzungsstunden	[h/a]	5.900	300
Erzeugte Jahreswärmemenge	[kWh/a]	295.000	105.000
Anteil an Wärmeerzeugung	[%]	74	26
Erzeugte Jahresstrommenge	[kWh/a]	129.800	0
Verbrauch	[kWh _H /a]	509.000	116.000

7.5.4 Variante 1.3: Pelletkessel mit Spitzenlastkessel

Bei der Variante 1.3 wird ein Pelletkessel mit einer Nennwärmeleistung von 100 kW zur Deckung der Grund- und Mittellast eingesetzt. Zur Spitzenlastabdeckung kommt ein Erdgaskessel mit einer Nennwärmeleistung von 310 kW zum Einsatz. Bei den Investitionskosten wurden die Unterbringung der Energieerzeuger im bestehenden Heizraum sowie die Errichtung eines Brennstoffbunkers berücksichtigt.

Abbildung 28 zeigt die Jahresdauerlinie mit den installierten Wärmeerzeugern. Es wird ein Pufferspeicher verwendet, um Schwankungen im Wärmebedarf auszugleichen. Für den Biomassekessel ergeben sich etwa 3.200 Vollbenutzungsstunden im Jahr. Jährlich werden rund 73 Tonnen Pellets und rund 89.000 kWh_{Hi} Erdgas verbraucht.

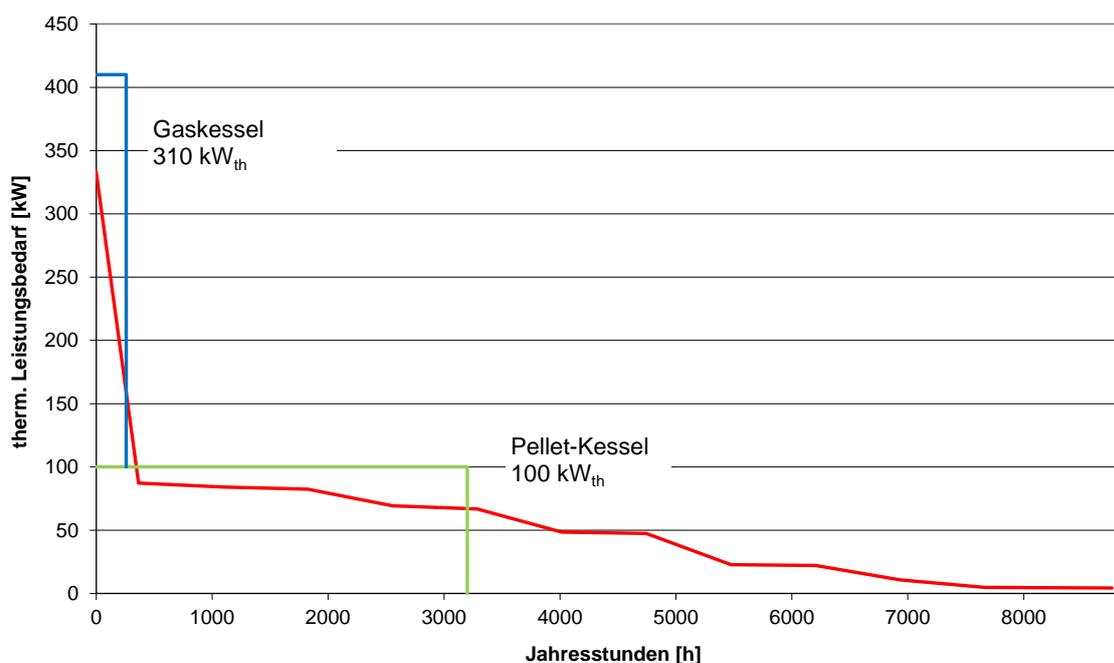


Abbildung 28: Grund- und Mittelschule Abenberg: Die Jahresdauerlinie der Variante 1.3

Wärmeerzeuger		Pellet- Kessel	Erdgas- Kessel
Nennwärmeleistung	[kW]	100	310
Jahresvollbenutzungsstunden	[h/a]	3.200	300
Erzeugte Jahreswärmemenge	[kWh/a]	320.000	80.000
Anteil an Wärmeerzeugung	[%]	80	20
Verbrauch	[kWh _{Hi} /a]	364.000	89.000
Verbrauch	[t/a]	73	-

7.5.5 Variante 1.4: Hackgutkessel mit Spitzenlastkessel

Bei der Variante 1.4 wird ein Hackgutkessel mit einer Nennwärmeleistung von 100 kW zur Deckung der Grund- und Mittellast eingesetzt. Zur Spitzenlastabdeckung kommt ein Erdgaskessel mit einer Nennwärmeleistung von 310 kW zum Einsatz. Bei den Investitionskosten wurden die Unterbringung der Energieerzeuger im bestehenden Heizraum sowie die Errichtung eines Brennstoffbunkers berücksichtigt.

Abbildung 29 zeigt die Jahresdauerlinie mit den installierten Wärmeerzeugern. Es wird ein Pufferspeicher verwendet, um Schwankungen im Wärmebedarf auszugleichen. Für den Biomassekessel ergeben sich etwa 3.200 Vollbenutzungsstunden im Jahr. Jährlich werden rund 105 Tonnen Hackgut und rund 89.000 kWh_{Hi} Erdgas verbraucht.

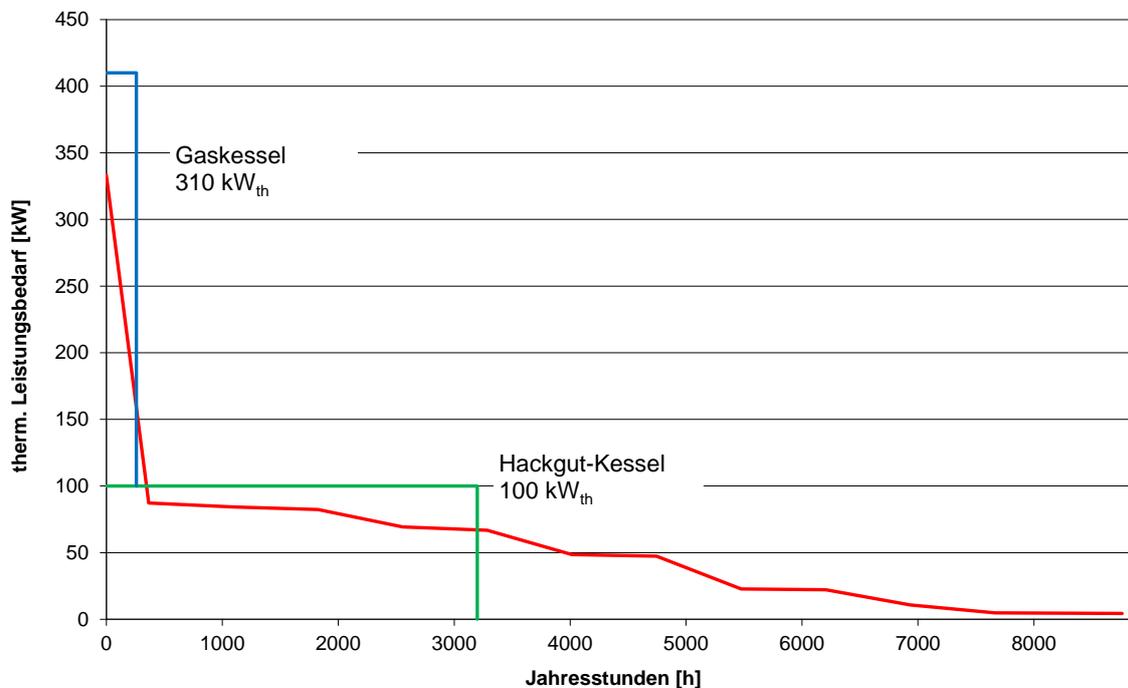


Abbildung 29: Grund- und Mittelschule Abenberg: Die Jahresdauerlinie der Variante 1.4

Wärmeerzeuger		Hackgut-Kessel	Erdgas- Kessel
Nennwärmeleistung	[kW]	100	310
Jahresvollbenutzungsstunden	[h/a]	3.200	260
Erzeugte Jahreswärmemenge	[kWh/a]	320.000	80.000
Anteil an Wärmeerzeugung	[%]	80	20
Verbrauch	[kWh _{Hi} /a]	368.000	89.000
Verbrauch	[t/a]	105	-

7.5.6 Variante 1.5: Abwärmenutzung Biogasanlage Kleinabenberg

Bei der Variante 1.5 wird die Abwärmenutzung der Biogasanlage Kleinabenberg untersucht. Hierfür ist der Aufbau eines Nahwärmeverbundes notwendig. In Abbildung 30 ist die Nahwärmeverbundlösung mit dem möglichen Verlauf der Leitung dargestellt. Der grüne Netzverlauf stellt den bestehenden Nahwärmeverbund zur Sportanlage des DJK Aabenberg dar. Es wird davon ausgegangen, dass die bestehende Nahwärmetrasse an der Abzweigung „Asbacher Weg“ erweitert werden kann. Somit ist eine zusätzliche Trassenlänge von 350 Meter notwendig (roter Netzverlauf).

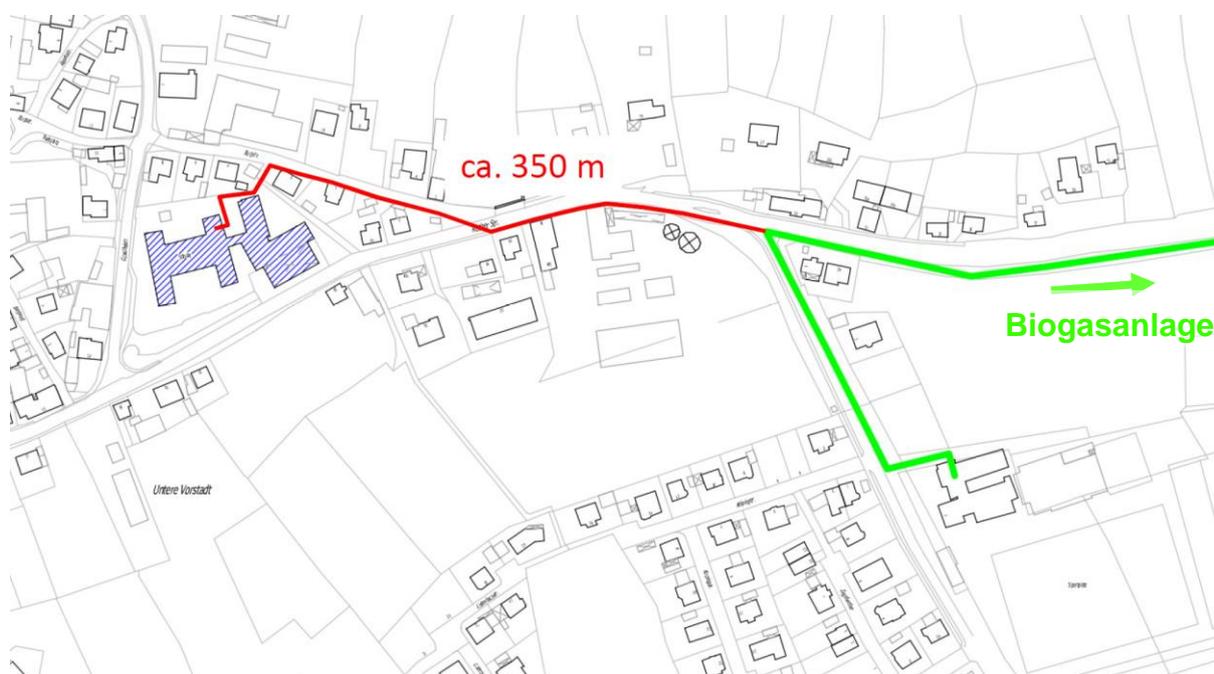


Abbildung 30: Der mögliche Verlauf der Nahwärmeverbundlösung

In Tabelle 20 sind die Kenndaten des Nahwärmenetzes der Nahwärmeverbundlösung dargestellt. Der jährliche Gesamtwärmebedarf einer Nahwärmeverbundlösung ergibt sich aus dem Wärmebedarf der Abnehmer und dem Netzverlust. Mit einem Wärmebedarf von rund 400.000 kWh und einem Netzverlust von rund 73.000 kWh ergibt sich ein jährlicher Gesamtwärmebedarf von rund 473.000 kWh. Das Netz hat eine Länge von etwa 700 Meter, die spezifische Wärmebelegung beläuft sich auf etwa 570 kWh pro Meter und Jahr, der Netzverlust mit rund 73.000 kWh auf ca. 18 % der bereitgestellten Nutzwärme.

Tabelle 20: Die Kenndaten der Nahwärmeverbundlösung

Kenndaten des Wärmenetzes		
Netzlänge	700	[m]
Heizleistung	330	[kW]
Nutzwärmebedarf	400.000	[kWh/a]
Verlustwärme	73.000	[kWh/a]
Verlust	18	[%]
Wärmebelegung	570	[kWh/m-a]

Hinweis: Bei der Biogasanlage Kleinabenberg findet bereits eine Abwärmenutzung durch den bestehenden Nahwärmeverbund statt, welcher private Wohngebäude in Kleinabenberg sowie das Sportgelände des DJK Aabenberg in Aabenberg statt. Nach Angaben des Biogasanlagenbetreibers ist noch eine ausreichende Wärmemenge zur Versorgung der Grund- und Mittelschule Aabenberg vorhanden. Die zur Verfügung stehenden Abwärmemengen und -leistungen müssen vorab mit dem Biogasanlagenbetreiber abgestimmt werden.

7.6 Die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung

Für die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung gelten die in Kapitel 7.1 erläuterten Grundannahmen.

7.6.1 Die Investitionskostenprognose

In Abbildung 31 sind die prognostizierten Investitionskosten der einzelnen Varianten dargestellt.

