ENERGIE BERATUNGS ZENTRUM
Energieberatungszentrum Stuttgart e. V.

Machbarkeitsstudie zur CO_2-Reduzierung in den städtischen Liegenschaften

Teil III

Abschätzung der Möglichkeiten zur Nutzung regenerativer Energien

© 2007 Energieberatungszentrum EBZ Stuttgart, Gutenbergstraße 76, 70176 Stuttgart
Alle Rechte vorbehalten.
Die Weitergabe und Vervielfältigung dieses Dokumentes oder von Teilen davon ist – gleich welcher Art und Weise – nur mit schriftlicher Genehmigung des Erstellers gestattet.

Inhalt Teil III – Erneuerbare Energien

1 Problematik 4
1.1 Hintergrund 4
1.2 Ziele und Maßnahmen der Bundesregierung 4
1.3 Ziele und Maßnahmen der Landesregierung 4
1.4 Ziele und Maßnahmen der Stadtverwaltung 4
2 Methodik 5
3 Ist-Zustand 6
3.1 Solarenergie 6
3.1.1 Thermische Solaranlagen 6
3.1.2 Fotovoltaikanlagen 7
3.2 Wasserkraft 8
3.3 Bioenergie 9
3.4 Sonstiges 9
3.4.1 Energierückgewinnungsanlagen 9
3.4.2 Kraft-Wärme-Kopplung 10
4 Möglichkeiten zur Nutzung Erneuerbarer Energien 12
4.1 Solarenergie 12
4.1.1 Thermische Solaranlagen 12
4.1.2 Fotovoltaische Solaranlagen 15
4.2 Windkraft 17
4.3 Wasserkraft 18
4.4 Bioenergie 18
4.4.1 Holzhackschnitzel 19
4.4.2 Holzpellets 23
4.4.3 Pflanzenöl-Heizkessel 23
4.4.4 Pflanzenöl-BHKW 24
4.4.5 Biogas 25
4.5 Geothermie 26
4.6 Zusammenfassende Darstellung 28
5 Fazit 29
5.1 Solarenergie 29
5.2 Bioenergie 29
5.3 Geothermie 30

1 Problematik

1.1 Hintergrund

Die erneuerbaren Energien haben derzeit einen Anteil von rund 13 % an der Stromproduktion. In den letzten Jahren konnte vor allem durch einen rasanten Ausbau der Windenergie die Anteil mehr als verdoppelt werden.

Der Anteil erneuerbarer Energien an der Wärmebereitstellung betrug im Jahr 2006 6,0%. Er ist in den letzten Jahren nur langsam gewachsen. Die Technologien hierfür sind breit vorhanden, es fehlt noch an der Marktdurchdringung, zum Teil auch wegen fehlender Wirtschaftlichkeit. Die Erneuerbaren Energien sind im Wärmemarkt der „schlafende Riese“.

1.2 Ziele und Maßnahmen der Bundesregierung

Mit einem Energie- und Klimaprogramm will die Bundesregierung die Klimaziele u. a. durch den Ausbau der Erneuerbaren Energien erreichen.

Seit April 2000 fördert das Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) die Stromerzeugung auf Basis Erneuerbarer Energien. Ziel des EEG ist es nach der Novellierung vom April 2004, den Anteil der Erneuerbaren Energien an der gesamten Stromversorgung auf mindestens 12,5% bis zum Jahr 2010 und auf mindestens 20% bis zum Jahr 2020 zu steigern. Im Energie- und Klimaprogramm ist die Erhöhung des Anteils der Erneuerbaren Energien an der Stromproduktion auf 25 –30 % bis 2020, sowie der weitere Ausbau bis 2030 festgeschrieben.

Mit einem Erneuerbare-Energien-Wärme-Gesetz soll der Anteils von erneuerbaren Energien am Wärmeverbrauch auf 14% im Jahr 2020 erhöht werden. Dabei soll eine Pflicht zur anteiligen Nutzung von Erneuerbaren Energien eingeführt werden.

1.3 Ziele und Maßnahmen der Landesregierung

Da das Potenzial der CO_2-Reduzierung durch erneuerbare Energien auf dem Wärmeenergiesektor bislang noch wenig genutzt ist, hat die Landesregierung gesetzliche Maßnahmen für den Ausbau beschlossen. Ziel des Erneuerbare-Wärme-Gesetz (E-WärmeG) ist es, im Interesse des Klimaschutzes eine anteilige Nutzung erneuerbarer Wärmeenergie von 20 % für neu zu errichtende Wohngebäude und 10 % für Wohngebäude im Bestand als Standard einzuführen.

1.4 Ziele und Maßnahmen der Stadtverwaltung

Im Stadtentwicklungsplan ist der Ausbau der Regenerativen Energien festgeschrieben: Danach sollen ihr Anteil am Strombedarf bis zum Jahr 2020 auf 30% erhöht werden. Der Einsatz von Photovoltaik und Solarthermie sowie die Nutzung von Biomasse sollen forciert werden.

Gegenüber der Bürgerschaft will die Stadt den Einsatz von regenerativen Energien durch die Ausweitung des Förderprogramm vorantreiben.

Der Energieerlass schreibt vor, die passive Solarenergienutzung für Neubauten verstärkt zu berücksichtigen. Die aktive Nutzung von Solarenergie wird bei der Sanierungen und Neubauvorhaben zur Wassererwärmung in Freibädern mit Solarabsorber geplant. Auch bei Objekten mit großem Warmwasserbedarf, wie z. B. Sportgebäude, wird der Einsatz von Solarkollektoren zur Trinkwassererwärmung geprüft.

2 Methodik

Im Folgenden werden Maßnahmen zum verstärkten Einsatz regenerativer Energien im Gebäudebestand der Stadt Waiblingen dargestellt. Die Nutzung regenerativer Energien wie Sonnenenergie, Geothermie und Holzenergie ist grundsätzlich überall möglich. Fraglich sind vor allem die bauliche Einbindung der Systeme und der wirtschaftliche Betrieb.

Die Untersuchung beinhaltet:

- Die Abschätzung der nutzbaren Flächen zur Installation thermischer und fotovoltaischer Solaranlagen mit Vorschlägen von geeigneten Objekten.
- Die Abschätzung der Nutzung von Bioenergie (Holzhackschnitzel, -pellets, Pflanzenöl, Biogas, Geothermie) zur Gebäudebeheizung - mit Vorschlägen von geeigneten Objekten.

Für die Nutzung erneuerbarer Energien in den einzelnen Bereichen wird der Ist-Zustand in Waiblingen dargestellt. Neben allgemeinen Basisinformationen wird das erschließbare Potenzial für die städtischen Gebäude aufgezeigt und – wo möglich – quantitativ benannt.

Für die einzelnen Techniken werden die notwendigen Investitionskosten abgeschätzt. Gleichzeitig wird die mögliche Energie- bzw. CO_2-Einsparung ermittelt.

Über eine Wirtschaftlichkeitsbetrachtung, bei der rein statisch gerechnet wird, lassen sich resultierende CO_2-Minderungskosten bestimmen.

Die Potenziale zur Wasserkraft- und Windenergienutzung werden in diesem Zusammenhang nicht ermittelt.

3 Ist-Zustand

Die Stadt Waiblingen nützt erneuerbare Energien in thermischen Solaranlagen, Fotovoltaikanlagen, Wasserkraftwerken und einer Abwärme-Wärmepumpe. Die Mehrzahl der Anlagen wird von den Stadtwerken betrieben.

3.1 Solarenergie

3.1.1 Thermische Solaranlagen

Thermische Solaranlagen sind in Waiblingen in zwei Freibädern, zwei Sporthallen und in einem Hallenbad installiert.

Vorstellung der Anlagen:

- Mehrzweckhalle Beinstein
  Thermische Solaranlage zur Warmwasserbereitung
  Flachkollektoren mit einer Kollektorfläche von 30 m²
  Baujahr 1996
- Freibad Bittenfeld
  Thermische Solaranlage zur Beckenwassererwärmung
  Kunststoffabsorber mit einer Absorberfläche von 630 m²
  Baujahr 1996

- Hallenbad Neustadt
  Thermische Solaranlage zur Warmwasserbereitung und Beckenwassererwärmung
  Flachkollektoren mit einer Kollektorfläche von 186 m²
  Baujahr 1996

- Sporthalle Neustadt
  Thermische Solaranlage zur Warmwasserbereitung
  Flachkollektoren mit einer Kollektorfläche von 57 m²
  Baujahr 1994

- Freibad Waiblingen
  Thermische Solaranlage zur Beckenwassererwärmung
  Kunststoffabsorber mit einer Absorberfläche von 800 m²
  Baujahr 2005

Die Anlagen liefern im Jahr eine Energiemenge von rund 527.000 kWh. Durch die Substitution fossiler Energieträger werden dadurch Emissionen von 140.000 $kg_{(CO2)}$ pro Jahr eingespart. Die Absorberanlagen der Freibäder liefern die Energie zu den geringsten Kosten. Diese sind um das 3 bis 6-fache niedriger gegenüber Erdgas. Die Anlage auf dem Hallenbad ist bei heutigen Energiepreisen für Endkunden gerade konkurrenzfähig, kann aber gegenüber Sondervertragskunden nicht konkurrieren. Weit von der Wirtschaftlichkeit entfernt sind die Anlagen auf den Sporthallen.

Die Kosten je Kilogramm eingesparter CO_2-Emission liegen zwischen 3,4 Cent und 1,73 €.

Tabelle 3-1: Thermische Solaranlagen auf Gebäuden der Stadt Waiblingen

Standort	Investitions-kosten €	Absorber-fläche m²	Erzeugung / Jahr kWh	Solarener-gieertrag kWh/m²a	C02 Einsparung kg/a	Kapitalkosten je kg C02-Einsparung ct/kg (C02)	Kapitalkosten je kWh ct/kWh
Beinstein, Mehrzweckhalle	42.000	30,00	8.280	276	2.208	95,11	25,36
Bittenfeld, Freibad	63.000	630,00	195.000	310	52.000	6,06	1,62
Neustadt, Hallenbad	133.000	186,56	93.280	500	24.875	26,73	7,13
Neustadt, Sporthalle	58.000	57,04	6.274	110	1.673	173,32	46,22
Waiblingen, Freibad	40.000	800,00	224.000	280	59.733	3,35	0,89
Bilanzsumme	336.000	1703,60	526.834		140.489		

3.1.2 Fotovoltaikanlagen

Tabelle 3-2: Fotovoltaikanlagen auf Gebäuden der Stadt Waiblingen

Standort	installierte Spitzen-leistung kWp	Erzeugung / Jahr kWh	Solarener-gieertrag kWh/m²a	C02 Einsparung kg/a	Kapitalkosten je kg C02-Einsparung ct/kg (C02)	Kapitalkosten je kWh ct/kWh
Bittenfeld, Kindergarten Berg/ Bürg	10,08	7.514	745	4.816	93,43	59,89
Hohenacker, Sporthalle	10,74	10.200	950	6.538	34,41	22,06
Waiblingen, Staufer-Gymnasium	1,76	1.495	849	958	50,09	32,11
	0,6	437	728	280		
Waiblingen, Salier-Gymnasium	25,6	23.040	900	14.769	37,24	23,87
Hohenacker, Lindenschule	13,2	11.880	900	7.615	68,94	44,19
	10	4.770	477	3.058	81,76	52,41
Waiblingen, Unterführung Bürgerzentrum	4,48	4.093	914	2.624	152,46	97,73
Stadtwerke Waiblingen	4,36	3.789	869	2.429	65,88	42,23
Stadtwerke Waiblingen	10,00	6.000	600	3.846	97,50	62,50
Berufsbildungswerk, Waiblingen	3,00	2.550	850	1.635		
FSV Vereinsheim	11,50	10.000	870	6.410	42,90	27,50
Waiblingen, Hallenbad Solaroffensive	11,2	9.000	109	5.769	52,00	33,33
Friedensschule Neustadt Solaroffensive	25,00	25.000	1.000	16.025		
Bilanzsumme	141,52	119.768		76.771		45,26

Fotovoltaikanlagen werden auf Dächern der Stadt Waiblingen von unterschiedlichen Betreibern errichtet und betrieben.

Die Stadt selbst betreibt schon seit 1997 eine Fotovoltaikanlage an der Unterführung vor dem Bürgerzentrum. Auch auf dem Staufer-Gymnasium und dem Kindergarten Berg-Bürg in Waiblingen-Bittenfeld sind Fotovoltaikanlagen schon seit 1998 für die Stadt im Einsatz.

Die Stadtwerk Waiblingen betreibt fünf Anlagen auf Gebäuden der Stadt, der Stadtwerke und auf dem Gebäude des Sportvereins FSV-Waiblingen.

Seit 2003 vermietet die Stadt ihre Gebäude auch an private Betreiber. Mit diesem Modell werden derzeit in Waiblingen weitere fünf Anlagen betrieben.

Die Anlagen liefern im Jahr eine Energiemenge von rund 120.000 kWh. Durch die Substitution von Strom aus konventionellen Kraftwerken werden dadurch Emissionen von ca. 77.000 $kg_{(CO2)}$ pro Jahr eingespart.

Die Kosten je Kilogramm eingesparter CO_2-Emission liegen zwischen 34,41 Cent und 1,52 €.

Konkret sind fünf weitere Anlagen auf städtischen Dächern von den Stadtwerken und privaten Betreibern geplant, die in den Jahren 2007 und 2008 in Betrieb gehen werden.

Tabelle 3-3: Geplante Fotovoltaikanlagen auf Gebäuden der Stadt Waiblingen

Standort	installierte Spitzen-leistung kWp	Erzeugung / Jahr kWh	C02 Einsparung kg/a
Hallenbad Hegnach Solaroffensive	19,70	17.730	11.347
Stihl-Galerie Solaroffensive	11,10	9.990	6.394
Staufer-Realschule Mittelbau Solaroffensive	5,20	4.680	2.995
Karolinger-Turnhalle	70,00	63.000	40.320
Schillerschule Bittenfeld			
Bilanzsumme	106,00	95.400	61.056

Neben den auf städtischen Dächern vorhandenen Anlagen, sind auch auf vielen privaten Dächern der Stadt Fotovoltaikanlagen errichtet. Die Leistung und der Ertrag dieser Anlagen ist nach Aussage der Stadtwerke zur Zeit um den Faktor 10 höher, als der der Anlagen auf städtischen Dächern.

3.2 Wasserkraft

Die Stadtwerk Waiblingen betreibt vier Wasserkraftanlagen an der Rems. Die Anlage haben Leistungen zwischen 20 und 125 kW und liefern im Jahr eine Energiemenge von 870.000 kWh. Durch die Substitution von Strom aus konventionellen Kraftwerken werden dadurch Emissionen von ca. 490.000 $kg_{(CO2)}$ pro Jahr eingespart.

Tabelle 3-4: Wasserkraftwerke in Waiblingen

Standort	Leistung kW	Erzeugung / Jahr kWh	C02 Einsparung kg/a
Hahnsche Mühle	20	70.000	44.870
Häckermühle	125	500.000	272.553
Vogelmühle	30	100.000	64.100
Geheime Mühle	40	200.000	111.534
Bilanzsumme	215	870.000	493.057

3.3 Bioenergie

In den Gebäuden der Stadt Waiblingen wird bisher noch wenig Bioenergie zur Beheizung eingesetzt. Neu in Betrieb ist eine Holzhackschnitzelanlage an der Friedenschule in Waiblingen-Neustadt. Die Anlage wird im Contracting von den Stadtwerken betrieben. Mit einer Wärmeleistung von 220 kW versorgt sie über eine Nahwärmeleitung die Grund- und Hauptschule, die Realschule und die Sporthalle. Durch die im Vergleich zu Erdgas günstigeren Brennstoffkosten erfolgt die CO_2-Minderung ohne zusätzliche Kosten.

Tabelle 3-5: Bioenergieanlagen in Gebäuden der Stadt Waiblingen

Standort	Leistung kW	Erzeugung / Jahr kWh	C02 Einsparung kg/a
Friedenschule Neustadt	220	640.000	170.667

Prognose der Erzeugung und CO_2-Einsparung

Eine weitere große Holzhackschnitzelanlagen in öffentlichen Gebäuden in Waiblingen ist im Kreisberufschulzentrum installiert.

3.4 Sonstiges

Die folgenden Anlagen nutzen ihre Energie nicht aus Erneuerbaren Energien. Sie sind hier ergänzend aufgeführt.

3.4.1 Energierückgewinnungsanlagen

Neben den Laufwasserkraftanlagen an der Rems ist am Alten Wasserturm eine Energierückgewinnungsanlage zur Druckreduzierung aus der Zuleitung der Fernwasserversorgung installiert. Die Anlage nutzt die zuvor durch elektrische Pumpen aufgebrachte Drucksteigerung, die anderenfalls vor dem Einströmen des Wassers in den Hochbehälter durch ein Drosselventil abgebaut werden muss.

Die Leistung der Anlage beträgt 20 kW. Durch die Energierückgewinnung werden 46.300 kWh Strom aus konventionellen Kraftwerken substituiert. Dadurch werden Emissionen von 29.678 $kg_{(CO2)}$ pro Jahr eingespart.

Tabelle 3-6: Energierückgewinnungsanlagen - Druckreduzierungsanlagen

Standort	Leistung kW	Erzeugung / Jahr kWh	C02 Einsparung kg/a
Waiblingen, Alter Wasserturm	20	46.300	29.678

Im Klärwerk wird die Wärme des Klärwassers in einer Wärmepumpe auf ein höheres Temperaturniveau gebracht und in das Fernwärmenetz eingespeist, das mehrere größere Gebäude der Stadt und anderer Nutzer mit Wärme versorgt.

Die Leistung der Anlage beträgt 560 kW. Durch die Wärmerückgewinnung werden rund 2.000.000 kWh Wärme aus fossilen Wärmeträgern ersetzt. Dadurch werden Emissionen von 175.000 $kg_{(CO2)}$ pro Jahr eingespart.

Tabelle 3-7: Energierückgewinnungsanlagen - Abwärmenutzung

Standort	Investitions-kosten €	Leistung thermisch kW	Energiemenge / Jahr kWh thermisch	C02 Einsparung kg/a	Kapitalkosten je kg C02-Einsparung ct/kg (C02)	Kapitalkosten je kWh ct/kWh
Kläranlage Waiblingen	105.000	560	2.000.000	174.891	3,00	0,26

3.4.2 Kraft-Wärme-Kopplung

Im Klärwerk ist ein mit Klärgas betriebenes Blockheizkraftwerk (BHKW) mit einer elektrischen Leistung von 110 kW und einer thermischen Leistung von 225 kW im Betrieb. Das BHKW speist die Wärme in das Fernwärmenetz der Stadtwerke, das mehrere größere Gebäude der Stadt und anderer Nutzer, wie z. B. Landratsamt, Kreiskrankenhaus, Bürgerzentrum, Hallenbad, Feuerwehr, Polizeidirektion, Marktdreieck und Rathaus versorgt. Auch neu gebaute Gebäude wie die Galerie Stihl Waiblingen sollen an die Fernwärmeversorgung angeschlossen werden. Der erzeugte Strom wird im Klärwerk verwendet und ersetzt dort Strom aus konventionellen Kraftwerken.

Durch die Wärmernutzung werden 1.022.727 kWh/a Wärme aus fossilen Wärmeträgern ersetzt. Die Stromerzeugung beträgt 500.000 kWh/a. Dadurch werden Emissionen von 192.722 $kg_{(CO2)}$ pro Jahr eingespart.

Drei Nahwärmenetze sind mit Erdgas betriebenen BHKW's ausgestattet. Das Größte BHKW mit einer elektrischen Leistung von 495 kW und einer thermischen Leistung von 560 kW ist im Wohngebiet Korber Höhe in Betrieb. Das Nahwärmenetz versorgt neben dem Wohngebiet Korber Höhe II auch einen Industriebetrieb in Korb mit Wärme. Die anderen zwei Anlagen arbeiten in den Schulzentren der Stadt und versorgen dort die Schulen und z. T. andere, nicht städtische Gebäude wie das Gebäude der Arbeitsagentur in der Mayenner Straße. Der Anschluss weiterer Gebäude auf der Korber Höhe, wie z. B. der Hochhäuser im Gebiet Korber Höhe I ist möglich.

Tabelle 3-8: Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen in Gebäuden der Stadt Waiblingen

Standort	Investitions-kosten €	Leistung elektrisch kW	Leistung thermisch kWh	Erzeugung / Jahr kWh elektrisch	Erzeugung / Jahr kWh thermisch	$C0_2$ Einsparung kg/a	Kapitalkosten je kg $C0_2$-Einsparung ct/kg ($C0_2$)
Kläranlage Waiblingen	110.000	110	225	500.000	1.023.000	192.700	2,85
Korber Höhe, Waiblingen		495	560	2.488.000	2.815.000	959.000	
Staufer Schule, Waiblingen	610.000	210	350	1.083.000	1.805.000	417.400	7,31
Salier Schule, Waiblingen	150.000	110	196	789.000	1.406.000	304.100	2,47
Kläranlage Hegnach		130	80	120.000	245.000	46.300	0,00
Bilanzsumme	870.000	1055	1411	4.980.000	7.294.000	1.919.500	

Die Kraft-Wärme-Kopplungs-Anlagen liefern im Jahr eine Energiemenge von 4.860.000 kWh an elektrischer und 9.940.909 kWh thermischer Energie. Durch die Substitution von Strom aus konventionellen Kraftwerken und Wärme aus Heizkessel werden dadurch Emissionen von 1.873.260 $kg_{(CO2)}$ pro Jahr eingespart.

Die Kapitalkosten je Kilogramm eingesparter CO_2-Emission liegen zwischen 2,47 und 7,31 Cent. Hinzu kommen Differenzkosten für den Kraftstoff sowie für Wartung und Betrieb.

4 Möglichkeiten zur Nutzung Erneuerbarer Energien

4.1 Solarenergie

Die Sonne ist die bedeutendste Quelle für erneuerbare Energie. Sie strahlt pro Jahr eine Energiemenge auf die Erde ab, die um mehr als 10.000 mal über dem Jahresenergieverbrauch liegt. In den gemäßigten Breiten liegt die Einstrahlung um das 80-fache über dem Bedarf an Primärenergie.

Die Gebäude der Stadt Waiblingen haben eine Dachfläche von insgesamt ca. 75.000 m². Die Fläche teilt sich in rund 37.000 m² Flachdach- und 35.000 m² Schrägdachfläche. Nicht alle dieser Flächen sind für die Solarenergie nutzbar. Durch ungünstige Ausrichtung der Schrägdächer, Verschattung oder Restriktionen auf Grund des Denkmalschutzes oder anderer Interessen reduziert sich die Fläche, die für die Nutzung der Solarenergie möglich ist auf ca. 17.000 m².