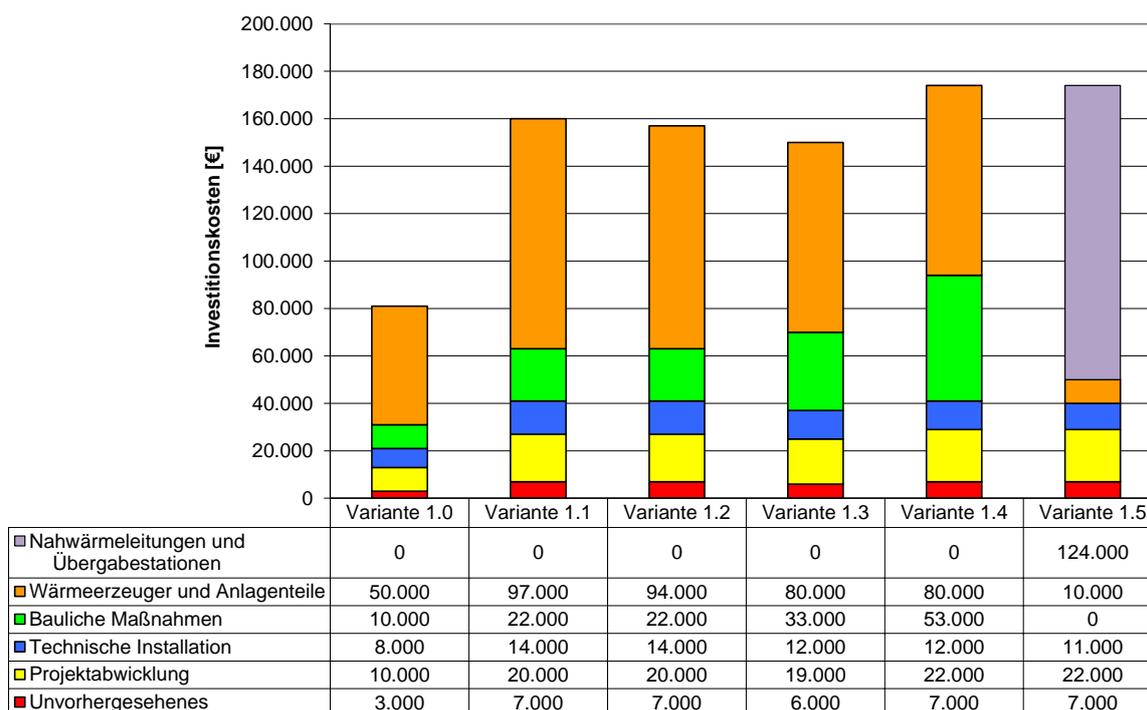


Abbildung 31: Grund- und Mittelschule Abenberg: Die prognostizierten Investitionskosten

Variante 1.0	Variante 1.1	Variante 1.2	Variante 1.3	Variante 1.4	Variante 1.5
Erneuerung Bestandskessel	Biomethan-BHKW Spitzenlastkessel	Erdgas-BHKW Spitzenlastkessel	Pelletkessel Spitzenlastkessel	Hackgutkessel Spitzenlastkessel	Abwärmenutzung Biogasanlage

In diesem Planungsstadium kann der Aufwand für die Errichtung der Wärmeversorgungsstruktur nur näherungsweise festgelegt werden, wodurch die kalkulierten Kosten von den realen Kosten abweichen können. Die im Rahmen der vorliegenden Machbarkeitsstudie angenommenen Nettoinvestitionskosten basieren ebenso wie die Brennstoff- und Betriebskosten auf durchschnittlichen Marktpreisen und nicht auf konkreten Angebotsvorlagen. In der tatsächlichen Umsetzung, die von einer Ausschreibung eingeleitet wird, können daher die Preise von den hier Kalkulierten abweichen. Vor diesem Hintergrund wurden für die unterschiedlichen Varianten Sensitivitätsanalysen erarbeitet, welche den Einfluss einzelner Parameter auf die spezifischen Wärmegestehungskosten darstellen.

7.6.2 Die jährlichen Ausgaben

Aus den Investitionskosten werden nach der Annuitätenmethode die jährlichen Kapitalkosten gebildet, die sich zusammen mit den Betriebskosten, den verbrauchsgebundenen Kosten und den sonstigen Kosten, die nach den wirtschaftlichen Grundannahmen in Kapitel 7.1 berechnet werden, zu den Jahresgesamtkosten addieren. Die Aufteilung der jährlichen Ausgaben auf die einzelnen Kostenarten ist in Abbildung 32 dargestellt.

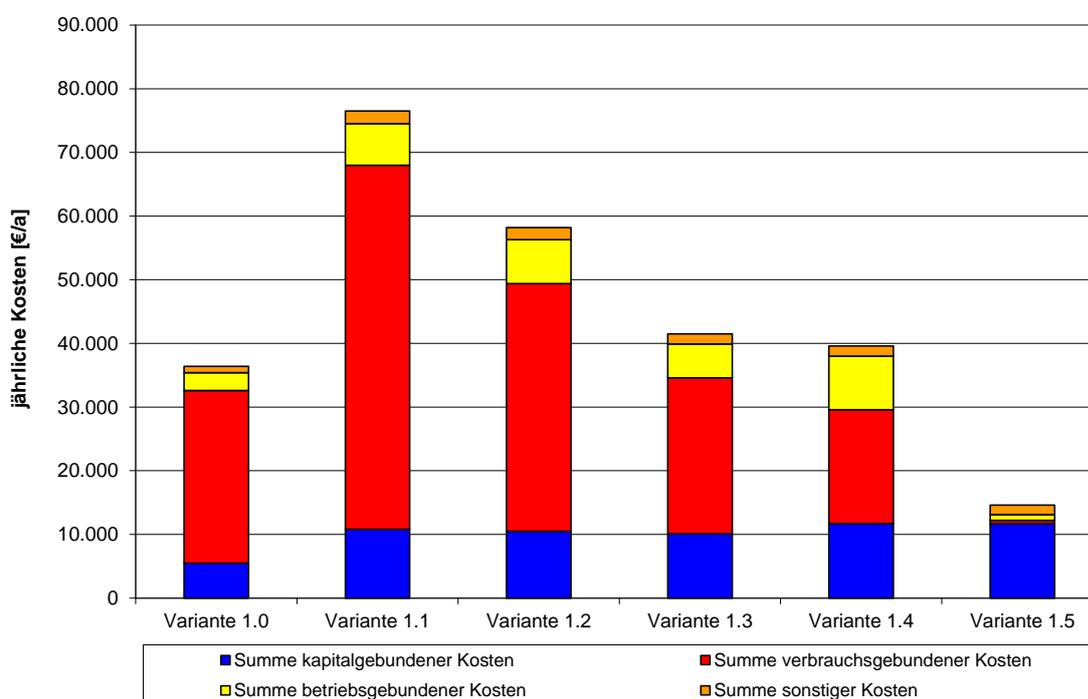


Abbildung 32: Grund- und Mittelschule Aabenberg: Die jährlichen Ausgaben

Variante 1.0	Variante 1.1	Variante 1.2	Variante 1.3	Variante 1.4	Variante 1.5
Erneuerung Bestandskessel	Biomethan-BHKW Spitzenlastkessel	Erdgas-BHKW Spitzenlastkessel	Pelletkessel Spitzenlastkessel	Hackgutkessel Spitzenlastkessel	Abwärmenutzung Biogasanlage

7.6.3 Die jährlichen Einnahmen

In Abbildung 33 sind die jährlichen Einnahmen der Varianten dargestellt, welche sich durch die Stromproduktion mit dem Einsatz von KWK-Anlagen (Kraft-Wärme-Kopplung) ergeben. Bei Variante 1.2 mit dem Biomethan-BHKW ergeben sich die Einnahmen durch die Stromeinspeisung nach dem EEG, bei Variante 1.1 durch die Netzeinspeisung bzw. durch die Eigennutzung des produzierten Stroms nach dem KWK-Gesetz.

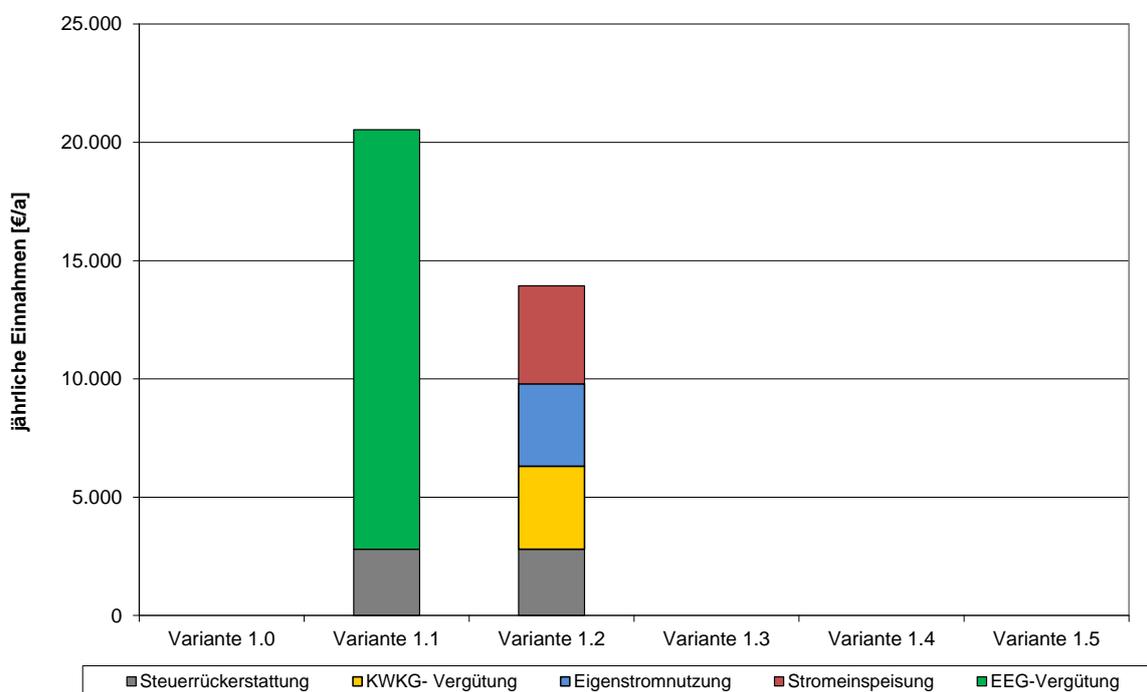


Abbildung 33: Grund- und Mittelschule Abenberg: Die jährlichen Einnahmen

Variante 1.0	Variante 1.1	Variante 1.2	Variante 1.3	Variante 1.4	Variante 1.5
Erneuerung	Biomethan-BHKW	Erdgas-BHKW	Pelletkessel	Hackgutkessel	Abwärmenutzung
Bestandskessel	Spitzenlastkessel	Spitzenlastkessel	Spitzenlastkessel	Spitzenlastkessel	Biogasanlage

7.6.4 Die Jahresgesamt- und Wärmegestehungskosten

Abbildung 34 gibt die kalkulierten Jahresgesamtkosten und Wärmegestehungskosten der einzelnen Varianten wieder. Die Jahresgesamtkosten ergeben sich aus der Summe der jährlichen kapitalgebundenen-, betriebsgebundenen-, verbrauchsgebundenen und sonstigen Kosten abzüglich der erzielten Einnahmen. Aus den Jahresgesamtkosten werden die spezifischen Wärmegestehungskosten ermittelt, die die Kosten pro Kilowattstunde bereitgestellter Nutzwärme beziffern. Die spezifischen Wärmegestehungskosten dienen als wichtigste Kenngröße zur Ermittlung der Wirtschaftlichkeit von Wärmeversorgungsanlagen. So müssen sich alternative Konzepte zur Wärmebereitstellung stets an den spezifischen Wärmegestehungskosten der konventionellen Standardvariante (Variante 1.0) messen.

Hinweis: Bei Variante 1.5 sind die reinen Wärmedurchleitungskosten dargestellt, bei denen noch keine Kosten für die genutzte Abwärme der Biogasanlage berücksichtigt sind.

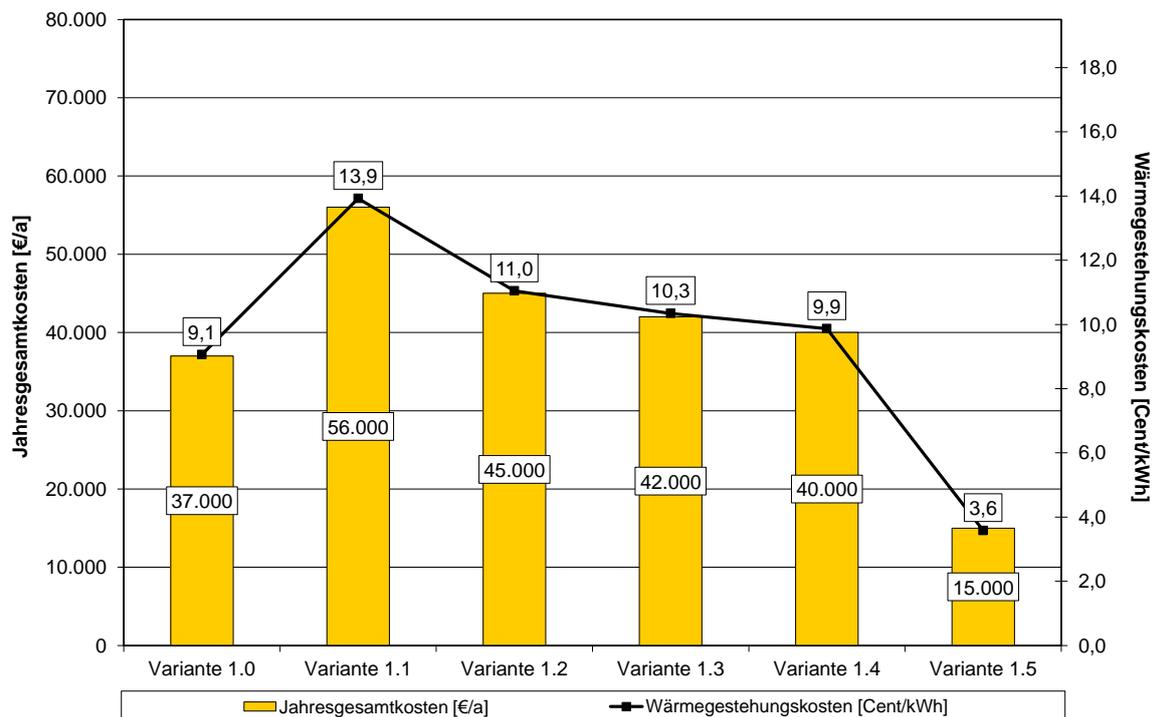


Abbildung 34: Grund- und Mittelschule Abenberg: Die Wärmegestehungskosten

Variante 1.0	Variante 1.1	Variante 1.2	Variante 1.3	Variante 1.4	Variante 1.5
Erneuerung Bestandskessel	Biomethan-BHKW Spitzenlastkessel	Erdgas-BHKW Spitzenlastkessel	Pelletkessel Spitzenlastkessel	Hackgutkessel Spitzenlastkessel	Abwärmenutzung Biogasanlage

7.6.5 Die Sensitivitätsanalyse

Zur Berücksichtigung von Änderungen der Kapitalkosten sowie Preisänderungen bei den Brennstoffen wird für die einzelnen Varianten eine Sensitivitätsanalyse durchgeführt, die den Einfluss des jeweiligen Parameters auf die Wärmegestehungskosten simuliert. Die verschiedenen Sensitivitätsanalysen sind in den folgenden Abbildungen dargestellt. In den Sensitivitätsanalysen der neuen Energieversorgungsvarianten ist die Sensitivität der Referenzvariante auf steigende Brennstoffpreise sowie die Stromeinnahmen bei der Erdgas-BHKW-Variante mit dargestellt.

Variante 1.0: Dezentrale Erdgasfeuerung (Referenzvariante)

Steigen die Brennstoffkosten um 50 %, dann steigen die Wärmegestehungskosten von 9,1 Cent/kWh auf 12,4 Cent/kWh. Steigen die Kapitalkosten um 50 %, dann steigen die Wärmegestehungskosten auf 9,7 Cent/kWh.