Die 300 Gebäude der Stadt Waiblingen gliedern sich in 6 Büro- und Verwaltungsgebäude, 22 Schulen und Schulsporthallen, 5 Bäder, 12 Sport- und Festhallen, 28 Kindergärten, 131 Wohngebäude, 3 Gaststätten, 15 Wohn- und Geschäftsgebäude und 64 Sonstige Gebäude wie Backhäuser, Buswartehäuschen, Technische Betriebsgebäude o. ä.

4.1.1 Thermische Solaranlagen

Basisinformation:

Bei der Solarthermie lassen sich zwei Nutzungsarten unterscheiden:

Sonnenkollektoren dienen der **aktiven Sonnenenergienutzung**. Sie sind hauptsächlich im Niedertemperaturbereich für die Warmwassererzeugung im Einsatz. Die einfachsten Typen sind Absorber, bei denen Wasser durch Schläuche oder schwarze Kunststoffmatten fließt, um z.B. Wasser für ein Freibad zu erwärmen. Die erzielbaren Temperaturen liegen bei ca. 20° über der Umgebungstemperatur. Höhere Brauchwassertemperaturen erhält man mit Flachkollektoren. Dies sind in einem gedämmten Gehäuse mit einer transparenten Abdeckung versehen. Ihr Wirkungsgrad liegt bei 50 bis 60 % und mit ihnen können Temperaturen von 60 bis 90 Grad erzielt werden. Höhere Wirkungsgrade erreichen Vakuumröhrenkollektoren, bei denen die Röhren in Anlehnung an das Prinzip der Thermoskanne durch ein Vakuum isoliert und somit die Wärmeverluste minimiert werden.

Eine weitere Möglichkeit ist die **passive Sonnenenergienutzung.** Indem ein Gebäude so konstruiert, dass es einen großen Anteil der Sonnenenergie aufnimmt und als Wärmestrahlung in das Gebäude abgibt, kann Heizenergie vermieden werden. Dazu ist eine günstige Orientierung des Gebäudes auf dem Grundstück, der Einsatz von Fenstern, Glasvorbauten, Trombewand, lichtdurchlässige Wärmedämmung und thermische Speicherelemente notwendig. Außerdem wird meist eine Regeleinrichtung nötig, um eine Überhitzung in den Sommermonaten zu verhindern.

Im Bezug auf die Nutzung aktiver und passiver Solarenergie kann die Stadt Waiblingen durch die Optimierung von Bebauungsplänen einwirken. Im neuen Baugebiet Galgenberg II wurde diese Möglichkeit wahr genommen.

Im Weiteren wird auf die passive Solarenergienutzung nicht weiter eingegangen.

Theoretisch sind alle Systeme der Warmwasserversorgung mit einem solarthermischen System nachrüstbar. Technische Einschränkungen sind durch die Eignung der zur Verfügung stehenden Dachflächen und der Warmwasserverteilung gegeben. Eine zentrale Warmwasserverteilung ist für den Betrieb einer thermischen Solaranlage erforderlich. In Wohngebäuden ist dies in ca. 60% aller Gebäude der Fall. Für diese Gebäude hat sich je nach Warmwasserbedarf eine Solaranlage in 10 bis 20 Jahren amortisiert. Die Zentralisierung einen bestehenden dezentralen Warmwasserverteilung erfordert einen hohen Aufwand beim Einbau einer Strangverteilung, der sich aus den energetischen Vorteilen der solaren Brauchwarmwassererwärmung heraus nicht allein rechnet. Mittel- bis langfristig ergeben sich Vorteile beim Instandsetzungsaufwand.

In Sporthallen und Schwimmbädern mit hohem Warmwasserverbrauch ist eine zentrale Warmwasserbereitung in der Regel vorhanden. Bei Büro-, Verwaltungs- und Schuleinrichtungen ist der Warmwasserbedarf meist gering, sodass sich bei einer umfangreichen Sanierung der Einsatz von Solarthermie nicht lohnt. Bei den letzt genannten sollte eher eine Dezentralisierung der WW-Bereitung erfolgen, um Zirkulationsverluste in den Strängen zu vermeiden.

Wird die Kollektorfläche auf dem Dach vergrößert und die Solarwärme in einem Pufferspeicher aufgefangen, kann die Solaranlage zur Heizungsunterstützung herangezogen werden. Mit diesen Anlagen kann dann in den Übergangsmonaten (Frühjahr und Herbst) zusätzlich die Heizung unterstützt und somit Heizenergie eingespart werden. Solaranlagen zur Heizungsunterstützung sind auf Grund des höheren Installationsaufwandes meist (noch) nicht wirtschaftlich.

Für die Energieversorgung von Wohnsiedlungen wurden in den vergangenen Jahren Konzepte für die Nutzung solarthermischer Energie in Nahwärmesystemen entwickelt. Solar unterstützte Nahwärmeversorgung kommt vorrangig bei der Planung von Neubaugebieten in Frage. Wichtig ist ein von Anfang an abgestimmtes integrales Konzept, das sowohl den verbesserten Wärmeschutz der Gebäude als auch die energieeffiziente Wärmeerzeugung und -verteilung umfasst.

Der Ausbau der thermischen Nutzung Solarenergie verlangsamte sich in den letzten Jahren etwas. Waren die Wachstumsquoten Anfang des Jahrhunderts noch bei fast 50%, sind sie auf Werte zwischen 10 und 20% gesunken. Die Endenergie, die aus thermischen Solaranlagen gewonnen wird, liegen bei 4.500 GWh.

Potenzial:

Die thermische Nutzung der Sonnenenergie zur Warmwasserbereitung ist für Sporthallen, Bäder, Wohngebäude, Gaststätten und Wohn- und Geschäftsgebäude interessant. Auch einige Betriebe mit Warmwasserbedarf sind dafür geeignet. In Schulen, Büro- und Verwaltungsgebäuden und Kindergärten ist der Warmwasserbedarf zu gering, der einen wirtschaftlichen Betrieb einer thermischen Solaranlage ermöglicht. Allenfalls Schulen mit integrierten Sporthallen kommen noch in Betracht.

Für die Solarenergienutzung kommen insgesamt 172 Gebäude - mehrheitlich Wohngebäude - in Betracht. Allein in den Wohngebäuden kann eine Kollektorfläche von rund 740 m² installiert werden. Die dafür erforderlichen Installationskosten betragen ca. 740.000 €. Ein weiteres großes Potenzial bergen die Bäder, Sporthallen, technische Betriebe mit Warmwasserbedarf sowie Gaststätten. Die installierbare Kollektor- und Absorberfläche erreicht rund 720 m² mit Kosten in Höhe von rund 580.000 €.

Die folgende Tabelle zeigt die Gebäude mit den größten zu installierenden Kollektorflächen:

Tabelle 4-1: Potenziale für thermische Solaranlagen auf Gebäuden der Stadt Waiblingen

Nutzung	Gebäude	Kollektorfläche	Ertrag	CO2-Einsparung
Hallenbad	Hallenbad Waiblingen	200,00 m²	100.000 kWh/a	30.000 kg/a
Turnhalle	Staufer Gymnasium Turnhalle	50,00 m²	7.500 kWh/a	2.250 kg/a
Sporthalle	Staufer Realschule Sporthalle	50,00 m²	7.500 kWh/a	2.250 kg/a
Lehrschwimmbad	Lehrschwimmbad Bittenfeld	50,00 m²	25.000 kWh/a	7.500 kg/a
Hallenbad und Jugendtreff	Hallenbad Hegnach	50,00 m²	25.000 kWh/a	7.500 kg/a
Sporthalle	Rundsporthalle	50,00 m²	7.500 kWh/a	2.250 kg/a
Sporthalle	Salier Turnhalle	50,00 m²	7.500 kWh/a	2.250 kg/a
Sporthalle	Salier Sporthalle	50,00 m²	7.500 kWh/a	2.250 kg/a
Sporthalle	Staufer Sporthalle	50,00 m²	7.500 kWh/a	2.250 kg/a
Grund- u. Hauptschule, Turnh., Whg	Wolfgang-Zacher Schule	30,00 m²	4.500 kWh/a	1.350 kg/a
Sport- und Festhalle, Vereinsheim	Hartwaldhalle Hegnach	30,00 m²	4.500 kWh/a	1.350 kg/a
Sporthalle	Turnhalle Burgschule Hegnach	20,00 m²	3.000 kWh/a	900 kg/a
Veranstaltungen	Bürgerzentrum Waiblingen	10,00 m²	1.500 kWh/a	450 kg/a
Bauhof	Techn. Betriebshof Waiblingen	10,00 m²	2.000 kWh/a	600 kg/a
Altenbetreutes Wohnen	Gebäude Beinsteinerstr. 73	10,00 m²	3.000 kWh/a	900 kg/a
Seniorenzentrum	Gebäude Blumenstr. 11 (Seniorenzentrum)	10,00 m²	3.000 kWh/a	900 kg/a
Asylantenunterkunft	Gebäude Schärisweg 10	10,00 m²	3.000 kWh/a	900 kg/a
Stadtgärtnerei	Stadtgärtnerei Waiblingen	6,00 m²	900 kWh/a	270 kg/a
Asylbewerberunterkunft	Gebäude Waldmühleweg 11	6,00 m²	1.800 kWh/a	540 kg/a
Asylbewerberunterkunft	Gebäude Großheppacherstr. 5	6,00 m²	1.800 kWh/a	540 kg/a
Asylantenunterkunft	Gebäude Schickhardtstr. 29	6,00 m²	1.800 kWh/a	540 kg/a
Stadteigene Wohngebäude	diverse	740,00 m²	222.000 kWh/a	66.600 kg/a
		1494,00 m²	447.800 kWh/a	134.340 kg/a

Die mit den thermischen Solaranlagen erzielbaren Energieeinsparung liegen je nach Auslegung und Nutzung zwischen 150 kWh/(m²·a) und 500 kWh/(m²·a). Insgesamt können durch die gesamten potenziellen Solarthermieanlagen rund 450 MWh/a eingespart werden. Das CO_2-Reduktionspotenzial beträgt ca. 135 t/a.

Bei einem durchschnittlichen Energiepreis von 60 €/MWh berechnet sich die Energiekosteneinsparung auf 27.000 €/a. Dem stehen Kapitalkosten in Höhe von 66.000 €/a entgegen. Die resultierende CO_2-Minderungskosten liegen bei 28,9 ct/$kg_{(CO2)}$.

Auf die von der Stadt Waiblingen genutzten Gebäuden können Solaranlagen mit einer Kollektorfläche von ca. 700 m² installiert werden. Damit sind Endenergieeinsparungen von 210 MW/a und Primärenergieeinsparungen von rund 250 MWh/a möglich. Dies entspricht ca. 1% des Endenergiebedarfes der städtisch genutzten Gebäude. Um das Ziel aus dem Stadtentwicklungsplan zur Erzeugung von 20% der Primärenergie der von der Stadt bewirtschafteten Gebäude aus erneuerbaren Energien zu decken, werden rund 7.450 MWh/a benötigt.