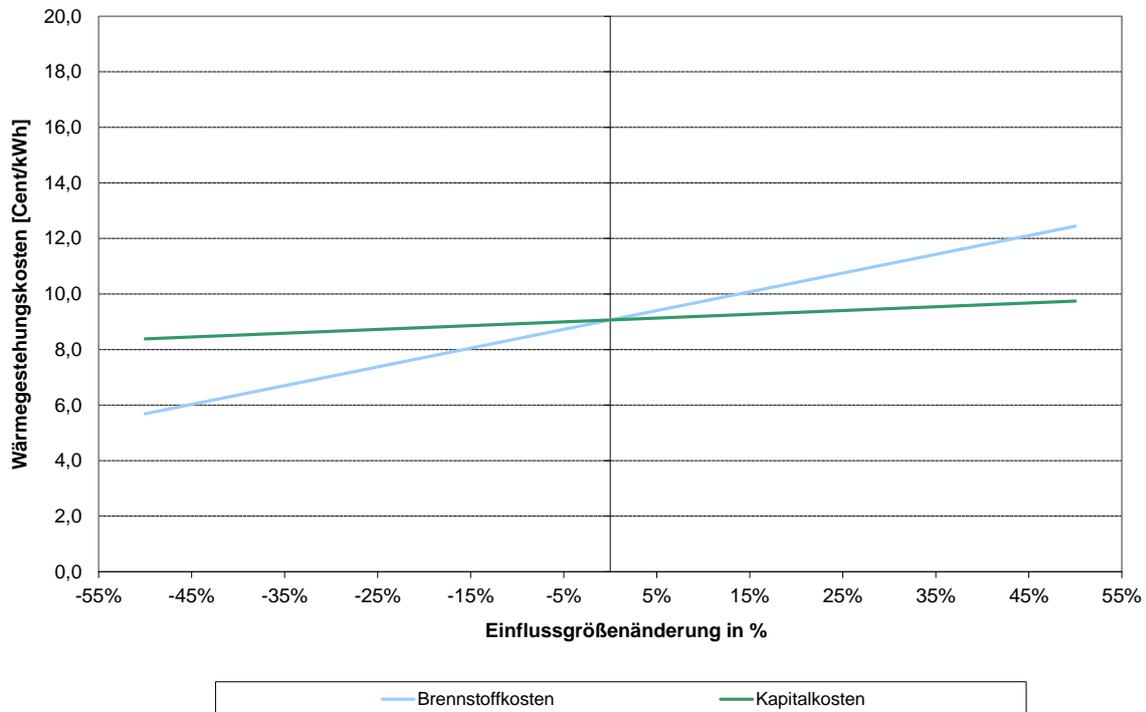


Abbildung 35: Grund- und Mittelschule Abenberg: Die Sensitivitätsanalyse der Variante 1.0

Variante 1.1: Biomethan-BHKW mit Spitzenlastkessel

Steigen die Brennstoffkosten um 50 %, dann steigen die Wärmegestehungskosten von 13,9 Cent/kWh auf 21,1 Cent/kWh. Steigen die Kapitalkosten um 50 %, dann steigen die Wärmegestehungskosten auf 15,3 Cent/kWh.

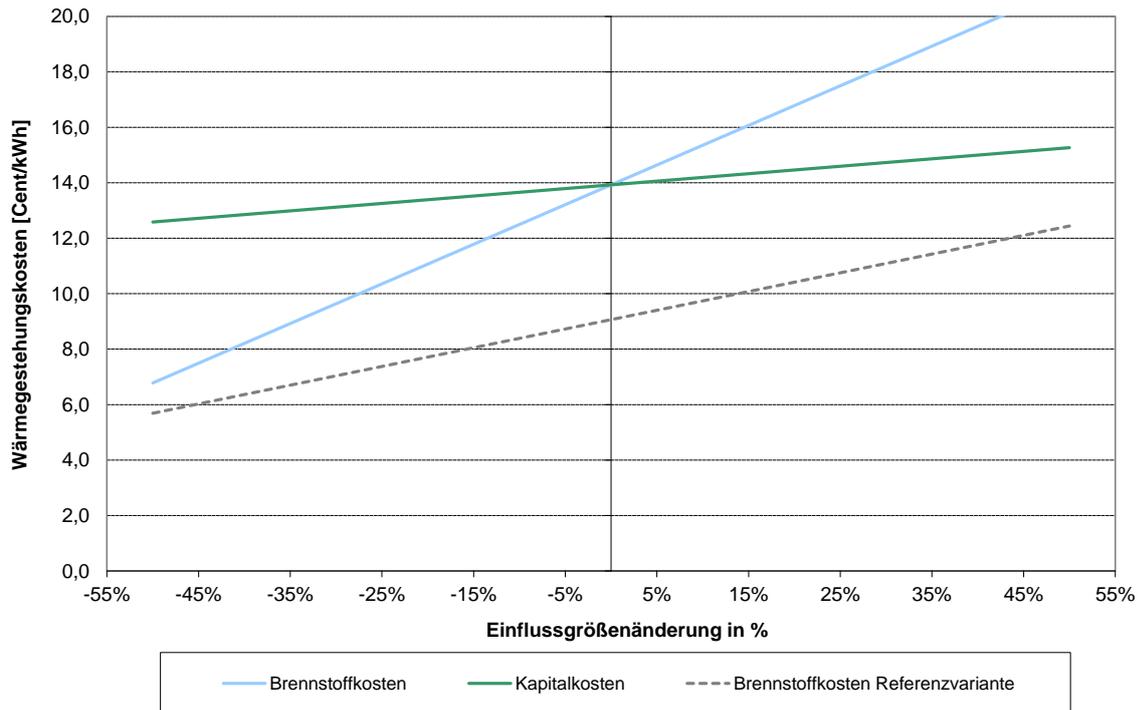


Abbildung 36: Grund- und Mittelschule Aberg: Die Sensitivitätsanalyse der Variante 1.1

Variante 1.2: Erdgas-BHKW mit Spitzenlastkessel

Steigen die Brennstoffkosten um 50 %, dann steigen die Wärmegegestehungskosten von 11,0 Cent/kWh auf 15,9 Cent/kWh. Steigen die Kapitalkosten um 50 %, dann steigen die Wärmegegestehungskosten auf 12,4 Cent/kWh. Steigen die Einnahmen durch die Stromproduktion um 50 %, dann sinken die Wärmegegestehungskosten auf 10,1 Cent/kWh.

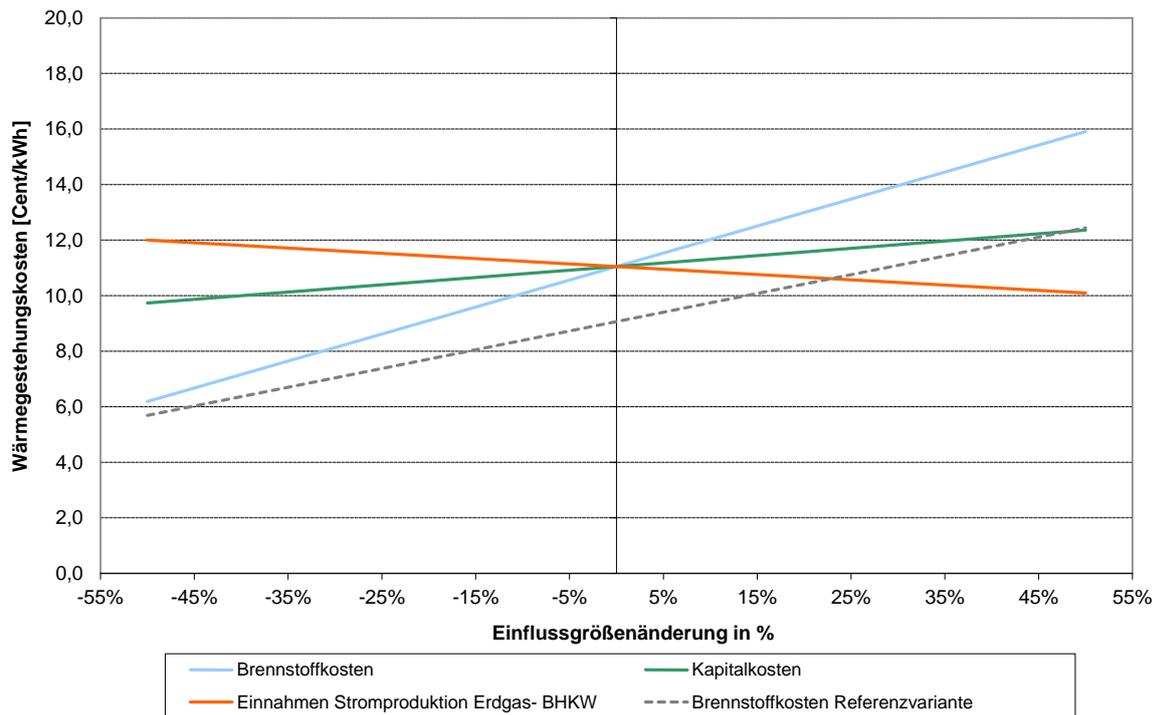


Abbildung 37: Grund- und Mittelschule Abenberg: Die Sensitivitätsanalyse der Variante 1.2

Variante 1.3: Pelletkessel mit Spitzenlastkessel

Steigen die Brennstoffkosten um 50 %, dann steigen die Wärmegegestehungskosten von 10,3 Cent/kWh auf 13,4 Cent/kWh. Steigen die Kapitalkosten um 50 %, dann steigen die Wärmegegestehungskosten auf 11,6 Cent/kWh.

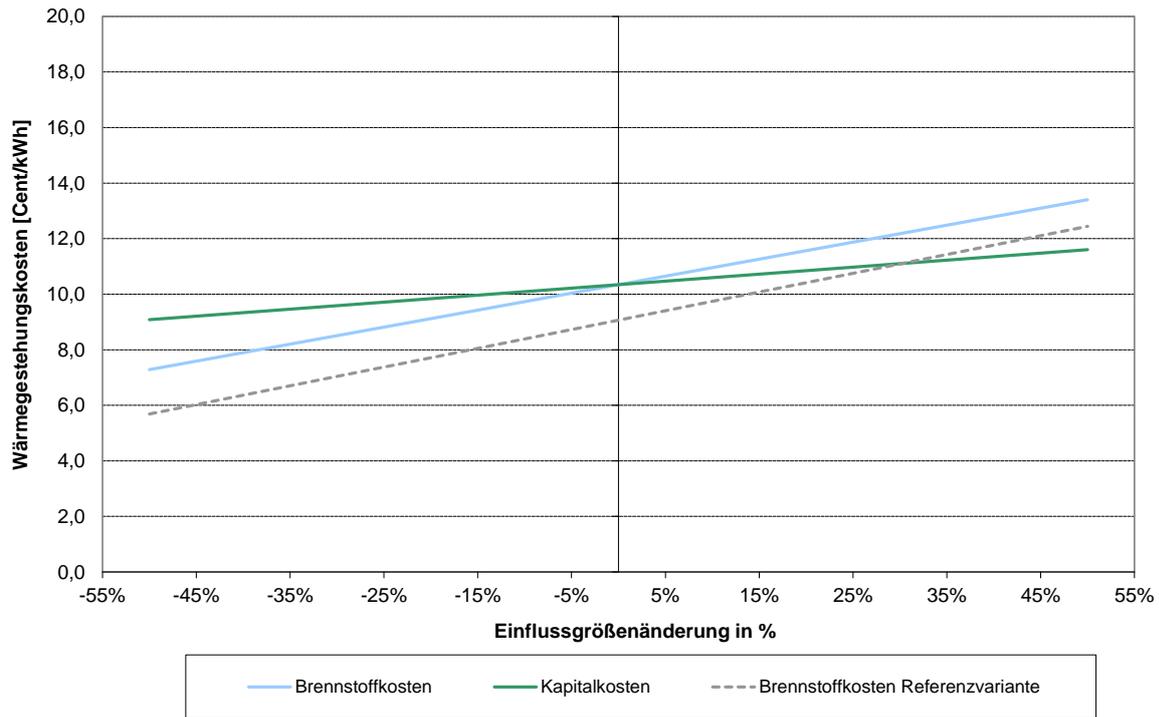


Abbildung 38: Grund- und Mittelschule Aberg: Die Sensitivitätsanalyse der Variante 1.3

Variante 1.4: Hackgutkessel mit Spitzenlastkessel

Steigen die Brennstoffkosten um 50 %, dann steigen die Wärmegestehungskosten von 9,9 Cent/kWh auf 12,1 Cent/kWh. Steigen die Kapitalkosten um 50 %, dann steigen die Wärmegestehungskosten auf 11,3 Cent/kWh.

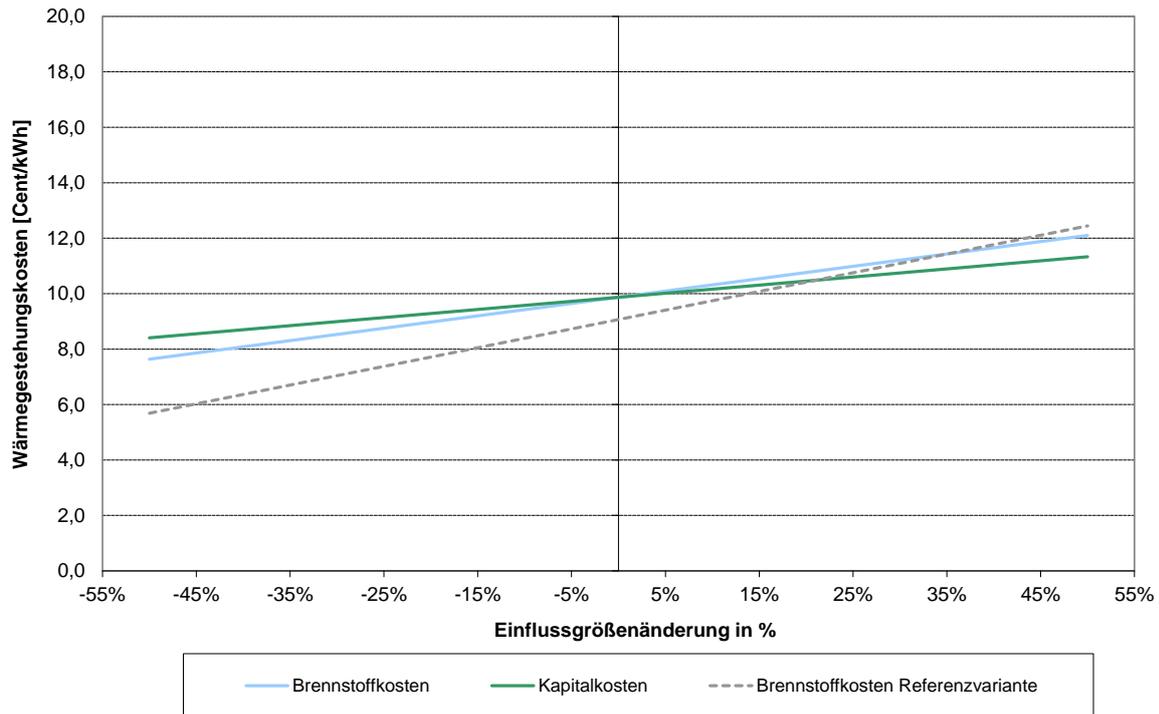


Abbildung 39: Grund- und Mittelschule Aberg: Die Sensitivitätsanalyse der Variante 1.4

7.6.6 Die CO₂-Bilanz der Varianten

Zur Beurteilung der ökologischen Verträglichkeit wird für die verschiedenen neuen Energieversorgungsvarianten eine Bilanzierung der CO₂-Emissionen durchgeführt. Dabei wird neben dem jährlichen Brennstoffbedarf auch der Hilfsenergiebedarf (elektrische Energie) berücksichtigt. Die Faktoren der CO₂-Äquivalente wurden mit Hilfe der GEMIS-Datenbank ermittelt und berücksichtigen alle anfallenden Emissionen von der Gewinnung bis zur Energiewandlung des jeweiligen Brennstoffs. Das Ergebnis der Berechnungen ist in Abbildung 40 dargestellt.