Tabelle 4-2: Potenziale für thermische Solaranlagen auf Hallen und Bäder

Nutzung	Gebäude	Kollektorfläche	Ertrag	CO2-Einsparung
Hallenbad	Hallenbad Waiblingen	200,00 m²	100 MW	30000 kg CO2
Bauhof	Techn. Betriebshof Waiblingen	10,00 m²	2 MW	600 kg CO2
Grund- u. Hauptschule, Turnh., Whg	Wolfgang-Zacher Schule	30,00 m²	5 MW	1350 kg CO2
Hallenbad und Jugendtreff	Hallenbad Hegnach	50,00 m²	25 MW	7500 kg CO2
Lehrschwimmbad	Lehrschwimmbad Bittenfeld	50,00 m²	25 MW	7500 kg CO2
Sport- und Festhalle, Vereinsheim	Hartwaldhalle Hegnach	30,00 m²	5 MW	1350 kg CO2
Sporthalle	Staufer Realschule Sporthalle	50,00 m²	8 MW	2250 kg CO2
Sporthalle	Rundsporthalle	50,00 m²	8 MW	2250 kg CO2
Sporthalle	Salier Turnhalle	50,00 m²	8 MW	2250 kg CO2
Sporthalle	Salier Sporthalle	50,00 m²	8 MW	2250 kg CO2
Sporthalle	Staufer Sporthalle	50,00 m²	8 MW	2250 kg CO2
Sporthalle	Turnhalle Burgschule Hegnach	20,00 m²	3 MW	900 kg CO2
Stadtgärtnerei	Stadtgärtnerei Waiblingen	6,00 m²	1 MW	270 kg CO2
Turnhalle	Staufer Gymnasium Turnhalle	50,00 m²	8 MW	2250 kg CO2
		696,00 m²	210 MW	62970 kg CO2

Bei einem durchschnittlichen Energiepreis von 60 €/MWh berechnet sich die Energiekosteneinsparung auf 12.700 €/a. Dem stehen Kapitalkosten in Höhe von rund 30.000 €/a entgegen.

4.1.2 Fotovoltaische Solaranlagen

Basisinformation:

Eine weitere der Möglichkeiten zur Nutzung der Sonnenenergie ist die Fotovoltaik. Fotovoltaik ist eine Technik, die die direkte und die diffuse Sonneneinstrahlung zur Erzeugung von Strom nutzt. Die Anlagengröße kann sehr variieren von wenigen Watt energieautarker Geräte über 2 bis 50 kW auf Hausdächern bis zu einigen Megawatt auf Freiflächen. Die Kosten für die Produktion einer Kilowattstunde Strom liegen zwischen 30 und 80 Cent.

Das Kernstück einer Fotovoltaikanlage sind die Solarzellen, die sowohl direktes als auch diffuses Sonnenlicht aufgrund des Fotoeffektes in Strom umwandeln. Mit Hilfe verschiedener elektrischer Schaltungen wird die Anlage geregelt. Der Gleichstrom wird mit Hilfe von Wechselrichtern in Wechselstrom überführt und kann in Netz eingespeist werden. Ein Zähler ermittelt die produzierte Strommenge.

Die Nutzung der Fotovoltaik als erneuerbare Energiequelle entwickelt sich rasant. Wurden 1990 nur ca. 1 GWh Endenergie gewonnen, so liegt sie heute bei über 2.000 GWh.

Wenn der Solarstrom in das Stromnetz eingespeist wird, muss er vom Energieversorger nach dem Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) 20 Jahre lang mit einem Grundbetrag von derzeit 49,21 ct/kW vergütet werden.

Potenzial:

Die nutzbare Dachfläche für die Solarenergie, die nicht für thermische Solarkollektoren benötigt wird, steht als Potenzial für die Installation von Fotovoltaikanlagen zur Verfügung. Die potenzielle Installationsfläche liegt bei ca. 15000 m². Die installierbare Leistung beträgt ca. 1.700 kWp.

Die dafür erforderlichen Installationskosten betragen ca. 7.650.000 €. Die jährlichen Kapitalkosten in 20 Jahren betragen ohne Kapitalverzinsung 382.500 €/a.

Die mit den Fotovoltaikanlagen erzeugbaren Strommenge beträgt rund 1.530 MWh/a. Dies entsprich 35,8% der in städtisch genutzten Gebäuden verbrauchten Strommenge.

Die auf die erzeugte Strommenge bezogenen Kapitalkosten betragen 25,0 ct/kWh.

Das CO_2-Reduktionspotenzial beträgt ca. 980 t/a. Durch die Vergütung nach dem Erneuerbaren-Energien-Gesetz sind Fotovoltaikanlagen meist kostendeckend zu betreiben. CO_2-Minderungskosten fallen daher für den Betreiber nicht an. Die Kapitalkosten pro Kilogramm CO_2-Einsparung liegen bei 39,0 ct/$kg_{(CO2)}$.

Bei einer Vergütung von durchschnittlich 40 ct/kWh berechnen sich die Erlöse für den Fotovoltaikstrom auf 612.000 €/a.

Auf den nachfolgende Tabelle zeigt die Gebäude mit den größten Fotovoltaikflächen auf. Die Gesamtleistung dieser Anlagen liegt bei über 1.400 kW_p. Die Stromertragsmenge von ca. 1.300 MWh/a entspricht in etwa dem Zielwert des Stadtentwicklungs-

plan zur Erzeugung von 30% der Energie für den Stromverbrauch der von der Stadt bewirtschafteten Gebäude aus erneuerbaren Energien.

Bei einigen Gebäuden sind noch Vorarbeiten notwendig, um eine Solaranlage montieren zu können. So sollten Dachflächen in einem guten Zustand sein und in den nächsten 20 Jahren keine Sanierungsarbeiten anstehen. Auch sind u. U. statische Ertüchtigungen notwendig.

Tabelle 4-3: Potenzial für Fotovoltaikanlagen auf Gebäuden der Stadt Waiblingen

Gebäude	Dachflächenbez.	Leistung	Ertrag	CO2-Einsparung
Salier Grund- und Hauptschule	BA I und II	62 kWp	55.800 kWh/a	35.154 kg/a
Fabrikgebäude Roller	Dachfläche NW	53 kWp	47.700 kWh/a	30.051 kg/a
Salier Realschule	Hauptgebäude FD	48 kWp	43.200 kWh/a	27.216 kg/a
Fabrikgebäude Roller	Dachfläche Nordost	47 kWp	42.300 kWh/a	26.649 kg/a
Salier Sporthalle		46 kWp	41.400 kWh/a	26.082 kg/a
Burgschule Hegnach		38 kWp	34.200 kWh/a	21.546 kg/a
Staufer Gymnasium Turnhalle		37 kWp	33.300 kWh/a	20.979 kg/a
Staufer Realschule		37 kWp	33.300 kWh/a	20.979 kg/a
Salier Gymnasium	Hauptgeb. Nord FD	35 kWp	31.500 kWh/a	19.845 kg/a
Salier Gymnasium	Nebengeb. Süd FD	33 kWp	29.700 kWh/a	18.711 kg/a
Schillerschule Bittenfeld		33 kWp	29.700 kWh/a	18.711 kg/a
Staufer Realschule Sporthalle		31 kWp	27.900 kWh/a	17.577 kg/a
Staufer Gymnasium	Altbau SD	31 kWp	27.900 kWh/a	17.577 kg/a
Fabrikgebäude Roller	Dachfläche Südwest	31 kWp	27.900 kWh/a	17.577 kg/a
Salier Turnhalle		30 kWp	27.000 kWh/a	17.010 kg/a
Karolinger Grundschule	Hauptgebäude SD	29 kWp	26.100 kWh/a	16.443 kg/a
Salier Realschule	Nebengebäude Süd FD	28 kWp	25.200 kWh/a	15.876 kg/a
Lindenschule Hohenacker		27 kWp	24.300 kWh/a	15.309 kg/a
Begegnungsstätte im Mikro-Zentrum		26 kWp	23.400 kWh/a	14.742 kg/a
Comeniusschule	Nebengebäude SD	24 kWp	21.600 kWh/a	13.608 kg/a
Sporthalle Neustadt		24 kWp	21.600 kWh/a	13.608 kg/a
Lehrschwimmbad Bittenfeld		23 kWp	20.700 kWh/a	13.041 kg/a
Feuerwehr Waiblingen		22 kWp	19.800 kWh/a	12.474 kg/a
Grundschulförderklasse	Hauptgebäude SD	21 kWp	18.900 kWh/a	11.907 kg/a
Staufer Gymnasium	Neubau FD	21 kWp	18.900 kWh/a	11.907 kg/a
Staufer Sporthalle	Gymnasium	21 kWp	18.900 kWh/a	11.907 kg/a
Staufer Gymnasium	Altbau SD	19 kWp	17.100 kWh/a	10.773 kg/a
Rathaus Waiblingen	Hauptgeb. SD	18 kWp	16.200 kWh/a	10.206 kg/a
Salier Gymnasium	Hauptgeb. Mitte FD	18 kWp	16.200 kWh/a	10.206 kg/a
Salier Gymnasium	Unterstufengeb.Nord FD	18 kWp	16.200 kWh/a	10.206 kg/a
Salier Gymnasium	Unterstufengeb. Süd FD	18 kWp	16.200 kWh/a	10.206 kg/a
Salier Gymnasium	Hauptgeb. Süd FD	17 kWp	15.300 kWh/a	9.639 kg/a
Staufer Sporthalle	Realschule	17 kWp	15.300 kWh/a	9.639 kg/a
Mehrzweckhalle Beinstein		17 kWp	15.300 kWh/a	9.639 kg/a
Kernzeitenbetreuung GHS	Musiksaal PD	16 kWp	14.400 kWh/a	9.072 kg/a
Kernzeitenbetreuung GHS	PD Ost	16 kWp	14.400 kWh/a	9.072 kg/a
Rathaus Neustadt	Dachfläche Süd	16 kWp	14.400 kWh/a	9.072 kg/a
Gemeindehalle Neustadt		16 kWp	14.400 kWh/a	9.072 kg/a
Realschule Neustadt		15 kWp	13.500 kWh/a	8.505 kg/a
Wolfgang-Zacher Schule	Flachdach Ost	14 kWp	12.600 kWh/a	7.938 kg/a
Mehrzweckhalle Beinstein		13 kWp	11.700 kWh/a	7.371 kg/a
Grundschule Beinstein		12 kWp	10.800 kWh/a	6.804 kg/a
Hartwaldhalle Hegnach		12 kWp	10.800 kWh/a	6.804 kg/a
Salier Realschule	Nebengebäude Ost	11 kWp	9.900 kWh/a	6.237 kg/a
Techn. Betriebshof Waiblingen	Sozialgebäude	11 kWp	9.900 kWh/a	6.237 kg/a
Hallenbad Hegnach		11 kWp	9.900 kWh/a	6.237 kg/a
Rathaus Neustadt	Dachfläche Mitte	11 kWp	9.900 kWh/a	6.237 kg/a
Gebäude Starenweg 10 und 14		11 kWp	9.900 kWh/a	6.237 kg/a
Gebäude Starenweg 10 und 14		11 kWp	9.900 kWh/a	6.237 kg/a
Karolinger Hauptschule	Flachdach Anbau W	10 kWp	9.000 kWh/a	5.670 kg/a
Schwanen, Winnenderstr. 4		10 kWp	9.000 kWh/a	5.670 kg/a
Feuerwehrgerätehaus Bittenfeld		10 kWp	9.000 kWh/a	5.670 kg/a
Burgschule Hegnach		10 kWp	9.000 kWh/a	5.670 kg/a
Turnhalle Burgschule Hegnach	Hallendach	10 kWp	9.000 kWh/a	5.670 kg/a
Realschule Neustadt		10 kWp	9.000 kWh/a	5.670 kg/a
Kelter Neustadt		10 kWp	9.000 kWh/a	5.670 kg/a
Gebäude Blumenstr. 11	Dachfläche West	9 kWp	8.100 kWh/a	5.103 kg/a
Feuerwehr Hohenacker		9 kWp	8.100 kWh/a	5.103 kg/a