Energieträger	CO ₂ -Äquivalent [g/kWh]
Erdgas	252
Biomethan	131
Holzpellets	23
Hackschnitzel	23
Strom (Dt. Strommix)	566
Strom (Bonus für Substitution))	572

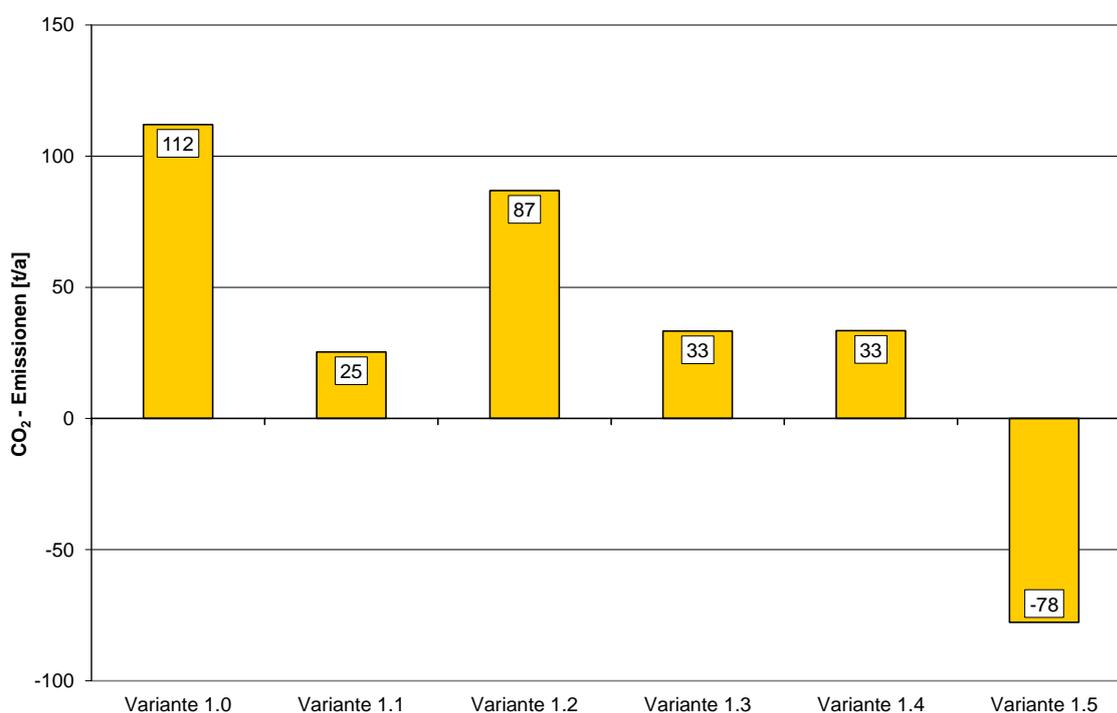


Abbildung 40: Grund- und Mittelschule Abenberg: Die CO₂-Bilanz der verschiedenen Varianten

Variante 1.0	Variante 1.1	Variante 1.2	Variante 1.3	Variante 1.4	Variante 1.5
Erneuerung Bestandskessel	Biomethan-BHKW Spitzenlastkessel	Erdgas-BHKW Spitzenlastkessel	Pelletkessel Spitzenlastkessel	Hackgutkessel Spitzenlastkessel	Abwärmenutzung Biogasanlage

7.7 Zusammenfassung

In Tabelle 21 sind die Ergebnisse der Berechnungen zusammenfassend dargestellt. Bei der Referenzvariante (Variante 1.0) ergeben sich Wärmegestehungskosten in Höhe von 9,1 Cent/kWh.

Die niedrigsten Kosten bei den alternativen Energieversorgungsvarianten ergeben sich bei Variante 1.5 mit Abwärmenutzung der Biogasanlage mit 3,6 Cent/kWh. Allerdings handelt es sich hierbei um die reinen Wärmedurchleitungskosten, zu welchen noch der Wärmepreis hinzugefügt werden muss. Aus der Referenzvariante mit Wärmegestehungskosten von 9,1 Cent/kWh und der Variante 1.5 mit Durchleitungskosten von 3,6 Cent/kWh ergibt sich eine Differenz von 5,5 Cent/kWh. Dies bedeutet, dass sich bei Variante 1.5 mit Abwärmenutzung der Biogasanlage ein wirtschaftlicher Vorteil ergibt, so lange der Wärmepreis unter 5,5 Cent/kWh liegt.

Bei allen alternativen Energieversorgungsvarianten ist der CO₂-Ausstoß geringer im Vergleich zur Referenzvariante (Variante 1.0). Die beste CO₂-Bilanz ergibt sich bei Variante 1.5 mit der Abwärmenutzung der Biogasanlage.

Tabelle 21: Zusammenfassung Wärmeversorgung Grund- und Mittelschule Abenberg

		Variante 1.0	Variante 1.1	Variante 1.2	Variante 1.3	Variante 1.4	Variante 1.5
ohne mögliche Förderungen							
Investitionskosten	[€]	81.000	160.000	157.000	150.000	174.000	174.000
Jahresgesamtkosten	[€]	37.000	56.000	45.000	42.000	40.000	15.000
Wärmegestehungskosten	[€-Cent/kWh]	9,1	13,9	11,0	10,3	9,9	3,6
mit möglichen Förderungen							
maximale Projektförderung	[€]	-	-	-	16.000	16.000	35.000
Jahresgesamtkosten	[€]	37.000	56.000	45.000	41.000	39.000	12.000
Wärmegestehungskosten	[€-Cent/kWh]	9,1	13,9	11,0	10,1	9,6	3,0
CO ₂ -Emissionen	[t/a]	112	25	87	33	33	-78

Variante 1.0	Variante 1.1	Variante 1.2	Variante 1.3	Variante 1.4	Variante 1.5
Erneuerung Bestandskessel	Biomethan-BHKW Spitzenlastkessel	Erdgas-BHKW Spitzenlastkessel	Pelletkessel Spitzenlastkessel	Hackgutkessel Spitzenlastkessel	Abwärmenutzung Biogasanlage

8 Ausarbeitung von Detailmaßnahmen – Wirtschaftlichkeitsbetrachtung von Photovoltaikanlagen auf Liegenschaften der Stadt Abenberg

Im Folgenden wird die Wirtschaftlichkeit von Dach-Photovoltaikanlagen auf kommunalen Liegenschaften der Stadt Abenberg untersucht. Im Einzelnen wurden die Grund- und Mittelschule Abenberg sowie das „Abwasserhebewerk Güssübelstraße“ betrachtet. Die „Brunnenanlage 3“ ist für die Installation von Photovoltaikanlagen aufgrund fehlender Dachflächen bzw. wegen Verschattungen nicht geeignet.

Vorgehensweise

1. In einer Vor- Ort- Begehung wird die generelle Tauglichkeit der betreffenden Dachflächen aufgenommen. (keine Statik)
2. Darauf aufbauend wird die mögliche Peakleistung ermittelt.
3. Für die betrachteten Fälle wird aus der installierten Leistung die Einspeisevergütung errechnet und anhand der kalkulierten Strombezugskosten die Möglichkeit von Stromeigennutzung ermittelt.
4. Mit den Ergebnissen wird eine detaillierte Wirtschaftlichkeitsbetrachtung durchgeführt.

Für die weitere Betrachtung werden folgende Annahmen getroffen:

- Alle genannten Preise / Beträge sind netto
- Monokristalline Module (240W)
- Investitionskosten Schule Abenberg:
 1. Variante A: 1.250 €/kW_{peak}
 2. Variante B: 1.350 €/kW_{peak}
- Investitionskosten Abwasserhebewerk Güssübelstraße: 1.400 €/kW_{peak}
- Zinssatz 2,0 %
- Wirtschaftlichkeitsbetrachtung nach der Annuitätenmethode
- Rücklagen und laufende Betriebskosten 1,0% der Investitionssumme pro Jahr
- Versicherung 2,5 ‰ der Investitionskosten pro Jahr
- Primär Stromeigennutzung, die restliche Strommenge wird ins Netz eingespeist und nach dem Erneuerbaren-Energien-Gesetz (EEG) vergütet

- Vermiedene Strombezugskosten: 20,12 Cent/kWh (netto)
- Verschattungen durch Häuser, Bäume etc., soweit nicht dargestellt, sind nicht zu erwarten und werden nicht berücksichtigt.
- Abzuführende EEG-Umlage auf selbst genutzten Strom: 2,496 Cent/kWh

Die **Wirtschaftlichkeitsbetrachtung** wird mittels der Annuitätenmethode und der Rückzahlung des Kredits den Aspekten der schnellstmöglichen und der linearen Tilgung über 20 Jahre bei Finanzierung durch Fremdkapital durchgeführt. Des Weiteren wurde der Kapitalrückfluss bei einer Investition mit Eigenkapital untersucht. Die Investitionskosten sind mit 1.250/1.350 €/kW_{peak} (Schule Abenberg) bzw. 1.400 €/kW_{peak} (Abwasserhebwerk Güssübelstraße) angesetzt. Die Einspeisevergütung wurde nach dem Erneuerbaren Energien Gesetz für eine Inbetriebnahme im Juli 2014 angenommen und setzt sich gemäß Tabelle 22 zusammen. Die Mischvergütung für die in den folgenden Kapiteln betrachtete Photovoltaikanlage ist ebenfalls in Tabelle 1 dargestellt. Der Stromrechnung von Januar 2014 zufolge und unter Berücksichtigung der Umlagen des Jahres 2014 belaufen sich die Strombezugskosten auf 20,12 Cent/kWh (netto). Dies bedeutet, dass der produzierte Strom aus wirtschaftlicher Sicht bevorzugt am Standort selbst genutzt werden sollte.

Die ermittelten absoluten Stromerträge dieser Arbeit können von den tatsächliche erreichbaren sowohl nach unten als auch nach oben abweichen.

Tabelle 22: Photovoltaik-Vergütungssätze für die Liegenschaften Schule Abenberg und Abwasserhebwerk Güssübelstraße im Juli 2014

Einspeisung	Jul 14		
bis 10 kW	[Cent/kWh]	12,56	
über 10 kW	[Cent/kWh]	11,91	
über 40 kW	[Cent/kWh]	10,63	
		Schule Abenberg Variante A	Schule Abenberg Variante B
installierte Leistung	[kW _p]	66,00	29,52
Anteil bis 10 kW	[%]	15	34
Anteil über 10 kW	[%]	45	66
Anteil über 40 kW	[%]	39	0
Mischvergütung	[Cent/kWh]	11,51	12,13

8.1 Grundschule Abenberg Variante A

In Abbildung 41 ist die PV-Simulation der Grund- und Mittelschule Abenberg dargestellt. In Variante A werden die Flächen der Süd- und Süd- Westdächer mit monokristallinen Modulen belegt. In Tabelle 23 sind die Kenndaten der möglichen PV-Anlage dargestellt. Die installierbare Leistung am Standort beläuft sich auf $66,00 \text{ kW}_{\text{peak}}$. Daraus resultiert bei Inbetriebnahme im Juli 2014 eine Mischvergütung nach EEG 2012 von 11,51 Cent/kWh. Die Strombezugskosten betragen zum Juli 2014 20,12 Cent/kWh. Daher ist eine maximale Stromeigennutzung anzustreben. Diese beträgt den Berechnungen zufolge rund 30%. Für den selbst genutzten Strom ist die verminderte EG-Umlage von 1,872 Cent/kWh abzuführen.

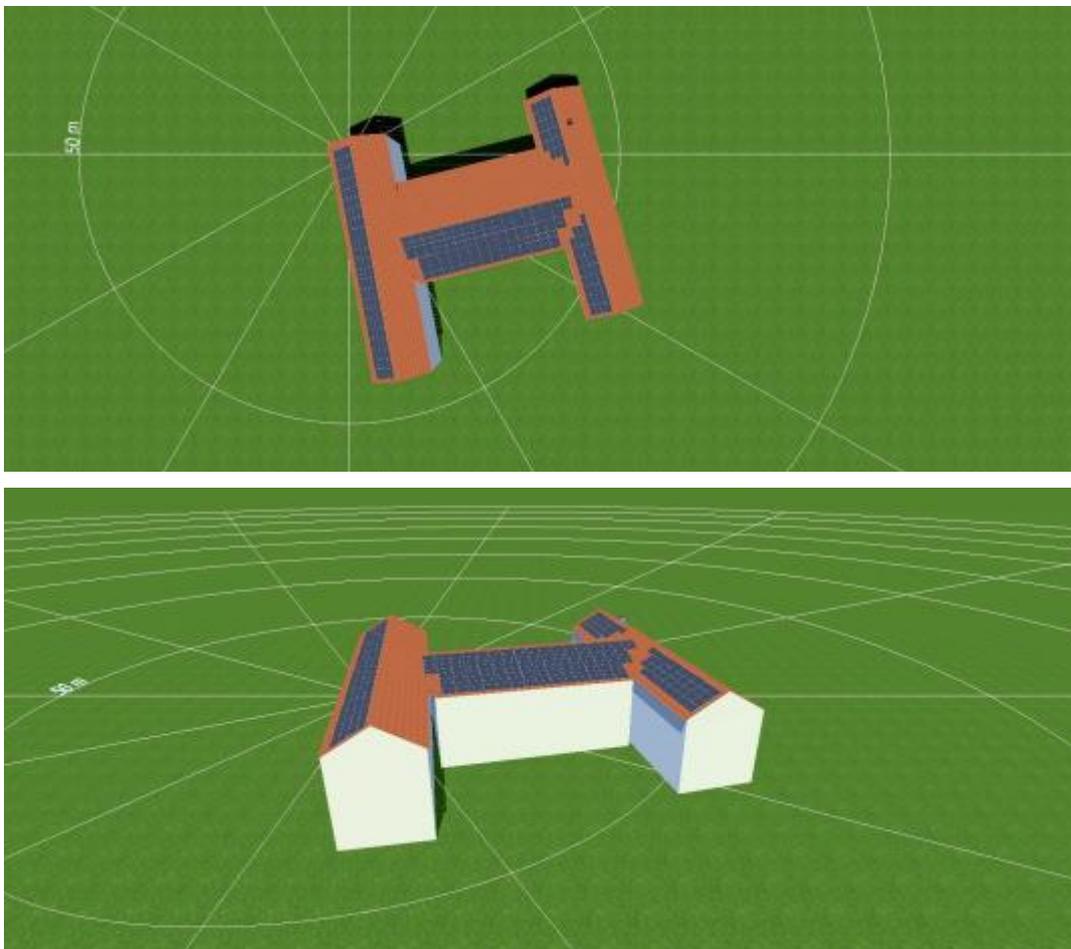


Abbildung 41: Die simulierte Photovoltaikanlage auf den Dächern der Grund- und Mittelschule Abenberg

Tabelle 23: Die Kenndaten für die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung am Standort Grund- und Mittelschule Abenberg

Grund- und Mittelschule Abenberg - Variante A		
Stromverbrauch	[kWh]	54.600
installierte Leistung	[kW _p]	66,00
Erzeugte Energie (wechselstromseitig)	[kWh]	60.060
Stromeigennutzung	[kWh]	18.000
Spez. Jahresertrag	[kWh/kW _p]	910

Wirtschaftlichkeitsbetrachtung: Investitionskosten: 1.250 €/ kW_{peak} (82.500 €)

In Abbildung 42 ist der kumulierte Überschuss bei einer Kapitalrückflussdauer von 14 bzw. 20 Jahren dargestellt. Der Überschuss im Betrachtungszeitraum liegt bei schneller Tilgung bei rund 46.000.

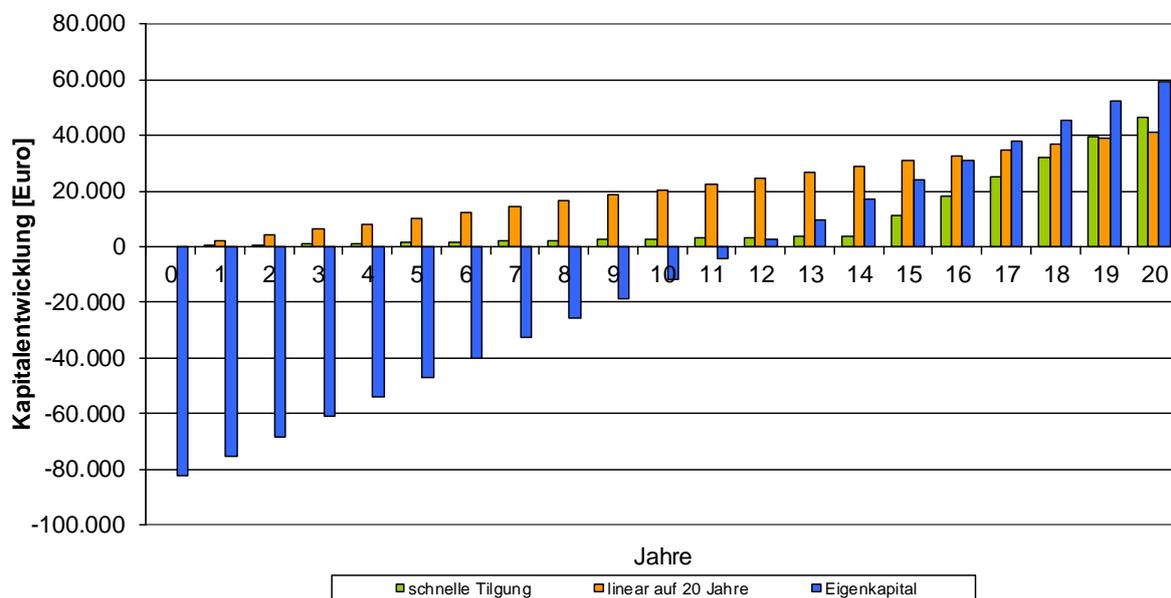


Abbildung 42: Der kumulierte Überschuss nach 20 Jahren bei einer Kapitalrückflussdauer von 14 Jahren

8.2 Grundschule Abenberg Variante B

In Abbildung 41 ist die PV-Simulation der Grund- und Mittelschule Abenberg dargestellt. In Variante B werden die Flächen des Süddaches mit monokristallinen Modulen belegt. In Tabelle 23 sind die Kenndaten der möglichen PV-Anlage dargestellt. Die installierbare Leistung am Standort beläuft sich auf 29,52 kW_{peak}. Daraus resultiert bei Inbetriebnahme im Juli 2014 eine Mischvergütung nach EEG 2012 von 12,13 Cent/kWh. Die Strombezugskosten betragen zum Juli 2014 20,12 Cent/kWh. Daher ist eine maximale Stromeigennutzung anzustreben. Diese beträgt den Berechnungen zufolge rund 50%. Für den selbst genutzten Strom ist die verminderte EG-Umlage von 1,872 Cent/kWh abzuführen.

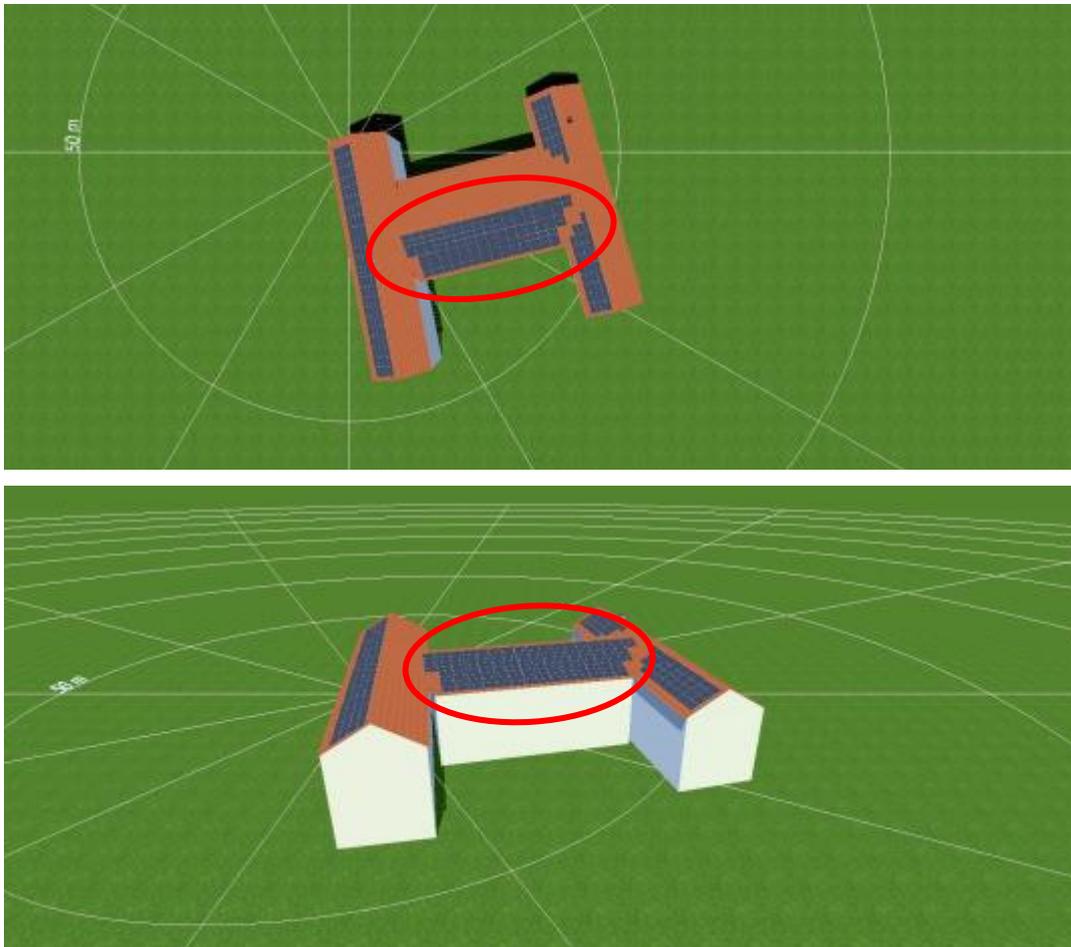


Abbildung 43: Die simulierte Photovoltaikanlage auf den Dächern der Grund- und Mittelschule Abenberg

Tabelle 24: Die Kenndaten für die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung am Standort Grund- und Mittelschule Abenberg

Grund- und Mittelschule Abenberg - Variante B		
Stromverbrauch	[kWh]	54.600
installierte Leistung	[kW _p]	29,52
Erzeugte Energie (wechselstromseitig)	[kWh]	28.000
Stromeigennutzung	[kWh]	14.000
Spez. Jahresertrag	[kWh/kW _p]	950

Wirtschaftlichkeitsbetrachtung: Investitionskosten: 1.350 €/ kW_{peak} (39.852 €)

In Abbildung 42 ist der kumulierte Überschuss bei einer Kapitalrückflussdauer von 13 bzw. 20 Jahren dargestellt. Der Überschuss im Betrachtungszeitraum liegt bei schneller Tilgung bei rund 28.000 €.

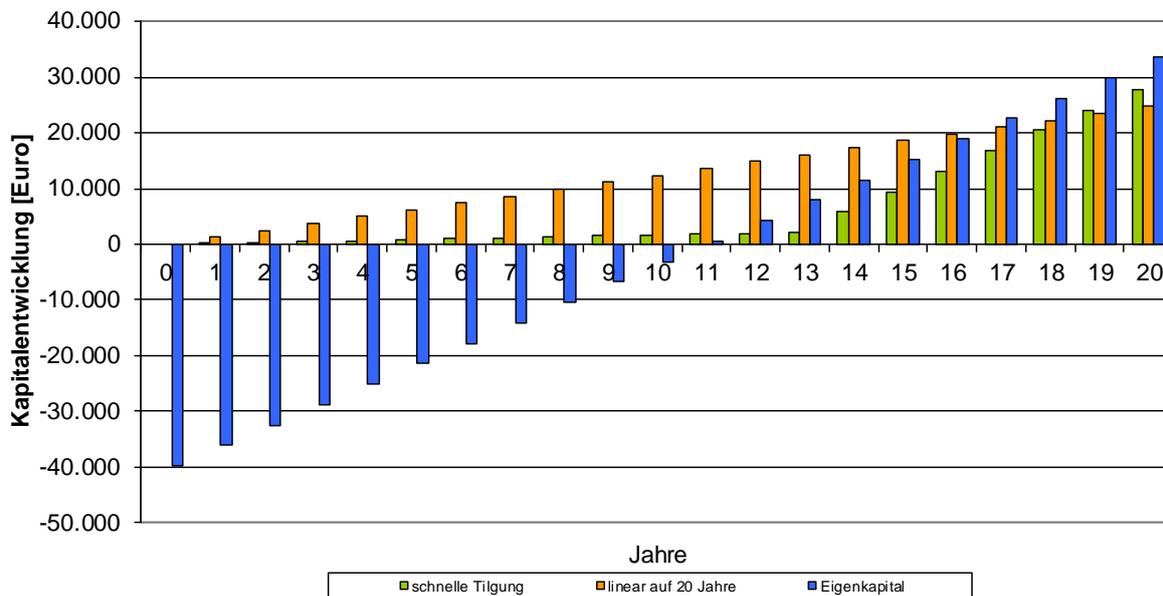


Abbildung 44: Der kumulierte Überschuss nach 20 Jahren bei einer Kapitalrückflussdauer von 13 Jahren

8.3 Abwasserhebewerk Güssübelstraße

In Abbildung 45 ist die simulierte Photovoltaikanlage des Abwasserhebewerks Güssübelstraße dargestellt. Da keine ausreichende Dachfläche zur Verfügung steht, wurde die nord-östlich gelegene Grünfläche zur Belegung mit aufgeständerten PV-Modulen herangezogen. In Tabelle 25 sind die Kenndaten der möglichen PV-Anlage dargestellt. Die installierbare Leistung am Standort beläuft sich auf 9,00 kW_{peak}. Die Strombezugskosten betragen 20,12 Cent/kWh. Es ist eine maximale Stromeigennutzung anzustreben. Diese beträgt den Berechnungen zufolge rund 50%. Die restliche Strommenge wird nach EEX Baseload Preis von 3,78 Cent/kWh eingespeist.

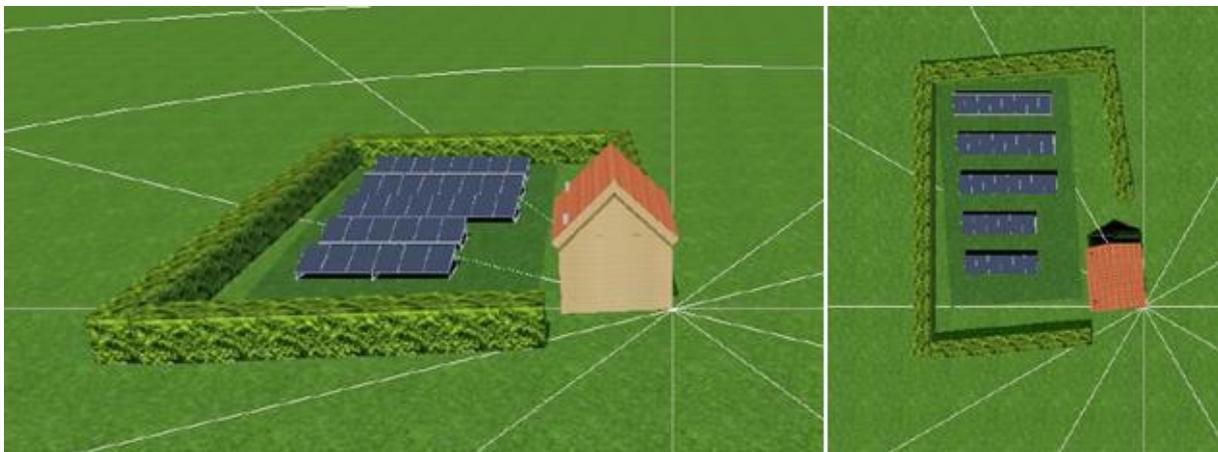


Abbildung 45: Die simulierte Freiflächen-Photovoltaikanlage des Abwasserhebewerks Güssübelstraße

Tabelle 25: Die Kenndaten für die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung am Standort Abwasserhebewerk Güssübelstraße

Grund- und Mittelschule Abenberg - Variante A		
Stromverbrauch	[kWh]	54.000
installierte Leistung	[kW _p]	9,00
Erzeugte Energie (wechselstromseitig)	[kWh]	8.100
Stromeigennutzung	[kWh]	4.050
Spez. Jahresertrag	[kWh/kW _p]	900

Variante A: Investitionskosten: 1.400 €/kW_{peak} (12.600 €)

In Abbildung 46 ist der kumulierte Überschuss bei einer Kapitalrückflussdauer von 20 Jahren dargestellt. Der Überschuss liegt im Betrachtungszeitraum bei rund 450 €. Ein wirtschaftlicher Betrieb ist somit nach aktuellen Rahmenbedingungen nicht gegeben.