Gebäude	Dachflächenbez.	Leistung	Ertrag	CO2-Einsparung
Friedensschule Neustadt	Pavillon A	9 kWp	8.100 kWh/a	5.103 kg/a
Friedensschule Neustadt	Pavillon B	9 kWp	8.100 kWh/a	5.103 kg/a
Friedensschule Neustadt	Pavillon C	9 kWp	8.100 kWh/a	5.103 kg/a
Bürgerzentrum Waiblingen	Kupferdach Nord	8 kWp	7.200 kWh/a	4.536 kg/a
Bürgerzentrum Waiblingen	Flachdach	8 kWp	7.200 kWh/a	4.536 kg/a
Gebäude Blumenstr. 11	Dachfläche Ost	8 kWp	7.200 kWh/a	4.536 kg/a
Gebäude Falkenstr. 15		8 kWp	7.200 kWh/a	4.536 kg/a
Gebäude Hasenweg 10		8 kWp	7.200 kWh/a	4.536 kg/a
Wolfgang-Zacher Schule	Turnhalle (FD West)	7 kWp	6.300 kWh/a	3.969 kg/a
Rathaus Hegnach		7 kWp	6.300 kWh/a	3.969 kg/a
Turnhalle Burgschule Hegnach	Umkleiden	7 kWp	6.300 kWh/a	3.969 kg/a
Rathaus Neustadt	Dachfläche Nord	7 kWp	6.300 kWh/a	3.969 kg/a
Rathaus Waiblingen	Überdachung FD	6 kWp	5.400 kWh/a	3.402 kg/a
Staufer Gymnasium	Zwischenbau FD	6 kWp	5.400 kWh/a	3.402 kg/a
Stadtgärtnerei Waiblingen		6 kWp	5.400 kWh/a	3.402 kg/a
Kindergarten Im Burgmäuerle		6 kWp	5.400 kWh/a	3.402 kg/a
Bürgerhaus Hohenacker		6 kWp	5.400 kWh/a	3.402 kg/a
Kindergarten Bangertstraße		6 kWp	5.400 kWh/a	3.402 kg/a
Rinnenäckerschule	Halle	5 kWp	4.500 kWh/a	2.835 kg/a
Feuerwehrgerätehaus Beinstein		5 kWp	4.500 kWh/a	2.835 kg/a
		1425 kWp	1.283 MWh/a	807.975 kg/a

4.2 Windkraft

Basisinformation:

Wind geht wie die meisten anderen regenerativen Energien auf die Sonneneinstrahlung zurück. Die Sonne erwärmt Land und Meer sowie die darüber liegenden Luftschichten stark. Diese Erwärmung führt zur Ausdehnung der Luft und damit zu unterschiedlicher Luftdichte und unterschiedlichem Luftdruck. Zwischen den unterschiedlichen Zonen entsteht Wind als Ausgleichsströmung, dessen Strömung noch von der Erdrotation und andere Faktoren beeinflusst wird.

Windkraftwerke nutzen die Bewegungsenergie des Windes, der einen Rotor in Bewegung setzt. Der Rotor dreht über eine Welle einen Generator, der Strom erzeugt. Der Leistungsbereich der Windkraftanlagen liegt derzeit zwischen 0,05 kW bis 3 MW je Anlage, einzelne Anlagen gehen auch darüber hinaus. Die Kosten für die Produktion einer Kilowattstunde Strom liegen zwischen 5,5 und 13 ct/kWh. Für einen Standort für Windkraftanlagen sind mittlere Windgeschwindigkeiten über 5 m/s wirtschaftlich. In Deutschland sind die Gegenden mit diesen Verhältnissen vor allem an den Küsten und auch auf Bergkuppen anzutreffen.

Windenergie ist aufgrund einer gezielten Förderpolitik der Bundesregierung die sich derzeit am schnellsten entwickelnde erneuerbare Energie in Deutschland. Ihr Anteil an der Stromproduktion betrug 2006 ca. 5,7%, die installierte Leistung lag bei ca. 20.600 MW.

Durch politische und administrative Hindernisse entwickelt sich die Windenergie in Baden-Württemberg schlechter als in anderen Bundesländern. Mit 330 MW ist Baden-Württemberg schlusslicht unter den Flächenländern. Das Landesplanungsgesetz sieht lediglich in so genannten Vorranggebieten Standorte für regionalbedeutsame Windkraftanlagen vor. In allen anderen Bereichen sind diese unzulässig.

Potenzial:

Da die Gemeindeflächen von Waiblingen nicht in einem Vorranggebiet liegen, ist für Waiblingen ist die Nutzung von Windenergie nicht relevant. Allenfalls ist die Investition in Windenergieanlagen an anderen Standorten möglich.

4.3 Wasserkraft

Basisinformation:

Nach der Biomasse ist Wasserkraft weltweit gesehen die derzeit wichtigste erneuerbare Energiequelle, da ca. 18% des weltweit erzeugten Stroms aus Wasserkraftwerken stammt. Ein hoher Anteil an Wasserkraft bei der Stromerzeugung ist in Gebirgsregionen möglich, wo Wasser mit hoher Strömungsgeschwindigkeit und großen Höhendifferenzen zur Verfügung steht. In der Bundesrepublik betrug die installierte Leistung ca. 4.620 MW. Der Anteil Wasserkraft an der Stromproduktion beläuft sich auf ca. 3,5%. Die Kosten für die Produktion einer Kilowattstunde liegen in Großanlagen zwischen 3 und 10 ct/kWh. Damit ist die Wasserkraft eine der kostengünstigsten Möglichkeiten zur Produktion von Strom.

Bei der Nutzung der Wasserkraft wird zwischen Laufwasserkraftwerken, die in Flüssen angelegt und Speicherwasserkraftwerken, die mittels Staudämmen große Wassermengen aufspeichern, unterschieden. Laufwasserkraftwerke werden an Strömen errichtet, wo die große Wassermenge die vergleichsweise geringe Fallhöhe ausgleicht. In Deutschland ist in weiten Bereichen die großtechnische Nutzung der Wasserkraft ausgereizt. Nur für Kleinwasserkraftwerke besteht noch ein Ausbaupotential.

Potenzial:

In Waiblingen wird Wasserkraft in vier Laufwasserkraftwerken an der Rems genutzt. Das Potenzial der Rems im Bereich der Stadt Waiblingen für zusätzliche Anlagen ist nach Aussagen der Stadtwerke weitgehend erschöpft. Eine Erneuerung und Vergrößerung bestehender Anlagen (Repowering) muss separat untersucht werden.

4.4 Bioenergie

Basisinformation:

Bevor sich die Nutzung der fossilen Energieträger Kohle, Erdöl und Erdgas durchsetzte, war die Biomasse die wichtigste Energiequelle. Biomasse zählt zu den erneuerbaren Energien, da bei ihrer Verbrennung nur soviel Kohlendioxid entsteht, wie die Pflanzen der Luft zuvor entnommen haben. Die Nutzung der Biomasse stellt also nur einen Umweg des Kohlenstoffkreislaufs dar, der ansonsten durch die natürliche Zersetzung geschlossen würde. Als Biomasse zur Energieerzeugung kann vieles eingesetzt werden wie z.B. Holz, Stroh, Zucker- und Stärkepflanzen, Ölpflanzen, organische Reststoffe oder Bioabfall.

Die klassische Form der Nutzung von Biomasse ist die Verbrennung z.B. zur Beheizung. Die Leistungen der Verbrennungsanlagen sind sehr unterschiedlich und können zwischen 1 kW bis zu 50 MW liegen. Mit Anlagen, die z.B. Holzpellets oder -hackschnitzel verwenden, können Gebäude automatisiert beheizt werden.

Biogene Brennstoffe zur Wärmeerzeugung stellen mit ca. 50% den größten Anteil der erneuerbaren Energien in Deutschland. Hierzu kommen noch ca. 6 % Biodiesel sowie ca. 6,2 % biogene Brennstoffe zur Erzeugung von Strom, so dass Biomasse ca. 62 % der erneuerbaren Energien bereitstellt. Der Anteil an der Wärmebereitstellung (Endenergieverbrauch) beläuft sich auf ca. 3,5%.

Festbrennstoffe sind die am häufigsten eingesetzten biogenen Brennstoffe. Genutzt wird hauptsächlich Holz in Form von Scheitholz, Hackschnitzeln, Hobelspänen, Sägemehl und Holzstaub.

Für die Verbrennung genutzt wird Schwach- bzw. Durchforstungsholz, das der Markt nicht gewinnbringend vergütet, das aus Gründen der Waldpflege und -gesundheit aber entnommen werden sollte. In den vergangenen 20 Jahren wurden nur etwa 70 % des tatsächlichen Holzzuwachses genutzt. Die verstärkte Entnahme von Holz zur energetischen Nutzung tastet das strenge forstwirtschaftliche Gesetz der Nachhaltigkeit nicht an.

Die Kosten für die Produktion von Wärme aus Biomasse liegen bei 1 bis 10 ct/kWh, für Strom zwischen 5 und 30 ct/kWh.

4.4.1 Holzhackschnitzel

Basisinformation:

Holzhackschnitzel werden mit Hilfe eines Hackers aus Rest- und Schwachholz produziert, zum Beispiel aus den Teilen eines Baumes, die sich nicht für die Nutzholzproduktion eignen. Eine möglichst einheitliche Größe der Hackschnitzel und ein geringer Wassergehalt sind Voraussetzungen für den problemlosen Einsatz in den Heizanlagen. Das verwendete Feuerungssystem sollte an die Eigenschaften der Hackschnitzel, wie beispielsweise Größe, Wassergehalt und Feinanteil, angepasst werden.

Hackschnitzelfeuerungen sind heute technisch ausgereift und stehen Öl- und Gasfeuerungen bezüglich Heizkomfort in nichts nach. Angeboten werden derzeit vor allem Einschub-, Unterschub- und Rostfeuerungen. Es handelt sich dabei sämtlich um automatisch beschickte Systeme.

Für die Lagerung von Holzhackschnitzel muss auch die Transportlogistik berücksichtigen. Es ist meist nicht zweckmäßig, den vollständigen Jahresbedarf einzulagern. Lange Lagerzeiten führen zu Energieverlusten durch biologischen Abbau.

Das Brennstofflager sollte möglichst direkt an den Heizungsraum angrenzen, Über das so genannte Austragungs- und Fördersystem wird die Hackschnitzelfeuerung automatisch mit dem Brennstoff beschickt. Es empfiehlt sich, die Belieferung vor Planung und Bau der Anlage abzuklären und entsprechend abzustimmen.

Potenzial:

Große Holzhackschnitzelanlage eignen sich besonders für Gebäude mit hohem Wärmebedarf für die Heizung wie z. B. Schulzentren und Hallenbäder. Auch Nahwärmeanlagen kommen in Betracht. Kleinere Anlagen mit ca. 100 kW Leistung können auch in größeren Mehrfamilienhäusern installiert werden.

Nachfolgend die großen Wärmeverbraucher, die für Holzhackschnitzelanlagen interessant sind:

- Rathaus Waiblingen
- Rathaus Neustadt
- Wolfgang-Zacher Schule
- Staufer-Schulzentrum
- Schillerschule Bittenfeld

- Salier-Schulzentrum
- Lindenschule Hohenacker
- Friedensschule Neustadt
- Comeniusschule
- Hallenbad Waiblingen
- Hallenbad Neustadt
- Rundsporthalle
- Mehrzweckhalle Beinstein
- Gemeindehalle Hohenacker
- Techn. Betriebshof Waiblingen
- Bürgerzentrum Waiblingen

Die Gebäude haben einen Wärmebedarf von rund 13.650.000 kWh/a. Bei einer Grundlastauslegung der Holzhackschnitzelanlage von 20% - 50% des Wärmebedarfs wird eine Deckung von 60% - 80% der Wärme durch Holzhackschnitzel erreicht. Damit berechnet sich die Primärenergieeinsparung auf 12.178 MWh/a und das CO_2-Reduktionspotenzial auf ca. 2.225 t/a.