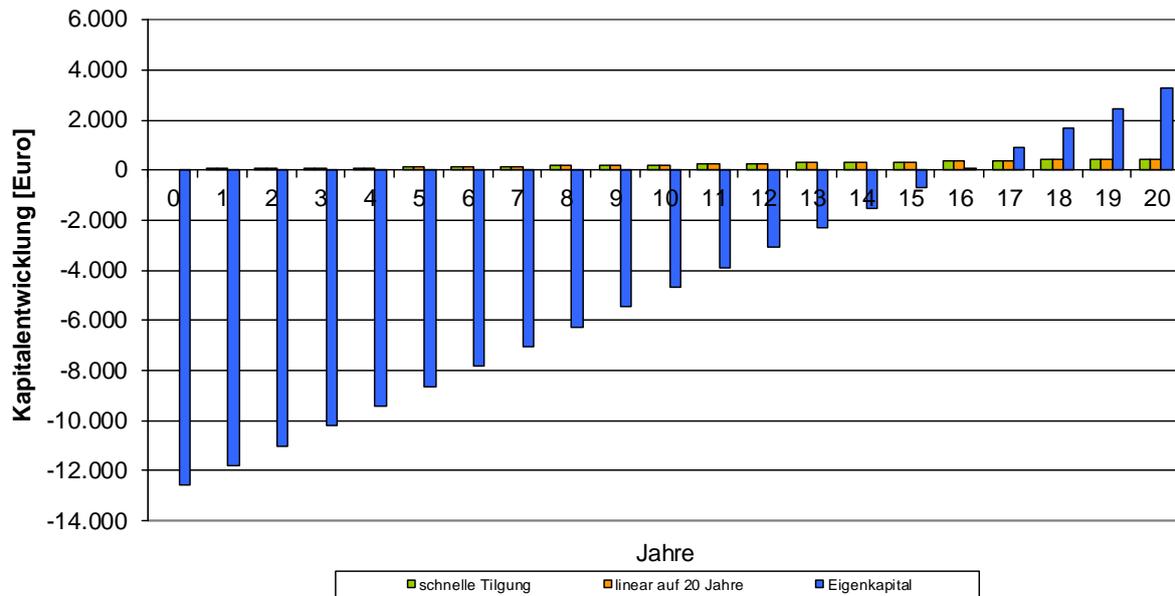


Abbildung 46: Der kumulierte Überschuss nach 20 Jahren bei einer Kapitalrückflussdauer von 20 Jahren

9 Gegenüberstellung der Endenergieverbrauchssituation und der CO₂-Bilanz mit den Reduktionspotentialen

In diesem Kapitel wird der energetische Ist-Zustand im Betrachtungsgebiet einem Soll-Zustand im Jahr 2033 gegenübergestellt, welcher die vorher ermittelten möglichen Energieeffizienzsteigerungen in den einzelnen Verbrauchergruppen, bzw. das als realistisch zu betrachtende Potential für den Ausbau der Erneuerbaren Energien berücksichtigt. Die Gegenüberstellung soll die Grundlage zur Definition von ehrgeizigen, aber realisierbaren Klimaschutzzielen bieten, die zum einen durch eine Verbrauchsreduzierung, zum anderen durch die Substitution fossiler Energieträger durch regenerative Energieträger erreicht werden können.

9.1 Strom

In Abbildung 47 ist die elektrische Endenergieverbrauchssituation in der Stadt Abenberg im Ist-Zustand und dem Jahr 2033 gegenübergestellt.

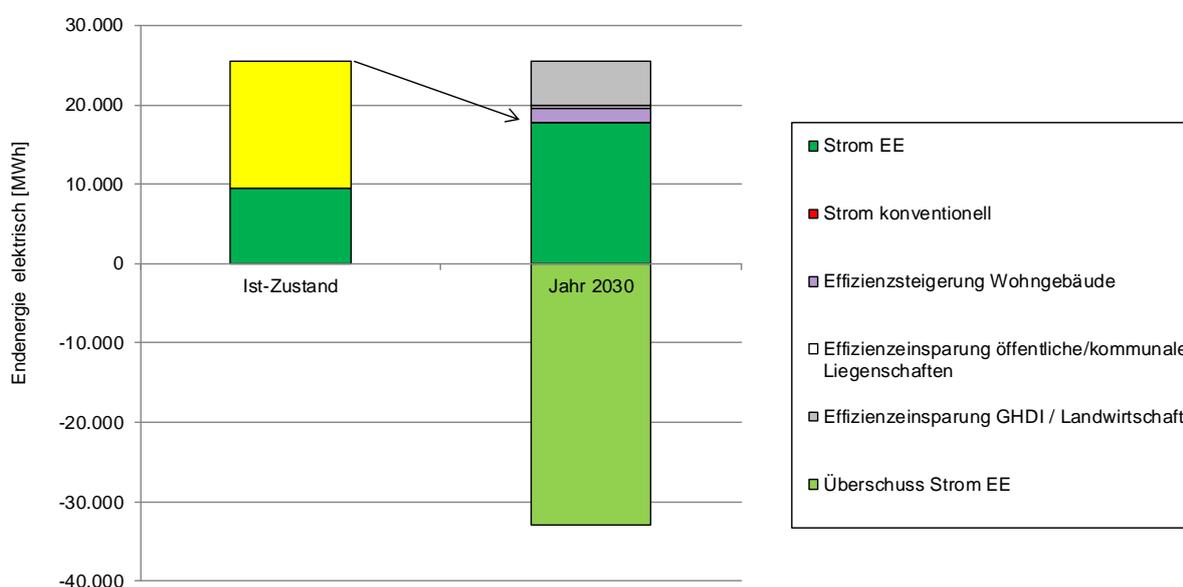


Abbildung 47: Gegenüberstellung des elektrischen Endenergiebedarfs Ist – Ziel 2033

Derzeit werden von allen aufgeführten Verbrauchergruppen insgesamt jährlich ca. 25.553 MWh elektrische Endenergie verbraucht. Die Bereitstellung an elektrischer Energie aus erneuerbaren Energieträgern (Photovoltaik, etc.), welche im Betrachtungsgebiet bereits erzeugt wird, entspricht einem Anteil von rund 36 % am Gesamtverbrauch.

Bei einer Umsetzung der im Kapitel 4 ermittelten Effizienzsteigerungspotentiale in den einzelnen Verbrauchergruppen, die sich in Summe auf eine Einsparung von jährlich rund 7.731 MWh Endenergie beziffern, ergibt sich eine mittlere Gesamteffizienzsteigerung von rund 30 % im Bereich der elektrischen Energie.

Unter der Berücksichtigung der beschriebenen Einsparpotentiale sowie dem Ausbaupotential an erneuerbaren Energien resultiert ein bilanzieller Überschuss von rund 32.900 MWh elektrischer Endenergie pro Jahr, welcher exportiert werden könnte. Darüber hinaus könnte die überschüssige Energie im Bereich der Elektromobilität eingesetzt werden.

Hinweis:

Die Effizienzsteigerung im Bereich GHDIL wurde anhand von charakteristischen Durchschnittswerten berechnet. Das tatsächliche Einsparpotential kann folglich deutlich variieren.

Der Bereich der Windkraft ergibt hier überwiegend den größten Teil des elektrischen Ausbaupotentials.

9.2 Wärme

In Abbildung 48 ist die thermische Endenergieverbrauchssituation in der Stadt Abenberg im Ist-Zustand und dem Jahr 2033 gegenübergestellt.

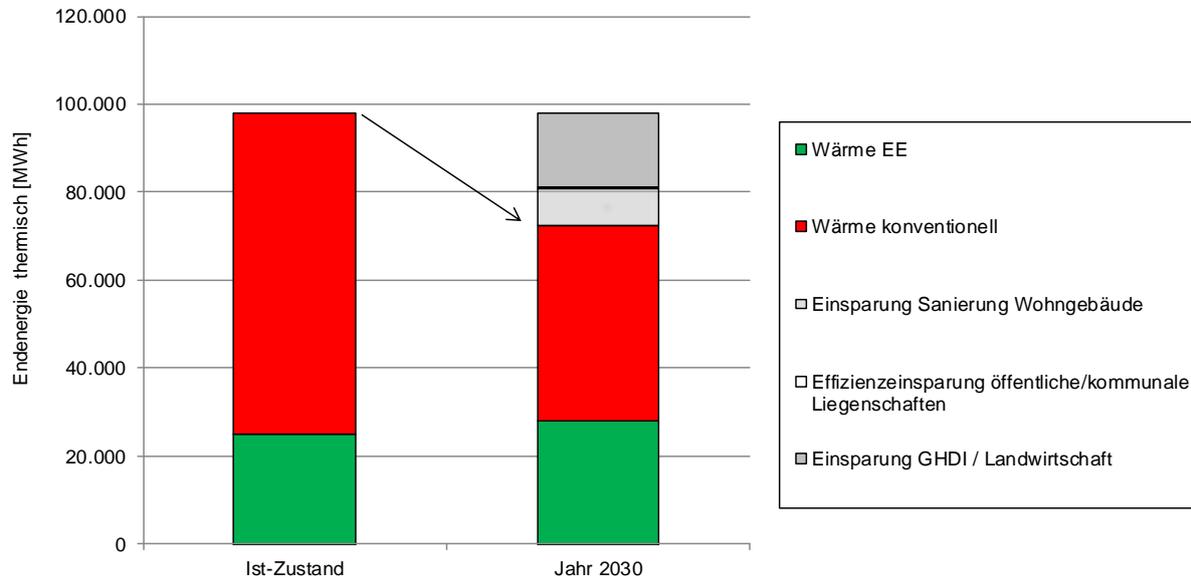


Abbildung 48: Gegenüberstellung des thermischen Endenergiebedarfs Ist – Ziel 2033

Derzeit werden jährlich ca. 97.990 MWh Endenergie für Heizwärme in privaten Haushalten und kommunalen Liegenschaften sowie für Heiz- und Prozesswärme in den Gewerbe- und Industriebetrieben verbraucht. Der Anteil erneuerbarer Energieträger am Verbrauch im Ist-Zustand beläuft sich auf rund 25 %.

Ein erhebliches Potential an möglichen Einsparmaßnahmen bietet der Bereich Raumwärme in den privaten Haushalten sowie der Einsparung an Heizenergie für Raum- und Prozesswärme in der Industrie. Eine Sanierung der kommunalen Liegenschaften hat zwar nur geringen Einfluss auf die Gesamtbilanz, dient jedoch als wichtige Vorbildfunktion und Anregung der anderen Verbrauchergruppen. Gemessen am thermischen Gesamtendenergieverbrauch kann in Summe ein Anteil von rund 26 % eingespart werden.

Weiteres Potential ist durch den Ausbau der erneuerbaren Energien gegeben. Mit dem Ausbau an Solarthermieflächen zur Deckung von 50 % des Gesamtwärmebedarfs für Warmwasser und dem Ausbau der Biomassenutzung aus landwirtschaftlichen Flächen (dargestellt als Kraft-Wärme-Kopplung aus Biogas) lässt sich die thermische Endenergiebereitstellung im Zieljahr 2033 zu 39 % aus heimischen erneuerbaren Energien decken.

Unter der Berücksichtigung der beschriebenen Einsparpotentiale sowie dem Ausbaupotential an erneuerbaren Energien verbleibt ein Restbedarf von rund 44.427 MWh thermischer Endenergie pro Jahr bestehen, der weiterhin durch konventionelle Energieträger bzw. durch den Zukauf Erneuerbarer Energien (z.B. Biomethan, Biomasse) von außerhalb des Betrachtungsgebietes gedeckt werden muss.

9.3 Die CO₂-Minderungspotentiale

Nach den in den vorangegangenen Kapiteln ermittelten CO₂-Minderungspotentialen in den einzelnen Verbrauchergruppen, zum einen durch die Endenergieeinsparung – durch Wärmedämmmaßnahmen und diversen Möglichkeiten zur Steigerung der Energieeffizienz – sowie zum anderen durch die Substitution fossiler Energieträger durch den Ausbau Erneuerbarer Energieträger, kann zusammenfassend das Gesamtminderungspotential dargestellt werden.

In Abbildung 49 ist ausgehend vom ermittelten CO₂-Ausstoß im Ist-Zustand in Höhe von rund 30.812 Tonnen pro Jahr das CO₂-Minderungspotential durch die Umsetzung der vorgeschlagenen Effizienzsteigerungsmaßnahmen (Energieeinsparung) sowie das Minderungspotential durch den weiteren Ausbau der erneuerbaren Energieträger dargestellt.

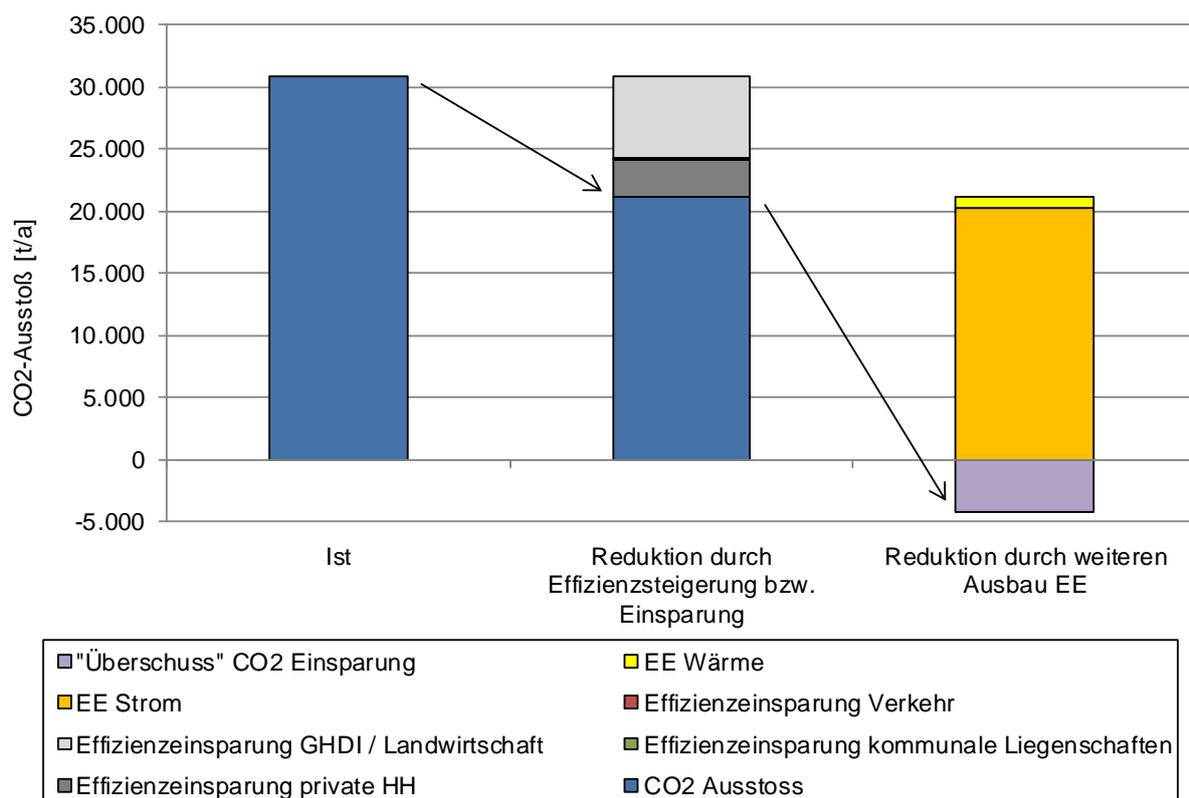


Abbildung 49: Die CO₂-Minderungspotentiale in der Stadt Abenberg

Durch die diversen bereits beschriebenen Effizienzsteigerungs- und Einsparmaßnahmen könnte der CO₂-Ausstoß in Summe um ca. 9.800 Tonnen im Jahr reduziert werden. In den einzelnen Verbrauchergruppen könnten die Privaten Haushalte eine Reduktion von 3.000 t/a, die kommunalen Gebäude eine Reduktion in Höhe von 200 t/a sowie der Sektor GHDIL eine Reduktion von 6.600 t/a dazu beitragen. Der CO₂-Ausstoß kann dadurch um 32 % gegenüber dem derzeitigen Ausstoß gesenkt werden.

Hinweis:

Es muss hierbei nochmals erwähnt werden, dass die Effizienzsteigerung im Bereich GHDIL anhand von charakteristischen Durchschnittswerten berechnet wurde. Das tatsächliche Einsparpotential kann folglich deutlich variieren.

Das gesamte Ausbaupotential an elektrischer Energie aus Erneuerbaren Energien wird mit ca. 41.300 MWh/a ausgewiesen, wodurch sich ein CO₂-Minderungspotential von 23.600 Tonnen pro Jahr ergibt.

Weitere 900 Tonnen CO₂ lassen sich durch den Ausbau erneuerbarer Energien im Bereich der thermischen Nutzung einsparen, wobei jährlich weitere 3.000 MWh Endenergie aus heimischen Rohstoffen genutzt werden können.