Einige der Gebäude werden heute mit Nah- oder Fernwärme versorgt. Bei der Installation einer Holzhackschnitzelanlage zur Nah- oder Fernwärme tritt diese in Konkurrenz zu den bestehenden Wärmeversorgungsanlagen wie z. B. zu den Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen im Staufer- und Salier-Schulzentrum. Dadurch kann der wirtschaftliche Betrieb der Anlagen gefährdet werden. Dies ist im Einzelfall näher zu betrachten.

Tabelle 4-4: Potenziale für Holzhackschnitzelanlagen in Gebäuden der Stadt Waiblingen

Gebäude	Endenergie-einsparung	Primärenergie-einsparung	CO2-Einsparung
Rathaus Waiblingen	420.000 kWh/a	525.000 kWh/a	84 t/a
Rathaus Neustadt	263.200 kWh/a	315.840 kWh/a	63 t/a
Wolfgang-Zacher Schule	477.400 kWh/a	572.880 kWh/a	115 t/a
Staufer Realschule	429.800 kWh/a	537.250 kWh/a	86 t/a
Staufer Gymnasium	478.100 kWh/a	597.625 kWh/a	96 t/a
Schillerschule Bittenfeld	527.100 kWh/a	632.520 kWh/a	127 t/a
Salier Realschule	342.300 kWh/a	427.875 kWh/a	68 t/a
Salier Gymnasium	959.000 kWh/a	1.198.750 kWh/a	192 t/a
Salier Grund- und Hauptschule	266.000 kWh/a	332.500 kWh/a	53 t/a
Lindenschule Hohenacker	253.400 kWh/a	304.080 kWh/a	61 t/a
Friedensschule Neustadt	297.500 kWh/a	357.000 kWh/a	71 t/a
Comeniusschule	287.700 kWh/a	359.625 kWh/a	58 t/a
Realschule Neustadt	292.600 kWh/a	790.020 kWh/a	187 t/a
Hallenbad Waiblingen	1.922.200 kWh/a	2.402.750 kWh/a	384 t/a
Hallenbad Neustadt	506.800 kWh/a	608.160 kWh/a	122 t/a
Rundsporthalle	450.800 kWh/a	540.960 kWh/a	144 t/a
Mehrzweckhalle Beinstein	319.200 kWh/a	383.040 kWh/a	77 t/a
Gemeindehalle Hohenacker	291.200 kWh/a	349.440 kWh/a	70 t/a
Techn. Betriebshof Waiblingen	350.000 kWh/a	420.000 kWh/a	84 t/a
Bürgerzentrum Waiblingen	417.900 kWh/a	522.375 kWh/a	84 t/a
	9.552 MWh/a	12.177.690 kWh/a	2.225 t/a

Die Primärenergieeinsparung von 12.178 MWh/a übertrifft um das 1,6-Fache den Zielwert des Stadtentwicklungsplan zur Erzeugung von 20% des Primärenergieverbrauchs der von der Stadt bewirtschafteten Gebäude aus erneuerbaren Energien.

Die für die Anlagenerrichtung notwendigen Investitionskosten liegen bei rund 3.000.000 €. Bei einer mittleren Anlagenlebensdauer von 15 Jahren betragen die Kapitalkosten 200.000 €/a. Die aus den Kapitalkosten resultierende CO_2-Minderungskosten liegen bei 89,4 €/$t_{(CO2)}$. bzw. 8,94 ct/$kg_{(CO2)}$.

In der Friedensschule ist bereits eine Biomasseanlage in Betrieb. Einige der Gebäude sind schon in Nah- bzw. Fernwärmenetze angeschlossen. Hier ist eine Einbindung eines Holzhackschnitzelkessels in die Wärmeerzeugung möglich. Beim Einsatz von Blockheizkraftwerken geht dies allerdings auf Kosten der Wirtschaftlichkeit dieser Anlagen.

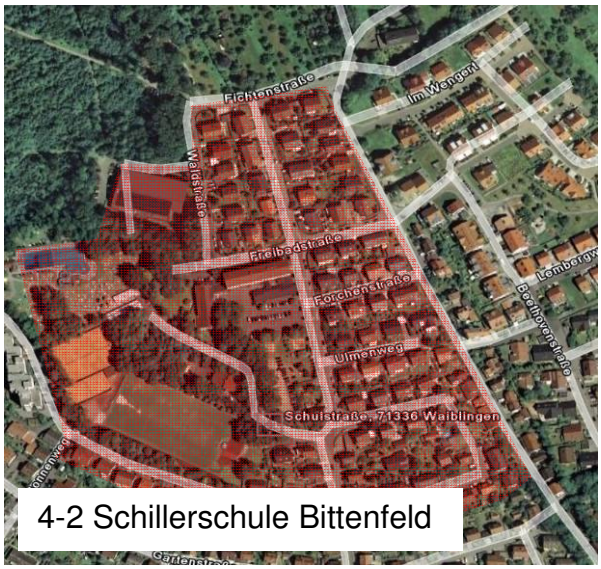
Weiter ist es möglich, Nahwärmenetze an die Wärmeerzeugung öffentlicher Gebäude anzuschließen und damit Wohngebiete zu versorgen. Dafür kommen beispielsweise folgende Gebäude und Wohngebiete in Frage:

- Wolfgang-Zacher Schule mit Wohngebiet Wasserstube
- Schillerschule Bittenfeld mit Schillerstraße und Querstraßen
- Rinnenäckerschule mit Wohngebiet Rinnenäcker
- Comeniusschule mit Wohngebiet
- Burgschule Hegnach mit Wohngebiet
- Techn. Betriebshof Waiblingen mit Wohngebiet
- Stadtgärtnerei Waiblingen mit Wohngebiet Röte

Der in den gewachsenen Wohngebieten permanent vorhandene Sanierungsbedarf von Heizungsanlagen kann genutzt werden, Nahwärmenetze auf Grundlage Erneuerbarer Energien zu installieren.

Abbildungen 4-1 und 4-3: Potenzielle Nahwärmegebiete für den Einsatz von Holzhackschnitzelanlagen

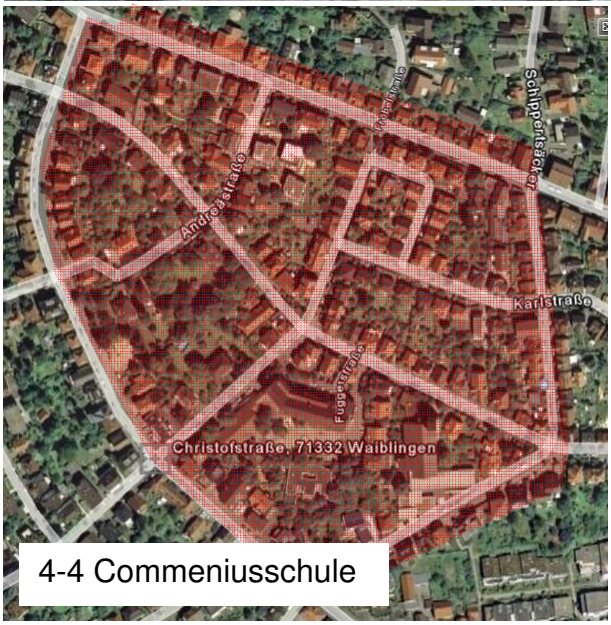
4-1 Wolfgang-Zacher-Schule



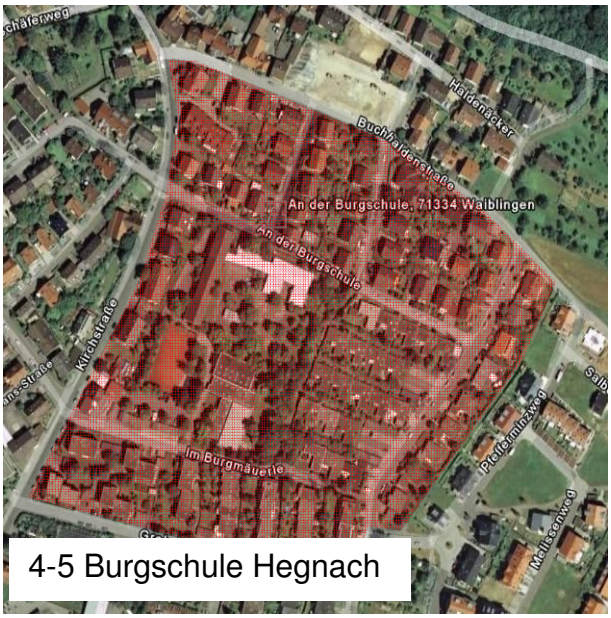
4-2 Schillerschule Bittenfeld

Abbildungen 4-4 – 4-7: Potenzielle Nahwärmegebiete für den Einsatz von Holzhackschnitzelanlagen

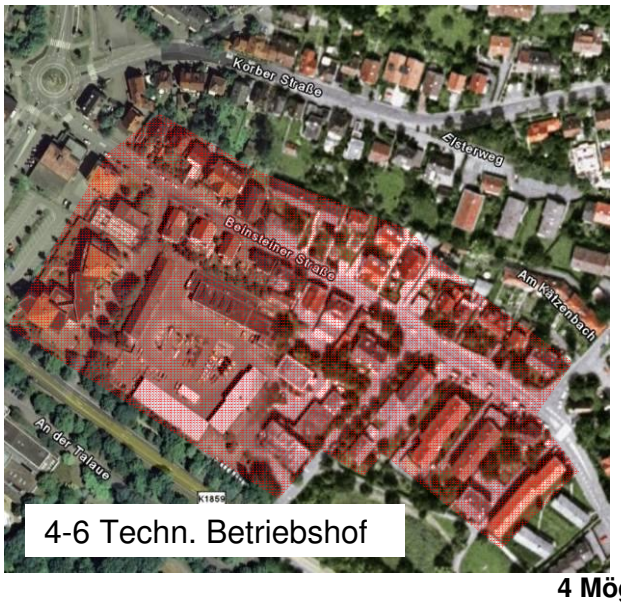
4-3 Rinnenäckerschule



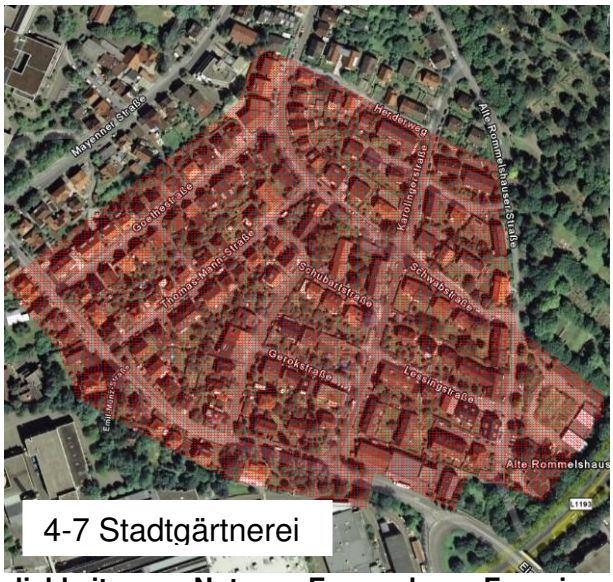
4-4 Commeniusschule



4-5 Burgschule Hegnach



4-6 Techn. Betriebshof



4-7 Stadtgärtnerei

4.4.2 Holzpellets

Basisinformation:

Holzpellets sind kleine zylindrische Preßlinge aus naturbelassenen Holzspänen, wie sie im Holz verarbeitenden Gewerbe anfallen. Pellets benötigen aufgrund ihrer hohen Energiedichte von 650 kg/m³ ein geringeres Lagervolumen als Hackschnitzel. Sie sind schütt- und rieselfähig, können als lose Ware wie Heizöl mit dem Tankwagen geliefert, in den Lagerraum eingeblasen und durch ein automatisiertes Heizsystem verbrannt werden.