Das CO₂-Gesamteinsparpotential durch die konsequente Realisierung der beschriebenen Potentiale im Bereich der Erneuerbaren Energien liegt demzufolge bei ca. 79 %.

- **Unter der Ausnutzung sämtlicher dargestellter Minderungspotentiale kann der CO₂-Ausstoß von derzeit rund 30.812 Tonnen/Jahr bilanziell vollständig vermieden werden. Es resultiert ein bilanzielle CO₂-Gutschrift von rund 2.800 t/a (ohne Mobilität).**

9.4 Die Entwicklungsszenarien in der Stadt Abenberg

Im Rahmen dieser Studie wird unter anderem untersucht, inwieweit eine bilanziell autarke Energieversorgung in der Stadt Abenberg mithilfe der Substitution fossiler Energieträger, der Steigerung der Energieeffizienz und dem Einsatz erneuerbarer Energien bis zum Jahr 2033 möglich ist.

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

„Energieautarkie ist das Bestreben einer Gemeinde oder Region, die Energieversorgung in den Bereichen Wärme und Strom von Importen sowie von fossiler Energie weitgehend unabhängig zu machen. Energieautarkie ist nicht als Abkapselung nach außen zu verstehen, sondern besteht in der optimalen und effizienten Nutzung der vorhandenen lokalen Potentiale und Ressourcen an erneuerbaren Energien“ [www.klimaaktiv.at/energieautarkie]

Für die Ausarbeitung von Handlungsempfehlungen und die Abschätzung ob, wann und wie eine bilanzielle Energieautarkie im Stadtgebiet Abenberg zu erreichen ist, wird auf die in den Kapiteln 4 und 5 ausgearbeitete Potentialberechnung zurückgegriffen. Diese stellt das Potential dar, das aus technischer, rechtlicher und ökologischer Sicht unter den im Jahr 2013 geltenden Bedingungen erschließbar ist.

Die ermittelten Werte des Bestandes an erneuerbaren Energien für die Stadt Abenberg sind die Ausgangsdaten für die Fortschreibung. Dabei wird nicht jede Technologie einzeln fortgeschrieben, sondern die Summen von Strom und Wärme genutzt. Die Datenberechnung erfolgt für die Jahre 2013, 2023 und dem Zieljahr 2033.

Das Ergebnis des fortgeschriebenen Bestandes und des maximalen Energiepotentials aus Sicht des Jahres 2013 wird mit dem Energiebedarf an Strom und Wärme verglichen. Hierbei wird davon ausgegangen, dass im Zieljahr 2033 der notwendige Energiebedarf zu 100 % aus erneuerbaren Energien gedeckt wird.

In Abbildung 50 ist der gesamte Strombedarf in der Stadt Abenberg für die einzelnen Jahre dargestellt. Durch Effizienzsteigerung und den Umstieg auf moderne Technologien (z.B. LED-Technologie) kann der Bedarf an elektrischer Energie von aktuell rund 25.557 MWh auf rund 17.826 MWh im Jahr 2033 gesenkt werden. Zudem wird die elektrische Endenergie aus Erneuerbaren Energieträgern dargestellt (rote Linie), welche im Zieljahr 2033 die komplette Stromversorgung darstellen soll. Die grüne Linie zeigt das Gesamtpotential an Strom aus Erneuerbaren Energien im Stadtgebiet, welches aus technischer, rechtlicher und ökologischer Sicht als realistisch umsetzbar angesehen wird. Die blau gestrichelte Linie zeigt das Gesamtpotential an Strom aus Erneuerbaren Energien im Stadtgebiet, jedoch ohne Windkraft.

Unter der Berücksichtigung der beschriebenen Einsparpotentiale sowie dem Ausbaupotential an erneuerbaren Energien wird der gesamte Strombedarf der Stadt Abenberg im Jahr 2033 bilanziell durch Erneuerbare Energien gedeckt. Die bilanziellen Überschüsse können anderweitig verwertet (Heizzwecke, Elektromobilität, ...) werden, beziehungsweise exportiert werden.

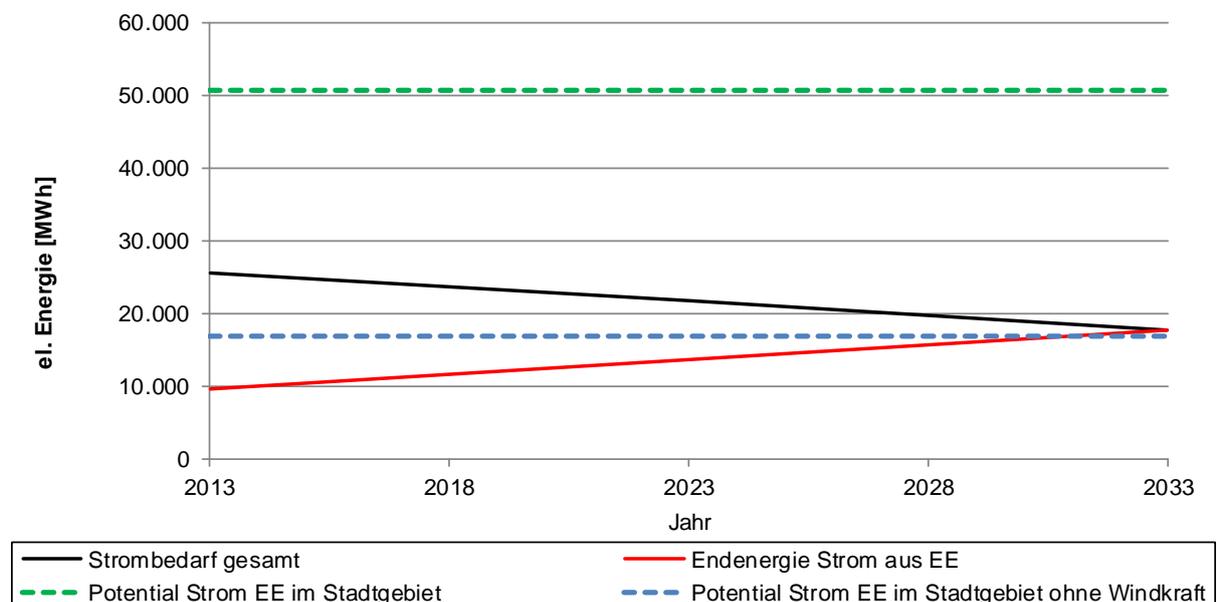


Abbildung 50: Entwicklung des elektrischen Energiebedarfes und –potentials

In Abbildung 51 ist der gesamte Wärmebedarf im Stadtgebiet Abenberg für die einzelnen Jahre dargestellt. Durch Wärmedämmmaßnahmen und Effizienzsteigerung kann der Wärmebedarf von aktuell rund 97.975 MWh auf rund 72.381 MWh im Jahr 2033 gesenkt werden. Zudem wird die thermische Endenergie aus Erneuerbaren Energieträgern dargestellt (rote Linie), welche im Zieljahr 2033 die komplette Wärmeversorgung darstellen soll. Die grüne Linie zeigt das Wärmepotential aus Erneuerbaren Energien im Stadtgebiet, welche aus technischer, rechtlicher und ökologischer Sicht als realistisch umsetzbar angesehen wird.

Das ermittelte Wärmepotential aus heutiger Sicht wird bei beständigem Ausbau der Nutzung in den nächsten Jahren erschlossen sein. Unter der Berücksichtigung der beschriebenen Einsparpotentiale sowie dem Ausbaupotential an erneuerbaren Energien verbleibt im Jahr 2033 ein Restbedarf von rund 44.427 MWh an thermischer Endenergie pro Jahr bestehen.

Ein weiterer Ausbau des eigenen Anteils an Erneuerbaren Energien im Wärmebereich ist jedoch z.B. durch eine stärkere Nutzung von oberflächennaher Geothermie oder der Abwärmenutzung insbesondere größerer Industriebetriebe möglich. Zudem sollte der Ausbau der Kraft-Wärme-Kopplung, wenn ökologisch und ökonomisch sinnvoll einsetzbar, weiter forciert werden. Zudem besteht die Möglichkeit, den übrigen Wärmebedarf z.B. durch den Zukauf von Biomethan, Biomasse etc. von außerhalb des Stadtgebiet zu decken.

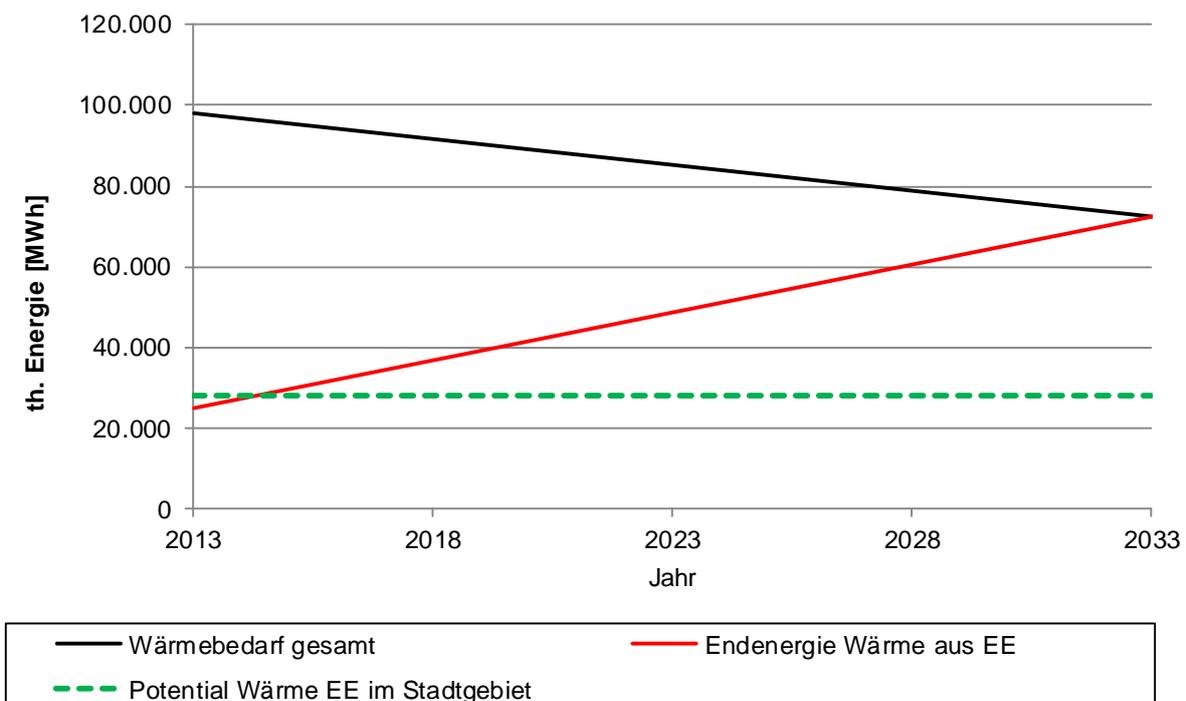


Abbildung 51: Entwicklung des thermischen Energieverbrauchs und –potentials

10 Zusammenfassung / Maßnahmenempfehlung

In Kapitel 10 werden die Ergebnisse des Energieentwicklungskonzeptes für die Stadt Abenberg zusammengefasst. Die Stadt Abenberg im Regierungsbezirk Mittelfranken mit etwa 5.450 Einwohnern (2012) besitzt eine Fläche von rund 4.800 Hektar.

Das Stadtgebiet wurde kategorisch in die Verbrauchergruppen

- private Haushalte
- kommunale Liegenschaften
- und Gewerbe, Handel, Dienstleistung, Industrie, Landwirtschaft und Sonderkunden

unterteilt. Die Energieströme jeder Verbrauchergruppe wurden getrennt als leitungsgebundene (Strom, Erdgas), nicht leistungsgebundene (Heizöl, Biomasse, ...) und erneuerbare Energieträger erfasst.

Basierend auf der umfassenden Energie- und CO₂-Emissionsbilanz im Ist-Zustand in Kapitel 2 wurde in Kapitel 3 ein umfangreiches **Wärmekataster** angefertigt, mit dessen Hilfe Bereiche des Stadtgebietes mit hohem thermischem Energiebedarf definiert werden können. Darüber hinaus kann das Wärmekataster herangezogen werden, um bei künftigen Straßen-/ Stromleitungs-/ Erdgasleitungs- und Kanalarbeiten zu prüfen, ob die Verlegung eines Wärmenetzes sinnvoll erscheint.

In Kapitel 4 wurden grundsätzliche Potentiale hinsichtlich der **Energieeinsparung** bzw. der **Energieeffizienzsteigerung** verbrauchergruppenspezifisch aufgezeigt.

Durch die detailliert beschriebenen Maßnahmen (Erneuerung der Maschinen-, Anlagen- und Antriebstechnik; Effizienzsteigerung der Druckluftsysteme; Optimierung der Lüftungs-, Klima- Kälte- und Wärmetechnik; Erneuerung der Bestandsbeleuchtung) könnte der Verbrauch an elektrischer Energie in der Verbrauchergruppe **„Gewerbe, Handel, Dienstleistungen, Industrie, Landwirtschaft und Sonderkunden“** um rund 30 Prozent gesenkt werden, was einer Einsparung von rund 5.650 MWh jährlich entspricht. Im Bereich des thermischen Energieverbrauchs ergeben sich Einsparpotentiale von rund 30 Prozent. Dies entspricht einer Einsparung von rund 16.910 MWh.

In der Verbrauchergruppe **„kommunale Liegenschaften“** ergeben sich durch die Sanierung der Gebäudehülle, die Erneuerung der Heizungstechnik und der Straßenbeleuchtung die größten Einsparpotentiale. Durch die im Energieentwicklungskonzept aufgezeigten Potentiale kann der Verbrauch an elektrischer Endenergie um rund 30 Prozent gesenkt

werden, was einer Einsparung von rund 309 MWh jährlich entspricht. Der thermische Energiebedarf kann um rund 38 Prozent reduziert werden, was einer Einsparung von rund 230 MWh entspricht.

Die größten Einsparpotentiale im Bereich der „**privaten Haushalte**“ ergeben sich durch die Sanierung der Gebäudehülle sowie durch eine Erneuerung der Heiztechnik. In Summe ergeben sich Einsparpotentiale an thermischer Endenergie von rund 24 Prozent, was einer Einsparung von rund 8.450 MWh entspricht. Der elektrische Energiebedarf kann sich durch die beschriebenen Maßnahmen verringern. In Summe ergeben sich Einsparpotentiale an elektrischer Endenergie von rund 30 Prozent, was einer Einsparung von rund 1.770 MWh entspricht.

Die Untersuchung grundsätzlicher Potentiale zur Energieeinsparung bzw. Energieeffizienzsteigerung in Kapitel 4 setzt sich mit dem Ausbaupotential Erneuerbarer Energieformen fort.

Bei der **Nutzung der Sonnenenergie** wird auf die theoretisch nutzbaren Dachflächen und auf mögliche Freiflächen zurückgegriffen. Vorrang hat hier der Ausbau von Solarthermieanlagen zur Brauchwasserbereitung. Die restlichen zur Verfügung stehenden Dach- bzw. Freiflächen werden mit Photovoltaikmodulen zur bevorzugten Eigenstromnutzung belegt. Dadurch könnten zusätzlich rund 1.520 MWh thermische Energie und rund 8.760 MWh an elektrischer Energie bereitgestellt werden.