Die automatisierte Verbrennung von Pellets ist emissionsarm. Etwa 5% des Energiegehalts entsprechen dem Energieaufwand, der für die Herstellung und den Transport der Pellets verbraucht wird. Der Wärmebedarf in Gebäuden kann in Kombination mit anderen regenerativen Energiequellen oder auch durch den alleinigen Einsatz einer Pelletheizung gedeckt werden.

Pellets werden in einem Lagerraum, z. B. dem ehemaligen Öltankraum, in Sacksilos oder in einem Erdtank gelagert. Wird eine Pelletheizung geplant, kann nach einer Faustregel mit etwa 0,9 m³ Lagerraum pro kW Nenn-Wärmeleistung dimensioniert werden.

Potenzial:

Pelletheizungen sind auch für kleinere Gebäude wie Ein- und Mehrfamilienhäuser geeignet. Allerdings müssen hiervon Abstriche gemacht werden, wenn der für die Pelletlagerung notwendige Platzbedarf im oder am Gebäude nicht gedeckt werden kann. Von den 131 Wohngebäuden mit einem überschlägig ermittelten Wärmebedarf von 5.000.000 kWh/a sind nur rund 65 Gebäude (50%) mit einer Pelletheizung ausrüstbar. Die Investitionskosten liegen bei ca. 1.900.000 €, die jährlichen Kapitalkosten betragen 127.000 €/a.

Das CO_2-Reduktionspotenzial beträgt ca. 1.000 t/a. Damit ergeben sich kapitalgebundene CO_2-Reduktionskosten in Höhe von 127 €/$t_{(CO2)}$ bzw. 12,7 ct/$kg_{(CO2)}$.

4.4.3 Pflanzenöl-Heizkessel

Basisinformation:

Pflanzenöle sind Kraftstoffe in flüssiger Form und besitzen eine hohe Energiedichte; außerdem lassen sie sich leicht gewinnen.

Es werden zwei Klassen unterschieden:

- Reines Pflanzenöl lässt sich in konventionellen Heizanlagen nicht ohne weiteres nutzen. Auf Grund des höheren Flammpunktes und der höheren Viskosität sind nur spezielle Ölbrenner mit entsprechender Vorwärmung dafür geeignet.
- Ähnlich Eigenschaften wie Heizöl kann durch die Veresterung des Pflanzenöls erreicht werden. Nachteil dieses Verfahrens ist die aggressive Eigenschaft des so genannten Pflanzenöl- bzw. Rapsöl-Methyl-Esters (RME) gegenüber manchen Kunststoffen, aus denen Dichtungen und Schläuche hergestellt sind. Daher müssen Schläuche und Dichtungen bei Verwendung von RME ausgetauscht werden.

Derzeit laufen Entwicklungen hin zu Bio-Mineralöl-Gemischen, die mittelfristig in bestehenden Ölheizungen ohne technische Anpassungen verwendet werden können. Die meisten Heizölkessel können heute schon mit einer Mischung aus Heizöl und bis zu 20% RME betrieben werden. Allerdings ist die Beimischung von Bioöl zu Heizöl im Brennstoffhandel entsprechend der DIN 51603-1 derzeit noch nicht erlaubt. Einige Firmen bieten Mischanlagen zur Beimischung von Pflanzenöl zum Heizöl direkt vor dem Brenner an.

Die ökologische Verträglichkeit eines massenhaften Anbaus von Ölpflanzen ist allerdings umstritten. So muss berücksichtigt werden, dass bei intensivem Anbau mit hohem Düngemitteleinsatz im Rahmen des Stickstoffkreislaufs andere Treibhausgase entstehen, die die Atmosphäre belasten.

Potenzial:

Alle Gebäude, die bisher mit Heizöl beheizt werden, bilden das Potenzial für den Betrieb mit Pflanzenöl. In der Hauptsache sind dies Wohngebäude. Als größeres Nichtwohngebäude kommt auch die Rundsporthalle in Betracht.

Der Anteil des Energieträgers Heizöl liegt in Waiblingen bei ca. 37%. Von den 131 Wohngebäuden werden demnach 48 Gebäude mit Heizöl beheizt. Werden davon 50% mit einem Pflanzenöl-Heizöl-Gemisch (20%/80%) beheizt, beträgt sie CO_2-Emissionsminderung ca. 30 t/a.

Die Investitionskosten liegen bei ca. 55.000 €, die jährlichen Kapitalkosten betragen 3.700 €/a. Damit ergeben sich kapitalgebundene CO_2-Reduktionskosten in Höhe von 123 €/$t_{(CO2)}$ bzw. 12,3 ct/$kg_{(CO2)}$. Hinzu kommen laufende Kosten durch um ca. 20 ct/l höhere Brennstoffkosten.

4.4.4 Pflanzenöl-BHKW

Basisinformation:

Ein Blockheizkraftwerk (BHKW) ist eine modular aufgebaute Anlage zur Erzeugung von elektrischem Strom und Wärme, die vorzugsweise am Ort des Wärmeverbrauchs betrieben wird, bzw. Nutzwärme in ein Nahwärmenetz einspeist. Sie setzt dazu das Prinzip der Kraft-Wärme-Kopplung ein.

Der höhere Gesamtnutzungsgrad gegenüber der herkömmlichen Kombination von lokaler Heizung und zentralem Großkraftwerk resultiert aus der Nutzung der Abwärme der Stromerzeugung direkt am Ort der Entstehung. Die bei BHKW-Anlagen im Stromerzeuger anfallende Abwärme wird über Wärmeübertrager in den Heizkreislauf der Gebäude-Zentralheizung überführt. Der Wirkungsgrad der Stromerzeugung liegt dabei, abhängig von der Anlagengröße, zwischen etwa 25 und 50%. Durch die ortsnahe Nutzung der Abwärme wird die eingesetzte Primärenergie aber zu 80 bis über 90% genutzt. Blockheizkraftwerke können gegenüber der separaten Erzeugung von Strom im Kraftwerk und Wärme im Heizkessel bis zu 40% Primärenergie einsparen.

Übliche BHKW-Module haben elektrische Leistungen zwischen fünf Kilowatt und fünf Megawatt. Unter 15 kW werden sie auch Mini-BHKW genannt und dienen zur Versorgung von einzelnen Gebäuden.

Vorteilhaft für den Betrieb von BHKW sind möglichst gleichzeitiger Bedarf an Wärme und Strom sowie möglichst hohe Vollbenutzungsstunden. Die typischen Einsatzobjekte von BHKW zeichnen sich durch einen kontinuierlichen Wärmeverbrauch über

das ganze Jahr aus. Daher sind Hallenbäder, Krankenhäuser und Altenheime prädestiniert. Auch Nahwärmenetze und klimatisierte Objekte (Kraft-Wärme-Kälte-Kopplung) bieten sich an. Kleine BHKW von ca. ein bis fünf kW elektrischer und ca. 3-15 kW thermischer Leistung eignen sich für den Heizbetrieb von Mehrfamilienhäusern.

Die Auslegung des BHKW erfolgt entsprechend des Wärme- und Strombedarfs. Hierbei spielt neben dem jährlichen Verbrauch auch das Lastprofil eine entscheidende Rolle, da das BHKW in der Regel die Grundlast des Wärmebedarfes deckt. Ein gleichmäßiger Wärmebedarf mit zeitlich parallel verlaufendem Strombedarf stellt den Idealfall für die BHKW-Nutzung dar.

In BHKW's kommen haupt sächlich fossilen Brennstoffen wie Öl oder Gas zum Einsatz. Spezielle Verbrennungsmotoren können jedoch auch mit gewöhnlichen Pflanzenölen oder Biodiesel betrieben werden.

Potenzial:

In Waiblingen werden Blockheizkraftwerke im Klärwerk, im Wohngebiet Korber Höhe und in den Schulzentren Salier und Staufer betrieben. Dabei handelt es sich um Erdgas- oder Klärgasanlagen. Die Motoren sind für einen Betrieb mit Pflanzenöl nicht geeignet. Um einen Pflanzenöleinsatz in den bestehenden Objekten realisieren zu können müssten dort neue Aggregate eingebaut werden.

Weitere mögliche Standorte decken sich in der Regel mit potenziellen Objekten für Holzhackschnitzelanlagen.

4.4.5 Biogas

Basisinformation:

Die Erzeugung von Biogas erfolgt in Biogasanlagen durch anaerobe Vergärung organischer Stoffe, wobei Biogas mit Methan als brennbarem Anteil entsteht. Landwirtschaftliche Biogasanlagen setzen als Basismaterial Gülle oder auch Festmist ein. Zur Erhöhung des Gasertrags kommen häufig Co-Fermentate zum Einsatz (z. B. nachwachsende Rohstoffe oder Abfälle aus der Lebensmittelindustrie). Das vergorene organische Material kann als hochwertiger Dünger verwertet werden. Wie viel Biogas in einer Biogasanlage produziert wird, hängt von der Zusammensetzung der eingesetzten Substrate, der Temperatur und anderen Randbedingungen ab.

Biogas wird derzeit überwiegend in Verbrennungsmotoren, die einen Generator antreiben, in Strom umgewandelt. Die Motorabwärme kann sowohl als Heizwärme als auch zur Erwärmung des Fermenters dienen. Eine Biogasanlage kann dann besonders wirtschaftlich arbeiten, wenn die Abwärme in Kraft-Wärme-Kopplung zur Beheizung von Gebäuden genutzt wird. Mit konventioneller Technologie lassen sich bis zu 40 % der im Biogas enthaltenen Energie in Strom umwandeln. Mit der Nutzung der entstehenden Abwärme lässt sich so der gesamte Wirkungsgrad auf rund 85 Prozent erhöhen.

Durch das Erneuerbare-Energien-Gesetz hat die Erzeugung und Nutzung von Biogas, insbesondere in der Landwirtschaft, erheblich zugenommen. Die Anlagenzahl hat sich seit dem Jahr 2000 mehr als verdreifacht. Ende 2006 wurden in Deutschland etwa 3.300 Biogasanlagen mit einer installierten elektrischen Gesamtleistung von 950 MW betrieben, die hauptsächlich Strom, aber auch Wärme produzierten

Die Veredelung von Biogas zu Biomethan erlaubt die Einspeisung in das Erdgasnetz. Bislang wird Biogas in erster Linie zur Energiegewinnung vor Ort eingesetzt. Die hierbei entstehende Abwärme bleibt aber zumeist ungenutzt. Wird Biogas aber zu Biomethan weiterverarbeitet, so kann dieses in das Gasnetz eingespeist werden und somit an jedem Ort an das Erdgasnetz angeschlossen werden.

Potenzial:

Die Möglichkeiten zur Biogasnutzung ist für die Stadt nur in Verbindung mit der Landwirtschaft möglich. Dafür bedarf es einer separaten Untersuchung, die sich mit den Themen der Grundstoffversorgung und der Nutzung des anfallenden Biogases eindringlich auseinandersetzt.

4.5 Geothermie

Basisinformation:

Geothermie ist die Nutzung der Erdwärme. Es wird zwischen der tiefen und der oberflächennahen Erdwärme unterschieden.

Unter tiefer Geothermie versteht man die Nutzung der Erdwärme zur Wärmeversorgung und Stromgewinnung in Tiefen von 500 bis mehreren tausend Metern. Die Temperatur der Erde steigt durch den heißen Erdkern mit zunehmender Tiefe um 25 bis 30 °C pro Kilometer an. Weltweit gesehen gehört sie zu den ergiebigsten erneuerbaren Energiequellen und ist darüber hinaus von der Sonneneinstrahlung unabhängig. In Deutschland ist das Potenzial als eher gering einzuschätzen. Die einzigen geothermischen Heizwerke in Deutschland stehen in Mecklenburg-Vorpommern und versorgen ca. 1.600 Wohnungen und öffentliche Einrichtungen mit Fernwärme. Geothermie-Anlagen haben einen Wirkungsgrad von 20%.

Relativ weit verbreitet ist die Nutzung der Umgebungswärme der oberen Erdschicht. Hierbei wird das Temperaturniveau z.B. des Grundwassers oder des Erdreichs mittels Wärmepumpen angehoben und die enthaltene Umgebungswärme zur Erzeugung von Raumwärme und Warmwasser genutzt. Aufgrund der thermischen Trägheit des Erdbodens liegt die oberflächennahe Erdreichtemperatur in unseren Breiten auch in der Winterperiode im positiven Bereich. Bei der in den oberen Erdschichten des Erdreiches gespeicherten thermischen Energie handelt es sich um Sonnenenergie, da der geothermische Wärmestrom hier unbedeutend ist

Wärmepumpen funktionieren nach dem gleichen Prinzip wie Kühlschränke. Hierbei wird ein Wärmeträgermedium durch oberflächennahe Rohre in das Erdreich geführt. Das Medium nimmt dort die Umgebungswärme auf und verdampft dabei. In einem Verdichter wird es komprimiert und verflüssigt, wobei es sich stark erhitzt. Die Kondensationswärme wird über einen Wärmetauscher abgeführt und zur Heizung und Warmwasserbereitung genutzt. Das Medium wird anschließend expandiert und verdampft, wobei es stark abkühlt und im Kreislauf wieder zur Wärmeaufnahme bereit steht. Die Leistungsbereiche von Wärmepumpen liegen zwischen 1 kW und 1 MW.

Die Nutzung der Umgebungswärme mit Hilfe von Wärmepumpen als erneuerbare Energie ist umstritten, da hier ein erheblicher Anteil so genannter Fremdenergie in Form von elektrischem Strom verwendet wird. Wichtig ist, dass über die gesamte Produktionskette nicht mehr Primärenergie verbraucht wird, als bei konkurrierenden Systemen auf Basis fossiler Energieträger. Dafür ist eine Jahresarbeitszahl höher als 3,5 notwendig. Um eine solche Jahresarbeitszahl zu erreichen sind eine knappe Di-

mensionierung, ein gut ausgelegtes Niedrigtemperaturheizsystem und ausreichend Flächen für die Verlegung von Erdkollektoren bzw. Erdsonden notwendig. In der Regel bietet der Neubau angesichts dieser Anforderungen gute Einsatzmöglichkeiten.

Die Maßnahme erfordert eine erhöhte Anfangsinvestition, die sich durch die eingesparten Energiekosten refinanzieren lässt. Die Wirtschaftlichkeit ist abhängig vom Kostenverhältnis konventioneller Brennstoffe gegenüber Wärmestrom. Die Wirtschaftlichkeit nimmt bei hohen Wärmeschutzstandards (KfW 40 und Passivhaus) ab. Die Kosten für die Produktion von Wärme in Wärmepumpen liegen zwischen 5 und 10 ct/kWh.

Potenzial:

Der sinnvolle Einsatz einer Wärmepumpe zu Heizungszwecken ist nur mit einer Niedertemperaturheizung gegeben. Im Gebäudebestand bestehen diese Voraussetzungen zum überwiegenden Teil nicht.

Für Neubauten eignet sich die Geothermienutzung mittels Wärmpumpe zur Wärmeversorgung. Wichtig ist hierbei ein geringer Wärmebedarf des Gebäudes und niedrige Systemtemperaturen. Dies kann durch Flächenheizsysteme wie z. B. Fußboden- oder Wandheizungen erreicht werden.

4.6 Zusammenfassende Darstellung

	CO_2-Einsparung	Investitionskosten	Jährliche Kapital-kosten	Jährliche Betriebs-kosteneinsparung	CO_2-Reduktionskosten	
					Kapital	Gesamt
	t/a	€	€/a	€/a		
Solarenergie						
Thermische Solaranlagen	135	1.320.000	66.000	27.000	48,9	28,9
Fotovoltaische Solaranlagen	980	7.650.000	382.500	612.000	39,0	-23,4
Windkraft	-	-	-	-	-	
Wasserkraft	-	-	-	-	-	
Biomasse						
Holzhackschnitzel	2.230	3.000.000	200.000		8,9	
Holzpellet	1.000	1.900.000	127.000		12,7	
Pflanzenölkessel	123	55.000	3.700		12,3	
Pflanzenöl-BHKW	-	-	-	-	-	
Biogas	-	-	-	-	-	
Geothermie	-	-	-	-	-	

5 Fazit

In den Gebäuden, die die Stadt Waiblingen besitzt oder bewirtschaftet sind für die Nutzung Erneuerbarer Energien noch erhebliche Potenziale vorhanden. Um die Ziele aus dem Stadtentwicklungsplan zu erreichen, sind noch große Anstrengungen beim Einsatz von Anlagen zur Nutzung Erneuerbarer Energien notwendig.

Es wird angeregt, dass bei Neubauten, grundlegenden Sanierungen von Gebäuden und Heizungssanierungen eine obligatorische Prüfung des Einsatzes von Erneuerbarer Energien eingeführt wird. Bei der Prüfung der Alternativen sollte ein Wirtschaftlichkeitsnachweis mit Hilfe der Gesamtkostenberechnung geführt werden, bei dem auch Umweltfolgekosten berücksichtigt werden.

5.1 Solarenergie

Die thermische Nutzung der Sonnenenergie zur Warmwasserbereitung ist für Gebäude mit einem hohen Warmwasserverbrauch interessant. Die installierbare Kollektor- und Absorberfläche erreicht rund 1.500 m². Insgesamt können rund 450 MWh/a eingespart werden. Das CO_2-Reduktionspotenzial beträgt ca. 135 t/a.

Die nutzbare Dachfläche für die Solarenergie, die nicht für thermische Solarkollektoren benötigt wird, steht als Potenzial für die Installation von Fotovoltaikanlagen zur Verfügung. Die potenzielle Installationsfläche liegt bei ca. 15000 m². Die installierbare Leistung beträgt ca. 1.700 kWp. Die mit den Fotovoltaikanlagen erzeugbaren Strommenge beträgt rund 1.530 MWh/a. Dies entsprich 35,8% der in städtisch genutzten Gebäuden verbrauchten Strommenge.

Bei einigen Gebäuden sind noch Vorarbeiten notwendig, um eine Solaranlage montieren zu können. So sollten Dachflächen in einem guten Zustand sein und in den nächsten 20 Jahren keine Sanierungsarbeiten anstehen. Auch sind u. U. statische Ertüchtigungen notwendig.

Vor allem im Strombereich ist die Solarenergienutzung eine Option, den 30%-Anteil Erneuerbare Energien als Ziel aus dem Stadtentwicklungsprogramm zu erreichen.

5.2 Bioenergie

Bioenergie in Form von Holzhackschnitzel, Holzpellets und Bioölen können zur Beheizung von Gebäuden eingesetzt werden.

Große Holzhackschnitzelanlage eignen sich besonders für Gebäude mit hohem Wärmebedarf für die Heizung wie z. B. Schulzentren und Hallenbäder. Auch Nahwärmeanlagen kommen in Betracht. Kleinere Anlagen mit ca. 100 kW Leistung können auch in größeren Mehrfamilienhäusern installiert werden.

Bei sechzehn größeren Gebäuden mit einem Wärmebedarf von rund 13.650.000 kWh/a kann mit Holzhackschnitzelheizanlagen eine Primärenergieeinsparung von 12.178 MWh/a und ein CO_2-Reduktionspotenzial von ca. 2.225 t/a erzielt werden. Diese Einsparung übertrifft um das 1,6-Fache den Zielwert des Stadtentwicklungsplan zur Erzeugung von 20% des Primärenergieverbrauchs der von der Stadt bewirtschafteten Gebäude aus erneuerbaren Energien.

Weiter ist es möglich, Nahwärmenetze an die Wärmeerzeugung öffentlicher Gebäude anzuschließen und damit Wohngebiete zu versorgen. Der in den gewachsenen Wohngebieten permanent vorhandene Sanierungsbedarf von Heizungsanlagen kann

genutzt werden, Nahwärmenetze auf Grundlage Erneuerbarer Energien zu installieren.

Pelletheizungen sind auch für kleinere Gebäude wie Ein- und Mehrfamilienhäuser geeignet. Von 131 Wohngebäuden im Besitz der Stadt mit einem überschlägig ermittelten Wärmebedarf von 5.000.000 kWh/a sind 50% mit einer Pelletheizung ausrüstbar. Das CO_2-Reduktionspotenzial beträgt ca. 1.000 t/a.

Alle Gebäude, die bisher mit Heizöl beheizt werden, bilden das Potenzial für den Betrieb mit Pflanzenöl. Von den 131 Wohngebäuden werden ca. 48 Gebäude mit Heizöl beheizt. Werden davon 50% mit einem Pflanzenöl-Heizöl-Gemisch (20%/80%) beheizt, beträgt sie CO_2-Emissionsminderung ca. 30 t/a.

In Waiblingen werden Blockheizkraftwerke im Klärwerk, im Wohngebiet Korber Höhe und in den Schulzentren Salier und Staufer betrieben. Dabei handelt es sich um Erdgas- oder Klärgasanlagen. Die Motoren sind für einen Betrieb mit Pflanzenöl nicht geeignet. Um einen Pflanzenöleinsatz in den bestehenden Objekten realisieren zu können müssten dort neue Aggregate eingebaut werden.

Die Möglichkeiten zur Biogasnutzung ist für die Stadt nur in Verbindung mit der Landwirtschaft möglich. Dafür bedarf es einer separaten Untersuchung, die sich mit den Themen der Grundstoffversorgung und der Nutzung des anfallenden Biogases eindringlich auseinandersetzt.

Um den 20%-Anteil an Erneuerbaren Energien im Primärenergieverbrauch als Ziel aus dem Stadtentwicklungsprogramm zu erreichen, muss in jedem Fall auf Bioenergie, und dabei vor allem auf Holzpellet oder Holzhackschnitzel zur Wärmeerzeugung zurückgegriffen werden.

5.3 Geothermie

Der sinnvolle Einsatz einer Wärmepumpe zu Heizungszwecken ist nur mit einer Niedertemperaturheizung gegeben. Im Gebäudebestand bestehen diese Voraussetzungen zum überwiegenden Teil nicht. Für Neubauten ist die Nutzung der Geothermie jedoch eine Alternative, da schon in der Planungsphase das Gebäude die Erfordernisse dieser Art der Energieerzeugung berücksichtigt werden können.