Im Bereich der **holzartiger Biomasse** existiert kein weiteres Zubaupotential. Die vorhandenen Ressourcen Vor-Ort sind schon vollständig in Nutzung.

Die Gesamtpotentiale der **Biogasnutzung** ergeben sich zum einen aus den zur Verfügung stehenden landwirtschaftlichen Flächen, welche zur energetischen Nutzung bereitstehen und zum anderen aus den biologischen Abfallmengen, welche im Bilanzgebiet vorhanden sind. Des Weiteren werden noch die Potentiale des Tiergülle herangezogen. In Summe ergibt sich ein thermischer Gesamtpotential von rund 7.900 MWh und ein elektrisches Gesamtpotential von rund 5.330 MWh.

Bei der Analyse der mittleren Windgeschwindigkeiten sowie des aktuellen Planungsstandes des Regionalplanes (Teilfortschreibung Windkraft zur Änderung des Regionalplanes) ergibt sich im Bereich der **Windkraft** ein Zubaupotential von rund 33.900 MWh jährlich.

Kapitel 6 beschreibt die detaillierten Energieeinsparpotentiale im Bereich der Gebäudesanierung der Grund- und Mittelschule Abenberg. Bei der Umsetzung aller dargestellten Maßnahmen ergibt sich ein Einsparpotential von 150.800 kWh/a. Aus den Untersuchungen ergeben sich folgende aus technischer und wirtschaftlicher Sicht sinnvolle Maßnahmen:

1. Austausch der undichten oder in sonst einer Weise beschädigten Fensterelemente. Das Hauptaugenmerk sollte sich auf die Fenster mit Alurahmen auf der Südseite des Mittelbaus richten.
2. Wärmedämmverbundsystem an den Abschnitten der Außenwände, bei denen eine Veränderung des Dachüberstandes nicht notwendig ist
3. Austausch der Stufenpumpen (2 x WILO TOP-S 50/10 1~ und 1 x WILO TOP-S 40/4 3~) gegen Hocheffizienzpumpen

Kapitel 7 beschreibt **alternative Energieversorgungsvarianten** für die Grund- und Mittelschule Abenberg, insbesondere den Aufbau eines Nahwärmeverbundes mit Abwärmenutzung der Biogasanlage Kleinabenberg. Die unterschiedlichen konkurrierenden Wärmeerzeugungsvarianten wurden hinsichtlich Wirtschaftlichkeit und CO₂-Ausstoß verglichen.

Die Ergebnisse der Berechnungen sind in Tabelle 26 zusammenfassend dargestellt.

Tabelle 26: Zusammenfassung Energieversorgungsvarianten Grund- und Mittelschule Abenberg

		Variante 1.0	Variante 1.1	Variante 1.2	Variante 1.3	Variante 1.4	Variante 1.5
ohne mögliche Förderungen							
Investitionskosten	[€]	81.000	160.000	157.000	150.000	174.000	174.000
Jahresgesamtkosten	[€]	37.000	56.000	45.000	42.000	40.000	15.000
Wärmegestehungskosten	[€-Cent/kWh]	9,1	13,9	11,0	10,3	9,9	3,6
mit möglichen Förderungen							
maximale Projektförderung	[€]	-	-	-	16.000	16.000	35.000
Jahresgesamtkosten	[€]	37.000	56.000	45.000	41.000	39.000	12.000
Wärmegestehungskosten	[€-Cent/kWh]	9,1	13,9	11,0	10,1	9,6	3,0
CO ₂ -Emissionen	[t/a]	112	25	87	33	33	-78

Variante 1.0	Variante 1.1	Variante 1.2	Variante 1.3	Variante 1.4	Variante 1.5
Erneuerung	Biomethan-BHKW	Erdgas-BHKW	Pelletkessel	Hackgutkessel	Abwärmenutzung
Bestandskessel	Spitzenlastkessel	Spitzenlastkessel	Spitzenlastkessel	Spitzenlastkessel	Biogasanlage

In **Kapitel 8** wurde die Möglichkeit zur Installation von **PV-Anlagen mit Stromeigennutzung auf kommunalen Dächern** hinsichtlich der Wirtschaftlichkeit überprüft. Im Bereich der Grund- und Mittelschule ist die Wirtschaftlichkeit der Anlagen sehr von den Investitionskosten abhängig. Bei der Variante B mit ausschließlicher Belegung des Süddaches kann abhängig von den spez. Investitionskosten eine verbesserte Wirtschaftlichkeit erzielt werden. Dies ist auf die höhere Stromeigennutzung und den höheren spez. Ertrag zurückgeführt werden. Daher sollten für beide Varianten mehrere Angebote eingeholt und verglichen werden. Bei einem guten Angebot ist die Wirtschaftlichkeit vor allem durch die hohe Stromeigennutzung und unter Berücksichtigung einer Strompreissteigerung gegeben. Im Bereich „Abwasserhebewerk Güssübelstraße“ ist nach den aktuellen Rahmenbedingungen ein wirtschaftlicher Betrieb einer Freiflächen-Photovoltaikanlage mit Stromeigennutzung nicht möglich.

Maßnahmenempfehlung

Zusammenfassend ergibt sich folgende Maßnahmenempfehlung für die Stadt Abenberg:

- Umrüstung der Straßenbeleuchtung auf effizientere Technik
- Alternative Energieversorgung unter Berücksichtigung ökonomischer und ökologischer Faktoren
- Ausbau der Abwärmenutzung der Biogasanlagen
- Ausbau der Photovoltaiknutzung auf kommunalen Dächern (z.B. Grund- und Mittelschule Schule Abenberg)
- Detaillierte Analyse des kommunalen Gebäudebestandes und Ausarbeitung von Sanierungsoptionen (Bsp.: Grund- und Mittelschule Abenberg) → Einleiten von Sanierungsmaßnahmen
- Forcierung der Öffentlichkeitsarbeit auf dem Sektor der Wohngebäudesanierung und der Energieeinsparung
- Ausbau der Windkraft

11 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Bevölkerungsentwicklung der Stadt Abenberg [Quelle: Bayerisches Landesamt für Statistik und Datenverarbeitung].....	8
Abbildung 2: Flächenverteilung der Stadt Abenberg [Quelle: Bayerisches Landesamt für Statistik und Datenverarbeitung].....	9
Abbildung 3: Geographische Lage der Stadt Abenberg im Landkreis Abenberg [Quelle: www.wikipedia.de].....	10
Abbildung 4: Endenergieeinsatz der einzelnen Energieträger in der Stadt Abenberg	19
Abbildung 5: Verteilung des Endenergieeinsatzes in die betrachteten Verbrauchergruppen	20
Abbildung 6: Der CO ₂ -Ausstoß im Ist-Zustand.....	22
Abbildung 7: Wärmekataster der Stadt Abenberg bei einer Anschlussdichte von 100 %	25
Abbildung 8: Die Potentialbetrachtung der energetischen Sanierung von Bestandsgebäuden	27
Abbildung 9: Die Einsparpotentiale im Bereich der Beleuchtung [Quelle: Bayerisches Landesamt für Umwelt „Leitfaden für effiziente Energienutzung in Industrie und Gewerbe; eigene Darstellung]	32
Abbildung 10: Die Möglichkeiten der Nutzung erneuerbarer Energiequellen [Quelle: Universität Kassel, Geothermie-Vorlesung im SS 2013, www.uni-kassel.de].....	39
Abbildung 11: Definition des Potentialbegriffs.....	40
Abbildung 12: Die Aufteilung der energetischen und stofflichen Verwertung von Holz [Quelle: Pflüger-Grone Holger; Aspekte der energetischen Holzverwertung].....	47
Abbildung 13: Auszug aus dem Regionalplan der Region „Industrieregion Mittelfranken“ [Quelle: Regierung von Mittelfranken].....	52
Abbildung 14: Einsparpotential bei Leuchtstofflampen.....	57
Abbildung 15: Heizkreise mit und ohne hydraulischen Abgleich	62
Abbildung 16: Die Gebäude der Grund- und Mittelschule Abenberg [Quelle: Bayernatlas] ...	63

Abbildung 17: Südhälfte des Ostflügels	72
Abbildung 18: Die Aufteilung der Transmissionsverluste	76
Abbildung 19: Die Einsparpotentiale der einzelnen Sanierungsmaßnahmen in Bezug auf den Gesamtheizenergieverbrauch.....	80
Abbildung 20: Die Abschnitte ohne notwendige Verlängerung des Dachüberstands (rot).....	82
Abbildung 21: Die dynamische Amortisation der Sanierungsmaßnahmen	83
Abbildung 22: Die Reduzierung des CO ₂ - Ausstoßes durch die energetischen Sanierungsmaßnahmen	84
Abbildung 23: Die Entwicklung des „üblichen Preises“ für die KWK-Stromvergütung	92
Abbildung 24: Der monatliche Wärmebedarf der Nahwärmeverbundlösung 1	100
Abbildung 25: Die geordnete Jahresdauerlinie des Gesamtwärmebedarfs in der Grund- und Mittelschule Abenberg.....	101
Abbildung 26: Grund- und Mittelschule Abenberg: Die Jahresdauerlinie der Variante 1.1 ..	103
Abbildung 27: Grund- und Mittelschule Abenberg: Die Jahresdauerlinie der Variante 1.2 ..	104
Abbildung 28: Grund- und Mittelschule Abenberg: Die Jahresdauerlinie der Variante 1.3 ..	106
Abbildung 29: Grund- und Mittelschule Abenberg: Die Jahresdauerlinie der Variante 1.4 ..	107
Abbildung 30: Der mögliche Verlauf der Nahwärmeverbundlösung	108
Abbildung 31: Grund- und Mittelschule Abenberg: Die prognostizierten Investitionskosten	110
Abbildung 32: Grund- und Mittelschule Abenberg: Die jährlichen Ausgaben	111
Abbildung 33: Grund- und Mittelschule Abenberg: Die jährlichen Einnahmen	112
Abbildung 34: Grund- und Mittelschule Abenberg: Die Wärmegegestehungskosten	113
Abbildung 35: Grund- und Mittelschule Abenberg: Die Sensitivitätsanalyse der Variante 1.0	114
Abbildung 36: Grund- und Mittelschule Abenberg: Die Sensitivitätsanalyse der Variante 1.1	115

Abbildung 37: Grund- und Mittelschule Aabenberg: Die Sensitivitätsanalyse der Variante 1.2	116
Abbildung 38: Grund- und Mittelschule Aabenberg: Die Sensitivitätsanalyse der Variante 1.3	117
Abbildung 39: Grund- und Mittelschule Aabenberg: Die Sensitivitätsanalyse der Variante 1.4	118
Abbildung 40: Grund- und Mittelschule Aabenberg: Die CO ₂ -Bilanz der verschiedenen Varianten.....	119
Abbildung 41: Die simulierte Photovoltaikanlage auf den Dächern der Grund- und Mittelschule Aabenberg.....	123
Abbildung 42: Der kumulierte Überschuss nach 20 Jahren bei einer Kapitalrückflussdauer von 14 Jahren	124
Abbildung 43: Die simulierte Photovoltaikanlage auf den Dächern der Grund- und Mittelschule Aabenberg.....	125
Abbildung 44: Der kumulierte Überschuss nach 20 Jahren bei einer Kapitalrückflussdauer von 13 Jahren	126
Abbildung 45: Die simulierte Freiflächen-Photovoltaikanlage des Abwasserhebewerks Güssübelstraße.....	127
Abbildung 46: Der kumulierte Überschuss nach 20 Jahren bei einer Kapitalrückflussdauer von 20 Jahren	128
Abbildung 47: Gegenüberstellung des elektrischen Endenergiebedarfs Ist – Ziel 2033	129
Abbildung 48: Gegenüberstellung des thermischen Endenergiebedarfs Ist – Ziel 2033.....	131
Abbildung 49: Die CO ₂ -Minderungspotentiale in der Stadt Aabenberg	133
Abbildung 50: Entwicklung des elektrischen Energiebedarfes und –potentials	136
Abbildung 51: Entwicklung des thermischen Energieverbrauchs und –potentials	137

12 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Übersicht der regenerativen Stromerzeugung in der Stadt Abenberg [<i>Quelle: N-ERGIE Netz GmbH</i>]	16
Tabelle 2: Übersicht der regenerativen Wärmeerzeugung in der Stadt Abenberg [<i>Quelle: Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle; N-ERGIE Netz GmbH; Auflistung Feuerstätten; Fragebögen</i>].....	18
Tabelle 3: Die CO ₂ -Äquivalente und Primärenergiefaktoren der jeweiligen Energieträger	21
Tabelle 4: Abstufung der Wärmebelegung und Einfärbung im Wärmekataster	24
Tabelle 5: Energieeffizienzsteigerung in der Maschinen-, Anlagen- und Antriebstechnik [<i>Quelle: Bayerisches Landesamt für Umwelt „Leitfaden für effiziente Energienutzung in Industrie und Gewerbe; eigene Darstellung</i>].....	31
Tabelle 6: Die installierten Leuchtmittel im Stadtgebiet Abenberg	36
Tabelle 7: Die Straßenbeleuchtung im Ist-Zustand in der Stadt Abenberg [<i>Quelle: N-ERGIE Netz GmbH</i>]	37
Tabelle 8: Zusammenfassung der verbrauchergruppenspezifischen Einsparpotentiale	38
Tabelle 9: Das Potential Erneuerbarer Energien aus Solarthermie und Photovoltaik (Dachflächen).....	44
Tabelle 10: Übersicht der Energiebereitstellungspotentiale aus Holz.....	48
Tabelle 11: Zusammenfassung Biogaspotential	51
Tabelle 12: Die Potentiale im Bereich der erneuerbaren Energien	53
Tabelle 13: Bestandspumpen der Grund- und Mittelschule Abenberg	61
Tabelle 14: Höchstwerte der Wärmedurchgangskoeffizienten bei erstmaligem Einbau, Ersatz und Erneuerung von Bauteilen nach EnEV 2014.....	69
Tabelle 15: Die Mindestanforderungen an den U-Wert nach EnEV und KfW	71
Tabelle 16: Die Hüllflächentabelle für den Altbau der Grund- und Mittelschule.....	75

Tabelle 17: Die zusammengefassten Flächen und U-Werte der Bauteile im Vergleich zu den technischen Mindestanforderungen.....	76
Tabelle 18: Die U-Werte der sanierten Bauteile und die eintretende Heizenergieeinsparung	79
Tabelle 19: Die statische Amortisationsdauer in Abhängigkeit von der Heizkosteneinsparung	81
Tabelle 20: Die Kenndaten der Nahwärmeverbundlösung.....	109
Tabelle 21: Zusammenfassung Wärmeversorgung Grund- und Mittelschule Abenberg.....	120
Tabelle 22: Photovoltaik-Vergütungssätze für die Liegenschaften Schule Abenberg und Abwasserhebewerk Güssübelstraße im Juli 2014	122
Tabelle 23: Die Kenndaten für die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung am Standort Grund- und Mittelschule Abenberg.....	124
Tabelle 24: Die Kenndaten für die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung am Standort Grund- und Mittelschule Abenberg.....	126
Tabelle 25: Die Kenndaten für die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung am Standort Abwasserhebewerk Güssübelstraße	127
Tabelle 26: Zusammenfassung Energieversorgungsvarianten Grund- und Mittelschule Abenberg	140